BUILD

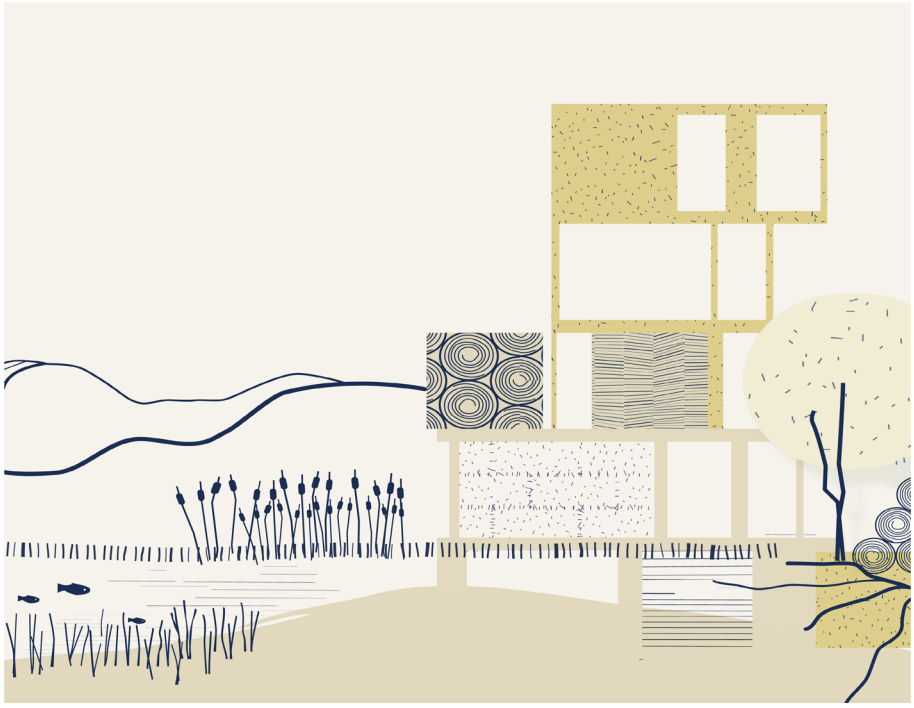
RAPPORT

2022:09

Biogene materialers anvendelse i byggeriet

Torben Valdbjørn Rasmussen, Emil Engelund Thybring, Jørgen Munch-Andersen, Thomas Nord-Larsen, Uffe Jørgensen, Stefan Christoffer Gottlieb, Annette Bruhn, Birgit Rasmussen, Anne Beim, Mette Ramsgaard Thomsen, Pelle Munch-Petersen, Mikkel Bruun Primdahl, Niclas Scott Bentsen, Nicolaj Frederiksen, Mikael Koch, Simon Auken Beck, Marie-Louise Bretner, Alexandra Wittchen

BIOGENE MATERIALERS ANVENDELSE I BYGGERIET



Torben Valdbjørn Rasmussen, Emil Engelund Thybring, Jørgen Munch-Andersen, Thomas Nord-Larsen, Uffe Jørgensen, Stefan Christoffer Gottlieb, Annette Bruhn, Birgit Rasmussen, Anne Beim, Mette Ramsgaard Thomsen, Pelle Munch-Petersen, Mikkel Bruun Primdahl, Niclas Scott Bentsen, Nicolaj Frederiksen, Mikael Koch, Simon Auken Beck, Marie-Louise Bretner, Alexandra Wittchen

BUILD Rapport 2022:09
Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet
2022

TITEL	Biogene materialers anvendelse i byggeriet
SERIETITEL	BUILD Rapport 2022:09
FORMAT	Digital
UDGIVELSESÅR	2022
UDGIVET DIGITALT	April 2022
FORFATTER	Torben Valdbjørn Rasmussen, Emil Engelund Thybring, Jørgen Munch-Andersen, Thomas Nord-Larsen, Uffe Jørgensen, Stefan Christoffer Gottlieb, Annette Bruhn, Birgit Rasmussen, Anne Beim, Mette Ramsgaard Thomsen, Pelle Munch-Petersen, Mikkel Bruun Primdahl, Niclas Scott Bentsen, Nicolaj Frederiksen, Mikael Koch, Simon Auken Beck, Marie-Louise Bretner, Alexandra Wittchen
FAGFÆLLEBEDØMMELSE	Erik Larnøy, Rob Marsh
SPROG	Dansk
SIDETAL	209
LITTERATURHENVISNINGER	Side 96-103
EMNEORD	Arkitektur, Biogene materialer, bygningsfysik, bæredygtighed, trækonstruktioner
ISBN	978-87-563-2032-0
ISSN	2597-3118
TEGNINGER	Michael Ulf Bech
OMSLAGSILLUSTRATION	Jacob Due
RETTIGHEDER	For yderligere informationer om rettigheder til figurer og fotos se bilag 27
UDGIVER	Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post: build@build.aau.dk www.build.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

INDHOLD

FORORD 6

1 SAMMENFATNING 8

2 INDLEDNING 10

3 BIOGENE MATERIALERS INDFLYDELSE PÅ KLIMAREGNSKABET 12
3.1 LCA-beregninger af ydervægskonstruktioner 12
3.2 Potentialer for bygninger og samfundet 13
3.3 Effekt på Danmarks nationale klimaregnskab 16

4 BIOGENE RESSOURCER 20
4.1 Kulstoflagring i biogene materialer 20
4.2 Danske biogene ressourcer til byggematerialer 20
4.3 Materialeegenskaber 22

5 DANSKE BIOGENE RESSOURCER NU OG I FREMTIDEN 26
5.1 Træ fra skovbrug 26
5.2 Landbrugsressourcer 28
5.3 Marine biomasser 31
5.4 Fremtidige potentialer for produktion 36

6 OVERORDNEDE KRAV TIL BYGNINGSDELE MED BIOGENE MATERIALER 42
6.1 Hovedkonstruktion 42
6.2 Klimaskærm 44
6.3 Materialer til isolering 46
6.4 Sekundære bygningsdele 47

7 FUGT, NEDBRYDNING, BRAND OG LYD 50
7.1 Fugt 50
7.2 Nedbrydning 50
7.3 Brand 51
7.4 Lyd 53

8 BYGGERIER I BIOGENE MATERIALER 58
8.1 Det Biologiske Hus 58
8.2 Kredsløbshuset 60
8.3 Det Åndbare Hus 61
8.4 Villa Straa 61
8.5 Feldballe Friskole 62
8.6 Friluftshuset ved Silkeborg Højskole 63
8.7 Det Moderne Tanghus 63
8.8 Sommerhus 64
8.9 Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning) 64

9 NYE BIOGENE MATERIALER OG ARKITEKTUR **68**
9.1 Optimeret udnyttelse af biogene ressourcer 68
9.2 Forlængelse af levetid og modificering af materialeegenskaber 69
9.3 Optimeret brug af biogene materialer i byggeriet 70
9.4 Biogene mineralske kompositter 71
9.5 Økometabolistisk arkitektur 71

10 BARRIERER OG POTENTIALER FOR ANVENDELSEN AF BIOGENE MATERIALER **76**
10.1 Identificerede barrierer og potentialer 76

11 ROADMAP FOR ANVENDELSE AF BIOGENE MATERIALER I BYGGERIET **80**
11.1 Teknologiske transitioner 80
11.2 Barrierer mod biogene materialer i byggeriet 80
11.3 Tiltag til fremme af biogene materialer 81
11.4 Roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer 82

12 DISKUSSION **86**
12.1 Potentiale for kulstoflagring i nybyggeriet 86
12.2 Biogene ressourcer 86
12.3 Krav til bygningsdele 87
12.4 Dokumentation af egenskaber 87
12.5 Nye byggematerialer 88
12.6 Udfordringer 89
12.7 Roadmap 89

13 KONKLUSION **92**

14 LITTERATUR **94**
14.1 Webadresser 101

15 ENGLISH SUMMARY **104**

16 BILAG **106**

17 EKSEMPLER PÅ BIOGENT BYGGERI **110**
17.1 Det Biologiske Hus 110
17.2 Kredsløbshuset 111
17.3 Det Åndbare Hus 112
17.4 Villa Straa 115
17.5 Feldballe Friskole – Tilbygning 117
17.6 Friluftshuset ved Silkeborg Højskole 120
17.7 Det Moderne Tanghus 123
17.8 Sommerhus 126
17.9 Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning) 130

18 UDSAGN OM LYD OG SVAR **134**

19 BIOBASERET MATERIALE-PARADIGME FOR ARKITEKTUR **138**

20 LCA-BEREGNINGER **150**

20.1 Skeletvæg 150
20.2 Vægtyper 150

21 SUBSTITUTION MED BIOGENE MATERIALER I LAVT BYGGERI 156

22 TILVÆKST I ETAGEAREAL FOR NYBYGGERI 162

23 MATERIALEBEHOV OG POTENTIALE FOR PRODUKTION 166

24 POTENTIALE FOR DANSKE TRÆPRODUKTER 170

25 INTERVIEWS 174
25.1 INTERVIEWRESUMÈ 1 174
25.2 INTERVIEWRESUMÉ 2 177

26 BYGGEBRANCHENS FORANDRINGER 182
26.1 Roadmap for anvendelse af biogene materialer i byggeriet – Barrierer og tiltag i et transitionsteoretisk perspektiv 182
26.2 Omstilling til biogene materialer i den danske byggebranche 192
26.3 Barrierer mod anvendelse af biogene materialer 197
26.4 Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer 200

27 RETTIGHEDER 206

FORORD

I denne rapport gives en faglig udredning af potentialet for biogene materialers anvendelse i byggeriet. Der tages udgangspunkt i de biogene ressourcer, som findes i Danmark, og som kan anvendes til byggematerialer. Biogent materiale omfatter i denne sammenhæng fx træ, halm, tækkerør, hør, hamp og marin biomasse som ålegræs, tang og muslingeskaller.

Biogene byggematerialer anvendes i dag til bærende konstruktioner som bjælker, søjler, skiver og præfabrikerede elementer, men også til bygningsdele som beklædning, overflader, tagdækning, isoleringsmaterialer for varme, lyd og brand; som kapillarbrydende materialer, armering i puds og plader, aptering og interiør. Rapporten fokuserer især på egenskaber med hensyn til nedbrydning, fugt, brand og lyd, ligesom muligheder for ændring af egenskaber, oparbejdning og industriel fremstilling af byggematerialer behandles.

Potentialet for anvendelse af biogene materialer identificeres ud fra en mulig omlægning af det konventionelle byggeri til byggeri baseret på biogene materialer. I beskrivelsen skelnes der mellem bygningsdele som bærende konstruktioner, kapillarbrydende lag og terrændæk, hvor nedbrudte dele kun vanskeligt kan udskiftes, og bygningsdele som klimaskærm og isoleringsmaterialer, som er enklere at udskifte. Beskrivelserne følges op af eksempler på anvendelse af biogene materialer.

Rapporten kortlægger de tilgængelige indenlandske biogene ressourcer og beskriver scenarier for øget produktion af biogene materialer inden for skovbrug, landbrug og det marine. Endvidere vurderes potentialet for biogene ressourcers bidrag til byggeriets grønne omstilling over for det reelle klimaaftryk og Danmarks nationale klimaregnskab, som afrapporteres til FN. I den forbindelse identificerer rapporten ideer bag nye biogene materialer og byggevarer med mulig anvendelse i byggeriet.

Gennem interviews med centrale aktører inden for produktion og anvendelse af biogene byggematerialer i Danmark identificeres nye barrierer og potentialer, som sammenholdes med de allerede kendte. Yderligere præsenteres et roadmap med udgangspunkt i modeller og teoridannelser vedrørende *Technological Innovation Systems* (TIS) og sociotekniske transitioner for anvendelsen af biogene materialer i byggeriet.

Seniorforsker Torben Valdbjørn Rasmussen, BUILD, Aalborg Universitet, har i samarbejde med lektor Emil E. Thybring, Københavns Universitet, ledet projektet. Til selve rapporten har en række forskere ved BUILD, Københavns Universitet, Aarhus Universitet og Det Kongelige Akademi været inddraget inden for hvert specifikt fagområde. Derudover har videnscentret Træinformation og brancheorganisationerne Dansk Skovforening og Træ- og Møbelindustrien bidraget med viden og eksempler på anvendelse af biogene materialer i byggeriet i afsnittene 6 og 8 vedrørende *overordnede krav til bygningsdele med biogene materialer* og *Byggerier i biogene materialer*. Arbejdet er gennemført med økonomisk støtte fra Realdania. Rapporten er fagfællebedømt af Erik Larnøy fra Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO) og Rob Marsh fra C.F. Møller Architects. Vi takker alle bidragsydere!

BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet
Sektion for Bygge, Anlægsteknik og Proces
April 2022

Ruut Peuhkuri
Forskningschef

1

SAMMENFATNING

1 SAMMENFATNING

Rapporten behandler biogene materialers mulige anvendelse i byggeriet i Danmark. Status for viden om biogene materialer og deres mulige vækst og øgede anvendelse i byggeriet fremlægges.

Rapporten belyser yderligere de potentialer og barrierer, der kan identificeres ved øget anvendelse af biogene materialer i byggeriet i Danmark. En vurdering af behovet for materialer, såvel typer som mængder, og tidshorisonten, hvormed materialerne i de nødvendige kvaliteter og mængder kan være klar som ressource, udføres som scenarier.

Rapporten viser, at byggeriet kan indlejre kulstof fra CO_2 i nybyggeriet svarende til mere end de samlede CO_2-udledninger fra hele det nuværende danske forbrug af beton. Derudover vil de biogene materialer kunne erstatte konventionelle byggematerialer som beton, stål, tegl og mineraluld i stor udstrækning. Supplerende fremhæver og viser rapporten bygninger, hvor biogene materialer er anvendt.

En gennemgang af tilgængelige biogene ressourcer, som kan anvendes i byggeriet, viser et stort potentiale for en omfattende produktion af biogene materialer fra skovbrug, landbrug og marine miljøer i Danmark. Det er ressourcer, som er fornybare og kan dyrkes og høstes årligt fra samme areal. Endvidere viser rapporten, at rene fraktioner af træbiomasse kan opfylde en stor del af materialebehovet til en række andre byggevarer end materialer til bærende konstruktioner. Suppleret med fx halm viser rapporten, at behovet for pladematerialer og isolering i byggeriet, såvel i det høje som det lave, med stor sandsynlighed kan opfyldes af den danske produktion alene. Det vises også, at materialer til de bærende konstruktioner nødvendiggør import af fx konstruktionstræ, men at importen heraf kan mindskes ved større dansk forædling af ringere fraktioner af træ, som for nuværende ikke udnyttes til konstruktionstræ, til brug i limtræ eller CLT-elementer.

Endvidere kan man øge potentialet for anvendelse af biogene materialer til konstruktioner ved at styrke kendskabet til disse materialer og deres egenskaber, så det er på niveau med de i dag mest anvendte materialer. Det gælder for hele byggeriets værdi- og forsyningskæde. Det vil sige materialeleverandører, arkitekter, ingeniører, myndigheder, udførende, bygherrer og brugere.

Den tekniske dokumentation for materialeegenskaber – til vurdering af, om et materiale er egnet til en bestemt funktion i en bygning – skal baseres på et anerkendt grundlag. Det samme gælder for drivhusgasemissioner. Dette forventes af både bygningsejer, entreprenør, håndværker og leverandør samt af myndighederne og finans- og forsikringsbranchen.

Viden om byggetekniske løsninger kan øge kendskabet til materialernes egenskaber og være med til at udvikle og forbedre løsninger på den korte bane. Relevant viden om nye løsninger og materialer bør opbygges gennem offentligt tilgængelige, gennemsigtige fyrtårnsbyggerier, hvor såvel de økonomiske, praktiske, design- og udførelsesmæssige erfaringer videndeles i byggebranchen. Viden, som på den måde gøres tilgængelig for samfundet som helhed, kan også implementeres i uddannelser af såvel byggeriets kæde af aktører fra håndværkere til forskere som miljøerne omkring dyrkning af biogene materialer i Danmark.

2

INDLEDNING

2 INDLEDNING

Klimakrisen er skabt af menneskets behov for materialer, energi og fødevarer til en global befolkning, der fortsætter med at vokse i antal. Produktionen af disse goder har medført enorme udledninger af CO_2 fra især afbrænding af fossile brændsler såsom kul, olie og gas. For at undgå de mest pessimistiske fremtidige klimascenarier er det nødvendigt kraftigt at reducere CO_2-udledninger fra samfundet. Samtidig er det nødvendigt at indfange CO_2 og holde den ude af atmosfæren ved lagring. Grøn omstilling beskriver omvæltningen fra et samfund baseret på fossile brændsler, der udleder CO_2 til atmosfæren, til et samfund, hvor produktionen ikke udleder CO_2, men i stedet indfanger og lagrer den. Grøn omstilling af byggeriet er en hjørnesten i denne samfundsomvæltning, da branchen står for en stor andel af samfundets CO_2-udledninger, herunder fra energi til udvinding og forarbejdning af ressourcer til byggevarer (Klimahandlingsplan, 2020). Disse byggevarer er samtidig i overvejende grad baseret på knappe, ikke-fornybare ressourcer såsom sand og grus, der gradvist svinder ind. Det er nødvendigt at få vendt denne udvikling i byggeriet.

Anvendelsen af fornybare biogene ressourcer kan få en central rolle i den grønne omstilling af byggeriet. Biogene ressourcer omfatter materiale fra biologiske organismer såsom planter og dyr. Det kan for eksempel være etårige planter som hør, flerårige planter som træer eller marine ressourcer som ålegræs og tang.

Planter optager CO_2 ved fotosyntese, når de vokser i solens lys. Her binder de kulstoffet fra CO_2 i de kemiske byggesten, som planterne bruger til at vokse, mens de udskiller ilten (O_2). Således består plantebaserede ressourcer af omtrent 50 % kulstof indfanget fra atmosfærens CO_2. Byggevarer baseret på biogene ressourcer kan i stort omfang erstatte konventionelle byggematerialer som tegl, stål, beton og mineraluld. Derved mindskes behovet for disse materialer og hermed CO_2-udledningerne forbundet med deres produktion. Samtidig bindes de biogene materialers indhold af kulstof i byggeriet i hele dets levetid og længere endnu, hvis de biogene materialer genanvendes. På den måde kan biogene ressourcer ændre byggeriet fra en markant udleder af CO_2 fra opførelse og vedligeholdelse af bygningsmassen til et lager for kulstof indfanget fra atmosfærens CO_2.

Det kræver udvikling af byggeriet og mere viden om produktion af materialer og godt håndværk, hvis man vil sikre størst mulig udnyttelse af dette potentiale og skabe et bedre og mere robust byggeri med færre fejl og mangler og mindre påvirkning af natur og miljø.

Det byggede miljø er en væsentlig del af samfundets aktiver, både i form af værdien af bygningerne og beskæftigelsen i byggesektoren, herunder vedligehold og renovering. Der er også mange tillægserhverv knyttet til det byggede miljø, og der er mange mennesker, som har glæde af og lever af at være en del af byggeriet. Det gælder blandt andre materialeproducenter, underleverandører, håndværkere, ingeniører, arkitekter, bygherrer og de finansielle markeder i forbindelse med prioriteter, pant og overdragelser af ejendom. Den grønne omstilling af byggeriet vedrører dermed forandringer i flere sektorer af samfundet, herunder ændringer i tilvejebringelsen af de nødvendige ressourcer, som i fremtiden vil involvere dyrkning og høst af biomasse fra landbrug, marine ressourcer og skovbrug.

I denne rapport gennemgås en række potentialer, som et industrialiseret landbrugsland med en lang kystlinje, som Danmark har og kan udnytte i forbindelse med byggeriets grønne omstilling til biogene ressourcer og byggevarer. Hovedrapporten er suppleret med et omfattende bilagsmateriale til læseren, som ønsker en yderligere indsigt og højere detaljeringsgrad end det, der er fremført i hovedrapporten. Bilag vil i enkelte tilfælde være at læse som et mere omfattende, selvstændigt kapitel.

3

BIOGENE MATERIALERS INDFLYDELSE PÅ KLIMAREGNSKABET

3 BIOGENE MATERIALERS INDFLYDELSE PÅ KLIMAREGNSKABET

I dette afsnit beskrives biogene materialers klimaaftryk og deres mulighed for at reducere byggeriets klimabelastning, herunder forbedre Danmarks nationale klimaregnskab, som det afrapporteres til FN.

3.1 LCA-beregninger af ydervægskonstruktioner

Indflydelsen på klimaregnskabet af valget af materialer til en konstruktion vurderes ved livscyklusvurderinger (LCA – Life Cycle Assessment). Udvalgte konstruktioner med samme egenskaber hvad angår isoleringsevne sammenholdes. Værktøjet LCAbyg benyttes som metoden til at sætte tal på miljømæssige konsekvenser ved valg af materialer. LCA beregner de miljømæssige konsekvenser ved produktion, udskiftning og bortskaffelse af byggevarer til renovering og nybyg. LCA giver dermed information, som kan benyttes i valgsituationer med henblik på at nedbringe den miljømæssige belastning fra enkelte byggevarer, bygningsdele og hele bygninger. LCA på bygninger benytter standarden EN 15978, og LCA på byggevarer anvender standarden EN 15804. Miljødata til brug ved LCA-beregningerne bygger på miljøvaredeklarationer (EPD) for de enkelte materialer.

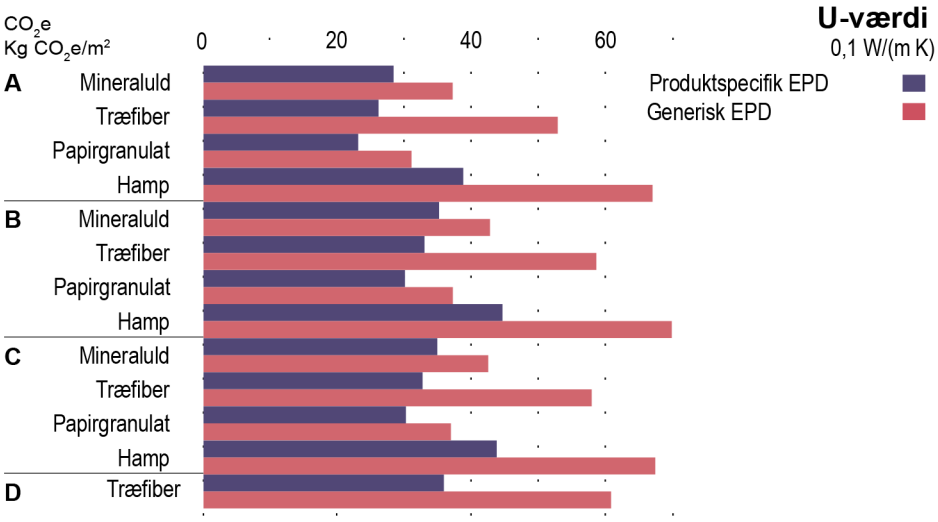
For at illustrere betydningen af valget af materialer til en given bygningsdel er miljøbelastningen for 1 m^2 af en ydervæg ved forskellige konstruktionsopbygninger med sammenlignelige egenskaber beregnet. Ved ydervæggen, der indgår i klimaskærmen, fokuseres på sammenlignelige U-værdier.

Eksemplerne anvender en forenklet livscyklusvurdering, idet kun den hyppigst anvendte parameter, potentialet for global opvarmning (GWP), undersøges. Normalt, og også her, indgår kun livscyklusfaserne for produktion af materialerne, udskiftning samt affaldshåndtering og bortskaffelse, faserne A1-A3, B4 samt C3 og C4 (Andersen et al., 2021a). Resultatet udtrykkes i enheden kg CO_2e, hvor e betyder ækvivalent, det vil sige, at drivhusvirkningen af andre emissioner end CO_2 omregnes til kg CO_2 efter en fastlagt metode. I denne forenklede analyse tages således ikke hensyn til eventuelle forskelle i levetid. Der tages hensyn til forskel i energiforbrug ved at sammenligne konstruktionsopbygninger med samme U-værdi. Sammenligning af opbygninger med forskellig U-værdi kræver langt mere omfattende beregninger, hvor især fase B6 (Andersen et al., 2021a) indgår. Beregningen af biogent kulstof i LCA følger -1/+1-metoden, beskrevet i BUILD-rapport 2021:27, *Klimapåvirkning fra 20 træbyggerier – LCA på eksisterende træbyggerier* (Andersen et al., 2021b). Dermed regnes optaget af biogent kulstof som negativt i produktfasen (A1-3) og tilsvarende positivt i bortskaffelsesfasen (C3), uanset hvilket bortskaffelsesscenarie der antages for træprodukterne.

Ofte vil energirammekravene i bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) være opfyldt ved en U-værdi for ydervægselementet omkring U = 0,15 W/(m K), svarende til kravet for tilbygninger, mens opfyldelse af den frivillige lavenergiklasse vil kræve en U-værdi omkring U = 0,10 W/(m K). Disse to værdier benyttes til konstruktionseksemplerne. Klimabelastning for eksempler på ydervæg udført i træ er vist i bilag 20, *LCA-beregninger*. Beregningerne af klimabelastningen for den enkelte vægopbygning er udført dels med produktspecifikke EPD'er, dels med generiske data (Ökobau). Den funktionelle enhed for LCA-beregningerne defineres som: 1 m^2 ydervæg med U-værdier på hhv. 0,1 og 0,15 W/(m K) , over en 50-årig betragtningsperiode. Ved beregningerne er 4 vægopbygninger anvendt, angivet ved

A, B, C og D. Væg A er en traditionel træskeletvæg med to lag gipsplade på indersiden og udvendig bræddebeklædning på vindspærre af gipsplade. I væg B er gipspladerne på indersiden erstattet af 100 mm tykt CLT-element. I væg C er CLT-tykkelsen øget til 140 mm. Væg D er som væg B suppleret med 2 lag gipsplade på indersiden som brandbeskyttelse. Væg og beregninger er nærmere beskrevet under bilag 20, *LCA-beregninger*.

Resultaterne af beregningerne viser, at de biogene isoleringsmaterialer kan mindske vægkonstruktionens klimabelastning. Dette gælder dog kun, hvis resultaterne sammenlignes for specifikke produkter, hvor der foreligger EPD'er. For beregningerne med generiske data har isolering med mineraluld i visse tilfælde mindre klimabelastning end visse typer biogene isoleringsmaterialer, Figur 1. Dette understreger behovet for at øge kendskabet til materialerne, herunder at udarbejde teknisk dokumentation, for at kunne lave retvisende beregninger af konstruktioners egenskaber og klimabelastning.



Figur 1. Beregnet klimabelastning opgjort i kg CO_2e/m^2 som konsekvens af at opføre 1 m^2 ydervæg A, B, C og D med U-værdien 0,1 W/(m K) ved brug af produktspecifikke EPD'er og generiske EPD'er.

3.2 Potentialer for bygninger og samfundet

I det følgende vurderes potentialerne for at substituere konventionelle byggematerialer med biogene materialer samt den effekt, dette vil have på lagringen af kulstof fra CO_2 i bygningsmassen frem til år 2100. Ændringen af byggeriets klimaaftryk som helhed på baggrund af substitution af energitunge, konventionelle byggematerialer med biogene materialer vurderes ikke, idet klimaaftrykket fra alle byggematerialer forventes at ændre sig over de næste årtier, hvorved klimaeffekten af substitutionen også vil ændre sig.

Livscyklusanalyser ved brug af LCAbyg er tidligere blevet gennemført på 20 træbygninger opført mellem 2013 og 2021 i Danmark. Bygningerne omfattede to mindre byggerier, her iblandt et sommerhus og et enfamiliehus, syv rækkehuse, fire etageboliger, et kontor og seks bygninger kategoriseret som andet byggeri. Seks bygninger var over 10.000 m^2 og to bygninger under 1000 m^2, og definitionen på træbyggeri var at omkring 50 % af de bærende konstruktioner i bygningerne var udført i træ eller træbaserede materialer såsom CLT, limtræ eller lamineret træ. Beregningerne omfattede hele bygningernes livscyklus set over en 50 årig betragtningsperiode fra produktion og transport af byggevarer, transport til byggeplads og opførelse af byggeri, udskiftning af bygningsdele, energiforbrug til drift, affaldsbehandling ved endt levetid, samt potentialet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse, se også (Zimmermann et al., 2020) og (Birgisdóttir og Rasmussen, 2015). Resultaterne viste

en stor variation i de enkelte bygningers samlede klimapåvirkninger, herunder en forskel i klimaaftrykket fra produktion og opførelse der spændte fra 3,9 kg CO_2e/m^2/år til 10,3 kg CO_2e/m^2/år, svarende til en faktor 2,6 i forskel mellem de laveste og højeste klimapåvirkninger. Påvirkningerne i forbindelse med bortskaffelse blev fundet til at have stor betydning for beregningerne, idet at det oplagrede biogene kulstof regnes frigivet ved bortskaffelse af materialet (Andersen et al., 2021b). Yderligere LCAbyg beregninger er gennemført på 60 bygninger, hvoraf de 20 er de tidligere omtalte træbyggerier. I dette studie var 34 boliger og 26 kontorer og andet byggeri (Zimmermann et al., 2020). Resultaterne viste en stor variation i de enkelte bygningers klimapåvirkninger. Nogle bygninger havde op til 2,25 gange større klimapåvirkning end andre, ved en 50-års betragtningsperiode. Bygningens klimapåvirkninger blev i undersøgelsen fordelt på påvirkninger fra produktion og opførelse og påvirkninger fra drift. Beregningerne viste, at der ikke var en systematisk forskel i klimapåvirkningen imellem de forskellige bygningstyper, og medianværdien for klimabelastningen fra produktion og opførelse for enfamiliehuse, rækkehuse, etageboligbyggeri og kontorer blev beregnet til hhv. 7,4, 7,1, 7,0 og 6,9 kg CO_2e/m^2/år. Det eksisterende datagrundlag for klimapåvirkningen af bygninger beregnet ved LCAbyg er endnu for sparsomt til at fastslå effekten af at substituere konventionelle byggematerialer med biogene alternativer fra disse studier. Klimaeffekten af denne substitution er dog vist ved livscyklusanalyser af bygninger i en række andre lande såsom Norge (Skullestad et al., 2016), Storbritannien (Moncaster et al., 2018), Sverige (Penaloza et al., 2016, 2018), Tyskland og Østrig (Hafner og Schäfer, 2017), samt på globalt plan (Churkina et al., 2020 og Himes og Busby, 2020).

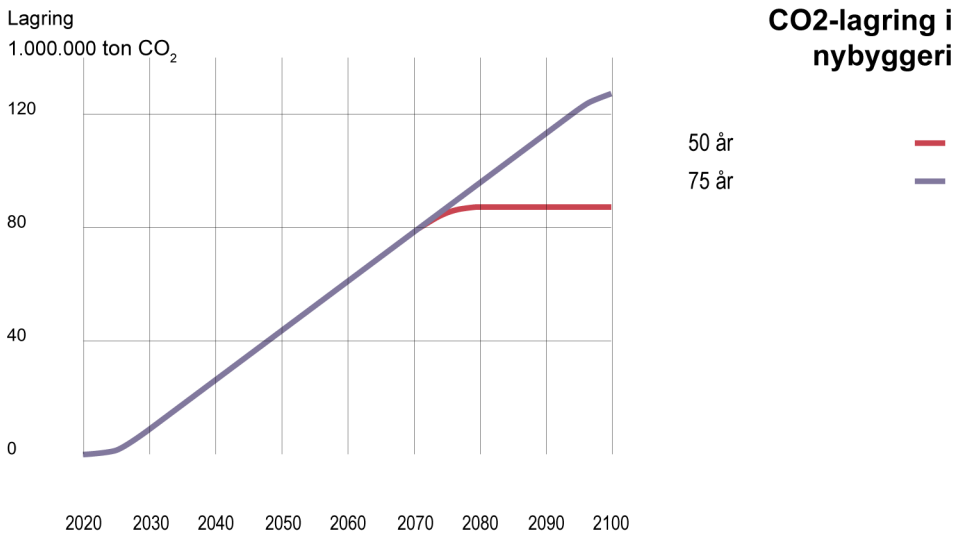
På baggrund af data for materialebehovet for lave og høje bygninger, se bilag 23, *Materialebehov og potentiale for produktion*, beregnes et anslået materialebehov på samfundsniveau for nybyggeri af disse to bygningstyper. Dette baseres på data fra Danmarks Statistik (BYGB34), der viser, at siden år 2000 er det samlede etageareal minus kælderareal vokset i gennemsnit 4,6 mio. m^2/år og 1,9 mio. m^2/år for henholdsvis lavt og højt byggeri, se bilag 22, *Tilvækst i etageareal for nybyggeri*. Dersom den gennemsnitlige vækst i etagearealet over en længere årrække antages at være konstant, kan materialebehovet for substitutionen af konventionelle byggematerialer med biogene materialer baseret på nuværende teknologier estimeres som vist i Tabel 1. Foruden behovet for biogene materialer til omstillingen af nybyggeriet er der et behov for at nedbringe klimaaftrykket fra driften af den eksisterende bygningsmasse (Energistyrelsen, 2020). Dette vil primært ske gennem energirenovering af bygningerne, hvilket resulterer i et behov for især materialer til isolering. Det har ikke været muligt at finde estimater på det samlede materialebehov for isolering eller andre materialetyper til energirenoveringen af den eksisterende bygningsmasse.

Tabel 1. Behovet for materialer på komponentniveau for substitution af konventionelle byggematerialer med biogene materialer baseret på nuværende, kendt anvendelse af materialer.

	Materialebehov		Egnede biogene materialer
Facadebeklædning	~51.000	tons/år	Træbrædder, tækkerør
Fiberisolering	~320.000	tons/år	Træfibre, hør, hamp, halm, papir
Pladematerialer	~190.000	tons/år	Træ, hør, hamp, halm i form af fibre, spåner eller finer
Konstruktionstræ	~360.000	tons/år	Træ, limtræ, CLT, LVL
Trægulv	~57.000	tons/år	Træ

Omstillingen fra konventionelle byggematerialer til biogene materialer i de angivne konstruktionsdele sker ikke pludseligt, men er i denne rapport antaget udfoldet over en tiårig periode, hvor nybyggeriet omstilles med yderligere 10 % for hvert år. Fra år 2032 regnes omstillingen at være fuldendt. Herefter vil nybyggeriet lagre kulstof svarende til 1,8 mio. tons CO_2/år i det

følgende årti, og derefter vil det falde til 1,7 mio. tons CO_2/år over de næste 30-50 år, afhængigt af levetiden af hovedkonstruktionen. Først derefter vil den årlige kulstoflagring klinge af som følge af balance mellem tilgang af biogent kulstof fra nybyggeri og afgang af biogent kulstof fra nedrivning efter endt levetid (antaget: 50 år eller 75 år), se Figur 2. Til sammenligning giver det nuværende forbrug af beton i dansk byggeri en CO_2-udledning på samlet 1,5 mio. tons CO_2/år (Thrane et al., 2019). Dog vil denne udledning falde som følge af substitutionen af beton med biogene materialer i det lave og høje byggeri, der repræsenterer 57 % af udledningerne fra dansk beton, hvorimod resten kommer fra anlæg (Thrane et al., 2019).



Figur 2. Kulstoflagring i nybyggeri fra 2022 til 2100 ved brug af biogene materialer og nuværende, kendt anvendelse af materialer. Levetiden af facadematerialer er anslået til 20 år, og for hovedkonstruktionen enten 50 år eller 75 år. Kulstoflagringen i de biogene materialer er angivet som den tilsvarende mængde CO_2.

Tilvirkningen af byggevarer af biogene materialer kan foregå både ved hjemlig produktion af de nødvendige biogene ressourcer og import af råvarer som fx svensk konstruktionstræ. De største fordele for Danmark i form af økonomisk udbytte, beskæftigelse og klimaregnskab (som beskrives i følgende afsnit) kommer ved forædling af danskproducerede råvarer til det danske byggeri. I Tabel 2 herunder er angivet den omtrentlige nuværende danske produktion af træmaterialer, der går til byggeriet. Tallene dækker således ikke over den samlede produktion, idet en del træmaterialer går til andre sektorer i industrien, fx møbelproduktion og emballage. Produktionen af brædder til facadebeklædning kendes ikke, hvorimod det estimeres, at en tredjedel af det savskårne nåletræ bliver til konstruktionstræ. De resterende to tredjedele af det savskårne nåletræ, som tilgår byggeriet, udgør ~72.000 tons pr. år, som ikke er redegjort for i tabellen. Potentialerne for at forøge produktionen af træmaterialer til byggeriet baseret på forskellige nuværende materialestrømme er angivet i samme tabel. Her medregnes ikke en øget produktion i skovbruget, men udelukkende forædling af eksisterende ressourcer, der ikke udnyttes optimalt i forhold til at optimere dansk produktion af byggematerialer. Derudover er mulighederne for at øge produktionen af specifikke landbrugsafgrøder eller marine ressourcer (foruden ålegræs) til byggematerialer ikke medregnet.

For konstruktionstræ og facadebeklædning kan en øget produktion komme fra den nettoeksport af danskdyrket rundtømmer af nåletræ (ca. 39 %), der eksporteres direkte uden forarbejdning i Danmark, se bilag 24, *Potentiale for danske træprodukter*. For trægulve kan en øget produktion komme fra den tilsvarende nettoeksport af løvtrækævler (ca. 14 %). Afskær fra produktion af savskåret træ af runde træstammer udgør en stor ressource af træfibre med høj kvalitet til fx fiberisolering eller plademateriale. Det er kun omkring halvdelen af

træstammen, der udnyttes til materialer ved savskæring, mens afskæret ofte udnyttes til energi. Herudover er der årligt omkring 100.000 tons af det genindvundne træaffald, som bliver til energi, selvom det har en renhed og kvalitet til at kunne genanvendes, fx til plademateriale.

Tabel 2. Nuværende dansk produktion af træmaterialer, der går til byggeriet, samt potentialer for at øge denne produktion fra forskellige materialestrømme uden at mindske udbuddet af materialer til andre dele af samfundet. * Antaget tab af materiale på 10 % ved opskæring af savværkskævler af nåle- og løvtræ. ** Antaget tab af materiale på 30 % ved konverteringen fra savskåret løvtræ til gulvmateriale.

	Nuværende		Vækstpotentiale		Ressource
Facadebeklædning	?	tons/år	~22.000	tons/år	Rundtømmer, der eksporteres
Fiberisolering	0	tons/år	~225.000	tons/år	Fibre fra afskær på savværker *
			~42.000	tons/år	10 % af energitræ fra skovbruget
			~340.000	tons/år	10 % af uudnyttet halm
Plademateriale	~50.000	tons/år	~100.000	tons/år	Rent genbrugstræ til energi
			~340.000	tons/år	10 % af uudnyttet halm
			~22.000	tons/år	Bjerget ålegræs
Konstruktionstræ	~36.000	tons/år	~22.000	tons/år	Rundtømmer, der eksporteres
Trægulv	~28.000	tons/år	~4.000	tons/år	Rundtømmer, der eksporteres **

3.3 Effekt på Danmarks nationale klimaregnskab

Danmarks klimaregnskab for samfundets forskellige sektorer afrapporteres årligt til FN. Principperne for rapporteringen af regnskabsførelsen er udarbejdet af IPCC i 2006 med hyppige revisioner. Grundlæggende er det nationale klimaregnskab produktionsbaseret, hvilket betyder, at kun udledninger fra hjemlig produktion medtages i Danmarks regnskab. Således afrapporteres klimaaftrykket for de varer, der importeres til landet, på klimaregnskabet for det land, hvor varerne er produceret.

Når danske biogene ressourcer anvendes til byggematerialer, der erstatter andre materialer, så vil efterspørgslen for sidstnævnte mindskes, hvilket kan medføre en mindre produktion. Hvis disse materialer har et højere klimaaftryk end de biogene materialer, så vil substitutionen føre til mindre CO_2 udledninger fra materialeproduktion. Hvorvidt denne reduktion tæller med i Danmarks klimaregnskab, afhænger af, om de materialer, der erstattes, bliver produceret i Danmark eller i udlandet. For eksempel vil en reduktion i produktionen af dansk beton kunne aflæses som mindskede CO_2-udledninger fra dansk industriproduktion. Derimod vil et fald i for eksempel den udenlandske produktion af stål – som følge af reduceret dansk import af stål – afspejles i klimaregnskabet for det land, hvor stålet er produceret. Den reelle reduktion er den samme, dog med mindre CO_2-udledninger fra international transport ved en mindsket import, men bogføringen afhænger af materialernes oprindelsesland.

Udover at biogene materialer kan mindske CO_2-udledningerne gennem substitution af andre materialer, så indeholder biogene materialer kulstof. Dette lagrede kulstof tæller i visse tilfælde også med i afrapporteringen af Danmarks klimaregnskab. For denne rapports vedkommende er det afrapporteringen for landsektoren (landbrug og skovbrug), der er relevant. Når et træ i skoven fældes, bogføres det kulstof, der er lagret i træet, som en udledning af CO_2. Hvis dele af træet anvendes til varige træprodukter (HWP, Harvested Wood Products), kan den mængde kulstof, der overføres til produkterne, modregnes i udledningen fra skoven. I 2019 bidrog træprodukter med en negativ emission på 321.000 tons CO_2, dvs. træprodukterne bidrog til at reducere Danmarks drivhusgasudledning. Materialer fra landbrug indregnes ikke på samme måde i klimaregnskabet, idet mængden af varige produkter baseret på landbrugsbiomasse er begrænset eller ikkeeksisterende. Der medregnes udledninger af lattergas og metan fra markafbrænding af halm. Generelt er afbrænding af halm på

marken forbudt i Danmark, dog må halm fra frøgræs og ødelagte halmballer afbrændes. I 2019 blev 63.000 tons halm afbrændt, og det bidrog marginalt til den samlede drivhusgasudledning. Træ, som anvendes til energiformål, kan ikke modregnes, men bogføres ikke som en udledning fra energisektoren, idet det allerede er bogført som en udledning fra landsektoren.

Træ forarbejdes til mange forskellige produkter, og det ville være uoverkommeligt at redegøre for alle sammen. Derfor opgøres produktionen af træprodukter og HWP-kulstoflagret i tre halvfærdige produkter: savskåret træ, træplader samt papir og pap. De tre produktgrupper anses som varige, men kulstoffet antages ikke lagret for evigt. Det antages, at træprodukterne forgår eksponentielt, og det lagrede kulstof bliver udledt til atmosfæren over tid. For savskåret træ, plader og papir/pap er halveringstiden vurderet til hhv. 35, 25 og 2 år. Inden for IPCC's retningslinjer er der flere måder at opgøre træprodukternes bidrag til klimaregnskabet på, og forskellige lande vælger mellem disse tilgange, hvorfor det kan være svært at sammenligne data på tværs af lande, og det kan ikke undgås, at der er noget træ, der ikke redegøres korrekt for. I det danske klimaregnskab redegør vi for træ høstet i danske skove, som forarbejdes i Danmark (Nielsen, O.-K. et al., 2021). Da vi i Danmark anvender meget mere træ, end de danske skove producerer, og følgelig har en stor import af træ, betyder det også, at en stor del af det kulstof, der er lagret i træprodukter i Danmark, modregnes udledninger i andre landes klimaregnskab.

I denne rapport er forskellige tiltag til at fremme produktionen og anvendelsen af biogene materialer til byggeriet i Danmark skitseret. I det følgende vil det kort blive beskrevet, hvilke af disse tiltag der også vil bidrage til det afrapporterede klimaregnskab til FN.

- Større produktion og herved større optag af kulstof fra atmosfærens CO_2 i skovene (afsnit 5.4.1, *Træ fra skovbruget*): Et større kulstofoptag i skovene afskrives, når træer fældes og anvendes til produkter, men til gengæld øges herved puljen af kulstof (regnet som den tilsvarende mængde CO_2) lagret i træprodukter (HWP).
- Forarbejdning af dansk træ til træprodukter på danske savværker: Større pulje af lagret kulstof (regnet som CO_2) i træprodukter (HWP) afrapporteret til FN, idet eksporteret rundtømmer og kævler ikke medregnes i noget klimaregnskab – heller ikke i lande, der importerer og videreforarbejder træet til materialer.
- Større anvendelse af biogene materialer til byggeriet: Færre CO_2-udledninger fra dansk produktion af de materialer, som herved erstattes.
- Optimeret udnyttelse af træ til produkter (afsnit 9.1, *Optimeret udnyttelse af biogene ressourcer*): Større pulje af kulstof (regnet som CO_2) lagret i træprodukter (HWP). Effekten afhænger af, hvilke produktkategorier som forøges, samt deres antagne levetid.
- Optimeret brug af biogene materialer i byggeriet (afsnit 9.3, *Optimeret brug af biogene materialer i byggeriet*): Færre CO_2-udledninger fra dansk produktion af materialer gennem mindsket forbrug af materialer per kvadratmeter bygningsareal.

4

BIOGENE RESSOURCER

4 BIOGENE RESSOURCER

I dette afsnit beskrives biogene materialers struktur og egenskaber, som gør dem egnede til at blive anvendt i byggematerialer og komponenter. Afsnittet har fokus på plantebaserede materialer, men de biogene resurser omfatter ligeledes ressourcer fra vandmiljøer. I afsnit 5.3, *Marine biomasser*, behandles de mulige anvendelser af restprodukter fra skaldyrs-fødevareproduktion nærmere, afsnit 5.3.1, *Muslingeskaller* og afsnit 5.3.4, *Chitosan*.

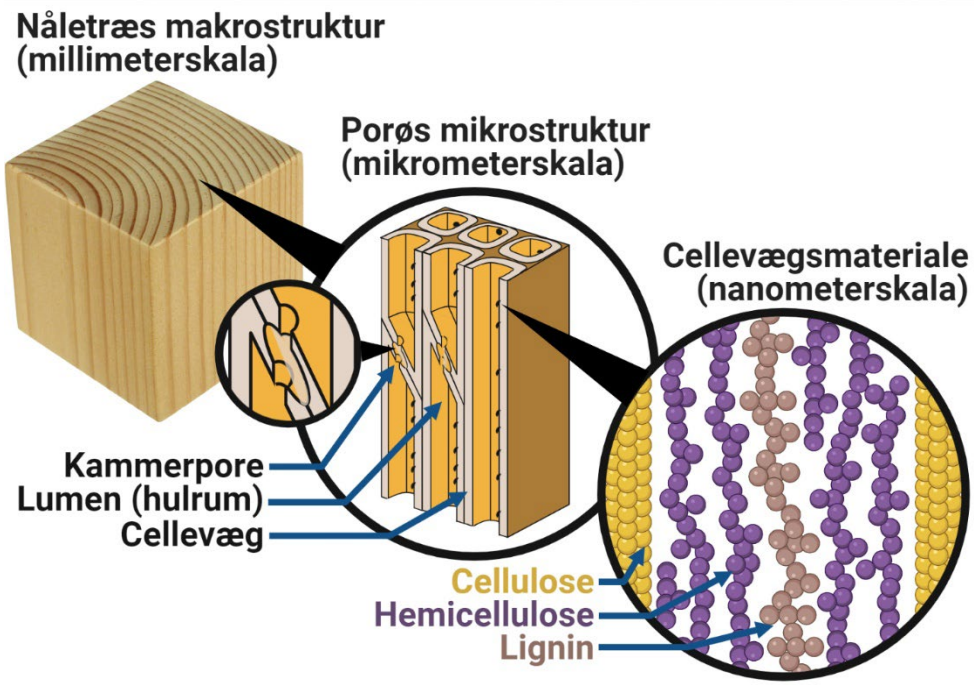
4.1 Kulstoflagring i biogene materialer

Planter vokser ved fotosyntese, hvor energi fra solens lys bruges til at lave sukkermolekyler af CO_2 indfanget fra atmosfæren og vand opsuget fra rødderne. Her bindes kulstoffet fra CO_2 i sukkermolekylerne, mens ilten (O_2) udskilles igen til atmosfæren. Planterne bruger sukkermolekylerne til at vokse ved at omdanne dem til kemiske stoffer, såsom cellulose, hemicellulose og lignin, der er nogle af byggestenene for plantemateriale. Alle disse byggesten indeholder således det kulstof, der blev indfanget fra atmosfærens CO_2, da plantematerialet blev skabt. Kulstof udgør omtrent halvdelen af plantematerialet, der således indeholder cirka 500 gram kulstof per kilogram materiale. Eftersom planterne kun udnytter kulstoffet fra det indfangede CO_2 og frigiver ilten (O_2) igen, så svarer massen af et plantemateriales kulstof til en cirka 3,7 gange større masse CO_2. Således optager en plante cirka 1,8 kilogram CO_2, udnytter de 500 gram kulstof og frigiver 1,3 kilogram ilt, når den producerer 1 kilogram plantemateriale af vand og CO_2. Planter er specielle biologiske organismer, idet de kan optage CO_2 direkte fra atmosfæren og bruge kulstoffet til at vokse med. Andre biologiske organismer såsom dyr bruger også kulstof til at danne materiale og til at vokse med, men dette kulstof kommer ikke direkte fra atmosfærens CO_2, men derimod fra de planter, som dyrene spiser, eller som disse dyr får ved at spise andre dyr, der har fået kulstof fra planter. Således indlejrer alle biologiske organismer kulstof i det materiale, de er lavet af.

4.2 Danske biogene ressourcer til byggematerialer

Biogene ressourcer består af materialer, der kemisk har mange lighedspunkter, men som er opbygget lidt forskelligt. Plantemateriale er således forskelligt, alt efter om det kommer fra blade, stængler, grene, rødder eller frø. En af de mest betydende typer biogent materiale globalt set er træ, og derfor er der i det følgende særligt fokus på denne biogene ressource. Træ er det materiale, der findes inde i grene, rødder og stammer af de levende træer. Træ er opbygget af hule celler, der er markant længere på langs af stammen end på tværs. Typisk er cellerne omkring 1-3 mm lange og omtrent 10-100 gange mindre på tværs. Derfor virker disse celler som lange sugerør, der kan transportere vand fra rødderne op til det levende træs krone. I de dele af verden, hvor klimaet skifter mellem sommer og vinter, varierer størrelsen på nye celler og tykkelsen af deres cellevægge, der dannes hen over året. Således dannes celler med store hulrum og tynde cellevægge i begyndelsen af vækstsæsonen (foråret). Dette kaldes vårved. Hen imod slutningen af vækstsæsonen (efterår) dannes mindre celler med tykkere cellevægge, som kendes som høstved. Det materiale, som vårved og høstved er opbygget af, er det samme, men forskellen i størrelsen og mængden af hulrum hen over vækstsæsonen giver en forskel i farven, hvilket kan ses som en årring, Figur 3. Da

forskellen i farve kun er udtryk for en forskel i porøsitet, varierer tætheden hen over en årring, og for nåletræer og ringporede løvtræer giver en større andel af høstved således en højere densitet. Dette skyldes primært en forskel i porøsiteten i det materiale, som træerne danner. Spredtporede løvtræer har mindre forskel i densitet imellem vårved og høstved.



Figur 3. Træs struktur på millimeter-, mikrometer- og nanometerskala. Figur: Emil E. Thybring, BioRender.com.

Når de levende træer opnår en vis alder, mindskes deres behov for transport af vand i de indre dele af stammen. Denne del isoleres derfor fra den vandførende del af stammen, ved at der lukkes for strukturen. Den indre del kaldes for kerneved, mens den vandførende del kaldes splintved. I visse træarter dannes der endvidere kemiske stoffer (kernestoffer), der aflejres i den indre del af stammen og beskytter materialet mod angreb fra skadevoldere, hovedsageligt svampe. Gradvist udvides mængden af kerneved i stammen, i takt med at det levende træ vokser. Kerneved er i mange træarter kendetegnet ved at være mere modstandsdygtigt over for biologisk nedbrydning såsom råd, mens splintved ikke er særligt modstandsdygtigt.

Træs opbygning, med hovedparten af cellerne orienteret på langs af stammen, giver en høj styrke og stivhed i denne retning og markant ringere mekaniske egenskaber i retningerne på tværs af stammen. Da træmaterialer er dannet i et vandigt miljø inde i det levende træ, har fugt (vand) en afgørende betydning for egenskaberne, når materialet anvendes til byggeriet. Træmaterialer udveksler konstant vandmolekyler med omgivelserne, og jo højere luftfugtigheden er omkring materialet, des mere fugt optager det. Hvis træets fugtindhold ændres, vil det medføre ændringer i træets styrkeegenskaber samt i materialets dimensioner, særligt på tværs af stammens længderetning. På tværs af stammens længderetning ændres dimensionerne typisk omkring 10 % fra helt våd til helt tør tilstand, hvilket er betydeligt mere end mange uorganiske byggematerialer. Hvis indholdet af fugt i materialet overstiger 20-25 % af træets tørmasse over længere tid, er der risiko for, at trænedbrydende svampe forårsager råd. Dette sker typisk, hvis træmaterialet er i kontakt med jorden, eller hvis vand, fra fx regn, fanges i revner i en konstruktion, hvorfra det ikke kan løbe ud igen, eller på anden måde udsættes for vedvarende fugtpåvirkning.

Råvarer fra landbruget er langt overvejende 1-2-årige blade, stængler og frø, som produceres fra en række meget forskellige afgrøder. Landbrugsafgrøderne består ligesom træ af

celler, men disse kan have en anden geometri og en lidt anden kemisk sammensætning som vist i tabel 1. Som følge af den korte levealder og mindre størrelse af landbrugsafgrøder end skovens træer er sammensætningen af landbrugsråvarer noget forskellig fra træ. Tabel 3 viser således, at der er mindre lignin og mere hemicellulose i en typisk landbrugsråvare som halm end i træ, og der vil ofte være et betydeligt askeindhold (mineraler). Derudover kan der være højt indhold af sukker, stivelse og protein, som er de råvarer, man hidtil primært har ønsket at udnytte fra landbruget.

Tabel 3. Typisk sammensætning af træ og halm (Jørgensen og Olsson, 2002). Sammensætning af træ og halm. Indholdet af cellulose, hemicellulose og lignin er opgivet i vægtprocent af tørvægt.

Plantetype	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
Nåletræ	52	17	28
Løvtræ	54	21	22
Hvedehalm	39	36	10
Byghalm	44	27	7
Havrehalm	41	16	11

4.3 Materialeegenskaber

Træ anvendes i stor udstrækning allerede i byggeriet, fx i form af spær, bjælker og træskeletkonstruktioner af konstruktionstræ, plader af krydsfiner, spåner eller savsmuld, og som løse fibre til varme- og lydisolering. Biogene materialer substituerer således i en vis udstrækning allerede konventionelle, ikke-fornybare byggematerialer. De egenskaber ved biogene materialer, der skal tages særligt højde for i deres anvendelse i byggeriet og i selve byggeprocessen, er fremhævet i Tabel 4, hvor egenskaberne er vurderet i forhold til konventionelt anvendte materialer i byggeriet som stål, beton, tegl og mineraluld.

Tabel 4. Cellulosebaserede materialers egenskaber, fordele og udfordringer.

	Fordele	Udfordringer
Fornybar og dyrkbar	Ressourcen slipper aldrig op, hvis den forvaltes bæredygtigt.	Kræver areal til dyrkning.
Kulstoflagring	Under væksten optages CO_2 fra atmosfæren. Indlejrer og fastholder kulstof i materialet.	Kulstoflageret ophører ved nedbrydning (biologisk eller afbrænding).
Hygroskopisk (optager fugt)	Regulerer fugtniveauet i indeklimaet.	Ændrer størrelse ved ændring af fugtindhold. Bygningsdele skal udføres, opbevares og indbygges fugtteknisk kontrolleret. Højt fugtindhold fører til biologisk nedbrydning.
Mekaniske egenskaber	Let materiale set i forhold til styrke og stivhed.	Deformerer gradvist over tid ved belastning.
Varmeledningsevne	Lav varmeledningsevne.	

Tabel 4 fortsat

Bearbejdelighed	Kan forarbejdes og tilpasses med enkelt værktøj i industrien og på byggepladsen. Kan formgives til organiske former. Kan sammenlimes til større konstruktionselementer. Kan forædles gennem udlusning af knaster og svage partier i industrien eller ved reparation. Kan genanvendes, fx findeles til fibre eller spåner.	Granuleret materiale kan støve med fibre, støv og svampesporer.
Brændbarhed	Kan udnyttes til energi efter endt brug. Store, massive dimensioner har stor brandmodstand, styrke og stabilitet, som reduceres proportionalt med det bortbrændte materiale.	Kræver fornuftigt brandteknisk design og evt. behandling for at opnå større brandmodstand.
Nedbrydning og misfarvning	Kan komposteres efter endt brug uden deponi. Overflader patinerer.	Nedbrydes af rådsvampe ved højt fugtindhold over længere tid. Overflader patinerer uensartet (UV-lys, alger, mv.).

5

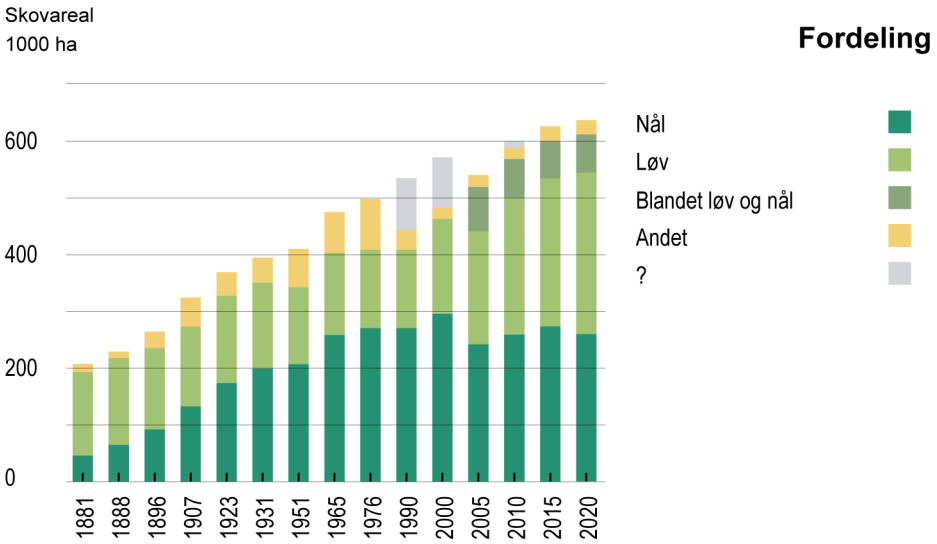
DANSKE BIOGENE RESSOURCER NU OG I FREMTIDEN

5 DANSKE BIOGENE RESSOURCER NU OG I FREMTIDEN

Dette afsnit beskriver tilgængeligheden af danske biogene ressourcer, der er egnede til produktion af materialer til byggeriet. Derudover vurderes potentialet for fremtidig produktion og nye, optimerede anvendelser af de biogene ressourcer til byggeriet.

5.1 Træ fra skovbrug

I Danmark udgør skovene 14,7 % af landets areal. I henhold til de seneste opgørelser er skovarealet svagt stigende, se Figur 4. Træ fra dansk skovbrug er en fornybar ressource. Dette skyldes, at træet produceres som en del af fotosyntesen og derfor naturligt kan gendannes, når ressourcen udnyttes i form af hugst. Medvirkende til træet status som en fornybar ressource er også, at lovgivningen for størstedelen af skovarealet sikrer, at skovene forynges naturligt eller ved plantning, efterhånden som træerne fældes.



Figur 4. Skovareal i Danmark i perioden 1881 til 2020.

I den seneste opgørelse fra Danmarks Skovstatistik var den samlede vedmasse i skovene 138 mio. m^3, og den samlede vedmassetilvækst 5,8 mio. m^3/år, svarende til 8,7 m^3/ha/år. Den samlede hugst og naturlige afgang af træer er beregnet til 4,6 mio. m^3/år. Heraf vurderes den samlede hugst at være 4,0 mio. m^3. Således øges vedmassen i skovene årligt med 1,2 mio. m^3/år.

I den seneste opgørelse fra Danmarks Statistik (2019), der i modsætning til Danmarks Skovstatistik er baseret på spørgeskemaundersøgelser, er den samlede hugst opgjort til 3,8 mio. m^3, hvoraf 68 % var nåletræ og 32 % løvtræ. Af den samlede hugstmængde blev 43 % udnyttet til gavntræ (til konstruktion, møbler, gulve mv.), og 57 % blev anvendt til energi i form af brænde, skovflis eller rundtræ til energi. Set ud fra træarter bliver omkring 22 % af løvtræet til gavntræ, mens 78 % anvendes direkte til energiformål. For nåletræet anvendes 53 % til gavntræ. Andelen af energitræ i hugsten har over en længere periode været stigende. Af det samlede forbrug af træ kommer 1/3 fra indenlandsk produktion, mens 2/3

kommer fra import. Ser man på energitræet, kommer godt halvdelen fra den indenlandske produktion, mens omkring 1/6 af savskåret træ og træbaserede plader stammer fra indenlandsk produktion.

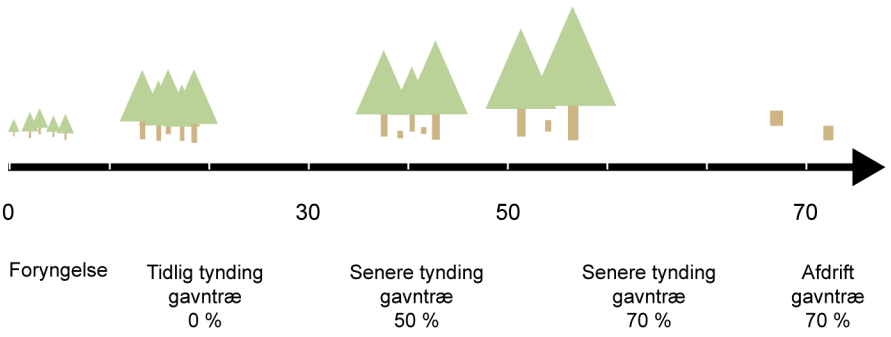
5.1.1 Restprodukter

I forbindelse med tyndinger og hugst vil en del af træet være for småt, skadet, råddent eller af en art, som ikke aftages af savværksindustrien. Om end træ til energiformål dårligt kan anses som et restprodukt, fordi det finder anvendelse i energiforsyningen, er energitræ dårligt betalt og sjældent det egentlige mål med træproduktionen og opfattes derfor i det følgende som et restprodukt. I skovbruget kommer restprodukterne fra alle dele af skovbevoksningernes liv og flere led i produktkæden, Figur 5.

I tidlige tyndinger, der er vigtige for bevoksningens fremtidige udvikling, er det udtyndede træ typisk meget småt og finder med den nutidige afsætning ikke anvendelse som gavntræ. Således enten efterlades træet for både løv- og nåletræer i skoven eller hugges til skovflis og bliver brugt til energi i kraft-varme-sektoren.

I de senere tyndinger begynder træet at få en størrelse, hvor det kan afbarkes og bruges til fiberprodukter (fx til papir), i den kemiske industri og for nåletræets vedkommende også til eksempelvis emballage (paller). Når træet opnår en større størrelse, begynder en stigende andel at blive anvendt til gavntræ i form af bygningstømmer (for nåletræet) og til mindre elementer i møbel- og gulvindustrien. Træets mindste diameter er her typisk 15-20 cm. De mindre dele af træet finder her fortsat anvendelse som fiber- og kemiprodukter og som energitræ. I de sene tyndinger, hvor træet er blevet stort, er andelen af gavntræ stort – for nåletræet op imod 90 % og for løvtræet 50-70 %. Af nåletræet bliver op imod 70 % til bygningstømmer, mens det for løvtræet er 45-50 % af de store træer, der bliver til møbeltræ. Andelen af træ til energi er i reglen højere for løvtræerne end for nåletræerne, fordi grene og stammer ofte er mindre regulære og derfor passer dårligt til industriens krav.

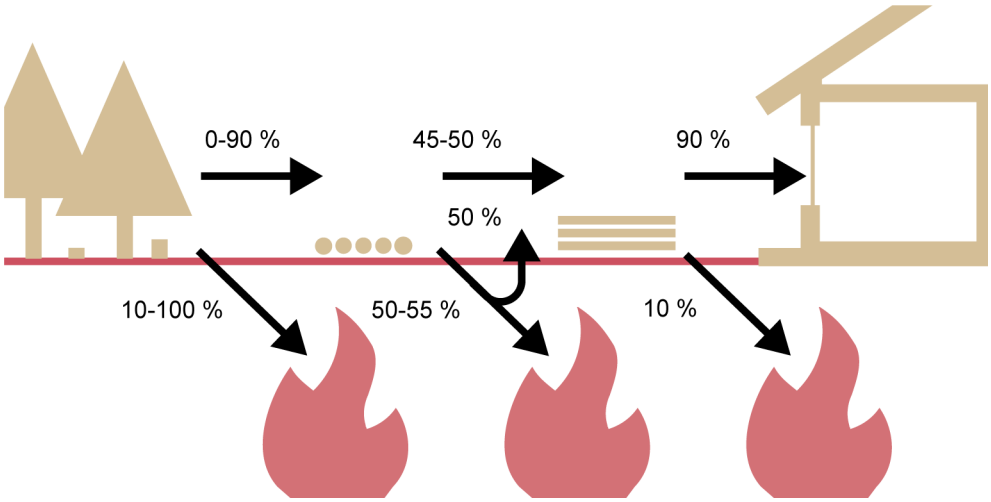
Alt i alt er der et meget stort potentiale for at udnytte restprodukter fra skovene, hvor 47 % af det producerede nåletræ og 78 % af det producerede løvtræ bliver brændt af umiddelbart efter fældning. Træet kan finde anvendelse enten som fiberprodukter eller i mindre dele som sammenlimede komponenter



Figur 5. Andelen af gavntræ over en omdrift for nåletræ, som her er angivet til 70 år. Omdriftsalderen afhænger af træarten såvel som vækstbetingelserne og varierer mellem 40 og 90 år for nåletræerne og 80-160 år for løvtræerne.

Når de runde stammer i det næste led skæres til firkantede emner, vil der være et vist tab i form af fraskær, savsmuld og høvlspåner. Skæreudbyttet ligger typisk på 45-50 % af den oprindelige masse for både løv- og nåletræ. En del af disse rester bruges til energi, men en del anvendes til spånplader og papirmasse. Andelen, der anvendes til nye produkter, er ukendt.

Når de færdige træprodukter finder anvendelse i byggeri, møbelproduktion eller andre steder, sker der en yderligere tilskæring, slibning og høvling, hvor anslået 10 % af træet bliver til rester og afbrændt. Samlet set kan vedmassen, der ender i et færdigt produkt, fra hugst af modent nåletræ reduceres til 32 %, hvis hugstudbyttet af gavntræ er 70 % med et skæreudbytte på 50 % og et endeligt fraskær på 10 %, se Figur 6.



Figur 6. Vedmassens vej fra hugst af modent træ til byggevarer anvendt i byggeriet.

Prisstrukturer i skovbruget sikrer, at der er et ganske lille incitament til at producere træ til energiformål sammenlignet med træ til konstruktion eller andre forbrugsgoder. Når så stor en andel af træet går til energiformål, skyldes det derfor i høj grad manglende anden afsætning for en stor andel af træressourcen. Dette er en udfordring, når det drejer sig om at sikre den grønne omstilling og et fremtidigt klimaneutralt samfund, fordi varige træprodukter bidrager langt mere til imødegåelsen af klimaforandringer end træ, der bruges til energi.

5.1.2 Genanvendt træ

I dag genanvendes træ fra husholdninger og fra byggepladser. Det indsamlede træ bliver visuelt kontrolleret, og større urenheder fjernes. Kvaliteten af det indsamlede produkt er betydende for, hvad træet efterfølgende kan anvendes til. Rent træ kan genbruges som råvare i produktionen af eksempelvis spånplader, mens træaffald med urenheder som eksempelvis malingrester, plast eller biocider i trykimprægneret træ bliver brændt, og energien udnyttet til el- og varmeproduktion. Den samlede mængde træaffald udgør omtrent 400.000 tons om året, hvoraf halvdelen anvendes til spånplader og resten til energi. Af sidstnævnte sendes årligt 100.000 tons træaffald til energiproduktion, selvom træmaterialets fibre er af en beskaffenhed, der er god nok til at kunne blive genanvendt i nye materialer (Miljøstyrelsen, 2018).

5.2 Landbrugsressourcer

Det danske landbrugsareal dyrkes i dag overvejende med enårige korn- og frøafgrøder. Det giver en stor mængde halm til rådighed (Figur 7), hvoraf der i 2015-2019 i gennemsnit blev brugt 1,49 mio. tons tørstof til energiudnyttelse (Mortensen og Jørgensen, 2022), mens 1,56 mio. tons blev brugt til foder og strøelse ved husdyrene. Vinterhvede er den mest udbredte afgrøde, og dermed er det hvedehalm, der er den største ressource, efterfulgt af vårbyg, raps, rug og vinterbyg. De forskellige halmtyper har forskellige mekaniske egenskaber ved

teknisk anvendelse. Samtidig kan halmens lignin udnyttes i biobaserede bindemidler til byggevarer (Ghaffar og Fan, 2014).

Der var stadig 3,42 mio. tons tørstof, som ikke blev anvendt, men som typisk er blevet nedmuldet til gavn for jordkvalitet og kulstoflagring. Det vurderes dog, at det på størstedelen af landets jordtyper vil være forsvarligt at udtrække mere halm, fx til byggeri, uden at kompromittere jordkvaliteten (Mortensen og Jørgensen, 2022). Og for den samlede drivhusgasbalance vil det være mere effektivt at lagre kulstof i bygninger end i dyrkningsjorden, hvor typisk 85 % af kulstoffet i halm vil være omsat til CO_2 efter 20 år (Christensen, 2004).

Figur 7. Halm er en stor ressource i landbruget. Foto: Colourbox.

På landbrugsarealet er der tradition for at ændre afgrøde mellem årene (sædskifte), og landmænd kan på kort tid tilpasse sig nye markedsvilkår og potentielt levere betydelige mængder biogene materialer til anvendelse i byggeriet. Det kunne fx være produktion af hamp eller hør til isoleringsmåtter, hvilket er udviklet, men endnu kun har et meget begrænset marked. I Danmark dyrkes i dag hamp på ca. 350 ha, men ikke noget fiberhør (Landbrugsstyrelsen, 2021). Der dyrkes på et mindre areal på knap 8.000 ha træagtige afgrøder (pil, poppel og el) på landbrugsjord, som ved hyppig høst leverer træflis primært til energi. Ved behov for øgede mængder træmasse til fremstilling af fx spånplader vil denne produktion hurtigt kunne øges (det tager ca. tre år fra plantning til første høst af pil). Disse afgrøder har – sammenlignet med enårige afgrøder – samtidig den fordel, at de har meget lav nitratudvaskning og derfor kan benyttes til at opfylde landbrugets krav til reduceret næringsstoftab til vandmiljøet.

Det er dog i dag kun en meget lille andel af arealet, som anvendes til decideret materialeproduktion, fordi der ikke har været noget markedstræk efter materialer til en pris, som er attraktiv for landmanden.

Et eksempel på, hvor der anvendes biogene materialer fra landbruget, er tækkebranchen. Tagrør, og tidligere også langhalm (rughalm), var en almindelig tagbeklædning i Danmark, indtil det i begyndelsen af 1800-tallet blev forbudt i byerne på grund af brandfare (www.baeredygtigtbyggeri.dk). Siden har nybyggeri med stråtag været et sjældent syn, bortset fra i visse sommerhusområder.

I moderne byggeri bliver stråtaget nu mere almindeligt igen – dels på grund af æstetik og den øgede interesse for bæredygtigt byggeri, dels fordi risikoen for brandfare er reduceret betydeligt. På baggrund af nye test og med hjælp fra en brandsikker glasfiberdug er kravet om afstand fra en bygning med stråtag til skel fra juli 2016 blevet halveret fra 10 meter til 5

meter, hvilket betyder, at man igen kan bygge med stråtag i byerne. Straatagets Kontor vurderer, at der tækkes ca. 300.000 m^2 tag årligt i Danmark, hvortil der benyttes ca. 2,4 mio. tækkebundter. Figur 8 viser Vadehavscentret som et eksempel på dansk arkitektur med glas, stål og tækning.

Figur 8. Eksempel på dansk arkitektur med glas, stål og tækning. Dorte Mandrup, Vadehavscentret. Foto: Adam Mørk.

De traditionelle tagrør høstes langs fjorde og søer, men er ofte begrænset af høstrestriktioner af hensyn til bl.a. fugleliv, og derfor importeres i dag hovedparten (ca. 85 %) af det danske tækkemateriale. En anden mulighed er at dyrke strå af elefantgræs på almindelig landbrugsjord. Der er tale om særligt tyndstråede elefantgræs af arten *Miscanthus sinensis,* som ligner tagrør meget. Dyrkning af disse på landbrugsjord blev først afprøvet ved Statens Planteavlsforsøg i 1980'erne, primært med henblik på udnyttelse til energi. I et samarbejde med Dansk Tækkelaug udvalgte man senere nogle af de mest velegnede kloner af rørene med gode tækkeegenskaber til opformering, og den japanske tækketeknik med miscanthus blev studeret (Kjeldsen et al., 1999). Det vanskeligste har været at etablere arealer med 'tækkemiscanthus' tilstrækkeligt billigt og sikkert til at opnå en rentabel produktion, hvilket Miscanthusavlerforeningen fortsat arbejder på at optimere (www.miscanthus.dk). Der dyrkes i dag ca. 60 ha med elefantgræs til tækning, se Figur 9.

Figur 9. Tækkemand Søren Vodder med strå af miscanthus, han selv har dyrket. Foto: Torben Worsøe.

En anden mulighed er at begynde at dyrke tagrør på landbrugsjord. Det kunne ske på de lavbundsarealer, som skal vådlægges, og som vil være særdeles velegnede for tagrør at

vokse på. Aftalen om grøn omstilling af dansk landbrug mellem regeringen og et bredt flertal af Folketingets partier i oktober 2021 vil gøre det muligt at omlægge i alt 88.500 ha lavbundsareal, og der nedsættes en ekspertgruppe for at analysere mulighederne for at komme op på udtagning af i alt 100.000 ha. Pilotforsøg ved Aarhus Universitet har vist, at det er muligt at udplante småplanter af tagrør på lavbundsarealer, men det har ret høje omkostninger, så det er usikkert, om det kan blive en rentabel forretning. En fordel ved at dyrke afgrøder og høste materiale fra arealerne vil være, at det kan fjerne næringsstoffer og medvirke til at reducere eutrofieringen[1] af lavbundsarealerne. En sådan udvikling kan sikre plads til både decideret natur med beskyttelse mod eutrofiering og dyrkning af afgrøder til den grønne omstilling. Stråtagets Kontor har vurderet, at 60 % af det skønnede fremtidige danske forbrug af tagrør til tækning vil kunne produceres på 3.000-5.000 ha, altså kun en mindre fraktion af de vådlagte arealer. Hvis tækning kan blive en mere integreret del af nyt, klimavenligt byggeri, kan der blive behov for flere råvarer.

5.3 Marine biomasser

De marine ressourcer, der vurderes egnede i produktionen af byggevarer, inkluderer muslingeskaller, tang, ålegræs og chitosan, som alle er beskrevet i det følgende. Anden biomasse, fra fx fiskeindustrien, vil også kunne indgå i byggematerialer, primært i bindemidler, men er ikke behandlet i rapporten.

5.3.1 Muslingeskaller

Blåmuslingen (*Mytilus edulis*) er almindelig i danske farvande. Blåmuslinger høstes med skrab fra havbunden i Limfjorden og indre danske farvande og produceres derudover også i stigende grad på liner eller net. Der landes omkring 40.000 tons muslinger årligt i Danmark (https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/bagtal/2019/2019-04-05-blaamuslinger). Muslingerne forarbejdes til konsum ved varmebehandling, hvorved skallerne frigøres fra kødet, Figur 10. Skallen udgør ca. 40 % af muslingens vægt. Den årlige landing af blåmuslinger svarer således til en tilgængelig ressource på omkring 16.000 tons muslingeskaller om året. Muslingers hæftetråde (byssus) indeholder bestemte typer af proteiner (mussel foot protein, MFP), der i øjeblikket ligger til grund for udvikling af forskellige typer af lim (Fan et al., 2021). Byssus udgør ca. 14 % af muslingens vægt.

[1] Eutrofiering er overgødskning af søer, havområder, eller naturarealer med plantenæringsstoffer, især nitrat og fosfat.

Figur 10. Skaller af blåmuslinger efter varmebehandling, som skiller skaller fra kød. Foto: Colourbox.

Skaller af blåmusling er tidligere set som et affaldsprodukt fra konsummuslinger, der blev smidt tilbage i havet eller kørt til deponi. Nu anvendes skallerne i stigende grad, og især af selvbyggere, som et isolerende, kapillarbrydende og delvist bærende materiale i terrændæk, fundamenter, hulmure, vægge, etageadskillelser, tagbelægning – og også udendørs fx som vejfyld og på ridebaner. Skallerne udgør således et alternativ til konventionelle isoleringsmaterialer som mineraluld, glasuld og polyuretanskum i især terrændæk. For at undgå, at materialet sætter sig over tid, anbefales det at komprimere skallerne til skalgrus (Martínez-García et al., 2020). Muslingeskaller bruges også udendørs som vejfyld og som drænende underlag fx på ridebaner. I kraft af deres indhold af kalk, kan muslingeskaller bruges som en biogen erstatning for fossil kridt i produktion af cement (Mo et al., 2018). Denne anvendelse vil kunne opskaleres i fremtiden og bidrage til at reducere CO_2 aftrykket af cementproduktion. Aktuelt anvendes reststrømme af muslingeskaller til to formål i cementproduktion, først som bærelag for maskiner og transportbånd til udgravning af kridt, og siden bortgraves skallerne løbende sammen med kridtet, og indgår i produktionen af cement (https://www.aalborgportland.is/wp-content/uploads/2020/10/Aalborg_Portland_Miljoredegorelse_2019_web.pdf).

5.3.2 Tang

Når man taler om tang i forbindelse med byggematerialer, er det oftest ålegræs, der henvises til. Men ålegræs er ikke 'rigtig' tang. Tang er makroalger, og ålegræs er en blomsterplante, der lever i havet. Ålegræs er det materiale, der bruges til fx tangtage, tangmadrasser og tang-batts. Byggematerialer baseret på ålegræs omtales i et særskilt afsnit. Tang – makroalger – bruges ikke på samme måde som byggemateriale. Tang opdeles i tre overordnede grupper: brunalger, grønalger og rødalger.

Der produceres ca. 33 mio. tons tang globalt (Chopin, T. og Tacon, A.G.J., 2020), primært til fødevarer. I Danmark findes en mindre produktion af sukkertang på liner, mens andre arter, bl.a. blæretang, høstes fra naturen, (Arajou et al., 2021) Både sukkertang og blæretang er brunalger, se Figur 11.

Figur 11. Blæretang (Fucus vesiculosus) vokser på lavt vand langs de danske kyster. Blæretang er en brunalge og indeholder alginat. Foto: Colourbox.

Tang udnyttes primært kommercielt til produktion af hydrokolloider, som er fibre med gelérende og vandabsorberende egenskaber (Li og Nie, 2016). Alginat (E400-E405) udvindes fra brunalger, carrageenan (E407) og agar (E406) fra rødalger, men der er endnu ikke en kommerciel produktion af hydrokolloider fra grønalger. Algininsyre, også kaldet alginat, er en organisk kemisk forbindelse, som danner højviskøse opløsninger i vand. Alginat benyttes i fødevareindustrien som størkningsmiddel og kan i mange tilfælde erstatte gelatine. Ligeledes er carrageenan et vegetabilsk alternativ til gelatine. Agar bliver hovedsageligt brugt som fortykningsmiddel i fødevarer og som dyrkningsmedie i mikrobiologisk arbejde.

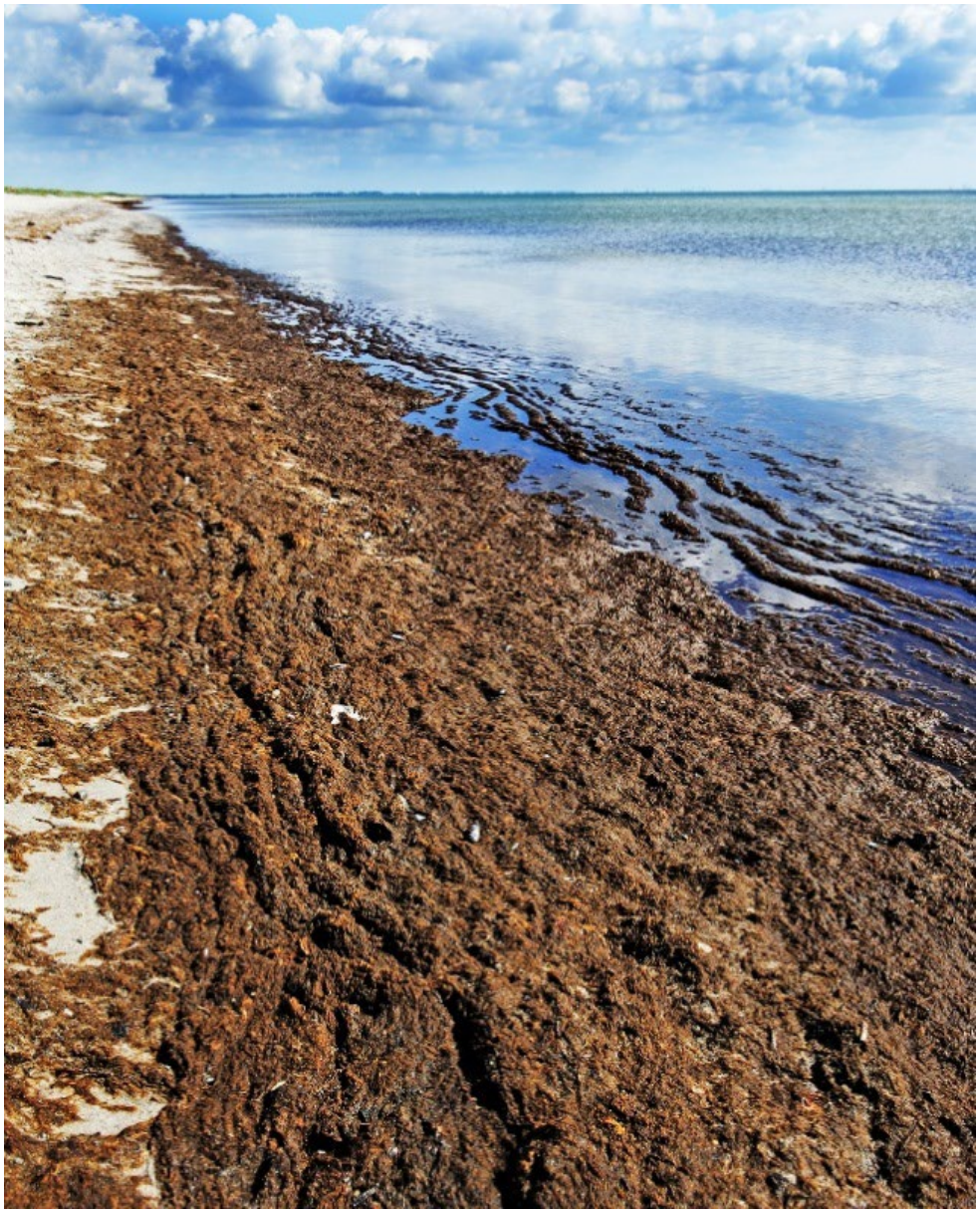
Tangfibre kan indgå i byggematerialer som kompositmateriale eller som bindemiddel. Tang bliver også testet som råmateriale til produktion af bioplastik og anden bæredygtig emballage (Lim et al., 2021). Tang optager ligesom andre planter CO_2 og næringsstoffer under væksten, og selve produktionen af sukkertang i danske farvande kan derfor ske med et negativt CO_{2-} og næringsstofaftryk (Zhang et al., In press). Bæredygtigheden af materialer fremstillet på baggrund af tang afhænger af den videre forbehandling og produktion (Thomsen og Zhang, 2020).

5.3.3 Ålegræs

Ålegræs (*Zostera marina*), også kaldet 'bændeltang', er en art af havgræs, en flerårig blomsterplante, der vokser i havet på dybder ned til 5-10 m. Ålegræs er almindelig i danske farvande, men har i det seneste århundrede været i tilbagegang, først på grund af sygdom, men siden 1980'erne især pga. eutrofiering. Det skønnes, at kun omkring 25 % af den oprindelige ålegræsbestand er tilbage. Da ålegræs er en vigtig nøgleart i det kystnære marine miljø og derfor også en direkte indikator for godt vandmiljø, bør man ikke høste levende ålegræs, men i stedet opsamle/bjerge ålegræs, der skyller i land. Ålegræssets lange blade afstødes løbende, skyller i land og ophobes på strande rundtom i Danmark. Det opskyllede materiale er ofte blandet med sand og tang, og det er en udfordring at få så rent et materiale som muligt. Især på Bogø, Tærø og Møn, hvor det opskyllede materiale er forholdsvist rent ålegræs, bjerger man nu ålegræs til brug for fremstilling af materialer. Ålegræsset bjerges

bl.a. med grab fra stranden og spredes ud til tørring på omkringliggende græsmarker. Mens det ligger på markerne, skal det have mindst 5 mm regn for at vaske udvendigt sand og salt af. Herefter tørrer det naturligt i løbet af et par uger. Når vandprocenten er under 15-20 %, presses ålegræsset til rundballer, der opbevares under tag indtil videre forarbejdning (Pallesen, 2018).

Der findes ikke en samlet opgørelse over, hvor meget ålegræs der årligt bjerges fra danske kyster, men alene i Køge Bugt anslås, at man fjerner omkring 22.000 tons om året (heraf en del sand). Prisen for ålegræs ligger på ca. 7.000 kr. pr ton (Pallesen, 2018). Den nuværende danske produktion af materialer fra ålegræs er baseret på bjergning af 250 tons om året, se Figur 12.



Figur 12. Ålegræs skyllet op på stranden. Foto: Colourbox.

Historisk er opskyllet ålegræs opsamlet og anvendt til især tækning af tage (tangtage), madrasfyld og isolering, men også til tobakserstatning i cigarer under 2. verdenskrig. Ålegræs har i de senere år fået en anvendelsesmæssig renæssance både til tækning af tage, til isoleringsmateriale, lydabsorberende materialer og til pakkefyld, se Figur 13.

Figur 13. Anvendelser af ålegræs i byggeriet. De traditionelle tangtage på huse på Læsø (foto: Colourbox) og akustikpaneler af ålegræs fra Søuld (foto: Christian Møller Andersen).

5.3.4 Chitosan

Chitosan er en naturlig polymer, der produceres ud fra kitin udvundet af skaller af krebsdyr, fx rejer, hummer, jomfruhummer og krabber (Dash, M. et al., 2011; No, H.K. et al., 2007). Chitosan kan anvendes som en ikke-toksisk, antimikrobiel og bionedbrydelig biopolymer, fx som bindemiddel i biobaseret isoleringsmateriale (Mati-Baouche, N. et al., 2014), se Figur 14.

Alene fra produktionen af rejer anslås, at danske virksomheder har adgang til ca. halvdelen af det årligt producerede affald (87.500 tons/år) (Imbiom, 2016). Den ekstraherbare chitosan udgør op til 10 % af tørstoffet (25 % af vådvægten) fra skalfraktionen fra rejer (Gildberg og Stenberg, 2001), dvs. potentielt godt 2000 tons årligt.

Figur 14. Skaller fra krebsdyr indeholder kitin, der kan forarbejdes til chitosan. Foto: Colourbox.

5.4 Fremtidige potentialer for produktion

5.4.1 Træ fra skovbruget

Skovenes produktion af biomasse, der kan indgå i tilvirkningen af materialer og energi som en del af den grønne omstilling, kan påvirkes på en række områder. I særdeleshed er der et stort uudnyttet potentiale af resttræ i skoven såvel som i den forarbejdende industri. Årligt bliver 2,2 mio. m^3 af den samlede hugst brugt til afbrænding. Heraf ville en stor del med nye tekniske muligheder kunne finde anden anvendelse og muliggøre brug af mindre dimensioner eller fibre fra mindre trædele. Endvidere er der en opbygning af vedmasse i skovene på 1,2 mio. m^3/år, særligt i stort bøgetræ, som følge af et vigende marked siden 2000. Opbygning af nye muligheder for at bruge bøgetræ i eksempelvis konstruktioner ville frigive store ressourcer i Danmark og på tværs af det meste af Europa.

Ud over at flere ressourcer kan frigives på det nuværende skovareal ved at udnytte ressourcen bedre, er det også muligt at øge produktionen af træprodukter. Tidligere undersøgelser har specifikt peget på forskellige kombinationer af følgende virkemidler (Graudal et al., 2013):

Skovrejsning

- Artsvalg ved skovrejsning og i foryngelse af eksisterende skov
- Kultur- og dyrkningsmetode
- Valg af hugststyrke og -måde i tyndinger
- Valg af omdriftsalder
- Forædling af plantemateriale
- Sortimentsudfald i tyndinger og hugst
- Udlæg af urørt skov og anden biodiversitetsskov.

I et studie af muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til energi og bioraffinering anvendte Graudal et al. (2014) en kombination af virkemidlerne til at skabe tre forskellige scenarier for udviklingen i tilgængelig biomasse ud over den mængde, der bruges i træindustrierne: Business-As-Usual (BAU), Biomasseoptimeret (Biomasse) og Miljøoptimeret (Miljø) samt en kombination af de tre øvrige scenarier (Kombi). Simuleringerne viste, at det på kort sigt (2020) var muligt at øge biomasseproduktionen med 30 %, hovedsageligt gennem intensivering i anvendelsen af ressourcerne i skoven. Dette fokus i biomassescenariet medførte imidlertid et fald i produktionen af gavntræ på 13 %, fordi ressourcen i højere grad blev anvendt til energivarer. Modsat førte forlængelse af omdriftsalderen og mindre intensiv udnyttelse af ressourcen til et fald i den samlede produktion på 17 % og på hele 54 % af gavntræet i miljøscenariet (Miljø).

Kendetegnende for skovscenarierne er den langsomme omstilling til nye produktionsmål. Med et længere tidsperspektiv fandt Gradual et al. (2014), at scenariet med fokus på produktion af biomasse ville øge produktionen af skovbiomasse til energi og bioraffinering til 5,1 mio. tons tørstof i 2100, mens det miljøoptimerede scenarie kunne producere 3,4 mio. tons. Forskellen på de to skal ses i lyset af, at skovrejsningen i miljøscenariet er 2,4 gange større end i biomassescenariet, hvilket også er årsagen til, at kombiscenariet i 2100 producerer mere end biomassescenariet. Samlet set leder biomasse- og kombiscenarierne til en fordobling af den samlede biomasse, der er til rådighed for den grønne omstilling frem til 2100.

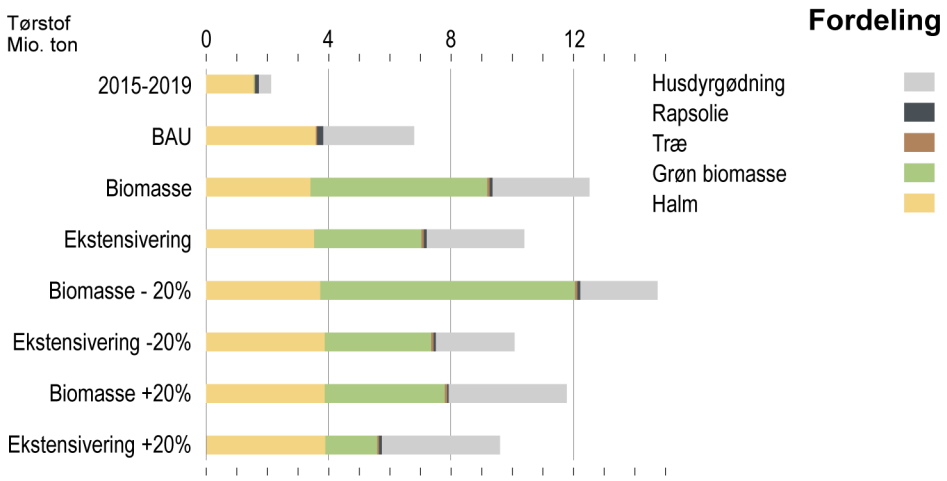
Tabel 5. Scenarier for udviklingen i biomasseproduktion til en grøn omstilling. Gengivet efter Graudal et al. (2014).

	Business-as-usual	Biomasse	Miljø	Kombi
Skovrejsning på landbrugsjord (ha/år)	1.900	1.900	4.560	4.560
Træartsvalg i skovrejsning	Som nu	Mere nåleskov	Mere løvskov	Som nu
Træartsvalg i eksisterende skov	Som nu	Mere nåleskov	Mere løvskov	Som nu
Omdriftsalder	Som nu	Yngre	Ældre	Som nu
Foryngelse	Som nu	Mere intensiv	Som nu	Mere intensiv
Friholdelse fra drift	Som nu	Som nu	ca. 10 %	ca. 10 %
Udnyttelse af ressourcen	Som nu	Mere intensiv	Mindre intensiv	Som nu
Sortimentsudfald	Som nu	Mere energitræ	Mindre energitræ	Mere energitræ
Forædling	Som nu	Mere forædling	Mere forædling	Mere forædling
Biomasseproduktion	mio. tons biomasse			
2020	2,3	3,0	1,9	2,2
… heraf gavntræ	1,3	1,0	0,6	0,6
2050	2,3	3,3	2,4	3,4
… heraf gavntræ	1,3	1,0	0,8	0,8
2100	2,8	5,1	3,4	5,6
… heraf gavntræ	1,6	1,5	1,4	1,5

5.4.2 Landbrugsafgrøder

Som nævnt er landbrugsarealet meget dynamisk og kan tilpasse sig nye markedsvilkår hurtigt. Der er også en række miljø-, klima- og naturkrav, som hurtigt vil kunne påvirke landbrugsarealets udnyttelse. Hvordan fremtiden kan se ud, er skitseret i scenarier af Mortensen og Jørgensen (2022), idet der er analyseret på et Business-As-Usual-, et Biomasse- (storproduktion af biomasse til bioraffinering) og et Ekstensiveringsscenarie (mere natur og mindre input). Biomasse- og Ektensiveringsscenarierne er endvidere analyseret med både en reduceret og en øget husdyrproduktion. Det giver samlet set betydelige forskelle i, hvilke biomasser der bliver til rådighed til andre formål end primær fødevareproduktion, hvilket kan være til byggematerialer.

Den samlede mængde biomasse til bioraffinering kan øges fra godt 2 mio. tons tørstof fra landbruget, som blev udnyttet primært til bioenergi i år 2015-2019, til mellem ca. 7 og 15 mio. tons tørstof i de fremtidige scenarier (Figur 15). Det er muligt at udnytte mere halm, og i fremskrivningen er indlagt anvendelse af kornsorter med højere halmproduktion, hvilket ikke tidligere har været et fokus for landbruget, da der har været overskud af halm på markedet. Men det er særligt potentialet i grøn biomasse, som bliver kraftigt øget i scenarierne. Det er primært kløvergræs, men også mindre arealer med roer, som udgør denne komponent i scenarierne. Disse afgrøder er valgt, fordi de både er mere produktive og for græssets vedkommende mere miljø- og klimavenlige end det korn, raps og majs, som de erstatter. De angivne potentialer af grøn biomasse til industriel anvendelse er efter udtrækning af protein, som erstatter dagens import af soja. Denne bioraffineringsindustri er i stærk udvikling og undersøger også muligheder for at udnytte græsfibre til emballage, papir, tekstil og isoleringsmateriale (www.biorefine.dk). Desuden vil protein kunne indgå som komponent i biobaserede bindemidler til byggematerialer (He, 2017).



Figur 15. Potentiel biomasseressource til industriel anvendelse fra landbruget i år 2030 sammenlignet med den aktuelle udnyttelse i år 2015-2019 (Mortensen og Jørgensen, 2022).

I de seks Biomasse- og Ekstensiveringsscenarier omlægges 400-700.000 ha af de samlede ca. 2,6 mio. ha landbrugsjord til anden form for dyrkning end i dag. Det sker primært med henblik på at bidrage til at opfylde de miljø- og klimamål, som landbruget er pålagt. Dyrkning af kløvergræs reducerer således nitratudvaskning og pesticidforbrug markant sammenlignet med den nuværende produktion af korn, majs og raps, samtidig med at det bidrager til opbygning af kulstof i jorden (Olesen et al., 2016).

Det vil naturligvis være en mulighed at øge produktionen af specifikke afgrøder til byggeindustrien, fx tagrør, elefantgræs eller hamp. Man skal dog være opmærksom på, at prisen på et restprodukt som halm vil være mere konkurrencedygtig end prisen på dyrkning af en hovedafgrøde, som derfor skal besidde egenskaber, der kan retfærdiggøre en højere pris.

5.4.3 Marin biomasse

Muslinger

Frem mod år 2050 er der potentiale for at øge akvakulturproduktionen af muslinger i Danmark op til mellem 275.000 og 400.000 tons muslinger/år (Petersen et al., 2021a). Det vil svare til en tilgængelig ressource af muslingeskaller på op til mellem 110.000 og 160.000 tons/år. Idet det er anslået, at der kræves omkring 38 tons muslingeskaller til terrændækket til et enfamiliehus, vil ressourcen række til omkring 3-4.000 huse om året. Muslinger produceret ved akvakultur har typisk tyndere skaller end muslinger, der er høstet ved bundskrab.

Tang

Det forventes, at produktionen af tang vil øges globalt, primært til fødevarer. Men idet tang kan udnyttes i et bioraffinaderi-koncept, hvor fx protein og fibre adskilles til separate produkter, vil der potentielt være basis for en fremtidig fiberproduktion, der ikke konkurrerer med fødevareproduktion (Filote et al., 2021).

Ålegræs

Den danske ålegræsproduktion baseres i dag på 250 tons ålegræs om året. Ålegræsset i danske farvande er i tilbagegang og presses både af eutrofiering, stigende temperaturer, forstyrrelser af havbunden og iltsvind. Men der er stærkt fokus på at forbedre havmiljøet, bl.a. gennem vores forpligtelse i EU's vandrammedirektiv til at sikre 'god økologisk tilstand' i det marine miljø. Samtidig er der udviklet effektive metoder til at restaurere og genetablere

ålegræsenge i Danmark (Petersen et al., 2021b). Det kan således forventes, at ålegræsressourcen i Danmark i fremtiden vil være om ikke stigende, så uforandret. Det kræver tilladelse fra Miljøstyrelsen at bjerge opskyllet ålegræs til kommercielle formål.

6

OVERORDNEDE KRAV TIL BYGNINGSDELE MED BIOGENE MATERIALER

6 OVERORDNEDE KRAV TIL BYGNINGSDELE MED BIOGENE MATERIALER

Biobaserede byggematerialer kan indgå i mange forskellige bygningsdele med vidt forskellige krav til deres styrke, udseende og modstandsdygtighed over for vind, vejr og biologiske organismer, der kan nedbryde materialerne.

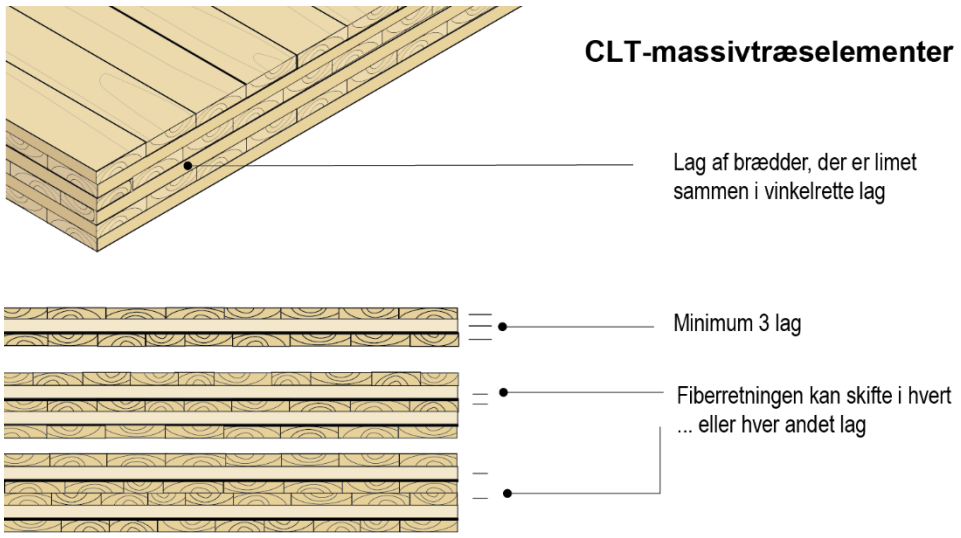
Hvad der kræves af de enkelte bygningsdele, trækkes frem i dette afsnit, som beskriver, hvilke materialer der typisk kan anvendes til forskellige bygningsdele og -komponenter. Når der anvendelses træbaserede og andre biogene materialer, skal der være særlig opmærksomhed på holdbarhed, levetid og overholdelse af lyd- og brandkrav. Der skelnes i det følgende mellem hovedkonstruktion, klimaskærm og sekundære bygningsdele.

6.1 Hovedkonstruktion

Hovedkonstruktionen i en bygning er den bærende konstruktion inklusive fundament. Der bør være øget opmærksomhed på konstruktiv beskyttelse mod især fugt, så konstruktionen ikke nedbrydes, dels af hensyn til sikkerheden, dels fordi nedbrudte dele normalt er meget vanskelige at udskifte. Træ og træbaserede materialer kan styrkemæssigt substituere beton og stål i langt de fleste bærende konstruktioner.

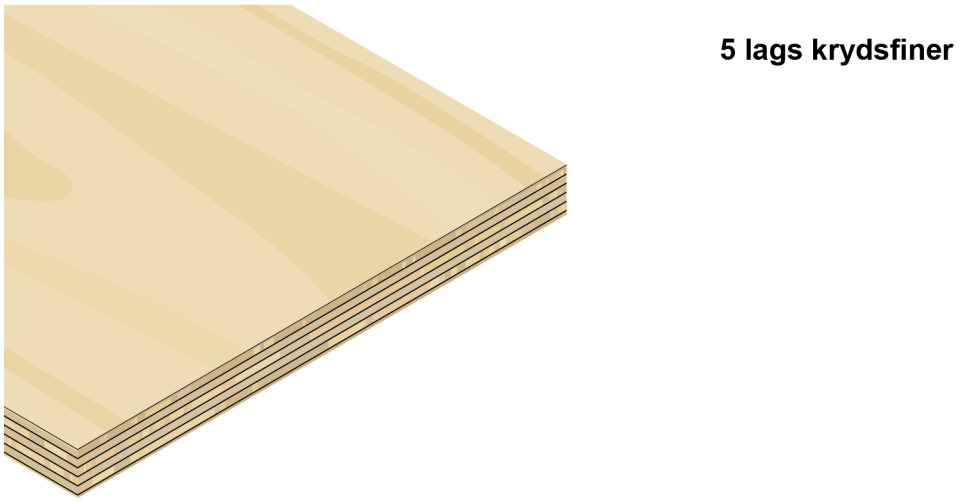
Træbaserede materialer kan opdeles i fire produkttyper:

- Produkttype 1. Savskåret, styrkesorteret træ anvendt direkte eller til limtræ eller CLT (krydslamineret massivtræ/Cross Laminated Timber), hvor planker limes sammen til store komponenter, Figur 16. For denne type er det især træets naturlige, høje styrke i fiberretningen, der udnyttes. Ved opskæring og sammenlimning reduceres indflydelsen af svagheder ved fx knaster, og der kan fremstilles meget lange bjælker og store plader.



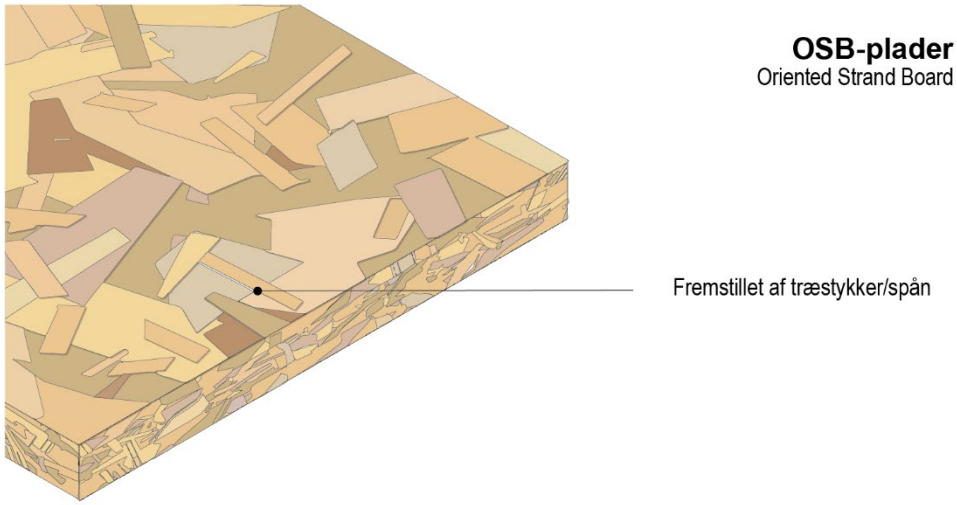
Figur 16. Opbygning af Cross Laminated Timber, CLT-elementer.

- Produkttype 2. Træstammer skrælles til finer, som ved sammenlimning anvendes til fremstilling af krydsfiner (Figur 17) eller LVL (finerlaminerede elementer/ Laminated Veneer Lumber). LVL anvendes typisk som bjælker, hvor alle finerlag går i bjælkens længderetning. Ligesom ved den direkte anvendelse sikres den primære styrke af træets naturlige, høje styrke i fiberretningen. Styrke- og stivhedsegenskabernes afhængighed af fugt og lastvarighed er stort set som for produkttype 1.



Figur 17. 5-lags krydsfiner.

- Produkttype 3. Træet opsplittes i småstykker, der anvendes til fremstilling af sammenlimede plader. OSB (Oriented Strand Board) fremstilles af ret store træstykker/spåner (Figur 18), spånplader af mindre stykker og MDF (Medium Density Fibreboard) af træfibre. Pladernes egenskaber afhænger mere af fugtindholdet og lastvarigheden end produkttype 1 og 2. Til gengæld er de meget homogene, så de forbliver plane. De forholdsvis store spåner (’chips’), der anvendes til OSB, gør dog, at disses egenskaber nærmer sig krydsfiner.



Figur 18. Oriented Strand Board, OSB-plade fremstillet af træstykker/spåner.

- Produkttype 4. Traditionelle træfiberplader fremstilles ved at presse træfibre sammen under varmepåvirkning, så træets indhold af lignin virker som lim. Typerne spænder fra

bløde plader til hårde plader. Halvhårde træfiberplader fremstilles også, og de har egenskaber omtrent som MDF. Træfiberplader har træfiberstørrelse som MDF, men fremstilles uden lim. Der fremstilles også meget stærke og robuste træfiberplader ved meget hård sammenpresning, men de er ikke almindeligt anvendt i byggeriet.

6.2 Klimaskærm

Klimaskærmen er betegnelsen for facade og tag med de bagvedliggende bærende og varmeisolerede konstruktioner. Selve facadebeklædningen og tagdækningen er yderst vigtige komponenter i en klimaskærm, der især skal sikre mod indtrængning af regn, medens den bagvedliggende varmeisolerede konstruktion skal reducere varmetabet. Fugt spiller en helt afgørende rolle for levetiden af biogene materialer, da fx rådsvampe behøver et højt fugtindhold for at kunne trives og nedbryde materialerne. Klimaskærmen er særligt udsat, da regn og kondens tilfører materialerne fugt og kan skabe gode betingelser for nedbrydning. Fugt kan også tilføres klimaskærmen indefra, hvis dampdiffusionsmodstanden af klimaskærmen på den indvendige side ikke er tilstrækkelig høj i forhold til fugtproduktionen inde i bygningen, også kaldet fugtbelastningsklassen. Fugtbelastningsklassen er relateret til bygningens brug (Brandt, E. et al., 2013). Man kan følge flere strategier for at forlænge levetiden af klimaskærmen: konstruktiv beskyttelse, overfladebehandling, hensigtsmæssigt materialevalg og modificering, se afsnit 9.2, *Forlængelse af levetid og modificering af materialeegenskaber.*

6.2.1 Materialer til facader

Lette facader

Facader er en væsentlig del af klimaskærmen og består normalt af en synlig del, regnskærmen, og af vindspærren, der fastholder og brandmæssigt beskytter isoleringen i skelettet. Sammen med et ventileret hulrum sikrer det en såkaldt totrinstætning mod indtrængende vand.

Ud over løbende eftersyn og vedligehold begrænser brandkravene yderligere anvendelsen af træ til facader. Kun i enfamiliehuse og rækkehuse kan regnskærmen udføres af beklædning uden brandmæssige krav til vindspærren. Det betyder, at træ og træbaserede materialer kan anvendes uden særlig behandling. I alle andre bygninger stilles der krav til vindspærren, hvilket i praksis betyder, at der skal anvendes mineralske produkter. Vindspærren er placeret på ydersiden af isoleringen og forhindrer, at isoleringen ventileres med udeluft, som vil reducere isoleringsevnen. Kravene til vindspærren er altså nogenlunde de samme som til indvendige beklædninger, dog skal den kunne tåle det højere fugtniveau og lejlighedsvis vandpåvirkning.

I alle andre bygninger er der krav til regnskærmen, bygningens yderste lag, og som kun kan opfyldes med træbaserede materialer, hvis brandegenskaberne er forbedret, eller hvis der anvendes sprinkling. Det vil også gælde de fleste andre biogene materialer, men nogle har bedre brandegenskaber end træ, fx ålegræs, som man måske kan udnytte grundet dets høje saltindhold.

Forhold vedrørende brand er yderligere beskrevet i kapitel 7.3, *Brand*.

Puds

Pudset isolering kan anvendes som vindspærre, forudsat at der udenpå anvendes en regnskærm. Et simpelt eksempel er lerpudsede halmballer, hvor de brandmæssige egenskaber er særdeles gode.

Hvis den synlige, udvendige overflade ønskes pudset, bør pudsen altid anvendes på en ventileret regnskærm af et materiale egnet som pudsunderlag, så der opnås totrinstætning.

For mindre bygninger med et fornuftigt tagudhæng hvad angår eksponeringen kan ettrinsløsninger med puds direkte på isoleringen dog virke tilfredsstillende.

Tunge facader

Den meget populære og robuste, men også klimabelastende skalmur af tegl kan erstattes af mindre miljøbelastende materialer, fx genanvendt nedknust tegl bundet sammen med biopolymerer til blokke, der kan anvendes på samme måde som mursten, forudsat at holdbarheden kan påvises og dokumenteres. Det vil påvirke æstetikken, ikke mindst patineringen, så der kan være behov for nye arkitektoniske løsninger.

6.2.2 Materialer til tagdækning

Tagdækningen er den hårdest påvirkede bygningsdel i klimaskærmen, idet den påvirkes af både vand, vind, sol og frost (som forstærkes af udstråling) samt mekaniske påvirkninger fra fx solpaneler, tagterrasser eller blot lejlighedsvis personlast. Taget er særligt udsat sammenlignet med facaden på grund af tagets skrå vinkel. Samtidig er det en bygningsdel, der under ingen omstændigheder må svigte, da vandindtrængning gennem taget giver stor risiko for alvorlige skader på bygningen, ikke mindst skimmelvækst. I bygninger med konstruktioner af træ og andre biologisk nedbrydelige materialer kan der også udvikles råd- og svampeskader, så levetiden og den konstruktive sikkerhed påvirkes.

Brandkravene til tage er beskedne; det er således primært evnen til at aflede vand sammen med holdbarheden, der er afgørende for, om et materiale er egnet som tagdækning.

De fleste typer tagdæknings funktionsevne forudsætter, at taget har en vis hældning. Det gælder fx tagsten, bølgeplader og tagrør. Kun egentlige tagmembraner (tagpap, tagfolie) kan også anvendes til (næsten) flade tage, enten kolde eller varme.

Tage med hældning

Tagdækningen på tage med hældning udføres ofte med totrinstætning, hvor trin ét er selve tagbeklædningen, fx tagsten, og trin to er et undertag. Undertaget afvandes langs facaden, og det mellemliggende hulrum ventileres. Kravene til undertaget øges, når tagbeklædningens tæthed er lille, og yderligere, når taghældningen reduceres. Under meget utætte tagbeklædninger bliver undertaget den egentlige tagdækning og udføres da typisk med tagpap på underlag af krydsfiner.

Nogle hyppigt anvendte typer tagbeklædning er så tætte, at der ikke er behov for undertag, fx bølgeplader af fiberarmeret cement eller stål med en vis hældning og tagpap på træunderlag. På undersiden er der en ventileret spalte eller et ventileret tagrum, så kondens på undersiden kan ventileres bort.

Tage med tagrør anses normalt også for tætte ved taghældningen 45°, mens tagspån ofte udføres på undertag, især når hældningen ikke er så stor.

Disse konstruktioner betegnes som kolde tage, idet isoleringen ligger mellem og under den bærende konstruktion.

Flade tage

Flade tage kan kun udføres med tagmembran som tagbeklædning og med hældning ned til 1:40. De kan udføres som koldt tag med tagpap på træunderlag, som beskrevet ovenfor, eller som varmt tag.

I et varmt tag ligger isoleringen oven på den bærende konstruktion, der derfor er varm. Isoleringen skal være pakket helt ind mellem tagmembranen på oversiden og dampspærren ved undersiden. Isoleringen skal være ufølsom over for fugt, da der over tid uundgåeligt vil

blive ophobet fugt i den pga. utætheder. Der anvendes typisk EPS-isolering, men også mineraluld i hårde kvaliteter og celleglas anvendes.

Underlaget er typisk et betondæk, men kan også være træelementer med krydsfinerplader på oversiden eller korrugerede stålplader mellem rammer.

Særlige tage

Fx udfører man grønne tage og tagterrasser som påbygning på et fladt tag med tagmembran. Generelt øger det kravene til tagdækning og tagkonstruktion, men grønne tage beskytter tagmembranen, så levetiden forlænges. Man kan også anvende et produkt af ringere kvalitet.

6.2.3 Terrændæk (kapillarbrydende materialer)

Terrændæk udføres typisk med en betonplade udstøbt på isolering og et kapillarbrydende lag nederst. Isoleringen skal have en vis bæreevne og være ufølsom over for fugt, og derfor er træ og andre tilsvarende biogene materialer ikke egnede. Derimod er der gode erfaringer med at anvende knuste muslingeskaller som kapillarbrydende lag.

Betonpladen kan evt. erstattes af gulvspånplader, hvilket undertiden gøres i enfamiliehuse. Det sparer beton, men stiller højere krav til isoleringens trykstyrke, da lastfordelingsevnen af en spånplade er ringere end af en betonplade. Der skal også udføres en robust membran for at hindre opfugtning af gulvpladen og radonindtrængning i isoleringslaget.

Nogle materialer kan fungere både som varmeisolering og kapillarbrydende lag, fx løse letklinker og perlite. EPS og mineraluld kan fx også have tilstrækkelig kapillarbrydende effekt til at kunne anvendes uden et egentligt kapillarbrydende lag, hvorved konstruktionsdybden reduceres noget sammenlignet med løse letklinker for samme isoleringsværdi.

Knuste muslingeskaller kan anvendes på samme måde som løse letklinker, men kræver endnu større tykkelse.

6.3 Materialer til isolering

Isoleringsmaterialer anvendes både som varme-, lyd- og brandisolering. I klimaskærmen er det især varme- og brandegenskaberne, der har interesse, mens det i indvendige konstruktioner som fx boligadskillende vægge hovedsagelig er lyd- og brandegenskaberne, der er væsentlige. I terrændæk og nogle typer tage er trykbæreevnen også væsentlig. En forenklet oversigt over isoleringstypers egenskaber er vist i Tabel 6.

Nedenstående tabel giver en simpel oversigt over forskellige isoleringsprodukters egenskaber hvad angår varme, lyd, brand og bæreevne. Flere isoleringsmaterialer behandles under 6.2.3, *Terrændæk (kapillarbrydende materialer)*, hvor kapillarbrydningsevnen også er vigtig.

Tabel 6. Forenklet oversigt over isoleringstypers egenskaber. 0 betyder ikke egnet, 1 anvendeligt, 2 egnet, 3 særlig egnet og ( ) betyder, gælder særlige produkter udviklet til formålet.

	Varme	Lyd	Brand	Trykbæreevne
Mineraluld	2, (3)	2, (3)	2, (3)	0, (2)
Celleglas	2	0	3	3
biogent *	2	2 (3)	0, (2)	0
Plastbaseret **	2, (3)	0	0	2, (3)
Ekspanderet mineral ***	1, 2	0	2	2

* Biogene produkter: papirgranulat, træfiber, hør, hamp, halm

** Plastbaserede produkter: EPS, XPS, PIR, PUR

*** Ekspanderet ler (letklinker) eller vulkansk sten (perlite).

De fleste typer isoleringsmaterialer findes både i pladeform og som granulat. Ved nogle anvendelser skal isoleringen kunne fastholdes mekanisk, så kun produkter i pladeform kan anvendes.

Uanset om det gælder varme, lyd eller brand er det vigtigt, at isoleringen slutter tæt mod de omgivende bygningsdele, hvilket er lettere at sikre med nogle produkter end med andre. I fx vægge kan indblæsning som granulat være hensigtsmæssigt, blot det sikres, at den fornødne densitet opnås, så efterfølgende sætning af isoleringen undgås. Korrekt montering af isolering i pladeform kan være vanskelig, hvis isoleringspladerne ikke er lidt fleksible. På vandrette flader, hvor granulat udlægges løst, skal der tages hensyn til den efterfølgende sætning, herunder om det kan forårsage hulrum, der forringer isoleringsevnen.

Lydisoleringsegenskaberne af biogene isoleringsmaterialer begunstiges af den relativt høje densitet og høje modstand mod luftgennemgang (lavt luftgennemgangstal), der giver god lyddæmpning, så de kan være bedre end mineraluld. Plastbaserede produkter og celleglas er ikke egnede til lydisolering.

Der er behov for en vis trykbæreevne (og stivhed) af isolering, der anvendes i fx terrændæk og varme tage (flade tage med tagmembran direkte på isoleringen). Disse steder skal isoleringen samtidig være ufølsom over for fugt, og derfor er biogent isolering ikke egnet.

6.4 Sekundære bygningsdele

Sekundære bygningsdele er fx ikke-bærende indvendige vægge, gulve og fastmonteret inventar som køkkener. Disse dele kan normalt udskiftes efter behov uden store indgreb i bygningen i øvrigt.

6.4.1 Gulve

Gulvbelægninger er i Danmark ofte af træ, understøttet på strøer eller bjælker eller lagt som svømmende gulv på fx betondæk eller undergulv af spånplade. Mange andre produkter anvendes som gulvbelægning, fx klinker, linoleum, vinyl og tæpper.

Er der et ønske om at erstatte undergulve af spånplade med andre pladetyper, er det vigtigt at anvende plader med tilsvarende egenskaber. Ønsket om at erstatte spånplader kan være begrundet i ønsket om en mindre miljøbelastning af produktet. Da spånplader fremstilles af genanvendt træ, er det limen, der er afgørende for miljøbelastningen.

Strøer kan også fremstilles af genanvendt træ, som muligvis kan konkurrere med LVL-strøer, som er fremherskende i dag på grund af deres rethed og små fugtbevægelser.

Gulvbrædder kan genanvendes mere eller mindre direkte, men bliver også fremstillet ved opsavning af genanvendte bjælker. Det sidste er forholdsvis dyrt. Alternativt kunne man fremstille parketlignende gulvbrædder ved sammenlimning af mindre stykker genanvendt træ, hvorved der kan opnås høj finish og små fugtbevægelser. Herved kan sådanne brædder måske konkurrere med såkaldt lamelparket, hvor tre lag træ sammenlimes med det midterste lag på tværs for at minimere fugtbevægelserne.

6.4.2 Materialer til indvendig beklædning

Træplader anvendes kun i beskedent omfang til indvendig beklædning. I forhold til sædvanlige gipsplader skyldes den beskedne brug formentlig dels de ringere egenskaber med hensyn til brand og lyd, dels at pladesamlinger ofte bliver synlige gennem overfladebehandlingen. Pladebeklædninger indgår ofte i den bærende konstruktion som stabiliserende skiver. Her kan træbaserede plader være attraktive, da de er stærkere end gipsplader.

Teknisk set kan træplader i stort omfang substitueres med plader af andre biogene materialer, men for at vinde indpas i større omfang skal de formentlig være billigere at anvende end træplader og gerne have bedre brandegenskaber. Miljøbelastningen kan reduceres,

hvis de kan fremstilles med lim baseret på biogene materialer. Der forskes i mulighederne for at anvende fx svampemycelier eller skaller fra skaldyr til lim.

Fibre fra biogene materialer kan også anvendes i egentlige kompositmaterialer med en matrix af fx ler eller nedknust tegl eller beton, som kan give gode brandmæssige egenskaber. Der arbejdes også med at anvende biopolymerer som bindemiddel i stedet for cement, hvilket vil reducere miljøbelastningen.

Et traditionelt kompositmateriale i byggeriet er cementbundne spånplader, der har gode brand- og lydmæssige egenskaber, men miljøbelastningen er forholdsvis høj, da der er et stort cementindhold. Et tilsvarende, mindre miljøbelastende produkt vil være interessant, især hvis fugtbevægelserne kan blive mindre end for cementbundne spånplader, hvor de er ret store.

Aptering

Ved aptering forstås fastmonterede bygningsdele opsat på den egentlige vægbeklædning. Det kan være rent arkitektoniske elementer eller fx akustikregulerende elementer. Fælles er, at apteringen skal opfylde de aktuelle brandmæssige krav til overfladen, hvilket stiller krav til både selve materialet og dets udformning, idet det eksponerede areal og dermed brandbidraget øges ved fx profilering. Det vil oftest kræve specifik brandprøvning at vise. Der er ikke særlige formelle hindringer for at bruge træ eller andre biogene materialer.

7

FUGT, NEDBRYDNING, BRAND OG LYD

7 FUGT, NEDBRYDNING, BRAND OG LYD

Bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) stiller en lang række krav til bygninger opført i Danmark, blandt andet krav til fugt, brand og lyd. Disse krav, nævnes ofte som særligt udfordrende og som barrierer i forbindelse med anvendelsen af træ og andre biogene materialer i byggeriet. I afsnittet gennemgås kravene og de særlige forhold, der gør sig gældende ved anvendelsen af biogene materialer.

7.1 Fugt

I forbindelse med bygningsreglementets krav til fugt stilles der krav om, at bygninger skal udføres, så vand og fugt ikke medfører risiko for personers sundhed eller skader på bygningen (Bolig- og Planstyrelsen, 2021). Bygningskonstruktioner og byggematerialer må ikke have et fugtindhold, der ved indflytning medfører risiko for vækst af skimmelsvamp. Særligt for træ skal det sikres, at konstruktionerne ikke opfugtes til kritisk fugtniveau i byggefasen, eller at der indbygges materialer med synlig skimmelvækst.

Træ og biogene materialer er hygroskopiske materialer, som kan optage og afgive fugt, enten fra luften eller ved direkte vandpåvirkning såsom regn. Hvis biogene materialer har opnået et kritisk højt fugtniveau under opførelsen, kan materialerne udtørres, og den nødvendige tid til udtørring skal ses ud fra den anvendte opførelse og opbevaring af materialer og elementer.

Det kritiske fugtniveau for træ og træbaserede materialer er 18 vægt-%, hvilket svarer til fugtindholdet i ligevægt med en relativ luftfugtighed på ca. 75-80 % RF. Erfaringsmæssigt kan det for visse konstruktionsdele, såsom ventilerede tagkonstruktioner, accepteres, at træ indbygges med et fugtindhold på op til 20 vægt-%. Derudover stiller *Vejledning om håndtering af fugt i byggeriet* (Møller, 2010) vejledende krav til maksimale fugtindhold for anvendelsen af træ udendørs og indendørs. Publikationen *Hvor går grænsen* fra Dansk Byggeri, 2007, angiver ligeledes forudsætninger for fugtindholdet i træ i % træfugt for forskellige anvendelser for udvendige arbejder med træ.

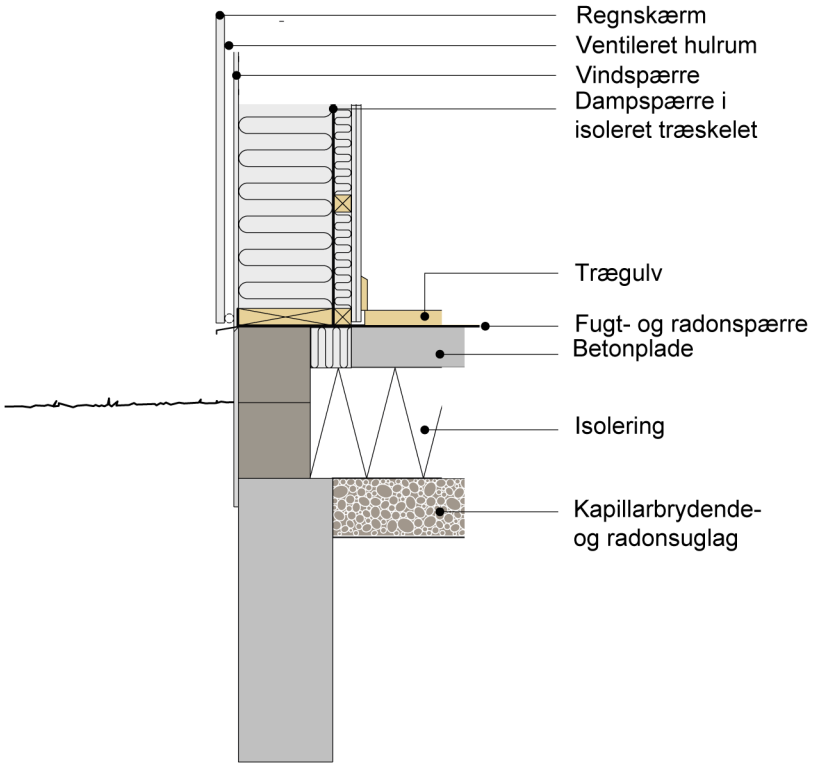
Der stilles dog på nuværende tidspunkt ikke egentlige krav til dokumentation af fugtindholdet i byggematerialer under opførelse af et byggeri, blot anbefalinger. Der er heller ikke krav til, hvordan det skal dokumenteres, at en eventuel fugtstrategiplan er fulgt.

I Sverige er der krav om en ekstern fugtkonsulent på alle byggerier – byggerier af træ såvel som beton eller andre byggematerialer. Uddannelsen til fugtkonsulent er i Sverige en femårig uddannelse.

7.2 Nedbrydning

Hovedkonstruktionen kan kun vanskeligt udskiftes, og derfor bør hovedkonstruktionen sikres mod nedbrydning. Dette gør man ved at holde hovedkonstruktionen tør og beskytte den mod direkte regnpåvirkning, opstigende grundfugt fra jorden og hindre ophobning af fugt, der kommer indefra. Herved forebygges råd og skimmelsvamp. Som det fremgår af Figur 19, beskytter regnskærm, ventileret hulrum og vindspærre mod regn. Fugt- og radonspærre på sokkel og den lastfordelende plade af beton sikrer mod opstigende grundfugt. Endelig beskytter dampspærren i ydervæggen mod fugt indefra. (Udelades dampspærre, skal det

sikres, at dampdiffusionsmodstanden, Z, er tilstrækkelig stor og noget større for væggens indvendige del end for den udvendige, især vindspærren). Den nødvendige og tilstrækkelige dampdiffusionsmodstand i de enkelte lag er derfor indbyrdes afhængige og skal samstemmes med hinanden og med bygningens fugtbelastningsklasse samt udemiljøet. Korrekt vandafledning ved vinduer og tag er også essentielle. Hvis hovedkonstruktionen på denne måde holdes tør, er levetiden meget lang uden behov for behandling af træet, hvilket bevidnes af et utal af ældre bygninger med hovedkonstruktion af træ, der ikke viser tegn på nedbrydning. Omvendt vil en let konstruktion, der ikke holdes tør og fri af kritisk fugt, blive nedbrudt gradvist over tid.



Figur 19. Eksempel på let ydervæg sammenbygget med terrændæk og definition af byggetekniske begreber.

Ud over de beskrevne strategier for at forlænge klimaskærmens levetid, se afsnit 9.2, *Forlængelse af levetid og modificering af materialeegenskaber*, er en yderligere mulighed at designe klimaskærmen således, at mindre delelementer kan udskiftes, hvis de lokalt er blevet nedbrudt. På den måde udskiftes materialer kun lokalt, fx et nedbrudt facadebræt, mens resten af klimaskærmen bevares.

7.3 Brand

Bygningsreglementets kapitel 5 (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) beskriver overordnede krav til og regler for brandsikring i byggeriet. Ved fastlæggelse af den nødvendige brandsikring inddeles bygningen i brandklasser efter anvendelse ud fra, om personer har kendskab til flugtvejene, bygningens udformning (antal etager), antallet af personer samt brandbelastningen i bygningsafsnittet.

Der inddeles i brandklasse 1 til 4. For byggeri i brandklasse 2 til 4 er der krav om, at en certificeret brandrådgiver skal være tilknyttet. For byggeri i brandklasse 4 er der desuden krav om certificeret tredjepartskontrol.

Bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) beskriver ikke, hvordan brandsikring af en bygning skal opnås, da det vil afhænge af den enkelte bygning, de anvendte materialer, bygningsdele, konstruktioner og installationer. Brandsikringen skal først og fremmest forebygge brand, dernæst muliggøre sikker evakuering og, i tilfælde af brand, sikre holdbare konstruktioner. Brandsikringen skal sikre, at bygningen og dens bygningsdele har tilstrækkelige brandtekniske egenskaber.

Brandmodstandsevnen for de bærende bygningsdele bestemmes enten ved en standardbrandpåvirkning eller ved anvendelse af et standardiseret, naturligt brandforløb. Dertil skal bygningsdele være sammenbygget, uden at det forringer egenskaberne i tilfælde af brand.

Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 – Brand (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) indeholder i bilag 1-16 en række præaccepterede løsninger defineret ud fra standardiserede krav. Ved at opfylde kravene i de præaccepterede løsninger sikrer man, at Bygningsreglementets krav er overholdt, men andre løsninger kan anvendes, såfremt det kan dokumenteres, at den krævede brandsikkerhed er opnået.

Ved præaccepterede løsninger i brandklasse 2 må bærende trækonstruktioner kun anvendes i byggeri, hvor gulv i øverste etage er højst 12,0 m over terræn. Andre materialer som fx stål og beton må anvendes i bygninger, hvor gulv i øverste etage er højst 45 m over terræn.

I bygninger, hvor gulv i øverste etage er højst 12,0 m over terræn, må trækonstruktioners samlede brandeksponerede overflade inden for de første 60 minutter af standardbrandforløbet højst udgøre 20 % af rummets samlede væg- og loftoverflader. Hvor den bærende trækonstruktions samlede brandeksponerede overflade overstiger 20 %, skal den del, der overstiger 20 %, inddækkes. Alternativt kan bygningen sprinkles.

Træet kan bidrage til brandbelastningen ved en brand. Træ karakteriseres som brandbart i bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021). Det har således direkte betydning for, hvor meget synligt træ der må være i et byggeri, samt hvordan bærende konstruktioner i fx træ skal inddækkes for at sikre bygningen i tilfælde af brand.

Det skal dokumenteres, at bærende og adskillende konstruktioner lever op til brandkravene. Dokumentationen kan baseres på prøvning af en konkret løsning for standardbrandforløb eller med metoden for naturligt brandforløb som beskrevet i vejledningen til Bygningsreglementets kapitel 5 (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) om eftervisning af brandsikkerhed.

I en del tilfælde kan prøvning for brandmodstand erstattes af beregning efter EN 1995-1-2 eller tilsvarende metoder, som beskrevet i *Brandsäkre trähus 3* (Östman et al., 2012) og *TRÆ 78*, *Træbyggeri i brandklasse 1 og 2* (Lillelund, 2021). Vedrørende materialeklasser foreligger der såkaldte kommisionsbeslutninger, som en del træmaterialer kan klassificeres efter uden prøvning. Når man benytter krav efter det danske klassifikationssystem frem for det europæiske, kan traditionelle løsninger også benyttes. Nogle trærelaterede muligheder er angivet i *TRÆ 78*.

De såkaldte designbrande er baseret på et standardiseret naturligt brandforløb i kendte konstruktioner og materialer. Gør den brandtekniske rådgiver brug af en simuleret designbrand som dokumentation for en løsning, har det betydning, om rådgiveren har kendskab til en lignende løsning og dermed har erfaring med at slå op og dokumentere løsningens kvalitet på baggrund af præaccepterede løsninger. På den måde kan det være lettere at dokumentere, at en løsning er brugbar, hvis den er gennemprøvet og har været anvendt før.

Dokumentation for overholdelse af brandkrav i bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) baserer sig på argumenter og dokumentation for, at en given løsning er sikker. Det betyder, at løsninger, der afviger fra præaccepterede løsninger, frem til, at de bliver almindeligt kendt, kræver større dokumentation. For at nye løsninger kan blive almindeligt kendt, er det væsentligt, at rådgiveren beskriver rationalet bag argumentationen som en del

af dokumentationen. Andre kan på den baggrund sætte sig ind i, hvorfor én løsning er godkendt, og kunne argumentere for, at en lignende løsning vil kunne godkendes. Dog kræver dette, at man som rådgiver kender til den givne løsning og har mulighed for at rekvirere en brandstrategirapport for det givne byggeri. En bygnings brandstrategi er som udgangspunkt bygningsejers ejendom og er ikke per automatik offentlige.

7.4 Lyd

Bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) stiller i kapitel 17 krav til lydforhold. Overordnet skal bygninger have sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende lydforhold i forhold til anvendelsen. Bestemmelserne vedrører luft- og trinlydisolation mellem rum, indendørs støjniveau fra trafik, støj fra tekniske installationer samt efterklangstid/lydabsorption. Der findes lydkrav til boliger, undervisningsbygninger og daginstitutioner samt forslag til projekteringsværdier for kontorbyggeri og hospitaler. Kravene skal være opfyldt i den færdige bygning.

Overholdelse af lydisolationskravene dokumenteres ved beregninger eller ved målinger i den færdige bygning, jf. dokumentation af bygningsreglementets (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) tekniske bestemmelser i forbindelse med færdigmelding af byggeriet, som indgår i bygningsreglementets vejledninger til kapitel 1. Eksisterende beregningsmetoder vurderes ikke velegnede til træbyggeri, og derfor er målinger typisk en del af dokumentationen sammen med beskrivelser. Eftervisning af lydkravenes overholdelse kan ske på foranledning af bygherre eller entreprenør – eller i forbindelse med byggesagsbehandlingen af kommunalbestyrelsen. Kontrol af lydforhold udføres efter retningslinjerne beskrevet i SBi-anvisning 217, *Udførelse af bygningsakustiske målinger*.

For byggeri i træ er det primært kravene til luft- og trinlydisolation, som fremhæves som udfordrende (Rasmussen et al., 2020). Generelt har boligbyggeri de højeste lydisolationskrav. Nye boliger skal opfylde lydklasse C i DS 490 (DS 490, 2018). Der skelnes mellem to typer af krav til lydisolation mellem boliger, se forklaring herunder og illustration af lydtransmissionsveje i Figur 20.

7.4.1 Luftlydisolation

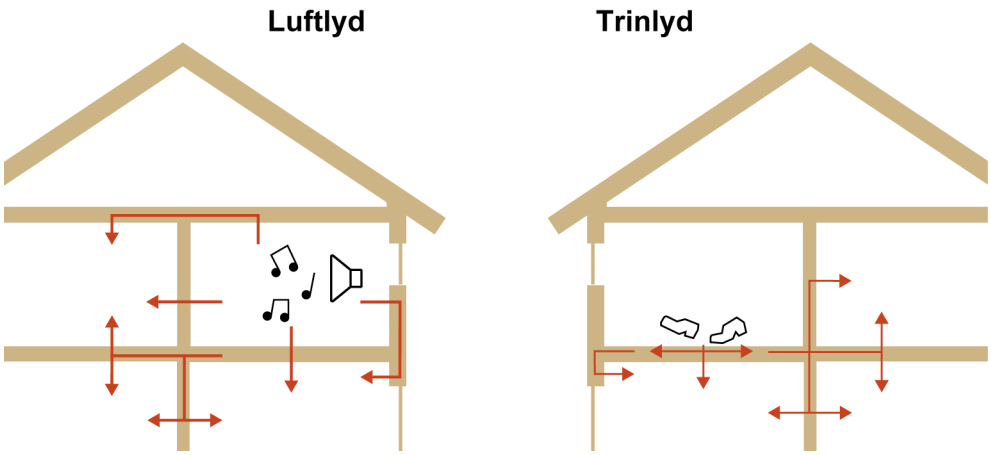
Luftlydisolation vedrører bygningsdeles evne til at reducere transmission af luftlyd, fx musik fra en højttaler eller samtale, mellem rum i en bygning. Tallet angives som et reduktionstal (R'_w) udtrykt i decibel (dB) og med eller uden spektrale korrektioner. Jo højere tal, des bedre luftlydisolation.

7.4.2 Trinlydniveau

Trinlyd vedrører bygningsdeles egenskaber med hensyn til at transmittere trinlyd i en bygning. Trinlydniveauet betegner den lyd, der frembringes i et rum, når gulvet i et andet rum påvirkes med en standardiseret bankemaskine. Tallet angives som trinlydniveau ($L'_{n,w}$) udtrykt i decibel (dB) og med eller uden spektrale korrektioner. Jo lavere tal, des bedre trinlydisolering.

7.4.3 Lydtransmissionsveje

Luftlyd og trinlyd forplanter sig primært til naborum, men også til rum længere væk. Luftlyd opstår, når en lydgiver, fx en højttaler, sætter luften i svingninger. Trinlyd opstår ved almindelig gang og løbende/legende børn på gulve og forekommer i alle direkte omliggende rum, men også i rum længere væk.



Figur 20. Transmissionsveje for hhv. luftlyd og trinlyd vist med røde pile på figurerne herover.

7.4.4 Lydisolationskrav i ni udvalgte lande

I Tabel 7, og Tabel 8, findes bygningsreglementskrav fra ni udvalgte lande. Lydkrav gælder for den færdige bygning.

Bygningsreglementets grænseværdier for luftlydisolation og trinlydniveau refererer til feltmålinger udført efter hhv. DS/EN ISO 16283-1 (Dansk Standard 2014) og DS/EN ISO 16283-2 (Dansk Standard 2020) og vurderinger efter DS/EN ISO 717-1 (Dansk Standard 2020) og DS/EN ISO 717-2 (Dansk Standard 2020), og de tilsvarende EN ISO-standarder findes i de øvrige lande i Europa. I Canada benyttes ASTM-standarder. I langt de fleste af de omtalte lande bliver der gjort en indsats for at fremme træbyggeri kvalitativt og kvantitativt.

Der findes EN ISO-projekteringsmetoder til beregning af luft- og trinlydisolation mellem rum, men metoderne er endnu ikke velegnede til træbyggeri. Træ er et ortotropt materiale, og de akustiske data for træ er mere usikre end for beton. Gulve og vægge er bygget op af flere lag, og samlingerne mellem gulv og vægge bliver komplicerede. Konstruktionerne bliver derfor følsomme over for variationer i udførelse. Der arbejdes i internationalt regi med udvikling af metoderne, bl.a. for at gøre dem mere anvendelige til CLT-trækonstruktioner. Dette arbejde omfatter også praktiske forsøg med forskellige konstruktioner, for at levere mere sikre inputdata til beregning.

Bygningsreglementskrav i 9 udvalgte lande.

Tabel 7. Luftlydisolation mellem etageboliger.

Lydkrav (1) Status Dec. 2020		Etageboliger	Kommentarer
Land	**Begreb (2)**	**Krav [dB]**	**Se noter under tabel**
Østrig (AT)	$D_{nT,w}$	≥ 55	(3)
Belgien (BE)	$D_{nT,w}$	≥ 54	(3), (9)
Canada (CA)	ASTC	≥ 47	(6), (7)
Danmark (DK)	R'_w	≥ 55	(8)
Finland (FI)	$D_{nT,w}$	≥ 55	
Tyskland (DE)	R'_w	≥ 53	(3), (5)
Island (IS)	R'_w	≥ 55	(4)
Norge (NO)	R'_w	≥ 55	(4), (9)
Sverige (SE)	$D_{nT,w} + C_{50\text{-}3150}$	≥ 52	

Noter

(1) Kun oversigtsoplysninger. Detaljerede krav og betingelser findes i bygningsreglementerne og tilknyttede dokumenter.
(2) Der findes ingen generelt anvendelig konverteringsmetode mellem de forskellige begreber, da sammenhængen afhænger af karakteristika for rum og konstruktioner. Præcis konvertering kan kun foretages i specifikke tilfælde.
(3) I AT, BE, DE gælder strengere grænseværdier for rækkehuse.
(4) Brug af $R'_w + C_{50\text{-}5000}$ anbefales. Hvis anvendt, kan grænseværdien reduceres, se nærmere i kravdokumenterne.
(5) Vandret, kravet til lodret er 1 dB højere.
(6) Alternativt kan en forhåndsgodkendt løsning med STC ≥ 50 dB anvendes.
(7) Provinserne og territorierne har alle deres egne bygningsreglementer, der går forud for det nationale reglement, f.eks. kræver Ontario en STC ≥ 50, ikke en ASTC-værdi. Flere provinser har vedtaget ASTC-vurderingen, men ikke alle.
(8) For lette konstruktioner (vægge ≤ 100 kg/m² og gulve ≤ 250 kg/m²) anbefales $R'_w + C_{50\text{-}3150} \geq 53$ dB.
(9) Under revision. I Norge forventes opgradering fra NS 8175:2012 til NS 8175:2019, lydklasse C, svarende til $R'_w + C_{50\text{-}5000} \geq 54$ dB.

Bygningsreglementskrav i 9 udvalgte lande.

Tabel 8. Trinlydniveau mellem etageboliger.

Lydkrav (1) Status Dec. 2020		Etageboliger	Kommentarer
Land	**Begreb (2)**	**Krav [dB]**	**Se noter under tabel**
Østrig (AT)	$L'_{nT,w}$	≤ 48	(3)
Belgien (BE)	$L'_{nT,w}$	≤ 58	(3), (5), (9)
Canada (CA)	N/A	Ingen	(6)
Danmark (DK)	$L'_{n,w}$	≤ 53	(8)
Finland (FI)	$L'_{nT,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	≤ 53	
Tyskland (DE)	$L'_{n,w}$	≤ 50	(3)
Island (IS)	$L'_{n,w}$	≤ 53	(4)
Norge (NO)	$L'_{n,w}$	≤ 53	(4), (9)
Sverige (SE)	$L'_{nT,w} + C_{I,50\text{-}2500}$	≤ 56	(7)

Noter

(1) Kun oversigtsoplysninger. Detaljerede krav og betingelser findes i bygningsreglementerne og tilknyttede dokumenter.
(2) Der findes ingen generelt anvendelig konverteringsmetode mellem de forskellige begreber, da sammenhængen afhænger af karakteristika for rum og konstruktioner. Præcis konvertering kan kun foretages i specifikke tilfælde.
(3) I AT, BE, DE gælder strengere grænseværdier for rækkehuse.
(4) Det anbefales, at samme kriterium opfyldes for $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500}$.
(5) Fra "ikke-soveværelser" uden for boligen til et soveværelse kræves ≤ 54 dB.
(6) Hverken provinserne, territorierne eller det nationale bygningsreglement har krav til trinlyd. Imidlertid er der fremsendt en anmodning om ændring af Canadas National Building Code i 2025 til også at omfatte krav til trinlyd.
(7) Det samme kriterium skal også opfyldes af $L'_{n,w}$.
(8) For lette konstruktioner (gulve ≤ 250 kg/m²) anbefales $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} \leq 53$ dB.
(9) Under revision. I Norge forventes opgradering fra NS 8175:2012 til NS 8175:2019, lydklasse C, svarende til $L'_{n,w} + C_{I,50\text{-}2500} \leq 54$ dB.

Som det fremgår af bygningsreglementskrav fra ni lande, Tabel 7 og Tabel 8, er de fleste krav meget ens, men Sverige og Finland har inkluderet spektrale korrektioner ned til 50 Hz, og det betyder skrappere krav end talværdierne antyder, og flere lande har eller er på vej med sådanne korrektioner som anbefalinger, se noterne i tabellerne. Til orientering kan tilføjes, at Tyskland og Østrig har betydeligt skrappere krav til trinlyd for etageboliger end i DK, og for rækkehuse er de mange dB skrappere. Let byggeri, fx byggeri i træ, er medvirkende årsag til dette. Trækonstruktionerne har en lav masse og er derfor følsomme over for lave frekvenser. For så vidt angår lydisolation er høj stivhed vigtig, og nogle dæktyper bliver meget tykke for at kunne opfylde lyd- og vibrationskravene. Ofte suppleres med nogle tynde betonlag som afstivning og vægtforøgelse, eller der anvendes ballast (fx fliser) for at forbedre lyd- og vibrationsforhold.

I projektet *Træ i byggeriet* (Rasmussen, 2020) indgik dialogmøder og spørgeskemaundersøgelser, som blev sammenholdt med interviews. En række opfattelser og udsagn fra byggebranchen om lydforhold i træbyggeri, hvor lydkrav for nærværende er en udfordring, blev tydeliggjort. I bilag 18, *Udsagn om lyd og svar,* Tabel 13, findes en række af disse udsagn, og der er angivet nogle korte svar.

7.4.5 Etagedæk – bæreevne og vibrationer

Bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021) stiller i kapitel 15 indirekte krav til vibrationer, idet der henvises til DS/EN 1995-1-1 og det tilhørende nationale anneks for Danmark. Metoden er ikke velegnet, og en revision er i gang.

Etagedæk dimensioneres for både bæreevne, stivhed og vibrationer. Stivheden skal sikre acceptable nedbøjninger, og vibrationsforholdene hindre gener ved færdsel på gulvet (som fx at gulvet ikke gynger, når man går på det). I praksis er det vibrationsforhold, der er afgørende for dimensioneringen af træbaserede etagedæk.

Behandlingen af vibrationer i den nuværende Eurocode for træ er reelt ikke anvendelig, så i praksis er vurderingen af vibrationsforhold baseret på nedbøjningen for punktlasten 1 kN, hvilket er meget upræcist og ikke relevant for CLT. Men i forbindelse med den igangværende opdatering af Eurocodes er der nu beskrevet en meget bedre metode, der også omfatter dæk af CLT. Med metoden kan der foretages beregninger af dækkets stivhed og svingningers egenfrekvens, hastighed og acceleration. På basis af disse parametre er der defineret seks kvalitetsklasser. Det er hensigten, at der nationalt vælges tre klasser, A, B og C, svarende til god, normal og acceptabel baseret på nationale forventninger, der er meget forskellige.

8

BYGGERIER I BIOGENE MATERIALER

8 BYGGERIER I BIOGENE MATERIALER

I dette afsnit præsenteres ti byggerier, hvor biogene materialer er anvendt. Byggerierne præsenteres i billeder med beskrivelser af den bagvedliggende ide for byggeriet. Mere detaljerede beskrivelser af anvendte konstruktionsprincipper knyttet til det enkelte byggeri fremgår af bilag 17.

8.1 Det Biologiske Hus

Huset er opført i et byggekoncept med fokus på at anvende biobaserede rest- og biprodukter i den danske bygge- og materialeindustri. Bygningskonceptet er baseret på modulære principper, både hvad angår størrelse, rumlig disponering og konstruktionsdetaljer. Konceptet tilbyder forskellige boligtyper og en høj grad af variation. Byggesystemets generiske, modulære grundide skaber et forenklet rumligt udtryk ude som inde, understøttet af forenklede løsninger, der gentages, fx afslutninger ved tag, vinduesåbninger eller ved overgange mellem moduler, se Figur 21. Konstruktionsmaterialerne er overvejende restmateriale fra produktionen af græs, halm og tomater samt materialer som tang og ålegræs m.m. oparbejdet til byggematerialer (MUDP-rapport, 2017). Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.1, *Det Biologiske Hus.*

Figur 21. Foto: Det Biologiske Hus' hjemmeside.

8.1.1 Konstruktionens opbygning

Materialer

Fundament: skruepæle
Dæk mod terræn: trækassetter fyldt med løsuld
Ydervægge: trækassetter fyldt med løsuld
Tag: trækassetter fyldt med løsuld
Udvendig beklædning: ubehandlet træ
Tagdækning: tagpap.

Konstruktionsprincip

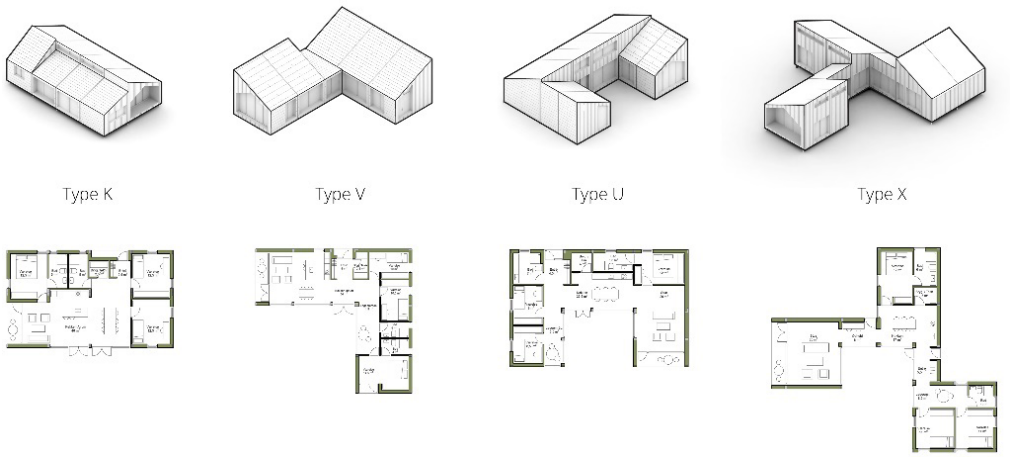
Byggesystem
Modulære byggekomponenter
Samlingsprincipper, der sikrer, at bygningen kan adskilles og genanvendes.

Dæk mod terræn, ydervægge og tag er sammensat af digitalt fabrikerede byggekomponenter i rumstore standardenheder af træ, CNC-fremstillet (Computer Numerical Control), for at opnå ensartede dele. Trækassetterne samles uden brug af lim, de fleste samlinger kan samles med klikfunktion med tapsamlinger og fæstnes med bolte, skruer eller nagler.

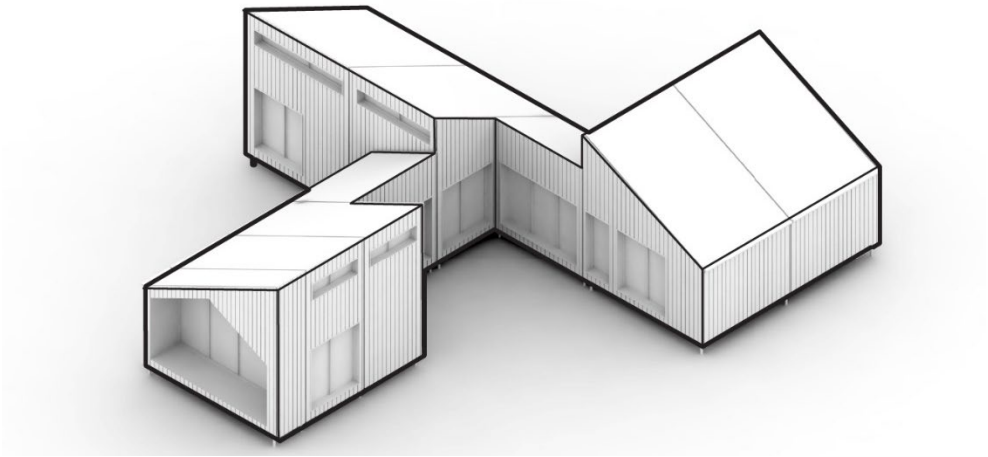
Trækassetterne er moduler til både terrændæk, vægge og tag og er selvbærende. Der anvendes træbjælker til understøtning og fasthold af trækassetterne.

Trækassetterne monteres på punktfundamenter af skruepæle og fyldes efterfølgende med løsuld som isolering. Isoleringen blæses ind og kan suges ud af elementerne ved adskillelse.

Trækassetter kan sættes sammen og adskilles igen. Bygningen kan således udvides og indskrænkes efter behov, og kassetter kan genanvendes i nye bygninger, se Figur 22 og Figur 23.



Figur 22. Skitse af trækassetter i moduler til både terrændæk, vægge og tag. Tegning: Det Biologiske Hus' hjemmeside.



Figur 23. Skitse af Type X. Tegning: Det Biologiske Hus' hjemmeside.

8.2 Kredsløbshuset

Huset er et fritliggende enfamiliehus. Husets udtryk lægger sig tæt op ad traditionelle landbohuse, med hvidkalkede facader, relativt små vinduesåbninger og et stort, sammenhængende saddeltag i strå. Husets hovedrum vender mod syd med en stor glasfacade ud mod en overdækket veranda. Husets store, 'tunge' tag og de tykke, lerpudsede halmvægge udtrykker tyngde og holdbarhed. Samhørighed med landskabet er opnået ved en materialemæssig tilpasning – en bevidst omsætning af de lokale ressourcer til byggematerialer, se Figur 24. (Keller og Kruse, 2000). Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.2, *Kredsløbshuset*.

Figur 24. Foto: Helle Skovkonge.

8.3 Det Åndbare Hus

Huset er opført som et fritliggende længehus på kanten af et åbent kulturlandskab med marker og fladt terræn. Huset har et stort, højt saddeltag med stejl taghældning. Det er tækket med tagrør (*Miscanthus*) og har en bred rygning i træ, som giver en skarp afslutning på taget. Den tækkede flade fortsætter visse steder ned over facaden, hvor de øvrige vægge på resten af huset har vandret beklædning med træbrædder. Facaden forskyder sig med fremskudte og tilbagetrukne flader i henholdsvis strå og træ. Stråtaget danner udhæng, se Figur 25 (https://detaandbarehus.dk/). Huset er naturligt ventileret og har lerklinede gulve og indvendige vægge i lersten. Etagedæk er i massivtræ, gulve er voksbehandlede, og vægge er lerpudsede (MUDP-rapport, 2017). Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.3, *Det Åndbare Hus*.

Figur 25. Foto: Søren Blicher, Karina Tengberg.

8.4 Villa Straa

Huset er opført som en enkel, fritliggende bygning med et forholdsvis lavt saddeltag ift. den tækkede tagbeklædning. Dets knappe form er sammenholdt af en ubrudt tækket tagflade, der udvalgte steder er trukket ned over facaden, se Figur 26. Den tækkede gavl, som er uden tagudhæng, vender mod havet. Med tiden ændrer de tækkede overflader farve til grå som kystlandskabets farver, der tegnes af sandet, stråene og græsserne på stranden (https://looparchitects.dk/portfolio/villa_straa/). På nær to store vinduer i gavlen er alle de lodrettækkede flader lukkede. De åbne partier med vinduer og døre er beklædt med smalle, lodrette trælister og er trukket tilbage fra de tækkede flader og husets tækkede tagudhæng. Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.4, *Villa Straa*.

Figur 26. Foto: Jacob Dued.

8.5 Feldballe Friskole

Tilbygning ligger i forlængelse af eksisterende skolebygning. Tilbygningen består af et stort bygningsvolumen med saddeltag, som danner en vinkel ift. den eksisterende skolebygning. Tilbygningen orienterer sig ind mod gården og fremstår som en selvstændig bygningskrop, der afviger fra de eksisterende bygninger. Et stort, udkraget tagudhæng, der strækker sig over hele bygningens sydlige del, giver læ for regn langs facaden.

Tilbygningen er beklædt med falsede brædder af skandinavisk fyr på tag og facade. Tagkonstruktion, tagisolering samt ydre og indre facadebeklædning er af europæisk FSC-certificeret træ, medens de bærende vægge er i præfabrikerede halmelementer (https://ipaper.ipapercms.dk/Konstruktrforeningen/konstruktoeren-20211/konstruktoeren-3-2021/?page=16).

Solcellepaneler dækker meget af tagfladerne mod syd, mod nord er der placeret en række højtsiddende ovenlys. Nogle af de indvendige vægge er pudset op med lokalt ler. Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.5, Feldballe Friskole – Tilbygning.

Figur 27. Foto: Lindskov Communication.

8.6 Friluftshuset ved Silkeborg Højskole

Byggeriet er opført på kanten mellem åben eng og tæt skov. Træ er det gennemgående materiale, både i bærende konstruktioner og beklædning (https://silkeborghojskole.dk/).

Byggeriet består af fire hovedvolumener, der både ligger forskudt fra hinanden, og som skyder sig op forbi hinanden med varierende taghøjder. Visuelt bindes volumenerne sammen af store, bærende rammekonstruktioner i træ vist i facaden. Rammernes felter er beklædt med spån i akacie eller udfyldt med glas. Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.6, *Friluftshuset ved Silkeborg Højskole*.

Figur 28. Foto: Anders Rajendiram.

8.7 Det Moderne Tanghus

Det Moderne Tanghus er et resultat af en konkurrence om at tegne et sommerhus, der fortolker de gamle, traditionelle tanghuse. Huset lever op til 2020-kravene sikret ved et meget lavt energiforbrug til opvarmning.

Ålegræs (bændeltang) er brugt som yderbeklædning, isolering i gulv og som akustiske paneler. Det Moderne Tanghus opstår i mødet mellem materiale, kultur, teknologi og lokalitet, hvor materialet ålegræs bliver forankret i en nutidig byggeskik (Tegnestuen Vandkunsten, Søndermark, Nielsen og Klebak, 2013). Husets ålegræsbeklædninger er i dag fjernet pga. en byggeskade i forbindelse med undertaget og i stedet beklædt med træ på tag og facader. Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.7, *Det Moderne Tanghus*.

Figur 29. Foto: Helene Høyer Mikkelsen for Realdania By & Byg.

8.8 Sommerhus

Det fritliggende sommerhus ved Kandestederne er tilpasset naturen, både til at skabe læ fra den barske natur og kontakt til udsigt, sol og landskab (https://www.cfmoller.com/p/-da/Sommerhus-i-Kandestederne-i1809.html). Huset består af flere større/mindre og højere/lavere bygningsvoluminer med ensidig taghældning og knappe afslutninger uden udhæng mellem tag og væg.

De enkle, prismatiske bygningskroppe er bygget op mod en langsgående høj væg, der danner en skærm ud mod landskabet udnyttet til et beskyttet terrasserum. Det gennemgående materiale på alle lukkede overflader er træ, både inde og ude. Udvendigt på tag og facader er der træarten thuja (Western Red Cedar), som ubehandlet patinerer grå. Indvendigt er vægge og lofter beklædt med lakeret birkefiner, og vinduesrammer er i ubehandlet eg.

De forskellige trætypers patinerende egenskaber er valgt for at give bygningen karakter. Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.8, *Sommerhus*.

Figur 30. Foto: CF Møller Architects.

8.9 Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning)

Byggeriet Børnehuset Grønnegården omfatter nyt og gammelt byggeri (https://www.dagensbyggeri.dk/artikel/114358-bornehuset-gronnegarden-bliver-et-stort-co2-lager). De nye bygninger revitaliserer den over 100 år gamle lade, der, efter landbruget blev nedlagt, har fungeret som ridehal, marchhal for Gladsaxe Pigegarde og senest som hal for loppemarkeder. (https://www.bbp.dk/brnehuset-grnnegrden-projektbeskrivelse-copy).

Den gamle lade inddrages i den aktive del af børnehusets legeområde og GladsaxeLiv, der skal danne ramme for leg og fysisk udfoldelse for førskolebørn og deres forældre.

Alle opholdsrum får dagslys fra to sider. På børnenes stuer er der et stort ovenlys midt på loftet. I hovedhuset er der en lang, central lysskakt i midten af bygningen, der giver dagslys til de store fællesrum på begge sider. Lysarmaturer er LED, der tænder og slukker selv, og hovedhuset har et stort solcelleanlæg på taget under ovenlysbåndet, der leverer el til huset. (https://www.bbp.dk/brnehuset-grnnegrden-projektbeskrivelse-copy). Bygningen er yderligere beskrevet i bilag 17.9, *Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning)*.

Figur 31. Rendering: BBP's hjemmeside.

9

NYE BIOGENE MATERIALER OG ARKITEKTUR

9 NYE BIOGENE MATERIALER OG ARKITEKTUR

De biogene ressourcer rummer en vifte af muligheder for at levere nye materialer til byggeriet, såfremt den nødvendige forskning og innovation tilvejebringes og nye teknologier bringes i spil i industrien. På kortere sigt kan mængden af tilgængelige biogene ressourcer øges gennem dyrkning og optimeret udnyttelse af de producerede ressourcer. Dette kan for eksempel ske ved forædling af de fraktioner af biogene ressourcer, der for nuværende går til energiproduktion, eller ved større genanvendelse af biogene materialer.

9.1 Optimeret udnyttelse af biogene ressourcer

Et biogent materiale som træ anvendes allerede i stor stil til forskellige byggematerialer fra konstruktionstræ til pladematerialer og isoleringsprodukter. Denne tilvirkning sker ved kendt teknologi. Et større fokus på forædlingen af underudnyttede biogene ressourcer med lav værdi vil kunne optimere udnyttelsen af træ og andre biogene ressourcer til byggematerialer. Biogene fibre er en alsidig råvare, som vil kunne udnyttes til diverse byggematerialer såsom plader, formbare kompositmaterialer og isoleringsprodukter (Halvarsson et al., 2008; Mo et al., 2003; Sassoni et al., 2014). Dette kræver neddeling af de biogene ressourcer til enkeltfibre eller fiberbundter, for at deres fysiske egenskaber kan udnyttes effektivt. Neddelingen foregår typisk mekanisk og/eller kemisk såsom ved papirproduktion.

En af fordelene ved neddelingen til fibre er, at en bred vifte af fraktioner af biogent materiale kan udnyttes, fx afskær, smådimensioneret træ fra tyndinger, frasorteret træ eller andet biogent restmateriale. Derudover kan fibre genanvendes ad flere omgange og således sikre en bedre cirkulær anvendelse af de biogene ressourcer.

En yderligere metode til at forædle træ af lavere værdi til byggematerialer er ved produktion af limede træprodukter såsom limtræ eller krydslamineret træ. Herved sammensættes lameller af træ til enten limtræsbjælker eller CLT-elementer. Disse lameller kan forlænges ved fingerskarring af flere stykker træ, og dermed er der ingen begrænsning på spændvidden af elementerne. Det gælder også tværsnittet, når lameller sammenlimes i højden eller bredden. Bindemidlet, der anvendes, er som oftest afledt af fossil olie og udgør typisk omkring 1-2 % af byggekomponentens masse. Anvendelsen af mindre stykker træ vil kun forøge denne andel marginalt, da størstedelen af bindemidlet går til sammenlimning på langs af lamellerne. Et grønnere alternativ til de fossilt afledte bindemidler er udviklingen af nye bindemidler baseret på biogene ressourcer såsom lignin, proteiner eller marin biomasse, se fx afsnit 5.3.4, *Chitosan*. Derudover kan byggekomponenter sammenføjes med andre metoder end lim, såsom anvendelsen af søm lavet af resin-imprægnerede, hårde træarter som bøg, eller ved sammensvejsning af træet (wood welding), hvor træstykker gnides mod hinanden ved høj frekvens (50-150 Hz). Herved udvikles friktionsvarme, der blødgør træets lignin og får det til at virke som et bindemiddel mellem lamellerne (Gfeller et al., 2003).

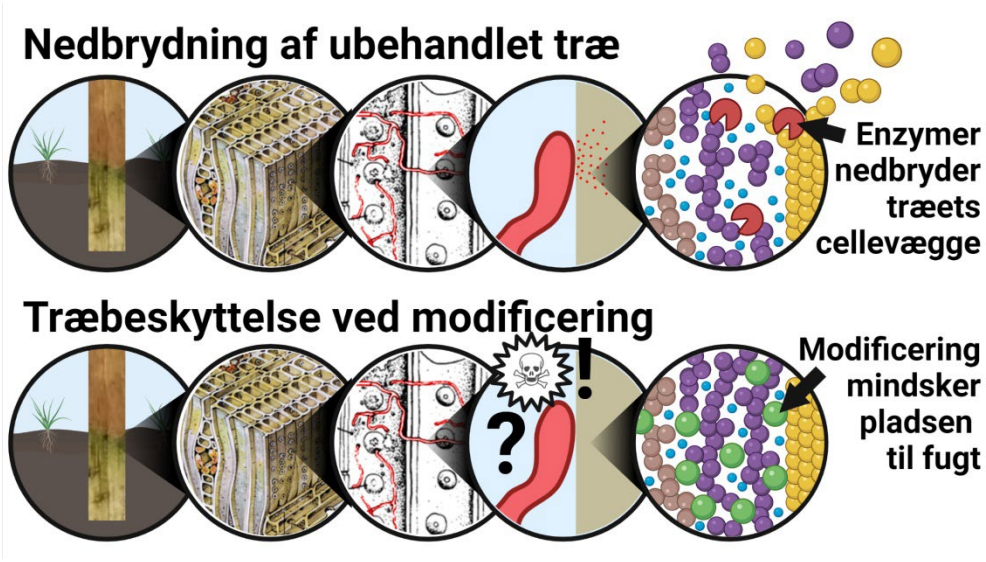
Fingerskarring af lameller giver en bred vifte af størrelser på de træstykker, som potentielt kan udnyttes til limende materialer, hvor stykker helt ned til 1-1,5 meters længde forventes at kunne blive til konstruktionsprodukter. Det ses blandt andet i udlandet, hvor fx schweiziske Fagus Suisse anvender dansk produktionsteknologi til at lave limtræsbjælker og -søjler af bøgetræstykker af 1-1,5 meters længde. På lignende vis kunne limtræ og CLT-ele-

menter produceres af ringere fraktioner af træ, som for nuværende ikke udnyttes til konstruktionstræ. I limtræsbjælker er de midterste lameller normalt langt mindre belastet end de yderste, hvilket muliggør udnyttelsen af træ med ringere mekaniske egenskaber og evt. udnyttelsen af genbrugstræ med ukendt reststyrke. Udnyttes denne mulighed, kan anvendelsen af træ med lavere værdi optimeres.

9.2 Forlængelse af levetid og modificering af materialeegenskaber

Forlængelse af levetiden gennem hensigtsmæssigt materialevalg og modificering vedrører de biogene materialers iboende holdbarhed, dvs. hvor modstandsdygtige de er over for fx angreb af rådsvampe. Den naturlige holdbarhed varierer meget mellem træarterne, hvilket skyldes forskelle i træets struktur og især deres indholdsstoffer. Træarter såsom eg, robinie og en række tropiske træarter danner kerneved, som har en væsentlig bedre holdbarhed i udfordrende miljøer såsom i jordkontakt. Træarter som gran og bøg danner også kerneved, men deres kerneved har til forskel fra fx eg og robinie ikke en bedre holdbarhed i udfordrende miljøer. Derfor er hensigtsmæssigt materialevalg, hvor konstruktionsdele i udfordrende miljøer udføres i materialer med en god, naturlig holdbarhed, en måde at forlænge konstruktionens levetid. Materialernes holdbarhed kan også forlænges ved at ændre deres kemi. Traditionelt er dette blevet gjort ved behandling med biocider såsom kreosot eller kobber-krom-arsen (CCA), oftest ved trykimprægnering. Grundet bekymringer for uhensigtsmæssige effekter på miljøet ved udvaskning af biocider under anvendelsen af biocidholdigt træ og for arbejdsmiljøet i forbindelse med behandlingen og håndteringen af materialerne er reglerne for brugen af biocider til forlængelse af holdbarheden gradvist blevet strammet over årene. På længere sigt er denne løsning derfor heller ikke at foretrække, da biocidbehandling hindrer genbrug af de biogene materialer og medfører udvaskning af biocider til det omgivende miljø. Som alternativ til biocider er modificering en moderne, ikke-toksisk måde at forlænge materialernes holdbarhed (Sandberg et al., 2017).

Modificering er en måde at ændre på materialekemien for derigennem at forbedre biogene materialers egenskaber til en bestemt anvendelse. Modificering dækker over en række teknologier, der fx forbedrer holdbarheden uden at være giftige for andre organismer. Essensen af disse modificeringer er, at de ændrer på materialernes evne til at optage fugt. Kritisk fugt er en essentiel betingelse for nedbrydning af biogene materialer. Modificering kan forhindre, at materialet kan optage tilstrækkeligt fugt til, at rådsvampe kan trives og nedbryde materialet (Thybring, 2013), se Figur 32. Der findes en række kommercielle eksempler på modificerede træprodukter til byggeriet, såsom varmebehandlet, acetyleret og furfuryleret træ (Jones og Sandberg, 2020). Mange andre typer biogene materialer kunne i princippet modificeres for at forbedre holdbarheden i meget fugtige miljøer med risiko for nedbrydning.



Figur 32. Modificering mindsker pladsen til fugt inde i træets cellevægge. Derved kan de forhindre råds-vampe i at nedbryde træets cellevægge ved at hindre transporten af enzymer og andre kemikalier. Figur: Emil E. Thybring, BioRender.com.

De fleste modificeringer sker ved, at kemiske stoffer reagerer med det biogene materiale. Disse typer modificeringer kræver en åben struktur i det biogene materiale, for at de kemiske stoffer kan trænge ind i hele materialet. Dette er ikke et problem ved modificering af fibre, men kan være en udfordring ved modificering af hele stykker træ. For at forbedre indtrængningen af væsker i træ, som vanskeligt lader sig imprægnere, kræves teknologier, som kan forbedre indtrængningen af væsker i træet, fx ved laserskæring af mikrohuller, nye imprægneringsteknologier eller blot anvendelsen af træarter med naturligt god imprægnerbarhed. Sidstnævnte vil typisk være af lavere værdi end almindeligt anvendte træarter, da deres imprægnerbarhed skyldes en åben og meget porøs struktur, som samtidig medfører dårligere mekaniske egenskaber. Modificering vil kunne forædle sådanne træarter af lavere værdi til materialer med forbedrede egenskaber, ikke bare holdbarhed, men også mekaniske egenskaber.

En vigtig egenskab, der kan forbedres gennem modificering, er de biogene materialers brandtekniske egenskaber (Guo et al., 2019). Ud over at forbedre biogene materialers egenskaber er det med modificering også muligt at introducere helt nye egenskaber til materialerne. Der er således blevet forsket i at modificere træ, så det har piezoelektriske egenskaber, hvor kontakttryk (fx fodtrin) genererer elektricitet (Sun et al., 2021), eller i at lave træmaterialer, der 'sveder' (afgiver flydende vand) ved høje temperaturer for at give afkøling og modvirke overophedning (Keplinger et al., 2016). Derudover kan modificering øge varmelagringen i biogene materialer ved at indlejre faseskiftende materialer (Jeong et al., 2012; Xia et al., 2021), der optager overskudsvarme, når temperaturen overstiger en vis tærskelværdi, og afgiver varmen igen, når temperaturen falder igen, for på denne måde at regulere og stabilisere indeklimaet.

Forskningen i modificering er i en rivende udvikling, og nye teknologier bliver løbende afprøvet og markedsmodnet. Derfor forventes et større udvalg af teknologier til modificering og en bredere vifte af modificerede biogene materialer i fremtiden.

9.3 Optimeret brug af biogene materialer i byggeriet

Optimering af den samlede konstruktion indebærer en afvejning af krav til bl.a. bæreevne, brand og isoleringsevne mod de miljømæssige og økonomiske omkostninger. Omkostninger

omfatter naturligvis opførelse, vedligeholdelse og bortskaffelse. En ofte overset omkostning er konstruktionstykkelsen, idet en reduktion i tykkelsen for at opnå givne egenskaber øger brugsværdien gennem større nettoareal eller rumhøjde eller muliggør en mindre bygningskrop til gavn for prisen, arealudnyttelse og skyggeforhold.

Der er således en betydelig gevinst ved at optimere konstruktionerne i ydervægge og tag. I fx ydervægge giver mindre volumen af de bærende konstruktioner plads til mere isolering eller en tyndere væg. I træbyggeri er dimensionerne på træstolper ofte givet af standardmål. For at det kan lade sig gøre at støde to beklædningsplader over en rektangulær stolpe, er dimensionerne på træstolperne i træbyggeri typisk bestemt af tykkelsen af isoleringen gange minimumsbredden samt afstanden mellem stolperne af pladebredden. Alternativt til rektangulære stolper kan anvendelse af fx I-bjælker fremstillet af biogene materialer bidrage til at tilpasse bæreevnen og dermed materialeforbruget til behovet. Sådanne produkter er på markedet.

CLT-elementer giver højt materialeforbrug sammenlignet med skeletkonstruktioner. I ydervægge erstatter CLT i nogle tilfælde to lag gipsplader, hvis der anvendes træskelet til at fastholde isolering og udvendig beklædning, se bilag 20.2, *Vægtyper*. I afstivende vægge og dækkonstruktioner er CLT mere attraktivt, fordi dets gode egenskaber som skive og især plade kan udnyttes til at stabilisere bygningen og forebygge vibrationer af dæk.

Selve miljøomkostningerne ved materialevalget i byggeri bør inddrages i optimeringen. Fx kræver biogene isoleringsmaterialer typisk pladebeklædninger med bedre brandmæssige egenskaber, end hvis der anvendes isolering af mineraluld.

9.4 Biogene mineralske kompositter

Biogene alternativer til cement som bindemiddel bliver for tiden undersøgt eller er udviklet i et forsøg på at nedbringe betons klima- og miljøaftryk. Et eksempel er brugen af jordbakterier, der blandes med næringsstoffer, vand, sand og grus. Bakteriernes forbrug af næringsstoffer skaber kemiske stoffer, der kitter sand og grus sammen til et biogent mineralsk kompositmateriale (Gebru et al., 2021).

Et andet biogent alternativ til cement er brugen af biopolymerer, som er gode til at binde til mineralske materialer (Christ et al., 2019). Forskningen inden for dette område er endnu på forsøgsstadiet, men interessante resultater er fremkommet ved brug af termoplastiske biopolymerer, der er meget velegnede til 3D-printning af biogene, mineralske kompositmaterialer pga. en hurtig hærdning ved køling. Endnu forestår udfordringer med bindemidlets opløselighed i vand og mulige bionedbrydelighed.

9.5 Økometabolistisk arkitektur

'Økometabolistisk arkitektur' er et koncept, der beskriver et biobaseret materialeparadigme for arkitektur. Det undersøges for tiden på Det Kongelige Akademi i et forskningsprojekt af samme navn. Målet er, at byggeriet skal overgå fra en afhængighed af geosfærens ikke-fornybare materialer til biosfærens vedvarende og grundlæggende cykliske materialer for at skabe nye bæredygtige bygningspraksisser. Arkitektonisk formgivning forstås traditionelt via det holdbare og det permanente. Projektet har til formål at udfordre dette grundlag og fremlægge de fundamentale forskelle, som biobaserede materialer skaber. Med fokus på levende materialers indlejrede levetider, biomassers fundamentale cirkularitet og nedbrydelighed samt de deraf følgende transformative livscyklusser for de genstande, de repræsenterer, foreslår projektet en holistisk konceptualisering af arkitektur som en organisme, der er bygget af levende materialer. Grundlaget er, at den biobaserede materialetænkning kobles

med avanceret beregningsmodellering og -fabrikation, der styrker instrumenteringen af biobaserede materialers ellers undertrykte egenskaber; deres indlejrede heterogenitet, komplekse dynamiske adfærd og miljømæssige tilpasningsevne.

Figur 33. Foreløbige resultater fra røntgenundersøgelse, som giver meget detaljerede billeder af indre strukturer ved computer-tomografi, CT-scanning, vedrørende formgivning, der integrerer strategisering af forskellige materialeegenskaber i specialudviklede limtræsbjælker. CITA, 2021.

Projektet 'Økometabolistisk arkitektur' har defineret tre mål, der gentænker den måde, hvorpå vi repræsenterer, fabrikerer og bor i biobaseret arkitektur, ved at:

- tilvejebringe de konceptuelle rammer for et nyt sæt af repræsentationer, der fanger, formgiver og styrer biobaserede materialers heterogenitet, temporale plasticitet og levende egenskaber
- udvikle modeller for adaptiv fabrikation for at udforme nye materialepraksisser til håndtering og styring af biobaserede materialers dynamiske egenskaber
- foreslå fremtidige praksisser for fortsat deltagerbaseret byggeri, hvor beboere ses som en del af bygningscyklusserne gennem processer, der styrker, vedligeholder eller direkte udvikler biobaseret arkitektur.

Figur 34. De tre væsentlige perspektiver i Økometabolistisk arkitektur: fra trækonstruktionens makroskala, indhegningens mesoskala og bakteriers mikroskala. Forprojekter af CITA, 2019-2021.

Disse mål søges opnået gennem tre væsentlige perspektiver:

- Det høstede:
  Praksisser relateret til byggeri med træ, bambus, siv eller strå er fasttømrede dele af byggeriets historie. Projektet vil udforske industrialiserede processer til fabrikation af konstruktion i limtræsbjælker i fri form som baggrund for at forstå, hvordan datarige praksisser kan udfordre eksisterende praksisser for materialeklassificering. Det undersøges, hvordan en samlet ramme kan afhjælpe den nuværende mangel på viden for at bryde med den standardiserede forståelse af træressourcer ved at:
    1. lave prototyper ud fra de grænseflader som læner sig op af materialeoplysninger i form af CT-data, der beskriver hver enkelt trædels cellestruktur, som kan forbindes med hensigten med formgivningen, Figur 33
    2. udvikle måder, hvorpå vi kan samordne disse til lokalt klassificerede stivhedsvariable limtræselementer
    3. foreslå deltagerbaserede praksisser for løbende styrkelse som erstatning for den nuværende sædvane for overdimensionering.

- Det kompositte:
  Biopolymerer fremstillet af biomasse såsom stivelse, cellulose, gummiarter eller mikroorganismer tiltrækker for tiden opmærksomhed som miljømæssigt fornuftige alternativer til oliebaserede polymerer. Projektet vil undersøge, hvordan robot-ekstrudering af gyllebaserede biopolymerer kan kontrolleres for at klassificere både lokaliseret materialegeometri og sammensætning som svar på formgivningskriterier, Figur 34. Det tackler den nuværende mangel på viden ved at:

    1. udvikle formgivningsintegrerede styremekanismer, der kombinerer geometri og materialesammensætning for at styre egenskaber og levetid
    2. forbinde monitoreringsdata for at forudsige og kontrollere temporal plasticitet
    3. fremsætte nye praksisser for fortsat deltagerbaseret byggeri tilpasset materialers levetid.

- Det levende:
  Fremkomsten af nye bioteknologiske platforme fornyer materialetænkning, så den inkluderer levende organismer. Projektet vil undersøge brugen af bioluminescente bakterier som arkitektonisk lyskilde. Det fremsætter prototyper for nye metoder til repræsentation og instrumentalisering af levende bakterier som arkitektonisk materiale ved at:
    1. forudsige bioluminescente bakteriologiske organismers livscyklus og egenskaber
    2. kommunikere med robotfabrikation for at opnå kontrolleret udformning af beboelse
    3. foreslå deltagerbaserede praksisser for udvikling og vedligeholdelse af levende arkitektur.

Biobaseret materialeparadigme for arkitektur og konceptet ’Økometabolistisk arkitektur’ er nærmere beskrevet i bilag 19, *Biobaseret materiale-paradigme for arkitektur*.

10

BARRIERER OG POTENTIALER FOR ANVENDELSEN AF BIOGENE MATERIALER

10 BARRIERER OG POTENTIALER FOR ANVENDELSEN AF BIOGENE MATERIALER

Dette afsnit sammenholder barrierer og potentialer for anvendelsen af biogene byggematerialer, som producenterne ser situationen. I et tidligere arbejde blev barrierer og potentialer identificeret blandt byggeriets øvrige aktører. Disse identifikationer danner grundlag for to interviews med centrale aktører inden for produktion, salg, markedsføring og anvendelse af biogene materialer i Danmark. Interviewene er gennemført med to byggevareleverandører af byggevarer baseret på biogene materialer. Referater af interviewene kan ses i afsnit 25, *interviews*. Det tidligere arbejde er rapporteret i BUILD-rapport 2020:25 (Rasmussen et al., 2020).

Uddybende interview med Tobias Øhrstrøm, CEO i Søuld, som producerer akustikpaneler, findes i afsnit 25.1, *INTERVIEWRESUMÈ 1.* Uddybende interview med Lars Keller, direktør i EcoCocon Danmark, som producerer vægelementer, findes i afsnit 25.2, *INTERVIEWRESUMÉ 2.*

10.1 Identificerede barrierer og potentialer

BUILD Rapport 2020:25 (Rasmussen et al., 2020), viste, at der er en opfattelse af, at der er efterspørgsel på byggevarer i træ. Dette er primært inden for bærende konstruktioner, modulbyggeri og facader. Ligeledes viste undersøgelsen, at der er en opfattelse af, at der er et stort, uudnyttet potentiale inden for byggeri under seks etager. Især for byggeri til enfamiliehuse, kæde- og rækkehuse samt etageboliger og offentlige institutioner som skoler, daginstitutioner, kollegier, men også kontorbyggeri. Respondenterne vurderede ligeledes, at bygningsreglementets krav er med til at begrænse anvendelsen af træ i byggeriet, primært inden for bestemmelserne om brand og lyd.

Der er dog ikke direkte regulative begrænsninger i bygningsreglementet ved opførelsen af byggeri i biogene materialer; bygningsreglementet er baseret på egenskaber, også kaldet funktionsbaseret. På trods heraf menes udmøntningen af bygningsreglementets bestemmelser at være en barriere, se afsnit 7.3, *Brand.* De oplevede barrierer må anses for reelle hvad angår træbyggeri og bunder i den måde, kravene i bygningsreglementet er beskrevet og udmøntet på. For brand gælder det i forbindelse med vurdering af, hvorvidt et byggeri er indsatstaktisk traditionelt. Ved sådanne vurderinger er præaccepterede løsninger i Bygningsreglementets vejledning til kapitel 5 – *Brand* centrale sammen med redningsberedskabets vurderinger af andre løsninger.

For andre løsninger stiller bygningsreglementet krav til eftervisning af, at samme sikkerhedsniveau som angivet i præaccepterede løsninger er opnået. Et blandt respondenterne opfattet begrænset udvalg af præaccepterede løsninger kan således forekomme som en barriere. Især set i lyset af at resultatet af indfasningen af den ny certificeringsordning for brandrådgivere, som blev indført i januar 2020, reelt har strammet op på krav til kompetencerne ved vurdering af 'afvigende løsninger'. Løsninger, som den brandsagkyndige skal have erfaring med, eller som man andetsteds kan finde begrundelse for vil kunne blive vurderet til at opnå et sikkerhedsniveau som angivet i præaccepterede løsninger. Derudover er der efter indfasningen af den ny certificeringsordning krav til brandteknisk risikovurdering baseret på formel dokumentation af egenskaberne af de anvendte løsninger. Reelt vil nye materialer og innovative løsninger som udgangspunkt, indtil de fornødne erfaringer opnås, blive

pålagt en dokumentationsbyrde med en økonomi, som små virksomheder vil have svært ved at rejse. En udfordring særligt knyttet til biobasserede byggevarer er den naturlige variation i egenskaber, fx i form af varierende saltindhold, som virker brandhæmmende i marine materialer som ålegræs. Det er alt i alt for øjeblikket en barriere med hensyn til innovation og anvendelse af biogene materialer i byggeriet, i en tid, hvor byggeriet står over for en omlægning til grønne løsninger, og hvor anvendelsen af flere biogene materialer er et centralt værktøj til at reducere byggeriets CO_2-aftryk, men også når det gælder både de nationale og globale planetære grænser og biodiversitet.

Til forskel fra opskåret træ anvendt til beklædning og i konstruktioner samt en lang række allerede kendte produkter af træ som fx pladematerialer er brugen af andre biobaserede byggevarer og deres egenskaber ikke almindeligt kendt. Der er således et stort behov for at dokumentere produkternes egenskaber. Dokumentationsbyrden ligger fortrinsvis hos leverandøren, som ofte både er opfinder, producent og den, der markedsfører produkterne. Det er på den baggrund ikke overraskende, at producenterne oplever krav til dokumentation af egenskaber af produkterne som en barriere, primært i form af brandtest og akustiktest, som er en forudsætning for at kunne afsætte produkterne. Yderligere har miljøvaredeklarationen/EPD'en stor betydning for markedsværdien ligesom fx skimmeltest, densitetstest og indeklimatest og mærkning af produkterne, enten ved TGA (Teknisk Godkendelse til Anvendelsen), ydeevneerklæring (DoP, Declaration of Performance), Cradle to Cradle-certificeringen, ETA (European Technical Assessment) eller CE-mærkning. Specielt oplever producenterne det vanskeligt at finde ud af, hvilken type dokumentation der er nødvendig at have på plads for at kunne sælge produktet på det danske marked. Det kan for nye byggevarer på markedet være vanskeligt at komme fra ETA-mærkning til CE-mærkning samt at kende betydningen af de forskellige mærkningsordninger for afsætning af et produkt. Viden om den mest relevante dokumentation for produkternes vej ind på markedet ses som en barriere.

Hvor BUILD-rapport 2020:25 viste, at respondenterne lagde vægt på manglende viden og uddannelse inden for anvendelsen af træ i byggeriet, tyder det på, at producenter af biogene materialer af ålegræs og halm har større fokus på barrierer med relation til produktion af byggevarer og at dokumentere egenskaber for produkternes anvendelse i konkret byggeri. At fremme anvendelsen af biogene byggevarer hænger sammen med viden om materialernes egenskaber og anvendelse, som det ligeledes blev formuleret i BUILD Rapport 2020:25.

11

ROADMAP FOR ANVENDELSE AF BIOGENE MATERIALER I BYGGERIET

11 ROADMAP FOR ANVENDELSE AF BIOGENE MATERIALER I BYGGERIET

I dette afsnit præsenteres barrierer mod og tiltag for understøttelse af den danske byggebranches omstilling til øget anvendelse af biogene materialer. Der henvises til bilag 26, *byggebranchens forandringer*, for en uddybende gennemgang af metoder og resultater fra den undersøgelse, der ligger til grund for roadmappet. I det følgende præsenteres resultater fra undersøgelsen med fokus på identificerede barrierer mod og tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer i den danske byggebranche. Kortlægningen er baseret på international litteratur og en interviewundersøgelse med udvalgte respondenter fra forskellige led i dansk byggeris værdikæde.

11.1 Teknologiske transitioner

Som grundlag for arbejdet er teori og perspektiver vedrørende teknologiske transitioner anvendt (Geels, 2004; Geels og Schot, 2007). Denne teoridannelse anlægger et systemisk og socioteknisk perspektiv på teknologiers udvikling og anvendelse, herunder teknologiens relationer til eksisterende markedsstrukturer, brugerpraksisser, lovgivninger m.m. Hovedargumentet er, at innovationer udvikles lokalt i såkaldte nicher og skal indgå i samspil med bredere sociotekniske systemer eller regimer på branche- hhv. samfundsniveau for at blive accepteret og udbredt og dermed bidrage til en samfundsmæssig omstilling.

Dette betyder, at det ikke kun er rene økonomiske eller teknologiske forhold, der er bestemmende for, hvorvidt en innovation vinder indpas i en given samfundsmæssig kontekst. I stedet for vinder innovationer indpas, i takt med at relationer mellem mange forskellige dimensioner, som fx regulering, brugerpraksisser, videnskabelig viden, infrastruktur m.m., løbende udvikles og tilpasses, indtil der opstår nye strukturelle koblinger og bindinger mellem de forskellige dimensioner i regimet og omstillingen er fuldført.

11.2 Barrierer mod biogene materialer i byggeriet

Den transitionsteoretiske pointe om, at innovationer og nye teknologier, som fx biogene materialer, udvikles og udbredes i samspil med andre sociotekniske faktorer, har dannet grundlag for kortlægningen af barrierer mod anvendelse af biogene materialer i byggebranchen. Disse er opsummeret nedenfor i hovedtræk, se Tabel 9.

Tabel 9. Barrierer mod anvendelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	Identificerede barrierer
Kultur:	– Biogene materialer tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter for sent. – Lavt kendskab til biogene materialers anvendelsesmuligheder. – Forskellige faglige opfattelser af, hvor biogene materialer er anvendelige.
Infrastrukturer:	– Lav interesse i at investere i forskning, der kan kvalificere biogene materialers egnethed. – Manglende undervisning i biogene materialer.
Teknologier:	– Manglende byggeteknisk forståelse mht. at bygge med nye biogene materialer.

Tabel 9 fortsat	
Markeder og brugere:	– Biogene materialer har et dårligt image. – Ansvaret for at drive udbredelsen af biogene materialer er uklart og risikobehæftet. – Pris er en barriere.
Politikker:	– Bygningsreglement fremmer valg af traditionelle materialer.
Teknisk / videnskabelig viden:	– Manglende praktiske erfaringer med biogene materialer. – Utilstrækkelig dokumentation mht. nye biogene materialers tekniske egenskaber.
Industrinetværk:	– Virksomhedsspecifikke erfaringer med biogene materialer deles ikke.

11.3 Tiltag til fremme af biogene materialer

På tilsvarende vis er tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer på kort, mellemlangt og langt sigt identificeret ud fra de forskellige dimensioner, der udspænder et sociotekniske regime, se Tabel 10, Tabel 11 og
Tabel 12.

Tabel 10. Udvalgte tiltag på kort sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på kort sigt**
Kultur:	– Biogene materialer skal tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter tidligt. – Eksempler på god arkitektur med brug af biogene materialer skal udfærdiges.
Infrastrukturer:	– Oplysning om biogene materialer på byggeriets uddannelser.
Teknologier:	– Tilgængelig viden om materialer og identificering af anvendelsesområder.
Markeder og brugere:	– Behov for professionalisering af kravstillere. – Virksomheder skal tænke biogene materialer som konkurrencemæssig fordel. – Pris skal opgøres efter en helhedsbetragtning, hvor totaløkonomi og værdier som fx kulstoflagring, muligheder for genbrug mv. tages med i opgørelserne.
Politikker:	–
Teknisk / videnskabelig viden:	– Rådgivere og udførende skal opsøge viden om biogene alternativer til konventionelle byggematerialer. – Mere og bedre dokumentation af biogene materialer.
Industrinetværk:	– Løbende erfaringssamling og dokumentation af biogene materialers egnethed.

Tabel 11. Udvalgte tiltag på mellemlangt sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på mellemlangt sigt**
Kultur:	– Biogene materialer ska dis-associeres med økologisk selvbyggeri.
Infrastrukturer:	– Forsøg med biogene materialer på byggeriets uddannelser og sikring af byggefaglige kompetencer.
Teknologier:	– Produktdifferentiering: Biogene materialer, der ikke kan dokumentere en lang levetid, kan eventuelt bruges i bygninger med kort levetid, fx pavilloner. – Flere præskriptive løsninger, som kan bruges på tværs af faggrænser.
Markeder og brugere:	– En øget udbredelse af biogene materialer vil potentielt gøre biogene produkter billigere (stordriftsfordele).
Politikker:	– Gennemførelse af gennemsigtige fyrtårnsbyggerier med brug af nye biogene materialer. – De offentlige bygherrer skal gå forrest.

Tabel 11 fortsat

Teknisk / videnskabelig viden:	– Producenter skal dokumentere egnetheden af nye biogene materialer. Veldokumenterede løsninger skal indlemmes i det almene tekniske fælleseje.
Industrinetværk:	– Brancheorganisationer skal vise interesse for biogene materialer. – Hvis potentialet for biogene materialer i byggebranchen skal indfries, kræver det, at branchen udveksler viden og erfaringer herom.

Tabel 12. Udvalgte tiltag på langt sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på langt sigt**
Kultur:	– Virksomheder skal tilegne sig viden om og udvikle praksisser, som gør dem i stand til at projektere og bygge med biogene materialer.
Infrastrukturer:	– Omstilling af eksisterende byggepraksis gennem uddannelserne.
Teknologier:	– Fortsat udvikling af nye produkter og løsninger.
Markeder og brugere:	– Biogene materialer er konkurrencedygtige alternativer.
Politikker:	– Når biogene materialer og byggetekniske løsninger har vist sit værd over en længere periode, kan en fuld implementering om nødvendigt understøttes gennem ændringer i gældende reglementer vedrørende byggeri.
Teknisk / videnskabelig viden:	– Viden om, hvilke skader, fejl og mangler biogene materialer kan føre med sig, og hvordan de forebygges og behandles, skal dokumenteres over en årrække. – Der skal produceres viden om, hvordan biogene materialer skal driftes, udskiftes, vedligeholdes og bortskaffes.
Industrinetværk:	– Oprettelse af netværk/foreninger om biogene materialer.

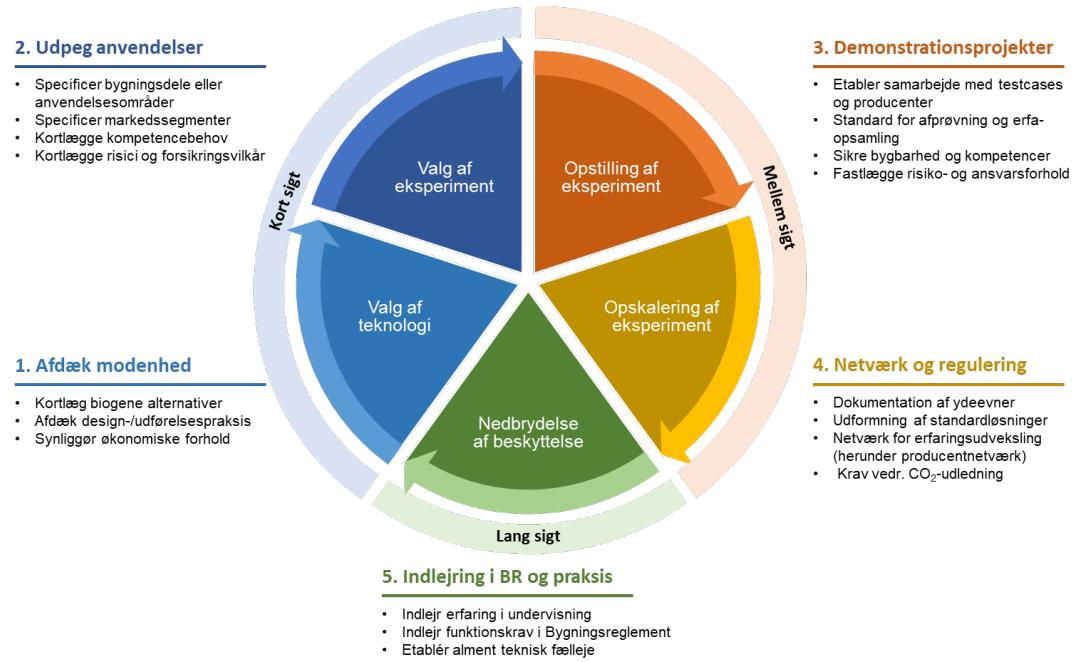
11.4 Roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer

På baggrund af de identificerede tiltag er et roadmap for omstillingen til biogene materialer i byggebranchen udarbejdet med inspiration i litteraturen vedrørende strategic niche management (Kemp et al., 1998; Schot og Geels, 2008), der tilbyder et praksis-policy-orienteret perspektiv på, hvordan en teknologisk omstillingsproces kan tilrettelægges.

Strategic niche management fokuserer på, hvordan det er muligt at skabe og lede teknologiske nicher. Antagelsen er, at det er muligt for toneangivende aktører at bidrage til udviklingen ved at eksperimentere med et udvalg af nye teknologer. Sådan en proces består af fem skridt eller elementer:

- Valg af teknologi
- Udvælgelse af eksperiment
- Opstilling af eksperiment
- Skalering af eksperiment
- Nedbrydelse af beskyttelse.

Indholdet af disse er beskrevet i afsnit 26.3: Barrierer mod anvendelse af biogene materialer og 26.4: Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer, og vi gengiver her kun roadmappet i oversigtsform (Figur 35) med de tiltag, som analysen har identificeret på kort, mellemlang og lang sigt.



Figur 35. Roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer.

12

DISKUSSION

12 DISKUSSION

I denne rapport vurderes biogene materialers mulige anvendelse i byggeriet. Rapporten ser på de muligheder, et industrialiseret landbrugsland som Danmark har for at dyrke, producere og anvende biogene materialer, men også de barrierer, som skal overkommes.

12.1 Potentiale for kulstoflagring i nybyggeriet

En større anvendelse af biogene byggematerialer vil kunne lagre kulstof i nybyggeriet svarende til lidt mere end de samlede CO_2-udledninger fra hele det danske forbrug af beton. Derudover vil de biogene materialer kunne erstatte ikke-fornybare, klimatunge materialer såsom tegl, beton, stål og mineraluld og dermed bidrage til CO_2-reduktioner i byggeriet. En forøget produktion af byggevarer af dansk træ forarbejdet i Danmark vil også gavne det nationale klimaregnskab, der afrapporteres til FN, i form af en større pulje af kulstof lagret i træprodukter (Harvested Wood Products, HWP), mens anvendelsen af råvarer fra landbruget og fra havet er marginal og ikke indregnes, uagtet at de også lagrer kulstof. Import af biobaserede produkter vil kun gavne dette klimaregnskab ved at reducere udledninger fra dansk produktion af konventionelle byggematerialer.

En øget forarbejdning i Danmark af danskproduceret rundtømmer og kævler vil have en gavnlig effekt på det nationale klimaregnskab frem for direkte eksport af ressourcerne, idet eksporteret rundtømmer og kævler ikke medregnes i noget klimaregnskab.

12.2 Biogene ressourcer

Gennemgangen af tilgængelige biogene ressourcer viser et stort potentiale for en øget produktion af biogene byggematerialer fra skovbrug, landbrug og marine miljøer i Danmark. Eftersom de biogene ressourcer er fornybare og kan dyrkes, vil ressourcen ikke udtømmes, men være tilgængelig årligt fra samme landareal, så længe arealet forvaltes bæredygtigt. De samlede mængder biogene ressourcer, der produceres i Danmark, er større end angivet i denne rapport, da materialer, som anvendes i andre sektorer end byggeriet, ikke er medtaget, fx træ til møbelproduktion og emballage samt strøelse med halm til husdyr. Således er de nuværende tilgængelige biogene ressourcer kun forøget med biomasse, der for nuværende anvendes i energisektoren, ikke udnyttes eller eksporteres uden forarbejdning.

I samfundet er der et stigende ønske om, at energisektoren mindsker brugen af biomasse, især den importerede, men også biomasse fra det danske landareal. Dette ønske kan understøttes ved at forædle de fraktioner af biomasse, der for nuværende anvendes til energi, til materialer. Derudover påpeges muligheder for at forøge produktionen af biogene ressourcer fra det danske landareal ved at målrette afgrødevalget de nye samfundsbehov for bæredygtig produktion af nye råvarer. Rapporten viser, at rene fraktioner af træbiomasse kan opfylde en stor del af materialebehovet til alle andre produkttyper end materialer til bærende konstruktioner. Suppleret med biogene ressourcer fra landbruget, som fx halm, vil behovet for plademateriale og fiberisolering til det lave og høje byggeri sandsynligvis kunne opfyldes af den danske produktion alene.

For at opfylde behovet til materialer til de bærende konstruktioner er det nødvendigt at importere konstruktionstræ fra fx Sverige, der for tiden opfylder 70 % af det danske forbrug af

denne type produkt. Dog kan den hjemlige produktion af biogene konstruktionsprodukter forøges, hvis mindre træstykker sammenlimes til større konstruktionselementer.

12.3 Krav til bygningsdele

Den færdige bygnings hovedkonstruktion skal beskyttes mod regn og fugt. Det kræver først og fremmest facade- og tagløsninger hvor vand ledes væk af sekundære og udskiftelige konstruktionsdele. Krav til taget er absolut tæthed, mens kravet til facader er lidt mindre, afhængigt af fugtfølsomheden af hovedkonstruktionen. Holdbarheden af træ og andre biogene materialer eksponeret for regn og anden fugt kan forbedres ved modificering, såsom acetylering, furfurylering eller varmebehandling, hvorimod traditionel trykimprægnering med biocider frarådes pga. medfølgende problemer for miljø og genanvendelse af materialet.

Det er nødvendigt løbende at efterse en bygnings udvendige overflader af biogent materiale og eventuelt at udskifte nedbrudte dele. Vedligeholdelsesinterval og levetid afhænger både af materialevalget og eksponeringen for sol og regn. Under opførelsen af en bygning kan en fugtstrategi sikre, at kritisk fugtniveau ikke overskrides. Ligeledes er der mulighed for at bygge tørt ved overdækning samt at dokumentere et tørt byggeri ved anvendelse af en fugtsagkyndig. Den fugtsagkyndige kan udarbejde en fugtstrategiplan. Til forskel fra Sverige er der i Danmark ikke krav om en ekstern fugtkonsulent på alle byggerier, hverken på byggerier af træ, beton eller andre byggematerialer. Uddannelsen til fugtkonsulent i Sverige er en femårig uddannelse.

12.4 Dokumentation af egenskaber

LCA-beregninger er grundlaget for analyser af 1 m^2 ydervæg opbygget med træ som bærende konstruktion, isoleret med såvel mineralsk som biogent materiale. Ved beregningerne er produktspecifikke EPD'er og generiske EPD'er anvendt. Valget af EPD'er har betydning for den beregnede klimabelastning for ydervæggen, beregnet som drivhusgasemissioner. Beregninger af klimabelastningen af 1 m^2 ydervæg med en sammenlignelig U-værdi viser, at man opnår den laveste klimabelastning for en traditionel træskeletvæg, der er opbygget af et isoleret træstolpeskelet med indvendig beklædning af to lag 13 mm gips, dampspærre af 0,2 mm PE-folie og vindspærre af 9 mm gips. Endvidere viser beregningerne, at man kan reducere en vægkonstruktions klimabelastning hvis mineraluld erstattes med isoleringsmaterialerne træfiber eller papirgranulat. Derimod vil erstatning med hamp resultere i en højere klimabelastning. Dette gælder dog kun, hvis resultaterne sammenlignes for specifikke produkter, hvor der foreligger EPD'er. For beregningerne med generiske data har ydervægge med isolering af mineraluld mindre klimabelastning end både vægge isoleret med træfiber og hamp, medens papirgranulat resulterer i den laveste klimabelastning.

Beregningerne viser, at klimabelastningen af en ydervæg med U-værdi på 0,1 W/(m K) og en U-værdi på 0,15 W/(m K) øges henholdsvis i størrelsesorden 20 % til 102 %, og 15 % til 77 % ved at gå fra beregninger med produktspecifikke data til generiske data for isoleringsmaterialerne. Dette understreger behovet for at øge kendskabet til isoleringsmaterialerne og optimere produktionsformer, herunder at udarbejde teknisk dokumentation for at kunne lave retvisende beregninger af konstruktioners egenskaber og klimabelastning. Da biogene materialer leveres og produceres af små og mellemstore virksomheder, kan dokumentationsbyrden af de biogene materialers egenskaber løftes gennem tilskud, som vil kunne sikre, at biogene materialer og nye biogene materialer bliver dokumenteret i et tilstrækkeligt omfang til, at eksisterende projekteringsværktøjer kan vurdere og regne på produkterne. Tilsvarende gør sig gældende vedrørende brand og lyd.

12.4.1 Brand

For brand skal det dokumenteres, at bærende og adskillende konstruktioner lever op til brandkravene. Dokumentationen kan baseres på prøvning af en konkret løsning for standard-brandforløb eller ved at bruge metoden for naturligt brandforløb. I en del tilfælde kan prøvning for brandmodstand erstattes af beregning efter EN 1995-1-2 eller tilsvarende metoder. Ligeledes kan en del træmaterialer klassificeres uden prøvning. Når man benytter krav efter det danske klassifikationssystem frem for det europæiske, kan traditionelle løsninger ligeledes benyttes. Nogle trærelaterede muligheder er også angivet i TRÆ 78 (Lillelund, 2021).

Gipsplader anvendes for øjeblikket i stort omfang til indvendig beklædning på vægge og loft. De har særdeles gode egenskaber med hensyn til både brand og lyd. Derudover er det nemt at skabe en pæn overflade på en bund af gips, og de er billige, blandt andet fordi gips er et restprodukt fra røgrensning. Ressourcen bliver derfor mindre i takt med den grønne omstilling, men gips fra nedrivning kan også genanvendes, så det er ikke nødvendigvis en knap ressource. Med udgangspunkt i LCA-beregningerne af 1 m^2 ydervæg øger anvendelsen af gips ydervæggens drivhusgasemissioner. Derfor bør andre metoder for brandbeskyttelse udvikles.

Ved udfærdigelsen af den brandtekniske dokumentation for løsningen har det betydning, om brandrådgiveren har kendskab til en lignende løsning og har erfaring med at finde og dokumentere løsningens kvalitet på baggrund af præaccepterede løsninger. Derfor vil videndeling af dokumenterede løsninger med tilknyttet beskrivelse af rationalet bag argumentationen gøre løsninger brugbare for andre og blive almenkendt i branchen. Der kan på den måde oparbejdes viden om gennemprøvede løsninger, der har været anvendt før. Andre kan på den baggrund sætte sig ind i, hvorfor én løsning er godkendt, og vil kunne argumentere for, at en lignende løsning vil kunne godkendes.

12.4.2 Lyd

I forbindelse med lyd vil en tilsvarende videndeling af målinger på konkrete løsninger kunne være med til at oparbejde erfaringer med konkrete løsninger. Da overholdelse af lydisolationskravene dokumenteres ved beregninger eller ved målinger i den færdige bygning, og da beregningsmetoderne vurderes ikke at være velegnede til byggeri opført i træ, er målinger typisk en del af dokumentationen sammen med beskrivelser. Man kan inkludere spektrale korrektioner ned til 50 Hz for let byggeri som fx byggeri i træ, da trækonstruktionerne har en lav masse og derfor er følsomme over for lave frekvenser.

12.5 Nye byggematerialer

I den nære fremtid vil udviklingen af nye metoder til at skabe morgendagens byggematerialer blandt andet dreje sig om modificering for at forbedre biogene materialers egenskaber. Det drejer sig ikke kun om biogene materialers holdbarhed over for biologisk nedbrydning, men også fugt og brandhæmmende egenskaber. I det seneste årti har man set en voldsom udvikling af nye måder at brandhæmme biogene materialer gennem modificering, hvorved et brandhæmmende molekyle reagerer med materialet og derved fastholdes i strukturen og hindrer udvaskning. De fleste af disse modificeringer er endnu kun afprøvet i laboratorieskala, men industriens interesse for nye måder at brandhæmme biogene materialer gennem modificering er stor. Derfor forventes udviklingen og senere hen kommercialiseringen af brandhæmmende modificeringer at fortsætte i forøget tempo i de kommende år, i takt med at biogene materialer vinder større indpas i byggeriet.

12.6 Udfordringer

Generelt er det en udfordring at dokumentere biogene materialers egenskaber. Det er omkostningstungt at dokumentere byggevarers egenskaber, men helt afgørende for at sikre, at materialer, der anvendes i et byggeri, kan indgå i dokumentationen af en bygnings opfyldelse af krav i bygningsreglementet eller andre særlige krav stillet af bygherre. Der er således et stort behov for at dokumentere egenskaber for produkter og byggevarer, som ønskes anvendt i byggeriet. Dokumentationsbyrden i små og mellemstore virksomheder ligger fortrinsvis hos leverandøren og den markedsførende af produkterne, som i den størrelse virksomheder ofte er ídéperson og opfinder. Dokumentationen af byggevarernes egenskaber er en forudsætning for at kunne afsætte produkterne. Dokumentationen er også en garanti for at opføre et lovligt byggeri, som kan opfylde de krav, der er stillet. Det omfatter foruden miljøvaredeklaration EPD også ydeevneerklæring (DoP) eller ETA-vurdering som grundlag for CE-mærknng. Et dansk alternativ er Teknisk Godkendelse til Anvendelse (TGA). Det kan omfatte dokumentation af materialeegenskaber som styrke, stivhed, elasticitetsmodul eller modstand mod brandpåvirkning, skimmelvækst, volumenstabilitet osv., alt afhængigt af hvilken bygningskomponent materialet ønskes anvendt til. Kravet til et materiale afhænger af den bygningsdel, som materialet skal fungere i. Tagdækningsmaterialer, facadebeklædning, bærende konstruktioner, indvendig beklædning eller isoleringsmaterialer stiller alle forskellige krav til den nødvendige dokumentation af materialet eller bygningskomponenten. Der kan være behov for vejledning til små og mellemstore virksomheder, så de kan finde ud af, hvilken type dokumentation der er nødvendig for, at et givent materiale, produkt eller byggevare kan indgå på lige fod med andre produkter på det danske marked.

12.7 Roadmap

Videndeling i almen praksis og dokumentation er ligeledes det, *Roadmap for anvendelse af biogene materialer i byggeriet* peger på med hensyn til den danske byggebranches omstilling til øget anvendelse af biogene materialer. Roadmappet er en kortlægning baseret på international litteratur og interviews med udvalgte respondenter fra forskellige led i dansk byggeris værdikæde. Det er således ikke kun rene økonomiske eller teknologiske forhold, der er bestemmende for, hvorvidt en innovation eller en ændring i konventionelt byggeri vinder indpas. I stedet vinder innovationer og ændret byggeskik indpas, i takt med at relationer mellem mange forskellige dimensioner som regulering, brugerpraksisser, videnskabelig viden, videndeling, praksisser eller infrastruktur løbende udvikles og ændrer sig.

13

KONKLUSION

13 KONKLUSION

Rapporten beskriver en række potentialer og udfordringer, som Danmark har og kan benytte i forbindelse med en omstilling af det konventionelle byggeri til et byggeri, som i højere grad benytter sig af biogene ressourcer. Der lægges vægt på Danmark som et industrialiseret landbrugsland med en lang kystlinje. Danmarks størrelse og placering inddrages under de til rådighed værende fornybare ressourcer.

En større anvendelse af biogene byggematerialer vil kunne lagre kulstof indfanget fra atmosfærens CO_2 i nybyggeriet, svarende til lidt mere end de samlede CO_2-udledninger fra hele det nuværende danske forbrug af beton. Derudover vil de biogene materialer kunne erstatte ikke-fornybare, klimatunge materialer såsom beton, stål og mineraluld og dermed bidrage til CO_2-reduktioner i byggeriet.

Et overblik over tilgængelige biogene ressourcer viser et stort potentiale for en betragtelig produktion af biogene byggematerialer fra skovbrug, landbrug og marine miljøer i Danmark. Eftersom de biogene ressourcer er fornybare og kan dyrkes, vil denne ressource ikke udtømmes, men være tilgængelig årligt fra samme landreal, så længe arealet forvaltes bæredygtigt. Rapporten viser, at rene fraktioner af træbiomasse kan opfylde en stor del af materialebehovet til alle andre produkttyper end materialer til bærende konstruktioner. Suppleret med biogene ressourcer fra landbruget som fx halm vil behovet for plademateriale og fiberisolering til det lave og høje byggeri sandsynligvis kunne opfyldes af den danske produktion alene. For at opfylde behovet til materialer til de bærende konstruktioner vil import af fx konstruktionstræ være nødvendig, men kan mindskes ved større dansk forædling af ringere fraktioner af træ, til brug i limtræ eller CLT-elementer.

Korrekt anvendelse af biogene materialer til konstruktioner kan forbedres gennem et øget kendskab til materialerne og deres egenskaber. Alle led i byggeriets værdi- og forsyningskæde skal gøres fortrolige med at bygge med biogene materialer, blandt andre materialeleverandører, bygherrer, arkitekter, ingeniører, myndigheder, bygningsarbejdere og brugere. Hele værdikæden skal blive lige så fortrolige med byggeri i biogene materialer og deres tilblivelse som det kendes fra det traditionelle højtindustrialiserede byggeri.

Viden om biogene materialer, konstruktioner og byggetekniske løsninger skal gøres brugbart og blive almenkendt. Der skal oparbejdes viden om egenskaber af materialer og konstruktioner. Der skal foreligge teknisk dokumentation af materialeegenskaber, herunder produktspecifikke EPD'er, så vurderingen af materialernes egnethed til en given funktion i en bygning og vurderingen af drivhusgasemissioner kan ske på et oplyst grundlag i alle byggeriets sektorer, både over for bygningsejer, entreprenør, håndværker, leverandør og over for myndighedsbetjeningen og finans- og forsikringsbranchen.

Viden om byggetekniske løsninger, der har været prøvet før, kan øge kendskabet til materialernes egenskaber og være med til at udvikle og forbedre løsningerne på den korte bane. Viden kan oparbejdes gennem offentligt tilgængelige gennemsigtige fyrtårnsbyggerier i træ og andre biogene materialer, hvor såvel de økonomiske, praktiske, design- og udførelsesmæssige erfaringer videndeles i byggebranchen. Videndeling skal forankres i samfundet som helhed og implementeres i uddannelse af såvel byggeriets fødekæde af aktører – fra håndværkere til forskere – såvel som miljøerne omkring dyrkning af biogene materialer i Danmark. Opførelse af fyrtårnsprojekter med fuld gennemsigtighed i processerne kan demonstrere biobaseret byggeri, være drivkraft til ny og forskningsbaseret viden og være med til at forandre byggeriet til i højere grad at benytte sig af tilgængelige fornybare, biogene ressourcer.

14

LITTERATUR

14 LITTERATUR

Andersen, C.A., Rasmussen, F.N., Habert, G. og Birgisdóttir (2021a). *Embodied GHG emissions of wooden buildings – Challenges of biogenic carbon accounting in current LCA models*. Frontiers in Build Environment. Vol 7. August 2021.

Andersen, E. C., Kristensen Stranddorf, L., Wittchen, A., Nygaard Rasmussen, F., Birgisdóttir, H. (2021b). *Klimapåvirkning fra 20 træbyggerier – LCA på eksisterende træ-byggerier*. BUILD-rapport 2021:27. Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet. 50 s.

Arajou et al. (2021). https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.626389/full

Brandt, E. et al. (2013). Sbi-Anvisning 224. *Fugt i bygninger*. Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet.

Arup & WBCSD (2012). *Material choice for green buildings.* World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Retrieved from https://docs.wbcsd.org/2012/01/WBCSD_Material_choice_for_green_buildings.pdf

Bentsen, N., Johannsen, V., Nord-Larsen, T., Riis-Nielsen, T. & Suadicani, K. (2012). Oversigt over nuværende skov- og affaldsbiomasse, samt potentialer i 2020: baggrundsnotat til + 10 mio. tons planen. Retrieved from Frederiksberg: https://ifro.ku.dk/publikationer/saerlige_ifro-udgivelser/10miotons/dokumenter-midlertidig/bps4

Bentsen, N.S., Jørgensen, J.R., Stupak, I., Jørgensen, U. & Taghizadeh-Toosi, A. (2019). *Dynamic sustainability assessment of heat and electricity production based on agricultural crop residues in Denmark*. Journal of Cleaner Production 213, 491-507 doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.194.

Birgisdottir, H., og Rasmussen, F. N. (2015). Introduktion til LCA på bygninger. Energistyrelsen, SBi forlag.

Birgisdóttir, H. & Madsen, S.S. (2017). Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger – Vurderet for hele bygningens livscyklus. Report No. Sbi 2017:08, (Sbi, København, 2017).

Bolig- og Planstyrelsen (2021). *Bygningsreglement 2018.* København. Danmark. http://bygningsreglementet.dk

Bolig- og Planstyrelsen (2021). *Bygningsreglementets vejledning om lydforhold*. https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/17/Krav

Boverket (2020). *Regulation on climate declaration for buildings: Proposal for a roadmap and limit values*. Karlskrona: Myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende.

CEN EN 1995-1-2:2004 (2004). Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design.

Chopin T., Tacon, A.G.J. (2020). Importance of Seaweeds and Extractive Species in Global Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C.P.O. et al. (2020). Buildings as a global carbon sink. Nature Sustainability 3, 269–276, doi:10.1038/s41893-019-0462-4

Aquaculture Production. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture: s. 1-10. Doi:10.1080/23308249.2020.1810626

Christ, J., Ottosen, L.M. & Koss, H. (2019). A concrete composite from biologically based binders and mineral aggregates for constructional 3D-printing. In: Proceedings ICSBM 2019: 2nd International Conference on Sustainable Building Materials (Vol. 5, s. 93-105).

Christensen, B.T. (2004). Kulstoflagring ved nedmuldning af halm og efterafgrøder. I: Olesen, J.E., Petersen, S.O., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Jacobsen, B.H., Vesterdal, L., Jørgensen, A.M.K., Christensen, B.T., Abildtrup, J., Heidmann, T., Rubæk, G. (red). Jordbrug og klimaændringer – samspil til vandmiljøplaner. DJF-rapport, Markbrug, nr. 109, s. 157-166.

CINARK (2012). Tectonic Prototyping – CINARK *Perspectives*, Prototyping Architecture Exhibition 2012-13 [Nottingham and London], Det Kongelige Danske Kunstakademis Skoler for Arkitektur, Design og Konservering, file:///Users/anne.beim/Downloads/CINARK_web_dk.pdf

Clausen, C. (2009). Innovation og teknologi. I: Jørgensen, U. (red.) *I teknologiens laboratorium: Ingeniørfagets videnskabsteori.* Lyngby: Polyteknisk Boghandel og Forlag, s. 61-84.

Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R.M. & Chiellini, E. (2011). Chitosan – A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. Progress in polymer science, 36(8), s. 981-1014.

Dansk Standard. (2014). *Akustik – Feltmåling af lydisolation i bygninger og af bygningselementer – Del 1: Luftlydisolation* (DS/EN ISO 16283-1: 2014). København.

Dansk Standard. (2018). *Holdbarheden af reaktion på brand-egenskaber – Klasser for brandimprægnerede træbaserede produkter til indendørs og udendørs anvendelse*. (DS/EN 16755:2017/AC:2018). København.

Dansk Standard. (2020). *Akustik – Feltmåling af lydisolation i bygninger og af bygningselementer – Del 2: Trinlydisolation*. (DS/EN ISO 16283-2: 2020). København.

Dansk Standard. (2020). *Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 1: Luftlydisolation* (DS/EN ISO 717-1:2020). København.

Dansk Standard. (2020). *Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningsdele – Del 2: Trinlydniveau* (DS/EN ISO 717-2:2020). København.

DS 490:2018. Lydklassifikation af boliger. København.

DS/EN 1995-1-1 DK NA:2019. Nationalt anneks til Eurocode 5: Trækonstruktioner – Del 1-1: Generelt – Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner.

DS/EN 15978:2012. Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet – Beregningsmetode.

DS/EN 15804:2012 + A2:2019. Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg – Miljøvaredeklarationer – Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer.

Energistyrelsen (2020). *Langsigtet renoveringsstrategi*, Center for Energieffektivisering, J nr. 2019 – 93913, 21 s.

Energy and Mines Ministers' Conference (2017). *Build Smart – Canada's Building Strategy: A Key Driver of the Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change*. New Brunswick: Energy and Mines Ministers' Conference.

Fan, X., Fang, Y., Zhou, W., Yan, L., Xu, Y., Zhu, H., Liu, H. (2021). Mussel foot protein inspired tough tissue-selective underwater adhesive hydrogel. Materials Horizons 8 (3), s. 997-1007. Doi:10.1039/D0MH01231A.

Filote, C., Santos, S.C.R., Popa, V.I., Botelho, C.M.S. and Volf, I. (2021). Biorefinery of marine macroalgae into high-tech bioproducts: a review. Environmental Chemistry Letters 19 (2):969-1000. Doi:10.1007/s10311-020-01124-4.

Finnish Government (2013). *National Energy and Climate Strategy: Government Report to Parliament on 20 March 2013*. Helsinki: Finish Government.

Foresight (2021). *Accelerating the Circular Bioeconomy Market in Canada*. Calgary: Foresight.

Friis, N.C. og Beim, A. (2013). *TRÆ! I en bæredygtig byggekultur?* CINARK, Det Kongelige Danske Kunstakademis Skoler for Arkitektur, Design og Konservering. (s. 59-71), https://issuu.com/cinark/docs/cinark_trae_enkeltsidet_print.

Gebru, K.A., Kidanemariam, T.G. & Gebretinsae, H.K. (2021). Bio-cement production using microbially induced calcite precipitation (MICP) method: A review. *Chemical Engineering Science*, 238, https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116610

Geels, F.W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy, 33*(6-7), s. 897-920.

Geels, F.W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental innovation and societal transitions,* 1(1), s. 24-40.

Geels, F.W. (2019). Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the multi-level perspective. *Current opinion in environmental sustainability,* 39*,* s. 187-201.

Geels, F.W. & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy,* 36(3)*,* s. 399–417.

Gfeller, B., Zanetti, M., Properzi, M., Pizzi, A., Pichelin, F., Lehmann, M. & Delmotte, L. (2003). Wood bonding by vibrational welding. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 17(11), s. 1573-1589.

Ghaffar, S.H. & Fan, M. (2014). Lignin in straw and its applications as an adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 48, s. 92-101.

Giesekam, J., Barrett, J.R., & Taylor, P. (2016). Construction sector views on low carbon building materials. *Building research & information,* 44(4), s. 423-444.

Giesekam, J., Barrett, J., Taylor, P. & Owen, A. (2014). The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. *Energy and buildings,* 78, s. 202-214.

Gildberg, A. & Stenberg, E. (2001). A new process for advanced utilisation of shrimp waste. Process Biochemistry, 36(8), s. 809-812. Doi:https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00278-8.

Graudal, L., U. Nielsen, E. Schou, B. Thorsen, J. Hansen, N. Bentsen og V. Johannsen. (2013). Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100: Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Frederiksberg.

Graudal, L., Nielsen, U.B., Schou, E., Thorsen, B.J., Hansen, J.K., Bentsen, N.S. & Johannsen, V.K. (2014). Dansk skovbrugs mulige bidrag til øget træproduktion og imødegåelse af klimaforandringer 2010-2100. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en

biobaseret økonomi. (Rev. 2014-udg.) Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.

Guo, H., Luković, M., Mendoza, M., Schlepütz, C.M., Griffa, M., Xu, B., Gaan, S., Herrmann, H. & Burgert, I. (2019). Bioinspired Struvite Mineralization for Fire-Resistant Wood. ACS Applied Materials & Interfaces, 11(5), s. 5427-5434.

Gylling, M., Jørgensen, U., Bentsen, N., Kristensen, I., Dalgaard, T., Felby, C. & Johannsen, V. (2012). +10 mio. tons-planen: muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier. Retrieved from Frederiksberg: https://curis.ku.dk/ws/files/44867884/Ti_mio_plan_net1.pdf

Hafner, A., Schäfer, S. (2017). Comparative LCA study of different timber and mineral buildings and calculation method for substitution factors on building level, Journal of Cleaner Production 167, 630-642, Doi:10.1016/j.jclepro.2017.08.203.

Halvarsson, S., Edlund, H. & Norgren, M. (2008). Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin. Industrial Crops and Products, 28(1), 37-46. Doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.005

He, Z. (red.). (2017). Bio-based Wood Adhesives: Preparation, Characterization, and Testing (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315369242.

Himes, A., Busby, G. (2020). Wood buildings as a climate solution, Developments in the Built Environment 4, 100030, doi:10.1016/j.dibe.2020.100030.

Jeong, S.G., Jeon, J., Seo, J., Lee, J.H. & Kim, S. (2012) Performance evaluation of the microencapsulated PCM for wood-based flooring application. *Energy Conversion and Management*, 64, s. 516-521.

Jones, D. & Sandberg, D. (2020). A review of wood modification globally – updated findings from COST FP1407. Interdisciplinary Perspectives on the Built Environment, 1(1), s. 1-31.

Jørgensen, H. & Olsson, L. (2002). Produktion af lignocellulosenedbrydende enzymer i skimmelsvampe. Dansk Kemi 83 (11), s. 20-24.

Kaarup, J. (2019). *Villa Straa*. TÆK no. 1, marts 2019, s. 4-6. https://straatagetskontor.dk/wp-content/uploads/2019/03/Taek1-2019.pdf.

Keller, L, & Kruse J. (2000). *Inspirationsmanual for Halmbyggeri*. Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi. (Se tegninger og konstruktionsspecifikationer – i link) https://baubiologie.at/download/Inspirations_manual_low_res.pdf

Kemp, R., Schot, J. & Hoogma, R. (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology analysis & strategic management,* 10(2), s. 175-198.

Keplinger, T., Cabane, E., Berg, J.K., Segmehl, J.S., Bock, P., & Burgert, I. (2016) Smart hierarchical bio-based materials by formation of stimuli-responsive hydrogels inside the microporous structure of wood. Advanced Materials Interfaces, 3:1600233.

Kjeldsen, J.B., Jørgensen, U. & Kristensen, E.F. (1999). Elefantgræs til tækkeformål. DJF-rapport, Markbrug, nr. 14.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. Klimahandlingsplan 2020. https://kefm.dk/Media/F/5/Klimahandlingsplan%202020a.pdf

Landbrugsstyrelsen (2021). Opgørelse af afgrødefordeling 2021. Notat af 24. juni 2021, https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte_stoette_-_grundbetaling_mm/2021/Opgoerelse_af_afgroedefordelingen_2021.pdf

Leskinen, P. et al. (2018). Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. 27 s. (European Forest Institute, 2018).

Li, J-M, Nie, S-P (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. Food Hydrocolloids, 53:46-61. Doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035.

Lillelund, B. (2021). TRÆ 78 Træbyggeri i brandklasse 1 og 2. 1. Udg. Træinformation. 392 sider.

Lim, C., Yusoff, S., Ng, CG, Lim, PE, Ching, YC (2021). Bioplastic made from seaweed polysaccharides with green production methods. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5):105895. Doi:https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105895.

LIVING ARCHITECTURE (2001). Scandinavian Design: Architecture & Design from Denmark. Finland. Norway. Sweden 18 Paperback – January 1, 2001.

Madsen, K. & Bentsen, N.S. (2018). Carbon Debt Payback Time for a Biomass Fired CHP Plant—A Case Study from Northern Europe. Energies 11. https://doi.org/10.3390/en11040807.

Markard, J. & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework. *Research policy,* 37(4)*,* s. 596-615.

Markard, J., Raven, R. & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects. *Research policy,* 41(6), 955–967.

Markström, E., Bystedt, A., Fredriksson, M. & Sandberg, D. (2016). Drivers and barriers for an increased use of bio-based building materials in Sweden. I: Andersons, B. & Kokorevics, A. (red.) *Proceedings of the 12th meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE). Wood science and engineering – a key factor on the transition to Bioeconomy.* Riga, September 12-13, 2016.

Martínez-García, C., González-Fonteboa, B., Carro-López, D., Pérez-Ordóñez, J.L. (2020). Mussel shells: A canning industry by-product converted into a bio-based insulation material. Journal of Cleaner Production 269:122343. Doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122343

Mati-Baouche, N., De Baynast, H., Lebert, A., Sun, S., Lopez-Mingo, C.J.S., Leclaire, P., Michaud, P. (2014) Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan. Industrial Crops and Products, 58:244-250. Doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.022.

Miljøstyrelsen (2018). *Kortlægning af genanvendeligt affald*. Miljørapport 1993. Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen. 24 pp.

Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland (2017). *Government report on the National Energy and Climate Strategy for 2030*. Helsinki: Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland.

Ministry of Employment and the Economy (2014). *Energy and Climate Roadmap 2050: Report of the Parliamentary Committee on Energy and Climate Issues on 16 October 2014*. Helsinki: Ministry of Employment and the Economy.

Ministry of the Environment (2020). *Sweden's long-term strategy for reducing greenhouse gas emissions*. Stockholm: Ministry of the Environment.
Mo K.H., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Lee S.C., Goh W.I., Yuen C.W. (2018) Recycling of seashell waste in concrete: A review. Construction and Building Materials 162:751-764. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.009

Mo, X., Cheng, E., Wang, D. & Sun, X.S. (2003). Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives. Industrial Crops and Products, 18(1), 47-53. Doi:https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00032-3.
Moncaster, A.M., Pomponi, F., Symons, K.E., Guthrie, P.M. (2018). Why method matters: Temporal, spatial and physical variations in LCA and their impact on choice of structural system, Energy and Buildings 173, 389-398, doi:10.1016/j.enbuild.2018.05.039.

Mortensen, E. Ø., & Jørgensen, U., (2022). Danish agricultural biomass production and utilization in 2030. Memorandum from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture, 24 pp. https://pure.au.dk/portal/files/257489198/Danish_agricultural_biomass_production_2030_DCA_memorandum_2022.pdf

MUDP-rapport, (2017). Det Biologiske Hus, https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/09/978-87-93614-23-9.pdf.

Møller, M., Hyttel K. et al. (2009). *Strejftog*. Mads Møller 1966-2011, 45 år i C.F. Møller, Eget forlag.

Møller, E.B. (2010). *Vejledning om håndtering af fugt i byggeriet*. (December 2010).

Nielsen, A.T., Nord-Larsen, T. & Bentsen, N.S. (2021). *CO2 emission mitigation through fuel transition on Danish CHP and district heating plants*. Global Change Biology Bioenergy, 13, 1162-1178, doi:10.1111/gcbb.12836.

Nielsen, O.-K. et al. (2021). *Denmark's National Inventory Report 2021. Emission Inventories 1990-2019 – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*. 944 (Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus, 2021).

No, H.K., Meyers, S.P., Prinyawiwatkul, W. & Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. Journal of food science, 72(5), R87-R100.

Norwegian Government (2020). *Norway's long-term low-emission strategy for 2050*. Oslo: Norwegian Government.

Olesen, J.E., Jørgensen, U., Hermansen, J.E., Petersen, S.O., Søegaard, K., Eriksen, J., Schjønning, P., Greve, M.H., Greve, M.B., Thomsen, I.K., Børgesen, C.D. & Vinther, F.P., (2016). Græsdyrknings klima- og miljøeffekter, notat til Miljø- og Fødevareministeriet, 18 s.

Pallesen, B.E. (2018). Bæredygtige Tangisoleringsmåtter fra ålegræs. Mijøstyrelsen: s.1-58.
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, 219-226, doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.08.041.
Peñaloza, D., Erlandsson, M., Berlin, J., Wålinder, M., Falk, A. (2018). Future scenarios for climate mitigation of new construction in Sweden: Effects of different technological pathways, Journal of Cleaner Production 187, 1025-1035, doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.285.

Petersen, J.K., Bruhn, A., Behrens, J.W., Dalskov, J., Larsen, E., Thomsen, M., Vinther, M. (2021a) Videnssyntese om blå biomasse – Potentialer for ny og bæredygtig anvendelse af havets biologiske ressourcer. DTU, Aqua-rapport, nr. 387-2021. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 62 pp

Petersen, J.K., Timmermann, K., Bruhn, A., Rasmussen, M.B., Boderskov, T., Schou, H.J., Erichsen, A., Thomsen M., Holbach, A., Tjørnløv, R.S., Canal-Vergés, P., Flindt, M.R. (2021b) Marine Virkemidler – Potentialer og Barrierer. DTU, Aqua-rapport, nr. 385-2021. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet, 49 s.

Sandberg, D., Kutnar, A. & Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies – a review. I: Forest – Biogeosciences and Forestry, 10(6), s. 895-908. Doi:10.3832/ifor2380-010.

Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M. & Canti, M. (2014). Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. Energy and Buildings, 77, s. 219-226. Doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.033.

Schot, J. & Geels, F.W. (2008). Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology analysis & strategic management,* 20(5), 537-554.
Skullestad, J. L. , Bohne, R. A., Lohne, J. (2016). High-rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Alternatives, Energy Procedia 96, 112-123, doi:10.1016/j.egypro.2016.09.112.

Sorieul, M., Dickson, A., Hill, S.J. & Pearson, H. (2016). *Plant Fibre: Molecular Structure and Biomechanical Properties, of a Complex Living Material, Influencing Its Deconstruction towards a Biobased Composite*. Materials, 9 s.

Sun, J., Guo, H., Schädli, G.N., Tu, K., Schär, S., Schwarze, F.W., Panzarasa, G., Ribera, J. & Burgert, I. (2021). Enhanced mechanical energy conversion with selectively decayed wood. Science Advances, 7, eabd9138

Tegnestuen Vandkunsten. Søndermark J., Nielsen S. & Klebak A. (2013). Det moderne tanghus på Læsø, RealdaniaByg.

Thomsen, M. og Zhang, X. (2020). Life Cycle Assessment of Macroalgal Eco-industrial Systems. I: Torres M.D., Kraan S., Dominguez H. (red.) Sustainable seaweed technologies – Cultivation, Biorefinery and Applications. Elsevier, s. 633-708.

Thrane, L.N., Andersen, T.J., Mathiesen, D. (2019). Halvering af CO2-udledningen fra betonbyggeri, Roadmap mod 2030, Dansk Beton, 33 s.

Thybring, E.E. (2013). The decay resistance of modified wood influenced by moisture exclusion and swelling reduction. International Biodeterioration & Biodegradation, 82(0), s. 87-95.

Vadstrup, S. & Martensen-Larsen, K. (2008). *Sommerhuset – Indretning, reparation og vedligeholdelse*, Gyldendal.

Vedung, E. (2017). Policy instruments: typologies and theories. I: Bemelmans-Videc, M. L., Rist, R.C. & Vedung, E. (red.) *Carrots, sticks & sermons: Policy instruments and their evaluation.* New York: Routledge, s. 21-58.

Wittchen, A. & Rasmussen, T. V. (2021). Erfaringer fra 20 træbyggerier – Eksisterende træbyggerier 2021. BUILD-rapport 2021:28. Institut for Byggeri, By og Miljø, Aalborg Universitet. 41 s.

World Green Building Council (2019). *Bringing Embodied Carbon Upfront.* Retrieved from: https://www.worldgbc.org/news-media/bringing-embodied-carbon-upfront.

Xia, R., Zhang, W., Yang, Y., Zhao, J., Liu, Y., & Guo, H. (2021). Transparent wood with phase change heat storage as novel green energy storage composites for building energy conservation. *Journal of Cleaner Production*, s. 296, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126598.

Zhang, X., Boderskov, T., Bruhn, A., Thomsen, M. Blue growth and bioextraction potentials of Danish Saccharina latissima aquaculture — A model of eco-industrial production systems

mitigating marine eutrophication and climate change. Accepted for publication in Algal Research.

Zhang, C. & Canning, L. (2011). Application of non-conventional materials in construction. *Proceedings of the ICE – Construction Materials,* s. 164, s. 165–172.

Ørstavik, F. (2014). Innovation as re-institutionalization: A case study of technological change in housebuilding in Norway. *Construction management and economics,* 32(9), s. 857-873.

Zimmermann, R. K., Andersen, C. A., Kanafani, K. & Birgisdóttir, H. (2020). Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger. Sbi, 2020:04. Kgs. Lyngby: Polyteknisk Boghandel og Forlag.

Östman, B et al. (2012). *Brandsäkra trähus 3*. Redaktion: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Udgave: 3. 180 sider.

14.1 Webadresser

https://www.miscanthus.dk

https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/bagtal/2019/2019-04-05-blaamuslinger.

https://www.aalborgportland.is/wp-content/uploads/2020/10/Aalborg_Portland_Miljoredegorelse_2019_web.pdf

http://detbiologiskehus.dk/nyheder/

https://detaandbarehus.dk/

https://realdania.dk/projekter/det-aandbare-hus

https://egenvinding.dk/det-aandbare-hus

https://egenvinding.dk/node/205

https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2019/dec/det-aandbare-hus/

https://looparchitects.dk/portfolio/villa_straa/

https://henninglarsen.com/en/projects/1800-1899/feldballe-school

https://baeredygtighedsklasse.dk/Cases/Institutioner/Feldballe-Friskolen#kort-beskrivelse-af-byggeprojektet

https://www.danskeark.dk/content/det-moderne-tanghus

https://ing.dk/artikel/laesoe-tanghus-nomineret-til-international-pris-174637

https://ipaper.ipapercms.dk/Konstruktrforeningen/konstruktoeren-20211/konstruktoeren-3-2021/?page=16

https://silkeborghojskole.dk/

https://vandkunsten.com/projects/tanghus

https://www.danskeark.dk/content/det-moderne-tanghushttps://realdania.dk/projekter/tanghuse-paa-laesoe---det-moderne-tanghus

https://ing.dk/artikel/laesoe-tanghus-nomineret-til-international-pris-174637

https://www.cfmoller.com/p/-da/Sommerhus-i-Kandestederne-i1809.html

https://www.bbp.dk/brnehuset-grnnegrden-projektbeskrivelse-copy

https://www.dagensbyggeri.dk/artikel/114358-bornehuset-gronnegarden-bliver-et-stort-co2-lager

15

ENGLISH SUMMARY

15 ENGLISH SUMMARY

The report describes opportunities and challenges in the use of biogenic resources for construction materials in Denmark. The report examines the possibilities of using biogenic materials in construction and at the consequences associated with growing, harvesting and producing building materials nationally. The report further sheds light on the potentials and barriers that can be identified by increasing the use of biogenic materials in construction in Denmark. Based on an assessment of the need for materials, both types and quantities, and the time horizon with which the materials in the required qualities and quantities can be ready as a resource. The assessments are performed as scenarios.

The report shows that the construction can store carbon from atmospheric CO_2 in the new construction corresponding to more than the total CO_2 emissions from the entire current Danish consumption of concrete. In addition, the biogenic materials will be able to replace conventional building materials such as concrete, steel, brick, and mineral wool to a large extent which will reduce the CO_2 emissions related to the production of these materials. In addition, the report highlights and shows buildings where biogenic materials have been used.

A review of available biogenic resources shows a great potential for an extensive production of biogenic materials that can be used in construction from forestry, agriculture, and marine environments in Denmark. Resources that are renewable and can be grown and harvested annually from the same land. Furthermore, the report shows that pure fractions of wood biomass can meet a large part of the material requirements for a number of building materials other than materials for load-bearing structures. Supplemented with, for example, straw, the report shows that the need for sheet materials and insulation in construction, both high- and low-rise buildings, can be met by Danish production alone. It is also shown that materials for the load-bearing structures necessitate the import of, for example, construction wood, but can be reduced by greater Danish processing of inferior fractions of wood, which are currently not used for construction wood, for use in glulam or CLT elements.

Furthermore, the use of biogenic materials for constructions can be increased by increasing knowledge of the materials and their properties. This is closely related to material knowledge in the construction value and supply chain. The value and supply chain must be familiar with the use of biogenic materials in construction, among other material suppliers, builders, architects, engineers, authorities, construction workers, builders, and users.

Further, technical documentation of material properties including product specific EPDs for assessing the suitability of a material for a given function in a building and the assessment of greenhouse gas emissions must be based on facts. Both for the building owner, contractor, craftsman, supplier but also in relation to the government services and in the finance and insurance industry.

Knowledge of construction technical solutions that have been tested before can increase knowledge of the materials' performance and help to develop and improve the solutions in the short term. Knowledge can be accumulated through publicly accessible transparent lighthouse constructions where the economic, practical, design and execution experiences are shared in the construction industry. Knowledge that in this way can be anchored in society as a whole and implemented in educations of the construction supply chain by actors, from craftsmen to scientists, as well as the environments around the cultivation of biogenic materials in Denmark.

16

BILAG

16 BILAG

16 BILAG **106**

17 EKSEMPLER PÅ BIOGENT BYGGERI **110**
17.1 Det Biologiske Hus 110
17.1.1 Materialer og konstruktion 111
17.2 Kredsløbshuset 111
17.2.1 Materialer og konstruktion 112
17.2.2 Konstruktionsprincip 112
17.3 Det Åndbare Hus 112
17.3.1 Materialer og konstruktivt system 113
17.3.2 Konstruktionsprincip 114
17.4 Villa Straa 115
17.4.1 Materialer og konstruktion 116
17.4.2 Materialer 116
17.4.3 Konstruktionsprincip 117
17.5 Feldballe Friskole – Tilbygning 117
17.5.1 Materialer og konstruktion 119
17.5.2 Materialer 119
17.5.3 Konstruktionsprincip 120
17.6 Friluftshuset ved Silkeborg Højskole 120
17.6.1 Materialer og konstruktion 122
17.6.2 Materialer 122
17.6.3 Konstruktionsprincip 123
17.7 Det Moderne Tanghus 123
17.7.1 Materialer og konstruktion 125
17.7.2 Materialer 125
17.7.3 Konstruktionsprincip 125
17.8 Sommerhus 126
17.8.1 Materialer og konstruktion 128
17.8.2 Materialer 129
17.8.3 Konstruktionsprincip 129
17.9 Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning) 130
17.9.1 Materialer 131
17.9.2 Konstruktionsprincip 131

18 UDSAGN OM LYD OG SVAR **134**

19 BIOBASERET MATERIALE-PARADIGME FOR ARKITEKTUR **138**

20 LCA-BEREGNINGER **150**
20.1 Skeletvæg 150
20.2 Vægtyper 150

21 SUBSTITUTION MED BIOGENE MATERIALER I LAVT BYGGERI **156**

22 TILVÆKST I ETAGEAREAL FOR NYBYGGERI **162**

23 MATERIALEBEHOV OG POTENTIALE FOR PRODUKTION **166**

24 POTENTIALE FOR DANSKE TRÆPRODUKTER **170**

25 INTERVIEWS **174**
25.1 INTERVIEWRESUMÈ 1 174
25.1.1 Produktdefinition 174
25.1.2 Råvare 174
25.1.3 Produktion 175
25.1.4 Produkt og afsætning 175
25.1.5 Dokumentation 176
25.1.6 Affaldshåndtering 177
25.2 INTERVIEWRESUMÉ 2 177
25.2.1 Produktdefinition 177
25.2.2 Historien bag firmaet 177
25.2.3 Råvarer 178
25.2.4 Produktion 179
25.2.5 Produkt og afsætning 179
25.2.6 Dokumentation 180
25.2.7 Affaldshåndtering 180

26 BYGGEBRANCHENS FORANDRINGER **182**
26.1 Roadmap for anvendelse af biogene materialer i byggeriet – Barrierer og tiltag i et transitionsteoretisk perspektiv 182
26.1.1 Teoretisk forståelse for strukturelle ændringer i byggebranchen 182
26.1.2 Teknologiske innovationssystemer og transitioner 182
26.1.3 Elementer og udvikling i sociotekniske regimer 183
26.1.4 Undersøgelsesmetode 183
26.1.5 Problemstillinger i interviewene 184
26.1.6 Dataindsamling og respondenter 185
26.1.7 Rapporter og anden empiri 186
26.1.8 Resultater fra undersøgelsen 186
26.1.9 Udenlandske tiltag og erfaringer med biogene materialer 186
26.1.10 Barrierer mod biogene materialer i byggebranchen 188
26.1.11 Potentialer for omstilling til biogene materialer i byggebranchen 190
26.2 Omstilling til biogene materialer i den danske byggebranche 192
26.2.1 Tiltag til understøttelse og anvendelse af biogene materialer 193
26.2.2 Strategic niche management som ramme for omstillingsprocesser 194
26.2.3 Roadmap for omstilling til biogene materialer 196
26.3 Barrierer mod anvendelse af biogene materialer 197
26.4 Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer 200

27 RETTIGHEDER **206**

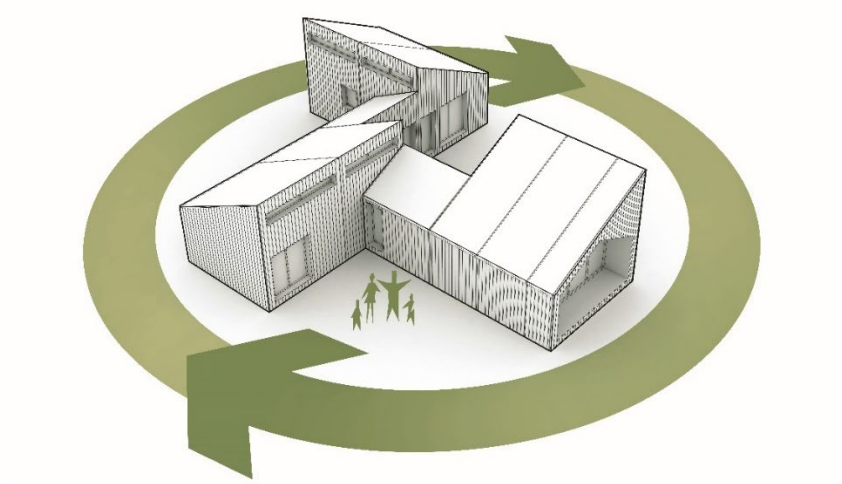
17

EKSEMPLER PÅ BIOGENT BYGGERI

17 EKSEMPLER PÅ BIOGENT BYGGERI

17.1 Det Biologiske Hus

Arkitekt / Udførende: Een til Een / GXN / NCC
Bygherre: HUSET – Middelfart (en del af MOLIO) / Een til Een
Program: Villa – beboelse (nu anvendt som demonstrationshus og konferenceformål)
Sted: HUSETs Byggeudstilling, Hindsgavls Allé 2, 5500 Middelfart
Areal: 139 m^2 (Modulært: varierende – villastørrelser)
Færdiggørelse: 2016.



Figur 36. Tegning: Det Biologiske Hus' hjemmeside.

Figur 37. Tegning: Det Biologiske Hus' hjemmeside.

17.1.1 Materialer og konstruktion

”Det Biologiske Hus er et bæredygtigt dansk huskoncept med boliger af høj kvalitet bygget af biologiske overskudsmaterialer fra landbrugsindustrien. Materialer, der i dag primært afbrændes til energiproduktion, bliver oparbejdet til værdifulde byggematerialer baseret på restmateriale fra produktionen af græs, halm, tomat, tang og ålegræs m.m. Materialerne er nøje udvalgt gennem en omfattende markedsundersøgelse af byggematerialer produceret af genanvendelige overskudsprodukter og biomaterialer. Udvælgelsen er ligeledes sket efter et nærhedsprincip, således at de anvendte materialer, leverandører og services så vidt muligt er lokale.” Citat: Det Biologiske Hus (http://detbiologiskehus.dk/nyheder/).

Konstruktion:
Halmfiberplader
Ålegræs som isolering
Træfiberisolering
I-Bjælker
Beslag, ringsøm og skruer.

Yderbeklædning:
Tagmembran
Undertag
Facade: furfuryleret træ med en mørk glød.

Inderbeklædning:
Gipsplade
Silikatfarve
Akustikplade
Egetræsgulv.

17.2 Kredsløbshuset

Arkitekt: Steen Møller, ’Husbygger’, Knud Sørensen, bygningskonstruktør
Bygherre: Steen Møller, Selvbygger
Program: Beboelse i to etager
Sted: Blåbjergvej 2, 7280 Sdr. Felding
Areal: Bebygget areal: 184 m^2. Etagekvadratmetre: 450 m^2. Beboeligt areal: 210 m^2
Færdiggørelse: oktober 1997.

Figur 38. Foto: Helle Skovkonge.

17.2.1 Materialer og konstruktion

Langskibshus, udført i bærende rundtømmer, med gulve af: affaldstræ, træskiver, molersten, marmorrester, indre vægge af knuder, marksten og adobe, samt stampede lervægge, udvendig isolering med halmballer og løst hør, pudset med kalkpuds, spær af rundtømmer, tagrør. Håndtering og tilvirkning af materialer er foregået lokalt uden brug af større maskineri og lever således op til gode økologiske intentioner om at mindske energiforbruget ved både opførelse og transport.

Fundament: randfundament i beton
Omfangsdræn: 60 mm perforeret plastic, lagt v. bund af fundament, dækket af løse letklinker helt op til jordoverfladen
Kapillarbrydende lag: løse letklinker, 30-50 cm bredt uden på soklen
Gulv: 300 mm løse letklinker ved bund af fundament, herefter 800 mm ler/sand ilagt varmeslanger fra solfanger, løst trægulv 45 / 70 mm er lagt direkte herpå
Indermure: af (brænde)knuder, marksten og adobe samt stampede lervægge
Ydermure: ikke-bærende halmballer placeret uden på lerstampede vægge
Puds indvendigt: kalkmørtel
Puds udvendigt: kalkmørtel, armeret med kyllingenet
Vinduer/døre: fæstnede i den bærende konstruktion
Konstruktionsmateriale: rundtømmer
Tagkonstruktion: rundtømmer-tagspær, undertag 2 x 35 mm træbeton med 10-15 mm kalkpuds, 400 mm tagrør (= 250 mm mineraluld).

17.2.2 Konstruktionsprincip

Huset er et langskibshus hovedsageligt bygget af lokale materialer med en konstruktion, der er så simpel, at huset kan laves som selvbyg, og omkostningerne begrænser sig til byggematerialerne. Husets materialer kan indgå i naturens kredsløb, når det engang er udtjent, heraf navnet Kredsløbshuset.

Fundamentet er et randfundament i beton, som udvendigt er forsynet med omfangsdræn og isoleret med løse letklinker helt op til jordoverfladen. Den bærende konstruktion er en hybridkonstruktion, der består af dels en skeletkonstruktion i rundtømmer, dels bærende vægge i stampet ler eller letklinkerblokke. I gavlene er der lerstampede vægge, letklinkerblokke i facaden mod nord og i sydfacaden, og i husets midterlinje er der bærende stolper af rundtømmer med en gennemgående toprem af rundtømmer. Etagedæk og hanebåndsspær er understøttet på remme og ydervægge.

Huset er isoleret på ydersiden med 500 mm halmballer placeret på et 100 mm tykt betonunderlag med drænriller, som ligger oven på de løse letklinker. Soklen er berappet med cementmørtel. Halmballerne er imprægneret med ler og efterfølgende pudset med kalkpuds på kyllingenet. Taget er opbygget af hanebåndsspær med to lag træbetonplader med forskudte samlinger pudset på ydersiden med kalkpuds. Stråtaget er det yderste lag og fungerer som både tagdækning og isolering af taget. De indvendige vægge er opbygget af enten (brænde)knuder, marksten og adobe eller som stampede lervægge. På nordfacaden er kølerum og grøntsagsopbevaring placeret i en jordvold, der samtidig fungerer som opkørsel til loftsetagen.

17.3 Det Åndbare Hus

Arkitekt / Udførende: House Arkitekter / Egen Vinding og Datter
Bygherre: Miljøstyrelsens program for Grøn Teknologi, Realdania og af Den A.P. Møllerske Støttefond.

Program: Fritliggende helårsbebyggelse / enfamiliehus
Sted: Haslevvej 81, 4100 Ringsted
Areal: 145 m^2
Færdiggørelse: 2015.

Figur 39. Foto: Søren Blicher, Karina Tengberg.

Figur 40. Foto: Søren Blicher, Karina Tengberg.

17.3.1 Materialer og konstruktivt system

Huset er primært bygget af biogene materialer som træ, miscanthus, ler og lersten, og overflader er behandlet med naturmaling, linolie, bivoks mv. Disse materialer er suppleret med 'upcyclede' restmaterialer som gips, papirisolering/genbrugsbomuld og glasgranulat. Huset er konstrueret med 'åndbare', diffusionsåbne konstruktioner. Her er tre forskellige typer af facader blevet testet. En facade med stor diffusionsåbenhed både ude og inde, en med stor

diffusionsåbenhed ude og lille diffusionsåbenhed inde samt en med lille diffusionsåbenhed ude og stor inde (https://realdania.dk/projekter/det-aandbare-hus).

Huset er, ud over ventilationsvinduer, udstyret med en 'solskorsten', der forsyner rummene med naturlig ventilation. Der er derfor ikke brug for øvrige skakte, nedhængte lofter og komplicerede mekaniske installationsføringer. De valgte materialer har overvejende en lav miljøpåvirkning i produktionsfasen (https://egenvinding.dk/node/205)/), og huset har generelt et simpelt teknisk setup.

Facadekonstruktion
Træfacade og stråfacade opbygget af:
Rupløjede granbrædder i tykkelsen 25 mm
2 lag almindelig gips med forskudte samlinger
Varmebehandlet ask
400 mm profilramme med cellulosefiber.

Tagkonstruktion
Rygning af varmebehandlet ask
Stråtag, ca. 250 mm tykt
Rupløjede granbrædder i tykkelsen 25 mm
508 mm rammesystem af OSB med cellulosefiber
25 mm forskalling
2 lag almindelig gips med forskudte samlinger
25 mm akustikplade.

Randfundament i beton
Isolering mod terræn: mineralsk isoleringsmateriale (opskummet granulat lavet på basis af restglas).

17.3.2 Konstruktionsprincip

Fundamentet er et randfundament i beton udvendigt isoleret med polystyren. Der er et let terrændæk af glasgranulat af genbrugsglas med hårdt stampet lergulv.

Huset er konstrueret med en trærammekonstruktion af I-profiler med cellulosefiberisolering forbundet til tagets OSB-rammesystem og med etagedæk af CLT. Indvendige vægge, herunder vægge omkring vådrum, er opbygget af ubrændte lersten.

Hensigten med det åndbare hus har været dels at anvende byggematerialer med ingen eller lav afgasning af uønskede stoffer til indeklimaet, dels at undersøge, om der kan laves såkaldte diffusionsåbne konstruktioner, der kan fjerne fugt fra boligen uden brug af mekanisk ventilation, og uden at det giver fugtproblemer og skimmel og råd i konstruktionen.

Konventionel isolering som mineraluld er ikke i stand til at optage og afgive fugt, og der skal normalt anvendes en dampspærre for at undgå kondens i klimaskærmen, og forholdet mellem diffusionstætheden i dampspærre og vindspærre skal være 10:1. Dampspærren giver således en tæt konstruktion, så fugten i indeklimaet skal fjernes ved ventilation. Det vil man undgå ved at undlade dampspærren og anvende en konstruktion med materialer, der tillader fugten at diffundere fra det ene materiale til det andet og ledes ud af konstruktionen enten til indeklimaet eller til det fri.

Huset er et testhus, og der er testet tre forskellige typer af facader:

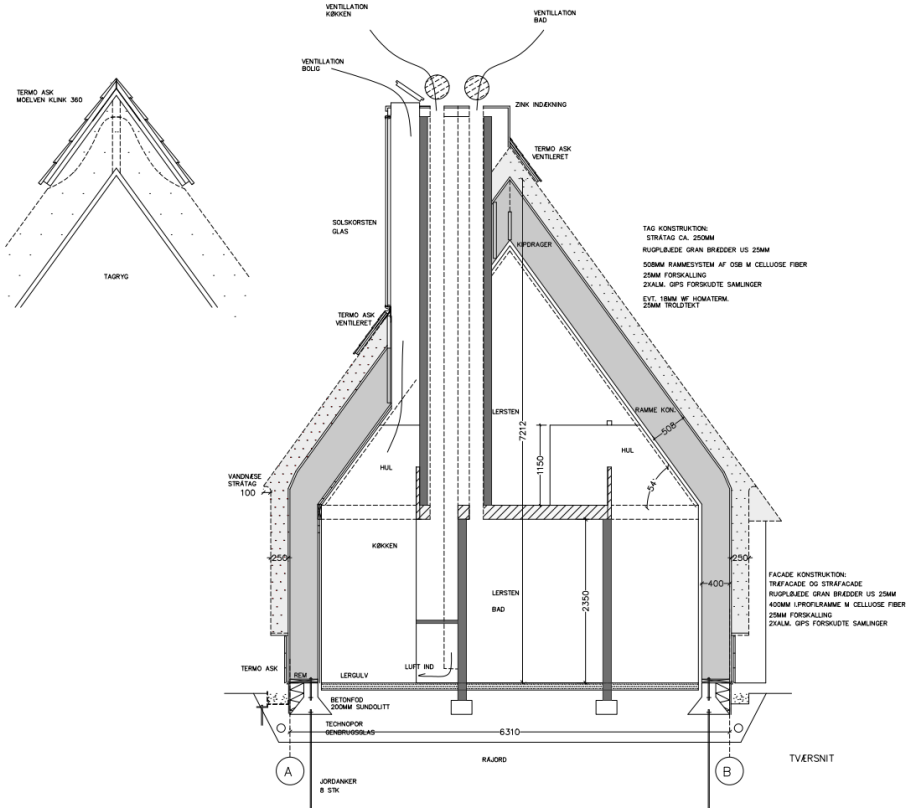
1. Gavle (syd og nord) med stor diffusionsåbenhed både ude og inde – udvendigt en 40 mm træfiberplade, som også er isolerende, og indvendigt gips/ler – 2 x 13 mm gips
2. Facadernes øverste del med stor diffusionsåbenhed ude og lille inde – udvendig stråbeklædning på 25 mm rupløjede granbrædder og indvendigt gips/ler

3. Facade med lille diffusionsåbenhed ude og stor inde – varmebehandlet ask på 25 mm rupløjede granbrædder og indvendigt gips/ler.

Teorien går ud på, at ved type 1 er vindspærren (træfiberplade) isolerende, og ved type 2 isolerer stråene, så temperaturen på granbrædderne holdes oppe, og det skal forhindre kondens. Ved type 3 bliver granbrædderne lige så kolde som udetemperaturen, og forholdet mellem diffusionstætheden i dampspærre og vindspærre er 1:10, dvs. det omvendte af anbefalingen, men her er det sammensætningen af materialer, der skal forhindre fugtophobning.

Der er placeret fugtmålere i alle tre konstruktionstyper, og efter et år er målingerne blevet analyseret. Konklusionen er, at der ikke er problemer med fugt, råd og skimmel i ydervægskonstruktion type 1 og 2, mens der ved type 3 har vist sig problemer med ophobning af fugt.

Der måles fortsat på huset for at undersøge, om type 1 og 2 fortsat ikke har fugtproblemer, og der undersøges faktorer, der kan have indflydelse på resultatet for type 3.



Figur 41. Snit.

17.4 Villa Straa

Arkitekt /Rådgiver: Loop Arkitekter, Tækker Rådgivende Ingeniører
Udførende: Ruud Conijn, Hemmed Tækkefirma
Bygherre: Privat (anonym) (nuv. ejer: Sebastian og Karoline Gyhrs Petersen)
Program: Sommerhus, 1 etage (m. hems)
Sted: Ørnevej 24b, Saksild Strand, 8300 Odder
Areal: 116 m^2 (grund 547 m^2)
Færdiggørelse: 2019 (byggeår 2016-2018).

Figur 42. Foto: Jacob Due.

17.4.1 Materialer og konstruktion

Sommerhus med bærende konstruktion i træ, med strå på både facader og tag. Partiel beklædning med egetræslister. Vinduer og døre er fæstnede i den bærende konstruktion. Udvendig beklædning består af lodrettækkede facader N/Ø/S samt tækket tag, træfacader mod vest. De lodrette flader er tækket med korte tækkerør fra Ringkøbing Fjord på træfiberplader. De skrå tagflader er med tækkerør fra Randers Fjord over brandsikring, som består af en dug af glasvæv, som monteres på stråtagets inderside mellem strå og lægter med mineraluld langs stråtagets kanter og rygning. Rygningen er udført i kobber på krydsfinerplader. Huset har været underlagt særlige myndighedskrav grundet facadebeklædning: 5 meter til skel samt et højdekrav, hvilket har givet særlige udfordringer med hensyn til taghældning på 42 grader (ønskeligt er min. 47 grader) (Kaarup, 2019).

17.4.2 Materialer

Fundament: randfundament i beton

Terrændæk: 400 mm trykfast isolering med 85 mm betondæk og 15 mm svømmende trægulv

Ydervæg, 480 mm: træskelet, 125 mm konstruktionstræ med isolering

- Udvendig beklædning: 280 mm tagrør
- Vindspærre: 16 mm uorganisk fiberplade
- Indvendig beklædning: dampspærre og 45 mm krydsforskalling med isolering med 14 mm krydsfiner el. fiberplade

Ydervæg, 347 mm: træskelet af 200 mm konstruktionstræ med isolering

- Udvendig beklædning: 20 mm træbeklædning på 38 mm sømlægte og 19 mm afstandsliste
- Vindspærre: 16 mm uorganisk fiberplade
- Indvendig beklædning: dampspærre og 45 mm krydsforskalling med isolering med 14 mm krydsfiner el. fiberplade

Etagedæk: 195 mm bjælkespær med 20 mm gulvspånplade og 14 mm trægulv

Loft: 19 mm forskalling som underlag for 14 mm krydsfiner el. fiberplade

Indvendige vægge: 95 mm stålskelet med isolering og 14 mm krydsfiner på begge sider

Tagkonstruktion: 250 mm bjælkespær med isolering

Undertag: banevare på 30 mm afstandslister og 38 x 73 mm trælægter

Tagdækning: 280 mm stråtag brandsikret med branddug.

17.4.3 Konstruktionsprincip

Det anvendte konstruktionsprincip er helt traditionelt. Der er udført et randfundament og terrændæk i beton med trykfast isolering. Den bærende konstruktion er en træskeletkonstruktion og tagkonstruktion af bjælkespær med dampspærre og isolering samt indvendig krydsforskalling og beklædning med krydsfiner eller fiberplade. I indvendige vægge er der anvendt stålskelet. Tagdækningen er stråtag, som er udført med et lille udhæng for at beskytte facaden.

Det utraditionelle ved dette hus er, at tagrør også er anvendt som beklædning på størstedelen af facaden. Da tækning med tagrør ikke lever op til bygningsreglementets brandkrav til facadebeklædning, og huset desuden ligger kun 5 meter fra skel, har det medført, at det i forbindelse med byggetilladelsen har været nødvendigt at få forskellige dispensationer. Som dokumentation er der blevet udarbejdet en brandteknisk vurdering med beskrivelse af de nødvendige brandsikringstiltag og vedlagt en prøvningsrapport på den anvendte branddug til brandsikring af tækningen. Der er gjort rede for, at både stråtaget og facadens tækning overholder de krav, som bygningsreglementet stiller til et brandsikret stråtag.

De brandtekniske tiltag er opfyldt i forbindelse med opbygning af tag og ydervægge. Yderligere krav til et 5 meter brandbælte er efterkommet, ligesom krav til at hindre plantevækst langs husets facade i mindst 1,0 meters bredde målt fra ydervæggens udvendige overflade er opfyldt med en fast belægning.

17.5 Feldballe Friskole – Tilbygning

Bygningen er en tilbygning til den eksisterende bygning. Tilbygningen er opført med afsæt i den Frivillige Bæredygtighedsklasse (FBK) (https://baeredygtighedsklasse.dk/Cases/Institutioner/Feldballe-Friskolen#kort-beskrivelse-af-byggeprojektet)), og defineret ud fra fem dogmer af Henning Larsen Architects med henblik på at skærpe den bæredygtige dimension i projektet: *1) Biomasse i Konstruktionen; 2) Design for Adskillelse; 3) Godt Indeklima; 4) Fri for giftige kemikalier; 5) Genanvendelse af lokale materialer (*https://henninglarsen.com/en/projects/1800-1899/feldballe-school)).

Arkitekt / Udførende: Henning Larsen / Small Planet – EcoCocon/ Høgh & Sønberg Entreprenør, Ingeniør Reeholm & Bredahl
Bygherre: Feldballe Friskole
Program: Skoleudvidelse, undervisningslokaler (faglokale til fysik og et alm. klasselokale)
Sted: Ebeltoftvej 56, 8410 Rønde
Areal: 250/230 m^2
Færdiggørelse: 2021.

Figur 43. Foto: Lindskov Communication.

Figur 44. Foto: Henning Larsen Architects.

Figur 45. Foto: Henning Larsen Architects.

17.5.1 Materialer og konstruktion

17.5.2 Materialer

Fundament: ukendt

Terrændæk:

- Krydsfiner med forskudte samlinger for at øge skivevirkning
- Dampbremse
- Gulvbjælker, 45 x 395 mm
- Cementbaseret vindspærre
- Vejrbestandig planke, 45 x 145 mm.

Ydervægge:

Præfabrikerede halmelementer, REI120 B-s1, d0, U-værdi på 0,12 W/m^{2}K, elementhøjde: 3000 mm

Vindspærre af træfiberplade
Udvendig beklædning: lodret beklædning af falsede brædder af skandinavisk fyr på 2 x 25 mm afstandslister på kryds
Indvendig beklædning: krydsfiner og enkelte vægge i lerpuds
Indvendige vægge: træskelet med organisk isoleringsmateriale beklædt med OSB-plade og fibergips på begge sider
Gulv: træfiberplader med gulvvarmespor og varmefordelingsplader, gulvpap og massivt træ-gulv
Tag: 400 mm I-bjælkespær med 400 mm træfiberisolering og kipbjælke i limtræ samt 1800 x 1800 mm ovenlys under kip
Tagdækning: falsede brædder i fuld længde af skandinavisk fyr på 2 x 25 mm afstandslister med undertag af træfiberplader
Loft: dampbremse og OSB-plader.

17.5.3 Konstruktionsprincip

Der er primært anvendt lokale, fornybare og bæredygtige materialer som halm og træ, der bidrager til, at bygningen lagrer mere CO_2, end den udleder.

Ydervæggene er et simpelt byggesystem, der består af præfabrikerede halmelementer med et bærende skelet af massivt træ og sammenpresset halm som isolering. Halmelementerne er lette, og montagen kan klares manuelt eller med små maskinelle hjælpemidler. Elementerne har en standardtykkelse på 400 mm, men produceres i øvrigt specielt til projektet. Der er ikke anvendt dampspærre i ydervæggene, men på indersiden bliver elementerne enten pudset eller beklædt med krydsfiner. På ydersiden er der en lodret træbeklædning af skandinavisk fyr på underlag af afstandslister på kryds.

Taget er opbygget af I-bjælkespær, der er samlet med en kip-bjælke i rygningen. Der er punktvis indbygget ovenlys på den nordlige tagflade. På indersiden af tagkonstruktionen er der udført en dampbremse med tapede samlinger, og herpå er der monteret OSB-plader og træbetonlofter.

Taget er udført med udhæng mod syd, men uden udhæng mod nord, tagdækningen er brædder i fyr svarende til facadebeklædningen.

Bygningen vil i fremtiden kunne skilles ad og samles igen.

Som grundlag for projektering og udførelse af de brandmæssige forhold i bygningen er der udarbejdet en brandstrategirapport.

17.6 Friluftshuset ved Silkeborg Højskole

Arkitekt / Udførende: ReVærk / FR. MADSEN tømrer- og snedkerfirma
Bygherre: Silkeborg Højskole
Program: Undervisning og værksteder (friluftsdiscipliner)
Sted: Platanvej 12, 8600 Silkeborg
Areal: 220 m²
Færdiggørelse: 2021.

Figur 46. Foto: Anders Rajendiram.

Figur 47. Foto: Anders Rajendiram.

17.6.1 Materialer og konstruktion

Bygningen er hovedsageligt bygget af træ. Konstruktion i dansk egetræ, douglasgran og træspån af akacietræ. Isolering er træfiberisolering, og gulvbeklædning er lavet af affaldstræ som klodsparket. Fundamenter er skruefundamenter, og isoleringen er træfiberisolering.

Byggegrundens lave kvalitet (blød/våd bund) krævede en særlig måde at bygge fundamentet på. Et usædvanligt højt niveau af grundvand og et massivt lag organisk jord gjorde standardløsninger af beton ineffektive og dyre. I stedet valgtes et skruestabelfundament.

17.6.2 Materialer

Fundament: skruefundamenter

Terrændæk: trækonstruktion, fibercement, træfiberisolering

Ydervægge: egetræ, douglasgran, træfiberisolering
Vindspærre: træfiberplade
Udvendig beklædning: træspån af akacietræ
Indvendig beklædning: vandrette brædder af douglasgran
Indvendige vægge: stolpekonstruktion med vandrette brædder af douglasgran
Gulv: klodsparket
Etagedæk: limtræ/CLT
Vinduer og døre: douglasgran med linoliemaling på ydersiden
Tag: træ I-bjælker, træfiberisolering, træfiberplade, tagbrædder
Loft: træbeton med trælisteværk på undersiden
Tagdækning: tagpap.

17.6.3 Konstruktionsprincip

Konstruktionen er inspireret af bulhuse fra den sene vikingetid og middelalderen. Et bulhus er en bygning af træ, hvor de bærende stolper er placeret to og to, med riller på indersiderne, og væggene udgøres af massive, vandrette planker mellem de bærende stolper.

Den bærende konstruktion er udført som en stolpekonstruktion samlet med synlige bolte, hvor stolperne er synlige både fra udvendig og indvendig side. Stolperne er fastgjort i fundamenterne med indslidsede stålbeslag.

I mellemrummet mellem stolperne er der udført et træskelet med isolering med udvendig beklædning af træspån og indvendig beklædning af vandrette brædder.

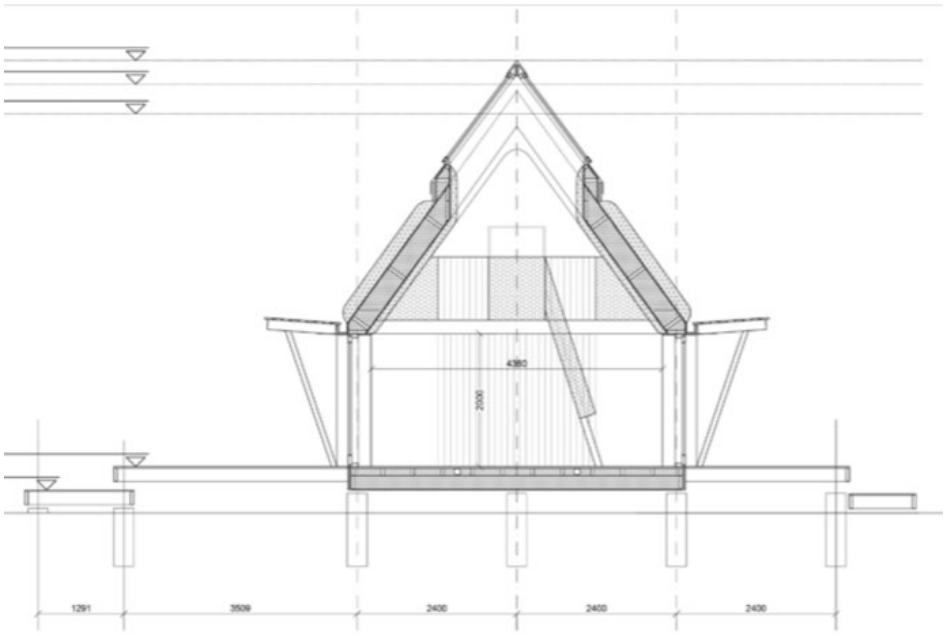
Tagene er udført som flade tage i forskellige højder. Der er et lille tagudhæng, som på undersiden er beklædt med brædder, og tagdækningen er af tagpap med vindskedeprofil i metal.

Der er udført en brandstrategirapport, som redegør for de brandtekniske løsninger.

17.7 Det Moderne Tanghus

Bygningen fremstår som et moderne fritidshus og tilpasser sig naturgrunden. Men i modsætning til Læsøs historiske tanghuse, der præges af deres store, tunge, uformelige tangtage, der trykker husene ned mod jorden, har det et mere forfinet og nutidigt udtryk med synlige, spinkle trækonstruktioner udvendigt og store, åbne vinduespartier, der vender ud mod en hævet terrasse, der får huset til at 'svæve' over terrænet. Som helhed falder huset naturligt ind i det omkringliggende landskab, både i vision og æstetisk udtryk (https://www.danske-ark.dk/content/det-moderne-tanghus) .

Arkitekt / Rådgiver: Vandkunsten v. Søren Nielsen / MOE, Brødsgaard
Videnspartnere: Brian Liebeck, Praktisk Service, Helle Raknes
Udførende: Greenhouse
Bygherre: Realdania
Program: Sommerhus, 1 etage (2 etager)
Sted: Tangborgvej 6, Østerby, 9940 Læsø
Areal: Samlet boligareal 119 m^2, heraf 86 m^2 + hems 33 m^2, udhus 26 m^2 (grund 5.252 m^2)
Færdiggørelse: 2012-13.



Figur 48. Snit: Helene Høyer Mikkelsen for Realdania By & Byg.

Figur 49. Foto: Helene Høyer Mikkelsen for Realdania By & Byg.

17.7.1 Materialer og konstruktion

De primære konstruktionsmaterialer er træ (lærk, fyr og gran) og OSB. Præfabrikerede træskeletelementer udgør gulv, facade, tag og skillevægge. (Tegnestuen Vandkunsten, Søndermark et al., 2013). Den øvrige del af sommerhuset er opført i lette organiske materialer helt uden beton, stål og maling. Alle komponenterne til det lette sommerhus kan hurtigt samles uden brug af større maskiner (https://ing.dk/artikel/laesoe-tanghus-nomineret-til-international-pris-174637).

Ligeledes er bygningen konstrueret, så den er let at skille ad og følger det såkaldte 'Design for Disassembly'-princip (https://vandkunsten.com/projects/tanghus).

I Det Moderne Tanghus bliver tang brugt på tre vidt forskellige måder: som isolering, som indvendig polstret beklædning og som udvendig synlig beklædning. Det anvendte ålegræs er indsamlet, gennemskyllet i regnvand og soltørret på Bogø, herefter lagt i strikkede net og fastgjort i baner på facaden og under husets tag (https://www.danskeark.dk/content/det-moderne-tanghus). (Tegnestuen Vandkunsten, Søndermark et al., 2013).

Indendørs er tangen lagt som gulvisolering og i trækassetter på husets vægge (https://realdania.dk/projekter/tanghuse-paa-laesoe---det-moderne-tanghus). De akustiske hørbetrukne tangelementer/paneler på 2,40 gange 0,60 meter er med til at sikre et godt indeklima både med hensyn til lyd og fugt (Tegnestuen Vandkunsten, Søndermark et al., 2013). Tagkonstruktionen er træ med tagdækning i tagpap, undertag er af tagpap, (tidligere tænget med tang/ålegræs). Tag og facade var oprindeligt beklædt med ålegræs stoppet i ruser, strikket af brunt uldgarn. Produktet er en pølle med fyld af ålegræs og en netstrømpe af uld. De lange pøller til taget er bundet på granrafter. (Tegnestuen Vandkunsten, Søndermark et al., 2013).

17.7.2 Materialer

Fundament: betonpunktfundamenter
Terrændæk: præfabrikerede træskeletelementer (OSB-plader og massivt træ) med ålegræsisolering.
Ydervægge: som terrændæk
Dampspærre: plasticmembran
Vindspærre: asfaltpap
Facadebeklædning: oprindeligt ålegræs i netpøller, nu erstattet med træbrædder
Indvendige vægoverflader: træbrædder
Loftoverflade: hørbetrukne ålegræselementer
Gulv: bræddegulv
Vinduer og døre: træ (mahogni) med 3-lags-ruder
Indvendig aptering: træ
Tag: som terrændæk
Tagdækning: oprindeligt ålegræs i netpøller på undertag af tagpap, nu erstattet af træbrædder som den endelige tagdækning
Træbrædder er af lærk, fyr og gran.

17.7.3 Konstruktionsprincip

Det Moderne Tanghus er designet til nemt at kunne samles og skilles ad. Der er anvendt præfabrikerede træelementer udført af konstruktionstræ og OSB-plader, som er samlet uden brug af større maskiner. Elementerne er udfyldt med ålegræs som isolering. Der er indvendigt monteret dampspærre og et lag OSB-plader, derpå krydsende lægter med indvendig beklædning af brædder på vægge og hørbetrukne akustikelementer med fyld af ålegræs på loftundersiden.

På udvendig side er der anvendt asfaltpap som vindspærre.

Taget var oprindeligt beklædt med ruller af ålegræs, der var stoppet i lange net og fastgjort til taglægterne, men på grund af en skade på undertaget, som angiveligt ikke har med ålegræsset at gøre, er tagdækningen nu udskiftet med brædder. På facader og gavle var der oprindeligt ålegræs stoppet i net og samlet i kassetter, men denne beklædning er nu også erstattet af bræddebeklædning.

Langs begge facader er der monteret et næsten vandret, ca. 1 m bredt udhæng, som understøttes af dobbelte brædder, der som stræbepiller er fastgjort fra bunden af facaden til yderst på udhængsspærene. Dette udhæng har tagpap som tagdækning og er afsluttet med en rundet kant.

Afvandingen af taget sker ved tagfoden, hvor tagrenden er placeret bag udhænget og nedløbsrør er indbygget i facadebeklædningen, mens udhænget er udført uden tagrende og nedløb.

17.8 Sommerhus

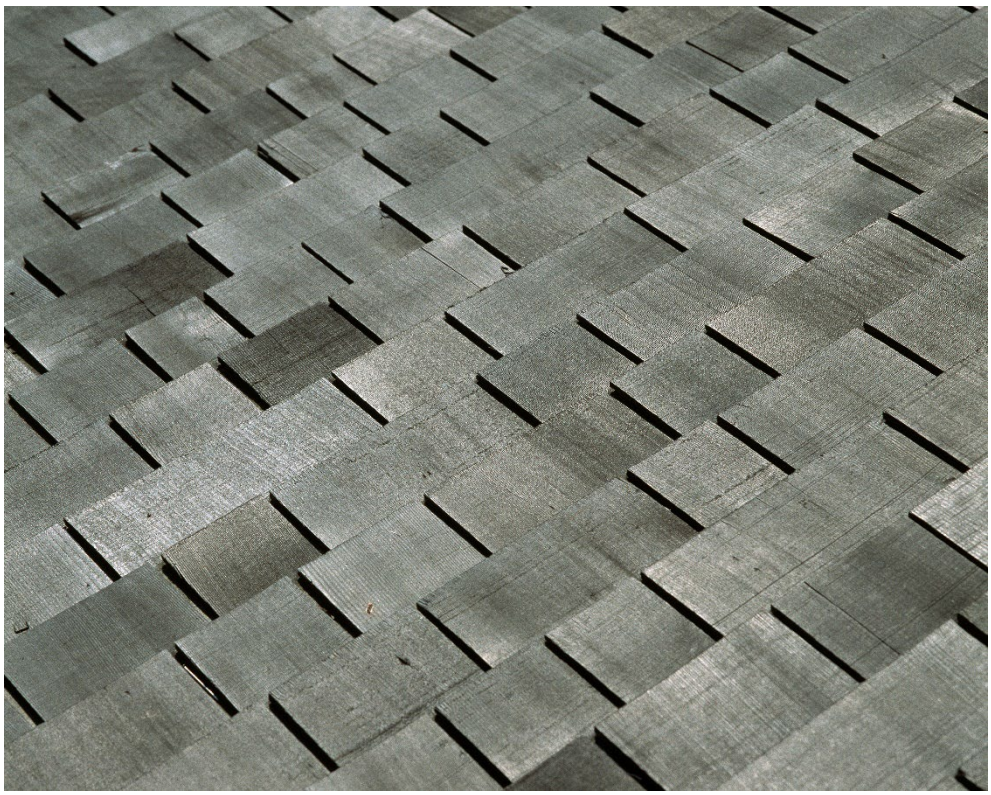
Arkitekt / Rådgiver: Mads Møller/C.F. Møller, Søren Jensen Rådgivende Ingeniørfirma
Udførende: Degn Entreprise
Bygherre: Mads Møller
Program: Sommerhus, 1 etage (2 etager)
Sted: Vesterhvarre 24 (Kandestederne), 9990 Skagen
Areal: 86 m^2 + 34 m^2 (grund 4.576 m^2)
Færdiggørelse: 2000.

Figur 50. Foto: Mads Møller.

Figur 51. Foto: Torben Eskerod.

Figur 52. Foto: Torben Eskerod.

Figur 53. Foto: Torben Eskerod.



Figur 54. Foto: Torben Eskerod.

17.8.1 Materialer og konstruktion

Det primære konstruktionsmateriale er træ. Indvendig består beklædningen af vægge/lofter af lakeret birkefiner. Facader og tag (træspån) består af ubehandlet thuja (Western Red Cedar), der efter et par år får en sølvgrå, varm tone ligesom de sildekasser, der har ligget og vasket i strandkanten. Vinduerne er ubehandlet eg. Desuden er samlinger og overgange "…

et fint eksempel på konstruktiv træbeskyttelse af træfacader, der udgør en ganske 'gratis' beskyttelse og vedligeholdelse af træet, idet trusler fra vand er nøje gennemtænkt og forebygget fx ved dækbrædder foroven og friholdelse fra jord og terræn" (Vadstrup et al., 2008). Det kombinerede opholds-, køkken- og spiserum med indskudt balkon, der modtager dagslys fra alle verdenshjørner, har et fint, smukt lys i al slags vejr. Lysets skiften giver de forskellige træsorter farver og stoflighed. Gulve og trapper er i eg, vægge og lofter er klarlakerede birkefinersplader. Bord og brystningsreoler, der er tegnet til huset, er i henholdsvis bøg og ask (Vadstrup et al., 2008, LIVING ARCHITECTURE, 2001).

17.8.2 Materialer

Fundament og sokkel: randfundament i beton og 190 x 300 mm under letklinkerblokke med 13 mm sokkelpuds
Omfangsdræn: drænplader og omfangsdræn ført til sivefaskine
Terrændæk: 100 mm betondæk på 50 mm trykfast isolering, 150 mm kapillarbrydende lag og komprimeret fyld
Ydervægge: 45 x 125 mm træskelet med 125 mm mineraluld
Tag: 50 x 200 mm K18-spær med 150 mm mineraluld
Forankring: 25 x 2 mm hulbånd
Dampbremse i ydervægge og fugtadaptiv dampspærre i tag
Udvendig beklædning: 17,5 x 127 mm cedertræ med fer og not på 17,5 x 50 mm horisontale lister og 17,5 x 50 mm afstandslister
Indvendig beklædning: 18 x 100 mm forskalling, 13 mm krydsfiner eller brædder. I vådrum to lag vandfast plade med svejsbar PVC-beklædning
Gulv: 20 x 155 mm massiv egeplank lagt på 50 x 50 mm strøer med 50 mm mineraluld. I vådrum PVC-belægning
Loft: 13-26 mm krydsfiner på 15 x 50 mm forskalling
Indskudt dæk: skeletkonstruktion
Trappe: 2-lags stavlimet træ med vanger af MDF-plade
Indvendig aptering: krydsfiner og brædder
Vinduer, døre og ovenlys: ubehandlet vakuumimprægneret eg med 2-lags termoruder
Fugtspærre: murpap (ved sokkel, overgange mellem fundament og rem, døre, vinduer, gulvstrøer)
Tagdækning: spåntag, cedertræ med 100 mm synlig flade på undertag af pap på 12 mm tagkrydsfiner
Skorsten: Ø350 mm sort stålskorsten med renselem.

17.8.3 Konstruktionsprincip

Fundament er støbt i beton til frostfri dybde. Husets terrænspring, som følger det omgivende terræn, er optaget i fundamentet. Terrændæk er støbt i beton på trykfast isolering og kapillarbrydende lag. Soklen er pudsede letklinkerblokke. Omkring sokkel og fundament er der, hvor der ligger rum under jordoverfladen, monteret drænplader og omfangsdræn.

Sommerhuset er opbygget som en traditionel skeletkonstruktion med isolering, indvendig beklædning af krydsfiner eller brædder og udvendig træbeklædning. Konstruktioner er forankret til fundament med hulbånd, som er ført til spær og kip.

Isoleringstykkelsen afspejler kravene til sommerhuse på opførelsestidspunktet, og dampspærren er erstattet af en såkaldt hygrodiode*.

Den udvendige beklædning er opsat stramt modulært med hjørner, kanter og andre afslutninger i plan med beklædningen.

Alle inddækninger er udført i zink på underlag af syrefrit pap på træ.

* Se BYG-ERFA-blad (27) 05 12 29. Uventilerede paralleltage med dampbremse af Hygrodiode. Hygrodiode er ikke egnet til alle tagtyper. I BYG-ERFA-bladet er de generelle og byggetekniske forudsætninger for anvendelse af hygrodiode uddybende beskrevet.

17.9 Grønnegården (Børnehuset Grønnegården – Tilbygning)

Arkitekt / Udførende: BBP Arkitekter / ELINDCO / Thing Brandt Landskab
Bygherre: Gladsaxe Kommune
Program: Integreret institution med fælleshus. Børnehuset Grønnegården er et dagtilbud i Gladsaxe Kommune for børn i førskolealderen. Den indrettes til 4 grupper á12 vuggestuebørn og 4 grupper á 24 børnehavebørn med tilhørende fællesrum. Normeringen er 144 børn. Personalet er 32 voksne.
Sted: Vinkelvej 2, Gladsaxe
Areal: 1.250 m^2
Færdiggørelse: Under udførelse (nov. 2020 – nov. 2021).

Figur 55. Rendering fra BBP's hjemmeside.

Figur 56. Rendering fra BBP's hjemmeside.

17.9.1 Materialer

Fundament: randfundament i beton
Terrændæk: betondæk på min. 400 mm polystyrenisolering
Ydervægge: 100 mm CLT med 300 mm træskelet med træfiberisolering
Vindspærre: 40 mm træfiberplade
Udvendig beklædning, facader: krydsforskalling med bræddebeklædning som en-på-to og skrå eller vandret klinkbeklædning. Malet med heldækkende, mat træbeskyttelse
Udvendig beklædning, gavle tættest på laden og nederste del af laden: genbrugstegl
Indvendige vægge/overflader: 20 % CLT, 80 % malet med transparent brandmaling eller beklædt med lyd- og brandhæmmende plader
Vådrumsvægge: genbrugstegl beklædt med fliser
Gulv: 30 mm selvnivellerende beton med varmeslanger. Gulvbelægning er linoleum samt gulvfliser i vådrum (skridsikre i køkken)
Etagedæk: CLT
Tag: Kipbjælke: limtræ, trækassetter opbygget af træspær med træfiberisolering forsynet med tagkrydsfiner og et lag underpap på oversiden
Tagudhæng: underside beklædt med brædder
Loft: delvis fastforskallet/nedforskallet akustikloft i træbeton
Tagdækning: malede pandeplader i stål.

17.9.2 Konstruktionsprincip

Grønnegården består af en 100 år gammel lade, der renoveres til nye 1- og 2-etagers bygninger med bærende konstruktioner i massivtræselementer (CLT) kombineret med tagkassetteelementer.

Til de nye bygninger er der anvendt et traditionelt randfundament, terrændæk i beton og polystyrenisolering.

Konstruktionen af CLT er både bærende og afstivende. Den er monteret på få dage ved hjælp af mobilkran for en bygning ad gangen. Bygningen er straks efter overdækket med tagkassetter, og det efterfølgende arbejde har kunnet foregå under tag. Tagkassetterne spænder fra ydervægge til limtræsrem i kip.

CLT-elementerne er i byggefasen beskyttet på ydersiden; øverst af tagudhænget, nedenunder af en diffusionsåben membran.

På ydersiden af de massive trævægge er der monteret træskelet med træfiberisolering og udvendig træbeklædning, og ydervæggen er udført uden plasticmembraner, idet CLT'en regnes for at udgøre tæthedsplanet.

For at imødegå brandkrav til vægoverfladerne og samtidig have fuldt eksponerede indvendige CLT-overflader males CLT med transparent brandmaling i forskellige farvenuancer. Der er også enkelte vægge beklædt med lyd- og brandhæmmende plader.

Vægge i vådrum, køkken og bad er opført af genbrugstegl, ligesom gavlene mod laden er af genbrugstegl for at overholde brandkrav. Også den nederste del af laden vil efter renovering være i genbrugstegl. Der er ved opmuring anvendt kalkmørtel, så murstenene vil kunne genbruges.

Lofterne er udført som delvist fastforskallet loft, der hvor loftet følger tagkassetterne, og nedforskallet loft, hvor det skal skjule ventilationskanaler.

18

UDSAGN OM LYD OG SVAR

18 UDSAGN OM LYD OG SVAR

Dette bilag sammenholder en række udsagn vedrørende lydforhold ved anvendelsen af biogene byggematerialer identificeret i et tidligere arbejde og rapporteret i BUILD-rapport 2020:25, *Anvendelsen af træ i byggeriet – potentialer og barrierer*. De enkelte udsagn er kommenteret og udredt for at imødegå eventuelle misforståelser, som har bredt sig i dele af byggebranchen.

Tabel 13. Interviewudsagn om lydkrav og svar.

’At lydkravene i Danmark er skærpede i forhold til krav i vore nabolande’
Lydisolationskravene for etageboligbyggeri er ret ens i de nordiske lande, men der anvendes ikke helt ens begreber. Finland har de skrappeste trinlydkrav i Norden. Sammenlignet med andre lande i Europa har Tyskland og Østrig betydeligt skrappere trinlydkrav end Danmark.
’At kravene er uafhængige af materialerne, bygningen er opført i’
Ja, de danske lydisolationskrav gælder – som i de fleste andre lande – det færdige byggeri og er krav, der er de samme for alle konstruktionstyper, altså uafhængige af de anvendte materialer. – Der er dog for lette konstruktioner (vægge ≤ 100 kg/m^2 og gulve ≤ 250 kg/m^2) nogle supplerende anbefalinger med kriterier ned til 50 Hz, da de er vigtige for sådanne konstruktioner, men ikke for tungere konstruktioner.
’At transmissionsegenskaberne for luftlyd, trinlyd og vibrationer afhænger af konstruktionsprincipper og materialer’
Ja, det er rigtigt, at transmissionsegenskaberne afhænger af konstruktionsopbygninger, materialer og samlingsdetaljer. Den samlede egenskab har derfor forskellige egenskaber afhængigt af de valgte detaljer og samlingerne, men afhænger ikke af materialevægten alene.
’At kravene i niveau er lagt efter, hvad der med rimelighed kan opnås i det konventionelle byggeri af tunge materialer’
Ved fastlæggelse af nye krav til bygningsreglementet er det normal praksis, at gennemførligheden tjekkes, og at der i øvrigt gennemføres en høring. Der etableres ikke nye krav, som det er umuligt at overholde. Det forekommer sandsynligt, at de første lydisolationskrav er fastlagt ud fra erfaringerne fra byggeri af tunge materialer. Der har sandsynligvis ikke været træbyggeri med en rimelig lydisolation, og desuden har man muligvis villet undgå træbyggeri pga. brandfare.
’At lydkravene bygger på, hvor mange mennesker der er tilfredse med støj fra naboer’
Det er hverken rigtigt eller forkert. Lydisolationskravene er ikke baseret på egentlige tilfredshedsundersøgelser, men på en konstatering af, at i første halvdel af 1900-tallet var der mange klager over nabostøj, hvilket visse steder førte til kommunale byggevedtægter, fx i Søllerød i 1936, med krav om "tilstrækkelig lydisolation", og senere til mere specifikke formuleringer i de nationale cirkulærer og bygningsreglementer. Kravenes udformning var påvirket af erfaringerne med konstruktionerne, men ikke kvantificeret med andel tilfredse eller utilfredse. Senere, da man begyndte at definere lydklasser, blev der udarbejdet analyser af tidligere danske og udenlandske spørgeskemaundersøgelser sammenholdt med måleresultater, og på den måde kunne der udarbejdes estimater af lydklassernes betydning for den procentvise andel af tilfredse og den procentvise andel af utilfredse beboere. Men lydkravene er ikke fastlagt ud fra den procentvise andel af tilfredse. Det er snarere omvendt, altså at den procentvise andel af tilfredse er estimeret ud fra måleresultater og beboernes tilhørende tilfredshedsvurdering.
’At der foreligger gode erfaringer for opnåede lydforhold ved opførelse af byggerier med tunge materialer i modsætning til bygninger opført i træ og biogene materialer’
Der er ikke i DK udført repræsentative, sammenlignende undersøgelser, der kan give et generelt svar. En bygning med fx tunge dæk, men uden trinlydisolerende gulve, er nærmest ubeboelig. Det er den samlede løsning, der er væsentlig. Gode lydforhold opnås kun ved årtiers udvikling, feltmålinger og beboertilbagemeldinger og derefter en ny runde med de samme trin. Feltmålinger, feedback og konstruktionsændringer er nødvendige led for at opnå gode lydforhold. Dette gælder både bygninger af tunge og lette materialer. Denne proces har for træbyggeri fået et betydeligt skub på det seneste.

Tabel 13 fortsat

'At støj af mange opfattes som en gene og en stressfaktor'
Befolkningsundersøgelser er gennemført af Statens Institut for Folkesundhed (SIF) i DK med 3-5 års mellemrum siden år 2000. For beboere i etageboligbyggeri er der fundet en stærk sammenhæng mellem oplevede nabostøjgener og: − højt stressniveau − dårligt mentalt helbred − træthed − søvnproblemer. Note: Tværsnitsstudier, så kausalitet kendes ikke. Støj er potentielt både en gene og en stressfaktor. WHO og EAA (Europæisk Miljøagentur) fremhæver begge søvn som en nødvendighed for et godt helbred pga. søvnens restituerende og konsoliderende egenskaber. De helbredsmæssige risici ved søvnforstyrrelser er fremhævet, da søvnforstyrrelser virker både øjeblikkeligt og næste dag samt kan have langtidsvirkninger for mental sundhed og hjerte-kar-sundhed.

19

BIOBASERET MATERIALE-PARADIGME FOR ARKITEKTUR

Pulp Faction

Pulp Faction udvikler metoder til 3d-print af mycelium baserede kompositmaterialer til arkitektonisk brug.

Projektet undersøger hvordan svampesporer kan transformere biologiske affaldsprodukter i form af plantefibre til en ny klasse af performative byggematerialer. Disse nye myceliumbyggesten er selvbærende og har gode termiske og akustiske evner. Projektet undersøger hvordan sådanne biomaterialer i fremtiden kunne fungere som alternative byggematerialer, der både er biologisk nedbrydelige og ikke er afhængige af ekstraktion af begrænsede ressourcer.

Pulp Faction samler viden fra flere discipliner. Det undersøger både substratmaterialets sammensætning, dets integration med de levende svampe, hvordan materialet skal behandles for at kunne 3d-printes og i sidste ende, hvordan det vokser til nye konsoliderede arkitektoniske komponenter. Projektet har udviklet en 2 meter høj søjle, Protomycikion.

Videre kilder
https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10094460/1/Fabricate-2020.pdf

Faktaboks:

Projektets titel: Pulp Faction
Arkitekt / forsker: David Andréen, Ana Goidea, Dimitrios Floudas
Institut: Lund Universitet
Støtte af: The Crafoord Foundation and Boverket, the Swedish National Board of Housing, Building and Planning
Sted: Lund, Sverige
År: 2020

BioMat Research Pavilion

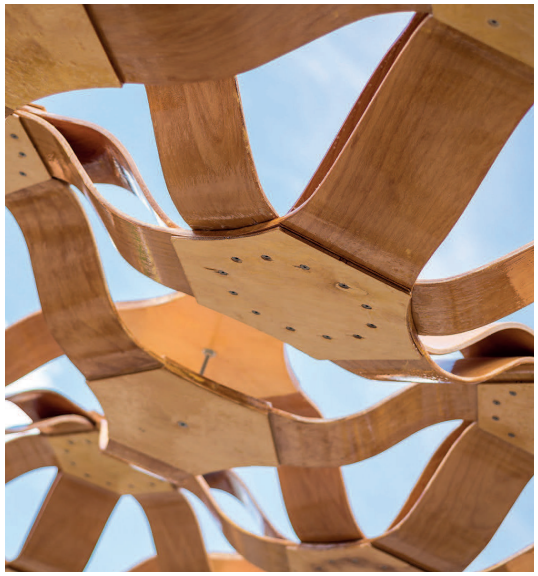
BioMat pavillionen er en fuld skala mock-up d undersøger brugen af naturlige fibre i bio-resin forstærkede kompositter. Projektet er resultatet af et længere forskningsarbejde inden for anvendelser af biobaserede materialer og forskellige tilgange til fremtidsorienteret bæredygtig arkitektur.

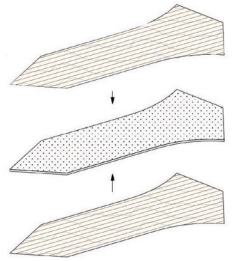
BioMat er baseret på biokompositplader udviklet af forskerholdet. Pladernes kerne er et fleksibelt bræt fremstillet af naturlige fibre. De CNC-skårne fiberpladekerner er derefter lamineret fra begge sider med præfabrikerede finérplader i en 3D styret vakuumpresseproces der resulterer i den dobbelt krumme formgivning. Laminering ændrer den fleksible kernebord til et 3D stift bøjet element og tillader samtidigt justeringen at materialets mekaniske egenskaber. Det er således muligt at tune materialets elastiske egenskaber ved at afstive det i forskellige grader.

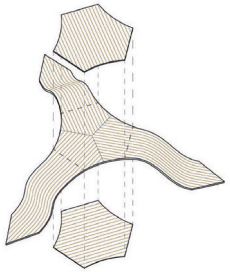
Videre kilder
http://www.hanaadahy.com/biomat-pavilion-2018/

Faktaboks:

Projektets titel: BioMat Research Pavilion
Arkitekt / forsker: Hanaa Dahy, Piotr Baszyński, Jan Petrš
Institut: University of Stuttgart
Støtte af: German Agency for Renewable Resources (FNR)
Sted: Stuttgart, Tyskland
År: 2018



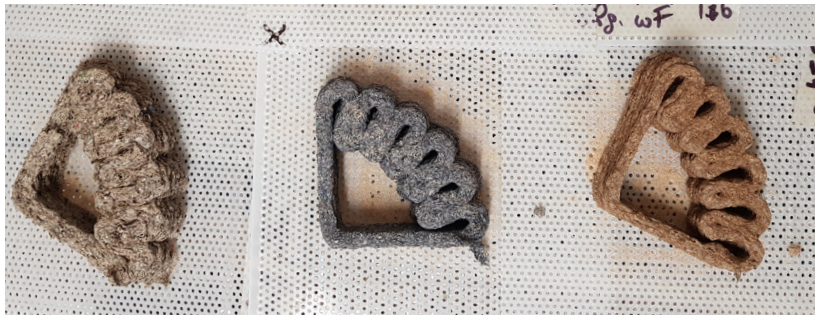




Predicted response

Predicting Response projektet undersøger brugen af cellulose forstærkede biopolymere som byggemateriale. Projektets fokus er at udvikle avancerede informationsmodeller til at kunne karakterisere og fremstille med bio baserede materialer i arkitektonisk kontekst for dermed at kunne fremme en bæredygtig byggepraksis. Biobaserede materialer radikalt anderledes end udvundne materialer som stål og cement. Hvor de er cirkulære, fornyelige, biologisk nedbrydelige og kemisk alsidige, er de også heterogene og svære at kontrollere i en fremstillingsproces.

De biopolymere som projektet undersøger sammentrækker sig op til 40% i tørringsprocessen. Projektet undersøger udviklingen af nye repræsentationsmetoder, der kan gribe materialets iboende kompleksitet og løbende tilpasse fremstilling. Disse metoder baseres på sensor baseret dataindsamling i løbet af tørringsprocesserne som derefter bruges som input til digitale modeller der kan forudse materialets transformation.



Videre kilder
https://royaldanishacademy.com/case/predicting-response

Faktaboks:

Projektets titel: Predicted response
Arkitekt / forsker: Mette Ramsgaard Thomsen, Paul Nicholas, Martin Tamke, Gabriella Rossi, Anders Egede Daugaard, Arianna Rech, Ruxandra-Stefania Chiujdea
Institut: Det Kongelige Akademi, Arktitektur, Design, Conservering, DTU Dansk Polymer Center
Støtte af: Independent Research Fund Denmark (DFF)
Sted: København, Danmark
År: 2021

livMatS Pavilion

LivMatS-pavillonen undersøger udviklingen af bærende byggeelementer ved hjælp af kerneløs filamentvikling af hørfibre. Pavillonen er inspireret af saguaro-kaktus (Carnegia gigantea) og figenkaktus (Opuntia sp.), der er kendetegnet ved deres særlige træstruktur. Saguaro-kaktusen har en cylindrisk hul trækerne og er dermed særlig let. Trækernen består af en net lignende konstruktion, som giver strukturen stabilitet og dannes som et resultat af sammenvæksten af dets individuelle elementer. Begge kaktusarter bruger disse netværks lignende strukturer til at optimere plantens bæreevne.

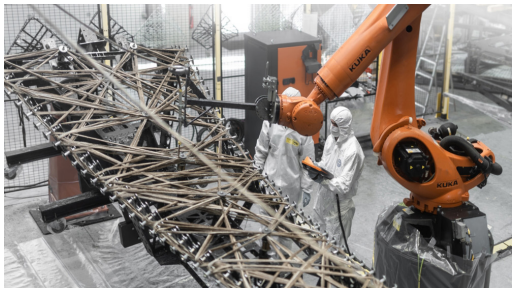
I LivMatS fremstilles de bærende byggeelementer med en kerneløs filamentviklingsproces udviklet af projektteamet. I denne additive fremstillingsmetode placerer en robot fiberbundter på en viklingsramme. Fremstillingsmetoden giver mulighed for målrettet at kalibrering og optimere elementernes konstruktive styrke ved at styre fibrenes orientering, justering og tæthed og dermed passe præcist til de strukturelle krav i komponenten, som i dens biologiske inspiration.

Den bærende struktur på livMatS-pavillonen består af 15 hørfiberkomponenter. Elementerne er fabrikerede af kontinuerligt spundne naturlige fibre. Elementerne varierer i samlet længde fra 4,50 til 5,50 m og vejer i gennemsnit kun 105 kg. Den på forhånd definerede komponentform fremkommer gennem samspillet mellem fibrene i viklingsrammen, hvilket unødvendiggør behovet for yderligere formarbejde eller viklekerne. Denne fremstillingsmetode er bæredygtig i og med den affaldsløs.

Videre kilder
https://www.itke.uni-stuttgart.de/research/icd-itke-research-pavilions/livMatS-pavilion-2020-21/

Faktaboks:

Projektets titel: livMatS Pavilion
Arkitekt / forsker: Prof. Jan Knippers, Prof. A. Menges, Unviersity of Stuttgart, Marta Gil Pérez, Serban Bodea, Niccolò Dambrosio, Bas Rongen, Christoph Zechmeister, Katja Rinderspacher, Marta Gil Pérez, Monika Göbel
Insitut: University of Stuttgart
Støtte af: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Exolon Group GmbH
Sted: Freiburg, Tyskland
År: 2021



RawLam

RawLam undersøger hvordan værdikæden mellem skovbrug, savværksindustri, fremstillingen af limtræ og arkitektonisk formgivning kan intensivere materialebrug i træindustrien. Ved at modellere et givent træs materialevariation og interface dette med udviklingen af skræddersyede limtræselementer kan vi optimere brugen af forskellige trækvaliteter og dermed intensivere den kvalitet af træ der går fra savværket til det byggede miljø.

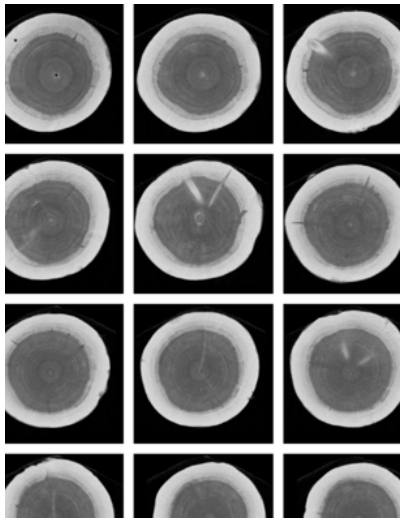
Øget brug af træ i byggeriet hjælper med at reducere byggeriets kulstofaftryk og er set som et af de første og mest effektive skridt mod en biobaseret økonomi inden for byggeri. Men på grund af den industrielle logik inden for træproduktion, hvor hvert stykke træ skal leve op til fastsatte kvalitetsstandarder, er op til 70% af input skovmateriale i traditionelle arbejdsgange tabt under produktion af træelementer. RawLam undersøger hvordan state-of-the-art CT scannere, brugt til at kvalitetsbedømme tømmer, kan interfaces med den arkitektoniske formgivningsproces. Ved at optimere limtræselementerne i forhold til deres konstruktive styrke og samlinger kan vi modellere hvordan forskellige træ kvaliteter kan placeres i de enkelte elementer. Dette gør at vi kan bruge lavere og ellers kasseret trækvaliteter i vores limtræselementer.

Projektets potentiale er at kunne flytte mere træressource op ad værdikæden og dermed kunne intensivere hvor meget af et skovbrugs fældning kan bruges i byggeriet. Ved at flytte værdikæden på denne måde flytter vi også den potentielle CO2 opbevaring da mere materiale kan opbevares i langsigtede produkter som byggeri og ikke i papirmasse eller energi.

Videre kilder
https://kglakademi.dk/case/rawlam

Faktaboks:

Projektets titel: RawLam
Arkitekt / forsker: Tom Svilans, Martin Tamke; Mette Ramsgaard Thomsen
Institut: Det Kongelige Akademi, Arktitektur, Design, Konservering med MicroTec, Italien
Støtte af: The Danish Council for Independent Research (DFF), Bildmuseet | Umeå universitet
Sted: Umeå, Sverige
År: 2021



INTERVIEW:
Birger Lindberg Møller

DEN PLANTEALGESCENE ÆRA

Interview ved Mette Ramsgaard Thomsen
August 2021

BLÅ BOG

NAVN: Birger Lindberg Møller
STILLING: Professor, D.Sc. ved Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet og centerleder for Center for Syntesebiologi
FORKNINGSEMNE: Planters biokemi og syntesebiologi
SÆRLIGE ERFARINGER: 2014-2015 Direktør for Carlsberg Laboratorium, 1998-2007 leder af Danmarks Grundforskningsfond´s Center for Molekylær Plantefysiologi, 2013-2019 leder af VILLUM Center for Plant Plasticity
ØVRIGE BEVILLINGER: 2013-2019 ERC Advanced Grant, 2016-2020 NNF Interdisciplinary Synergy Grant, 2019-2024 NNF Distinguished grant
UDVALGTE PRISER OG ÆRESHVERV: 1985 Niels Bohr Fellow udpeget af Videnskabernes Selskab, 2007 Villum Kann Rasmussens Årslegat af Villum Fonden, 2009 Æresdoktor ved Umeå Universitet, 2013 Æresprofessor ved University of Queensland, 2014 Ridder af Dannebrog 1. grad.

Mette
Som syntesebiolog er du fortaler for hvad du kalder den plantealgesceneæra. Hvad det er?

Birger
Det er en æra hvor vi prøver at udvikle produktionssystemer, der er i balance med naturens egen orden. Naturen har jo udviklet sig evolutionsmæssigt siden jordens skabelse. Fotosynterende organismer har eksisteret de sidste tre en halv milliard år på jorden, og har gennem de seneste mere en 100 millioner år manifesteret sig i udvikling af de højere planter. Et fåtal af disse er gennem konstant selektion udviklet til de kulturplanter vi kender i dag, og som danner hele grundlaget for den globale fødevareforsyning. Planter og andre fotosyntetiske organismer har gennem evolutionen tilpasset sig forskellige klimatiske betingelser. De hurtige klimaforandringer vi nu er vidne til, skaber stor usikkerhed om dette systems robusthed.

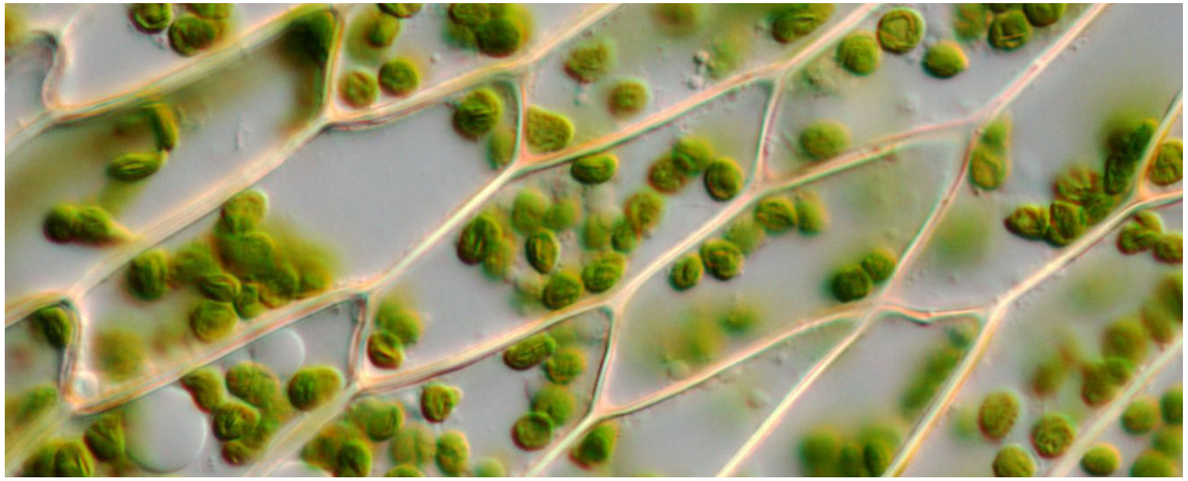
Planter vokser ved at bruge CO2 fra atmosfæren som eneste kulstofkilde og optage uorganiske salte fra jorden. Dette er drevet af sollyset som eneste energikilde. Det vil sige, vi har et system som forbruger CO2 fra luften som et alternativ til et produktionssystem baseret på fossile energikilder, som fører til frigivelse af CO2. Hvis man ser på mængden af solenergi der rammer jordens overflade, så er det 3020 zetta joules om året. Det årlige forbrug af fossile brændstoffer udgør ca. 0.56 zetta joules. Vi har altså årligt 5000 gange så meget solenergi til rådighed i forhold til hvad vi bruger af fossilt energi. Hvis man kunne høste en større del af solenergien og bruge den dannede biomasse effektivt, så kunne man komme tilbage til et system hvor vi var i pagt med naturen. Det er det jeg kalder den 'plantroprocene æra'.

Mette
Denne pagt, den handler om at gro vores resourcer vhed hjælp af fotosyntese i stedet for at udvinde dem?

Birger
Ja, vi skal vende vores nuværende produktionssystem på hovedet. De fossile brændstoffer vi har, kommer fra nedbrudt biologisk materiale, dannet siden tidernes morgen. Men mængderne er begrænsede. Det vi skal gøre os klart, er potentialet for radikalt at ændre produktionsskalaen til at være baseret på vedvarende solenergi. På halvanden time rammer der lige så meget solenergi på jordoverfladen som menneskeheden bruger på et år. Sollys er en fornybar ressource, som vi ikke har forstået at gøre ordentlig brug af.

Da jeg startede, var min umiddelbare interesse, at bruge planter som biomasse til fremstilling af bioenergi. Men jeg opdagede hurtigt, at det er en kortsigtet lappeløsning. Biomasse kommer til at være et værdifuldt udgangsmateriale til fremstilling af mange forskellige ting. Vigtigst af alt bliver produktion af fødevarer. Det giver ikke mening kun at fokusere på energi der kræver brug af store landbrugsaraler, for så kommer vi til at konkurrere med fødevareproduktion, og i sidste ende belaste miljøet mere. I den plantropocene æra skal planter bruges som et miljøvenligt og alsidigt produktionssystem. Vi skal se på hvad der er i plantematerialet; hvad er der f. eks. af medicinske stoffer, hvad er der af udgangsmaterialer til fremstilling polymere og hvordan kan vi udnytte disse. I stedet for energi skal vi dyrke planter som producenter af en række højværdistoffer der udover direkte anvendelse som fødevarer kan anvendes som pigmenter, smagsstoffer og, medicin – ja selv fibre som byggematerialer. Vi skal spørge hvad kan jeg få fra planter i stedet for bare at brande som brændstof.

Algecellevægge kunne være et godt udgangspunkt for et byggemateriale



HØJVÆRDI STOFFER OG DEN SYNTETISKE BIOLOGI

Mette
Hvad er et højværdistof?

Birger
Højværdistoffer er en generel betegnelse for stoffer, som vi har brug for, men som ikke er så lette at få adgang til, hverken via klassisk kemisk syntese eller ved isolation fra planter, idet de kun bliver produceret i små mængder. Det kan være nul-kalorie sødemidler som steviosider. Steviosiderne kommer fra steviaplanten og den laver omkring 40 forskellige slags, alle med samme kemiske grundskelet, der er dekoreret på forskellig vis. Alle stofferne har kraftig sødende virkning, men alle sammen undtagen to, har også lakridssmag. Det vil sige, at når CocaCola forsøger at fremstille en Diet Coke med steviosider som sødemiddel i stedet for sukker, så kan man kun erstatte en tredjedel af sukkeret med steviosideekstrakt. Hvis du erstatter mere, så får colaen lakridssmag.

Vi har sammen med firmaet Evolva fundet ud af, hvad det er for nogle enzymer der skal til, for at lave netop de to steviosider, der ikke har lakridssmag. På den måde kan man fremstille gær som producerer søde steviosider uden bismag af lakrids. Vi kan så sætte de samme gener ind i for eksempel en alge, og på den måde producere de samme stoffer, men ved hjælp af en process, der i stedet er drevet af sollys og CO_2. De to stoffer, som ikke har bismag, udgør kun omkring halvanden procent af steviosideblandingen i den oprindelige plante. Når vi producerer de to steviosider uden bismag, så opnår vi helt andre karakteristika, nemlig et sødemiddel, som kan erstatte 100 procent af sukkeret. Det er det jeg kalder et højværdistof.

Mette
Det er jo ret vildt. Du mener altså ikke bare at vi skal høste eksisterende planter, men i stedet overføre egenskaben til en anden plante, f.eks. en alge?

Birger
Ja. Planter og alger indeholder grønkorn og det er dér fotosyntesen foregår. Grønkornet stammer fra en cyanobakterie som blev opslugt af en anden celle, der senere udvikledes til alger og højere planter. Grønkornet har sit eget DNA. Ved at optage en cyanobakterie og udvikle et grønkorn, blev den oprindelige celle uafhængig af at skulle optage næring fra omgivelserne, ligesom vi skal have mad. Grønkornet er jo et kraftværk, som ved hjælp af CO_2 og sollysets energi producerer kulhydrater via fotosyntese. Men den cyanobakterie, der oprindeligt blev opslugt, er stadig en form for selvstændig organisme, et organel, og den kan omprogrammeres til at lave mange ting, såsom steviosider og forsvarsstoffer. Det er denne symbiose, vi udnytter i vores arbejde. Vi kan producere enzymerne i grønkornene og på denne måde udvikle en lysdreven produktion af højværdistoffer, som vi har brug for. Den cyanobakterie som grønkornene er udviklet fra, havde oprindeligt evnen til at producere alt hvad den havde brug for selv. Det er disse egenskaber vi nu fører tilbage til grønkornet, og således gør det til et lysdrevet kraftværk baseret på CO_2.

Jeg kan illustrere det med et andet eksempel. Alle kan godt lide smagen af vanilje. I vaniljeorkideen bliver al vaniljearomaen lavet i vaniljeorkideens grønkorn. Vaniljebønnen høstes når den er 6-8 måneder gammel, og på dette tidspunkt er den stadig grøn. Man fermenterer den herefter i et halvt års tid, altså forgærer den, for at frigøre aromastofferne. Produktionen i vaniljeorkideens grønkorn er utrolig effektiv. Mængden af vaniljearoma er faktisk omkring 2,6 g per milliliter, hvilket svarer til 2.6 kg/liter. Så når du spørger, hvordan kan vi bruge grønkorn til at producere, så er det faktisk det de allerede gør. Vi får dem bare til at producere noget andet end det de producerer nu. Trods den høje koncentration af vaniljearoma i orkideen, er det en arbejdsom og tidskrævende proces at isolere den. Samtidig skal hver enkelt vaniljeblomst håndbestøves med en blød pensel. Derfor kommer under 1% af den vaniljearoma vi bruger fra orkideen, resten produceres ved kemisk syntese. For at undgå det, har vi udviklet en alternativ organisme, en bryggerigær, hvori vi har indsat de gener, der koder for de enzymer, der producerer vaniljearomaen. Den produktion foregår nu i tonskala.

Mette
Men er de genetisk modificerede? Kender vi egentlig konsekvenserne af de her materialer?

Birger
Når der indgår genteknologi i vores arbejde er det altid rettet mod produktion i indesluttede systemer. Det kan være planter der står i drivhuse, aldrig på friland, eller alger der dyrkes i overdækkede bassiner. Men for at undgå usikkerheden ved brug af genteknologi, har vi sammen med Carlsberg Laboratoriet faktisk udviklet et system, der sætter os i stand til at finde sjældne mutanter bland planter eller alger i naturen, som har en forøget evne til at producere et bestemt stof eller andre eftertragtede egenskaber. Det hedder FIND-IT. Så vi har nu en meget effektiv måde til at finde de mutationer på. Og det vil sige, at de er lavet på klassisk måde: på ingen af trinene indgår der genteknologi.

SYNTETISKE BIOGENE BYGGEMATERIALER OG DERES FREMSTILLING

Mette
Kunne du forstille dig at man også kunne gro byggematerialer?

Birger
Ja, det er jo det man altid tidligere gjorde ved brug af græs og tørvefibre og træ. Algecellevægge kunne være et godt udgangspunkt. Man tror umiddelbart at algecellevægge er nemt nedbrydelige. Det er fordi der ikke er noget lignin i dem, som er den polymer vi kender fra træ, og som er med til at gøre plantematerialer svære at nedbryde. Men der en ekstrem stor mængde af cellulose i algecellevægge, som er rigtig godt sammenbundet. Ligesom vi kender det fra bomuld. Så restmængder af biomasse fra alger, vil kunne omdannes til udmærkede byggematerialer.

Det er også muligt at indføre krydsbindinger, hvis der er behov for at forstærke materialet. Det kan gøres ved brug af enzymer eller kemisk. På den måde opnås en type polymer cellulose, der er forstærket med kemiske bindinger til andre typer af polymerer. Der er mange andre måder at fremstille nye polymerer på. Længst fremme er nok produktionen af polyhydroxy-alkanoater, som er bionedbrydelige. Det er også muligt at fremstille stærke og varmestabile polymerer ud fra resveratrol, et stof vi bl.a. kender fra rødvin. Terpenoider er en stor og varieret gruppe af naturligt forekommende kulstofforbindelser, som primært produceres i mange planter, specielt i nåletræer. Terpener er hovedbestanddelen i harpiks, og i terpentin fremstillet af harpiks. Terpenoiderne indeholder en række sidegrupper, der kan kobles til polymerer med nye egenskaber.

De praktiske resultater af mange sådanne projekter kan godt ligge 10-20 år ude i fremtiden før det er noget der bliver industrialiseret. Men vi bliver også nødt til at tænke langsigtet. Først skal monomeren produceres i store mængder i et udvalgt biologisk system, så skal 1000-vis af disse byggesten sættes sammen, så der dannes en lang og stærk polymer med de ønskede egenskaber.

Mette
Kunne man forestiller sig at man lavede bioplast eller biopolymerer gennem denne måde at producere på?

Birger
Ja, og der kommer så spørgsmålet ind: Hvad er det for en type polymer man gerne vil have. Det afhænger af den ønskede brug. Polymeren skal ikke alene være stærk men måske også fleksibel og bionedbrydelig. Der er nok af muligheder for biologisk produktion af nye typer af polymerer og rigtig meget forskning i gang rundtom i verden på dette område. Hele naturen omkring os er fuld af alskens forskellige typer af polymerer med vidt forskellige egenskaber og funktioner i både levende og døde celler. Og ved hjælp af syntesebiologien er det muligt at fremstille helt nye typer.

Mette
Hvordan skal vi så fremstille disse materialer? Når vi tænker på marinbaserede biogene byggematerialer i et dansk perspektiv, så er det jo mest søgræs. Læsøtagene er jo meget romantiske og fantastiske, men måske ikke så vanvittige praktiske. Jeg kan huske du fortalte mig om polymerer der kunne være

Fig 3: livMatS Pavilion 2020-21
Institute for Computational Design and Construction (Prof. A. Menges) I Institute of Building Structures and Structural Design (Prof. Dr.J. Knippers)

stærkere end beton, men at problemet var opskalering af denne proces. Hvordan ser sådanne materialer ser ud. Er de lidt ligesom kulfibre, altså lange fibre eller som beton noget man støber? Hvis man nu skulle forestille sig en fremstillingsmetode hvordan ville det så se ud?

Birger
Det ville være lange fibre som så hænger sammen akkurat ligesom cellulose. Det eksempel jeg gav var den silke edderkopper producerer og bruger til fremstilling af deres spind ved hjælp af deres silkekirtel. Det har super egenskaber. Det er opbygget af elastiske fibre, ekstremt stærkt og stabilt ved høje temperaturer. Per vægtenhed er en edderkoppetråd fem gange så stærk som en tråd fremstillet af stål!

Mette
I Danmark er vi gode til at producere og bygge med glasfibre. Der er et firma, Fiberline ved Middelfart, der laver fiberforstærkede glasfiber resiner som er blevet brugt til at bygge med. I arkitekturen er det stadig meget avanceret at bruge fiberglas og kulfiber, men i andre som flyindustrien er et almindeligt materiale. I forskningen kigger man på hvordan 'fibre winding' kan bruges som fremstillingsmetode til byggekomponenter. Det er inspirerende at tænke, at disse metoder kunne bruges til at bygge med nogle helt nye polymertyper.

Birger
Ja. Mulighederne afhænger af, til hvilken pris sådanne polymerer kan produceres. Udviklingen ville gå meget hurtigere, hvis der blev lagt en carbonskat på polymerer produceret ud fra fossile udgangsmaterialer.

Og vi kan tænke disse polymerers egenskaber også i tid, altså hvor hurtigt de skal bionedbrydes i naturen. Det er dér jeg bruger naturen som eksempel hele tiden. Hvis vi tænker på et træ og dets blade, så skal bladene falde ned om efteråret. Det der sker er, at cellevægge der holder bladstilken fast til grenen bliver nedbrudt. Og så falder bladet af. "Nå," tænker folk, "de faldt bare af fordi det blæste." Nej! Forbindelsen bliver brudt efter at al næring er suget tilbage i planten. Så dér viser planten os hvordan kontrolleret nedbrydning kan foregå.

Mette
Altså den har et eller andet miljømæssigt trigger der gør at den nedbryder på det tidspunkt? Hvis vi kan programmere den nedbrydelighed, så kunne vi have et meget stærkt produkt der ikke var nedbrydeligt, også på en eller anden tidspunkt så det transformere sig og begynde at nedbryde.
Birger
Ja, tidsbestemt, varmebestemt eller lysbestemt. Så man arbejder sammen med naturen.

HVOR SKAL DET SKE?

Mette
Et andet spørgsmål er så hvor vi så skal gro disse materialer. Hvor forestiller du dig at vi skal gro disse materialer.

Birger
Problemet med produktion i planter er, at de kræver et frugtbart dyrkningsareal eller drivhuse til indesluttet produktion. Per person bliver der mindre og mindre frugtbart areal på jorden til rådighed, dels grundet udbygning af alle former for infrastruktur, men også fordi vi bliver flere og flere mennesker, og fordi meget jord bliver ødelagt, eroderet simpelthen, så det ikke er dyrkbart mere. Så i den situation fremstår produktion i alger som en kæmpe fordel. Jeg forestiller mig, at man ville kunne lave produktionsplatforme i kystnære områder. På den måde kan vi producere materialet uden at kræve land.

Hvis du ser på hvor meget fotosyntese der foregår globalt på vores jord, så er størrelsesordenen af fotosyntese på landjorden næsten den samme som der foregår i alger i oceanerne. Oceanerne dækker ca 70% af jordoverfladen. Så produktion i alger er absolut en mulighed med et enormt potentiale.En anden ressource som vi har mangel på i fremtiden er ferskvand. De fleste alger vi er interesserede, i kan dyrkes i saltvand. Det vil sige at der ikke kræves ferskvand, og man sparer derfor på drikkevandressourcer, når man producerer på algefarme ved hjælp af saltvandstolerante alger.

Det er ikke én algeart, som vil egne sig til alle produktionssystemer. Man skal bruge forskellige, alt efter hvilket produkt man gerne vil fremstille. Der er heldigvis mange forskellige typer af alger, både encellede og flercellede. Tang eller kelp kan man dyrke langs kysten, og bruges allerede bl.a. til at lave vævegarn af.

HVORDAN ER DANMARK POSITIONERET TIL AT LEDE DETTE NYE FELT?

Mette
Hvordan er Danmark situeret i lige præcis det her felt?

Birger
Vi har en meget stærk syntesebiologisektor, både industri- og forskningsmæssigt, og vi står blandt nogle af de bedste i verden til at lave de her optimeringer af fotosyntesen. Jeg har arbejdet med planters naturstoffer og fotosyntese hele mit liv, min chef Peder Olesen Larsen har arbejdet og tænkt på samme måde, og hans chef, Anders Kjær, har tænkt på samme måde. Så det er jo en spirit hvor jeg så er tredje generation, og så er det skønt at fjerde generation nu er i fuld gang med at etablere egne forskergrupper og selv henter prestigefyldte forskningsbevillinger hjem, samtidig med at vores forskningsmiljø tiltrækker eminente gode unge mennesker, fordi de gerne vil bidrage til den grønne omstilling.

Og så har vi selskaber som Odense Marine Technology. De kan bygge algeplatforme som ligger og vugger stabilt på havoverfladen i kystnære områder. Der ligger nogle kæmpe kompetencer, som man ville kunne kombinere med vindmølleindustrien og alt deres know how. Så ja, vi kan potentielt blive ledende i dette nye felt.

Grunden til at vi her i laboratoriet fokuserer så meget på fremstilling af højværdiprodukter er, at det nok er dette område hvor der først kan opnås markedsmæssige overskud, der kan finansiere overgangen til produktion af billigere produkter.

Mette
Hvad tror du er de største barriers for innovation?

Birger
Vi tænker utroligt traditionelt, selv i denne tid med store globale udfordringer. Det perspektiv vi har nu er hvordan vi bedst kan lave biofuel fra planter. Biofuel er vigtigt men samtidig et billigt råmateriale.

I den plantropocene æra skal vi væk fra at tænke planten som en simpel organisme og over til at betragte den som en helt central naturlig medspiller, der både kan forbedre vores klima ved at opsamle CO_2, samtidig med at den er en utrolig avanceret organisme, der kan bruges til produktion af en lang række produkter. Herunder mange højværdiprodukter. Restmaterialet kan vi så bruge til fremstilling af biofuels. Vi skal finde ud af at modne denne tankegang på alle områder. Det er ligesom vindmøller, det tog jo også 30 år fra man startede til det faktisk blev til noget. Nu er vi 20 år henne i algearbejdet, og nu har vi faktisk alle byggestenene.

50 procent af fotosyntesen foregår i oceanerne, der er et enormt potentiale i at dyrke i saltvand

INTERVIEW:
Peter Ulvskov

KIMÆRE MATERIALER; DET NANO-SKALÆRE BIO-KOMPOSIT

Interview ved Mette Ramsgaard Thomsen
August 2021

BLÅ BOG

NAVN: Peter Ulvskov
STILLING: Professor ved Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet
FORKNINGSEMNE: Planters cellevægsbiologi: Biosyntese, struktur, funktion, evolution og industriel anvendelse.
SÆRLIGE ERFARINGER: Koordinator af større internationale (EU) og danske multipartnerprojekter. Patentering i bioteknologi

Mette
Hvad er et kimært materiale?

Peter
Et kimært materiale er er et komposit af forskellige materialer der giver ekstrem høj ydeevne. Vores ambition er at lave nye 100% bio afledte materialer, men som netop sammensætter forskellige materielle egenskaber. Vi bruger betegnelsen "kimær" når nogle komponenter er af fossil oprindelse og andre er grønne. Vores arbejde fokuserer på nanocellulose. Det vi undersøger er, hvordan vi kan finde de rette matricer at binde nanocellulosen med for at skabe nye materialer med en helt ny grad af ydeevne. Vores materialer er altså fibrilære, altså ligesom jernbeton hvor der ligger jernstænger inde i betonen, så putter vi cellulose nanofibre ind i forskellige matricer.

Det mest kendte kimære materiale inden for byggeindustri er beton med nanocellulose i. Nanocellulose betonen kan på grund af sin hydreringsegenskaber og sine høje trækstyrke faktisk lave en mere revnebestandig beton. I de kimærematerialer, så er matricen hentet fra en anden verden end der hvor cellulosen kommer fra, derfor ordet: kimære. Et andet eksempel kunne være en fiberplade som kan være i dit køkkenbord. Den er lavet af kimært materiale, den er lavet af træstumper og et eller andet kemisk bindingsmiddel. For det meste er disse bindinger lavet af petrokemiske materialer. Vores ambition er at lave dem 100% biologisk.

Mette
Men er det så det samme som et almindelig komposit?

Peter
Ja, men i en hel anden skala. Materialerne opfører sig jo anderledes i de helt små skala. Vi mikrofibrilerer jo materialerne så de bliver en faktor 1000 mindre. Hvis vi sammenligner med fiberpladen så er vores fibre altså en faktor 1000 mindre. Hele ideen med at gå ned i noget som er så småt er at så får en meget større interaktion mellem fibre og matrice. Hvis vi bliver ved med at bruge fiberpladen som eksempel så kan den her laves til at veje 30 procent med samme styrke.

Mette
More with less, plejer vi at kalde det. Man kan gøre mere for mindre.

Peter
Ja. Når du går ned i den størrelse, så får du en enorm overflade og så begynder overfladeegenskaberne på nanocellulosen at blive meget mere betydende for materialets egenskaber. Når man er nede i de elementære størrelsesordener, så bliver overfladen på cellulose meget hydrofil og det betyder at det er svært at binde matricen til fibrene. Vi har altså brug for en god kemi med den overflade, fordi fibrene er hydrofile (med affinitet for vand) mens de matricer man traditionelt anvender, er hydrofobe (vandskyende).

Naturen benytter sig også af polymerer som er vandskyende. Planterne bruger lignin til imprægnering – det er lignin som gør træ til et så holdbart materiale hvilket er ønskeværdigt lige undtagen når vi ønsker at skille materialet ad.

Når vi mikrofibrilerer cellulosen, altså går ned i den meget lille skala, så skiller vi os af med et af problemerne men vi får et nyt. Vi skiller os af med ligninen,

men så har vi så skabt et nyt problem. Hvordan får vi modificeret, kompatibiliseret, nanocellulosens overflade så dem igen kan interagere på fornuftig vis med de her matricer?

Mette
Hvorfor er det godt at de er små?

Peter
Det er på grund af volumen-til-overflade forholdet og dermed for at have en god interaktion med din matrice. Når de bygger møllevinger af glasfiber, der gør de jo sig store overvejelser af hvordan epoxy resinerne interagerer med overfladen. Du skal have en effektiv trykoverførsel i materialet. Hvis der er en dårlig trykoverførsel, så vil glasfiberen flytte sig inden i matrixen og i det øjeblik de flytter sig, så svækker du materialet.

fra hinanden og hvis du hænger det op og hænger en vægt i den ene ende så kan det bære tyve gange så meget. Der er ingen lim involveret. Der er kun den naturlige association mellem fibrillerne, men vi har en grotesk meget større overflade at gøre godt med.

Mette
Det er altså formen som fiberen har som er anderledes. Det er det overflade-til-volumen forholdet som er forskellen?

Peter
Ja præcis. Fibrene skal helst være lange og tynde for at det virker godt. Hvis de er kugler så er de ikke så gode til lige netop det her. De som er korte, er måske gode til andre ting, men til det her så skal de være lange og tynde.

Det tredje skridt er at gå 100% bio ved hjælp af enzymer

Et eksempel fra laboratoriehverdagen er papir. Det er måske den simpleste komposit og knap nok synlig er som komposit. Papir laves ved at tage noget træ og så hælder du stærk basisk opløsning på og opløser materialet. Men der er stadig en lille smule lignin tilbage som gør at det stadigvæk kan klistre. Så valser man det og gør det pænt på forskellig måde.

Papir består altså af fibre og fiberceller. Det vil sige at vi er i en skala hvor tingene er måske en tiendedel millimeter i diameter. De der fibre du kan se i dit hvide printerpapir; de er måske millimeter lange. Tænker man på hamp eller hør, så kan de være flere centimeter lange. Men dem man laver ud af træ, så er de er millimeter lange på den ene led og tiendedel millimeter på den anden led.

Du ved godt hvad der sker hvis du lægger sådan et almindeligt papir der ikke er blevet imprægneret med noget som helst i vand? Jamen så kravler vandet ind i de der mellemrum og dagen efter så falder skidtet fra hinanden.

Når vi laver papir ud af vores nanocellulose, så kan vi lave et materiale uden lim der kan være tyve gange så stærkt. Vi laver det på præcis samme måde. Vi tager en vandig opslæmning af massen, op i en petriskål, ind i en ovn, damper vandet af natten over og så har du et tyndt lag papir. Fuldstændig magen til det du bruger normalt, bortset fra at det kan ligge i vand i en uge uden at falde

Tre skridt mod det kimære materiale

Mette
Du får det til at lyde til at du kan lave denne slags materialer nu?

Peter
Nej. Vi skal tage tre skridt for at nå til det kimære materiale. De tre skridt har rigtig meget med 'industry uptake' at gøre. Vi ved også godt at hvis vi kommer til en eller anden industri og siger "vi har et spændende nyt materiale, I skal bare lige skifte hele jeres produktionsapparat ud så I kan lave det" så dur det ikke.

Jeg tror at vi skal have en lidt mere ydmyg tilgang. Dels er vi ikke dygtige nok til at lave alle komponenter i de nye materialer, og dels skal de have en betydelig grad af 'Drop in'. Det betyder at de kan sættes ind i kendte produktionspipelines.

Mette
Hvad er de tre skridt?

Peter
Det handler alt sammen om at udvikle den rette matrice. Det første skridt er at kunne forstå principperne og støtte den industrielle uptake. Derfor er det

første skridt at lave den med petro-kemiske materialer. Her, skal vi kunne styre materialets hydrofile egenskaber.

Det andet skridt er at kunne lave en hybrid bio-petrokemisk matrice. Her har vi i gang med at starte et samarbejde med et Dansk firma der hedder Pond*. De kan lave en stivelsesbaseret matrice, de fermenterer kartoffelstivelse til en matrice som er hydrofil, så den kan reagere med cellulose-nanofibrens overflade.

Det tredje skridt er at gå 100% bio. Det er det endelige mål. Her vil vi lave en biologisk matrice, som du samler ved hjælp af enzymer. Målet her er at erstatte kemien med en mekanisk proces, hvor vi tærsker materialet og så binder det med vand og enzymer. Den måde vi gør det på, den sigter på at spare på vand og spare på det mekaniske energiinput. Det giver os en mulighed for at skabe den rette livscyklusanalyse for materialet, der er bæredygtigt og kan konkurrere med de petrokemiske produkter.

Mette
Er dine materiale cirkulære?

Peter
Ja. Nanocellulosen i de her materialer skal komme fra eksisterende materialer og landbruget, altså de affaldsstrømme vi allerede har. Jeg synes det cirkulære er et meget irriterende begreb. Det er som om man skal forestille sig at en fødevareemballage skal blive til en fødevareemballage i et cirkulært perspektiv. Det er meget upraktisk. I stedet skal vi tænke i genbrug og 'end-of-life'. Det er en trappe du går nedad. Fra det mere avancerede til det mindre avancerede til det mindst avancerede og endelig til det materiale det ikke kan betale sig at neddele som bliver lavet om til elektricitet i et forbrændingsanlæg.

Cellulose er jo et materiale vi har i overflod. Vi vil ikke ud at dyrke nye planter. Det er vores grundtanke. Jeg mener dybest set at 'multipurpose crops' kan sagtens producere både mad og andre ting på samme areal. Vi vil ikke lave nyt landbrug for at få dette til at virke og det mener jeg heller ikke er nødvendigt. Så det vi gør, er at vi bruger sidestrømmeaffald fra de ting der allerede bliver dyrket. Det vi kigger på, er hvad er det bedste 'end-of-life' for bio baserede materialer? Hvordan kan vi få mere ud af dem før vi brænder dem af som energi.

I Danmark har vi tre betydende kilder. Det er pulp fra sukkerroer. Det er pulp fra kartofler, når man laver kartoffelstivelse, og det er spent grain fra bryggerier. Og det har vi i stor skala. En lille sukkerfabrik ville kunne producere nanocellulose i 100.000 tons skalaen. Det kan godt være det stadig er småt i sammenligning med verdens plastikforbrug. Men hvis markedet skal løbes i gang til summen af danske og hollandske kartoffelmelsfabriker, så kommer der altså mere bang for the buck.

Et andet eksempel er hvordan vi kunne bruge andre forbrugsgoder som kilde. For eksempel har modeindustrien et stort problem med tøjaffald. Bomuld er en meget rig kilde på cellulose. 96 % af bomuld er lavet af cellulose. Så, for at bevæge os ned af den genbrugstrappe jeg snakkede om før, så kunne vi starte med tøj. Så bruger vi bomulden til at lave nanocellulose af og den laver vi fødevareemballage af og når vi genbruger fødevareemballagen, så laver vi den til skoæsker, og når skoæskerne skal genbruges, så brænder vi dem af. Det er min måde at tænke cirkulært på.

I vores måde at regne miljøbelastning på, så tænker vi, at på det tidspunkt hvor stivelsen på en kartoffelfabrik går sin vej i systemet og pulpen bliver spyttet ud, på gårdspladsen hvad den faktisk gør. Stivelsen er det primære produkt og det har "betalt" for CO2-aftrykket for pulpen. Vi bruger naturligvis energi når vi forarbejder pulpen til biomaterialer og det energiforbrug skal sammenholdes med CO2-aftrykket for ny, fossilt plastic eller energiforbruget til at vaske og genbruge traditionelt plastic.

Fig 2:Predicting Response, CITA og DTU. 3D print af biopoymere til det byggede miljø

Hvis det energiøkonomisk kunne hænge sammen, så burde der i princippet ikke være noget galt med at formale de kimære materialer og lave nye materialer af det en gang til. Eller, det kan godt være, at en livscyklusanalyse vil pege på at det er bedre at brænde det af med henblik på at lave elektricitet end at bruge elektricitet på at neddele det. Det ser jeg ikke som et urealistisk scenarie at et LCA-analyse. Og hvis man vælger sine petrokemiske komponenter ordentligt, så ville du også kunne lave et materiale du ville kunne brænde af med god samvittighed.

Når vi når skridt tre, så ved jeg ikke hvad miljøaftrykket af at lave enzymer er. De er til dels miljøvenlige fordi de hele forgår under blide biologiske forhold, men selvfølgelig er der et energiinput til at lave de enzymer i første omgang. Så i en LCA-analyse ville man kunne vurdere hvad prisen er for at komme af med kemikalierne og have enzymer til at lave arbejdet i stedet. Det er så det samlede kuldioxid aftryk som de materialer vil have.

Peter
Det materiale i arbejder med, det i 3D printer, det er også et kimært materiale.

Mette
Vores biopolymer vi laver sammen med DTU?

Peter
Det er også et kimært materiale. I har taget noget plantecellevægskomponenter og så har I lavet en matrixpolymer fra i en bakterie. Det er også en kimæretankegang. I kombinerer forskellige biopolymerer med henblik på at få en ordentlig interaktion. Så jeg vil kalde jeres materiale en bakteriel polysakkarid og plante cellevægskomponenter. Det er i mine øjne en kimærekonstruktion. To verdener.

Fremstillingsmetoder

Mette
Jeg vil rigtig gerne spørge om fremstillingsmetoder. Før snakkede du om papir, som jo en form for non-woven. Når man arbejder med non-wovens arbejder man også med meget specifikke fiberlængder. De er lidt længere end det du snakker om, men man har nogle teknikker med hvilke man kan filte fibrene sammen, enten med luft eller vand. Tror du det er sådan vi skal fremstille dine kimære materialer?

Peter
Vi havde faktisk i vores foregående projekt havde vi Fiber-Vision fra Varde med og de air layed og wet layed non-woven teknikker. De dur ikke til ting der er 4 mikrometer lange. Derfor har vi interesseret os sammen med University of Strathclyde i, om man kan spinde vores materialer så de bliver til makroskopiske fibre. Det kan man godt. Her binder vi materialet sammen med et alginat som kommer fra tang. Det bruger vi som matrice til at samle materialet. Alginat er ikke særlig godt til vores materialer, men det var velegnet til at gøre nanocellulosen spindbar. Vi kunne lave sådan nogle femtedele millimeter tykke fibre.

Mette
Kan Danmark være ledende på dette her felt?

Peter
Jeg tror Skandinavien kunne være leder i feltet. Det er Finland, Sverige, Norge og Danmark, som er ret langt fremme og så er japanerne det så også, hvis vi går uden for vores region. For de tre andre nordiske lande er det i meget høj grad fordi de er skovbrugslande og har i årevis været meget interesserede i at vride mest mulig af værdi ud af deres processeringslinje. Vi er så landbrugslandet med store korn og kartofler og vi har en andet sæt af kilder og er interesseret i ikke bare at smide biprodukterne væk.

Hvis du forudsætter at man kan løse det problem ordentligt og tilfredsstillende så bliver det næste issue, det blive kuldioxidskatten. En plastikskat eller en kuldioxidskat, den ville kunne fremme det her felt, ligesom vindmøller er blevet fremmet af forskellige skattemæssige fordele. Vi skal være gode til at påpege at der mangler et skattemæssigt incitament til at benytte de her teknologier.

Det er en barriere for ny teknologi på dette område, at plastik er så svinebilligt. Og det er fordi det ikke er indbygget i prisen at der alle de andre omkostninger for end-of-life af alt dette plastik. Så for at nå de første trappetrin skal vi vise kompatibilitet med de eksisterende produktionsmetoder og så skal vi hjælpes med et eller anden afgiftsmæssigt incitament til at få teknologien til at slå rod.

I Danmark har vi tre betydende kilder: pulp fra sukkerroer, pulp fra kartofler og spent grain fra bryggerier

Jeg tror at 60 % af de enzymer Novozymes** laver retter sig mod biopolymerer af de her typer og det at vi har Novozymes er en væsentlig kilde til at der er stor opmærksomhed i Danmark.

Novozymes' enzym-repertoire er en vigtig faktor og så det at vi har disse her anderledes agroindustrial side streams end de så har i de andre nordiske lande der gør at vi har kunnet bidrage til festen. Så det er en meget skandinavisk ting det her.

Barriers for innovation

Mette
Hvad er barriers til innovation? Du snakkede om at man måtte have de her 3 trin fordi man skal engagere sig med det industriparadigme man nu er i, men hvordan tænker du at – hvad er det for en ny maskinpark der skal udvikles? Hvordan skal vi tænke det i forhold til hvordan disse innovationer skal introduceres?

Peter
For det første skal vi vise at vi kan gøre disse her materialer kompatible med kendte produktionsformer. Vi skal gerne kunne sprøjtestøbe med vores materialer.

** Pond er et dansk firma som producerer bio plastik, der er 100% biobaserede og fuldstændigt nedbrydelige i naturen.*
*** Novozymes A/S er en global bioteknologisk virksomhed med hovedsæde i Bagsværd. Virksomhedens fokus er forskning, udvikling og produktion af industrielle enzymer, mikroorganismer og biofarmaceutiske ingredienser.*

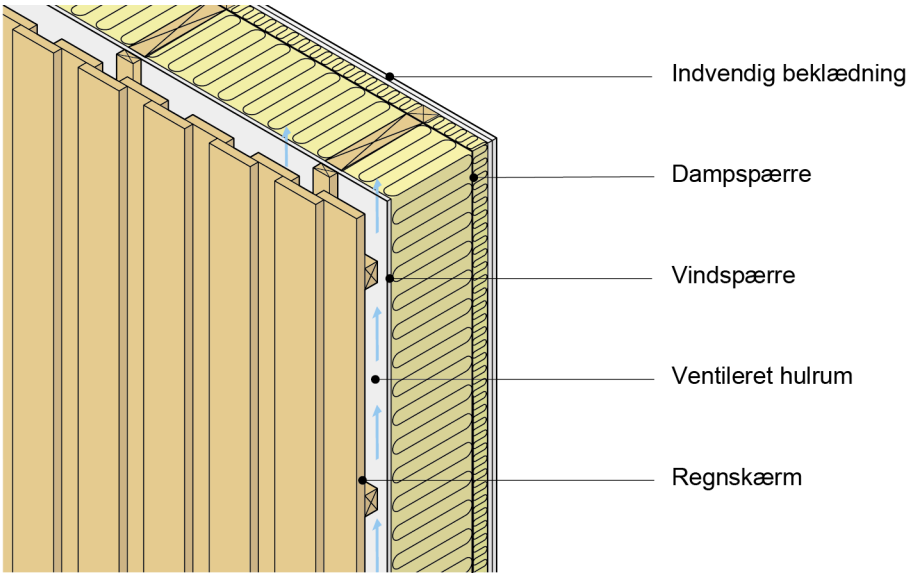
20

LCA-BEREGNINGER

20 LCA-BEREGNINGER

20.1 Skeletvæg

Træskeletvægge er opbygget med et skelet af træstolper, som er beklædt på begge sider, og hvor hulrummet er udfyldt med isolering. Ydersiden beskyttes af en ventileret regnskærm. Figur 57 viser et udsnit af en typisk træskeletvæg med massive stolper af 45 mm konstruktionstræ pr. 600 mm.



Figur 57. Eksempel på træskeletvæg. Installationer føres i påforingslaget, indenfor dampspærre.

Træandelen kan bestemmes ved at beregne arealet af træ pr. stolpe. Hvis etagehøjden er 2,7 m, træets tykkelse er 45 mm, og der er en top- og bundrem, er træarealet 0,045 · (2,7 + 0,6 + 0,6) = 0,176 m^2. Det samlede areal er 0,6 · 2,7 = 1,62 m^2, så træandelen bliver 0,176 / 1,62 = 0,108. Da der også er ekstra stolper ved vinduer og i hjørner, er træandelen i praksis ofte omkring 0,12. For almindeligt konstruktionstræ kan anvendes λ_d = 0,130 W/(m K), så hvis der anvendes isolering med λ_d = 0,036 W/(m K), bliver den effektive værdi λ_{ef} = 0,12 · 0,130 + –1 - 0,12) · 0,036 = 0,047 W/(m K).

Yderligere består konstruktionen af indvendig beklædning af to lag gips på 13 mm med en varmeledningsevne på λ = 0,25 W/(m K), dampspærre lagt mellem skelettet af træstolper, og et lag vindgips på 9 mm med en varmeledningsevne på λ = 0,21 W/(m K) bag den ventilerede regnskærm. Den udvendige ventilerede regnskærm består af en beklædning af træ på 25 mm ventileret hulrum etableret med afstandslister. Indvendig overgangsisolans er 0,13 m^2 K/W. Ventileret hulrum bag regnskærm af træ tildeles isolans 0,13 m^2 K/W.

20.2 Vægtyper

A: Skeletvæg med træstolper og indvendig beklædning af to lag 13 mm-gips, isolering, dampspærre af 0,2 mm PE-folie, vindspærre af 9 mm gips. Udvendig beklædning består af træ på 25 mm ventileret hulrum etableret med afstandslister.

B: Skeletvæg med træstolper og isolering, indvendig overflade og bagvæg af CLT, dampspærre af 0,2 mm PE-folie, vindspærre af 9 mm gips. Udvendig beklædning består af træ på 25 mm ventileret hulrum etableret med afstandslister. 5-lags CLT med en tykkelse på 100 mm. Varmeledningsevnen for CLT er λ_R = 0,12 W/(m K).

C: Skeletvæg med træstolper og isolering, indvendig overflade og bagvæg af CLT, dampspærre af 0,2 mm PE-folie, vindspærre af 9 mm gips. Udvendig beklædning består af træ på 25 mm ventileret hulrum etableret med afstandslister. 7-lags CLT med en tykkelse på 140 mm. Varmeledningsevnen for CLT er λ_R = 0,12 W/(m K). Vægtype C er som vægtype B med tykkere CLT-bagvæg.

D: Skeletvæg med træstolper isoleret med træfiber, indvendig beklædning af to lag 13 mm-gips på bagvæg af CLT, dampspærre af 0,2 mm PE-folie, vindspærre af 9 mm gips. Udvendig beklædning består af træ på 25 mm ventileret hulrum etableret med afstandslister. 5-lags CLT med en tykkelse på 100 mm. Varmeledningsevnen for CLT er λ_R = 0,12 W/(m K). (Vægtype D er som vægtype B suppleret med to lag gips som indvendig beklædning).

Klimabelastning for ydervægge af typen A til D er vist i Tabel 14, hvor beregningerne af klimabelastningen for den enkelte vægopbygning er udført med produktspecifikke og generiske EPD'er.

Tabel 14. Klimabelastning for ydervæg udført i træ beregnet ved hjælp af værktøjet til livscyklusvurderinger (LCA – Life Cycle Assessment). Udvalgte konstruktioner er sammenlignelige i egenskaber i forhold til isoleringsevne med U-værdien ca. 0,1 og ca. 0,15 W/m K. Resultatet udtrykkes i enheden kg CO_2e, kg CO_2-ækvivalent emission og regnes over en periode på 50 år.

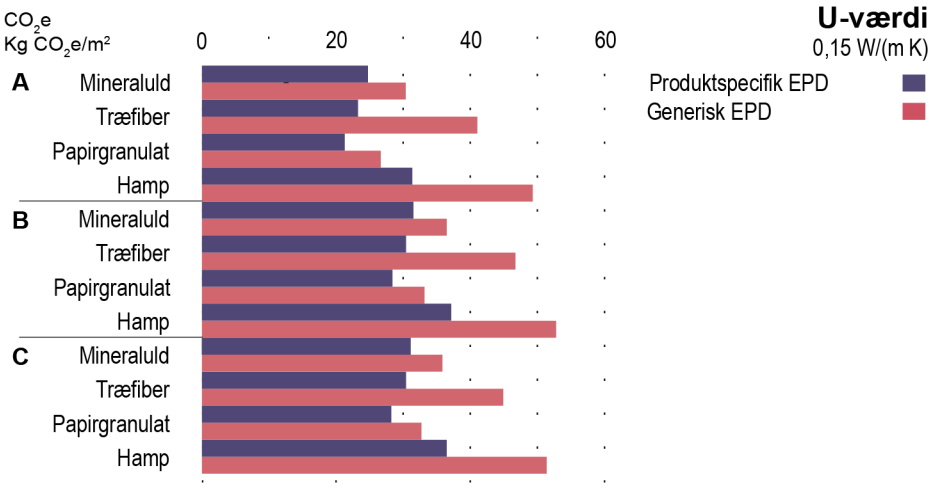
Ydervægs-type	Isoleringstype	Varmeled-ningsevne, λ (W/(m K))	Isoleringstyk-kelse (m)	U-værdi (W/(m K))	CO_2e (kg CO_2e/m^2)	CO_2e (kg CO_2e/m^2/år)	Datasæt	Datatype
A	Mineraluld	0,037	0,300	0,151	24,73	0,49	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,300	0,151	30,36	0,61	Ökobau	Generisk
A	Træfiber	0,038	0,300	0,153	23,25	0,47	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,300	0,153	41,05	0,82	Ökobau	Generisk
A	Papirgranulat	0,039	0,315	0,149	21,27	0,43	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,315	0,149	26,65	0,53	Ökobau	Generisk
A	Halm	0,044	0,340	0,150	21,80	0,44	Ökobau	Generisk
A	Hør	0,040	0,325	0,147	48,84	0,98	Ökobau	Generisk
A	Hamp	0,040	0,320	0,149	31,33	0,63	Ekolution EPD	Produktspecifik
	Hamp	0,040	0,320	0,149	49,31	0,99	Ökobau	Generisk
A	Mineraluld	0,037	0,460	0,100	28,68	0,57	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,460	0,100	37,32	0,75	Ökobau	Generisk
A	Træfiber	0,038	0,450	0,105	26,20	0,52	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,450	0,105	52,90	1,06	Ökobau	Generisk
A	Papirgranulat	0,039	0,475	0,101	23,26	0,47	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,475	0,101	31,39	0,63	Ökobau	Generisk
A	Halm	0,044	0,500	0,104	23,90	0,48	Ökobau	Generisk
A	Hør	0,040	0,500	0,098	65,80	1,32	Ökobau	Generisk
A	Hamp	0,040	0,500	0,098	39,13	0,78	Ekolution EPD	Produktspecifik
	Hamp	0,040	0,500	0,098	67,17	1,34	Ökobau	Generisk

Tabel 14 fortsat

B	Mineraluld	0,037	0,265	0,151	31,52	0,63	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,265	0,151	36,49	0,73	Ökobau	Generisk
B	Træfiber	0,038	0,275	0,148	30,41	0,61	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,275	0,148	46,73	0,93	Ökobau	Generisk
B	Papirgranulat	0,039	0,275	0,151	28,42	0,57	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,275	0,151	33,13	0,66	Ökobau	Generisk
B	Halm	0,044	0,300	0,150	28,93	0,58	Ökobau	Generisk
B	Hør	0,040	0,280	0,150	52,09	1,04	Ökobau	Generisk
	Hamp	0,040	0,280	0,150	37,14	0,74	Ekolution EPD	Produktspecifik
B	Hamp	0,040	0,280	0,150	52,82	1,06	Ökobau	Generisk
B	Mineraluld	0,037	0,425	0,100	35,47	0,71	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,425	0,100	43,44	0,87	Ökobau	Generisk
B	Træfiber	0,038	0,425	0,102	33,36	0,67	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,425	0,102	58,58	1,17	Ökobau	Generisk
B	Papirgranulat	0,039	0,425	0,100	30,30	0,61	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,425	0,100	37,57	0,75	Ökobau	Generisk
B	Halm	0,044	0,475	0,101	31,22	0,62	Ökobau	Generisk
B	Hør	0,040	0,450	0,100	68,61	1,37	Ökobau	Generisk
B	Hamp	0,040	0,450	0,100	44,60	0,89	Ekolution EPD	Produktspecifik
	Hamp	0,040	0,450	0,100	69,84	1,40	Ökobau	Generisk
C	Mineraluld	0,037	0,250	0,150	31,15	0,62	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,250	0,150	35,85	0,72	Ökobau	Generisk
C	Træfiber	0,038	0,250	0,152	30,41	0,61	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,250	0,152	44,92	0,90	Ökobau	Generisk
C	Papirgranulat	0,039	0,260	0,150	28,24	0,56	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,260	0,150	32,69	0,65	Ökobau	Generisk
C	Halm	0,044	0,280	0,151	28,66	0,57	Ökobau	Generisk
C	Hør	0,040	0,265	0,150	50,66	1,01	Ökobau	Generisk
	Hamp	0,040	0,265	0,150	36,50	0,73	Ekolution EPD	Produktspecifik
C	Hamp	0,040	0,265	0,150	51,35	1,03	Ökobau	Generisk
C	Mineraluld	0,037	0,410	0,100	35,10	0,70	Flexibatts 37	Produktspecifik
	Mineraluld	0,037	0,410	0,100	42,80	0,86	Ökobau	Generisk
C	Træfiber	0,038	0,420	0,100	33,27	0,67	Hunton Træfiber-plade	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,420	0,100	58,22	1,16	Ökobau	Generisk
C	Papirgranulat	0,039	0,425	0,100	30,30	0,61	Papiruld Danmark	Produktspecifik
	Papirgranulat	0,039	0,425	0,100	37,57	0,75	Ökobau	Generisk
C	Halm	0,044	0,465	0,100	31,09	0,62	Ökobau	Generisk
C	Hør	0,040	0,435	0,100	67,17	1,34	Ökobau	Generisk
C	Hamp	0,040	0,435	0,100	43,89	0,88	Ekolution EPD	Produktspecifik
	Hamp	0,040	0,435	0,100	67,35	1,35	Ökobau	Generisk

Tabel 14 fortsat

D	Træfiber	0,038	0,425	0,101	35,81	0,72	Hunton-Træfiber-plade, NEPD-2287-1041-NO	Produktspecifik
	Træfiber	0,038	0,425	0,101	60,98	1,22	Ökobau	Generisk



Figur 58. Beregnet klimabelastning opgjort i kg CO_2e/m^2 som konsekvens af at opføre 1 m^2 ydervæg af typen A, B og C med U-værdien 0,15 W/(m K) ved brug af produktspecifikke EPD'er og generiske EPD'er.

21

SUBSTITUTION MED BIOGENE MATERIALER I LAVT BYGGERI

21 SUBSTITUTION MED BIOGENE MATERIALER I LAVT BYGGERI

Et nyere, almindeligt og traditionelt opført enfamiliehus gennemgås for muligheder for at blive opført i kendte biogene materialer med konstruktioner med tilsvarende egenskaber.

Substitution af konventionelle materialer med biogene materialer vurderes for bygningen med angivelse af materialetyper. Dernæst ses der på materialerne for at anslå, på hvilken måde det fulde potentiale kan opnås med hensyn til lagring af kulstof i en global kontekst og med hensyn til at opnå det største potentiale for det nationale klimaregnskab for Danmark.

Enfamiliehuset er et typisk enfamiliehus fra 2015 opført i traditionelle konventionelle materialer, se Figur 59. Boligarealet udgør ifølge BBR 178 m^2. Enfamiliehuset har fem værelser og er i ét plan uden kælder. Huset er opbygget med bagvæg i gasbeton og formur af tegl. Hulrummet mellem den bærende indervæg og formuren er udfyldt med mineraluld, ligesom isolering i loft er mineraluld. Skillevægge er udført i helvægselementer af 100 mm letklinker. Huset er opført med klinkegulve i to badeværelser, køkken-alrum, bryggers og hall. De resterende værelser samt stuen er udført med trægulve. I denne optegnelse medregnes garage, carport og udhus ikke. Facadearealet udgør totalt 193 m^2, og glasarealet svarer til lige over 20 %. Facadearealet uden glas udgør 154 m^2.

Figur 59. Enfamiliehus opført i 2021. Foto: Torben Valdbjørn Rasmussen.

Fordelingen af materialer og andele af træ (vol%) i enfamiliehuset opført af konventionelle materialer, optegnelsen over konstruktionen er angivet i Tabel 15. I den nuværende konstruktion findes kun træ i tagkonstruktionen samt som trægulve i hhv. stue og værelser. Volumenandelen af biogent materiale i form af træ er totalt 2,87 % i hele konstruktionen af det konventionelt opførte enfamiliehus. Betragtes byggeriet over sokkelhøjde over lastfordelende plade af beton, er træandelen 4,73 vol%.

Tabel 15. Materialefordeling i den konventionelle konstruktion.

	Volumen [m³]	Vol%	Total andel af træ pr. bygningsdel [%]	Total andel af træ for hele konstruktionen [%]
Ydervæg	**61,57**			
Tegl	16,93	27,50	0	
Isolering	29,25	47,50		
Gasbeton	15,39	25,00		
Tag	**83,20**			
Tagpap	1,44	1,73		
Spær og lægter	3,95	4,75	6,68	
Isolering	71,54	85,99		
Forskalling	1,60	1,93		2,87
Gips	4,67	5,61		
Terrændæk	**114,31**			
Trægulv	2,37	2,07		
Klinkegulv	2,09	1,83	2,07	
Beton	21,26	18,60		
Polystyren	53,15	46,50		
Sand	35,44	31,00		
Skillevægge	**16,62**		0	
Gasbeton	16,62	100		

Det fremgår af Tabel 15, at træandelen i enfamiliehuset kun er 2,87 %. Betragtes byggeriet over sokkelhøjde og lastfordelende plade af beton, er træandelen 4,73 %. Såfremt man i denne konstruktion udelukkende udskifter glasuld til en cellulosebaseret isolering, og hvis loftspladerne udskiftes til træbaserede produkter, kan der opnås en samlet træandel på knap 68 % over soklen og den lastfordelende plade af beton.

For at betragte potentialet for træ eller andre biogene materialer i et byggeri som dette opbygges nu samme hus med bærende konstruktioner af træ og træbeklædning som husets regnskærm og ydre beklædning, med cellulosebaseret isolering tilsat 10 % brandhæmmer; lofter og indervægge beklædes desuden med træbaserede produkter. Der er fortsat klinkegulve i hhv. badeværelser, bryggers, hall og køkken-alrum, og de særlige skillevægge ved brusenicher forbliver gasbeton. Fordelingen af materialer og andele af træ (vol%) i det ændrede enfamiliehus opført af biobaserede materialer, optegnelsen over konstruktionen, er angivet i Tabel 16.

Tabel 16. Materialefordeling i konstruktionen, hvor enfamiliehuset opføres som træbyggeri.

	Volumen [m^3]	Vol%	Total andel af træ pr. byg-ningsdel [%]	Total andel af træ for hele konstruktionen [%]
Ydervæg	**62,19**			
Beklædning (træ)	3,09	4,98		
Forskalling (træ)*	0,45	0,73		
Vindspærre (træ)	1,30	2,10	100,00	
Rammekonstruktion (træ)*	4,58	7,37		
Isolering (træbaseret)	50,80	81,69		
Krydsfiner (træ)	1,95	3,14		
Tag	83,20			
Tagpap	1,44	1,73		
Spær og lægter	3,95	4,75	98,27	
Isolering (træbaseret)	71,54	85,99		
Forskalling og rammekonstruktion (træ)	1,60	1,93		
Træloft (træ)	4,67	5,61		58,80
Terrændæk	**114,31**			
Trægulv (træ)	2,37	2,07		
Klinkegulv	2,09	1,83	2,07	
Beton	21,26	18,60		
Polystyren	53,15	46,50		
Sand	35,44	31,00		
Skillevægge	**16,16**			
Krydsfiner (træ)	2,42	15,00		
Rammekonstruktion (træ)*	0,85	5,25	100,00	
Isolering (træbaseret)	10,46	64,75		
Krydsfiner (træ)	2,42	15,00		
Skillevægge ved brusekabiner	**0,46**			
Gasbeton	0,46	100,00	0,00	

**Antagelser er gjort vedr. forskalling, afstandslister og rammekonstruktioner:*
Ydervæg:
Rammekonstruktion: 12 % træ
Forskalling: 50 mm pr. 450 mm
Skillevægge:
Rammekonstruktion: 45 mm pr. 600 mm

Det antages, at 1 vol % af træet er søm, skruer og beslag. Betragtes byggeriet over sokkelhøjde og lastfordelende plade af beton, kan der opnås en samlet andel af træ på 96,63 vol % for enfamiliehuset.

Yderligere ligger der et potentiale i at erstatte terrændækket med biogene materialer og opføre gulvkonstruktionen i trækassetter på fx skruefundamenter, at opføre baderum som en let konstruktion og udskifte alle klinker til træ i bryggers, hall og køkken-alrum samt at udskifte klinker i baderum til fx linoleum. Ligeledes kan skillevægge ved brusekabinen udføres som let byggeri efter SBi-anvisning 252, *Vådrum*.

En optegnelse af materialer og mængder i konstruktionen, hvor enfamiliehuset opføres som et konventionelt enfamiliehus sammenlignet med substituerede materialer og mængder i et tilsvarende enfamiliehus af biogene materialer primært træ, er vist i Tabel 17.

Tabel 17. Optegnelse af materialer og mængder i konstruktionen, hvor enfamiliehuset opføres som et konventionelt enfamiliehus sammenlignet med substituerede materialer og mængder i et tilsvarende enfamiliehus af træ.

Biogent enfamiliehus	Volumen [m^3]	Konventionelt enfamiliehus	Volumen [m^3]
Ydervæg	**62,19**	**Ydervæg**	**61,57**
Beklædning (træ)	3,09	Tegl	16,93
Forskalling (træ)*	0,45		
Vindspærre (træ)	1,30		
Rammekonstruktion (træ)*	4,58	Isolering	29,25
Isolering (træbaseret)	50,80		
Krydsfiner (træ)	1,95	Gasbeton	15,39
Tag	**83,20**	**Tag**	**83,20**
Tagpap	1,44	Tagpap	1,44
Spær og lægter	3,95	Brædder	3,95
Isolering (træbaseret)	71,54	Isolering	71,54
Forskalling og rammekonstruktion (træ)	1,60	Forskalling	1,60
Træloft (træ)	4,67	Gips	4,67
Terrændæk	**114,31**	**Terrændæk**	**114,31**
Trægulv (træ)	2,37	2,37	2,07
Klinkegulv	2,09	2,09	1,83
Beton	21,26	21,26	18,60
Polystyren	53,15	53,15	46,50
Sand	35,44	35,44	31,00
Skillevægge	**16,16**	**Skillevægge**	**16,62**
Krydsfiner (træ)	2,42		
Rammekonstruktion (træ)*	0,85		
Isolering (træbaseret)	10,46		
Krydsfiner (træ)	2,42		
Skillevægge ved brusekabiner	0,46		
Gasbeton	0,46	Gasbeton	16,62

**Antagelser er gjort vedr. forskalling, afstandslister og rammekonstruktioner:*

Ydervæg:

Rammekonstruktion: 12 % træ

Forskalling: 50 mm pr. 450 mm

Skillevægge:

Rammekonstruktion: 45 mm pr. 600 mm

22

TILVÆKST I ETAGEAREAL FOR NYBYGGERI

22 TILVÆKST I ETAGEAREAL FOR NYBYGGERI

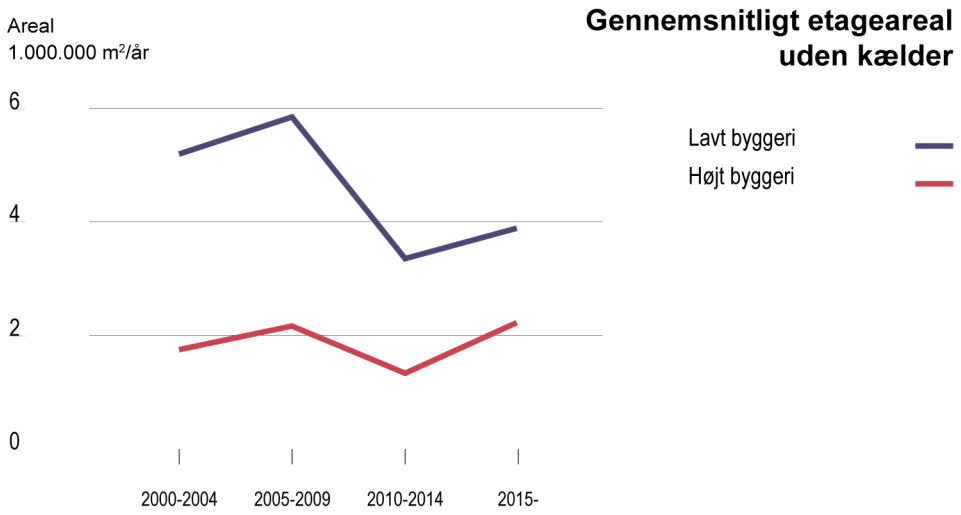
Årlig tilvækst i etageareal for nybyggeri i Danmark fraregnet etageareal til kælder baseret på Danmarks Statistiks database BYGB34.

Tabel 18 viser fordelingen i lavt og højt byggeri antaget ud fra beskrivelserne af bygningernes anvendelseskategori, samt hvilken andel af etagearealet der ikke er medtaget i beregningerne. Som det ses, er 94 % af etagearealet, foruden kælderen, opført siden år 2000 medtaget i analysen.

Tabel 18. Antaget fordeling af anvendelseskategorier i lavt og højt byggeri fra data i Danmarks Statistiks database BYGB34. Andel af etagearealet angivet uden medregning af kælderareal og baseret på data siden år 2000.

	Anvendelseskategori	Andel af etageareal uden kælder
Lavt byggeri	Stuehuse til landbrugsejendomme	
	Parcelhuse	
	Række-, kæde- og dobbelthuse	
	Døgninstitutioner	
	Avls- og driftsbygning	
	Fabrikker, værksteder og lign.	
	Transport- eller garageanlæg	
	Bygninger anvendt til bibliotek, kirke, museum og lign.	
	Bygninger anvendt til daginstitutioner	
	Sommerhuse	
	Idrætshaller,klubhuse	
	Kolonihavehuse	
	Garager	
	Udhuse	66,5 %
Højt byggeri	Etageboliger	
	Kollegier	
	Bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration mv.	
	Bygninger anvendt til hotel, restauration, frisør og lign.	
	Bygninger anvendt til undervisning, forskning og lign.	
	Bygninger anvendt til hospital, sygehus og lign.	27,5 %
Ikke medregnet	Anden helårsbeboelse	
	El-, gas-, vand- og varmeværker	
	Anden bygning til produktion	
	Uspec. transport og handel	
	Uspecificeret institution	
	Uspecificeret ferieformål	
	Uspecificeret fritidsformål	
	Carporte	
	Under opførelse, uoplyst	6,0 %

Figur 60 viser den gennemsnitlige årlige tilvækst i etageareal uden kælder i lavt og højt byggeri siden år 2000, inddelt i femårige intervaller.



Figur 60. Gennemsnitlig årlig tilvækst i etageareal i Danmark for lavt og højt byggeri siden år 2000. Data: Danmarks Statistiks database BYGB34.

23

MATERIALEBEHOV OG POTENTIALE FOR PRODUKTION

23 MATERIALEBEHOV OG POTENTIALE FOR PRODUKTION

Materialebehovet per kvadratmeter etageareal for lavt og højt byggeri er baseret på data i bilag 21, *Substitution med biogene materialer i lavt byggeri.* Tabel 6 viser resultaterne af dette. For højt byggeri er det antaget, at materialebehovet til isolering, facadebeklædning, indvendige skillevægge og gulve er den samme som for lavt byggeri, hvorimod materialebehovet for den bærende konstruktion er baseret på resultater fra D'Amica & Pomponi (2020).

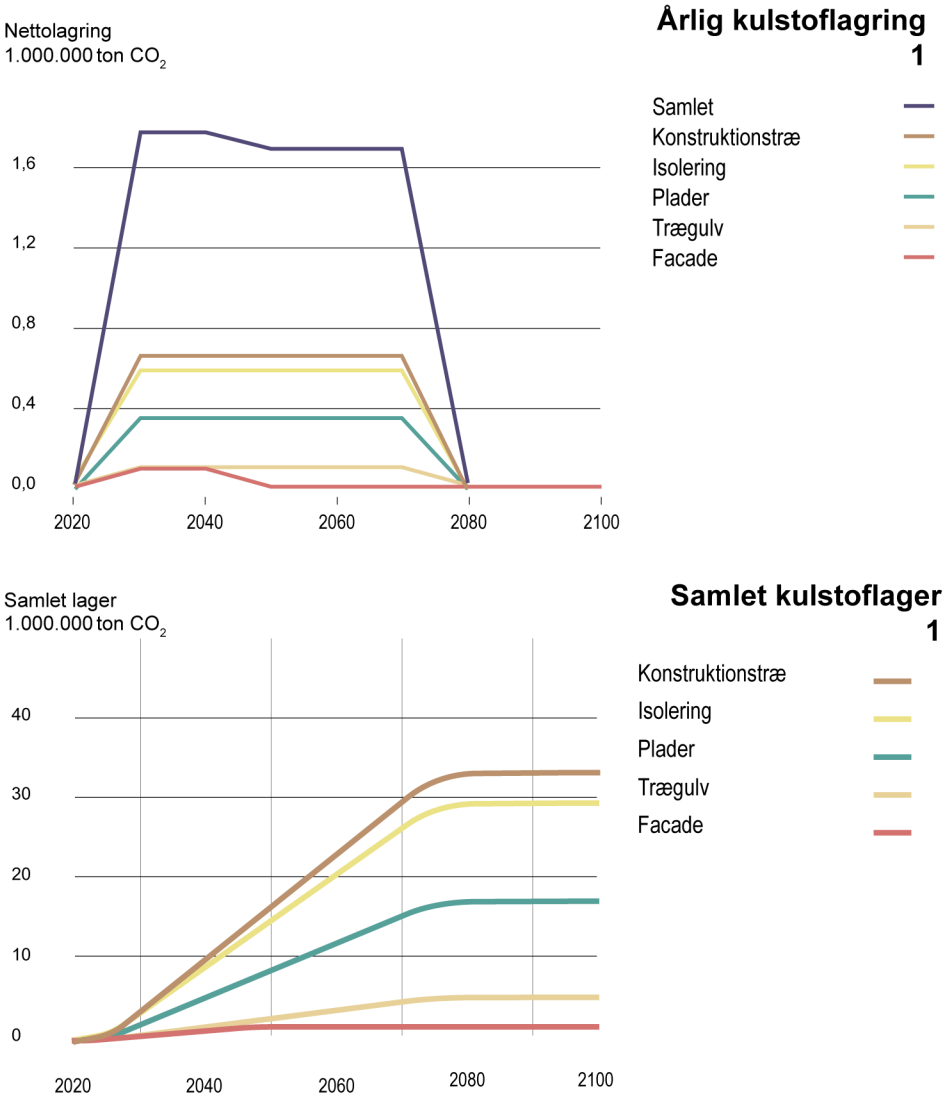
Tabel 19. Materialebehov for lavt og højt byggeri baseret på case study i bilag 20 samt data for bærende trækonstruktioner i højt byggeri fra D'Amica & Pomponi (2020).

	Lavt byggeri		Højt byggeri	
Facadebeklædning	8	kg/m^2	8	kg/m^2
Fiberisolering	48	kg/m^2	48	kg/m^2
Pladematerialer	28	kg/m^2	28	kg/m^2
Konstruktionstræ	41	kg/m^2	90	kg/m^2
Trægulv	9	kg/m^2	9	kg/m^2
SAMLET	134	kg/m^2	183	kg/m^2

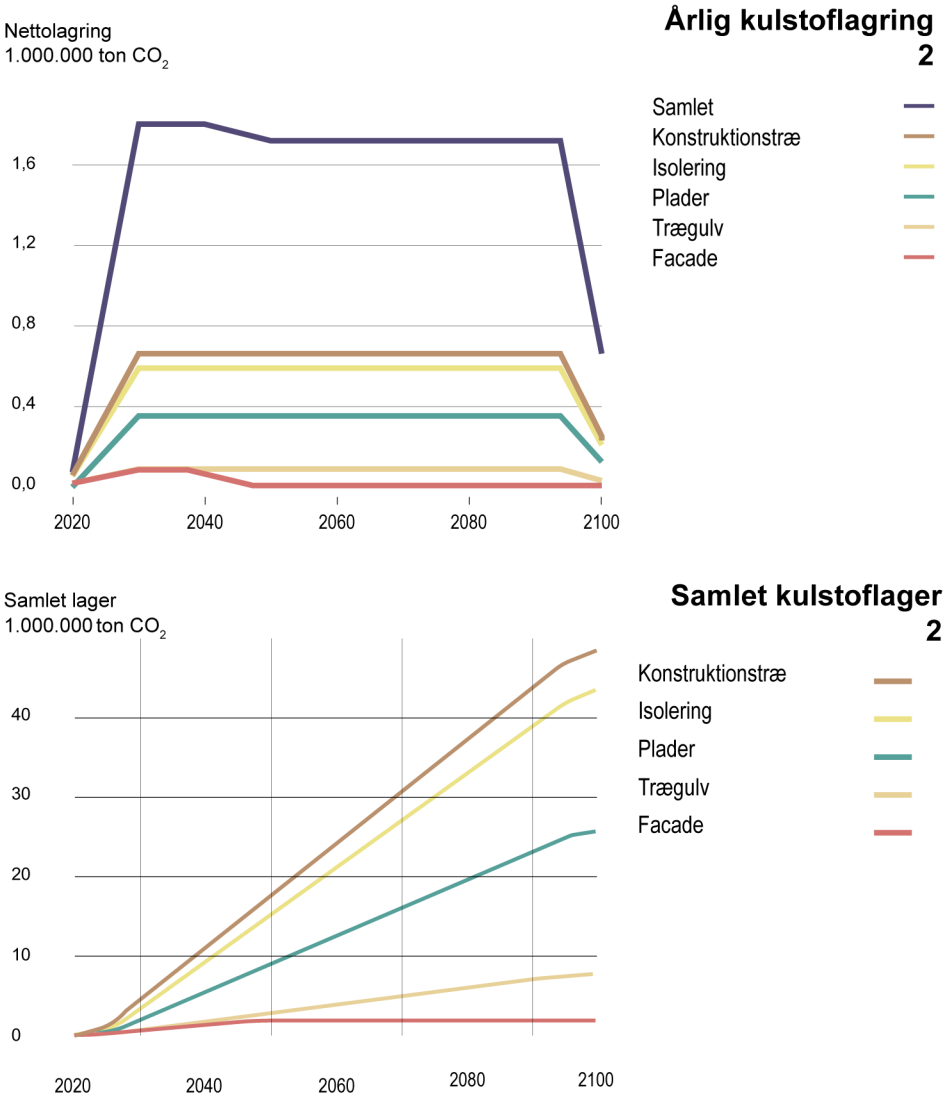
Det samlede behov for materialer skaleres ud fra etageareal for nybyggeri angivet i bilag 22, *Tilvækst i etageareal for nybyggeri*, for hhv. lavt og højt byggeri.

Resultatet kan ses i Tabel 1. Beregning af kulstoflagringen i byggeriet tager udgangspunkt i det samlede materialebehov. Derudover antages det biogene byggeri at blive indfaset over ti år i lige store andele, således at første år er 10 % af det nybyggede etageareal i biogent byggeri, næste år er det 20 %, året derefter 30 % osv., indtil det biogene nybyggeri er fuldt indfaset i det tiende år.

Kulstoflagringen i nybyggeriet er beregnet ud fra antagelser om levetiden for forskellige konstruktionsdele. Således er levetiden for facadebeklædning sat til 20 år, mens de resterende konstruktionsdele har en antaget levetid på 50 år i første simulering (Figur 61) og 75 år i anden simulering (Figur 62). Dette gøres for at illustrere forskellen i kulstoflagringen ved forlængelse af bygningers levetid.



Figur 61. Årlig kulstoflagring (nettoforøgelse af lager) i biogent nybyggeri ved antaget levetid på 50 år for konstruktionen (dog 20 års levetid for facadebeklædning) og samlet kulstoflager i forskellige konstruktionsdele. Kulstoflagring og -lager er angivet i den tilsvarende mængde CO_2.



Figur 62. Årlig kulstoflagring (nettoforøgelse af lager) i biogent nybyggeri ved antaget levetid på 75 år for konstruktionen (dog 20 års levetid for facadebeklædning) og samlet kulstoflager i forskellige konstruktionsdele. Kulstoflagring og -lager er angivet i den tilsvarende mængde CO_2.

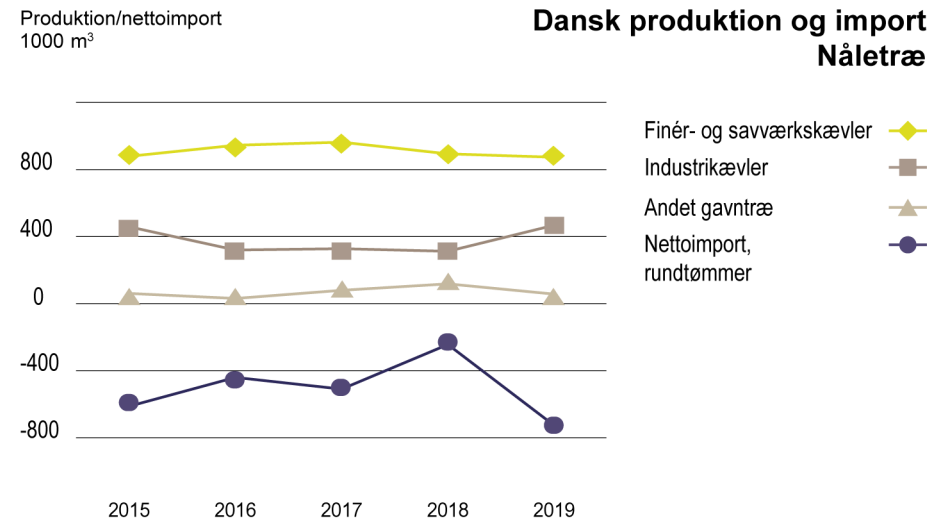
24

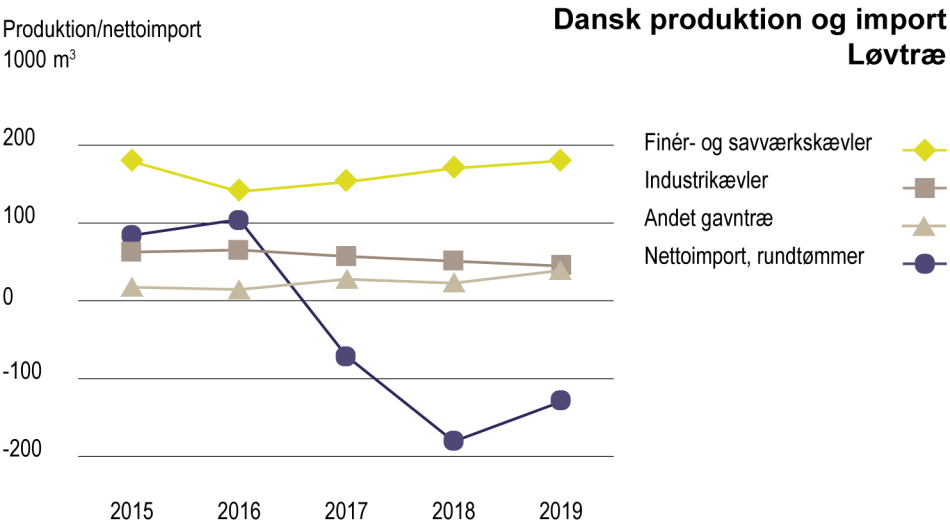
POTENTIALE FOR DANSKE TRÆPRODUKTER

24 POTENTIALE FOR DANSKE TRÆPRODUKTER

I det følgende vurderes den tilgængelige mængde af dansk træ til byggeriet. Der tages udgangspunkt i data indhentet fra Danmarks Skovstatistik og i analysen af træstrømmene i Danmark i Lind og Damsgaard (2021).

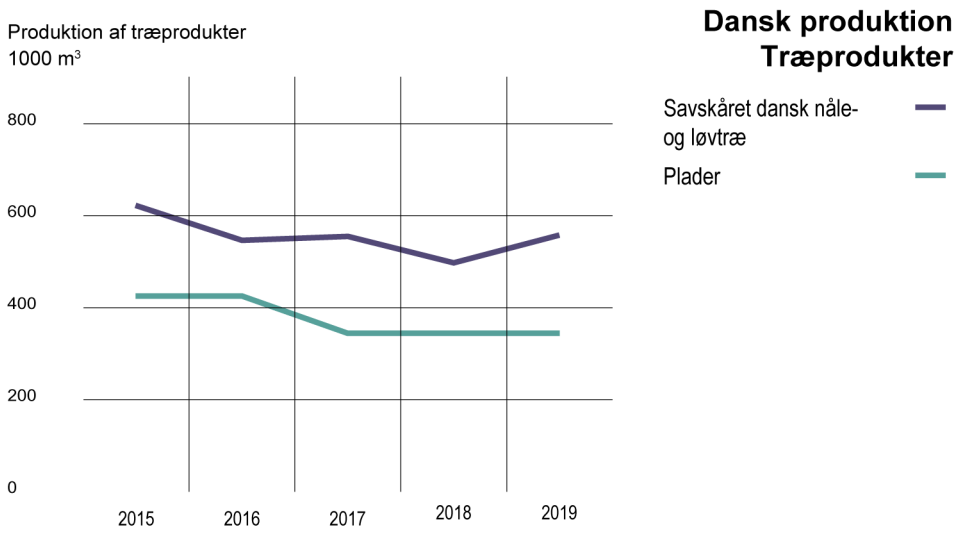
I perioden 2015-2019 oversteg eksporten af rundtømmer importen i et omfang, der i gennemsnit svarer til hhv. 38 % og 14 % af produktionen af nåletræ og løvtræ i Danmark.





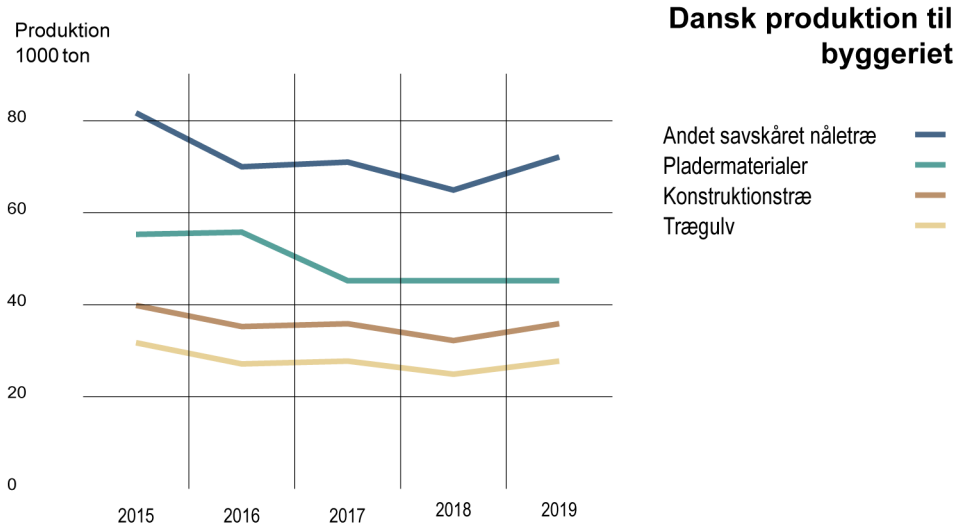
Figur 63. Danmarks produktion og nettoimport (import minus eksport) af rundtømmer af nåletræ og løvtræ i årene 2015-2019. Det producerede rundtømmer er inddelt i tre kategorier: finer- og savværkskævler til oparbejdning til savskåret træ (konstruktionstræ, brædder, planker, finer mv.), industrikævler til oparbejdning til produkter af mindre fragmenter (OSB, MDF, spånplader, papir og pap mv.) samt andet gavntræ. En negativ nettoimport angiver en større dansk eksport end import af rundtømmer, der ikke er yderligere forarbejdet end afgrenet og afbarket. Produktion baseret på Danmarks Skovstatistik (2020), nettoimport baseret på Lind og Damsgaard (2021).

I samme årrække var produktionen af savskåret træ og plademateriale af danskdyrket træ som vist i Figur 64 herunder. For pladematerialernes vedkommende består den danske produktion udelukkende af spånplader.



Figur 64. Danmarks produktion af savskåret nåletræ og løvtræ samt plademateriale (udelukkende spånplader) i årene 2015-2019. Ved tilvirkning af savskåret træ er skæreudbyttet ca. 50 %, hvilket medfører, at produktionen af afskær fra savningen udgør samme mængde som det savskårne træ.

Det er dog ikke alle disse træprodukter, der ender i byggeriet. Således er det estimeret ud fra dialog med trægrossister, at 54 % af det savskårne træ og 20 % af spånpladerne ender i byggeriet (Lind & Damsgaard, 2021). Det savskårne træ består ikke kun af konstruktionstræ, men også af mange andre savskårne produkter som fx brædder til facader, terrasser, stolper mv. Det anslås, at 1/3 af det savskårne nåletræ bliver til konstruktionstræ baseret på data fra UK (Forestry Statistics, 2021), Chapter 2: UK-Grown Timber, Forest Research, Edinburgh, UK), hvorimod der antages 30 % tab af materiale ved konverteringen af savskåret løvtræ til gulvbrædder. Konverteringen fra rumfang til masse er sket ved at gange med anslåede densiteter for nåletræ, løvtræ og plademateriale på hhv. 0,45 tons/m^3, 0,65 tons/m^3 og 0,65 tons/m^3.



Figur 65. Estimeret produktion af træprodukter af dansk træ til byggeriet i årene 2015-2019.

Eftersom gennemsnitligt 38 % rundtømmer af nåletræ eksporteres, vil produktionen af dansk savskåret nåletræ kunne øges med 38/(100-38) % = 61 %, mens produktionen af trægulve vil kunne øges med 14/(100-14) = 15 %.

25

INTERVIEWS

25 INTERVIEWS

25.1 INTERVIEWRESUMÈ 1

Materialeproducent: Søuld, Akustikpaneler
Interviewperson: Tobias Øhrstrøm, CEO, salg & produktion, medstifter, uddannet arkitekt

25.1.1 Produktdefinition

Søuld producerer to typer akustikpaneler baseret på ålegræs.

- Interiørpaneler ude brandhæmmer, da de hænges på en fuldt funktionel væg (88 % ålegræs, 12 % binder).
- Akustikpaneler som byggevare, der indeholder brandhæmmer (85 % ålegræs, 15 % brandhæmmer, 10 % binder).

25.1.2 Råvare

Siden 1600-tallet har ålegræs været brugt som tagdækning i byggeriet på de gamle huse på Læsø. Derudover har materialet været brugt til madrasproduktion, løsisolering mv. i Danmark såvel som andre steder i verden. Ålegræs er en plante, som vokser i områder med god vandkvalitet, og som lagrer store mængder CO_2 under væksten. På lavvandede områder som Danmarks indre farvande er der mindre risiko for, at planterne rives op med rode, og derfor gode vækstbetingelser for planten. Hvis vandmiljøet indeholder øgede mængder næringsstoffer (som sker på baggrund af udvaskning fra landbruget og dårlig rensning af spildevand), kan det hæmme ålegræssets vækst. Ålegræs formerer sig ved at afgive frø først på sommeren eller gennem rodskud. Men da disse har svært ved at fæstne sig, har man siden 2017 arbejdet med at udplante ålegræs i Horsens Fjord. Øget fokus på miljøpåvirkninger fra landbruget kan resultere i, at man vil se en stigning i udbredelsen af ålegræs i de danske farvande i fremtiden.

Tobias Øhrstrøm forklarer, at Søuld har aftaler med en række landmænd på Møn og Bogø, som i en årrække har bjerget og forarbejdet ålegræs til halmballer. For at opnå den bedste kvalitet og undgå, at materialet går til på stranden, skal det bjerges, en til tre dage efter det skyller op. Herefter bredes ålegræsset ud på landmændenes marker, hvor det tørrer, vendes og pakkes til baller. Processen minder i grove træk om halmproduktionen. Landmændene på Møn og Bogø har arbejdet på denne måde i mange år. Den mængde ålegræs, som landmændene ikke sælger til Søuld eller bruger som lager til at vedligeholde de gamle tanghuse på Læsø, eksporteres til Tyskland ellers sælges i mindre skala til private eller små firmaer. Materialet lagres p.t. hos de lokale landmænd. Ved skalering af produktionen vil der være behov for øget lagerplads for at sikre en stabil mængde ålegræs trods den variation, der kan forekomme fra år til år. Søuld med Dansk Tang har desuden indgået dialog med Odsherred Kommune om at modtage ålegræs fra kommunens strande, hvor det skyller op. Kommunen oplever problemer med tang og ålegræs på strandene, som skal fjernes for at undgå lugtgener, men materialet er vanskeligt og omkostningsfuldt at nedbryde. Et samarbejde med landets kommuner vil kunne øge mængden af ålegræs til brug i akustikpanelerne, når efterspørgslen stiger.

Potentialer:

- Der skyller ålegræs ind på mange kyster landet over, og der er derfor potentiale til at øge ressourcemængden.

- Kommunerne bruger penge på at fjerne ålegræs blandet med tangarter fra strandene.
- Materialet har dårlige potentialer til at indgå i energiproduktion (lav bioforgasningsevne og forbrændingsevne).
- Søuld er i dialog med organisationen FRAK om et socialøkonomisk projekt med involvering af unge til at indsamle ålegræs på Amager i København. Herved kan der skabes lokale arbejdspladser for unge med brug for aktivering.
- I det sene efterår, hvor vindene er stærkest og landmændene har mindre at lave, er indsamlingen et godt supplement til deres andet arbejde.

Barrierer:

- Det tager tid og ressourcer at skalere.
- Råvaren kan ikke dyrkes, og mængden samt indskylningssted varierer afhængigt af vind og vejr.

25.1.3 Produktion

Akustikpanelerne produceres på fabrikken Convert i Nors i Nordjylland i Danmark, hvor Søuld lejer sig ind, når de skal producere en mængde paneler. Det kræver et startgebyr at leje faciliteterne, hvilket betyder, at Søuld skal producere minimum 600 m^2 paneler af ca. 5 tons ålegræs, for at det kan løbe rundt. Søuld har ikke kapacitet til at eje deres egen fabrik for nuværende. Det er desuden en fordel at kunne leje sig ind, da Søuld, som endnu er et lille firma, ikke har økonomi til at eje fabriksfaciliteter. Det kræver, at Søulds produktion skal planlægges med hensyn til produktionen af andre materialer på samme fabrik. Tobias Øhrstrøm fortæller dog, at dette ikke har været et problem indtil videre. Produktionen varierer, alt afhængigt af hvor stor efterspørgsel der er på produktet. Søuld køber desuden lagerplads på fabrikken for at kunne have et lager af materialet tilgængeligt til hurtigt salg.

Ved produktionen findeles ålegræssen ved shredding og konditioneres, så materialet opnår en ensartet luftfugtighed. Dernæst bruges fabrikkens nonwoven-teknologi til at blande ålegræs med binderen i en tørproces kaldet air-layering. Ålegræs og binder hvirvles rundt i luften, til det lander på produktionslandet, hvor det sammenpresses til et let materiale, som kan bruges som isoleringsmateriale. Dette materiale varmepresses og bliver til akustikpaneler, der har et karakteristisk udtryk, hvor ålegræsset fremgår tydeligt. Akustikpanelerne kan bestilles på mål og er derved tilpasningsdygtige til de fleste typer byggeri – det gælder både interiørproduktet og byggevaren.

Potentialer:

- Ved samarbejde med Convert har Søuld mulighed for at producere netop den mængde akustikpaneler, som de kan afsætte, og de undgår ekstraomkostning til fabrikken.

Barrierer:

- Det kræver logistik og planlægning af lave en større leverance, men der har endnu ikke været problemer forbundet med dette.

25.1.4 Produkt og afsætning

Søuld sælges som hhv. interiørprodukt og byggemateriale. Begge produkters primære egenskaber er deres lydabsorberingsevne. Derudover har produktet gode brandegenskaber. Det skyldes, at ålegræsset vokser i saltholdigt vand og dernæst tørrer, hvorved en naturlig mængde af salt ophobes i råmaterialet. Dette kommer med i det endelige produkt, hvilket hæmmer brand. Det er dog væsentligt at bemærke, at saltniveauet for hver ålegræsballe varierer. Tobias Øhrstrøm fortæller desuden, at sekundære egenskaber som den visuelle

værdi og CO_2-lagringspotentialet har stor betydning for markedsføringen af produktet. Han forklarer også, at den visuelle værdi taler ind i designindustrien, og det, at man tydeligt kan se, at akustikpanelerne er lavet af ålegræs, er netop et klart billede på CO_2-lagringen i produktet. Produktet er et nicheprodukt og har et markant andet udtryk end andre akustikpaneler på markedet. Den mørke farve og duften af halm fra materialet vil unægtelig påvirke køberen i enten positiv eller negativ retning. Hertil forklarer Tobias Øhrstrøm, at man på længere sigt kan lave en hvid udgave af panelet, hvis man ser en efterspørgsel på dette.

Interiørpanelet sælges desuden indrammet i eg, ask eller andre træsorter. Det giver panelet et eksklusivt udtryk, som gør det tydeligt, at det skal være synligt i en bygning. Da ålegræs er et naturprodukt, varierer farven en del mellem paneler lavet af ålegræs fra forskellige bjergninger. Dette kan man undgå ved at blande ålegræs fra forskellige tidspunkter og derved opnå en større mængde paneler med samme udtryk. Byggevaren, som indeholder brandhæmmer, er mere ensartet i farven. Det skyldes, at brandhæmmeren karamelliserer under varmepresningen og derved skaber en mere ensartet overflade. Interiørpanelet vil ofte skulle indgå i større arealer end interiørproduktet; hertil vil ensartetheden kunne være en fordel. Panelerne kan produceres efter specialmål til den enkelte kunde.

Produktet sælges gennem Søuld. For nu har de to forhandlere, men de bestiller direkte hos Søuld. Tobias Øhrstrøm forklarer, at det vil skabe unødige ekstraomkostninger at have mellemled med den afsætning, de har lige nu. Det vil øge prisen og gøre produktet mindre konkurrencedygtigt. Primære konkurrenter er andre etablerede producenter af akustikpaneler, som er mere velkendte i branchen. Tobias Øhrstrøm forklarer, at produktet er et nicheprodukt, hvilket kræver, at aktører i særlig grad efterspørger produktet, hvis det skal vælges frem for andre akustikpaneler.

Potentialer:

- Designværdien i produktet er høj, især interiørproduktet. Byggevaren har andre visuelle egenskaber end gængse akustikløsninger.
- Øget fokus på at lagre CO_2 og anvende byggevarer med lavt CO_2-aftryk er en fordel for produktet.
- Produktet er synligt, hvilket gør, at køberen kan se, at de har valgt et biogent materiale – historiefortællingen er stærk.

Barrierer:

- Produktet er anderledes end kendte akustikpaneler. Byggevaren har andre visuelle egenskaber end gængse akustikløsninger.
- Prisen er høj sammenlignet med andre billige akustikpaneler, som dog ikke performer lige så godt som akustisk absorbent.
- Det er vanskeligt at dokumentere, at byggevaren fungerer i et byggeri, før man i en årrække har afprøvet det i et byggeri.

25.1.5 Dokumentation

Søuld har en mængde dokumentation, som de har arbejdet på at fremskaffe løbende for at kunne dokumentere produktets egenskaber. Her har det vist sig, at brandtest og akustiktest, som bekræfter produktets tekniske egenskaber, er væsentlige for at kunne afsætte produktet. Dernæst har miljøvaredeklarationen/EPD'en stor betydning, da produktets minimale miljøpåvirkning og lagring af CO_2 netop skaber markedsværdi og gør, at produktet har en anden markedsværdi end andre akustikpaneler. Søuld har desuden skimmeltest, densitetstest og indeklimatest, alle fra Teknologisk Institut. Disse har sammen med brandtesten og akustiktest muliggjort ETA-mærkning af produkterne.

Tobias Øhrstrøm beskriver, hvordan det har været vanskeligt at finde ud af eller at finde rådgivning om, hvilken type dokumentation der er nødvendig at have på plads for at kunne

sælge produktet på det danske marked. Tobias Øhrstrøm mener, at der er udfordringer mellem de krav, der stilles til ETA-mærkning, og de krav, der stilles til CE-mærkning. For en ny spiller på markedet kan det være vanskeligt at vide, hvordan man kommer videre fra ETA-mærkning til CE-mærkning, samt hvad disse mærkningsordninger har af betydning for afsætning af produktet. Det har medført mange fejlslagne processer, og det har været meget vanskeligt for Søuld at gennemskue, hvilke test der var de mest relevante at bruge penge på hvornår.

Cradle to Cradle-certificeringen var en af de første certificeringer, firmaet fik lavet, men det har vist sig, at denne ikke er så væsentlig for at afsætte produktet.

Tobias Øhrstrøm forklarer, at Søuld rådfører om produktet og om, hvilke frekvensklasser det er godt til at håndtere. Selv anvender de tommelfingerregler vedrørende lydisolering. Søuld anvender ikke særlige edb-programmer til at rådgive kunder om lydisoleringsevnen. På større projekter, hvor det er nødvendigt at yde særlig rådgivning, har Søuld en aftale med en akustiker om at udarbejde rapporter. Her vil rådgiveren specificere, hvilken produktklasse byggeriet kræver, hvorefter Søuld kan til- eller fravælges.

Potentialer:

- Fremtidige grænseværdier for byggeri vil kunne fremme brugen af byggevarer med dokumenteret lavere CO_2-udledning.

Barrierer:

- Det er vanskeligt for producenterne at finde ud af, hvad der er behov for, for at opnå ETA- og CE-mærkning.
- Der er sparsomt med rådgivning om, hvilken type test man skal lave, for at opfylde kravene til mærkningsordningerne.

25.1.6 Affaldshåndtering

Produkterne er Cradle to Cradle-certificerede. Et panel har derfor potentiale til at blive genbrugt i et nyt panel. Søuld har p.t. ikke en decideret take back-ordning, men gør deres kunder opmærksomme på, at de har mulighed for at tilbagelevere panelerne, hvis de skal af med dem. I realiteten har produktet ikke siddet så længe i et byggeri, at det endnu er nået til affaldssortering. Erstattes den plastikbaserede binder i produktet med en biobaseret og bionedbrydelig binder, vil produktet kunne kompostere i naturen.

25.2 INTERVIEWRESUMÉ 2

Lars Keller, direktør, EcoCocon Danmark
Materialeproducent: EcoCocon, Vægelementer

25.2.1 Produktdefinition

EcoCocon producerer præfabrikerede ydervægselementer baseret på bærende konstruktioner i FSC-certificeret træ udfyldt med halm med en standardtykkelse på 40 cm.

25.2.2 Historien bag firmaet

Lars Keller fortæller, at der i 2008 var en Nordisk Råd-finansieret best practice-workshop i Estland. Fokus var overførsel af best practice-byggeteknik fra Danmark til Baltikum. Kort derefter begyndte man i Litauen at udvikle det gamle halmbyggeri til et kommercielt produkt. Fokus blev standardiserede præfabrikerede elementer med 89 % halm og 10% træ. EU-eksportmidler gav mulighed for at få produktet ud i Europa. I 2014 blev elementet præsenteret på Building Green i Forum, København. Her var der ingen, der spurgte om brand og mus,

men om bæreevne og isoleringsevne. Lars Keller fortæller, at han blev deres danske partner. Fra firmaet Small Planet udsprang Feldballe Naturelementer med snævert fokus på kommercialisering af halmelementerne. I vinteren 2018-19 fik Lars Keller skaffet Realdanias bevilling, Innovation, til markedet. En af forudsætningerne var, at Feldballe Naturelementer blev medejer af det nu europæiske EcoCocon. Det skete, og derefter blev EcoCocon Danmark stiftet med Lars Keller og Jo Morandin som direktører. En del af Realdaniamidlerne blev brugt til at indlede et samarbejde med Henning Larsen-arkitekterne om Feldballe Friskole, og projektet er nu blevet et flagskibsprojekt for firmaet og produktet i Danmark.

25.2.3 Råvarer

Elementerne består næsten udelukkende af halm (89 % i volumen), træ (10 %) og lidt skruer.

Elementerne er konstrueret af FSC-certificeret træ, C24-reglar og birkefiner, og derudover landbrugsbiproduktet halm, som anvendes som udfyldsisolering. Halm høstes ved høstsæson, opkøbes og lægges på lager nær fabrikkerne. I dag anvendes litauisk halm til elementerne. Det skyldes, at produktionen ligger i Litauen, hvor EcoCocon er stiftet. Lars Keller forklarer, at man vil kunne starte en produktion i Danmark, når efterspørgslen stiger, og herved bruge dansk halm. Lars Keller vurderer, at der er rigelige mængder af halm. Han fortæller, at EcoCocon har beregnet, at hvis man kan bruge 1,6 % af den danske halmproduktion, kan alle ydervægge på enfamiliehuse, etagebyggeri samt rækkehuse i Danmark erstattes med halmelementer. I Danmark afbrændes der i dag halm som biobrændsel. Keller fortæller, at hvis man bruger 5-6 % af den halmængde, som afbrændes som varmekilde, gælder samme antagelse om at erstatte alle ydervægge på enfamiliehuse, etagebyggeri samt rækkehuse i Danmark. Vi kigger ind i en fremtid, hvor der fra EU's side bliver dikteret en reduktion i mængden af biobrændsel i varmesammensætningen. Lars Keller argumenterer for, at man på den måde kan reducere mængden af halm, der afbrændes, og der vil være en større mængde, der kan bruges i eksempelvis EcoCocons halmelementer. Lars Keller mener, at der er brug for regenerative byggematerialer, og at halm, set i et meget langt perspektiv, vil vise sig at være en overgangsløsning. Men selvom en stor del af halmen skal tilbage i jorden for at bevare kulstofbalancen, og selvom noget bruges i stalde som strøelse m.m., mener Keller, at overskudspotentialet de nærmeste år er enormt. I tiden frem mod 2030, hvor det skal gå meget hurtigt med omstillingen, er halm ifølge Lars Keller blandt de bedste bud på skalérbare CCUS-løsninger, og han siger, at i modsætning til Power-to-X-energiøen er der ikke tale om fugle på taget. Teknikken er udviklet og modnet, det er bare at anvende den.

Potentialer:

- Produktion kan relativt let etableres i Danmark, hvis efterspørgslen stiger, da vi er et landbrugsland med store mængder halm, som kan anvendes i elementerne.
- Der bygges på eksisterende landbrugspraksis.
- Landbruget kan være med, de har kompetencer og logistik til produktion af materiale samt opbevaring. Landbrugsarbejdere vil kunne deltage i produktionen.
- Halmen gøres til et produkt, som efterspørges, og landmænd vil kunne tjene penge på dette.

Barrierer:

- Efterspørgslen og udbuddet af træ kan påvirke produktionen.

25.2.4 Produktion

Målet er på længere sigt at producere lokalt, herunder i Danmark. Før det kan gøres, skal produktionen forfines og gøres mere effektiv, fordi arbejdskraften er dyrere i Danmark. Næste fabrik er i Slovakiet, dernæst ser man på efterspørgslen i andre EU-lande. Elementerne præfabrikeres på fabrikker under kontrollerede forhold, hvilket skaber høj grad af præcision. Elementernes størrelse skræddersys til det enkelte byggedesign og giver derfor geometrisk frihed til arkitekter. Lars Keller forklarer, at fordi træ og skove er vigtige med hensyn til at beskytte klimaet SAMT biodiversiteten, er elementerne designet sådan, at de bruger så lidt træ som muligt. Halmen presses sammen, så det opnår isoleringsevner, lydisoleringsevner og brandmodstandsevner, som overholder krav fra bygningsreglementet. Bygningsdele bestående af EcoCocon-elementer samles på pladsen eller i en montagehal. Størrelsen på elementerne gør det lettere at involvere mindre håndværkere og entreprenører.

Potentialer:

- Der anvendes så lidt træ som muligt i konstruktionen for at spare på træ som ressource.
- Produkterne består hovedsageligt af ubehandlet halm.

25.2.5 Produkt og afsætning

Lars Keller beskriver produktets primære egenskaber som konstruktive, isolerende og komfortstabiliserende. Elementerne er diffusionsåbne og er gode som fugt- og varmebuffere. Lars Keller forklarer, at man med de diffusionsåbne egenskaber kan designe sig ud af fugtskader. Der er derfor ikke behov for dampspærre, da hele væggen kan modtage, arbejde med og afgive fugten. Derudover har elementerne en god lydisoleringsevne. Elementerne varetager derfor mange funktioner på én gang.
Lars Keller forklarer, at produktets sekundære egenskab består i, at det er produceret af biogene materialer, der ovenikøbet er en hurtigtvoksende og fornybare ressourcer. Derved fungerer elementerne som CO_2-lager. Man kan endda med rette kalde produktet for et CCUS-produkt, dvs. Carbon Capture Usage and Storage. Keller forklarer, at denne egenskab har stor betydning i markedsøjemed, da der er tale om en egenskab, der kan bidrage kraftigt til den nødvendige bæredygtige omstilling af byggesektoren. I den sammenhæng har LCA (Life Cycle Assessment - Livs Cyklus Analyse) og EPD (Environmental Product Declarations) været væsentlig som dokumentation. Keller diskuterer, om dette er en sekundær eller en primær egenskab, da produktet fra begyndelsen blev designet til at opfylde passivhus-standarden, som tager afsæt i sådanne egenskaber.

Elementerne afsættes direkte gennem EcoCocon. Firmaet pitcher til arkitekter og andre rådgivere. Keller oplyser, at de synes, det er spændende, og gerne vil bruge produkterne, fordi den rette dokumentation er til stede. Og han uddyber: ”Nu bliver det spændende at se, om Den Frivillige Bæredygtighedsklasse kommer til at træde i kraft, og om man sætter ambitiøse krav til at følge op på den.” Hertil mener Keller, at det er nødvendigt med standarder for, hvordan man beregner biogent karbon og tidsfaktoren, når det drejer sig om emissionerne. Her mener han, at det er vigtigt at fokusere på fase A1-3 i den akutte klimadagsorden, da vi skal spare på CO_2-forbruget nu og her for at nå i mål med de ønskede reduktioner.

Desuden nævner Keller en CO_2-skat som et uomgængeligt, nødvendigt værktøj.

Potentialer:

- Produktet har både konstruktive, varmeisolerende og lydisolerende egenskaber.
- Produktet bygger på passivhus-standarden og relaterer sig til denne byggetradition.
- Produktet præfabrikeres.
- Størrelsen på produktet kan tilpasses, og/eller elementerne kan sammensættes, så de giver mange arkitektoniske muligheder.
- Formen på elementerne gør det let for entreprenører at samle og bygge bygninger af elementerne.

Barrierer:

- Elementerne er ikke en del af den vanlige byggeskik, bl.a. skal håndværkere tillære sig, hvordan de skal lave de tekniske installationer i denne type elementer.

25.2.6 Dokumentation

Lars Keller forklarer, at EcoCocons DoP-certificering (Declaration of Performance) har været på plads før 2014, hvor han blev en del af firmaet. Realdania har i forlængelse af deres funding efterspurgt, at der udarbejdes en TGA-certificering (Teknisk Godkendelse til Anvendelsen). Dette er en mærkningsordning for produkter, som ikke passer til CE-mærkningen, og som kan udarbejdes af Teknologisk Institut. Keller forklarer, at det er umuligt at komme i betragtning på markedet for byggematerialer uden en DoP-certificering, hvor brandsikkerhed og isoleringsevne mv. dokumenteres. Efter DoP'en fokuserede EcoCocon på passivhus-certificeringen, da det dengang var den strengeste byggestandard. Cradle to Cradle-certificeringen har været et supplement til denne, fordi den dokumenterer kemi, indeklima, miljø og fornybare materialer, hvilket passivhus-certificeringen ikke medtager.

Efterfølgende er der blevet udarbejdet en LCA over elementerne, som er blevet konverteret til en EPD, der i øjeblikket er ved at blive tredjepartsgodkendt. Lars Keller udtrykker dog en bekymring for, hvorvidt EPD'er fremover kan udvandes og få andre produkter til at se bedre ud i klimaregnskabet, end de reelt er.

Lars Keller oplever ikke, at private bygherrer og friskoler kræver særlig dokumentation. Men han oplever, at brandrådgivere er nervøse til trods for adskillige brandtest på produktet. EcoCocon har mange brandprøvninger fra EU-akkrediterede prøvningsinstitutter samt flere test sammen med DBI. Lars Keller mener dog, at det er meget vanskeligt at håndtere brand med de nye regler, hvor der ikke længere er et kommunalt spor til byggetilladelser, men i stedet private brandrådgivere. Keller oplever, at de er nervøse for løsninger, de ikke har prøvet at arbejde med før. Desuden mener han, at der er mangel på rådgivere, og at det er en stor, tidskrævende udgift at dokumentere efter reglerne. Han efterspørger præaccepterede løsninger, men formoder, at EcoCocon er for lille en aktør til at blive inkluderet i disse; derfor arbejdes der politisk på at ændre dette. Lars Keller mener, at test til konkrete projekter i stedet for præaccepterede løsninger forsinker og fordyrer processen.

Der anvendes ikke særlige edb-programmer til at vurdere tykkelsen af elementerne. Lars Keller forklarer, at det ikke er så komplekst, da det primært handler om at opfylde en U-værdi, og at de har et regneark med tabeller over væggens tykkelse, afhængigt af den ønskede U-værdi.

Potentialer:

- LCA, EPD, C2C og passivhus-certificering bruges som salgsparametre.
- CO_2-grænseværdier for nybyggeri vil øge incitamentet til at anvende EcoCocon.

Barrierer:

- Brandrådgivere er nervøse for at godkende ukendte løsninger.
- Det forlænger og fordyrer processen, når der skal bruges ekstra rådgivningstimer eller laves særlige brandtest på bestemte konstruktionsopbygninger.

25.2.7 Affaldshåndtering

Der er planer om at tage produktet tilbage. Lars Keller forventer dog ikke, at dette i realiteten bliver aktuelt. Keller mener og håber, at i fremtiden, når husene skal skilles ad, så er man formodentlig stoppet med at afbrænde biogene materialer. Han forventer i stedet, at det vil blive brugt til bioplast eller andre produkter for at optimere ressourceforbruget, og at der på længere sigt vil kunne skabes et marked for de udtjente produkter.

26

BYGGEBRANCHENS FORANDRINGER

26 BYGGEBRANCHENS FORANDRINGER

26.1 Roadmap for anvendelse af biogene materialer i byggeriet – Barrierer og tiltag i et transitionsteoretisk perspektiv

Dette bilag beskriver, med udgangspunkt i interviews med udvalgte respondenter, hvilke barrierer og potentialer der ses i forbindelse med en omstilling til øget anvendelse af biogene materialer i den danske byggebranche. På denne baggrund skitseres et tentativt roadmap for omstillingsprocessen, som kan danne baggrund for videre diskussioner på området.

26.1.1 Teoretisk forståelse for strukturelle ændringer i byggebranchen

Som ramme for analysen af forventede forandringer ved anvendelse af biogene materialer i byggeriet trækkes på forståelser og teoridannelser vedrørende teknologiske innovationssystemer og sociotekniske transitioner (fx Geels, 2004, 2019; Markard og Truffer, 2008; Markard et al., 2012).

Dette er teoridannelser, der er udviklet inden for innovationsforskningen til at forklare typen og hastigheden af (teknologisk) forandring, og hvordan samfundsmæssige omstillinger finder sted. Teoridannelsen om teknologiske innovationssystemer fokuserer på at forklare, hvordan innovationssystemet omkring en given teknologi fungerer og påvirker dets udvikling, medens transitionsteorien fokuserer på at forklare, hvordan givne teknologier vinder samfundsmæssig udbredelse, herunder barrierer og muligheder for udbredelse.

26.1.2 Teknologiske innovationssystemer og transitioner

Teoridannelsen vedrørende teknologiske innovationssystemer, såvel som transitionsteorien, anlægger et systemisk perspektiv på teknologiers udvikling og anvendelse, herunder teknologiens relationer til eksisterende markedsstrukturer, brugerpraksisser, lovgivning m.m.

Selvom de to teoridannelser, som påpeget af bl.a. Ørstavik (2014), bruger forskellige ordforråd, deler de flere grundlæggende antagelser om innovationers natur. Begge ser således innovation som noget, der skabes af aktører, der er bundet sammen formelt og uformelt i bestræbelserne på at realisere teknologiske ændringer. Begge teorier ser endvidere innovationer som noget, der er indlejret og finder sted i en systemisk sammenhæng med sociale, tekniske og institutionelle strukturer.

Teorien vedrørende teknologiske innovationssystemer har dog et grundlæggende fokus på interne udviklingsprocesser og -dynamikker, medens transitionsteorien fokuserer på, hvordan innovationer udvikles i relation til bredere (samfundsmæssige) dynamikker.

I denne sammenhæng har bl.a. Geels (2004) og kollegaer (fx Geels og Schot, 2007) fremført en analytisk model for, hvordan samfundsmæssige omstillinger finder sted i forbindelse med udviklingen af teknologiske innovationer. Denne model, som er kendt som multi-level-perspektivet (MLP), opererer med den grundopfattelse, at innovationer udvikles lokalt i såkaldte nicher og skal indgå i samspil med bredere sociotekniske systemer på branche- hhv. samfundsniveau for at blive accepteret og udbredt og dermed bidrage til samfundsmæssig omstilling.

MLP opererer med tre niveauer. På mikroniveau etablerer netværk af innovative aktører såkaldte nicher, der fungerer som inkubationsrum eller beskyttede miljøer for udvikling af

nye teknologier, som ikke umiddelbart er konkurrencedygtige eller kompatible med eksisterende praksisser og processer på regimeniveau.

Regimet, som udgør næste niveau i modellen, skal ses som et socioteknisk system, der sætter rammerne for, hvordan en given samfundsmæssig funktion eller aktivitet organiseres. Byggeri som aktivitet er ikke blot betinget af tilgængelige produktionsteknologier, men også af lovgivning, brugerpræferencer, markedsmekanismer, industristruktur m.m. Disse elementer står i gensidigt forhold til hinanden og er med til at skabe en vis grad af stabilitet, der tillige er med til at skabe sporafhængighed og i et vist omfang holder nye teknologier uden for anvendelse. Antagelsen er således, at en omstilling til fx brug af en ny, fremherskende teknologi kræver grundlæggende rekonfigurationer på adskillige dimensioner i regimet.

Sådanne omstillinger kræver ifølge MLP ikke kun tilstedeværelsen af potentielt 'modne' nicheteknologier, men også 'windows of opportunity', der kommer som følge af såkaldt 'landskabspres' – dvs. langsigtede makrostrukturelle forhold, såsom klimakrisen, der på grundlæggende vis udfordrer centrale samfundsmæssige dynamikker og virkemåder.

Dette kan ske hurtigt og abrupt gennem reguleringschok eller kriser (som fx coronakrisen), der vender op og ned på eksisterende systemer, men også langsomt over årtier, som følge af fx vedvarende klimaændringer. Pointen er i begge tilfælde, at eksisterende sociotekniske regimer sættes under pres. Presset baner vejen for, at nye teknologier, som hidtil ikke har været kompatible med eksisterende forbrugs- eller produktionsmønstre, kan vinde indpas i regimet.

26.1.3 Elementer og udvikling i sociotekniske regimer

Et socioteknisk regime kan på mange områder opfattes som en specifik erhvervssektor eller branche. I transitionsteorien består et regime af flere dimensioner, der er indbyrdes afhængige og konfigureret omkring en fremherskende teknologisk udviklingsbane.

I transitionsteorien fungerer sociotekniske regimer således som såkaldte evolutionære selektionsmiljøer, hvor udviklingsbaner opbygges omkring en given teknologi. I takt med at en teknologi vinder udbredelse, etableres der relationer mellem sociale og teknologiske elementer på mange niveauer og dimensioner. Regulering udvikles fx omkring teknologiens anvendelse, og brugerpraksisser, videnskabelig viden, infrastruktur m.m. er med til at fastholde bestemte handlemønstre og opfattelser af teknologien. Dette betyder, at det ikke kun er rene markedsmekanismer, der er bestemmende for, hvorvidt en teknologi vinder indpas.

Den indbyrdes afhængighed mellem de forskellige elementer i regimet betyder også, at introduktionen af en ny teknologi, eller nicheinnovation, leder til omfattende ændringer af regimets struktur.

Eksempelvis kan en ny nicheinnovation i første omgang introduceres som tilføjelse eller substitut for eksisterende komponenter i det sociotekniske regime. Over tid vil dette dog lede til ændringer i relationerne mellem andre elementer i regimet, introduktion af andre, nye komponenter og slutteligt til en ny 'regimearkitektur' eller virkemåde, hvorved omstillingen analytisk kan betragtes som afsluttet.

26.1.4 Undersøgelsesmetode

Med henblik på at svare på spørgsmålet om, hvilke forandringer der skal ske i den danske byggebranche, hvis potentialet for biogene materialer skal udnyttes fuldt ud, er der gennemført en interviewundersøgelse med udvalgte respondenter, der indtager forskellige positioner i branchen.

Interviewene er foretaget med udgangspunkt i en simpel, struktureret spørgeguide, der omhandler barrierer, forandringstiltag og konsekvenser inden for de forskellige dimensioner, der jf. teorien udspænder et socioteknisk regime:

- Kultur

- Infrastrukturer
- Teknologier
- Markeder og brugere
- Politikker
- Teknisk / videnskabelig viden
- Industrinetværk.

For hver af disse dimensioner er der indledningsvist identificeret en til tre problemstillinger, der fungerer som inspiration eller oplæg til diskussionen med de forskellige respondenter, der alle under interviewene har haft mulighed for at fremkomme med egne pointer eller områder, der er diskuteret videre. Respondenterne har haft mulighed for at forholde sig til øvrige forhold i regimemodellen, men med forventning om, at de primært bidrager inden for hver sine respektive områder.

I interviewene er der videre spurgt ind til disse forhold i tre tidslige dimensioner, der fungerer som scenarier for potentialet for udnyttelse af biogene materialer.

- Kort sigt (anvendelse af 1-2-årige vækster produceret i Danmark)
- Mellemlangt sigt (omstillingsperioden)
- Langt sigt (ved fuld dansk produktion af biogene materialer).

I forbindelse med interviewene er de væsentligste pointer noteret i struktureret form til videre bearbejdning.

26.1.5 Problemstillinger i interviewene

De hypoteser eller problemstillinger, som dannede udgangspunkt for interviewene, fremgår nedenfor. Det skal bemærkes, at hypoteserne bevidst er formuleret med 'kant' eller kritisk vinkel med henblik på at stimulere til diskussion med respondenterne.

Tabel 20. Hypoteser og problemstillinger som udgangspunkt for interviewene.

Dimension	**Problemstilling / hypotese**
Kultur:	Der er ikke opmærksomhed på biogene materialer blandt forbrugere.
	Biogene materialer ses som mindre værdifulde end traditionelle materialer.
Infrastrukturer:	En fuld dansk produktion og anvendelse af biogene materialer vil føre til væsentlige brancheglidninger og nye fag / professioner.
	Der vil ikke inden for en overskuelig fremtid være tilstrækkelig produktionskapacitet til at dække det samlede potentielle behov for biogene materialer.
	Virksomheders (herunder producenters) nylige investeringer i deres produktionsapparat har fastlåst dem i deres 'konventionelle' produktion.
Teknologier:	Selvom der er 'modne' biogene løsninger på markedet, vil manglende viden om anvendelse, udførelsespraksis m.m. udgøre en barriere for deres brug.
Markeder og brugere:	Der mangler (internationale) standarder til at understøtte udbredelsen af biogene materialer.
	Der er ikke efterspørgsel på biogene materialer, der opfattes som mindre holdbare (og fordyrende) end traditionelle løsninger og materialer.
Politikker:	Bygningsreglementet udgør direkte eller indirekte en barriere for biogene materialer, idet det gennem formuleringer / krav til egenskaber (fx brandkrav) udelukker biogene alternativer til eksisterende materialer.
	Fuld anvendelse af biogene materialer kan kun sikres gennem statslig eller EU-kravsstillelse, der er gældende for hele branchen.
	Det kræver et bredt 'policy mix' af krav såvel som subsidier, hvis potentialet for biogene materialer skal udnyttes fuldt ud med hensyn til klimaregnskabet.

Tabel 20 fortsat

Teknisk / videnskabelig viden:	En mangel på viden om levetider, holdbarhed og alment teknisk fælleseje betyder, at risikoen ved anvendelse af biogene materialer vil virke afskrækkende.
	Eksisterende beslutningsværktøjer (fx LCAbyg og LCCbyg) modarbejder på kort og mellemlangt sigt udbredelsen af biogene materialer, da deres beregningsforudsætninger er misvisende eller mangelfulde
Industrinetværk:	Producenter af biogene materialer holdes uden for markedet, og deres produkter modarbejdes aktivt grundet eksisterende aktørers økonomiske interesser.

26.1.6 Dataindsamling og respondenter

Undersøgelsen baserer sig på 11 interviews gennemført telefonisk med udvalgte respondenter fra forskellige led i værdikæden. Udgangspunktet var en kort liste over respondenter med viden om en eller flere specifikke dimensioner i regimemodellen. Listen dækkede både over producenter af konventionelle materialer såvel som biogene materialer.

Tabel 21. Respondenter i interviewundersøgelsen.

Respondenter
Alexandra Wittchen, BUILD, Aalborg Universitet
Charlotte Gudum, Byggeskadefonden
Henrik Andreasen, Woodfiber
Henrik Kryger Madsen, UCL
Inge Ebbensgaard, Foreningen af Rådgivende Ingeniører
Mette Mechlenborg, BUILD
Per Sørensen, Egen Vinding og Datter
Sarah Sonne Glatz, Bolius
Simon Stig-Gylling, DI Byggeri
Susanne Pouline Svendsen, BYG-ERFA
Tobias Øhrstrøm, Søuld

Under interviewene noterede vi kommentarer fra de enkelte respondenter i nedenstående skema/struktur, hvilket muliggjorde en efterfølgende behandling af data på tværs af alle interviewene.

Tabel 22. Eksempel på skema til strukturering af data fra interviewene.

Dimension	**Problemstilling**		**Barrierer / tiltag**	
		Kort sigt	Mellemlangt sigt	Langt sigt
Politikker:	BR som barriere	…		
	Kravsstillelse	…	….	
	…			….
Markeder og brugere:	Manglende standarder			….
	Manglende efterspørgsel			
	….		…	
…		…		
…				….

I afsnit 26.3: *Barrierer mod anvendelse af biogene materialer* og 26.4: *Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer* fremgår de væsentligste pointer fra respondenterne i de forskellige kategorier eller dimensioner i regimemodellen. I de opsummerede kortlægninger

og analyser, som præsenteres i tabelform i afsnittene om barrierer mod, hhv. potentialer for omstilling til biogene materialer i afsnittet om resultater fra undersøgelsen, har vi sammenfattet de væsentlige forhold på tværs af de forskellige interviews, således at disse afspejler konkrete tiltag og barrierer på de givne dimensioner.

26.1.7 Rapporter og anden empiri

I undersøgelsen har vi endvidere gennemført et litteraturstudie af udenlandske erfaringer med biogene materialer. Grundet det specifikke fokus i undersøgelsen har det været vanskeligt af finde studier, som belyser en tilsvarende problemstilling vedrørende omstilling til øget brug af biogene materialer. Flere studier har haft fokus på såkaldte 'alternative materialer', som ikke udelukkende omfatter biogene materialer. Disse kilder er ikke desto mindre anvendt i undersøgelsen, idet de omhandler forholdet mellem en dominerende og en ny praksis, som ses som en udfordring at håndtere.

I den efterfølgende præsentation af resultater fra undersøgelsen har vi valgt at strukturere gennemgangen med udgangspunkt i den eksisterende litteratur og anvende resultater fra interviewene til at understøtte, supplere eller kontrastere disse.

26.1.8 Resultater fra undersøgelsen

I dette afsnit præsenterer vi resultater fra et kortfattet studie af udenlandske tiltag og erfaringer med biogene materialer samt interviews med danske aktører. Afsnittet vil synliggøre, hvilke barrierer og potentialer der eksisterer for at omstille byggebranchen til at øge brugen af biogene materialer.

26.1.9 Udenlandske tiltag og erfaringer med biogene materialer

I det følgende beskrives udvalgte tiltag og erfaringer fra henholdsvis Canada, Finland, Norge og Sverige med biogene materialer i kontekst af byggeri. Ingen af landene har tilsyneladende et udpræget fokus på biogene byggematerialer, men refererer indirekte til det gennem begreber såsom bioøkonomi, bæredygtighed, cirkulær økonomi og grøn vækst. Som det fremgår af beskrivelserne nedenfor, er en øget anvendelse af træ en udpræget strategi for at reducere CO_2-aftrykket i de undersøgte lande.

Canada

Den canadiske regering har vedtaget strategien *Build Smart*, som forpligter Ottawa samt provinser og territorier nær Ottawa til at udvikle en bygningslovgivning, der stiller krav om øget energieffektivitet. I henhold til strategien vil alle nye bygninger inden 2030 være forpligtet til at opfylde nul-energi-krav (net-zero-energy-ready level of performance*)*. Det er planen, at resultater fra Ottawa skal udgøre præcedens og udbredes til det øvrige Canada (Energy and Mines Ministers' Conference, 2017).

Den canadiske cleantech-accelerator Foresight hævder, at Build Smart-strategien vil skabe en større efterspørgsel på biogene materialer. I tilgift fremhæver Foresight den canadiske byggebranche som én af fire brancher i Canada, hvor der er et særligt potentiale for at fremme biogene materialer og produkter. I en byggebranche-kontekst oplever man, at der er stigende efterspørgsel på biogene materialer såsom bioharpiks og hørbaserede polymerer, mens der fortsat efterlyses biogene alternativer til cement og beton (Foresight, 2021). Ligeledes opleves en stigende efterspørgsel på biogene byggematerialer, der er lokalt fremstillet i Canada. Der er også efterspørgsel på flere biogene produkter og teknologier, som endnu ikke eksisterer eller er udfordrende at opskalere (Foresight, 2021).

Finland

I den finske energi- og klimastrategi (Finnish Government, 2013) fremgår det, at der vil blive nedsat en arbejdsgruppe, som skal undersøge muligheder for at fremme vedvarende energi samt identificere tiltag, som gør det muligt at realisere nul-energi-byggeri. I strategien fremgår det ligeledes, at udvikling af nul-energi-byggeri forudsætter, at den finske stat og kommunerne forpligter sig til at igangsætte forsøg med flere såkaldte eksperimentelle og alternative praksisser (Finnish Government, 2013).

I 2014 lancerede man et roadmap på energi- og klimaområdet (Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, 2014). Roadmappet har til hensigt at vise en strategisk vej, som gør det muligt for Finland at blive CO_2-neutralt inden 2050. I roadmappet fremgår det, at alle nye bygninger inden 2030 skal være nul-energi-byggerier. En af vejene til at realisere dette mål er at anlægge en mere holistisk forståelse for det byggede miljø i kontekst af klimatolerancer og at udvikle og implementere nye teknologier (Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, 2014). Udviklingen af nye teknologier, som udleder mindre CO_2 end konventionelle teknologier, påpeges endvidere som et potentielt eksporteventyr for finske cleantech-virksomheder.

I 2017 publicerende man en policyrapport (Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, 2017), som havde til formål at konkretisere nogle af de forslag, som den finske strategi for energi og klima foreskrev (Finnish Government, 2013). I policyrapporten fremgår det, at den finske regering vil foretage en kobling mellem byggesektoren og drivhusgasser, som udledes ved fremstilling af byggematerialer og produkter, og teste denne på en række offentlige demonstrationsprojekter. I tilgift hertil vil den finske regering fremme træbyggeri med henblik på at lagre CO_2 i finske skovområder (Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, 2017).

Norge

I den norske 2050-strategi for reducering af emissioner fremgår det, at der siden 2017 har været krav om, at byggepladser i Oslo er fossilfrie, og at der for nuværende pågår forsøg som skal belyse, hvorvidt det er muligt at stille krav om, at byggepladserne også gøres emissionsfrie (Norwegian Government, 2020). I strategien forklares det, at der er en direkte kobling mellem byggepladsaktiviteter (herunder byggepraksisser og bygningsdesign) og høj udledning af drivhusgasser, og at der derfor er et behov for at transformere byggebranchen for at nå målet om at være et lav-emissionssamfund inden 2050. Træ fremhæves som en ressource, der med fordel kan anvendes som byggemateriale, da der er store skovområder i Norge. Træ optager kulstoffer og mindsker derved CO_2-fodaftrykket. Ligeledes diskuteres udviklingen af nye teknologier og nye forretningsmodeller som en måde, hvorpå en kommercialisering kan ske med hensyn til at reducere emissioner, og hvor man samtidig kan udnytte ressourcer mere effektivt (Norwegian Government, 2020).

Sverige

En svensk lovgivning vedrørende en *klimadeklaration for bygninger* (svensk: klimatdeklaration för byggnader) forventes at blive lanceret i 2022 (jf. Boverket, 2020). Lovgivningen vil stille krav om, at alt nybyggeri skal ledsages af en rapport, en såkaldt klimadeklaration, der skal redegøre for den pågældende bygnings klimapåvirkning. Formålet med lovforslaget er at generere ny viden og reducere bygningers klimapåvirkning. Konkret foreslår lovforslaget, at klimatiske emissioner skal rapporteres for det færdige bygningsværk og for dennes bygningsdele. Produktion af nye bygninger (herunder produktion og transport af materialer) står i dag for omkring 21 % af Sveriges samlede udledning af drivhusgasser (Ministry of the Environment, 2020).

26.1.10 Barrierer mod biogene materialer i byggebranchen

Byggebranchen fremhæves ofte som en af de største bidragsydere til miljøforringelser grundet dets store forbrug af ikke-fornybare ressourcer og udledning af CO_2 (World Green Building Council, 2019). Valg af byggematerialer spiller derfor en afgørende rolle i branchens grønne omstilling. Hidtidige tiltag har primært fokuseret på at nedbringe driftsomkostningerne i færdige bygninger og på at udvikle beregningsværktøjer, som fx LCA, der synliggør produkters miljøbelastning gennem hele dets livscyklus.

Bygninger bliver imidlertid til i en kompleks proces, hvor økonomi, kendskab og tilgængelighed til materialer, lovgivning, viden og udførelsespraksis også spiller ind, når der træffes valg om materialer og design. Dette betyder, at det er nødvendigt at betragte ikke bare tekniske, men også økonomiske, kulturelle og institutionelle barrierer mod øget anvendelse af biogene materialer. Visse af disse barrierer er ifølge Giesekam et al. (2016) knyttet til konkrete materialer, medens andre er generelle i den forstand, at de knytter sig til spørgsmål om (bæredygtige) innovationer i almindelighed.

Barrierer mod (bæredygtig) innovation i byggebranchen

Når vi diskuterer vilkår for innovation i byggebranchen, starter vi ofte med en strukturel karakteristik af branchen som værende fragmenteret, risikoavers og præget af suboptimering. Årsagen hertil er, at produktionen ofte er projektorganiseret og præget af enkeltstående samarbejder mellem mange, ofte små virksomheder inden for rammer af lovgivnings- og markedsmæssige vilkår, som er med til at fastholde virksomhederne i deres vante roller. Dette omfatter udbuds- og entrepriseformer, men også markedsrelationer, hvor de forskellige virksomheder konkurrerer på et standardiseret grundlag, som hindrer dem i at drage fordele af innovative produkter og løsninger.

Læring i byggebranchen foregår ofte fra projekt til projekt med begrænsede muligheder for at drage nytte af gode erfaringer, da det næste projekt gennemføres i en ny samarbejdskonstellation og under nye kontraktuelle vilkår. Dette modarbejder incitamenter til, og intentioner om, at anvende fx nye teknologier og materialer (Giesekam et al., 2016) og leder til inkrementel udvikling og en beskeden udbredelse af innovationer på branchemæssigt niveau.

Barrierer mod øget anvendelse af alternative byggematerialer

Markström et al. (2016) identificerer de følgende fem punkter som værende væsentlige barrierer for øget brug af biogene byggematerialer i Sverige:

- Få incitamenter til at vælge biogene materialer blandt arkitekter og entreprenører
- Manglende viden og erfaringer med biogene materialers egnethed
- Få og ufuldstændige eksempler på brug af biogene materialer
- Utilfredsstillende byggetekniske egenskaber (fx akustik, brand, fugt, holdbarhed og revnedannelser)
- Eksisterende kultur og vaner får byggeriets parter til at vælge allerede kendte materialer på bekostning af biogene alternativer.

Med anvendelsen af alternative eller innovative byggematerialer (herunder biogene materialer) knytter sig nogle særegne udfordringer. Zhang og Canning (2011) fremhæver fx manglen på:

- kommercielle fordele på kort og mellemlangt sigt
- effektiv udbredelse af information om nye materialer til praktikere
- beskrivelser af egenskaber og fuldskala-demonstrationsprojekter.

Dette er imidlertid ikke de eneste forhold, der spiller ind. Selv når tilstrækkelig information er tilgængelig, kan hensyn til omkostninger eller personligt kendskab til materialer spille en

større rolle end hensynet til bæredygtighed (Arup og WBCSD, 2012). Det er med andre ord ikke tilstrækkeligt at forudsætte, at øget viden om mere bæredygtige alternativer til traditionelle CO_2-belastende byggematerialer nødvendigvis også fører til øget anvendelse af disse. Giesekam et al. (2014) har gennemført en analyse af udledning af drivhusgasser og forebyggelsesmuligheder ved anvendelse af byggematerialer i England. På baggrund af et litteraturstudie af mere end 100 publikationer identificeres en række barrierer mod anvendelse af materialer og praksisser til reduktion af indlejret CO_2. Disse gengives i

Tabel 23 nedenfor.

Tabel 23. Barrierer mod anvendelse af byggematerialer med lavere indlejret CO_2 (Giesekam et al., 2014: 210).

Område	**Barrierer**
Institutionelle og kulturelle faktorer:	– Etableret praksis fremmer bestemt materialevalg. – Fokuseret træning og rekruttering resulterer i fastlåsning til velkendte materialer. – Tidsbegrænsninger favoriserer velkendte designs. – Manglende fortalere for alternative materialer. – Mangel på effektiv markedsføring fra materialeproducenter. – Mangel på bruger-producent-relationer. – Vaner og etableret praksis blandt praktikere. – Forskellige praktikere betragtes som uden indflydelse på materialevalg. – Alternative materialer besværliggør design. – Manglende forsyningskæderelationer.
Økonomiske faktorer:	– Høje omkostninger ved nye produkter. – Markedet eksternaliserer omkostninger ved indlejrede emissioner. – Højere præmie på nye produkter qua usikkerhed. – Høje transaktionsomkostninger ifm. uddannelse. – Infrastruktur investeret i eksisterende materialer. – Lavere indtjening grundet øget detaljering i design. – Utilstrækkelige oplysninger om komparative omkostninger. – Manglende accept af finansiel risiko. – Adgang til finansiering blandt små og mellemstore virksomheder. – Projektfinansiering uforenelig med tidsbegrænsninger. – Forventet stigning i leveringstider. – Alternative materialeproducenter kan ikke konkurrere mod etablerede virksomheder.
Tekniske faktorer:	– Mangel på etablerede standarder og værktøjer. – Manglende beskrivelser af egenskaber. – Manglende afprøvning i fuld skala. – Lovgivningsmæssige begrænsninger. – Manglende tillid til entreprenørers evner til at håndtere alternative materialer. – Mangel på specialiserede færdigheder. – Utilstrækkelige forsyningskæder. – Lokal tilgængelighed af materialer og teknologier. – Svært at forsikre nye og genbrugte materialer.
Kognitive faktorer:	– Manglende praktisk viden om alternativer blandt praktikere. – Bygherrer mangler kendskab til alternativer. – Negative opfattelser blandt praktikere. – Negative opfattelser blandt bygherrer. – Nye alternativer opfattes upålidelige eller risikofyldte. – Opfattede bekymringer vedrørende materialekøb. – Politisk usikkerhed. – Betragtes som lav prioritet.

Ikke alle disse faktorer har en lige stor indflydelse på den manglende anvendelse af alternative byggematerialer. I en spørgeskemaundersøgelse har 47 respondenter fra den engelske byggebranche rangeret disse.

Her fremgår det, at det er en kombination af tekniske og holdningsmæssige forhold, der udgør den væsentligste barriere. Manglende viden om materialeegenskaber og udførelsesprincipper samt en negativ indstilling til alternative materialer og erfaret bekymring om forhold vedrørende holdbarhed m.m. er de udslagsgivende faktorer. Dette hænger blandt andet også sammen med et fravær af etablerede markedsstandarder, hvilket i al almindelighed betragtes som en væsentlig barriere mod innovation.

Samme respondenter har også forholdt sig til generelle barrierer vedrørende brugen af alternative materialer.

Her ses det, at det primært er høje omkostninger forbundet med alternative materialer, der opfattes som en barriere. Manglende lovgivning ses ikke som den væsentligste udfordring. I stedet for gentager mønstret sig med negative opfattelser, manglende viden og etableret praksis som forklaringsfaktorer.

Disse forhold betones også af respondenterne i interviewene. Vi har i Tabel 9 angivet de væsentligste pointer fra interviewene med hensyn til barrierer mod anvendelse af biogene materialer. Vi henviser til afsnit 26.3, *Barrierer mod anvendelse af biogene materialer*, for fuld gengivelse af alle svar med angivelse af barrierer på kort, mellemlangt og langt sigt, fordelt på de forskellige respondentkategorier.

Tabel 24. Barrierer mod anvendelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Identificerede barrierer**
Kultur:	– Biogene materialer tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter for sent. – Lavt kendskab til biogene materialers anvendelsesmuligheder. – Forskellige faglige opfattelser af, hvor biogene materialer er anvendelige.
Infrastrukturer:	– Lav interesse i at investere i forskning, der kan kvalificere biogene materialers egnethed. – Manglende undervisning i biogene materialer.
Teknologier:	– Manglende byggeteknisk forståelse mht. at bygge med nye biogene materialer.
Markeder og brugere:	– Biogene materialer har et dårligt image. – Ansvaret for at drive udbredelsen af biogene materialer er uklart og risikobehæftet. – Pris er en barriere.
Politikker:	– Bygningsreglement fremmer valg af traditionelle materialer.
Teknisk / videnskabelig viden:	– Manglende praktiske erfaringer med biogene materialer. – Utilstrækkelig dokumentation mht. nye biogene materialers tekniske egenskaber.
Industrinetværk:	– Virksomhedsspecifikke erfaringer med biogene materialer deles ikke.

På denne baggrund er spørgsmålet derfor, hvordan det er muligt at tilskynde til en omstilling til øget anvendelse af biogene materialer i byggebranchen. Dette er fokus i det efterfølgende afsnit.

26.1.11 Potentialer for omstilling til biogene materialer i byggebranchen

I dette afsnit opsummerer vi resultater fra udenlandske studier af anvendelsen af alternative materialer og sætter disse i relation til besvarelserne fra vores respondenter. Vi starter med at pege på drivkræfter bag valg af alternative materialer og udpeger muligheder for at reducere brugen af CO_2-intensive materialer. På denne baggrund optegner vi en karakteristik af,

hvordan den fremtidige omstilling forventes at forløbe, inden vi afslutningsvist skitserer et roadmap for omstillingen, der sammenfatter empiriske indsigter fra undersøgelsen med teoretiske overvejelser vedrørende tilrettelæggelse af samfundsmæssige omstillinger.

Muligheder for reduktion af brugen af CO_2-intensive materialer

En omstilling indebærer en øget udbredelse af en given nicheteknologi såvel som en rekonfiguration af elementer og relationer på regimeniveau vedrørende den nye teknologi. Dermed medfører en omstilling også, at allerede eksisterende teknologier substitueres, hvorfor det er relevant at betragte, hvilke muligheder der er for at reducere brugen af disse.

Giesekam et al. (2014) har undersøgt mulighederne for at reducere brugen af CO_2-intensive materialer og peger på følgende overordnede tilgange:

- Substitution af CO_2-intensive materialer i produktionen af fremherskende materialer
- Minimering af materialeforbrug gennem forbedret design og fremstilling
- Genbrug, genanvendelse og leasing af komponenter
- Adaptiv genbrug og forlængelse af levetider.

Fælles for disse tiltag er, at de i højere grad end fuld anvendelse og omstilling til brug af biogene materialer repræsenterer en mere inkrementel tilgang, der ikke radikalt udfordrer eksisterende design- og udførelsespraksisser eller markedsstrukturer. Tiltagene kan dog stadigvæk være vanskelige at implementere i praksis grundet fx holdningsmæssige eller kulturelle forhold.

Drivkræfter bag valg af alternative materialer i byggebranchen

Et næste skridt i en analyse af byggebranchens omstilling til anvendelse af biogene materialer er at betragte de drivkræfter, der understøtter øget anvendelse af alternative materialer. Giesekam et al. (2016) oplister i denne forbindelse flere faktorer, der påvirker beslutninger om anvendelse af udvalgte alternative materialer.

Her fremgår det, at anvendelse af alternative materialer først og fremmest er motiveret af en moralsk forpligtelse (eller personlig overbevisning) og dernæst af kravsstillelse og overholdelse af krav i forbindelse med certificeringsordninger, som fx DGNB, BREAM eller lignende. Det er med andre ord primært normative forordninger, der tilskynder til anvendelse af alternative materialer.

Når man betragter forventede fremtidige drivkræfter, er billedet dog et andet. På dette område er det i høj grad lovgivning, omkostningsreduktion af materialer og tekniske forhold vedrørende materialeegenskaber og designprincipper, der synes at blive styrende for en fremtidig øget anvendelse af alternative materialer.

Disse forhold betones også af respondenterne i den danske undersøgelse. Dette gennemgår vi i det efterfølgende afsnit vedrørende roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer.

Karakteristik af omstillingsvej

I litteraturen om sociotekniske transitioner udpeges ofte flere forskellige veje eller procesforløb, som en omstilling kan følge. Geels og Schot (2007) skitserer en typologi bestående af fire grundlæggende omstillingsveje:

1. Transformation
2. Rekonfiguration
3. Teknologisk substitution
4. Afkobling og tilpasning.

De fire omstillingsveje adskiller sig med hensyn til timingen og karakteren af interaktioner mellem processer og dynamikker på landskabs-, regime- og nicheniveau.

Hvad angår timingen af interaktionerne, er argumentet, at såfremt der er et stort landskabspres, samtidig med at der er modne eller udviklede nicheinnovationer, vil omstillingen forløbe anderledes, end hvis nicheinnovationerne endnu ikke er fuldt udviklede.

I tilfældet med biogene materialer står det klart fra empirien, at der til trods for tilstedeværelse af visse alternative materialer i overvejende grad er tale om endnu ikke fuldt udviklede alternativer, der har brug for yderligere udvikling og støtte, inden de kan vinde indpas som dominerende teknologier på regimeniveau, dvs. i branchen. Dette vender vi tilbage til i det efterfølgende afsnit om roadmap for omstilling til biogene materialer.

Det andet forhold, hvorpå de fire omstillingsveje adskiller sig, er karakteren af interaktioner. Her er den grundlæggende distinktion, hvorvidt landskabspres og nicheinnovationer understøtter eller udfordrer eksisterende regimedynamikker. Biogene materialer kan i denne sammenhæng ses som både konkurrerende teknologier, der sigter mod at erstatte eksisterende CO_2-intensive materialer, såvel som symbiotiske teknologier, der kan tilegnes inden for rammerne af den eksisterende regimekonfiguration til at løse lokale problemer og øge den miljømæssige performance af branchen.

Dette kan fx ses i forbindelse med anvendelse af udvalgte alternative materialer på bygningsdelsniveau (fx isolering eller akustikplader), hvor visse biogene materialer allerede for nærværende repræsenterer alternativer, der kan anvendes, uden at grænseflader til øvrige produkter eller bygningsdele skal modificeres.

Flere respondenter tilkendegav også, at der var et behov for at differentiere mellem anvendelsesmuligheder for de enkelte materialer hvad angår konkrete bygningsdele. Dette skal forstås således, at blot fordi et givent biogent materiale ikke umiddelbart er anvendeligt som generel substitut for et andet, traditionelt materiale, kan det stadigvæk tænkes, at det kan have en mere afgrænset eller specifik anvendelsesmulighed, hvor det kan tages i brug, uden at hele bygningsdele skal nytænkes. Dette peger på, at biogene materialer kan anvendes mere inkrementelt i samspil med eksisterende løsninger og over tid giver anledning til mere radikale innovationer, i takt med at erfaringer om fx holdbarhed indhentes og dokumenteres i byggeriets tekniske fælleseje.

Sammenfattende leder dette os til at konceptualisere omstillingen til biogene materialer som en såkaldt *rekonfigurationsproces*, hvor innovative løsninger, der er udviklet i nicher, indoptages på regimeniveau for at løse lokale problemer i specifikke projekter.

Disse innovative løsninger giver ikke indledningsvist anledning til ændringer af andre forhold i regimet, men kan efterfølgende udløse yderligere tilpasninger i regimets grundarkitektur, efterhånden som regimeaktører udforsker nye kombinationer mellem gamle og nye elementer og tilegner sig mere viden om innovationerne. Dette kan på længere sigt føre til tekniske ændringer eller ændringer i brugerpraksis, som skaber grobund for yderligere innovation og ændring.

Dette er en proces, som forløber over tid, og som vi i nærværende undersøgelse har inddelt i tre tidslige dimensioner: kort, mellemlangt og langt sigt. Dette skitserer vi i efterfølgende afsnit sammen med overvejelser om, hvordan denne omstilling kan forløbe.

26.2 Omstilling til biogene materialer i den danske byggebranche

I dette afsnit skitserer vi et roadmap for byggebranchens omstilling til biogene materialer. Vi starter med at opsummere de væsentligste resultater fra interviewene med hensyn til tiltag,

der kan tages i anvendelse for at fremme anvendelse af biogene materialer. Dernæst præsenterer vi en rammeforståelse for, hvordan omstillingsprocesser kan tilrettelægges. Afslutningsvist kombinerer vi resultaterne fra interviewene med denne rammeforståelse i et roadmap for omstilling til biogene materialer.

26.2.1 Tiltag til understøttelse og anvendelse af biogene materialer

I interviewene med respondenterne spurgte vi ind til, hvilke tiltag der vil understøtte anvendelse af biogene materialer i byggeriet. Disse fremgår i opsummeret form i de følgende tabeller, hvor vi har opsummeret tiltagene på kort, mellemlangt og langt sigt. Vi henviser til afsnit 26.4, *Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer*, for fuld gengivelse af alle svar fordelt på respondentkategorierne.

Tabel 25. Udvalgte tiltag på kort sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på kort sigt**
Kultur:	– Biogene materialer skal tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter tidligt. – Eksempler på god arkitektur med brug af biogene materialer skal udfærdiges.
Infrastrukturer:	– Oplysning om biogene materialer på byggeriets uddannelser.
Teknologier:	– Tilgængelig viden om materialer og identificering af anvendelsesområder.
Markeder og brugere:	– Behov for professionalisering af kravstillere. – Virksomheder skal tænke biogene materialer som konkurrencemæssig fordel. – Pris skal opgøres efter en helhedsbetragtning, hvor totaløkonomi og værdier som fx kulstoflagring, muligheder for genbrug mv. tages med i opgørelserne.
Politikker:	–
Teknisk / videnskabelig viden:	– Rådgivere og udførende skal opsøge viden om biogene alternativer til konventionelle byggematerialer. – Mere og bedre dokumentation af biogene materialer.
Industrinetværk:	– Løbende erfaringssamling og dokumentation af biogene materialers egnethed.

Tabel 26. Udvalgte tiltag på mellemlangt sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	**Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på mellemlangt sigt**
Kultur:	– Biogene materialer ska dis-associeres med økologisk selvbyggeri.
Infrastrukturer:	– Forsøg med biogene materialer på byggeriets uddannelser og sikring af byggefaglige kompetencer.
Teknologier:	– Produktdifferentiering: Biogene materialer, der ikke kan dokumentere en lang levetid, kan eventuelt bruges i bygninger med kort levetid, fx pavilloner. – Flere præaccepterede løsninger, som kan bruges på tværs af faggrænser.
Markeder og brugere:	– En øget udbredelse af biogene materialer vil potentielt gøre biogene produkter billigere (stordriftsfordele).
Politikker:	– Gennemførelse af forsøgsbyggerier med brug af biogene materialer. – De offentlige bygherrer skal gå forrest.
Teknisk / videnskabelig viden:	– Producenter skal dokumentere egnetheden af nye biogene materialer. – Veldokumenterede løsninger skal indlemmes i det almene tekniske fælleseje.
Industrinetværk:	– Brancheorganisationer skal vise interesse for biogene materialer. – Hvis potentialet for biogene materialer i byggebranchen skal indfries, kræver det, at branchen udveksler viden og erfaringer herom.

Tabel 27. Udvalgte tiltag på langt sigt til understøttelse af biogene materialer, jf. interviews.

Dimension	Udvalgte tiltag til fremme af biogene materialer på langt sigt
Kultur:	– Virksomheder skal tilegne sig viden om og udvikle praksisser, som gør dem i stand til at projektere og bygge med biogene materialer.
Infrastrukturer:	– Omstilling af eksisterende byggepraksis gennem uddannelserne.
Teknologier:	– Fortsat udvikling af nye produkter og løsninger
Markeder og brugere:	– Biogene materialer er konkurrencedygtige alternativer.
Politikker:	– Når biogene materialer og byggetekniske løsninger har vist deres værd over en længere periode, kan en fuld implementering om nødvendigt understøttes gennem ændringer i gældende byggelovning og regler vedrørende bygningsarbejder.
Teknisk / videnskabelig viden:	– Viden om, hvilke skader, fejl og mangler biogene materialer kan føre med sig, og hvordan de forebygges og behandles, skal dokumenteres over en årrække. – Der skal produceres viden om, hvordan biogene materialer skal driftes, udskiftes, vedligeholdes og bortskaffes.
Industrinetværk:	– Oprettelse af netværk/foreninger om biogene materialer.

26.2.2 Strategic niche management som ramme for omstillingsprocesser

Til strukturering af roadmappet for omstillingen til biogene materialer har vi søgt inspiration i litteraturen vedrørende *strategic niche management* (SNM) som beskrevet af bl.a. Kemp et al. (1998) og Schot og Geels (2008). SNM tilbyder et praksis-policy-orienteret perspektiv på, hvordan en teknologisk omstillingsproces kan tilrettelægges.

Formålet med SNM er at bidrage til at artikulere nødvendige ændringer i teknologi og institutionel kontekst med henblik på at sikre og stimulere den fortsatte udvikling af teknologierne i en given kontekst. Dette omhandler forhold vedrørende:

- Teknologiens opfattede værdi
- Hvordan en støttekreds omkring en teknologi/et produkt kan opbygges
- Hvilke 'strukturelle' bindinger der eksisterer for innovation.

SNM fokuserer i denne forbindelse på spørgsmål om, hvordan det er muligt at skabe og lede teknologiske nicher. Antagelsen er således, at det er muligt for toneangivende aktører at bidrage til nicheudvikling ved at opsætte en række eksperimenter med et udvalg af nye teknologier. Sådan en proces består ifølge Kemp et al. (1998) af fem skridt eller elementer:

- Valg af teknologi
- Udvælgelse af eksperiment
- Opstilling af eksperiment
- Skalering af eksperiment
- Nedbrydelse af beskyttelse.

Disse gennemgås efterfølgende, og udvalgte dilemmaer i forbindelse med processen beskrives.

Valg af teknologi

Valg af teknologi omfatter overvejelser om, hvilke teknologier der er velegnede til støtte gennem SNM. Udgangspunktet er, at teknologierne skal eksistere uden for det eksisterende etablerede regime, men være relevant for at afhjælpe et socialt problem til en omkostning, der ikke er afskrækkende høj. I tilgift skal der være et fortsat teknologisk udviklingspotentiale til stede og udsigt til et stigende afkast ved brugen af den. Ydermere skal teknologien være

konsistent med gældende organisationsformer og være kompatibel med brugerbehov og værdier. Slutteligt skal den være attraktiv som substitut i specifikke situationer, hvor eventuelle ulemper ved den nye teknologi opvejes af dens fordele.

Interviewene med respondenterne peger på tre forhold, der er særligt vigtige i forbindelse med dette første skridt. For det første er der et behov for i det hele taget at kortlægge biogene alternativer til traditionelle materialer. Dette er ikke kun en teknisk udfordring. Det er også nødvendigt at afdække eksisterende design- og udførelsespraksisser, idet disse anses som en væsentlig barriere for anvendelsen. Endvidere skal der tidligt arbejdes med at synliggøre de økonomiske forhold vedrørende biogene materialer, da valg heraf i høj grad synes at bero på overvejelser om de økonomiske vilkår ved brug af biogene materialer sammenlignet med traditionelle materialer. Økonomiske forhold dækker i denne forbindelse over pris i en helhedsbetragtning, hvor totaløkonomi og værdier som fx CO_2-indlejring, muligheder for genbrug mv. tages med i opgørelserne.

Udvælgelse af eksperiment

Det næste skridt i SNM-processen er udvælgelsen af eksperiment, dvs. valg af den 'setting', i hvilken den nye teknologi forventes anvendt og dermed skal afprøves. Dette indebærer overvejelser vedrørende den specifikke applicering af teknologien (fx på bygningsdelsniveau) eller det markedssegment, hvor teknologien kan anvendes (fx renovering/nybyggeri eller parcelhus-/etagebyggeri). Ideen i SNM er, at heterogeniteten af selektionsmiljøer medfører, at der næsten altid findes områder eller typer af applicering, for hvilken den ny teknologi er relevant. Dette betyder med andre ord, at der altid er så mange mulige segmenter eller anvendelsesmuligheder, at det er muligt at teste en given teknologi i mindst én sammenhæng.

Her peger analysen på, at der er behov for at starte med at specificere bygningsdele eller anvendelsesområder for biogene materialer, da ikke alle materialer nødvendigvis er anvendelige i alle sammenhænge, men at de stadig kan være brugbare i andre, mere snævert definerede sammenhænge. Endvidere skal specifikke markedssegmenter specificeres. Der synes i høj grad at være behov for at (offentlige/professionelle) bygherrer tager teten, hvorfor der indledningsvist skal arbejdes med disse segmenter. Slutteligt skal kompetencebehov, risici og forsikringsvilkår kortlægges indledningsvist. Interviewene pegede således på, at teknisk dokumentation ikke er tilstrækkeligt, men at der også er behov for, at udførende og håndværkere er klædt på til at arbejde med de nye materialer. Også risici og forsikringsvilkår skal klarlægges, hvis arbejdet med nye materialer ikke skal strande på disse forhold.

Opstilling af eksperiment

Tredje skridt er opstilling af eksperimentet. Det er her, den konkrete afprøvning finder sted. Dette skridt beskrives af Kemp el al. (1998) som det nok sværeste skridt, da der skal findes den rette balance mellem udvælgelsespres og beskyttelse. Beskyttelse dækker i denne sammenhæng over de tiltag, som nicheudviklerne gør sig med henblik på at beskytte egen teknologi fra påvirkninger fra regimet. Her består udfordringen i at beskytte teknologien i tilstrækkelig grad med henblik på at udforske dens potentiale tilstrækkeligt, samtidig med at der stadigvæk samles erfaringer og feedback fra potentielle brugere af den. Udvælgelsespres omhandler pres fra eksterne interessenter. Her består udfordringen i at sikre, at teknologien 'trykprøves' med hensyn til de krav og vilkår, der eksisterer på regimeniveau, uden at dette leder til, at nicheudviklerne fjerner det potentielt innovative element og forfalder til en konventionel løsning.

Et gennemgående tema i interviewene var et oplevet behov for at iværksætte en række demonstrationsprojekter til afprøvning af anvendelsen af biogene materialer. Til dette formål er der behov for samarbejde med testcases og producenter af biogene materialer, så både

byggeprincipper og materialeudvikling modnes samtidigt. Gennemførelse af demonstrationsprojekter kræver også udvikling af en standard for afprøvning og erfaringsopsamling med henblik på at sikre et ensartet grundlag for udvikling. Et centralt element i afprøvningen er også at sikre bygbarhed og kompetenceudvikling blandt de udførende fag og at have fokus på at afprøve og fastlægge risiko- og ansvarsforhold.

Skalering af eksperiment

Fjerde skridt i processen er at opskalere eksperimentet. Argumentet her er ifølge Schot & Geels (2008), at enkeltstående projekter eller afprøvninger ikke er tilstrækkelige med henblik på at sikre udbredelse. I SNM er det således en forudsætning, at der udvikles en såkaldt *global niche*, i hvilken aktører på tværs af lokale projekter udveksler erfaringer og udvikler fælles opfattelser, modeller, regler m.m.

Globale nicher spiller en central rolle i forbindelse med etablering af en teknologisk udviklingsbane, med hvilket forstås en serie af på hinanden følgende teknologiske designløsninger, som danner et innovativt udviklingsmønster, hvor teknologien gradvist tilpasses og raffineres, så den kontinuerligt opfattes som mere velegnet til at løse et givent problem (Clausen, 2009: 71).

Politikinstrumenter står centralt i arbejdet med at etablere en global niche. Selv et succesfuldt eksperiment eller en succesfuld teknologi har ifølge Kemp et al. (1998) ofte brug for politisk opbakning for at klare sig i konkurrencen med andre etablerede teknologier. Politikinstrumenter dækker i dette henseende over en lang række virkemidler, som kan tages i brug. Vedung (2017) skitserer tre grundlæggende forskellige virkemidler. Disse er:

- Regulering (fx lovgivning, tvang etc.)
- Incitamenter (fx økonomisk tilskud, branding etc.)
- Information (fx uddannelse, kurser etc.).

Centralt i interviewene var behovet for at dokumentere egenskaber og udforme standardløsninger, som branchens øvrige parter kan anvende med henblik på at reducere usikkerhed, og dermed transaktionsomkostninger i forbindelse med anvendelse af biogene materialer. Et andet vigtigt instrument er etableringen af netværk for erfaringsudveksling, herunder producentnetværk til at sikre spredning af information på brancheniveau. Slutteligt blev behovet for synliggørelse af krav vedrørende CO_2-udledning og besparelse ved anvendelse af biogene materialer fremhævet i denne forbindelse.

Nedbrydelse af beskyttelse

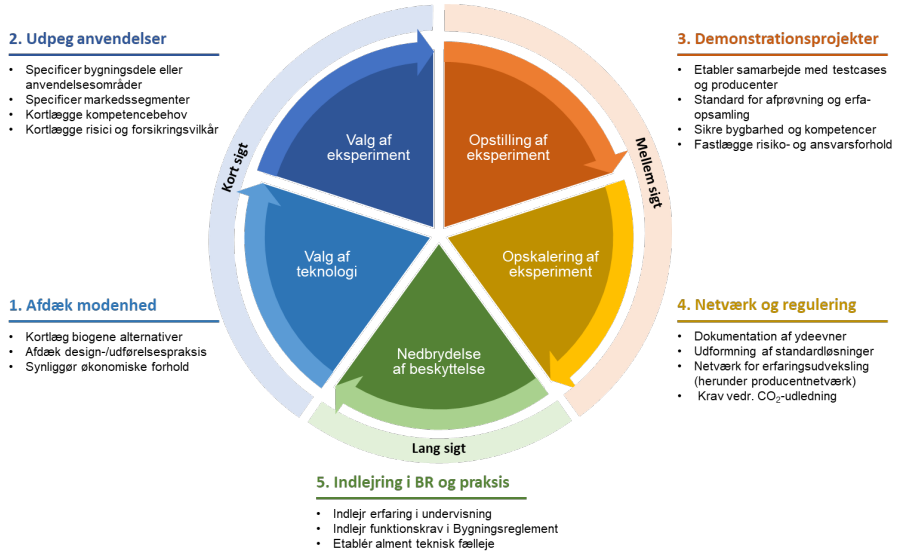
Det sidste skridt i processen er at nedbryde beskyttelsen af/omkring teknologien. Dette er typisk et skridt, der tages, enten når (1) den nye teknologi har vundet indpas som den dominerende teknologi i regimet, (2) de konkrete resultater viser sig skuffende, eller (3) udsigterne til fremtidig anvendelse er uklare.

Her blev der peget på behovet for at indlejre erfaringer i undervisningen, fx på byggetekniske uddannelser, samt i form af krav i bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen, 2021). Et meget vigtigt element er i denne forbindelse også at have det fornødne almene tekniske fælleseje til at understøtte den fremtidige anvendelse af biogene materialer.

26.2.3 Roadmap for omstilling til biogene materialer

Dette afsnit opsamler resultaterne fra undersøgelsen og sætter disse i relation til rammeforståelsen for strategic niche management med henblik på at udarbejde et tentativt roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer. Dette er vist i Figur 66 nedenfor.

I roadmappet har vi indplaceret centrale tiltag fra interviewundersøgelsen i de fem skridt, som Kemp et al. (1998) skitserer i deres gennemgang af strategic niche management.



Figur 66. Roadmap for byggeriets omstilling til biogene materialer.

Der skal her bemærkes, at skridt 1 og 2 er kortsigtede handlinger, medens skridt 3 og 4 repræsenterer tiltag, der kan iværksættes på mellemlangt sigt. Femte skridt, nedbrydelse af politikker, er tiltag, der iværksættes på langt sigt ved fuld anvendelse af biogene materialer i den danske byggebranche.

26.3 Barrierer mod anvendelse af biogene materialer

Tabel 28. Barriere mod anvendelse af biogene materialer.

Dimension	**Problemstilling**	**Barrierer**		
		Kort sigt (1-2 år)	Mellemlangt sigt (mellem de to)	Langt sigt (fremtiden)
Kultur:	Manglende kendskab til biogene materialer i branchen	– Begreberne "alternative" og "bæredygtige", hvor betegnelsen biogene materialer hører under, afskrækker branchen fra at investere tid i løsningerne. – Der er for mange fordomme om anvendelsen og potentialerne ved brugen af biogene materialer i byggeriet, som holder branchen fra at undersøge mulighederne ved materialerne.	– Manglende standardløsninger med biogene materialer, der gør det muligt for branchen at overskue brugen af dem i de rette sammenhænge. – Ændre praksis for, hvordan forskning, vidensinstitutioner og regler inden for byggeri formidler materialer i deres standardløsninger og eksempler, som fx isolering, der ikke længere skal vises ved en gul streg, men med en mere neutral farve, der afspejler de forskellige materialer på markedet.	– Forgår de biogene materialer, der indbygges i en konstruktion, hurtigere end de traditionelle materialer, eller holder de kortere tid end den omkringværende konstruktion, uden at der findes en måde at udskifte materialet på, fravælges det af bygherren.
	Biogene materialer tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter for sent	– Rådgivere har ikke tilstrækkeligt kendskab til biogene alternativer til konventionelle materialer, hvorfor de ikke tilvælges. – Udførende undersøger kun i ringe grad, hvorvidt biogene alternativer findes på markedet, og fravælger biogene materialer, hvis ikke de er afprøvede og dokumenterede.	– Manglende præaccepterede byggbare løsninger, hvor biogene materialer indgår.	– Sammenhængen mellem valg af et nyt biogent materiale og en byggeskade synliggøres potentielt først mange år senere.

	Lavt kendskab til biogene materialers anvendelsesmuligheder	–	Manglende oversigt over, hvor biogene materialer kan erstatte "konventionelle" materialer 1:1. – Biogene materialer (såsom hampebeton) har tekniske egenskaber, der varierer fra konventionelle materialer, og sætter derved nye betingelser for anvendelsen af dem.	–	Mange biogene materialer er relativt ukendte og uafprøvede, hvilket er forbundet med særlige risici hos rådgiver og entreprenør. – Hvis biogene materialer skal plastres ind i gips eller imprægneres med sundhedsskadelige væsker for at overholde regler inden for byggeri, er tilvalg af dem mindre attraktivt.	–	Stor udbredelse og forkert anvendelse kan have fatale konsekvenser.
	Forskellige faglige opfattelser af, hvor biogene materialer er anvendelige	–	Arkitekter tænker ofte biogene materialer ind som beklædning. – Ingeniører tænker ofte biogene materialer ind i de bærende konstruktioner.				
Infrastrukturer:	Manglende interesse for og viden om de biogene materialer	–	Interessen for biogene materialer skal vækkes gennem krav fra bygherren eller fra politiske initiativer. – Vidensgrundlaget, der skal bygges videres på i uddannelsen af byggeriets aktører, skal komme fra etableret forskning i biogene materialer. – Manglende "frontfigur" for udbredelsen af biogene materialer i byggeriet. – Manglende test, målinger og erfaringer med brugen af biogene materialer, der kan omsættes til udvikling af fremtidens kompetencer.	–	De biogene materialer skal være efterspurgt af branchen, før de implementeres i udviklingen af byggeriets fremtidige uddannelsesgrundlag. – Lang vej fra kravsstillelse (bygherre og politisk) til udbredelse i branchen og endelig til efterspørgslen af nye kompetencer og viden inden for biogene materialer. – Skal uddannelsesinstitutionerne være frontløbere på udbredelsen af de biogene materialer, eller skal de "samle op" på udviklingen og sikrer fremtidens kompetencer. – Manglende test, målinger og erfaringer med brugen af biogene materialer, der kan omsættes til udvikling af fremtidens kompetencer.	–	Det tager lang tid, og der er et omfattende forarbejde i at omskole en hel branche i anvendelsen af biogene materialer. – Udbredelsen i brugen af biogene materialer i byggeriet gennem kompetencer fra nyuddannede vil tage mange år og er ikke en forudsætning for, at de nyuddannedes viden accepteres i branchen.
	En fuld udbredelse af biogene materialer udfordrer designet og udførslen af byggerierne	–	Byggeriet skal gå fra at se brugen af biogene materialer i bygningens konstruktioner som begrænsninger og i stedet se det som en mulighed for fleksibilitet og individualitet	–	Byggeriet skal gå fra at tænke i de vante designløsninger med elementer af beton og tegl, til i stedet at arbejde med biogene materialer som træ og strå. Dermed skal nogle af de mest etablerede og veludviklede løsninger både inden for design og udførelse udskiftes.	–	De biogene materialers egenskaber og begrænsninger bliver styrende for bygningsdesignet.
	Lav interesse i at investere i forskning, der kan kvalificere biogene materialers egnethed	–	Producenter af biogene materialer tøver med at investere i forskning, der kan kvalificere deres produkter.				
Teknologier:	Manglende viden om biogene materialer og deres anvendelsesmuligheder i byggeriet	–	Manglende forskning og interesse i biogene materialer får produkterne til at virke utroværdige og overses derfor af branchen. – Produkterne af biogene materialer finder kun udbredelse hos den del af branchen, der allerede har en interesse for at beskæftige sig med bæredygtige løsninger.	–	Manglende test, afprøvning og formidling af egenskaberne, løsningerne og mulighederne ved brugen af biogene materialer.	–	Manglende præaccepterede løsninger for brugen af biogene materialer i konstruktioner får branchen til at fravælge materialerne og i stedet ty til de traditionelle løsninger.
	Manglende enighed om, hvem der skal lede udbredelsen af viden om biogene materialer i byggeriet	–	Uenighed om, hvorvidt udbredelsen af viden om biogene materialer skal komme fra producenterne, fra forskning eller fra lovgivning.	–	Manglende fællesskab og fælles retningslinjer for producenterne af biogene materialer svækker materialernes muligheder for udbredelse i byggeriet.		

	Manglede kompetencer og tiltro til brugen af biogene materialer	–	Entreprenørerne har ikke tiltro til de nye materialer og følger derfor ikke producentens anvisninger for brugen af materialet, men bruger i stedet de vante metoder (fx monteres dampspærre, selvom producentens anvisning ikke foreskriver dette).	–	Der mangler standardløsninger, der viser brugen af biogene materialer, også i sammenspil med mere traditionelle byggemetoder og materialer.	– Manglende erfaringsopsamling for egenskaber, levetider og udskiftning svækker bygherrens, rådgivernes og entreprenørernes tiltro til brugen af biogene materialer.
Markeder og brugere:	For høje omkostninger ved at bygge med biogene materialer	–	Det er dyrere at bygge med biogene materialer end med traditionelle materialer, og det afholder bygherren fra at vælge de nye materialer.	–	Overgangen til brugen af biogene materialer kan ikke alene trækkes af enkelte og ofte mindre aktører i byggeriet.	– Materialer som beton og stål skal være forbeholdt de konstruktionstunge eller stærkt miljøpåvirkede byggerier, og biogene materialer skal i stedet blive en del af de "traditionelle" løsninger.
	Pris er en barriere	–	Biogene materialer er dyrere i indkøb end konventionelle materialer.	–	Det er omkostningstungt for virksomheder at omstille eksisterende praksisser til nye.	– Biogene materialer er et dyrere valg for bygherren, fordi der ved rådgivere og udførende er usikkerhed og risiko forbundet med nye biogene materialer.
	Biogene materialer har et dårligt image	–	Biogene materialer bliver af mange bygherrer associeret med byggeri udført af selvbyggere efter en økologisk tankegang, og det er der mange bygherrer der ikke ønsker			
Politikker:	Manglende politisk interesse forsinker processen med at udbrede biogene materialer	–	Manglende interesse for potentialerne ved biogene materialer og alternative byggemetoder, i politisk støttede brancheudgivelser, svækker betydningen af omstillingen i byggeriet.	–	Behov for regulering af CO_2-udledningen på materialer i byggeriet.	– Manglende funktionskrav i bygningsreglementet.
Teknisk / videnskabelig viden:	Manglende praktiske erfaringer og dokumentation af biogene materialer	–	Der findes ingen erfaringsblade (BYG-ERFA) om biogene materialer, da der mangler praktiske erfaringer – de praktiske erfaringer lader vente på sig, da biogene materialer bliver fravalgt grundet manglende erfaringsblade (hønen eller ægget-dilemma).	–	Potentialerne med at udskifte konventionelle materialer med biogene materialer kræver en fortsat udvikling af skoleeksempler til praktiske eksempler.	– Tilstrækkelig dokumentation og læring af eventuelle nye praksisser forbundet med anvendelsen af biogene materialer tager 8-10 år.
		–	Manglende kendskab til, hvor biogene materialer kan erstatte "konventionelle" materialer 1:1.			
	Ansvaret for at drive udbredelsen af biogene materialer er uklart og risikobehæftet	–	Bygherrer tøver med at efterspørge biogene materialer.			– Der er ingen private virksomheder, der har økonomiske interesser i at undersøge, hvilke skader, fejl og mangler biogene materialer eventuelt fører med sig, og hvordan de forebygges, undgås eller behandles.
		–	Producenter mangler testcases.			
		–	Arkitekter mangler kendskab.			
		–	Udførende mangler praktiske erfaringer.			
	Manglende byggeteknisk forståelse mht. at bygge med nye biogene materialer	–	Bygherrer, rådgivere og udførende fravælger biogene materialer pga. få erfaringer og derved en øget usikkerhed og risiko forbundet med anvendelse af dem.	–	Frygt for at bygge nye, hidtil ukendte problemer ind i bygningen.	– Utilstrækkeligt kendskab til, hvordan biogene materialer skal driftes, udskiftes, vedligeholdes og bortskaffes.

	Utilstrækkelig dokumentation mht. nye biogene materialers tekniske egenskaber	– Manglende kendskab til biogene materialers brandtekniske egenskaber. – Manglende kendskab til biogene materialers holdbarhed under omskiftelige vejrforhold (herunder fugtpåvirkninger). – Tvivl blandt rådgivere og udførende om, hvorvidt biogene materialer opfylder gældende regler inden for byggeri (fx i forhold til støj og akustik).	– Manglende forhistorie om biogene materialer (hvor kommer materialer fra, og er de egnet til byggeri?). – Manglende kendskab til, hvordan nye biogene materialer reagerer i grænsefladerne til andre materialer.	– Manglende dokumentation af biogene materialers livstidseffekt.
Industrinetværk:	Virksomhedsspecifikke erfaringer med biogene materialer deles ikke	– Når bæredygtighed er et konkurrenceparameter, holder virksomheder erfaringer med biogene materialer internt.	– Deling af erfaringer med brug af biogene materialer kan på sigt svække virksomheders konkurrenceevne.	– Manglende erfaringsudveksling med brug af biogene materialer bremser udbredelsen af dem.

26.4 Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer

Tabel 29. Tiltag til fremme af anvendelse af biogene materialer.

Dimension	**Problemstilling**	**Tiltag**		
		Kort sigt (1-2 år)	Mellemlangt sigt (mellem de to)	Langt sigt (fremtiden)
Kultur:	Sikre viden om mulighederne ved brugen af biogene materialer	– Sikre en fælles forståelse for begrebet "biogene materialer" i byggeriet og arbejde med begrebet inden for standardløsninger frem for "alternative" og "bæredygtige" løsninger. – Undersøge, hvad man gjorde førhen. Hvilke designløsninger med biogene materialer som træ og strå der tidligere er anvendt. – Undersøge mulighederne for at erstatte traditionelle materialer med biogene materialer, der hvor det giver mening.	– Se på de samlede konstruktioners egenskab frem for de enkelte materialers. – Designe byggerier, så de er bedre tilpasset de individuelle materialers egenskaber og levetider.	– Sikre standardløsninger for byggeri med biogene materialer. – Sikre eksempler på vellykkede byggerier med biogene materialer, både arkitektonisk og kvalitetsmæssigt.
	Biogene materialer tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter for sent	– Biogene materialer skal tilvælges og tænkes tidligere ind i byggeprojekter, end det sker i dag. – Rådgivere skal opsøge viden om biogene alternative til konventionelle byggematerialer. – Udførende skal undersøge, hvorvidt konventionelle byggematerialer kan erstattes af biogene materialer, uden at dette vil føre dårligdomme med sig.	– Virksomheder skal opbygge erfaringer med brug af biogene materialer, og gode, veldokumenterede løsninger skal indlemmes i byggeriets almene tekniske fælleseje. – Præaccepterede løsninger med biogene materialer bør udvikles.	– Viden om, hvilke skader, fejl og mangler biogene materialer fører med sig, og hvordan de forebygges, undgås og behandles, skal dokumenteres over en længere årrække.
	Forskellige faglige opfattelser af hvor biogene materialer er anvendelige	– Tidlig afklaring mellem bygherre, rådgivere og udførende mht. tilvalg eller fravalg af biogene materialer og løsninger	– Flere præaccepterede løsninger, som kan bruges på tværs af faggrænser.	
Infrastrukturer:	Biogene materialer som en del af undervisningen	– Oplysning om biogene materialer på uddannelserne i alle led af byggeriet, lige fra arkitekten og ingeniøren til håndværkeren og byggelederen – Inddrage forskning, erhvervslivet og andre professioner i uddannelsen af de enkelte aktører i branchen, for at sikre forståelsen for andres kompetencer for arbejdet med biogene materialer	– Forsøg og afprøvning af biogene materialer skal bidrage med praksiserfaringer til udviklingen af byggeriets nuværende og fremtidige kompetencer. – Udvikling og sikring af de traditionelle håndværksfag, der skal besidde kompetencerne til at bygge med biogene materialer (træ, strå m.m.)	– Indlejring af ny viden om biogene materialer i byggeriets eksisterende praksisser gennem uddannelse og kompetenceudvikling.

				– Arbejde med en større frihed i valget af designløsninger og materialevalg for at sikre de studerendes brede kendskab til mulighederne inden for alternative løsninger.	
	Lav interesse i at investere i forskning, der kan kvalificere biogene materialers egnethed	– Producenterne af biogene materialer bør investere i at få livstidseffekt mv. dokumenteret.		– De offentlige bygherrer kunne eventuelt gå forrest.	
Teknologier:	Udbredelse og udvikling af biogene materialer i byggeriet	– Etablér netværk for producenter og leverandører af bæredygtige løsninger til byggeriet, der som en samlet enhed kan påvirke branchen og dele erfaringer. – Mere forskning i biogene materialer og materialernes anvendelsesområder.		– Fortsat udbredelse af kendskabet til biogene materialer og deres anvendelsesmuligheder. – Regulering af CO_2-udledning på byggematerialer skal være med til at sikre interessen og tilvalget af biogene materialer. – Sikre byggeriets kompetencer for design og arbejdet med biogene materialer. – Støtte til afprøvning af biogene materialer, så ingen skal være forsøgskanin på vegne af hele branchen.	– Fortsat udvikling af biogene materialer. – Sikre præaccepterede løsninger for byggeri med biogene materialer. – Behov for mere neutrale forskrifter og håndbøger, hvor der er større frihed i valget af afprøvede materialer. – Sikre gode eksempler på byggerier med biogene materialer.
	Lavt kendskab til biogene materialers anvendelsesmuligheder	– Producenterne skal være bedre til at redegøre for biogene materialers muligheder og begrænsninger. – Rådgivere og udførende skal dele erfaringer om brugen af biogene materialer og løsninger.		– Biogene materialer, der ikke kan dokumentere en lang levetid, kan eventuelt bruges i bygninger med kort levetid, fx pavilloner.	
Markeder og brugere:	Pris er en barriere	– Pris skal opgøres efter en helhedsbetragtning, hvor totaløkonomi såvel som andre værdier (fx CO_2-indlejring, muligheder for genbrug mv.) taget med i opgørelserne.		– En øget udbredelse af biogene materialer vil potentielt gøre biogene produkter billigere (stordriftsfordele). – En øget anvendelse af biogene materialer hos rådgivere og udførende vil potentielt gøre materialerne billigere at arbejdet med grundet et øget indgående kendskab til materialernes tekniske egenskaber.	
	Virksomhedsspecifikke erfaringer med biogene materialer deles ikke	– Virksomheder kan bruge viden om biogene materialer og byggetekniske løsninger til at opnå konkurrencemæssige fordele ved udbud, hvor bygherrer efterspørger bæredygtighed.			
	Biogene materialer har et dårligt image	– Eksempler på god arkitektur med brug af biogene materialer skal udfærdiges.		– Bygherrer og virksomheder i branchen skal over tid påvise, at det er muligt at bygge med biogene materialer, uden at det associeres med byggeri udført af selvbyggere efter en økologisk tankegang.	

Politikker:	Fuld anvendelse af biogene materialer kan kun sikres gennem statslig eller EU-kravsstillelse, der er gældende for hele branchen.		– Hvis potentialet for biogene materialer i byggebranchen skal indfries, kræver det, at branchen udveksler viden og erfaringer herom. – Hvis erfaringer med biogene materialer deles med branchen, vil efterspørgslen på biogene materialer med sandsynlighed stige (dvs. øget kendskab øger efterspørgslen). – Når biogene materialer er afprøvet og dokumenteret tilstrækkeligt, kan erfaringerne indlemmes i det almene tekniske fælleseje.	– Når biogene materialer og byggetekniske løsninger har vist deres værd over en længere periode, kan en fuld implementering om nødvendigt understøttes gennem ændringer i gældende byggelovning og regler vedrørende bygningsarbejder.
Teknisk / videnskabelig viden:	Manglende praktiske erfaringer og dokumentation af biogene materialer	– Der skal ske løbende erfaringssamling og dokumentation af biogene materialers egnethed i forskellige byggetekniske sammenhænge.	– Forslag om at gennemføre forsøgsbyggerier med brug af biogene materialer. – Der skal udarbejdes erfaringsblade (BYG-ERFA) om anvendelse af biogene materialer. – Producenter bør i højere grad dokumentere egnetheden af nye biogene materialer.	– Virksomheder skal tilegne sig viden om og udvikle praksisser, som gør dem i stand til at projektere og bygge med biogene materialer.
	Biogene materialer tilvælges og tænkes ind i byggeprojekter for sent	– Biogene materialer skal tilvælges og tænkes tidligere ind i byggeprojekter, end det sker i dag. – Rådgivere skal opsøge viden om biogene alternative til konventionelle byggematerialer. – Udførende skal undersøge, hvorvidt konventionelle byggematerialer kan erstattes af biogene materialer, uden at dette vil føre dårligdomme med sig.	– Virksomheder skal opbygge erfaringer med brug af biogene materialer, og gode, veldokumenterede løsninger skal indlemmes i byggeriets almene tekniske fælleseje. – Præaccepterede løsninger med biogene materialer bør udvikles.	– Viden om, hvilke skader, fejl og mangler biogene materialer fører med sig, og hvordan de forebygges, undgås og behandles, skal dokumenteres over en længere årrække.
	Ansvaret for at drive udbredelsen af biogene materialer er uklart og risikobehæftet	– Producenter skal være bedre til at dokumentere egnetheden af biogene materialer. – Rådgivere og entreprenører skal være bedre til at overveje brug af biogene materialer på bekostning af mere konventionelle materialer.	– Brancheorganisationer og organisationer, der producerer alment teknisk fælleseje skal i højere grad vise interesse for biogene materialer og løsninger.	
Industrinetværk:	Manglende byggeteknisk forståelse mht. at bygge med nye biogene materialer	– Der skal udarbejdes beskrivelser af, hvordan nye biogene materialer kan udskiftes, i tilfælde af at de knækker, revner eller på anden vis går i stykker.	– Virksomheder skal tilegne sig viden om biogene materialer og praktiske erfaringer mht., hvordan biogene materialer kan anvendes.	– Der skal produceres viden om, hvordan biogene materialer skal driftes, udskiftes, vedligeholdes og bortskaffes.
	Utilstrækkelig dokumentation mht. nye biogene materialers tekniske egenskaber	– Producenter af biogene materialer skal i stigende grad producere dokumentation, der kan kvalificere biogene materialer.	– Brancheorganisationer og organisationer, der producerer alment teknisk fælleseje, skal fremadrettet fokusere mere på at formidle erfaringer med biogene materialer.	

27

RETTIGHEDER

27 RETTIGHEDERRETTIGHEDER

Følgende har været ansvarlige for at indhente tilladelser til foto og figurer.

Det Kongelige Akademi - Arkitektur, Design, Konservering
Forside (Figur 26), Illustration til pressemeddelelse (Figur 26), Figur 13 til venstre akustikpanel af ålegræs fra Søuld, Figur 21, Figur 22, Figur 23, Figur 24, Figur 25, Figur 26, Figur 27, Figur 28, Figur 29, Figur 30, Figur 31, Figur 33, Figur 34 (alle 3), Figur 36, Figur 37, Figur 38, Figur 39, Figur40, Figur 41, Figur 42, Figur43, Figur 44, Figur 45, Figur 46, Figur 47, Figur 48, Figur 49, Figur 50, Figur 51, Figur 52, Figur 53, Figur 54, Figur 55, Figur 56 samt alle Fotos og illustrationer i Bilag 19.

Københavns Universitet
Figur 3, Figur 32.

Aarhus Universitet
Figur 7, Figur 9, Figur 10, Figur 11, Figur 12, Figur 13 til højre af tangtag på hus på Læsø og Figur 14.

Aalborg Universitet, BUILD
Figur 8, Figur 35, Figur 59 Figur 66.

Biogene materialers anvendelse i byggeriet

I denne rapport behandles biogene materialers mulige anvendelse i byggeriet i Danmark. Biogene materialer er i denne sammenhæng fx etårig biomasse som hør og strå, flerårig biomasse som træ eller marine ressourcer som ålegræs, tang og skaller fra rejer og muslinger. Materialerne og deres mulige vækst, høst og anvendelse med henblik på at fremstille byggematerialer vurderes. Ligeledes behandler rapporten spørgsmålet om materialernes egenskaber og eventuelle anvendelse i byggeriet til at substituere konventionelle byggematerialer som fx mineraluld, tegl, stål og beton.

Rapporten belyser yderligere de potentialer og barrierer, der kan identificeres ved øget anvendelse af biogene materialer i byggeriet i Danmark. Potentialer og barrierer behandles ud fra en vurdering af behovet for materialer, såvel typer som mængder, og tidshorisonten, hvormed materialerne i de nødvendige kvaliteter og mængder kan være klar som ressource. Rapporten viser også eksempler på byggerier, hvor biogene materialer er anvendt.