

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING



---

# **Kollegiebyggeri med biogene byggematerialer**

Perspektiver for Skovskolen Eldrupgaard, Djursland

Emil Engelund Thybring & Torben Valdbjørn Rasmussen,  
august 2022

# Indhold

<b>INDLEDNING</b> .....	<b>3</b>
Baggrund .....	3
Grøn omstilling af byggeriet.....	3
Formål med notatet.....	4
<b>BIOGENE BYGGEMATERIALER</b> .....	<b>4</b>
Materialer til forskellige konstruktionsdele .....	4
Udfordringer ved brug af biogene byggematerialer.....	7
<b>POTENTIALER FOR LOKALE OG REGIONALE VÆRDIKÆDER</b> .....	<b>10</b>
Biogene ressourcer på Djursland .....	10
Potentialer for materialeproduktion .....	12
Interessenter på Djursland og omegn.....	13
Muligheder for at fremme nye værdikæder .....	16
<b>LÆRINGSMULIGHEDER FRA KOLLEGEBYGGERI</b> .....	<b>17</b>
Kritiske måleparametre.....	18
Variationsmuligheder i materialevalg og løsninger .....	21
Materialevalg i det omkringliggende miljø.....	22
<b>KILDER</b> .....	<b>22</b>

# Indledning

Dette rådgivningsnotat er udarbejdet af lektor Emil Engelund Thybring, Københavns Universitet og seniorforsker Torben Valdbjørn Rasmussen, Aalborg Universitet. Notatet er udarbejdet på baggrund af BUILD Rapport 2022:09 ”Biogene materialers anvendelse i byggeriet” (Rasmussen et al. 2022), indsamling af viden om tilgængelige bioressourcer på Djursland og omegn, samt besøg ved interessenter i området er gennemført sammen med Jakob Prüfer, Skovskolen Eldrupgaard. Kvalitetssikring af notatet er udført af lektor Niclas Scott Bentsen, Københavns Universitet og seniorrådgiver Jørgen Munch-Andersen, Aalborg Universitet.

## Baggrund

Skovskolen under Københavns Universitet skal udvide skolens afdeling på Eldrupgaard, Djursland til at kunne rumme flere studerende og tilbyde flere og opdaterede undervisningsfaciliteter. I forlængelse af dette ønskes opført et kollegiebyggeri. Med opførelsen af kollegiebyggeriet vil Skovskolen gerne medvirke til, at udvikle og demonstrere anvendelsen af biogene byggematerialer såsom træ, men også fremtidens byggevarer produceret fra de ressourcer skovbruget, landbruget og vandmiljøet omkring Danmark, primært Djursland, kan bidrage med i fremtiden, herunder bidrage til opbygning af lokale og regionale værdikæder til byggevarernes produktion.

Samtidig er ønsket at byggeriet bidrager til vidensopbygning om brugen, robustheden og udfordringerne ved at anvende biogene byggematerialer til konstruktioner i bygninger, der skal fungere i det danske klima. Opbygningen af viden skal ske gennem opsamling og analyse af data fra bygningernes indeklima, udeklimaet samt fra konstruktionerne som sammenholdes med erfaringer fra design-, projekterings- og byggefasen. Vidensopbygning skal ske i de første års drift.

Vidensopbygningen har til formål at vurdere på nødvendig og tilstrækkelig vedligeholdelse og skal relatere til konstruktionernes design, projektering, opførelse og brug.

## Grøn omstilling af byggeriet

Byggeri har et massivt aftryk på klima og miljø og står på globalt plan for ca. 38 % af vores CO<sub>2</sub>-udledninger, hvoraf 10 % stammer fra materialeproduktion og opførelse (UNEP 2020). Samtidig forbruger byggebranchen mere end halvdelen af alle ressourcer, der udvindes fra jordkloden (UNEP 2016). Det er primært knappe, ikke-fornybare ressourcer såsom sand, grus og singels, der anvendes til at lave beton. Byggematerialer af biogene ressourcer kan mindske byggeriets klimaaftryk og forbrug af ikke-fornybare ressourcer, og dermed spille en vigtig rolle i den grønne omstilling af byggeriet, såvel byggebranchen som dens leverandører af byggevarer. Biogene ressourcer er det

materiale som biologiske organismer producerer og inkluderer bl.a. træ, halm, hør, muslingeskaller og ålegræs. I dette notat er fokus på de plantebaserede biogene ressourcer, der alle har det til fælles, at de indeholder kulstof fra atmosfærens CO<sub>2</sub> som planten indfangede under væksten. I det følgende henviser ordet ”biogen” således til plantebaserede ressourcer. Mængden af kulstof i disse ressourcer udgør omkring halvdelen af deres tørmasse. Ved at bygge med byggevarer produceret af biogene ressourcer kan vi derfor indlejre kulstof fra CO<sub>2</sub> i bygningsmassen. I Danmark kan brugen af biogene byggematerialer årligt indlejre kulstof svarende omtrent til den CO<sub>2</sub>-udledning som vores nuværende forbrug af beton medfører (Rasmussen et al. 2020). Samtidig kan konventionelle byggematerialer baseret på ikke-fornybare ressourcer, såsom beton, stål, tegl og mineraluld, i stor udstrækning i forhold til dagens byggeri substitueres, hvorved CO<sub>2</sub>-udledninger fra produktionen af disse byggevarer mindskes proportionelt med det mindre forbrug af dem.

### **Formål med notatet**

Med udgangspunkt i det kommende kollegiebyggeri for Skovskolen Eldrupgaard på Djursland gives der i dette notat en kort redegørelse for den nyeste viden om biogene byggematerialer, teknologier og løsninger, der vil kunne bringes i anvendelse i byggeriet. Derudover vil notatet beskrive de lokale og regionale potentialer for primærproduktion af træ og andre biogene ressourcer samt udvikling af industri til forarbejdning af disse ressourcer til anvendelige byggevarer med kommercielt potentiale. Slutteligt vil notatet skitsere potentialer for at kollegiebyggeriet kan bidrage med ny viden om byggeri med biogene materialer i form af løbende opsamling af data og erfaringer fra design-, projekterings- og byggefasen samt de første års drift og vedligeholdelse.

## **Biogene byggematerialer**

Dette afsnit er en konkretiseret sammenfatning af BUILD Rapport 2022:09 ”Biogene materialers anvendelse i byggeriet” (Rasmussen et al. 2022), som fokuserer på kollegiebyggeriet for Skovskolen Eldrupgaard. Afsnittet beskriver kortfattet materialetyper til forskellige konstruktionsdele og udfordringer ved brugen af biogene byggematerialer. For yderligere detaljer henvises til den oprindelige rapport.

### **Materialer til forskellige konstruktionsdele**

Der er forskellige krav til byggematerialers egenskaber afhængig af hvor i konstruktionen de anvendes, og hvilken funktion de skal have. I det følgende er materialerne opdelt i fire kategorier af funktioner og placeringer: hovedkonstruktion, klimaskærm, isolering og sekundære bygningsdele.

## Hovedkonstruktion

En bygnings hovedkonstruktion består af den bærende konstruktion samt fundamentet. Biogene byggematerialer til bærende konstruktioner kan inddeles i fire produkttyper:

- Type 1: Produkter bestående af større stykker af et biogent materiale. Træ er i realiteten den eneste biogene ressource i denne kategori, og produkterne inkluderer savskåret træ til konstrukstræ eller sammensatte elementer af savskåret træ heraf, såsom limtræ eller krydslamineret massivtræ (cross-laminated timber, CLT).
- Type 2: Produkter af finer. I denne kategori er træ i realiteten eneste biogene ressource, og produkter inkluderer krydsfiner og LVL (laminated veneer lumber).
- Type 3: Produkter af flager, spåner eller fibre med bindemiddel. Denne type kan produceres med en række forskellige biogene ressourcer såsom træ, halm, hør, hamp, ålegræs, mv. Kendte produkter i denne kategori inkluderer OSB-plader (oriented strand board), spånplader og MDF-plader (medium density fibreboard).
- Type 4: Produkter flager, spåner eller fibre uden bindemiddel. Denne type produceres ved presning af materialerne under tryk, varme og evt. damp, og holdes sammen af de biogene ressourcers naturlige indholdsstoffer. Kendte produkter i denne kategori inkluderer traditionelle træfiberplader af forskellig hårdhed, samt plader af komprimeret halm.

## Klimaskærm

En bygnings klimaskærm betegner såvel facadebeklædning og tagdækning som de bagvedliggende konstruktioner, herunder isolering og indvendig beklædning. Mod jord kan fx et terrændæk også betragtes som en del af klimaskærmen. Klimaskærmen skal beskytte mod regn, fugt, kulde samt vind udefra, og samtidig være opbygget så den ikke skades af fugt i indeluften. Nedbrydning over tid er uløseligt forbundet med for højt fugtindhold i byggematerialerne. Desuden skal brandkravene til den aktuelle bygning opfyldes.

De ydre lag af en bygning (facadebeklædning, tagdækning og kapillarbrydende lag mod jord) skal især sikre mod indtrængning af fugt (regn, grundfugt) fra udemiljøet og har derfor en central rolle i at sikre en lang levetid af den bagvedliggende konstruktion. Skader pga. fugt indefra forebygges ved at sikre at tætheden overfor vanddamp er større ved indersiden end ved ydersiden.

*Facadebeklædningen* består typisk af en ydre del (regnskærmen), som er direkte eksponeret for vejrliget, og en bagvedliggende del (vindspærren), der modvirker ventilering af isoleringen med udeluft. Sammen med et ventileret hulrum imellem regnskærm og vindspærren sikrer denne opbygning mod indtrængende fugt fra fx slagregn. For facader er der brandkrav til produkternes

egenskaber for både regnskærm og vindspærre. For kollegiebyggeri opført som fx rækkehuse gælder der som for enfamiliehuse og rækkehuse at regnskærmen kan opføres uden krav til vindspærrens brandmæssige egenskaber. For alle andre typer bygninger medfører brandkrav i praksis, at der skal anvendes mineralske produkter i vindspærren. Pudset isolering kan anvendes som vindspærre bag en ventileret regnskærm, for eksempel lerpudset halmisolering. For andre bygningstyper end enfamiliehuse og rækkehuse stilles der ligeledes brandkrav til regnskærmen, der typisk kun kan opfyldes af biogene produkter, hvis deres brandegenskaber er forbedret eller facaden sprinkles.

*Tagdækningen* på en bygning er hårdere påvirket af vejrliget end facaden. Det er derfor ekstra vigtigt at tagdækningen er tæt og modvirker indtrængning af fugt i konstruktionen. Ofte udføres tagdækning, ligesom ydervægge, med en ydre beklædning og et undertag med et mellemliggende ventileret hulrum. Hvis yderbeklædningen har en ringe tæthed eller taghældningen er lav, øges kravet til undertagets tæthed. 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.

*Terrændæk* beskriver en bygnings overflade mod jorden, der skal sikre mod opstigende grundfugt fra og varmetab til undergrunden. Terrændæk udføres typisk som et kapillarbrydende lag nederst med isolering og udstøbt beton ovenpå, som en lastfordelende plade. Isoleringen skal både have en vis bæreevne og være ufølsom over for fugt. Samtidig skal der indlægges en robust membran i den øvre del af terrændækket, normalt lige over eller under betonpladen, der sikrer mod grundfugt og radon. Membranen samles lufttæt og føres ud til yderside fundament. Den lastfordelende plade kan erstattes af fx gulvspånplader, hvilket øger kravet til bæreevnen af den underliggende isolering og robustheden af membranen, der hensigtsmæssig kan placeres indtil halvvejs nede i isoleringen. Visse materialer kan virke som både kapillarbrydende lag og isolering, såsom letklinker eller knuste muslingeskaller. Dette kræver dog en større tykkelse for at opnå samme isoleringsevne som ved brug af et sædvanligt fugtufølsomt isoleringsmateriale som mineraluld eller EPS.

### **Isolering**

Isoleringsmaterialer i en bygning anvendes til både varme-, lyd- og brandisolering. I klimaskærmen er det vigtigt at isoleringsmaterialerne har tilstrækkelige varme- og brandtekniske egenskaber. I en bygnings indvendige dele, såsom indvendige vægge og etageadskillelser, er det isoleringsmaterialernes lyd- og brandmæssige egenskaber, som er mest relevante. Derudover er bæreevnen også væsentlig i for eksempel terrændæk som beskrevet ovenfor.

Isoleringsmaterialer produceres typisk i både pladeform og granulat. Førstnævnte har fordelene af at kunne fastholdes mekanisk, hvorimod granulat typisk indblæses i et hulrum fx i en ydervæg. For alle anvendelser af isoleringsmaterialer er det vigtigt at isoleringen slutter tæt mod de omgivende konstruktionsdele. Der findes en række forskellige isoleringsmaterialer baseret på biogene ressourcer såsom træ (træfibre eller papirgranulat), halm og hør. De har ofte en fordel over konventionelle isoleringsmaterialer ift. lydisolering, pga. en højere densitet og høj modstand mod luftgennemgang, der kan bidrage til lyddæmpningen. Derimod kræver anvendelsen af biogene ressourcer til isoleringsmaterialer typisk at de brandmæssige egenskaber forbedres.

### **Sekundære bygningsdele**

En bygnings sekundære bygningsdele beskriver ikke-bærende indvendige vægge, gulve og fastmonteret inventar såsom køkkener, som typisk kan udskiftes uden større indgreb i bygningen.

Til gulve anvendes ofte biogene byggematerialer i form af gulvbrædder eller parket af træ på strøer eller bjælker af træprodukter (fx LVL) eller lagt på et undergulv af plademateriale fx spånplader. Til beklædning på indvendige vægge anvendes ofte gipsplader, men biogene pladematerialer kan anvendes i mange tilfælde, dersom de har brandmæssige egenskaber svarende til træplader.

### **Udfordringer ved brug af biogene byggematerialer**

Bygninger skal have en lang levetid, hvilket kræver robust design og omtanke for materialernes egenskaber. Biogene byggematerialer opfattes jævnligt som være udfordrende at anvende, dersom visse af deres tekniske egenskaber er anderledes end konventionelle byggematerialer. I det følgende beskrives biogene byggematerialers generelle egenskaber ift. fugt og nedbrydning, brand og lyd, som er vigtige at overveje ved anvendelse af disse materialer.

#### **Fugt og nedbrydning**

Bygninger skal opføres, så vand og fugt hindres i at trænge ind og forårsage skade på konstruktionen eller dårligt indeklima fra vækst af skimmelsvamp. Biogene byggematerialer er som udgangspunkt biologisk nedbrydelige, og et højt fugtindhold er afgørende for at skadevoldere såsom rådsvampe kan nedbryde materialerne. Samtidig er de fleste biogene byggematerialer fugtsugende og vil derfor optage fugt, dersom de udsættes for regn eller høj luftfugtighed. Ved anvendelse af træ og andre biogene byggematerialer skal der derfor sikres, at konstruktionen ikke opfugtes i byggefasen eller at materialerne ikke indbygges med et kritisk højt fugtindhold.

Hovedkonstruktionen sikres mod råd og skimmelsvamp ved at holde den tør. Dette kan gøres ved at beskytte den mod direkte regnpåvirkning (facadebeklædning og tagdækning), opstigende grundfugt (kapillarbrydende lag i terrændæk og fugtspærre på sokler) og ophobning af fugt fra indeklimaet (fornuftig dampmodstand i klimaskærmens forskellige lag).

Facadebeklædning og tagdækning kan ikke holdes tørre på grund af direkte eksponering mod vejrliget. I disse tilfælde bør der være fokus på materialernes holdbarhed, dvs. hvor modstandsdygtige de er over for nedbrydning ved fx rådsvampe. Levetiden af udsatte konstruktionsdele kan forlænges ved hensigtsmæssigt materialevalg og modificering. Valg af materiale indebærer omtanke for deres iboende holdbarhed. For eksempel varierer den naturlige holdbarhed af kernetræ meget mellem træarterne, grundet forskelle i træets struktur og indholdsstoffer. Således er eg, robinie og flere tropiske træarter meget mere holdbare end fx gran og bøg i udfordrende miljøer såsom i jordkontakt. Ved valg af materiale med en tilstrækkelig holdbarhed til den konkrete anvendelse kan levetiden af konstruktionsdelen forlænges.

Materialernes iboende holdbarhed kan ændres ved at ændre deres kemi. Traditionelt er biocider såsom kobber-krom-arsen (CCA) eller kreosot blevet anvendt til at forbedre holdbarheden. Fordi biocider kan have u hensigtsmæssige effekter på miljøet, når de udvaskes under brug af biocidbehandlede materialer, eller på arbejdsmiljøet ved håndteringen af disse materialer, er regler for anvendelse af biocider gradvist blev strammet over tid. Derudover forhindrer behandling med biocider at materialerne kan genanvendes i nye produkter. Af disse grunde bør biocidbehandling ikke foretrækkes som en måde at forlænge holdbarheden af biogene materialer.

En alternativ, ikke-toksisk metode at forlænge biogene materialers holdbarhed er ved modificering. Derved ændres materialernes kemi på en måde, der forbedrer holdbarheden uden at være giftig for andre organismer. Modificering ændrer på materialernes evne til at optage fugt, og ved at forhindre materialet i at opnå et kritisk fugtindhold i en bestemt anvendelse, kan nedbrydning undgås. Flere teknologier til modificering er kommercielt tilgængeligt, men indtil videre har de kun været anvendt på træ i industriel skala. Mange andre biogene materialer kunne dog i princippet modificeres for derigennem at forbedre deres holdbarhed i udsatte miljøer med risiko for nedbrydning.

## **Brand**

Bygninger skal opføres brandmæssigt forsvarligt. I Bygningsreglementets kapitel 5 (Bolig- og Planstyrelsen 2021) beskrives de overordnede krav og regler for brandsikring af en bygning.



Brandsikring af en bygning skal i første omgang forebygge brand og dernæst muliggør sikker evakuering ved at sikre holdbare konstruktioner.

Bygninger opdeles i fire brandklasser, BK1-BK4, afhængigt af deres anvendelse og størrelse. Enfamiliehuse tilhører BK1, hvor der normalt ikke kræves involvering af en certificeret brandrådgiver, når der anvendes såkaldte præaccepterede løsninger jf. Bygningsreglementets vejledning til Kap. 5 Brand (Bolig- og Planstyrelsen 2021). Mange bygninger kan opføres med en brandrådgiver certificeret til BK2, også forudsat der anvendes præaccepterede løsninger. For andre byggerier kræves en brandrådgiver certificeret til BK3 eller BK4. Selv mindre byggerier med biogene materialer vil ofte tilhøre BK3 eller endda BK4, fordi de præaccepterede løsninger reelt kræver udstrakt brug af produkter med egenskaber som fx gipsplader eller mineraluld.

Biogene materialer såsom træ kan give et markant bidrag til brandbelastningen i en bygning. Det har betydning for hvor stor andelen af synlige træoverflader i en bygning må være samt hvordan de bærende konstruktioner skal inddækkes for at opnå tilstrækkelig brandsikkerhed.

De præaccepterede løsninger angiver kun krav til brandklassifikation af overflader og brandmodstand af bygningsdelene, ikke konkrete løsninger. Brandklassifikationen af overflader kan i nogle tilfælde bestemmes ud fra såkaldt kommissionsbeslutninger eller CE-harmoniserede standarder mens brandmodstanden kan bestemmes ved beregning efter den europæiske norm EN 1995-1-2 eller tilsvarende metoder, se (Lillelund 2021, Östman et al. 2012). I mange tilfælde kræves reelt brandprøvning. Resultater kan findes hos materialeleverandører, men de gælder kun for de konkrete materialer der er prøvet og vurderet af et certificeret organ.

Biogene materialers brandtekniske egenskaber kan forbedres gennem tilsætning af brandhæmmende kemiske stoffer. Derudover er en række teknologier under udvikling, hvor materialernes brandtekniske egenskaber forbedres ved modificering som beskrevet under ”Fugt og nedbrydning”. Ingen af disse teknologier er dog kommercielt tilgængeligt endnu, men udviklingen går stærkt i disse år, så nye teknologier forventes løbende at blive introduceret til markedet inden for en kortere årrække.

## **Lyd**

En bygning skal opføres så der er sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende lydforhold i forhold til anvendelsen. Bygningsreglementet (Bolig- og Planstyrelsen 2021) stiller lydkrav til boliger, undervisningsbygninger og daginstitutioner samt forslag til projekteringsværdier for kontorbyggeri og hospitaler. Lydisoleringskravene gælder for den færdige bygning, hvilket i

princippet kan dokumenteres ved beregning, men de eksisterende beregningsmetoder vurderes ikke at være velegnede til træbyggeri, så der anvendes typisk målinger i denne type byggeri. I træbyggeri er det ofte kravene til trinlydsisolation, der fremhæves som værende en udfordring.

## Potentialer for lokale og regionale værdikæder

Djursland ligger i Region Midtjylland og er inddelt i to kommuner: Norddjurs og Syddjurs. Ligesom for resten af Danmark består størstedelen af Djurslands areal af opdyrket agerjord, men området har et væsentligt større skovdække end landsgennemsnittet på 15 %, se Tabel 1.

Tabel 1: Areal, kystlinje og arealanvendelse (i 2015) for Norddjurs (inkl. Anholt) og Syddjurs (TrapDanmark 2022a,b).

	Norddjurs Kommune	Syddjurs Kommune
Areal	72.100 ha	69.000 ha
Kystlinje	153 km	159 km
Arealanvendelse		
- agerjord i omdrift	61 %	54 %
- vådbundsarealer	4 %	6 %
- skov	22 %	25 %
- hede	3 %	1 %
- klit	0 %	0 %
- købstad/by	3 %	3 %
- andet	7 %	11 %

### Biogene ressourcer på Djursland

Djursland er kendetegnet ved store arealer med landbrug og skov omkranset af en lang kyststrækning mod nord, øst og syd. Hvor landbrugsarealets andel svarer nogenlunde til landsgennemsnittet er skovdækket væsentligt højere end dette. Således svarer skovdækket på Djursland omtrent til den politiske målsætning for det danske skovareal i fremtiden på cirka 25 %.

I det følgende er nuværende og potentielle biogene ressourcer for materialeproduktion beskrevet med fokus på skovbrug, landbrug og det marine miljø.

#### Træ

Norddjurs Kommune har et skovareal på 15.690 hektar, men har planer om skovrejsning af op til 14.000 hektar, mens Syddjurs Kommune har et skovareal på 17.240 hektar (TrapDanmark 2022a,b). Et af de største private skovområder i området hører under Løvenholm Gods, som ejer 2860 hektar skov, hvor beplantningen overvejende består af nåletræer (70 %), primært rødgran og sitkagran

(Løvenholm Gods 2022). Hugsten i skovene ligger på omkring 25.000-30.000 m<sup>3</sup> årligt. Det samlede skovareal på Djursland er således knap 33.000 ha nu med en forventet skovrejsning i de kommende årtier på 14.000 ha. De danske skove har i gennemsnit en hugst på 7,4 m<sup>3</sup>/ha/år (Nord-Larsen et al. 2021), hvilket for Djursland vil svare til ca. 240.000 m<sup>3</sup>/år med det nuværende skovareal. Nåleskov har et gennemsnitligt højere potentiale for hugst (10,6 m<sup>3</sup>/ha/år) hvilket svarer til informationerne fra Løvenholm Gods. En skovrejsning vil i løbet af 20-30 år (afhængig af træartsvalg) forøge den potentielle produktion med ca. 100.000 m<sup>3</sup>/år.

### **Halm**

Djursland har omkring 80.000 hektar opdyrket agerjord, hvoraf det anslås at 50-60 % er stråafgrøder. Med et gennemsnitligt udbytte af halm på 4 tons per hektar ligger udbyttet af halm fra området på 160.000-192.000 tons halm årligt. Disse estimater er baseret på forespørgsel hos Djursland Landboforening (2022). Eftersom landbrugsjorden på Djursland er sandet er det ikke nødvendigt for jordstrukturen at tilføre halm ved nedpløjning (Hansen et al. 2020, Jørgensen 2022), og denne ressource vil derfor i høj grad kunne fjernes og udnyttes uden at jordkvaliteten ødelægges. Det vides ikke, hvor stor en andel af dette halm, der allerede udnyttes. På landsplan er det lidt mere end halvdelen af det årlige udbytte af halm, som ikke fjernes fra marken (Rasmussen et al. 2022). Dersom denne fordeling også gælder for Djursland, vil det svare til 85.000-100.000 tons halm årligt, der for nuværende ikke fjernes fra marken.

### **Ålegræs**

Djursland har omkring 300 km kystlinje, der potentielt kunne give adgang til biogene ressourcer. For eksempel er ålegræs en interessant ressource til diverse typer af pladematerialer eller tækkemateriale til tag. Flere kilder vurderer dog at det ålegræs, som skyller op på Djurslands kyster indeholder for mange urenheder i form af tang, der rådner førend biomassen når at tørre (Buttenschøn 2022, Mouritsen 2022). Muligvis kan fremtidige ressourcer af renere ålegræs hentes, når det skyller op fra de udplantninger, som er planlagt eller i gang i Randers Fjord og Horsens Fjord (Buttenschøn 2022).

### **Andre biogene ressourcer**

Landbrugsarealet på Djursland kan udnyttes til en række forskellige afgrøder, herunder produktion af fibre af hør og hamp, som kunne anvendes til materialer. Disse afgrøder vil dog konkurrere om det samme areal som produktionen af foder og fødevarer. Derfor vil en fremtidig produktion af fibre i større skala afhænge af prisen på disse sammenlignet med dem for foder og fødevarer (Rasmussen

et al. 2022). Derudover har Djursland omkring 7000 hektar lavbundsjord, der kunne anvendes til produktion af tagrør på de vådeste steder og elefantgræs (*Miscanthus*) på de mindre våde (Jørgensen 2022).

Ud over ressourcer fra primærproduktionen er genbrugstræ en vigtig ressource i samfundet. Årligt indsamles ca. 400.000 tons træaffald i Danmark, hvoraf omtrent halvdelen genanvendes i produktionen af spånplader. Denne produktion foregår på Kronospan i Pindstrup på Djursland, der årligt anvender 380.000 tons træ (Kronospan 2022), hvoraf 75 % er genbrugstræ og træaffald (Miljøstyrelsen 2018). Det må forventes at Kronospan aftager stort set alt genbrugstræ og træaffald i regionen, det er muligt at genanvende, med undtagelse af rester af MDF-plader som reducerer kvaliteten af spånpladerne. Ressourcen af genbrugstræ på Djursland, der ikke allerede udnyttes, anslås derfor til at være meget lille.

### **Potentialer for materialeproduktion**

Muligheden for at forarbejde de tilgængelige biogene ressourcer på Djursland til byggematerialer beskrives i det følgende, inddelt i to kategorier: faste materialer til hovedkonstruktion og klimaskærm, og isoleringsmaterialer.

#### **Materialer til hovedkonstruktion og klimaskærm**

Nåletræ fra Djursland anvendes allerede til byggematerialer i form af konstruktionstræ, og muligvis også som komponent i limtræ. Hvis andelen af disse Type 1-produkter, se afsnittet ”Materialer til forskellige konstruktionsdele”, skal øges, så kræver det udskæring og sammenlimning af mindre stykker træ. Denne metode kendes fra udlandet, hvor fx schweiziske Fagus Suisse producerer limtræsbjælker af bøgelameller af 1-1½ meters længde. En større del af træets stammedele kan herved udnyttes til produkter til konstruktionsformål.

Produktion af byggematerialer af finer, Type 2-produkter, vurderes ikke at være realistisk på Djursland. Til gengæld er der gode muligheder for at producere pladematerialer både med og uden bindemiddel, Type 3 og 4-produkter, af både træ og halm. En del af træressourcen fra den primære produktion i skovbruget indgår allerede i forarbejdningen af spånplader. Komprimerede halmprodukter til byggeriet har været kendt i næsten 100 år, og disse materialer produceres rundt omkring i Europa uden dog at være slået igennem i markedet i større stil.

Et større fokus på biogene byggematerialer vil skabe behov for flere pladematerialer, hvor uudnyttede ressourcer af halm og træ er interessante. For eksempel anslås behovet for

pladematerialer i nybyggeriet i Danmark at være omkring 190.000 tons årligt, hvis det biogene byggeri for alvor slår igennem (Rasmussen et al. 2022).

### **Isoleringsmaterialer**

Fiberbaserede isoleringsmaterialer i form af plader eller granulat vil kunne produceres på Djursland med udgangspunkt i de tilgængelige ressourcer af halm og træ. Isolering med sammenpresset halm i et byggemodul er allerede til stede på markedet. Produktion af træfiberisolering kunne med fordel placeres i forbindelse med et savværk som det kendes fra udlandet. Det bør også undersøges, hvorvidt ringere fraktioner af træbiomasse kunne udnyttes i større eller mindre grad til fiberisolering. Hvis al nybyggeri i Danmark bliver biogent, ville behovet for isoleringsmaterialer af biogene ressourcer være omkring 320.000 tons årligt (Rasmussen et al. 2022). Hertil kommer en ukendt mængde isoleringsmateriale som energireoveringen af den eksisterende bygningsmasse ville kræve.

### **Interessenter på Djursland og omegn**

Forarbejdning af tilgængelige biogene ressourcer på Djursland til nyttige byggematerialer kræver etablering af nye værdikæder lokalt og regionalt. Dette kan med fordel ske i samspil med interessenter inden for dyrkning, materialeproduktion og biogent byggeri, der allerede forefindes på Djursland og omegn. Tabel 2 viser en række eksempler på disse interessenter inddelt efter deres placering i værdikæden fra primærproduktion til færdigt byggeri. Tabellen viser både interessenter inden for udvikling af viden og uddannelse af fagfolk til værdikæden i den midterste kolonne og eksisterende virksomheder og organisationer i erhvervslivet på Djursland. En række af disse interessenter er blevet interviewet i forbindelse med udarbejdelsen af dette notat <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Advance Nonwoven (direktør Jørgen Ballermann), Den Jydske Haandværkerskole (faglærer Morten Gisselbæk), Grobund (iværksættere Steen Møller og Anders Mølgaard), Norddjurs Kommune (chefkonsulent Lene H. Bachmann)

Tabel 2: Eksempler på interessenter på Djursland og omegn inden for biogene materialer og byggeri.

Led i værdikæden	Viden & uddannelse	Erhverv
Primærproduktion	Skovskolen Eldrupgaard, Auning Kalø Økologisk Landbrugsskole, Rønde	Løvenholm o.a. lokale skovdistrikter Djursland Landboforening m.fl. Lokale landbrugsbedrifter
Materialeproduktion	Aarhus Arkitektskole, Aarhus	Advance Nonwoven, Rønde EcoCocon Danmark, Feldballe Kronospan, Pindstrup Lokale savværker
Byggeri & iværksætteri	Den Jydske Haandværkerskole, Hadsten Tradium, Randers VIA University College, Aarhus VidenDjurs, Grenaa Aarhus Universitet (bygningsingeniør), Aarhus Aarhus Arkitektskole, Aarhus	Grobund, Ebeltoft Lokale tømrere og entreprenører

### Interessenter inden for primærproduktion

Den primære produktion på landarealet sker på de forskellige landbrugsbedrifter og i skovdistrikterne. Interessenter i erhvervslivet indbefatter således de enkelte producenter, der leverer træ og halm til videre forarbejdning. Inden for viden og uddannelse er Skovskolen Eldrupgaard en vigtig spiller inden for tiltrækning og uddannelse af fagfolk til skovbruget, og samme rolle spiller landbrugsskoler såsom Kalø Økologisk Landbrugsskole for landbruget.

### Interessenter inden for materialeproduktion

Inden for forarbejdning af biogene ressourcer til byggeprodukter findes der flere interessenter på Djursland. Møllerup Gods i Rønde er hjemsted for virksomheden Advance Nonwoven, der laver fibre om til plade- og isoleringsmaterialer. Disse fibre er typisk af hør eller hamp, men kunne også være træfibre. Der er indtil videre tale om en nicheproduktion i samarbejde med fx møbelfirmaer eller arkitekter, men virksomhedens teknologi findes også i fuldskalaproduktion af byggeprodukter i udlandet. EcoCocon i Feldballe er distributør af byggeelementer med halmisolering produceret i Litauen, og virksomheden har hovedkvarter i Slovakiet. Sigtet for koncernen er dog en decentral produktion i EU de steder, hvor de nødvendige biogene ressourcer er tilstede. Kronospan i Pindstrup er den eneste danske producent af spånplader og aftager langt størstedelen af det danske genbrugstræ, der anvendes til nye materialer. Derudover findes en række mindre savværker på Djursland (fx Sostrup Savværk, Aros Savværk, m.fl.), men deres udviklingspotentialer og vækstambitioner kendes ikke.

Inden for viden og uddannelse har denne undersøgelse kun kunnet identificere Aarhus Arkitektskole som interessant inden for biogene materialer til byggeriet. Arkitektskolen forsker blandt andet i

byggeri med irregulære stykker træ og brugen af naturlige, lokale materialer med et minimum af forarbejdning til byggeri. Inden for mere tekniske aspekter af materialeproduktion såsom materialeteknologi er der ikke identificeret nogen vægtige interessenter på Djursland eller omegn. På længere sigt kunne Skovskolen Eldrupgaard muligvis udbyde kompetencer inden for materialeteknologiske aspekter af træbaserede materialer.

#### **Interessenter inden for byggeri & iværksætteri**

Denne kategori af interessenter dækker en bred vifte af forskellige typer aktører med aktiviteter i byggeriets værdikæde, der ligger efter forarbejdningen af biogene ressourcer til materialer og produkter. Djursland rummer en del arbejdspladser inden for byggeri (Business Region Aarhus 2021a,b), såsom tømrer- og entreprenørvirksomheder. Disse er vigtige at engagere i omstillingen til biogent byggeri, idet de ofte er både rådgiver og udførende på enfamilieshuse og lignende byggerier. En interessant som allerede er dybt engageret i biogent byggeri er iværksætterværkstedet Grobund i Ebeltoft, hvor en 10.000 kvadratmeter tidligere fabrik er omdannet til samlingssted for iværksættere inden for biogent byggeri, tiny houses og off-grid byggeri. Selvom værkstedet har en mere radikal tilgang til byggeri end det traditionelle husbyggeri, rummer det en række ressourcepersoner med engagement og kompetencer, der kunne være relevante at inddrage i udvikling og uddannelse inden for biogent byggeri.

Inden for viden og uddannelse er centrale interessenter erhvervsskolerne Den Jydske Haandværkerskole i Hadsten og Tradium i Randers, der begge uddanner tømrere og andre håndværkere. Førstnævnte huser desuden den eneste tækkeuddannelse i Danmark, og skolen er en del af de danske erhvervsskolars videnscenter for bæredygtigt byggeri inden for træfagene. VidenDjurs i Grenaa har også erhvervsuddannelser inden for byggefagene på første grundforløb og videreformidler derefter eleverne til Tradium i Randers. Foruden disse aktører er VIA University College i Aarhus, der uddanner bygningskonstruktører, Aarhus Universitet, der uddanner bygningsingeniør og Aarhus Arkitektskole vigtige interessenter inden for biogent byggeri i nærområdet.

#### **Andre interessenter**

Foruden de ovenfor beskrevne interessenter i værdikæden fra primærproduktion til færdigt biogent byggeri er der en række relevante offentlige og private aktører i relation til denne værdikæde. Disse tæller for eksempel de kommunale forvaltninger på Djursland, hvor især Norddjurs Kommune er involveret omkring udvidelsen af Skovskolen Eldrupgaard. Endvidere kan kommunesamarbejdet

Business Region Aarhus og erhvervsorganisationer som Business Djursland være vigtige netværk at inddrage i arbejdet med at fremme nye værdikæder inden for biogent byggeri.

### **Muligheder for at fremme nye værdikæder**

Potentialet for at skabe vækst og udvikling i Østjylland, herunder Djursland, er blevet grundigt analyseret i projektet ”Den Østjyske Millionby”, der inkluderer arealet fra områder omkring Haderslev til området omkring Randers. Som en del af projektet blev tre scenarier analyseret og beskrevet for, hvordan Østjylland kan fremtidssikre sin konkurrencekraft. Disse scenarier indrammer de strategiske muligheder som Østjylland har for bæredygtig udvikling ved koordinerede indsatser inden for byudvikling, infrastruktur, erhverv og turisme, natur og klima (Nielsen et al. 2019). Fremme af værdikæderne relateret til biogent byggeri i samspil med videns- og uddannelsesinstitutioner er tæt forbundne til disse koordinerede indsatser i projektets udviklingsscenarier. I alle scenarier er skovrejsning et vigtigt klimaredskab, der vil skabe en større tilgængelig ressource af træ i regionen, særligt i Norddjurs Kommune, hvor store arealer forventes omdannet til skov (Nielsen et al. 2019).

Projektets første scenarie bærer titlen ”Østjylland – med natur og miljø som driver”, og det beskriver en fremtidig udvikling, hvor naturens forskellige økosystemtjenester har en vigtig rolle. Nybyggeri forventes således at blive understøttet af træmaterialer fra de nye skovområder, der skal rejses i regionen. Det andet scenarie ”Østjylland – Europas nye konkurrencedygtige region” fokuserer på samspillet mellem iværksættere, små og store virksomheder og regionens universiteter og professionsuddannelser som en motor for erhvervsudvikling og ny viden. Dette samspil understøttes gennem opbygning af videnscentre, hotspots og inkubatorer i de største bymidter, hvor forskere, studerende, iværksættere og start-up-virksomheder kan skabe nye bånd. Det tredje scenarie ”Østjylland – den nære velfærdsby” har større fokus på decentral udvikling af lokalsamfundene, hvor erhvervsudvikling i lokale netværk og øget lokal adgang til korte videregående uddannelser og erhvervsuddannelser spiller en central rolle.

### **Styrkelse af samspillet mellem viden og produktion**

I alle scenarier er et stærkere bånd mellem universiteter, professionsuddannelser og små- og mellemstore produktionsvirksomheder en hjørnesten i den fremtidige udvikling af regionen. Med denne målsætning om at styrke samspillet mellem viden og produktion som omdrejningspunkt beskrives i det følgende konkrete tiltag til at fremme værdikæder relateret til biogent byggeri lokalt på Djursland og omegn. Djursland rummer et uudnyttet potentiale i den henseende, fordi egnen har



en markant primærproduktion fra landbrug og skovbrug, har institutioner tæt på med viden og uddannelser inden for værdikæden (Tabel 2), og rummer små og store interessenter fra erhvervslivet.

En måde at drage nytte af disse fordele er ved etablering af ”summer schools” inden for biogent byggeri. Dette kunne bidrage til at skabe interesse for nye biogene byggematerialer, hvor studerende fra skov- & landbrug, ingeniører, tømrere, tækkemænd, arkitekter, handelsuddannelser, m.fl. arbejder sammen under vejledning af faglærere. Formålet kunne for eksempel være at skabe et nyt materiale, en ny byggekomponent, et ny husbyggekoncept eller lignende. Inspiration og know-how til en sådan begivenhed kan for eksempel hentes fra fødevarerområdet, hvor Business Region Aarhus i flere år har været engageret i såkaldte ”summer schools” (Nielsen et al. 2019). Fordelen ved ”summer schools” er, at de er forholdsvis uforpligtende og organiske, så konceptet løbende kan justeres og tilpasses. Samtidig kan de udgøre et møderum mellem studerende, forskere og iværksættere, der kan skabe grobund for nye ideer og stærkere bånd mellem forskning, uddannelser og erhvervsliv.

Dersom ”summer schools” i biogent byggeri er succesfulde kan på længere sigt udvikles ideer til en mere permanent læringshub, ”Det Biogene Laboratorium” som mødested for forskere, studerende og erhvervsliv og arnested for iværksætteri og innovation.

Djursland er allerede kendt i Danmark for ”Mols-Laboratoriet”, hvor vild natur demonstreres i praksis i Mols Bjerge. På lignende vis kan ”Det Biogene Laboratorium” demonstrere, hvordan værdikæder inden for biogene materialer kan skabes og give vækst og erhvervsudvikling baseret på fornybare, biologiske ressourcer. Herved kunne Djursland være en model for resten af landet for, hvordan der både kan gives plads til biodiversitet og vild natur og sideløbende dyrkes samfundsnyttige afgrøder til både fødevarer og materialer.

## **Læringsmuligheder fra kollegiebyggeri**

Der knytter sig en lang række læringsmuligheder til kollegiebyggeriet for Skovskolen Eldrupgaard. Ved at dokumentere og monitorere byggeriet fra start til bygningerne er i anvendelse, kan erfaringer med anvendelsen af biogene materialer og byggevarer indhentes og formidles. Derigennem kan kollegiebyggeriet være med til at skabe ny viden og dokumentere konstruktive løsninger til gavn for det almene tekniske fællesseje. Ligeledes kan byggeriet vise løsninger, der kan være med til at sikre byggeriets grønne omstilling. Læringen vil kunne bidrage til hele byggeriets værdikæde, omfattende

viden om fx lokale ressourcer, produktion af mulige byggevarer, projektering, byggesagsbehandling, håndtering af byggevarer, opførelse, bygbarhed, arbejdsmiljø under opførelse, ydeevne i anvendelse og behovet for vedligehold, bare for at nævne nogle af de læringsmuligheder kollegiebyggeriet kan bidrage med. Yderligere kan kollegiebyggeriet inkluderes i skolens læringsmål for de studerende. Projektarbejder hvor de studerende anvender data og dokumentation, vil kunne bidrage til læringen om anvendelsen af biogene byggevarer i byggeriet.

### **Kritiske måleparametre**

Afhængig af den læring, der ønskes at blive draget nytte af skal måleprogrammer designes og gennemføres. Måleprogrammet for den enkelte læring skal planlægges, gennemføres og monitoreres på systematisk vis, med indsamling af data af en mængde passende til formålet.

### **Levetid og nedbrydning af biogene materialer**

Det er naturligt med nedbrydning af biogene materialer i byggeriet, ligesom døde planter, dyr og andre organismer er et led i naturens kredsløb. For biogene materialer i byggeriet er det et ønske at stoppe eller forsinke denne nedbrydning således at materialerne, og bygningen i sin helhed, opretholder deres funktion så længe der er behov for den. For en bygning som er opført fugtteknisk korrekt er nedbrydningen af materialerne tilnærmelsesvis stoppet for konstruktionsdele som ikke er eksponeret til udeklimaet. For de dele at bygningen som udsættes for udeklimaet som fx facadebeklædning og tagdækning, som også er nemme at udskifte, vil der ske en nedbrydning. Nedbrydningen af biogene materialer kan forsinkes og levetiden forlænges, i væsentlig grad. Levetiden af et materiale kan forlænges ved reparation, udskiftning og vedligehold, for et givent design. I design kan konstruktiv beskyttelse reducere nedbrydningen af materialerne i højere eller mindre grad. For et design af en bygning uden udhæng vil påvirkningen af facaden fra fx UV-stråling, udtørring og slagregn være stor. Mekanismer som UV-bestråling, fugt- og temperaturpåvirkninger, brand og mikroorganismer samt angreb fra dyr øger nedbrydningen og forkorter levetiden af materialerne. Mikroorganismer som bakterier og svampe er de vigtigste nedbrydere. Planter og mikroorganismer bidrager også til nedbrydningen selvom planterne ikke direkte kan udnytte stofferne i det døde organiske materiale. Ligeledes er smådyr som bænkebidere, bille- og fluelarver, orme og snegle vigtige led i nedbrydningen. Nedbrydningen foregår ved at sønderdelte partikler kan gå gentagne gange igennem smådyrene, der hver gang udnytter mikroorganismene. At sinke eller at forhindre nedbrydningen er at forlænge levetiden.

## Parametre

- Støv, fibre og svampesporer: Neddeling af biogene materialer til fx møbelplader, væg- og loftplader eller isolering kan frigive fibre og støv. I tilfælde hvor de biogene råmaterialer er modnet eller tørret fx under åben himmel kan der ligeledes frigives svampesporer og bakterier ved tildannelsen af byggevarer og ved håndteringen på pladsen. Eksponeringen for støv, fibre og svampesporer har arbejdsmiljømæssig interesse. Et tidligere studie som undersøgte installatørens eksponering ved indånding af fibre, støv, endotoksin og brandhæmmende tilsætningsstoffer (Breum et al. 2003) kan inspirere til planlægning af et sådan prøvningsprogrammet. Ved målingerne blev arbejdet med at isolere en konstruktion med såvel isoleringsmaterialer af cellulose sammenholdt med tilsvarende udført arbejde med mineralbaserede isoleringsprodukter som mineraluld, glasfiber og perlite.
- Skimmelsporer: Prøver af de anvendte biogene materiale kan tages med henblik på at kategorisere og navngive de skimmelsvampe der er i de anvendte materialer.
- Fugtstrategi: Fugt i bygninger kan føre til usundt indeklima. Fugt skal både håndteres i byggematerialerne, byggeprocessen og i drift, som normalt er meget længere end byggefasen. Fugt kan stamme fra, at byggematerialer eller konstruktioner udsættes for regn, grundet manglende af- og overdækning, og derved fugtes op. Fugt kan også stamme fra fremstillingen af de materialer der benyttes i byggeriet og den fugt betegnes normalt som byggefugt. Fugten stammer i det tilfælde især fra udtørringen af beton. Materialer kan ligeledes opnå kritiske fugtniveauer hvis de i længere perioder opbevares ved høj relativ luftfugtighed. En relativ luftfugtighed omkring 70 % kan, for træ som er indpakket eller overdækket, i en længere periode være kritisk. Det gælder også for træbyggeri som helhed. Overdækning hjælper kun mod opfugtning fra regn hvorfor materialers fugtforhold ved opbevaring og fremstilling også kræver opmærksomhed ved opførelsen af et byggeri. Det er velkendt, at byggerier ofte tilføres store vandmængder under byggeprocessen, men ofte er dette blevet affejet som uundgåeligt og blot noget, der skal udtørre i løbet af det første år. Imidlertid kan byggefugten betyde, at den færdige bygning inden ibrugtagning indeholder så meget fugt, at dele af konstruktionen kan være angrebet af skimmelsvamp. Eventuelt vækst af denne skimmel som indbygges ved brug af biogene materialer har store sundhedsmæssige og økonomiske omkostninger for beboere, bygherrer og entreprenører. Der findes vejledninger om håndtering af fugt i byggeriet. Erhvervs og Byggestyrelsen har derfor fået udarbejdet en vejledning (Møller et al. 2010) som en hjælp til at håndtere fugt i byggeriet gennem byggeprocessen, således at bygningsreglementets

bestemmelser og intentioner overholdes og kan dokumenteres. En fugtstrategi bør udarbejdes og dokumenteres gennem kvalitetssikring. Kvalitetssikring dokumenterer at fugtstrategien er fulgt, det så vidt angår de leverede byggevarer, oplagring af byggevarer på pladsen og indbygning af byggevarer frem til at konstruktionerne, og bygningen, lukkes.

- **Indeklima:** Monitorering af indeklimaet kan give et indblik i om bygningen i funktion opfylder krav og forventningerne til et godt indeklima, det så vidt angår radon, flygtige organiske forbindelser (VOC), CO<sub>2</sub> niveauet, den relative luftfugtighed og temperaturen inde. Fx er VOC-grænseværdier gældende fra den 1. januar 2010 inden for bygningsmaling og lak inddelt i 12 kategorier med separate grænseværdier for vandbaserede og opløsningsmiddelbaserede produkter og kan ses på Miljøstyrelsens hjemmeside (Miljøstyrelsen 2022). Ligeledes giver måling af indeluftens relative fugtighed og temperatur et indblik i den påvirkning, der er på bygningens indvendige side af klimaskærmen.

Der er udført få studier af sammenhængen mellem træbyggeri og sundhedseffekter. Til gengæld er der udført mange studier om forurenende stoffer og indeklima i træbyggeri. Studierne viser ikke entydig sammenhæng mellem træbyggeri og sundhed, og der ses ingen sammenhæng mellem det at bo i træhuse og bygningsrelaterede symptomer. Derimod viser studierne at støj er et fremtrædende problem i træbyggeri primært i etagebyggeri og ved boliger i nærhed til andre. Yderligere finder nogle undersøgelser forhøjede VOC-koncentrationer sammenlignet med gennemsnitsværdier for andet byggeri. Især niveauer for terpener, karbonyler (fx fra OSB-plader), myresyre, eddikesyre og acetaldehyd. VOC-koncentrationerne er stærkt afhængige af træets placering i bygningen og af emissionerne fra andre overfladematerialer fx fra møbler. Undersøgelser viser også at formaldehyd i længere tid har været forbundet med øget sensorisk irritation, risiko for astma, allergi og kræft. Der kan dog ikke drages særlige konklusioner om sundhedseffekter relateret til formaldehydeksponering i trækonstruktioner. Dog angiver studierne at faktorer som alder, materialetype, årstid, ventilation, fugtindhold, opvarmningstype og ozonkoncentration, kan have en væsentlig indvirkning på emissionskoncentrationer i bygninger af træ (Sigsgaard et al. 2020).

- **Udeklima:** Monitorering af udeklimaet giver et indblik i hvilket klima bygningen skal modstå og yde sin funktion i forhold til. Den relative luftfugtighed og temperaturen ude giver et indblik i den påvirkning, der er på bygningens udvendige side af klimaskærmen. Yderligere vil måling af slagregnspåvirkningen af udsatte konstruktioner og materialernes udsættelse af UV-bestråling

bidrage yderligere til levetidsbetragtninger af bygningens regnskærm fx facade, tag, sokkel og udhæng.

- Konstruktioner i anvendelse: Konstruktionernes tilstand og ydeevne i brugsfasen af byggeriet kan følges ved at monitorere fugtigheden og temperaturen kritiske steder i klimaskærmen. Sensorer eller trædyvler og termistorer, til måling af henholdsvis fugtighed og temperatur kan indbygges og monteres i konstruktionerne under opførelsen. Et tidligere studie, som blandt andet havde til formål at redegøres for fugtphobningen i isoleringen i klimaskærmen i løbet af to vintre (Rasmussen og Nicolajsen. 2004), kan inspirere til et sådan prøvningsprogrammet. Typisk vil kritisk fugtniveau i uventilerede konstruktionsdele optræde, hvor temperaturen er lavest, såsom bag vindspærren i en ydervæg af fugtfølsomme materialer med ventileret facade.

### **Behandling af data og dokumentation**

Databehandlingen af monitorerede data skal sammenholdes med grænseværdier for acceptable niveauer. Særligt kan information om fugt sammenholdes med kritiske værdier for nedbrydning af byggekomponenten og vækst af skimmel. Indeklimadata for fugt og temperatur kan sammenholdes med, om bygningens anvendelse tilhører den ved projekteringen anvendte fugtbelastningsklasse. Fugtbelastningsklasserne kan i opvarmede bygninger benyttes i forbindelse med vurdering af risiko for kondens på kuldebroer og den deraf følgende risiko for skimmelvækst og angreb af trænedbrydende svampe. Der er defineret 5 fugtbelastningsklasser hvoraf klasse 1, 2 og især 3 har interesse for opførelsen af kollegiebyggeriet for Skovskolen Eldrupgaard. Fugtbelastningsklasse 1 anvendes for ubenyttede bygninger, tørre lagerhaller, idrætshaller uden tilskuere, industribygninger uden fugtproduktion. Fugtbelastningsklasse 2 anvendes for kontorer, forretninger, boliger med normal beboelsestæthed og ventilation. Fugtbelastningsklasse 3 anvendes for boliger med ukendt beboelsestæthed, hvilket defineres som værende tilfældet i lejeboliger (Brandt m.fl. 2013).

### **Variationsmuligheder i materialevalg og løsninger**

Dokumentation for det opførte byggeri er nødvendigt for at kunne tolke på data for byggeriet. Det udarbejdede projektmateriale bør således suppleres med en dokumentation af det opførte byggeri. Eventuelle afvigelser mellem det projekterede byggeri og det opførte, dokumenteres ved billeder, tegninger eller anden form for beskrivelser. Afvigelser fra projektmaterialet i forhold til det endeligt opførte byggeri kan forekomme fx i det endelige valg af materialer i en byggevarer, imprægneringsmaterialer, overfladebehandlinger samt i form af konstruktive løsninger til samlingsdetaljer til konstruktionsprincipper, eller til det bærende konstruktionsprincip.

De endeligt anvendte materialer dokumenteres ved tilhørende datablad, eller anden form for beskrivelse af byggevaren. Typisk vil en byggevare være beskrevet af producenten. I tilfælde af specialproducerede byggevarer direkte tilegnet byggeriet kan der udtages vareprøver. Vareprøverne skal være repræsentative for den anvendte byggevare. En kvalitetssikringsbeskrivelse af en specialproduceret byggevare fra producenten kan beskrive graden af ensartethed i byggevaren.

### **Materialevalg i det omkringliggende miljø**

Norddjurs Kommune har afsat finansiering til udvikling af veje, stier og anlæg i området omkring Skovskolen Eldrupgaard, herunder belysning. I den forbindelse er Norddjurs Kommune villige til at indgå i samarbejder med formål at demonstrere anvendelsen af biogene materialer. Det er dog begrænset, hvilke kommercielle muligheder der foreligger lige nu for dette. Forskning er i gang, der sigter mod at erstatte bitumen fra olieindustrien med en biobaseret løsning baseret på lignin til brug i asfalt (Waageningen 2022), men denne teknologi er endnu ikke markedsmoden. Det er muligt, at forskningen vil resultere i nye produkter inden for en kortere årrække. Derudover arbejdes der på forsøgsbasis på at bruge træflis som fyldmateriale i asfalt, men heller ikke her findes kommercielle produkter tilgængelige.

## **Kilder**

Bolig- og Planstyrelsen (2021) Bygningsreglementet 2018. København, Danmark

Brandt m.fl. Fugt i bygninger. (2013). SBI-anvisning 224. 2. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut- Aalborg Universitet. København. Danmark.

Breum, N. O., Schneider, T., Jørgensen, O., Rasmussen, T. V. & Eriksen, S. S., (2003). Cellulosic building insulation versus mineral wool, fiberglass or perlite. Installer's exposure by inhalation of fibers, dust, endotoxin and fire retardant additives. I: *Annals of Work Exposures and Health*. 47, 8, s. 653-669

Business Region Aarhus (2021a) Frekvens Business Region Aarhus i tal Norddjurs Kommune, Business Region Aarhus, 35 s. <https://businessregionaarhus.dk/frekvens/>

Business Region Aarhus (2021b) Frekvens Business Region Aarhus i tal Syddjurs Kommune, Business Region Aarhus, 35 s. <https://businessregionaarhus.dk/frekvens/>

Buttenschøn R. M. (2022) Interview med Seniorrådgiver Rita M. Buttenschøn, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, 9. juni 2022.

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

Djursland Landboforening (2022) Mailkorrespondance med Planteavlskonsulent Erik Silkjær Pedersen, 8.-9. juni 2022.

- Hansen J. H., Hamelin L., Taghizadeh-Toosi A., Olesen J. E., Wenzel H. (2020) Agricultural residues bioenergy potential that sustain soil carbon depends on energy conversion pathways. *GCB Bioenergy*.12:1002-1013.  
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12733>
- Jørgensen U. (2022) Mailkorrespondance med Professor Uffe Jørgensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, 7.-14. juni 2022.
- Kronospan (2022) Hjemmeside tilgået d. 27. juli 2022, <https://kronospan-dk.dk/om-os>
- Lillelund, B. (2021) TRÆ 78: Træbyggeri i brandklasse 1 og 2. 1. udgave. Træinformation. 392 s.
- Løvenholm Gods (2022) Hjemmeside tilgået d. 26. juli 2022, <https://www.lovenholm.dk/loevenholm-gods/skoven/>
- Miljøstyrelsen (2018). Kortlægning af genanvendeligt træaffald i Danmark. Miljørapport 1993. Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen. 24 s.
- Miljøstyrelsen (2022) Hjemmeside tilgået d. 4. august 2022, <https://mst.dk/kemi/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierereglerne/voc-bygninger/>
- Mouritsen L. T. (2022) Mailkorrespondance med Leder for Forskning Lone Thybo Mouritsen, Kattegatcentret, 7.-10. juni 2022.
- Møller E.B. (Red) (2010). Vejledning om håndtering af fugt i byggeriet. Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Aalborg Universitet
- Nielsen T., Jensen B. B., Bisgaard H. (2019) Foranalyse og scenarier: På vej mod et strukturbillede for Østjylland, Arkitektskolens Forlag, 86 s.
- Nord-Larsen T., Johannsen V. K., Riis-Nielsen T., Thomsen I. M., Jørgensen B. B. (2021). Skovstatistik 2020. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.
- Rasmussen, T. V. og Nicolajsen, A. (2004). Måling på alternative isoleringsmaterialer: Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt. Hørsholm: SBI forlag. 91 s. (By og Byg Dokumentation; Nr. 058).
- Rasmussen T. V., Thybring E. E., Munch-Andersen J., Nord-Larsen T., Jørgensen U., Gottlieb S. C., Bruhn A., Rasmussen B., Beim A., Ramsgaard Thomsen M., Munch-Petersen P., Primdahl M. B., Bentsen N. S., Frederiksen N., Koch M., Beck S. A., Bretner M.-L., Wittchen A. (2022) Biogene materialers anvendelse i byggeriet, BUILD Rapport 2022:09. København
- Sigsgaard T., Frederiksen S and Bekö G. (2020). Association between wooden buildings, health and indoor air climate – a review of the literature. Realdania
- TrapDanmark (2022a) Hjemmeside tilgået d. 27. juli 2022, [https://trap.lex.dk/Kulturlandskabet\\_i\\_Norrdjurs\\_Kommune](https://trap.lex.dk/Kulturlandskabet_i_Norrdjurs_Kommune)
- TrapDanmark (2022b) Hjemmeside tilgået d. 27. juli 2022, [https://trap.lex.dk/Kulturlandskabet\\_i\\_Syddjurs\\_Kommune](https://trap.lex.dk/Kulturlandskabet_i_Syddjurs_Kommune)
- UNEP (2016). Global Material Flows and Resource Productivity. An Assessment Study of the UNEP International Resource Panel. H. Schandl, M. Fischer-Kowalski, J. West, S. Giljum, M. Dittrich, N. Eisenmenger, A. Geschke, M.

Lieber, H. P. Wieland, A. Schaffartzik, F. Krausmann, S. Gierlinger, K. Hosking, M. Lenzen, H. Tanikawa, A. Miatto, and T. Fishman. Paris, United Nations Environment Programme.

UNEP (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi

Waageningen (2022) Hjemmesider tilgået d. 29. juli 2022, <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/food-biobased-research/show-fbr/100-Biobased-asfalt-binder-1.htm>;  
<https://bioplasticsnews.com/2020/03/13/consortium-biobased-asphalt/>

Östman, B, et al. (2012) Brandsäkra trähus 3. Redaktion: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. 3. udgave, 180 s.