

Högvärdiga produkter av lokala biomassor - med fokus på byggmaterial

Udarbejdet af Lunds Universitet, DTU, Malmö stad, Gate 21, Søuld, RUC,
Teknologisk Institut, NSR og Køge Kommune



Innehåll

Short introduction from the Interreg-project Power Bio	3
1. Opbygning af lokale cirkulære bioøkonomiske systemer gennem opgradering af kommunalt bioaffald.....	5
1.1. Værdifulde Produkter fra Kommunalt Bioaffald	6
1.2. Hvem Efterspørger Disse Produkter?	7
1.3. Konklusion	10
2. Lokala biomassor	11
2.1. Gräs.....	11
2.2. Ålgräs	16
2.3. Strandopskyl – tang og ålegræs	19
2.4. Halm.....	30
2.5. Hampa.....	32
2.6. Tagrør.....	39
3. Biokol	40
4. Biobaserade byggmaterial av lokala biomassor	47
4.1. Gräsbaserade material.....	47
4.2. Ålgräsbaserade material.....	48
4.3. Biobaserade isoleringsmaterial.....	51
4.4. Halmbalar som byggmaterial	54
4.5. Hampakalk.....	56
4.6. Biokolsinblandad betong och kalkputs	60
5. Exempel biobaserade byggprojekt i Danmark och Sverige	62
5.1. Munkmodell och hampa i Tomelilla	62
5.2. Tiny Varigheden på Køge Fællesjord	65
6. Marknadsanalys av biobaserade byggmaterial	68
6.1. Biomassans egenskaper och tillämpningar	68
6.2. Implementeringshinder och begrænsninger	69
6.3. Strategiska utvecklingsvägar	72
7. Konklusion	73
8. Referenser	74

Short introduction from the Interreg-project Power Bio

Skriven av Mads Ohland-Andersen, Gate21

I en tid, hvor klimaforandringer og ressourceknaphed fylder stadig mere i samfundsdebatten, står vi over for en grundlæggende udfordring: Hvordan kan vi leve, bygge og producere på måder, der ikke tærer på planetens ressourcer, men i stedet styrker de naturlige kredsløb? En vigtig del af svaret findes tættere på, end vi ofte tror, i de lokale biomasser, som omgiver os.

Græs, ålegræs, halm, hamp og tagrør er alle materialer, vi traditionelt har betragtet som restprodukter eller ligefrem affald. De slås, høstes eller skyller op, hvorefter de ofte brændes, deponeres eller komposteres. Men i virkeligheden rummer disse ressourcer et stort potentiale, hvis de i stedet opgraderes til højværdiprodukter.

Biomassernes naturlige egenskaber, deres fibre, næringsstoffer, styrke og isoleringsevne gør dem til oplagte kandidater i udviklingen af biobaserede byggematerialer, biokul, bioplast og andre grønne alternativer til de fossilbaserede produkter, vi i dag er afhængige af.

Det er netop denne omstilling, som Interreg-projektet Power Bio tager afsæt i. Her arbejder mere end 20 danske og svenske partnere sammen om at udvikle og teste nye løsninger, der kan forvandle restbiomasser til produkter med høj værdi.

Projektet spænder bredt fra kortlægning af lokale restbiomasser til afprøvning af teknologier og udvikling af nye biobaserede materialer, som kan finde vej til markedet. Målet er både at reducere klima- og miljøbelastningen og samtidig skabe nye muligheder for grøn vækst i regionen.

Et særligt fokus i rapporten er byggesektoren, der står for en betydelig del af de samlede klimaudledninger. Her er behovet for bæredygtige alternativer presserende. Biobaserede byggematerialer kan erstatte energi- og ressourcekrævende produkter som beton, stål og plast og samtidig skabe løsninger, der bidrager til et sundere indeklima og et lavere klimaaftryk.

Rapporten samler erfaringer og viden fra flere spor, fra konkrete eksempler på kommunal håndtering af biomasser som græs og ålegræs til analyser af teknologiske muligheder for forarbejdning og pyrolyse samt eksempler på innovative virksomheder, der allerede udvikler og markedsfører biobaserede materialer.

Samtidig peger rapporten på de udfordringer, der skal håndteres, blandt andet i forhold til logistik, forarbejdningsteknologi, lovgivning og markedsadgang. Ved at belyse

potentialiet i de forskellige biomasser, deres anvendelsesmuligheder og de værdikæder, der kan bygges op omkring dem, ønsker denne rapport at inspirere til handling.

Visionen er at understøtte udviklingen af en fremtid, hvor kommuner og lokalsamfund ser bioaffald ikke som en byrde, men som en værdifuld ressource, der kan skabe nye produkter, nye arbejdspladser og en mere bæredygtig hverdag.

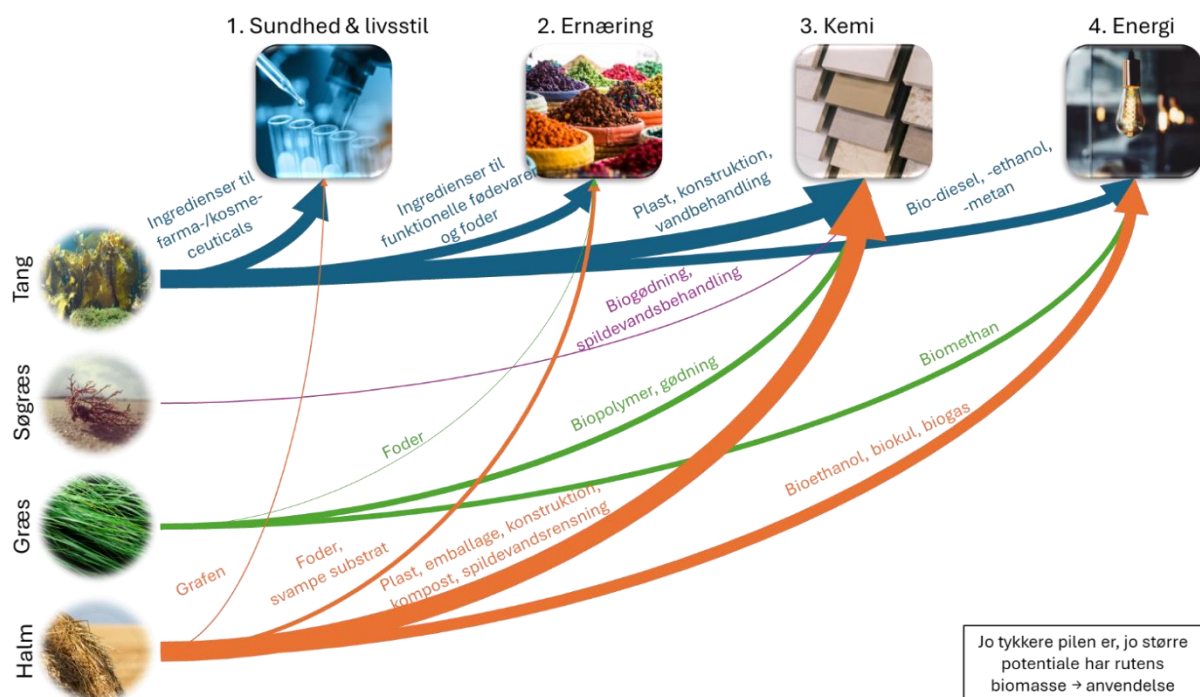
1. Opbygning af lokale cirkulære bioøkonomiske systemer gennem opgradering af kommunalt bioaffald

Skrevet af Lynn Eriksen og Rodrigo Salvador, båda DTU Engineering Technology & Didactics

Fotnot: Hele dette kapitel er baseret på en videnskabelig artikel af Salvador, Eriksen, Kjaersgaard, Hedegaard, Knudby, et al. (2025)

Kommuner står over for voksende udfordringer inden for affaldshåndtering, men ny forskning peger på spændende muligheder. Det viser sig, at det, vi traditionelt har betragtet som affald, såsom tang og ålegræs fra strande, græsafklip fra parker og landbrugshalm, faktisk indeholder værdifulde komponenter, der kan omdannes til produkter med høj værdi. Denne cirkulære, bioøkonomiske tankegang kan hjælpe kommuner med at vende omkostninger til indtægter, samtidig med at de fremmer miljømæssig bæredygtighed.

I det følgende ser vi nærmere på, hvordan kommuner kan etablere lokale, cirkulære bioøkonomiske systemer ved at opgradere bioaffald, med fokus på produktmuligheder, potentielle kundegrupper, forarbejdningsteknikker, værdikædens aktører og bæredygtige forretningsmodeller; se figur 1.1.



Figur 1.1. Roadmap for udnyttelse af affaldsbiomasse med mest potentiale. Figur från Rodrigo et al. (2025).

1.1. Værdifulde produkter fra kommunalt bioaffald

Fra strandens opskyl til værdifulde materialer

Tang fra strande rummer et væld af muligheder på tværs af værdispektret. I den høje ende finder vi farmaceutiske ingredienser, hvor bioaktive forbindelser fra tangen kan indgå i medicinske produkter. Kosmetikindustrien kan udnytte tangens naturlige egenskaber i fugtighedscremer, anti-age-produkter og hudplejemidler.

Fødevarerindustrien har længe brugt komponenter som agar og carrageenan fra tang som naturlige fortykningsmidler og stabilisatorer.

På mellemniveau kan tang bruges til at fremstille biopolymerer og bioplast, der kan erstatte oliebaseerede plasttyper. Tangens evne til at binde tungmetaller gør den ideel til spildevandsrensning. Den kan også indgå i bæredygtige byggematerialer og anvendes som naturlig gødning i landbruget.

Selv når alle højværdikomponenter er udtaget, kan restmaterialet fra tangen omdannes til biobrændstoffer som biodiesel, bioethanol og biometan, der kan bruges til grøn energiproduktion.

Ålegræs viser også lovende potentiale, selvom der har været mindre interesse fra industrien, end der har været for tang. Det er særligt egnet til akustisk og termisk isolering i byggematerialer og viser brandhæmmende kvaliteter. Det kan også bruges som biogødning, til spildevandsrensning og som vækstsustrat for planter.

Græsafklip – Mere end bare kompost

Den store mængde græs, der klippes fra kommunale arealer, kan også omdannes til værdifulde produkter. Ved hjælp af avancerede teknologier kan cellulose fra græs omdannes til nanokrystaller, der kan anvendes for eksempel i bæredygtig emballage. Græssets høje proteinindhold gør det velegnet til dyrefoder, mens dets fibre kan indgå i bionedbrydelige materialer.

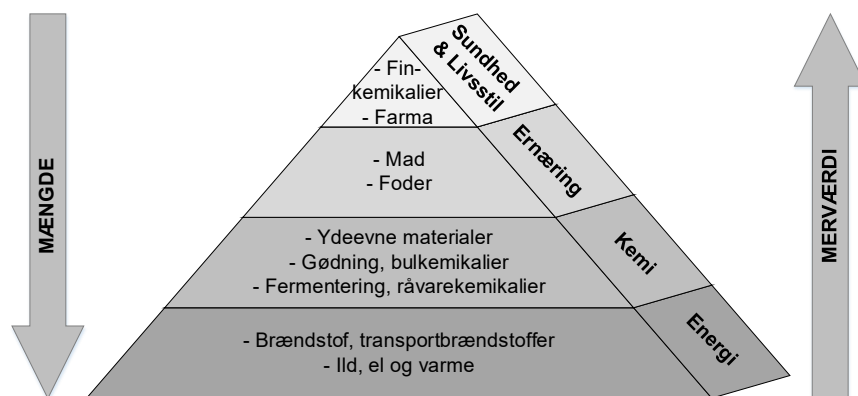
Græsafklip kan også erstatte tørv i pottjord, hvilket adresserer et stort miljøproblem, da tørveudvinding frigiver betydelige mængder CO₂. Gennem anaerob nedbrydning kan græs desuden omdannes til biometan, der derfor er en vedvarende energikilde.

Halmens mangfoldige anvendelsesmuligheder

Landbrugshalm, ofte betragtet som et restprodukt, rummer potentiale i hele værdipyramiden; se figur 1.2. I den høje ende kan halm bruges til fremstilling af grafen til medicinske anvendelser, xylitol som naturligt sødemiddel og specialzymer til industrielle processer.

På mellemniveau kan halm fungere som substrat til svampedyrkning, omdannes til biokompositter til byggebranchen, indgå i tekstil- og papirproduktion eller forarbejdes til biogødning og biokul til jordforbedringsformål.

Halm er også et udmærket udgangspunkt for bioenergiproduktion, enten gennem omdannelse til flydende biobrændstoffer som bioethanol eller ved fremstilling af faste brændselsbriketter og biogas.



Figur 1.2. Biomasse værdipyramide. Figur från Salvador et al. (2025).

1.2. Hvem efterspørger disse produkter?

Markedet for bioproduktionen fordeler sig over flere forskellige kundesegmenter, hver med deres særlige behov og interesser.

Industrielle aftagere

Farmaceutiske virksomheder søger konstant efter nye bioaktive stoffer til lægemiddeludvikling, og her kan særligt tang bidrage med unikke forbindelser.

Kosmetikbranchen efterspørger i stigende grad naturlige ingredienser med dokumenterede effekter, hvilket taler direkte ind i potentialet for tang- og ålegræseksplanter.

Fødevarerindustrien har brug for naturlige tilsætningsstoffer som erstatning for syntetiske alternativer, mens landbrugssektoren kan bruge organisk gødning og jordforbedringsprodukter fremstillet af både tang, græs og halm. I byggebranchen er der stigende efterspørgsel efter bæredygtige materialer, hvor særligt ålegræs og halm kan bidrage til isoleringsmaterialer og biokompositter.

Tekstil- og emballageindustrien står midt i en grøn omstilling, hvor biobaserede alternativer til konventionelle materialer efterspørges for at reducere miljøbelastningen.

Offentlige institutioner som aftagere

Den offentlige sektor kan selv være en betydelig aftager af produkter fremstillet af bioaffald. Kommunale spildevandsanlæg kan drage fordel af biomassens filtrerende egenskaber. Offentlige byggeprojekter kan anvende bæredygtige byggematerialer som led i en grøn indkøbsstrategi. Kommunale energiselskaber kan udnytte biometan fra forgæret bioaffald, mens park- og naturafdelinger kan bruge kompost og jordforbedringsprodukter i deres daglige arbejde.

Forbrugermarkedet

På forbrugermarkedet er der forskellige segmenter, der kan have interesse for bioproduktion. Sundhedsbevidste forbrugere efterspørger naturlige kosttilskud og funktionelle fødevarer, hvor tangbaserede produkter kan spille en vigtig rolle. Miljøbevidste forbrugere søger aktivt efter produkter med reduceret miljøpåvirkning, såsom biobaseret emballage og naturlige plejeprodukter.

Haveejere, særligt dem der dyrker økologisk, har interesse i naturlige gødningsprodukter og jordforbedring, mens dyreejere kan efterspørge bæredygtige foderprodukter med højt proteinindhold.

Værdikædens aktører

En velfungerende cirkulær bioøkonomi kræver samarbejde mellem forskellige aktører langs hele værdikæden.

I indsamlingsleddet spiller kommunale affaldshåndteringsafdelinger en central rolle ved at sikre systematisk indsamling af græsafklip og strandopskyl. Landbrugskooperativer kan bidrage med halm og andre landbrugsrester, mens specialiserede indsamlingsvirksomheder kan udvikle effektive systemer målrettet biomasse af høj kvalitet. For strandopskyl kan dedikerede strandrensningsservices sikre regelmæssig og skånsom indsamling.

Forarbejdning og fremstilling kan varetages af forskellige typer virksomheder. Bioraffinaderier håndterer den primære forarbejdning og fraktionering af biomassen. Specialiserede udvindingsvirksomheder fokuserer på at isolere værdifulde forbindelser med høj renhed. Biobrændstofproducenter omdanner biomasse til energi, mens materialeproducenter skaber biokompositter og byggematerialer. Fødevearengrediensproducenter raffinerer spiselige komponenter til brug i fødeveareindustrien.

Distributionen forbindes gennem specialiserede distributører, der skaber forbindelse mellem biomasseforarbejdere og industrielle kunder. Ingrediensleverandører forsyner producenter med raffinerede biomasseforbindelser, mens grønne byggematerialeforhandlere distribuerer biobaserede byggekomponenter.

Landbrugsforsyningsvirksomheder markedsfører jordforbedringsprodukter til landbrugs- og havebrugssektoren.

Bag udviklingen står forskningsinstitutioner, der udvikler nye teknologier og anvendelser, bioteknologivirksomheder med fokus på innovative udvindingsmetoder, og produktudviklingsspecialister, der designer forbrugerprodukter med biobaserede ingredienser.

Bæredygtige forretningsmodeller

Forskellige dele af biomasseværdikæden kræver forskellige forretningstilgange for at sikre økonomisk bæredygtighed.

For virksomheder inden for indsamling og primær forarbejdning kan indtægterne komme fra servicegebyrer fra kommuner for affaldshåndtering, salg af forberedt biomasse til videre forarbejdning, og miljøincitamenter for at aflede affald fra deponering eller forbrænding. Omkostningssiden omfatter indsamlingsudstyr og arbejdskraft, transportlogistik, forarbejdningsfaciliteter samt udfordringer med sæsonbetonet forsyning. De mest levedygtige modeller i dette segment omfatter offentlig-private partnerskaber, kooperative ejerstrukturer med flere interessenter, og serviceorienterede virksomheder med langsigtede kommunale kontrakter.

Implementeringsstrategier for kommuner

Kommuner, der ønsker at etablere lokale cirkulære bioøkonomiske systemer, bør overveje en struktureret tilgang.

Første skridt er en grundig vurdering og planlægning. Dette indebærer kortlægning af tilgængelige biomasseressourcer, herunder mængder, kvalitet, sæsonvariation og nuværende bortskaffelsesomkostninger. En markedsanalyse kan identificere lokal og regional efterspørgsel efter potentielle produkter, mens en teknologivurdering kan evaluere tilgængelige forarbejdningsteknologier, der er egnede til den lokale kontekst. Det er også vigtigt at identificere potentielle partnere i både den private sektor, forskningsinstitutioner og blandt nabokommuner.

Strategisk prioritering er næste skridt. Kommuner bør begynde med "hurtige gevinster", altså anvendelser med bevist teknisk gennemførlighed og umiddelbare lokale markeder. Dette kan skabe tidlig succes og momentum. Samtidig bør de støtte udviklingen af hele værdikæden ved at tiltrække eller udvikle virksomheder inden for både indsamling, forarbejdning og distribution. En trinvis tilgang til skalering er klog, hvor man starter med mindre operationer, der senere kan udvides i takt med, at markederne udvikler sig. Diversificering af produkter kan øge den økonomiske modstandsdygtighed over for markedsudsving.

For at støtte implementeringen bør kommuner udvikle støttende politikker og reguleringer. Dette kan omfatte tilpasning af affaldsregulativer for at fremme udnyttelse frem for bortskaffelse eller udvikling af grønne indkøbspolitikker, der prioriterer

biobaserede produkter. Økonomiske incitamenter som opstartsstøtte, skattelettelser eller præferenceindkøb kan hjælpe nye virksomheder med at etablere sig. Investeringer i nødvendig infrastruktur, såsom indsamlingssystemer eller forarbejdningsfaciliteter, kan være nødvendige for at overvinde startbarrierer. Vidensdeling gennem samarbejde med forskningsinstitutioner og erfaringsudveksling med andre kommuner kan accelerere udviklingen.

1.3. Konklusion

Omdannelsen af kommunalt biomasseaffald til højværdiprodukter giver kommuner en unik mulighed for at skabe lokale cirkulære bioøkonomiske systemer. Ved at udnytte tang, ålegræs, græsafklip og halm på innovative måder kan kommuner både løse affaldshåndteringsudfordringer og skabe økonomisk værdi.

De forskellige biomassefraktioner tilbyder et bredt spektrum af produktmuligheder, fra farmaceutiske ingredienser og kosmetiske komponenter til byggematerialer og bioenergi. Disse produkter kan afsættes til både industrielle kunder, offentlige institutioner og forbrugermarkeder, hvilket skaber alsidige forretningsmuligheder. Gennem effektive forarbejdningssteknikker og en bioraffinaderitilgang kan kommuner maksimere værdien af deres biomasseressourcer ved at udnytte dem fuldt ud. Dette kræver samarbejde mellem forskellige aktører i værdikæden, fra indsamlere og forarbejdere til distributører og forskningsinstitutioner.

Økonomisk bæredygtige forretningsmodeller er mulige inden for alle dele af værdikæden, men kræver strategisk tænkning og tilpasning til lokale forhold. Ved at implementere en faseopdelt strategi med fokus på tidlige succeser, løbende skalering og produktdiversificering kan kommuner opbygge robuste bioøkonomiske systemer. Selvom der er teknologiske, logistiske og økonomiske udfordringer forbundet med at etablere cirkulære bioøkonomiske systemer, viser forskningen, at en strategisk tilgang kan overvinde disse. Resultatet kan være en lokaløkonomi, der skaber værdi af det, der tidligere blev betragtet som affald, reducerer miljøpåvirkningen og skaber nye arbejdspladser.

De mest succesfulde kommunale tilgange vil sandsynligvis kombinere umiddelbare praktiske anvendelser med langsigtet udvikling af højværdimuligheder og dermed opbygge komplette værdikæder, der maksimerer både de økonomiske og miljømæssige fordele ved opgradering af biomasseaffald. Ved at tænke cirkulært og se bioaffald som en ressource snarere end et problem kan kommuner gå forrest i omstillingen til en mere bæredygtig fremtid.

2. Lokala biomassor

2.1. Gräs

skriven av Helen Nilsson, Malmö Stad, Camilla Raagaard Ernst och Tommy Olsen, båda Gate21.

Græs findes naturligt overalt, hvor det får mulighed for at gro, og forædlede sorter dyrkes intensivt i landbruget, hvor de anvendes til afgræsning samt høst til både hø, ensilage og frø. I PowerBio arbejdes der udelukkende med græs uden for landbruget, dvs. på naturområder, der skal afgræsses eller slås for at opnå en bedre biodiversitet, samt på kulturarealer som vejkanter, parker og lignende.

Græs er en meget effektiv plante, som tager magten på et areal, hvis der er et højt næringsindhold i jorden. Skal man opnå høj biodiversitet med mange urter, skal næringsstofniveauet holdes lavt. Det sker ved at fjerne græsset og dermed næringsstofferne fra arealet.

Projektet har haft sit primære fokus på høst og indsamling af græs fra naturplejearealer og anvendelsen af dette til biogas og produktion af højværdiprodukter.

Foruden tagrør har projektet arbejdet med græs, som er blevet inddelt i tre overordnede typer og dermed tre mulige biomassepotentialer, se Tabell 2.1.

Vejgræs	Naturarealer	Grønne arealer
Rabatgræs	Paragraf-3 beskyttede områder	Parker
Vejmidtegræs	Natura 2000 områder	Landbrugsområder ejet/driftet af kommune
Græs der slås samtidig med rabatgræs		
Grøftekanter langs veje		

Tabell 2.1. Tre typer av gräs och deras potential som biomassa.

Kommuner i Danmark og Sverige varetager plejen af forskellige typer græsarealer, som slås 1-2 gange om året, se figur 2.1, og som håndteres individuelt af hver kommune. Der er stor forskel på, hvordan kommunerne håndterer græsset, hvor store mængder græs der er tale om, og hvordan det slås, samles og bortskaffes. Der er også stor forskel på, hvordan arealerne er udformet, om de er flade eller har mange skråninger, og dermed også på det udstyr, der benyttes til at slå græsset på forskellige strækninger og arealer.



Figur 2.1. Naturgræs høstet i Hørsholm Kommune i augusti 2024.

For mange kommuner gælder det, at græsset slås og bortskaffes til deponi eller kompostering (Hedegaard et al., 2025; Power Bio Interreg, 2025). Der er altså gode muligheder for, at græsset kan udnyttes bedre end i dag, eksempelvis som biomasse til biogas eller biokul eller til produktion af højværdiprodukter.

Fordi biogaspotentiallet fra græs er forholdsvis godt (hvis det leveres som biomasseinput under de rette betingelser), er der flere kommuner, som allerede har eller fortsat er i gang med at afsøge, hvordan græs til biogas kan ske mere systematisk og i større skala, eventuelt i samarbejde med andre kommuner på tværs af kommunegrænserne for at optimere og koordinere mængder, opmagasinering og leverancer.

Det græs, som kan være sværere at sende til biogas, er vejgræsset, da det ofte er forurenet med især plastaffald, og mængderne er små, fordi arealer og strækninger er begrænsede. Det gør det ofte uinteressant for biogasproduktion, medmindre det samles i større mængder. Dermed opstår et potentiale for at udnytte dette vejgræs som en ressource til f.eks. isoleringsmaterialer i byggebranchen.

Der kan være en betydelig omkostning for kommunen forbundet med indsamlingen af græsset frem for at lade det ligge. For nogle kommuner er der politisk opbakning, og dermed også vedtagne budgetter, til at understøtte den biologiske mangfoldighed ved at lade græsset opsamles. For andre kan omkostningerne ved biogasbehandling frem for deponi være lavere.

Der eksisterer derfor fortsat mange muligheder for at anvende græsset på andre måder end i dag, ikke blot til biogas.

For andre kommuner er der dog begrænsninger i anvendelsen af græsset, da det eksempelvis i Malmö kategoriseres som affald og dermed behandles derefter.

Sedan 2019 har Malmö, enligt ett beslut i kommunstyrelsen, ökat ängsytor i staden för att gynna den biologiska mångfalden. Detta har lett till en ökad produktion av långt gräs och en fråga vad man ska göra med gräset som samlas in. För närvarande skickas allt gräs till kompostering men Malmö vill utforska om det kan finnas ett mer klimatsmart sätt att behandla gräset. Därför genomförde Malmö ett test genom att skicka 13 ton gräs till en biogasanläggning. En utredning genomfördes för att jämföra klimatpåverkan av kompostering vs rötning och en beräkningsmodell har tagits fram (Afry, 2024).

Gräset är ofta från näringsfattiga, torra, friska eller fuktiga ängsytor som slås en gång per år under sensommaren, augusti-september. Materialet ska ligga kvar några dagar så att växterna hinner fröa av sig.

I dagsläget slås ängsyterna i Malmö med rotorslätter eller slätterbalk. Gräset läggs sedan i strängar med en strängläggare, ligger kvar i 1–2 veckor innan det samlas upp i en uppsamlarvagn för att därefter läggas i container för vidare transport. Just nu hanteras allt långt gräs löst, för ängsyterna är det av vikt att materialet får ligga kvar en period för att fröa av sig och så att insekter kan flytta vidare innan gräset samlas upp. Att hantera gräsklippet med balpress bedöms i nuläget vara för komplicerat på stadens ängsytor då de till stor del utgörs av ojämna och besvärliga ytor. Den upphandlade entreprenören har även en maskin med dammsugare (direktuppsamling av gräs) som i dagsläget använts till trafikytor.

Klippt gräs klassificeras som avfall i Malmö, vilket kräver att mottagaren av den insamlade gräset har tillstånd att ta emot avfall. Efter 1–2 veckor samlas gräset upp och transporteras till den upphandlade leverantören som tar emot gräsklippet från Malmö stads ängsytor och gör en bedömning av kvalitén av gräset samt om det är kontaminerat. Gräs som ska komposteras kan inte innehålla brätten, plasticsäckar eller annan plast; glas, metall eller papper eller invasiva arter. Därefter görs en behandling (malning för att materialet ska bli mindre kompakt) av gräs och annat trädgårdsavfall som förberedelse för bättre komposteringsmöjligheter i nästa steg. Därefter mals gräs och annat trädgårdsavfall, en behandling som gör materialet mindre kompakt, och förbättrar komposteringsmöjligheterna i nästa steg.

Gräset används antingen till kompost eller förbränning. Gräset som bedöms ha tillräckligt god kvalitet för att ska gå till kompost transporteras som en del av park- och

trädgårdsavfall till Malmös avtalade avfallsleverantör, SYSAV. Under 2024 samlades ca 190 ton gräs in i Malmö, en siffra som förväntas öka i framtiden när fler ytor omvandlas till äng. Målet i Malmö är att 100% av allt som klassificeras som park och trädgårdsavfall (innefattande gräs) ska komposteras enligt avfallsförordningen. Men i nuläget finns inte tillräckligt stora ytor för att kompostera allt avfall som kommer in på, så en viss del går således till förbränning.

För att testa om man kan göra en mer högvärdig produkt av gräset genomfördes ett test i augusti 2024 när Malmö skickade en del av sitt gräs till en biogasanläggning ca 70 km från Malmö. Den Anläggningen valdes på grund av att eftersom den hade tillstånd att ta emot avfall, då gräsklipp klassificeras som avfall enligt Malmö stad. Vid mottagandet var gräset inte invägt men den uppskattades mängden gräs vara cirka 13 ton gräsklipp.

Vid slåttern hackades gräset upp till en strållängd på max 10 cm. På biogasanläggningen tippades gräset först av i en tippficka och kördes därefter in i en mottagningstank med hjullastare, i denna tippades gräset ned och mixades med övrigt substrat som skulle rötas (allt övrigt biogassubstrat i anläggningen är pumpbart). Därefter går substratet vidare in i en blandningstank och sedan till hygienisering med värmeväxlare på 70 grader för att som ett sista steg gå in i den stora reaktorn där rötningsprocessen pågår i 25 dagar.

Insikter från detta försök, insamlade från personal på biogasanläggningen, är följande,

- Det gräs som levererades var torrt och det blåste en del på dagen för inlastning till biogasanläggningen, vilket försvårade intippningen. Dessutom lade gräset sig som ett svämtäcke i mottagningstanken. Risken finns att gräset hinner börja ruttna innan det kommer till en biogasanläggning och då försvinner delar av gasen. Det bästa för biogasanläggningen och för klimatnyttan vore att få in gräset så snabbt som möjligt efter skörd för att få ut mesta möjliga gas.
- För biogasanläggningen tyder resultatet med gräsklipp från Malmö stad på att det skapar vissa drifts- och produktionsproblem med gräset i den form det kom in i. Eftersom gräsetklippet från Malmö stad, skapade vissa drifts- och produktionsproblem för biogasanläggningen föreslås att man nästa gång levererar pumpbart eller gräsklipp i mindre beståndsdelar. Teoretiskt finns det Det finns potential att ta in ganska mycket gräs i anläggningen, men gräset ska i så fall helst vara pumpbart eller i mindre beståndsdelar för att fungera så bra som möjligt i anläggningen.
- Kanske är andra tekniker än våtrötning bättre för gräsklipp som biogassubstrat, vidare lyfts att gräset kanske behöver längre uppehållstid än 25 dagar i

rötkammaren. Torrötning lyfts som en möjlig bättre metod för att göra biogas av gräsklipp.

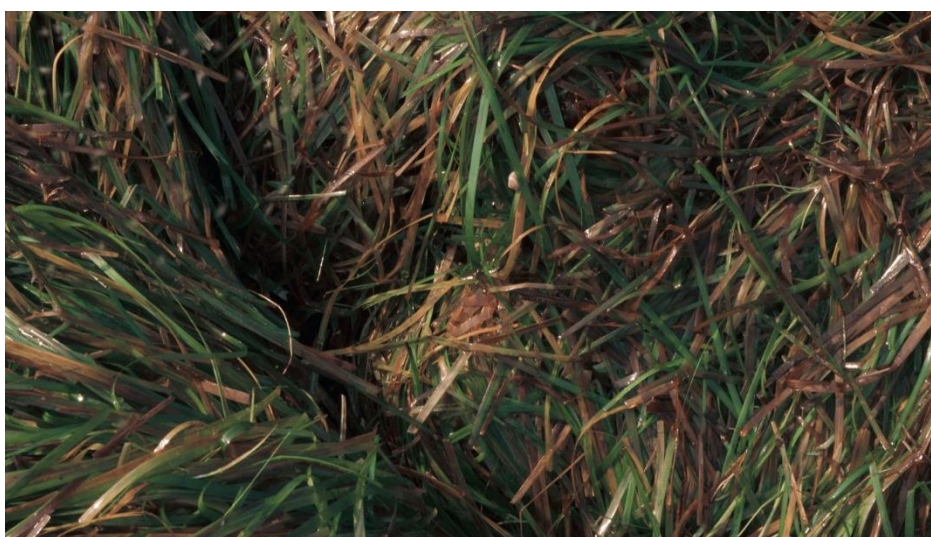
För att Malmö ska uppnå potentialen med biogasproduktion från gräs behöver staden ändra sin nuvarande process för hantering av ängsgräs, genom att:

- Hitta ett samarbete med en biogasanläggning som har möjlighet att ta emot det gräsklipp som stadens ängsytor (G5) ger upphov till, helst utan hackning eller annan förbehandlingsmetod.
- Arbeta fram en ekonomisk modell som följer upphandlingsregler och Kommunallagen för hantering av stadens gräsklipp. Klassas det som avfall eller inte och hur styr man bäst processen för att uppnå maximal nytta med gräsklippen?
- Se över avtal med SYSAV, i syfte att kunna komma överens om att en andel av det gräsklipp som tidigare levererats hit i stället kan gå till biogasanläggning för energiåtervinning.
- För att gräset ska vara till bäst nytta för rötning till biogas bör det vara så färskt som möjligt, därmed behöver uppsamling ske i direkt anslutning till att ängsytorna klipps. Dessa möjligheter beskrivs mer utförligt i nästa kapitel.
- För att bevara syftet med biologisk mångfald kan maskiner som skonar insekter användas, vidare finns möjlighet att raspa av fröer innan gräset slås så att dessa blir kvar i ängsytan.
- Staden har ett pågående arbete med att se över och justera skötselklasserna för Malmös gräs- och ängsytor.

2.2. Ålgräs

Skriven av Kirsten Lynge, Søuld

Ålegræs (*Zostera marina*) er en blomsterplante, der gror på havets bund på forholdsvis lavt vand, i dag på op til ca. 7 meters dybde, men tidligere op til 12 meter, fordi vandet var mere klart i førindustriel tid. Ålegræsset, se figur 2.2, gror i enge og spreder sig både ved frø og med rods kud. Når planten vokser i løbet af sommeren og efteråret, produceres der lange grønne blade, som planten taber i løbet af vækstsæsonen. Disse blade skylles rundt i vandoverfladen i et par dage, inden de enten synker til bunds eller lander på en kyst. Især i blæse- eller stormvejr bliver bladene løsnet fra planterne, og vinden er med til at sørge for, at bladene driver langt og ofte lander på kyster i store mængder.



Figur 2.2. Frisk ålegræs opskyllet på kysten ved Bogø. Foto: Søuld og Christian M. Andersen

Hvis ålegræsbladene fjernes fra kysten, mens de stadig er friske og grønne, og tørres nænsomt, får man et stærkt og holdbart materiale, som tidligere har været anvendt til alt fra tage til polstring. På øen Læsø i det nordlige Kattegat opfandt kvinder i 1600-tallet tage af ålegræs, der i daglig tale kaldes tangtage. De udviklede en metode til at tække, eller tænge, som det hedder, når der anvendes ålegræs i stedet for strå, hvor ålegræsset spindes til lange reb, der vikles om lægterne (Danske Bygningshåndværk, 2018). Disse tage kan holde i flere hundrede år, og især gavlene er konstrueret på en måde, som gør dem yderst langtidsholdbare. Der er bevaret gavle af tangtage, der vurderes til at være ca. 350 år gamle, blandt andet på Museumsgården midt på Læsø, se figur 2.3.



Figur 2.3. Læsø Museumsgård. Foto: Søjld og Christian M. Andersen.

I slutningen af 1800-tallet og frem til 2. verdenskrig blev der indsamlet store mængder ålegræs langs de danske kyster. Det blev anvendt til tangmadrasser, blandt andet af firmaet Getama (der står for Gedsted Tangmadrassfabrik), som i dag er en kendt dansk møbelproducent. Ålegræsset var også en stor eksportvare og blev anvendt til polstring i Fords biler i en årrække.

I Folk og Flora fra 1971 skrives, at man i 1914 bjærgede 8.000.000 ton ålegræs (tørstof). Det virker overdrevet, men hvis tallet blot er i nærheden af sandt, er det bemærkelsesværdigt.

I lokalarkiver har vi fundet, at Kalvehave Tangexport (1910-1960) i 1950'erne omsatte ca. 2.000 ton ålegræs om året fra Sydsjælland, Møn, Bogø og andre småøer i området, se figur 2.4. Her er der tale om mængder, der blev bjærget efter den store epidemi i 1930'erne.



Figur 2.4. Foto fra Kallehave Tangexport. Kilde og årstal ukendt.

I 1930'erne gik der en global svampesygdom i ålegræsset, som gjorde, at det mange steder var i stor tilbagegang, og op til 90 % af de globale forekomster forsvandt. Ikke længe efter kunne nye, smarte produkter som skumgummi og mineraluld bruges som erstatninger for ålegræs. Men helt op i 1950'erne og 1960'erne blev der bjærget og solgt ålegræs på øerne syd for Sjælland, og der kom ålegræsopkøbere til Læsø, som tilbød ejere af tangtage en fin sum penge for deres ofte flere hundrede år gamle ålegræs. Ålegræs blev på den tid stadig anvendt i militærets madrasser på grund af ålegræssets indhold af mineraler, der gjorde, at mus og lopper ikke gik i materialet.

I mange årtier var ålegræsset en overset og uudnyttet ressource, og tangtagene på Læsø var i forfald. I 2010 tog en gruppe ildsjæle på Læsø udfordringen op og ville lære sig selv at renovere tangtage på ny. Først blev de eksisterende tage kortlagt, og man fandt, at der var knap 30 huse tilbage med fulde tangtage eller dele af tangtage. Gruppen bestod i begyndelsen primært af tækkemand Henning Johansen, initiativtageren til det levende museum Læsø Salt, Poul Christensen samt Marcelle Meier, arkitekt og fritidslæsøbo.

Der var ikke meget ålegræs omkring Læsø længere, så for at skaffe materiale tog de kontakt til landmænd på Møn og Bogø, der boede på steder, hvor der historisk havde været bjærget ålegræs. En af disse, Kurt Shierup fra Møn, var allerede tovholder på et projekt, der gik ud på at bjærge ålegræs gennem et beskæftigelsesprojekt i Vordingborg Kommune. Langsomt, men sikkert, steg mængden af ålegræs, som de nu tre landmænd på Møn og Bogø kunne indsamle og tørre. Og der skulle store mængder til: Et enkelt tangtag kan være lavet af 60–100 tons tørret ålegræs, og der blev i en årrække renoveret eller udskiftet et par tage om året.

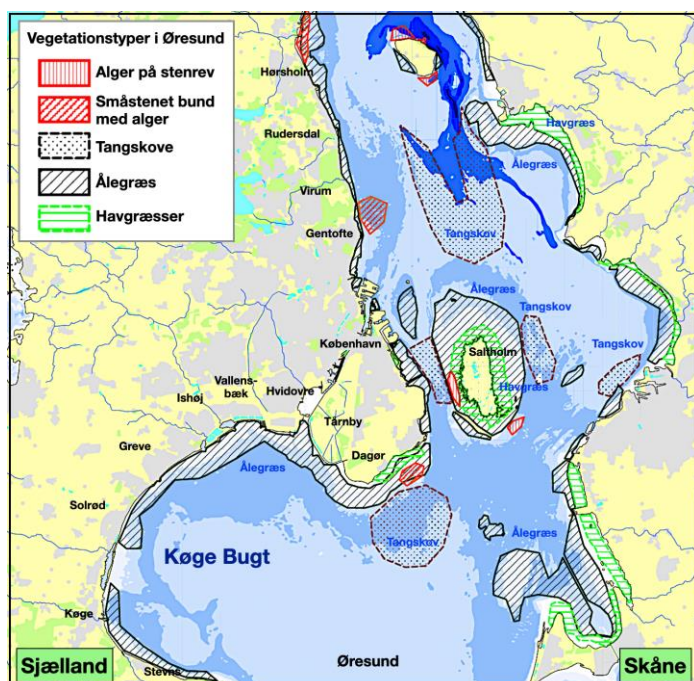
De faste leveringer af tonsvis af ålegræs til Læsøs tangtage var med til at bevise, at store mængder ålegræs af høj kvalitet og renhed kunne produceres på få hundrede meter kyst. Flere fik øjnene op for ålegræssets kvaliteter, som nu også blev solgt i mindre mængder som materiale til mønninger på stråtage til diverse tækkemænd og som pudefyld til små systuer.

2.3. Strandopskyl – tang og ålegræs

Skriven av Tyge Kjær, Roskilde Universitet

Fotnot: Hele dette kapitel er baseret på notatet "Tang og ålegræs" som tagits fram inom Interregprojektet Power Bio.

Vi kender vist alle tang på stranden; nogle gange er det knastørt at gå på, andre gange kan det have en ubehagelig lugt. Vi møder typisk tangen som opskyl på stranden, hvor væksten er ophørt, og materialet er under nedbrydning. Det, vi nogle gange kalder tang, består i virkeligheden af to forskellige typer, nemlig tang (makroalger) og ålegræs (en vandplante). De vokser på forskellige områder, hvilket kan belyses med nedenstående oversigt.



Figur 2.5. Vækstområder for tang og ålegræs i Øresundsområdet.

Figur 2.5 illustrerer de forskellige vækstområder for makroalger og ålegræs. De angivne vækstområder understreger de afgørende forskelle mellem makroalger og ålegræs.

Forskellen mellem tang og ålegræs er meget stor: Tang optager næring direkte gennem hele tangens overflade. De forskellige tangtyper har ikke rødder, stængler eller blade. Fordi tangen ikke har rødder, hæfter den sig til sten og klipper med særlige hæftetråde. Der skønnes at være ca. 400 forskellige tangarter i Danmark, hvoraf ca. 200 af disse arter findes i Øresundsområdet.

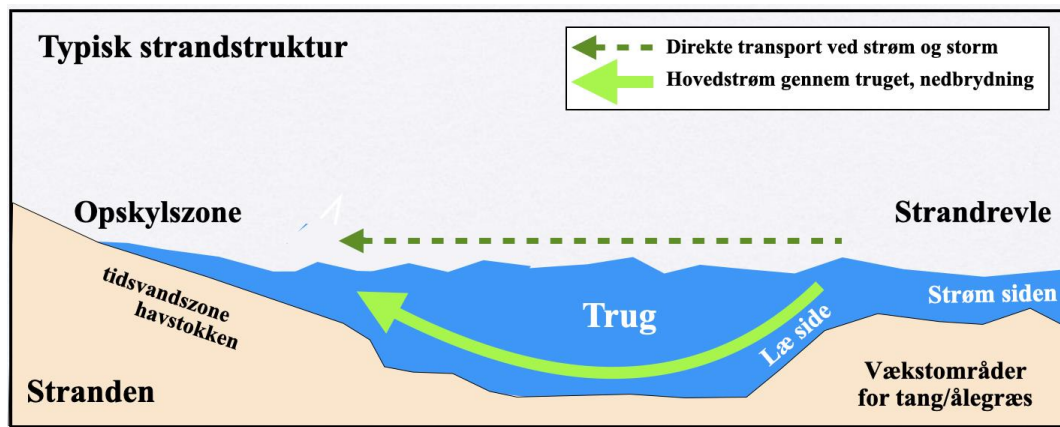
Vandplanter (ålegræs) har derimod rødder til at optage vand og næring. Planten har blade og blomster og vil typisk vokse på sandbund eller lignende, hvor rødderne hæfter planten til dens vækstområde. I Danmark regner man med ca. 10 forskellige varianter i ålegræsfamilien. Den helt dominerende variant er det almindelige ålegræs, som noget

misvisende – især tidligere – blev kaldt almindelig bændeltang, som ikke er tang, men en vandplante.

Hvor vokser tang og ålegræs

Kyststrukturen spiller en helt afgørende rolle for, hvor tang og ålegræs vokser, hvordan det frigøres fra vækstområderne, og hvordan det ender som strandopskyl og eventuelt bliver indsamlet. Kyststrukturens betydning belyses her med Køge Bugt som eksempel (se de forskellige lokaliteter for tang- og ålegræsområder i figur 2.5).

Strandene i Køge Bugt kan karakteriseres som en fladkyst, hvor kysten er opbygget af løse materialer såsom sand, grus og sten, hvilket skaber en specifik sammenhæng mellem vækstområder og opskylsområder, se figur 2.6.



Figur 2.6. Opvækst og transport af tang og ålegræs ind til kysten, enten transport gennem »truget« eller direkte transport i havoverfladen ved kraftig storm og strøm.

Figur 2.6 viser, at hovedparten af produktionen af tang og ålegræs finder sted på de kystnære strandrevler, hvorefter materialet transporteres til kystzonen gennem to hovedruter:

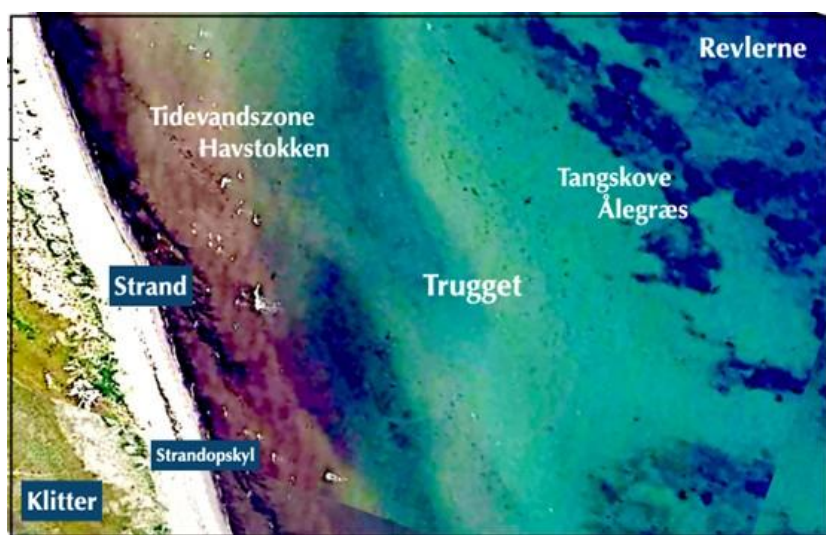
(a) Gennem »truget«, den normale transportrute, hvor transporten typisk vil være mere langvarig, og hvor tangmaterialet nedbrydes og opblandes med sand, både i truget, men især ved opskylningen på stranden.

(b) Direkte ved kraftig strøm og storm, hvor der dog overvejende vil være tale om ålegræs, blandt andet som følge af en lavere vægtfylde, der gør, at løsrevet ålegræs flyder oven på og med strømmen ind mod kysten ved kraftig storm.

Vækstmulighederne for tang og ålegræs er stærkt begrænsede i særligt to områder, nemlig truget og opskylsområdet. Truget er typisk så dybt, at ålegræs og de fleste tangtyper ikke kan vokse her, fordi sollyset ikke i tilstrækkeligt omfang kan understøtte fotosyntesen på grund af dybden. Hertil kommer, at solindstrålingen også kan være formindsket eller hindret af de mikroalger, der vokser i havoverfladen, og af fedtemøg, som i en del af vækstperioden er frit flydende på lavt vand.

Ålegræs kan typisk vokse ved lysåbne kyster ned til 5 meters dybde. Det samme gælder for en række tangarter; nogle kan dog vokse på større dybder, for eksempel savtang ned til 8 meter og almindelig vatalge ned til 10 meters dybde. Uanset hvor dybt tangplanten kan vokse, er det en forudsætning, at sollyset kan trænge ned. En stor opvækst af mikroalger i havets overflade som følge af næringsstofbelastningen reducerer de dybder, som ålegræs og tangplanter kan vokse på. Over en årrække er vækstdybden blevet reduceret for ålegræs.

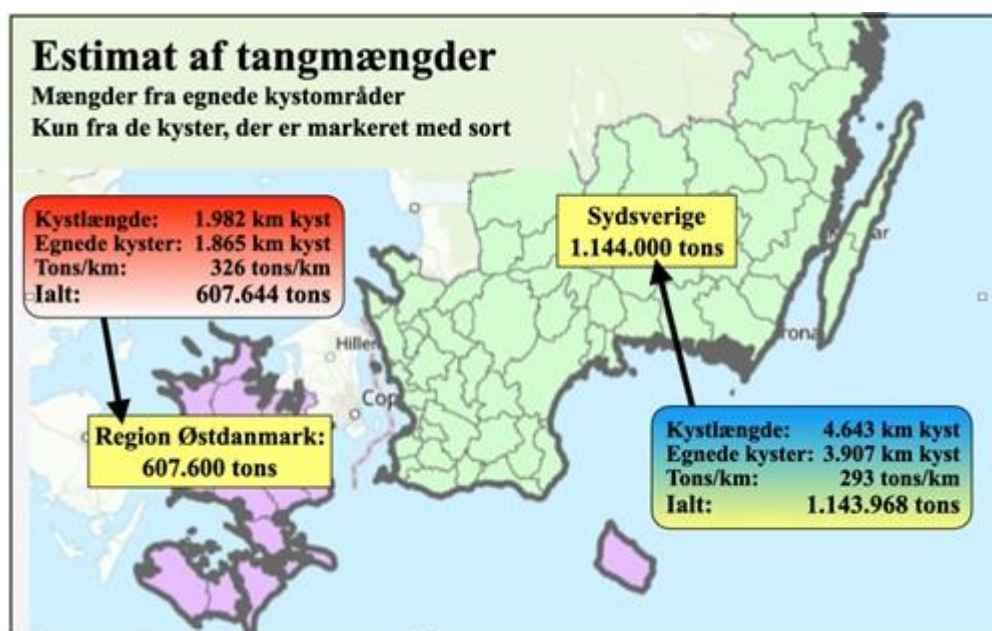
Opskylsområdet byder heller ikke på gunstige vækstforhold, dels på grund af den stærke mekaniske påvirkning fra de bølger, der skyller op og brydes i havstokken, og dels på grund af de reducerede vækstmuligheder i tidevandszonen, som er det område, der ved lavvande er tørlagt, og ved højvande er dækket af vand. Det er derfor ikke overraskende, at vi finder følgende vækstmønster (se figur 2.7). Figuren viser væksten af tang og ålegræs ude på den nærliggende revle. I trugget er der ingen vækst, mens den brune farve indikerer, at tang og ålegræs befinder sig i en begyndende nedbrydning til det, der efter kortere eller længere tid ender som strandopskyl.



Figur 2.7. Belysning af vækstområde for tang og ålegræs på basis af et luftfoto over dele af Køge Bugt.

Hvor meget tang og ålegræs er der?

Det er vanskeligt at estimere mængden af tang og ålegræs, men der er gjort forskellige forsøg. I nogle tilfælde kender man de indsamlede mængder, men man kender af naturlige årsager ikke den mængde, der ikke indsamles, men nedbrydes og ender som mudder eller mudret sandbund. Det ideelle ville være at kende størrelsen af det areal, hvor tang og ålegræs gror, og kombinere denne størrelse med en forventet årlig vækst af tang og ålegræs pr. km², hvor tallene er baseret på faktuelle rapporteringer af indsamlede og ikke indsamlede mængder. Et alternativ, men lidt mindre præcist, kunne være at tage udgangspunkt i længden af den kyststrækning, hvor tang og ålegræs ender som opskyl, og kombinere den oplysning med en forventet indstrømning eller et opskyl pr. kilometer strand. Dette er blevet forsøgt og kan illustreres med figur 2.8.



Figur 2.8. Hvor meget tang og ålegræs vokser der i det danske og svenske område; estimat af tang og ålegræs mængderne i tons. Figur från Hansen & Kjær (2020).

Figuren viser, at vi på baggrund af de anvendte metoder kan regne med 0,6 mio. tons tang og ålegræs i Region Østdanmark (en sammenslutning af Region Sjælland og Region Hovedstaden) og 1,1 mio. tons i det sydsvenske område, der dækker flere regioner. Tallene kan uddybes yderligere i tabel 2.2.

	Samlet kystlinie (km)	Egnede kystlinie (km)	Forventet tons pr km	Estimeret mængde (tons)	Indsamlet mængde r (tons)	Indsamling (%)
Sydsverige	4.643	3.907	293	1.143.968	-	-
Region Skåne	440	122	523	63.628	21.902	34
Region Østdanmark	1.982	1.865	326	607.644	-	-
Køge Bugt	100	95	326	30.825	14.250	46

Tabel 2.2. Estimer af tang og ålegræs i svenske og danske områder, samt mængde af indsamlet tang/ålegræs i Region Skåne og Køge Bugt. Data från Hansen & Kjær (2020) och Kjær (2023).

Det bemærkes, at der i Region Skåne er tale om en stor variation i tons pr. km. Gennemsnittet er 523 tons pr. km kystlinje med en variation på 109–2.629 tons pr. km. Den store variation afspejler, at opvækstarealet varierer i forhold til en given kystlinje på én kilometer.

Tallene i tabel 2.2 for Sydsverige og Region Østdanmark er identiske med tallene i figur 2.8. Tallene for Region Skåne viser, at den indsamlede mængde – opskylsmængden – skønnes at udgøre 34 %. Det tilsvarende tal for Køge Bugt er 46 %. Der er stor usikkerhed knyttet til opgørelsen af mængderne af tang og ålegræs, men det er næppe forkert at konkludere, at der er betydelige mængder, som ikke indsamles.

Hvornår kommer strandopskyllet?

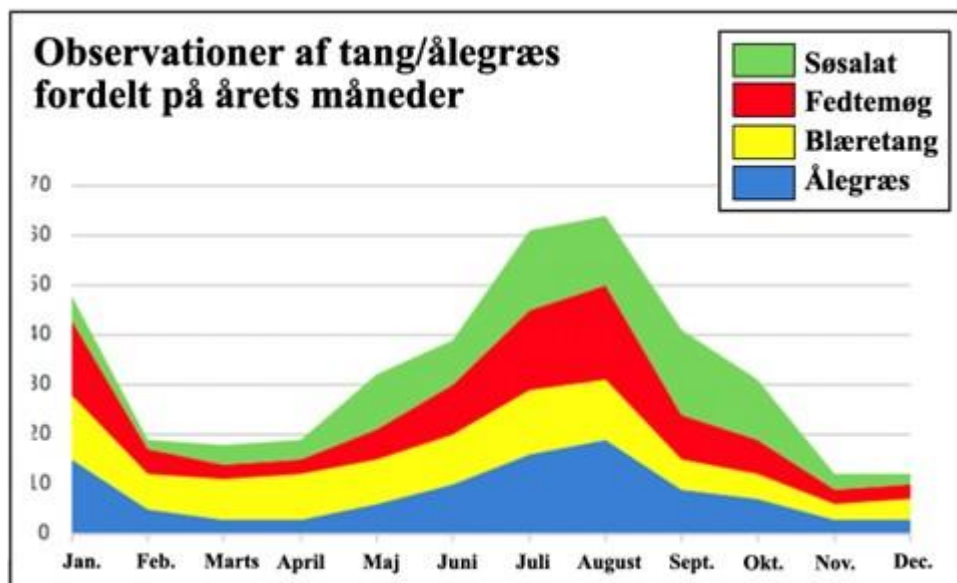
Tang og ålegræs vokser som bekendt ikke på stranden, i tidevandszonen eller i havstokken. Men det er her plante- og tangrester lander. Spørgsmålet er derfor: Hvornår forlader tang og ålegræs deres vækstområder for at ende som opskyl på stranden?

Som tidligere nævnt er der to forskellige forløb: (1) Ålegræs og tang forlader vækstområdet efter afsluttet vækst. (2) Direkte ved kraftig strøm og storm rives ålegræs op med roden og tangplanterne mister deres hæftelse på sten eller stenmateriale.

Tang: Der er stor variation i vækstformerne for de forskellige tangarter. Nogle er **enårige** medens andre er **flerårige**. F.eks. er fedtemøg enårige, som betyder, at årets vækst umiddelbart ender som organisk rest. Blæretang er flerårig og kan blive op til 5-6 år gammel, som betyder dels en løbende frigørelse af organisk materiale og dels en øget mængde ved plantens vækstafslutning efter 5-6 år.

Ålegræs: Ålegræs har et særligt vækstmønster, idet det enkelte skud kun kan huse op til 6 blade ad gangen. Ved en løbende bladforyngelse, kastes det ældste blad. En stor dele af de afstødte blade føres med vind og vejr ind til kysten. Sæsonmæssigt er der en stor variation. Om sommeren kan ålegræs huse 5-6 blade; om vinteren falder antallet til 2-3 blade ad gangen. Det enkelte skud kan danne op til 20 blade om året. Det betyder, at ålegræs løbende afgiver planterester (blade) over hele perioden.

På grundlag af indberetning af observationer til **Naturbasen** er det muligt at give et billede af, hvornår forskellige tangarter og ålegræs er blevet observeret på stranden, se Figur 2.9.

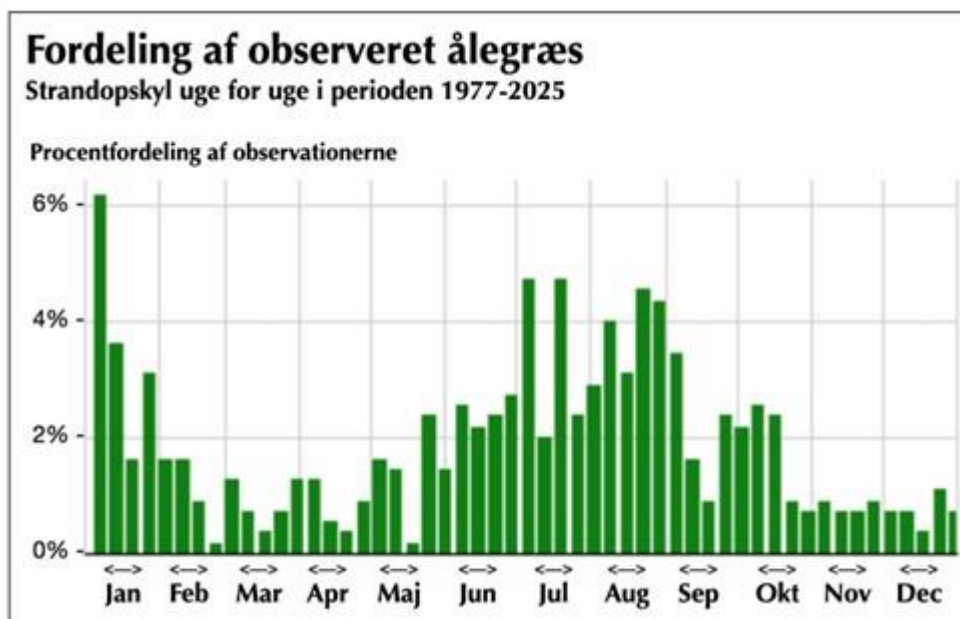


Figur 2.9. Månedfordelt observationer af opskyllet tang (søsalat, fedtemøg, blæretang) og ålegræs. Observationer løbende for perioden fra 1977/1980 til 2025. Sammenstilling af data fra (Naturbasen)

I figuren er der udvalgt tre almindeligt forekommende tangarter – søsalat, fedtemøg og blæretang – samt ålegræs. Observationerne af de forskellige tangtyper og ålegræs kulminerer i den afsluttende del af vækstperioden, dvs. i månederne juli og august. De relativt høje observationer i januar må især tilskrives vinterstorme, som i Øresundsområdet typisk har gjort sig gældende i december og januar.

Mange kommuner fjerner tang og ålegræs fra strandene, især i sommerperioden, for at gøre dem mere attraktive for badegæster. Figuren understreger, at de tre vigtigste måneder for strandrensning er juni, juli og august. I denne periode fyldes strandene op med tang og ålegræs. Selvom observationerne (og forekomsterne) kulminerer i juli og august, er det også tydeligt, at de tre udvalgte tangarter og ålegræs observeres hele året.

Dette kan belyses yderligere ved at vise ugemønstret for observationerne af ålegræs. Ålegræs kan observeres som strandopskyl i alle årets uger med en kulmination dels i sommerperioden juni–august (højvækstperiode) og dels i vinterugerne januar–februar (stormperioderne), se figur 2.10.



Figur 2.10. Ålegræs: Ugefördelt observationer af opskyllet ålegræs på de danske kyster for perioden 1977-2025. Data fra Naturbasen (*Almindelig Bændeltang*).

Konsekvenser af vækst- og opskylsmønstre

Hovedmønsteret i strandopskyl er, at de forskellige tangtyper og ålegræs ankommer stort set samtidigt. De er sammenblandet og i de fleste tilfælde allerede nedbrudt under transporten gennem truget, havstokken og tidevandszonen, inden de skylles op på stranden.

Der er ingen tvivl om, at de mange tangarter og ålegræs byder på interessante anvendelsesmuligheder. Der er imidlertid meget begrænsede muligheder for at anvende det tang og ålegræs, der opsamles på stranden eller i havstokken, fordi arterne er sammenblandet, og materialet i større eller mindre grad er nedbrudt efter kortere eller længere ophold i havet. Materialet er desuden i varierende grad blandet med sand, se figur 2.11.



Figur 2.11. Indsamling af tang/ålegræs på strand og i strandkanten, Solrød strand. Tang og ålegræs gennem rute (a), dvs. via 'truget', se Figur 2.6.



Figur 2.12. Ålegræs ankommet i strandområdet i Solrød Kommune i forbindelse med efterårs storm med pålandsvind. Tang, men især ålegræs gennem rute (b), se Figur 2.6.

Billedet viser indsamling af tang og ålegræs som led i strandrensning, hvor det indsamlede materiale placeres i en mile på stranden, afvandes og derefter køres til produktion af biogas på Solrød Biogas A/S. Materialet indeholder områdets typiske tangarter (blæretang, savtang, strengetang, havsalat og fedtemøg) samt ålegræs og en betydelig mængde sand, som typisk udgør mellem 40 og 56 % af tørstofindholdet. Tallene på figuren belyser den sandmængde, der tilføres tangen fra opvækst til opskyl. Indholdet af sand øges fra 18 % til 56 %, inden materialet bliver til opskyl, baseret på specifikke målinger.

Materialets bevægelse fra opvækstområderne gennem truget har nedbrudt materialet og blandet det med sand, både i truget, men især ved bevægelsen gennem havstokken og tidevandszonen.

Naturen blander det hele sammen til en mudret masse, som er vanskelig at anvende, se figur 2.12. I nogle tilfælde kan man dog være mere heldig: Kraftige storme og havstrømme kan over en kort periode føre tang og ålegræs ind i store mængder fra opvækstområderne, især ålegræs, som på grund af sin lave vægtfylde flyder oven på bølgerne ind mod kysten. Ankomsten af tang og ålegræs på denne måde er et særtilfælde. Det forekommer ikke hvert år og kan ikke danne grundlag for indsamling og anvendelse af de forskellige tangarter og af ålegræs.

Anvendelse af tang og ålegræs: EU-perspektiver

Tang og ålegræs spiller en stor rolle for havets økosystemer, fordi vegetationen på havbunden skaber levesteder for en række andre organismer – især når der dannes større, sammenhængende områder af tang eller ålegræs. Der er særlig opmærksomhed på ålegræs. I en rapport fra Øresundssamarbejdet gives følgende karakteristik:

»Ålegræsengene har stor økologisk betydning i kystområdet. Eksempelvis har ålegræs en høj primærproduktion, bladene danner grundlag for vedhæftede dyr og alger, de virker som skjul for mange arter af fiskeyngel og krebsdyr, og de er føde for mange havfugle« (Status for ålegræs 2008–2017).

Kun en meget begrænset del af strandopskyllet anvendes som ressource. Der findes hverken etableret anvendelse eller efterspørgsel efter materialet, hvilket betyder, at den almindelige indstilling er: Hvordan slipper vi lettest af med strandopskyllet? Kan det være anderledes? Er der andre muligheder?

Nyorientering i EU: Det er her relevant at henvise til EU-Kommissionens dokument Towards a Strong and Sustainable EU Algae Sector (2022) om en bæredygtig algesektor. Her fremhæves, at tiden nu er inde til en fuld udnyttelse af algers potentiale som en vedvarende ressource i Europa. Det understreges, at produktion og forarbejdning af alger og andre marine ressourcer (biomasse) kan bidrage til udviklingen af bæredygtige

fødevarer- og foderprodukter samt lægemidler, funktionelle fødevarer, biostimulanter til planter, biobaseret emballage, kosmetik og andre nonfood-produkter.

EU-rapporten forventer en betydelig vækst i både produktion og efterspørgsel efter tangprodukter frem mod 2030. Området er dog præget af høje produktionsomkostninger, små produktionsanlæg og en fragmenteret forvaltningsramme. Med 23 foranstaltninger vil EU-Kommissionen fremme udviklingen af algesektoren.

EU-Kommissionen satser både på dyrkning af alger og på indsamling af strandopskyl. Med virkning fra 2023 vil EU bl.a. undersøge eksisterende overvågningsordninger og tilgængelige data om høst af tang i havet og om tang, der er strandet på EU's kyster. Det er dog tydeligt, at de fleste foranstaltninger i EU-planen er rettet mod at etablere en egentlig algedyrkning i form af tangakvakultur – enten landbaseret, kystnær eller offshore.

Anvendelse af tang og ålegræs: Øresundsperspektivet

På kortere sigt kan problemstillingerne og udviklingsmulighederne i Øresundsområdet formuleres på følgende måde: Hvordan kan man øge indsamling og anvendelse af tang og ålegræs i Øresundsområdet med udgangspunkt i de skitserede mængder på 0,6 mio. tons i Region Østjylland og ca 1,1 mio. tons i Sydsverige. Der er to perspektiver i indsamlingen og anvendelse af tang og ålegræs:

- 1) *Fjernelse af næringsstoffer og kulstof fra havmiljøet.* Indsamle tang og ålegræs vil kunne bidrage til reduktion af kvælstofbelastningen af vores havområder.
- 2) *Anvendelse af tang og ålegræs til substitution af fossile råstoffer.* Det handler om en lang række af de formål og produkter, som tang og ålegræs kan anvendes til, hvis de kan tilvejebringes med en tilstrækkelig kvalitet.

Mulighederne for fjernelse og anvendelse skal kort belyses i det efterfølgende:

Fjernelse af næringsstoffer

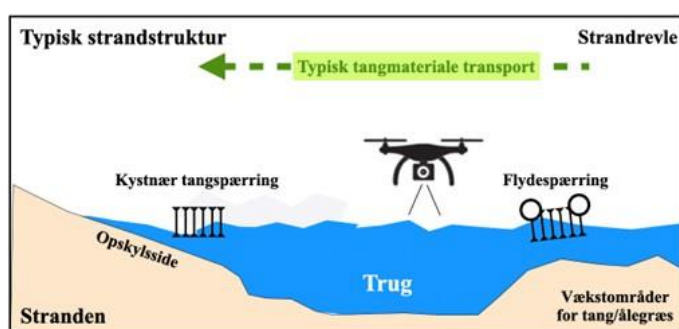
Ved at indsamle tang og ålegræs vil de næringsstoffer, der er optaget ved væksten, kunne fjernes fra havmiljøet. Potentialerne kan belyses med nedenstående Tabel 2.3., der er baseret på en række konkrete målinger, udført af Eurofins Miljø A/S.

Målingerne viser en stor variation. For det første er der en betydelig variation i tørstofindholdet. For det andet er der også en stor variation i indholdet af kvælstof, fosfor, cadmium og kalium. Variationerne er så store, at de ikke kan tilskrives naturlige forskelle, men må skyldes varierende nedbrydning af det tang- og ålegræsmateriale, der indsamles på stranden eller ved strandkanten. Nedbrydningen finder ikke kun sted på stranden, men også under hele transportvejen fra opvækstområderne til strandopskyllet, hvor de ovenstående prøver er taget.

Dato for prøvtagning	Tørstof, %	Total nitrogen mg/kg	Total nitrogen mg/kg ts	Fosfor mg/kg	Fosfor mg/kg ts	Cadmium mg/kg ts	Kalium mg/kg ts
	Målt tal	Beregnet tal	Målt tal	Beregnet tal	Målt tal	Målt tal	Målt tal
21. maj 2019	9,8 %	1.862	19.000	51	520	0,45	520
19. dec 2019	43,0 %	3.182	7.400	284	660	0,78	660
10. mar 2020	53,0 %	1.800	3.400	110	200	0,18	1.200
20. maj 2022	15,0 %	1.100	7.300	260	1.700	0,13	16.000
3 maj 2023	5,1 %	860	17.000	120	2.400	0,68	61.000
3 juli 2024	32,0 %	2.100	6.600	240	740	0,58	3.000
Gennemsnit	26,3 %	2.662	10.117	177	1.037	0,47	13.730
Standard tal	26 %	2.660	10.120	175	1.040	0,50	13.730

Tabel 2.3. Analyse af den samlede vegetation (tang og ålegræs) fra Kæøge Bugt, indsamlet i kystområdet i perioden 2019-2024 (Kjaer, 2025).

Standardtallene (tabellens gule linje) er baseret på et simpelt gennemsnit. Tabellen viser eksempelvis, at 1.000 tons tang og ålegræs i gennemsnit svarer til 260 tons tørstof, hvor de 1.000 tons tang i gennemsnit indeholder 1.820 kg kvælstof og 175 kg fosfor. Der er således betydelige fordele ved at indsamle og fjerne tang og ålegræs fra havmiljøet hurtigst muligt efter frigørelsen fra vækstområdet. Fjernelse af tang og ålegræs vil kunne give et væsentligt bidrag til den kvælstofreduktion, der er forudsat i EU's vandrammedirektiv i indsatsperioden 2021–2027. Indsatsen vil også kunne bidrage til målopfyldelsen af den kvælstofreduktion, der indgår i den danske trepartsaftale. Hvis vi samtidig kan anvende det indsamlede tang og ålegræs, vil gevinsten være mere end dobbelt.



Figur 2.13. Indsamling af kvalificeret materiale: (a) opvækstnær flydespærring; (b) Drone-lokalisering af indstrømning fra opvækstområdet; (c) Kystnær tangspærring (Kjaer, 2024a, 2024b).

Anvendelse af tang og ålegræs til specifikke formål

Hvis tang og ålegræs skal anvendes til specifikke formål som erstatning for fossile råstoffer, er det nødvendigt med et materiale, der er af højere kvalitet end det, der kan opsamles som strandopskyl. Det kræver en udvikling af indsamlingsmetoderne, så tang og ålegræs indsamles så hurtigt som muligt efter frigørelsen fra opvækstområdet. På den måde kan man undgå sammenblanding og nedbrydning af materialet. Mulige løsninger kan belyses med figur 2.13.

2.4. Halm

Skriven av Tyge Kjaer, RUC och Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet.

Halm er et biprodukt fra korn-, frø- og andre landbrugsafgrøder. Halmen er en vigtig ressource, som kan bidrage til at erstatte en række fossile produkter og brændstoffer. Den spiller derfor en central rolle i den grønne omstilling.

Halmens kemiske sammensætning af lignin, hemicellulose og cellulose giver en række egenskaber, som kan udnyttes til forskellige formål. Det er biologisk set et meget rigt materiale. Hertil kommer et højt tørstofindhold (80–85 %) og en høj energitæthed.

Der er desuden miljømæssige fordele ved at udnytte halmen til produkter, der kan erstatte fossile alternativer. Hidtil har halmen främst använts i landbrug og energisektoren. Men med tiden har det blevet faldende anvendelse i landbruget og dermed har overskydende mængder opstået, f.eks. i Region Sjælland og Skåne, se Figur 2.14.

Halm kan med fordel bruges som brændsel i kraftvarmeværker og vid produktion af bioethanol, f.eks. i Maribo Kraftvarme. Vid användning av halm för bioenergi är några viktiga utmaningar är hantering av stora mängder halmbalar och minskning av kostnaden per producerad energienhet, logistik, kvalitetskontroll av råvaran och industriell beredning av råvara för olika användningsområden (Engberg Pallesen, 2017). Halm kan også bruges til biogas, der metan bakterier omdanner halmen til biogas. Det findes både danske og svenske eksempler på anvendelse af halm till biogas.



Figur 2.14. Åker med halm i Skåne. Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn.

Dertil kommer anvendelsen af halm til byggeri og til produktion af byggemateriale och biokompositer hvor halmen indgår. Det finns stora mängder halm som skördas i Skåne och Danmark varje år. Även om bara en del av den skördade halmen skulle användas

som byggmaterial finns det stor potential för byggbranschen (Kanters et al., 2023). Halmgenererande grödor som vete, råg, korn, havre, råghvede och raps kan skapa tillförlitliga biobaserade materialflöden som kan användas för att producera byggmaterial med en låg miljöpåverkan. Bara i Skåne har den svenska byggsektorn tillgång till en mängd betydande halm som förnyelsebar råvara till byggmaterial.

Det biologisk set rige materiale danner grundlag for udviklingen af nye teknologier og metoder til anvendelse af halm gennem ekstraktion af f.eks. voks, lignin og cellulose, gennem enzymatisk nedbrydning, termokemisk konvertering m.v.

- Cellulosen kan bruges til papir og papirmasse, bioplast, nanocellulose, isoleringsmateriale, foder (fiberrig kost) og i den kemiske industri, f.eks. til celluloseacetat.
- Lignin kan bruges som bindemiddel, til plast og lignende kemiske produkter, til medicinsk brug, batterier, brændsel og som erstatning for bitumen i asfalt m.v.
- Furfural udvindes ved ekstraktion fra hemicellulosen og kan anvendes som opløsningsmiddel med særlige egenskaber, til produktion af nylon, som komponent i stålproduktionen og meget mere.

Aktuelle forskningsprojekter i Danmark og Sverige arbejder med at udvikle og optimere anvendelsen af halm. Her ligger fokus på byggematerialer, lignin og en alsidig udnyttelse af halm. De teknologiske udfordringer for halm handler om, hvordan og under hvilke betingelser potentialerne i de forskellige halmtyper bedst kan udnyttes. Halm har et stort potentiale og er et rigt biologisk materiale, som kan anvendes til mange forskellige formål. Der er imidlertid behov for en mere omfattende udviklingsindsats, hvis alle potentialer skal realiseres.

2.5. Hampa

Skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet och Bodil Engberg Pallesen, Teknologisk Institut.

Hampa (*cannabis sativa*) är en ettårig växt som historiskt sett har använts i Norden sedan Vikingatiden. Hampa kommer ursprungligen från Asien, och kom till Danmark och Sverige via Italien och Ryssland (Fröier, 1960). Den är en mycket mångsidig kulturgröda som har använts till olika ändamål, men främst till rep och textilier. I både Sverige och Danmark förbjöds hampaodling på 1960-talet. Nu är det dock åter tillåtet igen att odla hampa, då förbudet upphävdes i Danmark år 1998 och i Sverige år 2003.

Hampans stjälk kan delas upp i tre huvuddelar, se Figur 2.15.;

- Fiber
- Frö
- Skävor (hampans vedämnen, de träliknande delarna i hampastjälken)



Figur 2.15. Till vänster hampestængler presset i baller. I mitten hampeskæver og till höger hampafibre. Her hamp fra Bio2Products forarbejdet ved DunAgro, Nederländerne. Foton: Bodil E. Pallesen.

Hampafiber kan med fördel användas till bland annat textilier (till exempel jeans och skjortor), rep, isoleringsmaterial och biokompositer. Fröna används till livsmedel, och oljan som pressas från fröna används till exempel till kosmetika. Vedämnena är de träliknande delar av hampastjälken som blir kvar, de utgör ca 40–60% av hampastjälken.

Interessen for hamp og hampedyrkning er stigende i Europa. Det skyldes ikke mindst, at hamp – med et stort udbyttepotentiale – har mange anvendelsesmuligheder, som der er et voksende marked for både i Europa og globalt, især inden for byggeindustrien.

Industrihamp er en udpræget multifunktionel afgrøde med stærke fibre og træholdige skæver fra stænglen, der kan anvendes i byggematerialer som isoleringsprodukter og byggeblokke af hampkalk, i vækstmedier, til kompositter som f.eks. møbler samt til både lange og korte fibre til tekstilproduktion. Hampetoppen og de modne frø anvendes til foder og højværdifødevarer som hampeolie og protein. Derudover udvindes højværdistoffer fra blomster og blade i plantens top med indhold af CBD (cannabidiol) og THC (tetrahydrocannabinol) til medicinske formål og kosmetik.



Figur 2.16. Hamp hos Bio2Products ved dansk hampepioner Jørgen Heggelund 2024. Fiberhampen (hampasort Felina) blev i 2024 mellem 4-5 meter, normalt er dog 3 meter. Hampen t.h. var efter 1½ måned fra såning medio maj 2024. Foto: Bodil E. Pallesen.

Klimatet i Norden passer væk meget godt til hampodling. Hampa har en ganske kort vækstsæson, fra april til september, og vokser flere meter højt på de få måneder, se Figur 2.16. En normalhøjde for hampa i et nordisk klima er ca 3–5 m. Da hampa vokser højt på ganske kort tid har den dybe rødder som består af en pålrot med flere siderødder. Pålroten finder vandet langt ned i jorden og gør dermed hampa til en ganske torketålig vækst. De mange siderødderne kan bidrage til en forbedring af jordens struktur.

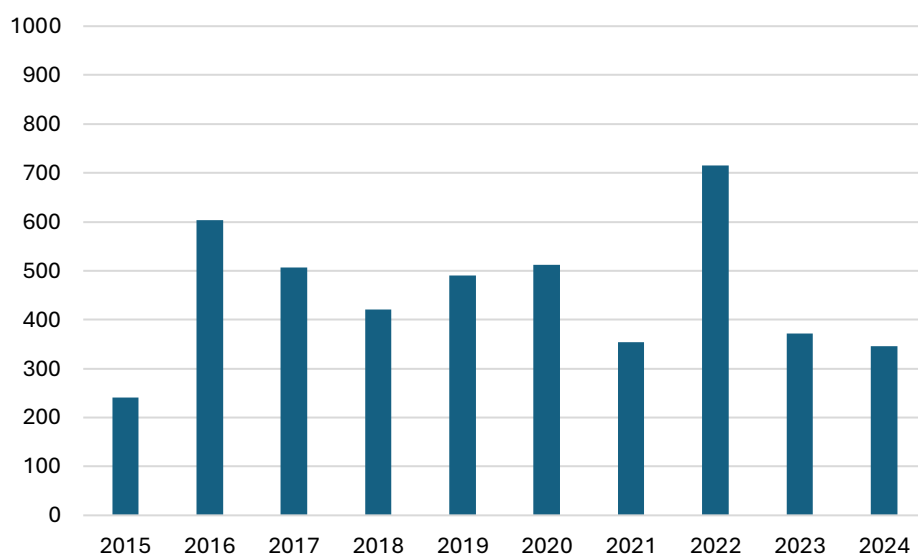
Hampdyrkning i Danmark

Arealet i Danmark begynder først at stige i 2016, hvor man indleder dyrkning af hampa til modenhed og udnytter hampefrøet til foder- og fødevarerformål, først an af Møllerup Gods. Arealet til dyrkning af hampa til fiberformål ligger i gennemsnit mellem 100 og 200 ha pr. år, se figur 2.17, hvor Bio2Products/Vittenbjerggård har været førende.

Da der endnu ikke findes et forarbejdningsanlæg i Danmark til at skætte hampestænglerne i fibre og skæver i større skala (2025), bliver fiberhampen forarbejdet i Nederlandene, hvor hampestænglerne opdeles i fraktioner af fibre og skæver. Hovedparten af skæverne returneres til Danmark og sælges til strøelse og til produktion af byggematerialer baseret på hampekalk (hempcrete).

Fibrene anvendes til fremstilling af isolering og leveres også til den danske virksomhed Convert, som producerer hampemåtter til isoleringsformål og kompositter. Blandt andet er der startet en kommerciel produktion af hampemåtter til stolen Mat Chair, lanceret af Normann Copenhagen – et resultat af udviklingsarbejde i samarbejde med Teknologisk Institut.

Der dyrkes desuden mellem 2 og 4 ha tekstilhamp i regi af Bio2Products som en del af projektet Hemp4Tex (Dansk Teknologisk Institut, 2020).

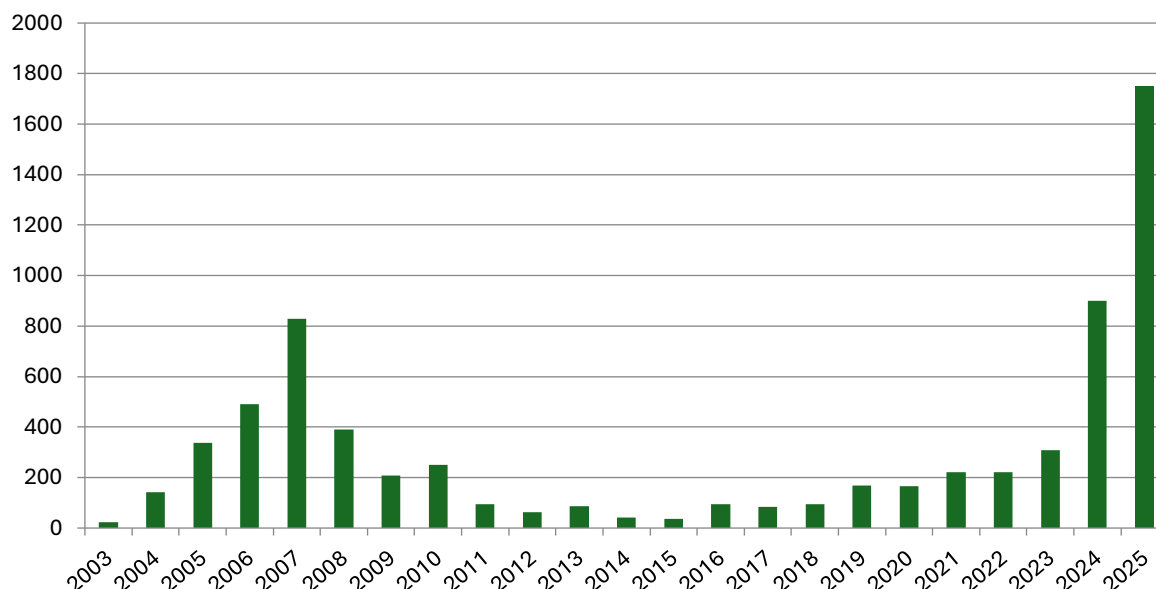


Figur 2.17. Areal industrihampa (hektar) som odlats i Danmark 2015 - 2024. Data fra Landbrugsstyrelsen, Danmark.

Hampaodling i Sverige

I Sverige har hampaodlingen från 2003 fram till 2023 varit ganska blygsam. De senaste åren har dock arealerna expanderat, bland annat då ett flertal aktörer har etablerat på marknaden som på ett eller annat sätt jobbar med hampaodling eller produkter baserade på hampa. Exempel på dessa är Österlen hampa, Svensk Hampaindustri, Hem(p) Company, Ekolution, Hemp Innovations Europe, EVIA, Ängelkottskompaniet, Mossagården och Hampaprodukter i Grästorp. Observera att denna lista inte är fullständig.

År 2003 uppgick hampaarealen i Sverige till ett tiotal hektar varefter hampaodlingen tog fart, och som mest nådde lite över 800 hektar i 2007. Industrin var dock inte redo än för att ta emot hampan som producerades, och odlingen har gått ner sedan dess. Men sedan 2018 har odlingsarealen expanderat igen, först långsamt, men 2024 odlades det hampa på ca 910 hektar i Sverige, se Figur 2.18. Enligt preliminära siffror för 2025 kommer arealen att gå upp till 1750 hektar, varav 1450 hektar odlas i Skåne, en stor ökning uppåt.



Figur 2.18. Areal industrihampa (hektar) som odlats i Sverige 2003–2025 (obs preliminära siffror för 2025). Data från Jordbruksverket, Sverige.

Dyrkningsmetoder for hamp afhænger af formål og slutanvendelse. I både Danmark og Sverige skal man hvert år ansøge om tilladelse til dyrkning af hamp, og man må kun anvende sorter fra EU's sortsliste med et THC-indhold under 0,2 %.

For at kunne dyrke industrihamp skal man hvert år ansøge Landbrugsstyrelsen i Danmark eller Jordbruksverket i Sverige om tilladelse. Her stilles der bl.a. krav om anvendelse af godkendte sorter. Afhængigt af formålet med hampedyrkingen er der stor forskel på, hvordan hampen skal dyrkes med hensyn til såtidspunkt, udsædsmængde pr. ha, valg af sort, høsttidspunkt, høstmetoder og ikke mindst processeringen af slutprodukterne. Valget af dyrkningsmetode er derfor afgørende for råvarekvaliteten til de forskellige anvendelsesformål.

Hampen har den særlige egenskab, at stænglerne skal rødne på marken efter høst for, at det er muligt at adskille fibrene fra skæverne, som sidder i midten af stænglen.

Fiberhamp, der typisk dyrkes til anvendelse i byggematerialer (se figur 2.19), f.eks. som fiberisoleringsmåtter og hampekalk baseret på skæverne, forarbejdes til såkaldte kortere fibre af grovere kvalitet end hamp til tekstile formål.



Figur 2.19. De rødnede hampeballer, der forarbejdes på hampefabrikken og laves til baller af hampefibre, til fx isolering mm samt hampeskæver til Hempcrete eller her strøelse. Foto Bodil E. Pallesen.

Dyrkning af hamp til tekstil, som stadig er i sin vorden i Europa, kræver, at hampestænglerne håndteres parallelt under høst og frem til skætningen af de lange fibre, der skal kunne spindes til garn. Her anvendes typisk mere end dobbelt udsædsmængde, meget lidt gødning og et tidligere høsttidspunkt med specialhøstere, som kan høste hampestænglerne, så de forbliver parallelle, se figur 2.20.



Figur 2.20. Hamp til tekstil, her fine slanke stængler, dyrket hos Bio2Products ved Køge i DK, 2024. Høstet med specialmaskine til paralleliserede stængler. Fra projektet *Hemp4Tex*. Foto Bodil E. Pallesen.

Hamp til modenhed fx fødevarer, er med tidlige sorter, fx Finola, som er tidligt moden med store frø, se Figur 2.21, og ligner mere dyrkning af raps, hvor de modne frø høstes med mejetærsker tilsvarende raps.



Figur 2.21. Finola-hampen er egnet til dyrkning af modne hampefrø til fødevareformål, som protein og olie.
Foto: Bodil E. Pallesen.

Stænglerne kan godt anvendes til fiberformål, men udbyttet af stængler er lavere end ved dyrkning af egentlig fiberhamp. Hampetoppen høstes ofte separat i forbindelse med skårlægning af hamp til kortfiberanvendelse, se figur 2.22, hvor hampetoppen samtidig afskæres og opsamles i en container, mens hampestænglerne skårlægges i 40–50 cm stykker. På denne måde kan man ekstrahere protein og eventuelt også højværdistoffer som cannabidiol (CBD).



Figur 2.22. Hampehøster til fiberformål, her hos Jørgen Heggelund, Bio2Products.
Foto: Bodil E. Pallesen.



Figur 2.23. *Mat Chair* af hamp.
Foto: Normann Copenhagen.

Hamp til medicinsk produktion adskiller sig markant fra industrihamp. Her kræves særlige tilladelser, og produktionen benytter specifikt fremavlede sorter med et højt indhold af tetrahydrocannabinol (THC). Dyrkningen foregår i drivhus, hvor der høstes blomster og blade, mens biomassen fra stængler kun udgør en meget lille andel.

Hampekompositter kan fremstilles af hampefibre. Når fibrene først er formet til måtter, er det muligt at producere 3D-kompositter af dem, f.eks. til brug som skaldele til møbler. Bodil Pallesen fra Teknologisk Institut har været involveret i hampeprojekter siden 1998, hvor udviklingen af hampemåtter blev patenteret. Siden er teknologien blevet videreudviklet til mange forskellige typer applikationer.

Senest er hampestolen Mat Chair (se figurer 2.23 og 2.24) blevet produceret af Normann Copenhagen i samarbejde med Convert. Designet er skabt af Foersom & Hiort-Lorenzen og udviklet i samarbejde med Teknologisk Institut. Stolen er lanceret af Normann Copenhagen og sælges i dag internationalt. Udviklingsarbejdet med hampestoleskallen er bl.a. støttet af FBCD, DEB Innovationskraft og Erhvervsfremmestyrelsen i perioden 2021–2022.



Figur 2.24. Udviklingsarbejdet med hampestoleskallen. Foto: Bodil E. Pallesen.

2.6. Tagrør

Skriven av Camilla Raagaard Ernst og Tommy Olsen, båda Gate21.

På grund af øget vådlægning af naturarealer slår kommunerne i stigende grad tagrør på disse arealer. I projektets sidste fase har der derfor også været fokus på anvendelsen af tagrør til biogasproduktion og til højværdiprodukter.

Tagrør (*Phragmites australis*), se figur 2.25, er en græsart, der kan blive op til 4 meter høj. Der kan dog være store variationer i højden, som især afhænger af næringsindholdet i det pågældende vækstområde. I flere tilfælde er det nødvendigt at begrænse væksten af tagrør. Strandenge, vandløb m.v. kan være domineret af høje græsser som tagrør, hvilket kan medføre kraftig tilgroning, der både kan nedsætte vandløbenes funktioner og skabe en artsfattig natur, domineret af f.eks. tagrør.

Dette kan udgøre en væsentlig hindring for udviklingen af en gunstig naturtilstand med høj biodiversitet. Høstning og fjernelse af tagrør kan derfor være et vigtigt led i vandløbs- og naturplejen. Det sker typisk ved grødeskæring og i forbindelse med vedligeholdelse af vandløb.



Figur 2.25. Tagrør som typisk vegetation i strandeng-områder.

Flere biogasanlæg har derfor vurderet muligheden for, om tagrør kan indgå som råvare til biogasanlægget, dog under forudsætning af, at materialet forbehandles inden det tilføres et biogasanlæg. Projektet har derfor også undersøgt dette potentiale, f.eks. i Vallensbæk kommune. Derudover har det været undersøgt hvorvidt det høstede tagrør kan erstattet importen af tagrør fra østen til taglæggere til stråtage.

3. Biokol

Skriven av Tobias Pape fra RUC, Kent Davidsson fra NSR och Paulien Strandberg-de Bruijn fra Lunds universitet

Biokol er en forholdsvis ny kategori af faste materialer, som kan variere betydeligt, men som alle har det til fælles, at de er skabt gennem pyrolyse af biomasse med et andet formål end efterfølgende energiudnyttelse.

Pyrolyse er betegnelsen for en proces, der finder sted, når tør biomasse udsættes for høje temperaturer (typisk 500–700 °C). Ordet pyrolyse stammer fra græsk og betyder ”at splitte med ild”. Ved pyrolyse opdeles biomassen i en fast fraktion (biokol) og en gasfraktion (pyrolysegas). Gasfraktionen kan efterfølgende køles ned, hvorved tjære, bioolie og andre væskefraktioner kondenserer ud. Dermed bliver pyrolyse en metode til at omdanne biomasse til biokol, bioolie og pyrolysegas.

Pyrolyse forekommer også som en del af naturlige processer, f.eks. ved skovbrande, men på grund af de store mængder ilt vil pyrolyse- og forbrændingsprocesser her ske sideløbende. Teknologi til biomassepyrolyse er ikke nogen ny opfindelse og har været anvendt i tusinder af år til en række formål – blandt andet til produktion af træbjærev og trækul.

Trækul og visse typer af biokol, der er fremstillet af træ, betegner i praksis det samme materiale, men formålene med produktionen er forskellige. Hvor trækul typisk produceres med henblik på forbrænding, fremstilles biokol som regel med henblik på anvendelse i produkter eller som gødnings- og jordforbedringsmiddel.

I figur 3.1 ses en række forskellige biokolprodukter fremstillet af diverse danske og svenske biomasser.

Der findes i dag hundredvis af anlæg til pyrolyse af biomasse af mange forskellige typer rundt om i verden. Mange anlæg til biomassepyrolyse er forholdsvis små og producerer fra få tons biokol om året til nogle hundrede tons. I de senere år er der dog kommet flere større anlæg, og nogle af de største kan producere mange tusind tons biokol årligt.

I princippet kan man producere biokol af alle typer biomasse. I praksis vil det dog være meget begrænset, hvilke typer biomasse et specifikt pyrolyseanlæg kan behandle. Før pyrolyseprocessen kan begynde, skal materialet være helt tørt og have opnået en kritisk temperatur. Hvis biomassen fødes våd ind i anlægget, vil den første del af processen derfor gå med at tørre materialet.

Fordampning af vand kræver store mængder energi, og biomasse med højt fugtindhold har større risiko for ikke at blive fuldt pyrolyseret, hvilket påvirker kvaliteten af alle produkter fra processen. Typisk anbefales det derfor, at biomassen indeholder højst 10–20 % vand, før den pyrolyseres.



Figur 3.1. Billeder af en række forskellige biokulprodukter fra pyrolyse af danske og svenske biomasser. Bild från Thomsen & Martin (2022).

Det er desuden vigtigt, at iltniveauet i pyrolyseanlægget holdes lavt. Ellers vil både kul-, olie- og gasprodukterne begynde at brænde og omdannes til røggas og aske under kraftig varmeudvikling. I figur 3.2 er det illustreret, hvad der sker, når biomasse (her knuste halmpiller) opvarmes i en iltfattig atmosfære, indtil den begynder at pyrolysere.



Figur 3.2. Illustration af den proces der sker når biomasse opvarmes til over 400 °C i en iltfattig atmosfære. Egen tilvirkning.

Det er vigtigt, at pyrolyseprocessen gennemføres fuldt ud, og at biomassen opnår tilstrækkelig temperatur hele vejen igennem. Derfor skal der foretages væsentlige overvejelser om partikelstørrelse, fugtindhold, varmeoverførsel, opholdstid m.v.

Det er desuden væsentligt at være opmærksom på, at mange problemer med udnyttelse af marginale biomasser – blandt andet i pyrolyseanlæg – ofte opstår i forbindelse med indføddningen af biomassen i anlæggene. Det er derfor vigtigt at have fokus på de forskellige krav til forbehandling, som gælder for de enkelte biomassetyper og for forskellige typer anlæg. Det kan f.eks. dreje sig om justering af fugtindhold, partikelstørrelsesfordeling, densitet, energiindhold, saltindhold, tungmetalindhold og andre parametre.

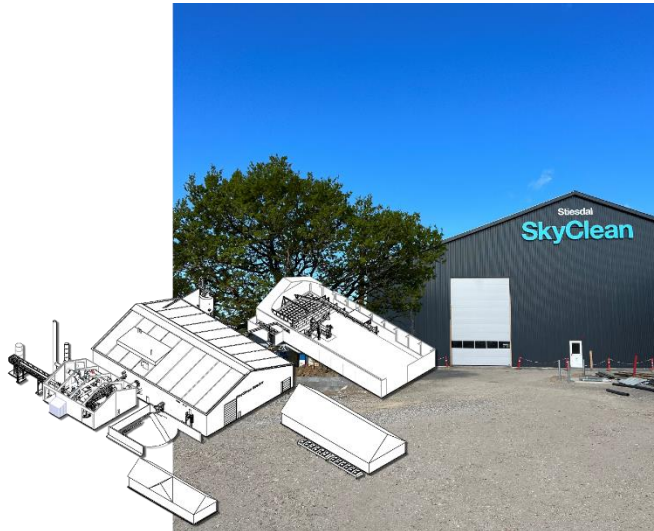
Der er mange relevante sammenhænge mellem biomasseegenskaber, anlægsegenskaber og produktsegenskaber. Hvis biokul skal anvendes som fodertilsætning, stilles der andre krav til produktet og til de biomasser, det kan produceres af, end hvis biokul skal bruges som tilsætning til beton eller som jordforbedringsmiddel.

I Danmark findes der i dag en række pyrolyseanlæg til behandling af spildevandsslam, halm og biogasrestfibre. Derudover er flere anlæg under udvikling. Ud over halm, slam og biogasrestfibre er der fokus på mulighederne for at behandle hønsemøg, skovflis, have- og parkaffald samt pulp fra græsraffinerer.

Det forventes i den danske pyrolysebranche, at produktionen af biokul i Danmark i løbet af 2025–2026 vil være på omkring 30.000–50.000 tons tør biokul om året. I figur 3.3 og figur 3.4 ses to af de danske pyrolyseanlæg, der allerede er i drift.



Figur 3.3. Danmarks første kommercielle pyrolyseanlæg til behandling af spildevandsslam. Bygget i Fårevejle af virksomheden AquaGreen.



Figur 3.3. Danmarks første kommercielle pyrolyseanlæg til behandling af biogasrestfibre fra et anlæg der producerer biogas af landbrugsrestprodukter og gylle. Bygget i Vrå af virksomheden Stiesdal SkyClean. ©Stiesdal SkyClean A/S.

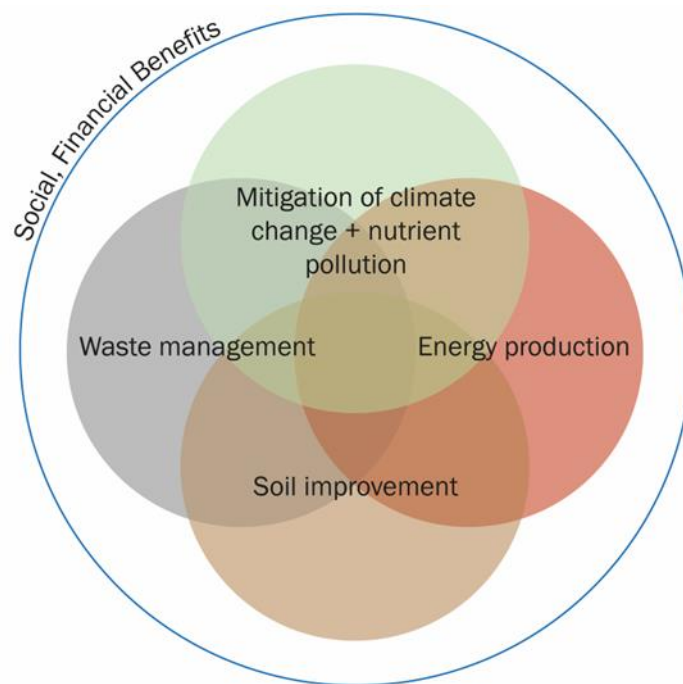
I Sverige findes der i dag også pyrolyseanlæg til behandling af spildevandsslam, og derudover til behandling af restbiomasse fra frøproduktion, træfraktionen af have- parkaffald og skovflis.

Anlægget til behandling af træfraktionen fra have- og parkaffald findes hos NSR i Helsingborg og er et af de første store pyrolyseanlæg i Sverige. I Helsingborg ligger desuden RecoPark, NSR's kompetence- og udviklingscenter. Her indgår også et kompetencecenter for biokol, som blev indviet i forbindelse med H22 City Expo i Helsingborg i sommeren 2022.

NSR er desuden en af grundlæggerne af innovationsklustret Biokol Sverige, et nationalt innovationskluster, der arbejder for at udvikle markedet for biokol og bioenergi fra pyrolyse.

Værdiskabelse i forbindelse med produktion og anvendelse af biokol

Biokol dannes som et af flere produkter ved pyrolyse. På grund af den fleksibilitet, der ligger i produkterne fra pyrolyse, kombineret med fleksibiliteten i de typer biomasse, der kan pyrolyseres, spænder den potentielle værdiskabelse ved implementering og anvendelse af teknologien meget bredt. Lehmann & Joseph (2021) har forsøgt at rammesætte dette potentiale med illustrationen i figur 3.5.



Figur 3.5 Model for værdiskabelse fra implementering af teknologi til produktion og anvendelse af biokul. Tilvirket fra Lehman & Joseph (2009) og gengivet i Thomsen (2022).

Figuren illustrerer, hvordan systemer til produktion og anvendelse af biokul kan skabe værdi på tværs af mange forskellige sektorer og på mange måder. Det kan ske gennem produktion af bioenergi, reduceret miljøpåvirkning via forbedret affaldsbehandling, imødegåelse af klimaforandringer gennem kulstoflagring i biokul, oprensning og genanvendelse af kritiske råmaterialer og ikke-fornybare næringsstoffer som fosfor samt forbedring af jordens frugtbarhed.

Der vil være store forskelle på, hvor og hvordan et givent system har potentiale for værdiskabelse. Et system til pyrolyse af slam kan eksempelvis bidrage markant til at undgå metanemissioner fra opbevaring af slam, fjerne PFAS og andre miljøfremmede stoffer samt bevare fosfor. Et system til pyrolyse af halm eller træ kan derimod bidrage væsentligt til produktion af bioenergi og langtidslagring af store mængder kulstof.

Figuren illustrerer dog kun de former for værdiskabelse, der relaterer sig til systemer, hvor biokul anvendes direkte i dyrkningsjord. Der foregår i øjeblikket en hastig udvikling af mange alternative og mere avancerede værdikæder, hvor biokul kan indgå.

I Power Bio-projektet er der blandt andet udført forsøg med:

- anvendelse af biokul i biobaserede byggematerialer,
- brug af biokul som filter til fjernelse af svovlbrinte fra biogas,
- anvendelse af biokul som geobatteri til at styrke biogasproduktion og
- anvendelse af biokul som jordforbedringsmiddel til planter i urbane miljøer.

Nogle af disse anvendelser kan kobles i kaskader. For eksempel kan biokul, der har været brugt til at fjerne svovl fra biogas, sandsynligvis også anvendes som gødnings- og jordforbedringsmiddel efterfølgende.

Pyrolyse kan desuden spille en central rolle i at bringe marginale og eventuelt forurenede biomassefraktioner i anvendelse. Det kan f.eks. være ålegræs- eller tangressourcer fra områder med højt indhold af PFAS og cadmium. Disse biomasser kan i nogle tilfælde ikke anvendes direkte, men med den rette pyrolyseproces, designet til at producere ren biokul fra sådanne fraktioner, kan materialet stadig udnyttes i jord, byggematerialer eller andre sammenhænge.

En af de anvendelsesmuligheder, hvor der foregår meget udvikling – særligt i Sverige – er brugen af biokul i beton. I projektet Kolinbindande betong – från potential till ton CO₂-ekvivalenter i tusental blev der udviklet en komplet værdikæde fra biogent affald til CE-mærkede betonprodukter med biokul. Et centralt resultat var udviklingen og lanceringen af klimaforbedrede betonblokke (f.eks. Murblock Bas ECO), som blev nomineret til Nordbyggs Guldmedalje.

Et andet vigtigt resultat i projektet var udviklingen af en ny pyrolyse-kalcineringsmetode samt en patentansøgt kulkomposit, der muliggør over 30 % erstatning af cement i traditionel beton. Flere produkter, herunder tørmørtel og designelementer til offentlige miljøer under det nye designbrand Gray, nåede markedsmodenhed. Tre verificerede EPD'er (Environmental Product Declarations) blev udarbejdet for de udviklede produkter. Projektet har bidraget til at skabe grundlaget for storskala anvendelse af biokul i byggesektoren, hvor kulstoflagring kombineres med industriel klimatransformation og øget udnyttelse af restprodukter.

I Danmark er det meste forskning og udvikling i disse år koncentreret om anvendelsen af pyrolyse til omdannelse af affalds- og restbiomasser for at forbedre miljø- og klimaforholdene i landbruget. Der forskes i miljøeffekter, klimaaftryk, jordbrugseffekter, udbringningspraksis, incitamentstrukturer og meget mere i denne sammenhæng.

Der er et markant fokus på kombinationen af biogas og pyrolyse, og flere projekter undersøger integrationen af de to teknologiplatforme. Samtidig er der en lang række projekter i gang inden for bl.a. anvendelse af biokul i byggematerialer, produktion af biokul fra nye typer landbrugsafgrøder samt fremstilling og brug af avancerede energiprodukter fra pyrolyse.

Der er nærmest uendeligt mange nuancer at undersøge og udvikle indenfor mulig anvendelse af pyrolyseteknologi og biokul. Biokul er aldrig bare biokul, og der er altid forskelle mellem forskellige kombinationer af biomasse + pyrolyseteknologi + anvendelsessammenhæng. Derfor er det afgørende at der udvikles testkapaciteter til at testpyrolysere og anvende biokul under forskellige forhold.

Inom PowerBio görs försök med att tillverka biokol i NSR:s testanläggning genom pyrolys av material från en rad biobaserade restströmmar. Materialet måste bestå av delar mindre än ca 20 mm för att passa den befintliga testanläggningen och kan därför behöva malas och helst pelleteras innan det pyrolyseras. Praktiken har visat att det är svårt att pelletera i den befintliga pelletspressen varför opelleterat material har pyrolyserats i några fall. Det kan gå bra att använda opelleterat material men produktionshastigheten blir betydligt lägre och det finns en risk för att det blir stopp.

Följande material har använts:

- Gran
- Vass
- Ålgräs
- Gräs

Gran kom från Tomelilla kommun i form av 2024 års offentliga julgran, och erhöles i två fraktioner: granstamflis och granflis (ett genomsnitt av granens alla delar ovan jord). Det bedömdes att fraktionen granflis var för blöt för att kunna användas medan granstamflis skulle kunna fungera. Tyvärr kunde inte granstamflis pelleteras på ett bra sätt varför fraktionen pyrolyserades opelleterat. Resultatet blev biokol av god kvalitet.

Vass erhöles från Vallensbaek kommune i en fraktion. Den kunde inte pelleteras och pyrolyserades därför opelleterat. Resultatet blev biokol av god kvalitet.

Ålgräs erhöles från Søuld i flera fraktioner. Fraktionen *rysterbord* pyrolyserades men visade sig orsaka en plugg av kladdigt material i anläggningen vilket avbröt försöket. Bedömningen är att ålgräs inte går att pyrolysera i denna anläggning. Det biokol som trots allt producerades var dock av god kvalitet.

Gräs erhöles från Malmö kommun i form av en bal. Materialet maldes och pyrolyserades opelleterat. Resultatet var biokol av god kvalitet.

Der er i dag rigtig mange steder at finde mere viden om produktion og anvendelse af biokol. I PowerBio-projektet er der blandt andet skrevet en aktuel videnskabelig artikel med fokus på brug af biokol til af fjern H₂S fra biogas (Martin et al., 2025). I PowerBio-projekts forløber GreaterBio blev der lavet en let tilgængelig screening af forskellige kommunale biomassefraktioner hvor det blev afdækket blandt andet for store potentialer for kulstoflagring der var forbundet hermed (Thomsen & Martin, 2022). Desuden er der på RUC udgivet en omfattende introduktionsrapport til emnet som indeholder referencer til en lang række uddybende kilder indenfor rigtig mange forskellige områder (Thomsen, 2022). Endelig er der en publikation på vej fra PowerBio projektet som vil samle op på forskellige praktiske erfaringer med at anskaffe og anvende biokol i Danmark og Sverige.

4. Biobaserade byggmaterial av lokala biomassor

4.1. Gräsbaserade material

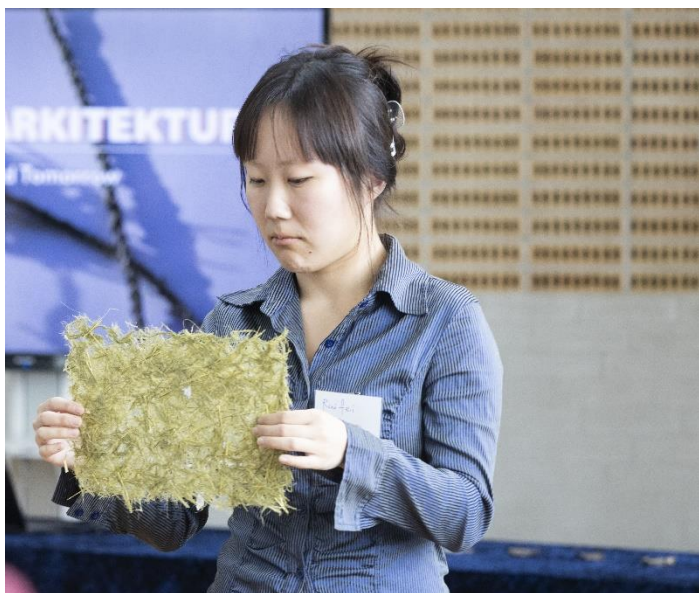
Skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet

Även om gräs inte är ett vanligt byggnadsmaterial idag finns det dock ett antal exempel på gräsbaserade byggmaterial som finns på marknaden, och gräsbaserade material som finns under utveckling. Gräsklipp är ett mycket vanligt restmaterial som oftast finns tillgängligt i större mängder, till exempel i de kommuner som är anslutna till projektet.

Gramitherm® är ett företag som tillverkar isoleringsmaterial av gräsklipp i sin fabrik i Belgien. Fiberfraktionen från torkat gräs (dvs hö) används för att producera gräsbaserat isoleringsmaterial. Därefter används den blöta delen av gräset, den så kallade juicen, till biogas om i sin tur levererar energi till produktionen.

På Köpenhamns universitet arbetar forskaren Julian Christ med utvecklingen av ett gräsbaserat skivmaterial. Skivmaterialet ska på sikt eventuellt kunna ersätta gipsskivor. Han arbetar även på att utveckla ett gräsproteinbaserat lim som kan användas i skivmaterial såsom plywood.

Som del av projektet Power Bio genomfördes under 2024 innovationstävlingen Biobased Tomorrow. Ett de deltagande start-up företagen, Studio CircOlar, har utvecklat ett nytt papper baserat på återvunnet papper med gräsinblandning, se Figur 4.1. Produkten är för närvarande under utveckling.



Figur 4.1. Återvunnet papper med gräsinblandning, innovation under utveckling, framtagen av Studio CircOlar inom innovationstävlingen Biobased Tomorrow.

4.2. Ålgräsbaserade material

Skriven av Kirsten Lynge, Søuld och Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet

Användning av ålgräs som byggmaterial går tillbaka långt i tiden. Redan i förindustriell tid användes ålgräs som taktäckning på bland annat ön Læsø i Kattegatt. För över hundra år sedan, i slutet av 1800-talet var ålgräsbaserade isoleringsskivor en etablerad produkt i nordöstra USA och sydöstra Kanada (Wyllie-Echeverria & Cox, 1999). Dessa så kallade Cabot's Quilts, uppkallade efter Samuel Cabot som utvecklade produkten, var ålgräsbaserade skivor som användes för isolering av hus. Ett exempel där ålgräsisolering har tillämpats i USA är Gropius House, byggt 1938 och ritat av den världskända arkitekten Walter Gropius (Brent & Gabby, 2003).

I modern tid har det byggts ett nytt hus på Læsø med taktäckning och fasader av ålgräs, det så kallade *Moderne Tanghus*, se Figur 4.2. Huset byggdes 2012 av Realdania By& By och ritades av Vandkunsten arkitekter.



Figur 4.2. Det Moderne Tanghus med taktäckning och fasader av ålgräs på Læsø, Danmark. Bild: Helene Høyer Mikkelsen.

Idag findes der moderne og holbare ålegräsbaserede bygningsprodukter på det nordiske marked (Engberg Pallesen, 2018). Søuld har været på markedet med akustikprodukter baseret på ålegræs siden 2021. Produkterne spænder fra akustikmåtter til montering på lofter og vægge til byggeindustrien, til designløsninger med måtter indrammet på forskellig vis til interiørbranchen.

I 2018 fik Henning Johansen fra Læsø støtte til at teste, om ålegræs kunne anvendes til produktion af måtter i et projekt sammen med Advance Nonwoven (nu Convert A/S) og Teknologisk Institut (Miljø- og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen, 2018). Der blev testet, om ålegræsset kunne forarbejdes til isoleringsmåtter – og det kunne det.

I en årrække lå idéen dog i dvale, indtil Henning Johansen sammen med sin steddatter, Kirsten Lynge, genoptog projektet. Nogle år senere indgik de et samarbejde med arkitekterne Tobias Øhrstrøm og Pi Fabrin, der gennem mange år havde arbejdet med ålegræssets potentiale som materiale i moderne byggeri. Med sammenlægningen af de to projekter opstod virksomheden Søuld, som i dag producerer akustikmåtter af ålegræs.

Søuld anvender udelukkende de ålegræsblade, som planterne naturligt afgiver i løbet af året, og som skylles i land. Ved nænsomt at indsamle disse blade på kysten og anvende dem i byggematerialer bevares den indlejrede CO₂. Samtidig bidrager brugen af de døde ålegræsblade til at fjerne næringsstoffer fra havmiljøet og forbedre forholdene for det eksisterende ålegræs, som er presset af høje kvælstofudledninger. Søuld har som en del af Power Bio-projektet fået beregnet, hvor meget næring der fjernes.

I danske farvande findes der ca. 220.000 hektar ålegræs. Hos Søuld anvendes kun de blade, som planterne hvert år producerer og frigiver i løbet af sommeren, efteråret og vinteren. Der findes ikke præcise tal for, hvor stor en mængde ålegræsblade én hektar producerer, men hvis udbyttet svarer til blot 25 % af en almindelig hømark på land, vil det give ca. 2,5 tons pr. hektar – svarende til en potentiel årlig produktion på omkring 550.000 tons tørstof.

I dag bjærger Søulds danske ålegræsleverandører omkring 300 tons tørret ålegræs om året, se figur 4.3. Søuld har igangsat samarbejde med flere nye landmænd, der skal bjærge ålegræs, og virksomheden forventer at kunne næsten fordoble produktionen hvert år i de kommende år. De 300 tons udgør dog stadig kun en brøkdel af den mængde, der fjernes i danske kommuner som led i strandrensningsindsatsen.



Figur 4.3. Ålegræsset bjærges nænsomt i vandkanten eller på stranden. Det skal op mens det stadig er friskt og grønt. Foto: Søuld og Christian M. Andersen.



Figur 4.4. Søulds Acoustic Mat FR installeret hos IKEA i København. Foto: Søuld

Ålegræssets gode egenskaber er afspejlet i Søulds akustikmåtters egenskaber. Mineraler og salte i fibrene, gør at det rene, tørre ålegræs kun kan brænde, hvis man føder ilden. Når man fjerner ildkilden, vil ålegræsset stoppe med at brænde. I de færdige produkter giver det sig til udtryk i at deres måtter har opnået brandklasser, som andre biobaserede produkter har svært ved at opnå. De rene måtter har i EU opnået brandklasserne D-s1,d1, D-s1,d2 og D-s2,d1 afhængigt af produkt og montering. Disse brandegenskaber giver adgang til at lave fulde lofter i et-etages villaer og store muligheder for at lande store projekter, hvor man på anden vis tager hensyn til brandsikkerheden, se Figur 4.4.

I 2024 har Søuld opnået brandklasse B-s1,d0 på et system i samarbejde med JJI Akustik, hvor lameller holder på måtterne. Det giver adgang til at lave store projekter med fulde lofter i etageejendomme, kulturhuse, kontorer... stort set alt hvad der ikke er flugtveje.

Akustisk har produkterne meget høj performance, hvilket igen er hjulpet på vej af ålegræsfibrene, der indeholder små luftlommer, der er med til at ”fange” lydene. Søulds 40 mm Acoustic Mat har opnået højeste akustikklasse i EU, klasse A.

Søuld er i dag langt den største aftager af ålegræs i Danmark, og så vidt vides også globalt. Selvom ålegræs har gode egenskaber og forefindes i store dele af verden, bliver det i dag så vidt vides ikke udnyttet kommercielt andre steder end i Danmark. Det findes i Tyskland, Sverige, Norge, Frankrig, Storbritannien, Mexico, både øst- og vestkysten af USA, Australien og Indien for at nævne nogle af de steder, hvor ålegræs gror.

4.3. Biobaserade isoleringsmaterial

Skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet & Bodil Pallesen, Teknologisk Institut

Biobaserade restmaterial från lantbruk och hav kan med fördel användas för produktion av värmeisoleringsmaterial. Här finns redan ett antal material på den skandinaviska marknaden där isoleringsmaterialet till stor del består av biologiska restmaterial. Exempel på dessa är linisolering, hampafiberisolering, ålgräsisolering, gräsbaserad isolering och träfiberisolering. Dessa kan även ses som cellulosabaserade material. Även fårullsisolering finns att köpa, som till skillnad från de ovannämnda materialen är ett keratinbaserat material.

Historiskt sett har naturfiber varit ett självklart val vid (efter)isolering av byggnader, främst för att motverka drag i springor. Tänk till exempel på mossor och linfiber som användes för att tätare springor. Även ålgräs och tång har använts förr i tiden som taktäckning men även som isoleringsmaterial.

I 2024 er der opbygget en hampefabrik Ekolution, i Staffanstorpe ved Malmø, der producerer hampeisolering i forskellige densiteter, se Figur 4.4. Ekolution dækker hele værdikæden, og har enteret med landmænd til at dyrke hamp. Alene i 2024 er hamp fra 600 ha dyrket, høstet og bjerget. Dernæst forarbejdet – skætning – til fibre og skæver, og efterfølgende formet i måtter vha. en *airlaying* proces, og også brandimprægnering. Ekolution råder over høstudstyr, og fuld proceslinje til slutprodukterne, der nu kan købes i udvalgte byggemarkeder.



Figur 4.4. Ekolution startede forarbejdning af hamp samt fremstilling af hampeisoleringsmåtter i 2024, og er i fuld gang med at ekspandere deres produktion og markeder.

Hampeisoleringen med svensk dyrket hamp, indeholder ca. 87% hampefibre, der er mikset med ca. 10% BICO-bindefibre (polypropylen/polyethylen) samt brandimprægneret med ca. 3% ammonium fosfat. De holder en varmeisoleringsværdi på linje med mineraluld, kan anvendes til akustik også, og har opnået en brandklasse.

Materialgenskaper biobaserade isoleringsmaterial

I stora drag finns det ett antal skillnader mellan konventionella isoleringsmaterial såsom mineralull (stenull, glasull) och cellplast (EPS, XPS) och biobaserade isoleringsmaterial baserade på naturfiber. Dessa skillnader berör materialens värmegenskaper, fuktegenskaper och brandegenskaper.

Värmegenskaper

Generellt sett har de biobaserade isoleringsmaterialen en något högre värmeisoleringsförmåga (s.k. lambda-värde). Värmeisoleringsförmågan hos ett byggnadsmaterial uttrycks i $W/m^{\circ}C$. För att isolera väl ska det värdet gärna vara lågt; så lite energi (W) ska gå igenom ett materialskikt (m) p.g.a en temperaturskillnad ($^{\circ}C$). Konventionella isoleringsmaterial som mineralull och cellplast har generellt en värmeisoleringsförmåga som ligger inom intervallet 0,033–0,042 $W/m^{\circ}C$. Biobaserade isoleringsmaterial hamnar generellt sett något högre, inom intervallet 0,033–0,042 $W/m^{\circ}C$. Tänk på att detta värde är produktspecifikt, isolermaterialets producent kan ange exakt vilken värmeisoleringsförmåga som är aktuell för en specifik produkt.

De biobaserade isoleringsmaterialen har generellt sett en något högre värmeisoleringsförmåga (s.k. lambda-värde, W/mK), dvs de isolerar värme något sämre. De har även generellt en något högre densitet och samtidigt en något högre värmekapacitet. Ett materials värmekapacitet är ett mått på hur mycket energi som behöver tillföras för att höja temperaturen i materialet med 1 grad. En högre värmekapacitet betyder således att mer energi behövs för att höja materialets temperatur. Och när temperaturen går ner behövs därför även mer energi avges för att sänka materialets temperatur. En högre värmekapacitet brukar därför även beskrivas som en värmebuffrande förmåga; materialet dämpar/buffrar temperatursvängningar något.

Utöver ovannämnda parametrar har även värmediffusivitet och värmeeffusivitet betydelse för en byggnads energiförbrukning. Både värmediffusivitet och värmeeffusivitet beräknas med hjälp av tre materialgenskaper; värmeledningsförmåga, densitet och värmekapacitet. Värmediffusivitet är ett mått på hur snabbt en temperaturförändring rör sig genom ett material. Värmeeffusivitet, även kallad termisk tröghet, beskriver förmågan hos ett material att utbyta värmeenergi med den omgivande miljön. Ett exempel där värmebehagligheten är väldokumenterat är hos golvmaterial, där värmeeffusivitet används som ett mått på hur varmt golvet känns under foten.

Generellt sett har biobaserade isoleringsmaterial en något lägre värmediffusivitet och en något högre värmeeffusivitet än konventionella isoleringsmaterial. Det innebär att värme p.g.a. en temperaturförändring rör sig något långsammare genom biobaserade isoleringsmaterial, och att dessa material har en något lägre förmåga att utbyta

värmeenergi med den omgivande miljön, dvs de har något större värmebehaglighet och känns därför något varmare.

Fuktegenskaper

Gemensamt för de värmeisoleringsmaterial som produceras av växtfiber (dvs cellulosabaserade material) är att de är hygroskopiska, vilket innebär att de kan ta upp en viss mängd fukt. När den relativa fuktigheten intill materialet går upp tar materialet upp fukt, och den ger av fukten när den relativa fuktigheten intill materialet går ner. Ett annat sätt att beskriva detta är att dessa material har en hög fuktkapacitet. Detta gör att de kan ha en viss fuktbuffrande effekt när de används som ytmaterial mot inomhusmiljön.

Fuktbuffring kan beskrivas som följande. När den relativa fuktigheten i ett rum går upp (t.ex. för att människor vistas i rummet) kan materialet ta upp en del av fukten i rumsluften. När den relativa fuktigheten senare går ner igen (för att människorna lämnat rummet) kan fukten återgå till rumsluften. I teori skulle det då inte behövas lika mycket ventilation för att kunna hålla den relativa fuktigheten i rummet på en viss nivå. Men det beror såklart till stor del på hur stor fuktbuffringsförmåga ytmaterial har, och på hur stor yta av det materialet som används. Ofta används värmeisoleringsmaterial dock inuti en byggdel, och inte som ytmaterial. Även inuti en byggnadskonstruktion kan materialets fuktkapacitet spela roll. Fukt och värmeegenskaper går ofta hand i hand, dessa kan även kallas för hygrotermiska egenskaper. Det återstår mycket att undersöka och det pågår idag forskning på Lunds universitet kring hur mycket, och på vilket sätt, de hygrotermiska egenskaper av biobaserade värmeisoleringsmaterial påverkar inomhusmiljön och en byggnads energiförbrukning (Ranefjärd et al., 2019; Ranefjärd et al., 2024).

Brandegenskaper

För att uppnå fullgod brandbeständighet hos biobaserade isoleringsmaterial behöver i de flesta fall ett brandhämmande medel tillsättas. Val av brandhämmande medel skiljer sig åt mellan produkter. Förr kunde dessa brandhämmande medel innebära en tillsats av något mindre trevligt ämne såsom borsalter, vilket har gett de biobaserade isoleringsmaterialen ett oförtjänt dåligt rykte. Idag gör producenter av biobaserade isoleringsmaterial ofta mycket medvetna val vid val av brandhämmande medel. Så har t.ex. Sould, som producerar ålgräsisolering, valt ett biologiskt nedbrytbart brandskyddsmedel.

4.4. Halmbalar som byggmaterial

Skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet

Halm är ett material som historiskt sett har använts som byggnadsmaterial, t.ex. har halm använts i lerputs. Halmbalar som byggnadsmaterial är något modernare då det krävs en halmbalspress för att kunna producera halmbalar. Halmbalar började först användas i USA under 1800-talet på de vidsträckta prärierna. Där fanns brist på de vanliga byggmaterialen såsom sten och trä. Halmbalar fanns dock i stora mängder, och de visade sig snart att dessa kunde användas till husbyggnation. Sedan dess har halmbalsbyggtekniker utvecklats, med ofta en lokal prägel på valt teknik.

Josef Podmolík, MSc student vid Lunds universitet, har under 2024 gjort en utförlig studie av halmbalsbyggtekniken CUT (Cell Under Tension). Hans Masteruppsats innehåller även en utförlig sammanställning av de olika halmbalstekniker som används i Europa idag (Podmolík, 2024). Dessa byggtekniker kan i stora drag delas upp i lastbärande tekniker, där halmbalarna är lastbärande, och icke-lastbärande tekniker, där en lastbärande stomme (ofta i trä) används.

Halmbalar används ofta i självbyggeri, där byggherren även är byggaren. Halmbalar kan dock även användas i ett mer industriellt byggande. I det fallet används ofta lastbärande prefab-element. Dessa består av en träram som i fabrik fylls med kompakterad halm. Prefab-elementen transporteras till byggarbetsplatsen där de kompletteras med ett fasadmaterial. Fasaden kan antingen bestå av ett putsmaterial såsom kalkputs eller lerputs. Det finns även möjlighet att skapa en ventilationspalt på utsidan av halmbalarna och använda en träfasad. På insidan av halmbalarna används ofta en lerputs eller kalkputs mot inomhusmiljön.



Figur 4.5. Halmbalselement som utfackningsvägg, ETC höghus i Malmö. Foto: P.B. Strandberg-de Bruijn

Halmbalar har en relativt hög värmekapacitet och en mycket bra värmediffusivitet. Materialet har därmed en ganska stor värmetröghet, vilket innebär att det tar lång tid för en temperaturförändring i utomhusklimatet att nå inomhusklimatet. Fördröjningen i temperaturförändringen bidrar till ett stabilt och behagligt inomhusklimat.

Som del av projektet Power Bio organiserades under våren 2025 ett studiebesök till Feldballe Friskole i Rønde, Danmark. Skolans ytterväggar byggdes med halmbalselement som producerades av EcoCocon. Mot inomhusmiljön användes en lerputs och på utsidan användes en träfasad. Ventilationen i skolan är en passiv ventilation baserad på ett filtersystem av ålgräs.

I Malmö pågår byggnation av ett höghus där prefab halmbalselement används till ytterväggarna. Huset byggs av ETC Bygg med halmbalselement, se Figur 4.5. Elementen prefabriceras i Hultsfred med halm som importeras från Litauen. Här finns det utvecklingspotential för att i framtiden kunna använda inhemsk producerad halm.

4.5. Hampakalk

Skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet & Bodil Engberg Pallesen, Teknologisk Institut

Hampastjälken kan delas upp i tre delar; fiber, frö och vedämnen (se även avsnittet om hampa). Vedämnena kallas även *skävor* på svenska eller *skæver* på danska (*shiv* eller *hurds* på engelska). Dessa träliknande vedämnen utgör ca 40–60% av hampastjälken, och betraktas vanligtvis som spillmaterial från hampafiberproduktion.

Hampakalk är ett kompositmaterial som har använts sedan 1990-talet. Hampakalk är ett byggnadsmaterial som består av hampans vedämnen och byggkalk. Det började först användas i Frankrike, och det är fortfarande så att materialet används i störst omfattning i Frankrike. Materialet kallas hampakalk i Sverige och Hempcrete i Danmark. I internationell kontext kallas det även *lime-hemp*, *hemcrete*, *lime-hemp concrete*, *isohemp*, *isochanvre* eller *béton de chanvre*, se Figur 4.6.

I Sverige har forskning på hampakalk främst fokuserat på materialets fukt- och värmeegenskaper och energieffektivisering av kulturhistoriska byggnader (Balksten & Strandberg-de Bruijn, 2019; Strandberg-de Bruijn et al., 2019; Strandberg-de Bruijn & Balksten, 2019)



Figur 4.6. HempCrete – hampakalk-blokke fra forsøg hos Dansk Teknologisk Institut, 2024. Th. ses fremstilling af hempcrete elementer hos DunAgro, Nederländerne. Foto: Bodil E. Pallesen

Det finns idag ett flertal aktörer på den europeiska marknaden som marknadsför byggkalk som kan användas i kombination med hampaskävor.

Även i Sverige och Danmark har de senaste åren har flertalet aktörer börjat bygga med hampakalk. Det finns såväl producenter av prefab-element som entreprenörer som applicerar hampakalk in situ (på plats). Här kan med fördel en sprutteknik användas.

HempCrete produkterne består af hampeskæver blandet med hydratkalk og vand. De danske hempcrete blokke har en lambdaværdi mellem 0,061 – 0,069 Wm*K, ved densiteter ca. 275 kg/m³. De isolerer relativt godt på linje med fx gasbeton. De anvendes

ofte i konstruktioner (ikke bærende) med blokke, som er ca. 40 cm tykke, og blot skal pudses op med lerpuds eller lignende. Dermed bygger man uden brug af dampspærer. De har en høj brandklasse. En af ulemperne ved produktion af hempcrete-produkterne er at de er længe om at hærde.

Der er en stigende import af hampakalk i Danmark via bl.a. Havnens Hænder, som sælger Isohemp fra Belgien til byggeprojekter, se Figur 4.7.



Figur 4.7. Isohemp blokke, som sælges bl.a. via Havnens Hænder. Foto: Havnens Hænder

Materialens egenskaber hampakalk

Hampakalk är inte lastbärande, därför behövs det en lastbärande stomme. I enfamiljshus består denna stomme oftast av trä. I större byggnader kan även en betongstomme användas, som till exempel i flerfamiljshuset på Rue Myrha i Paris, se Figur 4.8.



Figur 4.8. Flervåningshus i Paris, byggt med hampakalk.

Hampakalk har låg densitet, är diffusionsöppet och har unika byggnadsfysikaliska egenskaper; det kombinerar ganska låg värmekonduktivitet med ganska hög värmekapacitet. Materialets värmekonduktivitet ligger runt 0.06-0.09 W/mK vilket är något högre än för värmeisoleringsmaterial som oftast ligger runt 0,033–0,042 W/mK. Det har dock samtidigt en mycket lägre värmediffusivitet (större värmetröghet) och en mycket bra volymetrisk värmekapacitet. Det tar därmed lång tid för att uppnå en temperaturförändring i en vägg av hampakalk, vilket i praktiken innebär en stor värmetröghet i en byggnad av hampakalk.

Hampakalkens materialegenskaper beror i hög grad på blandningsförhållanden hampa: kalk, men även på vilken typ av kalk som används. Det finns idag ett antal aktörer på den europeiska marknaden som marknadsför kalk avsedd specifikt för byggnad av hampakalk. Fasaden kan antingen putsas med en kalkputs, eller man kan skapa en luftspalt bakom ett fasadmateriel som kan bestå av trä eller ett annat skivmaterial. Det finns även exempel på hus där tegel har använts som fasadmateriel utanpå en yttervägg av hampakalk. I ett nordiskt klimat används vanligtvis en träfasad, ofta i kombination med en extern biobaserad isolering som är avsedd för användning intill en luftspalt, t.ex. en hård träfibersisolering. Denna externa isolering används för att kunna uppnå en bra värmegenomgångskoefficient (*U-värde*) i energikalkylen.

Hampakalk är diffusionsöppen, vilket innebär att viss fuktvandring kan ske genom materialet. Det har även en hög fuktkapacitet, vilket innebär att materialet kan ta upp en viss mängd fukt utan att dess relativa fuktighet går upp nämnvärt. Invändigt behövs ett skikt av kalkputs för att kunna skapa ett lufttätt skikt.

På samma sätt som halmbalsbyggen har även hampakalk en hög värmekapacitet samt en låg termisk diffusivitet, vilket ger väggar av hampakalk en stor värmetröghet. I ett dynamiskt utomhusklimat, med skillnad i temperatur mellan dag och natt, fungerar ett material med stor värmetröghet väldigt bra. Det tar lång tid för temperaturförändringen utomhus att nå inomhusmiljön. Därmed skapas ett stabilt och behagligt inomhusklimat.

HempFab, ett forskningsprojekt finansierat av Vinnova, pågår 2023–2025.

Projektpartners är EVIA AB, avd Byggnadsmateriel Lunds universitet, Göteborgs Stadsfastighetsförvaltning, House of Hemp, Wingårdhs Arkitekter. Projektledare är företaget EVIA som producerar prefab-element av hampakalk. Inom projektet har försök genomförts på Lunds universitet, avdelning Byggnadsmateriel. Här studerades hampakalkens torkning vid olika relativa fuktigheter, se Figur 4.9. Projektet HempFab har som mål att utveckla ett flexibelt och prefabricerat byggsystem för ytterväggar baserat på hampakalk; ett biobaserat byggnadsmateriel med potential att vara klimatpositivt, isolerande, obrännbart, beständigt samt erbjuda unika akustiska egenskaper. Ett prefab väggsystem av hampakalk som utnyttjar alla av hampakalkens positiva materialegenskaper kommer att utvecklas och paketeras. Samtidigt syftar projektet att lösa tekniska och estetiska produktproblem som idag håller tillbaka utbredningen av

materialet. Flertalet utmaningar finns, där fyra områden är utmärkande; brand, fukt, energi och akustik.



Figur 4.9. Hampakalk i byggnadsmaterial labb, Lunds universitet. Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn.

4.6. Biokolsinblandad betong och kalkputs

skriven av Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds universitet

För att nå klimatneutralitet senast 2030 jobbar betongbranschen med klimatförbättrad betong där betongens sammansättning optimeras utifrån koldioxidutsläpp. En del i detta arbete är utvecklingen av nya och alternativa bindemedel för att kunna ersätta en del av cementen då cement har ett relativt högt klimatavtryck. Här kan till exempel flygaska från kolkraftverk eller masugnsslagg från järntillverkning användas för att minska betongens klimatavtryck (Betonginitiativet & Fossilfritt Sverige, 2023).

Ett relativt nytt sätt att minska koldioxidavtrycket från betongen är att blanda in biokol i betongen. Biokol framställs genom pyrolys av biologiskt material, se även kapitlet om biokol. När biokol används i ett byggnadsmaterial (som t.ex. betong) då blandas biogent kol in i materialet. Med biogent kol menas den koldioxiden som en växt eller träd tar upp under sin livstid, och som sedan ”byggs in” i en byggnad när man använder ett växtmaterial eller en träprodukt som byggnadsmaterial. Biogent kol kallas också för kol i det naturliga kretsloppet. Det bör påpekas att man idag inte får ta med det biogena kolet i beräkningen av en byggnads klimatavtryck genom livscykelanalys (LCA) i Sverige, vilket innebär att man inte kan räkna med en minskning av byggnadens koldioxidavtryck för den koldioxiden som växten har tagit upp under sin livstid. Biokol i betong innebär i dagsläget alltså ingen minskning av koldioxidavtrycket enligt dagens beräkningsmodell.

EU har dock under hösten 2024 öppnat upp för en inkludering av det biogena kolet i en livscykelanalys. Kollagring där kol avskiljs och lagras i långvariga produkter i minst 35 år, såsom biobaserade byggmaterial, kommer att ingå i en certifieringsram på EU-nivå för kollagring i produkter (Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd, 2024).

Utöver att en biokolsinblandning i betong påverkar dess klimatavtryck kan biokolsinblandningen även påverka betongens materialegenskaper, såsom mekaniska egenskaper och värmeegenskaper, men även brandegenskaper (Mensah et al., 2021). Vilken påverkan biokolsinblandningen har på betongens materialegenskaper beror bland annat på vilken typ av biokol som används, d.v.s. vilken biomassa som biokolet producerats av. Det beror även på hur mycket biokol som blandats in i betongen, hur biokolen har producerats (pyrolystemperatur och pyrolystider, m.m.) samt storleksfördelningen av biokolpartiklarna. Till exempel så ökar biokolets brandbeständighet med ökat pyrolystemperatur då kvarvarande flyktigt material i biokolen minskar med ökat pyrolystemperatur (Ronsse et al., 2013).

Vidareutveckling av biokolsinblandad betong pågår ständigt. Exempel på lokala företag som marknadsför biokolsinblandad betong är Biokolprodukter och NordicZero.

Biokol kan även användas i andra kalkbaserade bindemedel. Ett exempel på detta är hampakalk med en viss inblandning av biokol. Tidigare försök på Lunds universitet där biokol tillsattes i hampakalk har visat att värmeegenskaperna (värmekonduktivitet samt

värmediffusivitet) förbättrades samtidigt som värmekapaciteten för hampakalken med biokolsinblandning förändrades marginellt jämfört med hampakalk utan biokol (Strandberg-de Bruijn & Balksten, 2023). Däremot förändrades fuktbuffringsförmågan, där hampakalk med biokolsinblandning visade sig ha mycket större fuktbuffringsförmåga än hampakalk utan biokol. Sammanfattningsvis tyder dessa resultat på en förbättring av värmeegenskaperna samt fuktegenskaperna av hampakalk med biokolsinblandning. Det kan vara av stor betydelse vid renovering av historiska fastigheter där en intern tilläggsisolering krävs som är diffusionsöppen.

På Lunds universitet har under våren 2025 inledande försök startats upp för att undersöka hur en tillsats av biokol påverkar egenskaperna av kalkputs. Här har tidig hållfasthetsutveckling samt påverkan av biokolsinblandningen på materialets karbonatiseringsförlopp undersökts.

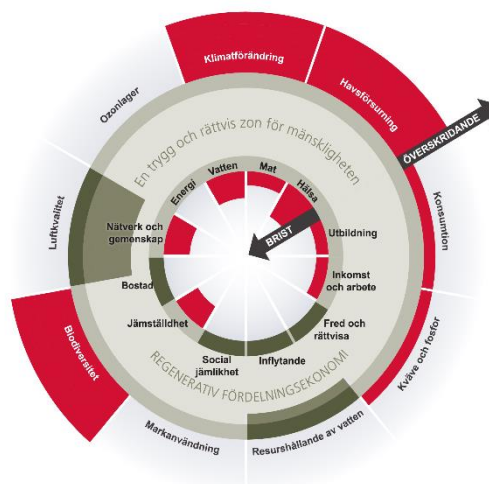


Figur 4.10. Hampakalk med olika andelar biokolsinblandning, Lunds universitet. Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn.

5. Exempel biobaserade byggprojekt i Danmark och Sverige

5.1. Munkmodell och hampa i Tomelilla

Tomelilla kommun har sedan 2021 använt Munkmodellen som planerings- och uppföljningsverktyg. Munkmodellen, skapad av Oxford-ekonomen Kate Raworth (s.k. *Doughnut economics*), fungerar som en kompass för mänsklig välfärd och har som mål att säkerställa att alla människors behov tillgodoses inom ramen för planetens resurser. Den utgår ifrån sju ekonomiska principer som handlar om att omfamna komplexiteten i ekonomin samt sätta människans och naturens välmående i centrum. Modellen visualiseras av en munkliknande kompass med en yttre ring som utgör det ekologiska taket och en inre ring som utgör det sociala fundamentet.



Figur 5.1. Tomelillas kommunporträtt för 2024

Under 2023 mynnade arbetet med munkmodellen ut i Tomelillas första "Kommunporträtt" – en uppföljning av hållbar samhällsutveckling och livskvalitet. Kommunporträttet integrerar social och ekologisk hållbarhet i en och samma modell och visar inom vilka områden kommunen behöver utvecklas för att inte ha brister i det sociala fundamentet eller överskrida det ekologiska taket. Under 2024 följdes även kommunens klimatprogram upp i kommunporträttet, se Figur 5.1.

Nytt skolområde med munkmodellen som metod

Som första kommun testar Tomelilla att planera ett nytt skolområde med munkmodellen som metod. Området som ligger i utkanten av Tomelillas tätort där staden möter landet, se Figur 5.2., består idag av en högstadieskola i stort renoveringsbehov, idrottshall, simhall och stora gröna utemiljöer. Utvecklingen av området omfattar både renovering av befintliga byggnader och etablering av en ny F-6 skola, samt utveckling av hela området med målet att det både ska bli en utbildningsmiljö för framtiden och en mötesplats som stärker såväl hälsan som demokratin genom att vara en öppen och hållbar mötesplats för invånare utanför skoltid.



Figur 5.2. Tomelilla kommun.

I ett första steg i planeringen togs en masterplan fram med stöd av Wingårdhs och huvudkonsult Jenny Grettve på When!When! design studio, se Figur 5.3. Masterplanen identifierar fyra viktiga grundpelare att arbeta utifrån; ekologisk regenerering, regenerativ arkitektur, teknisk innovation samt samhälle och gemenskap. Om projektet ska lyckas med att vara regenerativt rekommenderar masterplanen att kommunen som utgångspunkt ska använda 100 % återanvänt material för hela konstruktionen av byggnaden. Men då det fortfarande saknas en fungerande marknad för återvunnet material, är det mycket svårt att genomföra. Om återvunna material inte kan hittas, rekommenderas det att CO2-negativa material väljs. Gärna då lokala och förnybara material såsom lera och hampa där det redan finns en lokal tradition och tillverkning.



Figur 5.3. Nytt skolområde i Tomelilla kommun.

Genom att använda munkmodellen som metod i planeringen av det nya skolområdet, har förutsättningar skapats för att det nya området ska bidra till att uppnå kommunens högt ställda hållbarhetskrav och skolverksamhetens ambitioner. Samtidigt är det första gången någonsin en skola har planerats med hjälp av munkmodellen. I vilken mån det går att integrera i en effektiv byggprocess av ett komplext skolområde, är därför utforskat territorium. I skrivande stund pågår förberedelse inför upphandling av entreprenör och faktiskt val av material är ännu inte gjort.

En del i utforskandet är att tillsammans med projektet HempFab (avsnitt om hampa) utföra en teoretisk studie av förutsättningar och möjliga effekter av att skapa byggmaterial på plats i form av hampaodling. Studien genomförs under vår/sommar 2025 och är ett steg i att bygga kunskap omkring lokalproducerat och cirkulärt byggmaterial.

5.2. Tiny Varigheden på Køge Fællesjord

– Boliglaboratorium for biogene byggematerialer

Skriven av Jacob Skjødt, Køge Kommune

Tiny Varigheden er et eksperimenterende bofællesskab med 16 helårsbeboede tiny houses og et fælleshus kaldet Klimahuset (Køge Fælles Jord). Sammen udgør de et levende laboratorium, hvor arkitektur, materialer og hverdagsliv smelter sammen i en praktisk undersøgelse af, hvordan vi kan bygge og bo langt mere klimavenligt.

Projektet drives af kloge hænder og hjerter og demonstrerer i praksis, hvordan biobaserede og genanvendte byggematerialer kan fungere som højværdiprodukter med potentiale til at forme fremtidens byggeri.

Håndgribeligt håb i halm og hamp

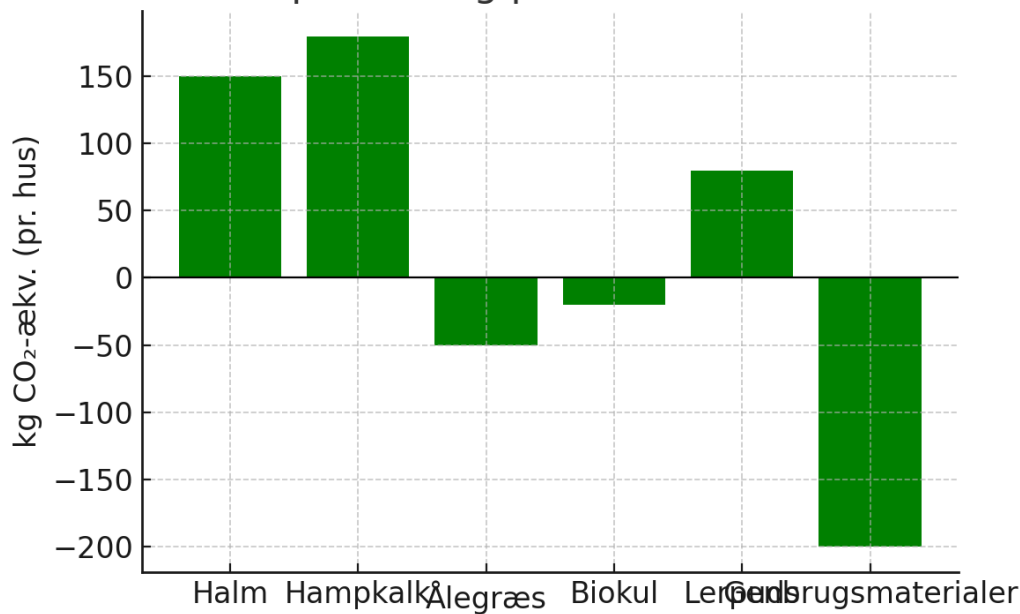
Tiny Varigheden er designet i samarbejde med Tegnestuen Vandkunsten og realiseret i regi af fællesskabet Køge Fælles Jord. Hver bolig er et selvbyggerprojekt udført af beboerne selv med hjælp fra frivillige og fagpersoner. Ambitionen er, at hvert hus skal bestå af mindst 99 % naturbaserede eller genanvendte materialer og have en årlig CO₂-udledning på under 2,5 kg CO₂-ækv./m².

Materialevalget fokuserer på biogene ressourcer som halm, hamp, ålegræs og biokul. Disse materialer har et lavt klimaaftryk, høj isoleringsevne og gode fugtregulerende egenskaber. Samtidig fungerer de som CO₂-lagre, der aktivt bidrager til reduktion af klimapåvirkningen.

Tabell 5.1. Oversigt over materialer og CO₂-effekt.

Materiale	Anvendelse	Mængde pr. hus	Erstatter	CO ₂ -effekt
Halm	Væg- og loftisolering	~5 m ³	Mineraluld, EPS	-60 %
Hampkalk	Indvendig puds	~30 m ²	Cementpuds, gips	-50 %
Ålegræs	Akustikpaneler, isolering	~4 m ²	Skumplast, mineraluld	CO ₂ -negativ
Biokul	Tilsætning i puds/hampkalk	~0,2 m ³	Plasttilsætninger, cementtilsætning	+15–20 % lagring
Lerpuds	Indvendige vægge	~50 m ²	Gipsplader, akrylmaling	-40 %
Genbrugsmaterialer	Tag, facade, rammer	Varierer	Nyt træ, stål, fibercement	-70 %

Estimeret CO₂-påvirkning pr. hus fra centrale materia



Figur 5.3. Estimeret CO₂-påvirkning pr hus fra centrale materialer.

Fortællinger fra fællesskabet

Interviews blev gennemført med beboere på Køge Fællesjord i perioden 2024–2025. “Jeg vil gerne bo på så lidt plads som muligt og bidrage så lidt som muligt til at smadre verden,” siger Arne, beboer i et af husene. Det er ikke blot et valg af bolig, men et aktivt fravalg af overforbrug.

Formand Helga König-Jacobsen uddyber: “Tiny Varigheden beskæftiger mig intensivt med biobaserede materialer i praksis. Det handler ikke kun om teknologi, men også om etik og fællesskab.”

De første fire huse, som er dokumenteret gennem blueprints, viser variation i anvendelsen af materialer. Halm og hampkalk går igen i alle huse, mens ålegræs og biokul i første omgang er anvendt i udvalgte testmoduler. Genbrugsmaterialerne varierer betydeligt: nogle beboere har anvendt skifer fra nedrevne bygninger, andre træ fra byggemarkeder eller restlagre.

Klimahuset og off-grid eksperimenter

Klimahuset fungerer som formidlingscenter og teststation. Huset er opført med de samme materialer som tiny houses, men i en mere fleksibel form med indbyggede sensorer og LCA-overvågning. Vægge af hampkalk og en facade i genbrugsskifer danner rammen, mens systemer til regnvandsopsamling, genbrugte luft-til-luft-varmepumper og off-grid-løsninger testes i praksis.

En LCA-analyse viser, at Klimahuset opnår en samlet CO₂-besparelse på over 22.000 kg CO₂-ækv. sammenlignet med et konventionelt referencehus.

Design for adskillelse og fremtidig anvendelse

Alle huse i Tiny Varigheden er konstrueret med henblik på adskillelse og fremtidig genanvendelse. Byggesystemerne er modulære, og materialerne er dokumenteret i demonteringsplaner. Biogene materialer som halm, hamp og ler kan enten returneres til naturens kredsløb eller genanvendes direkte. Genbrugte komponenter kan afmonteres og anvendes igen, og biokul kan efter brug i puds genindgå i jordforbedring.

Perspektiver og skalerbarhed

Tiny Varigheden er mere end et byggeprojekt; det er et håndgribeligt bud på en klimavenlig fremtid. Projektet dokumenterer, at det er muligt at bygge med lavt klimaaftryk, høj arkitektonisk kvalitet og stor beboerinddragelse.

Med en årlig CO₂-belastning under 2,5 kg CO₂-ækv./m² og materialer, der enten lagrer CO₂ eller indgår i lukkede kredsløb, er Tiny Varigheden et eksempel på fremtidens højværdiprodukter i byggeriet.

Projektet demonstrerer desuden, hvordan samarbejde mellem kommune, tegnestue, lokale producenter og engagerede borgere kan skabe konkrete resultater med langsigtet effekt.

6. Marknadsanalys av biobaserade byggmaterial

Skriven av Rodrigo Salvador och Lynn Eriksen, båda Danmarks Tekniske Universitet

Byggsektorn erkänner i allt högre grad potentialen med lokala biomassaresurser som hållbara byggmaterial. Projekt i Danmark och södra Sverige visar framgångsrika tillämpningar av halmpaneler i skolbyggnader, ålgräsbaserade akustiklösningar i kommersiella miljöer och lokalt producerad hampaisolering i bostadshus. Dessa implementeringar representerar framväxande möjligheter inom en utvecklande marknad för byggmaterial baserade på biomassa.

Power Bio-projektet har undersökt den tekniska och ekonomiska genomförbarheten av att omvandla underutnyttjade biomassaströmmar – inklusive gräs, ålgräs, halm, hampa och vass – till kommersiellt gångbara byggprodukter. Forskningsresultaten visar på betydande potential för kommuner och små till medelstora företag att utveckla högvärdiga tillämpningar från material som traditionellt betraktats som avfallsströmmar.

6.1. Biomassans egenskaper och tillämpningar

Varje biomassatyp har unika materialegenskaper och marknadstillämpningar.

Gräsbiomassa är en riklig och regelbundet tillgänglig resurs från kommunal skötsel. Företag som Gramitherm® har utvecklat tillverkningsprocesser för gräsbaserade isoleringspaneler, medan forskare vid Köpenhamns universitet utvecklar gräsbaserade skivmaterial och biobaserade lim. Pilotprogram, inklusive Malmös omdirigering av 13 ton gräsklipp till biogasanläggningar, visar alternativa vägar för värdeskapande (Afry, 2024).

Ålgräs (*Zostera marina*) har historiska tillämpningar i dansk byggnation, såsom takläggning på Læsø, och används nu som råmaterial för avancerade akustikmaterial. Søulds tillverkningsprocess producerar paneler med dokumenterad brandsäkerhet, akustisk prestanda och negativt koldioxidavtryck. Nuvarande installationer inkluderar IKEA Köpenhamn, med produkter som uppfyller EU:s brandklassificeringsstandarder – en betydande teknisk prestation för biobaserade material.

Jordbrukshalm visar stor mångsidighet i byggtillämpningar. EcoCocons prefabricerade panelsystem används på den europeiska marknaden i institutionella och bostadsprojekt. Dessa paneler uppnår koldioxidinlagring på 97,6 kg CO₂-e/m² samtidigt som de erbjuder termiska och hygroskopiska egenskaper som uppfyller moderna byggstandarder (Ecococon, 2025)

Hampa (*Cannabis sativa*) odlas för flera byggtillämpningar. Den träiga stamdelen används som ballast i hampakalk (hempcrete), vilket ger värmelagring och fuktnreglering. Ekolutions svenska verksamhet bearbetar nu hampa från över 600 hektar kontrakterad jordbruksmark, vilket visar på skalbar utveckling av försörjningskedjan.

Hampafiberkompositer används också i möbeltillverkning, som i Normann Copenhagens Mat Chair.

Vassbiomassa från våtmarksförvaltning erbjuder ytterligare möjligheter till värdeskapande. Aktuell forskning undersöker tillämpningar inom biogasproduktion och som lokalt alternativ till importerade taktäckningsmaterial.

Dessa material utgör tillsammans en teknisk grund för hållbara byggmetoder integrerade med regional biomassahantering.

Marknadsdynamik och aktörsengagemang

Marknadsintresset sträcker sig över flera sektorer med varierande drivkrafter för adoption. Kommunala myndigheter är primära tidiga användare på grund av deras dubbla roll som biomassaförvaltare och ägare av offentliga byggnader, samt deras skyldigheter att minska klimatpåverkan. Utbildningsinstitutioner, bibliotek och kulturhus fungerar som lämpliga demonstrationsplatser tack vare sin offentliga synlighet och institutionella hållbarhetsmål.

Privat sektor inkluderar utvecklare och arkitektkontor som svarar på kunders efterfrågan på hållbara bygglösningar. Biobaserade material erbjuder differentierade värdeerbjudanden som kombinerar estetiska kvaliteter, teknisk prestanda och miljömässiga meriter. Små till medelstora företag ser allt fler möjligheter i specialiserade produkter med stark regional identitet och berättelser kring försörjningskedjan.

Marknadsutveckling kräver dock motsvarande framsteg inom infrastruktur, tekniska standarder och hantering av uppfattningar.

6.2. Implementeringshinder och begränsningar

Flera systemiska utmaningar begränsar bredare marknadsadoption (Salvador, Eriksen, Kjaersgaard, Hedegaard, Knudby, et al., 2025)

För det första utgör **logistik och försörjningskedjehantering** primära begränsningar. Biomassamaterial har ofta låg densitet och säsongsvariation, vilket medför höga transportkostnader. Lagringskrav, särskilt för fuktkänsliga material som ålgräs, kräver snabb bearbetning för att bibehålla kvalitet.

För det andra saknar **regulatoriska ramverk** ofta bestämmelser för biobaserade byggmaterial. Certifieringsprocesser kräver betydande tid och ekonomiska resurser, vilket är särskilt utmanande för mindre producenter. Söulds uppnådda EU-brandklassificering är undantag snarare än regel.

För det tredje är **marknadsuppfattningen** fortsatt kopplad till föreställningar om att naturmaterial har lägre teknisk prestanda. Att förändra dessa uppfattningar kräver

samordnade insatser inom designkommunikation, offentlig information och synliga demonstrationsprojekt.

För det fjärde begränsar **fragmentering i försörjningskedjan** skalbarheten. De flesta nuvarande producenter arbetar i småskalig skala, vilket begränsar deras förmåga att uppfylla större upphandlingskrav eller upprätthålla konsekvent kvalitet.

Slutligen finns gap i **implementering** av policy, trots stödjande regelverk. EU:s handlingsplan för cirkulär ekonomi ger konceptuellt stöd för biobaserad innovation, men praktisk implementering varierar kraftigt mellan medlemsländer. Offentlig upphandling tenderar att välja konventionella material på grund av institutionell riskhantering.

Framgångsrika implementeringsmodeller

Medan den tekniska potentialen hos biobaserade byggmaterial är alltmer väldokumenterad, beror framgångsrik marknadsintegration på mer än prestandamått; det kräver hållbara implementeringsmodeller som överensstämmer med verkliga begränsningar och möjligheter. Över hela Danmark och södra Sverige visar flera fall hur lokal biomassa kan omvandlas till högvärdiga byggmaterial genom strategiska partnerskap, infrastrukturutnyttjande och cirkulära affärsmodeller.

Søuld – Akustikpaneler av ålgräs

Søulds modell exemplifierar hur ett nischmaterial som ålgräs kan skalas upp genom designinnovation och certifiering. Genom att samarbeta med kustkommuner och lokala jordbrukare säkerställer Søuld en stadig tillgång på strandgjutet ålgräs, som sedan bearbetas till akustikpaneler med hög brandmotståndskraft och stark estetisk tilltalande effekt. Deras paneler har uppnått EU:s brandklassificeringar (B-s1,d0), en sällsynt prestation för biobaserade material, och installeras i kommersiella interiörer som IKEA Köpenhamn (Kjærsgaard et al., 2025). Søulds framgång ligger i dess integration av lokal biomassainsamling med industriell bearbetning, stödd av strategisk varumärkesbyggande och certifiering. I sin affärsmodell har kommunerna en roll som leverantörer av biomassa och demonstrationspartners, medan företaget hanterar bearbetning och kommersialisering. Denna modell gynnas av kostnadsbesparingar (t.ex. minskade kostnader för strandstädning) och miljömärkning.

EcoCocon – Prefabricerade halmpaneler

EcoCocons prefabricerade halmpaneler är ett övertygande exempel på cirkulär konstruktion. Panelerna är tillverkade av komprimerad halm från lokala gårdar, monterade med skruvar för enkel demontering och behandlade med naturliga oljor. De lagrar upp till 97,6 kg CO₂/m², vilket gör dem potentiellt koldioxidnegativa (MRPI, 2024; Salvador, Eriksen, Kjaersgaard, Hedegaard, Lund, et al., 2025). Projekt som Feldballe Friskole i Danmark visar upp sin lönsamhet i offentliga byggnader. Deras framgång är beroende av långsiktiga leverantörsavtal, certifieringsvägar och anpassade produktionsflöden. Utmaningar kvarstår dock, inklusive säsongsbetonade

leveransbegränsningar, höga transportkostnader och begränsad allmänhetens medvetenhet. Deras modell visar hur projektbaserad anpassning kan utvecklas till skalbar produktion med rätt policystöd och upphandlingsincitament (Salvador, Eriksen, Kjaersgaard, Hedegaard, Knudby, et al., 2025).

Ekolution – Industriell hampaisolering

Ekolution har byggt upp en industriell verksamhet för hampaisolering i Staffanstorp, Sverige, med inköp från över 600 hektar kontrakterad jordbruksmark. Deras Airlayed isoleringsmattor säljs genom konventionella byggleveranskedjor och uppfyller brandsäkerhetskraven. Ekolutions modell visar hur vertikal integration, från odling till bearbetning, kan göra det möjligt för biobaserade material att konkurrera med konventionell isolering. I deras affärsmodell samarbetar flera intressenter (jordbrukare, bearbetningsföretag, återförsäljare) för att skapa en robust leveranskedja. Ekolutions framgång är förankrad i regional klusterbildning, investeringar i bearbetningsinfrastruktur och integration med befintliga distributionskanaler. Deras fall belyser vikten av att skala upp genom industriella partnerskap och policyanpassning, särskilt i regioner med starka jordbruksnätverk.

Malmö kommun – Från gräs till biogas

Även om det inte är ett byggmaterial i sig, illustrerar Malmös initiativ att omdirigera 13 ton kommunalt gräs till biogasproduktion hur lokal biomassa kan värderas genom kommunal samordning och infrastrukturell hävstång. Projektet visade att nyklippt gräs kan samrötas vid biogasanläggningar, vilket minskar metanutsläppen och producerar förnybar energi (Hedegaard et al., 2025; Miljöförvaltningen Malmö Stad, 2024). I detta affärsläge optimeras befintliga underhållsverksamheter för resursåtervinning. Framgången med Malmös pilotprojekt understryker behovet av snabb insamling, kontamineringskontroll och samarbete mellan kommunerna för att uppnå stordriftsfördelar. Det visar också hur kommunalt ledarskap kan katalysera innovation inom värdeutnyttjande av biomassa.

Biokolstillämpningar – Jord och byggnation

Biokol, producerat från olika lokala biomassor (t.ex. halm, gräs, tång), framträder som ett mångsidigt material för både jordförbättring och byggnation. Studier visar att biokol kan öka vattenretentionen med upp till 628%, minska näringsläckage och förbättra markens hälsa (Lund et al., 2025).

Dessa tillämpningar passar in i modellen för distribuerade mikroföretagsnätverk, där småskaliga producenter specialiserar sig på nischprodukter. Biokolens framgång beror på standardiserad testning, certifiering och integration i befintliga byggsystem. Pilotprojekt i Helsingborg och Lund utforskar dess användning i urbana miljöer, med stöd av forskningsinstitutioner och kommunala partners.

Dessa exempel visar att framgångsrik marknadspenetration kräver lokala inköpsstrategier, industriell bearbetningskapacitet och integration med etablerade leveranskedjor för byggbranschen.

6.3. Strategiska utvecklingsvägar

Att förverkliga marknadspotentialen för byggmaterial från biomassa kräver samordnade åtgärder över flera sektorer. Viktiga slutsatser inkluderar:

- Lokala anskaffningar är avgörande men måste matchas med industriell bearbetningskapacitet och certifieringsvägar.
- Kommunalt ledarskap, genom upphandling, pilotprojekt och infrastrukturstöd, är en avgörande möjliggörare.
- Sektorsövergripande samarbete mellan jordbrukare, bearbetningsföretag, designers och byggare stärker leveranskedjor och marknadsberedskap.
- Demonstrationsprojekt och offentlig kommunikation är avgörande för att förändra uppfattningar och bygga upp efterfrågan.
- Policyanpassning, särskilt kring mål för cirkulär ekonomi och offentlig upphandling, är nödvändig för att skala upp dessa modeller.

Kommunalt ledarskap genom upphandlingspolicyer och offentliga byggprojekt kan etablera efterfrågesignaler och visa teknisk lönsamhet. Små och medelstora företag behöver riktat stöd för certifieringsprocesser och produktionsskalning. Harmoniserade tekniska standarder skulle minska hinder för marknadsinträde och förbättra intressenternas förtroende. Sektorsövergripande samarbete mellan jordbruksproducenter, bearbetningsföretag, designproffs och byggföretag är avgörande för utveckling av leveranskedjor.

Strategier för offentlig kommunikation och demonstrationsprojekt kan ta itu med uppfattningshinder samtidigt som de bygger upp marknadsmedvetenhet.

Den tekniska grunden finns, och bearbetningskunskap har demonstrerats. Marknadsutveckling kräver nu strategiska investeringar, institutionell samordning och systematisk omprövning av materialvalskriterier i byggpraxis.

7. Konklusion

Denne rapport viser, at fem lokale restbiomasser – græs, ålegræs, halm, hamp og tagrør – kan anvendes langt mere værdifuldt end i dag. I stedet for at ende som affald kan de gennem nye teknologier og forarbejdningsmetoder forvandles til højværdiprodukter med både miljømæssige og økonomiske gevinster.

Eksemplerne spænder bredt:

- Græs kan bruges til biogas, isoleringsmaterialer og biokul
- Ålegræs til akustik- og isoleringsprodukter
- Halm til biokompositter, bioenergi og avancerede materialer som nanocellulose
- Hamp til isolering, byggesten af hampkalk og biokompositter
- Tagrør til både biogas og som erstatning for importerede stråtag

Byggesektoren, der i dag står for en stor del af Danmarks og Sveriges samlede CO₂-udledning, er et oplagt område at implementere disse biobaserede løsninger i. Her kan biomasserne erstatte traditionelle materialer som beton, stål og plast og dermed reducere klimaaftrykket betydeligt.

Power Bio-projektet viser samtidig, at potentialet ikke kan realiseres uden nye værdikæder, hvor kommuner, forskere og virksomheder samarbejder om indsamling, logistik, forarbejdning og markedsudvikling. Kommunerne spiller en særlig rolle, både som leverandører af restbiomasser og som aftagere af de biobaserede produkter gennem grønne indkøb.

Konklusionen er, at lokale restbiomasser kan blive nøgleressourcer i udviklingen af cirkulære bioøkonomiske systemer. Med den rette strategi kan vi skabe løsninger, der både reducerer miljøbelastningen, fremmer biodiversiteten og giver nye muligheder for lokal erhvervsudvikling og arbejdspladser.

8. Referenser

- Afry. (2024). *Kartläggning och klimatkonsekvens av behandling av långt gräs i Malmö Stad*.
- Almindelig Bændeltang. <https://www.naturbasen.dk/art/4392/almindelig-baendeltang>
- Balksten, K., & Strandberg-de Bruijn, P. (2019). *Hampakalk - Tilläggsisolering på reveterade trähus och saltskadat tegelmurverk*.
- Betonginitiativet & Fossilfritt Sverige. (2023). *Färdplan för klimatneutral betong - Betongbranschen*.
- Brent, A., & Gabby, P. E. (2003). Taking Care of Bauhaus - Investigating and repairing leakage problems at a Modernist landmark. *Old-House Journal*.
- Dansk Teknologisk Institut. (2020). *Dansk hamp skal udvikles til bæredygtige tekstiler*. <https://www.teknologisk.dk/ydelser/dansk-hamp-skal-udvikles-til-baeredygtige-tekstiler/42417?cms.query=hemp4tex>
- Danske Bygningshåndværk. (2018). *Projekter: Tangtage*. https://www.byggfilm.dk/media/t44nf5kp/tangtage_faktaark_2018-final.pdf
- Ecococon. (2025). *Bygg en hållbar framtid med EcoCocon*. <https://ecococon.eu/se/>
- Engberg Pallesen, B. (2017). *New opportunities for optimized infeed of straw for combustion and bio-ethanol production* Papers of the 25th European Biomass Conference Stockholm, Sweden.
- Engberg Pallesen, B. (2018). *Bæredygtige Tangisoleringsmåtter fra ålegræs*. Miljø-og fødevareministeriet - Miljøstyrelsen. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-35-1.pdf>
- Europaparlamentets och Rådets förordning (EU) om inrättande av en unionsram för certifiering av permanenta kolupptag, kolinlagrande markanvändning och kollagring i produkter, (2024).
- Fröier, K. (1960). *Lin och hampa: nutida svensk odling, beredning och användning*. LT.
- Hansen, M. D., & Kjaer, T. (2020). *A report on beach cleaning and pre-treatment of seaweed*. COASTAL Biogas consortium. <https://docslib.org/download/11266892/a-report-on-beach-cleaning-and-pre-treatment-of-seaweed-deliverable>
- Hedegaard, M., Eriksen, M. L., Kjærsgaard, N. C., Knudby, T., Lund, V., & Salvador, R. (2025). From Grass to Biogas: Benefits and Challenges of a Circular Business Model. *European Journal of Sustainable Development*, 14(3), 1–12. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2025.v14n3p1>
- Kanters, J., Kulsomboon, M., & Strandberg-de Bruijn, P. (2023). The potential of agricultural residual waste as building material in South Sweden. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(16), 162005–162005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/16/162005>
- Kjaer, T. (2023). *Køge Bugt: Oversigt over kvælstof i tang*.
- Kjaer, T. (2024a). *Notat 8: Etablering af tangspærring*.
- Kjaer, T. (2024b). *Notat 13: Fjernelse af sand i tang/ålegræs*.
- Kjaer, T. (2025). *Notat 3: Ålegræs – Vækst og sammensætning*.
- Kjærsgaard, N. C., Salvador, R., Eriksen, M. L., Hedegaard, M., Lund, V., & Knudby, T. (2025). Acoustic Panels from Waste Eelgrass: Benefits and Challenges of a Circular Business Model. *European Journal of Sustainable Development*, 14(3), 317–329. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2025.v14n3p317>

- Køge fælles jord*. <https://www.koegefaellesjord.com/>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management : science and technology*. Earthscan.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2021). *Biochar for environmental management : science, technology and implementation*. Earthscan from Routledge.
- Lund, V., Salvador, R., Eriksen, M. L., Kjaersgaard, N. C., Hedegaard, M., & Knudby, T. (2025). Biochar – A versatile outcome of various biomasses: Benefits and challenges. *European Journal of Sustainable Development*, 14(3), 225–235. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2025.v14n3p225>
- Martin, A. D., Ravenni, G., & Thomsen, T. P. (2025). Low-cost hydrogen sulfide removal with biochar and activated biochar. *Next Research*, 2(2), 100286. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100286>
- Mensah, R. A., Shanmugam, V., Narayanan, S., Razavi, S. M. J., Ulfberg, A., Blanksvärd, T., Sayahi, F., Simonsson, P., Reinke, B., Försth, M., Sas, G., Sas, D., & Das, O. (2021). Biochar-Added Cementitious Materials—A Review on Mechanical, Thermal, and Environmental Properties. *SUSTAINABILITY*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169336>
- Miljø-og Fødevareministeriet - Miljøstyrelsen. (2018). *Bæredygtige Tangisoleringsmåtter fra ålegræs*. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-35-1.pdf>
- Miljöförvaltningen Malmö Stad. (2024). *Analys av biogaspotential från kommunalt gräsklipp*.
- Environmental Product Declaration for Ecococon Average Wall Panel 15 (2024). https://ecococon.eu/assets/legal/epd_ecococon_2024.pdf
- Naturbasen. <https://www.naturbasen.dk/>
- Podmolík, J. (2024). *Review of the CUT technique* [Lund University]. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9162802>
- Power Bio Interreg. (2025). *Græs til biogas - Fælles notat omhandlende indsamling og anvendelse af græs fra kommunale arealer til biogas*
- Ranefjärd, O., Rosenkilde, A., & Frühwald Hansson, E. (2019). Development of a Hot-Box test setup with dynamic outdoor climate. 2019 Buildings XIV International Conference, Clearwater, FL, USA.
- Ranefjärd, O., Strandberg-de Bruijn, P. B., & Wadsö, L. (2024). Hygrothermal Properties and Performance of Bio-Based Insulation Materials Locally Sourced in Sweden. *MATERIALS*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/ma17092021>
- Ronsse, F., van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *GCB Bioenergy*, 5(2), 104–115. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12018>
- Salvador, R., Eriksen, M. L., Kjaersgaard, N. C., Hedegaard, M., Knudby, T., Lund, V., & Larsen, S. B. (2025). From ocean to meadow: A circular bioeconomy by transforming seaweed, seagrass, grass, and straw waste into high-value products. *Waste Management*, 200, 114753. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114753>
- Salvador, R., Eriksen, M. L., Kjaersgaard, N. C., Hedegaard, M., Lund, V., & Knudby, T. (2025). Building Elements from Straw: Challenges of a Circular Business Model.

- European Journal of Sustainable Development*, 14(3), 91–102.
<https://doi.org/10.14207/ejsd.2025.v14n3p91>
- Status for ålegræs 2008-2017. Öresundsvattensamarbetet.
<https://oresundsvatten.kk.dk/>
- Strandberg-de Bruijn, P., & Balksten, K. (2023). Moisture Buffering of Hemp-Lime with Biochar and Rape Straw-Lime as Surface Materials for a Stable Indoor Climate. *5th International Conference on Bio-Based Building Materials*, 144–157.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-33465-8>
- Strandberg-de Bruijn, P., Donarelli, A., & Balksten, K. (2019). Full-scale studies of improving energy performance by renovating historic Swedish timber buildings with hemp-lime. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(12).
<https://doi.org/10.3390/app9122484>
- Strandberg-de Bruijn, P. B., & Balksten, K. (2019). Energy and moisture in historic masonry walls retrofitted with hemp-lime. *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 660, 12070–12070. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/660/1/012070>
- Thomsen, T. (2022). *Introduction to Production and Use of Biochar 2022 - working towards a more circular and bio-based Danish economy*. R. Universitet.
- Thomsen, T., & Martin, A. D. (2022). *Screening af kulstoflagring og energipotentiale fra pyrolyse af kommunale biomasser - Metodetest og indledende forsøg*. R. Universitet.
- Towards a Strong and Sustainable EU Algae Sector* (2022). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52022DC0592>
- Wyllie-Echeverria, S., & Cox, P. A. (1999). The seagrass (*Zostera marina* [Zosteraceae]) industry of Nova Scotia (1907-1960). *ECONOMIC BOTANY*, 53(4), 419–426.
<https://doi.org/10.1007/BF02866721>

