

Helstråkompositter - Demonstration og teknisk vurdering

Uffe Jørgensen og Kai-Uwe Schwartz
Danmarks Jordbrugsforskning

Poul Mørck
COWI Rådgivende Ingeniører A/S

Peter Myatt
Andelssamfundet i Hjortshøj

Frank Möller
Institut für Bauforschung

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	8
1 HVAD ER HELSTRÅKOMPOSITTER ?	10
1.1 RÅVARER OG FREMSTILLING	10
1.2 TEKNISKE EGENSKABER	13
1.3 PRISNIVEAU	13
1.4 HVOR KAN HELSTRÅKOMPOSITTER ANVENDES ?	13
2 INDBYGNING AF HELSTRÅKOMPOSITTER I HJORTSHØJ	15
2.1 PRØVEHUS II	15
2.2 HELSTRÅKOMPOSITTER I GULV	15
2.2.1 Råvarer	15
2.2.2 Opsætning	16
2.3 HELSTRÅKOMPOSITTER I VÆGGE	16
2.3.1 Råvarer	16
2.3.2 Opsætning	17
3 TEKNISKE MÅLINGER PÅ HELSTRÅKOMPOSITTER I HJORTSHØJ	18
3.1 FUGTMÅLING	18
3.1.1 Formål med prøvning	18
3.1.2 Overordnet beskrivelse af prøvning	18
3.1.3 Måleapparater m.v.	18
3.1.4 Resultat af prøvning	19
3.1.5 Konklusion og vurdering af prøveresultat	19
3.1.6 Bilag	19
3.2 LYDPRØVNING	20
3.2.1 Formål med prøvning	20
3.2.2 Overordnet beskrivelse af prøvning	20
3.2.3 Resultat af prøvning	20
3.2.4 Konklusion og vurdering af prøveresultat	20
3.2.5 Bilag	20
3.3 BRANDFORHOLD	21
3.3.1 Overfladeklassifikation	21
3.3.2 Brandmodstandsevne	21
3.4 VARMEISOLERING	21
3.4.1 Formål med prøvning	21
3.4.2 Overordnet beskrivelse af prøvning	21
3.4.3 Resultat af prøvning	22
3.4.4 Konklusion og vurdering af prøveresultat	22
3.4.5 Bilag	22
3.5 STYRKEFORHOLD	22
3.5.1 Formål med prøvningerne	22
3.5.2 Overordnet beskrivelse af prøvning	22
3.5.3 Resultat af prøvning	23

3.5.4	<i>Konklusion og vurdering af prøveresultat</i>	23
3.5.5	<i>Bilag</i>	23
4	BYGGETEKNISK VURDERING AF HELSTRÅKOMPOSITTER	24
4.1	FUGTFORHOLD	24
4.2	LYDFORHOLD	24
4.2.1	<i>Bilag</i>	25
4.3	BRANDFORHOLD	25
4.3.1	<i>Bilag</i>	25
4.4	VARMEISOLERING	25
4.4.1	<i>Bilag</i>	26
4.5	STYRKEFORHOLD	26
5	MILJØVURDERING AF HELSTRÅKOMPOSITTER	27
6	IDEER TIL FORBEDRING AF HELSTRÅKOMPOSITTER OG TIL NYE ANVENDELSER I BYGGERI	29
7	FORMIDLING	30
7.1	PLANCHER OG BROCHURER	30
7.2	PLANTNING AF ELEFANTGRÆS	30
7.3	FOREDRAG	30
8	LITTERATUR	31

Bilag xxxxxxxx

Forord

Dette projekt har haft til formål at demonstrere og teste et nyudviklet biologisk plade-materiale i byggeriet. Projektet er finansieret af Tema 2, 'Økologiske byggematerialer og konstruktioner' under den 'Økologiske aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning'. Projektperioden har forløbet fra september 1998 til december 2000.

Projektet har været et samarbejdsprojekt mellem Danmarks JordbrugsForskning (koordinator), Andelssamfundet i Hjortshøj, Cowi Rådgivende Ingeniører AS samt Institut für Bauforschung, FAL, Braunschweig.

Styregruppen for projektet har bestået af: Jørgen Løgstrup, LØB, Jørgen Munch-Andersen, By og Byg, Lisbeth Pepke og Jana Eger Schrøder, By- og Boligministeriet, Peter Myatt, AiH, Poul Mørck, Cowi, Frank Möller, FAL samt Kai-Uwe Schwarz og Uffe Jørgensen, DJF.



Sammenfatning og konklusioner

En helstråkomposit er et nyudviklet pladeprodukt, der udnytter den høje styrke og lave vægt af strå - naturens eget mastemateriale. Kompositterne fremstilles ved at samle strå i tætte bundter og fylde hulrummene i bundtet med en skum. Ud af bundterne saves derefter plader på tværs af stråenes længderetning, og der limes en tynd plade på top og bund. I forbindelse med nærværende projekt blev der indbygget helstråkompositter i en gulvflade på 1. sal i Prøvehus II i Andelssamfundet i Hjortshøj samt fremstillet indervægge omkring et toilet i stueetagen.

Til gulvpladerne blev benyttet strå af elefantgræs, som giver den største styrke. Skummen imellem stråene blev fremstillet af glutin, og kernen limes fast på krydsfineroverfladerne (9 mm birk) med kaseinlim. Hvert element målte 875 x 1200 x 68 mm og blev fittet til det næste element med en trænot.

Til de ikke-bærende indervægge var der ikke store krav til trykstyrke, og der blev anvendt strå af rug holdt sammen af glutinskum, og kernen limes på overfladerne af 9 mm birkekrydsfiner med kaseinlim. Vægelementerne målte 2200 x 1200 x 118 mm. Vægten af et element var ca. 58 kg, og rumvægten var således ca. 186 kg/m³. For måling af fugt i vægelementerne blev der indbygget fugtsensorer før opsætningen. Den ca. 5 m lange væg omkring toilettet med et 90° hjørne og døråbning blev sat op af 2 mand i løbet af ca. 4 timer.

Med henblik på vurdering af fugttransport i væggene blev der opsat en fordamper på toilettet og etableret en temperaturgradient til det omgivende rum. Fugtindholdet i væggen blev dog ikke højere, end hvad man normalt ser i trækonstruktioner i ydervægge. Inspektion af halmkernen 15 måneder efter opsætning viste ingen tegn på mug eller anden fugtpåvirkning. Vægelementerne, der er monteret i Hjortshøj, vurderes med hensyn til fugttransmission at kunne anvendes som skille- eller ydervæg i boliger. Forudsætningen er, at vægkonstruktionen ved anvendelse som en del af en ydervæg suppleres med en dampbremse på den varme side og ventileres på den kolde side mellem væg og klimaskærm, analogt med en traditionel let vægopbygning.

De forholdsvis tykke helstråkompositter fremstillet til bygningsanvendelse havde ikke så stor styrke, som tynde kompositter fremstillet i anden sammenhæng. Bøjningsstyrken af gulvelementet blev således målt til 2,3 N/mm², hvilket skal sammenlignes med tidligere målte bøjningsstyrker på op til 33 N/mm². For at opnå stor styrke bør forholdet mellem strå længde og -diameter i kompositten holdes under 8.

Samlingsdetaljerne ved montagen af væggen i Hjortshøj er ikke fuldt udviklet. Ved montage i ydervæg eller ved sammenbygning til ydervæg skal samlingsdetaljerne forbedres, så der i højere grad tages højde for luftlydtæthed og flangetransmission ved tilslutning til de øvrige konstruktioner. Med baggrund i bl.a. Bygningsreglementet (BR 95) vurderes de monterede elementer i Hjortshøj, ikke at være egnet til anvendelse som skille- eller ydervæg i boliger på grund af den dårlige luftlydisolation på 31 dB. Den lette opsætning giver derimod muligheder for anvendelse som fleksible indervægge.

Da helstråkompositter endnu ikke er sat i produktion i fuld skala, kan der ikke gennemføres en nøjagtig vurdering af produktets samlede miljøbelastning. Belastning forventes dog at blive lav, idet rug og elefantgræs er miljøvenlige afgrøder, der anvendes hele strå (som ikke kræver defibrering) og produktet kan brændes eller evt. komposteres efter brug. Vi vurderer foreløbigt energiforbruget ved fremstilling af helstråkompositter til at være ca. 25 % af forbruget ved fremstilling af spånplader regnet per volumenenhed plade.

Ideen bag udviklingen af helstråkompositter var at skabe et plademateriale, som er meget let, stærkt og fremstillet af miljøvenlige råvarer. Den primære produktmålgruppe var industriprodukter til erstatning af materialer af plast, letmetal og specielle træprodukter såsom krydsfiner. Dermed opfylder helstråkompositter i deres oprindelige udformning ikke nødvendigvis de krav, der kan stilles til byggematerialer, fx med hensyn til lyddæmpning og brand.

En mulig forbedring for anvendelse til byggeri kan være anvendelse af gipsplader i stedet for krydsfineroverflader, hvilket kan forbedre lyddæmpning og brandmodstand. En sådan helstråkomposit med 12,5 mm gipsoverflader blev fremstillet i projektet. I forhold til kompositten med krydsfineroverflade øgedes vægten med knap 40 %. Med baggrund i gipskompositens lydisolering og BR95 vurderes gipskompositten umiddelbart at kunne anvendes som skillevæg til afgrænsning mellem rum inden for den samme bolig. Med hensyn til lydisolering er der mulighed for at anvende vægelementet som skillevæg mellem forskellige boliger, hvis lejlighedsskellet opbygges som to uafhængige vægelementer med udfyldt isolering mellem de to vægge.

En anden ide til ændret overflade er at anvende glas. Med glasoverflader fremstår det smukke, organiske kernemateriale klart og giver kompositten en helt anden og ny fremtoning sammenlignet med krydsfiner eller gipsoverflader. En sådan prøve er også blevet fremstillet i projektet.

Summary and conclusions

The Light Natural Sandwich (LNS) material is a new board-product that benefits from the high strength and low weight of straw – nature’s own mast-material. Gathering straw firmly and filling the gaps between the straw with stabilising foam produces LNS. From the foamed bundles cores for LNS are sawn transversely to the straw direction, and a top and bottom layer is glued on. In this project LNS was mounted in the ‘Prøvehus II’ in the eco-settlement ‘Andelssamfundet i Hjortshøj’, respectively as a floor and as a wall surrounding a lavatory.

For the floor-elements straw of miscanthus, which gives the highest strength, was used. The injected foam was from glutin, and the core was glued to 9mm birch plywood surfaces with a casein-glue. Each element measured 875 x 1200 x 68 mm and was fitted to the next element with a spring trim.

The not-bearing inner walls did not demand for high compression strength, and therefore straw from rye foamed with glutin was used and glued to 9mm birch-plywood surfaces with casein-glue. The wall elements measured 2200 x 1200 x 118 mm, weighed about 58 kg and thus had a volumetric weight of about 186 kg/m³. Humidity sensors were built into the elements before mounting. Two men mounted the 5m long wall including a 90° angle and a door opening during about 4 hours.

For evaluation of humidity transport through the elements an evaporator was set up in the lavatory and a temperature gradient was established to the surrounding room. During the test run the humidity content of the LNS elements did not raise above what is normally seen in outside wooden wall constructions. Inspection of the straw core 15 months after mounting the walls showed no mould or any other sign of change. Accordingly, it is considered that with respect to humidity the wall elements mounted in Hjortshøj are usable for both inner and outer wall constructions. For outside walls a vapour seal must be mounted on the warm side and the cool side must be ventilated between the wall and the outer weather screen, analogous to a traditional light wall construction.

The rather thick LNS-elements produced for building did not have the same strength as thinner LNS boards constructed earlier. The bending strength of the floor element was measured to be 2.3 N/mm², which has to be compared to LNS bending strengths of up to 33 N/mm² measured earlier. A prerequisite for achieving a high strength is that the relation between straw length and diameter in the core is kept below 8.

The details of mounting LNS walls are not yet fully developed. Mounting LNS-elements to outside walls must be optimised to ensure total air tightness. Based on the Danish regulation for building construction (BR 95) it is considered that the low value of airborne sound insulation (31 dB) impairs the use of the current type of LNS-elements as walls separating apartments. On the other hand, the lightness and easy mounting of the material opens for use as flexible inner walls.

As LNS materials are not yet produced on an industrial scale it is not possible to perform an exact environmental assessment of the product. However, the environmental impact is considered to be low as rye and miscanthus can be grown with low inputs and low emissions, whole straw (no defibration) is used and the

product can be combusted or possibly composted after use. A preliminary assessment of energy use indicates that 25% of the energy used for particleboard production is necessary for LNS production calculated per volume of board.

LNS has been developed with the aim of creating a strong and lightweight material from environmentally benign raw materials. The primary target area for the product was industrial products for substitution of materials made from plastic, light-metals and speciality wooden products such as plywood. Thus, LNS in its original form does not necessarily fulfil the material demands for building construction e.g. with respect to sound insulation and fire protection.

For building construction LNS may be improved by using gypsum boards as surface materials instead of plywood. In this project a sample board using 12.5mm gypsum boards was made. This element could, based on BR 95, fulfil the requirements for sound insulation within one apartment, and the requirements for insulation between apartments if the wall is build up as two separate elements with additional insulation in between.

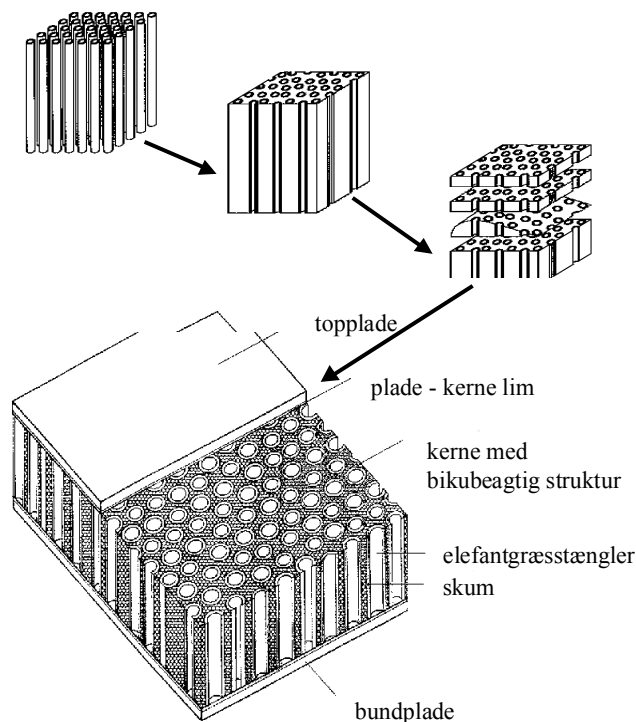
Another idea for surface material is to use glass. With glass surfaces the attractive, organic core material is clearly visible and gives the composite a very new and different appearance compared to the traditional plywood and gypsum surfaces. Such a sample was produced during the project.

1 Hvad er helstråkompositter ?

Helstråkompositter er et nyudviklet pladeprodukt, der udnytter den høje styrke og lave vægt af strå - naturens eget maste-materiale. På grund af kompositternes høje styrke i forhold til vægt, er det sandsynligvis muligt at erstatte materialer med høje funktionskrav - f.eks. lastbillad, togvogne og møllevinger. Møllevinger af helstråkompositter udvikles og afprøves i et EU-projekt (JOULE-programmet). I nærværende projekt er materialets egenskaber som byggemateriale blevet demonstreret og testet.

1.1 Råvarer og fremstilling

Helstråkompositter er stadig under udvikling. Det er målet at udvikle et miljøvenligt produkt med gode tekniske egenskaber. Pilotprodukter af forskellige stråtyper og i forskellige former er udviklet og afprøvet i Tyskland ved 'Fraunhofer-Institut für Holzforschung' og ved 'Institut für Bauforschung, FAL'. Helstråkompositter fremstilles ved at samle strå i tætte bundter og fylde hulrummene i bundtet ud med en skum. Ud af bundterne saves derefter plader på tværs af stråenes længderetning, og der limes en tynd plade på top og bund (se Fig. 1).



Figur 1. Principskitse for fremstilling af helstråkomposit.

Principielt er det muligt at udnytte mange forskellige plantearters strå eller stængler fx fra kornarter, tagrør, elefantgræs, hamp, bambus og kæmpetagrør (*Arundo donax*). Det er dog vigtigt, at der ikke er løse bladskeder omkring strået, som vanskeliggør skummets tilhæftning. Dette udgør et problem for tagrør og for visse arter af elefantgræs. Stængler af hamp er ikke hule og er derfor forholdsvis tunge og kan være vanskelige at tørre. Bambus kan give meget stor styrke, men har oftest

stor tyngde. Foreløbigt har interessen derfor samlet sig mest omkring strå fra almindelige kornarter og fra arter af elefantgræs, som smider blade og bladskeder om vinteren. I et igangværende EU-projekt (FAIR-programmet) undersøges egenskaber af en række ståtøper dyrket under forskellige klimaforhold, og desuden indsamles nye genotyper med tilsyneladende forbedrede egenskaber.

Rug og tritcale (en krydsning mellem rug og hvede) er de kornarter, som giver de bedste strå til helstråkompositter. Det skyldes en bedre længde (bør være over 1 m af hensyn til rationel høst, bundtning og skumindblæsning), bedre bladtab og større styrke end af hvede og byg. Fra forældre i det tidligere Øst-tyskland og Polen er fremskaffet rug-sorter, som har en særlig stor længde på stråene, og enkelte sorter, som er forædlet specifikt mod en stor strådiameter (giver mulighed for mindre volumenvægt af stråbundter). Disse er blevet prøvedyrket i Tyskland med henblik på test for høstegnet og styrke til fremstilling af helstråkompositter.

Strå fra elefantgræsarterne *Miscanthus sinensis*, *M. 'Giganteus'* og *M. sacchariflorus* er blevet afprøvet for egnethed til helstråkompositter. Sorter af *M. sinensis* er mindre egnede på grund af at blade og bladskeder oftest bliver siddende på stråene frem til høsttidspunktet i foråret. *M. 'Giganteus'* er blevet grundigt undersøgt for strå kvalitet som funktion af klimaforhold over Europa, og under forskellige dyrkningssystemer, og arten har en god styrke og en rimelig afbladning om vinteren.

Det er dog indenfor arten *M. sacchariflorus*, at de bedste strå kvaliteter er blevet fundet, idet stråene om foråret er totalt frie for blade og bladskeder. Endvidere er fundet genotyper, som har større diameter og mindre volumenvægt (20-30 % mindre) end strå af *M. 'Giganteus'*. De mest lovende genotyper er under opformering med henblik på at producere større mængder strå til kommende pilotproduktioner af helstråkompositter.

Strå, som høstes til produktion af helstråkompositter, skal håndteres hele og samles i ensartede bundter. Specielt til de høje (2-4 m) strå af elefantgræs findes ingen gængse høstmaskiner, som kan gennemføre høsten tilfredsstillende. Derfor er en specialmaskine blevet udviklet af firmaet Hvidsted Energiskov (Fig. 2), og den forventes fra efteråret 2001 at kunne anvendes i praksis.



Figur 2. Høst af strå af elefantgræs (*M. 'Giganteus'*) med nyudviklet maskine fra Hvidsted Energiskov.

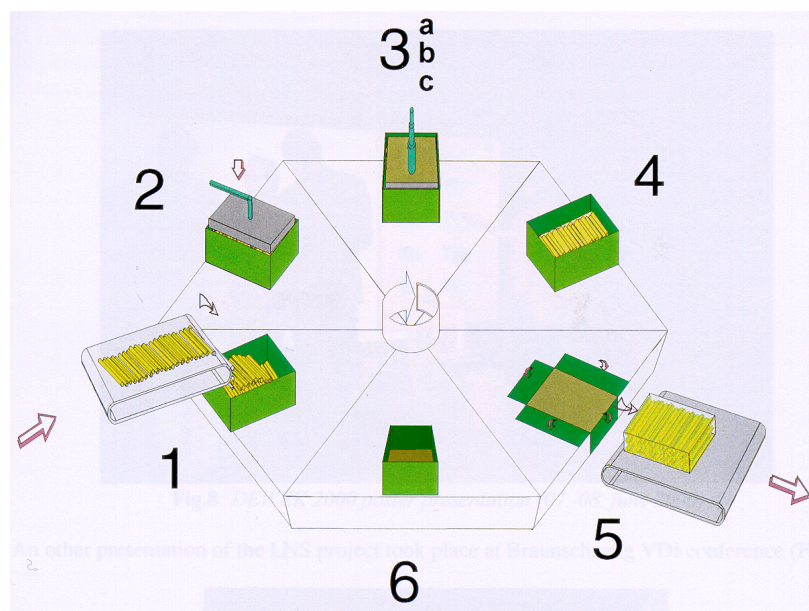
Den skum, som indblæses mellem stråene, har primært til formål at fastholde stråene under udsavning af de ønskede kernetykkelser og under pålimning af top- og bundplader. Polyurethan fungerer glimrende rent teknisk, men matcher ikke målsætningen om at udvikle et rent biologisk produkt med en lav miljøbelastning. Glutin (hudlim) har vist sig at fungere godt under opskumning og ved den senere udsavning. Den skum, som indblæses har dog et vandindhold på 60-70 %, og den efterfølgende tørring skal ske ved maksimalt 30 °C, ellers smelter limen. Disse krav vanskeliggør en effektiv proceslinje.

En række andre skumtyper er blevet afprøvet (bl.a. stivelse) og det bedste tekniske resultat er opnået med en polyurethan fremstillet af planteolie, men dog stadig med brug af isocyanat til hærkning. Sammenlignet med konventionel polyurethan er isocyanat-behovet til opskumning af den biologiske olie dog reduceret fra 50 % til 30 %. Den biologisk baserede polyurethanskum er vandfast og opskummes ved hjælp af luft.

Både glutinskum og biologisk baseret polyurethanskum kan opskummes, så der opnås volumenvægte ned til 30 kg/m³.

Top- og bundpladerne på helstråkompositter (se Fig. 1) har oftest været af krydsfiner. Det har dog været ønsket at afprøve nye pladematerialer, som er frie for syntetisk lim, idet træfibrene er enzymatisk bundet sammen. Men disse plader, udviklet af KVL i samarbejde med NOVO, har ikke kunnet leveres i tilstrækkelig størrelse til produktion af helstråkompositter. Pladerne limes på stråkernen med en kaseinlim (et biprodukt fra ostefremstilling).

Indtil videre er helstråkompositter alene blevet fremstillet manuelt i meget begrænset skala, men i EU-projektet 'Optimisation of the production chain for high performance Light Natural Sandwich materials as a basis for scaling up' er skaffet viden og erfaringer, som kan danne basis for en opskalering til pilot-skala. Figur 3 illustrerer en simpel proceslinje for fremstilling af kernemateriale.



Figur 3. Principskitse for en mulig proceslinje til produktion af helstråkompositter. 1: Ensartede strå fyldes i. 2: Injektion af skum. 3a: Presning af strå/skum-blanding. 3b: Etablering af vakuum og opvarmning af boksen. 3c: Vakuum ophæves og stempel løftes. 4: Hærkning af strå/skum-blanding. 5: Udformning for videre opsavning til kernemateriale. 6: Klargøring til ny produktion.

1.2 Tekniske egenskaber

Der er tidligere fremstillet helstråkompositter af rug og elefantgræs, som har ligeså gode tekniske data, som high-tech letvægtsmaterialer af glasfiber, letmetal eller plastik fremstillet i en bikubestruktur (Tabel 1). Tryk- og bøjningsstyrke af helstråkompositter afhænger dog meget af materialets dimensioner, specielt relationen mellem strå længde og diameter. For at opnå de høje styrker angivet i tabel 1, må forholdet mellem længde og diameter af strå holdes under 8.

Til byggematerialer er der normalt ikke så høje styrkekrav, mens til gengæld forhold som lyd- og varmeisolering har stor betydning. Helstråkompositters evne til varmeisolering afhænger meget af, hvilken type strå der anvendes, og hvordan de er pakket i pladen. Termografiske billeder af helstråkompositter har vist, at der igennem hule strå, som står på tværs af pladeoverfladen, sker en vis varmetransport. Hvis stråene lægges ned, kan den isolerende evne blive på højde med cellulose- og mineraluld, men til gengæld reduceres styrken.

Helstråkompositters lave densitet sandsynliggør en ringe evne til lydisolering. Lydisoleringsevne og styrke af de aktuelle helstråkompositter bygget ind i Hjortshøj er blevet målt i projektet, se afsnit 3.

Tabel 1. Sammenligning af densitet og styrkeværdier for forskellige pladematerialer. Data fra Frank Möller.

Pladetype	Tykkelse	Top-plade	Kerne	Densitet (kg/m ³)	Bøjningsstyrke (N/mm ²)	Trykstyrke (N/mm ²)
Helstråkomposit	19 mm	Krydsfiner 1,5 mm	Rughalm	205	18	3,3
Helstråkomposit	30 mm	Krydsfiner 2,5 mm	Elefantgræs	295	33	15
Spånplade	20-25 mm	-	-	550-800	15-22	0,8-1,5
MDF plade	6-16 mm	-	-	400-800	8,5-18,5	0,15-0,35
Krydsfiner	-	-	-	450-700	65-130	1,5-3,0
Glasfiber-sandwich	20 mm	Glasfiber 1,5 mm	PVC	230	35	1,2

1.3 Prisniveau

Da helstråkompositter endnu ikke fremstilles i industriskala er det vanskeligt at sige, hvad markedsprisen vil blive. Vurderinger i Tyskland af en sandsynlig markedspris ligger på 1.300-2.600 kr/m³. Det er betydeligt billigere end sandwichmaterialer af plastik og letmetal, men er dyrere end almindelige byggeplader af gips eller træfibre.

1.4 Hvor kan helstråkompositter anvendes ?

Ideen bag udviklingen af helstråkompositter var at skabe et plademateriale, som er meget let, stærkt og fremstillet af miljøvenlige råvarer. Den primære produktmålgruppe var industriprodukter til erstatning af materialer af plast, letmetal og specielle træprodukter såsom krydsfiner. Dermed opfylder helstråkompositter i deres oprindelige udformning ikke nødvendigvis de krav, der kan stilles til byggematerialer, fx med hensyn til lyddæmpning og brand.

Den forventede høje pris sammenlignet med billige pladematerialer til byggeri betyder endvidere, at helstråkompositter ikke vil være konkurrencedygtige til almindelig opbygning af indervægge o.l. Det vil være mere aktuelt at anvende

helstråkompositter i konstruktioner, hvor deres særlige egenskaber giver en fordel, hvilket kan være tilfældet med gulve eller loftskonstruktioner med store spænd. Endelig kan lethed af materialet udnyttes ved anvendelse til flytbare indervægge, hvor man ønsker mulighed for fleksibel ruminddeling.

Ved produktion af nemt transporterbare barakker til nødområder eller til fjerntliggende arbejdspladser vil lethed af helstråkompositter kunne udnyttes. At produktet efter brug kan bortskaffes ved afbrænding eller kompostering kan yderligere være en fordel.

I afsnit 6 har vi gennemgået mulige ændringer af produktet, som kan forbedre dets egenskaber med henblik på anvendelse i byggeri.

2 Indbygning af helstråkompositter i Hjortshøj

2.1 Prøvehus II

Bygningen af Prøvehus II (Fig. 4) blev støttet af Den Grønne Jobpulje og giver sammen med en ny mellembbygning en firedobling af arealet i forhold til Prøvehus I. Formålet med prøvehusene er at afprøve nye byggematerialer og -former. Prøvehus II består af ubrændt ler, træ- og gipskonstruktioner.

I forbindelse med nærværende projekt blev der indbygget helstråkompositter i en gulvflade på 1. sal i Prøvehus II samt fremstillet indervægge omkring et toilet i stueetagen. Opsætningen fandt sted 17-18/11, 1999.

Første salen i Prøvehus II forventes taget i brug pr. 1/4 2001 til en akupunkturklinik.

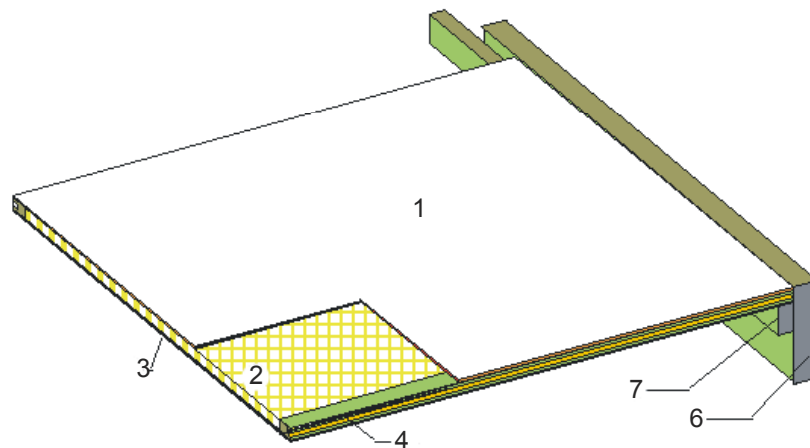


Figur 4. Prøvehus II i Hjortshøj under konstruktion.

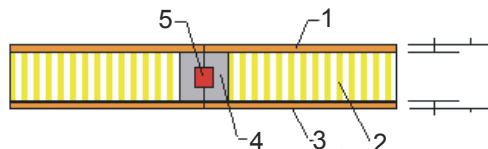
2.2 Helstråkompositter i gulv

2.2.1 Råvarer

Til gulvpladerne blev benyttet strå af elefantgræs, som giver den største styrke. Skummen mellem stråene blev fremstillet af glutin, og kernen limes fast på krydsfineroverfladerne (9 mm birk) med kaseinlim. Dimensioner af helstråkompositten til gulvet og princippet for montering fremgår af Figur 5.



1. Øvre overflade (krydsfiner 9 mm)
2. Kerne (50 mm)
3. Nedre overflade (krydsfiner 9 mm)
4. Not-liste (25*50 mm)
5. Samle liste (20*20 mm)
6. Fyrre bjælke
7. Lægge lægte (30*60 mm)



Figur 5. Opbygning af helstråkomposit i gulvet i prøvehus II samt princip for montering.

2.2.2 Opsætning

De 875 mm brede gulvelementer blev lagt på 25*50 mm lister, der var skruet på gulvbjælkerne (Fig. 5). Hvert element var 1200 mm langt og blev fittet til det næste element med en trænot. I alt blev der lagt 88*435 cm gulv. Isoleringen under gulvet bestod af 15 cm papiruld + luft ovenpå et 2-lags gipsloft. Gulvets krydsfineroverflade blev oliebehandlet.

Resten af gulvet i rummet blev lagt med fyrretræsbrædder på bjælker med ca. 45 cm's afstand. Der kunne ikke umiddelbart bemærkes forskel i trinlyd mellem de to materialer.

2.3 Helstråkompositter i vægge

2.3.1 Råvarer

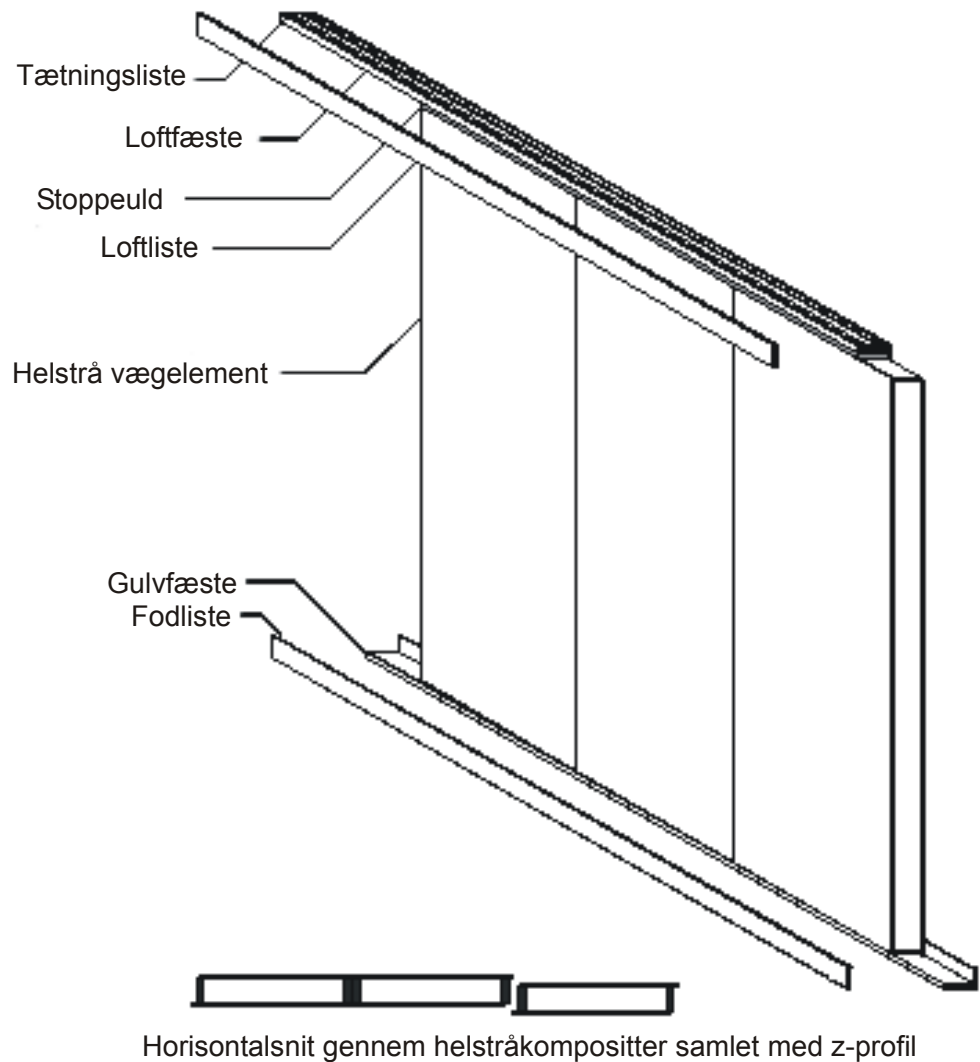
Til de ikke-bærende indervægge var der ikke store krav til trykstyrke, og der blev anvendt strå af rug (sorten Danko), der blev holdt sammen af glutinskum og limedes på overfladerne af 9 mm birkekrydsfiner med kaseinlim. Vægelementerne målte 2200 x 1200 x 118 mm og var langs siderne lukket med 30 mm trælister og foroven og forneden lukket med 9 mm krydsfiner. Vægten af et element var ca. 58

kg og havde således en rumvægt på ca. 186 kg/m^3 . For måling af fugt i vægelementerne var der indbygget fugtsensorer før opsætningen (se måleresultater i afsnit 3).

2.3.2 Opsætning

Den ca. 5 m lange væg omkring toilettet med et 90° hjørne og døråbning blev sat op af 2 mand i løbet af ca. 4 timer. Elementerne samledes ved hjælp af et Z-profil, som blev skruet på. Fæstning til loft og gulv skete på en L-formet træliste, som det fremgår af figur 6.

Den simple opsætning med skruer giver mulighed for tilsvarende simpel nedtagning og flytning af væggen, hvilket kan udnyttes hvor man hyppigt har behov for ændring af ruminddelinger. De lette elementer gør arbejdet nemt for 2 mand. Til gengæld giver den simple opsætning ikke optimal lydæmpning.



Figur 6. Principskitse for opsætning af vægelementer i Prøvehus II.

3 Tekniske målinger på helstråkompositter i Hjortshøj

3.1 Fugtmåling

Fugtmåling in-situ.

3.1.1 Formål med prøvning

Formålet med prøvningen er at få belyst, om der sker speciel store fugtophobning i de anvendte strå eller det anvendte glutin-skum i forhold til traditionelle konstruktioner med henblik på en vurdering af helstråkompositternes (vægelementernes) anvendelsesmulighed i byggeri.

Prøvningen er udført således, at kombinationen af damptryk og temperatur medfører, at der i perioder sker en kondensering inde i væggen.

3.1.2 Overordnet beskrivelse af prøvning

Afprøvningen er foretaget på de i Hjortshøj monterede vægelementer (helstråkompositter) over en periode på 42 døgn.

I afprøvningsperioden er det tilstræbt, at der skulle være en relativ stor forskel på temperatur og fugtighed mellem rummene på hver sin side af vægelementerne. For at opnå en høj temperatur og fugtighed er der i rummet suppleret med kontrolleret elopvarmning og fugttilførsel i form af en hygrostatstyret fordamper, der fordampede flere liter vand dagligt. Fordamperens driftsparametre er tilnærmet forholdene i en boligs vådrum ved, at der er indlagt perioder, hvor fordamperen ikke er i drift. Til løbende kontrol og registrering af temperatur og relativ fugtighed er der både i det afgrænsede og omgivende rum monteret termohydrografer med datalogning.

I forbindelse med produktionen af vægelementerne er der indbygget fugtmålerrondeller for måling af fugtighed og temperatur i konstruktionen. Fugtmålerrondellen er af Douglas Fir krydsfiner og udført med termoelement. Placering af fugtmålerondeller i vægelementerne fremgår af bilag 1.1 a.

Målingerne er foretaget manuelt og som modstandsmålinger i fugtmålerrondellen. Resultaterne fås i °C og som fugtindholdet i vægtprocent i fugtmålerrondellen.

3.1.3 Måleapparater m.v.

Fugtmålerrondeller	BM-fugtmålerrondel fabrikat Bygge- og Miljøteknik ApS.
Instrument til måling af temperatur og fugt	T 301 COW fabrikat Bygge- og Miljøteknik ApS.
Termohydrografer med datalogning	TESTOSTOR 175 - Datalogger.

3.1.4 Resultat af prøvning

Nedenfor er angivet middelværdien af fugtindholdet (vægtprocent i rondellen) over måleperioden for hver enkelt rondel samt variationen i temperaturen.

Fugtrondel 1 placeret i væg mod varme side	f mid. =	9%	t =	18-21°C
Fugtrondel 2 placeret i væg mod kolde side	f mid. =	14%	t =	12-15°C
Fugtrondel 3 placeret i væg mod kolde side	f mid. =	11%	t =	13-16°C
Fugtrondel 4 placeret i væg mod varme side	f mid. =	8%	t =	20-23°C
Fugtrondel 5 placeret i rum i varme del	f mid. =	8%	t =	25-29°C
Fugtrondel 6 placeret uden for rum i kolde del	f mid. =	10%	t =	10-13°C
Temperatur i rum i varme del			t =	25-29°C
Fugtighed i rum i varme del			Rf =	35-65%
Temperatur uden for rum i kolde del			t =	12-15°C
Fugtighed uden for rum i kolde del			Rf =	57-67%

3.1.5 Konklusion og vurdering af prøveresultat

Prøvningen er udført som en simpel praktisk in-situ prøvning, hvorfor detailmålingerne skal vurderes under hensyntagen til målemetoden, inden de anvendes i anden sammenhæng.

Idet fugt- og temperaturkurverne (bilag 1.1.e og 1.1.f) er rimeligt lineære set over en sammenhængende periode, anses de aflæste resultater på fugtmålerdellene at være tilstrækkelig nøjagtige til brug ved en vurdering af anvendelsesmuligheder i byggeri.

Fugtrondel 2 har et markant højere fugtindhold end fugtrondel 3 med tilsvarende placering. Dette skyldes sandsynligvis, at temperaturen ved fugtrondel 2 er lavere, hvilket på grund af den øgede kondensering medfører en større fugttilførsel, der er med til at forskyde ligevægten mellem kondensering og genfordampning. Årsagen til den lavere temperatur skyldes sandsynligvis en kuldebro i ydervægskonstruktionen. På det aktuelle prøvningsgrundlag viser konstruktionen ikke tegn på, at hverken de anvendte strå eller glutin-skummet er ekstraordinært vandbindende sammenlignet med bygningsdelene i en traditionel let vægkonstruktion uden dampbremse. Det er ikke unormalt at træ, der er indbygget i en ydervægskonstruktion påvirkes til en træfugtighed på 12-14 % efter en vinterperiode. Resultaterne fra vægelementerne af helstråkompositter ligger således på eller under dette niveau.

Den 1. marts 2001 blev vægelementerne inspicerede for evt. effekter af fugtforholdene siden opsætningen i november 1999, herunder den forcerede fugtpåvirkning under måleperioden i november-december 2000. Undersøgelsen kunne ske ved at udtage inspektionslåg, som ikke var limet fast til kernematerialet. Der var ikke nogen tegn på mug eller andre ændringer i forhold til udseendet ved opsætningen. Glutinskummen var stadig intakt og virkede ikke blød eller fugtig.

3.1.6 Bilag

Bilag 3.1 a	Placering af fugtmålerdellere i helstråkompositter i Hjortshøj.
Bilag 3.1 b	Datablad på fugtmålerdellere.
Bilag 3.1 c	Datablad på instrument til måling af temperatur og fugt i fugtmålerdellere.
Bilag 3.1 d	Datablad på termohydrograf med datalogning.
Bilag 3.1 e	Måleresultater for fugtmåling i fugtmålerdellere.
Bilag 3.1 f	Måleresultater for temperaturmåling i fugtmålerdellere.
Bilag 3.1 g	Måleresultater for temperatur og fugtighed i rum i varme del.
Bilag 3.1 h	Måleresultater for temperatur og fugtighed udenfor rum i kolde del.

3.2 Lydprøvning

Lydprøvning i laboratorium af 2 helstråkompositter med overflade af henholdsvis krydsfiner og gipskartonplade.

3.2.1 Formål med prøvning

Formålet med prøvningen er at undersøge vægelementernes luftlydisolering med henblik på vurdering af anvendelsesmuligheder i byggeri.

3.2.2 Overordnet beskrivelse af prøvning

Prøvningen er foretaget som DANAK prøvning udført af firmaet DELTA Akustik og Vibration.

Prøveemnerne er specielt fremstillet til prøvningen.

Der er foretaget prøvning af to prøveemner:

Vægelement 1 bestående af 9 mm krydsfiner - 100 mm rugstrå og glutinskum - 9 mm krydsfiner.

Dette prøveemne svarer til de monterede vægelementer i Hjortshøj.

Vægelement 2 bestående af 12,5 mm GKF Danogips - 100 mm rugstrå og glutinskum - 12,5 mm GKF Danogips.

Prøvningen af vægplade 2 er medtaget, idet der var en formodning om, at denne plade med hensyn til brandmodstand og lydisolering ville være bedre egnet til især boligbyggeri end en plade med overflader af krydsfiner.

3.2.3 Resultat af prøvning

Vægelement 1: Luftlydisolation som vægtet reduktionstal $R_w = 31$ dB.

Vægelement 2: Luftlydisolation som vægtet reduktionstal $R_w = 35$ dB.

3.2.4 Konklusion og vurdering af prøveresultat

De reduktionstal, der er målt i området under 200 Hz skal betragtes som orienterende værdier.

Dette på grund af, at prøveemnerne har et areal under 10 m², og længden af de frie bøjningsbølger overstiger halvdelen af længden af prøveemnets mindste dimension ved frekvenser under 200 Hz. De reduktionstal, der er målt ved over 200 Hz er derimod korrekte.

Det vurderes, at de angivne værdier på vægtet luftlydisolering er tilstrækkelig nøjagtige til brug som vurderingsgrundlag for vægelementernes anvendelsesmuligheder i byggeri.

3.2.5 Bilag

Bilag 3.2 a: "Laboratoriemåling af lydisolering for helstråkomposit med krydsfiner". Testrapport af 4. dec. 2000 fra DELTA Akustik og Vibration.

Bilag 3.2 b: "Laboratoriemåling af lydisolering for helstråkomposit med gipskartonplader". Testrapport af 4. dec. 2000 fra DELTA Akustik og Vibration.

3.3 Brandforhold

Der er ikke foretaget brandteknisk prøvning af vægelementerne. I det efterfølgende er der udelukkende foretaget en brandteknisk vurdering med grundlag i BR 95.

3.3.1 Overfladeklassifikation

Vægelement 1

Med overflade af 9 mm krydsfiner uden bagved liggende hulrum svarer til en klasse 2 beklædning.

Vægelement 2

Med overflade af 12,5 mm GKF Danogips uden bagved liggende hulrum svarer til en klasse 1 beklædning.

3.3.2 Brandmodstandsevne

Det er ikke muligt med baggrund i BR 95 at påvise en specifik brandmodstandsevne for de to vægelementer. Ligeledes vil væggene ikke kunne indgå i noget brandbeskyttelsessystem, jævnfør tillæg 1 til BR 95 om branddrøje konstruktioner i 60 minutter (BD 60) i bygninger op til 4 etager.

Det vurderes dog, at vægelement 2 vil have en vis branddrøjhed, når den anvendes som ikke bærende væg. Branddrøjheden vil bl.a. være afhængig af væggenes evne til at bevare stabiliteten under et brandforløb.

Til sammenligning angiver BR 95 at en ikke bærende branddrøj væg i 30 minutter (BD30) kan opbygges af 45 x 45 mm træstolper pr. 600 mm, der på begge sider er beklædt med klasse 2 beklædning og med hulrum helt udfyldt med mineraluld i pladeform.

3.4 Varmeisolering

Måling af isoleringsevne på prøveemner af helstråkompositter med elefantgræs og polyuretanskum samt af prøveemner udelukkende af tritica-lestrå og glutinskum. Prøvningen er foretaget i henhold til DIN 52612, Part 1.

3.4.1 Formål med prøvning

Formålet med prøvningen var at undersøge og sammenligne varmeledningsevnen ved anvendelse af forskellige strå- og skumtyper.

3.4.2 Overordnet beskrivelse af prøvning

Prøvningen er foranlediget udført af producenten, Frank Möller, Institut für Bauforschung, Braunschweig, Tyskland og er oplyst udført i henhold til DIN 52612, Part 1.

Der er foretaget prøvning af:

Prøve 1: Helstråkomposit bestående af 6 mm krydsfiner, 40 mm elefantgræs og polyuretanskum (med densitet på 315 kg/m³) og 6 mm krydsfiner.

Prøve 2: Helstråkomposit bestående af 6 mm krydsfiner, 40 mm tritica-lestrå og polyuretanskum (med densitet på 226 kg/m³) og 6 mm krydsfiner.

Prøve 3: Kernemateriale bestående af 90 mm tritcalestrå og glutinskum (med densitet på 50 kg/m^3) og med stråene i en vinkel på 90° på overfladen. Uden top- og bundplade.

Prøve 4: Kernemateriale bestående af 90 mm tritcalestrå og glutinskum (med densitet på 50 kg/m^3) og med stråene i en vinkel på 0° på overfladen. Uden top- og bundplade.

3.4.3 Resultat af prøvning

Prøve 1: Varmeledningsevne $\lambda = 0,1327 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Prøve 2: Varmeledningsevne $\lambda = 0,0863 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Prøve 3: Varmeledningsevne $\lambda = 0,0565 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Prøve 4: Varmeledningsevne $\lambda = 0,0410 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

3.4.4 Konklusion og vurdering af prøveresultat

Isoleringsevnen for helstråkompositter med tritcalestrå er bedre end for kompositter med elefantgræs.

Isoleringsevnen for kernemateriale med tritcalestrå parallelt med overfladen er bedre end for kompositter med tritcalestrå vinkelret på overfladen, idet en stor del af varmetransmissionen sker gennem de hule strå.

3.4.5 Bilag

Bilag 3.4.a "LNS Thermal conductivity measurements".

3.5 Styrkeforhold

Der er foretaget måling af styrke på gulvelementerne før indsætning i Hjortshøj, mens der ikke er målt styrke på den type vægelementer, der er monteret i Hjortshøj.

Til at belyse styrkeforholdene i helstråkompositter er der medtaget tidligere målinger og prøvninger på andre typer af helstråkompositter.

3.5.1 Formål med prøvningerne

Prøvningerne er medtaget for at få et fingerpeg om sammenhængen mellem tykkelse og bøjningsstyrke i helstråkompositterne.

3.5.2 Overordnet beskrivelse af prøvning

Prøvningen er foranlediget udført af producenten, Frank Möller, Institut für Bauforschung, Tyskland og oplyst udført i henhold til EN 310.

Der er foretaget prøvning af:

- A. Helstråkomposit, med samlet tykkelse på 19 mm, bestående af 1,5 mm krydsfiner, 16 mm rughalm og glutinskum og 1,5 mm krydsfiner. Densitet på 205 kg/m^3 .
- B. Helstråkomposit, med samlet tykkelse på 30 mm, bestående af 2,5 mm krydsfiner, 25 mm elefantgræs og glutinskum og 2,5 mm krydsfiner. Densitet på 295 kg/m^3 .
- C. Helstråkomposit, med samlet tykkelse på 68 mm, bestående af 9 mm krydsfiner, 50 mm elefantgræs og glutinskum og 9 mm krydsfiner. Densitet på 275 kg/m^3 .

3.5.3 Resultat af prøvning

Prøve A: Bøjningsstyrke $\sigma = 18 \text{ N/mm}^2$.

Prøve B: Bøjningsstyrke $\sigma = 33 \text{ N/mm}^2$.

Prøve C: Bøjningsstyrke $\sigma = 2,26 \text{ N/mm}^2$.

3.5.4 Konklusion og vurdering af prøveresultat

De tre prøvninger viser, at valg af stråmateriale og tykkelse af kompositter er af afgørende betydning for bøjningsstyrken. Ifølge Frank Möller forudsætter opnåelse af høj styrke, at forholdet mellem længde og tykkelse af strå i kernen holdes under 8, hvilket ikke var tilfældet i prøve C.

De angivne måleresultater indikerer klart, at såfremt helstråkompositterne skal indbygges som bærende plader, hvor bøjningsstyrken er af afgørende betydning, skal der til hver udformning og tykkelse foretages en afprøvning.

3.5.5 Bilag

Bilag 3.5.a. "Loadingtest of an LNS floor panel".

4 Byggeteknisk vurdering af helstråkompositter

4.1 Fugtforhold

Vægelementerne, der er monteret i Hjortshøj, vurderes med hensyn til fugttransmission at kunne anvendes som skille- eller ydervæg i boliger. Forudsætningen er, at vægkonstruktionen ved anvendelse som en del af en ydervæg suppleres med en dampbremse på den varme side og ventileres på den kolde side mellem væg og klimaskærm, analogt med en traditionel let vægopbygning. Samlingsdetaljerne ved montagen af væggen i Hjortshøj er ikke færdigudviklet. Ved montage i ydervæg eller ved sammenbygning til ydervæg skal samlingsdetaljerne videreudvikles således, at der opnås fuldstændig lufttæthed. Det har i praksis vist sig, at fugt- og kondensproblemer i f.eks. træhuse typisk opstår i eller på grund af ikke korrekte elementsamlinger.

4.2 Lydforhold

I forbindelse med oplevelsen af et godt indeklima i en bolig er det af vital betydning, at lydisoleringen i vægge og gulve, både mellem forskellige rum inden for den samme bolig og mellem sammenbyggede boliger, er optimale. Der stilles i Bygningsreglementet krav om en luftlydisolans ved boliger på 52 dB ved lodrette lejlighedsskel og 53 dB ved vandrette lejlighedsskel. Kravet til trinlydniveau for gulve og dæk er maksimalt 58 dB i beboelsesrum og køkkener fra omgivende boliger.

Vægelement 1 – Helstråkomposit med krydsfiner (9mm)

Med baggrund i bl.a. BR 95 vurderes nærværende vægelement, der svarer til de monterede elementer i Hjortshøj, ikke at være egnet til anvendelse som skille- eller ydervæg i boliger på grund af den dårlige luftlydisolation på 31 dB.

Det vurderes, selv som afgrænsninger mellem rum inden for den samme bolig, at elementernes dårlige luftlydisolans vil virke generende, når der opholder sig flere personer i den samme bolig.

Til sammenligning har en traditionel 95 mm let uisolaret væg bestående af stålskelet med 1 x 13 mm gipsplade på begge sider en luftlydisolans på $R_w = 30$ dB.

Vægelement 2 – Helstråkomposit med gipskartonplade (12,5 mm)

Med baggrund i bl.a. BR95 vil vægelementet umiddelbart kunne anvendes som skillevæg til afgrænsning mellem rum inden for den samme bolig - dog ikke som afgrænsning ved vådrum.

Lydisoleringsmæssigt er der dog mulighed for at anvende vægelementet som skillevæg mellem forskellige boliger, hvis lejlighedsskellet opbygges som to uafhængige vægelementer med udfyldt isolering mellem de to vægge.

Til sammenligning har en traditionel 95 mm let isoleret væg bestående af stålskelet udfyldt med 45 mm mineraluld og med 13 mm gipsplade på begge sider en lydisolering på $R_w = 36$ dB.

Generelt

Samlingsdetaljerne, der er anvendt ved montagen af den aktuelle væg i Hjortshøj, skal videreudvikles, så der i højere grad tages højde for luftlydtæthed og flangetransmission ved tilslutning til de øvrige konstruktioner. Det har i praksis vist sig, at lydproblemer i f.eks. træhuse typisk skyldes dårlige elementsamlinger.

4.2.1 Bilag

Bilag 4.2.a: Krav til luftlydisolation og trinlydniveau mellem boliger m.v. Uddrag fra BR 95.

4.3 Brandforhold

Vægelement 1 og 2 vil brandmæssigt kunne anvendes inden for den samme boligenhed som ikke bærende skillevægge i etageboliger indtil 8 etager. Ved etageboliger over 8 etager kan vægelement 2 anvendes som ikke bærende skillevæg inden for den samme boligenhed.

Vægelement 2 kan ligeledes anvendes som ikke bærende ydervæg (med tilhørende dampbremse og klimaskærm) i boliger med underkant af øverste redningsåbning indtil 10,8 m over terræn.

Hvis vægelementerne skal anvendes i bygninger over 2 etager, der er omfattet af tillæg 1 til BR 95 med BD 60 konstruktioner indtil 4 etager, kan udelukkende vægelement 2 anvendes.

Ovennævnte er udelukkende med baggrund i BR 95. Såfremt vægelementerne skal anvendes i praksis i en aktuel byggesag, vil de stedlige brandmyndigheder med stor sandsynlighed kræve en brandprøvning.

4.3.1 Bilag

Bilag 4.3.a: Krav til overflader i boliger. Uddrag fra BR 95.

Bilag 4.3.b: Klassificering af klasse 1 og klasse 2 beklædninger. Uddrag fra BR 95.

4.4 Varmeisolering

Elementerne og pladerne, der er anført under pkt. 3.4, kan varmeisoleringsmæssigt anvendes som ydervægge, når de opfylder isoleringskravet i BR 95 på $U = 0,2$ $W/m^2\text{°K}$.

For at opfylde kravet på $U = 0,2$ $W/m^2\text{°K}$ skal de fire prøveemner have følgende omtrentlige tykkelser:

Prøve 1: ($\lambda = 0,1327$ $W/m\text{°K}$.)	$d = 630$ mm.
Prøve 2: ($\lambda = 0,0863$ $W/m\text{°K}$.)	$d = 410$ mm.
Prøve 3: ($\lambda = 0,0565$ $W/m\text{°K}$.)	$d = 270$ mm.
Prøve 4: ($\lambda = 0,0410$ $W/m\text{°K}$.)	$d = 200$ mm.

Prøve 3 er den prøve, der bedst svarer til de monterede vægelementer i Hjortshøj. Til sammenligning kan nævnes, at mineraluld, der normalt anvendes til bygningsisolering i forbindelse med lette ydervægge, er klasse A bats med en λ -værdi på 0,039 W/ m²K.

4.4.1 Bilag

Bilag 4.4.a: Krav til varmeisolering. Uddrag fra BR 95.

4.5 Styrkeforhold

Helstråkompositterne vil være bedst egnede til anvendelse, hvor de ikke er en del af den primært bærende konstruktion.

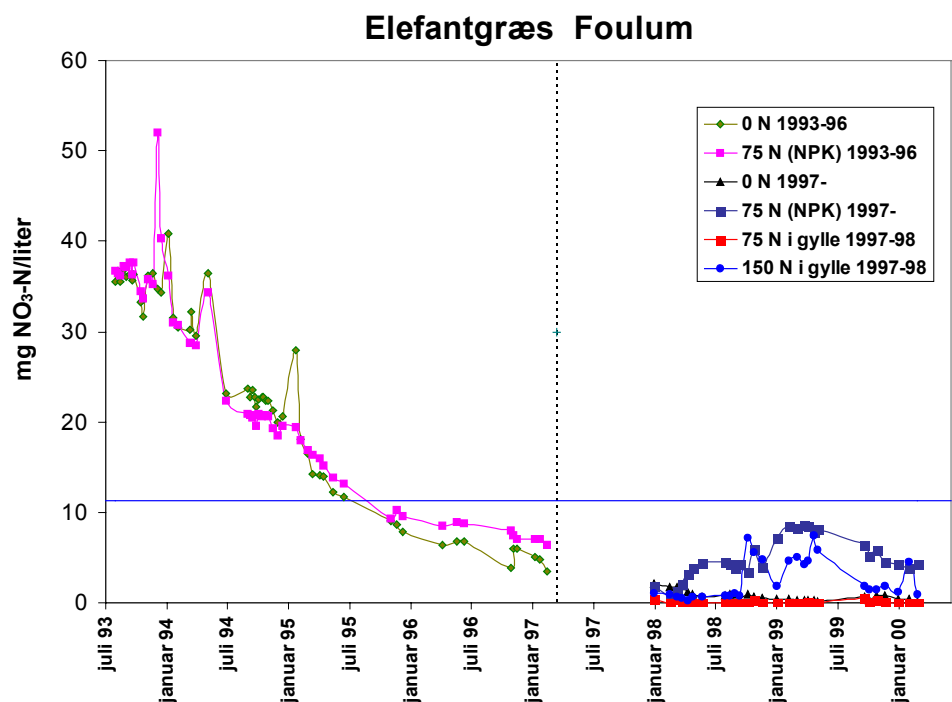
Som en del af en etageadskillelse vil kompositterne kunne anvendes som plader, der spænder mellem træbjælker i stedet for f.eks. krydsfinerplader.

Som en del af en vægkonstruktion vil kompositterne kunne anvendes som udfyldningsplader, der spænder mellem de primært bærende bygningsdele bestående af søjler og bjælker.

5 Miljøvurdering af helstråkompositter

Da helstråkompositter endnu ikke er sat i produktion i fuld skala, kan der ikke gennemføres en nøjagtig vurdering af produktets samlede miljøbelastning. Følgende forhold forventes dog at være med til at sikre en lav belastning:

- Der anvendes næsten udelukkende (bortset fra limen i krydsfineren) biologisk baserede råvarer.
- Helstråkompositternes lethed i forhold til styrke betyder et lavt materialeforbrug, og et lavt forbrug af energi til transport.
- Hele strå bruges direkte i kompositterne, mens fx MDF-plader kræver en defibrering af træ, hvortil der bruges ca. 95 kWh pr. ton træfibre.
- Elefantgræs er en flerårig afgrøde, der kan dyrkes uden brug af pesticider. Den flerårige vækst og effektive recirkulering af næringsstoffer i elefantgræs sikrer mod udvaskning af betydning til vandmiljøet (se Fig. 7). Human urin, fæces eller gråt spildevand kan bruges som gødning uden risiko for forurening af fødevarer.
- Rug er den kornart, som er mest hårdfør overfor plantesygdomme og ukrudt, og den har et relativt lavt gødningsbehov. Nitratudvaskningen fra en enårig afgrøde vil dog være større end fra en flerårig.
- Efter brug kan helstråkompositterne brændes og energien udnyttes ligesom fra anden biomasse.



Figur 7. koncentrationen af nitrat-N under rodzonen af elefantgræs dyrket ved forskellige gødningsmængder (50-75 kg N/ha/år anbefales). Den høje udvaskning i de første år stammer fra mineralisering af organisk stof i den velgødede landbrugsjord. Kravet til drikkevand (11,3 mg nitrat-N/l svarende til 50 mg nitrat/l) er angivet.

I forbindelse med JOULE-projektet for udvikling af vindmøllevinger af helstråkompositter er der blevet gennemført en foreløbig LCA-analyse. I beregningen bliver størstedelen af miljøpåvirkningen fra helstråkompositter tilskrevet produktionen af gelatine, der har et meget stort energiforbrug ifølge tilgængeligt datamateriale. Alligevel bliver analysen for sammenligning med en traditionel vinge af PVC-skum klart bedst for helstråkompositvingen under forudsætning af, at tilstrækkelig styrke kan opnås ved omtrent samme vægt.

Ved sammenligning af helstråkompositter med spån- og fiberplader mindskes energiforbruget, idet der ved produktion af de traditionelle plader anvendes megen energi til neddeling af træet udover den efterfølgende procesenergi til pladefremstilling. Vi vurderer foreløbigt energiforbruget ved fremstilling af helstråkompositter til at være ca. 25 % af forbruget ved fremstilling af spånplader regnet per volumenenhed plade.

Ved By og Byg er der udviklet et LCA-værktøj (BEAT 2000) til brug ved miljøvurdering af byggevarer, bygningsdele og bygninger. Værktøjet, der er en relationsdatabase opbygget ved brug af programmet Microsoft Access 97, består af en database med miljødata samt en brugerflade med et integreret opgørelses- og vurderingsværktøj. Det er således muligt at kvantificere en bred vifte af miljøeffekter fra forskellige byggevarer og sammenligne forskellige konstruktionsstyper. Det vil derfor være oplagt at få indlagt ressource-parametre for produktion, opsætning og bortskaffelse af helstråkompositter i BEAT 2000, således at kvantitative sammenligninger med mere almindelige byggevarer til fx indervægge og gulve kan opnås. Det var dog ikke ved skrivningen af nærværende rapport lykkedes at få skabt de nødvendige kontakter til BEAT 2000 kyndige, men vi vil fortsat arbejde på at få gennemført analysen for helstråkompositter. Da der endnu ikke er tale om en industriel produktion af helstråkompositter, vil det være vanskeligt at give præcise data for fremstillingsprocessen, mens til gengæld råvareforbruget og råvarefremstillingen kan beskrives ganske præcist.

6 Ideer til forbedring af helstråkompositter og til nye anvendelser i byggeri

Ved testen af helstråkompositter i prøvehuset i Hjortshøj er der blevet anvendt en 'traditionel' udformning med top- og bundplader af krydsfiner. Ved projektets styregruppemøder diskuterede vi muligheder for at ændre produkt-konceptet med henblik på at forbedre de byggetekniske egenskaber. Muligheden for ændringer ligger primært i at vælge andre materialer til top- og bundplader.

Gipsplader har en god miljøprofil, og har en bedre evne til lydisolering og brandhæmning end plader af krydsfiner. Derfor blev der i projektet fremstillet en testplade med overflader af 12,5 mm gipsplader, som indgik i en sammenlignende lydtest med en 'traditionel' helstråkomposit (se afsnit 3.2). Produktet med gipsplader blev 35-40 % tungere end produktet med krydsfiner, hvilket begrænser størrelsen af plader, som 2 mand alene kan sætte op. Styrken af helstråkompositter må tillige forventes mindsket ved anvendelse af gipsplader (ikke målt i projektet), men forventes at være fuldt tilstrækkelig til ikke-bærende vægge.

En anden ide til ændret overflade er at anvende glas (idekvinde: Natalie Mossin, Kunstakademiet). Med glasoverflader fremstår det smukke, organiske kernemateriale klart og giver kompositten en helt anden og ny fremtoning sammenlignet med krydsfiner eller gipsoverflader. Helstråkompositter med glasoverflade kan tænkes anvendt som glasfacader, som kan lade lys trænge igennem, men som vil forhindre generende solskin og blikke fra gaden. Et sådant prøvemateriale er blevet fremstillet sidst i projektet (Fig. 8).

Endelig kan man overveje helt andre materialer som stabilisator mellem stråene i kernematerialet i stedet for skum. Hvis ikke lethed er et mål kan flydende beton eller gips tænkes anvendt som fyld/stabilisator, og man vil få et produkt, som er lettere og stærkere end en massiv plade af beton eller gips. Sådanne produktprøver er dog ikke blevet fremstillet i projektet.



Figur 8. Helstråkomposit med overflader af glas set dels fra overfladen og i indsat billede på tværs af kompositten.

7 Formidling

7.1 Plancher og brochurer

I Prøvehus II er opsat en planche, som beskriver produktionen af helstråkompositter, miljøforhold, tekniske egenskaber og indholdet af det aktuelle Projekt (Bilag 7.1.a). A3 kopier af planchen findes til udlevering til besøgende i Prøvehuset.

Ved konferencen 'Natural Fibres Performance Forum' på Landbohøjskolen i Maj 1999 præsenteredes projektet sammen med andre eksempler på anvendelser og fremstilling af helstråkompositter (se poster i Bilag 7.1.b).

7.2 Plantning af elefantgræs

Oprindeligt var ansøgt om et supplerende projekt i Hjortshøj vedrørende dyrkning af råvarer til helstråkompositter og til tækning af et hus, ved udnyttelse af næringsstoffer i urin og fæces fra Andelssamfundet. Dette projekt blev dog ikke givet finansiering. Til illustrering af råvarerne vil vi derfor blot plante nogle elefantgræsplanter omkring Prøvehus II, hvilket vil ske, når hele byggeriet er færdiggjort.

7.3 Foredrag

Projektet er blevet præsenteret ved foredrag på Formidlingsdag om 'Byggeskik og Byggevarer – miljøvenlige alternativer' på SBI (By og Byg) i August 1999, samt ved Temadag for den Økologiske Aktionsplan på Byggecentrum Middelfart i september 2000.

8 Litteratur

Frühwald, A. & Hasch, J. Life cycle assesment of particleboards and fibreboards.
<http://www.oekobilanzen-holz.org/PaFiBrds.pdf>

Jørgensen, U. & Hansen, E. M., 1998. Nitrate leaching from Miscanthus, willow, grain crops and rape. In: Proceedings of the IEA workshop on environmental aspects of energy crops production (Wörgetter , M. & Jørgensen U. eds.), BLT Austria, 207-218.

Jørgensen, U. og Kjeldsen, J. B., 2000. Dyrkning af elefantgræs. I: Har energiafgrøder en fremtid i Danmark ? DJF rapport Markbrug nr. 29, 23-29.

Jørgensen, U. & Nielsen, K.V. 1994. Er der mere energi i landbruget ? Jord & Viden nr. 11, 1994.

Jørgensen, U. & Schwarz, K. U. 1997. Miljø og økonomi trækker det længste strå. Vedvarende Energi & Miljø 6/97, 6-7.

Möller F., Hoch, C. & Schröder, A. 2000. Leicht und stabil – Entwicklung von LNS (Light Natural Sandwich) Materialien für Tafelbauelemente im Bauwesen. Land Technik 1/2000, 24-25.

Petersen, E.H., 1998. Database og opgørelsesværkstøj for bygningsdeles og bygningers miljøparametre. SBI-rapport 275, 45 pp.

Schwarz, K.U., 1999 + 2000. Optimisation of the production chain for high performance 'Light Natural Sandwich Materials' (LNS) as a basis for scaling up. FAIR CT 98-3784, first + second progress report. Se også:
<http://www.agrsci.dk/pvj/miscanthus/>

Schwarz, K.U., Jørgensen, U., Möller, F. & Jonkanski, F., 1998. Growth and quality characteristics of Miscanthus 'Giganteus' for industrial and energy use. In: Sustainable agriculture for food energy and industry (El Bassam, N., Behl, R. K. & Prochnow, B. eds), James & James UK, 973-977.

Schwarz, K.U. & Kaack, K., 1999. Strå kan erstatte plast og træ. JordbrugsForskning 3 (6), 7-9.

Seifert, H., 2000. BIOBLADE: Development of a rotor blade using renewable materials. Fourth Periodic Report - JOULE III - Contract JOR3-CT96-0153.