

Halmballer og muslinger som isoleringsmaterialer

Foreløbig rapport, version 2001-06-21

Forfattere: Birte Møller Andersen og Jørgen Munch-Andersen, By og Byg

Fotos: Birte Møller Andersen og Jan Carl Westphall, By og Byg

Projektstøtte:

Energistyrelsens udviklingprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering

Der er en stigende interesse for at bygge huse med halm og blåmuslingeskaller som isoleringsmateriale. Flere selvbyggere har bygget huse, hvori disse materialer er anvendt i ydervæg og tag henholdsvis terrændæk. Der er også påbegyndt byggerier, som opføres af håndværkere for en privat bygherre.

Produkterne findes i rigelige mængder, og giver meget lav miljøbelastning. Det er derfor oplagt, at dokumentere de byggetekniske egenskaber og derved undersøge om halmballer vil kunne anvendes i større omfang.

Vedrørende halm er målet for projektet at dokumentere pudsede halmvægges egenskaber med hensyn til:

- Varmeisolering
- Fugttransport
- Brand
- Lydisolering
- Arbejdsmiljø
- Livscyklus

For blåmuslingeskallers vedkommende er målet at dokumentere egenskaberne med hensyn til:

- Varmeisolering
- Kapillær stighøjde
- Livscyklus

Dette notat giver en kort beskrivelse af formål, hvad har vi gjort i de enkelte forsøg og hvilke resultater har vi foreløbig fået. Den endelige rapport med konklusioner og perspektivering udarbejdes, når alle forsøg er afsluttet.



Figur 1. Halmvægge og testemner opbygges på By og Byg.

Opbygning af halmvægge med lerpuds

Prøveemner er opbygget ved anvendelse af traditionelle halmballer. I de fleste prøveemner er ballerne lagt ned med stråretningen vinkelret på overfladerne, dvs. ca. 450 mm brede. Halmvæggene grundes med lervælling, efterpudses 2 gange med lerpuds tilsat snittet halm og glittes til slut. Den færdigpudsede halmvæg er ca. 520 mm bred.

Ved sætningsforsøg på By og Byg er desuden anvendt hestonballer, der er større og har højere rumvægt.

Vedrørende detaljeret beskrivelse af de anvendte materialer (halmballer, lerpuds, muslingskaller), samt arbejdsgange ved opbygning af testemner, se Bilag 1.

Varmedningsevne for halmballer (λ -værdi)

Formålet har været at bestemme varmedningsevnen for halmballer ved 2 forskellige densiteter og 2 forskellige stråretninger.

Teknologisk Institut (TI) har foretaget i alt 4 målinger i et såkaldt λ -apparat, hvor varmedningsevnen, λ_{10} for tør halm ved 10 °C. bestemmes. Den praktiske varmedningsevne, λ_p , er højere, da den inkluderer effekten af fugtindholdet mv. λ_p fastsættes af Varmeisoleringstestlaboratoriet. Der henvises til www.vik.dk.

Resultatet viser følgende:

Testemne	Stråretning	Densitet, kg/m ³	λ_{10} , W/mK
1	Vinkelret på varmemstrøm	76,3	0,052
2	Vinkelret på varmemstrøm	94,5	0,056
3	Parallel med varmemstrøm	76,8	0,057
4	Parallel med varmemstrøm	91,8	0,060

Hvis man på den sikre side sætter $\lambda_p = 0,07$ W/mK for stråretningen parallel med varmemstrømmen findes U-værdien for en almindelig 450 mm halmvæg til 0,15 W/m²K, hvilket rigeligt opfylder standard U-værdikravet til lette vægge på 0,20 W/m²K.

I tage er stråretningen oftest vinkelret på varmemstrømmen. Hvis man forsigtigt sætter $\lambda_p = 0,062$ W/mK findes for 300 mm halm på underlag af gipsplader og brædder at U-værdien er 0,19 W/m²K, hvilket kun lige opfylder standard kravet på 0,20 W/m²K for såkaldte paralleltage. Ved sædvanligt loftrum er kravet 0,15 W/m²K.

Da det er vanskeligt, at tilpasse halmballerne til λ -apparatet er der desuden udført to direkte målinger af U-værdi på vægge opbygget af hele halmballer med lerpuds i en såkaldt hot-box. Disse viser at U-værdien for en almindelig lerpudset halmvæg er 0,20 W/m²K for stråretningen parallelt med varmemstrømmen og 0,19 W/m²K for stråretningen vinkelret på varmemstrømmen. Der er endnu ikke fundet en forklaring på den store forskel på den beregnede U-værdi (0,15) og den målte (0,20) for stråretningen parallelt med varmemstrømmen.

Fugtforhold

Risikoen for fugtphobning i halmvægge om vinteren undersøges. Risikoen afhænger især af vanddampdiffusionsmodstanden, kaldet Z-værdien, af pudslagene, men også af halmens egenskaber.

Der udføres forsøg på By og Byg til bestemmelse af Z-værdien såvel af forskellige kombinationer af pudstyper og overfladebehandlinger, som af for halm med forskellige stråretninger. Ud fra disse værdier kan man ved beregning undersøge, om der er risiko for, at der ophobes fugt i halmen og dermed er risiko for nedbrydning af halmen. Resultaterne foreligger endnu ikke.

Til brug ved kontrol af beregningerne udføres tillige målinger på en pudset halmvæg i en såkaldt varm-kold kasse, hvor vinterklima kan simuleres.

Væggen er indvendigt pudset med ler, udvendigt med ler på den ene halvdel og med kalkmørtel på den anden. Forsøget er ikke afsluttet, men resultaterne tyder på, at der ikke sker fugtophobning når der er pudset med kalk udvendigt, mens der syntes at være en risiko med lerpuds. Dette er overraskende, da det var forventet at kalkpuds ville være tættere end lerpuds og dermed give større risiko. En medvirkende årsag er, at kalkpudsen kan udføres tyndere end lerpudsen.

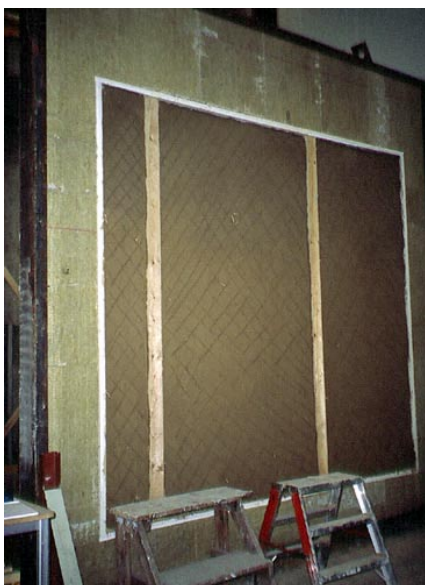


Figur 2. Varm-kold kasse på By og Byg. Her testes fugtophobningen i halmvægge med 2 forskellige pudstyper (ler- og kalkpuds).

Brandtekniske egenskaber af halmvægge.

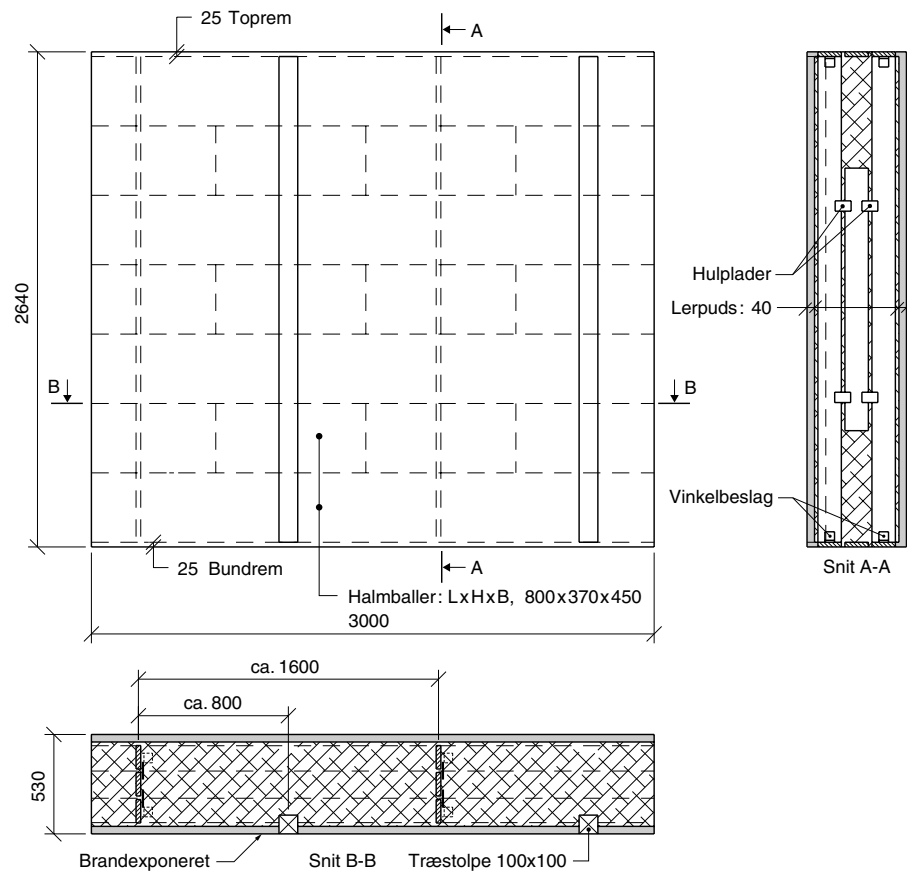
Formålet har været at teste brandmodstandsevnen af halmvægge med lerpuds og undersøge om lerpuds på halmballer opfylder kravene til kl. 1 beklædning.

Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut (DBI) har foretaget test vedrørende brandmodstandsevne af en lerpudset halmvæg opbygget med synlige træstolper i flugt med et indvendige pudslag, se figur 3 og 4. Resultatet viser at væggen opfylder kravene til BD konstruktion 30.



Figur 3. Lerpudset halmvæg testet vedrørende brandmodstandsevne på DBI. Tv. Halmvæg før prøvning. Th. Halmvæg efter prøvning. De bemærkes specielt at der ikke sket indbrænding i halmen mellem træstolperne og pudsen.

DBI har desuden foretaget test vedrørende brandklassificeringen af lerpuds på halm. Der var pudset på begge sider af halmen. Resultatet viser at lerpudsen opfylder kravene til klasse 1 beklædning.



Figur 4. Plan, snit og opstalt af testemne på DBI.



Figur 5. Lerpudset halmvæg efter test vedrørende brandklassificering af lerpuds på halm.

Lydisolation for halmvægge.

Formålet er at teste lydisolationen for en typisk lerpudset halmvæg ved måling i eksisterende hus.

DELTA, Akustik & Vibration foretager målinger på en halmvæg i et eksisterende halmhus. Resultat foreligger senere.

Arbejds miljø ved byggeri med halmballer.

Formålet er at bestemme støv- og svampesporepotentiale.

AMI har monteret måleudstyr på 2 forsøgspersoner (halmbyggere) under opbygning af halmtestemnerne på By og Byg. Resultatet foreligger senere.



Figur 6. Måling af støv- og svampesporepotentiale.

Halmressourcer

Formålet er at vurdere hvor store mængder anvendeligt halm, der er til rådighed og sammenligne livscyklusparameteren for halmvægge med traditionelle vægge.

Halm er et biprodukt, der findes i rigelige mængder og er samtidig en fornybar ressource. Af en samlet bjergbar halmhøst på 6 mio.ton anvendtes i 1996 ca. 15 % til energiformål, hvor kraftvarmeværker aftager en del. Derudover anvendes en del halm som strøelse, men store mængder nedpløjes. (Nikolaisen & Nielsen et al., 1998). Der henvises til www.ens.dk. Til et hus medgæ omkring 150 m³ halm eller knap 15 ton.

Resultaterne fra livscyklusundersøgelsen foreligger endnu ikke.

Sætninger i halmkonstruktioner

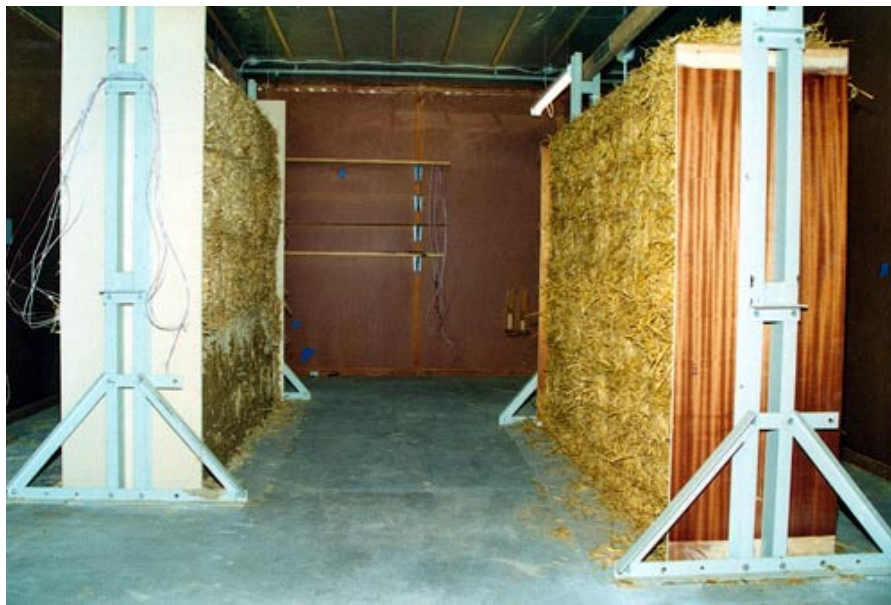
Formålet er at undersøge sætninger i halmvægge udsat for vekslende fugtindhold.

På By og Byg er opbygget 2 halmvægge (se fig. 7):

1 halmvæg i traditionelle baller, hvor belastningen er lig med egenvægten og 1 halmvæg i bigballer (hestonballer) belastet med 400 kg/m.

Bigballe væggen satte sig ved påføringen af belastningen øjeblikkeligt 60 mm.

By og Byg afprøver halmvæggene i et klimakammer, hvor luftfugtigheden varieres mellem to niveauer (50 og 80 % luftfugtighed). Forsøgene er endnu ikke afsluttede, men sætningerne i forbindelse med varierende fugtindhold er små, højst nogle få mm.



Figur 7. Halmvæg til sætningsmåling (før pudsnings) i traditionelle baller tv. og i bigballer th.

Varmeledningsevne for muslingeskaller

Formålet er at bestemme varmeledningsevnen for hele skaller og skaller i 2 nedknusningsgrader.

T1 har udført 3 målinger af varmeledningsevnen i et λ -apparat. Resultatet viser flg.:

Testemne	Densitet kg/m ³	λ_{10} W/mK
Hele skaller	307,5	0,12
Skaller nedknusningsgrad 1	654,7	0,11
Skaller nedknusningsgrad 2	554,6	0,11

På samme måde som for halm gælder, at den praktiske varmeledningsevne λ_p er højere. Når skallerne bruges som kapillarbrydende lag, skal der tages hensyn til det højere fugtindhold her. På den sikre side kan det ske ved at se bort fra isoleringsevnen af de nederste 75 mm skaller.

Hvis man antager, at λ_p er 0,15 W/mK vil 500 mm (+ 75 mm) skaller give en U-værdi på 0,20 W/m²K svarende til U-værdikravet for terrændæk uden gulvvarme.

Kapillær stighøjde for muslingeskaller

Formålet er at bestemme den kapillære stighøjde for muslingeskaller med henblik på anvendelsen som kombineret isoleringsmateriale og kapillarbrydende lag i terrændæk.

GEO foretager 3 målinger af den kapillære stighøjde er for hele og skaller i 2 nedknusningsgrader. Resultatet viser flg.:

Testemne	Vægt/kg	Kapillære stighøjde
Hele skaller	7,1	6
Skaller nedknusningsgrad 1	14,0	21
Skaller nedknusningsgrad 2	5,9	24

Skallerne opfylder dermed kravet til kapillarbrydende lag.

Muslingeskalressourcer

Formålet er at bestemme mængden af anvendelige skaller samt at sammenligne livscyklusparametre for et terrændæk med muslingeskaller med nogle traditionelle konstruktionstyper.

Der er rigelige mængder muslingeskalressourcer i Danmark. Der er landet 100.000 tons muslinger hvert år i de sidste 5-6 år, og fabrikkerne må i dag betale for at komme af med skallerne (Sand Kristensen & Hoffmann, 2000).

Mængden af muslinger der skal anvendes for 1 hus i forbindelse med terrændæk skønnes til $150 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ t/m}^3 = 38 \text{ t}$.

Resultaterne fra livscyklusundersøgelsen foreligger endnu ikke.

Konstruktionsdetaljer

Formålet er at udarbejde detaljer for nogle typiske konstruktionstyper på baggrund af den eksisterende viden, og den viden der opnås i projektet.

By og Byg udarbejder hensigtsmæssige udformninger af detaljer for fundament, væg og tag, som kommenteres af LØB's faggruppe for Ler og Halm.

Litteraturliste

Nikolaisen, L. (red.), & Nielsen, C., et al. (1998). *Halm til energiformål: Teknik - miljø - økonomi* (2. udg.). København: Videncentret for Halm- og Flisfynd.

Sand Kristensen, P., & Hoffmann, E. (2000). *Fiskeri efter blåmuslinger i Danmark 1989-1999* (DFU-rapport nr. 72-00). Charlottenlund: Danmarks Fiskeriundersøgelser.

Bilag 1: Specifikation vedr. testemner

Efterfølgende er en oversigt over fremgangsmåde og anvendte produkter (materialer og mængder) ved opbygning af testemner.

Fremgangsmåde ved opbygning af halmvægge

- 1 Oplægning af hele halmballer..
- 2 Tildannelse ved syning af halmballer med halmsnor og armeringsrør
- 3 Efterfyldning med halmtotter i kanten.
- 4 Slibning af pudseflade med vinkelsliber.
- 5 Grundpuds (lervælling) uden snittet halm, udføres manuelt.
- 6 Første lag puds med snittet halm, udføres med pudsebræt.
- 7 Andet lag puds med snittet halm, udføres med pudsebræt.
- 8 Glitning med svamp.
- 9 Efterfugning.

Traditionelle halmballer anvendt i forsøg på DBI, TI, AMI og By og Byg

Produktbeskrivelse af baller:

Gennemsnitsstr./stk.: h x br x l. (38x45x75)cm.

Gennemsnitsvægt/stk : 10 kg.

Rumvægt: 78 kg/m³.

Gule, skinnende strå, der ser sunde og friske ud. Dvs. ikke mørke eller for fugtige.

Stråretning fortrinsvis vinkelret på pudseflade.

Fugtighedsprocent målt ved halm spyd inden forsøg: 10-14% (12 prøver).

Fugtindholdet af halm fra overflade bestemt ved veje-,tørre metode 16-17% (2 prøver).

Leverandør: Verner Hansen, Alt i Høj og Halm. Halmen er høstet på Syd-sjællandske marker. (Leverandør af høj og halm til ridebaner).

Bigballer (hestonballer) anvendt i forsøg på By og Byg

Produktbeskrivelse:

Størrelse/stk: l x h x br. (2,04x0,85x0,45)m.

Vægt/stk: 98,3 kg.

Rumvægt: 126 kg/m³.

Gule baller, skinnende strå, der ser sunde ud og lugter svagt af dyr.

Diffus stråretning.

Fugtighedsprocent målt ved halmspyd inden forsøg: 15-17 % (4 prøver).

Fugtindholdet af halm fra overflade bestemt ved veje-tørre metode 18-19% (2 prøver).

Leverandør: Andelslandbruget Søgård i Midtjylland.

Lerpuds anvendt i forsøgsemner på DBI og By og Byg

1. lag lerpuds

Grundning med lervælling (grundpuds), som består af lerpulver opløst i vand. Lerpulver er købt færdigblandet og består af en blanding af ler og grus. Lerdelen er ikke 100 % moræneler, men en blanding mellem ler og grus. Grusdelen består af kornstørrelse i mm. på 0-4, som bakkegrus, bakkесand, skarpt sand eller grus.

Bakkесand(strandsand) anvendes ikke her, men allerhøjst til finpuds.

Grundpudsen tilsættes ikke snittet halm, fordi den skal binde til halmvæggen. Snittet halm tilsættes 2. og 3. pudslag, fordi snittet halm er med til at armere pudsen, modvirke svindrevner og gøre pudsen luftig og isolerende.

2. og 3. lag lerpuds:

Ingredienserne sammenblandes i følgende forhold og mængder:

1:1,8:0,8:0,3

10 liter lerpulver

18 liter bakkegrus

8 liter snittet halm

(Halmstrå er 6-7 cm. lange i dette projekt, andre længder anvendes også).

3 liter vand.

Der er 8-15 % ler i det samlede lerpudsprodukt.

Detaljeret arbejdsbeskrivelse ved fremstilling af lerpuds (lag 2 og 3).

En tromle anvendes til at ryste bakkegrus og lerpulver sammen, når det skal gå hurtigt. Blandingen kommes i tvangsblender, herefter tilsætter man halmsnitter og vand. Helst anvendes en stor tvangsblender, så det ikke er nødvendigt at tilsætte halmen hen ad vejen, men på én gang.

Blåmuslinger anvendt på TI og GEO:

Der testes på 3 forskellige emner.

Produktbeskrivelse:

1. Vaskede skaller, hele.
2. Skaller nedknusningsgrad 1 (nedknusning udført på fabrik).
3. Skaller nedknusningsgrad 2

Leverandør:

Fredsø, Nyk. Mors. Vognmandsforretning der aftager muslinger fra fabrik.