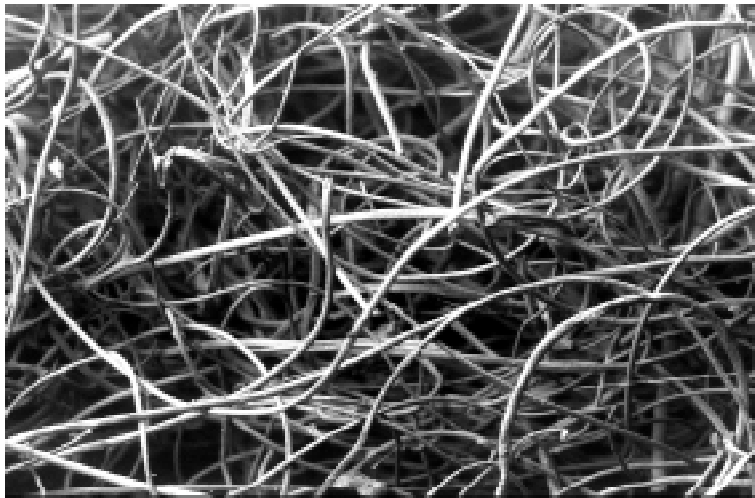


Produktionsprocesser og hygrotermiske egenskaber for isoleringsmaterialer - Leverandør/producentoplysninger

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer



ERNST JAN DE PLACE HANSEN

Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer
Danmarks Tekniske Universitet



Produktionsprocesser
og hygrotermiske egenskaber
for isoleringsmaterialer -
Leverandør/producentoplysninger

Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer

Ernst Jan de Place Hansen

December 1999

**Produktionsprocesser
og hygrottermiske egenskaber
for isoleringsmaterialer-
Leverandør/producentoplysninger
Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser
af alternative isoleringsmaterialer**

Kgs. Lyngby

ISBN 87-7740-262-6

ISSN 1396-2167

Electronic Publication

www.bkm.dtu.dk

PRODUKTIONSPROCESSER OG HYGROTERMISKE EGENSKABER FOR ISOLERINGSMATERIALER - LEVERANDØR/PRODUCENTOPLYSNINGER

Forord

Den foreliggende rapport er en del af rapporteringen for projektet "Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer" finansieret af Energistyrelsen (J.nr. 75664/98-0034). Projektet er udført i et samarbejde mellem Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer (BKM) og Institut for Bygninger og Energi (IBE), DTU. De øvrige rapporter omhandler

- Sorptionsisotermer (BKM)
- Vanddamppermeabilitet (kopforsøg) (BKM)
- Kapillarsugning (BKM)
- Fugtbuffervirkning (BKM)
- Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold (IBE)
- Egenkonvektion i fåreuld og papirisolering (IBE)
- Beregnede fugtforhold i konstruktioner (IBE)
- Hovedrapport (BKM & IBE)

Den foreliggende rapport omhandler produktionsprocesser samt varme- og fugttekniske egenskaber for isoleringsmaterialer. Oplysningerne er i overvejende grad baseret på datablade mv. fra leverandører/producenter, deraf titlen. Visse oplysninger bygger på uafhængige prøvningsresultater, videnskabelige artikler og rapporter. For at tydeliggøre denne skelnen mellem kilder er der så vidt muligt angivet referencer ved enhver oplysning i rapporten. Det skal understreges at rapporten *ikke* indeholder resultater, der er fremkommet i det nærværende projekt.

Teksten er udarbejdet af Ernst Jan de Place Hansen, mens fotografier af isoleringsmaterialer taget gennem scanningelektronmikroskop er udarbejdet af Tim Padfield og Ulrich Schnell, Nationalmuseet, Brede.

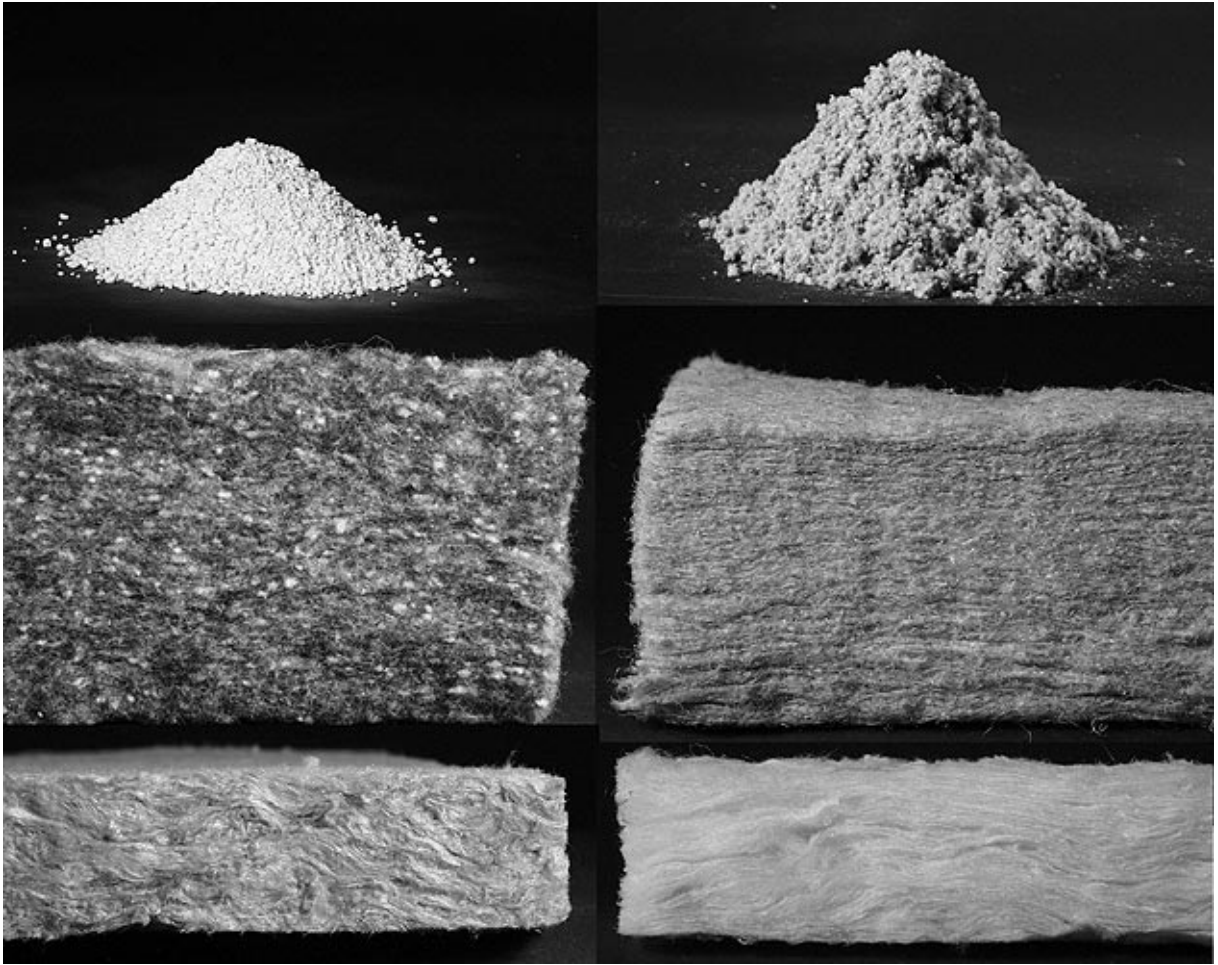
Lyngby, 6. december 1999
Ernst Jan de Place Hansen

Indholdsfortegnelse

Indledning	1
Perlite	2
Papirisolering (Ekofiber)	5
Papirisolering (Isodan, Miljø Isolering)	9
Fåreuld (Herawool fra HBC, fåreuld fra Scandan)	13
Hør (Heraflax fra HBC)	16
Stenuld (Rockwool)	18
Glasuld	20

Appendix

Tabel A	Varmeledningsevne, densitet og anvendte tilsætningsstoffer for de undersøgte isoleringsprodukter. Oversigt	2 sider
---------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------



Figur 1 Eksempler på de i projektet undersøgte produkter gengivet i sammenlignelige størrelsesforhold. Perlite 0560 SC - ekspanderet vulkansk aske, Ekofiber Vind - papirisolering, Herawool NF040 - fåreuld uden tekstile støttefibre, Heraflax SF040 - isoleringsprodukt fremstillet af hørfibre tilsat tekstile støttefibre, Rockwool A-batt og Glasuld 39 (nævnt rækkevis startende øverst tv.). Produkterne Ekofiber Vind, Herawool NF040 og Heraflax SF040 er alle tilsat brandhæmmende kemikalier. Produkterne Perlite 0560 SC, Rockwool A-batt og Glasuld 39 er alle silikonebehandlet for at gøre dem vandafvisende.

Indledning

I denne rapport gives en kort beskrivelse af fremstillingen af de isoleringsmaterialer der indgår i den aktuelle undersøgelse. Hvert produkt behandles for sig; undtaget er produkter af papirisolering (papiruld) fra Miljø Isolering og Isodan, der beskrives under ét, samt produkter af fåreuld, der ligeledes behandles under ét. Der er i alle tilfælde tale om produkter der forhandles i Danmark.

I gennemgangen af de enkelte materialer angives desuden generelle værdier for relevante varme- og fugttekniske egenskaber for samtlige de produkter som den enkelte leverandør kan levere, i det omfang de er tilgængelige.

Varmeledningsevne angives så vidt muligt dels som λ_{10} , varmeledningsevne bestemt under kontrollerede laboratorieforhold (se tabel A), dels som λ_p , varmeledningsevne under praktiske forhold. Af fugttekniske egenskaber kan nævnes materialets evne til at optage fugt kapillært eller fra luften (sorption) samt materialets permeabilitet overfor vanddamp eller dets damp-diffusionsmodstand. Endelig angives en typisk densitet af materialet under normale fugtforhold samt en maksimal anvendelsestemperatur eller lignende.

Oplysningerne i denne rapport er i overvejende grad baseret på leverandør/producent-oplysninger, deraf rapportens titel. Visse oplysninger bygger på videnskabelige artikler og rapporter, uafhængige prøvningsresultater mv., der var tilgængelige inden nærværende projekt blev færdigrapporteret. Hver eneste oplysning er derfor så vidt muligt suppleret med en reference. En litteraturliste findes for hver materialegruppe.

Til hvert afsnit hører billeder, der illustrerer strukturen af det pågældende materiale, dvs. fibergeometri og -orientering. Desuden kan støttestrukturer identificeres. Disse billeder er taget i scanningelektronmikroskop, hvorved en relativ stor dybdeskarphed og kontrast kan opnås. Alle billeder vises i samme forstørrelse, angivet ved en målestok nederst på billedet (500 μm = 0.5 mm).

Gennemgangen af de enkelte materialer suppleres med en tabel A, der indeholder en samlet oversigt over varmeledningsevne og densitet samt en oversigt over mængden af tilsætningsstoffer. Værdierne relaterer til de specifikt undersøgte produkter og er baseret på produktoversigten fra Varmeisoleringsskontrollen samt oplysninger fra de enkelte leverandører (datablade mv.). Tabellen indeholder ikke tal for de fugttekniske egenskaber, da det har ikke været muligt at finde tilstrækkeligt med sammenlignelige tal.

Perlite (Nordisk Perlite)

Fremstilling og anvendelse

Perlite er ikke alene et handelsnavn, men også navnet på en naturligt forekommende vulkansk sten. Ved opvarmning til 1100-1200°C ekspanderer stenen til 20 gange sit oprindelige volumen. Ekspansionen skyldes tilstedeværelsen af to til seks procent vand i den vulkanske sten. Ekspansionen foregår uden tilsætningsmidler. Det ekspanderede korn - et hvidt sterilt granulat - er sammensat af utallige tynde bobler adskilt af ganske tynde cellevægge. Perlite fremstilles bl.a. i USA og Europa, [2].

Perlite kan bl.a. anvendes som "loose-fill" isolering, i kompositelementer, fx [1], eller som tilslag i beton mv. Perlite leveres ubehandlet eller behandlet (SC) med 0.2% siliconeharpiks, der "brændes" fast på kornene så materialet bliver vandafvisende. Behandlingen med siliconeharpiks er ifølge producenten stabil overfor fugt og solstråler [9].

Som bygningsisolering benyttes behandlet Perlite både i vægge, gulve og lofter og er langt det mest anvendte. Det forhold, at behandlet Perlite i modsætning til ubehandlet Perlite er vandskyende, har i denne forbindelse større betydning for markedsandelen end prisforskellen mellem behandlet og ubehandlet Perlite har. Ubehandlet Perlite benyttes i Danmark kun som loftsisolering på ventileret loft [3].

Egenskaber

Materialet er uorganisk og kan derfor ikke rådne og danner ikke grobund for mikroorganismer. En høj anvendelsestemperatur er mulig pga. Perlite's mineralske oprindelse og de rene ubrændbare bestanddele. Behandlet Perlite har en stærk kapillarbrydende virkning og bevirker at fugtoverførsel fra ydervæg til (bærende) indervæg er stærkt begrænset, [4], [5]. Fugt- og varmetekniske egenskaber ændres ikke med tiden.

Varmeledningsevne ¹	λ_{10}	0.039 W/(m K) [6] ²
	λ_p	0.045 - 0.05 W/(m K) [6], [7]
Densitet (løs rumvægt), generelt		
Nordisk Perlite [6]	ρ	40-100 kg/m ³ 130 kg/m ³ ³⁾
perlite generelt [8]	ρ	32-400 kg/m ³

¹ Densitet (løs rumvægt) 40-100 kg/m³

² Prøvning i apr 1993 på DTI, Energiteknologi efter DIN 52612 (Bestemmelse af varmeledningsevne ved hjælp af pladeapparat).

³ Behandlet med bitumen eller coated; anvendes til svømmende gulve

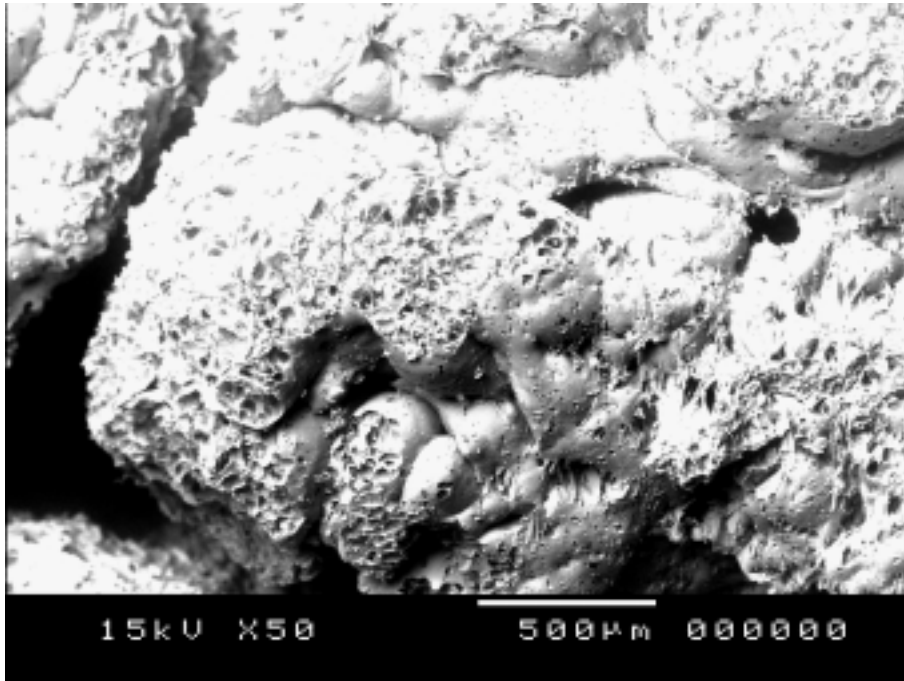
Densitet (løs rumvægt), specifikke produkter fra Nordisk Perlite [6] ⁴		
vandafvisende (0560 SC)	ρ	$85 \pm 20 \text{ kg/m}^3$
ubehandlet (0560)		$85 \pm 15 \text{ kg/m}^3$
Fugtoptagelse (kapillært) [4], [5]	u	0.1 vol% \approx 1.2 vægt%
Vanddampdiffusionsmodstandstal [9]	μ	3-4
Max. anvendelsestemperatur [6]	θ	perlite bliver blødt ved 1100°C

Litteratur

- [1] USIso/Perlite Composite Roof Insulation. Produkt fra U.S.Intec, Inc. Roofing Systems - Building Solutions, Port Arthur, TX, USA.
<http://www.usintec.com/tech/usperl.html>
- [2] World Minerals Inc.(leverandør af perlite produkter), California, U.S.A.
<http://www.worldminerals.com>
- [3] Personlig kommunikation med Niels S. Knudsen, Nordisk Perlite, februar 1999.
- [4] Irle & Schellbach (1968): *Prüfungsbericht*. No. MPa S 292/68. Inst. für Ziegelforschung, Essen. 7p. (undersøgelse af hulmur med Perlite som fyld i hulrummet; kapillarbrydende egenskaber af Perlite)
- [5] Gertis K., Künzel H. & Gösele K. (1968): *Wärme- und feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an einer mehrschichtigen Aussenwand mit Wärmedämmschicht aus losem Hyperlite*. Inst. für Technische Physik Stuttgart, Holzkirchen. 14p.
- [6] Datablad fra Nordisk Perlite.
- [7] Produktoversigt. Varmeisoleringskontrollen. Marts 1998 - april 1999 med tilføjelser pr. 6. december 1999.
- [8] Incon Corporation. Perlite Processing Systems, Pennsylvania, U.S.A.
<http://www.incon-corp.com>
- [9] Fiberfri Perlite - det brandsikre isoleringsmateriale. Brochure fra Nordisk Perlite.

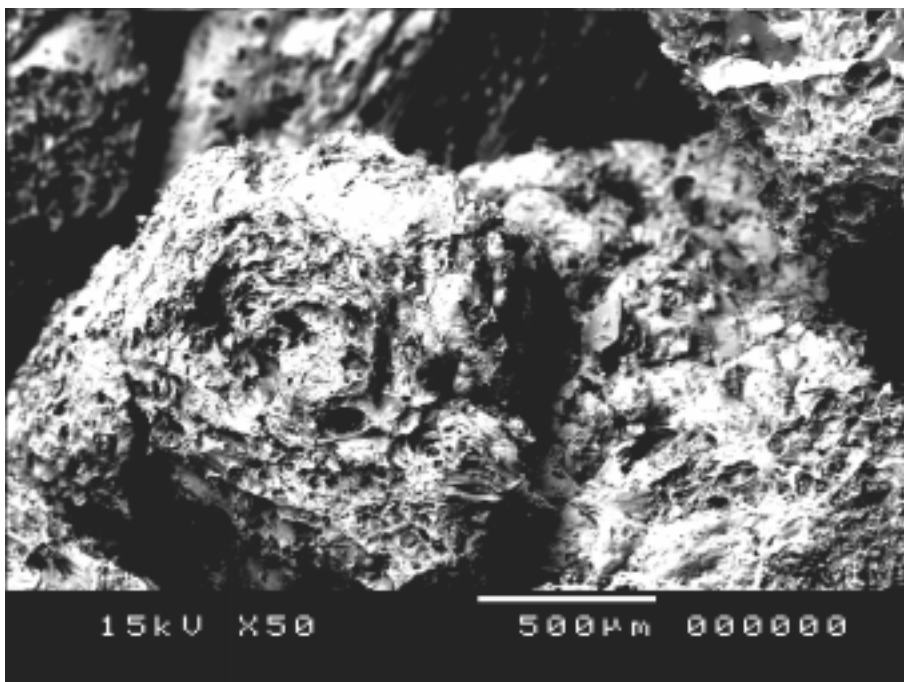
⁴ De nævnte produkter indgår i den aktuelle undersøgelse. 0560 angiver at mindste kornstørrelse er 0.5 mm, største er 6 mm. Af andre produkter kan nævnes 0515 og 0515 SC med en største kornstørrelse på 1.5 mm (ca. samme densitet).

PERLITE 0560 SC (coated)



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet (500 μm = 0.5 mm).

PERLITE 0560 (ubehandlet)



Papirisolering (Ekofiber)

Fremstilling ¹ [7]

Ekofiber papirisolering (celluloseisolering) fremstilles af genbrugsaviser (indsamlet avisepapir) samt overskudspapir og fejlproduktion ved fremstillingen af aviser. Råmaterialet tilsættes brand- og svampehæmmende kemikalier aht. anvendelsen som isoleringsmateriale.

På fabrikken modtages papiret i løs vægt. Dernæst defibreres materialet, en oparbejdningsmetode som Nordiska Ekofiber AB, Sverige, har udviklet. Metoden bevirker 1) en større fiber og et væsentligt mindre støvindhold, 2) at materialets hulhed så vidt muligt bevares. Der sker en sammentrykning af nogle af fibrene, men det nærmere omfang er ikke undersøgt pt. [1]. Brand- og svampehæmmende kemikalier (se nedenfor) tilsættes. Herefter fjernes stifter mv. fra papiret ved magnetsortering. Der foretages en støvopsamling og afslutningsvis foregår en balletering med 17.5 kg pr. balle med en densitet på 145 kg/m³.

Materialets homogenitet og dermed variationen i dets varme- og fugttekniske egenskaber er i høj grad afhængig af fiberstørrelse og fiberfacon [2].

Papirisolering indblæses tørt, og i henhold til det danske vejledningsmateriale for ydervæg- og tagkonstruktioner foreskrives altid en fast afgrænsning til en luftspalte i form af en gipsplade mellem isoleringen og klimaskærmen. Der er således ingen kontakt mellem isolering og formur.

Tilsætningsstoffer, densiteter og anvendelse

De mest anvendte kemikalier ² er boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ og borsyre H_3BO_3 . Borsaltene er tilsat pga. deres brandhæmmende egenskaber, men er i tilgift beskyttende mod råd og svamp, skadedyr og mus. Borminerallerne anvendt i Ekofiber udvindes i Tyrkiet. Mængden der tilsættes afhænger af produkttypen, tabel 1.

Borminerallerne brandhæmmende egenskaber skyldes bl.a. deres store vandindhold (boraks). Borminerallerne er ikke giftklassificerede i flg. Kemikalieinspektionen i Sverige, men en diskussion om dette pågår i Danmark.

Ud over mængden af tilsætningsstoffer indeholder tabel 1 oplysninger om densiteter og anvendelse. I Danmark anvendes Ekofiber Vind ³. De angivne densiteter er minimumdensiteter.

¹ Ekofiber bliver produceret efter en 50 år gammel amerikansk patenteret recept. Raffineringen og defibreringsprocessen er udviklet af Nordiske Ekofiber AB. Kilde: [5].

² Boraks har et smeltepunkt på 75°C, og vil have mistet halvdelen af vandet ved 100°C. Borsyre er generelt ikke-reaktivt under normale forhold, stabilt til 100°C [2]

³ Vind = tagrum (loftrum under tag)

Tabel 1 Produkttyper, tilsatte mængder borsalte, densiteter og anvendelse. Ekofiber [4], [5], [7].

Navn	Mængder tilsætningsstoffer [vægt%] ²	Densitet, Minimum [kg/m ³]	Anvendelse
Ekofiber Vind	18 % borsalte	{ 32	Loftsbjælkelag
Ekofiber Brand	25 % borsalte		
		{ 50	tage, krybekælderdek,
		{ 65	terrændæk, etageadskillelse
			skillevægge, ydervægge m.
			luftspalte, bærende etage-
			adskillelse
Ekofiber Væg ¹	5 % borsalte; begrænset brandbeskyttelse	52	lukket konstruktion
Ekofiber Kratuld	18 % borsalte	ca. 40	loftisolering

1. Ekofiber Væg tilsættes kun borsyre.

2. Mængden af tilsætningsstoffer regnes i vægt% af totalvægten.

{ } Såvel Ekofiber Vind som Ekofiber Brand benyttes med de tre angivne minimumdensiteter.

Egenskaber

Papirisolering er et organisk og hygroskopisk materiale. Konstruktionsopbygningen med Ekofiber isoleringen skal følge anvisningerne i [3].

I følge producentens egne oplysninger giver Ekofiber ingen sætninger af isoleringen ved densiteter på 50 kg/m³ for skråtage og vandrette lukkede konstruktioner og ved densiteter på 65 kg/m³ for vægge [5]. Ved densiteter på 32 kg/m³ vil der ske en sætning på ca. 13%; derfor udlægges 15-20% ekstra materiale.

Varme- og fugttekniske egenskaber

Resultater viser at varmeledningsevnen afhænger af densiteten i langt højere grad end for mineraluldsisolering (figur 5.8 i [2]) og at der findes en optimal densitet for papirisolering mht. varmeledningsevne. Densitetens betydning er dog forsvindende i området 40-70 kg/m³. Densiteten har større betydning for papirisoleringens varmeledningsevne end materialets fugtindhold har (fugtindhold op til 24 vægt%) [2].

Varmeledningsevne [4]	λ_{10}	0.036 W/(m K) ⁴
Densitet	ρ	se ovenfor, tabel 1

⁴ I følge prøvning på SP, Borås, jf. [4]. Densitet ikke oplyst.

Vandtørstofforhold [4], [5]
(sorption)

u_{\max}

23 vægt%

u_{\max} er det tilladte vandtørstofforhold (fuktkvot) for den typegodkendte lambdaværdi i Sverige [6]. I installeret konstruktion indeholder Ekofiber 6-14 vægt% fugt [4], [5].

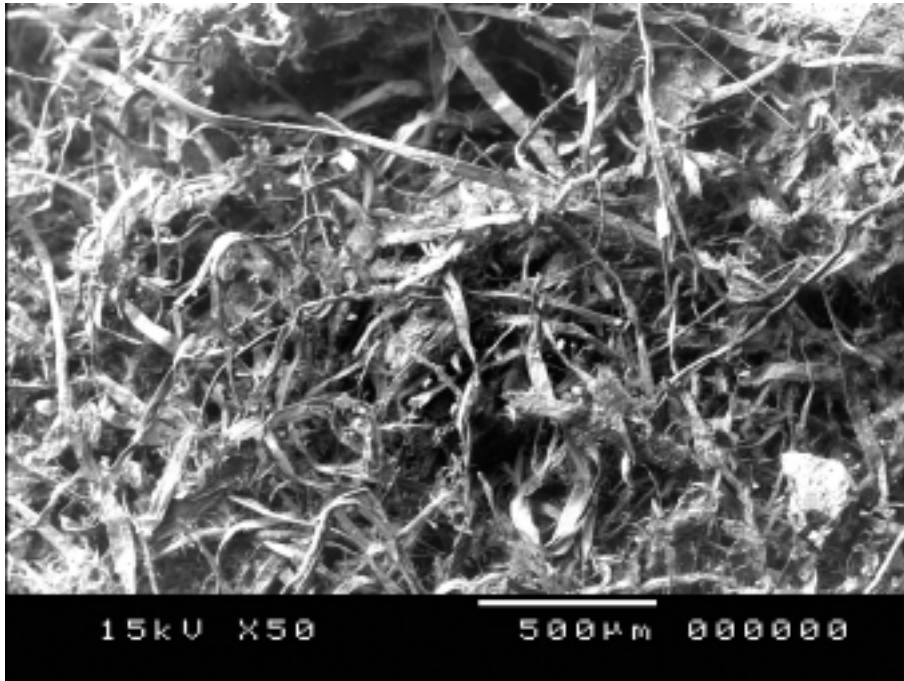
Sker opvarmning til højere temperaturer end 75°C vil boraks udskille vand, jf. dets smeltepunkt [2]⁵. En udtørring ved denne temperatur kan derfor påvirke målinger af sorptionsisotermen. Ifølge Tim Padfield [8] vil såvel temperaturen som relativ fugtighed (RF) have betydning for under hvilke forhold borsalte udskiller vand., men litteraturen er uklar på dette punkt, hvilket også er tilfældet hvad angår information om temperaturafhængigheden på saltens krystallisationspunkt,

Litteratur

- [1] Brev fra Kurt Stokbæk, KS-Byggeteknisk Service til Kurt Kielsgaard Hansen, BKM, DTU. Okt. 1998.
- [2] Heistad H. & Korneliussen T. (1995): *Cellulosefiber som isolasjonsmateriale*. Hovedopgave, våren 1995. Sivilingeniørutdannelsen, Integrert Bygnings-teknologi, Høgskolen i Narvik.
- [3] Bygningers fugtisolering. SBI-Anvisning 178. Statens Byggeforskningsinsitut, 1993.
- [4] Datablad Ekofiber isolering. Blad No. 1.06. Nordiska Ekofiber NEF AB. 1997-09-01.
- [5] Brochurer fra Ekofiber: Ekofiber-brochuren. www.ekofiber.se/dbrosh.html og Brand- og skyddsmedlet i Ekofiber. www.ekofiber.se/flam.html
- [6] SITAC AB. Certificeringsorgan for bygge- og VVS-branchen i Sverige. Karlskrona, Sverige. www.sitac.se
- [7] Skriftlig kommunikation med den danske importør, Borry Henriksen ApS, november 1998.
- [8] Skriftlig kommunikation med Tim Padfield, Nationalmuseet (tibl. BKM, DTU), december 1999.

⁵ I [2] refereres til Siddiqui, S.A. (1989): *A Handbook on Cellulose Insulation*. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. Se også note 2 på side 5.

EKOFIBER VIND



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet ($500\ \mu\text{m} = 0.5\ \text{mm}$).

Papirisolering (Miljø Isolering, Isodan)

Fremstilling¹ [1], [2], [4]

Papirisolering (celluloseisolering) fra Miljø Isolering og Isodan fremstilles af overskuds- og returpapir, især fra avisproduktion, men også pap, edb-lister, iturevne pengesedler mv. benyttes (Isodan). Papiret tilsættes brand- og svampehæmmende kemikalier.

På fabrikken modtages papiret i løs vægt eller i baller. Kun hvis fabrikken råder over automøller der kan hakke papiret i stykker, kan papir i baller anvendes. Papiret fortsætter derefter gennem en hammermølle hvor det mases helt fladt / rives i stykker. Samtidig tilsættes kemikalierne. Alle stifter mv. fjernes fra papiret ved hjælp af magnetsortering. Afslutningsvis fyldes papirisoleringen på sække.

En forhakning i automølle før finmaling i hammermølle giver en mere homogen masse af det færdige produkt. Pakkemethoden har også betydning for homogeniteten.

Papirisolering kan indblæses/udlægges tørt eller sprøjtes ind i / på en eksisterende konstruktion i fugtig tilstand (vand tilsættes). Papirisolering fra Miljø Isolering kaldes Papiruld i tør tilstand og Wetspray i fugtig tilstand. Ved indblæsning i vægkonstruktion er Miljø Isolering's produkter i direkte kontakt med formuren, dvs. der er i praksis kontakt med frit vand hele vejen op i væggen, pga. utætheder i studsfulger. En jævn fordeling af de tilsatte salte med isoleringsmaterialet sker først ved indblæsning.

Tilsætningsstoffer

Miljø Isolering's og Isodan's produkter indeholder 9 vægt% aluminiumhydroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$, 3 vægt% boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ og 3 vægt% borsyre² H_3BO_3 . Aluminiumhydroxid er noget billigere end borsalte. Borsalte beskytter mod mus, råd, svamp og skadedyr, mens såvel aluminiumhydroxid som borsalte har brandhæmmende egenskaber. Borminerallerne udvindes især i USA men også i Sydamerika og Frankrig.

Borminerallerne brandhæmmende egenskaber skyldes bl.a. deres store vandindhold (boraks). Mængden af tilsætningsstoffer regnes i vægt% af totalvægten. En diskussion om borminerallerne eventuelle giftklassificering pågår i Danmark .

Egenskaber

Papirisolering er et organisk og hygroskopisk materiale. Resultater viser at varmeledningsevnen afhænger af densiteten i langt højere grad end for mineraluldsisolering (figur 5.8 i [1]) og at der findes en optimal densitet for papirisolering mht. varmeledningsevne. Densitetens betydning er dog forsvindende i området 40-70 kg/m^3 . Densiteten har større

¹ Fremstillingsmåden blev patenteret i 1893, men en industriel produktion er først kommet i gang efter 1945, hovedsageligt i USA. I dag fremstilles papirisolering i USA, Canada, England, Frankrig, Tyskland, Danmark, Sverige, Norge, Finland, Tjekkiet og Polen. De europæiske lande kom med fra 1974 (energikrise). Kilde: Isodan [2].

² Boraks har et smeltepunkt på 75°C, og vil have mistet halvdelen af vandet ved 100°C. Borsyre er generelt ikke-reaktivt under normale forhold, stabilt til 100°C [1].

betydning for papirisolerings varmeledningsevne end materialets fugtindhold har (fugtindhold op til 24 vægt%) [1].

Sker opvarmning til højere temperaturer end 75°C vil boraks udskille vand, jf. dets smeltepunkt [1]³. En udtørring ved denne temperatur kan derfor påvirke målinger af sorptionsisotermer. Se også bemærkninger i det tilsvarende afsnit side 7 i rapporten.

Miljø Isolering

Varmeledningsevne	λ_{10}	0.036 W/(m K) [4] ⁴
	λ_p	0.05 W/(m K) (0.055 W/(m K), hvis løst udblæst på loft) [5]

Anbefalet densitet [4]	ρ	28-31 kg/m ³ (løst på loft) ⁵ 35-37 kg/m ³ (etageadskillelser og skrålofter) 40-42 kg/m ³ (hulmur, let ydervæg)
------------------------	--------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Isodan

Varmeledningsevne	λ_{10}	0.038 W/(m K) [2] ⁶
	λ_p	0.05 W/(m K) (0.055 W/(m K), hvis løst udblæst på loft) [5]

Anbefalet densitet [3]	ρ	55-70 kg/m ³ (væg) 45-55 kg/m ³ (tag) 35-45 kg/m ³ (loft)
------------------------	--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

Litteratur

- [1] Heistad H. & Korneliussen T. (1995): *Cellulosefibre som isolasjonsmateriale*. Hovedopgave, våren 1995. Sivilingeniørutdannelsen, Integrert Bygningsteknologi, Høgskolen i Narvik.
- [2] Brochuremateriale fra Isodan: "Isodan - Isolering af genbrugspapir" m.m. samt www.isodan.com/dk/brochure.html. Isodan Danmark ApS, Humble.
- [3] noteret på emballagen (Isodan)
- [4] Brochuren "Papiruld fra Miljø Isolering. Det naturlige valg" Miljø Isolering ApS, Hillerød.
- [5] Produktoversigt. Varmeisoleringskontrollen. Marts 1998 - april 1999 med tilføjelser pr. 6. december 1999.

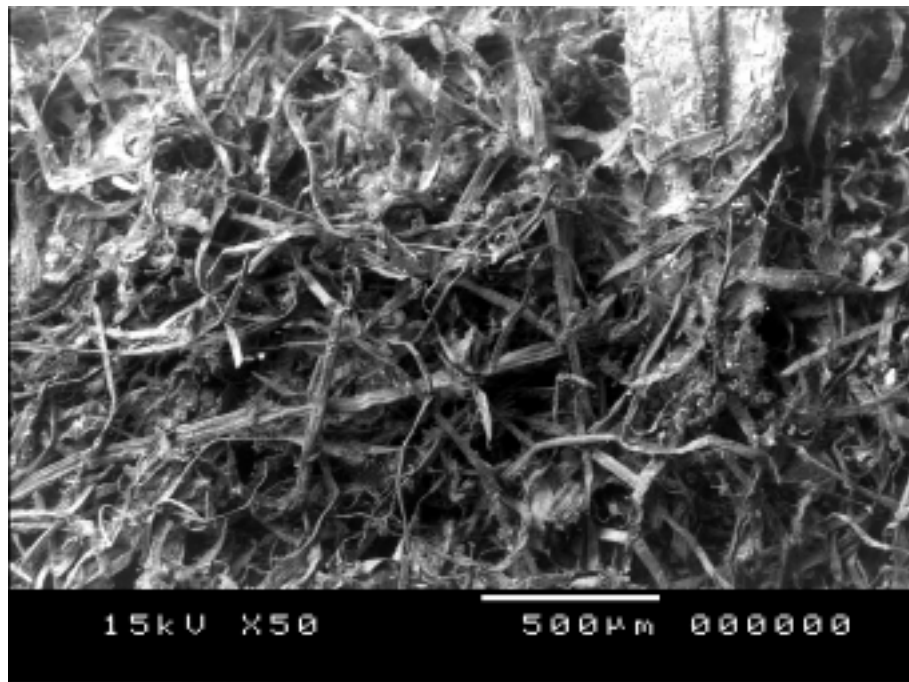
³ I [1] refereres til Siddiqui, S.A. (1989): *A Handbook on Cellulose Insulation*. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

⁴ do., juni 1996.

⁵ Det er vanskeligt at opnå en densitet under 35 kg/m³ ved håndkraft. Det kræver specielt "løsrystningsudstyr".

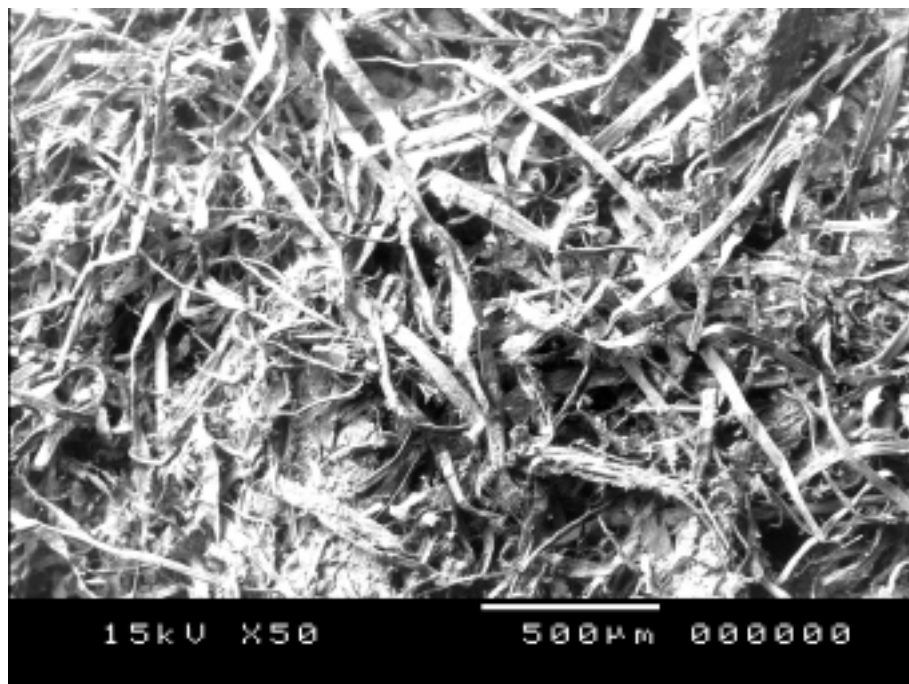
⁶ Prøvning i september 1996 på DTI-Energi, λ -laboratoriet efter DIN 52612 (Bestemmelse af varmeledningsevne ved hjælp af pladeapparat).

MILJØ ISOLERING MED SALTE

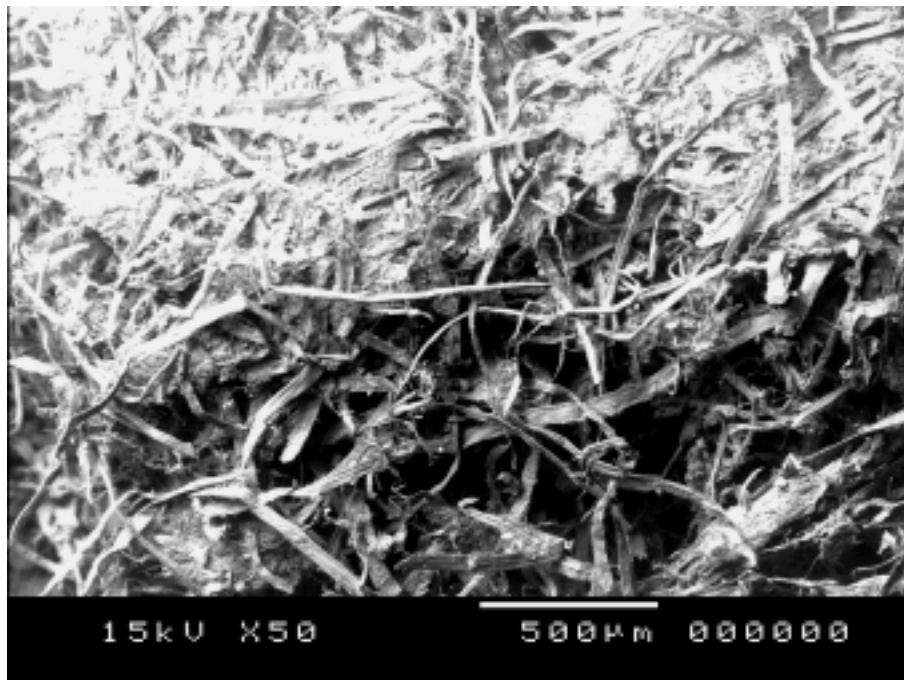


Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet (500 μm = 0.5 mm).

MILJØ ISOLERING UDEN SALTE

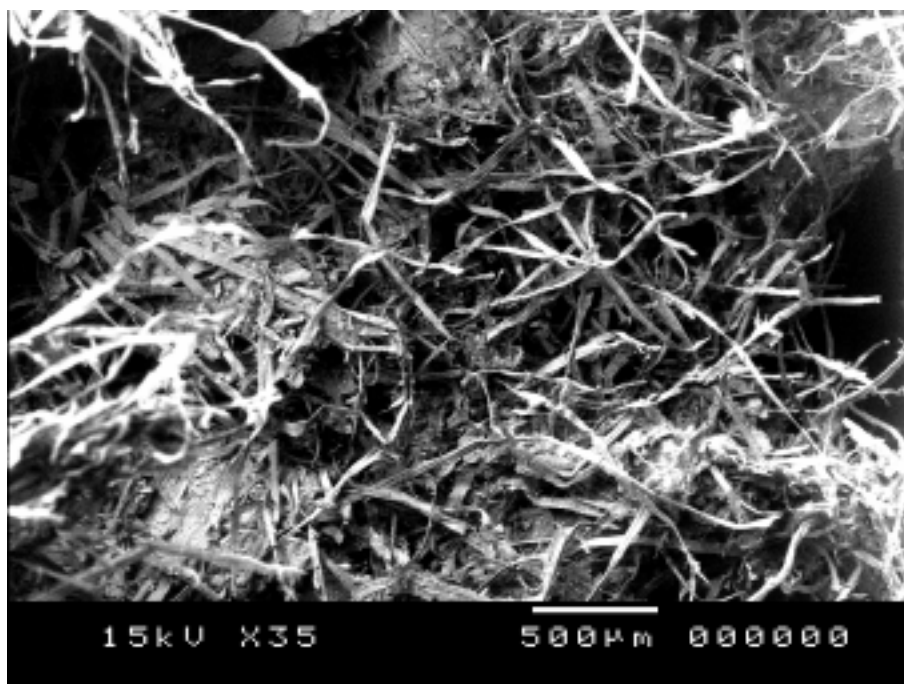


ISODAN MED SALTE



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet (500 μm = 0.5 mm).

ISODAN UDEN SALTE



Fåreuld (Herawool fra HBC, fåreuld fra Scandan)

Fremstilling og tilsætningsstoffer [1]

Vasket uld leveres i sammenpressede baller. Ved modtagelsen åbnes ballerne og de forskellige uldtyper blandes for at opnå en ensartet struktur. Ulden "opløses" i enkeltfibre med en diameter på ca. 30 μm og en længde på flere centimeter. Efter imprægnering (se nedenfor) tilsættes tekstile støttefibre aht. formstabilitet¹. Ved opvarmning smeltes støttefibrene og vil klæbe til fåreulden i skæringspunkterne mellem støttefibre og fåreuld. Materialet skæres til i passende længder og pakkes.

Herawool fremstilles i Tyskland (Heraklith GmbH) af fåreuld med/uden tekstile støttefibre og leveres som plade- eller rullevare². Tekstile støttefibre af polyester (14%) benyttes kun i produkter med en tykkelse på 120 mm eller mere, for at sikre formstabilitet. I tyndere produkter er det tilstrækkeligt med en mekanisk befæstigelse af fibrene: Gennem en speciel nåleproces opnås stor rivestyrke uden syning. Plader benyttes i lodrette konstruktioner, ruller i vandrette.

Herawool behandles med 2-4 vægt% borsalte aht. brandmodstand og ca. 1 vægt% urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ for at modvirke angreb af møl mv. Hvad angår brand har fåreuld i sig selv selvslukkende evner, men en højere brandsikkerhed opnås ved behandling med borsalt.

Fåreuld fra Scandan fremstilles ligeledes i Tyskland, og fås som isoleringsprodukt primært i ruller med tykkelse op til 100 mm [4]. Ulden kan behandles med urea så den er beskyttet mod insekter mv.

Egenskaber

Fåreuld kan i følge HBC benyttes til at regulere indeklimaet mht. fugtighed. Nye målinger tyder dog på at effekten er begrænset pga. fåreulds lave densitet. Fåreuld indvirker primært på fugtforholdene i væggen [2].

Varmeledningsevne	λ_{10}	
Herawool [3]		0.040 W/(m K) ³
Scandan [4]		0.037 W/(m K)
Densitet, Herawool [3]	ρ	25 kg/m ³ (NF, BP) ² 35 kg/m ³ (NAP) ²

¹ Ved produkttykkelser på 120 mm eller mere

² Med støttefibre er produktnavnet BP 040 (plade), 120-220 mm tyk, uden støttefibre hedder produkterne NAP (plade), 20-40 mm tyk, og NF 040 (rulle), 30-100 mm tyk.

³ DIN 4108, aug. 1981. Wärmeschutz im Hochbau.

Fugtoptagelse, Herawool [3] (sorption)	u	18 vægt% ved 80% RF ⁴ 30-35 vægt% ved 100% RF
Vanddampdiffusionsmodstandstal Herawool [3]	μ	1/2 ⁵
Temperaturbestandighed [3] Herawool		≥ 100°C
Selvantændelsestemperatur [1], [3] Herawool		560 - 590°C

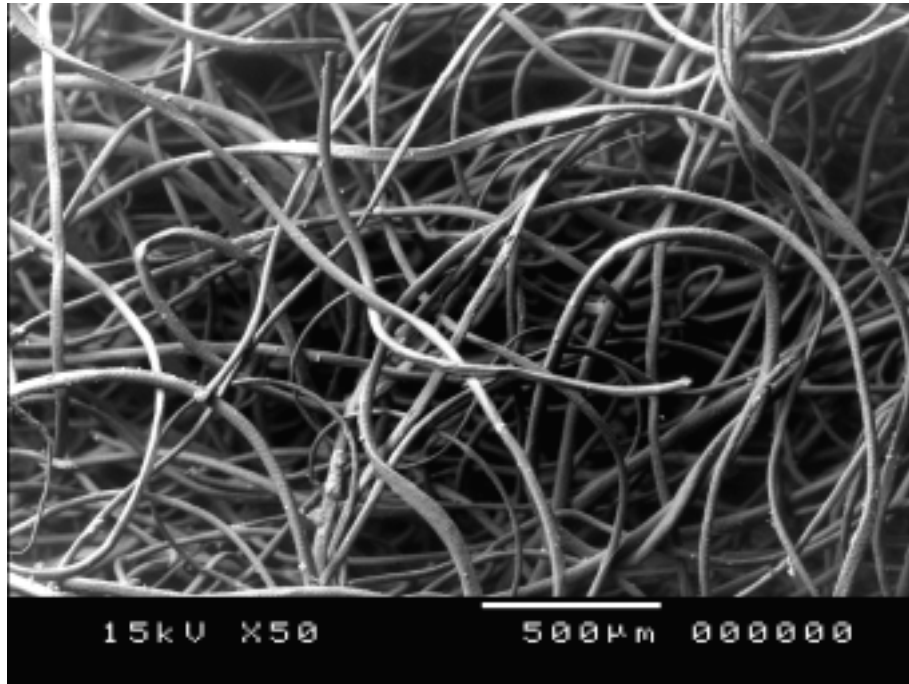
Litteratur

- [1] Herawool. Schafwolle - Dämmstoffe. Brochure fra Deutsche Heraklith GmbH.
- [2] Padfield T. (1999): *The role of absorbent buffering materials in moderating changes of relative humidity*. Ph.D.thesis. Series R No. 54. Dep. of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark.
- [3] Datablad fra Deutsche Heraklith GmbH.
- [4] Datablad "NAWA von Jaclaar", Scandan, K^e Flinterup, Sorø.

⁴ DIN 52620, apr. 1991. Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Bezugs feuchtegehalts von Baustoffen. Ausgleichsfeuchtegehalt bei 23°C und 80% relative Luftfeuchte.

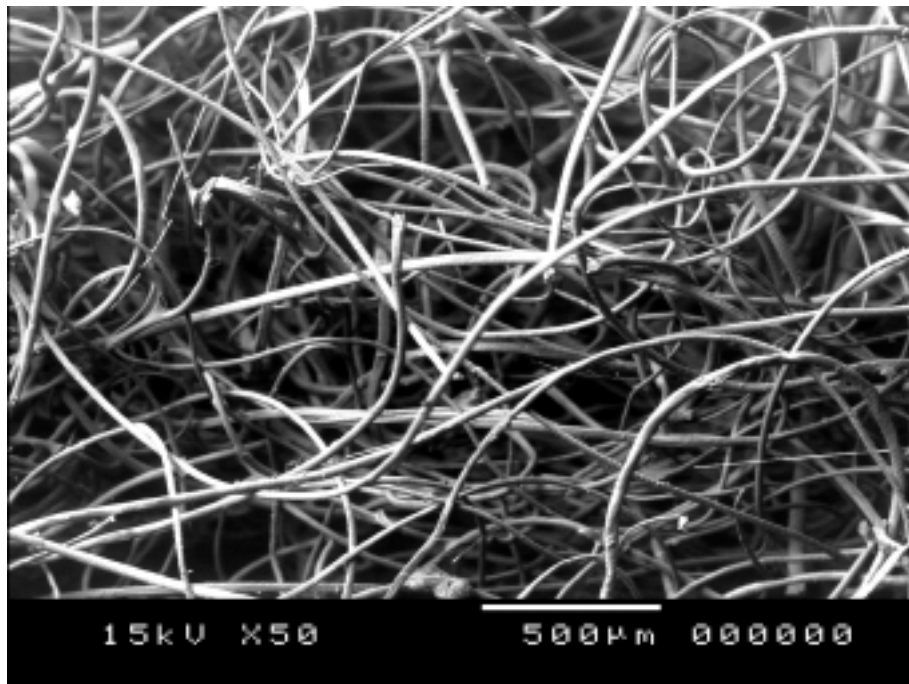
⁵ DIN 52615, nov 1987. Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen.

HERAWOOL UDEN STØTTEFIBRE (NF 040)



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet ($500\ \mu\text{m} = 0.5\ \text{mm}$).

HERAWOOL MED STØTTEFIBRE (BP 040)



Hør (Heraflax fra HBC)

Fremstilling og tilsætningsstoffer [1], [2]

Hørplanten bliver rusket fri af jorden med hele sin rod, så fibrene beholder deres fulde længde. Frøene bliver slået af (knevling) og planten gennemgår forrådnelse indtil barklaget har løsnet sig fra fibrene (rødning) og kitsubstansen er nedbrudt. Efter tørring fjernes de træagtige bestanddele ved brydning af stænglerne på tværs af længderetningen (skætning). Af de lange fibre (30-70 cm) fås lærred mens de korte fibre (typisk 4-8 cm) er velegnet til at blive videreforarbejdet til isoleringsmateriale. Hørplanten er en fornybar ressource og kan genanvendes 100%. Ved nye, tilpassede metoder forsøges det at benytte mejetærskning og at lade den ressourcekrævende skætning udgå.

Heraflax fremstilles i Tyskland på basis af hørfibre og tekstile støttefibre af polyester, da hørfibre i sig selv har en meget lille elasticitet; typisk benyttes 18% vægt% støttefibre af polyester. Heraflax leveres som rulle- eller pladevare (SF, SP, SAP).¹

Heraflax tilsættes 8 vægt% ammoniumfosfat/sulfat for at give brand- og skimmel-svampmodstand.

Oplagring skal ske stående under tag eller overdækket på et absolut tørt underlag.

Landbrugets Rådgivningscenter er så småt i gang med at sende et produkt på markedet i Danmark [3].

Egenskaber

Varmeledningsevne [1]	λ_{10}	0.040 W / (m K) ²
Densitet [1]	ρ	30 kg/m ³ (SF, SP) 35 kg/m ³ (SAP)
Fugtoptagelse [1] (sorption)	u	15 vægt% ved 80% RF ³ 20 vægt% ved 100% RF
Vanddampdiffusionsmodstandstal [1]	μ	1 ⁴

¹ SF 040 (rulle) er 30-100 mm tyk, SP 040 (plade) er 120-160 mm tyk. SAP (plade) er 20-40 mm tyk og benyttes kun til akustisk regulering.

² DIN 4108, aug. 1981. Wärmeschütz im Hochbau.

³ DIN 52620, apr 1991. Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen. Ausgleichsfeuchtegehalt bei 23°C und 80% relative Luftfeuchte.

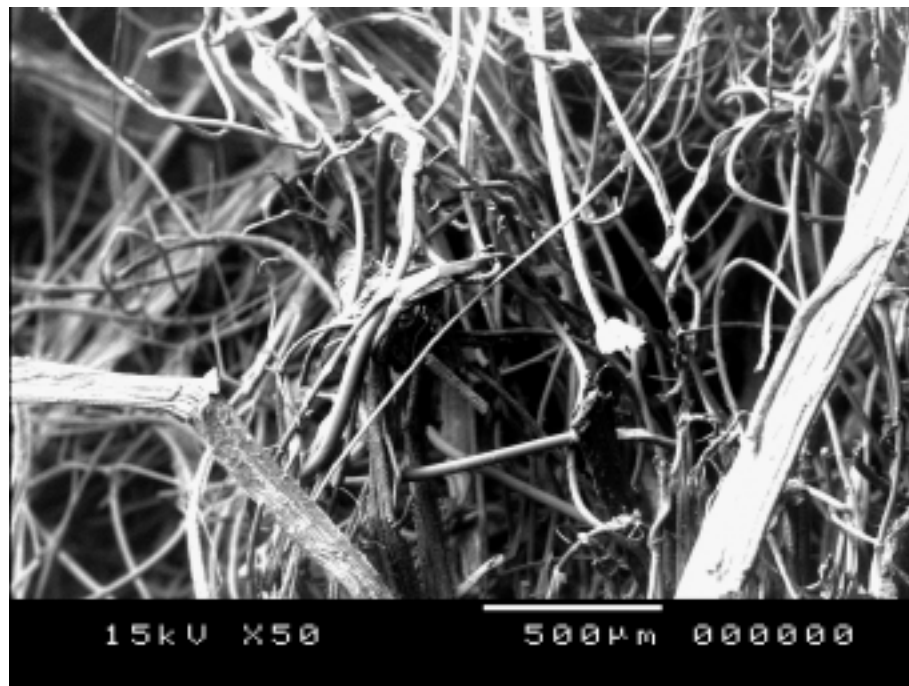
⁴ DIN 52615, nov 1987. Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen.

Temperaturbestandighed [1]	$\geq 100^{\circ}\text{C}$
Selvantændelsestemperatur [1]	400°C

Litteratur

- [1] Datablad fra Deutsche Heraklith GmbH.
- [2] Den Store Danske Encyclopædi. Bind 9. Danmarks Nationalleksikon A/S, Gyldendal, 1997.
- [3] Mundtlig kommunikation, Kurt Stokbæk, KS-Byggeteknisk Service. Okt. 1998.

HERAFLAX SF 040



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst i billedet ($500\ \mu\text{m} = 0.5\ \text{mm}$).

Stenuld (Rockwool)

Fremstilling og tilsætningsstoffer [3], [4]

De væsentligste råvarer der anvendes til fremstillingen af stenuld er natursten (diabas, basalt m.m.), ler, stenuldsaffald, affald fra anden industri og cement. Råvaren smeltes ved ca. 1500°C og spindes til fibre med en diameter på ca. 3-5 μm . Stenuldsfibre har typisk en længde på 2.5-5 mm. Fibrene bindes sammen af Bakelit. Stenulden opvarmes i en hærdeovn, hvor bindemidlet størkner så stenulden bliver formfast. Den isolerende effekt i mineraluld sker ved at luften bliver stillestående mellem fibrene og ved at fibrene reflekterer/absorberer varmestrålingen.

I stenuldsprodukter til byggeindustrien er fibrene imprægneret med imprægneringsolie (mindre end 0.5 vægt%), hvilket betyder, at produkterne ikke kan optage vand.

Egenskaber

Varmeledningsevne [1] ¹	λ_p	0.036 - 0.042 W/(m K)
------------------------------------	-------------	-----------------------

23°C, 90% RF påvirker ikke varmeledningsevnen. Varmeledningsevnen fordobles ved et fugtindhold på 10 vol% [2].

Densitet ² [5]	ρ	30-45 kg/m ³
---------------------------	--------	-------------------------

Kapillar sugehøjde [4], [5]	h	0 m
-----------------------------	---	-----

Vandoptagelse [4] ³	u	< 1 vol%
--------------------------------	---	----------

Sorption [4], [5]	u	0.004 vol% (\approx 0.1 vægt%) efter 30 dage ved 90% RF Stor sorptionshysterese
-------------------	---	------------------------------------------------------------------------------------------

Vanddamppermeabilitetskoefficient (diffusionstal) [6]	δ	$140 \cdot 10^{-12}$ kg/(Pa m s)
-------------------------------------------------------	----------	----------------------------------

Vanddampdiffusionsmodstandstal [5]	μ	1(-2)
------------------------------------	-------	-------

Stenuld tåler opvarmning til 1000° C uden at smelte [4]

¹ Specielle produkter op til 0.05 W/(m K) [1].

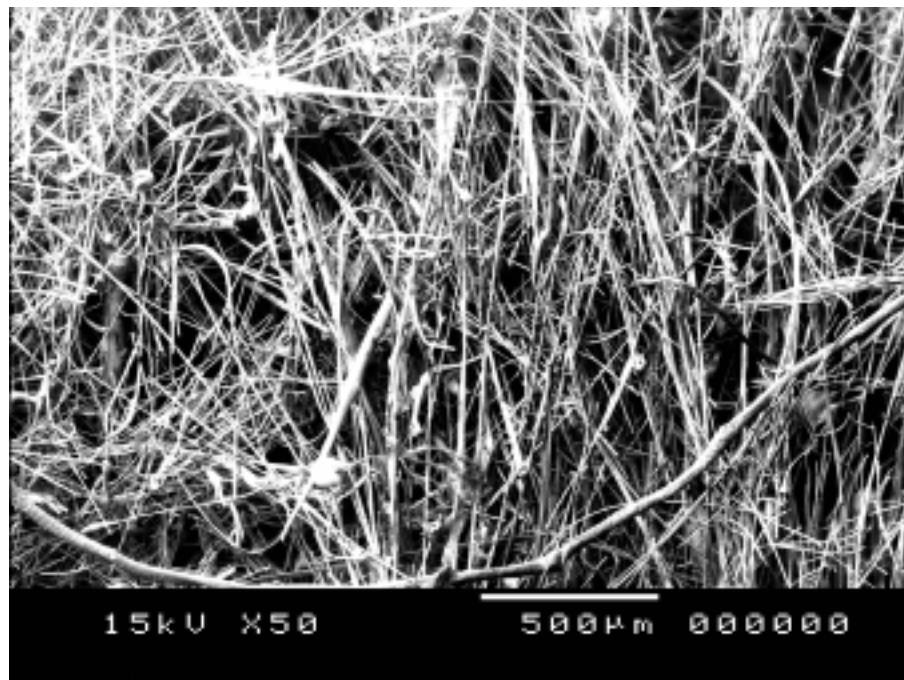
² Afhængig af produktes anvendelse fås stenuld i densiteter fra ca. 27 kg/m³ op til ca. 1000 kg/m³.

³ BS 2972:75: Methods of test for inorganic thermal insulation materials (revideret 1989).

Litteratur

- [1] Produktoversigt. Varmeisoleringskontrollen. Marts 1998 - april 1999 med tilføjelser pr. 6. december 1999.
- [2] Sandberg, P.I. (1987): *Thermal resistance of a wet mineral fiber insulation*. Thermal Insulation: Materials and Systems, ASTM STP 922. ASTM, Philadelphia, pp.394-404.
- [3] Rockwool International A/S. Miljøberetning for 1997. August 1998.
- [4] Den lille lune - for byggefagfolk. 9. udgave, 1998. Rockwool, Hedehusene
- [5] Personlig kommunikation, Erik Rasmussen, Rockwool. Juli og nov. 1998.
- [6] Hanebånd- og bjælkespær. Produktkatalog, Rockwool. Nov. 1996.

ROCKWOOL A-BATT



Målestok er angivet ved en hvid bjælke nederst i billedet (500 μm = 0.5 mm).

Glasuld

Fremstilling og tilsætningsstoffer [3], [4]

Glasuld fremstilles af en mengeblanding bestående af kalk, sand og soda samt ca. 45 % knust genbrugsglas, der smeltes til flydende glas.

Den smeltede glasmasse fibreres herefter ved ca. 950 °C til en stor filtmasse bestående af meget lange glastråde med en gennemsnitlig diameter på 3-4 µm. Denne glasuldfilt tilføres typisk 5-6 vægt-% bindemiddel og ca. 1 vægt-% støvdæmpende og vandskyende olier, hvorefter den samles op på et system af transportbånd. Den nu våde filt føres gennem en hærdeovn, hvor glasulden får sin plane form og velkendte gule udseende med trådene eller filten orienteret i planet.

Glasuld-produkter fremstilles til mange forskellige anvendelser; densiteterne kan således variere mellem ca. 13 og 150 kg/m³. Til visse anvendelser forbedres de fugtafvisende egenskaber ved tilsætning af silicone.

Egenskaber

Varmeledningsevne [1] ¹	λ_p	0.036 - 0.042 W/(m K)
Densitet [2]	ρ	13-150 kg/m ³
Kapillarsugning [2]		Ingen
Fugtoptagelse [2]		Ingen ved luftfugtighed under 95% RF
Vanddampdiffusionsmodstand [2]	Z	< 1 (GPa s m ²)/kg (pr 100 mm) ²
Max. anvendelsestemperatur [2]		250° C

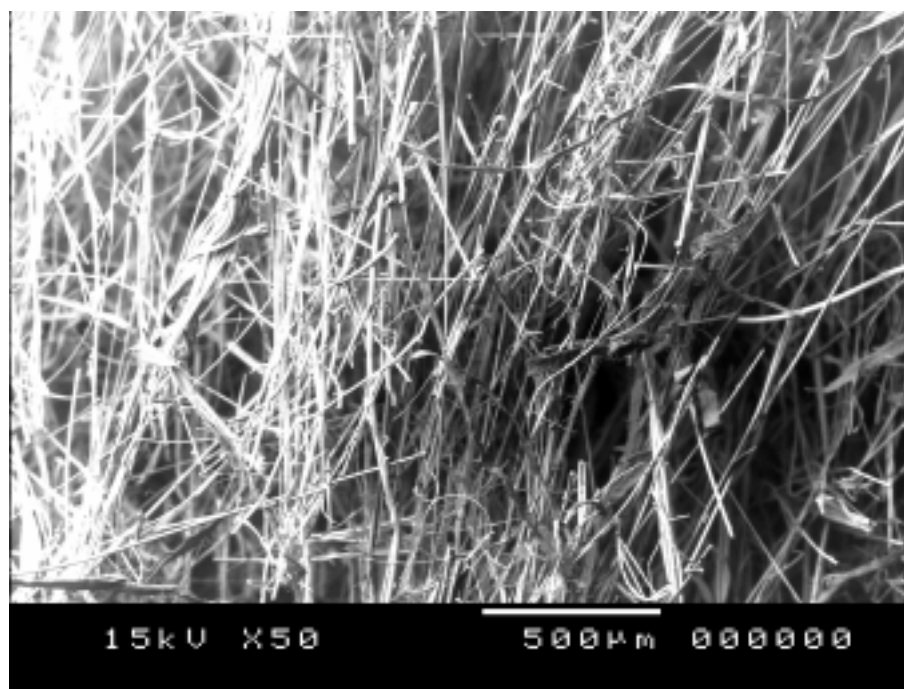
¹ Specielle produkter op til 0.05 W/(m K).

² svarer til en vanddamppermeabilitetskoefficient (diffusionstal) på 0.1 kg/(m s GPa) = 100 10⁻¹² kg/(Pa m s).

Litteratur

- [1] Produktoversigt. Varmeisoleringskontrollen. Marts 1998 - april 1999 med tilføjelser pr. 6. december 1999.
- [2] Produktkatalog fra Glasuld a/s, november 1996 (ringbind med løsblade i 10 afsnit).
- [3] Glasuld a/s Miljøbrochure, marts 1998.
- [4] Personlig kommunikation, Michael Petersen, Glasuld. December 1998.

GLASULD 39



Målestok er angivet med en hvid bjælke nederst på billedet (500 μm = 0.5 mm).

Table A Hygrottermiske egenskaber for de undersøgte isoleringsprodukter. Leverandørplysninger, oversigt.

	λ_{10} [W/(m K)]	λ_p [W/(m K)]	ρ [kg/m ³]	Typer og mængder af tilsætningsstoffer [vægt%]
Uorganiske materialer				
Rockwool				
Flexi A-batt		0.039	30 - 32	0.5 % siliconeolie ⁴⁾
Glasuld				
Glasuld 39, rulle		0.039	16	1 % siliconeolie ⁴⁾
Perlite (0.5 - 6 mm) vandafvisende (0560 SC) ¹⁾ ubehandlet (0560) ²⁾	0.039	0.045 - 0.05	85 ± 20 85 ± 15	0.2 % siliconeharpiks ⁴⁾
Organiske materialer				
Ekofiber - papirisolering	0.036			
Vind (loft)			32-65	9% boraks og 9% borsyre ⁵⁾
Væg			52	5% borsalte
Miljøisolering - papirisolering	0.036	0.05 - 0.055		3% boraks, 3% borsyre og 9% aluminium- hydroxid ⁶⁾
			28-31 (loft)	
			35-37 (etageadskillelser, skrålofter)	
			40-42 (hulmur, let ydermur)	
Isodan - papirisolering ³⁾	0.038	0.05 - 0.055		3% boraks, 3% borsyre og 9% aluminium- hydroxid ⁶⁾
			35-45 (loft)	
			45-55 (tag)	
			55-70 (væg)	
Herافلax - hør (SF 040)	0.040		30	8% ammoniumfosfat/sulfat ^{7), 8)}
Herawool - fåreuld	0.040		25	
uden støttestof (NF 040)				2-4 % borsalte og 1% urea ⁹⁾
med støttestof (BP 040)				2-4 % borsalte og 1% urea ^{9), 10)}
Scandan	0.037		ikke oplyst	ikke oplyst

Noter, tabel A:

- λ_{10} Basisvarmeledningsevne bestemt på konditionerede prøveemner under stationære forhold i et pladeapparat med beskyttelsesring fx efter DIN 52612 eller med varmestrømsmåler efter DS 1120. Materialet er forinden bragt i fugtlige vægt i luft med relativ fugtighed på 35-50% [1]. Resultatet henføres til en middeltemperatur på 10°C.
- λ_p Praktisk varmeledningsevne. Der er taget hensyn til at materialet anbragt i konstruktioner i gennemsnit har et højere fugtindhold end under laboratoriemålingen (λ_{10}) samt en række andre forskellige mellem laboratorieforhold og praktiske forhold [1]
- ρ Anbefalet minimumdensitet under brug / nominal leveret densitet (mineraluld).
- 1) Anvendes til væg- og gulvisolering, hulmursisolering mv.
 - 2) Anvendes til loftsisolering mv.
 - 3) Produktet undersøges såvel med som uden tilsætningsstoffer (salte)
 - 4) Siliconeolie/siliconeharpiks gør det imprægnerede produkt vandafvisende
 - 5) Boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, borsyre H_3BO_3 , a. brandhæmmende, b. beskytter mod mus, råd, svamp og skadedyr
 - 6) Aluminiumhydroxid $\text{Al}(\text{OH})_3$; brandhæmmende
 - 7) Ammoniumfosfat/sulfat giver modstand mod brand og skimmelsvampe. Begge dele er set anvendt, men ammoniumsulfat er ved at være det mest almindelige tilsætningsstof. Ammoniumsulfat: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ammoniumfosfat: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ eller $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
 - 8) Indeholder desuden 18% polyesterfibre (støttefibre) og dermed 74% hørfibre
 - 9) Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; modvirker angreb af møl mv.
 - 10) Indeholder desuden 14% polyesterfibre (støttefibre) og dermed ca. 82% fåreuld

Litteratur

- [1] DS 418. Beregning af bygnings varmetab. 5. udgave, dec. 1986. Teknisk Forlag, København.

INSTITUT FOR BÆRENDE KONSTRUKTIONER OG MATERIALER
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

Department of Structural Engineering and Materials
Technical University of Denmark, DK – 2800 Lyngby

SERIE R

(Tidligere: Rapporter)

- R 35. ANDERS BOE HAUGGAARD – NIELSEN: Mathematical Modelling and Experimental Analysis of Early Age Concrete. 1997.
- R 36. JUN YING LIU: Plastic Theory Applied to Shear Walls – Load – Carrying Capacity of Shear Walls. 1997.
- R 37. WILLIAM E. WARREN OG ESBEN BYSKOV: Micropolar and Nonlocal effects in Spatially Periodic, Two – Dimensional Structures. 1997.
- R 38. NIELSEN, LAUGE FUGLSANG: Modified Dugdale Crack Models. 1998.
- R 39. POULSEN, JOHANNES SAND: Compression in Clear Wood. 1998.
- R 40. COLLETTE, FRÉDÉRIC S.: A Combined Tuned Absorber and Impact Damper. 1998
- R 41. ZHANG, JUN.: Fatigue Fracture of Fibre Reinforced Concrete-An Experimental and Theoretical Study.
- R 42. OLSEN, DAVID HOLKMANN: Concrete Fracture and Crack Growth A Fracture Mechanocs Approach 1998
- R 43. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Determination of te Fracture Energy of Concrete- Comparison of te TPBT and theWST Method 1998
- R 44. NIELSEN, LAUGE FUGLSANG: Modified Dugdale cracks and Fictitious cracks
- R 45. CHRISTIANSEN, MORTEN BO: Crack Tip Stress Field Modelling. 1998
- R 46. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Clinker mineral hydration at reduced relative humidities
- R 47. JENSEN, MEJLHEDE OLE: Influence of temperature on autogenous deformation and RH-change in hardening cement paste
- R 48. HANSEN, ERNST JAN DE PLACE: Holdbarhed af fiberarmeret beton og revnet beton. 1998.
- R 49. LANGE-HANSEN, P.: Comparative Study of Upper Bound Methods for the Calculation of Residual Deformations after Shakedown. 1998.
- R 50. KELLEZI, LINDITA: Dynamic Soil-Structure-Interaction. Transmitting Boundary for Transient Analysis. 1998.
- R 51. MEJLHEDE JENSEN, OLE: Chloride ingress in cement paste and mortar measured by Electronic Probe Micro Analysis. 1999
- R 52. KLENZ LARSEN, POUL: Desalination of painted brick vaults. 1999
- R 53. GERMAN HAGSTEN, LARS. GUDMAN-HØYER, TIM. ZENKE HANSEN, LARS OG NIELSEN, M.P: Eksperimentel bestemmelse af teglbjælkens bæreevne. 1999
- R 54. PADFIELD, TIM: The Role of Absorbent Building Materials in moderating changes of Relative Humidity. 1999
- R 55. TEOH, B.K., HOANG, L.C. OG NIELSEN, M.P.: Shear Strength of Concrete I-Beams- Contributions of Flanges. 1999
- R 56. WEIQING, LIU. NIELSEN, M.P. DAJUN,DING: Experimental Study on the Shear Transfer Across Cracks in Reinforced Concrete. 1999