



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer**

*Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt*

Rasmussen, Torben Valdbjørn; Hansen, Klavs Feilberg

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Rasmussen, T. V., & Hansen, K. F. (2004). *Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer: Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt*. SBI forlag. By og Byg Resultater Nr. 036

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

By og Byg Resultater 036

# Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer

Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt



**BY og BYG**  
Statens Byggeforskningsinstitut  
Danish Building and Urban Research



# Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer

Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt

Torben Valdbjørn Rasmussen  
Klavs Feilberg Hansen

Titel	Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer
Undertitel	Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt
Serietitel	By og Byg Resultater 036
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2004
Forfatter	Torben Valdbjørn Rasmussen, Klavs Feilberg Hansen
Sprog	Dansk
Sidetæl	70
Litteratur- henvisninger	side 65-68
English summary	side 69-70
Emneord	Alternative isoleringsmaterialer, løsfyldsisolering, byggeteknik, byggeprocessen, arbejdsmiljø, demonstrationsbyggeri, cellulose, glasuld, hør, stenudd, træfiber, perlit
ISBN	87-563-1202-4
ISSN	1600-8049
Pris	Kr. 160,00 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Solveig Johansen
Tegninger	Ove Nesdam
Fotos	Jan Carl Westphall
Tryk	BookPartner Media A/S
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post <a href="mailto:by-og-byg@by-og-byg.dk">by-og-byg@by-og-byg.dk</a> <a href="http://www.by-og-byg.dk">www.by-og-byg.dk</a>

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Resultater 036: Praktiske erfaringer med alternative isoleringsmaterialer. Borup Seniorby - et demonstrationsprojekt. (2004)*

# Indhold

Forord .....	5
Indledning .....	6
Sammenfatning .....	7
Litteratur .....	7
Observationer .....	7
Tilknyttede undersøgelser .....	7
Konklusion .....	8
Forarbejder .....	9
Nicolajsen 2001 .....	9
Rasmussen, 2001 .....	10
Hjorslev Hansen & Skibstrup Eriksen, 2000 .....	11
Andersen & Skibstrup Eriksen, 2000 .....	12
Lodberg, 2000 .....	13
Egholm et al., 2000 .....	14
Danø, Tofte & Ditlev, 2000 .....	15
Esbensen, Sonnerup & HBC, 1999 .....	16
Skov, 1999 .....	17
Baadsmann, 1999 .....	17
Stokbæk, 1999 .....	18
Engelund & Cohr, 1999 .....	19
Christensen, 1999 .....	20
Lund Nielsen & Pedersen, 1999 .....	20
Sammenfatning af forarbejder .....	21
Samarbejdet .....	23
Præsentation af Borup Seniorby .....	24
Konstruktioner .....	25
Medio januar 2001 .....	25
Medio februar 2001 .....	27
Medio marts 2001 .....	28
8. april 2001 .....	30
Opsætning af måleudstyr .....	31
Indblæsning af papirisolering fra Ekofiber AB 21. marts 2001 .....	34
Indblæsning af papirisolering fra Miljø Isolering ApS 27. marts 2001 .....	37
Indblæsning af papirisolering fra Isodan Danmark ApS 8. april 2001 .....	39
Isolering med hørisolering fra Dansk Naturisolering A/S 17. april 2001 .....	40
Indblæsning af perlitolering fra Nordisk Perlite A/S primo maj 2001 .....	45
Rejsegilde 17. august 2001 .....	46
Isolering med stenuld fra Rockwool A/S 20.-21. august 2001 .....	47
Isolering med glasuld fra Isover Saint-Gobain A/S 2001 .....	49
Indblæsning af træfiberisolering fra Thermocell Danmark A/S primo september 2001 .....	50
Borup Seniorby primo september 2001 .....	52
Isolering med hørisoleringen Heraflax importeret af HBC A/S primo september 2001 .....	53
Borup Seniorby ultimo 2001 .....	55
Anvendte isoleringsmaterialer .....	56
Generel beskrivelse .....	56
Materialeegenskaber - oversigt .....	56
Byggesagens forløb .....	58
Isoleringsprodukter anvendt i byggeriet .....	58
Ideoplæg .....	58
Rammeaftale .....	60

Projektering .....	60
Byggetilladelser .....	61
Indbygning af isolering.....	61
Tilknyttede undersøgelser .....	62
Temperatur og fugt .....	62
Kuldebroer .....	62
Arbejds miljøundersøgelser.....	62
Diskussion .....	63
Litteratur.....	65
Summary .....	69

# Forord

Borup Seniorby er udefra set en helt almindelig bebyggelse, men Borup Seniorby er også et demonstrationsbyggeri, der har til formål at demonstrere og dokumentere anvendelsen af en lang række traditionelle og alternative isoleringsmaterialer, som er til rådighed på det danske marked.

Bebyggelsen har givet en særlig god mulighed for, i en række ens boliger, at demonstrere isoleringsmaterialernes byggetekniske egenskaber, på en måde som er relevant for projekterende og udførende.

Valget af bebyggelsen er sket ud fra et ønske om at opnå ens vilkår for alle produkter med mulighed for at overføre erfaringer til det traditionelle byggeri.

I denne rapport beskrives baggrunden for demonstrationsbyggeriet samt planlægning, udførelse og instrumentering af byggeriet med fokus på de anvendte isoleringsmaterialer. Resultaterne fra registreringer af fugt- og temperaturforhold i konstruktionerne og i boligerne er beskrevet i By og Byg Dokumentation 058: Målinger på alternative isoleringsmaterialer. Endvidere er det undersøgt om der er arbejdsmiljøgener knyttet til de valgte produkter og den valgte arbejdsproces. Resultaterne fra dette arbejde er rapporteret i (Breum, Schneider, Flyvholm, Jørgensen, Rasmussen, Skibstrup Eriksen, 2002).

En særlig tak rettes til bygherren, Dansk SeniorByg A/S, der sammen med By og Byg realiserede muligheden for at gennemføre projektet. Søren Skibstrup Eriksen forestod ledelsen af By og Bygs andel frem til byggeriets afslutning i 2002. Kapitlet "Forarbejder" bygger på resuméer, udarbejdet af Morten Hjørsløv Hansen og Ernst Jan de Place Hansen. Resuméerne er udarbejdet i forbindelse med Energistyrelsens udviklingsprogram for "Miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering" og kan findes på hjemmesiden [www.alternativisolering.dk](http://www.alternativisolering.dk).

Demonstrationsprojektet og de tilknyttede undersøgelser er udført med økonomisk støtte fra Energistyrelsens udviklingsprogram for Miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Byggeteknik og Produktivitet  
Juni 2004

*Jørgen Munch-Andersen*  
Konstitueret forskningschef



# Indledning

I denne rapport beskrives de praktiske erfaringer, af teknisk art, der er høstet ved at følge isoleringsarbejdet i byggeriet Borup Seniorby. Projektet omfatter endvidere det arbejdsmiljømæssige aspekt, som er knyttet til anvendelsen af de valgte isoleringsmaterialer. I byggeriet er der anvendt 9 forskellige isoleringsprodukter, som alle er tilgængelige på det danske marked. De enkelte produkter er enten anvendt som løsfyld eller som formstykker. Tabel 1 indeholder en oversigt over de materialer, som er anvendt til at isolere byggeriet med.

Ved praktiske erfaringer af teknisk art tænkes der ikke på de rent varmetekniske erfaringer men derimod især på svarene af følgende 3 spørgsmål:

- Hvor let er isoleringsmaterialet at arbejde med?
- Kan arbejdet udføres pålideligt med overholdelse af specificerede krav?
- Er materialet specielt velegnet til nogle typer opgaver, og stiller det eventuelt specielle krav til konstruktionernes udformning?

Undersøgelsen af de arbejdsmiljømæssige aspekter har primært omfattet hud- og luftvejsgener for isoleringsarbejderen og behovet for beskyttelsesdragter og åndedrætsværn. Det skal bemærkes, at målingerne af disse gener ikke blev foretaget på byggepladsen, men ved isolering af en fuldskalamodel af en sektion af byggeriet opført i en forsøgshal hos By og Byg.

De arbejdsmiljømæssige erfaringer er rapporteret af Arbejdsmiljøinstituttet (Breum et al., 2002).

Tabel 1. Varmeisoleringsmaterialer anvendt i Borup Seniorby.

	Materiale	Produktnavn	Producent	Type
Cellulose	(genbrugspapir)	Ekofiber, vind	Ekofiber AB	Løsfyld
Cellulose	(genbrugspapir)	Isodan	Isodan	Løsfyld
Cellulose	(genbrugspapir)	Papiruld	Miljøisolering ApS	Løsfyld
Glasuld		Isover	Saint Gobain Isover A/S	Formstykker
Høruld			Dansk Naturisolering A/S	Formstykker
Høruld		Heraflax	Heraklith	Formstykker
Perlit		Perlite 0515SC	Nordisk Perlite ApS	Løsfyld
Stenuld		Rockwool, Flexi A-batts	Rockwool A/S	Formstykker
Træfiber		Thermocell	Thermocell Danmark A/S	Løsfyld

# Sammenfatning

Denne rapport beskriver de praktiske erfaringer af teknisk art, der er høstet ved at følge isoleringsarbejdet i bebyggelsen Borup Seniorby på Møllevej 13 i Borup. Set udefra er der tale om et helt almindeligt byggeri, men Borup Seniorby er også et demonstrationsbyggeri, der har til formål at demonstrere og dokumentere anvendelsen af en lang række isoleringsmaterialer. De anvendte isoleringsmaterialer er alle tilgængelige på det danske marked. Isoleringsmaterialerne består af såvel traditionelt anvendte som nyere produkter.

## Litteratur

Rapporten redegør for en del af den viden, der har været tilgængelig forud for gennemførelsen af demonstrationsprojektet. Den litteratur, som er refereret i denne rapport, er udarbejdet i forbindelse med energistyrelsens udviklingsprogram for "Miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering" og kan findes på hjemmesiden [www.alternativisolering.dk/resumeer](http://www.alternativisolering.dk/resumeer).

Den refererede litteratur er et uddrag af den samlede tilgængelige litteratur, og omfatter kun de undersøgelser, der vedrører forhold, som kan tjene til at sikre, at demonstrationsprojektet kommer til at afspejle en fornuftig anvendelse af de forskellige isoleringsmaterialer, som det indeholder.

## Observationer

Praktiske erfaringer indhentet ved at følge byggeriets forløb i byggeperioden er rapporteret. Tillige er en række praktiske forhold for anvendelse af de enkelte isoleringsmaterialer beskrevet. I byggeriet er der anvendt 9 forskellige isoleringsprodukter. De enkelte produkter er enten anvendt som løsfyld eller som formstykker. Observationerne havde til formål at besvare spørgsmålene 1) Hvor let er materialet at arbejde med. 2) Kan arbejdet udføres pålideligt med overholdelse af specificerede krav. 3) Er materialet specielt velegnet til nogle typer opgaver, og stiller det eventuelt specielle krav til konstruktionernes udformning.

Ved gennemgangen af de enkelte materialer er omkostningerne forbundet med isoleringsarbejdet ligeledes rapporteret. Beskrivelse af byggesagens forløb er endvidere en præsentation af bebyggelsen Borup Seniorby.

## Tilknyttede undersøgelser

For at dokumentere isoleringsmaterialernes egenskaber foretages en registrering af fugt- og temperaturforhold i konstruktionerne, udendørs og i boligerne. Ligeledes foretages en termografisk måling af ydervæggene. Resultaterne fra disse registreringer vil blive beskrevet i en efterfølgende rapport, fra By og Byg. Endvidere er det blevet undersøgt, om der er arbejdsmiljøgener knyttet til anvendelsen af de valgte produkter og den valgte arbejdsproces. Det skal bemærkes, at målingerne af disse gener ikke blev foretaget på byggepladsen, men ved isolering af en fuldskalamodel af en sektion af byggeriet opført i en forsøgshal hos By og Byg. Resultaterne fra dette arbejde er rapporteret i (Breum et al., 2002).

## Konklusion

En lang række af de relevante forudsætninger og den viden, som er fundet og udviklet i forbindelse med Energistyrelsens udviklingsprogram for "Miljø- og arbejdsmiljørigtig isolering", er refereret i rapporten. Litteraturen beskriver forhold og karakteristika for de anvendte isoleringsprodukter, og hvis byggeriets parter havde tilegnet sig denne viden i tilstrækkelig grad forud for byggeriet kunne det have løst en del konflikter som opstod i byggefasen. Det konkluderes at der ikke blev udformet tilstrækkelige ydeevnekrav til konstruktionerne, ligesom der ikke var et tilstrækkeligt incitament for de involverede parter til at tilegne sig og videregive tilstrækkelig kendskab til de enkelte produkter. Konstruktionerne blev derfor udformet på "normal" vis. For løsfyldsisoleringsmaterialerne viste utæthederne sig under indblæsningen, og tætningen måtte foretages løbende af isolatøren. For det mineralske løsfyldsisoleringsmateriale måtte konstruktionerne yderligere tætnes og en efterfyldning af isoleringsmaterialet måtte foretages. Den anvendte konstruktive udformning af lofter og vægge med adgang gennem den enkelte boligs loft viste sig at være god ved udførelsen af isoleringsarbejdet med løsfyldsisoleringsmaterialerne. Isoleringsarbejdet med måtter adskilte sig ikke væsentligt fra en traditionel isoleringsopgave.

Byggesagens tidlige fremdrift og tilladelser til at bygge var nærmest samtidige. Det forhold, at tegninger og tilladelser til byggeriet ikke forelå væsentlig tidligere og forud for byggeriet har været til gene for byggeriet og vanskeliggjort såvel arkitektens, den rådgivende ingeniørs, underentreprenørernes som hovedentreprenørens opgave.

# Forarbejder

I forbindelse med Energistyrelsens udviklingsprogram for "Miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering" er der udarbejdet en lang række rapporter. Rapporterne kan hentes på hjemmesiden [www.alternativisolering.dk](http://www.alternativisolering.dk), og der er der endvidere adgang til udarbejdede resuméer af de enkelte rapporter. ([www.alternativisolering.dk/resumeer](http://www.alternativisolering.dk/resumeer)).

Den litteratur, der vil blive refereret her, er et uddrag af den samlede tilgængelige litteratur, og omfatter kun de undersøgelser, der vedrører forhold, som kan tjene til at sikre, at demonstrationsprojektet kommer til at afspejle en fornuftig anvendelse af de forskellige isoleringsmaterialer, som demonstrationsprojektet indeholder.

I litteraturen benyttes betegnelsen alternativ isolering ofte. Derved forstås som regel isoleringsarbejde udført med isoleringsmaterialer, der ikke er mineraluldbaserede.

I det efterfølgende gengives uddrag af resuméer af rapporterne med supplerende kommentarer.

## Nicolajsen 2001

I dokumentationen (Nicolajsen, 2001) bestemmes varmeisoleringssevnen for papirisolering. Der findes kun et begrænset erfaringsmateriale, som kan bruges til at fastlægge det praktiske varmeledningstal ( $\lambda_p$ ) for materialet. Der fokuseres specielt på, hvilken indflydelse fugtforholdene har på isoleringsevnen. De udførte målinger bruges til at vurdere, hvor velegnet computerprogrammet MATCH er til at simulere fugt- og temperaturforhold.

Forsøgene er udført i By og Bygs Fugtforsøgshus, der giver mulighed for at måle varmestrømmen gennem facadeelementer med forskellige isoleringsmaterialer og isoleringstykkelser under naturlige fugt- og temperaturforhold. Isoleringsevnen er også afhængig af andre parametre end fugtindholdet, for eksempel arbejdsudførelsen og eventuelle efterfølgende sætninger af isoleringsmaterialet. Dette blev ikke undersøgt i nærværende projekt.

For at finde fugtindholdets indflydelse på isoleringsevnen er varmestrømmen gennem facadeelementer isoleret med henholdsvis Papiruld og Rockwool A-Batts bestemt med indbyggede varmestrømsmålere. Der er målt på to facadeelementer isoleret med 285 mm Papiruld, det ene med dampbremse, det andet uden. Desuden er der som reference målt på to elementer isoleret med Rockwool, det ene med 285 mm isolering, det andet med 190 mm isolering, begge elementer er med dampspærre. Facadeelementerne er opbygget som lette træfacadeelementer med en ventileret regnskærm af fyrrebrædder på klink. Det er facadeelementets samlede varmeisoleringssevne midt i det isolerede felt i facadeelementet, der er målt.

Fugtindholdet i facadeelementerne blev to gange i døgnet registreret med fugtmåledyvlér anbragt 5 steder ind gennem elementet. Temperaturen ude og inde, den relative luftfugtighed (RF) ude og inde og varmestrømmen gennem facadeelementerne blev registreret en gang i timen.

Ud fra målingerne af varmestrømmen gennem de fire facadeelementer er deres U-værdi (varmeisoleringssevne) beregnet. Disse "målte" U-værdier er sammenlignet med U-værdier beregnet efter DS 418. Desuden er U-værdierne optegnet som en funktion af fugtindholdet.

Vurderingen af MATCH-programmet er foretaget ved at sammenligne programmets simuleringer af fugt- og temperaturforhold i facadeelementerne med de tilsvarende eksperimentelt udførte målinger.

Undersøgelsen viste at:

- De to facadeelementer isoleret med Papiruld har en højere U-værdi end det tilsvarende facadeelement isoleret med Rockwool A-Batts. Dette betyder, at for at opnå den samme isoleringsevne skal elementer isoleret med Papiruld have et tykkere lag isolering end elementer isoleret med Rockwool A-Batts.
- De målte U-værdier er ca. 10 % lavere end de beregnede U-værdier. Dette var forventet, da der til brug for beregningerne er benyttet  $\lambda_p$  værdier, hvor der er taget hensyn til eventuelle fejl i arbejdsudførelse og til sætninger.
- Varmeisoleringsevnen ændres ikke signifikant med ændringer i fugtindholdet i facadeelementerne i det undersøgte fugtområde, svarende til et middelfugtindhold op til ca. 70 % RF.
- MATCH beregningerne viser, at der er en rimelig god overensstemmelse mellem beregnet og målt fugtindhold i isoleringen bag vindspærren, uanset om facadeelementerne er isoleret med Papiruld eller med Rockwool A-Batts. Dette viser, at MATCH beregningerne også kan bruges til at simulere fugtphobning i konstruktioner, der er isoleret med Papiruld, når konstruktionen er opbygget som de ved disse forsøg anvendte konstruktioner.

## Rasmussen, 2001

Dokumentationen (Rasmussen, 2001) karakteriserer mekanismerne bag sætninger i cellulosebaserede løsfyldsisoleringer for derved at gøre det muligt ved fremtidige anvendelser at eliminere sætninger. Den foreliggende rapport beskæftiger sig med indbygningsteknikken ved isolering af lodrette vægge.

Væsentlige mekaniske egenskaber, som har indflydelse på sætning af løsfyldsisolering i vægge, er blevet undersøgt for en række nye isoleringsprodukter på det danske byggemarked. Der er tale om papirisolering (2 produkter), træfiberisolering, granuleret hørisolering og ekspanderet perlit (2 typer). Disse nye materials egenskaber sammenholdes med de samme egenskaber for et stenuldsgranulat.

Friktionskoefficienterne i skillefladen mellem væg og løsfyld er bestemt gennem forsøg for fire vægmaterialer (krydsfiner, spånplade, gipsplade og akrylplade) og alle isoleringsmaterialerne. For alle isoleringsmaterialerne er horisontaltrykforholdet bestemt.

Der er udført krybningsforsøg med papirisolering, træfiberisolering og granuleret hørisolering. Forsøgene er udført ved konstant temperatur, tre lastniveauer, forskellige kombinationer af densiteter og to fugtniveauer. Endvidere er der udført krybningsforsøg ved konstant temperatur og konstant lastniveau med cyklisk varierende relativ luftfugtighed som varierer mellem 50 og 80 % RF. Til verifikation af den udarbejdede model gennemføres to fuldskalaforsøg med vægge isoleret med papirisolering.

Der er udviklet en statisk model til beregning af spændingstilstanden i en løsfyldsisolert væg. Den dimensionerende spændingstilstand bestemmes ud fra kendskab til væggenes karakteristika, isoleringens fugtforhold og indlejringens densitet. Endvidere er der opstillet en model til beskrivelse af isoleringsmaterialers krybning (tidsafhængige deformation).

Resultaterne viste at:

- Papirisolering indblæst med en densitet på  $48 \text{ kg/m}^3$ , eller derover, i et 10 cm tykt og 100 cm bredt hulrum i en gipspladevæg kan være volumenstabil ved konstant relativ luftfugtighed (RF) på 50 %.
- Øges hulrumstykkelsen til 30 cm kræves en indblæst densitet på ca.  $53 \text{ kg/m}^3$
- Øges yderligere den relative luftfugtighed til 80 % kræves  $63 \text{ kg/m}^3$  for at sikre volumenstabilitet.

Endvidere tyder de foreløbige resultater på, at:

- Papirisolering udlagt på lofter vil have en resulterende densitet efter sætning på højst  $48 \text{ kg/m}^3$  ved 50 % RF.

Resultaterne er fremkommet ved anvendelse af den udviklede model kombineret med forsøgsresultater.

Der er foretaget en lang række beregninger med den statiske model, som viser, hvorledes isoleringens dimensionerende spændingstilstand kan bestemmes. Det har vist sig muligt, analytisk og i god overensstemmelse med forsøgsdata, at beskrive løsfyldsisolerings krybning med den anvendte krybningsmodel. Den statiske model kan endvidere anvendes til at foretage en teoretisk optimering af afstanden mellem indblæsningshullerne, således at en ønsket densitet opnås samtidig med at materialet bliver jævnt fordelt.

Den udviklede model ser ud til at kunne forklare de fænomener, der observeres i praksis. Projektet redegør for de materialemekaniske egenskaber, som resulterer i sætninger for løsfyldsisolerede vægge. Ligeledes gøres der rede for de nødvendige værktøjer, som er blevet udviklet i projektet, således at sætninger kan elimineres ved fremtidige anvendelser.

## Hjorslev Hansen & Skibstrup Eriksen, 2000

Rapporten (Hjorslev Hansen & Skibstrup Eriksen, 2000) beskriver erfaringer fra Finland og Sverige med brug af cellulosebaserede løsfyldsisoleringsmaterialer, som i disse lande anvendes på lige fod med de sædvanlige mineraluldbaserede. De konstruktionstyper, der er dokumenterede erfaringer med, er hovedsageligt træskeletkonstruktioner. Rapporten henvender sig til projekterende samt firmaer, som anvender eller udvikler alternative isoleringsmaterialer.

Rapporten er baseret på et litteraturstudium, samtaler med ansatte på VTT Building Technology, Espoo (Statens Tekniska Forskningscentral i Finland) og SP, Borås (Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut), interview af producenter, samt in-situ besigtigelser af indbygning af isolering.

Isoleringsevnen af celluloseisolering er omtrent på højde med isoleringsevnen af mineraluld. Fugtindhold i celluloseisolering, i det hygroskopiske område, ser ikke ud til at forringe varmeisoleringsevnen væsentligt. Celluloseisoleringens svage punkt som isoleringsmateriale er dens brændbarhed og dens biologiske nedbrydelighed. Dette imødekommes i Finland og Sverige ved udstrakt anvendelse af borsyre og Borax som imprægneringsmiddel (tilsætningsstof). I Sverige anvendes også ammoniumpolyfosfat som brandhæmmer.

De svenske og finske erfaringer peger ifølge rapporten på, at det ikke er nødvendigt at anvende en sædvanlig dampspærre i konstruktioner isoleret med alternative isoleringsmaterialer, men at anvendelse af en dampspærre eller en dampbremse betyder lavere fugtindhold i klimaskærmen og dermed en lavere risiko for nedbrydning.

Et lufttæt lag i klimaskærmen anses, i både Finland og Sverige, for at være af stor positiv betydning for klimaskærmens holdbarhed. En væsentlig

funktion af en dampspærre/dampbremse i klimaskærmen er givetvis at sikre denne lufttæthed.

Konstruktionens evne til at "ånde" fremhæves ofte som argument for at udelade dampspærren/-bremsen. Der er ikke fundet dokumentation for vigtigheden af denne evne. Trods de hygroskopiske egenskaber er der ikke fundet nogen væsentlig evne hos celluloseisoleringen til at udjævne fugtindholdet i konstruktioner over året.

Fælles for Finland og Sverige er, at der benyttes typegodkendelser, der regulerer anvendelsesmulighederne for de alternative isoleringsmaterialer. Producenterne foreskriver som oftest anvendelse af standardiserede konstruktionstyper for at undgå skader, og for at kunne foretage en entydig placering af ansvaret, hvis der opstår skader. I Sverige anvendes fortrinsvis løsfyldsisolering, som blæses ind i konstruktioner og ud på lofter. I Finland anvendes disse metoder også, men derudover anvendes ofte vådsprøjtning i væggene. I de senere år er man i Finland endvidere begyndt at bruge celluloseisoleringsmåtter.

Sætning er et velkendt problem ved anvendelse af løsfyldsisolering. Dette problem løses ved i lukkede konstruktioner at indblæse til en given densitet eller ved på lofter at udblæse isoleringen med overhøjde. I Finland løses problemet med sætning af celluloseisoleringen i vægge også ved, at der anvendes vådsprøjtning.

## Andersen & Skibstrup Eriksen, 2000

I meddelelsen (Andersen & Skibstrup Eriksen, 2000) undersøges om de alternative isoleringsmaterialer, der har været anvendt i Danmark i enkeltstående tilfælde i de senere år, fungerer tilfredsstillende med hensyn til bl.a. fugt- og temperaturforhold.

Endvidere undersøges materialernes dimensionsstabilitet, og om materialerne har været modstandsdygtige over for mikroorganismer.

Tre typer papirisolering, hørisolering, fåreuldsisolering og ekspanderet perlit indgår i undersøgelsen, der er foretaget i 7 bebyggelser med en alder på 1-5 år. Bebyggelsen er udvalgt, således at de repræsenterer forskellige konstruktionsprincipper. Bygningerne er blevet registreret og besigtiget. Der er foretaget termografering for at undersøge, i hvor høj grad isoleringsmaterialet dækker hele væggen og om der er en jævn isoleringsevne. Der er foretaget fugtmålinger samt udtaget prøver af isoleringsmaterialerne til kemisk analyse (indhold af aluminium, bly, cadmium og chrom).

Undersøgelsens resultater er:

- Der er *ikke* konstateret usædvanlige fugtforekomster, som kan tilskrives isoleringsmaterialerne.
- Papirisolering indblæst i en hulmur vurderes hverken at være bedre eller værre end traditionelle isoleringsmaterialer i et gennemsnitsbyggeri mht. at sætte sig og mht. at udfylde hulrum.
- Der er ikke forskel på alternative isoleringsmaterialer og mineraluldsisolering, hvad angår den betydning arbejdets udførelse og konstruktionernes beskaffenhed har på isoleringsevnen.
- Foreløbige resultater indikerer, at der foregår en vis krybning af isoleringsmåtter fremstillet af fåreuld og hør, uden at det er endeligt belyst.
- For bygninger isoleret med ekspanderet perlit er det særlig vigtigt med en tæt damp- og vindspærre for at undgå, at isoleringsmaterialet drysser ud af konstruktionerne.
- Der er ved visuel inspektion af konstruktionerne ikke konstateret vækst af mikroorganismer (skimmelsvampe mv.).

## Lodberg, 2000

Der er gennemført et byggeri (Lodberg, 2000) af en børnehave, der er isoleret med fåreulds- og hørisolering. Der er taget udgangspunkt i en beskrivelse af de miljømæssige minimumskrav og anbefalinger, som skal følges ved nybyggeri med Århus Kommune som bygherre. Heri stilles krav om, at valgte byggematerialer ikke må medføre indeklimaproblemer, og at materialer, der kan genbruges eller regenereres, bør foretrækkes, ligesom det anbefales, at energi- og ressource-forbruget samt miljøbelastningen i øvrigt vurderes. Desuden har der fra bygherrens side været lagt vægt på mulighederne for at opnå en god akustisk regulering uden anvendelse af mineraluldsisolering.

Projekteringen er gennemført som et normalt forløb med fasebestemte forelæggelser for bygherre og myndigheder.

Valget af isoleringsmaterialer har været gennemgået på høringsmøder for projektet, ligesom materialeprøver og teknisk dokumentation for de valgte produkter er blevet fremlagt. Der har ikke fra myndighedernes side været stillet krav eller spørgsmål til de anvendte isoleringsprodukter, som ikke umiddelbart kunne besvares med eksisterende dokumentation.

Ved projekteringen har der kunnet anvendes traditionelle konstruktioner, uden betydende ændringer, idet de valgte isoleringsmaterialers varmeledningsevne ikke afviger nævneværdigt fra mineraluldsprodukters.

Det aktuelle projekt har været udbudt i offentlig licitation, hvor der er indhentet tilbud på såvel en løsning med mineraluldsprodukter som med en kombination af hør- og fåreuldsisolering. Hørisolering anvendes som primær isolering udenfor dampbremsen pga. dens lavere pris i forhold til fåreuldsisolering, mens fåreuldsisolering anvendes indenfor dampbremsen for at nyttiggøre uldens evne til regulering af fugt og akustik.

### Resultat:

- Den anvendte *importerede* hørisolering må forventes at kunne erstatte mineraluldsisolering uden væsentlige udførelsesmæssige problemer. Aktuelt er der i realiteten to barrierer, som hindrer en øget anvendelse, dels er prisen ca. det dobbelte af andre isoleringstyper, dels er tildannelsen af materialet mere besværlig.
- Ved anvendelsen af importeret hørisolering, som den afprøvede, vil merudgiften ved at erstatte lofts- og vægisolering kunne bringes ned til 100-140 kr/m<sup>2</sup> bruttoetageareal, svarende til 1,5 - 2 % af håndværkerudgifterne.
- Med *dansk* produceret hørisolering forventes tildannelsen gjort nemmere, idet indholdet af stabiliserende polyesterfibre, i forhold til importeret hørisolering, er reduceret fra 18 vægt % til 2 - 5 vægt %, hvilket også vil forbedre den økologiske profil. Selskabet "Dansk Naturisolering" sigter desuden mod at deres produkt skal kunne markedsføres til en pris, der kan konkurrere med mineraluldsisolering.
- De gennemførte målinger af efterklangstider i institutioner har vist, at den anvendte dæmpning med en kombination af fåreuldsisolering/træbeton i loftet og hørisolering/teglhulsten i væggene, medfører et behageligt akustisk miljø velegnet til børneinstitutioner.
- Den anvendte importerede fåreuldsisolering kan ifølge rapporten ikke forventes anvendt i Danmark i større målestok. Dels stiller arbejdstilsynet krav om en række værnemidler for at beskytte håndværkerne (brandimpregneret med borforbindelser), dels er prisen for produktet meget høj og endelig er tildannelsen af materialet meget besværlig. I konsekvens heraf har den tidligere importør HBC indstillet import og markedsføring af produktet.



## Egholm et al., 2000

Konsekvenserne af at anvende miljø- og arbejdsmiljørigtige isoleringsmaterialer i murværkskonstruktioner er blevet vurderet (Egholm et al., 2000). Rapporten behandler isoleringsmaterialerne: papirisolering, Cemsium og Perlite (ekspanderet vulkansk aske) samt isoleringsmaterialer baseret på hør, hamp og fåreuld.

Rapporten er baseret på:

- Opsamling og vurdering af eksisterende viden fra andre projekter under udviklingsprogrammet samt fra leverandører.
- Vurdering og bedømmelse af sandsynlige hændelsesforløb ud fra Teknologisk Institut, Murværks erfaringer med murværkskonstruktioner og materialer.
- Orienterende korrosionsprøvning i henhold til ASTM C739 af murbindere og armeringsstål i våd isolering. Udblomstringsprøvning i henhold til MUC-metode 7.85 af teglsten i våd isolering.

Ud fra de modtagne oplysninger, de udførte undersøgelser og Teknologisk Institut, Murværks erfaringer anfører rapporten følgende væsentlige konklusioner:

- Generelt anbefales afdækning af murværk under opførelse for at undgå at vand ledes ind i hulmuren.
- Det er hverken bekræftet eller afkræftet, om fugtspærre eller luftmellemrum er nødvendigt ved anvendelse af organiske isoleringsmaterialer <sup>1)</sup>.
- Der kunne *ikke* konstateres en øget tendens til udblomstring eller misfarvning af murværket ved anvendelse af papirisolering tilsat borforbindelser.
- Isoleringsmateriale tilsat ammoniumforbindelser (hørisolering) må ikke anvendes sammen med murbindere af tinbronze.
- Ved anvendelse af meget letflydende materialer som Perlite stilles der særlige krav til tætning af konstruktionen.
- Muligheden for genanvendelse af murværksmaterialer vil generelt set være upåvirket af om alternative isoleringsmaterialer benyttes, men indhold af borforbindelser i isoleringsmaterialer kan evt. give problemer.
- Adskillelse på byggepladsen af forskellige typer kasseret isoleringsmateriale er vigtigt for genanvendelsesmulighederne og dermed materiaernes ry som miljøvenlige.

For hør tilsat ammoniumforbindelser, som flammehæmmere, konkluderer rapporten desuden følgende:

- Ammoniumforbindelser kan medføre korrosion af nogle metallegeringer anvendt i murbindere og armering, især tinbronze, mens rustfast stål ikke angribes.
- Ammoniumforbindelser kan muligvis medføre mugdannelse / biologisk vækst.
- Ammoniumforbindelser kan øge tendensen til misfarvninger og udblomstringer på formuren.
- Ammoniumforbindelser kan gøre isoleringsmaterialet hydrofilt ("vandskende") og skærpe kravene til fugtspærre eller ventileret hulrum.

En vigtig problemstilling at få afklaret er derfor, om flammehæmmere *overhovedet* er nødvendige i organiske isoleringsmaterialer, der anvendes i hul-

---

<sup>1</sup> I rapporten benyttes betegnelsen fiberformat, organisk isoleringsmateriale, der i denne forbindelse dækker papirisolering, hør, hamp og fåreuld.

mure. Bygningsreglementet stiller således ikke krav til brandhæmning af isoleringsmaterialer, der anvendes i en hulmur.

Hamp kan betragtes som delvist analogt med hør, hvorved tilsætning af ammoniumforbindelser formodes at have tilsvarende konsekvenser som for hør.

(By og Byg kommentar: *Der er i denne undersøgelse ikke fundet eksisterende viden, der underkender anvendelsen af alternative isoleringsmaterialer i muret ydervæg, forudsat at der tages højde for typen af murbinder ved anvendelse af isoleringsmaterialer med ammoniumforbindelser, samt at der er særlig opmærksomhed mht. at konstruktionen tætnes, hvis Perlite benyttes som isoleringsmateriale).*

## Danø, Tofte & Ditlev, 2000

Publikationen (Danø, Tofte & Ditlev, 2000) indeholder en samling af eksempler, der viser, hvordan bygningsdele isoleret med celluloseuld (papirisolering) eller høruld (hørisolering) kan udformes, så de opfylder kravene i bygningsreglementerne, eller så de med stor sandsynlighed kan opnå boligministeriel godkendelse (MK-godkendelse udstedt af ETA-Danmark A/S). Andre isoleringsmaterialer med organiske fibre (fx hamp) vil kunne anvendes i de viste bygningsdele, såfremt der specifikt tages stilling til de fugt- og varme-tekniske konsekvenser heraf.

Der er udvalgt en række eksempler på almindeligt forekommende bygningsdele. Eksemplerne er udformet som konstruktionstegninger (snit). Ved udformningen af eksemplerne er der taget hensyn såvel til de brandtekniske krav som til de fugttekniske og de varmesoleringsmæssige aspekter. Det er forudsat, at anvendelsesområdet er boliger, skoler, kontorer o.lign. (rumklimaklasse 2) eller bygninger påvirket af luft med et lavere fugtindhold.

For hvert eksempel er det angivet, om det kan anvendes i henhold til Bygningsreglement 1995 (BR 95) eller Bygningsreglement for småhuse (BR-S 98), samt om der kræves boligministeriel godkendelse (MK-godkendelse).

For de angivne eksempler er varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) beregnet for tre praktiske varmeledningsevner (45, 50 og 55 W/mK) og for varierende konstruktionsudformning (fx isoleringstykkelse og trædimension). Fugtsikkerheden er bestemt ud fra beregning.

I eksemplerne er forudsat:

- Der anvendes papirisolering eller hørisolering med en densitet på højst 80 kg/m<sup>3</sup>.
- Med mindre andet er specificeret, kan isoleringsmaterialet enten være som granulat (løsfyld) eller i pladeform (formstykker og rullevarer).
- Isoleringsmaterialet er imprægneret mod råd og skimmelsvamp på en sådan måde, at det kan indgå i de på tegningerne viste bygningsdele uden yderligere forholdsregler.

*Bemærk:* Ved udformningen af eksemplerne er det *ikke* forudsat, at isoleringsmaterialet er imprægneret mod brand.

Desuden forudsættes en række forhold omkring konstruktiv udformning, dampspærre/dampbremse, fugt- og vindspærre, undertag, spær og lægter, afstandslisters mv. samt montage af beklædninger.

I rapporten er der udarbejdet 66 eksempler tilhørende U-værditabel.

Eksemplerne fordeler sig efter antal på følgende bygningsdele:

- Terrændæk: 2
- Ydervægge: 14
- Indervægge: 10
- Krybekælderdek: 3
- Etageadskillelser: 5
- Adskillende væg- og loftkonstruktioner mod uudnytteligt tagrum: 11
- Tage: 18
- Brandkamsstatninger: 1
- Gennemføringer for skorstene: 2.

Rapporten indeholder også en beskrivelse af en metode til bestemmelse af en dampbremses nødvendige diffusionsmodstand.

## Esbensen, Sonnerup & HBC, 1999

Med udgangspunkt i HBC's import fra Tyskland af Herawool og Heraflax, bygningsisolering fremstillet af henholdsvis fåreuld og hør, belyser rapporten (Esbensen, Sonnerup & HBC, 1999):

- Om markedets behov for miljøvenlig isolering af fåreuld og hør kan dækkes via eksisterende produktionsanlæg?
- Om mængden af danske råstoffer er tilstrækkelig og i givet fald økonomisk interessant?
- Om etablering af et produktionsanlæg i Danmark og baseret på Heraklith's teknologi vil være lønsom og i givet fald under hvilke forudsætninger?
- Det totale årlige salg af alternative isoleringsmaterialer udgjorde i Danmark i 1997 ca. 150 mill. kr., svarende til ca. 13 % af totalsalget eller ca. 400.000 m<sup>3</sup>.

På baggrund af besøg på Herakliths produktionsvirksomhed i Tyskland, samt ud fra et omfattende dokumentationsmateriale, vurderes det, at kvaliteten af Herakliths produkter (både hør- og fåreuldsisolering) opfylder både de byggetekniske og miljømæssige relevante krav for danske forhold og normer. Den mængde af alternative isoleringsprodukter, der afsættes på det danske marked i øjeblikket, kan uden videre dækkes af import fra Heraklith i Tyskland. Firmaet udnytter for tiden kun 30 % af dets produktionskapacitet. Når det sammenholdes med de store anlægsomkostninger ved etablering af en fabrik og de nuværende importpriser, er det ikke i en overskuelig fremtid realistisk at etablere en fabrik i Danmark baseret på Herakliths produktionsteknik.

Mængden af danske råstoffer i form af fåreuld og hør, til brug for produktion af alternativ isolering, er meget lille. Specielt uldproduktionen er meget lav, og denne kan ikke umiddelbart forøges betragteligt indenfor en kort årrække. Den reelle uldmængde svarer til ca. 5.000 m<sup>3</sup> isolering.

Produktionen af spindhør i Danmark svarede i 1997 til godt 20.000 m<sup>3</sup> isolering. De gunstige EU-ordninger (tilskud og mulighed for udnyttelse af braklagte arealer) samt de forholdsvis lave priser og indtjening på korn og andre planteafgrøder gør imidlertid, at landmændene bør være motiverede for at omlægge deres afgrøder til hør. Desuden er det muligt at høste korte hørfibre til isoleringsbrug ved hjælp af eksisterende landbrugsmaskiner (skårlægger og mejetærsker). Incitamentet og muligheden for at udvide produktionen af hør til isolering betragteligt inden for en kort årrække er derfor tilstede.

Det vurderes, at afsætningspotentialet for hørisolering er relativt stort, når prisniveauet ligger ca. 25-30 % over prisen på mineraluld, svarende til det

nuværende prisniveau baseret på importerede produkter fra Heraklith. Dette bygger på danske forbrugeres generelt øgede interesse for økologiske produkter, samt en tendens til at folk er villige til at betale 25 % mere for et økologisk produkt. Isolering fremstillet af fåreuld og hør kan derfor vinde markedsandele, hvis prisforholdene bliver gunstigere og der foreligger byggetekniske afklaringer med hensyn til brand, holdbarhed og isoleringsevne.

Sammenfattende konkluderer rapporten, at de tekniske ressourcemæssige og økonomiske forudsætninger synes at være til stede for, at efterspørgslen på alternativ isolering, baseret på hør, vil vokse markant i de kommende år.

## Skov, 1999

Rapporten (Skov, 1999) er baseret på vidensindsamling og gennemførelse af produktionsforsøg for at afdække og undersøge forskellige produktionsmuligheder for fremstilling af formstykker af papiruld.

Der er foretaget en indsamling af ny viden, hovedsageligt hos samarbejdspartnere, eksterne konsulenter med specialviden på området og Patentdirektoratet.

Der er gennemført produktionseksperimenter med tre metoder:

- Bevægeligt direkte spray
- Cyklonmetoden
- Spray med undersug.

Fælles for gennemførelsen af produktionseksperimenterne med de tre metoder har været, at de er blevet gennemført med flere koncentrationer af vandige bindemidler.

Den første metode tog udgangspunkt i en metode, som har været benyttet i årevis, mens cyklonmetoden baserer sig på teknologi fra træindustrien. Den tredje metode, spray mod undersug, blev udviklet på basis af erfaringer med de to første.

Ved den første metode, bevægeligt direkte spray, viste der sig at være for mange parametre der kunne influere på resultatet af fremstillingsprocessen. Cyklonmetoden er ud fra et arbejdsmiljø-mæssigt synspunkt en bedre metode, fordi opblanding af Papiruld og bindemiddel foregår inde i en lukket beholder. Metoden er dog på nuværende tidspunkt for svær at anvende og kræver videreudvikling.

Der er etableret et beslutningsgrundlag og udviklet en fremstillingsmetode (spray mod undersug) som basis for det videre forløb af udviklingsprojektet, formstykker af papiruld.

## Baadsmand, 1999

Rapporten (Baadsmand, 1999) beskriver hvordan arbejdsmiljøet og kvaliteten, af det udførte arbejde ved isolering med papirisolering kan forbedres ved udvikling af en læssemaskine til isoleringsmaterialet, udvikling af en fjernbetjening af start/stop- og blandefunktion på en maskine til indblæsning/udlægning af isolering, samt anvendelse af vandtåge mod støvgener ved udlægning af papir-isolering.

Der er udviklet en læssemaskine, der fungerer tilfredsstillende. Efter at "påfyldereren" har vænnet sig til den nye arbejdsproces, er det blevet lettere for ham at følge med, når der skal udlægges store mængder papirisolering. Rygbelastningen er blevet mærkbart mindre.

Det har givet stor bevægelsesfrihed at blive fri for at slæbe en start/stoplejning efter sig, i en løkke om halsen. Samtidigt giver det et langt bedre isoleringsflow, at isoleringsstrømmen kan justeres under arbejdet.

Tidligere var der en del stop, fordi slangen løb fuld af materiale, eller det støvede mere end nødvendigt, fordi luftmængden var for stor i forhold til materialemængden.

Det viser sig, at en fint forstøvet vandtåge ikke dæmper støvgenerne, men blot blæser væk. Det viser sig endvidere, at papirisoleringen under udlægningen kan optage større mængder vand uden problemer. Den falder således ikke sammen, fordi man duscher vand på. Tværtimod danner papirisoleringen en papmachéskorpe, som vinden, særligt på udsatte steder, ikke kan hvirvle rundt med.

## Stokbæk, 1999

Rapporten (Stokbæk, 1999) søger at afklare, hvorvidt de tillæg, som hidtil er anvendt ved fastsættelse af praktiske værdier for varmeledningsevnen ( $\lambda_p$ ) i såvel DS 418 Beregning af bygningers varmetab som af Varmeisoleringskontrollen (VIK), tager reelt hensyn til arbejdets udførelse, dvs. om der på korrekt vis tages hensyn til, om produktet tildannes på byggepladsen eller ej.

Der er foretaget litteratursøgning i internationale databaser og på internettet samt ved henvendelser til institutioner og via personlige kontakter. Der er skelnet mellem litteratur, der beskriver laboratorieundersøgelser, og litteratur der beskriver feltundersøgelser. Laboratorieundersøgelser er især egnede til at foretage sammenligninger mellem materialer og konstruktionstyper for at studere enkeltfaktorer, mens feltundersøgelser kan give værdifulde oplysninger om den samlede effekt af alle de forhold, som indgår i arbejdets udførelse.

Begrebet arbejdets udførelse skal i denne sammenhæng opfattes som den samlede effekt af eventuelle lækager i de lufttætnende lag, eventuel mangelfuldt virkende vindafdækning, eventuelle utilsigtede kuldebroer, eventuel naturlig konvektion samt eventuel påtvungen konvektion.

Resultaterne af såvel laboratorieundersøgelserne (7 referencer) som af feltundersøgelserne (3 referencer) viser, at de tillæg, som hidtil er anvendt ved fastsættelse af  $\lambda_p$  i såvel DS 418 som af VIK, *ikke* tager reelt hensyn til arbejdets udførelse. Tillæggene bør justeres i forhold til de nuværende værdier, således at de forhøjes for produkter som tildannes på stedet, mens de nedsættes for løsfyldsprodukter, som installeres in-situ.

Måleresultater fra feltundersøgelser (3 referencer) peger i retning af, at glasulds- og stenuldsisolering i pladeform, som er tildannet på stedet, *bør* have et udførelsesrelateret tillæg på mindst 20 %, mens celluloseisolering (løsfyld), som installeres in-situ, *ikke* bør have noget udførelsesrelateret tillæg.

I den overvejende del af laboratorieundersøgelserne (7 referencer) er der målt konvektion i isoleringsmaterialet med deraf følgende øget varmetab. Konvektionen kan være forårsaget af isoleringsmaterialernes iboende egenskaber og/eller af egentlige fejl i udførelsen. Det er konstateret, at konvektionen er afhængig af produkternes densitet og permeabilitet samt af temperaturdifferensen, og eventuel ventilation henover isoleringen.

Forekomsten af konvektion og øget varmetab er *især* eftervist for glasuldsisolering og i nogen udstrækning for stenuldsisolering og isolering af celleplast, altså for produkter som tildannes på stedet, mens det ser ud som om der *ikke* forekommer konvektion i celluloseisolering (løsfyld) installeret in-situ.

I flere af laboratorieundersøgelserne er der i isoleringen indbygget fejl, som enten er konstruktivt betingede, eller som kendes fra praktisk arbejdsudførelse. Der er dog i intet tilfælde foretaget sammenligninger med, hvor hyppigt sådanne fejl forekommer i praksis. Resultaterne kan derfor *ikke* anvendes direkte som grundlag for fastsættelse af praktiske  $\lambda_p$ -værdier, men kan *alene* anvendes som en indikator for, at der er behov for at give tillæg

for konvektion til nogle produkttyper i nogle konstruktionstyper, for eksempel for produkter med høj permeabilitet og som skal tildannes på stedet. (Den begrænsede mængde litteratur, det har været muligt at fremskaffe, og som er refereret i rapporten, stammer fra institutioner og personlige kontakter, da litteratursøgning i internationale databaser eller på internettet ikke gav relevante titler)

## Engelund & Cohr, 1999

Rapportens formål (Engelund & Cohr, 1999) er at foretage en kortlægning og evaluering af toksikologiske data for organiske fibre, der anvendes som isoleringsmaterialer og herefter på baggrund af disse data samt eksponeringsdata at foretage en risikovurdering af organiske fibre i arbejdsmiljøet. Eksponeringsdata tilvejebringes af Arbejdsmiljøinstituttet i et sideløbende projekt i forbindelse med et demonstrationsbyggeri.

Rapporten er baseret på publicerede undersøgelser fra velanskrevne håndbøger og monografier samt relevante artikler udvalgt fra databasesøgninger. Der blev foretaget on-line litteratursøgning i følgende databaser: Medline (1966-98), Embase (1974-98), Toxline (1965-98), Biosis (1970-98), SciSearch (1990-98), Toxcas (1965-97, toksikologisk af del Chemical Abstracts).

Søgningen fokuserede på respiratoriske, dermatologiske (herunder allergi) samt øjenirritative effekter af partikler eller fibre af cellulose, lignin, papir og hør. Udover referencer, der omhandler de specifikke effekter, blev der også søgt efter oversigtsværker indeholdende oplysninger af sundhedsmæssig relevans for cellulose og papir.

På baggrund af den forudgående systematisering og screening af litteraturen kan det konkluderes:

- at der i litteraturen ikke findes toksikologiske data for hørfibre, men udelukkende data, der omhandler uspecificeret hørstøv
- at der kun findes sparsomme data for cellulosefibre
- at der ikke findes data for biopersistensen af hverken cellulose- eller hørfibre.

På det foreliggende grundlag er det således ikke muligt at foretage en fyldestgørende fareidentifikation af disse organiske fibre, og der er derfor ikke foretaget en vurdering af eksponeringsdata fra et demonstrationsbyggeri.

(By og Byg kommentar: Ved henvendelse til rapportens forfattere blev det præciseret at: *Mangel på data kan ikke uden videre tages som udtryk for, at der ikke er nogen risiko ved brugen af de pågældende produkter, blot at det ikke har været undersøgt, eller at relevante data ikke er alment tilgængelige*).

Det konstateres, at der bør foretages en undersøgelse af de aktuelle isoleringsmaterialers evne til at frigive fibre, og en karakterisering af fibre med henblik på at klarlægge om materialet er stand til at frigive fibre med kritiske dimensioner.

Ved at benytte en standardiseret metode til at teste materialernes støvningsegenskaber (evne til at frigive fibre) kan de forskellige materialer sammenlignes på et ensartet grundlag. Hvis ikke materialerne afgiver fibre med kritiske dimensioner, kan det muligvis allerede på dette grundlag afgøres, at de ikke er potentielt sundhedsskadelige ved indånding. Hvis materialerne kan afgive fibre med kritiske dimensioner, er det derimod relevant at klarlægge hvilke data, der er nødvendige for at udarbejde en tilstrækkelig fareidentifikation og -karakterisering af fibre som grundlag for en risikovurdering samt at udarbejde en undersøgelsesstrategi til fremskaffelse af sådanne data. Det vil i den forbindelse være relevant at inddrage to modeller omtalt i rapporten, dels en amerikansk model til fareidentifikation af fibre baseret på

7 nøgleparametre, dels en trinvis model til testning af fibre samt at foretage en mere tilbundsående analyse af allerede eksisterende data.

Betydningen af tilsætningsstoffer og mikrobiologiske forureninger bør også klarlægges; førstnævnte ved inddragelse af resultaterne fra andre projekter under programmet for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering.

## Christensen, 1999

Publikationen (Christensen, 1999) vurderer om fugtmålinger foretaget med fugtmåledyvler i alternative isoleringsmaterialer er fejlbehæftede, når isoleringsmaterialerne er imprægneret med borsalte eller andre forbindelser. Fugtmåledyvler påtænkes anvendt til fugtmålinger i demonstrationsbyggerier under Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering.

Laboratorieforsøg med måling af fugtindhold med fugtmåledyvler i:

- Henholdsvis våd "grød" af celluloseisolering og demineraliseret vand
- Celluloseisoleret vægelement under kondensation
- Celluloseisoleret vægelement under vekslen mellem kondensation og udtørring
- Klimarum med 80 % RF.

Målinger med fugtmåledyvler i saltimprægnerede isoleringsmaterialer behøver ikke at blive korrigeret, såfremt fugtmåledyvlerne ikke på et tidligere tidspunkt har været opfugtet over fibermætningspunktet, også selvom dyvlen har været saltpåvirket.<sup>2</sup>

Hvis fugtmåledyvlerne tidligere har været opfugtet over fibermætningspunktet, og der måles inden der er opnået fugtligevægt, foretages følgende korrektioner (I dette tilfælde vil der ikke være opnået fugtligevægt før efter et par måneder):

Målt fugtindhold	Korrigeret fugtindhold
20 %	15 %
10 %	9 %

Det er på basis af de her gennemførte undersøgelser ikke muligt at vurdere, hvilke korrektioner der skal gennemføres i det resterende område op imod fibermætningspunktet.

## Lund Nielsen & Pedersen, 1999

Rapporten (Lund Nielsen & Pedersen, 1999) beskriver erfaringer fra Tyskland med anvendelsen af alternative isoleringsmaterialer, herunder en beskrivelse af materialernes fremstilling og egenskaber. Følgende materialer beskrives: cellulose-, fåreulds-, hør- og hampeisolering, bomuld, træbeton, træfiberplader, træspåner samt kork og kokos.

Rapporten er baseret på litteraturstudier og besøg hos prøvningsinstitutter, byggemesser og producenter.

Isoleringsmaterialer af celleplast, celleglas og ekspanderet perlit samt ler- og halmbyggeri er ikke medtaget i undersøgelsen. Nødvendigheden af dampspærre, dampbremse og/eller vindspærre diskuteres, ligesom en række konstruktionseksempler præsenteres.

<sup>2</sup> Fibermætningspunktet angiver fugtindholdet (~ normalt 30 vægt%) i træ, svarende til at cellevæggene er vandfyldte (fibernættet). Optages yderligere vand i træet vil det findes som frit vand i cellehulrummene.

Markedsandelen for alternative isoleringsmaterialer i Tyskland er ca. 5 %, hvoraf hovedparten er løsfyld af cellulosefibre (genbrugspapir, affaldstræ). Herudover findes en bred vifte af produkter udviklet på basis af plantefibre samt fåreuld og kork. I Tyskland har man allerede nu 5-10 års erfaring med disse materialer i den nuværende udformning. Der sker en løbende erfaringsopsamling, idet der skal undersøges 3 byggerier, før en materialegodkendelse (Zulassung) kan fornyes. Fornyelsen sker for nye materialer normalt hvert 2.-3. år. Senere vil der blive udarbejdet DIN-normer på området. Efterhånden som deciderede langtidserfaringer opnås, vil det være muligt at vurdere, hvorvidt materialeegenskaberne ændrer sig, fx med hensyn til dimensionsstabilitet og brandmodstand.

De fleste alternative isoleringsmaterialer har en regningsmæssig  $\lambda$ -værdi på 0,040 W/(m·K), svarende til mineraluldsisolering. Varmeledningsevnen påvirkes ifølge den undersøgte litteratur kun i ringe grad af materialernes store hygroskopicitet (evne til at binde vand).

De fleste alternative isoleringsmaterialer tilsættes imprægneringsmidler, dels mod skimmelsvamp og insektangreb, dels for at forbedre brandmodstandsevnen.

(By og Byg kommentar: I rapportens resumé beskrives problematikken omkring imprægneringsmidler på følgende måde: *Borforbindelser finder udbredt anvendelse - og bortset fra betænkeligheden ved de ofte store mængder, som anvendes (500-1000 kg i et normalt parcelhus isoleret med cellulosefibre) og problemer med bortskaffelsen af det imprægnerede materiale, anses borforbindelserne i Tyskland som mindre giftige.*

I et bilag gengives en stor undersøgelse af isoleringsmaterialer på det tyske marked. I den forbindelse noteres: *Anvendelsen af store mængder borforbindelser i organiske isoleringsmaterialer er omstridt. Mange producenter skifter derfor til ammoniumforbindelser eller reducerer mængden af bor.*

Firmaet Baufritz i Erkheim udvikler og sælger økologiske typehuse af høj kvalitet, som er isoleret med træspåner imprægneret med en "uproblematisk" blanding af valle og soda. Også træfiberplader kan ifølge rapporten fremstilles uden problematiske tilsætningsstoffer for at forbedre brandmodstandsevnen (ammoniumsulfat tilsættes).

Oplysninger om miljø og arbejdsmiljø er ifølge rapporten sparsomme. Der nævnes i litteraturen, at det organiske fiberstøvs farlighed ikke er undersøgt i samme grad som for mineraluldsfibre. For de fleste alternative isoleringsmaterialer skal bearbejdning og montering ske under anvendelse af støvmaske.

I det alternative byggeri i Tyskland er man meget opmærksom på betydningen af lufttætte konstruktioner, og det er almindeligt at teste bygningerne med den såkaldte Blower-Door test.

Bortset fra at man i præfabrikerede vægelementer med træspåner som isolering indlægger bueformede masonitestykker for at aflaste spånerne for nedden i væggen og dermed mindske sætningen, rapporteres ikke om tyske erfaringer med sætning/krybning af alternative isoleringsmaterialer.

Den største forhindring for en øget anvendelse af alternative isoleringsmaterialer i Tyskland er den høje pris. I en større undersøgelse, som rapporten gengiver, blev det fundet, at materialerne i 1997-98 var op til 2-5 gange dyrere end mineraluldsisolering.

## Sammenfatning af forarbejder

På grundlag af de præsenterede forarbejder kan det konkluderes, at der ikke umiddelbart er varmeisoleringstekniske problemer, som stiller sig i vejen for at anvende fx papir, hør og Perlite som varmeisolering i byggeriet.

Forarbejderne peger imidlertid på en række udførelsesmæssige og arbejdsmiljømæssige problemer, og nogle løsningsforslag til deres afhjælp-



ning, som kun et forsøgs- eller demonstrationsbyggeri kan afklare tilfredsstillende.

To af de udførelsesmæssige problemer skyldes anvendelsen af løsfyldsisolering i vægge. Det ene vedrører tæthedskravet til konstruktionen, som skal hindre løsfyldet at sive ud. Dette er kun et problem ved anvendelsen af ekspanderet perlit, hvor kravet til tæthed skal sammenholdes med perlitens kornstørrelse.

Det andet problem vedrører sætninger (sammensynkning) i løsfyldet, som giver anledning til reduceret isoleringsevne. Her skal man sikre, at densiteten af løsfyldet er tilstrækkeligt høj.

Et tredje udførelsesmæssigt problem vedrører anvendelsen af formstykker til vægisolering, hvor man helt banalt skal sikre, at formstykkerne har de rette dimensioner.

# Samarbejdet

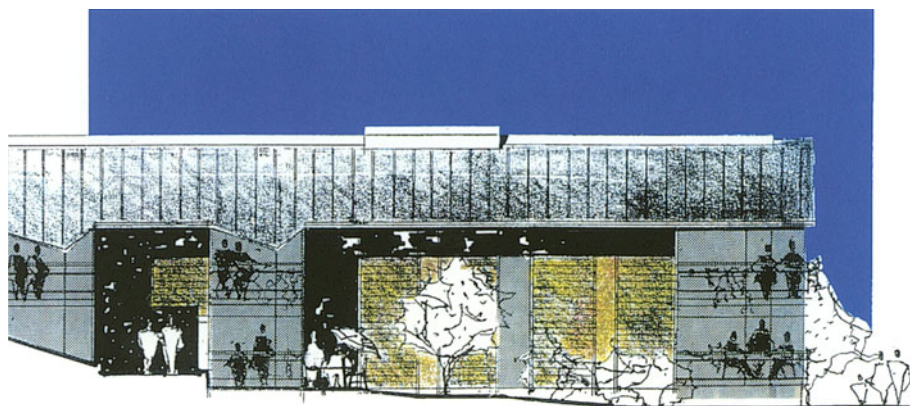
Samarbejdet med bygherren blev indledt, da skitseprojektet var udarbejdet. Bygherren var på det tidspunkt i princippet forretningsføreren Dansk Senior-Byg A/S. Senere er bygherrerollen blevet overtaget af Seniorandelsboligforeningen Borup Seniorby; hvis opgave var at administrere det færdige byggeri. Samarbejdet med arkitektfirmaet Aaskov og Østergaard blev indledt tidligt, for at inddrage de erfaringer der var til rådighed, fx fra pilotprojekter fra blandt andet Danmark, Sverige og Finland.

Tidligt i forløbet blev der ligeledes skabt kontakt til producenter og leverandører for at få afklaret, om der var specielle ønsker til udformning af konstruktionerne samt til den type dampspærre/dampbremse, som skulle anvendes. Da konstruktionerne i bebyggelsen principielt skulle have den samme udformning uanset hvilken isoleringstype, der blev anvendt, var det nødvendigt at udfærdige konstruktionerne således, at såvel løsfyld som måtter umiddelbart kunne anvendes med mindre ændringer i byggeriets arbejdsgang. Det var derfor ikke muligt at tilgodese alle de foreslåede konstruktive ønsker fra producenter og leverandører. Resultatet blev en række byggeteknisk set ens boliger med mulighed for at anvende en lang række af de isoleringsmaterialer, som er til rådighed på det danske marked.

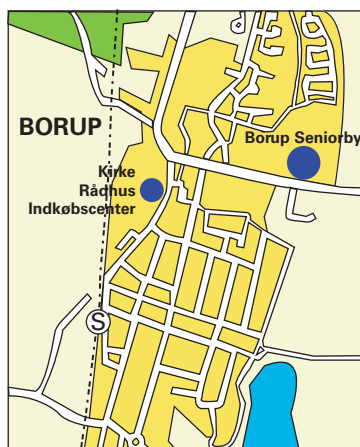
# Præsentation af Borup Seniorby

Borup Seniorby består af 24 selvstændige boliger tilpasset seniorer.

At bebyggelsen er tilpasset seniorer betyder, at den er særligt udformet for menneskers behov i den tredje alder. Der er ved udformningen af den enkelte bolig taget hensyn til adgang og indretning for bevægelseshæmmede og kørestolsbrugere. Bebyggelsen består af tre selvstændige længehuse i 1-2 etager med hver 8 lejligheder. Hver lejlighed råder over en udestue og et direkte tilknyttet udhus placeret på henholdsvis lejlighedens vestlige og østlige side. Herudover indeholder bebyggelsen et fælleshus, som er til rådighed for beboerne samt et mindre antal teknikrum. Bebyggelsen råder desuden over et omkringliggende grønt område og parkeringsarealer til biler og cykler.



Bygherre:	Seniorandelsboligforeningen Borup Seniorby
Forretningsfører:	Dansk SeniorByg a.s.
Hovedentreprenør:	NCC Danmark A/S (Bygmestrene A/S)
Arkitektfirma:	Aaskov & Østergaard Aps.
Rådgivende ingeniør:	Rambøll A/S



## Konstruktioner

Fundamenterne er støbt på stedet.

Terrændækket består af et 100 mm kapillarbrydende lag af singels, 160 mm isolerende lag af polystyren  $\lambda$ -kl. 39 og 80 mm armeret betondæk støbt på stedet.

Ydervæggene er opbygget med en 100 mm bærende bagvæg i helvægselementer af letklinkerbeton, 195 mm isolering, 9 mm udvendig vindgips, ventileret luftspalte og en udvendig beklædning af træ på klink og fiberce-mentplader.

Skillevægge er opført i såvel elementer i 150 mm letklinkerbeton som lette skillevæge. De lette skillevæge består af 75 mm stålskinder med 1 lag 13 mm gipskarton på hver side.

Etageadskillelsen er opbygget af 22 mm parketgulv på 50/50 mm strøer pr. max 600 mm opklodset med plastkiler på 180 mm letklinkerdækelementer. Mod terrændækket er den indvendige gulvbeklædning af 22 mm parketgulv på 50/50 mm strøer pr. max 600 mm opklodset med plastkiler lagt ovenpå en 0,15 mm folie.

Loftet består af to lag 13 mm gipsplade, forskalling, dampspærre og isolering af forskellig tykkelse afhængig af det enkelte isoleringsprodukt.

Isoleringsstykkelsen er bestemt af Rambøll ud fra varmetabsberegninger, som har til formål at sikre, at det beregnede varmetab opfylder bygningsreglementets krav, og er ens for alle boliger uafhængig af det isoleringsmateriale som er anvendt for den enkelte bolig. Vægkonstruktionen er udført med åben toprem, således at der er forbindelse imellem isoleringen, som er lagt i væggen, og isoleringen som er placeret på loftet.

Taget består af gitterspær, 19 mm vandfast tagkrydsfiner og sort tagpap.

Tagkonstruktionen er udformet med et skærmende tagudhæng.

## Medio januar 2001

Byggeriet blev påbegyndt ultimo 2000. Allerede i midten af januar 2001 var entreprenøren i fuld gang med at montere elementer af letklinkerbeton og rejse gitterspær på det første af de tre længehuse, se figur 1, figur 2 og figur 3.

Opførelsen af Borup Seniorby blev gennemført i tre etaper, og byggeperioden strakte sig frem til ultimo 2001.



Figur 1. Opsætning af letklinkerbetonvægelementer, i det første længehus, på fundamenter støbt på stedet.



Figur 2. Gitterspærerne hviler af på bagvæggen.



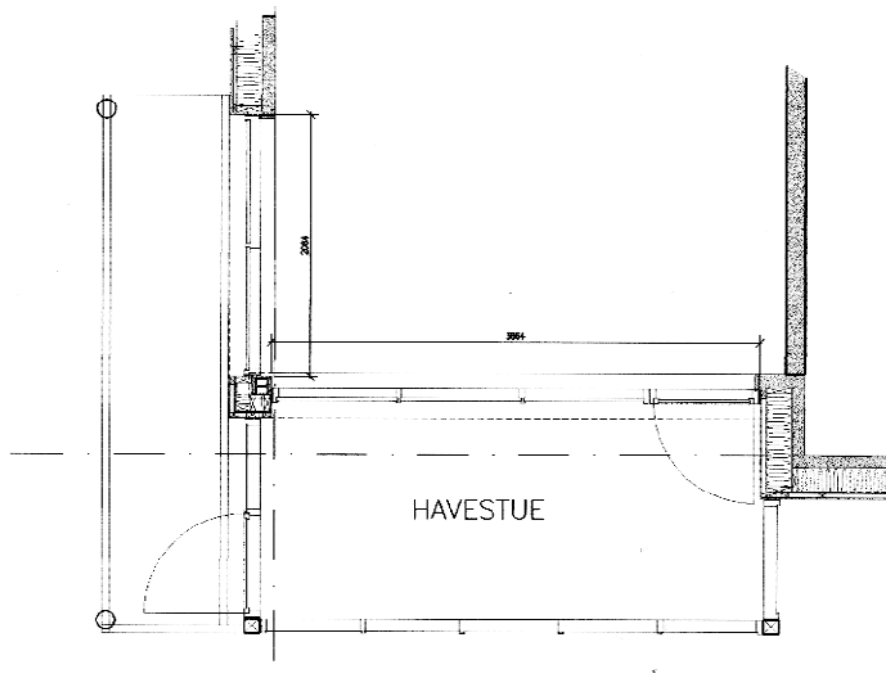
Figur 3. Længehusene er i den ene ende opført i to etager, der er adskilt af et præfabrikeret letklinker-dækelement.

Medio februar 2001

Umiddelbart efter opsætning af råhuset til første længehus, blev råhuset til andet længehus sat op. Gitterspærerne på det færdige råhus blev snart efter dækket med den tagkrydsfiner, der udgør underlaget for tagdækningen af sort tagpap. På de bærende bagvægge af halvægselementer af letklinkerbeton blev der monteret 45/195 mm stolper pr. 600 mm, 45/195 mm fodrem og 45/195 mm gennembrudt toprem. For de fleste lejligheder er der ikke anvendt toprem. Isoleringen blev placeret i stolpeskelettet, se figur 4, figur 5, figur 6 og figur 7.



Figur 4. Det første længehus forsynes med den tagkrydsfiner, som udgør underlaget for tagdækningen af sort tagpap. Endvidere monteres træstolper på den, bærende bagvæg af letklinkerbeton.



Figur 5. Konstruktionstegning med snit gennem væg ved havestue.



Figur 6. Råhuset til længehus nummer to påbegyndes umiddelbart efter færdiggørelsen af råhuset til det første længehus.



Figur 7. Tagkrydsfineren var afdækket frem til det tidspunkt, hvor tagappen blev lagt.

## Medio marts 2001

Taget færdiggøres med montering af trekantlister samt lægning af tagpap og montering af tagrender. Huset lukkes med vinduer og døre. Lejlighederne i underetagen samt husets gavle isoleres med mineraluldsproduktet Isover. Dette isoleringsarbejde udføres af entreprenøren, se figur 8, figur 9, figur 10, og figur 11.



Figur 8. Den vandfaste pladebeklædning forsynes med trekantlister forud for lægningen af tagpappen. Kantlister og tagrender monteres samtidigt, således at huset kan lukkes og er tæt.



Figur 9. Efter færdiggørelsen af taget lukkes huset ved isætning af vinduer og døre.





Figur 10. Huset er lukket med vinduer og døre. Gavle og underetage isoleres med Isover mineraluld.



Figur 11. Efter at det første længehus er blevet lukket nedtages stilladset. Derpå lukkes længehus nummer to.

8. april 2001

9 mm udvendig vindgips monteres på de lodrette planker. Efter monteringen af den udvendige vindgips er længehusene klar til at blive isoleret med isoleringsmaterialer af løsfyldsprodukter, se figur 12 og figur 13.



Figur 12. Længehusene beklædes med vindgips, hvorefter isoleringsprodukter af løsfyld kan indblæses.



Figur 13. Facaden på længehusene lukkes med vindgips, underetagen, gavle og lejligheder isoleret med formstykker isoleres inden vindgipsen monteres.

## Opsætning af måleudstyr

For at undersøge isoleringsmaterialernes indflydelse på forholdene i konstruktionerne foretages en registrering af fugt- og temperaturforhold i de isolerede konstruktioner. Fugt- og temperaturforhold måles to gange i døgnet. Der foretages måling på den varme side af isoleringen ind mod boligen, og på den kolde side af isoleringen mod det ventilerede loftsrum og bag den udvendig vindgips på væggene.

Fugt- og temperaturmålinger foretages med sensorpar bestående af en fugtmåledyvel og en termistor. Disse sensorer er monteret på pvc-vinkler, hvor den ene vinkelarm skrues fast i væggen og den anden arm står vinkelret på væggen (ind i isoleringen), se fx nederst til højre på figur 15. Hver pvc-vinkel er forsynet med 2 sensorpar, der er placeret på samme vinkelarm henholdsvis ved "knækket" og i vinkelarmens ende. Dette muliggør måling i 2 dybder af isoleringen, svarende til inder- og ydersiden af isoleringen. På den anden vinkelarm er der monteret en såkaldt "node" (engelsk:

knudepunkt), hvortil de fire sensorer er forbundet. Alle de opsatte "nodes" er forbundet i en serieforbindelse til en pc'er som bruges til at samle data med, se figur 14 til figur 16.

En pvc-vinkel fastlægger altså 2 målepunkter: Målepunkterne blev placeret i udvalgte vægge - inden montering af vindgipsen - 400 mm over bundremmen og 30-40 mm under den indvendige vægs øvre kant. Tilsvarende vinkler blev placeret over udvalgte rum i boligen.



Figur 14. Pvc-vinkel med sensorer monteret på vægelement. En trædyvel og en termistor, til måling af henholdsvis fugtighed og temperatur, er placeret både mod boligen og mod vindgipsen. Trædyvlerne og termistorene er tilsluttet til en "node".



Figur 15. De enkelte "nodes" forbindes serielt i et elektrisk kredsløb.



Figur 16. Det elektriske kredsløb, indeholdende alle de tilkoblede "nodes" og dermed alle målepunkterne, forbindes til en pc'er, hvor dataene opsamles. Under opbygningen af kredsløbet blev serieforbindelsen jævnlige kontrolleret og testet for fejl. Ligeledes blev kredsløbet kontrolleret for brud før, under og efter en isoleringsopgave blev gennemført.

## Indblæsning af papirisolering fra Ekofiber AB 21. marts 2001

Lejlighederne blev, med enkelte tilpasninger, klargjort til isoleringsmaterialet. Lejlighederne, isoleret med løsfyldsisoleringen Ekofiber, blev så vidt muligt isoleret fra loftet. Isoleringen blev først lagt i væggene fra loftet via den åbne toprem. Herefter blev Ekofiber udlagt på loftet. Lukkede rum, fx et vægparti under et vindue, blev isoleret udefra via et hul i vindgipsen. Hullet blev boret ud på stedet og lukket efter isoleringsarbejdets afslutning.

Indblæsning af isoleringsmaterialet foregår rent praktisk, ved at installatøren fører indblæsningsslangen ind gennem lejlighedens døråbning og op på loftet gennem loftlemmen. Slangen føres derpå via den åbne toprem ned i de enkelte vægsektioner, som fyldes gradvist, mens slangen trækkes op gennem væggen. Det første billede, se figur 17, giver et kig ind i installatørens bil til maskinen, der sørger for, at isoleringsmaterialet løsnes og blæses ind i det fremførte rør. Under isoleringsarbejdet benytter installatøren støvmaske, idet isoleringsmaterialet indblæses løst på loftet uden afdækning, og det derfor ikke kan undgås, at det støver. Indblæsning på loftet udføres med en overhøjde for at kompensere for sætning.

For at minimere støvmængden holdes slangens munding så vidt muligt nede i materialet, se figur 18, figur 19, figur 20 og figur 21.

Efter endt indblæsning af isoleringsmateriale på loft sikres det at apparatet til måling af fugtighed og temperatur er placeret lige under overfladen af isoleringen. Denne placering af apparatet til måling af fugtighed og temperatur er ens for alle isoleringsmaterialer.

En efterfølgende eventuel sætning af isoleringsmaterialet vil med tiden enten fritlægge eller resultere i en luftlomme omkring apparatet til måling af fugtighed og temperatur. Dette forhold skal man være opmærksom på ved analysen af data. Specielt i det tilfælde at målingerne genoptages efter flere år.



Figur 17. Maskinen som bruges til at indblæse isoleringsmaterialet ses i baggrunden. Indpakket Ekofiber, som er løsfyldisivering af cellulose, ses stabled til venstre. Det findelste isoleringsmateriale føres frem med luft i slangen nederst i billedet.



Figur 18. Den enkelte vægsektion isoleres ved at føre fødeslangen ned i bunden af væggen og gradvist at trække slangen op i takt med opfyldningen.



Figur 19. Væggene er udformet med åben toprem. Fødeslangen kan uhindret komme ned i vægsektionen, og isoleringsmaterialet kan komprimeres til den rette densitet.



Figur 20. Loftet isoleres efter at de enkelte vægsektioner er blevet isoleret. Isoleringsmaterialet blæses løst ud på loftet. Vægsektionernes åbne toprem sikrer forbindelse mellem isoleringen i væggene og på loftet.



Figur 21. Lukkede rum, fx vægsektioner under vinduer, isoleres separat, ved at fødeslangen føres ned i væggen gennem et boret hul. Under isoleringen af vægsektionen trækkes slangen op og ud af hullet.

## Indblæsning af papirisolering fra Miljø Isolering ApS 27. marts 2001

Lejlighederne, isoleret med løsfyldsisoleringsmaterialet Papiruld fra Miljø Isolering ApS, blev isoleret efter samme princip som beskrevet i afsnittet omhandlende Ekofiber.

Ved indblæsning af isoleringsmaterialet blev der anvendt et så kraftigt lufttryk, at det var nødvendigt at lukke indblæsningshullet tæt til med polyuretanskum under indblæsningen, for at nedsætte støvmængden fra den tilbageblivende luft. Polyuretanskum anvendes som formstykker der kan monteres direkte på indblæsningsslangen, se figur 22. I forbindelse med indblæsningen var det nødvendigt at tætnes omkring døre og vinduer med mineraluldsbaseret kantisolering. Denne tætning blev foretaget løbende af isolatøren. Tætningen af sprækker mellem vindgips og vindbrættet, som er



placeret mellem spærene, blev i nødvendigt omfang i hele bebyggelsen tæt-  
net med kraftigt lærredstape af entreprenøren.

På figur 23 ses et nærbillede af ydervæggen, efter at der er blæst isole-  
ringsmateriale igennem det ene hul. Figur 24 viser et større udsnit af væg-  
gen, hvor der er blæst isolering igennem alle tre huller under vinduet. Ind-  
blæsning på loftet sker løst, med en overhøjde for at kompensere for sæt-  
ning.



Figur 22. Isolering af et lukket hulrum under et vindue. Polyuretanskum udformet som en cirkulær plade er monteret direkte på indblæsningsslangen og bruges til at nedsætte støvbelastningen omkring isolatøren under indblæsningen.



Figur 23. Isoleret hulrum.



Figur 24. Isolerede hulrum under et vindue.

## Indblæsning af papirisolering fra Isodan Danmark ApS 8. april 2001

Lejlighederne, isoleret med løsfyldsisoleringsmaterialet Isodan fra Isodan Danmark ApS, blev isoleret efter samme princip som beskrevet i afsnittene omhandlende Ekofiber og Papiruld.

Indblæsning på loftet blev udført med løst materiale, med en overhøjde for at kompensere for sætning. Figur 25 viser slangen, der kommer op gennem loftslemmen. Figur 26 viser selve indblæsningen. Installatøren bærer støvmaske, da isoleringen indblæses løst på loftet.



Figur 25. Udsnit af det ventilerede loftsrums. Fædeslangen, som bringer isoleringsmateriale frem, føres op til loftsrumsrummet gennem loftslommen.



Figur 26. Indblæsning af Isodan som er løsfyldsisolering af cellulose. I forgrunden ses apparatur til måling af fugt og temperaturforhold monteret på den spredte forskalling.

## Isolering med hørisolering fra Dansk Naturisolering A/S 17. april 2001

Hørisoleringen blev leveret som 100 mm tykke formstykker, og blev tilskåret i hånden. Opsætningen af hørmåtter blev udført efter samme princip, som benyttes ved opsætning af mineraluldsmåtter. For de lejligheder, der blev isoleret med formstykker, blev væggene isoleret, før pladerne af vindgips blev monteret. Isolering med hørmåtter på loftet blev udført i det lukkede loftsrumsrum. De første billeder viser, hvordan måtterne blev leveret, samt hvordan de ser ud i nærbillede, se figur 27 og figur 28. De følgende billeder viser tilskæring og montering på et loft, dels som (hele) måtter, dels rundt om en rørgennemføring, se figur 29, figur 30 og figur 31.

Hullerne i måtterne laves ved hjælp af en stiksav, her vist i forbindelse med en af følerne, der efterfølgende skal måle fugttilstanden af isoleringslaget. Føleren ses stikke ud af den måtte der allerede er monteret, se figur 32.

Saven der blev brugt under tilskæringen af måtterne blev slebet ofte, da det sled meget på den at skære i hørisoleringen. Figur 33 viser hørisoleringsmåtter monteret i en ydervæg.



Figur 27. Hørmåtter leveredes emballeret parvis i plast. Til denne isoleringsopgave blev der anvendt isoleringsmåtter med en tykkelse på 100 mm.



Figur 28. Et nærbillede af de anvendte isoleringsmåtter af hør.



Figur 29. Isoleringsmætter af hør blev på stedet skåret til med en sav.



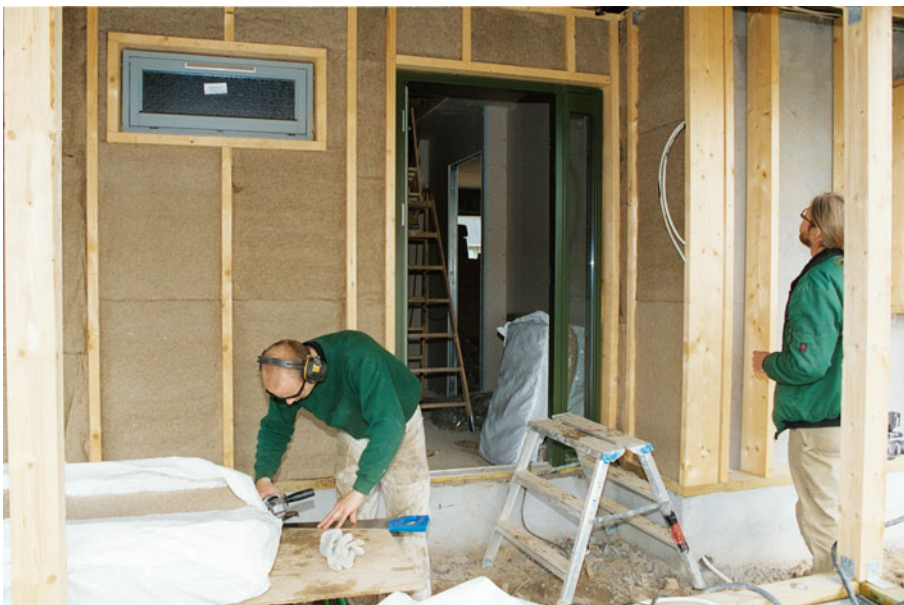
Figur 30. Første lag hørmåtter lagt ud på loftet.



Figur 31. Isoleringmåtterne tilskæres og tilpasses loftets installationer. Her ses isoleringen tilpasset en rørgennemføring. Endvidere ses et målepunkt, inden det trykkes ned til lige under niveau med isoleringens overside.



Figur 32. Isoleringsmætter tilskæres og tilpasning foretages til det opsatte måleudstyr.



Figur 33. En facade isoleret med hørmåtter. Tilskæringen kræver en regelmæssig slibning af saven.

## Indblæsning af perlitisolering fra Nordisk Perlite A/S primo maj 2001

Perlite er et granulært materiale af ekspanderet perlit. Ved isoleringen blev perliten lagt ind i konstruktionen efter samme princip, som der blev anvendt ved isolering med cellulosebaserede løsfyldsisoleringsprodukter (Ekofiber, Papiruld, Isodan). Perlite blev leveret i sække, som blev hældt i en trykbeholder. Fra beholderen blev Perlite pumpet frem til udlægningsstedet via en fødeslange, se figur 34, figur 35 og figur 36. Anvendelsen af Perlite kræver særligt tætte konstruktioner. I første omgang var entreprenørens tætning, omkring væggenes bundrem og fuger, langs døre, vinduer og stød mellem vægge og lofter, ikke tilstrækkelige. Efterfølgende måtte lejlighederne tætnes og en efterfyldning blev foretaget.



Figur 34. Perlite leveres i sække som håndteres med en mobilkran.





Figur 35. Perlite leveres i sække, som med kran fyldes i en trykbeholder. Ved hjælp af beholderen pumpes Perlite frem til udlægningsstedet via slanger.



Figur 36. Perlite lægges i konstruktionen fra loftet via den åbne toprem. Slangerne trækkes gennem hoveddøren og op på loftet gennem loftlemmen. Perlite fordeles på loftet efter at væggene er blevet isoleret. Lukkede rum under vinduer i facaden fyldes med Perlite igennem et hul i sålbænken.

## Rejsegilde 17. august 2001

Den 17. august 2001 blev der holdt rejsegilde for bebyggelsen Borup Seniorby. Et længehus var på daværende tidspunkt så langt fremme i byggefasen, at det var muligt at få et godt indtryk af det færdige resultat. Ved den festlige lejlighed deltog mange af de kommende beboere, samt de udførende håndværkere og repræsentanter for byen Borup, se figur 37 og figur 38.



Figur 37. Rejsegildet for Borup Seniorby blev holdt på det tidspunkt, da det første længehus, vist bagerst, var meget tæt på at være færdigt. Byggeriets andet længehus var på daværende tidspunkt godt i gang, mens byggeriets tredje længehus stod for at blive påbegyndt.



Figur 38. Til rejsegildet deltog mange af de kommende beboere, udførende håndværkere samt repræsentanter for byen Borup.

## Isolering med stenuld fra Rockwool A/S 20.-21. august 2001

Isoleringen med Rockwool blev foretaget med Flexi A-batts. Loftet blev isoleret inden loftplader af gips blev sat op. Rockwool batts blev leveret som pakkede batts og tilskæring blev foretaget på byggepladsen. Tilretning af isoleringen blev foretaget i det lukkede loft ovenover lejlighederne, se figur 39, figur 40 og figur 41. På tilsvarende vis blev facaden isoleret med tilskårede batts forud for opsætning af vindgips. Figur 42 viser montering i ydervæg på et af de steder, hvor der er brug for små stykker isolering.



Figur 39. Rockwool batts tilskæres og monteres inden loftplader af gips sættes op.



Figur 40. Isoleringen rettes til på loftet over lejlighederne.



Figur 41. Loft isoleret med Rockwool batts.



Figur 42. Facaden isoleres udefra inden vindgipsen sættes op.

## Isolering med glasuld fra Isover Saint-Gobain A/S 2001

Isoleringen med Isover blev foretaget med formstykker. Loftet blev isoleret inden loftplader af gips blev sat op. Isover formstykker blev leveret som pakkeformede formstykker, og tilskæring blev foretaget på byggepladsen. På tilsvarende vis blev facaden isoleret med tilskårne formstykker forud for opsætning af vindgips. Isoleringsarbejdet med Isover blev foretaget af entreprenøren. Resultatet af isoleringsarbejdet ses på figur 10 og figur 11.

## Indblæsning af træfiberisolering fra Thermocell Danmark A/S primo september 2001

Træfiberisolering fra Thermocell er et løsfyldsisoleringsprodukt, fremstillet af frisk cellulose. Lejlighederne isoleret med træfiberisolering blev isoleret efter samme princip, som er beskrevet i afsnittet om Ekofiber.

På figur 43 ses en ydervæg med to huller i nærbillede, medens der blæses isoleringsmateriale ind i vægelementet gennem det ene hul. Det meste klares ved hjælp af en slange, men det kan være nødvendigt at fylde efter med hånden, især de steder hvor det er meget små rum, der skal fyldes, fx omkring døre og vinduer, se figur 44.

Indblæsning på loftet sker løst, med en overhøjde for at kompensere for sætning. Billedet i figur 45 illustrerer desuden, at isoleringsmaterialet ikke kommer ud af slangen i en lind strøm, men som løsrevne totter.



Figur 43. Træfiberisolering lægges i vægelementerne via en slange, som ved hjælp af et lufttryk pumper det findelte materiale frem.



Figur 44. Mindre hulrum isoleres både med fødeslange og ved håndkraft.



Figur 45. Træfiberisolering blæses ud på loftet og rettes af. Fødeslangen er ført gennem hoveddøren og trukket op gennem loftlemmen.

## Borup Seniorby primo september 2001

De første længehuse er færdigbygget og de første beboere flytter ind.



Figur 46. Et af de to første længehuse hvor indflytningen er påbegyndt.



Figur 47. På en god efterårsdag giver udestuen mulighed for at udvide boligens areal.



Figur 48. De enkelte lejligheder er forsynet med udestue og terrasse ud til fællesarealet. De enkelte lejligheder adskilles med læhegn velegnet til espalier.

## Isolering med hørisoleringen Heraflax importeret af HBC A/S primo september 2001

Hørisolering importeret af HBC blev leveret som formstykker med en tykkelse på 100 og 200 mm, og skåret til på byggepladsen. Hørfibre er meget stærke, hvilket betyder at tildannelse af hørmåtter foregår maskinelt. Opsætningen af hørmåtter udføres efter samme princip som mineraluldsmåtter. For lejligheder, der isoleres med formstykker, isoleres væggene, før plader af vindgips sættes op. Isolering med hørmåtter på loft udføres fra loftet i lukket loftrum. De følgende billeder viser tilskæring og indbygning af hørmåtter, se figur 49, figur 50 og figur 51.

Ved indbygningen tages der hensyn til de fugtfølere, der er anbragt til at følge udviklingen af fugtindholdet i væggene de kommende sæsoner.





Figur 49. Tilskæring af hørmåtter foretages med en elektrisk sav, som man normalt anvender til at skære tekstiler med.



Figur 50. Tilskæringen af hørmåtter foretages på byggepladsen.



Figur 51. Loft isoleret med hørmåtter.

## Borup Seniorby ultimo 2001

Byggeriet har nået sin afslutning, og de sidste beboere flytter ind i deres lejligheder.

# Anvendte isoleringsmaterialer

Dette afsnit indeholder en generel beskrivelse af de isoleringsprodukter, der er anvendt i byggeriet. De specifikke egenskaber, der karakteriserer de aktuelt anvendte produkter, er angivet i tabel 2.

Tabel 2. Specifikke karakteristika for de anvendte isoleringsprodukter (Oplysningerne stammer fra firmabrochurer over de forskellige produkter). <sup>2)</sup>

Produkt	Type Løsfyld/formstykker	Støttefibre Type og mængde i vægt %	Brandhæmmere Type og mængde i vægt % <sup>1)</sup>	Konserverings- middel Type og mængde i vægt %	Densitet kg/m <sup>3</sup> <sup>3)</sup>
Perlite 0515 SC	Ekspanderet perlit, løsfyld	-	-	-	50-90
Papiruld	Cellulose, løsfyld	-	Borsalte; 6 Aluminiumhydroxid; 9	-	42
Heraflax	Hør, formstykker	Polyesterfibre; 20	Ammoniumsforbindelser; 8	-	30
Dansk Naturisolering	Hør, formstykker	Polypropylen eller polyætylen 2,5-5	-	-	27-30
Ekofiber, vind	Cellulose, løsfyld	-	Borsalte; 16	-	65
Isodan	Cellulose, løsfyld	-	En lille mængde mineralske salte	En lille mængde mineralske salte	-
Thermocell	Træfiberisolering, løsfyld	-	Ammoniumpolyfosfat; 5	-	20-40
Isover	Glasuld, formstykker	-	-	-	15-24
Rockwool	Stenuld, Flexi A-batts	-	-	-	-

1) Det skal bemærkes at tilsætning af brandhæmmende stoffer ikke er nødvendig i de konstruktionstyper der er anvendt i det aktuelle byggeri.

2) Minustegn i et felt betyder at oplysningen er irrelevant for det pågældende produkt eller egenskaben er tilstrækkelig til at opfylde gængse krav.

3) Densiteten for papir- og celluloseuldprodukter afhænger af indblæsningsmetoden og er ikke blevet målt. Anførte densiteter er enten givet af producenten eller anbefalet af producenten.

## Generel beskrivelse

Beskrivelsen omhandler primært de ikke-mineraluldbaserede materialer, da formstykker fra Rockwool og Isover anses for at være velkendte.

## Materialeegenskaber - oversigt

Tabel 3 og tabel 4 giver en oversigt over væsentlige materialeegenskaber, der gør det muligt at sammenligne de forskellige materialer. Tabel 3 omhandler de varme- og fugtmæssige egenskaber, mens tabel 4 omhandler en række andre egenskaber.

Tabel 3. Isoleringens materialers egenskaber. Varmeledningsevne, fugtmæssige egenskaber (vanddampermeabilitet, kapillarsugning). Tomme felter betyder at oplysningerne ikke kunne findes. Den anførte varmeledningsevne er den, på det pågældende tidspunkt, af rådgiveren anvendte.

Materiale	Form	Varmeledningsevne, tørt materiale, praktisk værdi [W/(m K)] Placeret: hulmur-/loft	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Fugt	
				Vanddampermeabilitet <sup>2)</sup> 10-12 [kg/(Pa m s)]	Kapillarsugnings-evne [kg/m <sup>3</sup> ]
Papirisolering	Løsfyld	0,045-0,055 <sup>5)</sup>	32-65	150	>180
Træfiberisolering	Løsfyld	0,055 <sup>4)</sup>	20-40	100-150	>180 <sup>6)</sup>
Hør	Måtte	0,042-0,055 <sup>1)</sup>	27-30	110	100
Perlite	Løsfyld	0,045	50-90	160	2,5
Mineraluld	Måtte	0,039	16-45	125	2 - 60 <sup>3)</sup>

1) Heraflax, er under Europæisk Teknisk Godkendelse (ETA-98/009), 0,042/0,042; Dansk Naturisolering 0,055/0,055.

2) Værdier beregnet efter (EN ISO 12572, 2001). Materialets Z-værdi er bestemmes som forholdet mellem materialetykkelse og permeabilitet.

3) Glasuldsprodukter har en kapillarsugningsevne i størrelsesordenen 60 kg/m<sup>3</sup> hvilket er 30 gange større end stenuldsprodukter, (Kielsgaard Hansen et al., 1999).

4) Svenske værdier angives til 0,039-0,042.

5) Ekofiber 0,050/0,050; Isodan 0,050/0,045; Miljøisolering 0,050/0,055.

6) Antages værdi, (Kielsgaard Hansen et al., 1999).

Tabel 4. Isoleringens materialers egenskaber. Holdbarhed, lyd, brand, tilsætningsstoffer. Tomme felter betyder at oplysningerne ikke kunne findes.

Materiale	Holdbarhed fx biologisk nedbrydning	Lydabsorption + lydisolering Ja/nej	Brandklasse	Indhold af tilsætningsstoffer ( Ja / Nej )			
				Brandhæmmende	Mod biologisk nedbrydning	Fugtafvisende	Støttefibre/bindemiddel <sup>1)</sup>
Papirisolering	-	-	Brændbart <sup>2)</sup>	Ja	Ja	Nej	Nej
Træfiberisolering	-	-	Brændbart	Ja	Ja	Nej	Nej
Hør <sup>1)</sup>	Nej	Ja	Brændbart <sup>3)</sup>	Ja	Nej	Nej	Ja
Perlite	Ja	-	Ubrændbar	Nej	Nej	Ja	Nej
Mineraluld	Ja	Ja	Ubrændbar	Nej	Nej	Ja	Ja

1) Støttefibre eller bindemiddel tilsættes for at sikre formstabilitet; typisk benyttes polypropylen, polyætylen, polyesterfibre eller Bakelit, (kun for mineraluld).

2) Klassificeret som brandbart isoleringsmateriale, men er tilsat salte, som giver en flamme- og glødebeskyttelse. Ved brandpåvirkning frigives fugt fra saltene, som medfører en afkøling og forkulning. De tilsatte salte fordamper ikke med tiden, og den beskyttelse, som disse giver, nedsættes ikke med tiden.

3) Materialet kan brandhæmmes, leverandøren bør orientere ved levering i det enkelte tilfælde.

# Byggesagens forløb

## Isoleringsprodukter anvendt i byggeriet

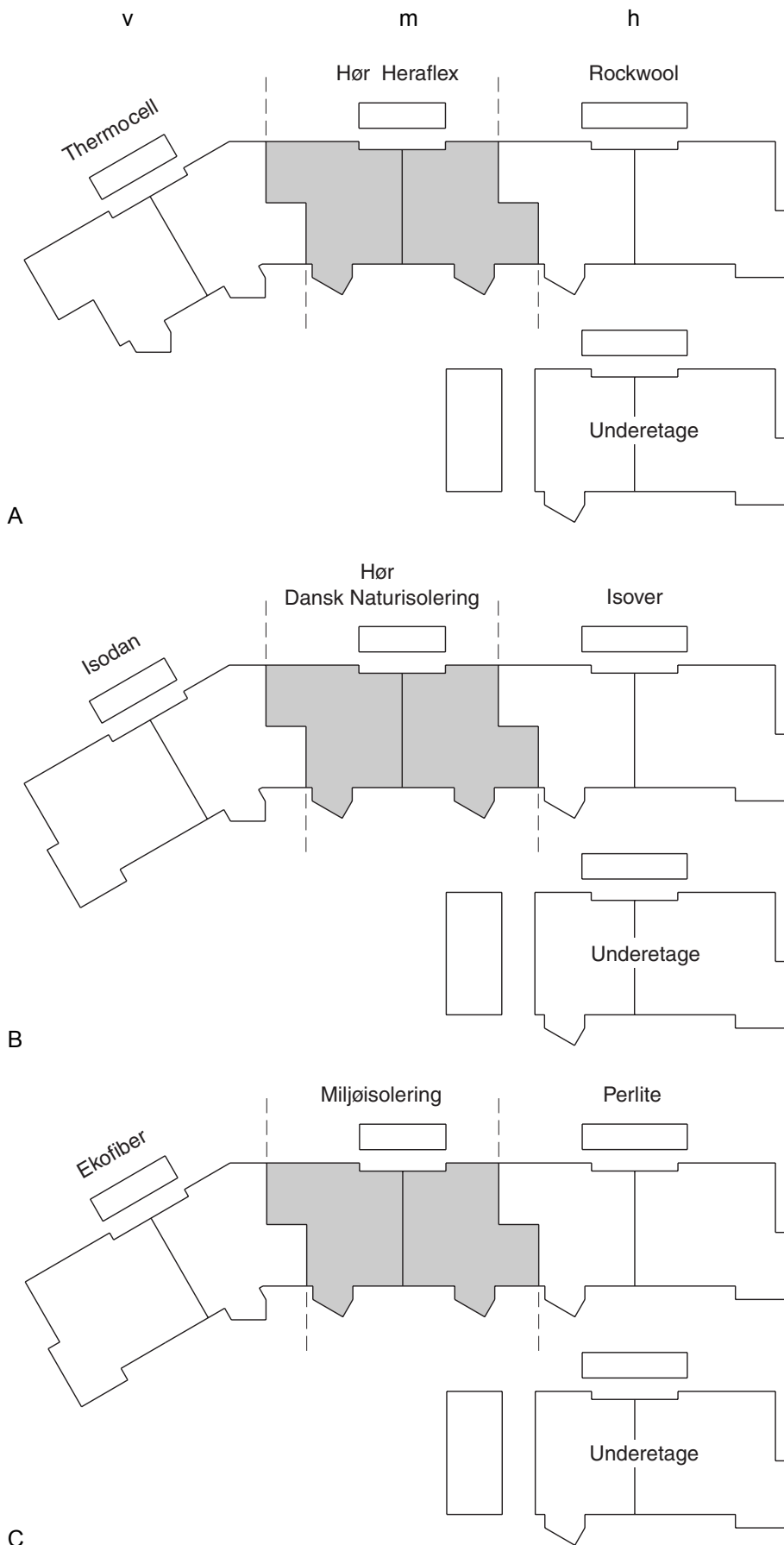
I beskrivelsen af byggesagens forløb fokuseres på de forhold, der vedrører indbygningen af de alternative isoleringsmaterialer. Mineraluldsbaserede isoleringsprodukter er anvendt i byggeriet på sædvanlig vis. Anvendelsen af Isover var en del af den oprindelige entrepriser, hvorfor isoleringsarbejdet med Isover blev foretaget af hovedentreprenøren.

## Ideoplæg

Formålet med demonstrationsprojektet var at få praktiske erfaringer under sammenlignelige forhold med så mange isoleringsprodukter som muligt. Der blev derfor i første omgang lagt op til, at 12 forskellige produkter skulle indgå i projektet. I en dialog med det faglige udvalg under Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering blev dette antal reduceret til de tidligere omtalte 9 produkter. De tre produkter som blev valgt fra var:

- Granuleret hør som løsfyld (importeret fra Finland)
- Rockwoolgranulat som løsfyld
- Termoträ som løsfyld.

På figur 52 er vist de 9 sektioner i byggeriet, hvor de valgte isoleringsprodukter blev anvendt. Underetage samt gavle er isoleret med Isover.



Figur 52 Placeringen af de 9 isoleringsprodukter i byggeriet. Byggeriets underetager er isoleret med Isover.

## Rammeaftale

Beløbsrammen for byggeriet er efter aftale mellem bygherre og entreprenør:

- beløbsramme for alment byggeri + 10 % + ekstraudgift til alternativ isolering herunder de konstruktionsmodifikationer, som anvendelse af de enkelte produkter måtte kræve.

I tabel 5 er angivet priserne eksklusiv moms for isoleringen af de 9 sektioner, som er vist i figur 52. Tabel 5 angiver endvidere isoleringens placering i byggeriet. ifølge definitionerne angivet øverst i figur 52, betegnes sektionerne til højre med et h, sektionerne i midten med et m og sektionerne til venstre med et v. Endvidere er bebyggelsen inddelt i tre længehuse angivet med A, B, C.

Alle m-sektioner har samme udformning og alle h-sektioner har samme udformning. Den ene v-sektion, som er isoleret med Thermocell løsfyld, har et indadgående hjørne og en glasdækket udestue til forskel fra de to andre i samme sektion, se figur 52.

Tabel 5. Priser for isolering af de i figur 1. viste sektioner angivet med betegnelsen henholdsvis A, B, C for længehuset og henholdsvis v, m og h for sektionerne.

Materiale	Placering	Pris eksklusiv moms (kr.)
Nordisk Perlite (løsfyld)	C, h	51.504 <sup>1)</sup>
Rockwool (formstykker af mineraluld)	A, h	25.589
Isover (formstykker af mineraluld)	B, h	19.000 <sup>2)</sup>
Miljøisolering. (papir løsfyld)	C, m	27.850
Heraflax (formstykker af hør)	A, m	40.840
Dansk Naturisolering (formstykker af hør)	B, m	26.910
Ekofiber (papir løsfyld)	C, v	33.289
Thermocell (cellulose løsfyld)	A, v	37.980
Isodan (papir løsfyld)	B, v	27.140

1) Prisen inkluderer ekstraregninger for afdækning af Perliteisoleringen 1 m omkring gangbro og loftlemme og efterfyld med 4,8 m<sup>3</sup> som følge af udsivning, på henholdsvis 3.000 kr. og 5.504 kr. Prisen er ikke repræsentativ for isolering med Perlite, da forudsætningerne for arbejde (tætte konstruktioner) ikke var opfyldte.

2) Isoleringsarbejdet er udført af hovedentreprenøren i modsætning til isoleringen af alle de øvrige sektioner, som er udført af forskellige underentreprenører.

## Projektering

Udformningen af konstruktionerne blev varetaget af arkitekten, mens varmetabsberegningerne og bestemmelsen af de nødvendige isoleringstykkelser blev foretaget af den rådgivende ingeniør. Den rådgivende ingeniørs beregninger skulle sikre at varmetab var ens for alle sektioner i byggeriet. Begge disse aktiviteter blev udført under tidspres. Forudsætningerne for at anvende de valgte isoleringsmaterialer blev ikke efterlevet tilfredsstillende. Disse forudsætninger vedrører dels kravene til densiteten i løsfyldsisolering, så man undgår sammensynkning af isoleringsmaterialet, og dels krav til konstruktionernes udformning afhængig af det anvendte isoleringsprodukt. Specielt for isolering med perlit var kravene til konstruktionernes tæthed ved isoleringsarbejdets påbegyndelse ikke tilstrækkelig, på trods af at alle parter ikke kunne undgå at vide, at isolering med perlit kræver "tætte" hulrum.

## **Byggetilladelser**

Byggetilladelsen til byggeriet på Møllevej 13 blev givet i form af tre selvstændige byggetilladelser. Byggetilladelsen til de to første længehuse blev givet den 11. december 2000. Byggetilladelsen til det sidste længehus blev givet den 5. april 2001. Den sidste byggetilladelse til bebyggelsen på Møllevej 13 blev bevilget den 16. august 2001. Denne tredje byggetilladelse omfattede bebyggelsens fælleshus.

Sammenholdes byggeriets tidlige fremdrift med de bevilgede byggetilladelser til byggeriets opførelse, blev den første byggetilladelse bevilget meget tæt på byggeriets påbegyndelse. De to øvrige byggetilladelser blev bevilget under byggeriet, ligeledes tæt på disse etapers påbegyndelse.

## **Indbygning af isolering**

Der er anvendt 9 forskellige isoleringsprodukter i byggeriet. I beskrivelsen af indbygningen af de forskellige produkter skelnes der mellem isolering med formstykker og løsfyldsisolering.

For alle produkters vedkommende kan der være støvproblemer, og for nogle kan der være hudgener forbundet med håndteringen

Isolering med formstykker er teknisk set uproblematisk, hvis formstykkerne har de rette dimensioner. Fra et indbygningssynspunkt, adskiller de enkelte produkter sig kun fra hinanden ved, hvor lette de er at tilskære.

Ved løsfyldsisolering er der flere forhold, der skal tages i betragtning. For et enkelt produkts vedkommende (perlit) bør der opstilles specifikke krav til tætheden af de konstruktioner, der skal indeholde isoleringen, og da perliten uanset kornstørrelsen altid indeholder en meget finkornet fraktion, bør kravet, som formuleret af producenten, være, at konstruktionerne skal være tætte. Ved den aktuelle anvendelse af perlit var konstruktionen ikke tilstrækkelig tæt. Der forekom udsivning, hvorfor en efterfyldning måtte foretages, efter at konstruktionen var yderligere tætnet. For alle produkters vedkommende er der ved isolering af vægge krav til løsfyldets pakningstæthed, således at sammensynkning, og den deraf medfølgende formindskelse af isoleringsevnen i væggen som helhed, kan undgås.



## Tilknyttede undersøgelser

Udover en løbende registrering af fugtindhold og temperatur i isoleringen, samt af relativ luftfugtighed og temperatur udenfor boligerne og i boligerne, undersøges byggeriet for kuldebroer forårsaget af eventuelle sætninger i isoleringen efter 2 sæsoners anvendelse. Eventuel sætning af isoleringen registreres ved at foretage termografering af alle ydervægge.

### Temperatur og fugt

I ydervæggene er der anbragt temperatur- og fugtmålere, således at temperatur og fugtindholdet på den varme og den kolde side af isoleringen kan registreres. For at have fuld klarhed over fugtpåvirkningerne af isoleringen i de enkelte vægge måles den relative fugtighed og temperaturen ligeledes udendørs såvel som indendørs. Alle målinger registreres digitalt.

### Kuldebroer

Der foretages endvidere termografiske målinger af ydervæggene. Termografering er et effektivt værktøj, som gør det muligt at foretage berøringsfrie temperaturmålinger af en flade. Ved korrekt anvendelse af apparaturet kan kuldebroer afsløres.

Resultater fra termograferingen og for fugt- og temperaturforholdene i konstruktionerne i byggeriet vil først foreligge 2004 og vil blive beskrevet i en særskilt rapport.

### Arbejds miljøundersøgelser

Oprindeligt var det planlagt, at Arbejds miljøinstituttet, AMI, mens isoleringsarbejdet foregik, skulle følge de enkelte håndværkere med måleudstyr, for at måle den støvmængde der opstår, når der udføres isoleringsarbejde. Af praktiske grunde foregik disse målinger *ikke* i Borup, men ved isolering af en fuldskalamodel af en sektion af byggeriet opført i en forsøgshal hos By og Byg, da gentagne udsættelser af byggeprocessen i Borup ikke var foreneligt med AMI's arbejdsrutiner. Resultatet af disse målinger er publiceret af AMI i (Breum et al., 2002).

# Diskussion

Under Energistyrelsens udviklingsprogram, Miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering, er der udarbejdet rapporter med tilhørende sammenfatninger og kommentarer, som er frit tilgængelige.

Litteraturen kan findes på hjemmesiden [www.alternativisolering.dk/resumeer](http://www.alternativisolering.dk/resumeer).

Den refererede litteratur er et uddrag af den samlede tilgængelige litteratur, og omfatter kun forhold, som kunne tjene til at sikre, at demonstrationsprojektet kom til at afspejle en fornuftig anvendelse af de forskellige isoleringsmaterialer, som projektet indeholder.

Opmærksomheden henledes på, at der fortsat genereres viden og litteratur i forbindelse med Energistyrelsens udviklingsprogram, og at denne litteratur fortsat gøres tilgængelig på By og Bygs hjemmeside.

I litteraturen benyttes betegnelsen alternativ isolering ofte. Derved forstås, som regel, isoleringsarbejde udført med isoleringsmaterialer, der ikke er mineraluldsbaserede.

Den løbende vidensopbygning har resulteret i en løbende tilpasning af regler, ændrede krav, måden hvorpå de enkelte isoleringsmaterialer bedst håndteres og hvorledes de enkelte materialer bedst opfylder specifikke formål og anvendelser.

Et eksempel på denne udvikling er fastsættelsen af det praktiske varmeledningstal for en del af de undersøgte isoleringsmaterialer. Denne fastsættelse er relateret til såvel ændringer i DS 418, et øget krav til dokumentation og den fremtidige CE-mærkning af produkter.

Den konstruktive udformning af lofter og vægge, med adgang til boligerens loft, viste sig at være hensigtsmæssig. Væggene, omfattet af undersøgelsen, blev udformet uden toprem, således at der er forbindelse mellem væg- og loftisolering, hvorved en kuldebro bør kunne undgås. Med dette konstruktionsprincip kunne de enkelte isolatører af løsfyldsisolering undgå at foretage indblæsninger udefra med undtagelse af vægsektioner under brystninger og andre forhindringer.

Isoleringsarbejdet med måtter adskilte sig ikke væsentligt fra en traditionel isoleringsopgave.

Anvendelsen af materialer, som den enkelte aktør ikke har anvendt før, må forventes at kræve en speciel opmærksomhed, således at et tilstrækkeligt kendskab tilegnes. Et tilstrækkeligt kendskab må anses for at være opnået, når den enkelte er blevet fortrolig med materialets muligheder og begrænsninger. På den baggrund er det muligt at fokusere på de forhold i byggeprocessen som skal beskrives yderligere i forhold til hvad der må forventes at være normal praksis og håndværkerne bekendt.

Entreprenørernes manglende kompetence indenfor anvendelsen af en række af de anvendte isoleringsprodukter viste sig ved, at konstruktionerne blev udformet på "normal" vis uden hensyntagen til materialernes specifikke ydeevne og derfor ikke var tilstrækkeligt tætte til at indeholde løsfyldsisoleringsmaterialerne. De involverede parters manglende interesse i at tilegne sig tilstrækkelig kendskab til de enkelte produkter, og derigennem udforme tilstrækkelige ydeevnekrav til konstruktionerne, var generelle.

Det er et generelt krav, at konstruktioner i klimaskærmen skal være lufttætte, for at være velegnede til enhver form for isolering. Både for at forhindre fugtophobning i den isolerede del af klimaskærmen, men også for at forhindre luftgennemstrømning i den isolerede del af klimaskærmen, som vil reducere isoleringsevnen af isoleringen.

For løsfyldsprodukter blev tætninger foretaget løbende af isolatøren med mineraluldsbaseret kantisolering omkring døre og vinduer. Tætningen mellem vindgips på væggen og vindbrættet, som er placeret mellem spærene, blev udført med kraftig lærredstape. Gennem et samarbejde mellem entreprenøren og isolatøren måtte konstruktionerne med Perlite yderligere tætnes og efterfyldes, da konstruktionerne under indblæsningen viste sig at være utætte.

Denne efterfyldning resulterede i en væsentlig merpris for isoleringsmaterialet Perlite, som derfor endte med at blive det dyreste produkt, se tabel 5. Det næstdyreste blev det tysk producerede isoleringsprodukt Heraflax. Det billigste isoleringsprodukt var Isover. Den anførte pris for Isover er entreprenørens pris for isoleringsarbejdet, som må antages at indeholde stordriftsfordele.

Sammenholder man tidspunktet for byggeriets igangsættelse med tidspunkter for modtagelse af tilladelse til at bygge, ses det, at disse var omtrent samtidige. Det forhold, at tegninger og tilladelser til byggeriet ikke forelå væsentlig tidligere og forud for byggeaktiviteten har været til gene for byggeriet og vanskeliggjort såvel arkitektens, den rådgivende ingeniørs, underentreprenørernes som hovedentreprenørens opgave.

Overordnet set forløb byggesagen, set fra By og Bygs synspunkt, ikke tilfredsstillende, da megen energi blev brugt på ufrivillige udbedringer. Selvfølgelig de isolerede konstruktioner i det færdige byggeri fremstår dog umiddelbart som tilfredsstillende. Hvor tilfredsstillende det færdige byggeri i virkeligheden er, vil dog først vise sig, når de tilknyttede undersøgelser er foretaget.

# Litteratur

Andersen, T., & Skibstrup Eriksen, S. (2000). *Alternativ isolering i bygninger: Måling på papirisolering, fåreuld, hør og Perlite* (SBI-meddelelse 128). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Breum, N. O., Schneider, T., Flyvholm M., Jørgensen, O., Rasmussen, T. V., & Skibstrup Eriksen, S., (2002). "Luftforureninger ved anvendelse af alternative isoleringsmaterialer", AMI rapport NR. 57, ISBN 87-7904-099-3, Arbejds miljøinstituttet.

Arbejdsgruppen for alternative isoleringsmaterialer. (1996). *Alternativ isolering*. København: Forbundet Træ-Industri-Byg i Danmark.

Baadsmann, H. (1999). *Metodeforbedring af papiruldsisolering: Afrapportering af projektets stadie pr. 31. august 1999*. Skanderborg. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/papiruldsisolering.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/papiruldsisolering.pdf).

Christensen, F., & Danø, E. (2000). *Brandmodstandsbidrag for alternative isoleringsmaterialer*. Hvidovre: Dansk Brandteknisk Institut. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/brandmodstandsbidrag.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/brandmodstandsbidrag.pdf).

Christensen, F., & Danø, E. (2001). *Brandmodstandsbidrag for alternative isoleringsmaterialer med fastholdelsessystem*. Hvidovre: Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/medfasth.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/medfasth.pdf).

Christensen, G. (1999). *Afcheckning af fugtmåleceller*. Virum: Bygge- og Miljøteknik Aps. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/fugtmaaleceller.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/fugtmaaleceller.pdf).

Dansk Standard. (2001). *Beregning af bygningers varmetab - Sammenskrivning af DS 418:1986 med tillæg 1-4 samt rettelsesblade* (5. udg. sammenskrevet version) (DS 418+Till.1-4+Rettelser). København.

Danø, E., Tofte, S., & Ditlev, J. (2000). *Bygningsdele med celluloseuld og høruld: Eksempler*. København: Dansk Brandteknisk Institut, & Bygge- og Miljøteknik ApS.

de Place Hansen, E. J. (1999). *Produktionsprocesser og hygrottermiske egenskaber for isoleringsmaterialer – Leverandør/producentoplysninger: Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer* (Series R No 57). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/R57.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/R57.pdf).

de Place Hansen, E. J., & Kielsgaard Hansen, K. (1999a). *Sorptionsisotermer: Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer* (Series R No 58). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/R58.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/R58.pdf).

de Place Hansen, E. J., & Kielsgaard Hansen, K. (1999b). *Vanddampermeabilitet (kopforsøg): Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alter-*

*native isoleringsmaterialer* (Series R No 59). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/R59.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/R59.pdf).

Egholm, K., Hansen, H., Pedersen, C., Vissing Pedersen, L., & Rungø, H. (2000). *Konsekvenser for murværkskonstruktioner ved anvendelse af miljø- og arbejdsmiljørigtige isoleringsmaterialer*. Hasselager: Teknologisk Institut, Murværk. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/murvaerk.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/murvaerk.pdf).

Ekofiber. (2001). *Genanvendelse: Ekofiber er en kvalitet isolering som ikke skal kasseres eller deponeres som affald!* Produktblad. Strøby. Lokaliseret 20010329 på: [www.ekofiber.dk/tekst/Ekomiljø.doc](http://www.ekofiber.dk/tekst/Ekomiljø.doc) (filen er ej længere tilgængelig).

Engberg Pallesen, B. (1999). *Formstykker baseret på hør- og hampefibre: Slutrapport*. Århus: Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/hampefibre.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/hampefibre.pdf).

Engberg Pallesen, B. (2001). *Fixering af formstykker baseret på hør- og hampefibre: Slutrapport (2. rev. udg.)*. Århus: Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/fixering.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/fixering.pdf).

Engelund, B., & Cohr, K.-H. (1999). *Kortlægning og evaluering af toksikologiske data for organiske fibre, der anvendes som isoleringsmaterialer*. Hørsholm: Dansk Toksikologi Center. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/toksiko.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/toksiko.pdf).

Esbensen Rådgivende Ingeniører, & Sonnerup Eco Adviser, & HBC. (1999). *Miljø- og arbejdsmiljøvenlig bygningsisolering af fåreuld og hør*. Feasibilitetsstudier. København. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/faareuld.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/faareuld.pdf).

Hjorslev Hansen, M., & Skibstrup Eriksen, S. (2000). *Brug af alternativ isolering i Finland og Sverige* (SBI-meddelelse 127). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

International Organization for Standardization, ISO. (2001). *Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties* (ISO 12572:2001). Geneve.

Jørgensen, O., & Schneider, T. (1999). *Undersøgelse af mobilt støv i afstøvet papiruld*. København: Arbejdsmiljøinstituttet. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/Mobilt\\_stoev.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/Mobilt_stoev.pdf).

Kielsgaard Hansen, K., & de Place Hansen, E. J. (1999). *Kapillarsugning: Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer* (Series R No 60). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/R60.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/R60.pdf).

Kielsgaard Hansen, K., de Place Hansen, E. J., & Padfield, T. (1999). Measured moisture properties for alternative insulation products. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Göteborg, Sweden, August 24-26, 1999. Vol. 2.* (pp. 121-128). Göteborg: Chalmers University of Technology.

Kielsgaard Hansen, K., de Place Hansen, E. J., Padfield, T., Rode, C., & Kristiansen, F. (1999). *Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer: Hovedrapport* (Series R No 62 = Sagsrapport SR-0003). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, & Danmark Tekniske Universitet, Institut for Bygninger og Energi. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/62.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/62.pdf).

Kristiansen, F., & Rode, C. (1999). *Varmeledningsevne ved forskellige fugtforhold: Del af Varme- og fugttekniske undersøgelser af alternative isoleringsmaterialer* (Sagsrapport SR-0004). Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bygninger og Energi.

Krogh, H., Rasmussen, J. O., & Nielsen, P. A. (2001). *Miljøvurdering af isoleringsmetoder: Miljødata for isoleringsprodukter og miljøprofiler for lette ydervægge* (By og Byg Dokumentation 012). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Lund Nielsen, B., & Pedersen, M. (1999). *Alternativ isolering i Tyskland*. Århus: Teknologisk Institut, Byggekomponenter. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/Tyskland.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/Tyskland.pdf)

Messerschmidt, B., Hellensberg, C., & Danø, E. (1999). *Alternative isoleringsmaterialer: Sammenlignende prøvninger efter NT FIRE 035 flamning og glødebrand: 2. del af projektet Sammenligning af isoleringsmaterialers brandtekniske egenskaber*. Hvidovre: Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut.

Messerschmidt, B., Nisted, T., Beckerlee, J., & Danø, E. (1998). *Alternative isoleringsmaterialer: Sammenlignende prøvninger efter ISO 5660 Cone Calorimeteret: 1. del af projektet Sammenligning af isoleringsmaterialers brandtekniske egenskaber*. Hvidovre: Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut.

Møller Andersen, B. (in press). *Arkitektoniske og byggetekniske løsninger ved anvendelse af "nye" materialer* (foreløbig titel) (By og Byg Resultater xxx). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Nicolajsen, A. (2001). *Papirisolering: Varmeisoleringsevne målt med varme-strømsmåler* (By og Byg Dokumentation 009). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Peuhkuri, R. (2000). *Isoleringsmaterialers fugttekniske egenskaber i klimaskærmen*. Eksamensprojekt. Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Bygninger og Energi.

Poul Lodbergs Tegnesteue. (2000). *Børnehaven med miljørigtig isolering*. Åbyhøj. Lokaliseret 20020306 på: [www.ens.dk/graphics/isolering/boernehaven.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/boernehaven.pdf)

Rasmussen, T. V. (2002). *Modelling Settling of Loose-fill Insulation in Walls, Part II, Determination of Coefficients*. Journal of Thermal envelope & Building Science. Vol. 25 No. 3. (January).

Rasmussen, T. V. (2001). *Sætningsfri indblæsning af løsfyldsisolering i vægge* (By og Byg Dokumentation 011). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Rasmussen, T. V. & Nicolajsen, A. (2004). *Målinger på alternative isoleringsmaterialer* (By og Byg Dokumentation 058). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Schneider, T. (1999). *Forekomst af bor i indeklimaet: Et pilotstudie*. København: Arbejds miljøinstituttet. Lokaliseret 20020306 på:  
[www.ens.dk/graphics/isolering/bor\\_i\\_indeklimaet.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/bor_i_indeklimaet.pdf).

Skov, C. (1999a). *Afstøvning af Papiruld: Slutrapport*. Hillerød: Miljø Isolering ApS. Lokaliseret 20020306 på:  
[www.ens.dk/graphics/isolering/afstoevning.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/afstoevning.pdf).

Skov, C. (1999b). *Formstykker af Papiruld: Slutrapport*. Hillerød: Miljø Isolering ApS. Lokaliseret 20020306 på:  
[www.ens.dk/graphics/isolering/formstykker.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/formstykker.pdf).

Skov, C., & Dollerup, H. (under udarbejdelse). *Substitution af bor - afprøvninger*. Hillerød: Miljø Isolering ApS.

Statens Byggeforskningsinstitut. (2001). *Præsentation af Borup Seniorby*. Hørsholm. Lokaliseret 20020306 på:  
[www.alternativisolering.dk/borup\\_seniorby](http://www.alternativisolering.dk/borup_seniorby).

Stokbæk, K. (1999). *Praktisk varmetab ved almindelige isoleringsmetoder*. Vallensbæk Strand: KS-Byggeteknisk Service. Lokaliseret 20020306 på:  
[www.ens.dk/graphics/isolering/Praktisk.pdf](http://www.ens.dk/graphics/isolering/Praktisk.pdf).

Varmeisoleringskontrollen, VIF. (2001). *Produktoversigt*. Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer, VIF. Hørsholm. Lokaliseret 20020206 på: <http://www.vik.dk/html/indhold.htm> (nedlagt)

# Summary

## By og Byg Results 036: Lessons learnt from using alternative insulating materials in practice

This report describes the experience that was gained by following the construction process of Borup Seniorby in Borup. The buildings look ordinary from the outside, but the buildings of Borup Seniorby demonstrate and at the same time document the use of a variety of different materials used for thermal insulation. The materials used are as well new as conventional materials sold on the Danish market and used for thermal insulation.

## Literature

The report outlines the knowledge of the use and behaviour of materials used for thermal insulation. The literature referenced was prepared in connection with the programme "Miljø- og arbejdsmiljørigtig isolering" (development programme on environmentally sound insulation materials). All reports related to this programme can be found on the web-site [www.alternativisolering.dk/resumeer](http://www.alternativisolering.dk/resumeer).

The literature referred to is an extract of the available literature.

## Experience

The experience gained from the construction of Borup Seniorby was reported together with descriptions of how the individual materials were handled on site. Nine different materials were handled on site. These materials were either loose-fill materials or products of a fixed shape. The aim of the observations was to answer the following questions; i) how easy is it to work with the individual material on site. ii) can work on site be carried out safely and reliably. iii) are some of the materials more suitable for one use than others and does the use of some of the included materials require the need for special preperformance regulatory activities.

## Related work

Demonstrating the characteristics of the insulation materials, the temperature and moisture conditions inside the materials were registered outdoors as well as indoors. Thermographic observations from all exterior walls will also be reported and the results of these observations will be reported in a following DBUR report. Furthermore it was investigated whether there is environment inconvenience connected with the work of handling the materials on site. These investigations did not take place on site but took place working on a full-scale model of a section of the building set up at the DBUR laboratory. Results are presented in the report of (Breum et al., 2002).



## Conclusion

The report outlines the knowledge gained from the literature prepared in connection with the programme "Miljø- og arbejdsmiljørigtig isolering". This literature is an extract of the available literature. The literature describes the use of and characteristics of the used materials which could have solved some of the problems on site. Problems on site could have been solved early in the process if the individual actors in the building process had acquired this information in advance. The project suffered from lack of interest in using non-conventional materials. Useful performance-based descriptions were not prepared prior to the design of the elements in the building that used new materials. As a consequence, the design of the buildings was carried out as usual.

The lack of design was obvious when loose-fill was put into position. Loose-fill was filled in, and leaks had to be continuously stopped. Using mineral-based loose-fill a refill of the material was necessary after carefully examining and stopping leaks in the construction. The designed access to the outside walls and attic with access from each apartment was shown to be very useful.

The work with materials of a fixed shape was carried out in a traditional way.

Through out the period of building the official licence was given nearly at the same time as and the actual process was going on at the site. These conditions made the process on site quite difficult for the contractor.



Borup Seniorby er et demonstrationsbyggeri hvori der både er anvendt alternative isoleringsmaterialer og mineraluld. Denne rapport introducerer byggeriet og redegør for byggeprocessen samt håndteringen af de valgte isoleringsprodukter. Ni forskellige produkter, enten i form af løsfyld eller formstykker, er demonstreret anvendt. Der redegøres for hvor lette de enkelte materialer er at arbejde med, om isoleringsarbejdet kan udføres på en pålidelig måde, og om de enkelte isoleringsmaterialer egner sig bedre til nogle typer opgaver end andre.

1. udgave, 2004  
ISBN 87-563-1202-4  
ISSN 1600-8049

