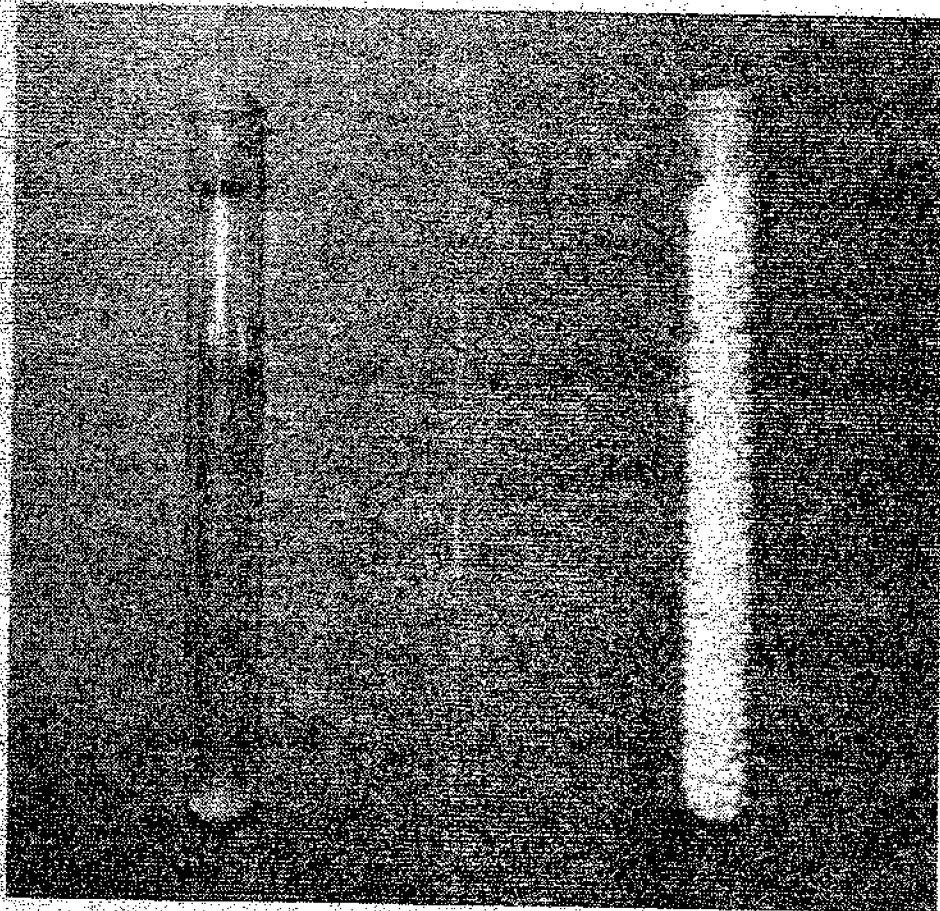


Axel Gaarslev og Frits Gravesen

LAVTEKNOLOGISK PRODUKTION AF CELLEPLASTISOLERING I
GRØNLAND



PROJEKTET:
"LOKAL BOLIGPRODUKTION I GRØNLAND"
Instituttet for Anlægsteknik
og
Instituttet for Husbygning
Danmarks tekniske Højskole

Institut for Planlægning

Byggeproduktion og -ledelse

DTU



0007000000

FORORD

Grønland var som bekendt en dansk koloni indtil 1953, hvor Grønland blev en del af riget, for herefter i 1979 at få sin hjemmestyreordning.

I nyere tid har byggeriet i Grønland altid været klart styret fra og domineret af Danmark, og selvom boligområdet også fortsat er et statsanliggende og således ikke omfattet af hjemmestyreordningen, er der efter ordningens indførelse opstået et stærkt ønske i Grønland for at ændre denne tilstand.

Ved hjemmestyrets boligkonference i Sisimiut i 1981 kom det klart frem, at man fra grønlandsk side ønskede større indflydelse på området og ønskede effektive midler mod: den voksende boligmangel, de stigende boligpriser, den væsentlige grønlandske underbeskæftigelse i sektoren samt mod den høje importrate af byggematerialer og know-how.

For at fremme en sådan udvikling blev der ultimo 1981 indgået en samarbejdsaftale mellem hjemmestyret og Danmarks tekniske Højskole.

Hovedmålet for dette samarbejde har været at udvikle bygningskomponenter og konstruktionsprincipper, hvori disse anvendes, og som er egnede for lokalproduktion i mindre og afsides liggende by- og bygdeområder med en befolkning med forholdsvis lille eller ingen teknisk og håndværksmæssig know-how.

Som led i projektet er der arbejdet med 2 hovedtyper af bygningskomponenter: en byggeblok fremstillet af lokale grønlandske materialer og et simpelt stressed-skin træelement af krydsfiner. Herudover er der udviklet en metode til simpel, lokalproduktion af celleplastisolering.

Et andet vigtigt led i projektet har været at beskrive de udviklede bygningskomponenters anvendelsesmuligheder, fra selvbyggerhuse og fangsthytter i bygder og yderdistrikter over småhusbyggeri til koncentrerede boligformer i bymæssig bebyggelse.

I sommeren 1983 er der herudover indledt en række forsøgsbyggerier for i praksis at afprøve de udviklede bygningskomponenter og konstruktionsprincipper.

Som led i projektet bliver der løbende udgivet rapporter mv. om forløbet. Rapporteringen kan opdeles i følgende grupper:

(a) Generelle rapporter om projektets udvikling, status og planer.

Disse rapporter er primært beregnet for en løbende orientering af hjemmestyret og de grønlandske kommuner, men udsendes også til en række andre instanser i Grønland og Danmark. Disse rapporter har såvel grønlandsk som dansk tekst.

(b) en række rent tekniske rapporter om udvikling, produktion, økonomi og anvendelsesmuligheder af de forskellige bygningskomponenter, der er udviklet.

Denne rapportserie henvender sig primært til en teknisk kreds og udsendes til primært teknikere i Grønland og Danmark. Rapporterne er udformet på dansk.

(c) en række populærvidenskabelige beskrivelser af projektet.

Disse beskrivelser er primært beregnet for en offentlig orientering i Grønland om projektet. Beskrivelserne er normalt på grønlandsk, men tilsvarende dansksprogede orienteringer er også udsendt.

En ajourført fortegnelse over ovennævnte publikationer vil kunne fås ved henvendelse til institutterne.

København december 1983

Frits Gravesen

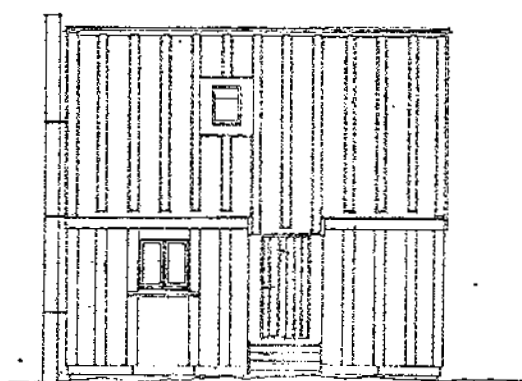
Axel Gaarslev

INDHOLDSFORTEGNELSE

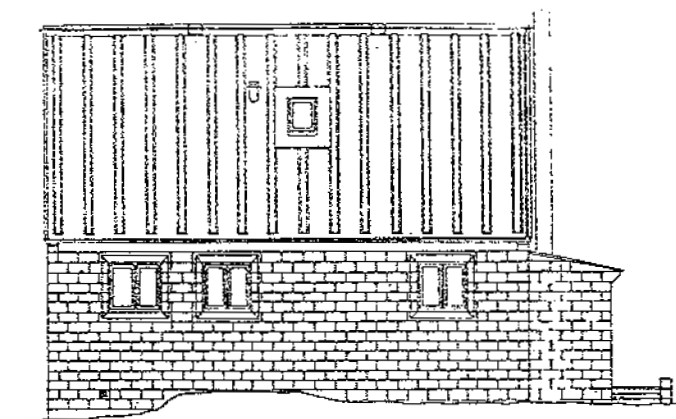
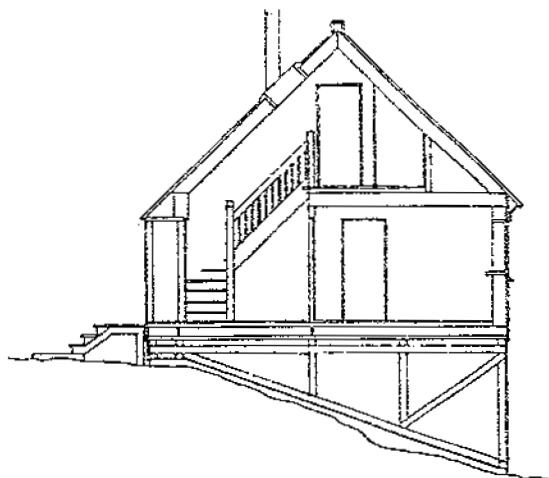
FORORD	i
1 INDLEDNING	1
2 KLASSIFIKATION AF PLASTTYPER	6
3 CELLEPLAST	10
3.1 GENERELT	11
3.2 CELLEPLAST-TYPER, BRUGSMÆSSIGE EGENSKABER . . .	15
3.3 CELLEPLAST-TYPER, PRODUKTIONSMÆSSIGE FORHOLD .	23
4 VALG AF CELLEPLASTTYPE TIL ISOLERING I GRØNLAND . .	27
5 PRODUKTION AF POLYSTYRENISOLERING LOKALT I GRØNLAND	31
5.1 GENERELT OM PRODUKTIONEN	32
5.2 PRODUKTETS FYSISKE EGENSKABER OG SIKKER- HEDSMÆSSIGE FORHOLD	38
5.3 DIMENSIONERING OG UDFORMNING AF EKSEMPLARISK PRODUKTIONSANLÆG	45
5.4 PRODUKTETS ANVENDELSESMULIGHEDER OG ØKONOMI .	49
5.5 PRØVEPRODUKTION I KØBENHAVN	51
6 KONKLUSION	60
7 REFERENCER	63
8 BILAG	66
8.1 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPER	67
8.2 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS TILSÆTNINGSSTOFFER	68
8.3 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS MEKANISKE EGEN- SKABER	69
8.4 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS KLIMATEKNISKE EGENSKABER	70
8.5 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS BRANDTEKNISKE FORHOLD	71
8.6 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS PRODUKTIONSTEK- NISKE OG TOKSIKOLOGISKE FORHOLD	72
8.7 BESKRIVELSE AF SKUMMEKASSE	73

Nærværende arbejde er udført som led i udviklingen af to konstruktionsprincipper for byggeri i Grønland, et der baseres på lokalt producerede stressed-skin træelementer, og et baseret på lokalt fremstillede soil-cement byggeblokke. Byggesystemerne som sådant er generelt omtalt i rapporten: "Oplæg til rejse i Grønland, foråret 82", elementernes udformning og produktion i rapporten: "Konstruktion og lokalproduktion af stressed-skin træelementer i Grønland" og byggeblokkenes sammensætning og produktion i: "Lokalproduktion af soil-cement byggeblokke i Grønland".

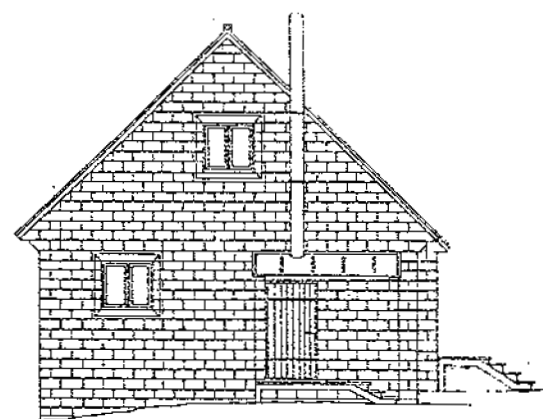
I førstnævnte rapport illustreres det, hvorledes man baseret på en række simple, standardiserede træelementer kan opføre en varierende række af boligformer med varierende lejlighedsstørrelse, og hvordan der kan foretages en tilpasning til varierende terrænforhold, og ligeledes hvordan tilsvarende boligformer kan opbygges af lokalt producerede byggeblokke. Eksempler herpå er vist nedenfor.



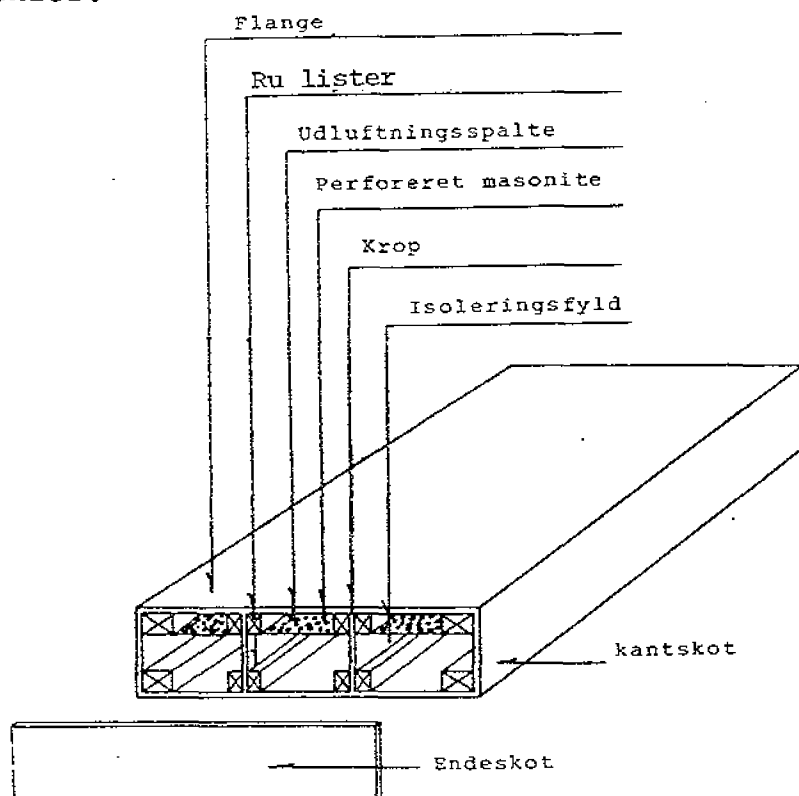
1½ etage bygdehus af elementer
- facade og snit



1½ etage byhus af byggeblokke
- facade og gavl



Som nævnt indeholder den anden citerede rapport en beskrivelse af selve elementerne. En principskitse af disse er vist nedenfor.



Elementerne kan kort karakteriseres således:

Flangepladerne er normalt udført af 12,5 mm krydsfiner.

Kroppene er opbygget af 12,5 mm krydsfiner med påsømmede lister.

Alle elementer er forsynet med længde- og kantskot.

Alle samlinger er udført med søm.

Endvidere er alle elementer med en varmeisolerende funktion forsynet med en dampspærre (plastfolie). Alle elementer mod det fri er forsynet med en ventileret klimaskærm. Indvendig er elementerne beklædt med gips.

Der arbejdes med følgende typer af elementer:

Facadeelementet har typisk dimensionerne 2400 x 1200 x 300 mm og ribber pr. 400 mm.

Gavlelementerne har spændevidder fra ca. 2400 mm til ca. 4200 mm, tykkelsen 300 mm og bredderne 1200 eller 600 mm. De korte elementer, der har den store bredde, er opbygget

som facadeelementet. De lange elementer, der har den smalle bredde, har ribber pr. 300 mm og er ellers opbygget som facadeelementet.

Dækelementerne findes typisk i 3 formater: 1200 x 2400 x 300, 600 x 3600 x 300 og 600 x 4800 x 300. Det brede element har ribber pr. 400 mm, det næstlængste pr. 300 mm og det længste pr. 200 mm.

Tagelementet har dimensioner op til ca. 5000 x 400 x 300 mm og en ribbeafstand på 300 mm.

Elementstørrelsen er afpasset således, at det skulle være muligt at håndtere dem manuelt.

Den sidst omtalte rapport beskriver sammensætning og produktion af en 19 x 19 x 39 cm byggeblok af lokale grusforekomster. Blokken tænkes anvendt såvel til fundamentsblok som til opmuring af hule facademure og etagehvalv.

Nærværende rapport omhandler isoleringen af såvel de hule træelementer som de omtalte hulmure.

Traditionel isolering med Rockwool og Glasuld er meget dyrt i Grønland som følge af de meget høje transportomkostninger (materialeenhedspris incl. fragt for 10 cm rockwool A-batts er således ca. 1100 kr/m³. Fragten alene udgør ca. 510 kr/m³, eller ca. 400 kr/m³ færdig isolering, såfremt den forudsættes at kunne komprimeres ca. 20% under transporten). Pga. den komplicerede produktionsteknik og det spredtliggende marked med høje interne fragtrater har det desuden ikke vist sig rentabelt med en produktion af disse traditionelle isoleringsprodukter i Grønland.

Her vil rentabiliteten af en lokalproduceret celleplastisolering blive vurderet. Mulighederne for herigennem at opnå en billiggørelse synes nærliggende, idet fragtomkostningerne ved lokal opskumning af råvarerne til den færdige isolering reduceres til 1/40 - 1/50.

Det produkt med tilhørende produktionsproces, der søges udviklet med dette arbejde, tilstræber at opfylde følgende:

- produktet skal prismæssigt i det mindste kunne konkurrere med traditionelle isoleringsmaterialer,
- produktet skal have egenskaber (herunder mht. varmeisolering), som gerne er af samme størrelsesorden, som de materialer, der anvendes i dag,

produktet skal være nemt at håndtere og kræve få tekniske og håndværksmæssige kvalifikationer af arbejdskraften,

- produkt og proces skal være ufarlig, hvorved forstås, at råvarer, produktionsproces og færdigt produkt ikke indebærer nogen sundhedsfare (accepteret risikoniveau max. som i dansk lovgivning).

Nærværende arbejde søger herefter - ud fra de opstillede forudsætninger - at:

1. bestemme den bedst egnede celleplasttype
2. bestemme en optimal produktionsteknik
3. belyse økonomien mv. i en sådan produktion
4. belyse produktets anvendelsesmuligheder.

2 KLASSIFIKATION AF PLASTTYPER

- bifunktionelle monomere kan danne lineære kædemolekyler
- polyfunktionelle monomere kan danne forgrenede eller tværbundne tredimensionale makromolekyler.

I polymerisationsprocessen skelnes mellem kondensationspolymerisation og additionspolymerisation. Ved kondensationspolymerisation sker sammenknytningen af to monomere under fraspaltning af et lille molekyle, i reglen vand. Ved additionspolymerisation sker der en sammenkædning af monomere uden nogen fraspaltning af små molekyler.

Strukturel opbygning

De i plast indgående polymere stoffer kan efter deres kemiske struktur opdeles i 3 kategorier:

- Termoplast
- Elastomerer
- Hærdeplast

Termoplast vil ved opvarmning blødgøres og ved yderligere opvarmning smelte. Termoplast kan genanvendes ved omsmelting.

Makromolekylerne er kædeformede (lineære eller forgrenede) dvs. dannet af bifunktionelle monomerer (jvf. p. 7) og dannet ved additionspolymerisation.

Elastomer (kaldes almindeligvis gummi) har en tredimensional molekylstruktur, hvor de monomeres funktionelle grupper kun delvis er udnyttet til sammenknytning af molekylerne.

Hærdeplast (kaldes tit på dansk for termohærdet plast, men a.h.t. mulighed for forveksling med termoplast anvendes her kun betegnelsen hærdeplast).

Under fremstillingen sker en hærdning af plasten. Herefter kan produkterne ikke mere blødgøres og smelte, dvs. de kan ikke genanvendes.

Hærdeplasten har en tredimensional molekylstruktur, hvor de monomeres funktionelle grupper stort set alle er udnyttet til sammenknytning af molekylerne. Dannes ved kondensationspolymerisation.

Eksempler

Termoplast

Polyethylen (PE) fremstilles i forskellige varianter, hvoraf de to vigtigste er: PEL og PEH, hvor L og H står for henholdsvis "low" og "high" density.

Polystyren (PS) har lineære kædemolekyler, er forholdsvis let at fremstille og har derfor en temmelig lav pris.

Polyvinylchlorid (PVC) har forgrenede kædemolekyler og kan fremstilles med meget varierende egenskaber.

Polytetrafluorethylen (PTFE) er bedst kendt under handelsnavnet Teflon. PTFE har en struktur med lange lige kædemolekyler uden forgreninger og er meget kompakt. Har stor massefylde, kemisk modstandsevne og stor termoresistens.

Polyamider er bedst kendt som nylon. Nylon er karakteristisk ved en udpræget krystallinitet, god termostabilitet og gode mekaniske egenskaber.

Elastomerer

Butylgummi er en copolymer (dannet af to eller flere forskellige monomerer), dannet af isobutylene med lidt isopren.

Chloroprenogummi er bedst kendt under navnet neopren er fremstillet ud fra 2-chlor-1,3 butadien.

Hærdeplast

Phenolformaldehyd (PF) dannes som navnet siger af phenol og formaldehyd. Efter forholdet mellem de to indgående monomerer kan dannes forskellige strukturer. Phenolformaldehyd er bedst kendt under navnet Bakelit.

Carbamidformaldehyd (UF) (efter navnet ureaformaldehyd (dannes af carbamid (urinstof) og formaldehyd)).

Polyurethan (PU eller PUR) kan have tredimensional molekylstruktur, dette afhænger af valg af monomerer og disses relative andele samt grad af netværksdannelsen.

Polyestere (UP) fremstilles i flere etaper. Først dannes en lineær polyester (termoplastisk) med dobbeltbindinger, som derefter under hærdningsreaktionen, hvor styren indgår, binder de lineære kædemolekyler sammen under dannelse af en tredimensional struktur.

3.1 GENERELT

Typer og fremstillingsmetoder

Opskummede polymere er kunstigt fremstillede materialer med en struktur af gasfyldte celler og har derfor lav massefylde. Enhver polymer kan principielt opskummes, men i praksis anvendes stort set kun følgende:

- polystyren (PS)
- polyisocyanurat (PIR)
- carbamidplast (UF)
- phenolplast (PF)
- polyurethan (PUR)
- polyester (UP)
- polyethylen (PE)
- polyvinylklorid (PVC)

Fremstillingen kan foregå på mange forskellige måder, her skal de vigtigste nævnes:

- A: To komponenter reagerer med hinanden, hvorved den kemiske reaktion udvikler gassen, som er nødvendig for ekspansionen. Man kan også tilsætte et drivmiddel som forgasses p.g.a. den exoterme reaktion.
- B: Et granulat, der indeholder en gasart opvarmes og ekspanderer under tryk efter at gassens kogepunkt er nået, og samtidig med at plastmaterialets blødgøringspunkt overskrides.
- C: En termoplastisk masse under tryk tilføres gas eller et fast drivmiddel indarbejdes i massen. Det faste drivmiddel sønderdeles ved bearbejdningstemperaturen og danner en gas, som forårsager cellestrukturen.
- D: Luft eller gas piskes ind i en vandholdig plastopløsning som i nærværelse af egnede katalysatorer kondenserer.

Udover disse fire metoder findes muligheder og kombinationer af metoder, der dog har mindre betydning og som derfor ikke skal nævnes her.

Skummaterialer kan have en cellestruktur med åbne celler (f.eks. skumgummi) eller lukkede celler (f.eks. polystyrenskum). Endvidere kan strukturen bestå af en kompakt, tæt overflade uden porer og under dette et lag skum, hvis massefylde aftager ind imod midten. Denne form kaldes integralskum eller strukturskum.

fordøjelser, hvis virkning forstærkes på synergistisk vis

Farvestoffer. Farvestoffer anvendes almindeligvis ved at selve plastmassen indfarves. De mange farvetoner, som det er muligt herved at give plastmaterialer, er velkendt.

3.2 CELLEPLAST-TYPER, BRUGSMÆSSIGE EGENSKABER

I det følgende skal de enkelte celleplasttypers egenskaber kort beskrives, herunder de brandmæssige forhold. Alle celleplasttyper er brandbare, dog i forskellig grad som det beskrives nedenfor, og kræver effektiv brandbeskyttelse efter forskrifterne. Under brand udvikles ofte stærk røg, der kan være giftig. Også disse forhold vil blive vurderet relativt for de enkelte typer nedenfor.

Polystyrencelleplast PS

Polystyren er fremstillet af styren (vinylbenzen). Polystyren opstår ved at kæde et stort antal styrenmolekyler sammen.

Identifikation

Rent styrencelleplast kendetegnes på den hårde og noget sprøde overflade.

Styrencelleplast er opløseligt i benzen (stenkulsnafta), men ikke i sprit.

Som opskumningsmiddel anvendes pentan, isopentan og isohexan.

Som celleinitiatorer anvendes natriumcarbonat med citronsyre eller aluminiumsilikater.

Brandhæmmende midler er meget anvendt i styrencelleplast, mest brugt er aliphatiske bromforbindelser forstærket synergistisk med organisk peroxid.

Polystyrencelleplast består af lukkede celler. Styrencelleplast er et amorft termoplast, ved opvarmning bliver det blødere og blødere. Det er formbestandigt op til ca. 80°C, men ved ca. 100°C vil cellerne p.g.a. indre spændinger deformeres og krympe, fordi celleluften diffunderer ud. Ved denne temperatur forløber processen meget langsomt p.g.a. den gode isolationsevne. Ved temperaturer på ca. 150°C foregår sammensynkningen noget hurtigere, og materialet bliver plastisk formbart og kan begynde at flyde. Bliver temperaturen tilstrækkelig høj, vil polystyrenet begynde at dryppe.

Brandmæssige forhold

Rent styrencelleplast er let antændeligt, men tilsætning af brandhæmmende midler udsætter antændelsestidspunktet.

Brandhæmmet styrencelleplast krymper væk fra antændelseskilden ved kortvarig påvirkning. Ved en længerevarende påvirkning af flammer kan der indtræde en antændelse, men flammernes udbredelseshastighed på overfladen er ret lille. Hvis kontakten med flammen afbrydes, brænder celloplasten normalt ikke videre, hvis ikke strålevarme el.lign. er meget høj, og det ulmer heller ikke. Kun ved indflydelse fra andre brandbare materialer med højere brandbarhed kan brandhæmmet polystyren brænde fuldstændigt.

Ved en effektiv forbrænding af rent polystyren vil forbrændingsprodukterne næsten udelukkende bestå af vand og carbondioxid.

I praksis vil en fuldstændig forbrænding imidlertid ikke forekomme ved en bygningsbrand, derfor vil der også dannes carbonoxid foruden en meget kraftig sodende røg.

P.g.a. den lave densitet er mængden af carbonoxid dog mindre end ved træs forbrænding. Den brandtoksikologiske fare ændres stort set ikke ved tilstedeværelsen af styrencelleplast.

Brandhæmmet styrencelleplast indeholder halogener især bromforbindelser, der kan udvikle hydrogenbromid, men mængderne, der anvendes, er små ca. 0,5%.

Polyisocyanuratskum (PIR)

PIR-skum fremstilles af diisocyanat 4,4'-diphenyl-methan diisocyanat (MDI) ved sammenføjning af 3 stk. MDI molekyler, som derved danner isocyanurat-ringe, og ved processens videreførelse dannes tredimensionale molekylnet og et fast stift hårdeplast opstår.

Identifikation

Polyisocyanurat i form af ufarvet celloplast er et uigenkendsigtigt materiale med et lyst gulligt til brunligt udseende. Det er temmelig hårdt og kan virke sprødt. Ved opvarmning vil det hverken dryppe eller blive blødt. PIR-celloplast er normalt brandhæmmet.

PIR-skum består af lukkede celler.

Brugstemperaturen kan ansættes maksimalt til ca. 150°C , ved denne temperatur vil der langsomt opstå en indre sprødhed i materialet, dette medfører imidlertid ikke dimensionsforandringer.

Ved forhøjet temperatur stiger trykket i materialet med ekspansion til følge, hvorefter trichlorflourmethanen i cellerne diffunderer ud, og materialet krymper.

Brandmæssige forhold

Isocyanuratcelleplast er vanskeligt at antænde. Kommer materialet i berøring med en flamme, opstår der en lokal forbrænding, der resulterer i en forkulning, som modstår en fornyet antændelse. Selv en 1200°C varm propan flamme kan kun langsomt bortbrænde forkulningen og kun der, hvor flammen er i kontakt.

Ved en fuldstændig forbrænding af PIR-skum med tilstrækkelig oxygen vil størstedelen af forbrændningsprodukterne være carbondioxid, vand og nitrogen, herudover kommer mindre nitrogenforbindelser og stoffer fra additiverne.

Der er påvist følgende stoffer:

Phosphorpenntaoxid (P_2O_5)

Hydrogenchlorid (HCl)

Dichlorbenzen ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$)

Trichlorflourmetan (CCl_3F)

men som regel kun i størrelsesordenen 1%.

Røgudviklingen er lav i forhold til andre celleplast.

Carbamidcelleplast (UF)

Carbamidplast hører til gruppen aminoplast. I massiv form kaldes carbamidplast "lyst bakelit" eller "urea", som er engelsk og betyder urinstof, hvis kemiske navn er carbamin NH_2CONH_2 . Den internationale forkortelse UF fremkommer af materialets bestandele, nemlig carbamid og formaldehyd HCHO .

Carbamid er et hvidt, næsten lugtfrit fast stof i form af krystaller eller pulver.

Formaldehyd er et organisk stof, der ved almindelig temperatur og tryk er en luftart med en ubehagelig stikkende

lugt. Det er kendt i en ca. 35% vandig opløsning under navnet formalin.

Identifikation

Rent carbamidcelleplast er kendetegnet ved en meget sprød struktur. Det er hvidt og ved opvarmning lugter det skarpt af amoniak og formaldehyd med en ækel fiskeagtig bilugt. Det er vanskeligt at antænde fordi det krymper voldsomt, idet det dekomponerer og forkuller. Carbamidcelleplast er uopløseligt i normale opløsningsmidler ved almindelig stuetemperatur.

Findes både med lukkede og åbne celler.

Brandmæssige forhold

Carbamidcelleplast er et hærdeplast og vil derfor ikke blødgøres ved opvarmning. Ved stigende temperatur krymper materialet, jo større temperaturstigning jo større krympning. Dette medfører, at den maksimale brugstemperatur sættes til 500C. Ved isolering med løst materiale kan dette komprimeres, hvorved det kan anvendes op til ca. 1000C.

Carbamidcelleplast er vanskeligt antændeligt og meget lidt brandbart, dog afhængig af fugtindhold og brandhæmmende additiver.

DA UF-skum kan fremstilles på mange forskellige måder og indeholde et utal af additivkombinationer, kan forbrændningsprodukterne være mange. Fra den rene harpiks fås dog kun carbondioxid, carbonmonooxid samt vand og nitrogen.

Af nitrogen vil der under brand bl.a. dannes ammoniak.

Phenolplast (PF)

Af phenol C_6H_5OH og formaldehyd $HCHO$, dannes den harpiks, der ligger til grund for fremstillingen af phenolplast.

Phenol er et organisk fast krystallinsk stof (kaldes også karbolsyre), det er meget giftigt og kraftigt ætsende.

Af phenol og formaldehyd dannes v.h.a. en katalysatorsyre, tværbundne kæder og vand. Da processen er eksoterm kan varmeudviklingen få vandet til at virke som opskumningsmiddel.

Identifikation

Phenolcelleplast er kendetegnet ved en sprød struktur med en lidt støvet overflade og cellerne har en rødbrun farve.

Det er ikke opløseligt i almindelige opløsningsmidler ved stuetemperatur.

Brandmæssige forhold

Phenolplast er et hårdeplast, det er meget temperaturstabil og tåler, med en krympegrad på 1-2%, 120-130°C.

Phenolplast er ikke let antændeligt, ved antændelse vil der fremkomme en forkulning, der beskytter det ubrændte materiale. Dette medfører en stor formstabilitet. Fjernes flammen fra materialet, slukkes dette, i hvert fald hvis det er en brandhæmmet type. Som brandhæmmende additiv anvendes almindeligvis borsyre.

Ved en forbrænding dannes carbondioxid, carbonmonooxid og vand af selve phenolplasten. Af additiverne kan dannes en række forskellige produkter.

Phenolcelleplast til bygningsdele er brandteknisk set blandt de bedste celleplast, fordi det er vanskeligt antændeligt, det kan ikke dryppe og har ringe røgudvikling.

Polyurethan (PUR)

Polyurethaner fremstilles ved kemiske reaktioner mellem polyisocyanater og polyoler.

Stift polyurethan som celleplast fremstilles næsten udelukkende udfra diisocyanaterne toluen - 2,4 - diisocyanat (TDI) og 4,4' diphenylmethan diisocyanat (MDI) ved reaktion mellem polyol, som regel en polyester eller en polyether.

Substanterne, der reagerer med hinanden, er væsker, der under reaktionen danner tredimensionale, sammenhængende strukturer, der forårsager, at væskerne omdannes til fast stof, hårdeplast.

Som opskumningsmiddel anvendes normalt "Freon 11".

Identifikation

Stift polyurethan i form af ufarvet celleplast er et uigennemsigtigt materiale, normalt med et lyst gulligt til

brunligt udseende. Det er ret hårdt og kan virke sprødt. Rent polyurethan er let antændeligt, brænder uafbrudt og soder en del.

Brandhæmmet PUR-skum kan virke selvslukkende. Almindeligvis anvendes halogen- og fosforforbindelser til brandhæmning.

Brandmæssige forhold

Ved høje temperaturer opfører PUR-skum sig omtrent som PIR-skum, selv om det må bemærkes, at brandhæmmende PUR-skum er ringere end PIR-skum.

Ved en fuldstændig forbrænding af PUR-celleplast med tilstrækkeligt oxygen vil hovedparten af forbrændingsprodukterne være carbondioxid, vand og nitrogen, hertil kommer stoffer fra additiverne. Der er bl.a. fundet ammoniak, hydrogencyanid og chlorbrinte. Der dannes desuden saltsyre, som er stærkt korroderende.

De resterende grundstoffer i PUR-skum er hydrogen, phosphor og silicium.

Røgudviklingen er varierende fra type til type, men må i reglen betegnes som kraftig.

Polyester (UP)

Umættet polyester fremstilles ved polykondensation af en umættet organisk syre med en mættet divalent alkohol. Derved fås en umættet flydende polyester bestående af lineære molekyler, som ved tilsætning af en umættet vinylmonomer kan hærdes til et fast, hårdt hærdeplast. Polyesterens egenskaber kan varieres ved at variere de tre hovedbestanddele.

Som opskumningsmiddel anvendes normalt et kulsyrederivat.

Som brandhæmmende middel anvendes for det meste antimontrioxid.

Identifikation & brandmæssige forhold

Cellepolyester kendetegnes ved at det er et hårdt og stift hærdeplast, der ikke kan smelte eller dryppe. Rent UP-skum vil normalt være letantændeligt.

Brandhæmmet UP-skum er svært antændeligt. Består af 60-80% åbne celler.

Da UP er et hærdeplast tåler det højere temperaturer end de fleste termoplast, men da der er tale om et ret nyt produkt, er der ikke fundet nøjere beskrivelser.

Brandhæmmet cellepolyester er vanskeligt at antænde, men kan dog forbrænde. Forbrændingsprodukterne vil først og fremmest være carbondioxid, carbonmonooxid, foruden vand og hydrogenchlorid. Hertil kommer antimodtrioxid og/eller antimontetraoxid foruden meget små mængder af andre stoffer.

Polyethylen (PE)

Anvendes kun i mindre grad.

Polyethylen er semikrystallinsk termoplast fremstillet ud fra ethylen C_2H_4 til lange kædemolekyler.

Polyethylen fremstilles i almindelig og brandhæmmet kvalitet.

Brandmæssige forhold

Da polyethylen er et termoplast, kan det smelte. Det vil ved høje temperaturer flyde og dryppe ned, hvis de fysiske forhold tillader det.

Røgen kan være ret kraftig men er ret ren, idet forbrændingsgassen kun består af vand, carbondioxid og carbonmonooxid.

Polyvinylchlorid (PVC)

PVC er fremstillet af luftarten vinylchlorid ved sammenføjning af et stort antal vinylchloridmolekyler CH_2CHCl til lange kædemolekyler.

Herved opstår et ved almindelig rumtemperatur fast, termoplastisk, amorft materiale polyvinylchlorid.

PVC kan modificeres på talrige måder, hvorved der opstår et meget stort antal materialetyper, der kan inddeles i 2 hovedgrupper:

- I uplastificeret PVC eller stift PVC
- II plastificeret PVC eller blødt PVC

Førstnævnte gruppe har lukkede celler, sidstnævnte åbne.

Brandmæssige forhold

P.g.a. det høje chlorindhold i PVC er vinylchloridcelleplast vanskeligt at antænde og de fleste typer kan ikke brænde uden varmetilførsel udefra.

Under forbrænding kan der dannes en meget lang række forbrændingsprodukter. De vigtigste er carbonmonooxid og hydrogenchlorid, der sammen med fugt danner saltsyre.

Under forbrænding af PVC opstår der hurtigt store mængder af stærkt sodende røg.

I bilag til denne rapport er foranstående forhold resumeret således:

Bilag 8.1: Oversigt over celleplasttyper

Bilag 8.2: Oversigt over celleplasttypers tilsætningsstoffer

Bilag 8.5: Oversigt over celleplasttypers brandtekniske forhold.

Sådanne resumeer er naturligvis meget kortfattede og må derfor benyttes med forsigtighed og i sammenhæng med teksten i de respektive afsnit.

I bilag 8.3 og 8.4 findes henholdsvis en oversigt over celleplasttypernes mekaniske og klimatekniske egenskaber. Disse forhold er kun sporadisk beskrevet i den foregående tekst.

3.3 CELLEPLAST-TYPER, PRODUKTIONSMÆSSIGE FORHOLD

I forbindelse med opskumningen af de almindeligste celleplaster skal her kort gennemgås de produktionsmæssige og toksikologiske problemer, idet en sammenholdning af disse forhold med de brugsmæssige egenskaber (jvnf. afsnit 3.2) er helt afgørende for det endelige valg af celleplasttype (jvnf. afsnit 4).

Mange celleplasttypers produktion indebærer væsentlige toksikologiske risici.

Ved plastforarbejdning tænkes i første række på risiko ved indånding af luftarter og dampe.

Muligheden for en optagelse igennem huden er ikke kun tilstede ved en direkte kontakt med væskerne, men man må regne med at folk, der arbejder i større dampkoncentrationer, kan optage visse dampe gennem huden.

Herudover kan visse celleplasttyper også i brugstilstanden udvise en toksikologisk risiko, idet der frigives ubehagelige luftarter.

Polystyrencelleplast (PS)

PS opskummes overvejende efter metode B se p. 11). Råvaren opvarmes under omrøring med damp, hvorved det indeholdte drivmiddel (oftest pentan) koger op, og løse lette polystyrenkugler dannes. Såfremt man ønsker at fremstille sammenhængende blokke slutskummes kuglerne efter en kort afkølingstid i en lukket form med damp under tryk til færdige blokke, hvor p.g.a. trykket kuglerne trykkes sammen til en sammenhængende masse. Under disse processer frigives kun overskydende drivmidler (pentan).

Polyisocyanuratskum (PIR)

Opskummes normalt ved metode A (se p. 11), og opskumningen kan ske med temmelig simpelt udstyr. De to væsker polyol og isocyanat blandes i et blande-hoved og v.h.a. opskumningsmidlet (almindeligvis Freon 11) dannes skumstrukturen, der er tredimensional. I processen indgår meget farlige stoffer, men især isocyanaten (MDI) nødvendiggør meget sikkerhedsmateriel.

Carbamidcelleplast (UF)

Produceres normalt efter metode D (se p. 11) ved at en blanding af carbamid og formaldehyd i vand tilsættes en katalysator. Blandingen sker sædvanligvis under tryk i et blandingsmundstykke og hærdes på få minutter. Den endelige styrke opnås efter 1-2 timer, hvor en udtørring dog er nødvendig, idet UF-skummet indeholder op til 90% vand.

Som nævnt indgår formaldehyd i UF, og man bør være betænkelig ved den afgasning af formaldehyd, der kommer længe efter opskumningen. Dette har medført, at man i USA har forbudt UF-skum til hulmursisolering.

Phenolcelleplast (PF)

PF fremstilles ved kondensation af flydende phenol og formaldehyd i forbindelse med en basisk katalysator (f.eks. saltsyre). Denne proces er eksoterm (der frigives varme) og dermed koger drivmidlet (pentan) op, og phenolcelleplasten dannes. Man anvender doseringsaggregat med blandingshoved, tryktanke, og doseringspumpe som ved PUR og PIR-skum.

Ved processen findes de samme farer som ved opskumning af carbamidcelleplast, dvs. først og fremmest formaldehyd, men også phenol og oxalsyre, der anvendes til brandhæmning, må anses som risikokilder.

Polyurethanskum (PUR)

PUR produceres efter metode A (jvf. p. 11) ved at man lader polyoler og isocyanater reagere med hinanden. Man anvender doseringsaggregatet med blandingshoved, trykhoved, doseringspumper og varmevekslere til temperaturstyring.

Det færdige produkt er ganske ufarligt. De indgående komponenter er derimod meget farlige, således at produktionsprocessen indebærer væsentlige risici.

Polyester (UP)

Umættet polyester (UP) fremstilles ved sammensætning af en umættet, organisk syre og med en mættet, divalent alkohol.

De indgående komponenter er farlige. (Det gælder specielt for tilsætningsstofferne MDI og antimontrioxid).

UP produceres med højtrykspumper og miksehoved stort set som PUR-skum, eller i kraftige forme.

Polyethylen (PE)

Anvendes meget lidt som skumplast. Det kan dog med fordel anvendes f.eks. til støddæmpning og elektrisk isolering. Det fremstilles efter metode C (se p. 11) hovedsageligt med rumvægte på 200-500 kg/m³.

Afhængig af tilsætningsstoffer haves en relativ ufarlig skumproduktion. Fremstilles ved støbning.

Polyvinylchlorid (PVC)

PVC fremstilles efter metode C (p. 11). Kan fremstilles med åbne og lukkede celler og i alle ønskelige hårdhedsgrader. Fremstillingen kræver meget kraftigt værktøj, der opvarmes til ca. 200 oC. Selve grundsubstanten vinylchlorid anses for farlig. P.g.a. værktøj og temperaturstyring kan en produktion dog kun foregå på veludstyrede fabriksanlæg, hvor også en hensigtsmæssig beskyttelse lettere kan varetages.

I bilag 8.6 er givet et resume af de enkelte celleplast-typers produktionsmæssige og toksikologiske forhold. Et sådant resume er naturligvis meget kortfattet og må derfor benyttes med forsigtighed og i sammenhæng med teksten i de respektive afsnit.

4 : VALG AF CELLEPLASTTYPE
TIL ISOLERING I GRØNLAND

Den helt indlysende fordel ved at anvende en celleplastisolering fremfor en traditionel isolering ved byggeri i Grønland er de væsentlige besparelser i fragtomkostninger dette indebærer. Da skibsfragt i det væsentlige afregnes efter volumen, vil en opskumning i Grønland groft sagt medføre en reduktion i transportomkostningerne svarende til opskumningsvolumenet i forhold til råmaterialets volumen, forudsat samme isoleringsværdi. F.eks. for en PS-celleplast vil råvarerne typisk have en rumvægt på ca. 600-700 kg/m³ og det opskummede materiale en rumvægt på ca. 15 kg/m³. Idet isoleringsevnen af den opskummede PS-celleplast normalt forudsættes at have en isoleringsevne, der er ca. 25% mindre end en traditionel isolering, reduceres fragtomkostningerne således resulterende til $15 \times 1,25 \times 100/650 = 3\%$ af den normale fragtrate, forudsat at opskumningen i Grønland foretages i anvendelsesbyen. Til et mindre, velisoleret enfamiliehus vil der normalt medgå ca. 75 m³ isolering og fragten herpå vil alene udgøre ca. 40.000 kr. Alene fragtomkostningerne på isolering udgør således et væsentligt bidrag til bygværkets pris.

Naturligt nok har GTO også været opmærksom på dette forhold og har gennemført en række undersøgelser og forsøg, der dog i al væsentlig grad har vist, at på trods af de høje transportomkostninger er det meget svært at gøre en lokal produktion rentabel.

Når man er nået til denne konklusion, skyldes dette en række forhold.

Det væsentligste er nok, at man er gået ind for en sandwich-elementkonstruktion, således at skummen får en bærende funktion, ved at overføre forskydningskræfter fra den ene flange til den anden.

Som det fremgår af afsnit 3 betyder dette, at man må anvende en hærdeplast og nok af PIR eller PUR-typen. Som det også fremgår af afsnit 3, fordrer dette en højteknologisk produktion, med ringe beskæftigelseseffekt og med vidtgående teknisk udstyr for at begrænse de toksikologiske farer ved produktionen.

Det er indlysende, at en sådan produktion for at være rentabel fordrer et ret stort marked og således aldrig vil kunne gøres rentabel etableret i de enkelte lokalsamfund. GTO's planer har derfor også på det seneste gået på etableringen af en central produktion i Nuuk, der har det største lokale marked, og herfra at foretage en vis forsyning til andre kystbyer. Når en sådan strategi vanskeligt kan gøres rentabel, skyldes det naturligvis størrelsen af de interne fragtrater i Grønland, der ofte er af samme størrelsesorden som transporten fra Danmark til den tilsvarende lokalitet i Grønland.

Som i alle samarbejdsprojektets delanalyser vil vores indgang til problemet i modsætning til ovennævnte være den stik modsatte. Såfremt der skal opnås væsentlige besparelser, må der vælges en teknologi, der kan gøres rentabel i de enkelte lokalsamfund.

Dette indebærer, at der må vælges en celleplasttype, der i al væsentlig grad er ufarlig og meget simpel at fremstille.

Efter gennemgangen i afsnit 3 med tilhørende resumeer i bilagene synes det nærliggende at gå ind for en PS (Polystyren) celleplast. Som det ses, er dette et billigt produkt, fremstillingen indebærer ingen toksikologiske problemer, der, som vi senere skal se, ikke kan styres med simple midler, og produktionsudstyret kan gøres meget simpelt.

Det ses også, at den er en af de celleplasttyper, der kan opskummes til den laveste rumvægt, og herudover ses den at have såvel mekaniske, klimatekniske som brandtekniske egenskaber fuldt så gode som f.eks. PIR eller PUR celleplasterne. Som for alle celleplasttyper kræves en forskriftsmæssig brandbeskyttelse. For hultursisolering indebærer dette ingen særlige problemer. At de brandmæssige krav også kan opfyldes for træelementerne ses af rapporten: Konstruktion og produktion af stressed-skin træelementer i Grønland.

Den simpleste form for PS celleplast er ekspanderede kugler. Disse kan samles til egtl. isoleringsplader, men dette kræver en del udstyr. Såfremt man derfor går ind for en isolering af ekspanderende polystyren kugler, vil det naturligvis ikke være muligt at opnå en samvirken af elementets flanger gennem celleplasten. Konsekvensen bliver derfor, at elementerne må udformes som stressed-skin konstruktioner og ikke som sandwich-konstruktioner.

Dette indebærer konstruktivt en merudgift, der dog iøvrigt viser sig at være af meget ringe størrelse. Men det indebærer også den store fordel, at man får en betydelig sikrere konstruktion, der ikke er helt afhængig af en permanent holdbar samvirken mellem skum og flanger, og en konstruktion der er simpel at reparere. Herudover får man et skumprodukt, der - som vi senere skal komme tilbage til - har en lang række anvendelsesmuligheder i lokalsamfundene.

Der foreslås derfor anvendt ekspandable polystyrenkugler, som opskummes med damp til rumvægt ca. 15 kg/m^3 i simpelt apparatur lokalt og fyldes som løse kugler i elementerne eller anvendes som hultursfyld i de murede huse. Det vil fremgå, at disse kugler direkte opfylder målene 1,3 og 4

(jvnf. afsnit 1). Efter DIF har mineraluld type A en praktisk varmeledningsevne $\lambda = 0,039$ W/m °C, type B $\lambda = 0,05$ W/m °C. Løse ekspanderende polystyrenkugler (rumvægt 10-20 kg/m³) har $\lambda = 0,05$ W/m °C. Dvs. at man for at opfylde kravet om at opnå samme isoleringsværdi (mål 2) efter normerne skal have en isoleringstykkelse, der er ca. 25% større, end ved anvendelse af en type A batt. At den virkelige isoleringsevne synes undervurderet i DIF's normer, skal blive kommenteret i et senere afsnit.

5 PRODUKTION AF POLYSTYREN-
ISOLERING LOKALT I GRØNLAND

5.1 GENERELT OM PRODUKTIONEN

Kort beskrivelse af produktionsgang

Polystyrenskum fremstilles udfra s.k. ekspandabel polystyren. Den ekspandable polystyren består af klare kugleformede perler af polystyren med et indhold på 7-9% af en lavtkogende kulbrinte, der fungerer som drivmiddel under opskumningen.

Opskumningen foregår ved, at den ekspandable polystyren behandles med damp. Dampbehandlingen kan f.eks. ske i et åbent kar med en mellembund af perforeret plade, hvorpå perlerne ligger, mens dampen blæses op gennem perforeringerne.

Ved opvarmningen sker en kraftig fordampning af drivmidlet, og perlerne får en meget fincellet struktur og øger deres volumen med 40 til 50 gange.

Efter at den ønskede grad af ekspansion er nået, afbrydes dampbehandlingen, og de lette, fugtige kugler føres over i en silo med net eller stofvægge, hvor de kan tørre. Under tørringen sker der samtidigt en "modning", som består i at luft diffunderer ind i cellerne og udligner det undertryk, der opstod ved nedkølingen efter forskumningen.

Tørring og modning tager 1-4 dage afhængig af luftfugtighed og temperatur, hvorefter polystyrenkuglerne enten kan bruges direkte som løst pakket isoleringsmateriale eller videreforarbejdes til isoleringsplader ved dampstøbning og skæring.

Ved dampstøbningen anvendes en kraftig form med et formhulrum svarende til den ønskede blokstørrelse f.eks. 1 x 2 x 0,5 m. Formvæggene er dobbelte og består indvendigt af perforerede plader, således at der kan blæses damp gennem perforeringerne ind i formhulrummet.

Formhulrummet fyldes løst med forekspanderede polystyrenkugler, og låget lukkes. Under den påfølgende dampbehandling sker der en ekspansion af polystyrenkuglerne, så hulrum fyldes ud, og kuglerne svejses sammen til en homogen blok.

Efter nedkøling tages blokkene ud af formen og stilles på tørrelager. Tørringen varer 5-10 dage.

Den tørre blok opskæres derpå til isoleringsplader af den ønskede tykkelse. Opskæringen sker nemmest ved hjælp af en række parallelle elektrisk opvarmede modstandstråde. Hvis blokken befinder sig på en skråtstillet bane under

skæringen, kan den selv glide ned gennem varmetrådene og skæres op til en stabel plader i een arbejdsoperation.

Råvarer

Ekspandabel polystyren leveres som klare fritflydende perler emballeret i jern-tromler med indersæk af polyethylenfolie.

Typiske data for ekspandabel polystyren:

Bulk vægtfylde 600-700 kg/m³.

Gennemsnitlig partikelstørrelse i diameter 1,3-2 mm.

Sigteanalyse:

2,0 - 2,5	12% max
0,8 - 2,0	79% min
0,3 - 0,8	9% max
0,3 - 0,4	0,5% max

Vandindhold 0,5%.

Drivmiddel 6,5 - 8,0%.

Minimum opnåelige densitet: garanteret 14 kg/m³.

Drivmidlet er en blanding af flere kulbrinter: pentan, isopentan og evt. isohexaner.

En såkaldt selvslukkende polystyren indeholder desuden nogle få procent organisk bromforbindelse og evt. et organisk peroxid.

Råvaren skal opbevares i vel tillukket emballage og må ikke lagres varmt. Åbningen af emballagen må ikke ske i nærheden af åben ild, idet der over perlerne vil samle sig drivmiddeldampe.

Iøvrigt sker afgivelsen af drivmiddel så langsomt, at perlerne i den åbne ventillerede emballage ikke frembyder nogen brandrisiko, hvis man følger de af producenterne givne vejledninger.

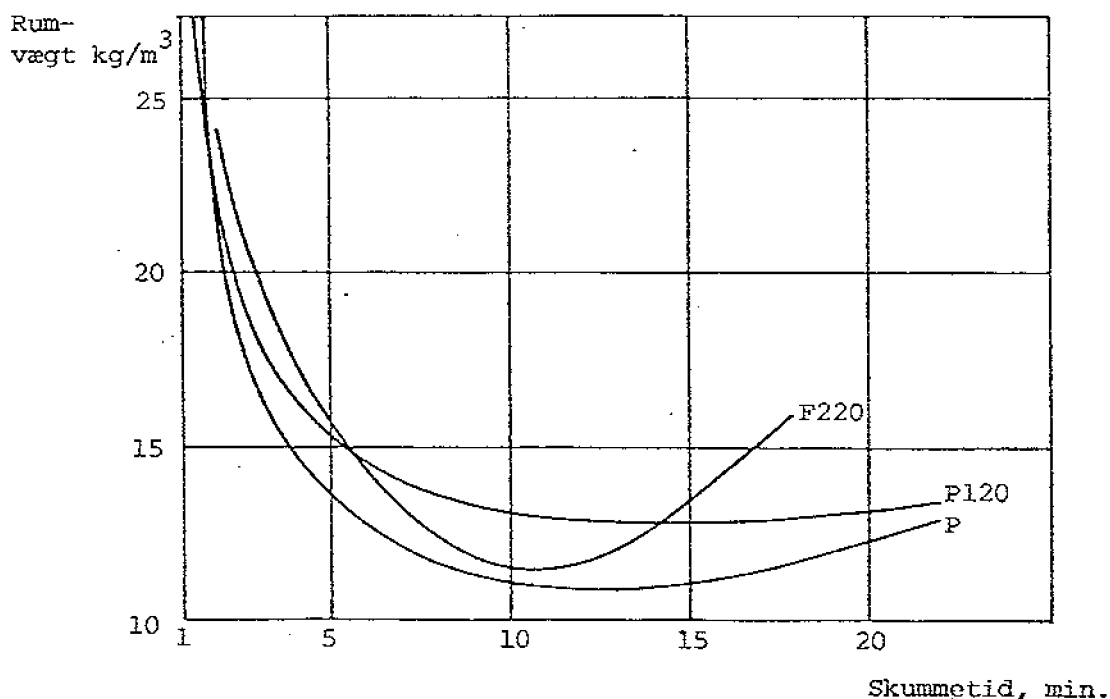
Forskumning

Forskumningen består i at råvaren behandles med lavtryksdamp og derved skummer op til løse lette kugler med fincellet struktur.

Behandlingen sker enklest ved, at der anvendes en skumme-kasse, som er en åben flad kasse med en mellembund af perforeret plade. Kassen forvarmes ved, at der i kort tid blæses damp ind under mellembunden. Råvaren afvejes og

hældes ud på mellembunden, og der blæses damp op gennem perforeringerne. Under behandlingen røres der rundt i de ekspanderende kugler med en træspade eller lignende for at hindre sammenklumpning, og dampbehandlingen fortsætter indtil den ønskede vægtfylde er nået.

Forløbet af forskumningen for typiske råvarer med behandling med damp af 100°C. er vist i nedenstående figur.



Det ses, at for de almindelige typer P og P 120 er kurven meget flad omkring de lave vægtfylde, og produktionen er derfor ret ukritisk på dette punkt.

Det ses, at i begyndelsen falder vægtfylden meget hurtigt, og det er vanskeligt at styre processen, hvis højere vægtfylder ønskes. Opskumningshastigheden kan reduceres ved at sænke temperaturen ved at blande luft i dampen.

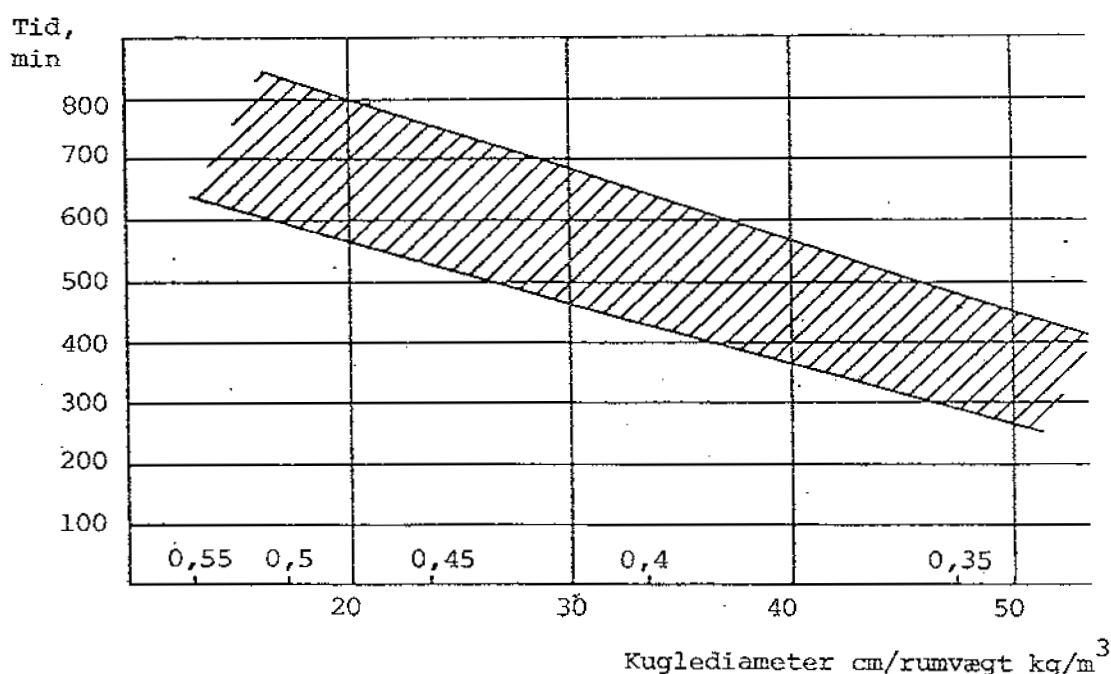
Lavere vægtfylder kan opnås ved at behandle med damp 2 gange med en pause imellem. Teoretisk skal der bruges 32 kcal eller 0,06 kg mættet damp for at ekspandere 1 kg råvare. I praksis undviger en del af dampen uden at kondensere, og der er store varmetab, der regnes derfor med at der til at forskumme 1 kg råvare til 15 kg/m³ skal bruges 4,5 - 10 kg damp pr. m³ ekspanderede kugler.

Modning af ekspanderede kugler

Umiddelbart efter forskumningen og køling kan de enkelte kugler trykkes papirtynde mellem to fingre. Dette skyldes, at drivmiddel og vanddamp inde i cellerne er kondenseret under kølingen, og der er undertryk i kuglen. I den følgende periode sker der en diffusion af luft ind i kuglen, og når kuglen virker elastisk og genvinder sin form efter sammentrykning, er den "moden" og klar til brug - enten direkte eller efter en slutsaumning i lukket form til isoleringsplade eller lignende.

Luftoptagelsen sker med forskellig hastighed afhængig af kuglestørrelse, vægtfylde og temperatur. En standard råvare vil kræve 10-14 timer ved 15 kg/m³

Sammenhæng mellem modningstid og opskumningsrumvægt er vist nedenfor.



Tørring

Forsaummede kugler kan indeholde op til 30% W/W vand og skal tørres, før de kan anvendes til fyldning af hulmure eller lignende. Tørringen sker relativt langsomt ved stuetemperatur, men accelereres meget ved tvungen luftcirkulation.

Under tørringen sker der også tab af drivmiddel. Hvis kuglerne skal støbes til blokke, skal der være en bestemt mængde drivmiddel tilstede under denne proces, og de må

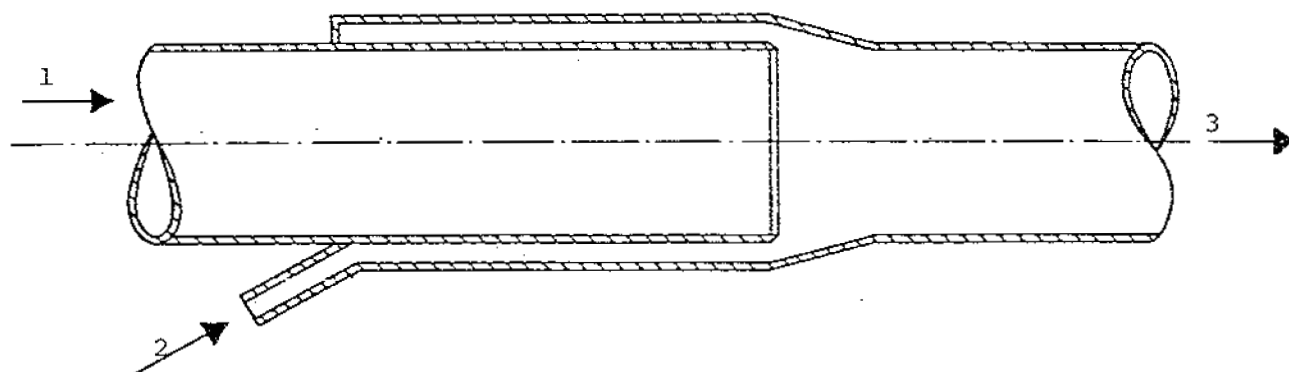
derfor ikke tørres udover et bestemt niveau. Hvis kuglerne skal anvendes løst til fyldning er det en fordel at lagre længere, idet kuglerne bliver mekanisk mere stabile.

De varme frisk forskummede kugler klapper meget let sammen under mekanisk påvirkning og skal behandles varsomt under transport til tørresilo eller lignende. Det er en god ide at lade kuglerne hvile en kort periode under en strøm af opvarmet luft. Det giver kuglerne lejlighed til at køle langsomt og stabiliserer dem noget og forbedrer deres flow, så de bedre tåler transport.

Under normale produktionsforhold vil man transportere kuglerne med en pneumatisk conveyor drevet med trykluft eller en lille blæser. Nedenfor vises en venturiblæser til et sådant system.

Kuglerne suges ind ved 1, trykluft blæses ind ved 2, og ved 3 blæses kugler og luft gennem en slange til en silo.

I Grønland vil man kunne anvende en lille blæser eller ventilator. Samme blæser skal så udformes, så den også kan bruges til hulrumsisolering, disse forhold er udførligt beskrevet senere.



Opbevaring af forskummede kugler

I en permanent produktion vil man anvende siloer i en let rammekonstruktion med metaltrådsnet som vægge ophængt i bygningen. I Grønland må der nok findes en mere flexibel løsning. Denne kunne gå i retning af "Big Bags" på f.eks. 1 m³, der ophænges under loftet. Bedst er nok opbevaring i store hessiansække, men dette er en dyr løsning.

Tørreperioden afhænger af temperatur, luftfugtighed, ventilation, kuglestørrelse og vægtfylde. For normale forhold

regner man ved en vægtfylde på 15-20 kg/m³ et minimum på 12 timer og maximum på 48. Til den foreslåede anvendelse er der som nævnt ovenfor ingen problemer udover pladsmæssige ved at lagre endnu længere.

Man kan beregne den luftmængde kuglerne skal bringes i kontakt med for at fjerne en given vandmængde. Antag at vi f.eks. ønsker at reducere vandindholdet i 1 m³ kugler med vægtfylde 20 kg/m³ fra 10% W/W til 3% W/W (fuldstændig tørring vil give problemer med statisk elektricitet). Vandmængden der skal fjernes er 1,4 kg. Antager vi, at luften kommer ind i siloen med 20° C og 65% RH og går ud igen med 20° C og 80% RH, så kræves omkring 190 m³. Hvis vi varmer til 30°, er volumenet 79 m³ og ved 40° C er det 41 m³.

Det ses heraf, at de luftmængder og energibehov, der skal bruges ved forceret tørring, er relativt små ved den ønskede produktionsstørrelse, hvilket må afvejes mod det pladsmæssige problem ved simpel lagring.

Forskummede kugler, der er helt tørre, kan give problemer med elektrostatisk opladning, som besværliggør håndtering og indblæsning. Man kan i så fald blæse luft fugtet med lidt damp igennem dem.

Produktionskontrol

Produktionskontrollen er enkel og kan udføres uden specialapparatur. Kontrollen drejer sig primært om vægtfylden. Vægtfylden bestemmes ved at fylde en mindre, given beholder med forskummede kugler og veje den. Forskumningen fortsættes, til man er nede på den ønskede vægt.

Produktionsfejl på vægtfylden vil påvirke økonomien, men ødelægger ikke produktets kvalitet som isoleringsmateriale.

5.2 PRODUKTETS FYSISKE EGENSKABER OG SIKKERHEDSMÆSSIGE FORHOLD

Skrumpning

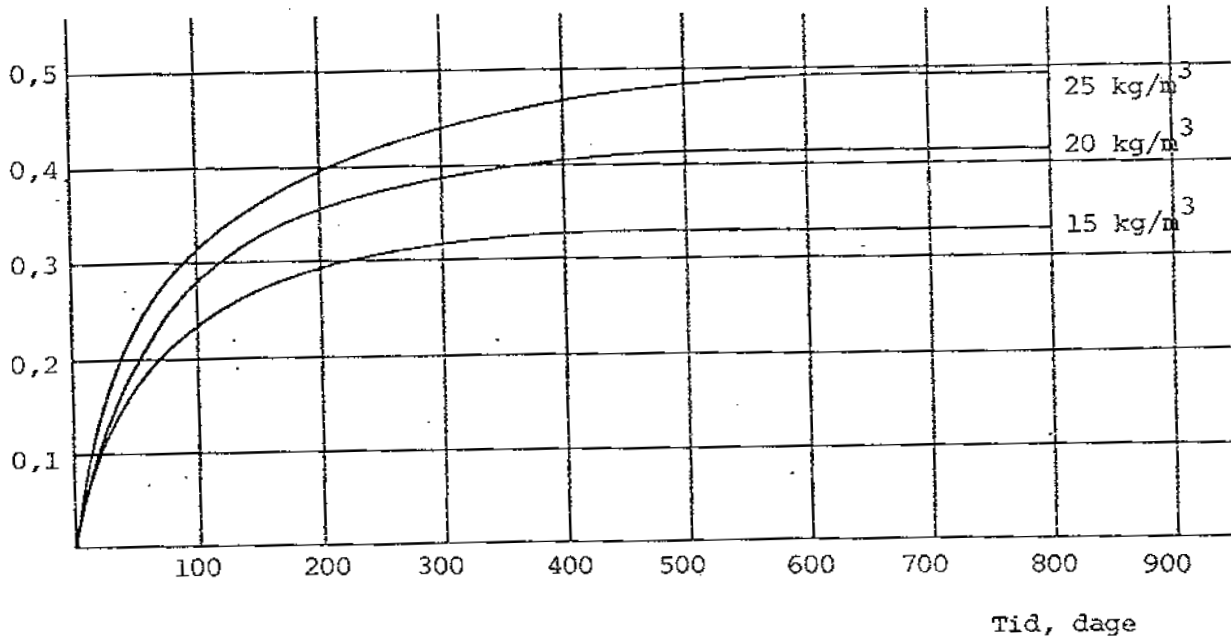
Ekspanderet polystyren ændrer dimensioner efter produktionen, men ændringerne er små.

Lige efter dampbehandlingen mindskes kuglernes diameter med ca. 1%. Skrumpningen skyldes afkølingen og undertryk i cellerne, mens cellevæggene endnu er varme. Denne skrumpning svarer til en vægtfyldeøgning på 3%, men er iøvrigt uden praktisk betydning, da der kompenseres for den underforskrumpningen.

Uhensigtsmæssig mekanisk behandling af de friske kugler kan lede til en vægtfyldeforøgelse, som bør lede til mere hensigtsmæssig produktionsgang, men som ikke har praktisk betydning for anvendelsen.

I de første måneder efter fremstillingen kan man iagttage en efterskrumpning, som kan være af betydning for anvendelsen. Skrumpningen sker hurtigst i starten og går derefter asymptotisk mod en stabil grænseværdi. Grænseværdien afhænger af produktart og fremstillingsmåde. For støbte isoleringsplader accepteres normalt en grænseværdi på 0,2%. Efterskrump for 40 mm plader er vist nedenfor.

Skrumpning, %



Efterskrumpningen af blokke kan reduceres med 20-30% ved at øge lagertiden af kuglerne fra 1 til 4-5 dage.

Det må udtrykkeligt siges, at de viste værdier ikke uden videre kan anvendes for løse kugler, men gælder for dampstøbte plader, hvor dimensionerne 24 timer efter støbning er brugt som nulværdi.

Det er vort skøn, at den egentlige efterskrumpning, vi bør regne med, er på 0,1-0,2%, og vi bør regne med en lagertid på ikke under 1 uge, og hellere 2, hvis muligt.

Termiske dimensionsændringer

De termiske dimensionsændringer er reversible processer. For temperaturområdet svarende til vore breddegrader er den lineære temperaturkoefficient $5-7 \times 10^{-5}$ deg. C⁻¹, dvs. at en temperatursenkning på 15-20° C vil give en ændring på 0,1%. Vi kan ikke finde data for de meget lave temperaturområder, men alle oplysninger siger, at dimensionsstabiliteten er god ved -100° C, og at der ikke findes nogen nedre grænse for EPS's anvendelighed. Man kan forvente, at materialet bliver mere stift jo lavere temperaturen bliver, og at temperaturkoefficienten derfor vil fortsætte med at være ca. 6×10^{-5} eller derunder, også ned til -70° C.

Det skal påpeges, at materialet har en vis elasticitet, som ved passende "overpakning" i nogen grad kan udligne skrumpningen og de termiske dimensionsændringer.

Langtidsbelastning

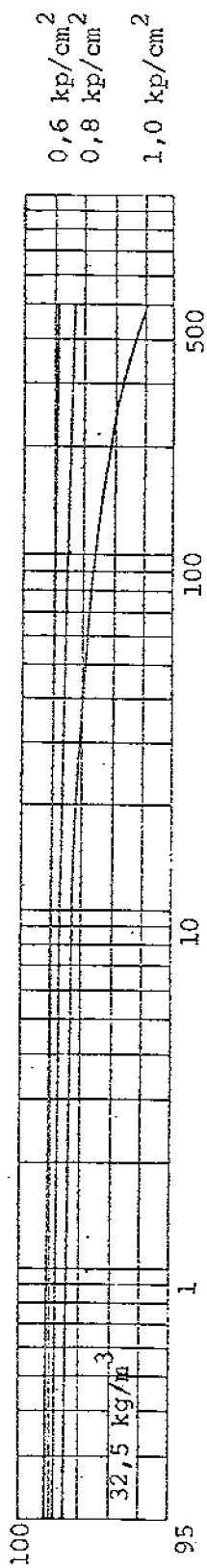
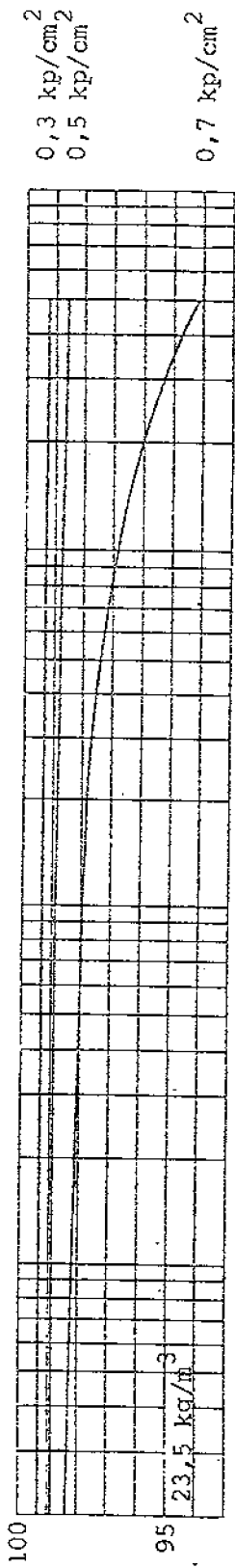
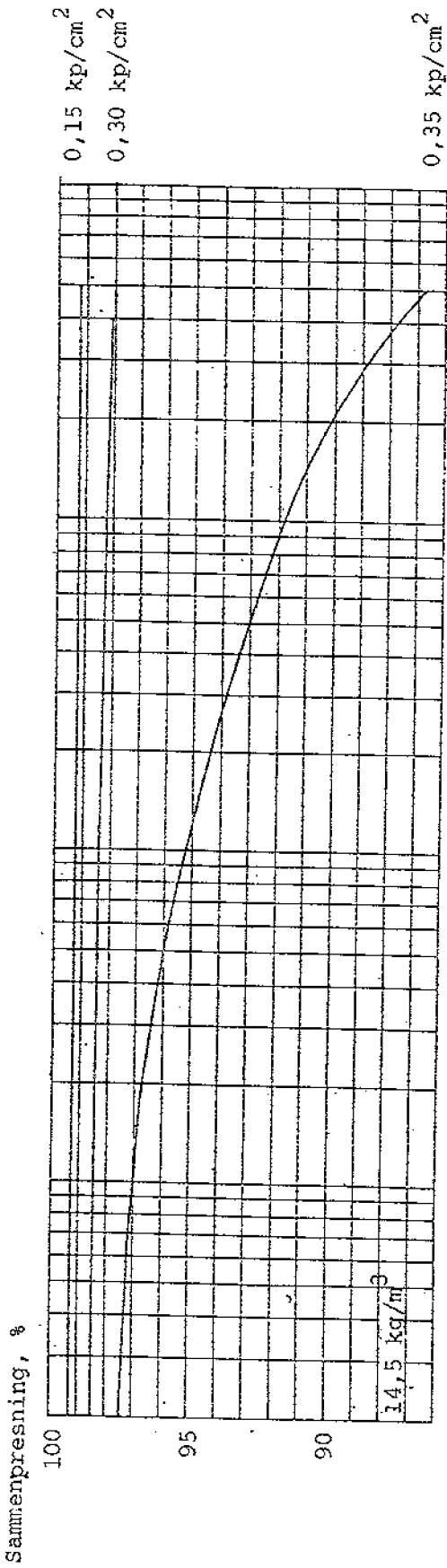
Forholdene under langtidsbelastning er vist på side 40 for forskellige vægtfylde og belastninger. Den ovenfor omtalte elasticitet ses som difference mellem slutpunkt og 100. For de her anvendte 15 kg/m³ synes en konstant last på 0,2-0,25 Kp/cm² ikke at indebære problemer.

Varmeledningskoefficient

De danske normerede værdier for λ er væsentligere ugunstige end de i andre lande godkendte. Oplysninger fra litteraturen om varmeledningskoefficienten for EPS er vist på pg. 41. Den øverste figur viser varmeledningskoefficienten som funktion af vægtfylde ved 0 og 40°. Den kraftige øgning ved de lave værdier skyldes, at en større del af varmen kan transporteres ved stråling.

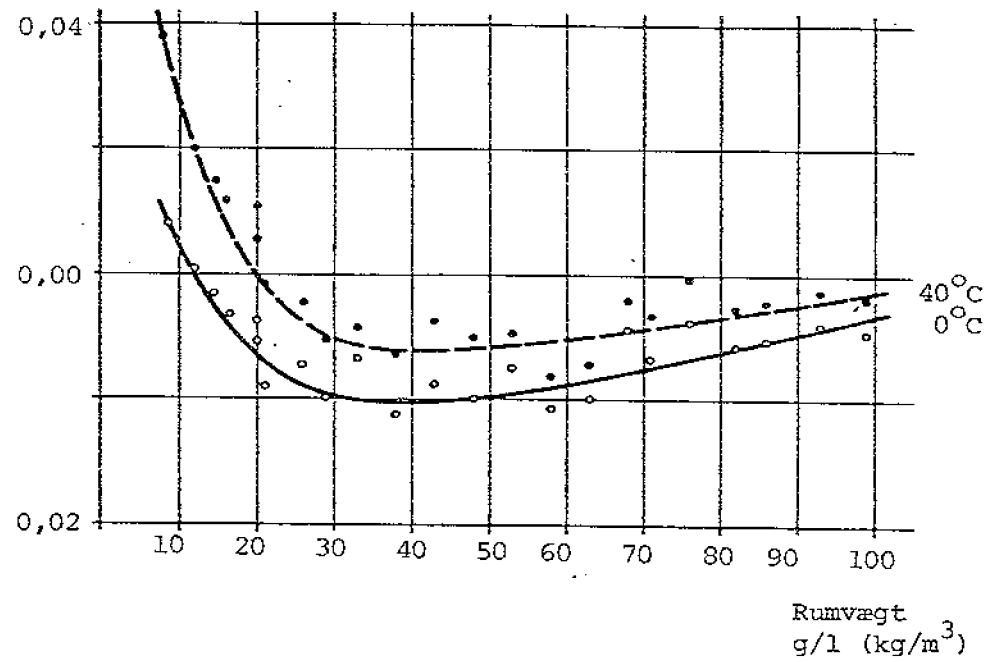
Den nederste figur viser λ som funktion af temperaturen målt efter DIN 52612 p. 1.

Ved dampstøbte plader vil der på grund af støbeprocessen være lidt vand i pladerne, og dette afgives ret langsomt. Af denne årsag skal der efter DIN 52612 lægges 10% til de målte værdier af λ .

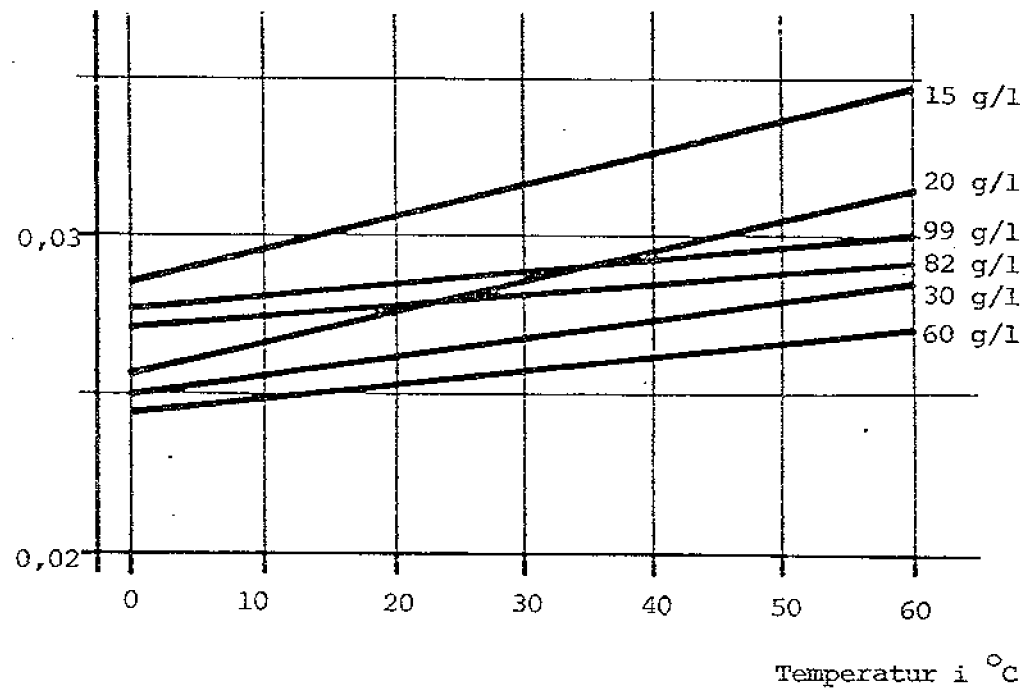


Belastningsdag

$\lambda \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$



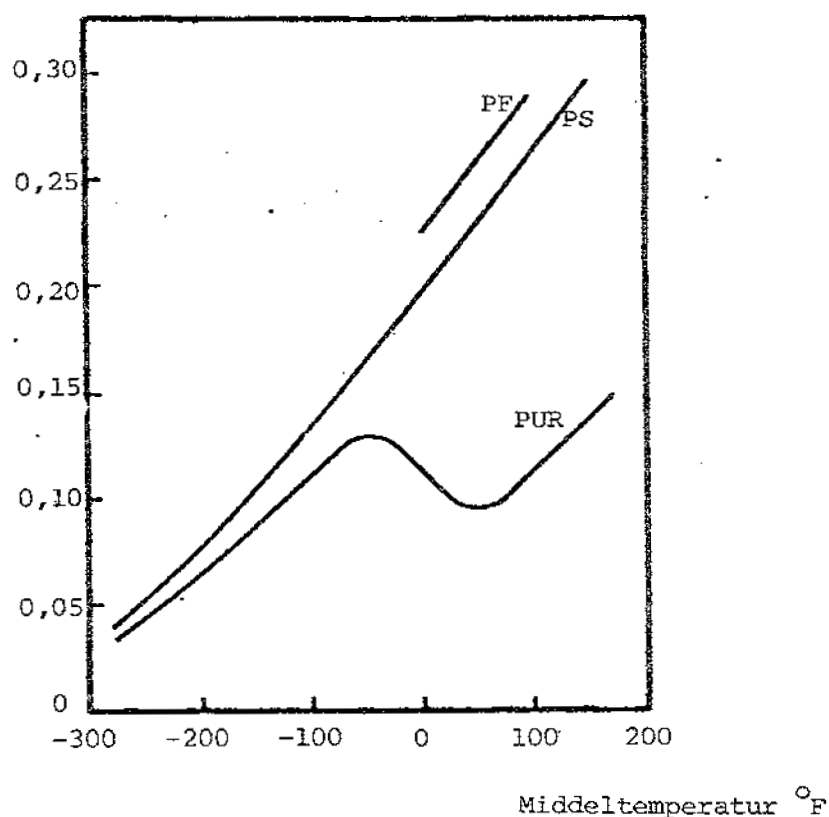
$\lambda \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$



For løse kugler vil der ikke blive tilført damp efter forskumningen, og vi vil af andre årsager være interesseret i en god tørring. Vi forventer derfor, at man vil kunne påvise praktiske værdier af λ der er bedre end de normerede.

Nedenfor ses ligeledes isoleringsevnen af EPS. Det fremgår, at isoleringsevnen eksperimentelt er væsentlig højere end normernes værdier, samt stigende med faldende temperatur, samt næsten lige så god som en PUR-skum.

K-faktor



K-faktor angivet som:

$$1 \text{ Btu/(hr) (ft}^2\text{) (}^\circ\text{F/inch)} = 0,144 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Sikkerhed

Produktion af EPS kugler er vel den renligste produktion af plastisoleringsmaterialer, der findes, og den frembyder ingen særlige risici udover det nedenfor nævnte.

Drivmidlet er som nævnt en kulbrinteblending, som afgives fra råvaren. Lagring skal ske i fulde tromler og ved max.

25° C. Når låget tages af tromlen, skal man lade 10 min. hengå, før man håndterer perlerne, så dampene samlet over den kan forsvinde. Flammepunktet for friske perler er ca. 55° C, og man skal forebygge gnister fra statisk elektricitet ved at jorde alt udstyr. Brug af åben ild skal være forbudt, og områder, hvor EPS håndteres eller lagres, skal være velventilerede.

Den mængde, en ansat må udsættes for af forskellige stoffer, er i Danmark anført i arbejdstilsynets anvisning nr. 62 om Hygiejniske grænseværdier (HGV) med tilhørende bilag i form af grænseværdilisten. De hygiejniske grænseværdier angiver de koncentrationer, der ikke anses at være skadelige eller generende hverken ved akut påvirkning eller gennem et helt arbejdsliv. Koncentrationerne måles ved personens indåndingszone, og gennemsnitskoncentration over en 8-timers arbejdsdag må ikke overstige HGV-værdien. Dvs. en koncentration svarende til HGV-værdien i 8 timer pr. døgn over et arbejdsliv anses for at være uden skadevirkning. I kortere perioder tillades for de fleste stoffer også en overskridelse af HGV-værdien, alt efter stoffets art på 25-200%. Formelt set er den danske lovgivning på området ikke gældende i Grønland, men det ville være urimeligt at foretage en sådan skelnen.

Det er vigtigt, at der til fabrikationen indkøbes den rette råvare, idet disse findes af forskellige fabrikater. Med den råvare, der anvendes i dette projekt, frigives under isoleringsfabrikationen udover vanddamp alene kulbrinten pentan $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_3 \text{CH}_3$.

i arbejdstilsynets liste over HGV værdier fra 1981 angives HGV-værdien for pentan til 500 ppm (parts per million, f.eks. cm^3 pr. m^3 luft). Værdien er ikke en loftsværdi, men kan overskrides 25%. Udenlandske toksikologiske værker anfører samme værdi som maksimal gennemsnitsbelastning. Stoffet er ikke optaget på listen over stoffer, der varsles ændret ved kommende revision, og er heller ikke optaget på listen over stoffer, som anses for eller er mistænkt for at være kræftfremkaldende.

Ved måling direkte i karrene er der under prøveproduktionen fundet en kulbrintekonzentration på 500 ppm, altså svarende til HGV-værdien for pentan.

Denne måling er dog næppe repræsentativ for den faktiske eksposition, da: (1) koncentrationen i indåndingszonen sikkert er væsentlig lavere end i selve dampen i karret, og (2) at påvirkningen næppe er konstant gennem 8 timer, dette kan naturligvis verificeres ved anvendelse af et dosiometer.

Produktionen kan dog give anledning til en ubehagelig lugt i lokalerne, der for uindviiede kan skabe usikkerhed om en evt. giftfare (ilde lugt og giftighed har naturligvis nødvendigvis intet med hinanden at gøre), og det er desuden altid god og tilrådelig praksis at søge at mindske koncentrationen mest mulig.

For at skabe fuld tryghed om produktionen bør der derfor indføres følgende supplerende sikkerhedsforanstaltninger:

- 1) Etableres mekanisk udsugning direkte til det fri over hvert kar, hvorved pentan-koncentrationen stort set kan fjernes helt.
- 2) Løbende kontrolmålinger af at dette også er tilfældet.
- 3) Råvarekontrol og analyser for at sikre, at de stillede krav til råvaren til stadighed er opfyldt.

Det ekspanderede materiale er brandbart, har en meget stor overflade og er finfordelt med ca. 15 kg pr. m³ luft. Produktionen skal derfor ske under udelukkelse af antændingskilder herunder rygning og med fornødent hensyn til forebyggelse af gnister fra statisk elektricitet.

Ved normal omgang med materialet må det anses for helt ufarligt med hensyn til forgiftning, og de tørrede, lagrede kugler indeholder ikke flygtige stoffer.

Den selvslukkende råvare, som anvendes i dette projekt, indeholder som nævnt en bromforbindelse, sikkert en bromeret kulbrinte, der efter nogen tid kunne optræde som en hinde på svært tilgængelige steder af skummekar og andet udstyr. Det kan ikke udelukkes, at der vil være personer, der ved kontakt med en sådan koncentreret bromforbindelse vil udvikle eksem, hvorfor materialet kun må håndteres ved brug af handsker.

Produktets brugsmæssige forhold skal ikke uddybes yderligere, end hvad der skete i afsnit 3.2. Problemet mht. brand er dog detaljeret behandlet i rapporten: "Konstruktion og lokalproduktion af stressed-skin træelementer i Grønland".

På længere sigt bør man nok genoverveje, om man ønsker at anvende den brandhæmmede råvare. Godt nok forsinker dette en antændelse af isoleringen, men dette har næppe større betydning med den brandbeskyttelse, der gives konstruktionerne. Til gengæld giver bromforbindelsen det problem, at den friske isolering må håndteres med handsker, og at røggassen indeholder hydrogenbromid.

5.3 DIMENSIONERING OG UDFORMNING AF EKSEMPLARISK PRODUKTIONSANLÆG

Generelt

Der produceres omkring 600 boligenheder pr. år i Grønland.

Såfremt man regner med ca. 20 produktionsområder, vil den gennemsnitlige produktionsstørrelse være ca. 30 boligenheder.

Udsvingene vil dog være meget store fra produktionsenhed til produktionsenhed, ligesom den relative anvendelsesmulighed af EPS vil være varierende, men en produktionsstørrelse svarende til en EPS produktion til 10-20 boligenheder pr. år for en typisk enhed vil næppe være urealistisk.

Hver boligenhed har en overflade på max. ca. 300 m² svarende til 75 m³ isolering, såfremt der regnes med en isoleringstykkelse på 250 mm.

En produktionskapacitet på 6 m³/dag giver en produktions-tid på $75/6 = 12,5$ dag pr. hus eller ca. 10 huse på 1/2 år eller 20 på årsbasis. Eksempelvis vil et sådant anlæg blive dimensioneret og økonomisk vurderet i det følgende.

Under de nævnte forudsætninger og med en rumvægt på 15 kg/m³ giver dette $6 \times 15 \text{ kg EPS} = 90 \text{ kg EPS/dag}$ eller $90/8 = 11 \text{ kg EPS/time}$.

Produktion af 6 m³ forskummede kugler pr. dag

Som nævnt regnes der med en densitet på 15 kg/m³. Dette giver 90 kg tørre kugler/dag. Med 10% tab som drivmiddel og spild kræves der 100 kg/dag.

Skummecyclus sættes foreløbigt til: 3 min. forvarmning, 8 min. skumning, 15 min. køling, 3 min. tømning. Ialt 29 minutter.

Dampforbrug sættes til 0,5 kg pr. kg råvare. Tørretid sættes til 48 timer.

Forskummer

Der regnes som nævnt ovenfor foreløbigt med, at man kan forskumme 2 gange i timen eller 14 gange på en normal arbejdsdag under hensyn til pauser. Pr. gang skal der fremstilles 430 l kugler, og hertil vil et skummekar på 500-550 l være passende. Hvis lagtykkelse af kugler er 25 cm, kan grundfladen være 1,0 x 1,7 m og højden fra mellem-bund til kant være 30-35 cm. Pr. gang anvendes 7,2 kg råvare.

Karrets konstruktion er enklest mulig. Det er udført som en vandret liggende åben kasse. På bunden er anbragt en række ribber, hvorpå mellembunden er anbragt. Langs væggene findes ligeledes en kant, hvorpå mellembunden kan ligge an. I den ene side er tilslutning for damp, som skal kunne bevæge sig frit over hele bundfladen, hvorfor ribberne må anbringes således, at der til alle arealer er en rimelig fri passage for dampen. Karret er forsynet med afløb for kondensvand og anbringes, så det hælder mod afløb.

Mellembunden er perforeret og består af rustfrit stål eller aluminium. Hullerne skal være så fine, at uekspanderede perler ikke sætter sig fast og lukker hullerne. Mellembunden skal kunne tages op for rensning af huller og af rummet under mellembund.

I normal produktion vil man anvende et kar af rustfrit stål eller aluminium, for at undgå at rustskaller giver farvede fejl i den færdige isolering. Det er muligt at almindeligt stål ville holde længe nok til en kortvarig lokal produktion. Kravene til udseende er ikke så store som i blokstøbning. Tendensen til korrosion øges formentligt ved anvendelse af en selvslukkende vare.

Dampproduktion

Kravene til dampmængde og dampkvalitet er ikke store, hvis man blot vil fremstille løse kugler. En produktion af dampstøbte isoleringsplader vil øge kravene betydeligt.

I en normal produktion vil man have damp produceret i en kedel eller dampgenerator. Dampen kommer ind ved 4-8 atm og reduceres ned til 0,2-2,0 atm. Trykket kan holdes på +/- 0,05 atm. Røret efter reduktionsventilen er uisolaret på en strækning, så dampen køles ned og ophører med at være overophedet.

I den foreliggende produktion antages der et dampbehov på 0,5 kg/kg råvare eller 7,5 kg damp pr. m³ skummede kugler.

Med en chargestørrelse på 7,2 kg råvare skal bruges 3,6 kg damp over en periode på 3 + 8 minutter - mindst i starten og stigende mod slutningen. Dette giver en spidsbelastning på 25-30 kg/h, mens den jævne belastning er 7,2 kg/h.

Omsat til forskellige energikilder er behovene som vist i omstående skema.

Dampbehovet er ikke noget problem, hvor der i forvejen findes en dampinstallation.

For andre tilfælde må egen dampkilde etableres. Denne skal være så billig som muligt og let transportabel.

	Damp kg/h	El kW	Gas eller Olie kg/h 80% eff.
Spidsbelastning	25-30	16-19	2,2
Jævn ydelse	7,2	4,7	0,53

Der findes på markedet en række små dampkedler og dampgeneratorer:

- elektrisk opvarmet kedel eller generator - simpel styringsmæssigt, sikkert, men kræver tilstrækkelig el-kapacitet - evt. fra generator.
- olie eller gas fyret generator, f.eks. svarende til en højtryksrenser, som kan producere damp svarende til 2-3 kg olie/h ved 10 atm.
- direkte dampproduktion i skummekarret, f.eks. ved en indbygget sump med rumindhold 25 l og varmelegemer på 16 kW.

Af hensyn til en let og problemfri produktion vil det være hensigtsmæssigt at anvende så lavteknologisk materiel som muligt. De økonomiske aspekter spiller naturligvis også en afgørende rolle.

Af ovennævnte årsager kan anskaffelsen af en elektrisk opvarmet kedel eller generator, eller en olie- eller gasfyret generator næppe anbefales. Begge kræver specialmontører til reparationer, dvs. folk der kommer tilrejsende fra Danmark og herved mistes dages produktion, måske ugers. Endvidere koster de begge i indkøb ca. 15.000 kr, hvorimod et simpelt skummekar vil koste ca. 6000 kr. (alt incl.).

Da kravene til dampmængde og -kvalitet er små vil vi således her anbefale en produktion af damp direkte i skummekassen.

Opvarmningen bør være elektrisk dels af hensyn til brandfare og dels af hensyn til simpel styring.

Vi kan til kogning regne med en specifik belastning på 8 W/cm² hedeplade. Ved 16 kW skal den samlede hedeplade således være ca. 2.000 cm² eller 0,2 m².

Færdige varmepatroner, der monteres ved iskruning i en 2" gevindmuffe, kan leveres med effekter på 2,4; 4,5; 6; 7,5; 9 og 12 kW. Priserne ligger omkring kr. 625 for 4,5 kW og kr. 750 for en 9 kW patron udført i forniklet kobber. Til den foreliggende anvendelse vil det nok være rigtigere at anvende varmelegemer med Cr-Ni kappe.

En samlet effekt på 16 kW kan i visse tilfælde være en stor belastning på den lokale el-forsyning. Ser vi på skumme-cyklus, består den af en aktiv periode på 3+8 min. og en passiv periode uden dampforbrug på 15+3 min. Man kunne altså halvere belastningen ved at foretage skumnin-gen i to mindre skummekasser med forskudt arbejds-cyklus.

På basis af ovennævnte mener vi, at produktionen mest hensigtsmæssigt på et typisk produktionssted kan foregå med opskumning i 2 el-opvarmede skummekasser, hver med en skummeplade på ca. 0,8 x 0,8 m, lagtykkelse af kugler på ca. 35 cm og med en afstand på 45 cm fra mellembund til kant. Max. elforbrug bliver således 8 kW. De fleste bygder udbygges pt. til 2 x 27 kW. Anvendelse af små skummekar synes således realistisk også i bygdesammenhæng, hvorimod et enkelt stort kar nok kunne være problematisk.

Til forsøgsproduktionen er der bygget et stk. skummekasse, som nærmere er beskrevet i bilag 8.7.

Modning og lagring

Det er klart, at den løse EPS stiller krav om ret store lagerarealer, men dog næppe større end de arealer, der idag anvendes til lagring af traditionelle isoleringsmaterialer.

Transporten af EPS foretages nok mest hensigtsmæssigt v.hj.a. et simpelt ventilatoranlæg, som senere skal beskrives.

Lagringen kan foregå hensigtsmæssigt f.eks. i store fint-maskede net, der evt. kan ophænges under loftet gerne i et velventileret lokale. Lagringstemperaturen vil næppe blive kritisk i Grønland.

5.4 PRODUKTETS ANVENDELSESMULIGHEDER OG ØKONOMI

Anvendelsesmuligheder

EPS materialet kan som tidligere beskrevet anvendes i 2 former: de forskummede kugler direkte, eller efter sammen-dampning af disse til isoleringsblokke, der igen kan udskæres i ønskede pladedimensioner.

I nærværende rapport har vi alene koncentreret os om den første anvendelsesmulighed, idet pladeskumningen vil for-dre en del specialudstyr til dampproduktion, presning og skæring. Selvom dette udstyr er forholdsvis overkommeligt, vil det sikkert kun kunne gøres rentabelt på få produktionsteder.

De løse kugler i sig selv har dog også en række anvendelsesmuligheder. Den direkte anvendelse i forbindelse med dette projekt er dels som isolering i præfabrikerede træelementer, og dels tænkes de anvendt som hulmursisolering, der indblæses i huse opmuret af lokalt producerede byggeblokke.

Materialet burde herudover være velegnet til en lang række efterisoleringsopgaver mv, idet fremstillingen er simpel og kan udføres selv på mindre bygder, såfremt der findes eller etableres den fornødne strømforsyning. Også en lang række andre anvendelser kunne tænkes, f.eks. som beskyttelsesmateriale ved pakning af de store mængder gods herunder frysegods, der transporteres i Grønland, til isolering af både og frysehuse, til at gøre både synkefri mv.

Økonomi

Den påtænkte råvare kan primo 83 leveres på havnen i Ålborg i tromler for 11,60 kr/kg (excl. moms) svarende til en råvareudgift på ca. kr. 170 pr. m³

Transportomkostningerne af råvaren kan sættes til ca. 30 kr pr. m³ færdig isolering.

En ufaglært arbejder vil kunne producere ca. 6 m³ pr. dag svarende til ca. 1,5 mh/m³ (incl. arbejds løn ved lagring) eller ca. 130 kr. pr. m³ færdig isolering.

Afskrivning af skummeudstyr mv. (total investering af størrelsesordenen ca. 20.000 kr) samt strømforbrug vil næppe overstige 10 kr. pr. m³ færdig isolering.

Produktionen forudsættes at kunne foregå som biproduktion til anden produktion, og således ikke fordrer specielle bygninger, hvorfor udgifter til bygningsanlæg ikke er medregnet.

Totalprisen for den producerede isolering kan således i dette eksempel ansættes til ca. 340 kr. pr. m^3 færdig isolering.

Som tidligere nævnt er ovennævnte prisudregning baseret på en produktion på $6m^3$ isolering per dag udført i 2 stk. skummekekar på $0,8 \times 0,8$ m og med en dybde på 45 cm. Produktionen kan klares af een ufaglært arbejder. Teknikken forudsætter, at elnettet kan belastes med op til 8 kw.

Prisen vil normalt være faldende med produktionens størrelse. Forudsættes det således, at produktionen er $12 m^3$ per dag, og at elnettet kan belastes med op til 16 kw, skønnes produktionen stadig at kunne klares af een ufaglært arbejder i 2 stk. skummekekar på $1,0 \times 1,7$ m med en dybde på 35 cm eller 2 stk. skummekekar på $1,1 \times 1,1$ m med en dybde på 45 cm. I så fald bliver prisen ca. 280 kr. pr. m^3 færdig isolering. Såfremt der ikke er el til rådighed, eller ikke i tilstrækkelig mængde, må der opstilles en generator eller dampproduktionen må baseres på anden energiform, jvnf. afsnit 5.3.

Med en produktionspris på ca. 300 kr. pr. m^3 er besparelsen i forhold til traditionel isolering ca. 500 kr./ m^3 .

Som tidligere nævnt medgår der 75-100 m^3 EPS isolering i en mindre, højisolaret fritliggende bolig. Idet der tages hensyn til, at der eventuelt vil blive krævet ca. 25% mere isolering ved anvendelse af EPS, bliver den resulterende besparelse i materialeudgifter til isolering pr. selvstændig boligenhed ca. 40.000 kr.

For at foretage en totalvurdering skal hertil naturligvis foretages en vurdering af arbejdslønsudgiften ved anbringen af henholdsvis EPS kuglerne og det traditionelle isoleringsmateriale. Arbejdslønsudgifterne ved anvendelse af EPS kugler vil blive fastlagt gennem forsøgsbyggerier, men må umiddelbart efter forsøg i laboratorierne skønnes at være mindre end ved anvendelse af traditionel isolering, hvilket vil forøge rentabiliteten yderligere.

Beskæftigelse

Som ovenfor anført synes produktionen således rentabel i forhold til indførsel af traditionel isolering.

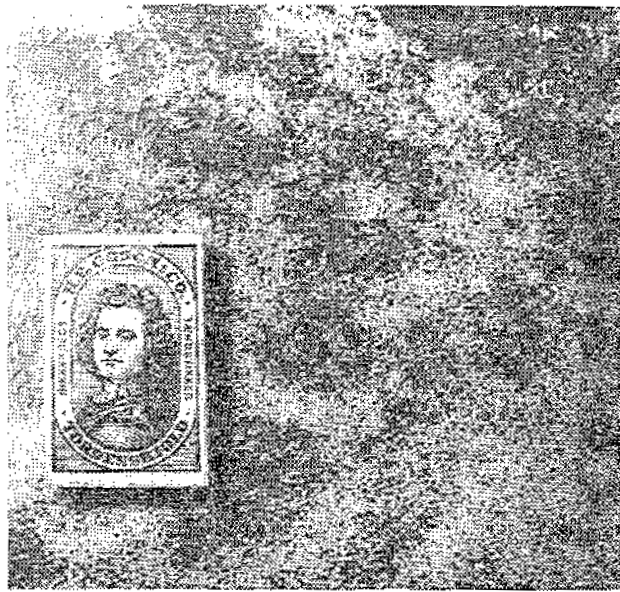
Herudover vil det give en merbeskæftigelse i Grønland. En omlægning til lokal isoleringsproduktion skønnes på landsplan at medføre en merbeskæftigelse på minimum 50 mand.

5.5 PRØVEPRODUKTION I KØBENHAVN

Der er i laboratorierne ved DTH blevet gennemført en prøveproduktion.

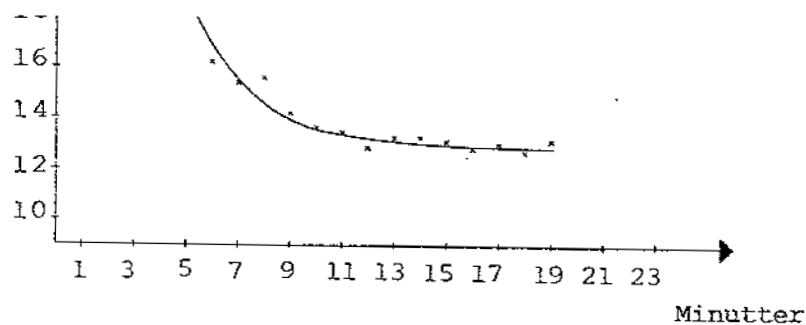
Den til forsøgene anvendte råvare blev indkøbt ved firmaet Dansk Sundolitt A/S i Slangerup. Varen har handelsbetegnelsen FF 20, der er en brandhæmmet EPS råvare. Til forsøgene blev der indkøbt to tromler a 100 kg, svarende til 10-15 m³ færdig isolering. Indkøbt i så små mængder koster varen (excl. moms) 16 kr/kg, frit leveret.

Nedenfor er gengivet et billede af råvaren. Iøvrigt svarer den til den i afsnit 5.1 givne råvarespecifikation.



Ved opskumningen blev der anvendt et skummekar som beskrevet i bilag 8.7 med et kar på 0,8 x 0,8 m og 45 cm dybt.

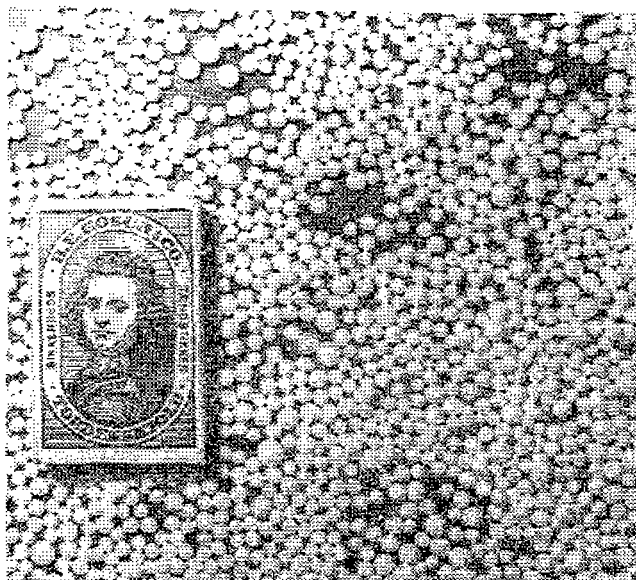
Opskumningen forløb helt problemfrit. Et billede af kassen under produktion er vist på næste side.



Af hensyn til den samlede produktionsplanlægning (se senere) blev opskumningstiden sat til 8 minutter, hvilket svarer til en rumvægt på ca. 14,5 kg/m³. Herudover viste det sig hensigtsmæssigt, at arbejde med en chargestørrelse på 3 kg, idet en sådan mængde opskummet til 14,5 kg/m³ stadig rimeligt nemt kan omrøres uden væsentligt spild.

Ifyldning af råvare i kassen inden opskumning tager ca. 1/2 minut og opvarmning til fuld dampproduktion efter afsluttet køletid tager ca. 1 minut.

Et billede af det færdige produkt ses nedenfor.

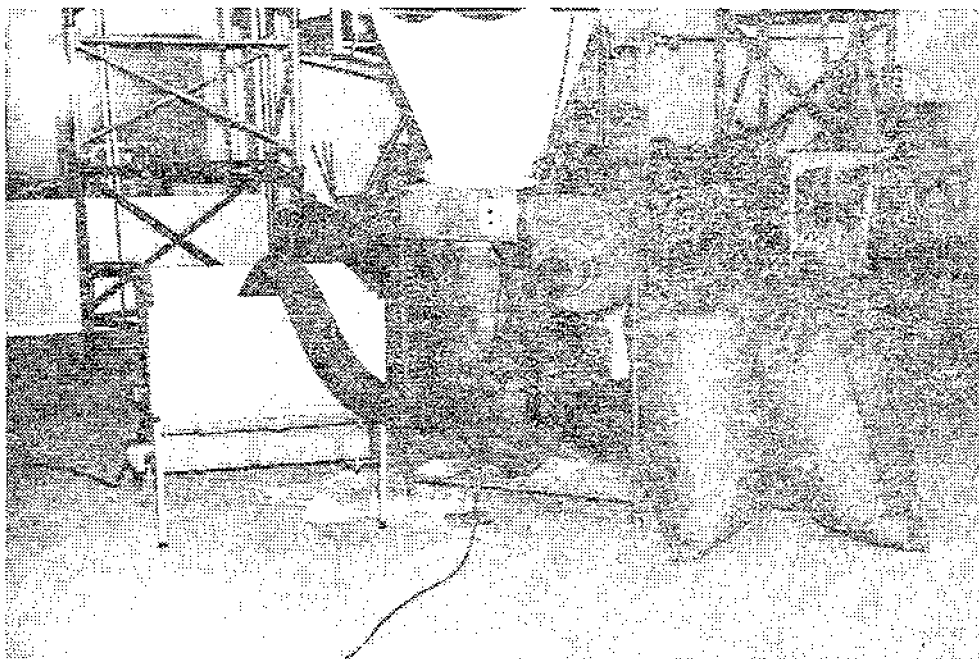


Såfremt opskumningen stopper før den ønskede rumvægt er nået, viste det sig hensigtsmæssigt kort at afbryde produktionen. Når den opstartes igen efter få minutter, forløber processen videre i akcellereret tempo.

Diameteren af de opskummede kugler varierer ca. mellem 3 og 6 mm.

Efter opskumningen må kuglerne afkøles i kassen for at undgå beskadigelse under tømningen. Ved prøveproduktionen blev en køletid på 10-15 min. fundet tilstrækkelig. For at undgå en sammenklumpning af kuglerne bør der af og til også under kølingen foretages en omrøring i karret. Et riveformet træværktøj blev fundet velegnet hertil.

Selve tømningen af karret er ret besværlig at udføre manuelt, hvorfor der ved prøveproduktionen blev anvendt en ventilator som nedenfor vist til tømning af kar og samtidig ifyldning af isoleringen i sække.



Det viste stykke materiel består af en centrifugalpumpe (ventilator), og ses iøvrigt ofte anvendt f.eks. på snedkerværksteder til afsugning fra træbearbejdningsmaskiner. Et stykke grej som det viste koster 3000-4000 kr. excl. moms.

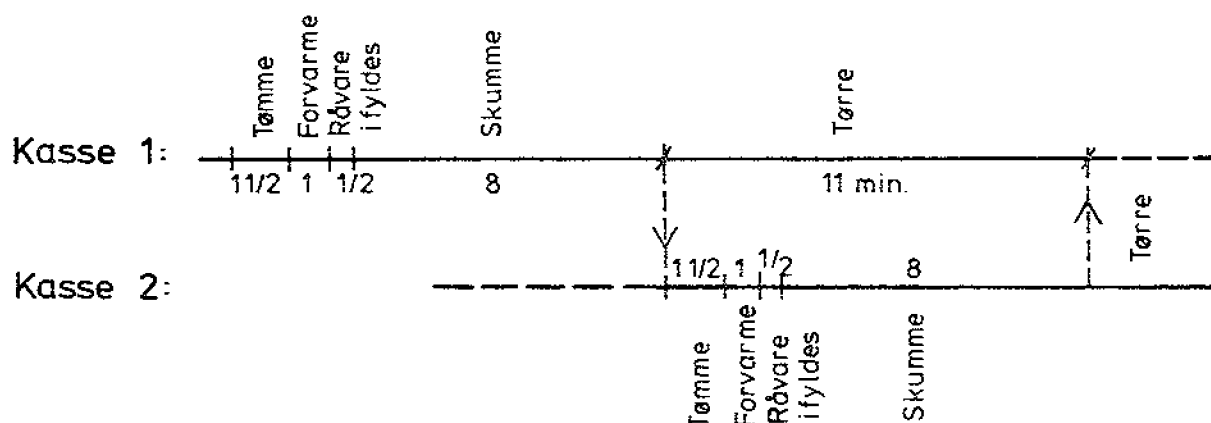
Blaseren viste sig velegnet til tømning af karret og til sækkepåfyldningen. Denne tømmeteknik indebærer iøvrigt den fordel at evt. sammenklumpet isoleringsmateriale sønderdeles uden beskadigelse af de enkelte kugler. Tømmetiden var ca. 1 1/2 min.

Blaseren kan iøvrigt også anvendes til indblæsning af isoleringen i elementer og hulmure. Anvendelsen hertil er detaljeret beskrevet senere.

Under modning og tørring blev EPS-isoleringen ved prøveproduktionen opbevaret i alm. hessiansække (75 x 150 cm med et indhold svarende til een tømning af karret), der er velegnede, idet de ikke er damptætte. Disse sække er ret dyre, hvorfor anden opbevaringsform eller sakkemateriale bør overvejes i Grønland.

Produktionskontrollen var simpel under prøveproduktionen. Der blev løbende under opskumningen ført kontrol med rumvægten ved vejning af et fast volumen af kugler på en elektronisk brevvægt. I praksis er en løbende kontrol heraf næppe nødvendig. En skummetid på 8 min. giver god sikkerhed for en rumvægt på omkring eller under 15 kg/m^3 , og man opnår desuden meget hurtigt en god evne til at vurdere rumvægten visuelt.

På basis af ovenstående kan følgende produktionscyklus fastlægges for een mands arbejde med 2 skummekasser:



Med denne produktionscyklus skulle der kunne opnås flg. dagsproduktion:

$$2 \times \frac{8 \times 60}{22} \times \frac{3}{15} = \underline{8,72 \text{ m}^3}$$

Der synes således ikke at være problemer ved at opnå den forudsatte min. produktion på $6 \text{ m}^3/\text{dag}$.

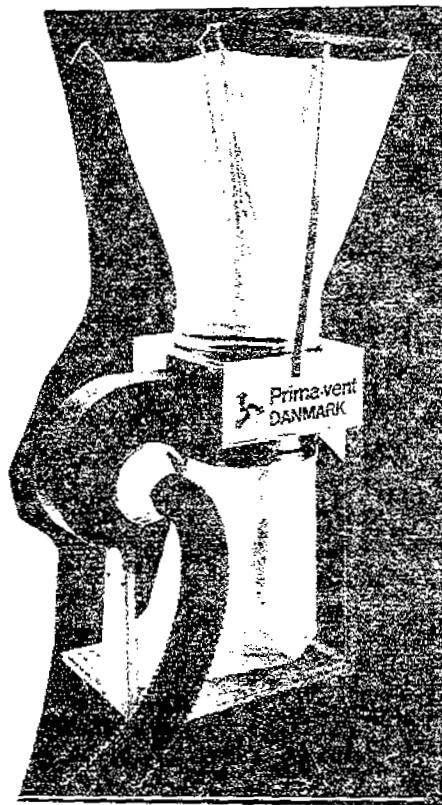
Der blev også som led i prøveproduktionen i København udført en række eksperimenter mht. isoleringens anbringelse i den konstruktion, der skal isoleres.

Som nævnt i indledningen til denne rapport er isoleringen i dette projekt primært beregnet for to anvendelser:

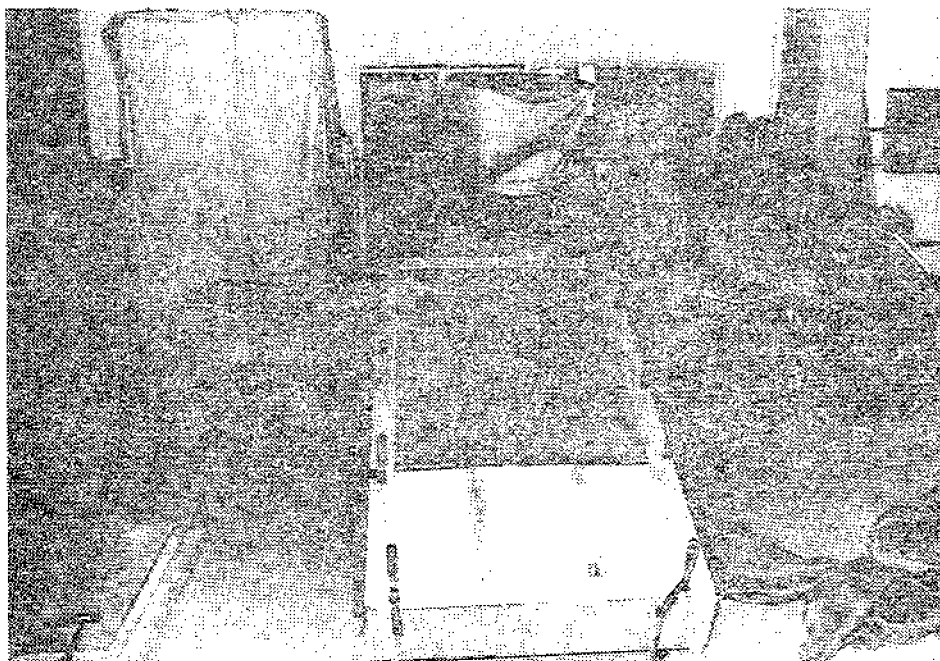
- (1) til indblæsning i hule, stressed-skin træelementer, og
- (2) som hulmursisolering i murværk opmuret af lokalt fremstillede byggeblokke.

Vedr. anvendelsen til stressed-skin træelementer blev der eksperimenteret med en række indfyldningsmetoder.

Som tidligere omtalt blev der ved tømningen af skummekaret anvendt et transportabelt sugeanlæg som vist nedenfor.



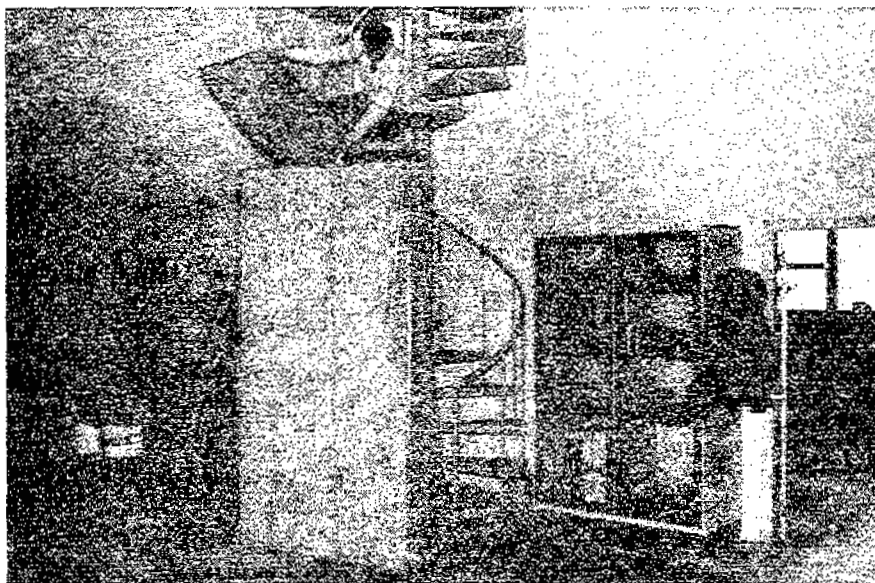
For at udnytte den samme type grej til isoleringspåfyldning blev maskinen ombygget, idet der blev indsat et vippepjæld og en ekstra afgangstud ovenpå pumpehuset. Påfyldning af isolering med dette grej blev forsøgt som vist nedenfor, både med elementet i stående og liggende stilling.



Indblæsningen gik nemmest, når der udbores 2 huller i endeskottet til hver kanal. Indblæsningen foregik gennem det ene, luftafgang gennem det andet hul. Efter indblæsning lukkes hullerne ved påsømning af en zinkplade.

Isoleringens pakning kunne følges under forsøgene idet den ene flange var erstattet med en plexiglasplade. Pakningen var god og tæt, men fyldningen meget langsom.

I praksis viste det sig nemmest og mest effektivt blot direkte at fylde elementerne med isolering fra sækene. Elementerne blev påfyldt stående på det ene endeskot. Efter opfyldning bankes der grundigt på flangerne, og elementerne efterfyldes. Herefter kunne der ikke spores yderligere sætninger i isoleringen.



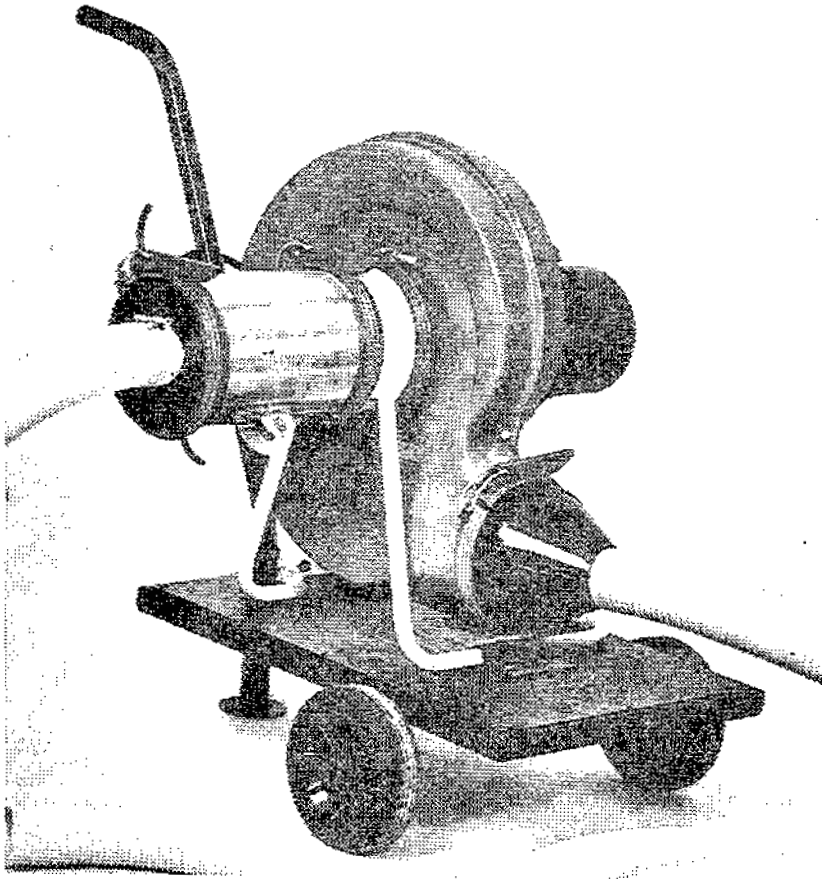
Til opfyldning af hulmure er det nødvendigt at anvende en kraftig blæser. Til projektet blev der anskaffet en blæser, som vist på næste side.

En blæser som den viste kan leveres i København til ca. 3000 kr. excl. moms.

Indblåsningen foregår gennem huller udboret i bagmuren, og efter at muren er lukket foroven af remmen. Der udbores en række huller i højde med underkant vinduer samt en række lige under remmen. Hulafstand 2-3 meter. Omkring vinduer udbores ekstra huller for at sikre en effektiv isoleringsopfyldning.

Den viste blæser kan naturligvis også anvendes til indblåsning af isolering i de hule træelementer.

Erfaringer fra Danmark viser, at den indblæste isolering generelt ikke har tendens til at sætte sig. Noget sådant



er kun registreret, hvor bygværket står nær en tæt, tung trafik. En tendens til sætning af isoleringen kan afhjælpes ved, at der samtidig med indblåsningen af kuglerne forstøves en lim over deres overflade. Dette anses dog ikke for nødvendigt ved anvendelse af isoleringen hverken i træelementer eller hulmure i Grønland.

Nærværende arbejde har været koncentreret om at anviser veje til at billiggøre isoleringen af bygværker i Grønland.

Anvendelse af traditionelle isoleringsmaterialer er meget dyre, idet alene transportudgiften udgør 400-500 kr/m³ færdig isolering. Enhedsprisen for 10 cm Rockwool A-batts leveret i Grønland er således ca. 1100 kr/m³.

Som alternativ hertil er der i nærværende rapport undersøgt rentabiliteten af en celleplastproduktion, der indebærer den åbenlyse fordel, at opskumningen og dermed volumenforøgelsen kan ske i Grønland, hvorved transportomkostningen reduceres væsentligt.

Da de interne fragtrater i Grønland næsten er af samme størrelsesorden som mellem Grønland og Danmark, er det en forudsætning for dette arbejde, at produktionen kan ske i de enkelte forbrugsområder.

Dette medfører, at det udviklede produkt må kunne fremstilles uden anvendelse af kompliceret produktionsudstyr, og at produktionen ikke medfører særlige risici, hvis afhjælpning kræver kompliceret teknologi.

Efter en gennemgang af de kendte celleplasters egenskaber og produktionsmæssige forhold konkluderes det, at en polystyrencelleplast synes velegnet til formålet, idet råvaren er billig, rumvægten lav, produktionen simpel og nok den reneste - i betydningen ufarligste - celleplasttype at producere. Produktet synes ligeledes stort set at have en isoleringsevne, der kan sidestilles med de idag anvendte materialer.

Produktion og anvendelse af enhver celleplasttype kan indebære risici mht. forgiftning, brandfare mv. Som beskrevet i rapporten føler vi os dog overbevist om, at en simpel produktion af polystyrencelleplast kan gennemføres sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt, hvilket næppe er tilfældet for andre celleplasttyper. Med hensyn til brandfaren viser rapporten yderligere, at den fornødne brandsikkerhed kan opnås. Dette er detaljeret behandlet i rapporten: "Konstruktion og lokalproduktion af stressed-skin træelementer i Grønland".

Produktet tænkes anvendt direkte i løs kugleform og synes velegnet til en lang række formål som isolering af præfabrikerede træelementer, hulmursisolering, efterisolering af eksisterende bygværker i by og bygd mv.

Herefter redegøres mere detaljeret for produktets produktion og dets egenskaber, og endeligt dimensioneres og udformes et eksemplarisk produktionsanlæg med en kapacitet på isolering til ca. 20 stk. højisolerede huse per år.

Under forudsætning af at produktionen kan ske i eksisterende lokaler uden ekstraudgift for isoleringsproduktionen er den totale investering i en sådan produktion af størrelsesordenen 20.000 kr. og produktionsprisen ca. 300 kr/m³ isolering, hvilket er væsentlig billigere end importeret isolering.

Det vises yderligere i rapporten, at en sådan lokalproduktion af isolering vil have en ikke ringe beskæftigelsesmæssig effekt i Grønland.

Sluttelig beskrives i rapporten en gennemført prøveproduktion i København, der fuldt ud indfrier de stillede forventninger med hensyn til produktionsudstyr og -kapacitet.

På basis af nærværende arbejde kan det derfor anbefales, at der lokalt i Grønland etableres prøveproduktioner af polystyrenisolering, idet der herved synes på fuld betryggende måde at kunne produceres isoleringsmateriale til en pris svarende til mellem halvdelen og trediedelen af, hvad en entreprenør idag afregner for levering af en traditionel isolering importeret fra Danmark, samt fordi der herved yderligere lokalt vil kunne etableres arbejdspladser for ufaglært arbejdskraft.

- Atlung, Gunnar: Sundhedsfarer ved plastforarbejdning, AMT, aug. 1981
- Atlung, Gunnar: Polyurethanplast. Anvendelse, produktion og miljø. Dansk kemi nr. 4 1978
- Atlung, Gunnar: Celleplast 1, Anvendelsesegenskaber og prøvning. Dansk Plast nr. 2 mar. 1974
- Atlung, Gunnar: Celleplast 2, Anvendelsesegenskaber og prøvning. Dansk Plast nr 3 april 1979
- Bayer-Chemiewerkstoff: Harter Schaumstoff auf Basis Polyisocyanat
- Bedoit Jr, William C.: Foam Machine Operator Safety Journal of Cellular Plastic, mar/apr 1975
- Benjamin, B.S.: Structural Design with Plastics Polymer Science and engineering Series 1969
- Bukowski, Klaus: Hård urethancellplast for byggindustri, Plastvarlden 3-1973
- Bunch-Nielsen, Tommy: Polyurethan sandwichelementer, Produktkontrol, Cowiconsult feb. 1982
- Carstens, H. m.a.: Schallschutz mit Kunststoffen, Kunststoffe im Bau, Heft 2 1980.
- European Chemical News: US bans UF insulation citing cancer link fears, mar. 1982.
- European Plastics News: Polyurethanes top 1 m tonnes in Western Europe with widespread end-use pattern, aug. 1979.
- Fristad, B. och Haeger-Aronsen, B.: Halsorisker vid urethanplastproduktion, Plastvarlden nr. 2, 1973.
- Gad, Waldemar: Forschung + Praxis. Charakteristik von Schaumkunststoff als kernschicht in leichten Platten. Kunststoffe im Bau, Heft 2, 1977.
- Glanvill, Alan B.: Plastics materials handbook, Machinerys publishing Co., GB 1964.
- GTO-direktoratet: PUR-Byggeelementer fremstillet i Grønland. feb. 1982.
- Harding, R.H.: Relationships Between Cell Structure and rigid Foam Properties, Journal of Cellular Plastics, jul. 1965.

- Heck, Friedrich: Cellplaster, Plastvarlden nr. 2, 1977.
- Ingeniøren: Isolering med UF-skum forbydes i USA, 19. mar. 1982.
- Jensen, Jens Kr. Jehrbo: Polymere materialer, DIA B, Ålborg jan. 1971.
- Kindt-Larsen, Ture: Kemi, struktur og egenskaber, Dansk Kemi, nr. 4 1978.
- Koefoed, Else: Plast. Polyteknisk Forlag, Lyngby, jan. 1981.
- Lindroth, Paul: Cellplaster som termisk isolering. Plastvarlden nr. 3, 1973.
- Nagy, A, KO, W.L. and Lundholm, U.S.: Mechanical Behavior of Foamed Materials under Dynamic Compression. Journal of Cellular Plastics, maj/jun. 1974.
- Narkis, M.: Properties of Rotational/Molded Cross-linked Polyurethylene Foams. Journal of Cellular Plastics, nov./dec. 1975.
- Plastic-Sammenslutningen, Dansk Brandforsikrings Forening og Bygningbrandforsikrings-Foreningen: Plast og Brand, Celleplast nr. 4, maj 1977.
- Reymore Jr., H.E., Cavleton, P.S., Kolakowski, R.A. and Sayich A.A.E.: Isocyanurate Foams: Chemistry, Properties and Processing. Journal of Cellular Plastics nov./dec. 1975.
- Rørbo, K., Sedum-Larsen, P. og Bay, B.: Noter om plast og gummi, DIA M, aug. 1978.
- Schmidt, Wolfgang: Eigenschaften von harten Polyurethan-Schaumstoffen für die Kalteisolierung, Kunststoffe, Heft 7, 1963.
- Wulkan, E.K.H.: Kerndämmung von Hohlmauerwerk mit verschiedenen Kunststoff-schaumen in den Niederlanden., Kunststoffe im Bau, Heft 4, 1979.
- Zimmermann, Wolf-Dieter: Polyurethan-Hartschaum im Bauwesen. Europa Industrie revue Heft 2, 1970.

8.1 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPEN

Celleplastart (forkortet)	Plastkategori	Kemisk op- bygning	Rumvægt (kg/m ³)
Polystyren (PS)	Termoplast	Vinylbenzen	15-20
Polyisocyanurat (PIR)	Hærdeplast	Diisocyanat	25-50
Carbamidplast (UF)	Hærdeplast	Carbamid Formaldehyd	8-25
Phenolplast (PF)	Hærdeplast	Phenol Formaldehyd	25-100
Polyurethan (PUR)	Hærdeplast	Diisocyanat Polyol	20-100
Polyester (UP)	Hærdeplast	Dicarboxylsyre Glycol	200-800
Polyethylen (PE)	Termoplast	Ethylen	15-150
Polyvinylchlorid (PVC)	Termoplast	Vinylchlorid	30-100

8.2 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS TILSÆTNINGSSTOFFER

Art	Opskummings- middel	Celleini- tiatorer	Katalysator	Blødgørings- middel	Brandhæmmende midler
PS	Carbonhydrid Freon 11 Freon 12	Natrium- carbonat Citronsyre Aluminium- silikater	Nej	Nej	Acetylen- tetrabromid + dicumyl- peroxid
PIR	Freon 11	Polyoler	Alkalimetal- phenolater, -alkoholater -carboxy- later	Ja	Halogen- og phosphor for- bindelser
UF	Freon 11	Alkyl- arylsul- fonat	Natriumhy- droxid evt. hexa- methylen- triamin	Ja	Phosfater
PF	Pentan Vand Freon 11	Polyoxy- alkylen- siloxan	Saltsyre i alkohol Paratoluen- sulfonsyre i vand	Nej	Borsyre Oxalsyre
PUR	Freon 11 Vand	Ja, vand- opløselige siliconer	Aminer organiske tinsalte	Nej	Halogen + phosphor
UP	Kulsyre- derivat	Diisocya- nat	Benzoyl- peroxid	Nej	Antimon- trioxid
PE	Carbonater Toluen				
PVC				Ja	

For ikke udfyldte rubrikker, har det ikke været muligt, at fremskaffe de nødvendige oplysninger.

8.3 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS MEKANISKE EGENSKABER

Art	Tryk [MPa]		Træk [MPa]		Bøjning [MPa]		Forskydning [MPa]	
	σ	E_C	σ	E_T	σ_B	E_B	τ	G
PS	0,10 0,25	1,4 4,2	0,18 0,39	7,0 19,0	0,30		0,12 0,3	2,1 4,9
PIR	0,10 0,36	2,0 8,0	0,15 0,70	4,0 11,5	0,25 0,80	3,0 10,0	0,09 0,15	1,0 4,5
UF	0,03	0,8 1,2						
PF	0,04 0,30	1,7 7,9	0,06 0,20	2,1 10,2	0,35		0,08 0,15	0,77 4,5
PUR	0,10 0,90	2,8 5,6	0,20 1,1	2,8 9,0	0,35		0,14 0,67	1,0 7,0
UP		0,16 2,2						
PE	0,15		0,14 0,21					
PVC	0,35 1,6	8,5 50	0,7 3,1	28,1 112,5	0,6		0,5 2,0	3,5 15,0

I rubrikker med flere værdier er angivet de grænser for den pågældende materialeleværdi, der er fundet i den benyttede litteratur.

For ikke udfyldte rubrikker, har det ikke været muligt at fremskaffe de nødvendige oplysninger.

8.4 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS KLIMATEKNISKE EGENSKABER

Art	Isole- ringsevne [W/m°C]	Celle- struktur	Fugtop- tagning	Diffu- sions- mod- stand [pam/cm]	Brugstemp.	
					max. °C	min. °C
PS	0,034 0,044	Lukkede celler	3% vol. på 60 dg.	2,5-6,0	80	-100
PIR	0,022 0,031	lukkede celler	18% vol. på 60 dg.	30	150	-200
UF	0,028 0,035	åbne celler	60% vol. på 60 dg.	0,25	50	-30
PF	0,032 0,042	åbne celler	15% vol. på 60 dg.	3,0	120	
PUR	0,019 0,043	lukkede celler	6% vol. på 60 dg.	3,0-10	120	-40
UP		åbne celler				
PE	0,040 0,058	lukkede celler	4% vol. på 48 dg.		60	
PVC	0,027 0,034	lukkede celler	2% vol. på 60 dg.	25	95	-200

I rubrikker med flere værdier er angivet de grænser for den pågældende materialeleværdi, der er fundet i den benyttede litteratur.

For ikke udfyldte rubrikker, har det ikke været muligt at fremskaffe de nødvendige oplysninger.

8.5 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS BRANDTEKNISKE FORHOLD

Art	Almindelig kvalitet / Røggassers farlighed	Brandhæmmet kvalitet / Røggassers farlighed
PS	Let antændelig / Næsten ufarlige	Svært antændelig / Relativt ufarlige
PIR	Svært antændelig / Relativt ufarlige	Meget svært antændelig / Relativt ufarlige
UF	Svært antændelig / Giftige	Svært antændelig / Giftige
PF	Svært antændelig / Relativt ufarlige	Meget svært antændelig / Relativt ufarlige
PUR	Let antændelig / Giftige	Svært antændelig / Giftige
VP	Produceres ikke	Vanskeligt antændelig / Giftige
PE	Let antændelig / Relativt ufarlige	Vanskeligt antændelig / Relativt ufarlige
PVC	Meget vanskeligt antændeligt / Giftige	Produceres ikke

Alle celleplaster er brandbare, og må derfor kun benyttes, når de brandbeskyttes efter forskrifterne.

8.6 OVERSIGT OVER CELLEPLASTTYPERS PRODUKTIONSTEKNISKE OG TOKSIKOLOGISKE FORHOLD

Art	Produktionstekniske forhold		Toksikologiske forhold		
	Udstyrspris Lav/høj tekn.	Råvarepris Rumvægt	Råvarers "farlighed"	Produktions "farlighed"	Færdigprodukts "farlighed"
PS	Relativt billigt udstyr. Teknologittrin I	Billig råvare. Lav rumvægt	Relativt ufarlige	Relativt ufarlig	Ufarligt
PIR	Relativt dyrt udstyr. Teknologittrin III	Dyr råvare Middel rumvægt	Meget farlige	Relativt farlig	Ufarligt
UF	Relativt billigt udstyr. Teknologittrin I	Billig råvare. Lav rumvægt	Relativt farlige	Relativt farlig	Relativt farligt
PF	Relativt dyrt udstyr. Teknologittrin II	Relativ dyr råvare Middel rumvægt	Meget farlige	Relativt farlig	Ufarligt
PUR	Relativt dyrt. Teknologittrin II	Relativ dyr råvare Middel rumvægt	Meget farlige	Meget farlig	Ufarligt
UP	Relativt dyrt udstyr. Teknologittrin III	Varierende pris efter fyld. Høj rumvægt	Relativt ufarlige	Relativt ufarlig	Ufarligt
PE	Meget dyrt udstyr. Teknologittrin V	Billig råvare Høj rumvægt	Ufarlige	Ufarlig	Ufarligt
PVC	Meget dyrt udstyr. Teknologittrin V	Billig råvare Middel rumvægt	Relativt ufarlige	Relativt ufarlig	Ufarligt

8.7 BESKRIVELSE AF SKUMMEKASSE

Data for skummekasse

Indvendig mål af kar 0,8 x 0,8 x 0,45 m

Volumen 288 dm³

Volumen af 4 kg forskummede kugler med rumvægt 15 kg/m³ = 266 dm³

Vægt af charge 3-4 kg

Varmelegeme 9 kw

Dampproduktion ca. 13 kg/h

Vandvolumen 15-20 l

Anslået opvarmningstid fra 0°C 15 min., fra 90°C 1,5 min.

Sikring mod tørkogning: vandstandsør på side af kasse.

Beskrivelse

Skummekassen består af et kvadratisk skørt 45 cm højt monteret på en bund med en fordybning, hvori varmelegemet er monteret. I samlingen mellem skørt og bund er indskudt en pladestrimmel, der stikker 20 mm ind i kassen hele vejen rundt, og på dette fremspring hviler den perforerede mellembund. Mellembunden er endvidere støttet af 3 bukkede profiler, der går på tværs af kogerenden. Samlingen er tætnet med silikonmasse og sammenspændes udvendigt med en klemprofil og galopskruer som ved standard ventilationskanaler.

Kogerenden går langs bundens midterlinie og er 20 cm dyb. I det ene endestykke er et gennemgangshul for 2" RG, heri monteres varmelegemet med en standard cu-asbest pakning og en 2" RG omløber. I den anden ende af kogerenden findes en 1/2" muffe. Her tilsluttes vandstandsør/påfyldning og aftapningsmulighed.

Hele kassen er hængt op i et stativ, der består af en ramme og 4 ben. Kassen hænger på rammen ved hjælp af en udbøjet 25 mm flig foroven på skørtet. På grund af den fremspringende samling mellem skørt og bund kan kassen ikke sænkes ned i den færdige ramme, men rammen må samles omkring skørtet. Hele skummekassens yderside er beklædt med isolering.

Materialer

Af hensyn til hurtig opvarmning og god varmeøkonomi bør kassen have lille varmekapacitet. Endvidere må der være en rimelig korrosionsbestandighed. Vi har i første omgang tænkt på at bruge 1,2 mm galvaniseret plade, men arbejdet med at få vandtætte samlinger i bunden mere end opvejer den ekstra pris, der er ved at anvende rustfrit stål. Vi vælger derfor 1,2 mm rustfri plade. Endestykkerne i kogerenden udføres i lidt tykkere materiale.

Til mellembunden vælges perforeret plade type 707A fra Rich.Muller. Den er 0,6 tyk, har huller på 0,75 mm og 23% luft. Standardstørrelsen på 1000 x 2000 mm er lagervare i 18/8 stål og koster kr. 755.

Stativet kan opbygges i RHS profiler 25 x 25 eller 30 x 30. Vi mener imidlertid, at inden dette er fremstillet og malet, vil det være dyrere end et stativ opbygget af 25 x 25 mm elokserede aluminiumsprofiler samlet med standard hjørnesamlinger. Profiler og samlinger kan fås i rigtige længder på byggemarkeder og kan forsendes i bundter, samles på stedet omkring den indre skummekasse og skilles igen til eventuelt genbrug.

Varmepatronen er type B90, 9 kw 3 x 200/380 V fra Svend A. Nielsen. Montering med 3 x 380 V bør foretrækkes af hensyn til belastning på net.

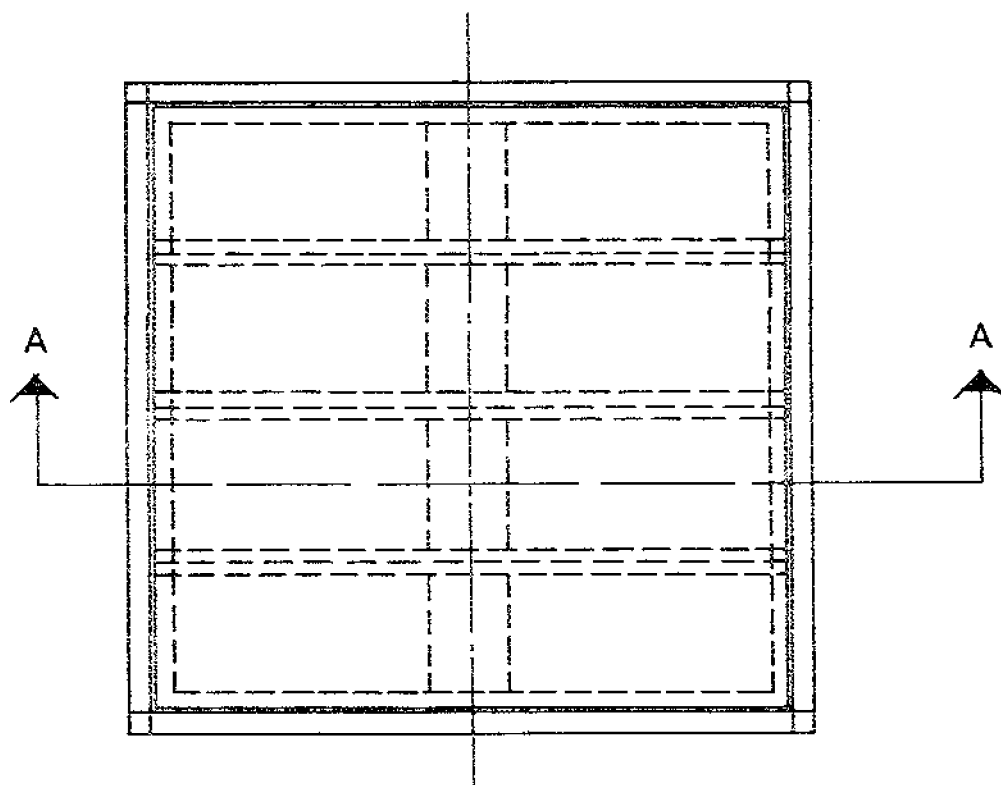
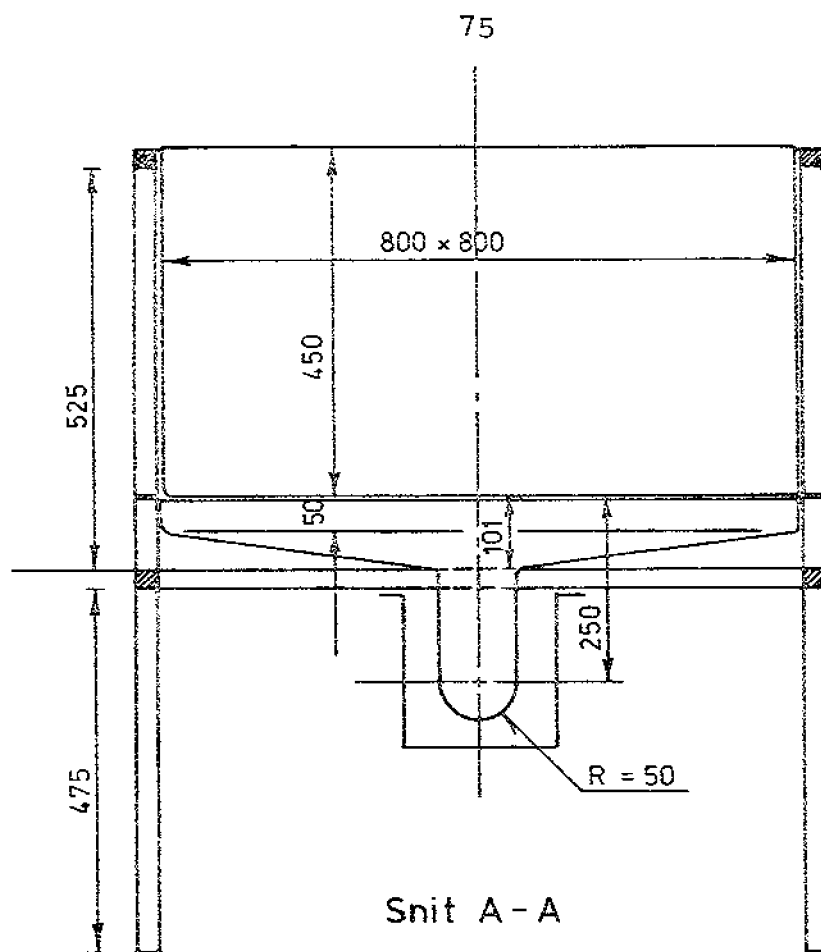
Varmepatronen udføres med varmelegemer med kappe i rustfrit stål.

Der skal slagloddess en føler på varmelegemet, der afbryder ved tørkogning, og det skal sikres, at varmpatronen altid bliver monteret således, at denne føler sidder på varmpatronens overside. Simplest gøres det nok ved at fiksere tilslutningsdåsens position i forhold til føler, således at når kabelforskrifningen - korrekt - vender nedad, vil føleren være øverst.

Varmepatronen kan omkobles mellem 3 effekter (3kw/6kw/9kw).

Priser

Den ovennævnte skummekasse fuldt monteret koster ca. 6.500 kr. excl. moms.



Skummekasse



Skummekasse, detailer

