

PET-SKUM SOM ISOLERINGS- MATERIAL I FJÄRRVÄRMERÖR



Sara Mangs, Chalmers tekniska högskola – Kemisk miljövetenskap
Olle Ramnäs, Chalmers tekniska högskola – Kemisk miljövetenskap
Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola – Byggnadsteknologi

Forskning och Utveckling | 2004:116

PET-SKUM SOM ISOLERINGSMATERIAL I FJÄRRVÄRMERÖR

Forskning och Utveckling | 2004:16

**Sara Mangs, Chalmers tekniska högskola –
Kemisk miljövetenskap
Olle Ramnäs, Chalmers tekniska högskola –
Kemisk miljövetenskap
Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola –
Byggnadsteknologi**

ISSN 1401-9264
© 2004 Svensk Fjärrvärme AB
Art nr FOU 2004:116

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt.
Publiceringen innebär inte att Svensk Fjärrvärme AB tagit ställning till
slutsatserna och resultaten.

Sammanfattning FOU 2004:116 – PET-skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör

Sett över ett fjärrvärmerörs hela livstid står värmeförlusterna för majoriteten av rörets totala miljöbelastning i form av utsläpp till luft (t ex koldioxid, svaveloxid och kväveoxider) till följd av den extra uppvärmningen. Av miljö- och ekonomiska skäl eftersöks därför fjärrvärmerör med bättre isoleringsegenskaper än dagens rör. Idén att använda PET-skum som isoleringsmaterial kring fjärrvärmerör kom ursprungligen från Göran Johansson på Powerpipe.

I denna studie undersöktes om isolerskum av polyetylen-tereftalat- (PET) har tillräckligt goda isoleringsegenskaper för att materialet ska kunna ersätta polyuretan- (PUR) skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör. Även orienterande information som berör tillverkningsmetoder, mekaniska egenskaper och miljöfrågor som framkommit under arbetets gång redovisas i rapporten. Projektet har utförts vid Kemisk Miljövetenskap och Byggnadsfysik vid Chalmers Tekniska Högskola. Tillverkaren BC Foam i Volpiano, Italien, har bistått med PET-skum till försöken.

I Västeuropa kommer den allt större konsumtionen och ökande återvinningen av PET, samt minskade exporten av återvunnet material att leda till ett behov av nya avsättningsområden för återvunnen PET, exempelvis tillverkning av isolerskum i fjärrvärmerör. Återvunnen PET kostar idag ungefär 0.5 €/kg vilket är ungefär en tredjedel av kostnaden för jungfrulig PET och PUR (1.8 €/kg). Möjligheten att kunna använda återvunnet material vid produktionen av PET-skum ökar också resurseffektiviteten utifrån ett miljöperspektiv.

Resultaten av studien indikerar att PET-skum har potential att kunna ersätta PUR-skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör, när det gäller isoleringsförmåga och dess förändring med tiden. Uppmätta värmekonduktiviteter för PET-skumsskivor med densiteter mellan 91 och 156 kg/m³ vid 20°C varierade mellan 0.028 och 0.043 W/(m·K). PET-skum med låg densitet, liten cellstorlek och hög koncentration blåsgas i skummets celler kan sannolikt nå samma låga värmekonduktivitet som cyklopentan/koldioxidblåst PUR-skum i fjärrvärmerör (ca 0.025 W/(m·K)).

Isolerförmågan hos ett skum försämras med tiden på grund av masstransport av cellgaser. Processen beskrivs av den effektiva permeabilitetskoefficienten, löslighetskoefficienten och diffusionskoefficienten. De analytiskt bestämda koefficienterna för cellgaserna var lägre i PET jämfört med litteraturdata för PUR vid 23°C och 60°C. Resultaten visar också att isoleringsförmågans försämring med tiden är minst lika långsam som för PUR-skum.

I en orienterande studie var tryckhållfastheten för PET-skum vid rumstemperatur 580-1700 kPa för skumdensiteter 84-145 kg/m³. Detta är långt över minimikravet för PUR-skum i fjärrvärmerör (300 kPa). Eftersom PET-skum är ett relativt hårt och segt material finns tankar om att tillverka PET-skumsisolerade fjärrvärmerör med PET-mantel, alternativt ett mantellöst rör. Detta är intressant utifrån ett produktionsperspektiv. Ju färre material som är inblandade i en produkt, desto enklare blir avfallshanteringen.

Summary FOU 2004:116 – PET-foam as insulation material for district heating pipes

During the entire life cycle of a district heating pipe, the main environmental impact is due to production of heat lost, e. g. emissions of carbon dioxide, sulphur oxide and nitrogen oxides to air. Due to the environmental and economical aspects, there is an interest to develop district heating pipes with better insulation capacities than the pipes on the market today. The idea of using PET foam as insulation material for district heating pipes came originally from Göran Johansson at Powerpipe.

The insulation capacity of polyethylene terephthalate (PET) insulation foam was examined in this study, in order to evaluate if the material is a possible replacement option to polyurethane (PUR) foam. Also introductory information about production methods, mechanical properties and environmental issues are presented in the report. The project was performed at Building Physics and Chemical Environmental Science at Chalmers University of Technology. The producer BC Foam in Volpiano, Italy has supplied with PET foam to the experiments.

In Western Europe, the increasing consumption and rising mechanical recycling of PET together with the decreasing export of recycled material, gives a demand for new fields of application of recycled PET, such as insulation material for district heating pipes. The price of recycled PET is about 0.5 €/kg, which is about a third than the costs of virgin PET and PUR, both of which are about 1.8 €/kg. The possibility to utilise recycled material at production of PET foam also increases the resource efficiency.

The results of the study indicated that PET foam is a potential replacement option of PUR foam as insulation material in district heating pipes, concerning long-term thermal performance. The thermal conductivities of PET foam boards with densities between 91 and 156 kg/m³ at 20°C varied between 0.028 and 0.043 W/(m·K). Low density PET foam with small cells and a large fraction of blowing agent in the foam cells have the potential to reach the same low thermal conductivities as cyclopentane/carbon dioxide blown PUR foam in district heating pipes (about 0.025 W/(m·K)).

The insulation capacity of an insulation foam increases over time due to the diffusion of cell gases. The process is described by the effective permeability coefficient, effective diffusion coefficient and polymer solubility coefficients. The determined coefficients for the cell gases were lower in PET compared to literature values for PUR at 23°C and 60°C. The results shows that the thermal ageing of PET foam is at least as slow as that of PUR foam.

In an introductory study the compressive strength at room temperature of PET foam was 580-1700 kPa for foam densities 84-145 kg/m³. This is far above the requirement of 300 kPa for PUR foam in district heating pipes. Due to the stiffness and toughness of PET foam, there are ideas of producing PET foam insulated district heating pipes with PET casings or pipes without casing. This could simplify the production of pipes and the waste treatment of the pipes.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	7
1.1.	Mål och syfte	7
1.2.	Avgränsningar.....	7
1.3.	Bakgrund	7
2.	Allmänt om PET-skum	8
2.1.	Materialkostnad.....	8
2.2.	Konsumtion av PET i Västeuropa	8
2.3.	Återvinning	9
2.4.	Produktion av PET-skum	9
3.	Studie av PET-skum.....	10
4.	Resultat och diskussion.....	11
4.1.	Isolerförmåga	11
4.2.	Masstransport av cellgaser.....	12
4.2.1.	Permeabilitetskoefficienter	13
4.2.2.	Diffusionskoefficienter	13
4.2.3.	Löslighetskoefficienter	14
4.3.	Orienterande studie av hållfasthet	14
5.	Slutsatser.....	15
6.	Referenser	16
Appendix 1 – Metod för bestämning av värmeledningsförmåga och cellgasinnehåll		17
Appendix 2 – Metod för bestämning av diffusions- och löslighetskoefficienter.....		18
Appendix 3 – Beräkning av olika bidrag till ett isolerskums värmeledningsförmåga.....		20
Appendix 4 – Metod för bestämning av mekaniska egenskaper		21

1. Inledning

1.1. Mål och syfte

Målet med denna studie är att undersöka om isolerskum av polyetylen-tereftalat (PET) har tillräckligt goda isoleringsegenskaper för att materialet ska kunna ersätta polyuretan- (PUR) skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör. PET-skums isoleringsegenskaper kan bedömas genom att studera hur materialets värmeledningsförmåga varierar med densitet och koncentration av blåsgas i materialet, samt hur isolerförmågan försämras med tiden. Denna beror av hur snabbt blåsgasen diffunderar ut ur skummet samtidigt som syre och kväve diffunderar in.

1.2. Avgränsningar

Studien fokuserar på PET-skums isoleringsegenskaper, men även orienterande information som berör tillverkningsmetoder, mekaniska egenskaper och miljöfrågor som framkommit under arbetets gång redovisas i rapporten.

1.3. Bakgrund

Hittills har man inte lyckats utveckla fjärrvärmerör med lika bra isoleringsegenskaper som rör isolerade med freonblåst PUR. Dessa rör var ett typiskt exempel på hur viktigt det är att beakta de miljömässiga riskerna med alla komponenter som en produkt består av. Freonerna är numera förbjudna i nytillverkade rör, men PUR-skum kan fortfarande ifrågasättas utifrån miljö- och hälsoperspektiv. Exempelvis är materialet tillverkat av fossila, icke-förnyelsebara råvaror och expositionen för isocyanater, en huvudkomponent i PUR-skum, är ett uppmärksammat arbetsmiljöproblem.

Sett över ett fjärrvärmerörs hela livstid står värmeförlusterna för majoriteten av rörets totala miljöbelastning i form av utsläpp till luft (t ex koldioxid, svaveldioxid och kväveoxider) till följd av den extra uppvärmningen. Av miljö- och ekonomiska skäl eftersöks därför fjärrvärmerör med bättre isoleringsegenskaper än dagens rör. Idén att använda PET-skum som isoleringsmaterial kring fjärrvärmerör kom ursprungligen från Göran Johansson på Powerpipe.

Eftersom PET-skum är ett relativt hårt och segt material finns tankar om att tillverka PET-skumsisolerade fjärrvärmerör med PET-mantel, alternativt ett mantellöst rör. Detta är intressant utifrån ett produktionsperspektiv. Ju färre material som är inblandade i en produkt, desto enklare blir avfallshanteringen.

Projektet har utförts vid Kemisk Miljövetenskap och Byggnadsfysik vid Chalmers Tekniska Högskola. SP i Göteborg anlätades för utförande av de mekaniska testerna. Projektet har löpt under 2003-2004 och finansierats av Svensk Fjärrvärme. Följande personer har deltagit i utförandet av projektet:

Olle Ramnäs och Sara Mangs, Kemisk Miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola
Ulf Jarfelt, Byggnadsfysik, Chalmers Tekniska Högskola

Följande personer har deltagit i referensgruppen:

Göran Johansson, ordförande, Powerpipe

Gunnar Nilsson, Göteborg Energi

Magnus Johansson, Luleå Energi

Gunnar Bergström, SP

Stefan Nilsson, SP

2. Allmänt om PET-skum

2.1. Materialkostnad

Eftersom PET är en termoplast kan materialet smältas om. Vid tillverkning av PET-skum kan 100 % återvunnet material från exempelvis PET-flaskor utnyttjas. Utifrån ett miljöperspektiv innebär detta ett resurseffektivt utnyttjande av materialet och dessutom minskas materialkostnaderna. Priset för återvunnen PET är ca 0.5 €/kg och för både jungfrulig PET och PUR ca 1.8 €/kg.

2.2. Konsumtion av PET i Västeuropa

Konsumtionen av PET i Västeuropa utgör ca 7 % (3200 kton) av den totala plastkonsumtionen enligt statistik från Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME) 2002 (se Bild 1) [1]. Det är ungefär samma storleksordning som PUR (2400 kton). Den totala volymen PET i Europa förväntas öka. I Bild 2 visas att konsumtionen av PET-flaskor och film i Västeuropa har mer än dubblats sedan 1995. Konsumtionen av textilfibrer som tillverkas av både jungfrulig och återvunnen PET har varit ungefär konstant de senaste åren

Bild 1 Plastkonsumtion i Västeuropa 2002 [1-4]

Figure 1 Consumption of plastics in Western Europe 2002 [1-4]

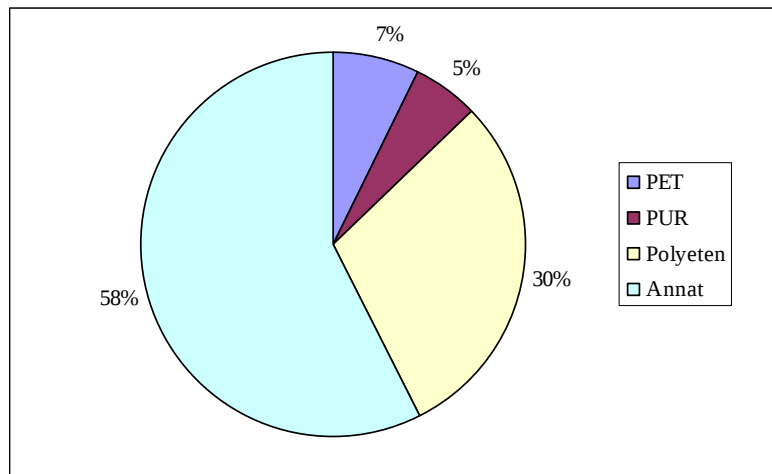
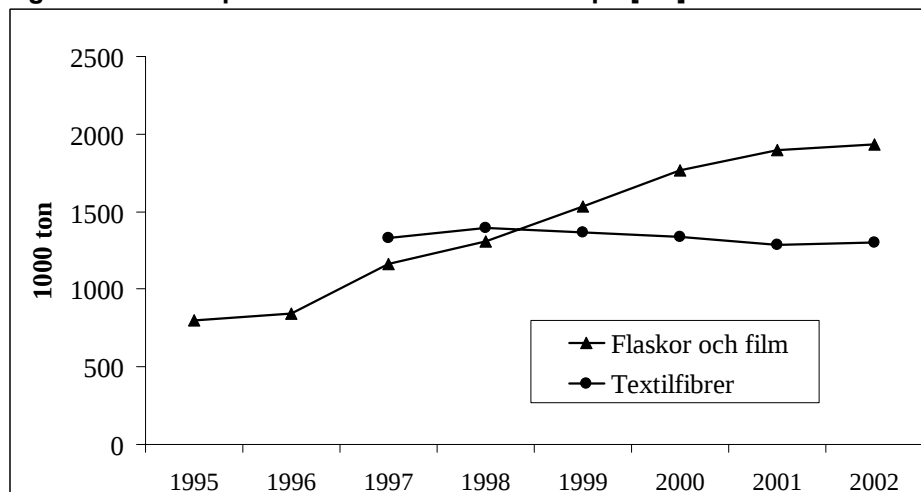


Bild 2 Konsumtion av PET i Västeuropa [1-4]

Figure 2 Consumption of PET in Western Europe [1-4]s



2.3. Återvinning

Återvinningsgraden av PET i Europa förväntas öka i framtiden främst på grund av Europeiska Kommissionens direktiv om förpackningsmaterial (Packaging and Packaging Waste Directive) [5]. I det nuvarande direktivet har man satt ett mål på 22.5 % återvinning av alla plastförpackningar inom EU vilket skall uppnås före år 2009. Den svenska återvinningsgraden ligger idag inom intervallet 10-15 % [1] (se Tabell 1). Eftersom tekniker för pantsystem för PET-flaskor redan är utvecklade, spelar PET en viktig roll för att uppnå målet i många länder. Sverige ligger redan långt framme med en återvinnings-/återanvändningsgrad av PET-flaskor med pant på 87% år 2003 [6, 7]. För att det totala målet skall kunna nås krävs dock en ökad återvinning av andra typer av plastförpackningar. Även i Asien ökar konsumtionen och återvinningen av PET, vilket förväntas leda till minskad export av återvunnen PET från Europa till Asien.

Av hygieniska skäl är det inte tillåtet att tillverka nya matförpackningar av återvunna material utom med särskilda återvinningsprocesser. Dessa processer är betydligt mer kostsamma än att enbart smälta om materialet och tillverka nya produkter. Detta tillsammans med den allt större konsumtionen och återvinningen av PET kommer att leda till ett behov av att finna nya avsättningsområden för återvunnen PET, exempelvis tillverkning av isolerskum i fjärrvärmerör.

Tabell 1 Återvinningsgrad av plastförpackningar i Västeuropa, 2002 [1]

Table 1 Recycling rate of plastic packages in Western Europe 2002 [1]

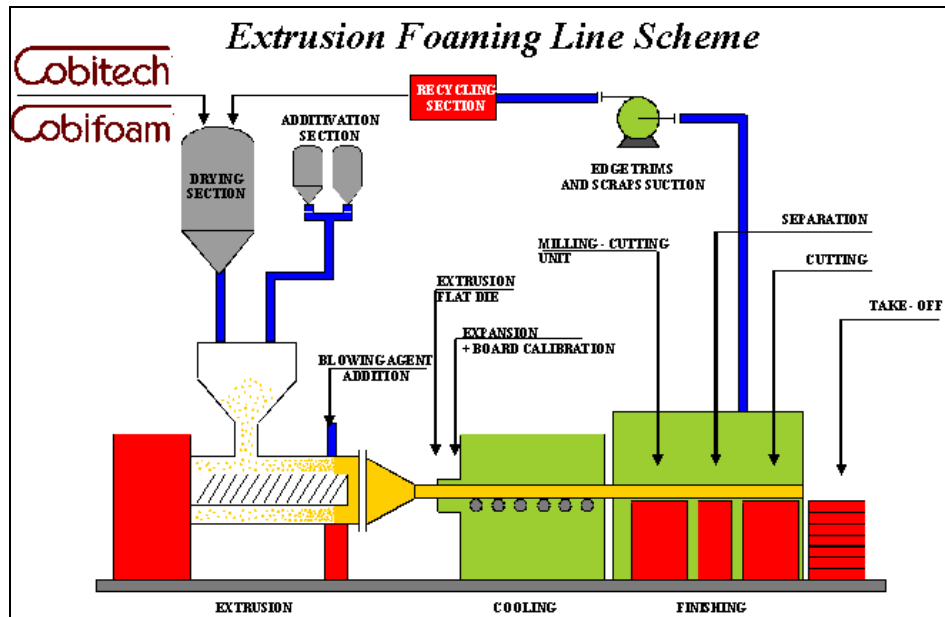
>20 %	Österrike, Belgien, Tyskland Nederländerna
15-20 %	Spanien, Danmark, Italien, Storbritannien
10-15 %	Sverige, Finland, Frankrike, Irland
5-10 %	-
0-5 %	Portugal, Grekland

2.4. Produktion av PET-skum

PET-skum produceras genom extrudering. PET-granuler torkas och blandas med talk för att sedan föras in i extrudern, där blåsgasen tillsätts (Bild 3). Produktionsmetoden har utvecklats av det italienska företaget BC Foam, som är ensam i världen om att kunna tillverka upp till 5 cm tjocka skivor. Företaget har en pilotanläggning i Volpiano nära Torino med kapacitet att tillverka ca 200 kg PET-skum per timme. En annan anläggning med kapacitet för ca 400 kg isolerskum per timme har nyligen startats i Belgien av Fagerdala World Foams med hjälp av BC Foam. BC Foam har visat ett stort intresse för fjärrvärmerör och man tittar på möjligheter att tillverka rörformat skum.

Idag används de blåsgaser som har visat sig fungera bäst vid tillverkningsprocessen, trots att det inte finns någon marknad för motsvarande skum i Europa på grund av gasernas påverkan på ozonlagret och växthuseffekten. Man arbetar dock med att införa nya blåsgaser och tillsatser som möjliggör tillverkning av tjockare skivor med lägre densitet. Den lägsta densiteten idag, ca 90 kg/m³, åstadkoms med en blandning av HCFC-142b och HCFC-22. Koldioxid och HFC-152a ger skum med densiteter på ungefär 120-150 kg/m³. Kvävgas ger densiteter upp mot 400 kg/m³ och skummet används som konstruktionsmaterial och som matförpackningar avsedda för användning i ugn upp till 180°C.

Bild 3 Produktion av PET-skum i pilotanläggningen hos BC Foam i Volpiano [8]
Figure 3 Production of PET foam in BC Foams pilot plant in Volpiano [8]



3. Studie av PET-skum

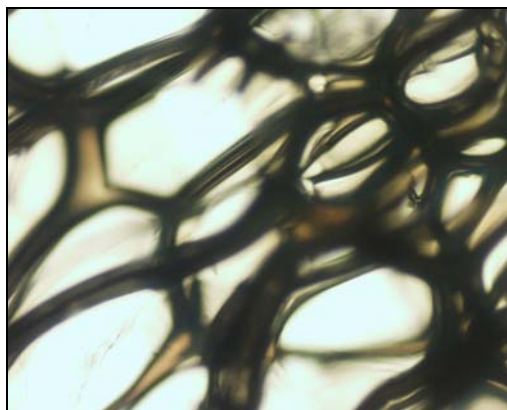
BC Foam och Fagerdala World Foams bistod med skivor av PET-skum till studien. Dessa var 3-4.5 cm tjocka och blåsta med koldioxid, HFC-152a respektive en blandning av HCFC-142b och HCFC-22.

Värmeledningsförmågan för respektive skiva och motsvarande cellgasinnehåll och cellgastryck bestämdes. De analytiska metoderna är beskrivna närmare i Appendix 1.

Skummets försämrade isolerförmåga över tiden beror på masstransporten av blåsgas ut ur och luft in i skummet. Denna process kan beskrivas av diffusionskoefficienten (D_{eff}), löslighetskoefficienten (S_{pol}) och permeabilitetskoefficienten (P_{eff}) för respektive gas. Storleken på dessa koefficienter visar hur snabbt isoleringsförmågan hos ett skum försämras med tiden. De experimentella metoderna för bestämning av koefficienterna i PET-skum beskrivs i Appendix 2. Analyserna genomfördes med samma metodik som tidigare använts för PUR-skum.

Bild 4 Närbild av PET-skums cellstruktur

Figure 4 Close-up of the cellular structure of PET-foam



4. Resultat och diskussion

4.1. Isolermånga

Mätningar av värmeledningsförmåga och cellgasinnehåll (uttryckt som partialtryck) vid rumstemperatur för respektive PET-skumskvalitet (olika blåsgaser och skumdensiteter) visas i Tabell 2. Låg värmeledningsförmåga innebär bättre isoleringsförmåga. För ett typiskt nyproducerat cyklopentan/koldioxidblåst PUR-skum i fjärrvärmerör är värmeledningsförmågan vid rumstemperatur ungefär $0.025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})^1$ [9]. PET-skummens värmeledningsförmåga varierade mellan 0.028 och 0.043. De analyserade PET-skummen har alltså något sämre isoleringsegenskaper än PUR-skum.

Blåsgaserna är ungefär hälften av lufts värmeledningsförmåga. Större mängd blåsgas och mindre mängd luft i cellerna förbättrar därmed ett skums isolermånga. Det HFC-152a-blåsta skummet med densiteten $120 \text{ kg}/\text{m}^3$ har ett mycket högt partialtryck blåsgas och lite luft i cellgasen, vilket bidrar till den låga värmeledningsförmågan. Det koldioxidblåsta skummet har högst värmeledningsförmåga eftersom den nästan bara innehåller luft.

Värmeledningsförmågan ökar med densiteten eftersom mer material ger högre värmeledning genom polymeren. De analyserade PET-skummen hade densiteter mellan 91 och $156 \text{ kg}/\text{m}^3$, vilket är högre än för typiskt PUR-skum i fjärrvärmerör, vilket normalt är ca $60\text{--}80 \text{ kg}/\text{m}^3$. Om man kan tillverka PET-skum med lägre densitet kan man alltså sänka värmeledningsförmågan.

Tabell 2 Värmeledningsförmåga och cellgasinnehåll för PET-skumsskivor, 20°C
Table 2 Thermal conductivity and cell gas content for PET foam boards, 20°C

PET-skum blåst med:	Skumdensitet kg/m^3	Partialtryck kPa		Värme- ledningsförmåga $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
		Blåsgas	Luft	
HFC-152a	120	76	3	0.028
HCFC-142b/HCFC-22	91	66*	37	0.030
HFC-152a	156	54	21	0.035
Koldioxid	144	0.2	19	0.043

* Volymförhållande HCFC-142b/HCFC-22: 61/39

Ett isolerskums värmeledningsförmåga kan delas upp i en del som förändras med tiden (ledning genom cellgasen) och en del som är konstant (ledning genom det polymera materialet och strålning mellan cellernas ytor). I kapitel 4.2 beskrivs en studie av hur snabbt PET-skums isolermånga försämras med tiden i jämförelse med PUR-skum. Det konstanta bidraget från strålningen och ledningen genom polymeren beror av densitet och cellstorlek. Detta bidrag bestämdes till 0.015 (för ett skum med densitet $91 \text{ kg}/\text{m}^3$) och $0.019 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (för ett skum med densitet $144 \text{ kg}/\text{m}^3$) enligt metoden beskriven i Appendix 3 för två av PET-skumskvaliteterna vid rumstemperatur, vilket är högre än för typiskt PUR-skum ($0.012 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) [10-13]. Mindre cellstorlek minskar värmeledningförmågan (lägre bidrag från strålning mellan cellernas ytor). Cellerna i de studerade PET-skummen är större än de i typiskt PUR-skum.

Resultaten pekar på att PET-skum med tillräckligt låg densitet, små celler och hög koncentration blåsgas kan nå samma låga värmekonduktivitet som PUR-skum i fjärrvärmerör.

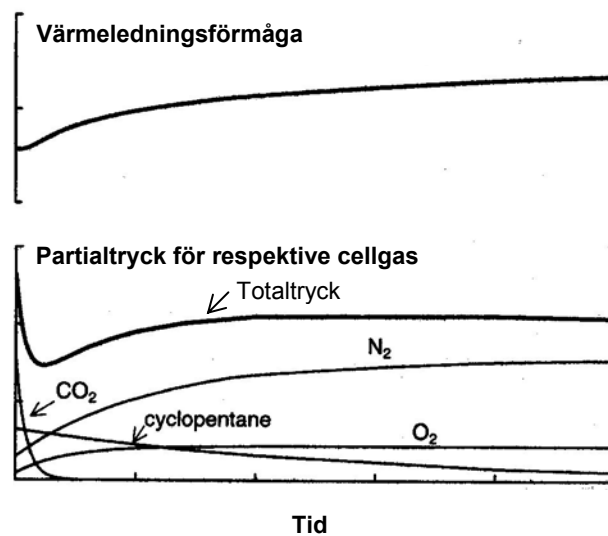
¹ Värdet är uppskattat från värmeledningsförmågan vid 50°C som är ca $0.030 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

4.2. Masstransport av cellgaser

Ett skums isoleringsförmåga försämras med tiden på grund av masstransport av blåsgas ut ur och luft in i skummet. Bild 5 illustrerar förloppet för ett cyklopentan/koldioxidblåst PUR-skum [13]. Processen är analog för andra blåsgaser och isoleringsmaterial. I den övre figuren ses ökningen av skummets värmeledningsförmåga med tiden. I den nedre figuren ses den motsvarande förändringen av cellgasernas partialtryck (minskning av blåsgaser och ökning av kväve och syre).

Bild 5 Ökning av värmeledningsförmåga för PUR-skum och motsvarande förändring av partialtryck för cellgaser med tiden [13]

Figure 5 Increase of PUR foam thermal conductivity and the corresponding change of cell gas partial pressures over time [13]



Transporten av en gas genom isoleringsmaterialet kan beskrivas i två steg:

- I) Gasmolekylerna löser sig i materialet - beskrivs av löslighetskoefficienten, S_{pol}
- II) Gasmolekylerna diffunderar genom materialet - beskrivs av diffusionskoefficienten, D_{eff}

Förloppet kan sammanfattas med permeabilitetskoefficienten (P_{eff}) som är ett mått på masstransportens hastighet för en gaskomponent - ju lägre koefficient, desto långsammare transport och försämring av skummets värmeledningsförmåga. Formel 1 nedan visar hur permeabilitetskoefficienten kan beräknas från diffusionskoefficienten och löslighetskoefficienten [10]. Samtliga koefficienter är specifika för varje cellgas (blåsgas, syre och kväve) och för varje typ av skum (PET- eller PUR-skum).

$$P_{eff,i} = D_{eff,i} \left[\frac{f_{gas}}{RT} + S_{pol,i} (1 - f_{gas}) \right] \quad (1)$$

där	$P_{eff,i}$	permeabilitetskoefficient för gaskomponent i	[mol/(m·s·Pa)]
	$D_{eff,i}$	diffusionskoefficient för gaskomponent i	[m ² /s]
	$f_{gas,i}$	volymfraktion gasfas i skummet	[-]
	R	gaskonstant (8.3145 Pa m ³ ·mole ⁻¹ ·K ⁻¹)	
	T	temperatur	[K]
	$S_{pol,i}$	löslighetskoefficient för gaskomponent i	[mol/(m ³ ·Pa)]

Permeabilitets-, diffusions- och löslighetskoefficienterna för de gaser som var möjliga att bestämma i PET-skum tillsammans med jämförbara data för PUR-skum redovisas i tabellerna 3-5 och kommenteras i avsnitten 4.2.1-4.2.3.

4.2.1. Permeabilitetskoefficienter

Permeabilitetskoefficienterna för cellgaserna i PET-skum kunde endast beräknas för de cellgaser och vid de temperaturer där både diffusions- och löslighetskoefficienten kunde bestämmas (se Tabell 4 och 6), alltså för HCFC-22 och HCFC-142b vid 23°C (Tabell 3). I PET-skum är permeabilitetskoefficienten och därmed masstransporten av HCFC-22 betydligt lägre än litteraturdata för samma gas i PUR-skum. Något jämförbart värde för HCFC-142b i PUR-skum i litteraturen kunde inte hittas. Permeabilitetskoefficienterna för cyklopentan och HFC-365mfc i PUR-skum är angivna i Tabell 3 eftersom de har bestämts med samma analysmetoder som i denna studie, varför resultaten borde vara jämförbara. De är av samma storleksordning som permeabilitetskoefficienterna för HCFC-142b och HCFC-22 i PET-skum.

På grund av för få analysdata är osäkerheten i dessa värden stor. Den slutsats som man kan dra av dessa mätningar är därför att masstransporten av cellgaser är minst lika långsam i PET-skum som i PUR-skum.

Tabell 3 Permeabilitetskoefficienter, P_{eff} , vid 23°C

Table 3 Permeability coefficients, P_{eff} , at 23°C

Cellgas	PET-skum	PUR-skum (litteraturdata)
	$10^{-17} \text{ mol/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$	$10^{-17} \text{ mol/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$
HCFC-22	7.3	81 ^[10]
HCFC-142b	2.5	-
Cyklopentan	-	5.0 ^[14, 15]
HFC-365mfc	-	5.4 ^[16] ; 6.1 ^[16]

4.2.2. Diffusionskoefficienter

Diffusionskoefficienter för samtliga cellgaser (blåsgas, kväve och syre) i PET-skum bestämdes för skum blåst med HCFC-142b/22 och koldioxid och är redovisade för 23°C och 60°C i Tabell 4. Analys- och beräkningsförfarandet beskrivs i Appendix 2.

Samtliga diffusionskoefficienter för cellgaserna i PET-skum är lägre än motsvarande cellgaser i PUR-skum. En låg diffusionskoefficient bidrar till långsammare försämring av isoleringsförmågan. Diffusionskoefficienterna för koldioxid, kväve och syre i PUR-skum är bestämda med samma metod som för PET-skum, vilket ger större säkerhet åt jämförelsen [14].

Även PET-skum blåst med HFC-152a analyserades. Diffusionen av HFC-152a är förmodligen mycket långsam eftersom ingen förändring av cellgasinnehållet kunde mätas ens efter fyrtio dagars lagring av skumprover vid 60°C. Något värde på diffusionskoefficienten kunde alltså inte bestämmas.

Tabell 4 Diffusionskoefficienter, D_{eff}

Table 4 Diffusion coefficients, D_{eff}

Cellgas	PET-skum		PUR-skum (litteraturdata)	
	$10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$	$10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$
	23°C	60°C	23°C	60°C
HCFC-22	1.8	-	6.6-45 ^[17] ; 18 ^[18] ; 60 ^[19]	-
HCFC-142b	0.6	-	-	-
Koldioxid	50	120	500 ^[14]	1300 ^[14]
Kväve	3.0	16	25 ^[14]	220 ^[14]
Syre	20	95	150 ^[14]	650 ^[14]

4.2.3. Löslikhetskoefficienter

Vid rumstemperatur är löslikheten betydligt lägre i PET jämfört med PUR för samtliga studerade blåsgaser (Tabell 5) [15, 18, 20, 21]. Enligt Formel 1 ger en hög löslikhetskoefficient en snabb masstransport och alltså snabbare försämring av isolerförmågan. En stor mängd löst blåsgas i materialet kan dock ha en buffrande effekt. Det kan bidra till att upprätthålla koncentrationen av blåsgas i cellerna, vilket medför att den låga värmeledningsförmågan kan bestå över lång tid. Andelen HFC-152a som är löst i det polymera materialet är ungefär 5 % av den totala mängden av gasen i hela PET-skummet. Denna mängd skulle kunna vara tillräcklig för att ha en sådan effekt.

Tabell 5 Löslikhetskoefficienter, S_{pol}
Table 5 Solubility coefficients, S_{pol}

Cellgas	PET		PUR
	$10^{-3} \text{ mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa})$		(litteratordata)
	23°C	60°C	$10^{-3} \text{ mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa})$ 23°C
HFC-152a	0.3	0.2	4.0 ^[20] , 3.8 ^[20]
HCFC-22	0.4	*	1.8 ^[18] , 4.2 ^[21]
HCFC-142b	0.5	0.3	4.0 ^[21] , 5.4 ^[21]
Cyklopentan	2.4	-	8.8 ^[15]

* För låg koncentration, ej möjlig att analysera

4.3. Orienterande studie av hållfasthet

En mindre studie av tryckhållfasthet och elasticitetsmodul vid rumstemperatur för PET-skum genomfördes enligt metoden beskriven i Appendix 4. Resultaten för respektive skumdensitet är redovisade i Tabell 7. Alla studerade skum hade högre tryckhållfasthet än 300 kPa, vilket är minimikravet för PUR-skum i fjärrvärmerör. Densiteterna skiljer sig något från de i Tabell 2. Det beror på att dessa prov är tagna från isolerskivornas mitt där densiteten är något lägre än längre ut i kanterna. Skummet med densiteten $330 \text{ kg}/\text{m}^3$ är blåst med kväve. Denna skumkvalitet är avsedd att användas som konstruktionsmaterial och inte som isoleringsmaterial.

PET har en smälttemperatur på 265°C . Vid glastransitionstemperaturen som ligger inom intervallet $66\text{--}80^\circ\text{C}$ mjuknar materialet. En studie av PET-skums mekaniska egenskaper bör därför genomföras även över denna temperatur.

Tabell 7 Tryckhållfasthet och elasticitetsmodul för PET-skum vid 23°C
Table 7 Compressive strength and modulus of elasticity of PET foam at 23°C

Skumdensitet kg/m^3	Tryckhållfasthet kPa	Elasticitets- modul MPa
84	580	11
137	1300	17
145	1700	31
330	>5000	31

5. Slutsatser

Resultaten som presenteras i den här rapporten indikerar att PET-skum har potential att kunna ersätta PUR-skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör, när det gäller isoleringsförmåga och dess förändring med tiden.

PET-skum med låg densitet, liten cellstorlek och hög koncentration blåsgas kan sannolikt nå samma låga värmekonduktiviteter som cyklopentan/koldioxidblåst PUR-skum i fjärrvärmerör. De analytiskt bestämda koefficienterna, vilka beskriver masstransporten (D_{eff} , S_{pol} , P_{eff}) för cellgaserna, var lägre i PET jämfört med litteraturdata för PUR vid 23°C och 60°C. Resultaten visar att isoleringsförmågans försämring med tiden är minst lika långsam som i PUR-skum.

Orienterande mätningarna av PET-skums tryckhållfasthet vid rumstemperatur visar att materialet ligger långt över minimikravet för PUR-skum i fjärrvärmerör. En större studie av PET-skums mekaniska egenskaper vid förhöjd temperatur och efter lång tid bör genomföras.

Flera trender tyder på att det kommer att finnas ett överskott av återvunnen PET i framtiden. I dagsläget är priset för återvunnen PET 0.5 €/kg vilket är ca en tredjedel av priset för jungfrulig PET och PUR (1.8 €/kg).

Bild 6 Prototyp av ett PET-skumsisolerat fjärrvärmerör

Figure 6 Prototype of a PET-foam insulated district heating pipe



6. Referenser

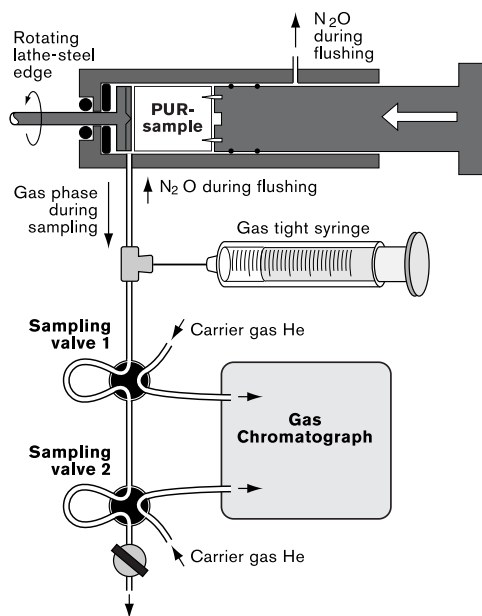
1. APME, *Plastics- An analysis of plastics consumption and recovery in Europe 2001 & 2002*. Published summer 2003, Association of Plastics Manufacturers in Europe.
2. APME, *Plastics - An analysis of plastics consumption and recovery in Europe 2000*. Published Spring 2002, Association of Plastics Manufacturers in Europe.
3. APME, *Plastics - Insight into consumption and recovery in Europe*. Published Summer 2001, Association of Plastics Manufacturers in Europe.
4. APME, *Plastics - An analysis of plastics consumption and recovery in Europe 1999*. Published Spring 2001, Association of Plastics Manufacturers in Europe.
5. *Council Directive 94/62/EC of 15 December 1994 on Packaging and Packaging Waste*. 31.12.1994, European Council.
6. Returpack, www.returpack.se. (april 2004).
7. Svenska Bryggareföreningen, www.sverigesbryggerier.se. (april 2004).
8. Ghisolfi, M.G.P.-G.M., www.mgpolymers.com. (2004-06-22).
9. Fröling, M., U. Jarfelt, and O. Ramnäs. *Insulation of district heating pipes - Environmental aspects of the blowing agent of the polyurethane foam*. in *7th International Symposium on District Heating and Cooling 1999*. Lund, Sweden.
10. Brodt, K., *Thermal insulations: CFC-alternatives and vacuum insulation*. 1995, Doctoral thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
11. Isberg, J., *The thermal conductivity of polyurethane foam*. 1988, Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology.
12. Wiedermann, R.E., G.G. Heilig, and E.M. Hoppe. *Aging characteristics of PUR rigid foams with alternative blowing agents*. in *Polyurethanes World Congress 1991*.
13. Olsson, M., *Long-term thermal performance of polyurethane-insulated district heating pipes*. 2001, Doctoral thesis, Department of Building Physics, Chalmers University of Technology: Göteborg.
14. Olsson, M.E., et al., *Diffusion of cyclopentane in polyurethane foam at different temperatures and implications for district heating pipes*. *Journal of Cellular Plastics*. **38**(2002): p. 177-188.
15. Holmgren, C., *District heating pipes - heat losses and environmental impacts*. 2004, Licentiate thesis, Department of Building Technology, Sweden: Göteborg.
16. Mangs, S., et al., *Transport of 1,1,1,3,3-pentafluorobutane (HFC-365mfc) in rigid polyurethane foam and polyethylene*. *Cellular Polymers*. **21**(2002): p. 155-164.
17. Bhattacharjee, D. and J.R. Booth, *Effective diffusion coefficients of CO₂ and HCFC-22 in polyurethane and polyisocyanurate foams*. *Journal of Cellular Plastics*. **31**(1995): p. 244-259.
18. du Cauzé de Nazelle, G., *Thermal conductivity ageing of rigid closed cell polyurethane foams*. 1995: Doctoral thesis, The Hauge, The Netherlands.
19. Bart, G.C.J. and G.M.R. du Cauzé de Nazelle. *Certification of thermal conductivity ageing of PUR foam*. in *Polyurethanes World Congress*. Sep 24-26, 1991.
20. Hong, S.U., A. Albouy, and J.L. Duda, *Transport of blowing agents in polurethane*. *Journal of Applied Polymer Science*. **79**(2000): p. 696-702.
21. Hong, S.U. and J.L. Duda, *Diffusion of CFC 11 and Hydrofluorocarbons in polyurethane*. *Journal of Applied Polymer Science*. **70**(1998): p. 2069-2073.
22. Svanström, M. and O. Ramnäs, *A method for analysing the gas phase in polyurethane foam*. *Cellular Plastics*. **31**(1995): p. 375-388.
23. Svanström, M., et al., *Determination of effective diffusion coefficients in rigid polyurethane foam*. *Cellular Polymers*. **16**(1997): p. 182-193.

Appendix 1 – Metod för bestämning av värmeledningsförmåga och cellgasinnehåll

Värmeledningsförmågan i PET-skum bestämdes vid 20°C i en värmeflödesmätare (Holometrics Rapid-k) enligt den standardiserade metoden ISO 8301.

Cellgasens sammansättning för varje skiva bestämdes genom att ta ut cylindriska prov (diameter: 21 mm, längd ungefär 50 mm) från skumskivorna. Skummet maldes ned och cellgasen samlades upp i en gastät spruta så att den frigjorda gasvolymen kunde bestämdes. Därefter analyserades cellgasen med gaskromatografi (Bild 7) [22].

Bild 7 Experimentell uppställning för analys av cellgasens sammansättning
Figure 7 Experimental set-up to determine cell gas content



Appendix 2 – Metod för bestämning av diffusions- och löslighetskoefficienter

Den effektiva diffusionskoefficienten bestämdes genom att ta ut cylindriska prov (diameter: 21 mm, längd ungefär 50 mm) från skumskivorna. Plattor av aluminium limmades med epoxy på cylindrarnas båda ändar för att förhindra masstransport i axiellt led. Detta förenklar den matematiska modellen som används för att beräkna diffusionskoefficienten.

Cylindrarna lagrades vid 23°C och 60°C och analyserades vid rumstemperatur efter olika lagringstider. Cellgasinnehållet och totaltrycket bestämdes genom att mala ned skummet, bestämma den frigjorda gasvolymen och analysera gasen med gaskromatografi (se appendix 1) [22].

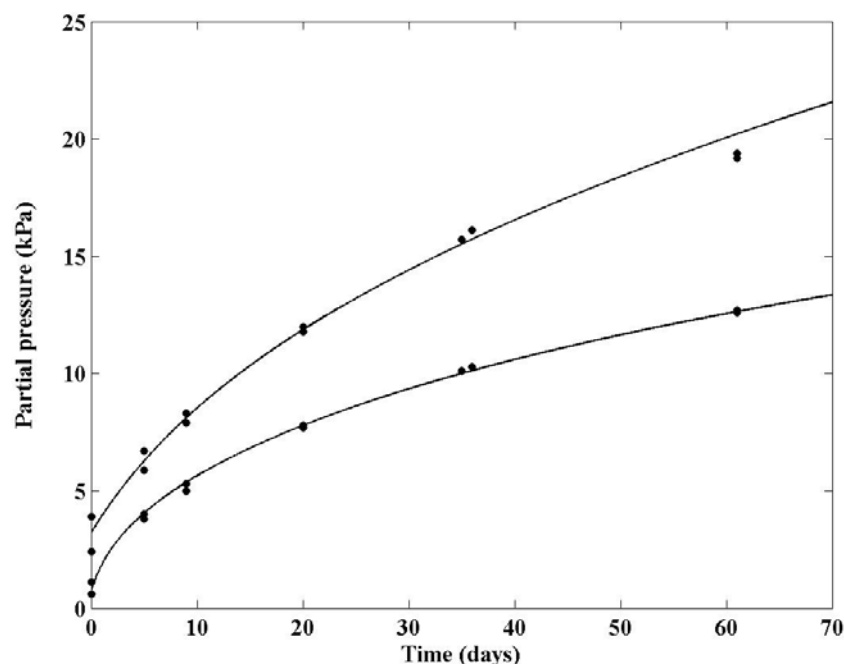
Förändringen av partialtryck för de olika cellgaserna antogs följa Fick's andra lag. De effektiva diffusionskoefficienterna bestämdes genom att anpassa beräknade kurvor till de experimentella värdena. Masstransporten av kväve och syre in i PET-skum illustreras i Bild 4. Lösningen av Fick's andra lag för en cylinder uttryckt som medelvärde av partialtrycket för en gas ges i Formel 2 nedan [23]:

$$\bar{p}_i = p_{0i} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{4 \cdot \exp(-\beta_{0j}^2 \cdot D_{eff,i} \cdot t)}{(\beta_{0j} \cdot a)^2} \quad (2)$$

där	$\bar{p}_i$	medelvärde av partialtrycket för gaskomponent i	[kPa]
	p_{0i}	initialt partialtryck för gaskomponent i	[kPa]
	$D_{eff,i}$	effektiv diffusionskoefficient för gaskomponent i	[m ² /s]
	a	cylinderradie	
	$\beta_{0j} \cdot a$	rötter till nollte ordningens Besselfunktion	

Bild 4 Uppmätta och beräknade partialtrycksförändringar över tiden för kväve (övre kurvan) och syre (nedre kurvan) i cylindrar av PET-skum vid 23°C

Figure 4 Measured and calculated mean partial pressure of nitrogen (upper line) and oxygen (lower line) in HFC-152a blown PET foam cylinders over time at 23°C



Om koncentrationen av en cellgas i polymermatrisen, c ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$), och gasens partialtryck i cellerna, p (kPa) är kända, kan löslighetskoefficienten, S_{pol} ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{Pa}^{-1}$) beräknas enligt Henrys lag (Formel 3):

$$c = S_{pol} \cdot p \quad (3)$$

Några minuter efter det att cellgasinnehållet i ett prov analyserats, vägdes det nermalda PET-skummet (ca 1.5 g) och placerades i en gastät autoklav av rostfritt stål (volym ca 840 ml). Autoklaven genomspolades med kvävgas i ca två minuter. Därefter värmdes autoklaven i en ugn (ca 280°C i 30 minuter). Den i polymeren lösta blåsgasen frigjordes på så sätt till autoklavens atmosfär. Denna analyserades sedan med gaskromatografi.

Lösligheten av cyklopentan i PET vid rumstemperatur bestämdes med en annan metod, eftersom cyklopentanblåst PET-skum inte produceras i dagsläget.

Koldioxidblåst skum valdes till experimentet, eftersom lösligheten av koldioxid i PET är mycket låg. Ca 10 g nedmalet PET-skum lades i en autoklav av rostfritt stål tillsammans med en liten mängd cyklopentan. Mängden valdes så att mättnadstrycket av gasen i luften vid 23°C aldrig nåddes. Proven lagrades vid 23°C och analyserades efter olika lagringstider för att se när jämvikt uppnåts (ca 4 månader).

Koncentrationen av cyklopentan i autoklavens atmosfär analyserades med gaskromatografi och mängden löst cyklopentan i det malda PET-skummet analyserades enligt metoden ovan.

Två till tre löslighetsanalyser genomfördes vid varje temperatur och för varje blåsgas.

Appendix 3 – Beräkning av olika bidrag till ett isolerskums värmeledningsförmåga

En blåsgas värmeledningsförmåga kan delas upp i tre komponenter: ledning genom cellgasen (λ_{gas}), strålning mellan cellernas ytor (λ_{rad}) och ledning genom det polymera materialet (λ_{pol}). Skummets totala värmeledningsförmågan (λ_{skum}) är därmed:

$$\lambda_{skum} = \lambda_{gas} + \lambda_{rad} + \lambda_{pol}$$

Formel för beräkning av ledning genom cellgasen enligt Brokaws metod:

$$\lambda_{gas} = 0.5 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \lambda_i + \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\lambda_i}} \right) \quad (4)$$

där y_i är molfraktionen för gaskomponent i

Brokawkoefficienten är satt till 0.5 vilket föreslagits av Isberg [11].

Värmekonduktiviteter för respektive gas vid rumstemperatur [10, 12]]:

Luft	0.024 W/(m·K)
HCF-142b	0.011 W/(m·K)
HCFC-22	0.009 W/(m·K)

Bidraget från strålning mellan cellernas ytor, ledning genom det polymera materialet ($\lambda_{rad} + \lambda_{pol}$) kan bestämmas genom att beräkna bidraget från ledningen genom cellgasen och subtrahera denna från den totala värmeledningsförmågan.

Appendix 4 – Metod för bestämning av mekaniska egenskaper

Tryckhållfastheten och elasticitetsmodulen för PET-skum vid 23°C bestämdes enligt metoden för testning av PUR-skum beskriven i SS-EN (ISO 844). Provbitar av PET-skum med arean 30 x 30 mm² och tjocklek 10-30 mm togs från kärnan av varje skumskiva. Tre analyser genomfördes för varje skumkvalitet. Testerna genomfördes vid SP i Göteborg.

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Svensk Fjärrvärmes Förlagsservice.

Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 – 24 90 10, www.fjarrvarme.org

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FORSKNING OCH UTVECKLING – RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare – Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walletun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem – en litteraturstudie	Peeter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulvertrör ”Hisings-Backa”	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla – två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

Nr	Titel	Författare	Publicerad
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpén	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin	dec-99

Nr	Titel	Författare	Publicerad
		Carmen Pletikos	
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylennät – Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02

Nr	Titel	Författare	Publicerad
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03
85	Marginaler i fjärrvärmesystem	Patrik Selinder Heimo Zinko	mars-03
86	Flödesutjämnande körstrategi	Gunnar Larsson	april-03
87	”Black-Box”-undersökning av fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun Bernt Svensson	juni-03
88	Långtidsegenskaper hos lågflödesinjusterade radiatorsystem	Stefan Petersson Sven Werner	aug-03

Nr	Titel	Författare	Publicerad
89	Rationellt byggande av fjärrvärmeledningar	Tommy Gudmundson	sep-03
90	Total – Kontra utförandeentreprenad	Tommy Gudmundson	sep-03
91	Tryckväxlare för fjärrkyla – Teknik och funktion	Bror-Arne Gustafson	sep-03
92	Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker	Caroline Haglund Stignor	sep-03
93	Minskade distributionsförluster med diffusionstäta fjärrvärmerör	Maria Olsson	okt-03
94	Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump	Patrik Selinder Håkan Walletun Heimo Zinko	okt-03
95	Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet	Stefan Petersson Bernt-Erik Nyberg	okt-03
96	EPSPEX-kulvert – Utveckling, utförande och uppföljning	Tommy Gudmundson	okt-03
97	EPSPEX-kulvert – Funktion under och efter vattendränkning	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	okt-03
98	Fukt i fjärrvärmerör, larmsystem och detektering Inventering av mätmetoder och gränsvärden	Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm Mats-Olov Edström	okt-03
99	Undersökning av skarvar med isolerhalvor efter nio år i drift	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	nov-03
100	Strategier för framtidens fjärrvärme	Markus Felleesson	dec-03
101	Fjärrvärmevärmda torkrumsanläggningar	Peter Neikell Tobias Nilsson	nov-03
102	Kyllager i befintligt kylnät	Fredrik Setterwall Benny Andersen	nov-03
103	Reglerdynamik, tryckhållning och tryckslag i stora rörsystem	Gunnar Larsson	dec-03
104	Energimätning i småhus. Förstudie.	Jan Eliason Morgan Romvall Håkan Walletun	dec-03
105	Konsekvenser av mindre styrventiler i distributionsnät	Håkan Lindkvist Håkan Walletun	jan-04
106	Inventering av nya inspektionsinstrument för statuskontroll av fjärrvärmerör	Göran Sund	jan-04
107	Kopplingar i fjärrvärmesystem – inventering av alternativ och utvecklingspotential	Rolf Sjöblom Jöns Hilborn	feb-04
108	Gratid för kyla	Peter Lundell	april-04
109	Effektivare rundgångar	Håkan Walletun Karolina Näsholm	april-04
110	Mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät	Magnus Nordling	april-04
111	Effektivare distribution av fjärrkyla	Olle Källman Per Hindersson Börje Nord	maj-04
112	Värmedriven kyla	Magnus Rydstrand Viktoria Martin Mats Westermark	maj-04

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
113	Markradar fältförsök	Emelie Vestin Peter Wilén	juni-04
114	EcoTrench läggning av fjärrvärmerör	Alf Lindmark	juni-04
115	Tappvarmvattenanvändning på hotell	Stefan Petersson Sven Werner Martin Sandberg Åsa Wahlström	juni-04
116	PET-skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör	Sara Mangs Olle Ramnäs Ulf Jarfelt	sept-04

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03
7	Sammanställning över fjärrvärme- och kraftvärmeprojekt med eu-stöd	Sofie Andersson Sven Werner	feb-04
8	Utvärdering av FOU-programmet Hetvattenteknik 2001-2003	John Johnsson Håkan Sköldberg	feb-04
9	Nytta med svensk fjärrvärmeforskning	Sven Werner	feb-04

*Svensk Fjärrvärme AB och Statens energimyndighet bedriver
forskningsprogram inom området fjärrvärme, hetvattenteknik och fjärrkyla.*



Svensk Fjärrvärme • 101 53 Stockholm • Telefon 08-677 25 50 • Fax 08-677 25 55
Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr. • E-post kontakt@fjarrvarme.org • www.fjarrvarme.org