

Universiteit Gent  
Faculteit Ingenieurswetenschappen

Vakgroep  
Architectuur en Stedenbouw

# Na-isolatie van spouwmuren

door

Jeroen Meeusen

Promotor: prof. dr. ir.-arch. A. Janssens

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk bouwkundig ingenieur

Academiejaar 2005 - 2006



Universiteit Gent  
Faculteit Ingenieurswetenschappen

Vakgroep  
Architectuur en Stedenbouw

## Na-isolatie van spouwmuren

door

Jeroen Meeusen

Promotor: prof. dr. ir.-arch. A. Janssens

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk bouwkundig ingenieur

Academiejaar 2005 - 2006

Vooraleer de lezer los te laten op deze scriptie zou ik eerst een aantal mensen willen bedanken. Zonder hen zou deze scriptie er niet gekomen zijn.

Prof. Arnold Janssens en ir.-arch. Nathan Van Den Bossche bedank ik voor hun begeleiding bij deze scriptie. Ook de heren Jacques Claes, Faes, de heer en mevrouw Huijgens, ing. Koen Michielsens, de heren Martin en Wouter Raepsaet, Claude Ruwet, Luc Schoonjans, dr. Georges Timmermans, ing. Joop van Es en de heer Ivan Vanderhaeghen zou ik hartelijk willen danken voor hun medewerking.

Bijzondere dank ben ik verschuldigd aan de heer Martinus Pluimers die me niet alleen met lectuur overstelpde en me onderdempelde in de Nederlandse na-isolatie wereld, maar me ook met raad en daad bijstond.

Jeroen Meeusen, 4 juni 2006

De auteur geeft de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de scriptie te kopiëren voor persoonlijk gebruik.

Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

# Na-isolatie van spouwmuren

door  
Jeroen Meeusen

Scriptie ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk bouwkundig ingenieur

Academiejaar 2005 - 2006

Promotor: prof. dr. ir.-arch. A. Janssens

Faculteit Ingenieurswetenschappen  
Universiteit Gent

Vakgroep Architectuur en Stedenbouw

## Samenvatting

We hebben theoretisch aangetoond dat er geen fundamenteel bezwaar bestaat tegen vulling van bestaande spouwmuren mits (1) deze muren in goede staat verkeren en aan de buitenzijde niet-dampremmend zijn afgewerkt, en (2) de spouwvulling op een adequate manier gebeurt met een daarvoor geschikt isolatiemateriaal. Praktijkonderzoeken staven bovenstaande bewering.

Uit praktijkonderzoek blijkt echter ook dat de effectieve  $\lambda$ -waarden van spouwvulmaterialen waarmee gerekend wordt veel kleiner zijn dan de waarden die men in situ meet. De oorzaak hiervan is niet helemaal duidelijk.

Vandaag de dag zijn er materialen voor de vulling van spouwmuren op de markt die hiervoor niet geschikt zijn en van andere is volgens ons nog niet afdoende bewezen dat ze deugen als spouwvullingsmateriaal.

Trefwoorden: na-isolatie, spouwmuur, spouwmuurisolatie, spouwvullingsmateriaal

## INHOUDSTAFEL

1. Inleiding .....	1
2. De niet gevulde spouwmuur .....	1
2.1. Ideale remedie tegen regendoorslag .....	1
2.2. Warmteoverdracht door een spouw .....	2
2.3. Ventilatie van de spouw .....	3
2.3.1. Droging van de spouwbladen .....	3
2.3.2. Inwendige condensatie .....	5
3. De na-geïsoleerde spouwmuur .....	6
3.1. Potentieel van na-isolatie van spouwmuren .....	6
3.1.1. Verhoging warmteweerstand .....	6
3.1.2. Behaaglijkheid en oppervlaktetemperatuur .....	8
3.1.3. Energiebesparing door spouwmuurisolatie .....	9
3.1.4. Marktpotentieel .....	11
3.2. Voorwaarden waaraan isolatiemateriaal moet voldoen .....	12
3.2.1. Wateropname .....	12
3.2.2. Lage $\lambda$ -waarde .....	12
3.2.3. Dampdoorlatendheid van isolatie .....	13
3.2.4. Holten, kanalen en scheuren .....	14
3.3. Voorwaarden waaraan bestaande spouwmuur moet voldoen .....	15
3.3.1. Koudebruggen .....	15
3.3.2. Vorstbestendigheid .....	20
3.3.3. Mortelresten en open stootvoegen .....	21
3.3.4. Waterdoorlatendheid en luchtdoorlatendheid .....	24
3.3.5. Spouwbreedte .....	24
3.3.6. Hoge en lange ononderbroken gevels .....	24
4. Materialen en uitvoeringsmogelijkheden .....	25
4.1. Schuimvormige isolatiematerialen .....	29
4.1.1. UF-schuim .....	29
4.1.2. PUR-schuim .....	30
4.2. Vlokvormige isolatiematerialen .....	32
4.3. Korrelvormige isolatiematerialen .....	34
4.3.1. PS-parels .....	34
4.3.2. Silicaatkorrels .....	34
4.3.2.1. Perlietkorrels .....	34
4.3.2.2. Geëxpandeerde glaskorrels .....	35
4.4. Organische isolatiematerialen .....	37
4.5. Verbruiksgegevens Nederland .....	37
5. Experimenteel onderzoek op nagevulde spouwmuren .....	38
5.1. Laboratoriumonderzoeken .....	38
5.1.1. Capillariteit .....	38
5.1.2. Regendoorslag van gevulde spouwmuren .....	42
5.1.2.1. Bijzonder onderzoek naar regendoorslag bij spouwwulling met PUR-schuim .....	45
5.2. Praktijkonderzoeken .....	45
5.2.1. 1974 – 1975: Bouwcentrum .....	45
5.2.2. 1979 – 1980: Bouwcentrum BKS .....	47
5.2.2.1. Volumemassa .....	47
5.2.2.2. Vochtgehalte .....	49
5.2.2.3. Systeemgebonden tekortkomingen .....	51
5.2.3. 1983-1985: IBBC-TNO .....	54
5.2.3.1. Invloed van windsnelheid op $\lambda$ -waarde .....	55
5.2.3.2. Invloed van neerslaghoeveelheid op $\lambda$ -waarde .....	56
5.2.3.3. Invloed van spouwbreedte op $\lambda$ -waarde .....	58
5.2.3.4. Invloed van leeftijd vulmateriaal op $\lambda$ -waarde .....	58
5.2.3.5. Invloed van geveloriëntatie op $\lambda$ -waarde .....	58
5.2.3.6. Statistische classificatie van gemeten $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden .....	59
5.2.3.7. Conclusies .....	61
5.2.3.8. Betrouwbaarheid gemeten $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden .....	61
5.2.3.9. Gesignaleerde thermische bruggen en onvolkomenheden .....	62

6. Gevalstudies.....	63
6.1. Spouwvulling met glaswol.....	63
6.1.1. Vorstschade.....	63
6.1.2. Thermische verstoringen.....	65
6.1.3. Verlaging gemiddelde U-waarde en energiebesparing.....	71
6.1.3.1. Eéndimensionaal warmtetransport.....	71
6.1.3.2. Tweedimensionaal warmtetransport.....	72
6.1.3.3. Driedimensionaal warmtetransport.....	73
6.1.3.4. Gemiddelde U-waarde van gevels.....	74
6.1.3.5. Gemiddelde U-waarde van gebouwschil.....	76
6.1.3.6. Energiebesparing.....	77
6.2. Schadegeval.....	78
7. Samenvattende conclusies.....	81
8. Referenties.....	83
8.1. Nederland.....	83
8.2. België.....	84
8.3. Verenigd Koninkrijk.....	86
8.4. Duitsland.....	86

## 1. Inleiding

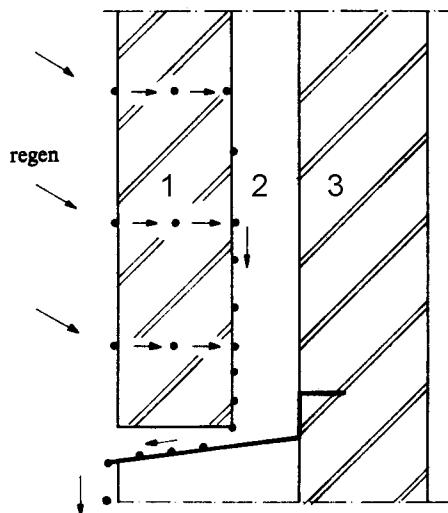
De isolatiekwaliteit van het bestaande woningenbestand in België is onvoldoende. Na-isolatie van bestaande woningen biedt dus een groot potentiëel om in het kader van de Kyoto-akkoorden bij te dragen tot de reductie van uitstoot van broeikasgassen. De technieken om bestaande woningen te isoleren zijn echter beperkt. De keuze voor binnen- of buitenisolatie leidt tot een belangrijke investering, een aanpassing van details, een verhoogd risico op vochtproblemen (bij binnenisolatie) een nieuwe gevelafwerking (bij buitenisolatie), ... Nochtans zijn de buitenmuren van ongeveer de helft van de bestaande Vlaamse woningen opgebouwd als een spouwmuur, met een luchtlaag van enkele centimeters die het dragend metselwerk van het gevelmetselwerk scheidt. Het navullen van deze spouw met thermische isolatie is een relatief eenvoudige en goedkope techniek zonder de nadelen inherent aan binnen- en buitenisolatiesystemen.

In de jaren zeventig en tachtig waren deze technieken gecommercialiseerd, maar door enkele schadegevallen kwam de techniek van navulling in een slecht daglicht te staan en werd hij na 1990 nog maar zelden toegepast in ons land. Dit eindwerk heeft tot doel door enige klaarheid te scheppen een bijdrage te leveren tot het opnieuw toepasbaar maken van de techniek van navulling van spouwmuren. Onderhavige studie bestaat uit drie delen: (1) een theoretische beschouwing van de eigenschappen waaraan spouwvulmaterialen en bestaande spouwen moeten voldoen, (2) inventaris van de geregistreerde navultechnieken, en (3) een evaluatie van de gerealiseerde prestaties met na-isolatie op basis van laboratorium- en praktijkonderzoek.

## 2. De niet gevulde spouwmuur

### 2.1. Ideale remedie tegen regendoorslag

De spouwmuur werd in het begin van de jaren 1930 geïntroduceerd<sup>1</sup> in Noord-West Europa als de ideale oplossing om buitenmuren regendicht te maken en wordt sedert 1945 veralgemeend toegepast. Een spouwmuur bestaat principieel uit drie delen die elk een welbepaalde functie hebben.



De spouw voorkomt regendoorslag [16]

Het buitenspouwblad in metselwerk (1) fungeert als regenscherm. Naarmate de stenen meer capillair zijn zal het bij slagregen langer duren vooraleer het regenwater de spouw bereikt. De spouw (2) doet dienst als ontspanningskamer<sup>2</sup> waarin het doorgedrongen water onderaan via de open stootvoegen naar buiten wordt afgevoerd. Het binnenspouwblad in dragend metselwerk of in gewapend beton met pleisterlaag (3)

<sup>1</sup> Eigenlijk een herintroductie. De oudste spouwmuurconstructie werd aangetroffen in het Nederlandse Meerssen, in een huis uit 1619.

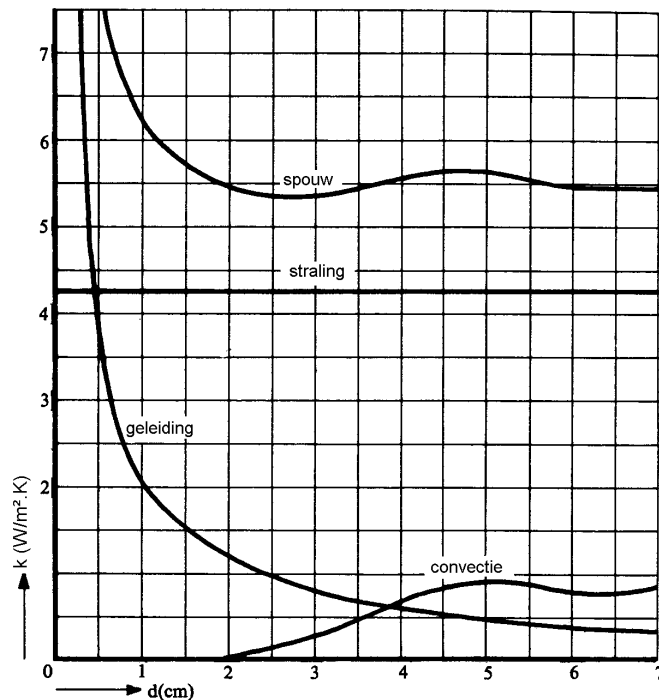
<sup>2</sup> De plotse verbreding van smalle spleet naar brede holte doet de snelheid van het binnengestuwde water fors dalen (continuïteitsprincipe). De kinetische energie van het doorgedrongen water neemt af en het water valt naar beneden (in geval van voldoende luchtdichtheid).



zorgt voor luchtdichtheid die noodzakelijk is om te voorkomen dat de waterfilm die langs de spouwzijde van het buitenspouwblad afloopt door een drukverschil tegen het binnenspouwblad zou worden geblazen.

## 2.2. Warmteoverdracht door een spouw

Bij sommigen leeft de gedachte dat een spouw een goede isolator zou zijn, gezien stilstaande lucht een bijzonder goed isolatiemateriaal is ( $\lambda_{\text{lucht}} = 0,023 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ )... niets is minder waar. Warmte in een luchtspouw wordt immers niet alleen overgedragen door geleiding, maar ook door convectie en straling. Bovendien heeft ook de ventilatie van de spouw een negatieve invloed op het isolerend vermogen. Onderstaande figuur geeft ter illustratie de transmissiecoëfficiënten<sup>3</sup> (k-waarden) weer voor geleiding, convectie en straling als functie van de spouwbreedte.



Transmissiecoëfficiënten van *niet-geventileerde* spouw in muur als functie van spouwbreedte [16]

In bovenstaande figuur is eveneens de som van de drie k-waarden van de gesloten spouw ( $k_{\text{spouw}}$ ) getekend.

We zien dat voor courante spouwbreedtes (tussen 4 en 7 cm) het stralingsaandeel bij warmtetransport verreweg het belangrijkste is (ca. 80%).

De warmteweerstand van een gesloten spouw (met breedte van 5 cm) bedraagt dus:

$$R_{\text{spouw}} = \frac{1}{k_{\text{spouw}}} = \frac{1}{5,7} = 0,175 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Als men enkel rekening houdt met de geleiding dan bekomt men:

$$R_{\text{spouw}} = \frac{0,05 \text{ m}}{0,023 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}} = 2,174 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Om het door het buitenblad doorgedrongen regenwater af te voeren worden onder in de muur een aantal openingen voorzien. Soms staat de spouw ook van boven in verbinding met de buitenlucht, dan zal de koude buitenlucht onderaan de spouw binnenstromen, opgewarmd worden en de spouw bovenaan weer verlaten. In hoeverre deze ventilatie zinvol is zien we verder in §2.3. Het gevolg is dat de koude

<sup>3</sup> De warmtestroomdichtheid kan berekend worden uit:  $q = k_{\text{spouw}} \cdot (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\text{spouw}}}$ . Hierbij is  $R_{\text{spouw}}$  de warmteweerstand

van de spouw,  $\theta_1$  en  $\theta_2$  de oppervlaktetemperaturen van de twee spouw wanden.

buitenlucht de temperatuur in de spouw verlaagt. Ventilatie van de spouw betekent dus een extra warmteverliespost.

Bovendien bestaan er meestal krimp-scheurtjes tussen mortel in steen<sup>4</sup>, die niet alleen verantwoordelijk zijn voor regendoorslag maar ook voor luchtlekkage. Deze scheurtjes zijn er voor verantwoordelijk dat er, ook bij afwezigheid van open stootvoegen bovenaan, een zekere buitenluchtcirculatie in de spouw is. Als gevolg van ventilatie en luchtlekkage zal de hierboven berekende warmteweerstand van de spouw  $R_{spouw}$  in werkelijkheid, zeker bij sterke windaanval, nog lager zijn.

### 2.3. Ventilatie van de spouw

Men kan twee argumenten aanvoeren die pleiten voor de ventilatie van de spouw:

1. Versnelling van het droogproces. De verdamping vindt immers niet alleen plaats naar de lucht binnen en buiten, maar ook naar de spouw, waar de waterdamp wordt opgenomen en afgevoerd door de lucht die door de spouw stroomt.
2. Verhinderen van inwendige condensatie in de winter, omdat de waterdamp die door het binnenblad naar de koude zijde diffundeert, door de lucht in de spouw kan worden opgenomen en naar buiten wordt afgevoerd.

We gaan na of deze twee argumenten die pleiten voor het behoud van de spouw juist en doorslaggevend zijn.

#### 2.3.1. Droging van de spouwbladen

Het drogingsproces bestaat uit twee fasen:

- 1<sup>ste</sup> fase: door convectie

Het oppervlak blijft vochtig zo lang  $w > w_{cr}$ , het droogfront trekt zich niet terug, er is verdamping aan het oppervlak.

De convectieve dampstroomdichtheid wordt uitgedrukt als:

$$g_1 = \beta \cdot (p_s - p) = \beta \cdot [p_{sat}(\theta) - p] = \beta \cdot p_{sat}(\theta) \cdot (1 - \varphi) \quad (1)$$

Hierbij is:

$W_{cr}$  = kritisch vochtgehalte, vochtgehalte waarbij nog net capillair watertransport mogelijk is

$\beta$  = waterdampovergangscoefficiënt

$p$  = referentiewaarde van de dampdruk buiten de grenslaag

$p_s$  = dampdruk ter plaatse van het oppervlak

$\varphi$  = relatieve vochtigheid

Duur van eerste droogfase?

Het watergehalte neemt in de eerste fase af van het capillair vochtgehalte  $w_c$  tot het kritisch vochtgehalte  $w_{cr}$ .

De hoeveelheid water die in de eerste droogfase wordt afgevoerd per vierkante meter wand wordt dus gegeven door (met  $L$  = muurdikte):

$$m_1 = g_1 \cdot t_1 = (w_c - w_{cr}) \cdot L \Rightarrow t_1 = \frac{(w_c - w_{cr}) \cdot L}{g_1}$$

Hierbij blijkt de duur van de eerste droogfase  $t_1$  enkele dagen te zijn.

- 2<sup>de</sup> fase: door diffusie

Het oppervlak is niet langer vochtig want het vochtgehalte is kleiner dan het kritisch vochtgehalte  $w_{cr}$ , het vochtfront trekt zich terug.

De dampstroomdichtheid tijdens de tweede droogfase wordt gegeven door:

---

<sup>4</sup> Het gaat hier in het bijzonder om de stootvoegen.

$$g_2 = \frac{p_{sat}(\theta) - p}{\frac{\mu \cdot x}{\delta_a} + \frac{1}{\beta}} \cong \frac{\delta_a \cdot p_{sat}(\theta) \cdot (1 - \varphi)}{\mu \cdot x} \propto \frac{1}{x}$$

met

$\delta_a$  = dampgeleidingscoëfficiënt van stilstaande lucht  
 $\mu$  = diffusieweerstandsgetal van wand  
 $x$  = afstand waarover vochtfront zich heeft teruggetrokken

Bij de overgang van de tweede naar de derde term verwaarlozen we de weerstand tegen convectief damptransport.

Duur van de tweede droogfase?

Het watergehalte neemt in de tweede droogfase af van het kritisch watergehalte  $w_{cr}$  tot het hygroscopisch watergehalte  $w_h$ .

De hoeveelheid water die in de tweede droogfase wordt afgevoerd per vierkante meter wand wordt gegeven door:

$$m_2 = \int_0^{t_2} g_2 \cdot dt = \int_0^L (w_{cr} - w_h) \cdot dx \Rightarrow t_2 \propto L^2 \quad (2)$$

De duur van de tweede droogfase zou in theorie<sup>5</sup> enkele jaren zijn!

Bekijken we eerst de *droging van het binnenblad* dat, afgezien van het hygroscopisch vocht, alleen gedurende een korte periode<sup>6</sup> na het gereed komen van de bouw vochtig zal zijn. Het binnenblad kan waterdamp zowel aan de lucht binnen als aan de spouwlucht afgeven.

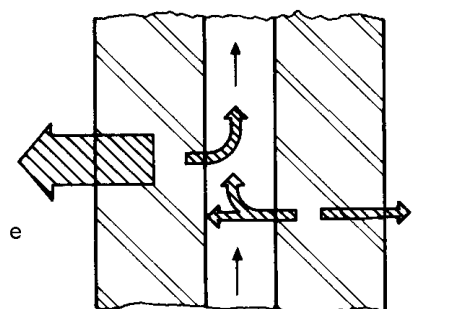
De convectieve dampstroomdichtheid  $g_1$  wordt gegeven door (1) waarbij

$$\beta = \beta_{gedw} + \beta_{gedw} = \frac{2}{7} \cdot \beta_{vrij}$$

en is dus twee maal groter dan wanneer er geen spouw zou zijn. De duur van de eerste droogfase zal halveren.

De duur van de tweede droogfase verkrijgen we door in (2) de wanddikte  $L$  te vervangen door  $L/2$ , want het vocht kan nu twee kanten op. De duur van de tweede droogfase wordt dus in theorie vier maal korter.

De aanwezigheid van een spouw zal dus inderdaad de droging van bouwvocht uit het binnenblad versnellen. Na enkele maanden, in enkele gevallen jaren, is het bouwvocht uit het binnenblad volledig verdwenen. Bij bestaande spouwmuren van voldoende ouderdom heeft de geventileerde spouw zijn nut bij de droging van het binnenblad dus verloren.



Droging van de spouwmuur

Veel belangrijker is de *droging van het buitenblad* dat blootgesteld wordt aan grote hoeveelheden regenwater. Een groot deel van het bouwvocht in het binnenblad dat naar de spouwzijde verdampt condenseert op het buitenblad. Zo lang dit het geval is kan het buitenblad geen waterdamp aan de

<sup>5</sup> De duur van de tweede droogfase  $t_2$  is in praktijk veel groter dan de tijd tussen twee buien. Tweede droogfase zal zich in praktijk dan ook nooit kunnen voltrekken.

<sup>6</sup> Kort in vergelijking met levensduur van de woning. Het kan maanden of zelfs jaren duren voor het bouwvocht is verdwenen.

spouwlucht afgeven, wel in tegendeel. Pas wanneer het binnenblad vrij droog is, kan vochtafgifte aan de spouwlucht plaatsvinden.

De convectieve dampstroomdichtheid  $g_1$  wordt dan gegeven door (1) waarbij

$$\beta = \beta_{\text{vrij}} + \beta_{\text{gedw}} = \frac{8}{7} \cdot \beta_{\text{vrij}}$$

en is dus nauwelijks  $1/7^{\text{de}}$  groter dan wanneer er geen spouw zou zijn. De duur van de eerste droogfase zal dan ook slechts  $1/7^{\text{de}}$  korter zijn dankzij de aanwezigheid van een geventileerde spouw!

De duur van de tweede droogfase zal, zoals bij het binnenblad, vier maal korter zijn. Dit is echter slechts in theorie het geval, in praktijk zal de droogtijd nog veel langer duren dan de tijd tussen twee regenbuien en de tweede droogfase zal zich dan ook nooit voltrekken.

We kunnen dus besluiten dat de vochtafgifte van het buitenblad aan de spouw klein is in vergelijking met de hoeveelheid damp die door een normaal buitenblad aan de buitenlucht wordt afgegeven.

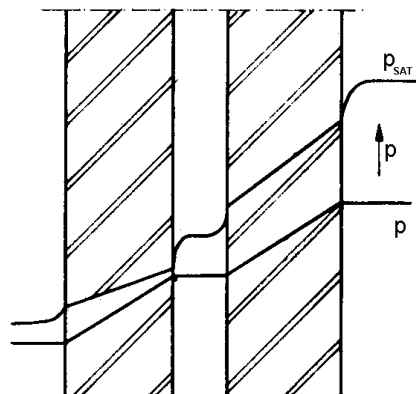
We leggen wel degelijk de nadruk op een 'normaal' buitenblad, hiermee bedoelen we niet sterk dampremmend afgewerkt. In sommige gevallen wordt het buitenblad namelijk betegeld, geschilderd<sup>7</sup> of worden geglazuurde stenen gebruikt. In zo'n geval kan nauwelijks droging naar buiten plaatsvinden en is droging via de spouw de enige mogelijkheid.

Men moet er zich van bewust zijn dat betegelde of geschilderde wanden en muren van geglazuurde stenen niet regendicht zijn. Regenwater dringt wel degelijk door langs de krimpscheuren in de voegen en plaatselijke scheurtjes in het schilderwerk. Dit doorgedrongen water zal nauwelijks naar buiten kunnen verdampen en een geventileerde spouw is dan de enige mogelijkheid tot droging.

We kunnen dus concluderen dat het argument dat spouwvulling het droogtempo in belangrijke mate zou verminderen onjuist is in geval van een niet sterk dampremmend afgewerkt buitenblad.

### 2.3.2. Inwendige condensatie

Inwendige condensatie in een wand treedt op wanneer plaatselijk de temperatuur lager is dan het dauwpunt van de lucht.



Dampdrukverloop in ongevlude spouw [16]

Bovenstaande figuur geeft een indicatief beeld van het verzadigingsdampdrukverloop  $p_{\text{sat}}$  bij een geventileerde spouw, bepaald door het temperatuurverloop en dus door de warmteweerstanden, en van het dampdrukverloop  $p$  zelf dat bepaald wordt door de diffusieweerstanden.

Het grootste gevaar voor condensatie blijkt te bestaan aan de spouwzijde van het buitenblad. Hier is de kans dat  $p$  gelijk wordt aan  $p_{\text{sat}}$  het grootst. Deze situatie doet zich alleen voor bij extreem lage buitentemperatuur en hoge relatieve vochtigheid binnen. Wanneer de inwendige condensatie zich toch mocht voordoen gaat het om erg kleine hoeveelheden. Deze hoeveelheden zijn echter wel groter wanneer het binnenblad nog (bouw)vocht bevat. Door ventilatie kan men de hoeveelheid gecondenseerd

<sup>7</sup> Er bestaan echter verfsorten die dampopen zijn.

water inderdaad iets verminderen. Echter, de hoeveelheden vocht die door het buitenblad dringen bij blootstelling aan regen en wind zijn veel groter dan de hoeveelheden die condenseren op de binnenzijde van het buitenblad<sup>8</sup>. Ventilatie is dus niet nodig en kan bijna altijd achterwege blijven. We schrijven 'bijna altijd', gezien ventilatie de enige mogelijkheid tot droging is in geval het buitenblad aan de buitenzijde is voorzien van een sterk dampremmende laag (zie vorige paragraaf).

We kunnen dus concluderen dat ventilatie van de spouw niet noodzakelijk is om de inwendige condensatie te verhinderen in het geval van een niet sterk dampremmend afgewerkt buitenblad.

Hiermee is echter nog niet aangetoond dat spouwvulling, wat betreft inwendige condensatie geen kwaad kan. We zullen dit bestuderen in §3.2.3.

### **3. De na-geïsoleerde spouwmuur**

#### **3.1. Potentieel van na-isolatie van spouwmuren**

##### 3.1.1. Verhoging warmteweerstand

We zullen eerst de warmteweerstand van een traditionele onge vulde spouwmuur schatten. Gewoonlijk bestaat een spouwmuur uit een buitenspouwblad uit metselwerk van bakstenen van ongeveer 90 mm dik, een spouw van tussen 50 mm en 70 mm breed en een binnenspouwblad uit metselwerk van geperforeerde beton- of bakstenen van ongeveer 140 mm dik<sup>9</sup>.

##### *Buitenblad*

De warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van baksteen hangt sterk af van de kwaliteit van de steen en het vochtgehalte. De  $\lambda$ -waarde is hoger naarmate de steen zwaarder is en het vochtgehalte wordt bepaald door de oriëntatie van de muur. In de praktijk betekent dit dat de warmteweerstand  $R_{\text{buiten}}$  vrij sterk kan variëren en waarden kan aannemen tussen 0,07 (verzadigd) en 0,17 m<sup>2</sup>.K/W (enkel hygroscopisch vocht).

##### *Spouw*

Voor de berekening van de  $\lambda$ -waarde van de lucht in de geventileerde<sup>10</sup> spouw maken we gebruik van het computerprogramma Kobra waarbij we de spouw beschouwen als zijnde een geventileerde caviteit met een dikte van 5 cm, onbepaalde hoogte en breedte. Bij de berekening van de  $\lambda$ -waarde houdt Kobra rekening met de norm prEN ISO 10077.

Voor een 5 cm brede, geventileerde spouw blijkt de  $\lambda$ -waarde iets minder dan 0,6 W/(m.K) te zijn en bij een breedte van 7 cm loopt de  $\lambda$ -waarde op tot iets meer dan 0,8 W/(m.K).

De warmteweerstand  $R_{\text{spouw}}$  is voor spouwbreedtes tussen 5 en 7 cm ongeveer gelijk aan 0,09 m<sup>2</sup>.K/W.

##### *Binnenblad*

De warmteweerstand van het binnenblad  $R_{\text{binnen}}$ , dat niet aan het buitenklimaat is blootgesteld, ligt tussen minder ruime grenzen dan bij het buitenblad. Het vochtgehalte schommelt minder en is gewoonlijk hygroscopisch vocht dat uit de lucht wordt opgenomen. De hoeveelheid hangt af van de relatieve vochtigheid van de lucht, die in de winter lager is dan in de zomer. De  $\lambda$ -waarde van geperforeerde stenen ligt meestal tussen 0,4 (baksteen) en 0,8 W/(m.K) (beton). De warmteweerstand van het binnenblad zal in het algemeen tussen 0,17 en 0,35 m<sup>2</sup>.K/W liggen.

##### *Pleisterlaag*

De warmteweerstand van de pleisterlaag kunnen we op ongeveer 0,02 m<sup>2</sup>.K/W schatten.

<sup>8</sup> De hoeveelheid regenwater die bij slagregen door het voerspouwblad kan dringen bedraagt 4 tot 10 kg/m<sup>2</sup> per regendag, terwijl de hoeveelheid condensaat niet meer dan 0,5 kg/m<sup>2</sup> per jaar bedraagt!

<sup>9</sup> In Nederland bestaat het binnenspouwblad veelal uit kalkzandsteen en is het slechts ongeveer 110 mm dik.

<sup>10</sup> We gaan er van uit dat de spouw daadwerkelijk is geventileerd. In praktijk is er altijd min of meer luchtcirculatie door luchtlekkage via microscheuren, zelfs wanneer er geen open stootvoegen onder- en bovenaan in de spouwmuur aanwezig zijn.

### Totale warmteweerstand

De totale warmteweerstand van de niet-gevulde, geventileerde spouwmuur bedraagt dan:

$$R = R_{se} + R_{buiten} + R_{spouw} + R_{binnen} + R_{pleister} + R_{si} = 0,49 \text{ à } 0,77 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Waarbij  $R_e$  en  $R_i$  de overgangswaarden zijn die gegeven worden door:

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{23 \frac{W}{m^2 \cdot K}} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \text{ en } R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{8 \frac{W}{m^2 \cdot K}} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

R [m <sup>2</sup> .K/W]	min	gemiddeld	max
1/α <sub>e</sub>	0,04	0,04	0,04
buitenblad	0,07	0,12	0,17
spouw	0,09	0,09	0,09
binnenblad	0,17	0,26	0,35
pleisterlaag	0,02	0,02	0,02
1/α <sub>i</sub>	0,13	0,13	0,13
<b>totaal</b>	<b>0,52</b>	<b>0,66</b>	<b>0,80</b>
	max	gemiddeld	min
<b>k [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>	<b>1,92</b>	<b>1,52</b>	<b>1,25</b>

R en k-waarden van ongeïsoleerde, geventileerde spouwmuur

We berekenen nu tot welke waarde de warmteweerstand van de muur wordt verhoogd wanneer de spouw wordt gevuld met een isolatiemateriaal. Hierbij gaan we uit van de *gemiddelde effectieve* λ-waarden van de isolatiematerialen zoals bepaald in het praktijkonderzoek beschreven in §5.2.3.

materiaal	λ <sub>eff</sub> [W/(m.K)]	breedte [m]	R <sub>spouw</sub> [m <sup>2</sup> .K/W]	R <sub>totaal</sub> [m <sup>2</sup> .K/W]			k [W/(m <sup>2</sup> .K)]		
				min	gemiddeld	max	max	gemiddeld	min
glaswol	0,062	0,05	0,806	1,236	1,376	1,516	0,809	0,727	0,659
steenwol	0,064	0,05	0,781	1,211	1,351	1,491	0,826	0,740	0,671
PS-parels	0,059	0,05	0,847	1,277	1,417	1,557	0,783	0,705	0,642
PUR-schuim	0,053	0,05	0,943	1,373	1,513	1,653	0,728	0,661	0,605
UF-schuim	0,084	0,05	0,595	1,025	1,165	1,305	0,975	0,858	0,766
glaswol	0,062	0,06	0,968	1,398	1,538	1,678	0,715	0,650	0,596
steenwol	0,064	0,06	0,938	1,368	1,508	1,648	0,731	0,663	0,607
PS-parels	0,059	0,06	1,017	1,447	1,587	1,727	0,691	0,630	0,579
PUR-schuim	0,053	0,06	1,132	1,562	1,702	1,842	0,640	0,588	0,543
UF-schuim	0,084	0,06	0,714	1,144	1,284	1,424	0,874	0,779	0,702
glaswol	0,062	0,07	1,129	1,559	1,699	1,839	0,641	0,589	0,544
steenwol	0,064	0,07	1,094	1,524	1,664	1,804	0,656	0,601	0,554
PS-parels	0,059	0,07	1,186	1,616	1,756	1,896	0,619	0,569	0,527
PUR-schuim	0,053	0,07	1,321	1,751	1,891	2,031	0,571	0,529	0,492
UF-schuim	0,084	0,07	0,833	1,263	1,403	1,543	0,792	0,713	0,648

R en k-waarden van na-geïsoleerde spouwmuur

We zien dus dat het in praktijk onmogelijk is om door na-vulling van de spouw de k-waarde onder de grens van 0,6 W/(m<sup>2</sup>.K) te krijgen. Enkel vanaf een spouwbreedte van 6 cm is dit mogelijk.

Wel zien we dat we de bestaande k-waarden van de ongeïsoleerde spouwmuur gemakkelijk kunnen halveren door na-vulling van de spouw.

### 3.1.2. Behaaglijkheid en oppervlaktetemperatuur

De ervaring van thermisch comfort is voor elk individu verschillend en wordt bepaald door de luchttemperatuur  $\theta_i$ , de stralingstemperatuur van de hem omringende vlakken  $\theta_{ri}$ , de luchtsnelheid en de vochtigheid. Op de luchttemperatuur hebben de bewoners vat via de thermostaat van de verwarming. Van luchtsnelheid en vochtigheid veronderstellen we dat deze niet veranderen door na-isolatie van de spouwmuren.

$$comfort = f(\theta_i, \theta_{ri}) \propto \frac{\theta_i + \theta_{ri}}{2} = \theta_{rs} \quad (3)$$

Het gemiddelde van de stralings- en luchttemperatuur wordt de droge resulterende temperatuur  $\theta_{rs}$  genoemd en is een maat voor de ervaring van het thermisch comfort.

Waarbij de stralingstemperatuur van de binnenomgeving wordt gegeven door:

$$\theta_{ri} = \frac{A_1 \cdot \theta_{s1} + A_2 \cdot \theta_{s2} + \dots}{\sum A_i} \quad (4)$$

Tot de vlakken die de bewoner omringen behoren de vloer, plafond, radiator, binnenwanden, ... en uiteraard de buitenwanden van de woning. Nu heeft spouwmuurvulling tot gevolg dat de warmteverstand van de buitenwand toeneemt waardoor de binnenoppervlaktetemperatuur verhoogt.

We nemen aan dat na de isolatie van de buitenwanden enkel de binnenoppervlaktetemperatuur  $\theta_{si}$  van de wanden verandert en alle andere parameters in formule (4) constant blijven.

$$\theta_{ri} = \frac{A_1 \cdot \theta_{s1} + A_2 \cdot \theta_{s2} + \dots}{\sum A_i} \propto \theta_{si}$$

Gevolg is dan dat het comfort enkel functie is van de luchttemperatuur  $\theta_i$  en de binnenoppervlakte-temperatuur  $\theta_{si}$ <sup>11</sup>. (3) wordt dan:

$$comfort \propto \frac{\theta_i + \theta_{si}}{2}$$

Dit betekent dat wanneer de transmissiecoëfficiënt van een muur hoog is, en de binnenoppervlakte-temperatuur bijgevolg laag, de bewoners de luchttemperatuur zullen verhogen om van een voldoende comfort te kunnen genieten.

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_{spouwmuur}}$$

Gezien het transmissieverlies evenredig is met het temperatuursverschil tussen binnen en buiten, betekent een betere thermische isolatie niet alleen een vermindering van de warmteverliezen ten gevolge van de verbetering van de warmte-isolatie, maar ook omdat de temperatuursgradiënt over de wand afneemt. Een lagere binnenluchttemperatuur volstaat immers om de bewoners voldoende thermisch comfort te garanderen.

We zullen ter illustratie de verhoging van de binnenoppervlaktetemperatuur berekenen bij een buitentemperatuur van  $-10$  °C:

$$\theta_{si} = -10 + k \cdot (\theta_i + 10) \cdot (R_{se} + R_{buiten} + R_{spouw} + R_{binnen} + R_{pleister})$$

<sup>11</sup> Deze twee parameters  $\theta_i$  en  $\theta_{si}$  zijn in feite niet onafhankelijk. Door convectiestromen geeft de lucht ook warmte af aan het wandoppervlak.

Ongeïsoleerde spouwmuur:

$$\theta_i [^{\circ}\text{C}] = 23$$

$\theta_{si} [^{\circ}\text{C}]$			$(\theta_{si} + \theta_i)/2 [^{\circ}\text{C}]$		
min	gemiddeld	max	min	gemiddeld	max
14,8	16,5	17,6	18,9	19,8	20,3

Binnenoppervlaktetemperatuur en gemiddelde van binnen- en binnenoppervlaktetemperatuur

We nemen aan dat de binnenluchttemperatuur 23 °C bedraagt.

Na-geïsoleerde spouwmuur:

$$\theta_i [^{\circ}\text{C}] = 21$$

materiaal	$\lambda_{\text{eff}}$ [W/(m.K)]	breedte [m]	$\theta_{si} [^{\circ}\text{C}]$			$(\theta_{si} + \theta_i)/2 [^{\circ}\text{C}]$		
			min	gemiddeld	max	min	gemiddeld	max
glaswol	0,062	0,05	17,7	18,1	18,3	19,4	19,5	19,7
steenwol	0,064	0,05	17,7	18,0	18,3	19,3	19,5	19,6
PS-parels	0,059	0,05	17,8	18,2	18,4	19,4	19,6	19,7
PUR-schuim	0,053	0,05	18,1	18,3	18,6	19,5	19,7	19,8
UF-schuim	0,084	0,05	17,1	17,5	17,9	19,0	19,3	19,5
glaswol	0,062	0,06	18,1	18,4	18,6	19,6	19,7	19,8
steenwol	0,064	0,06	18,1	18,3	18,6	19,5	19,7	19,8
PS-parels	0,059	0,06	18,2	18,5	18,7	19,6	19,7	19,8
PUR-schuim	0,053	0,06	18,4	18,6	18,8	19,7	19,8	19,9
UF-schuim	0,084	0,06	17,5	17,9	18,2	19,2	19,4	19,6
glaswol	0,062	0,07	18,4	18,6	18,8	19,7	19,8	19,9
steenwol	0,064	0,07	18,4	18,6	18,8	19,7	19,8	19,9
PS-parels	0,059	0,07	18,5	18,7	18,9	19,8	19,9	19,9
PUR-schuim	0,053	0,07	18,7	18,9	19,0	19,8	19,9	20,0
UF-schuim	0,084	0,07	17,8	18,1	18,4	19,4	19,6	19,7

Binnenoppervlaktetemperatuur en gemiddelde van binnen- en binnenoppervlaktetemperatuur als functie van isolatiemateriaal en spouwbreedte

We zien dat we de binnenluchttemperatuur met 2 graden mogen verlagen en toch eenzelfde thermisch comfort behouden als bij de ongeïsoleerde spouwmuur.

In realiteit zal het verschil iets minder uitgesproken zijn dan hier berekend. Wanneer we de luchttemperatuur verlagen zal ook de temperatuur van alle binnenoppervlakken iets verlagen. Er wordt immers door convectie warmte overgedragen tussen lucht en binnenoppervlakken en daarmee houden we in onze redenering geen rekening.

### 3.1.3. Energiebesparing door spouwmuurisolatie

In wat volgt zullen we aan de hand van de hiervoor berekende verbeteringen van de k-waarden een theoretische schatting maken van de mogelijke energiebesparing die men kan realiseren door na-isolatie van spouwmuren. Gelijkaardige beschouwingen kan men in een aantal publicaties terugvinden.

Het warmteverlies per oppervlakte-eenheid door transmissie doorheen de spouwmuren kunnen we schatten met behulp van methode van de graaddagen:

$$Q = 24 \cdot 3600 \cdot k \cdot G_b^a \left[ \frac{J}{m^2 \cdot jaar} \right] \text{ of } Q = 0,024 \cdot k \cdot G_b^a \left[ \frac{kWh}{m^2 \cdot jaar} \right]$$



Hierbij is G het aantal graaddagen gedurende het stookseizoen. G heeft een karakteristieke waarde voor een bepaald klimaat en hangt af van twee parameters a en b. Waarbij a de gemiddelde binnentemperatuur is en b de buitentemperatuur waarboven geen verwarming meer nodig is (zogenaamde stookgrens). Bij een slecht geïsoleerde woning kan men a en b gelijk stellen aan:

$$a = \frac{20^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}}{2} = 15^{\circ}\text{C} \text{ en } b = 15^{\circ}\text{C}$$

En in geval van een goed geïsoleerde woning, waarbij de temperatuur 's nachts veel minder afneemt en warmteverliezen veel kleiner zijn:

$$a = \frac{20^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}}{2} = 19^{\circ}\text{C} \text{ en } b = 12^{\circ}\text{C}$$

Voor het aantal graaddagen G nemen we volgende waarden aan: 2200 in geval van ongeïsoleerde spouwmuren en 2900 °C.dag bij geïsoleerde spouwmuren.

Dit wil dus zeggen dat we de woning na spouwmuurisolatie als 'goed geïsoleerd' beschouwen, deze aanname lijkt ons echter alleen gerechtvaardigd als de spouwmuurisolatie gepaard gaat met andere isolatieingrepen zoals het vervangen van enkel door dubbel glas en dakisolatie. Door een grote waarde aan te nemen voor het aantal graaddagen na de isolatie zullen we de energiebesparing ietwat onderschatten en rekenen we dus veilig. In de door ons geconsulteerde publicaties is het aantal graaddagen voor en na de spouwmuurisolatie hetzelfde, dit levert een overschatting van de energiebesparing.

We berekenen de jaarlijkse benodigde hoeveelheid energie voor verwarming.

Q [MJ/(m <sup>2</sup> .jaar)]		
max	gemiddeld	min
366	288	238

Jaarlijks warmteverlies per vierkante meter niet-geïsoleerde buitenmuur

Na vulling van de spouw worden de warmteverliezen per eenheid muuroppervlakte:

materiaal	$\lambda_{\text{eff}}$ [W/(m.K)]	breedte [m]	Q [MJ/(m <sup>2</sup> .jaar)]		
			min	gemiddeld	max
glaswol	0,062	0,05	203	182	165
steenwol	0,064	0,05	207	185	168
PS-parels	0,059	0,05	196	177	161
PUR-schuim	0,053	0,05	182	166	152
UF-schuim	0,084	0,05	244	215	192
glaswol	0,062	0,06	179	163	149
steenwol	0,064	0,06	183	166	152
PS-parels	0,059	0,06	173	158	145
PUR-schuim	0,053	0,06	160	147	136
UF-schuim	0,084	0,06	219	195	176
glaswol	0,062	0,07	161	147	136
steenwol	0,064	0,07	164	151	139
PS-parels	0,059	0,07	155	143	132
PUR-schuim	0,053	0,07	143	133	123
UF-schuim	0,084	0,07	198	179	162

Warmteverliezen per vierkante meter buitenmuur na spouwisolatie

Berekenen we dan het verschil tussen warmteverliezen vóór en na isolatie van de spouwmuren:

materiaal	$\lambda_{\text{eff}}$ [W/(m.K)]	breedte [m]	$Q_{\text{verschil}}$ [MJ/(m <sup>2</sup> .jaar)]			besparing [%]		
			max	gemiddeld	min	max	gemiddeld	min
glaswol	0,062	0,05	163	106	72	45	37	30
steenwol	0,064	0,05	159	103	70	43	36	29
PS-parels	0,059	0,05	169	111	77	46	39	32
PUR-schuim	0,053	0,05	183	122	86	50	43	36
UF-schuim	0,084	0,05	121	73	46	33	<b>25</b>	19
glaswol	0,062	0,06	186	125	88	51	43	37
steenwol	0,064	0,06	182	122	86	50	42	36
PS-parels	0,059	0,06	192	130	93	53	45	39
PUR-schuim	0,053	0,06	205	141	102	56	49	43
UF-schuim	0,084	0,06	147	93	62	40	32	26
glaswol	0,062	0,07	205	141	101	56	49	43
steenwol	0,064	0,07	201	137	99	55	48	42
PS-parels	0,059	0,07	211	145	105	58	50	44
PUR-schuim	0,053	0,07	222	155	114	61	54	48
UF-schuim	0,084	0,07	167	109	75	46	38	32

Verskil in warmteverlies per vierkante meter na-geïsoleerde spouwmuur

Bovenstaande cijfers zijn enkel geldig voor een niet geïsoleerde woning waarin men enkel de spouwmuren isoleert.

Het is evident dat de gehanteerde werkwijze een grove benadering is, niet alleen omdat we gebruik maken van een benaderende methode als deze van de graaddagen, maar vooral omdat veel meer factoren een rol spelen bij het warmteverlies dan alleen maar de transmissie door de muren. Ook het warmteverlies door ventilatie, dak, ramen, vloeren en koudebruggen speelt natuurlijk een rol.

Uit het praktijkonderzoek dat in §5.2.1. wordt beschreven volgt dat, wanneer men in een niet geïsoleerde woning enkel de spouwmuren na-isoleert met UF-schuim, dit een brandstofbesparing oplevert van *gemiddeld* 22 %. Dit resultaat is vergelijkbaar met het hierboven berekende percentage en zal iets hoger liggen voor vrijstaande woningen en lager voor rijwoningen.

Deze studie toont ook duidelijk aan dat het besparingspotentieel van verschillende isolatiemaatregelen niet complementair is. Ook verschilt het bewonersgedrag in een goed geïsoleerde woning en een slecht geïsoleerde woning grondig. Dit laatste zou een verklaring kunnen zijn waarom het door ons berekende besparingspercentage iets hoger ligt dan in de praktijk het geval is.

Nog een verklaring waarom het berekende besparingspercentage hoger ligt dan in de realiteit het geval is, is dat het effect van de koudebruggen op de warmteverliezen toeneemt nadat de spouw gevuld is. Dit blijkt duidelijk uit de resultaten van een gedetailleerde berekening die men in §7.1.3.5. kan terug vinden. Hoe beter de woning geïsoleerd is hoe groter het aandeel van de koudebruggen in het warmteverlies.

#### 3.1.4. Marktpotentieel

In Nederland zijn er 6,8 miljoen woningen, waarvan (in 2003) 45% nog zonder geïsoleerde gevels [24], zijnde 3 miljoen (sommige bronnen spreken van 2,5). Daarvan zou ongeveer 60% nog ongeïsoleerde spouwmuren hebben, dus ongeveer 1,8 miljoen woningen. Ondertussen zijn in Nederland al van meer dan 1,5 miljoen woningen de spouwmuren gevuld [22].

We passen een gelijkaardige redenering toe op het Belgische woningpark. In België zijn er ongeveer 4,4 miljoen woningen, waarvan zowat de helft ongeïsoleerde gevels heeft [26]. Als we aannemen dat van deze 2,2 miljoen woningen ongeveer de helft spouwmuren heeft, hetgeen een zéér conservatieve schatting is, dan zou er voor na-vulling van spouwmuren in België een marktpotentieel zijn van ongeveer één miljoen woningen. Met een gemiddelde geveloppervlakte van 80 m<sup>2</sup> komt dit overeen met 80 miljoen vierkante meter lege spouwmuren. Het aantal woningen in België waarvan totnogtoe de spouwmuren werden na-gevuld is erg klein.

### 3.2. Voorwaarden waaraan isolatiemateriaal moet voldoen

#### 3.2.1. Wateropname

Gezien het buitenspouwblad allesbehalve waterdicht is, zal het buitenvlak van de spouwisolatie regelmatig in contact staan met regenwater.

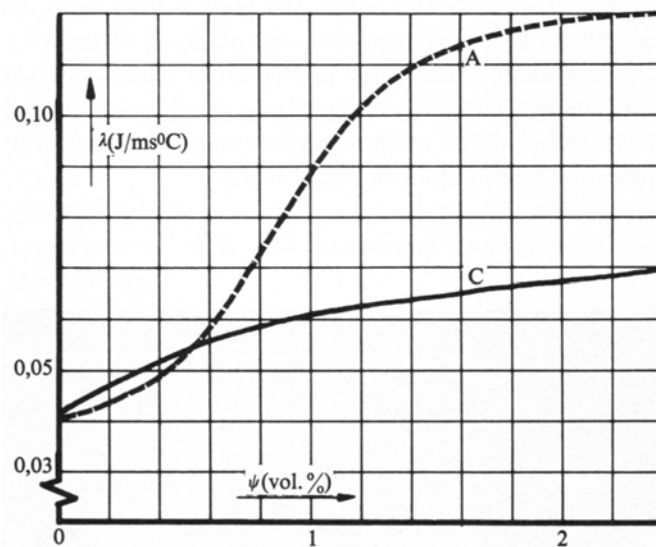
Men moet vermijden dat het isolatiemateriaal het regenwater dat door het buitenspouwblad dringt naar het binnenblad overbrengt en zo een 'vochtbrug' vormt. Transport van water (in vloeibare vorm) kan op twee manieren tot stand komen, nl. door capillaire opzuiging en onder invloed van uitwendige drukverschillen. De eerstgenoemde transportvorm kan men voorkomen door een *niet-capillair materiaal* te gebruiken. De tweede transportvorm kan vermeden worden door een *dichtgepakte, homogene isolatielaag zonder scheuren of holtes* (zie §3.2.4.).

Een uitwendig drukverschil over de isolatielaag kan veroorzaakt worden door een hydrostatisch drukverschil en een winddrukverschil. We kunnen trachten om het winddrukverschil in te perken door eisen op leggen aan het binnenspouwblad i.v.m. luchtdoorlatendheid. Aan het buitenspouwblad leggen we dan weer eisen op i.v.m. waterdoorlatendheid (zie §3.3.4.).

Bovendien moet het materiaal een lage  $\lambda$ -waarde behouden wanneer een geringe hoeveelheid vocht zou worden opgenomen (zie §3.2.2.).

#### 3.2.2. Lage $\lambda$ -waarde

Dat het voor een isolatiemateriaal allesbehalve evident is om een lage warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  te behouden wanneer het in contact komt met water mag blijken uit onderstaande grafiek die de  $\lambda$ -waarde als functie van het vochtgehalte  $\psi$  weergeeft.



A: UF-schuim  
C: minerale wol

Warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  als functie van vochtgehalte  $\psi$  [16]

We zien dat een bijzonder klein percentage vocht een grote invloed heeft op de  $\lambda$ -waarde, vooral op een poreus materiaal als UF-schuim. De reden moet gezocht worden in de grote impact van latent warmtetransport.

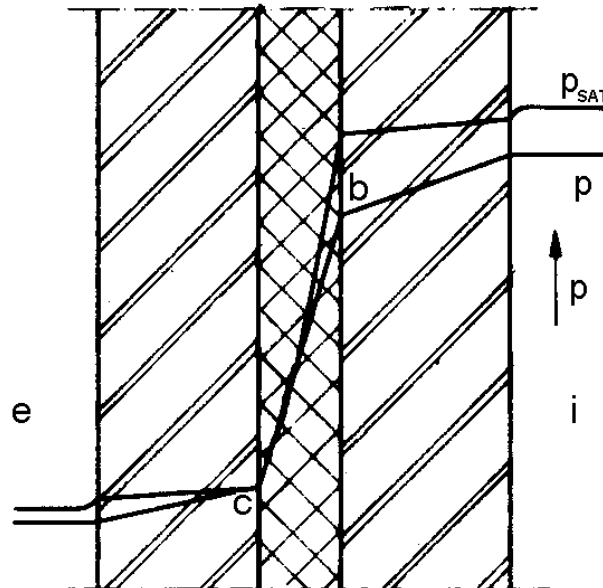
Voorwaarde waaraan een isolatiemateriaal in Nederland moet voldoen om als spouwvulmateriaal te worden goedgekeurd is dat de effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt niet meer dan 10 % toeneemt nadat de proefmuur een week lang werd beregend (regencyclus wordt in § 5.1.2. beschreven). Aan deze voorwaarde wordt door alle beproefde materialen wel erg gemakkelijk voldaan [6, 7 en 8].

### 3.2.3. Dampdoorlatendheid van isolatie

Over dit onderwerp bestaat grote onenigheid in de literatuur.

Velen [30, 31 en 32] stellen dat de isolatie zeer dampdoorlatend moet zijn. Degene die dit idee het eerst opperde is waarschijnlijk B.H. Vos in [16] gepubliceerd in 1969.

In onderstaande figuur is het verzadigingsdampdrukverloop  $p_{sat}$  en het dampdrukverloop  $p$  overgenomen uit [16] voor een vulmateriaal met hoge diffusieweerstand.



Dampdrukverloop in gevulde spouwmuur volgens Vos, dampdicht isolatiemateriaal [16]

Volgens Vos is het theoretisch mogelijk dat, indien vulmaterialen met hoge  $\mu$ -waarde worden gebruikt, het dauwpunt in het inwendige van het isolatiemateriaal komt te liggen. Dit enkel in het geval van lage buitentemperatuur én hoge relatieve vochtigheid binnen.

In realiteit snijden het verzadigingsdampdruk- en werkelijk dampdrukverloop enkel in het knikpunt c en treedt inwendige condensatie enkel op tegen de spouwzijde van het buitenblad en niet in de isolatie zelf. Het is wel mogelijk dat de isolatie een deel van het condensaat opneemt wanneer het buitenspouwblad verzadigd is. Wanneer het buitenspouwblad droog is, is condensopname door het isolatiemateriaal enkel mogelijk wanneer het isolatiemateriaal sterker capillair is dan het voorspouwblad, hetgeen echter erg onwaarschijnlijk is.

De condensatiehoeveelheid is echter gering, zeker in vergelijking met de hoeveelheden vocht die door het buitenblad dringen bij blootstelling aan slagregen. Wanneer het nat worden van het voorspouwblad door regen probleemloos is voor de isolatie geldt per definitie hetzelfde voor nat worden en blijven door inwendige condensatie.

Anderen [30] menen nog een tweede argument te hebben gevonden om het gebruik van dampremmende isolatiematerialen voor na-isolatie te ontraden.

Zij stellen dat uit de algemene regel die zegt dat "een wand zodanig zou moeten samengesteld zijn dat de meest dampremmende lagen zich langs binnen bevinden, terwijl naar buiten toe de materialen steeds meer dampdoorlatender worden" volgt dat het isolatielaag in de spouw dampdoorlatend moet zijn.

Men moet deze regel juist interpreteren: met 'langs binnen' bedoelt men langs de binnenzijde van het condensatievlak en 'langs buiten' bedoelt men langs de buitenzijde van het condensatievlak.

Een en ander wordt duidelijk wanneer men de uitdrukking voor het condensatiedebiet bestudeert. Het condensatiedebiet  $g_c$  volgt uit de wet van behoud van massa en is het verschil tussen in- en uitgaande dampstroomdichtheid ter plaatse van het condensatievlak (op bovenstaande figuur verticale door knikpunt c):

$$g_c = \frac{p_b - p_{sat}(\theta_c)}{Z_{b-c}} - \frac{p_{sat}(\theta_c) - p_e}{Z_{c-e}}$$

Het lijkt er dus op dat we er alle belang bij hebben om tussen punten b en c (de spouw) een materiaal te plaatsen met een zo groot mogelijke diffusieweerstand  $Z_{b-c}$ ! Tussen de punten c en e (het buitenblad) moet een materiaal worden geplaatst met een kleine diffusieweerstand.

Het zou echter verkeerd zijn om te beweren dat een vulmateriaal voor de spouw per definitie dampdicht moet zijn. De condensatiehoeveelheden bedragen hooguit een paar honderd gram per  $m^2$  per *jaar*, terwijl door slagregen tot  $10 \text{ kg per } m^2$  per *uur* in de muur kan doordringen. De damp die in een woning wordt geproduceerd moet en kan enkel afgevoerd worden door ventilatie, de afvoer door diffusie (het zgn. 'ademen') speelt hierbij een volledig te verwaarlozen rol.

Het is daarom dat sommige auteurs [33, 17] stellen dat dampdoorlatendheid noch een gunstige, noch een ongunstige eigenschap is voor een spouwvullingsmateriaal. Het is dus in het opzicht van de inwendige condensatie onbelangrijk of de spouwmuurisolatie gebeurt met een materiaal met open cellen, dan wel met gesloten cellen.

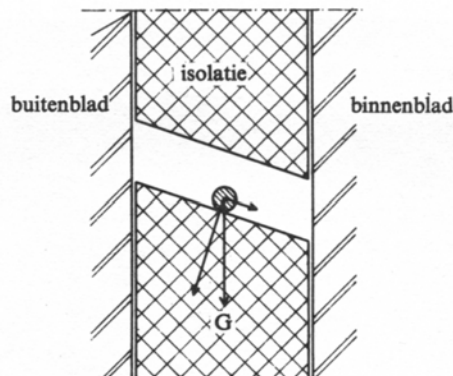
Spijtig genoeg blijft de gedachte dat het isolatiemateriaal dampdoorlatend moet zijn bij sommigen leven en worden bepaalde isolatiematerialen om deze reden onterecht geweerd als vulling voor spouwen.

### 3.2.4. Holten, kanalen en scheuren

Het isolatiemateriaal moet aan te brengen zijn met een techniek die holten, kanalen en scheuren vermijdt die de doorgang van water zouden kunnen veroorzaken en bovendien de isolatieweerstand verminderen.

Holten, scheuren en kanalen vormen een preferentiële weg voor waterdruppels. De waterdruppels worden onder invloed van een uitwendig drukverschil en/of graviteit door de isolatie gestuwd en hierbij bestaat de mogelijkheid dat ze het binnenspouwblad bereiken.

In onderstaande figuur wordt ter illustratie schematisch aangegeven hoe een waterdruppel het binnenblad kan bereiken als de isolatie hiertoe de weg verschaft.



Waterdruppel bereikt binnenblad o.i.v. zwaartekracht [16]

Scheuren komen alleen maar voor in schuimvormige isolatiematerialen. In het verleden werd voor de spouwvulling veelal ureumformaldehydeschuim gebruikt dat een zekere krimp vertoont met onvermijdelijke dwarsscheuren als gevolg. In §4.1.1 gaan we hierop dieper in.

Bij inblazen van vlokken of korrels moet men trachten een dichtgepakte massa te bekomen. Bij een korrelvormig vullingsmateriaal is dit enkel mogelijk wanneer korrels met voldoende kleine diameter worden gebruikt. Wanneer het bulkmateriaal onvoldoende dichtgepakt is zal tussen deze korrels/vezels, ondanks hun waterafstotendheid, zo gemakkelijk watertransport plaatsvinden, dat zelfs bij niet extreme weersomstandigheden regendoorslag zal optreden. Het is dan ook omwille van deze reden dat een minimumwaarde wordt opgelegd aan de vereiste dichtheid.

Bij bulkmateriaal loopt men bij het vullen het risico dat zich onder de spouwankers een holte vormt omdat het materiaal aan het anker 'blijft hangen' en er niet onder zakt. Dit kan worden vermeden door een voldoende dicht vulpatroon waarbij het bulkmateriaal onder het spouwanker wordt ingebracht en tegen het anker wordt gedrukt.

### **3.3. Voorwaarden waaraan bestaande spouwmuur moet voldoen**

#### **3.3.1. Koudebruggen**

In vele aanbevelingen [ATG's, URL's] leest men dat spouwisolatie is af te raden wanneer de gevel thermische bruggen bevat en men deze eerst dient op te heffen vooraleer te kunnen overgaan tot de vulling van de spouw.

Het 'opheffen' van koudebruggen is in vele gevallen een bijzonder ingrijpende en dus dure aangelegenheid.

Het zou zo zijn dat het temperatuurverschil tussen koudebrug en binnenoppervlak na vulling van de spouw onaanvaardbaar groot kan worden met verhoogde scheurvorming, stofafzetting, oppervlaktecondensatie en schimmelgroei als mogelijke gevolgen. Sommigen noemen dit het 'versterken van de koudebrug'.

We zullen in deze paragraaf nagaan of dit inderdaad zo is.

Het temperatuurverschil tussen de koudebrug en de rest van het binnenoppervlak is enkel van belang met betrekking tot scheurvorming en niet voor condensatievorming. Condensatievorming zal optreden wanneer de binnenwandtemperatuur ter plaatse van de koudebrug zodanig laag is geworden dat de verzadigingsdampdruk lager wordt dan de dampdruk binnenhuis.

We maken gebruik van de temperatuurfactor  $f$  om te bepalen wanneer er inderdaad gevaar is voor schimmelvorming. In elk punt van het binnenoppervlak moet gelden:

$$f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0,7 \quad (3)$$

Met:

$\theta_{si}$  = temperatuur van het binnenoppervlak

$\theta_e$  = buitentemperatuur

$\theta_i$  = binnentemperatuur

We bestuderen enkele typische koudebruggen met behulp van het computerprogramma Kobra vóór en na vulling van de spouw met minerale wol ( $\lambda = 0,045 \text{ W/(m.K)}$ )<sup>12</sup>. Het buitenblad (volle bakstenen,  $\lambda = 0,900 \text{ W/(m.K)}$ ), geventileerde spouw en binnenblad (geperforeerde bakstenen,  $\lambda = 0,430 \text{ W/(m.K)}$ ) zijn respectievelijk 9 cm, 6 cm en 14 cm breed. We stellen de buiten- en binnentemperatuur respectievelijk gelijk aan 0 en 20 °C. Deze temperatuursvoorwaarden hebben geen invloed op de temperatuurfactor  $f$ .

Voor de berekening van de thermische conductiviteit van een geventileerde spouw maakt Kobra gebruik van de norm PrEN 30077 (vandaag de dag omgezet in prEN ISO 10077).

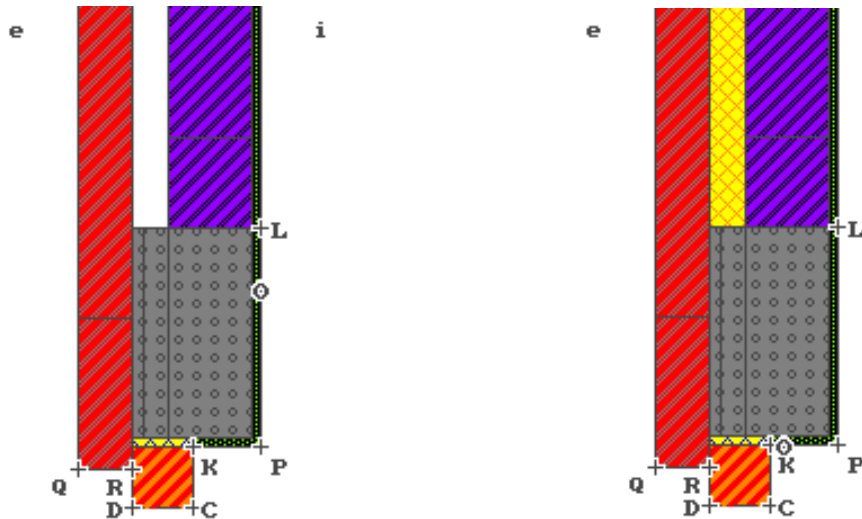
Het koudste punt in het constructiedetail wordt steeds aangegeven door het punt O.

Het temperatuurverschil tussen binnenwand (buiten invloedszone van koudebrug) en koudste punt aan binnenzijde van koudebrug noemen we  $\Delta_{\text{wand-koud}}$ .

---

<sup>12</sup> We rekenen zeer veilig door een waarde van 0,045 W/(m.K) aan te nemen. In praktijk is een dergelijk lage  $\lambda$ -waarde bij na-isolatie zelden realiseerbaar.

- lateien (35 cm hoge betonnen balk raakt buitenspouwblad):

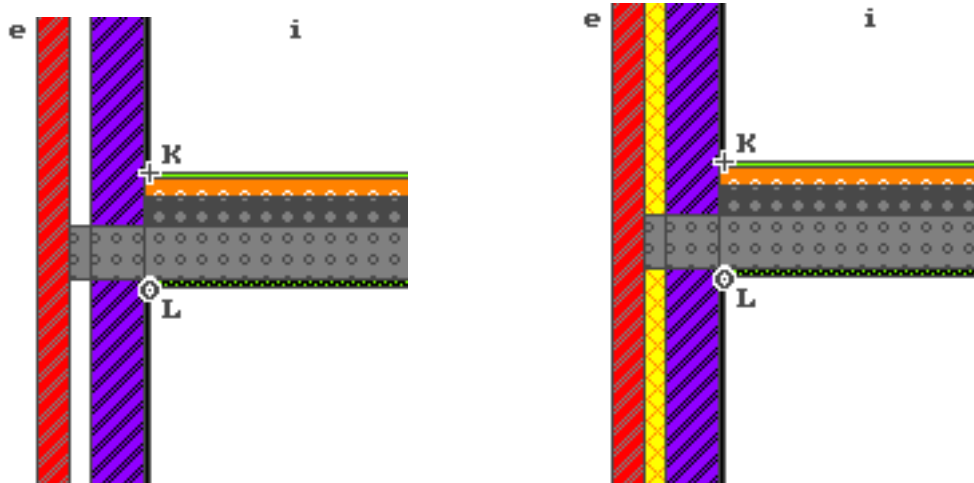


K:  $f(\theta, 20) = 0.60$   $\theta = 12.1$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.61$   $\theta = 12.2$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.59$   $\theta = 11.7$  °C  
**not OK : high risk (C00)**  
 $\Delta_{\text{wand-koud}} = 2,8$  °C

K:  $f(\theta, 20) = 0.62$   $\theta = 12.4$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.66$   $\theta = 13.3$  °C  
**not OK : moderate risk (C65)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.61$   $\theta = 12.2$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
 $\Delta_{\text{wand-koud}} = 5,8$  °C

We zien dat het koudste punt O zich verplaatst na isolatie. De temperatuursfactoren verhogen lichtjes na isolatie, maar blijven te klein om condensatievorming uit te sluiten.

- vloeropleg (betonnen vloerplaat is 15 cm dik):

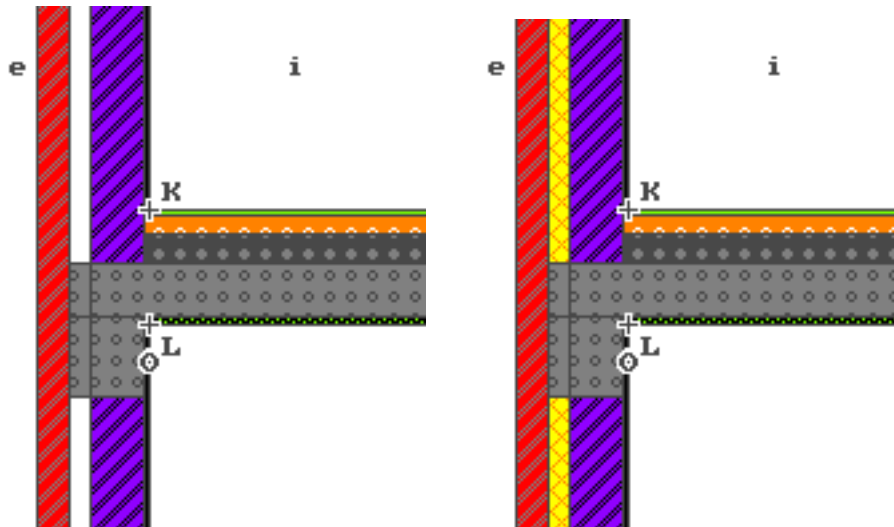


K:  $f(\theta, 20) = 0.70$   $\theta = 14.1$  °C  
**OK : low risk (C70)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.65$   $\theta = 12.9$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.65$   $\theta = 12.9$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
 $\Delta_{\text{wand-koud}} = 1,5$  °C

K:  $f(\theta, 20) = 0.83$   $\theta = 16.6$  °C  
**OK : minimal risk (C80)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.75$   $\theta = 15.0$  °C  
**OK : low risk (C70)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.75$   $\theta = 15.0$  °C  
**OK : low risk (C70)**  
 $\Delta_{\text{wand-koud}} = 3$  °C

De temperatuursfactoren verhogen na isolatie en wel zodanig dat wel aan voorwaarde (3) wordt voldaan.

- vloeropleg (betonnen plaat van 15 cm dikte en betonnen oplegbalk van 35 cm hoogte):



K:  $f(\theta, 20) = 0.71$   $\theta = 14.1$  °C  
**OK : low risk (C70)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.60$   $\theta = 12.0$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.57$   $\theta = 11.4$  °C  
**not OK : high risk (C00)**

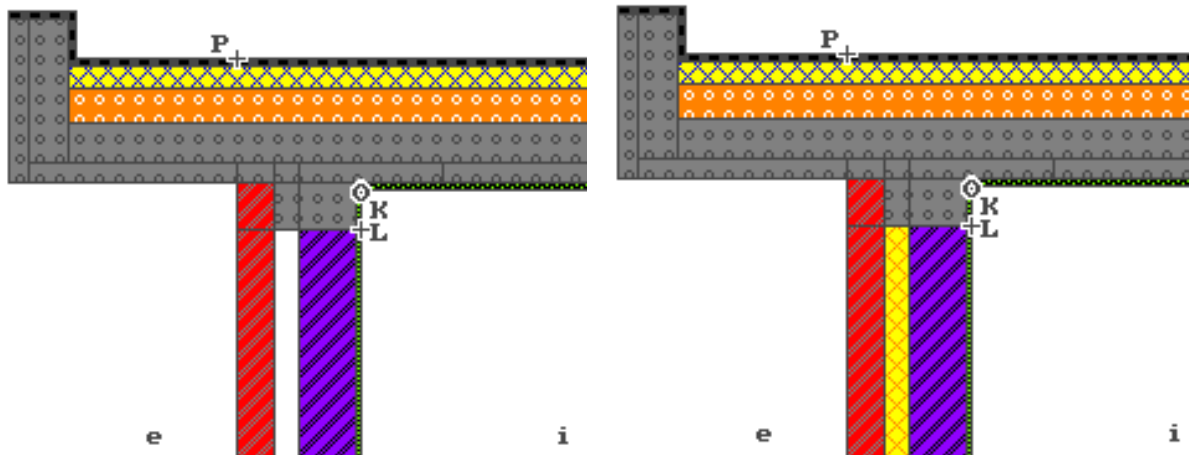
$$\Delta_{\text{wand-koud}} = 3$$
 °C

K:  $f(\theta, 20) = 0.81$   $\theta = 16.3$  °C  
**OK : minimal risk (C80)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.66$   $\theta = 13.3$  °C  
**not OK : moderate risk (C65)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.64$   $\theta = 12.8$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**

$$\Delta_{\text{wand-koud}} = 5,2$$
 °C

De temperatuursfactoren verhogen minder sterk dan bij de vorige oplegging.

- dakrand (betonnen dakplaat van 15 cm dik):



K:  $f(\theta, 20) = 0.57$   $\theta = 11.3$  °C  
**not OK : high risk (C00)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.60$   $\theta = 12.1$  °C  
**not OK : moderate risk (C60)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.57$   $\theta = 11.3$  °C  
**not OK : high risk (C00)**

$$\Delta_{\text{wand-koud}} = 3,1$$
 °C

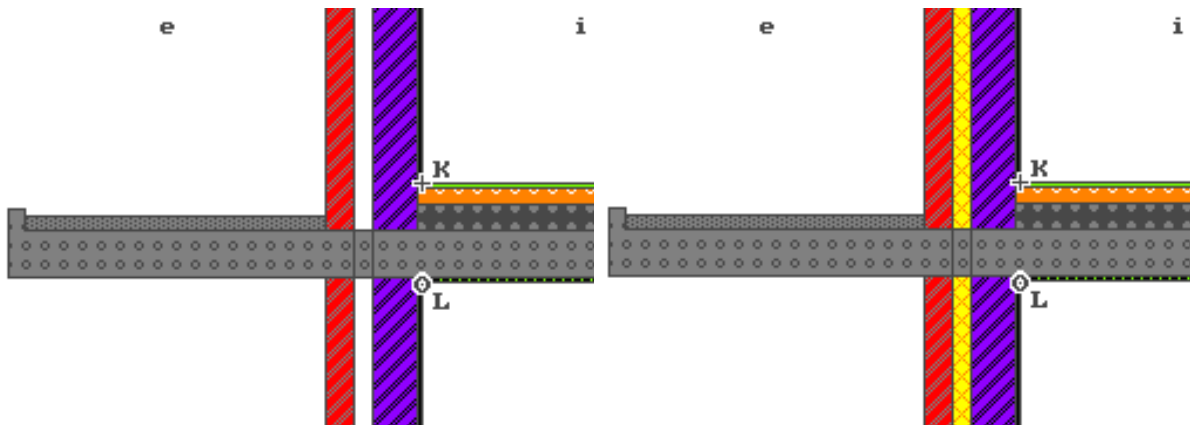
K:  $f(\theta, 20) = 0.60$   $\theta = 12.0$  °C  
**not OK : high risk (C00)**  
L:  $f(\theta, 20) = 0.65$   $\theta = 13.1$  °C  
**not OK : moderate risk (C65)**  
O:  $f(\theta, 20) = 0.60$   $\theta = 12.0$  °C  
**not OK : high risk (C00)**

$$\Delta_{\text{wand-koud}} = 6$$
 °C

De temperatuursfactoren verhogen licht, maar het gevaar op condensatie blijft bestaan.



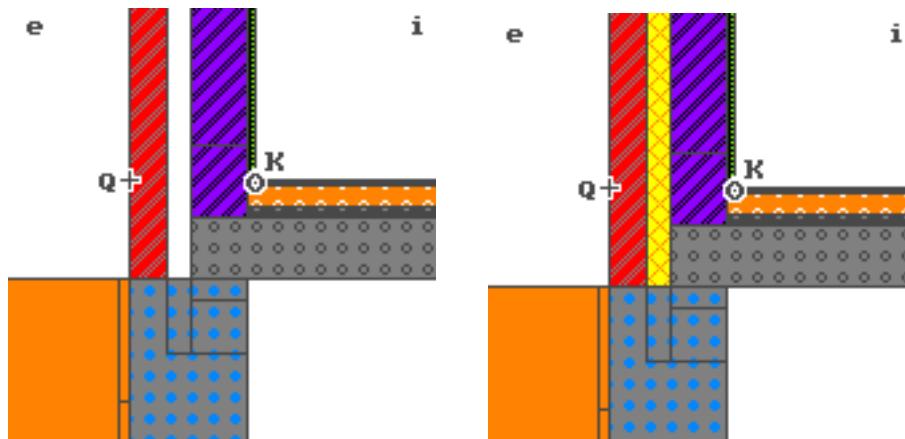
- balkon (vloerplaat is 15 cm dik):



K: $f(\theta_{.20}) = 0.71$ $\theta = 14.2$ °C <b>OK : low risk (C70)</b>	K: $f(\theta_{.20}) = 0.82$ $\theta = 16.4$ °C <b>OK : minimal risk (C80)</b>
L: $f(\theta_{.20}) = 0.64$ $\theta = 12.7$ °C <b>not OK : moderate risk (C60)</b>	L: $f(\theta_{.20}) = 0.72$ $\theta = 14.5$ °C <b>OK : low risk (C70)</b>
O: $f(\theta_{.20}) = 0.64$ $\theta = 12.7$ °C <b>not OK : moderate risk (C60)</b>	O: $f(\theta_{.20}) = 0.72$ $\theta = 14.5$ °C <b>OK : low risk (C70)</b>
$\Delta_{\text{wand-koud}} = 1,7$ °C	$\Delta_{\text{wand-koud}} = 3,5$ °C

De temperatuurfactoren verhogen zodanig dat voldaan wordt aan (3).

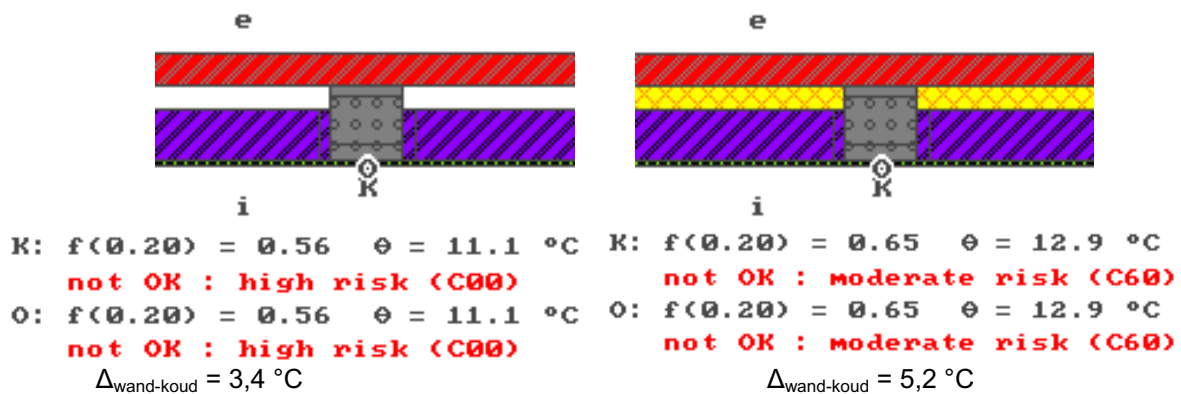
- knooppunt tussen spouwmuur, vloer (15 cm dik) en fundering:



K: $f(\theta_{.12}) = 0.61$ $\theta = 12.3$ °C <b>not OK : moderate risk (C60)</b>	K: $f(\theta_{.12}) = 0.68$ $\theta = 13.5$ °C <b>not OK : moderate risk (C65)</b>
O: $f(\theta_{.12}) = 0.61$ $\theta = 12.3$ °C <b>not OK : moderate risk (C60)</b>	O: $f(\theta_{.12}) = 0.68$ $\theta = 13.5$ °C <b>not OK : moderate risk (C65)</b>
$\Delta_{\text{wand-koud}} = 3,8$ °C	$\Delta_{\text{wand-koud}} = 5,2$ °C

Temperatuursfactor neemt toe, gevaar op condensatie blijft bestaan, maar neemt af.

- ingewerkte kolom (gewapend beton, breedte = 20 cm):



Temperatuursfactor neemt toe, gevaar op condensatie blijft bestaan, maar neemt af.

Het is dus onjuist om te stellen dat het vullen van de spouw aanleiding geeft tot een verhoogde kans op oppervlaktecondensatie, wel in tegendeel, het risico neemt af!

Wel is het zo dat de koudebrug minder sterk opwarmt dan de rest van de binnenwand na vulling van de spouw, dit komt tot uitdrukking in het feit dat het temperatuurverschil tussen koudebrug en de rest van het binnenoppervlak groter wordt na de isolatie. Gevolgen hiervan zouden eventueel een verhoogde scheurvorming en stofafzetting kunnen zijn.

De koudebruggen zullen na de isolatie van de spouw verantwoordelijk zijn voor een groter aandeel van het totale geleidingsverlies (tot 35 % [33]) dan voor de na-isolatie, eenvoudigweg omdat het totale geleidingsverlies is verkleind door de isolatie van de spouw. Hierop zullen we later dieper ingaan.

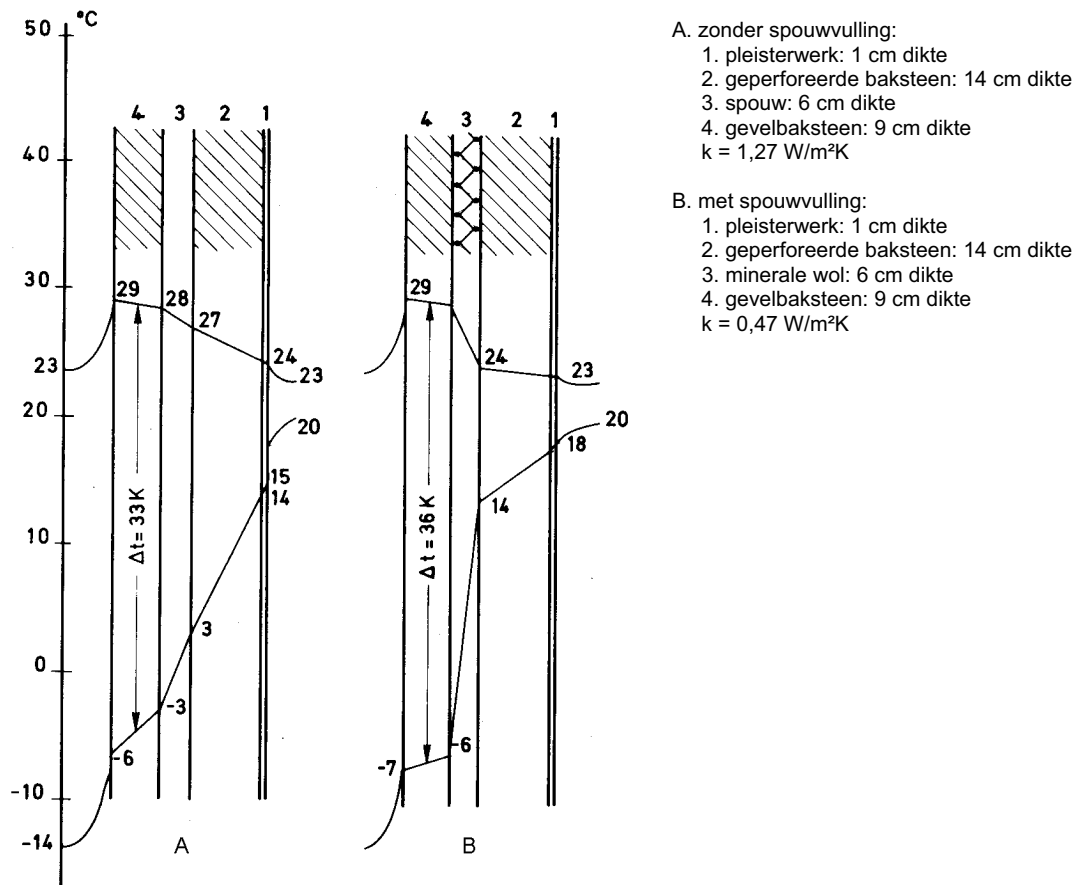
De verklaring voor eventuele (extra) oppervlaktecondensatie ter plaatse van koudebruggen na spouwmuurisolatie moet volgens ons gezocht worden in andere renovatie-ingrepen die de relatieve vochtigheid binnenkamers doen toenemen.

Deze typische renovatie-ingrepen zijn het plaatsen van modern, luchtdicht schrijnwerk (vermindering van ventilatievoud) met dubbel glas in plaats van enkel glas (waarop in de winter onvermijdelijk condensatie optreedt en dus voor droging van de binnenlucht zorgt). Ook het vervangen van gas- of olikachels die verspreid staan over de woning door een centrale verwarming vermindert het ventilatievoud [36]. Onvermijdelijk gevolg is dan oppervlaktecondensatie ter plaatse van de koudebruggen, niettegenstaande dat ook de temperatuur ter plaatse van deze koudebruggen na isolatie van de spouw verhoogt zoals hierboven aangetoond.

### 3.3.2. Vorstbestendigheid

We vergelijken de jaarlijkse piektemperaturen en temperatuurschommelingen van spouwmuren met identiek binnen- en buitenspouwblad, maar waarvan de ene zonder en de andere met spouwvulling. De beschouwde klimaatvoorwaarden zijn:

- voor binnen: 20 °C in de winter en 23 °C in de zomer
- voor buiten: -14 °C in de winter en 23 °C in de zomer



Jaarlijkse temperatuurschommelingen vóór en na spouwisolatie [31]

We zien dat ten gevolge van de spouwisolatie de temperatuurschommelingen in het buitenspouwblad in beperkte mate toenemen, terwijl ze in het binnenspouwblad sterk afnemen.

We merken ook op dat de toename van de temperatuurschommeling in het buitenblad vooral het gevolg is van de sterke verlaging van de minimumtemperatuur aan de spouwzijde van het buitenblad (van -3 naar -6 °C). Met andere woorden: de invloed van vorst laat zich heviger en dieper in het voerspouwblad voelen.

De toename van de temperatuurschommeling in het buitenblad heeft een meer uitgesproken thermische werking en dus sterkere (micro)scheurvorming in mortelvoegen én stenen tot gevolg. Dit effect is het meest uitgesproken bij grote steenformaten. De scheurtoename maakt het buitenblad doorlatender voor regenwater.

De winterse verlaging van de temperatuur in het buitenblad zorgt voor een tragere droogsnelheid en dus hoger vochtgehalte in dit seizoen. Het gevolg is dus een grotere kans op vorstschade en eventueel meer uitbloeiingen<sup>13</sup>.

Op de sterke-eigenschappen van baksteen heeft de vochttoename nauwelijks invloed.

Vorstschade zal gemakkelijker optreden na spouwvulling wanneer voor het buitenspouwblad een baksteen werd gebruikt van een kwaliteit die niet tegen vorst bestand is.

<sup>13</sup> Uitbloeiingen zijn slechts een visuele hinder.

In [32] worden eisen opgelegd aan de vorstbestendigheid van de baksteen van het buitenspouwblad. Logischerwijze wordt hier een onderscheid gemaakt tussen geïsoleerde en ongeïsoleerde spouwmuren. Bij de ongeïsoleerde spouwmuren wordt er dan nog eens een onderscheid gemaakt tussen geventileerde en ongeventileerde spouwmuren. Dit laatste lijkt ons vergezocht wanneer men te maken heeft met een normaal buitenblad dat niet is afgewerkt met een dampremmende laag. Bij een normaal buitenblad heeft spouwventilatie namelijk nauwelijks invloed op de droging zoals we in §2.3.1 hebben aangetoond.

Uit [31 en 32] kan men volgende criteria voor vorstbestendigheid afleiden die voor een gevulde spouwmuur onafhankelijk zijn van de geveloriëntatie:

	weerstandsklasse		maximale GC-waarde	
	onbeschermd	beschermd	onbeschermd	beschermd
ongevulde spouwmuur	5 i.g.v. ZW	3 of lager	-2,5	0
gevulde spouwmuur	5	4	-2,5	-0,95

Praktisch zou dit willen zeggen dat de bakstenen van een volledig gevulde spouwmuur tot de hoogste weerstandsklasse moeten behoren, behalve wanneer de muur voldoende beschermd<sup>14</sup> is. Wij vragen ons af of dit wel haalbaar is. Nederlandse uitvoeringsrichtlijnen stellen dat de muur “geen sporen van vorstschade mag vertonen” om in aanmerking te komen voor na-vulling. We hebben echter met onze eigen ogen kunnen vaststellen dat het in praktijk wel gebeurt. Men kan de kans op vorstschade trachten te verminderen door een waterwerende laag aan te brengen die echter wel waterdampdoorlatend moet zijn. Als de laag niet waterdampdoorlatend is, wordt de droging van het buitenblad verhinderd en zal de kans op vorstschade juist gevoelig toenemen in plaats van afnemen.

Men moet zeer voorzichtig zijn bij het isoleren van spouwmuren waarvan het buitenblad is afgewerkt met een dampremmende laag. Alle door ons geconsulteerde richtlijnen raden het vullen van de spouw in dit geval af. We hebben kunnen vaststellen dat sommige uitvoerders wel durven overgaan tot een spouwvulling nadat een vorstproef op de bakstenen werd uitgevoerd. Sommige geglazuurde bakstenen die de voorbije 10 jaar werden gefabriceerd zouden voldoende vorstbestendig zijn om wel spouwvulling toe te laten.

De aanwezigheid van isolatie in de spouw zal de invloed van de klimatologische omstandigheden en in het bijzonder van vorst op de gevel vergroten.

Spouwmuurisolatie geeft aanleiding tot verandering van het gedrag van de muren, namelijk in verband met de vorstbestendigheid, het vochtgehalte en de invloed van de thermische schok.

### 3.3.3. Mortelresten en open stootvoegen

Bij een ongefulde spouw ontstaat regendoorslag naar het binnenspouwblad via mortelbruggen, slecht geplaatste spouwankers, slecht geplaatst of ontbrekend voetlood en bij een sterk luchtdoorlatend binnenblad gewoon door wateroverslag. Richtlijnen stellen dat wanneer de spouwmuur dergelijke mankementen vertoont spouwmuurisolatie is uitgesloten.

Voor vals specie dat zich opstapelt ter plaatse van spouwankers en voetloden wordt in uitvoeringsrichtlijnen voor spouwisolatie gewaarschuwd. Men moet er zich vooraf met een endoscoop van vergewissen dat zich geen (al te grote) hoeveelheden mortel of puin in de spouw bevinden die een potentiële vochtbrug vormen.

Praktijkonderzoek uitgevoerd door BRE<sup>15</sup> toont dat problemen met regendoorslag toenemen wanneer men overgaat tot vulling van spouwmuren die al regendoorslag vertonen ter plaatse van mortelbruggen. De oorzaak moet waarschijnlijk gezocht worden in het feit dat droging door ventilatie<sup>16</sup> en het wegdruipe van vocht uit de mortelbruggen (t.p.v. spouwankers) onmogelijk wordt gemaakt door de vulling van de spouw en dat het buitenblad, dat in direct contact staat met de mortelbrug, gemiddeld vochtiger is na spouwisolatie.

<sup>14</sup> Dit wil zeggen: horizontale bescherming bovenaan de muur (bvb. terras) die minstens voor H/2 uitsteekt, waarbij H de hoogte van de muur is.

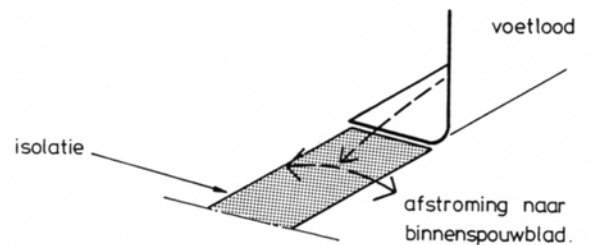
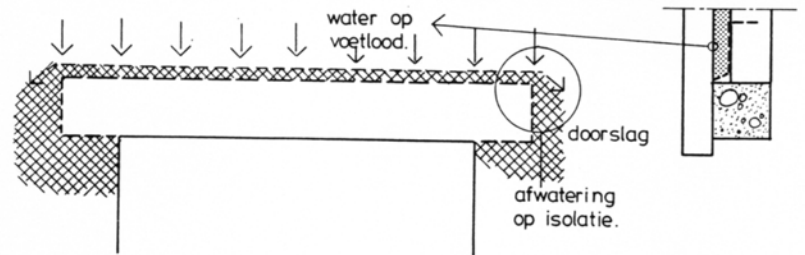
<sup>15</sup> Building Research Establishment

<sup>16</sup> Waarschijnlijk de minst belangrijke reden. We hebben in §2.3.1. aangetoond dat de invloed van de spouwventilatie op droging van spouwbladen verwaarloosbaar is, hetzelfde geldt waarschijnlijk voor de droging van mortelbruggen.

Dat slecht geplaatste voetloden na vulling van de spouw aanleiding geven tot een versterkte regendoorslag kunnen we alleen maar verklaren wanneer deze voetloden zich bevinden boven een latei en het spouwvullingsmateriaal regenwater in de spouw toelaat. Het voetlood zal, zoals voor de spouwvulling het geval was, het water blijven afvoeren naar de spouw links en rechts van de latei. Na spouwvulling komt dit water echter terecht op het isolatiemateriaal en stroomt een deel ervan naar het binnenblad met regendoorslag als gevolg.



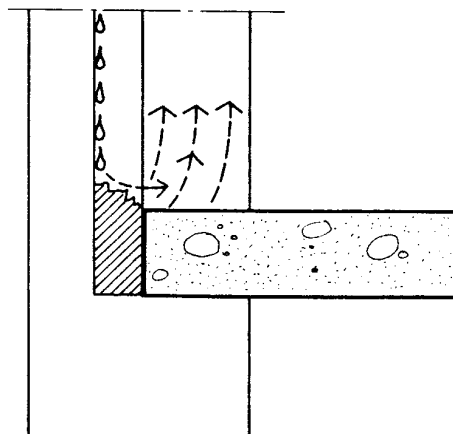
Regendoorslag aan uiteinden van latei [31]



Waterafvoer boven latei [33]

Regendoorslag ter plaatse van slecht geplaatste spouwankers is enkel mogelijk wanneer het vulmateriaal onvoldoende aansluit op het anker waardoor een holte onder het anker ontstaat. Het water zal dan, zoals vóór de vulling, zijn weg kunnen vinden langs het anker en wanneer waterdruppels van het spouwanker afdruppen zullen deze op de onderliggende isolatie terecht komen, waardoor ze dan gedeeltelijk naar het binnenblad zullen worden afgevoerd.

Op het eerste zicht lijkt het logisch dat de kans op regendoorslag onderaan de muur, ter plaatse van vals specie afneemt bij een *degelijke* spouwvulling. Het is immers zo dat na spouwvulling de vals specie minder bereikbaar hoort te zijn voor regenwater. De spouwvulling zou immers moeten voorkomen dat water in de spouw terecht komt.



Regendoorslag t.g.v. vals specie bij ongevulde spouw [33]

Een reden waarom de regendoorslag zou toenemen ter plaatse van vals specie is dat het buitenspouwblad gemiddeld vochtiger zal zijn na de spouwvulling. Water sijpelt door het capillaire buitenblad naar

beneden, waardoor het buitenblad onderaan, ter hoogte van de valspectie veel langer vochtig blijft. De valspectie zal dan steeds vocht vanuit het buitenspouwblad afvoeren naar het binnenblad.

Het is duidelijk dat men niet mag overgaan tot vulling van een bestaande spouwmuur die problemen vertoont met regendoorslag.

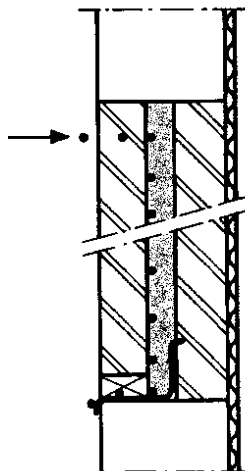
Over het al dan niet open laten van de stootvoegen onderaan de spouw na isolatie bestaat grote onduidelijkheid. Veelal wordt dit onderwerp eenvoudigweg genegeerd en als men er toch op ingaat beperkt men zich tot raadgevingen die voortspruiten uit ervaringen in de nieuwbouw met spouwen die volledig werden gevuld met isolatieplaten. Wanneer de spouw wordt gevuld met isolatieplaten is het inderdaad onmogelijk om een perfecte verbinding tussen isolatieplaat en buitenblad te bekomen, met als gevolg dat de afvoer van langs de binnenzijde van het buitenblad afdruiwend water inderdaad verzekerd moet zijn door drainage-openingen.

Uitvoeringsrichtlijnen [URL's, ATG's] stellen dat na de spouwvulling met om het even welk isolatiemateriaal de voorziene openingen onderaan de muur boven het afdichtingsmembraan en boven horizontale onderbrekingen van de spouw vrij moeten blijven om doorgeslagen regenwater af te voeren. Sterker nog: wanneer geen afvoeropeningen aanwezig zijn moeten deze worden gemaakt [32, 15 en ATG's]!

Het behoud van drainage-openingen onderaan de spouwmuur na spouwvulling met PUR-schuim lijkt ons overbodig in geval de spouw volgens de regels der kunst wordt gevuld. We hebben met onze eigen ogen mogen vaststellen dat deze openingen vandaag de dag in de praktijk bij spouwvulling met PUR-schuim én ook bij minerale wolvlokken eenvoudigweg worden gedicht.

Bij een goede opvulling met PUR-schuim zal het regenwater niet in de spouw geraken, laat staan tot onderaan in de spouw. Hetzelfde geldt *waarschijnlijk* ook wanneer de spouw gevuld wordt met een voldoende dichtgepakt wolpakket. Het lijkt ons vergezocht om stootvoegen te gaan uitboren bij afwezigheid van drainage-openingen. Als er vóór de spouwvulling al geen reden was tot drainage-openingen (bij gevels die nauwelijks blootgesteld worden aan regen) dan zal er na de vulling zeker geen reden meer toe zijn.

Wanneer een isolatiemateriaal wordt gebruikt dat loskomt van het buitenspouwblad (zoals UF-schuim) of een vullingsmateriaal waartussen gemakkelijk watertransport mogelijk is ten gevolge van onvoldoende pakkingsdichtheid (onvermijdelijk bij korrelvormig materiaal met te grote diameter, zelfs al is het waterafstotend) blijven drainage-openingen noodzakelijk.



Waterafvoer bij een met korrels gevulde spouw

Bij korrelvormige vulmaterialen is een perfect contact met het buitenspouwblad quasi onmogelijk en kan men dus niet vermijden dat regenwater in het contactvlak tussen korrels en buitenblad naar beneden sijpelt. In dit geval moeten de afvoeropeningen onderaan de muur open blijven. Men kan zich de vraag stellen of de waterdruppels effectief langs de spouwzijde van het buitenblad naar beneden zullen sijpelen en of er niet een gedeelte van deze druppels door het isolatiemateriaal wordt opgenomen. Uit praktijkonderzoek (zie §5.2.2.2.) blijkt dat de gemeten vochtgehalten in spouwvullingen erg laag zijn. Grote uitzondering is het UF-schuim, dat door zijn capillair karakter blijkt wel een deel van het doorgeslagen regenwater opneemt.

### 3.3.4. Water- en luchtdoorlatendheid

Met het oog op een verhoogd risico op vochtdoorslag is het sterk af te raden spouwmuren te isoleren waarvan het buitenspouwblad is opgetrokken uit betonstenen die een door en door open structuur vertonen. Enkel een isolatie met PUR-schuim is in dit geval mogelijk [12 en 13].

Om dezelfde reden moeten metselvoegen van het buitenspouwblad in goede staat verkeren vooraleer men overgaat tot het vullen van de spouw.

De spouwvulling van een muur waarvan het binnenblad bestaat uit zogenaamd 'schoon metselwerk' zonder pleisterlaag is af te raden wegens te grote luchtdoorlatendheid en dus de verhoogde kans op regendoorslag.

### 3.3.5. Spouwbreedte

Bij het isoleren van smalle spouwen bestaat een verhoogde kans op plaatselijk geheel niet of slechts gedeeltelijk gevuld raken van de betreffende spouw waardoor de kans op vochtdoorslag toeneemt. De Nederlandse uitvoeringsrichtlijnen geven de volgende minimale spouwbreedtes op waarbij men nog het normale vullingspatroon en werkwijze (zie §4) kan handhaven:

UF-schuim: 40 mm  
Minerale vlokken: 40 mm  
PS-schuimparels: 30 mm  
PUR-schuim: 30 mm  
Gesiliconiseerde perlietkorrels: 30 mm

Bij smallere spouwen moet men overgaan op een dichter vulopeningenpatroon en met behulp van controlegaten nagaan of de spouw wel degelijk volledig gevuld geraakt. Vandaag de dag lijkt het ons aangewezen om in de eerstvolgende koude periode met behulp van een infraroodthermografie na te gaan of er eventueel nog moet worden bijgevuuld.

Merken we nog op dat in bovenstaande de 'spouwbreedte' moet vervangen worden door onderlinge afstand tussen de speciebaarden van binnen- en buitenspouwblad in geval van aanwezigheid van dergelijke speciebaarden. De speciebaarden kunnen de afstand tussen binnen- en buitenblad aanzienlijk verkleinen.

Men kan zich de vraag stellen of het in geval van een smalle spouw en/of grote speciebaarden wel technisch/economisch haalbaar is om een volledige spouwvulling te bekomen. Bij een onvolledige spouwvulling zal de kans op regendoorslag ernstig toenemen en bovendien zal het isolatiemateriaal vochtig worden waardoor de efficiëntie afneemt.

Spouwmuren die reeds tijdens de bouw voorzien zijn van isolerende platen kunnen eventueel door middel van na-isolatie volledig geïsoleerd worden wanneer er een voldoende brede restspouw aanwezig is. Vooral het PUR-schuim kan hierbij mooi werk leveren omdat het dankzij de niet onaanzienlijke expanderende kracht de isolatieplaten tegen het binnenblad kan drukken. Naar ons weten is er echter nog geen wetenschappelijk onderzoek verricht naar zulke toepassingen.

### 3.3.6. Hoge en lange ononderbroken gevels

Na spouwvulling worden de temperatuurverschillen tussen binnen-en buitenspouwblad groter en dus ook de spanningen die ontstaan door verschil in thermische lengteveranderingen tussen binnen- en buitenspouwblad. Daarom zouden doorlopende spouwmuren hoger/langer dan 15 m niet geïsoleerd mogen worden, zeker wanneer er al dilatatiescheuren zichtbaar zijn [URL's].

Bovendien is er een verhoogd risico op vochtdoorslag ten gevolge van de hevigheid van regen en wind-aanvallen op grotere hoogte. Het is daarom dat in sommige literatuur wordt afgeraden spouwen van al te hoge gebouwen te vullen. Ons inziens moet het mogelijk zijn ook spouwen van hoge gebouwen te vullen wanneer men voor een vulmateriaal kiest dat geen water opneemt onder hoge druk (zoals PUR-schuim).

#### **4. Materialen en uitvoeringsmogelijkheden**

Voor het vullen van bestaande spouwmuren zijn volgende isolatiematerialen op de markt:

- schuimen: PUR-schuim  
UF-schuim
- vlokken: rots- en glaswol
- korrels: PS-parels, met bindmiddel  
perliet  
schuimglas

In Nederland wordt UF-schuim sinds 1974 toegepast onder controle van het BKS, in 1975 kwamen er steenwolvlokken en perlietkorrels bij, in 1976 de glaswolvlokken, in 1977 de gebonden PS-parels en in 1978 het PUR-schuim. Voor de perliet-korrels werd in Nederland pas in 1997 een goedkeuring uitgereikt.

Spouwuurvulling kost vandaag de dag, per vierkante meter bij een normale spouwbreedte van 5 à 6 cm, €10 à 11 met glas- of rotswol, €13 met PS-parels, €14 met PUR-schuim. UF-schuim is goedkoper dan de hiervoor genoemde producten, maar wordt nog slechts door een beperkt aantal uitvoerders aangeboden. Alle genoemde prijzen zijn exclusief BTW. Van perliet- en schuimglasparels lijken de prijzen (nog) sterk afhankelijk van de uitvoerder, waarbij perlietkorrels soms erg goedkoop kunnen uitvallen en schuimglaskorrels dan weer erg duur. We vermoeden dat na verloop van tijd de prijzen van deze twee vulmaterialen zullen stabiliseren, als een groter aantal uitvoerders met deze producten aan de slag gaat. Bij perliet- en schuimglaskorrels wordt de benodigde hoeveelheid veelal onderschat (reden: zie 4.3.2.).

Bij alle materialen worden gaten geboord in de kruisingen van lint- en stootvoegen van het buiten-spouwblad waarlangs het materiaal in de spouw wordt geblazen of gespoten met behulp van injecteerpistolen.

De diameter van de vulgaten varieert tussen 16 en 23 mm. Bij grotere diameter worden de hoekjes van bakstenen veelal beschadigd<sup>17</sup>. Bij het inspuiten van schuimvormige vulmaterialen worden vulopeningen met de kleinst mogelijke diameter gebruikt en kan beschadiging van de bakstenen worden vermeden.



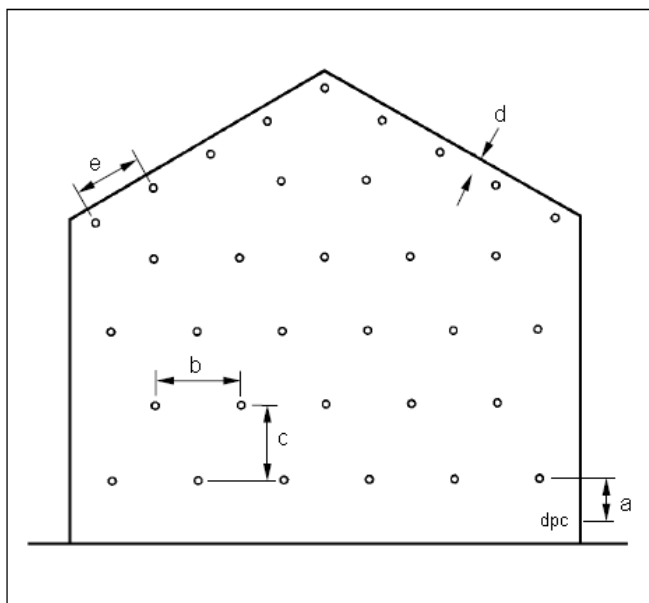
Licht beschadigde bakstenen [37]

De dichtheid van het vulopeningenpatroon varieert van materiaal tot materiaal en wordt in uitvoeringsrichtlijnen voorgeschreven. Bij muuronderbrekingen of kleinere spouwbreedte moet men het vulpatroon verdichten om zeker te zijn van een volledige vulling van de spouw en voldoende pakking van het isolatiemateriaal.

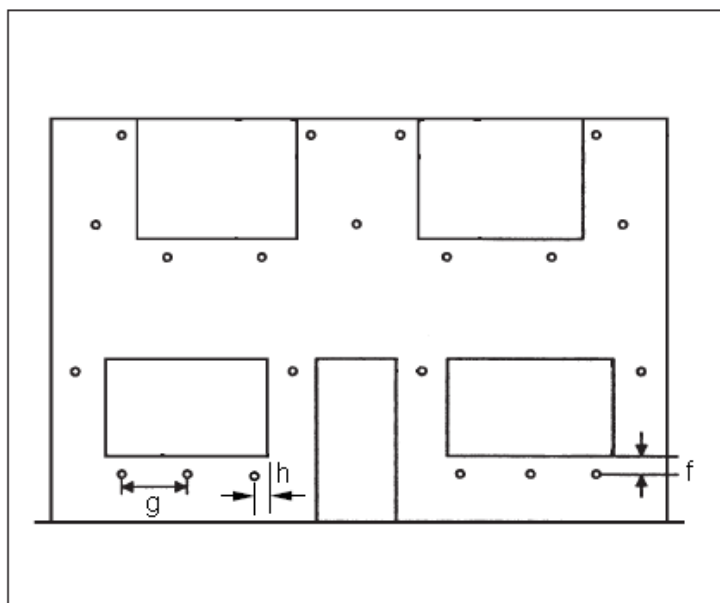
Ter illustratie geven we het meest gebruikte vulpatroon, waarbij de openingen onderling gelijkzijdige driehoeken vormen, en de tussenafstanden zoals voorgeschreven door de verschillende nationale richtlijnen.

<sup>17</sup> Zeker wanneer de boormachine niet loodrecht op het buitenblad staat tijdens het boren, hetgeen vooral op grote hoogte nog al eens duft voorkomen wanneer men zoveel mogelijk gaten probeert te boren zonder de ladder te verplaatsen.





Vulgatenpatroon voor blinde muur



Vulgatenpatroon rond openingen

[cm]	BBA (V.K.)				KOMO (NL)				Butgb (B)			
	PUR	UF	wol	PS	PUR	UF	wol	PS	PUR	UF	wol	PS
a	-	-	80	-	30	<100	-	<100	-	60	40	-
b	65	-	135	60	<100	100	150	100	-	<100	100	-
c	45	-	135	<250	<80	100	150	100	-	<100	70	-
d	20	-	35	20	-	40	-	50	-	>20	30	-
e	40	-	100 - 135	-	-	-	-	50	-	-	100	-
f	-	-	35	25	-	-	-	-	-	-	<30	-
g	40	-	<100	-	-	-	-	50	-	-	100	-
h	-	-	50	>0	-	-	-	-	-	-	30	-

In bovenstaande tabel zijn de meest voorkomende tussenafstanden per land opgegeven voor normale spouwbreedtes (d.w.z.  $\geq 5$  cm).

De Britse en Belgische richtlijnen betreffende te respecteren tussenafstanden variëren vreemd genoeg voor eenzelfde vulmateriaal van producent tot producent. We hebben er voor gekozen om in bovenstaande tabel de meest voorkomende waarden op te geven en geven voorrang aan de meest recent uitgereikte certificaten. Sommige producenten leggen aan hun uitvoerders echter veel strengere eisen op dan in bovenstaande tabel aangegeven.

In Nederland stelt men richtlijnen op per materiaalsoort en niet per producent, hetgeen ons veel logischer lijkt<sup>18</sup>. Bovendien worden er in Nederland naast procescertificaten ook uitvoeringscertificaten uitgereikt aan individuele uitvoerders. In het Verenigd Koninkrijk en in België<sup>19</sup> worden goedkeuringen uitgereikt aan producenten die het materiaal zelf inbrachten of hiervoor onafhankelijke uitvoerders aanduiden.

<sup>18</sup> De vreemde situatie waarbij in Nederland vroeger iedere uitvoerder testen moest laten uitvoeren op het door hem gekozen vulmateriaal, hoewel identiek hetzelfde materiaal van dezelfde producent voordien al door andere uitvoerders ter goedkeuring was voorgelegd is sinds kort ongedaan gemaakt.

<sup>19</sup> Er zijn op dit moment geen geldige goedkeuringen meer in België voor na-isolatie van spouwmuren.



Naast vulopeningen moeten ook ontluuchtingsopeningen worden voorzien vlak onder horizontale onderbrekingen (denk aan vensterbanken, balkons, gesloten spouw, ...) om de lucht uit de spouw te laten ontsnappen wanneer men overgaat tot de vulling van de bovenste rij vulgaten.

Alle openingen moeten geboord worden vóór men begint met het vullen van de spouw om te vermijden dat vuil zich vermengd met het isolatiemateriaal.

Bij vulling met sommige materialen worden de drainage-openingen van de spouw gedicht<sup>20</sup>.



Dichting van drainage-openingen bij vulling met PUR-schuim.

<sup>20</sup> Dit is een punt van discussie, zie §3.3.3.



Vooraleer over te gaan tot het vullen moet men de spouw ter plaatse van openingen in de gevel (voor dampkap, ventilatie, ... ) afdichten om te voorkomen dat deze verstopt raken met isolatiemateriaal.

In nevenstaande foto [37] zien we hoe een nylon borstel werd aangebracht in de spouw om een ventilatieopening open te houden.



Op de foto hiernaast [37] is te zien hoe een open spouw tijdelijk kan worden gedicht om te vermijden dat isolatiemateriaal in de zolder terecht komt.

Het kan een bijzonder lastige klus zijn om te voorkomen dat isolatiemateriaal in een rolluikkast geraakt.

Tijdens de uitvoering worden een aantal monsters van het schuim genomen om na te gaan of dit van goede kwaliteit is.

Bij vulling met glaswolvlokken controleert men in het Verenigd Koninkrijk voorafgaand aan de werken of de gewenste densiteit wordt bereikt m.b.v. een proefspouw. Of deze test een goede maatstaf is voor de werkelijk bereikte densiteit in de spouw is nog maar de vraag.

Voor foto's van de injectiepistolen verwijzen we naar volgende paragraaf.

Op onderstaande foto's is te zien hoe de vulgaten tijdelijk worden gedicht met houten stokjes bij PUR-schuim en met nylon borstels bij minerale wol [37] om te vermijden dat isolatiemateriaal uit de spouw komt.



Na de spouwvulling worden alle vul- en ontluichtingsopeningen gedicht.

## **4.1. Schuimvormige isolatiematerialen**

### **4.1.1. UF-schuim**

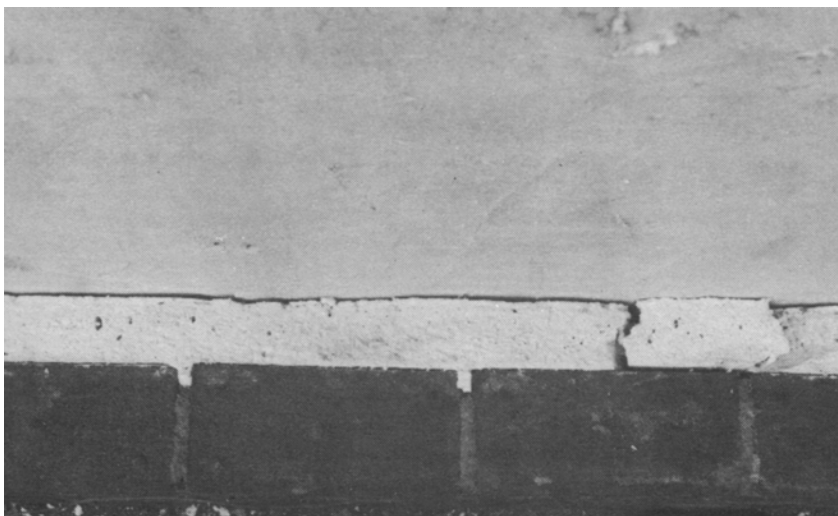
Uitgangsmateriaal voor het maken van ureumformaldehydeschuim is UF-hars, een polymeer dat opgelost wordt in water met behulp van een tenside (veelal 'schuimmiddel' genoemd). Dit UF-hars wordt in het injectiepistool innig vermengd met lucht waardoor een schuimmassa ontstaat. Vlak voordat het schuim het pistool verlaat wordt een katalysator (fosforzuur, 'harder' genoemd) toegevoegd<sup>21</sup> waardoor het schuim na ongeveer een minuut zal harden. Het natte, nog niet gestolde schuim moet binnen die tijd via de vulgaten in de spouw worden geperst.

Het natte schuim verlaat in volledig opgeschuimde toestand het injectiepistool en er vindt geen na-expansie in de spouw plaats, wel in tegendeel. Om zijn isolerende functie te kunnen vervullen moet het schuim drogen. Het drogen, dat enkele weken duurt, gaat gepaard met krimp waardoor er onvermijdelijk krimpscheuren ontstaan. De grootte van de krimp en dus de krimpscheuren hangt af van de hoeveelheid aanmaakwater en de droogsnelheid (in zomer grotere krimp). Het Nederlandse Bureau Kwaliteitsbewaking Spouwmuurvullingen (BKS) eist dat de lineaire krimp kleiner is dan 8%, deze kan echter veel hoger oplopen (tot 20%) wanneer er te kwistig wordt om gesprongen met de goedkoopste component: water!

De krimp leidt tot ontstaan van een mozaïekvormig scheurpatroon en het loskomen van de isolatie van het binnen- en/of buitenspouwblad.



Krimpscheuren in UF-schuim zichtbaar na verwijdering buitenspouwblad [17]



Losgekrompen UF-schuim [17]

---

<sup>21</sup> Vroeger bestond er nog een alternatief procédé waarbij aan een mengsel van katalysator en tenside het UF-hars werd toegevoegd.



De scheurvorming heeft tot gevolg dat convectie in de spouw mogelijk is. Bovendien neemt de  $\lambda$ -waarde sterk toe bij aanwezigheid van vocht. Vocht is in praktijk altijd aanwezig gezien UF-schuim capillair is<sup>22</sup> en aanmaakwater bevat.

Het hoeft ons dan ook niet te verbazen dat uit praktijkonderzoek (zie §5.2.3.) blijkt dat de effectieve  $\lambda$ -waarde *gemiddeld* 0,084 W/(m.K) bedraagt!

Proeven op laboratoriummuren geven veel lagere waarden aan voor de effectieve  $\lambda$ -waarde (tot maximaal 0,058). BKS legt aan de effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt een maximumwaarde van 0,050 W/(m.K) op vóór berekening van proefmuur, na berekening mag deze waarde maximaal 10% toenemen [6].

De in laboratorium gemeten  $\lambda_f$ -waarden<sup>23</sup> van een droge kubus UF-schuim liggen tussen 0,028 en 0,035 W/(m.K). Het is duidelijk dat deze waarden in praktijk geen enkele relevantie hebben en het is vreemd om te moeten vaststellen dat in sommige wetenschappelijke publicaties [30] isolatiematerialen worden vergeleken aan de hand van hun  $\lambda_f$ -waarde. Enige maatstaf bij vergelijking van isolatiewaarden van verschillende materialen zijn de effectieve  $\lambda$ -waarden.

UF-schuim is een open celstructuur en heeft een zeer lage  $\mu$ -waarde van 1,2 à 1,5. UF-schuim is dus zeer dampdoorlatend en dit wordt dikwijls ten onrechte als een pluspunt naar voren gebracht, omdat op deze manier de muur kan blijven 'ademen'.

Door de aanwezigheid van scheuren en convectiestromen in de met UF-schuim gevulde spouw is de effectieve  $\mu$ -waarde in de praktijk trouwens véél hoger (in de orde van 2 tot 5). In §3.2.3. hebben we aangetoond dat het fout is om een lage waterdamppermeabiliteit als pluspunt te zien.

Men kan zich de vraag stellen waarom spouwvulling met een capillair materiaal dat bovendien scheurt niet noodzakelijk problemen met regendoorslag oplevert bij gebruik. De reden moet gezocht worden in het feit dat door de krimp het UF-schuim veelal loskomt van de muren waartussen het ingespoten is en de enigszins waterafstotende eigenschappen van de oppervlaktehuid van het UF-schuim.

In de eerste periode na het isoleren neemt men een sterke formaldehydegeur waar die in de meeste gevallen binnen enkele dagen is verdwenen. Het schuim blijft echter formaldehyde afgeven. Deze gasafgifte is gekoppeld aan een permanent aanwezige, langzame degradatie (verschrompeling) van het schuim. De degradatie en formolemissie nemen sterk toe bij hoge temperatuur en hoge relatieve vochtigheid [33].

Formaldehyde kan aanleiding geven tot irritaties, ontstekingen van de oogslimvlies en luchtwegen, hoofdpijn, vermoeidheid, duizeligheid, concentratie-, slaap- en geheugenstoornissen. Men dient er dus op te letten dat de binnenwand volkomen luchtdicht is om te voorkomen dat formaldehyde in de lokalen dringt.

Het UF-schuim voldoet aan *geen enkel* van de in §3.2. gestelde voorwaarden.

#### 4.1.2. PUR-schuim

De twee vloeibare basiscomponenten polyol en isocyanaat komen samen in het injectiepistool waar ze innig worden gemend en spontaan<sup>24</sup> beginnen te reageren. Het nog vloeibare reactiemengsel wordt door de in de voegen geboorde gaten in de spouw gespoten, waar het naar de diepste plaats vloeit. Bij de reactie tussen polyol en isocyanaat ontstaat het polymeer polyurethaan en komt veel warmte vrij. Van deze reactiewarmte wordt gebruik gemaakt om een schuimvorming te verwezenlijken: men voegt aan het polyol een 'blaasmiddel'<sup>25</sup> toe dat gaat koken en waardoor gasbellen ontstaan. In tegenstelling tot UF-schuim gebeurt de expansie in de spouw zelf.

<sup>22</sup> De gemiddelde waterabsorptiecoëfficiënt van UF-schuim bedraagt 0,0073 kg/(m<sup>2</sup>.√s).

<sup>23</sup> Bij binnenklimaatvoorwaarden waarbij isolatie niet nat kan worden en het monster geen scheuren vertoont.

<sup>24</sup> Er is dus geen katalysator nodig zoals bij UF-schuim.

<sup>25</sup> Een stof met een zeer laag kookpunt (beneden 25 °C) die niet deelneemt aan de reactie tussen polyol en isocyanaat.



Injecteerpistool waarin de drie componenten samen komen

Het is belangrijk dat een voldoende aantal gaten wordt gemaakt in het buitenspouwblad omdat het reactiemengsel na enkele seconden al begint op te schuimen en dus weinig tijd heeft om in de spouw naar beneden te sijpelen. Na 1 à 2 minuten is het schuim al uitgehard.

In het begin van de jaren tachtig werd het PUR-schuim door sommigen nog onbruikbaar geacht [30] wegens het expansief karakter waardoor de spouwbladen van elkaar zouden worden afgedrukt en de te hoge dampweerstand. Dat de hoge waarde van het dampweerstandsgetal  $\mu$  hoegenaamd geen minpunt is hebben we in §3.2.3. aangetoond. Vandaag de dag is men in staat om expansieve eigenschappen uit te buiten om volledige vulling van de spouw en een sterke hechting met de spouwbladen te bekomen. We hebben bij het vullen van proefstukken met PUR-schuim ervaren dat het schuim dankzij het expansief karakter in staat is tot in het kleinste spleetje door te dringen. Dit schuim is dan ook ideaal om in smalle spouwen te gebruiken en voor de volledige vulling van al gedeeltelijk met isolatieplaten gevulde spouwen. Wanneer bij het vullen van de spouw het expanderende schuim niet voldoende uitwijkmogelijkheden wordt gegeven is het mogelijk dat het buitenspouwblad wordt weggedrukt. Ervaring en voorzichtigheid van de uitvoerders is dan ook noodzakelijk bij spouwmuurvulling met PUR-schuim. Het is mogelijk dat de uitvoerders in hun voorzichtigheid de spouw bovenaan en onder horizontale onderbrekingen van de spouw niet volledig vullen. Dit is een van de weinige klachten die optreden bij gebruik van PUR-schuim. Bewoners verwijderen enkele dakpannen om in de open spouw te kijken en zien dat deze niet tot helemaal bovenaan is gevuld omdat de uitvoerders het risico niet wilden lopen dat het expanderende schuim de dakpannen omhoog zou duwen.

Het einde van de uitharding gaat gepaard met het openscheuren van de celwanden: het blaasmiddel ontwijkt en er blijft een open-cellig<sup>26</sup> schuim achter. Dat het opencellig karakter van het schuim geen aanleiding geeft tot wateropname blijkt uit strenge proeven zoals beschreven in §5.1.2.1.

---

<sup>26</sup> Er bestaat ook PUR-schuim met gesloten cellen met een fenomenaal lage  $\lambda_1$ -waarde van 0,023 W/(m.K) dat echter bijzonder duur is.



Expanderend PUR-schuim in demonstratiewand (foto Plumiers Isolatie B.V.)

Uit een onderzoek uitgevoerd aan de Katholieke Universiteit Leuven, waarvan de resultaten gepubliceerd zijn in 1984 [33], op een monster PUR-schuim bleek dat bij opwarming van 20 °C naar 75 °C het monster zeer onregelmatig begon te zwellen en krom te trekken. Plaatselijk waren er zwellingen tot 33 %. Deze vorminstabiliteit is een gekend fenomeen bij PUR met lage volumemassa. Het bestudeerde monster had een volumemassa van slechts 21,4 kg en toonde opvallend veel luchtholten. Normaal gezien varieert de massadichtheid van PUR-schuim tussen 30 en 40 kg/m<sup>3</sup>. De verklaring voor de vorminstabiliteit moet volgens ons gezocht worden in een overmaat aan schuimmiddel, hetgeen het grote aantal luchtholten, de lage volumemassa en zwellen bij een temperatuur hoger dan 25 °C zou verklaren.

Geen enkel PUR-schuim bevat vandaag de dag nog CFK's.

De  $\lambda_i$ -waarde van PUR-schuim bedraagt ongeveer 0,028 W/(m.K). De veel belangrijkere effectieve  $\lambda$ -waarde bedraagt in een proefmuur ongeveer 0,044 W/(m.K). Uit praktijkonderzoek (zie §5.2.3.) blijkt dat de effectieve  $\lambda$ -waarde *gemiddeld* 0,053 W/(m.K) is. PUR-schuim is het vulmateriaal dat vandaag de dag in praktijk de laagste  $\lambda$ -waarde oplevert.

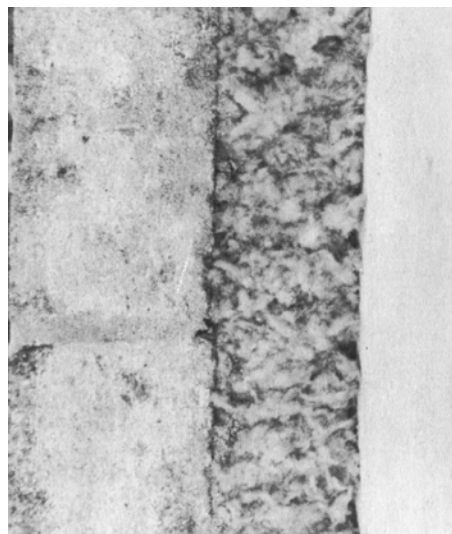
#### **4.2. Vlokvormige isolatiematerialen**

We onderscheiden glas- en rotswolvlakken. Deze bestaan uit met behulp van siliconen waterafstotend gemaakte silicatische vezels. De isolerende werking van deze vezelvormige materialen berust op de aanwezigheid van stilstaande lucht, die als het ware door een *dicht* vezelpakket wordt vastgehouden. De vlakken worden met behulp van luchtdruk in de spouw geblazen, waar ze als een dicht wolpakket de spouw vullen. Het is belangrijk dat het wolpakket dichtgepakt is om de doorgang van waterdruppels en convectieverschijnselen<sup>27</sup> te vermijden. Het is daarom dat men moet streven naar een massadichtheid in de spouw van minstens 70 kg/m<sup>3</sup> bij steenwolvlakken en 50 kg/m<sup>3</sup> bij glaswolvlakken. Uitvoeringsrichtlijnen schrijven veel lagere waarden voor (zie §5.2.1.1.) waar al te gemakkelijk aan voldaan wordt [7]!

<sup>27</sup> We hebben echter niet kunnen aantonen dat deze convectieverschijnselen in de praktijk voorkomen.



Injectiepistool voor wolvlakken [37]



Spouwvulling met minerale wolvlakken [17]

De  $\lambda_f$ -waarde van minerale wolvlakken bedraagt voor beide types ongeveer 0,040 W/(m.K) en dit bij een massadichtheid van ongeveer 80 kg/m<sup>3</sup> bij rotswolvlakken en 65 kg/m<sup>3</sup> bij glaswolvlakken. In labo-omstandigheden zijn de effectieve  $\lambda$ -waarden voor glas- en steenwol respectievelijk 0,045 en 0,047 W/(m.K). De effectieve  $\lambda$ -waarden in spouwmuren blijken uit praktijkonderzoek (zie §5.2.3.) voor glaswolvlakken *gemiddeld* 0,062 W/(m.K) en 0,064 W/(m.K) voor steenwol te zijn.

Het wolpakket heeft een laag waterdampdiffusieweerstandsgetal  $\mu$  waarvan de waarde tussen 1 en 2 ligt en is dus nagenoeg volledig doorlatend voor waterdamp, hetgeen noch gunstig, noch ongunstig is.

Bij het inblazen van de wolvlakken ontsnapt de overmaat aan lucht langs de ontluchtingsopeningen (dit zijn meestal de vooraf geboorde vulopeningen) naar buiten en langs naden (bij aansluiting van raam- en deurkozijnen) naar binnen en voert daarin uiteraard vezelstof mee. Dit stof kan aanleiding geven tot irritaties en/of ontstekingen van huid, ogen en luchtwegen.

Bij de inblaaswerkzaamheden dient men dan ook beschermende kleding en stofmaskers te dragen. Tijdens de uitvoering bedraagt de concentratie aan respirabele<sup>28</sup> vezels binnen gemiddeld 10 tot 25 x 10<sup>-3</sup> vezels/cm<sup>3</sup>. De dag na het isoleren is de concentratie al gedaald tot 1 à 8 x 10<sup>-3</sup> vezels/cm<sup>3</sup> [3]. In sommige studies werd voor glas- en steenwol wel en in andere geen carcinogeen effect vastgesteld. Glas- en steenwol zijn door IARC<sup>29</sup> ingedeeld als zijnde "niet bewezen carcinogeen voor mensen". In Duitsland worden ze als kankerverwekkend beschouwd [40]. De ACGIH<sup>30</sup> adviseert voor glas- en steenwolvezels een maximumconcentratie van 1 vezel/cm<sup>3</sup> [39]. De binnenhuis gemeten concentraties blijven dus ver onder de geadviseerde maximumwaarde.

Volgens sommigen zou het wolpakket in de spouw in de loop van tijd kunnen inklinken, hiervan hebben we in praktijkonderzoeken geen spoor teruggevonden (zie §5.2.2.).

Minerale vezels zijn niet capillair (zie §5.1.1.) en voldoen aan de in §3.2. gestelde voorwaarden wanneer ze met voldoende grote dichtheid in de spouw worden aangebracht.

<sup>28</sup> Vezels zijn respirabel wanneer hun lengte > 3\*diameter, diameter ≤ 3 μm en een lengte > 5 μm. Ze kunnen dan de longblaasjes bereiken.

<sup>29</sup> International Agency for the Research on Cancer

<sup>30</sup> American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2000)



### 4.3. Korrelvormige isolatiematerialen

#### 4.3.1. PS-parels

Geëxpandeerde polystyreenschuimparels worden samen met een geschikt<sup>31</sup> bindmiddel in de spouw geblazen via opvulgaten in het buitenspouwblad. Het bindmiddel zorgt ervoor dat een compacte, enigszins stabiele massa wordt verkregen die bij een verbouwing niet uit de spouw loopt en in geval van een open spouw niet wordt weggezogen door de wind. De nagenoeg ronde schuimparels bevatten stilstaande lucht en wanneer ze voldoende dichtgepakt zijn zal ook de omringende lucht niet bewegen. Men moet trachten een dichte materiaalpakking te bekomen, zodat waterdruppels er niet doorheen kunnen en convectieverschijnselen onmogelijk zijn. Om een dichte pakking te bekomen legt men aan de parels een maximumdiameter van 5 mm op [8]. Zoals uit praktijkonderzoek blijkt bevordert de lijm een betere pakking die al van bij het begin wordt bekomen, dus zonder zakking van het materiaal (zie §5.2.2.3.2.).



Spouwvulling van gebonden PS-parels zichtbaar na verwijdering buitenblad [17]    Injectiepistool voor PS-parels (website VENIN)

De  $\lambda_i$ -waarde van PS-parels bedraagt 0,040 W/(m.K). De effectieve  $\lambda$ -waarde in een proefwand bedraagt 0,044 W/(m.K), terwijl uit praktijkonderzoek (zie §5.2.3.) blijkt dat de effectieve  $\lambda$ -waarde *gemiddeld* 0,059 W/(m.K) bedraagt. Dit wijst er op dat het in praktijk niet zo evident is om de PS-parels voldoende dichtgepakt te krijgen. Gevolgen kunnen zijn dat waterdruppels hun weg naar het binnenblad vinden en convectieverschijnselen in de spouw.

Voor de waterdamppermeabiliteit  $\mu$  hebben we geen betrouwbare waarden gevonden. Zoals we in §3.2.3. hebben aangetoond is deze karakteristiek echter van geen belang.

Merken we nog op dat de volumemassa bijzonder klein is, ongeveer 18 kg/m<sup>3</sup> in gebonden toestand<sup>32</sup>. Het hoeft dan ook niet te verbazen dat, wanneer er onvoldoende bindmiddel wordt gebruikt en de spouw bovenaan open is, de lichte PS-parels in een wip door de wind worden weggezogen!

#### 4.3.2. Silicaatkorrels

##### 4.3.2.1. Perlietkorrels

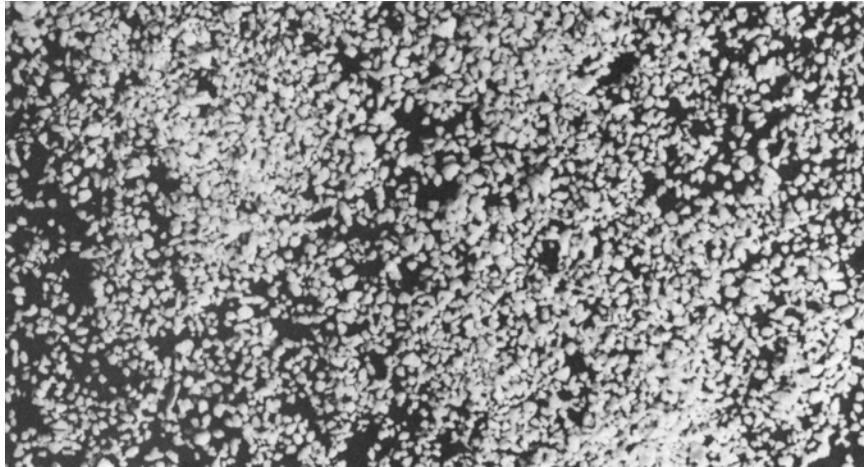
Perlietkorrels worden gefabriceerd uit vulkanisch glasachtig gesteente. Door expansie wordt een schuimachtige structuur verkregen. De nagenoeg bolvormige gesloten deeltjes bevatten stilstaande lucht en wanneer in de spouw een voldoende compacte massa wordt verkregen zullen de korrels (inclusief de gebroken exemplaren) ook de omringende lucht vasthouden. De korreldiameter is klein en ligt tussen 1 en 3 mm. Ze moeten geïmpregneerd worden met een waterafstotende stof.

Door de kleine korreldiameter en relatief grote volumemassa (tussen 65 en 80 kg/m<sup>3</sup>) gedraagt dit materiaal zich als zand en kan het materiaal eventueel van bovenaf in de open spouw worden gestort

<sup>31</sup> Dit wil zeggen: een bindmiddel dat polystyreenschuim niet aantast en bij het drogen geen schadelijke bestanddelen afgeeft.

<sup>32</sup> BKS stelt minimumwaarde van 16 kg/m<sup>3</sup> voorop.

onder vorming van een talud zonder dat hierbij inblaasapparatuur aan te pas komt, hetgeen verklaart waarom dit product populair is bij doe-het-zelvers. Het materiaal kan natuurlijk ook via vulopeningen in de spouw worden geblazen. Men moet er zorg voor dragen dat de fijne korrels niet via naden, kieren of andere openingen weer uit de spouw kunnen stromen, hetgeen in de praktijk niet altijd evident is. De afvoeropeningen voor het door het buitenblad doorgedrongen regenwater moeten worden afgesloten met nylongaas of kokos zodanig dat de afvoer van water gegarandeerd blijft.



Gesiliconiseerde perlietkorrels bestemd voor spouwvulling [17]

De  $\lambda_i$ -waarde bedraagt ongeveer 0,045 W/(m.K), hetgeen een relatief hoge waarde is. Van de veel belangrijkere, effectieve waarde  $\lambda$ -waarde zijn ons spijtig genoeg geen waarden bekend.

Probleem bij perlietkorrels zijn de in praktijk zeer grote zettingen, waardoor het na verloop van tijd nodig wordt om de spouw bij te vullen (zie 5.2.2.3.3.).

#### 4.3.2.2. Geëxpandeerde glaskorrels

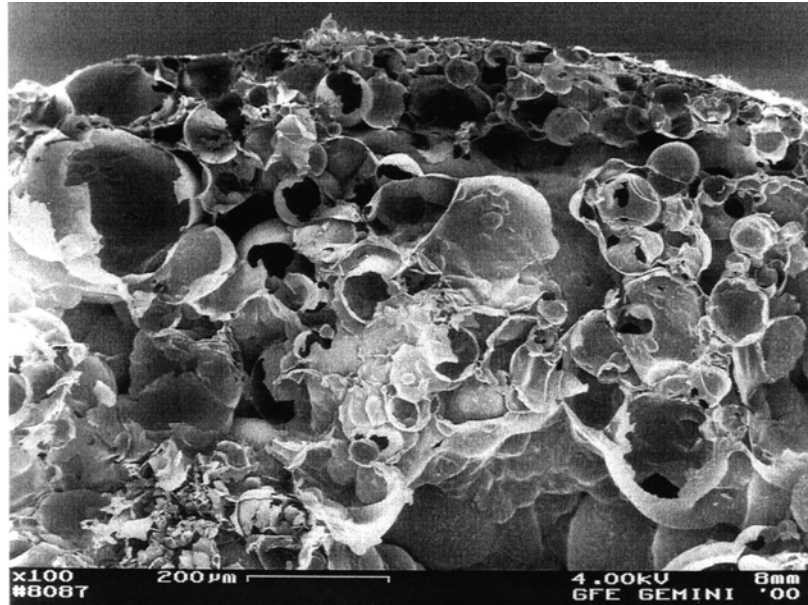
In de jaren tachtig waren er twee soorten geëxpandeerde glaskorrels op de markt in twee korrelgroottes, nl. 3-8 mm en 8-16 mm met als  $\lambda_i$ -waarden respectievelijk ongeveer 0,056 en 0,060 W/(m.K) [30]. Deze relatief hoge  $\lambda_i$ -waarden zijn waarschijnlijk te verklaren door het feit dat men met zulke grote korreldiameters onmogelijk een dichte korrelpakking kan bekomen. Omwille van dezelfde reden vermoeden we dat een met geëxpandeerde glaskorrels gevulde spouw ook al te gemakkelijk doorgang verleende aan water.

Deze isolatiematerialen hebben nooit veel furore gemaakt en voor zover we weten werden er nooit goedkeuringen voor verleend.

In 2002 is door het Deutsches Institut für Bautechnik een goedkeuring uitgereikt voor spouwvulling met geëxpandeerde glaskorrels op basis van gerecycleerd glas<sup>33</sup> die behoren tot korrelklasse 0-8 mm<sup>34</sup>. Een dergelijke korrelverdeling laat in principe wel een dichte korrelpakking toe.

<sup>33</sup> Volgens Belgische invoerder.

<sup>34</sup> De documentatie van de producent laat uitschijnen dat de korrelgrootte 1-6 mm bedraagt, terwijl de Belgische invoerder een korrelgrootte van 1-4 mm aangeeft.



Microscopische opname van een doorsneden korrel van het Duitse product Silikat Leicht Schaum SLS 20

De Duitse vergunning geeft aan dat de  $\lambda_r$ -waarde 0,040 W/(m.K) bedraagt. Wat de effectieve gemiddelde  $\lambda$ -waarde bedraagt (na jarenlang verblijf) in een spouwmuur is onbekend en zal uit onderzoek moeten blijken.

Het verloop van  $\lambda$ -waarde als functie van het vochtgehalte  $\psi$  is onbekend. Door het Deutsches Institut für Bautechnik werd enkel nagegaan of het isolatiemateriaal niet meer dan 16 % in massa toeneemt bij relatieve vochtigheid van 80 % en 23 °C, waaruit zou moeten blijken dat het materiaal niet capillair is.

De verleende Duitse vergunning schrijft een massadichtheid tussen 18 en 30 kg/m<sup>3</sup> voor. De producent geeft een massadichtheid op van 25 ± 5 kg/m<sup>3</sup>. De Duitse goedkeuring maakt geen gewag van de bouw van een proefmuur om het gevaar op regendoorslag na te gaan, de effectieve  $\lambda$ -waarde en de massadichtheid te meten. Dit doet ons vermoeden dat een dergelijke, noodzakelijke proef niet werd uitgevoerd door het Deutsches Institut für Bautechnik.

De producent geeft een diffusieweerstandsgetal  $\mu$  van 3 op. Deze lage waarde betekent dat het materiaal sterk dampdoorlatend is wat volgens het informatieblad van de invoerder "ideaal is voor toepassing als volledige spouwvulling". In §3.2.3. hebben we aangetoond dat de dampdoorlatendheid van het vulmateriaal van geen belang is.

De Duitse goedkeuring geeft verder aan dat de zetting niet meer dan 10 % bedraagt. De Belgische invoerder spreekt van een zetting op lange termijn over een hoogte van 1 à 2 cm.

De invoerder schrijft een inblaasopening elke 3 à 4 m voor. Dit is ongeveer driemaal zo groot als de onderlinge afstand die gebruikelijk is bij het inblazen van andere vulmaterialen. Wij stellen ons de vraag of op deze manier wel een voldoende pakkingdichtheid wordt bekomen. Zoals de invoerder het zelf beschrijft "kan het materiaal in een spouw tot 10 m hoog vliegen", het lijkt ons niet ondenkbaar dat hierdoor onderaan in de spouw enkel de korrels met grote diameter terecht komen en daarbovenop het fijnere stof, terwijl dit fijne stof juist tussen de grotere korrels zou moeten zitten om een dichte pakking te bekomen. Onderzoek moet uitwijzen of op dergelijke manier wel een dichte pakking wordt bekomen die noodzakelijk is om convectieverschijnselen te vermijden en waterdruppels de doorgang naar het binnenspouwblad te verhinderen.

Zoals duidelijk aangegeven door de invoerder en zoals we zelf uit een getuigenis hebben kunnen opmaken is het erg belangrijk dat het binnenblad voldoende dicht is, zoniet wordt het meubilair onder een laag stof bedolven en neemt de hoeveelheid vulmateriaal (en dus de kostprijs) drastisch toe.

Over dit product, hetgeen een verfijnde vorm lijkt van een materiaal dat eerder al op de markt verscheen, kan pas een oordeel worden geveld nadat gepast onderzoek werd verricht op een gemetselde testwand.

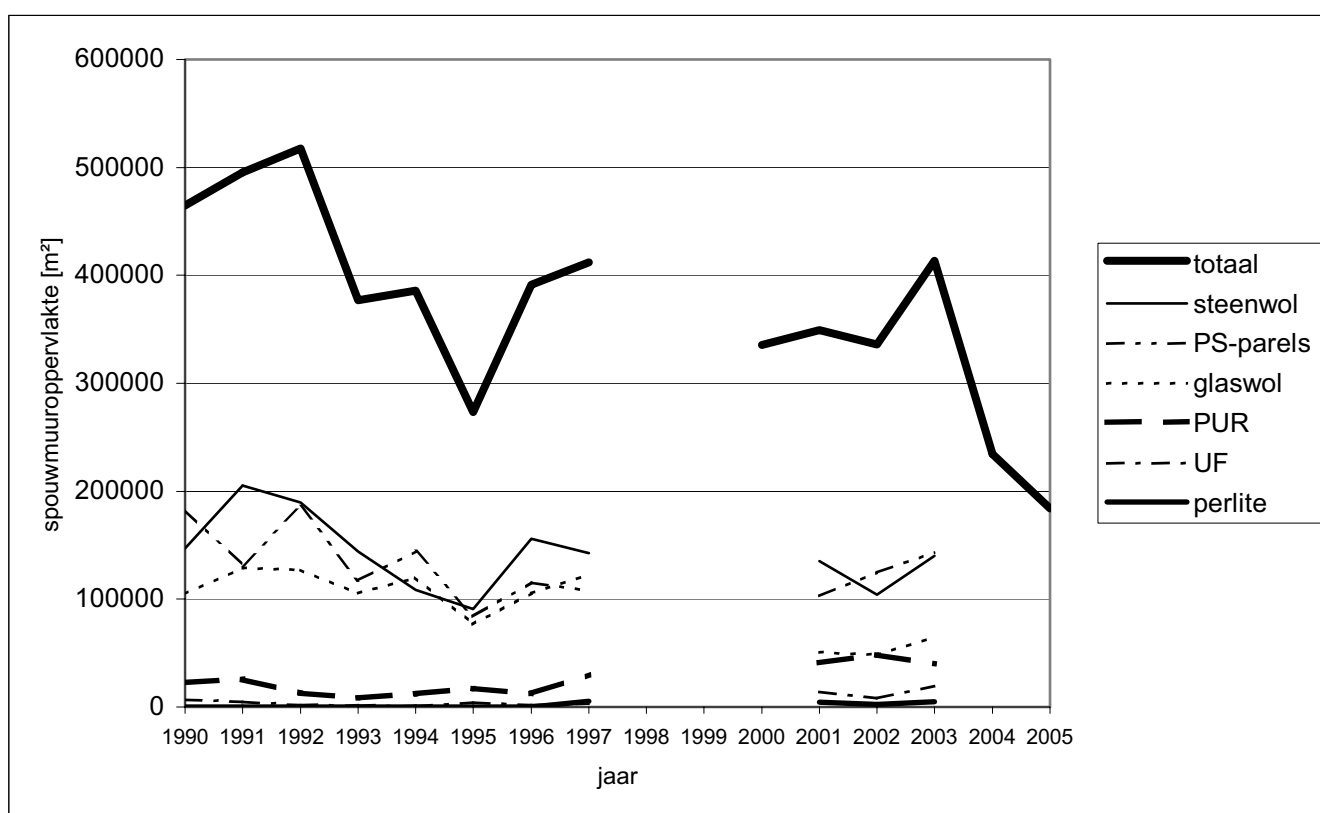
#### 4.4. Organische isolatiematerialen

Houtschilfers, kurk, granen, pluimen, wol, papiersnippers, zagemeel, ... worden af en toe toegepast als vulmateriaal. Zij moeten worden behandeld met brandvertragers en middelen die verrotting tegengaan. Voor geen enkel van deze materialen is ooit in een van onze buurlanden een goedkeuring afgeleverd voor gebruik bij spouwmuurisolatie. We hebben in onze zoektocht geen spoor gevonden van proeven waaruit mag blijken dat deze materialen geschikt zijn als vulmateriaal voor spouwen.

#### 4.5. Verbruiksgegevens Nederland

Alle leden van de Vereniging van Erkende Na-isolatiebedrijven in Nederland (VENIN) zijn in het kader van het door hun verkregen KOMO-certificaat verplicht om de plaats en grootte van hun werkzaamheden aan IKOB-BKB B.V.<sup>35</sup> door te geven, zodat deze laatste gericht controleurs op pad kan sturen.

Volgende grafiek geeft de verbruiksgegevens aan van de verschillende isolatiematerialen in de loop van de voorbije 15 jaar [23]. Van sommige jaren waren spijtig genoeg geen volledige gegevens beschikbaar.



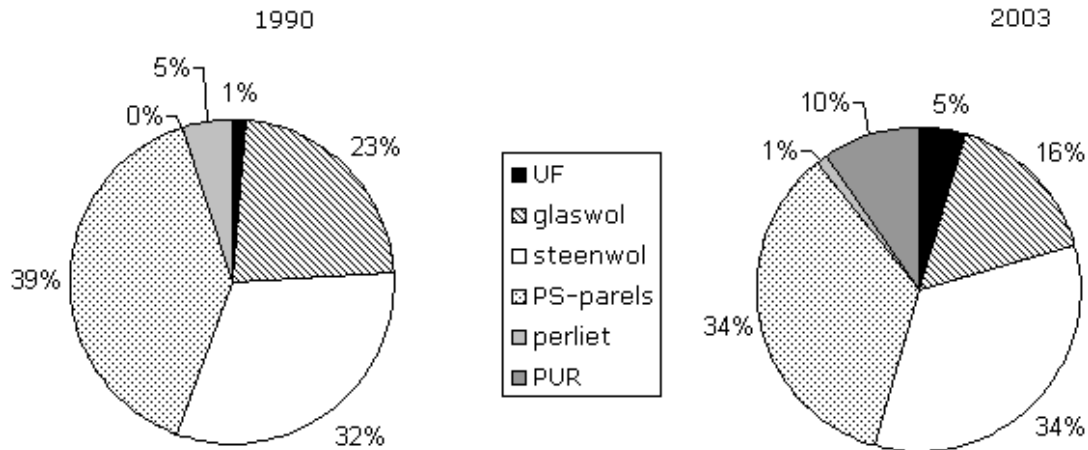
Verloop van verbruik van isolatiematerialen voor na-isolatie van spouwmuren in Nederland

De pieken in 1992 en 2003 zijn te verklaren door het feit dat in dat jaar een overheidssubsidie ten einde liep.

We zien dat na een jarenlange daling van het gebruik van UF-schuim er een plotse stijging was in de jaren 2001 en 2003. De verklaring hiervoor moet men zoeken in het feit dat in die jaren een huisvestingsmaatschappij er voor koos om haar patrimonium te na-isoleren en daarbij koos ze resoluut voor het goedkoopste isolatiemateriaal. Merken we nog op dat recent een deel van deze met UF-schuim gevulde spouwmuren moest worden bijgevuld wegens de grote krimp van het materiaal.

<sup>35</sup> Opvolger BKS.

Volgende diagrammen geven de marktverdeling in de jaren 1990 en 2003 aan:



Marktverdeling in 1990 en 2003

Perliet-korrels zijn pas in 1997 op de Nederlandse markt verschenen.

## **5. Experimenteel onderzoek op nagevulde spouwmuren**

### **5.1. Laboratoriumonderzoeken**

Beschikbaar zijn resultaten van onderzoek uitgevoerd door:

- 1965 – 1966: IBBC-TNO
- 1975 – 1979: WTCB
- c. 1981: BRE
- c. 1983: KULeuven (Nationaal RD programma Energie)
- 2006: UGent

#### **5.1.1. Capillariteit**

In het kader van de KOMO-attesten<sup>36</sup> worden volgende proeven uitgevoerd:

- bij schuimen: kubus met ribbe van 10 cm wordt gedurende 4 weken op waterspiegel gelegd en mag niet meer dan 1 cm onder waterspiegel zakken.
- bij vlokken: a) vlokken worden op wateroppervlak gelegd en mogen niet gezonken zijn na 24 uur;  
b) een aan twee zijden open cilinderglas wordt gevuld met vlokken en met een kant in contact gebracht met wateroppervlak (met kleurstof). Na 24 uur mag er geen capillaire opzuiging zichtbaar zijn.

Zelf hebben we enkele waterabsorptie-proeven uitgevoerd waaruit we de waterabsorptiecoëfficiënt A van enkele isolatiematerialen probeerden af te leiden.

Een proefstuk werd geconstrueerd waarmee we de situatie van een gevulde spouwmuur blootgesteld aan regen konden na bootsen. Het proefstuk bestaat uit een plexiglazen recipiënt waarvan de bodem wordt gevormd door een baksteen. De open kant van het proefstuk wordt dan gevuld met het isolatiemateriaal en afgedekt met een (doorprikte) folie om verdamping van water uit het isolatiemateriaal te voorkomen. De baksteen wordt in water geplaatst en er wordt op regelmatige tijdstippen nagegaan wat de hoeveelheid opgezogen water is.

<sup>36</sup> Zelfde testen werden destijds uitgevoerd door Butgb bij het uitreken van Belgische goedkeuringen.



Proefstuk gevuld met PUR-schuim gebruikt bij absorptieproeven

De opgezogen hoeveelheid water is evenredig met de wortel van de tijd:

$$m = A \cdot \sqrt{t}$$

met  $m$  = opgezogen hoeveelheid water per contact-eenheidsoppervlak [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

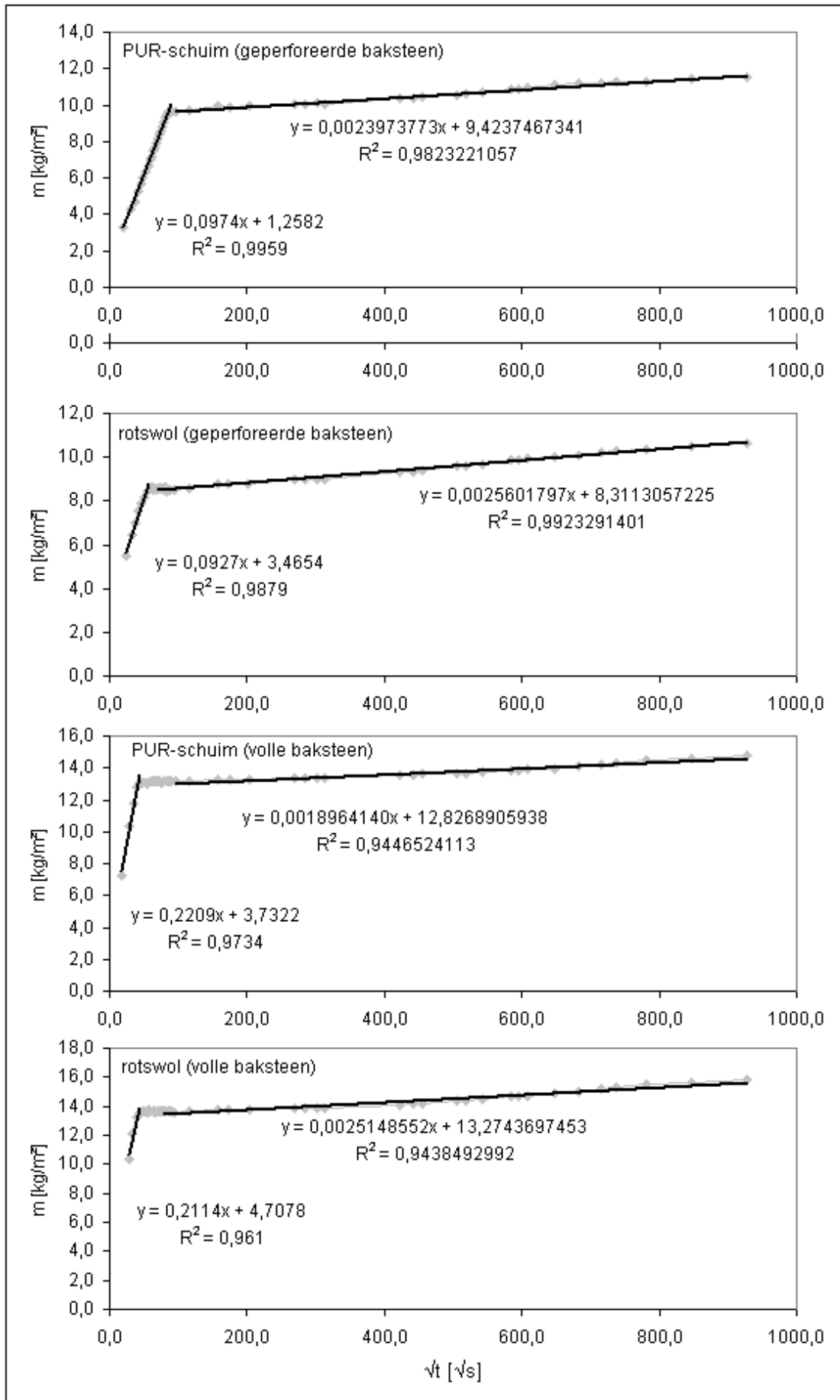
$t$  = tijd in seconden

$A$  = waterabsorptiecoëfficiënt van het materiaal [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ ]

Wanneer we  $m$  uitzetten als functie van  $\sqrt{t}$  dan is  $A$  de helling van de bekomen rechte.

We voerden deze proeven uit voor PUR-schuim en rotswol, voor elk materiaal hadden we twee verschillende proefstukken (met volle en geperforeerde baksteen) ter beschikking. De gemiddelde temperatuur was  $17,5\text{ }^\circ\text{C}$  en de relatieve vochtigheid 65 %.

In onderstaande grafieken worden de verkregen resultaten uitgezet als functie van  $\sqrt{t}$ .



Wateropname als functie van de tijd

We zien telkens een knik in de grafieken, deze knik komt overeen met het ogenblik dat het vochtfront het contactoppervlak tussen baksteen en isolatie bereikt. Na de knik zijn het in principe de secundaire wateropname<sup>37</sup> in de baksteen en de capillariteit van het isolatiemateriaal die verantwoordelijk zijn voor de toename van de opgezogen hoeveelheid water.

In onderstaande tabel vindt men de bekomen absorptiecoëfficiënten.

isolatiemateriaal	baksteen	A [kg/(m <sup>2</sup> .√s)]	
		voor knik	na knik
PUR	vol	0,2209	0,00190
steenwol	vol	0,2114	0,00251
PUR	geperforeerd	0,0974	0,00240
steenwol	geperforeerd	0,0927	0,00256

Absorptiecoëfficiënten

De helling van de regressielijn vóór de knik is dus de absorptiecoëfficiënt van de baksteen. De helling na de knik is de som van de secundaire absorptiecoëfficiënt van de baksteen en de absorptiecoëfficiënt van het isolatiemateriaal.

We zien dat de gemeten absorptiecoëfficiënt na de knik bij steenwolvlokken bij beide types bakstenen iets hoger ligt dan bij PUR-schuim.

Nu is het zo dat de A-waarden na de knik overeenkomen met waarden gemeten bij absorptieproeven op bakstenen voor de secundaire absorptiecoëfficiënt. Voor bakstenen met absorptiecoëfficiënten tussen 0,16 en 0,25 kg/(m<sup>2</sup>.√s) vond men secundaire absorptiecoëfficiënten met waarden tussen 0,002 en 0,003 kg/(m<sup>2</sup>.√s). Hetgeen er lijkt op te wijzen dat er helemaal geen waterabsorptie in de isolatiematerialen optreedt.

We kunnen hierover uitsluitsel vinden door het gewicht van de isolatie vóór en op het einde van de proef te vergelijken. Bij de proefstukken gevuld met PUR-schuim was het op het einde van de proef niet mogelijk om de isolatie te verwijderen om de gewichtstoename door eventuele vochtopname te bepalen.

Gezien het recipiënt van het proefstuk een volume heeft van ongeveer 600 cm<sup>3</sup> werd er ongeveer 50 g steenwol in aangebracht, hetgeen overeenkomt met een massadichtheid van ongeveer 80 kg/m<sup>3</sup>. Het gemeten gewicht van de hoeveelheid steenwol vóór en op het einde van de absorptieproef is in volgende tabel gegeven:

	gewicht [g]		
		geperforeerd	volle baksteen
vóór proef	proefstuk zonder isolatie	1728,8	2211,2
	proefstuk met steenwol, folie en elastiek	1779,5	2262,1
	folie en elastiek	1,1	1,2
	isolatie	<b>49,6</b>	<b>49,7</b>
op einde proef	proefstuk zonder isolatie	1849,7	2392,4
	proefstuk met steenwol, folie en elastiek	1900,4	2442,2
	folie en elastiek	1,1	1,2
	isolatie	<b>49,6</b>	<b>49,8</b>

Gemeten gewicht

Bij het proefstuk met de volle baksteen meet men een gewichtstoename van rotswolvlokken met 0,1 g. Dit ligt echter binnen de afleesfout van de weegschaal en men mag er dus niet veel betekenis aan hechten.

Tijdens de proef was er geen vochtige zone zichtbaar in de isolatie.

De proefresultaten lijken te suggereren dat steenwolvlokken wel een kleine hoeveelheid water absorberen (systematisch grotere secundaire absorptiecoëfficiënt dan PUR-schuim en gemeten vochtopname van 0,1 g bij volle baksteen). We zouden hierover zekerheid kunnen krijgen door de secundaire absorptiecoëfficiënten te bepalen door de proeven te herhalen zonder dat er isolatie in de proefstukken wordt aangebracht

<sup>37</sup> Ten gevolge van het oplossen van lucht uit de poriën.



We kunnen hoedanook besluiten dat geen van beide bestudeerde isolatiematerialen capillair is.

#### 5.1.2. Regendoorslag van gevulde spouwmuren

Het risico op regendoorslag wordt beoordeeld door middel van (kunstmatige) berekening van een met het te onderzoeken materiaal gevulde spouwmuur. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de testvoorwaarden die van onderzoek tot onderzoek sterk kunnen verschillen.

tijdstip	1974 - 2006	1966 - 2006	1965 - 1966	1975 - 1979	c. 1981
organisatie	BKS (tot 1989) IKOB-BKB (vanaf 1989)	bij verlening goedkeuringsattesten BBA	IBBC-TNO	WTCB	BRE
land	Nederland	Verenigd Koninkrijk	Nederland	België	Verenigd Koninkrijk
plaats testen	in labo	in labo	in labo	in labo	in situ
dimensies	2 m hoog	3,5 m hoog	2 m hoog	0,94 hoog	5 m hoog
testwand	2 m breed 4 m <sup>2</sup> oppervlakte	3 m breed 10,5 m <sup>2</sup> oppervlakte	2 m breed 4 m <sup>2</sup> oppervlakte	1,28 breed 1,2 m <sup>2</sup> oppervlakte	1,8 m breed 9 m <sup>2</sup> oppervlakte
buitenblad	baksteen van kwaliteit hardgrouw, breedte = 12 cm	"LBC flettons" breedte = (waarschijnlijk) 10,5 cm	baksteen van kwaliteit hardgrouw breedte = 12 cm	harde en zachte bakstenen breedte = 9 cm	harde en zachte bakstenen breedte = 10,5 cm
spouwbreedte	50 mm	65 mm	?	40 mm	65 mm
muur	speciaal gernetste proefmuur	speciaal gernetste proefmuur	speciaal gernetste proefmuur	speciaal gernetste proefmuur	willekeurig gekozen in woonwijk
binnenblad	kalkzandsteen, breedte = 12 cm afgewerkt met pleisterlaag	lichtgewicht betonbloken, aan binnenkant beschilderd met witte cement GEEN binnenpleister	kalkzandsteen, breedte = 12 cm GEEN binnenpleister	geperforeerde plexiglasplaat	betonblokken, breedte = 10 cm afgewerkt met pleisterlaag
berekening	simulatie	simulatie in drukkamer, waarvan 2 wanden de testwanden zijn	blootstelling aan klimaat én simulatie	simulatie	simulatie
regencyclus	12 fasen, eerste 10 fasen duren 1 uur en 1 uur pauze tussenin 2 laatste fasen duren 8 uur en pauze bedraagt 24 uur	3 weken, van maandag tot vrijdag, 6 uur per dag week 1: 1,7 l/(m <sup>2</sup> .h), zonder winddrukverschil week 2: 4,6 l/(m <sup>2</sup> .h) met 250 Pa winddruk week 3: 8,0 l/(m <sup>2</sup> .h) met 500 Pa winddruk	gedurende 24 uur drukverschil van 150 Pa door aan binnen- zijde voor onderdruk te zorgen waterhoeveelheid: onbekend	50 l/(m <sup>2</sup> .h) gedurende 10 min per dag met of zonder drukverschil reeks 1: 0 Pa reeks 2: 100 Pa reeks 3: 360 Pa	4 dagen, 3 l/(m <sup>2</sup> .h) gedurende 6 à 9 uur per dag geen (kunstmatig) winddruk- verschil
	waterhoeveelheid neemt toe van 5 tot 50 l/(m <sup>2</sup> .h) drukverschil neemt toe van 0 tot 300 Pa			herhaling regencyclus tot verzadiging voorspouwblad	

organisatie	BKS (tot 1989) IKOB-BKB (vanaf 1989)	BBA	IBBC-TNO	WTCTB	BRE
detectie doorslag	verschijnen vochtplekken op binnenbepleistering	verschijnen van vochtplekken op bijl van witte cement	verschijnen vochtplekken op binnenblad	verschijnen vocht op plexiglas	verschijnen vochtplekken op binnenbepleistering
geteste materialen					
UF-schuim	x		x	x	x
PUR-schuim	x	x			
minerale wol	x	x	x	x	x
PS-parels	x	x			x
perlietkorrels	x			x	x

	IBBC-TNO	WTCTB	BRE
resultaten			al doorslag wóór vulling t. p.v.
UF-schuim	na 15 uur doorslag	doorslag bij elke regen cyclus	mortelbruggen
minerale wol	na 24 uur doorslag	doorslag bij drukverschil van 360 Pa	sterke toename doorslag
PUR-schuim	-	-	matige toename
PS-parels	-	-	-
perlietkorrels	-	geen doorslag	matige toename
			sterke toename doorslag

Bij vergelijking van de verschillende proeven op regendoorslag moet men rekening houden met:

- 1) type muren: al dan niet speciaal voor de proef gemetste muren. Proefmuren worden doorgaans met meer zorg gemetst dan op een werf.
- 2) oppervlakte muren: hoe groter de muuroppervlakte, des te groter de kans op plaatselijk zwakke punten.
- 3) binnenbepreistering: een binnenbepreistering maakt muren veel luchtdichter en dus minder gevoelig aan eventueel aanwezig winddrukverschil.
- 4) muurhoogte: bij toenemende muurhoogte wordt de kans op valspectie en mortelbruggen op de spouwankers groter.
- 5) type binnenspouwblad: kalkzandsteenblokken hebben een veel grotere vochtopnamecapaciteit dan betonblokken. De kans op zichtbare vochtproblemen is dus kleiner bij kalkzandsteen.
- 6) winddrukverschil: hoe groter winddrukverschil, hoe groter de kans op regendoorslag.
- 7) verschil in regencycli

Van alle labotesten zijn deze uitgevoerd het British Board of Agrément (BBA) het strengst. Het is *waarschijnlijk* omwille van deze reden dat het UF-schuim en de perlietkorrels (?) niet over een goedkeuringscertificaat beschikken in het Verenigd Koninkrijk, terwijl dit wel het geval is in Nederland.

De in situ uitgevoerde testen door Building Research Establishment (BRE) leveren steeds negatievere waarden op dan de labotesten. Merk vooral de slechte resultaten van UF-schuim en perlietkorrels op.

#### 5.1.2.1. Bijzonder onderzoek naar regendoorslag bij spouwvulling met PUR-schuim

In bovengenoemde onderzoeksprojecten werd het PUR-schuim telkens links gelaten. Dit wordt echter gecompenseerd door een onderzoek [20] dat we in deze paragraaf bespreken.

In 1981 werd door de firma Pluimers Isolatie B.V.<sup>38</sup> een onderzoek aangevraagd bij het IBBC-TNO dat bijzondere aandacht verdient. Bij dit experiment werd een stuk PUR-schuim (van het type met open celstructuur) van 30 mm dik uit een eerder door genoemd isolatiebedrijf gevulde testwand gesneden en belast met een waterkolom van constant 30 mm. De drukbelasting van 30 mm waterkolom komt overeen met een drukverschil van 300 Pa over het monster, een drukverschil dat kan optreden bij een windaanval van windkracht 10<sup>39</sup> op een gevel.

Wat zo bijzonder is aan dit experiment is het feit dat het schuimmonster de gebruikelijke 'oppervlaktehuid' niet meer had. Er treedt namelijk een huidvorming op aan het oppervlak van het schuim. Deze huid, die zich hecht aan de spouwbladen, heeft een veel grotere dichtheid dan het schuim binnenin en belemmert water-opname dus extra.

Resultaat van het experiment: na 24 uur bleek het water slechts tot ongeveer 2 mm in het schuim doorgedrongen!

Het is dus duidelijk dat de kansen op regendoorslag zeer gering zijn bij een spouwmuur die, volgens de regels der kunst, volledig met PUR-schuim wordt gevuld.

## **5.2. Praktijkonderzoeken**

### 5.2.1. 1974 – 1975: Bouwcentrum

Na de energiecrisis van de winter 1973 – 1974 ontstond er een grote belangstelling voor het na-isoleren en besloot de Nederlandse overheid om isolatiemaatregelen zoals het na-isoleren van spouwmuren en het plaatsen van dubbel glas te subsidiëren. In 1974 werd het Bouwcentrum door de Nederlandse overheid belast met een onderzoek om na te gaan wat de effectieve energiebesparing is die men door na-vulling van spouwmuren realiseert. Gezien UF-schuim het enige navulmateriaal was dat voor 1975 werd toegepast beperkt het onderzoek zich tot dit isolatiemateriaal.

De uitdaging bestond er in om identieke woningen te vinden met en zonder na-geïsoleerde spouwmuren. Zulke woningen werden gevonden in 15 woningcomplexen verspreid over gans Nederland. Het

<sup>38</sup> Hoofdzetel gevestigd te Rijssen, Nederland.

<sup>39</sup> Komt overeen met zware storm, gemiddelde windsnelheid tussen 89 en 102 km/h.

gasverbruik van de woningen werd vergeleken en met behulp van de methode van de graaddagen werd het jaarlijkse brandstofverbruik ten behoeve van verwarming bepaald.

In totaal zijn in het onderzoek 188 woningen betrokken, die men kan onderverdelen in 4 categorieën.

	categorie	aantal
A	niet-geïsoleerde woningen	82
B	woningen met alleen spouwmuurisolatie	55
C	woningen met alleen dubbel glas	10
D	woningen met spouwmuurisolatie en dubbel glas	41

Categorieën van woningen

Interessant is te zien hoe het stookgedrag sterk afwijkt tussen de verschillende categorieën.

categorie	aantal kamers		verhouding vaker aan/vaker uit
	radiatoren vaker aan	radiatoren vaker uit	
A	413	240	1,7
B	280	167	1,7
C	48	38	1,3
D	243	110	2,2

Stookgedrag per categorie

Het resultaat van het onderzoek:

gemiddelde	A -> B	A -> C	A -> D
besparing [%]	22,4	19,7	20,4

Gemiddelde procentuele besparing per isolatiemaatregel

We zien dat het vervangen van dubbel glas minder effect heeft dan spouwmuurisolatie.

De in praktijk behaalde besparing door dubbele beglazing valt tweemaal hoger uit dan theoretisch berekend. De reden hiervoor moet gezocht worden in het feit dat de thermostaat van de verwarmingsinstallatie zich in de woonkamer bevindt. Gebleken is dat bijna in alle gevallen de dubbele beglazing enkel in de ramen van de woonkamers werd aangebracht. Het gevolg is dus dat de thermostaat reageert op de temperatuur in de geïsoleerde woonruimte en dat de temperatuur in de ruimten waar geen dubbele beglazing is aangebracht zal verlagen, waardoor de totale warmteverliezen sterker dalen dan verwacht.

Het is opmerkelijk om te moeten vaststellen dat de besparing door spouwmuurisolatie en dubbele beglazing veel lager is dan de som van de besparingen die men kan realiseren door beide isolatiemaatregelen apart. In [1] wordt dit verklaard als "de invloed van het achteraf aanbrengen van dubbele beglazing in de woonkamer op de temperatuur in de andere ruimten is hier niet aanwezig. Omdat ook de isolatie van de andere ruimten verbeterd is, zal daar de temperatuur niet dalen."

Een tweede reden is dat het bewonersgedrag in een huis met alleen dubbel glas of alleen spouwmuurisolatie waarschijnlijk grondig verschilt van het bewonersgedrag in een woning met dubbele beglazing én spouwmuurisolatie. Wanneer het huis alleen dubbel glas of spouwmuurisolatie heeft zullen de bewoners hun stookkosten nog steeds als te hoog ervaren en zullen ze geneigd zijn in te leveren op hun comfort door de thermostaat wat lager in te stellen.

Dit verschil in bewonersgedrag is duidelijk waarneembaar als men per isolatiecategorie de verhouding van het aantal kamers waar de verwarming vaker aan dan uit staat vergelijkt. Door dit bewonersgedrag zal de energiebesparing lager uitvallen dan men theoretisch berekent.

Het gevolg van de twee hiervoor genoemde fenomenen is dat er geen lineair verband is tussen het jaarlijkse energieverbruik voor verwarming per m<sup>3</sup> en het specifieke geleidingsverlies per m<sup>3</sup> beschermd volume zoals men zou verwachten [38].

Door dit verschillend bewonersgedrag is het dus mogelijk dat wanneer men in een huis waarin de spouwmuren zijn geïsoleerd het enkel glas gaat vervangen door dubbel glas de energiefactuur (licht) gaat stijgen! Dit is duidelijk te zien als men in bovenstaande tabel met gemiddelde procentuele besparingen de energiebesparing door spouwmuurisolatie vergelijkt met de energiebesparing door spouwmuurisolatie en dubbele beglazing.

Merken we nog op dat deze studie ondertussen wel gedateerd is, niet alleen omdat UF-schuim vandaag de dag het slechtst presterende spouwvulmateriaal is, maar ook omdat er sinds 1974 hoge rendementsbeglazingen op de markt zijn gekomen die heel wat beter presteren dan de gewone dubbele beglazingen.

### 5.2.2. 1979 – 1980: Bouwcentrum BKS

In 1979 kreeg het Bureau Kwaliteitsbewaking Spouwmuren (BKS) van het Nederlandse ministerie van huisvesting de opdracht om na te gaan hoe de verschillende spouwmuurvullingen zich onder praktijkomstandigheden gedragen. Hiertoe werden 164 na-gevulde spouwmuren geopend, waarin 5 verschillende isolatiematerialen waren aangebracht.

Het BKS werd in 1974 opgericht om steekproefsgewijze inspectiecontroles op materiaal- en uitvoeringskwaliteit uit te voeren. Enkel werken die na 1974 werden uitgevoerd en dus onder controle stonden van het BKS kwamen in aanmerking voor het praktijkonderzoek. Gevolgen hiervan zijn dat geen enkel van de bestudeerde spouwvullingen ouder is dan 5 jaar en de ietwat vreemde situatie dat het BKS haar eigen werk ging controleren.

Bovendien koos het BKS er voor om de isolatiebedrijven bewoners van de betrokken woningen te laten contacteren, met als gevolg dat deze bedrijven uiteraard woningen selecteerden waarbij geen problemen voorkwamen met betrekking tot de spouwisolatie. Sterker nog, in een brief van het BKS aan de isolatiebedrijven luidt het tweede criterium bij de keuze van woningen als volgt: “geen ‘probleemwoningen’ betreffen waarbij klachten zijn opgetreden; b.v. t.a.v. vochtdoorslag of van formaldehydegeur”.

Het BKS stelt in de inleiding van [5] dat er “in het algemeen werd naar gestreefd om zoveel mogelijk woningen uit de beginperiode van de activiteiten van de betreffende bedrijven in het onderzoek te betrekken”. Dit strookt echter niet met het eerste criterium waarmee de isolatiebedrijven rekening moesten houden volgens de brief van het BKS: “bij voorkeur geen woningen uit de eerste 50, die door u in de subsidie-regeling werden geïsoleerd”.

Het hoeft ons dan ook geenszins te verbazen dat de resultaten van dit onderzoek zeer positief zijn.

In geval de spouw gevuld was met perlietkorrels was monsternamen niet mogelijk, want de korrels zouden als zand uit de opening zijn gelopen. In dit geval beperkte het onderzoek zich tot het nagaan van eventuele vochtdoorslag en of de spouw tot aan de bovenrand was gevuld.

Ten tijde van dit onderzoek waren nog maar weinig spouwmuren nageïsoleerd met PUR-schuim en dit materiaal werd (spijtig genoeg) dan ook niet in het onderzoek betrokken.

In volgende paragrafen overlopen we de resultaten voor de verschillende materialen.

#### 5.2.2.1. Volumemassa

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde massadichtheid voor elk onderzocht isolatiemateriaal.

materiaal	volumemassa [kg/m <sup>3</sup> ]				
	gemiddeld	KOMO-eis	% voldoet	minimum	% voldoet
UF-schuim	9,0	8	76	-	-
steenwolvlokken	82,9	60	100	70	90
glaswolvlokken – 2,5 m	62,6	30	100	-	-
glaswolvlokken – 1,5 m	67,9	30	100	60	95
PS-parels	17,5	16	100	-	-
perlietkorrels	-	-	-	-	-

Volumemassa zoals vastgesteld in spouw

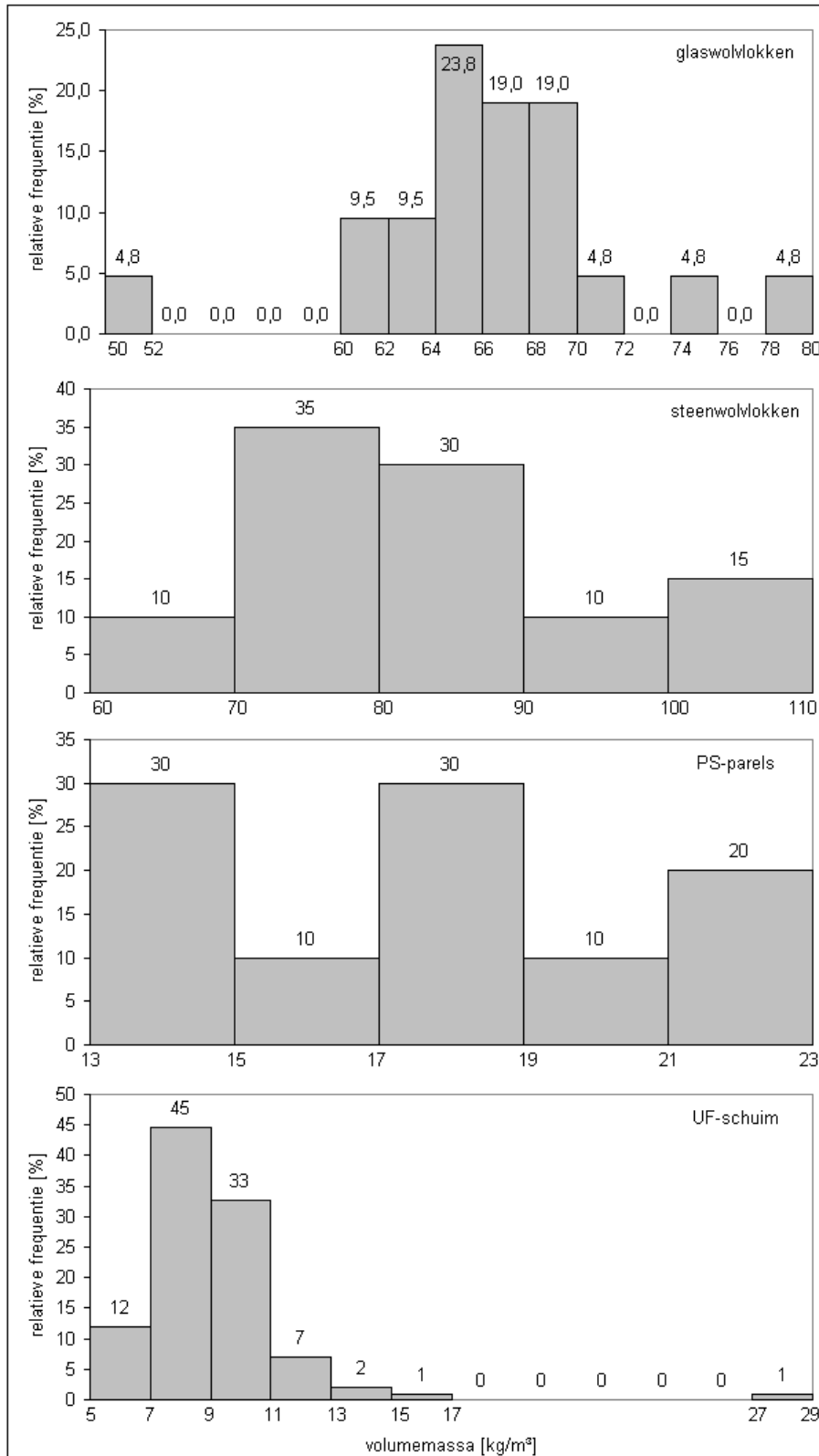
We zien dat de *plaatselijke*<sup>40</sup> minimumwaarden zoals deze in Nederland<sup>41</sup> vereist zijn wel erg laag uitvallen. Naar onze smaak meer realistische minimumwaarden geven we in de rechtse kolom.

<sup>40</sup> De minimumwaarden voor gemiddelde massadichtheid in de ganse spouw liggen hoger dan deze vereist voor de plaatselijke minimumwaarden.

<sup>41</sup> De Britse en Belgische goedkeuringen bevatten slechts richtwaarden voor het volumegewicht zoals deze in proefmuren werden gemeten of door producenten zelf werd aangegeven.

De verklaring waarom we onderscheid hebben gemaakt tussen twee soorten glaswolvlakken is de volgende: de eerste soort is ingeblazen met een grotere onderlinge afstand tussen de vulgaten (max. 2,5 m) dan de tweede soort (max. 1,5 m). Vanaf 1979 mogen uitvoerders in Nederland maximaal een tussenafstand van 1,5 m hanteren. Het gevolg van deze maatregel is een verhoging van de gemeten volumemassa zoals men kan zien in bovenstaande tabel.

Onderstaande frequentiediagrammen geven de spreiding van de gemeten massadichtheden per isolatiemateriaal aan.



Spreidingsdiagrammen van volumemassa

We merken op dat bij alle materialen die in bulkvorm in de spouw worden ingebracht er een relatief grote spreiding is op de behaalde massadichtheid en dus pakkingsdichtheid.

Bij glaswolvokken zijn er een aantal uitschieters waarbij een kleine of juist erg grote dichtheid werd gerealiseerd.

Wij vermoeden dat de spreiding van de massadichtheid van het UF-schuim te verklaren is door een teveel of te weinig aan schuimmiddel. In één geval was er duidelijk veel te weinig schuimmiddel toegevoegd waardoor een extreem hoge massadichtheid werd bekomen!

#### 5.2.2.2. Vochtgehalte

Er werd steeds getracht, voor zover mogelijk, de monsters te nemen uit de zuidwestgevel van de woningen.

In onderstaande tabel vindt men het gemiddelde, minimale en maximale vochtgehalte per onderzocht materiaal.

materiaal	aantal woningen	vochtgehalte $\psi$ [vol %]		
		gemiddeld	min	max
UF-schuim	101	0,076	0,003	0,222
steenwolvokken	20	0,023	0,009	0,032
glaswolvokken - oud	10	0,062	0,048	0,075
glaswolvokken - nieuw	11	0,042	0,013	0,087
PS-parels	10	0,015	0,006	0,061
perlietkorrels	11	-	-	-

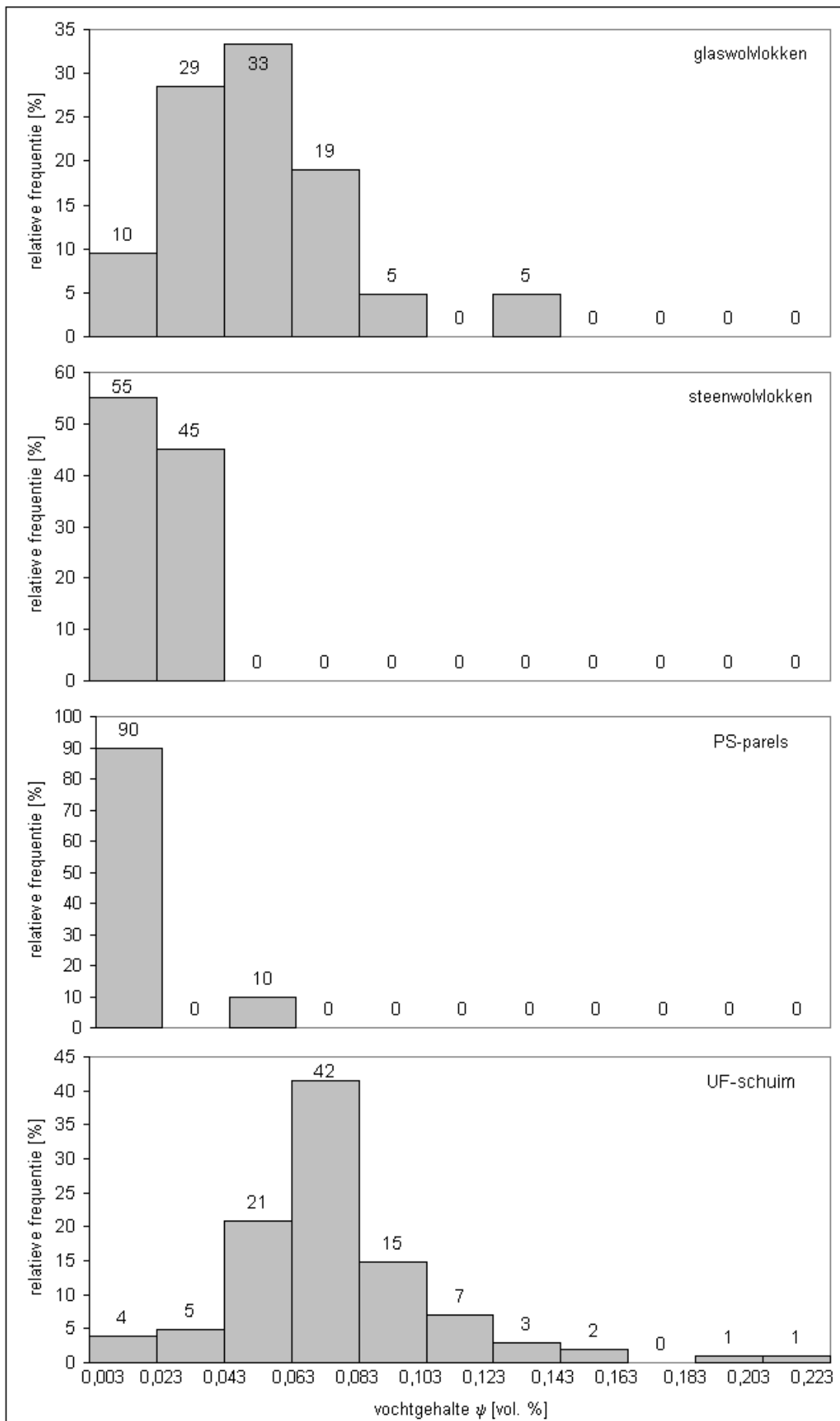
Tabel 13: vochtgehaltenes in volumepercentage

We stellen vast dat het vochtgehalte in de spouwmuren in alle gevallen erg laag uitvallen, waardoor ze de  $\lambda$ -waarde van de isolatiematerialen nauwelijks of niet verhogen. Dit is een zeer belangrijke vaststelling.

Men krijgt een zicht op de statistische spreiding van de gemeten vochtgehaltenes door onderstaande frequentiediagrammen van de vochtgehaltenes (in volumepercentages<sup>42</sup>) te bestuderen.

<sup>42</sup> Het is uiteraard volstrekt zinloos om de vochtgehaltenes uitgedrukt in gewichtspercentages te vergelijken, gezien het volumegewicht van de verschillende isolatiematerialen totaal verschillend is.





Spreidingsdiagrammen van vochtgehalte

We zien dat glaswolvlakken in de praktijk een hoger vochtgehalte hebben dan steenwolvlakken. Spouwen gevuld met PS-parels hebben de laagste vochtgehaltenes, terwijl spouwen gevuld met UF-schuim dan weer de hoogste vochtgehaltenes vertonen.

### 5.2.2.3. Systeemgebonden tekortkomingen

#### 5.2.2.3.1. Minerale wol

Bij de isolatiemethode met grote onderlinge afstand tussen de vulgaten die vóór 1979 in Nederland gangbaar was bleek 80 % van de gevallen een te lichte pakking<sup>43</sup> te vertonen. Na toepassing van een dichter vulpatroon bleek het aantal te licht bevonden pakkingen te zijn verminderd tot 36 %. Hieruit blijkt het belang van een voldoende dicht vulpatroon, zeker bij een smalle spouw!

Het is belangrijk op te merken dat in geen enkel geval er een aanwijzing was voor het inklinken van de wol in de spouw, zoals door sommigen wordt beweerd.

#### 5.2.2.3.2. PS-parels

In 2 van de 10 onderzochte gevallen bleek de binding tussen de schuimparels onvoldoende. De gevolgen hiervan zijn nefast: kleine massadichtheid, waterdruppels vinden doorgang, convectieverschijnselen worden eventueel mogelijk en (soms) hoog vochtgehalte.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van gemeten volumemassa en vochtgehalte van de monsters die uit de muur werden gehaald.

code	vochtgehalte [gew. %]	volumemassa [kg/m <sup>3</sup> ]	vochtgehalte [vol. %]	binding
X1	0,35	17,3	0,006	OK
X2	0,50	18,0	0,009	OK
X3	0,45	21,2	0,010	OK
X4	0,45	<b>14,0</b>	0,006	<b>matig</b>
X5	0,65	<b>14,1</b>	0,009	<b>matig</b>
X6	0,90	23,2	0,021	OK
X7	0,65	18,3	0,012	OK
X8	0,50	<b>13,4</b>	0,007	<b>los</b>
X9	3,85	<b>15,8</b>	<b>0,061</b>	<b>los</b>
X10	0,65	19,6	0,013	OK
gemiddelde	<i>0,90</i>	<i>17,5</i>	<i>0,015</i>	

Volumemassa en vochtgehalte van monsters PS-parels

We zien een duidelijk verband tussen een te kleine hoeveelheid lijm en een te kleine massadichtheid. In één geval, niet toevallig een geval waarbij de parels los waren bleek het vochtgehalte wel erg hoog. Spijtig genoeg laten de onderzoeksrapporten ons niet toe om na te gaan of de muur waaruit monster X9 werd genomen niet toevallig zuidwest georiënteerd is.

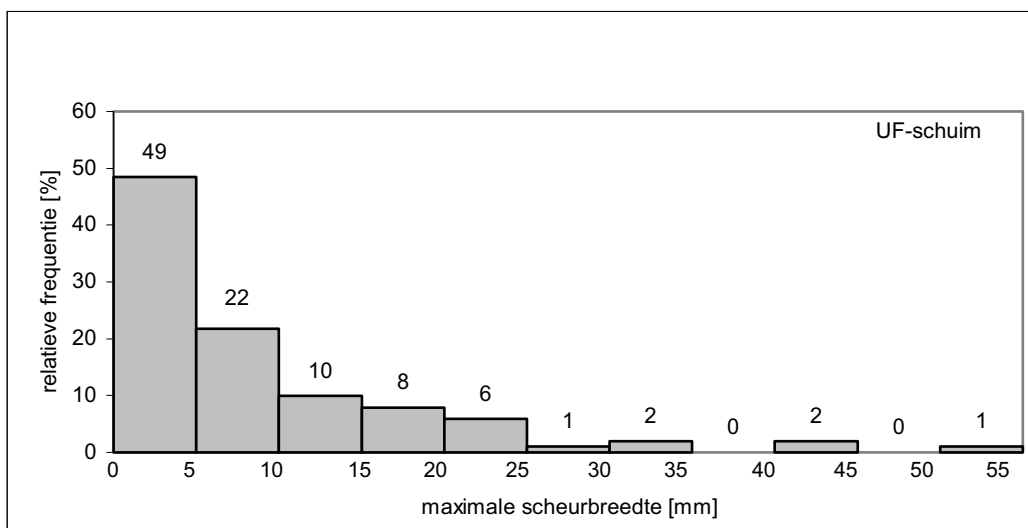
#### 5.2.2.3.3. UF-schuim

##### - Krimpscheuren

Ten gevolge van de krimp van het UF-schuim ontstaan (soms brede) dwarsscheuren. In 11 % van de gevallen waren na het plaatselijk openbreken van het buitenspouwblad geen scheuren waar te nemen.

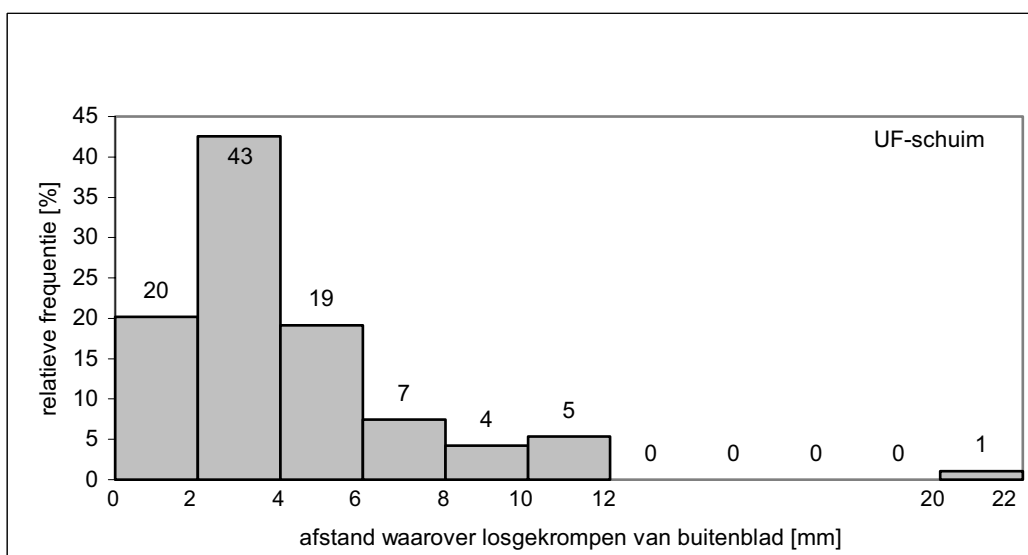
Onderstaande figuur geeft het de frequentieverdeling weer van de *maximale* scheurbreedte zoals waargenomen bij opening van de spouwmuur.

<sup>43</sup> Volgens visuele beoordeling van BKS-inspecteur.



Spreidingsdiagram maximale scheurbreedte

Ten gevolge van krimp komt het schuim ook los van het binnen- en/of buitenspouwblad. Bij het openen van de spouw was het enkel mogelijk om de afstand tussen het UF-schuim en het buitenblad te meten. Het spreidingsdiagram van de meetresultaten ziet men hieronder.



Spreidingsdiagram van loskrimpafstand

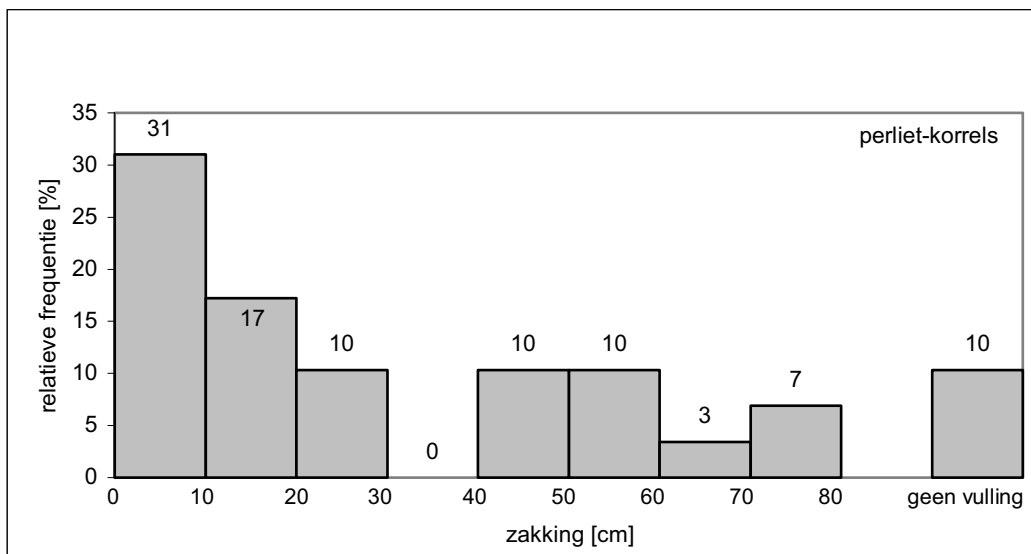
Slechts in 3 % van de gevallen bleek het UF-schuim niet losgekomen van het buitenspouwblad. Dit lage percentage is volgens ons ten dele te verklaren door het feit dat woningen waar regendoorslag optreedt uitgesloten werden van het praktijkonderzoek. Wanneer het capillaire UF-schuim contact maakt met het buitenspouwblad zal regendoorslag veel gemakkelijker optreden.

#### - Formaldehydegeur

In 12,8% van de gevallen was er sprake van geurhinder van tijdelijke duur (van enkele dagen tot 6 weken) en in één geval (van de 91 ondervraagde bewoners) duurde de overlast meer dan een jaar. In tegenstelling tot wat sommige auteurs [22] hieruit concluderen lijkt ons dit een bijzonder hoog percentage, gezien het feit dat woningen met geuroverlast ten gevolge van formaldehydeafgifte uit het onderzoek waren uitgesloten!

### 5.2.2.3.3. Perliet-korrels

Bij met perliet gevulde spouwen ontbreekt veelal materiaal aan de bovenzijde van de spouw, hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door zakking en/of windzuiging.



Spreidingsdiagram van zakking van spouwvulling met perliet-korrels

Slechts in 31 % van de gevallen<sup>44</sup> was er bovenaan de spouw geen zakking vast te stellen. In alle andere gevallen was er wel een zakking en deze was steeds groter dan 10 cm. In 3 van de 29 onderzochte spouwen was er bovenaan de spouw zelfs helemaal geen isolatiemateriaal te bespeuren!

Bij 3 van de 11 onderzochte woningen waren de spouwen al 'bijgevoerd' en dit in minder dan 5 jaar na de eerste vulling. Zakkingen van isolatiemateriaal bij vulling met perlietkorrels zijn dus zeker ernstig te nemen!

Over een toenemende zakking in de tijd kunnen we geen uitspraak doen, alle onderzochte woningen waren in hetzelfde jaar geïsoleerd, nl. 1975.

<sup>44</sup> Waarbij de inspecteurs de bovenzijde van de spouw konden inspecteren, in aantal gevallen bleek dit niet mogelijk.

### 5.2.3. 1983-1985: IBBC-TNO

In de periode 1983–1985 werd aan het IBBC-TNO door het Nederlandse ministerie van huisvesting de opdracht gegeven om een onderzoek te verrichten op nageïsoleerde spouwmuren met als doel na te gaan wat de gemiddelde effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt van de diverse toegepaste vulmaterialen *in praktijk* is.

Door het BKS werden lukraak 528 na-geïsoleerde woningen geselecteerd waarvan de bewoners werden gecontacteerd.

Voor elk van de vijf meest toegepaste vulmaterialen werden bij 25 woningen één enkele hot-boxmeting verricht en werd met behulp van IR-thermografie nagegaan of er thermische verstoringen in de muur aanwezig waren. Aan de hand van de thermografische opnames werd nagegaan welke plaats het meest geschikt<sup>45</sup> was voor de hot-boxmeting. Het meetoppervlak van de gebruikte hot-box bedroeg slechts 72 x 72 cm. Ter plaatse van dit meetvlak werd op een vijftal plaatsen de spouwbreedte bepaald<sup>46</sup>, waaruit de gemiddelde spouwbreedte werd berekend.

Met behulp van de hot-box werd de warmteweerstand van de muur bepaald, waaruit men aan de hand van in de literatuur opgegeven warmteweerstanden voor binnen- en buitenblad<sup>47</sup>, de warmteweerstand van de spouvvulling  $R_{spouw}$  kon afleiden.

$$R = R_{binnen} + R_{spouw} + R_{buiten}$$

Door de gemiddelde spouwbreedte  $d$  ter plaatse van het meetvlak te delen door de berekende warmteweerstand van de spouvvulling  $R_{spouw}$  bekam men dan effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt van het spouvvulmateriaal  $\lambda_{eff}$ .

$$\lambda_{eff} = \frac{d}{R_{spouw}}$$

Gedurende de acht dagen durende hot-boxmeting werd de regenval en de gemiddelde windsnelheid bepaald. Ook in de week voorafgaand aan de meetperiode werd de neerslaghoeveelheid gemeten. Na twee jaar onderzoek beschikte men over een schat aan informatie waaruit men de gemiddelde  $\lambda_{eff}$ -waarde per materiaal afleidde en deze vergeleek met waarden gemeten in het laboratorium bij muren van 2 x 2 m, zoals aangegeven in onderstaande tabel.

materiaal	$\lambda_{eff}$ [W/(m.K)]		
	praktijk gemiddeld	droog	laboratorium 1 week na berekening
glaswol	0,062	0,045	0,045
steenwol	0,064	0,047	0,046 (?)
PS-parels	0,059	0,044	0,044
PUR-schuim	0,053	0,044	0,044
UF-schuim	0,084	0,050	0,054

Effectieve  $\lambda$ -waarden

Het blijkt dat de in de praktijk gemeten waarden over de hele linie hoger liggen dan de laboratoriumwaarden.

Door het Instituut TNO voor Wiskunde Informatieverwerking en Statistiek (IWIS) werd een statistisch onderzoek uitgevoerd naar mogelijke relaties tussen de gemeten  $\lambda_{eff}$ -waarde en de volgende invloedsfactoren:

- gemiddelde windsnelheid gedurende de meetperiode
- regenval in week voor de meetperiode
- regenval gedurende meetperiode
- spouwbreedte
- leeftijd vulmateriaal

<sup>45</sup> Hoewel niet aangegeven, gaan we er van uit dat 'geschikt' betekent dat er geen thermische verstoring op de meetplaats mag voorkomen.

<sup>46</sup> Hoewel niet aangegeven, vermoeden we dat dit door boringen in het buitenspouwblad gebeurde.

<sup>47</sup> Aard van het binnenblad werd afgeleid uit bouwplannen, endoscopisch onderzoek of door boren van gaten.

- oriëntatie gevel

Er werden geen significante relaties vastgesteld.

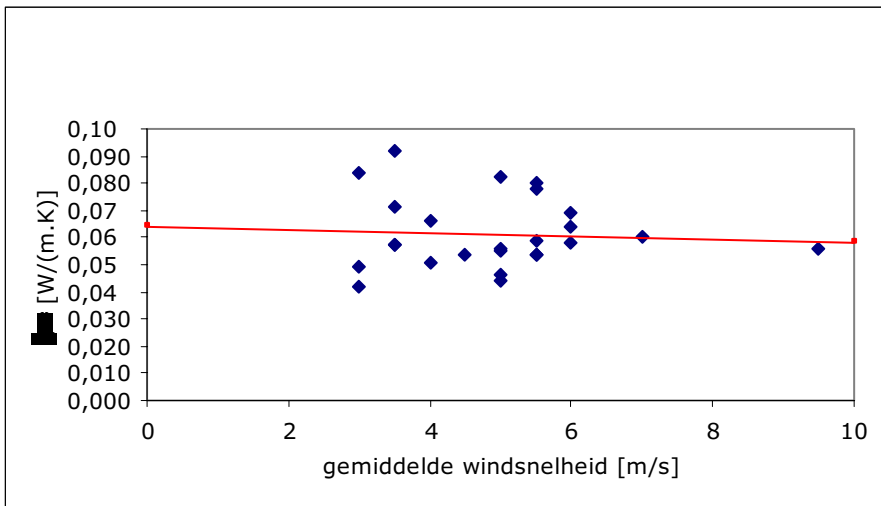
De onderzoekers reiken geen verklaring aan voor het feit dat de waarden in de praktijk véél hoger zijn dan de in het laboratorium gemeten waarden, gezien dit "buiten de strekking van het onderzoek valt".

In de volgende paragrafen zijn we voor elk van bovengenoemde invloedsfactoren zelf eens nagegaan of er inderdaad geen enkel verband te bespeuren is met de gemeten  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden.

Hiertoe hebben we telkens het spreidingdiagram opgesteld en indien zinvol met behulp van de theorie van de lineaire regressie de 'best passende rechte' getekend.

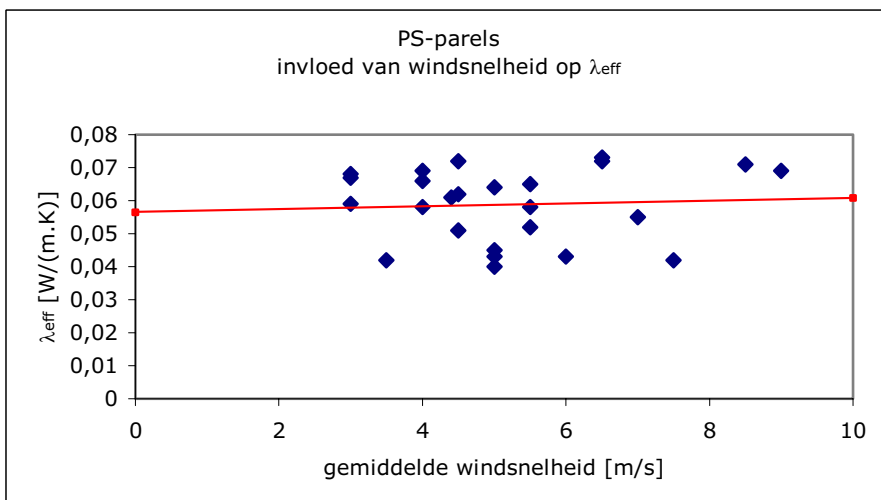
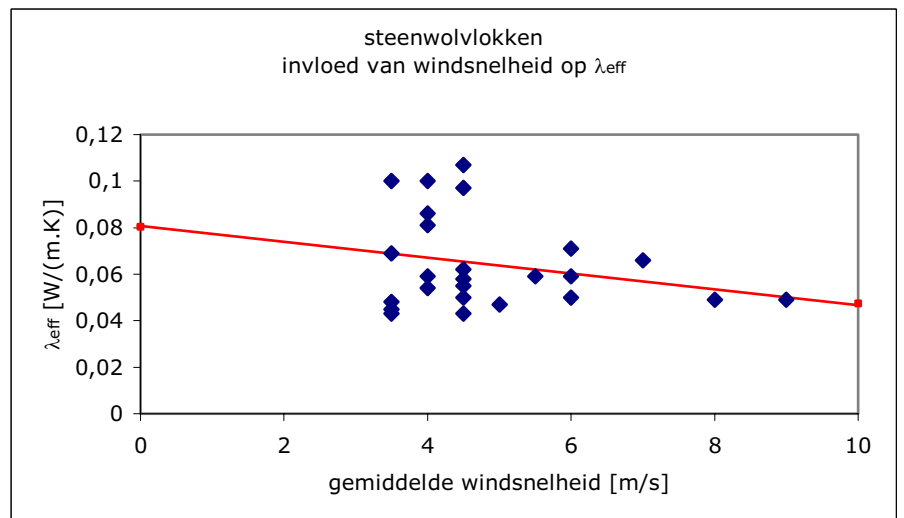
We klassificeren de gemeten  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden en proberen te verklaren waarom deze groter zijn dan de laboratoriumwaarden.

### 5.2.3.1. Invloed van windsnelheid op $\lambda$ -waarde

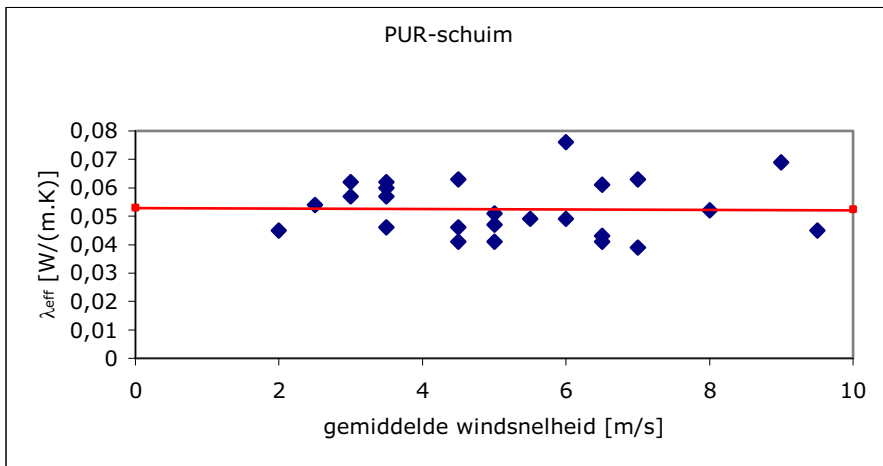


De lineaire regressielijn is lichtjes dalend! Ook wanneer men het meetpunt dat zich uiterst rechts in het spreidingsdiagram bevindt buiten beschouwing zou laten is het niet mogelijk om door de compacte, centraal gelegen 'wolk' van meetpunten een betekenis-volle best passende rechte te tekenen.

Ook bij steenwolvlaken is de best passen rechte dalend, hetgeen onmogelijk is. Op basis van dit spreidingsdiagram kunnen we geen besluiten trekken.

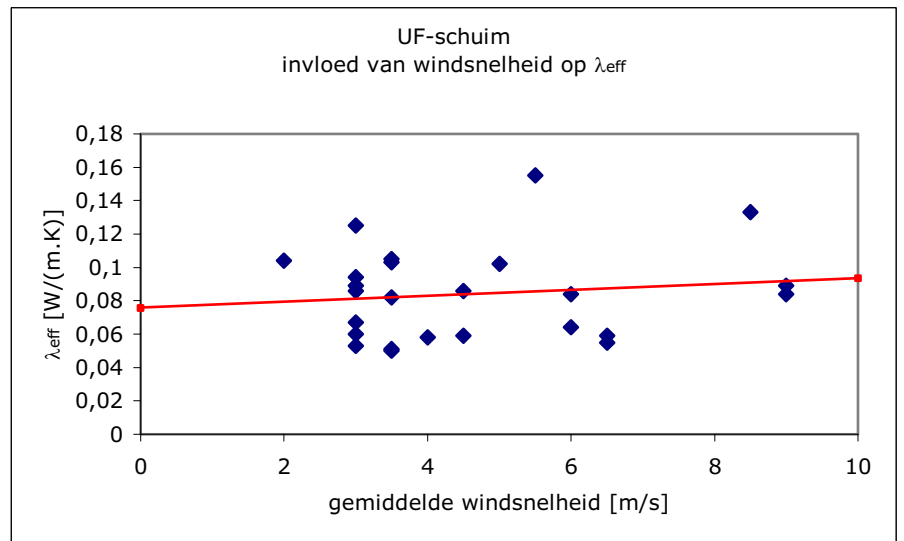


Hier zijn de meetpunten iets beter uitgespreid. Bij PS-parels is de regressierechte licht stijgend, hetgeen zou betekenen dat de wind de  $\lambda$ -waarde licht doet toenemen.

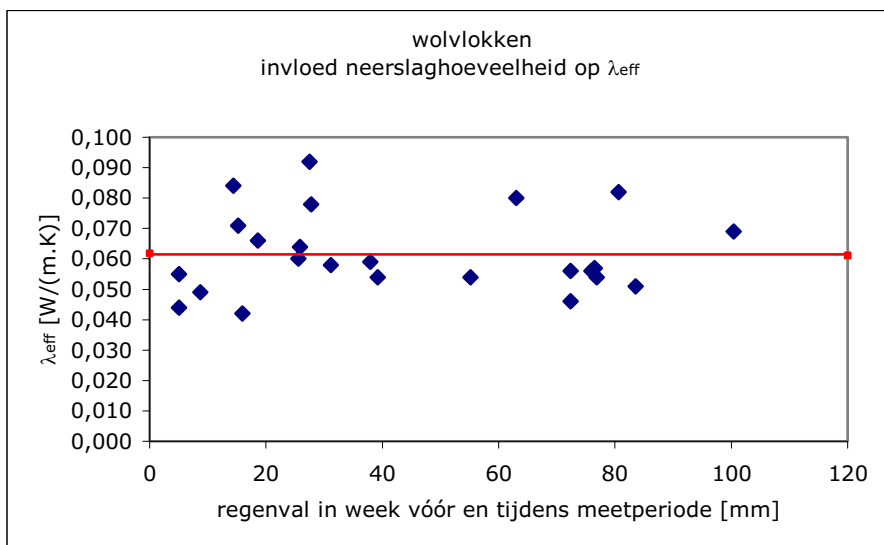


De meetpunten zijn mooi uitgespreid en dit spreidingsdiagram stelt ons dus wel in staat een conclusie te trekken. De wind heeft geen invloed op de  $\lambda$ -waarde van PUR-schuim.

In geval van UF-schuim lijkt het er op dat de wind een negatieve invloed heeft op de  $\lambda$ -waarde.

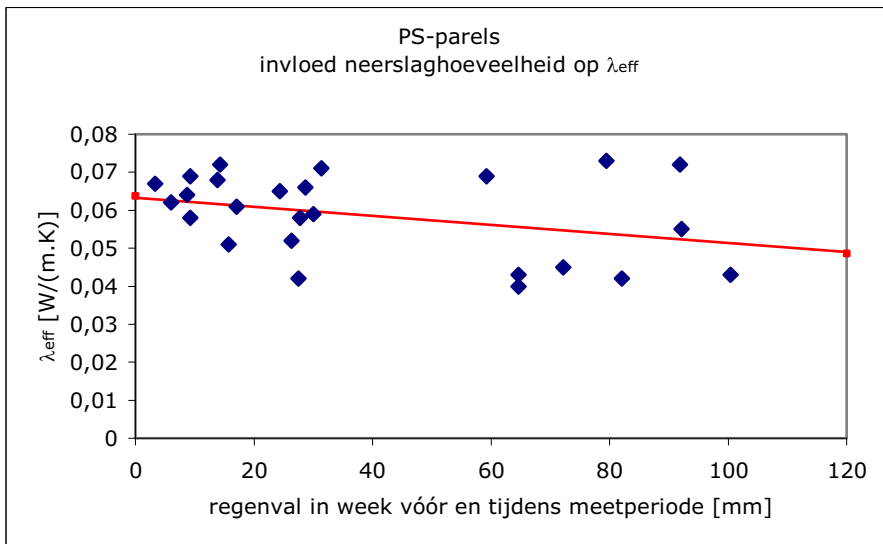
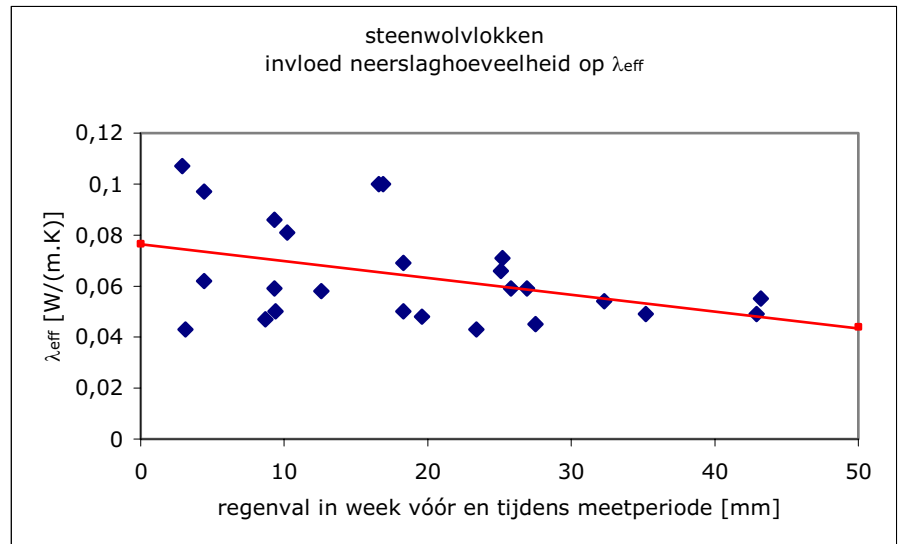


### 5.2.3.2. Invloed van neerslaghoeveelheid op $\lambda$ -waarde



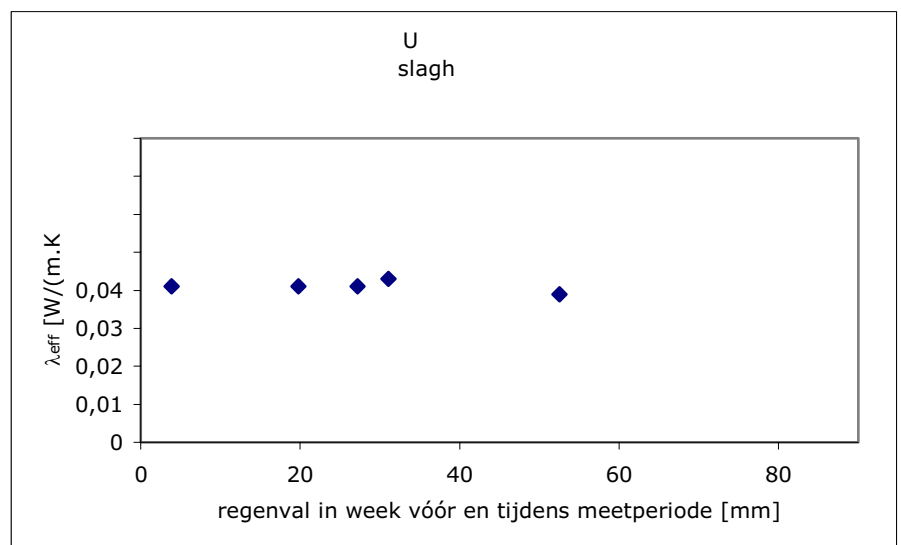
De best passende rechte door de goed uitgespreide wolk van meetpunten is horizontaal. We kunnen besluiten dat de neerslag gedurende en in de week vóór de meting nauwelijks invloed heeft op de  $\lambda$ -waarde van glaswol.

De regenval is nogal aan de lage kant.  
 De regressielijn is sterk dalend, hetgeen volstrekt onmogelijk is. We nemen zeker geen stijgende trend waar. Daarom besluiten we dat ook in het geval van steenwol het er op lijkt dat de (matige) regenval geen invloed heeft op de  $\lambda$ -waarde.

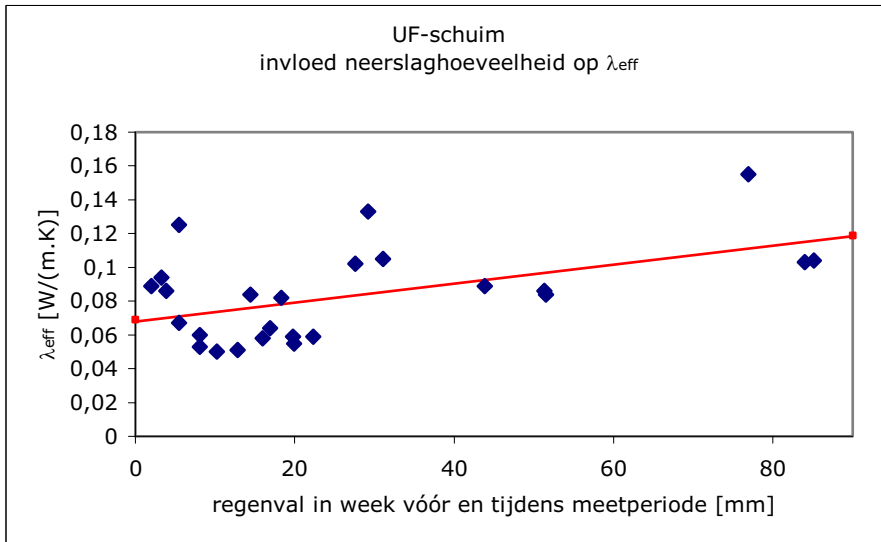


Regressielijn is vreemd genoeg dalend, meetpunten zijn goed gespreid en vertonen zeker geen stijgende trend. We concluderen dat matige regenval geen invloed heeft op  $\lambda$ -waarde van PS-parels.

Regen heeft geen invloed op gemeten  $\lambda$ -waarde van PUR-schuim.







De regressielijn is sterk stijgend. De gemeten  $\lambda$ -waarde van UF-schuim lijkt sterk te stijgen bij regenval.

### 5.2.3.3. Invloed van spouwbreedte op $\lambda$ -waarde

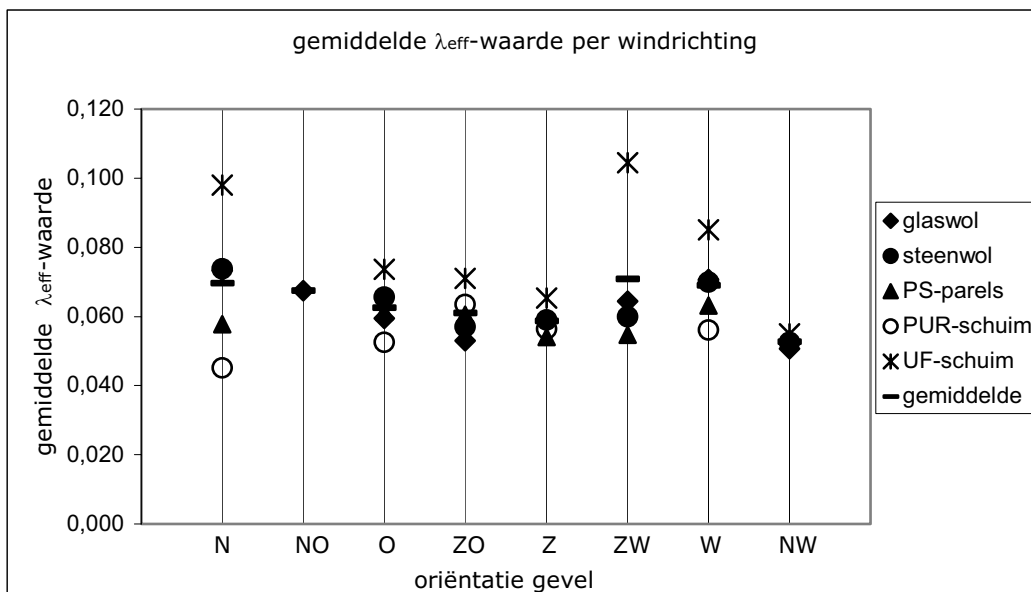
Er is geen enkel verband tussen de spouwbreedte en de gemeten  $\lambda_{eff}$ -waarden.

### 5.2.3.4. Invloed van leeftijd vulmateriaal op $\lambda$ -waarde

Er is geen relatie vast te stellen tussen de leeftijd van het vulmateriaal en de gemeten  $\lambda_{eff}$ -waarden. Gezien de leeftijd van het vulmateriaal bij de onderzochte woningen relatief klein is (max. 5 jaar) is het niet uitgesloten dat een dergelijke relatie voor sommige materialen wel degelijk bestaat.

### 5.2.3.5. Invloed van geveloriëntatie op $\lambda$ -waarde

Elke punt op onderstaande grafiek komt overeen met het gemiddelde van twee of meer<sup>48</sup> metingen per materiaal.

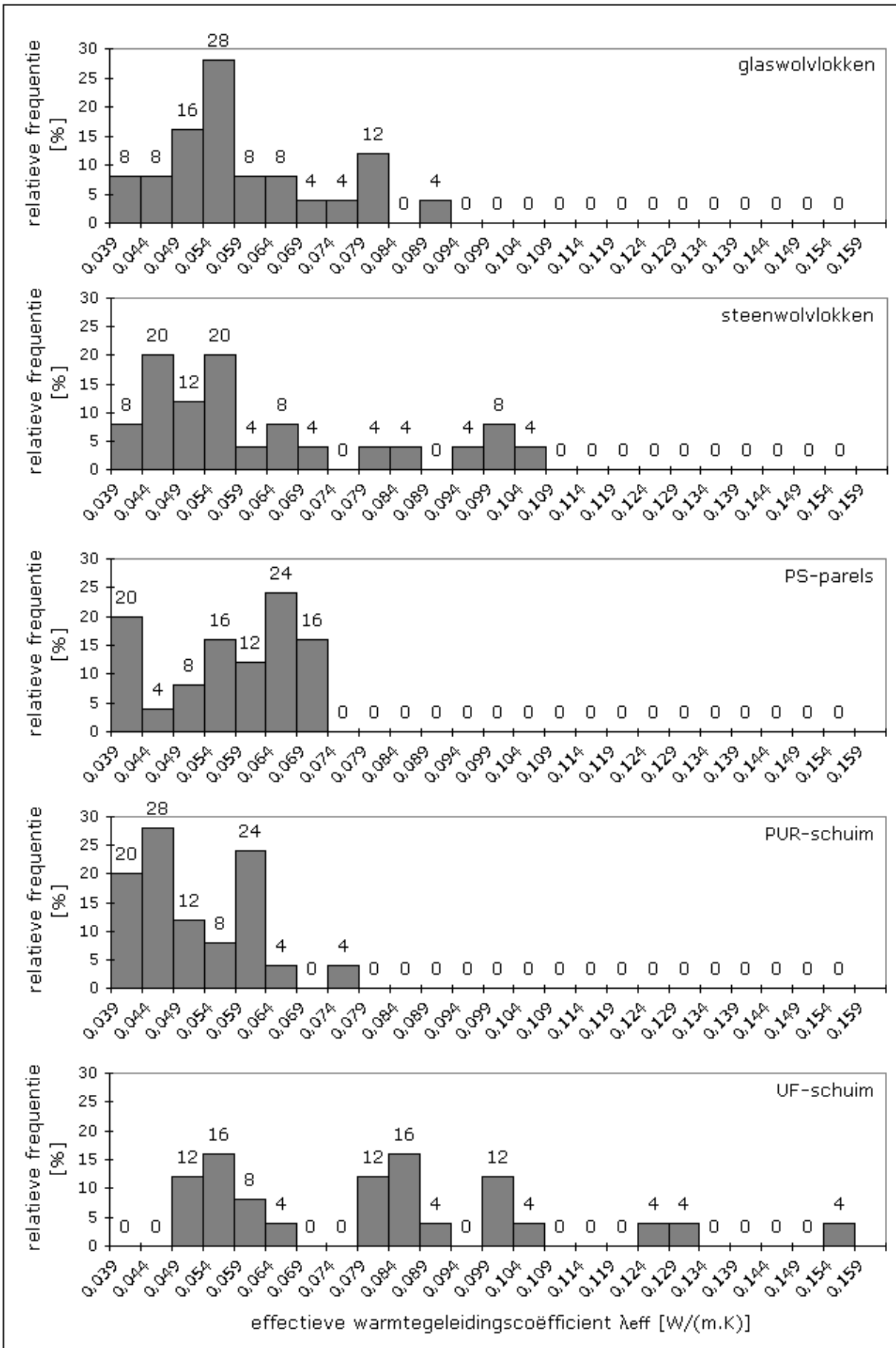


<sup>48</sup> Om te vermijden dat beeld vertekend wordt door één enkele meting.

Bij UF-schuim zijn de  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden duidelijk hoger bij de gevels die blootgesteld worden aan de maximale slagregenbelasting. De  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden van de andere vulmaterialen zijn duidelijk minder afhankelijk van de oriëntatie van de gevel. De  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden van minerale vlokken lijken licht beïnvloed door de geveloriëntatie. PS-parels en PUR-schuim lijken in de praktijk weinig beïnvloed door slagregen-belasting.

#### 5.2.3.6. Statistische classificatie van gemeten $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden

Hierna vindt men de frequentiediagrammen van de gemeten  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden voor elk vulmateriaal apart.



Spreidingsdiagrammen van gemeten  $\lambda_{eff}$ -waarden

Een blik op bovenstaande histogrammen leert ons dat het bij ontwerp niet gerechtvaardigd is om met de in laboratorium gemeten  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden te rekenen.

De veelal gebruikte rekenwaarde van de effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van 0,045 W/(m.K) bij na-vulling met glas- of steenwolvlokken is slechts in 8 % resp. 12 % van de praktijkmetingen gerechtvaardigd. Glas- en steenwol scoren gelijkaardig.

PUR-schuim en PS-parels hebben in laboratoriumomstandigheden dezelfde  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarde van 0,044 W/(m.K). Deze waarde wordt in praktijk slechts in ongeveer 20% van de gevallen gerealiseerd. Wanneer we de frequentiediagrammen van beide materialen vergelijken zien we dat PUR-schuim een grotere garantie geeft op een kleinere  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarde.

UF-schuim is duidelijk het zwakke broertje. De effectieve  $\lambda$ -waarden kunnen in praktijk wel erg hoog oplopen. De in de Nederlandse norm aangereikte  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarde van 0,060 W/(m.K) bij na-isolatie wordt in praktijk slechts in ongeveer 30 % van de gevallen bereikt.

### 5.2.3.7. Conclusies

materiaal	$\lambda_{\text{eff}}$ [W/(m.K)]					
	praktijk				laboratorium	
	gemiddelde	variatiecoëff. [-]	30%-fractiel	90%-fractiel	droog	1 week na berekening
glaswol	0,062	0,213	0,053	0,082	0,045	0,045
steenwol	0,064	0,308	0,050	0,103	0,047	0,046
PS-parels	0,059	0,187	0,053	0,071	0,044	0,044
PUR-schuim	0,053	0,185	0,046	0,064	0,044	0,044
UF-schuim	0,084	0,326	0,060	0,127	0,050	0,054

materiaal	invloed klimaat			conclusie
	windsnelheid	neerslaghoeveelheid	oriëntatie	
glaswol	onbekend	geen	matig	matig
steenwol	onbekend	geen	matig	matig
PS-parels	licht	geen	licht	licht
PUR-schuim	geen	geen	licht	zeer licht
UF-schuim	matig	matig	sterk	matig tot sterk

Het grote verschil tussen de laboratorium- en praktijkwaarden moet volgens ons gezocht worden in het feit dat de laboratoriummuren veel zorgvuldiger worden uitgevoerd en na-geïsoleerd. Ze bevatten geen (grote) speciebaarden, hebben een degelijk voegwerk en vertonen geen scheuren. Door grote speciebaarden vermindert de effectieve spouwbreedte. Als gevolg van slecht voegwerk en scheuren in metselwerk zal veel meer water door het buitenspouwblad dringen. Door een meer nauwgezette na-vulling zullen in de proefmuur geen holtes voorkomen en zal de pakkingsdichtheid groter zijn waardoor het vochtgehalte van het isolatiemateriaal<sup>49</sup> kleiner zal zijn en convectieverschijnselen<sup>50</sup> onmogelijk worden. Ook de oriëntatie van de gevel blijkt belangrijk te zijn en dat is in labo-omstandigheden niet na te bootsen. De oriëntatie van de gevel is immers een 'invloed van het klimaat op lange termijn'. We verklaren ons nader: als gevolg van jarenlange blootstelling aan hevige slagregen, maximale bezonning en de overheersende windrichting zal de zuid-west georiënteerde gevel veel meer micro-scheuren bevatten en zal het isolatiemateriaal een hoger vochtgehalte hebben in de loop van het jaar. Een gevel heeft dus als het ware een 'geheugen' dat in een laboratorium niet is na te bootsen.

### 5.2.3.8. Betrouwbaarheid gemeten $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden

De gemeten  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden vallen wel erg groot uit wanneer men ze vergelijkt met waarden gemeten bij spouwmuren in laboratoria. Men kan zich dan ook de vraag stellen of de bekomen waarden wel betrouwbaar zijn.

<sup>49</sup> Uit het onderzoek beschreven in §5.2.2. blijkt echter dat het vochtgehalte van spouwvullingen in praktijk laag uitvalt. Zoals aangegeven hebben we echter onze bedenkingen bij de betrouwbaarheid van dit onderzoek.

<sup>50</sup> Deze convectieverschijnselen zouden toenemen wanneer het temperatuurverschil binnen-buiten groter wordt. Alle metingen werden verricht tussen november en maart, waarvan het gros in december en maart. We hebben voor elk vulmateriaal de gemiddelde  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarde gemeten in december en maart vergeleken. De  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarde in december bleek niet groter te zijn dan in maart. Het gemiddeld temperatuurverschil tussen december en maart bedroeg op het moment van onderzoek amper 1 °C.

De warmteweerstand werd gemeten met behulp van een kleine hot-box waarvan de buitenafmetingen 30 x 80 x 80 cm bedroegen en met een wanddikte van 8 cm. De temperatuur in de hot-box werd door een computer zo geregeld dat deze steeds gelijk was aan de binnentemperatuur, zodat alle in de hot-box geproduceerde warmte door de spouwmuur werd afgevoerd. Over de gemeten warmteweerstand van de spouwmuur kan volgens ons weinig twijfel bestaan.

Ter plaatse van het kleine meetvlak van de hot-box werd de spouwbreedte op vijf verschillende plaatsen op 1 mm nauwkeurig bepaald. Het gemiddelde van deze vijf waarden werd als rekenwaarde gehanteerd en is volgens ons voldoende representatief voor de echte spouwbreedte (weliswaar zonder de speciebaarden in rekening te brengen).

Dan kan men zich nog de vraag stellen of de Nederlandse onderzoekers wel voldoende lage waarden hebben aangenomen voor de warmteweerstand van binnen- en buitenspouwblad.

Om dit te controleren berekenen we de warmteweerstand van beide spouwbladen van een typisch Nederlandse spouwmuur die we dan gaan vergelijken met de waarden die de onderzoekers hebben aangenomen.

Een Nederlandse spouwmuur bestaat meestal uit een buitenblad uit metselwerk van 100 à 110 mm dik en een binnenblad uit kalkzandsteen van dezelfde dikte. De warmteweerstand van het binnenblad ligt tussen 0,10 en 0,15 m<sup>2</sup>.K/W en die van het buitenblad tussen 0,07 en 0,17 m<sup>2</sup>.K/W [16]. In België heeft het binnenblad meestal een grotere warmteweerstand (zie §3.1.1. waar we de warmteweerstand *lucht op lucht* hebben berekend).

R [m <sup>2</sup> .K/W]	min	gemiddeld	max
buitenblad	0,07	0,12	0,17
binnenblad	0,1	0,13	0,15
pleisterlaag	0,02	0,02	0,02
som	0,19	0,27	0,34

13 % van de aangenomen waarden voor de som van de warmteweerstanden van de spouwbladen blijkt kleiner dan 0,19 m<sup>2</sup>.K/W; 70,4 % is kleiner dan 0,27 m<sup>2</sup>.K/W en 96 % is kleiner dan 0,34 m<sup>2</sup>.K/W.

De meest aangenomen waarde voor de som van de warmteweerstanden van de spouwbladen is 0,20 m<sup>2</sup>.K/W, deze werd in 56,8 % van de gevallen gebruikt.

Het is dus duidelijk dat de bij de berekening van de  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden door de onderzoekers aangenomen waarden voor de warmteweerstand van binnen- en buitenspouwblad voldoende laag zijn.

Volgens ons zijn de  $\lambda_{\text{eff}}$ -waarden die volgen uit dit onderzoek wel degelijk voldoende betrouwbaar.

#### 5.2.3.9. Gesignaleerde thermische bruggen en onvolkomenheden

Met behulp van IR-metingen is nagegaan waar in de gevels thermische storingen voorkwamen. Indien nodig werd door middel van aanvullend endoscopisch onderzoek de aard van de verstoring vastgesteld. In onderstaande tabel is aangegeven welk deel van het totale geveleppervlak van de 125 woningen verstoord was en wat de aard van de verstoring was.

aard van verstoring	verstoord oppervlak [%]
geen spouw (bv. ter plaatse van latei)	<b>2,4</b>
spouw verontreinigd door bouwuil	0,2
ongevuld	0,3
overige	0,1
totaal	3,0

Het blijkt dat 0,3 % van het geveleppervlak, verdeeld over 24 woningen, ongevuld was ten gevolge van uitvoeringsfouten, zoals het niet aanpassen van het vulgatenpatroon aan de spouwbreedte of het overslaan van vulgaten.

Bij 8 van de 24 woningen oordeelde het BKS dat de ongevulde spouwen moesten worden nagevuld en dit minstens 2 jaar na de uitvoering van de isolatiewerken.

## 6. Gevalstudies

### 6.1. Spouwvulling met glaswol

De spouwmuurvulling met glaswol werd opgevolgd van een vrijstaand huis gelegen te Stabroek, daterend uit 1972. In juni 2004 werd het huis aangekocht door de heer en mevrouw Huijgens en beslisten zij hun huis grondig te isoleren. Omdat ze goede ervaringen hadden met na-isoleren van hun woning in Nederland werd eind november 2004 overgegaan tot de vulling van de spouwmuren door een gespecialiseerde Nederlandse firma. De uitvoeringswerken werden bijgewoond door ir.-arch. Pieter De Leeuw.



Voor- en achtergevel van woning te Stabroek

Ruim 14 maanden later, in maart 2006, bezochten we de woning opnieuw om inzage te krijgen in stookolie-facturen, het maken van thermografische opnames om na te gaan of er thermische verstoringen in de spouwmuur aanwezig zijn en de vorstschade op te meten.

#### 6.1.1. Vorstschade

Opmerkelijk aan deze woning is dat deze aan de noordwest (achtergevel) en zuidwest georiënteerde gevels vorstschade vertoonde vóór men overging op de spouwmuurvulling. Volgens de Nederlandse uitvoeringsregels zou deze woning dus niet in aanmerking zijn gekomen tot na-vulling.

Aan de hand van foto's konden we de vorstschade vóór en na de spouwmuurisolatie vergelijken.



Foto's van vorstschade aan achtergevel:



30/11/2004 [37]



10/3/2006

Nauwkeurige vergelijking van de twee foto's leert ons dat de vorstschade niet in het minste is verergerd.

Foto's van de zuidwestgevel:



30/11/2004 [37]

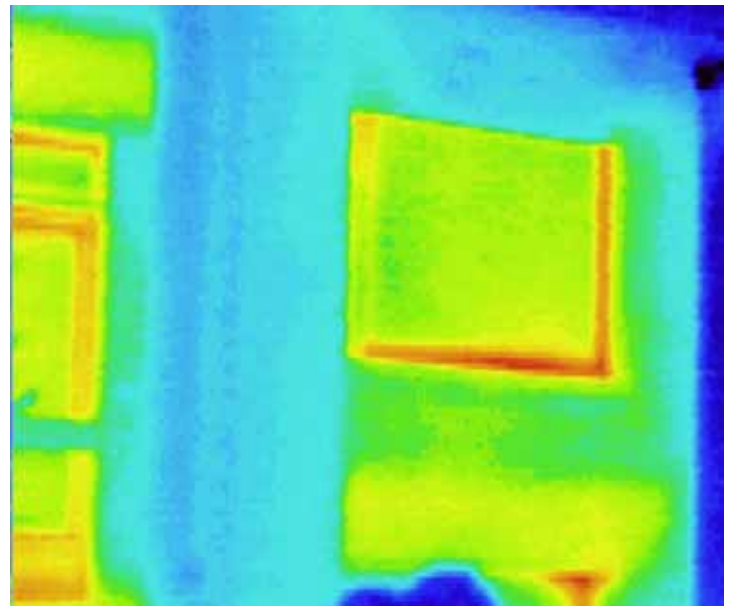


10/3/2006

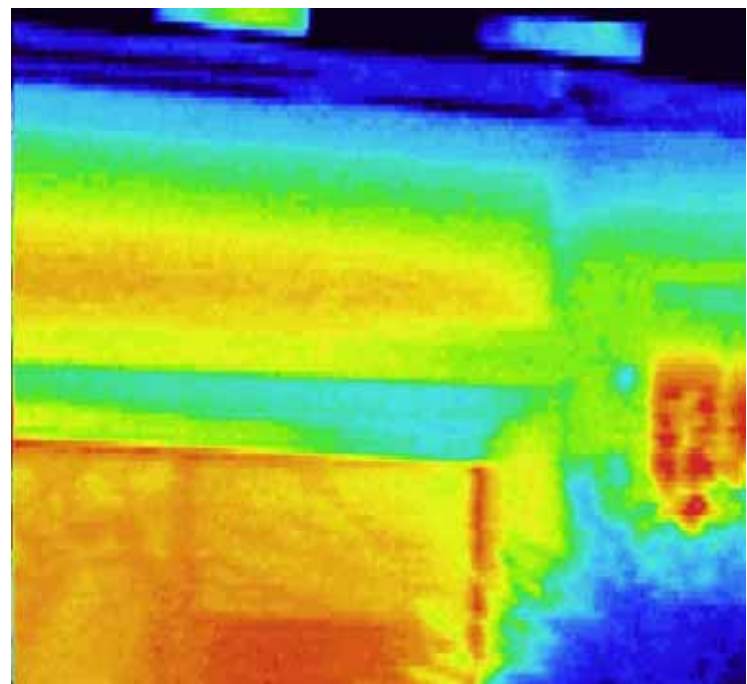
Ook hier nergens een toename van de vorstschade.

## 6.1.2. Thermische verstoringen

Voorgevel:

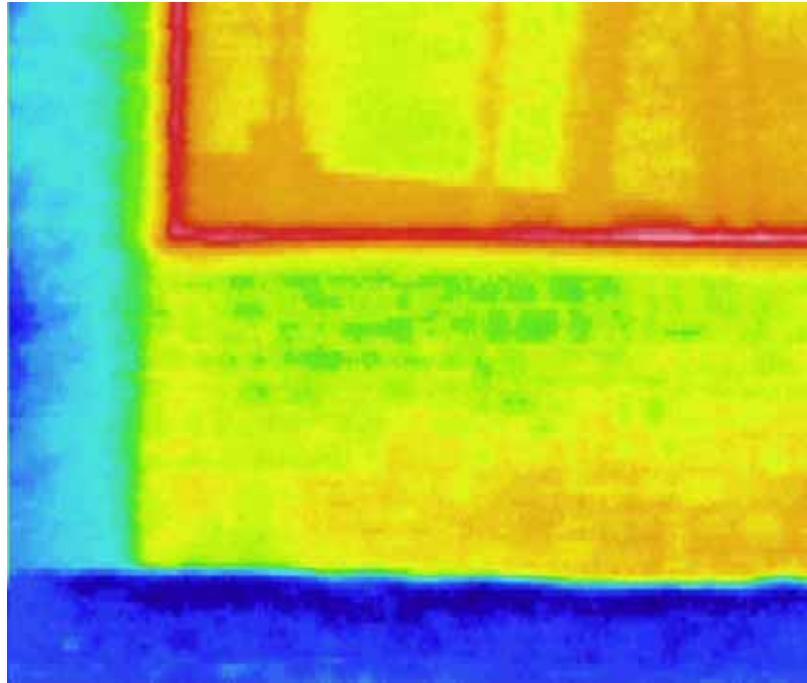


Het was blijkbaar niet mogelijk om de spouw onder het raam en boven de garagepoort naar behoren te vullen. De latei boven de voordeur raakt het voorspouwblad.



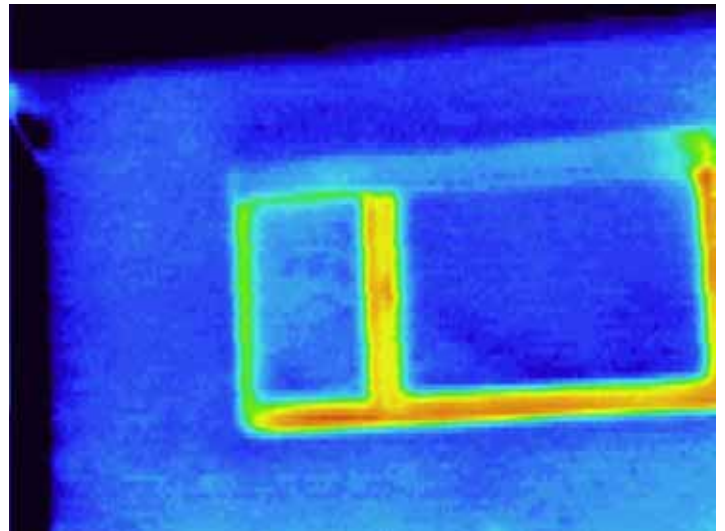
De latei boven het grote raam raakt het voorspouwblad en er is dus geen spouw aanwezig.





Achter de muur in natuursteen zit geen spouw. Juist onder het raam heeft de eigenaar aan de binnenkant een plaat polystyreenschuim aangebracht die reikt tot op de vloer (ongeveer 30 cm onder vensterbank). Ten gevolge van deze isolatieplaat daalt de buitenoppervlaktetemperatuur van 10 tot 8,5 °C.

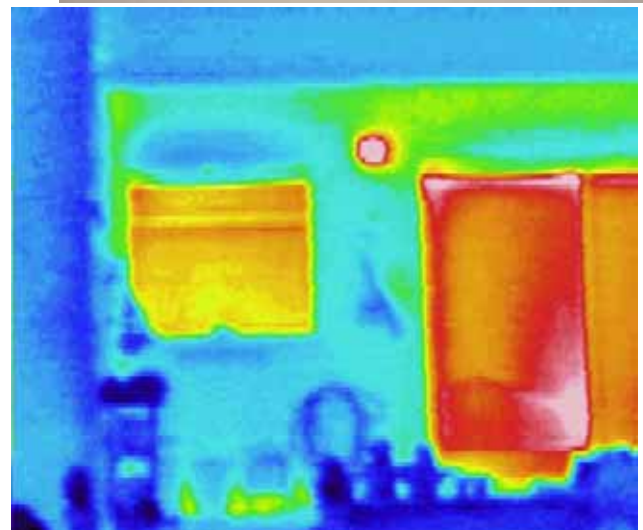
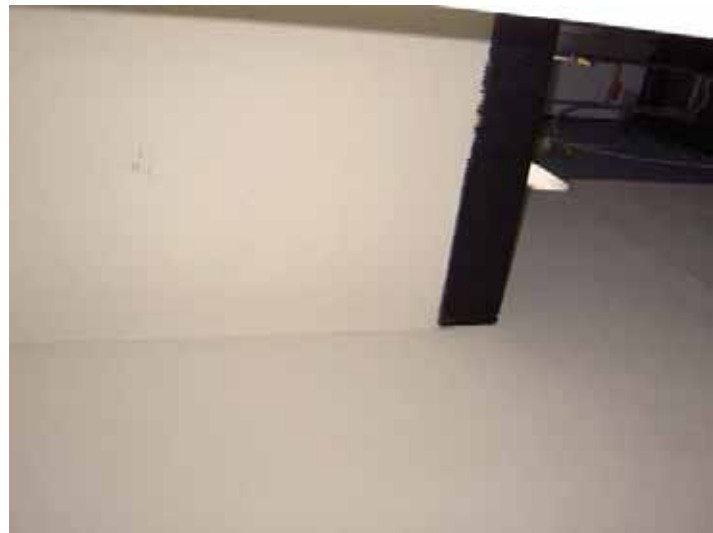
*Achtergevel:*



Perfekte vulling. Latei boven raam raakt voorspouwblad niet.

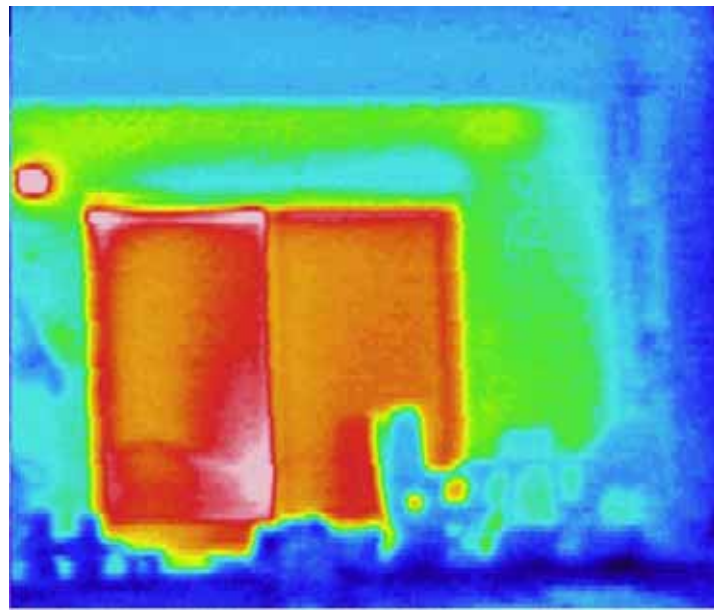


We zien een plek midden in de muur waar de buitenoppervlaktetemperatuur 1 °C hoger is. Verklaring is een balk die een vloer ondersteunt en die iets te ver doorsteekt waardoor de spouw plaatselijk wordt versmald of het buitenblad raakt. Nevenstaande figuur toont plaats waar de bewuste balk zich boven traphal bevindt.



De ronde plek tussen de twee ramen is een verluchttingsopening. Links van het kleine raam, in de hoek, is de buitenoppervlaktetemperatuur ongeveer 1 °C hoger. Er is daar waarschijnlijk geen spouw aanwezig.

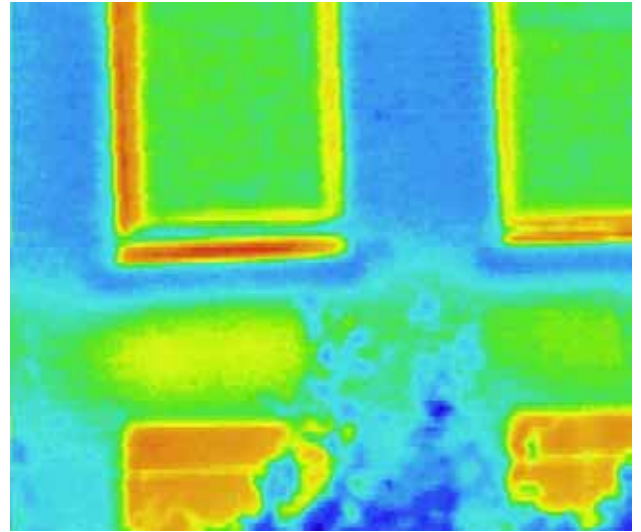




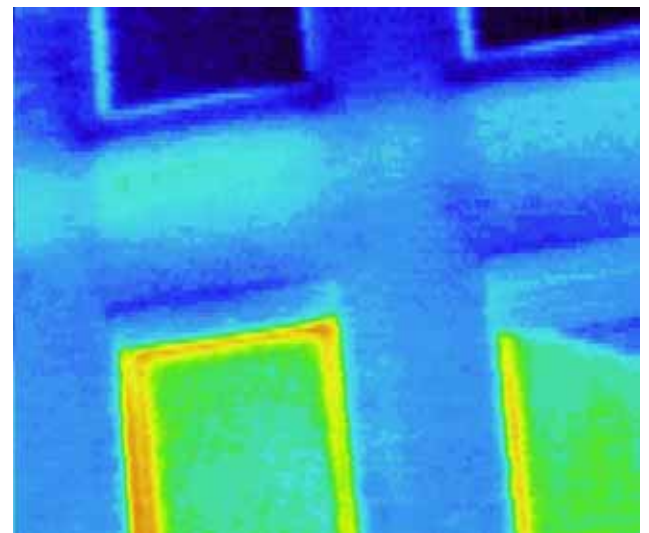
Hier raakt de latei het voorspouwblad duidelijk wel. Onder de latei, waar de rolluikkast zich bevindt, is de buitenoppervlaktetemperatuur iets lager. De latei vormt een duidelijke koudebrug en doet de buitenoppervlaktetemperatuur met 1,5 °C stijgen. Dat ook de buitenoppervlaktetemperatuur rechts naast het raam zo hoog oploopt is erg vreemd. Ons inziens is er geen constructieve reden waarom hier geen spouw zou bestaan. Heeft men dit gedeelte vergeten te vullen? Zoals op nevenstaande foto is te zien heeft men destijds op deze plaats in ieder geval wel vulgaten geboord.

(foto: [37])

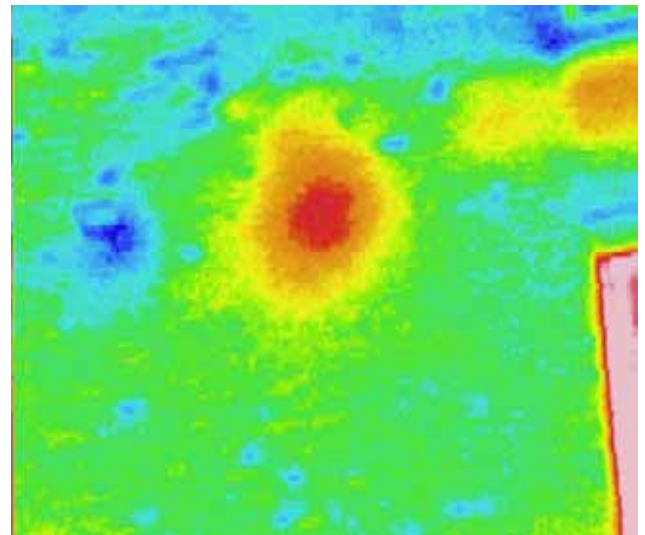
Zuidwestgevel:



Boven de kelderramen is er blijkbaar geen spouw. De koudere gedeeltes onder de ramen zijn de vensterbanken. Het smalle gevelstuk tussen de twee ramen bovenaan de foto's is goed gevuld.



Onder de bovenste ramen stijgt buitenoppervlaktetemperatuur tot 8,3 °C, terwijl deze temperatuur elders ongeveer 7 °C is. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de zoldervloer die plaatselijke te dicht of zelfs tegen het buitenspouwblad komt. De balk die deze vloer draagt raakt het buitenblad zoals we op onderstaande thermografische opname kunnen zien.



Rechts naast de balk raakt een steunbalk het voorspouwblad. Hierdoor verhoogt de buitenoppervlakte-temperatuur plaatselijk met 2 °C.

*Noordoostgevel:*

Van de noordoostgevel konden geen infra-roodfoto's worden genomen.

## 6.1.3. Verlaging gemiddelde U-waarde en energiebesparing

### 6.1.3.1. Eéndimensionaal warmtetransport

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Voorspouwblad	9	volle baksteen	0,900	<b>1,27</b>	9	volle baksteen	0,900	<b>0,55</b>
Spouw	5	geventileerde lucht	0,579		5	min. wol vlokken	0,045	
Binnenspouwblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,350		1,5	gips	0,350	

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Buitenblad	14	harde kalksteen	2,680	<b>1,49</b>	14	harde kalksteen	2,680	<b>0,67</b>
Binnenblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,350		1,5	gips	0,350	
Binnenisolatie	0	-	-		4	kunststofschuim	0,040	

Dak:

Dak zelf is niet geïsoleerd, maar zoldervloer wel.

U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	<b>2,5</b>
---------------------------	------------

(forfaitaire waarde, relatief hoog)

Vloer:

We veronderstellen dat kelders niet verwarmd zijn.  
In realiteit waren de kelders wel (gedeeltelijk) verwarmd.

U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	<b>1,5</b>
---------------------------	------------

Ramen:

Beglazing	Dikte [mm]	Samenstelling [mm]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Enkel glas	4 à 6	-	5,7
Dubbel blank glas	20	4-12-4	<b>2,84</b>
HR-glas met edelgas	23	4-15-4	<b>1,18</b>

6.1.3.2. Tweedimensionaal warmtetransport

Lateien:

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]
Voor spouwblad	9	volle baksteen	0,900	<b>0,44</b>	9	volle baksteen	0,900	<b>0,82</b>
Spouw	5	geventileerde lucht	0,534		5	min. wol vlokken	0,045	
Latei (35 cm hoog)	19	gewapend beton	2,200		19	gewapend beton	2,200	
Binnenspouwblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,35		1,5	gips	0,35	

Ramen:

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]
Voor spouwblad	14	volle baksteen	0,900	<b>0,00</b>	14	volle baksteen	0,900	<b>0,08</b>
Spouw	5	geventileerde lucht	0,534		5	min. wol vlokken	0,045	
Binnenspouwblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,35		1,5	gips	0,35	
Schrijnwerk	10	hout	0,160		10	hout	0,160	

Vensterbank:

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\psi_e$ [W/(m.K)]
Voor spouwblad	9	volle baksteen	0,900	<b>0,20</b>	9	volle baksteen	0,900	<b>0,23</b>
Spouw	5	geventileerde lucht	0,534		5	min. wol vlokken	0,045	
Binnenspouwblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,35		1,5	gips	0,35	
Schrijnwerk	10	hout	0,160		10	hout	0,160	
Vensterbak buiten	6	steen	3,500	6	steen	3,500		
Vensterbak binnen	2	steen	2,000	2	steen	2,000		

### 6.1.3.3. Driedimensionaal warmtetransport

Balkkoppen:

	VOOR ISOLATIE SPOUW			NA ISOLATIE SPOUW				
	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\chi$ [W/K]	Dikte [cm]	Materiaal	$\lambda$ [W/(m.K)]	$\chi$ [W/K]
Voorspouwblad	9	volle baksteen	0,900	<b>0,048</b>	9	volle baksteen	0,900	<b>0,098</b>
Spouw	5	geventileerde lucht	0,534		5	min. wol vlokken	0,045	
Binnenspouwblad	14	geperforeerde baksteen	0,430		14	geperforeerde baksteen	0,430	
Binnenpleister	1,5	gips	0,35		1,5	gips	0,35	
Schrijnwerk	10	hout	0,160		10	hout	0,160	
Balkkop (20 cm x 20 cm)	19	gewapend beton	2,200		19	gewapend beton	2,200	



#### 6.1.3.4. Gemiddelde U-waarde van gevels

Voorgevel:

Geveloppervlakte [m<sup>2</sup>] = 56,00

Glasoppervlakte [m<sup>2</sup>] = 19,06

		VOOR ISOLATIE SPOUW		NA ISOLATIE SPOUW	
<b>Eédimensionaal</b>	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]
Spouwmuur	28,90	1,27	36,70	0,55	15,895
Volle wand	8,04	1,49	11,98	0,67	5,3868
Ramen dubbel glas	8,80	2,84	24,99	2,84	24,992
Ramen HR-glas	10,26	1,18	12,11	1,18	12,1068
<b>Tweedimensionaal</b>	L [m]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]
Lateien	10,10	0,44	4,44	0,82	8,282
Ramen	11,60	0,00	0,00	0,08	0,928
Vensterbank	10,10	0,20	2,02	0,23	2,323
<b>Driedimensionaal</b>	#	χ [W/K]	# * χ [W/K]	χ [W/K]	# * χ [W/K]
Balkoppen	0	0,05	0,00	0,098	0

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,65	<b>1,25</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	2,92	2,53

Achtergevel:

Geveloppervlakte [m<sup>2</sup>] = 56,00

Glasoppervlakte [m<sup>2</sup>] = 13,56

		VOOR ISOLATIE SPOUW		NA ISOLATIE SPOUW	
<b>Eédimensionaal</b>	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]
Spouwmuur	42,44	1,27	53,90	0,55	23,342
Volle wand	0	1,49	0,00	0,67	0
Ramen dubbel glas	9,21	2,84	26,16	2,84	26,1564
Ramen HR-glas	4,35	1,18	5,13	1,18	5,133
<b>Tweedimensionaal</b>	L [m]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]
Lateien	7,30	0,44	3,21	0,82	5,986
Ramen	9,60	0,00	0,00	0,08	0,768
Vensterbank	7,30	0,20	1,46	0,23	1,679
<b>Driedimensionaal</b>	#	χ [W/K]	# * χ [W/K]	χ [W/K]	# * χ [W/K]
Balkoppen	1	0,05	0,05	0,098	0,098

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,61	<b>1,13</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	2,43	1,95

Zuidwestgevel:

Geveloppervlakte [m<sup>2</sup>] = 44,18

Glasoppervlakte [m<sup>2</sup>] = 5,40

	A [m <sup>2</sup> ]	VOOR ISOLATIE SPOUW		NA ISOLATIE SPOUW	
		U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]
<b>Eédimensionaal</b>					
Spouwmuur	38,78	1,27	49,24	0,55	21,32625
Volle wand	0	1,49	0,00	0,67	0
Ramen dubbel glas	5,40	2,84	15,34	2,84	15,336
Ramen HR-glas	0	1,18	0,00	1,18	0
<b>Tweedimensionaal</b>	L [m]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]
Lateien	2,60	0,44	1,14	0,82	2,132
Ramen	12,00	0,00	0,00	0,08	0,96
Vensterbank	2,60	0,20	0,52	0,23	0,598
<b>Driedimensionaal</b>	#	χ [W/K]	# * χ [W/K]	χ [W/K]	# * χ [W/K]
Balkoppen	1	0,05	0,05	0,098	0,098

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,50	<b>0,92</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,85	1,27

Noordoostgevel:

Geveloppervlakte [m<sup>2</sup>] = 50,75

Glasoppervlakte [m<sup>2</sup>] = 3,58

	A [m <sup>2</sup> ]	VOOR ISOLATIE SPOUW		NA ISOLATIE SPOUW	
		U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]
<b>Eédimensionaal</b>					
Spouwmuur	47,18	1,27	59,91	0,55	25,94625
Volle wand	0	1,49	0,00	0,67	0
Ramen dubbel glas	3,58	2,84	10,15	2,84	10,153
Ramen HR-glas	0	1,18	0,00	1,18	0
<b>Tweedimensionaal</b>	L [m]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]
Lateien	3,90	0,44	1,72	0,82	3,198
Ramen	11,00	0,00	0,00	0,08	0,88
Vensterbank	3,90	0,20	0,78	0,23	0,897
<b>Driedimensionaal</b>	#	χ [W/K]	# * χ [W/K]	χ [W/K]	# * χ [W/K]
Balkoppen	0	0,05	0,00	0,098	0

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,43	<b>0,81</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,63	1,01

### 6.1.3.5. Gemiddelde U-waarde van gebouwschil

Totale geveleppervlakte [m<sup>2</sup>] = 206,93

Oppervlakte dak [m<sup>2</sup>] = 154,00

Vloeroppervlakte [m<sup>2</sup>] = 154,00

Glasoppervlakte [m<sup>2</sup>] = 41,60

Oppervlakte gebouwschil [m<sup>2</sup>] = 556,52

		VOOR ISOLATIE SPOUW		NA ISOLATIE SPOUW	
<b>Eédimensionaal</b>	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	A*U [W/K]
Spouwmuur	157,29	1,27	199,76	0,55	86,5095
Volle wand	8,04	1,49	11,98	0,67	5,3868
Ramen dubbel glas	26,99	2,84	76,64	2,84	76,6374
Ramen HR-glas	14,61	1,18	17,24	1,18	17,2398
Dak	154,00	2,5	385,00	2,5	385,00
Vloer	154,00	1,5	231,00	1,5	231,00
<b>Tweedimensionaal</b>	L [m]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]	ψ [W/(m.K)]	L*ψ [W/K]
Lateien	23,90	0,44	10,52	0,82	19,598
Ramen	44,20	0,00	0,00	0,08	3,536
Vensterbank	23,90	0,20	4,78	0,23	5,497
<b>Driedimensionaal</b>	#	χ [W/K]	# * χ [W/K]	χ [W/K]	# * χ [W/K]
Balkkoppen	2	0,05	0,10	0,098	0,196

Als U<sub>dak</sub> = 2,5 en U<sub>vloer</sub> = 1,5 W/(m<sup>2</sup>.K)

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,68	<b>1,49</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,94	1,75

Als U<sub>dak</sub> = 1,0 en U<sub>vloer</sub> = 1,5 W/(m<sup>2</sup>.K)

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,27	<b>1,08</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,53	1,33

Als U<sub>dak</sub> = 1,0 en U<sub>vloer</sub> = 0,7 W/(m<sup>2</sup>.K)

	VOOR ISOLATIE SPOUW	NA ISOLATIE SPOUW
U <sub>gem</sub> , dubbel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,05	<b>0,86</b>
U <sub>gem</sub> , enkel glas [W/(m <sup>2</sup> .K)]	1,30	1,11

### 6.1.3.6. Energiebesparing

De vermindering van de jaarlijkse benodigde energiehoeveelheid voor verwarming berekenen we als volgt:

$$\Delta Q = (U_{gem,voor} - U_{gem,na}) \cdot A_{verlies} \cdot G \cdot 24 \cdot 3600$$

Het aandeel van de koudebruggen is gelijk aan:

$$\frac{L \cdot \psi + \chi}{U_{gem,na} \cdot A_{verlies}}$$

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de te bereiken gemiddelde U-waarde en besparing voor (combinaties van) isolatie-ingrepen. In de laatste kolom vindt men het aandeel van de koudebruggen in het warmteverlies. We zien dat dit aandeel in het geval van hier bestudeerde woning beperkt blijft.

isolatie-ingrepen	U <sub>gem,voor</sub>	U <sub>gem,na</sub>	A <sub>verlies</sub>	G	ΔQ	besparing	aandeel koude- bruggen in warmteverlies
	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[W/(m <sup>2</sup> .K)]	[m <sup>2</sup> ]	[°C.dag]	[MJ/jaar]	[%]	[%]
geen	1,94	-	557	-	-	-	1
spouwmuurisolatie	1,94	1,75	557	2200	20226	10	3
dubbele beglazing	1,94	1,68	557	2200	27222	13	2
dakisolatie	1,94	1,53	557	2200	43480	21	2
vloerisolatie	1,94	1,30	557	2200	67810	33	2
spouwmuurisolatie, dubbele beglazing	1,94	1,49	557	2200	47448	<b>23</b>	3
spouwmuurisolatie, dubbele beglazing en dakisolatie	1,94	1,08	557	2200	91082	44	5
spouwmuurisolatie, dubbele beglazing en dak- en vloerisolatie	1,94	0,86	557	2200	114355	56	6
dubbele beglazing -> spouwmuurisolatie en dubbele beglazing	1,68	1,49	557	2200	20226	11	3

Dat spouwmuurisolatie een betrekkelijk kleine energiebesparing als gevolg heeft (slechts 10 %, § 3.1.3. en §5.2.1. geven veel grotere waarden) is waarschijnlijk te verklaren door het feit dat de gevels een relatief klein deel uitmaken van de totale gebouwschil. Als we die bouwdelen gaan isoleren die wel een groot deel van de schil uitmaken zien we dat de energiebesparing sterk toeneemt.

De aangegeven besparingspercentages voor spouwmuurisolatie en vervanging door dubbele beglazing lijken ons dan ook ondergrenzen wanneer men ze zou willen toepassen op andere woningen.

Uit facturen blijkt dat in de periode tussen 31/1/2003 en 30/1/2004 de voormalige bewoners 5004 liter stookolie aankochten. Meneer en mevrouw Huijgens kochten de woning aan in juni 2004 en gingen over tot het plaatsen van dubbele beglazing, spouwmuurisolatie (uitgevoerd op 30/11/2004) en isolatie van de zoldervloer. In de periode tussen 28/1/2005 en 30/1/2006 werd 3462 liter stookolie aangekocht. Uit de stookoliefacturen blijkt dus dat er 30 % minder brandstof is aangekocht. Dit is dus 7 % hoger dan het percentage dat we hiervoor hebben berekend. Dit verschil zou eventueel kunnen verklaard worden door het feit dat door de isolatie-ingrepen de binnenoppervlaktetemperaturen zijn gestegen, waardoor de thermostaat iets lager mocht ingesteld worden om toch dezelfde comfort-ervaring te hebben.

Bij het cijfer van de 30 % minder aangekochte hoeveelheid brandstof moeten we natuurlijk wel opmerken dat we hierbij het brandstofverbruik van twee verschillende bewoners vergelijken die waarschijnlijk ook een verschillend stookgedrag vertonen.

De huidige U-waarde van het dak hebben we geschat op 2,5 W/(m.K). De temperatuur van het dak loopt immers op tot ongeveer dezelfde waarde als van de (gewone) dubbele beglazing (nl. tot 11 °C). Op deze manier werd ook de zoldervloerisolatie in rekening gebracht. Het is duidelijk dat het dak in de huidige toestand van de woning de grootste verliespost betekent<sup>51</sup>.

<sup>51</sup> Bij berekening van het besparingspotentieel door vloerisolatie gaan we uit van een niet-geïsoleerde beginsituatie die al te negatief is voor de woning in haar huidige toestand.

We zien dat het effect van de koudebruggen op de warmteverliezen toeneemt naarmate de woning beter geïsoleerd wordt, we blijven echter wel ver onder het maximale percentage van 35 % [33].

De totale geveleppervlakte waar geen spouw aanwezig is kan men schatten door de totale lengte van de lateien in contact met het buitenblad (23,9 m, ruim genomen) te vermenigvuldigen met de hoogte van de lateien (35 cm) en te delen door de totale oppervlakte aan spouwmuren (157,3 m<sup>2</sup>). Hieruit volgt dat ongeveer 5,3 % van de spouwmuur eigenlijk geen spouw bevat. Uit het in §5.2.3.9. beschreven onderzoek blijkt dat in gemiddeld 2,4 % van de spouwmuuroppervlakte in realiteit geen open spouw bevat. Naast lateien zijn er natuurlijk ook vensterbanken, raamdetaïls, ... die koudebruggen vormen.

## 6.2. Schadegeval

Zestien jaar geleden besloot meneer Vanderhaegen de spouwmuren van zijn landelijk gelegen woning te laten na-isoleren met PS-korrels (merknaam: 'Polymur'). De PS-parels werden ingebracht door een firma die vandaag de dag, naar Belgische normen, redelijk wat ervaring heeft opgedaan met na-isoleren van spouwmuren. De woning dateert uit het begin van de jaren dertig en de gevels zijn van het allereerste type spouwmuren. Het dragend buitenspouwblad is een steense muur (22 cm dik) en het binnenspouwblad is halfsteens (6 à 7 cm dik) en opgebouwd uit assesteen<sup>52</sup>. De spouw is onderaan ongeveer 6 cm breed, maar versmalt naar boven toe (buitenblad helt naar binnen). De afvoer van doorgeslagen regenwater werd onderaan verzekerd door teerpapier.



Woonhuis van oude weverij te Otegem



Schimmelvorming onderaan muur

Schimmelvorming bovenaan muur (overschilderd) ->



<sup>52</sup> Op de eerste verdieping werd het binnenblad uit assesteen vervangen door gewone volle bakstenen.



Op het gelijkvloers komen de parels uit de kieren tussen het schrijnwerk van de ramen en de muur. Bij het vervangen van de ramen heeft de eigenaar kunnen vaststellen dat de parels nauwelijks zijn gebonden.

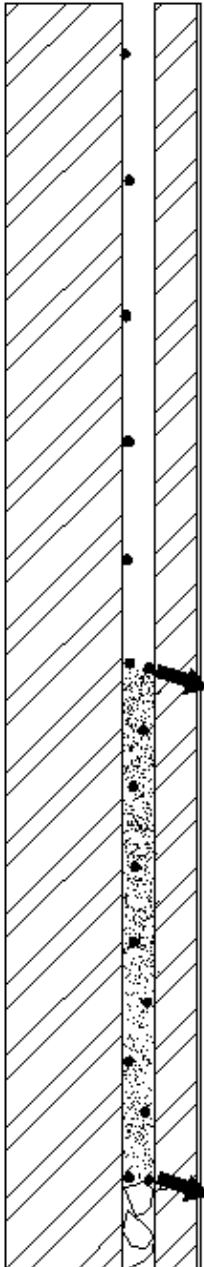
Op de eerste verdieping heeft men de mogelijkheid om in de spouw te kijken en vreemd genoeg is er geen spoor terug te vinden van de PS-parels. Niet één parel, zo diep als men kan kijken! Bij het vervangen van een raam is de eigenaar niet geconfronteerd geweest met PS-parels.

<- Open spouw op 1ste verdieping



Lege spouw ->

Wat juist het verdwijnen van de PS-korrels heeft veroorzaakt is onduidelijk. Het is wel zeker dat de spouw ooit volledig gevuld was tot bovenaan, anders was de bewoner niet al die jaren gespaard gebleven van regendoorslag. Bovendien ontstond na de spouwisolatie toendertijd opeens condensatie op de *dubbele* beglazing, hetgeen zich voordien nooit had voorgedaan. Dit bewijst dat de spouwmuurisolatie goed haar werk deed! In de loop van de 16 jaar zijn de parels dus langzamerhand verdwenen. Een mogelijke oorzaak is het gebruik van een verkeerde lijm die het polystyreen oplost. Men zou dan wel verwachten dat er toch hier en daar een paar korreltjes zijn blijven hangen in de spouw bovenaan en dat is niet het geval. Een andere mogelijke oorzaak is dat er te weinig lijm werd gebruikt bij het aanbrengen en dat de erg lichte PS-parels uit de spouw zijn gelicht door windzuiging langs de open spouw bovenaan. De eigenaar weet echter zeker dat hij nooit sporen in zijn tuin heeft teruggevonden van weggevoegen PS-parels.



Het bovenste gedeelte van de spouw, ter hoogte van de eerste verdieping, werkt als een gewone onge vulde spouw. De doorgeslagen regen druipt er langs de spouwzijde van het buitenspouwblad naar beneden. Op een zekere hoogte (waarschijnlijk ongeveer 2,5 m) komt het regenwater op de spouwvulling terecht en wordt voor een gedeelte naar het binnenblad afgevoerd waar het langs de binnenkant schade veroorzaakt<sup>53</sup>. Gezien de schade onderaan de muur veel groter is dan op 2,5 m hoogte vermoeden we dat het grootste gedeelte van het regenwater dat bovenop de spouwvulling terecht komt gewoon tussen de parels naar beneden sijpelt. De spouwvulling verleent de waterdruppels schijnbaar vrije doorgang. Dit hoeft ons niet te verbazen gezien de eigenaar heeft kunnen vaststellen dat de parels nauwelijks zijn gebonden.

Zoals we hebben gezien in §5.2.2.3.2. is er een direct verband tussen een te kleine hoeveelheid lijm bij aanbrengen en kleine pakkingsdichtheid van de parels. Regen die opgeslorpt wordt door het buitenblad onderaan de muur waar de spouw nog 'gevuld' is zal wel degelijk in de spouw kunnen geraken. Bij een dichtgepakte vulmassa wordt dit normaal gezien quasi verhinderd. Bij korrelvormige materialen waarbij een nauw contact met het buitenspouwblad onmogelijk is zal het doorgeslagen regenwater in het contactvlak tussen buitenblad en vulmateriaal naar beneden sijpelen. Gezien het vulmateriaal niet-capillair is wordt bij het naar beneden sijpelen geen water opgenomen door de isolatie wanneer deze voldoende dichtgepakt is. In dit geval zijn de PS-parels erg los gepakt en zullen de waterdruppels wel tussen de parels kunnen sijpelen.

Gevolg is dus dat onderaan de spouw regenwater terecht komt en dit over de ganse breedte van de spouw, terwijl dit normaal gezien alleen aan de spouwzijde van het buitenblad is. Het regenwater, zowel afkomstig van de onge vulde als de nog 'gevulde' spouw, verzamelt onderaan in de spouw en wordt blijkbaar (gedeeltelijk) naar binnen afgevoerd waar het schade veroorzaakt. Dat het teerpapier zijn werk niet naar behoren kan doen wordt waarschijnlijk veroorzaakt door valspectie, bouwafval en de losse PS-parels die de weg van het water naar het teerpapier hinderen.

Dat er geen probleem was met regendoorslag aan de voet van de spouwmuur vóór de spouwmuurvulling kan waarschijnlijk verklaard worden doordat de afvoer van het regenwater geconcentreerd was aan de spouwzijde van het buitenblad. Nu verspreiden de te los gepakte PS-parels het regenwater over gans de breedte van de spouw waardoor de kans dat een gedeelte van het regenwater naar binnen wordt afgevoerd aanzienlijk toeneemt. Bovendien kan het ook zijn dat door verbouwingswerken er onderaan in de spouw (meer) bouwafval terecht kwam.

<sup>53</sup> Dit voorbeeld toont aan dat een gedeeltelijke spouwvulling, van bvb. alleen de eerste verdieping, volstrekt is af te raden wanneer de spouwvulling bereikbaar is voor afdruipend regenwater uit een nog onge vulde spouw daarboven.



## 7. Samenvattende conclusies

De spouwmuur is in de jaren 1930 geïntroduceerd als de ideale oplossing tegen regendoorslag, maar voldoet niet meer aan de huidige strenge isolatie-eisen. Door de spouw op te vullen met een isolatiemateriaal kan men gemakkelijk de *k-waarde* van een spouwmuur reduceren tot 0,7 W/(m<sup>2</sup>.K). Bij spouwbreedtes groter dan 5 cm kan men, mits een gepaste keuze van vulmateriaal, de *k-waarde* onder 0,6 W/(m<sup>2</sup>.k) laten dalen. Met de vulmaterialen die vandaag op de markt zijn is het vooralsnog onmogelijk om een *k-waarde* kleiner dan 0,4 W/(m<sup>2</sup>.K) te realiseren.

De *energiebesparing* door spouwmuurisolatie is zeer moeilijk in te schatten. Spouwmuurisolatie kan bij een niet-geïsoleerde woning de benodigde energiehoeveelheid voor verwarming met minstens 20 % doen dalen. In het meer courante geval, waarbij men in een woning met dubbele beglazing de spouwmuren naïsoleert is theoretisch een energiebesparing van minstens 10 % realiseerbaar. Door het grote verschil tussen bewonersgedrag in goed en slecht geïsoleerde woningen kan de energiebesparing lager uitvallen.

Alle bezwaren die tegen spouwmuurisolatie bestaan hebben we onderzocht.

We hebben aangetoond dat *spouwventilatie* slechts in geringe mate invloed heeft op het droogtempo van het buitenblad. De droging van een buitenblad dat is afgewerkt met een sterk dampremmende laag is echter wel in hoofdzaak afhankelijk van spouwventilatie. Het binnenblad van een bestaande spouwmuur, waaruit het bouwvocht al lang is verdwenen, hoeft niet gedroogd te worden en heeft dus allerminst spouwventilatie nodig. Bij een spouwmuur die aan de buitenzijde niet is afgewerkt met een dampremmende laag kan spouwventilatie gerust achterwege worden gelaten.

In tegenstelling tot wat soms wordt beweerd zal *inwendige condensatie* ook na spouwvulling blijven plaatsvinden aan de spouwzijde van het buitenblad en niet in het isolatiemateriaal.

Door de vulling van de spouw zal de kans op *oppervlaktecondensatie* ter plaatse van koudebruggen niet toenemen, maar wel afnemen.

Wel is het zo dat de kans op *vorstschade* en *scheurvorming* zal toenemen na isolatie van de spouwmuur. Na spouwvulling zal de temperatuur van het buitenspouwblad in de winter gemiddeld lager zijn, met als gevolg dat water minder gemakkelijk uit het buitenblad verdampt en de kans op vorstschade toeneemt. Bovendien is het buitenblad onderhevig aan grotere temperatuurschommelingen en wordt het temperatuursverschil tussen binnen- en buitenblad groter waardoor de kans op scheurvorming verhoogt. Men mag slechts overgaan tot de vulling van spouwmuren waarvan het buitenblad vorstschade vertoont of is afgewerkt met een dampremmende laag, na een vorstproef te hebben uitgevoerd.

De vraag die zich uiteraard stelt is of een volledige spouwvulling de bestaansreden van een spouwmuur, nl. *regendoorslag* vermijden, niet ongedaan maakt. Om regendoorslag ook na spouwvulling te vermijden moet een materiaal worden gekozen dat geen vochttransport toelaat tussen buiten- en binnenspouwblad. Het vullen van een spouwmuur die problemen vertoont met regendoorslag is af te raden. Door spouwmuurvulling bestaat immers het risico dat de doorslagproblemen toenemen.

We hebben nagegaan welke eigenschappen een isolatiemateriaal moet hebben om in aanmerking te komen als vullingsmateriaal voor spouwmuren.

De spouwmuurisolatie zal regelmatig in contact staan met een door regenwater verzadigd buitenspouwblad dat bovendien aan een winddruk kan blootstaan. Een vulmateriaal mag dus *niet capillair* zijn en moet een *dichtgepakte homogene laag* vormen zonder scheuren of holtes. Schuimvormige materialen mogen na verloop van tijd geen scheuren vertonen en materialen in bulkvorm moeten voldoende dichtgepakt in de spouw worden aangebracht. Bovendien moet het isolatiemateriaal een lage  $\lambda$ -waarde behouden wanneer het toch een geringe hoeveelheid water zou opnemen.

*Dampopenheid* wordt door sommigen als een noodzakelijke of positieve eigenschap van een vullingsmateriaal voorgesteld. We hebben aangetoond dat dit onjuist is en dampopenheid noch een positieve, noch een negatieve eigenschap is voor een spouwvullingsmateriaal. De stelling dat waterdamp moet worden afgevoerd door het 'ademen' van buitenmuren is onjuist. Waterdamp wordt en moet worden



afgevoerd door ventilatie van de binnenruimte. Spouwmuurventilatie heeft nauwelijks of geen invloed op de afvoer van waterdamp.

Wanneer het *PUR-schuim* met voldoende dicht vullingspatroon wordt aangebracht voldoet het met glans aan alle gestelde voorwaarden en kan in principe zelfs worden gebruikt wanneer het buitenblad vrij water- en luchtdoorlatend is. Ook voldoende kleine *PS-parels* die met een voldoende hoeveelheid lijm worden aangebracht en waterafstotend gemaakte *minerale wolvlokken* die met zorg worden aangebracht zodat zij een voldoende dichtgepakt wolpakket in de spouw vormen voldoen.

Het *UF-schuim* dat als eerste op de markt verscheen heeft de laagste effectieve  $\lambda$ -waarde van alle vullingsmaterialen en vertoont eigenschappen die het risico op regendoorslag vergroten.

*Silicaatkorrels* zouden pas in spouwmuren mogen worden aangebracht wanneer onderzoek hun deugdelijkheid heeft bewezen en dat is volgens ons vandaag nog niet het geval.

De *effectieve  $\lambda$ -waarden* van alle isolatiematerialen blijken uit praktijkonderzoek veel groter te zijn dan de waarden waarmee gerekend wordt. Mogelijke oorzaken zijn een versmalling van de spouwbreedte door speciebaarden, vochtname en ventilatieverschijnselen. Spijtig genoeg konden we niet nagaan wat het respectievelijke aandeel is van elk van deze oorzaken in de toename van de effectieve  $\lambda$ -waarde.

Er bestaat geen fundamenteel bezwaar tegen het vullen van bestaande spouwmuren mits (1) deze muren in goede staat verkeren en aan de buitenzijde niet-dampremmend zijn afgewerkt, (2) de spouwvulling op een adequate manier gebeurt met een daarvoor geschikt isolatiemateriaal. Wanneer tegen één van deze voorwaarden wordt gezondigd zijn schadegevallen onvermijdelijk.

Er is volgens ons geen enkele reden waarom men in België niet zou kunnen wat men in Nederland en het Verenigd Koninkrijk wel kan: het op grote schaal na-isoleren van spouwmuren van bestaande woningen, waarbij strenge eisen worden opgelegd aan zowel de te gebruiken materialen als de uitvoering. Het potentieel voor spouwmuurisolatie van bestaande woningen in België is bovendien erg groot: ongeveer één miljoen woningen!

## **8. Referenties**

Ingedeeld per land, organisatie en datum.

### **8.1. Nederland**

**BKS** Bureau Kwaliteitsbewaking Spouwmuurvullingen, onderdeel van **Bouwcentrum Rotterdam** (tot 1989)

**IKOB-BKB** Instituut voor Keuring en Onderzoek van Bouwmaterialen + Bureau Kwaliteitsverklaringen Bouw (**BKB** was tot 1989 dochteronderneming van **Bouwcentrum Rotterdam**)

- [1] van Es, J.C. *Brandstofbesparing als gevolg van het verbeteren van de thermische isolatie van bestaande eengezinshuizen*, rapportnr. 4813, 1975
- [2] Wulkan, E.K.H. *Ervaringen met UF-schuim spouwmuurisolaties*, Plastica nr. 8, p. 242-247, 1977
- [3] Wulkan, E.K.H. *Oriënterend onderzoek naar de aanwezigheid van respirabele minerale vezels in de binnenlucht bij na-isolatie van spouwen met minerale wol*, rapportnr. 6268, 1983
- [4] Wulkan, E.K.H. *Twintig vragen over formaldehyde*, rapportnr. 7519, 1989
- [5] Wulkan, E.K.H. *Verslag over de resultaten van een onderzoek naar het gedrag van spouwmuurvullingen onder praktijkomstandigheden*, rapportnr. 6080, 1980
  
- [6] *Beoordeling van Thermopluim (UF-schuim), aangebracht door Pluimers Isolatie B.V. te Rijssen*, rapportnr. 7394, 1980
- [7] *Beoordeling van Thermolan glaswolvlakken, aangebracht door Pluimers Isolatiebedrijf B.V. te Rijssen*, rapportnr. 7564, 1980
- [8] *Beoordeling van gebonden polystyreenschuimparels ("Thermo-Pluim"), aangebracht door Pluimers Isolatie B.V. te Rijssen*, rapportnr. 9535, 1983

#### Beoordelingsrichtlijn (BRL) bij afleveren van KOMO-attesten:

- [9] BRL 2110 – *Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest en het KOMO-certificaat voor het thermisch isoleren van bestaande spouwmuren*, 1995
- [10] BRL 2110 – *Wijzigingen*, 2001

#### Uitvoeringsrichtlijnen (URL):

- [11] *Kwaliteitseisen voor gebonden polystyreenparels, alsmede verwerkingsrichtlijnen*, 1979
- [12] K-26 – *Isolatie van spouwmuren met UF-schuim. Eisen en verwerkingsrichtlijnen*, 1987
- [13] K-27 – *Isolatie van spouwmuren met glaswolvlakken. Eisen en verwerkingsrichtlijnen*, 1987
- [14] *Uitvoeringsrichtlijn aanbrengen spouwmuurisolatie met PUR schuim*, 2005

#### Lijst KOMO-attesten:

2006 – KOMO-attesten

#### KOMO-attesten:

2000 – ATT0518/00 – *Na-isolatie van spouwmuren met Isover Spouwwol*

2004 – ATT0518/04 – *Wijzigingen van ATT0518/00*

2004 – PCC0041/04 – *Het vullen van spouwmuren met polyurethaanschuim, Pluimers Isolatie B.V.*

**BDA** Geveladvies onderdeel van Bureau Dakadvies

- [15] *Onderzoek van verschillende geïsoleerde spouwconstructies (insitu PUR-schuim)*, opdracht nr. 99-G-0116, 2000

## **SBR** Stichting Bouwresearch

- [16] Vos, B.H. *Vulling van bestaande spouwmuren*, SBR 22, N. Samson N.V. Alphen aan de Rijn – Brussel, 1969
- [17] Vos, B.H. *Vulling van spouwmuren*, SBR 58, Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer – Antwerpen, 1977
- [18] Tammes, E. en Vos, B.H. *Warmte-en vochttransport in bouwconstructies*, Kluwer Technische boeken B.V. Deventer – Antwerpen, 1984
- [19] Liem, T.H.J. en Nederlof, L. *Detectie van onvolkomenheden in spouwmuurvullingen*, SBR 109, 1985

## **TNO Bouw** Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (vóór 1990: **IBBC-TNO** Instituut voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies)

- [20] *De kansen op regendoorslag van met PUR-schuim geïsoleerde spouwmuren, waarvan het buitenblad is opgemetseld uit betonstenen met een door en door open structuur*, rapportnr. B81-513, 1981
- [21] *Praktijkonderzoek achteraf gevulde spouwmuren*, Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1985

## **VENIN** Vereniging van Erkende Na-Isolatiebedrijven in Nederland

- [22] Informatiebrochure VENIN
- [23] De door VENIN-leden verwerkte oppervlakte spouwisolatie volgens IKOB-BKB, 1990-1997 en 2001-2003
- [24] Joosen, S. en Mooij, M. *Na-isolatie woningbouw: potentieel CO<sub>2</sub>-emissiereductie*, Ecofys, 2005

## **8.2. België**

### **BUtgb** Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw

#### Informatiebladen:

- [25] *Geïsoleerde spouwmuren met gevelmetselwerk*, 2003

#### ATG's Agrément technique / Technische Goedkeuring:

- ATG 1252 – Isolatieprocédé door inspuiten ureumformaldehydeschuim UFOAM + in de spouw (1978 – 1981)
- ATG 1253 – Isolatieprocédé door inspuiten van ureumformaldehydeschuim UFATHERM in de spouw (1978 - 1981)
- ATG 1254 – Isolatieprocédé door inspuiten van ureumformaldehydeschuim SOPCO WALL in de spouw (1978 - 1981)
- ATG 1269 – Isolatieprocédé door inspuiting van ureumformaldehydeschuim ISOSCHAUM (1978 - 1981)
- ATG 1485 – Isolatieprocédé door inspuiting van ureumformaldehydeschuim MURISOL in de spouwmuren (1983 - 1986)
- ATG 1528 – Isolatieprocédé door inblazen van gebonden geëxpandeerde polystyreenkorrels THERMOPAREL in spouwmuren (1983 - 1986)
- ATG 1529 – Isolatieprocédé door het inblazen van minerale wol ISOVER-SPOUWWOL in spouwmuren (1983 - 1986)
- ATG 1592 – Isolatieprocédé door het inblazen van minerale wol ISOVER-SPOUWWOL in spouwmuren (1992 - 1995)

### **CIR** Isolatie Raad

- [26] Timmermans, G. *Isolatiepeil Belgisch Woningpark. Na-isolatie van de bouwschil*, Isolatedag Renovatie van woningen, Technologisch Instituut, 2001

**WTCB** Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

[27] Wagneur, M. *Isolation thermique des murs creux*, Ministère de la Région Wallonne, 1998

[28] Vitse, P. *Isolatie van niet-doorzichtige wanden. Uitdagingen: k-waarde  $\leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$* , Isolatie dag Renovatie van woningen, Technologisch Instituut, 2001

TV Technische Voorlichting:

[29] Wagneur, M. en Verougstraete, P. *Termische isolatie van gevels*, TV178 , 1989

WTCB-tijdschrift:

[30] Gérard, R. en Van Laecke, W. *Termische isolatie van metselwerkspouwmuren*, nr. 2, 1980

[31] Wagneur, M. *De termische isolatie van spouwmuren*, nr. 1, 1986

[32] Gérard, R. en Van Laecke, W. *Termische isolatie van buitenmuren van gebouwen*, nr. 3/4, 1986

**KULeuven en UGent**

[33] Hens, H. *De spouwmuur*, Diensten voor Programmatie van het wetenschapsbeleid, 1984

[34] Lecompte, G.N. *Termische kwaliteit van geïsoleerde spouwconstructies*, Europortkringen nr.4, 1989

[35] Debacker, J. *Constructieve aspecten van gebouwen*, academiejaar 2002 - 2003

[36] Janssens, A. *Bouwfysische aspecten van gebouwen*, academiejaar 2003 - 2004

[37] De Leeuw, P. *Fotoreportage van werkbezoek te Stabroek*, 30/11/2004

[38] Hens, H. en Janssens, A. *Gebouwen, wonen en energie*, Acco, Leuven, 2005

**Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap**

[39] Tilborghs, G.; Wildemeersch, D. en De Schrijver, K. *Wonen en gezondheid*, Artoos Kampenhout, 2005

**OVAM** Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij

[40] De Backer, D. *Asbest en asbestafval*, 2003

### **8.3. Verenigd Koninkrijk**

**BBA** British Board of Agrément

Goedkeuringscertificaten:

86/1720 - RMC POLYBEAD CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)  
88/1976 - INSTAFIBRE YELLOW WOOL CAVITY WALL INSULATION (glaswol)  
88/2033 - KNAUF INSULATION SUPAFIL CAVITY WALL INSULATION (glaswol)  
89/2316 - ROCKWOOL CAVITY WALL INSULATION (rotswol)  
95/3149 - INSTAFIBRE ROCKWOOL CAVITY WALL INSULATION (rotswol)  
96/3228 - POLYPEARL PLUS CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)  
96/3274 - WALLTHERM CAVITY WALL INSULATION (glaswol)  
97/3426 - ISOTHANE TECHNITHERM CAVITY WALL STABILISATION AND INSULATION SYSTEM (PUR-schuim)  
00/3706 - CERTAINFIL BB CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)  
02/3938 - WARMFILL AND WARMFILL SILVER CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)  
04/4155 - INSTABEAD CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)  
04/4167 - ECOBEAD AND ECOBEAD PLATINUM CAVITY WALL INSULATION (PS-parels)

Uitvoeringsrichtlijnen bij proef op regendoorslag:

[41] BBA rain penetration test - Operating manual, Knauf Insulation Ltd.

### **8.4. Duitsland**

**Deutsches Institut für Bautechnik**

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für "SLS 20", Zulassungsnr. Z-23.12-1399, 2005

**MPA NRW** Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit für SLS 20, Prüfbericht Nr. 420001105-3, 2003