

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, 6708 PM Wageningen
Tel.: 08370-19013

*(Publikatie uitsluitend met
toestemming van de directeur)*

RAPPORT NO. 2186

Ir. G. van Beek

HET VOCHTGEHALTE VAN ISOLATIE-
MATERIAAL IN 10 FRUITKOELCELLEN

Uitgebracht aan de directeur van het Sprenger Instituut
Project no. 3.4

INHOUD

	blz.
1. Inleiding	1
2. Het vervangingstijdstip van de isolatie	2
3. Resultaten vochtgehaltemetingen	5
4. Conclusies	14
5. Samenvatting	16
6. Bijlagen	17

1. INLEIDING

Op verzoek van enkele koelhuisbeheerders in Limburg is het vochtgehalte bepaald van monsters isolatiemateriaal. Op basis van het vochtgehalte kan een advies worden uitgebracht of de isolatie wel of niet vervangen moet worden.

Aan het onderzoek werd medewerking verleend door:

de heer van Heemst (Consulentschap voor de Tuinbouw in Limburg), de heer Van Dijk (bedrijfsleider van een fruitteeltbedrijf te Helden), de heer Rooyakkers (fruitteler te Helden), de heer Reinders (fruitteler te Helden), de Proeftuin Horst, de veiling CVV te Grubbenvorst.

2. HET VERVANGINGSTIJDSTIP VAN DE ISOLATIE

Twee criteria worden in deze paragraaf genoemd waarmee het vervangingstijdstip van isolatie kan worden gevonden. De eerste gaat uit van een economische regel, de tweede houdt rekening met het geïnstalleerde koelvermogen. Aangenomen wordt mechanische beschadiging of verdwijnen van de isolatie (verkrumelen en vraat) niet de oorzaken zijn om een isolatie te vervangen. Dit rapport gaat alleen in op vochtopname door het isolatiemateriaal.

Door opname van vocht loopt de isolatiewaarde van isolatiemateriaal terug. In tabel 2.1 is de warmtegeleidingscoëfficiënt van polystyreen gegeven in afhankelijkheid van het vochtgehalte. Een verdubbeling van de warmtegeleidingscoëfficiënt vermindert de isolatiewaarde met een factor 2 en de warmtestromen door de isolatie verdubbelen mits de temperatuurverschillen niet veranderen.

Tabel 2.1. Warmtegeleidingscoëfficiënt van polystyreen isolatiemateriaal uitgedrukt in $W/(m \cdot K)$

vochtgehalte ¹⁾ in %	dichtheid polystyreen in kg/m^3			
	15	20	25	30
0	0,028	0,028	0,028	0,028
20	0,0301	0,0308	0,0315	0,0322
40	0,0336	0,0355	0,0373	0,0392
60	0,0405	0,0446	0,0486	0,0526
80	0,0603	0,0703	0,0800	0,0892
100	0,6	0,6	0,6	0,6

¹⁾ op natte basis

Een isolatie moet economisch vervangen worden door een nieuwe isolatie wanneer de totale kosten van de nieuwe isolatie (afschrijving + rente + energie) kleiner zijn dan de variabele kosten van de oude isolatie (energie), als wordt aangenomen dat de oude isolatie volledig is afgeschreven.

In tabel 2.2 is voor een isolatie met een goede isolatiewaarde (warmtegeleidingscoëfficiënt $0,028 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) berekend de totale kosten. Voor praktische isolatiedikten bedragen de totale kosten $11,5 \text{ f}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$.

Als de isolatie volloopt met water en de isolatiewaarde zeer slecht is ($\lambda = 0,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), dus puur water als isolatiemateriaal, dan zijn de variabele kosten ca. $6 \text{ f}/(\text{m}^2 \cdot \text{jaar})$. Zie tabel 2.3 bij isolatiedikte 6 cm.

Het is duidelijk dat op grond van deze cijfers een isolatie nooit vervangen hoeft te worden.

Tabel 2.2. Totale en variabele kosten van een nieuwe isolatie ($\lambda = 0,028 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Investering isolatiemateriaal	f/m^3	$D = 100$
Kosten afschrijving	%	$P1 = 15,5$
Kosten afschrijving koelmach.	%	$P3 = 20,5$
Alfa buiten	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$A1 = 10$
Alfa binnen	$-\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$A3 = 10$
Temperatuur buiten	'C	$T1 = 7$
Temperatuur in de cel	'C	$T2 = 3$
El. stroomprijs	cnt/MJ	$A2 = 5,56$
Koudefactor		$R5 = 1,8$
Warmtegeleid. coëff.	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$L = 0,028$
Draaitijd	maand	$D8 = 6$
Investering koeling	f/W	$I1 = 1,03$
Investering aanbrengen	f/m^2	$C5 = 60$
DIKTE CM	TOT. KOSTEN $\text{f}/(\text{M}^2 \cdot \text{JAAR})$	VAR. KOSTEN $\text{f}/(\text{M}^2 \cdot \text{JAAR})$
2	12.9209	2.12844
4	11.7061	1.19491
6 <<<<	11.4548	.83061
8	11.4722	.636542
10	11.6025	.515985
12	11.7909	.433822
14	12.0132	.374231
16	12.2568	.329034
18	12.515	.293578
20	12.7833	.265019

Vervolg tabel 2.2

DIKTE CM	TOT. KOSTEN f/(M ² JAAR)	VAR. KOSTEN f/(M ² JAAR)
22	13.059	.241525
24	13.3404	.221857
26	13.6261	.205151
28	13.9152	.190784
30	14.2071	.178298
32	14.5013	.167346
34	14.7972	.157662
36	15.0947	.149037
38	15.3935	.141307
40	15.6935	.134339

Tabel 2.3. Totale en variabele kosten van een met water verzadigde isolatie
($\lambda = 0,6 \text{ W/(m K)}$)

Investering isolatiemateriaal	f/m ³	D = 100
Kosten afschrijving	%	P1 = 15,5
Kosten afschrijving koelmach.	%	P3 = 20,5
Alfa buiten	W/(m K)	A1 = 10
Alfa binnen	W/(m K)	A3 = 10
Temperatuur buiten	°C	T1 = 7
Temperatuur in de cel	°C	T2 = 3
El. stroomprijs	cnt/MJ	A2 = 5,56
Koudefactor		R5 = 1,8
Warmtegeleid. coëff.	W/(m K)	L = 0,6
Draaitijd	maand	D8 = 6
Investering koeling	f/W	I1 = 1,03
Investering aanbrengen	f/m ²	C5 = 60
DIKTE CM	TOT. KOSTEN f/(M ² JAAR)	VAR. KOSTEN f/(M ² JAAR)
2	43.288	8.34
4	29.8865	7.2975
6	25.1627	6.48667
8	22.7125	5.838

Vervolg tabel 2.3

DIKTE CM	TOT. KOSTEN f/(M ² JAAR)	VAR. KOSTEN f/(M ² JAAR)
10	21.2249	5.30727
12	20.248	4.865
14	19.5805	4.49077
16	19.1172	4.17
18	18.7973	3.892
20	18.5826	3.64875
22	18.4476	3.43412
24	18.3748	3.24333
26 <<<<	18.3517	3.07263
28	18.3689	2.919
30	18.4192	2.78
32	18.4973	2.65364
34	18.5987	2.53826
36	18.7202	2.4325
38	18.8588	2.3352
40	19.0123	2.24538

Er is echter nog een ander criterium, want de berekening van het koelvermogen gaat uit van een zekere warmtestroom door de isolatie. Als de warmtestroom door een slechte isolatie zo groot geworden is dat het koelvermogen ontoereikend is, dan moet de isolatie vervangen worden.

Dit criterium is moeilijk hanteerbaar want gelijksoortige koelcellen kunnen zijn voorzien van ruim of krap bemeten luchtkoelers.

Om tot een praktisch advies te komen wordt ervan uitgegaan dat tijdens de inkoelperiode 10% van het koelvermogen door de instraling (= warmtestroom door wanden) wordt ingenomen.

Over het algemeen wordt een installatie 10% te groot bemeten. De instralingshoeveelheid mag dus met de factor $19/9 = 2,11$ toenemen, voordat het koelvermogen te klein wordt.

Dit alles onder de voorwaarde dat de andere factoren niet veranderen (ceteris paribus).

De conclusie is dat de isolatie vervangen moet worden als het vochtgehalte van

polystyreen met een dichtheid van 20 kg/m^3 groter of gelijk is aan 77%. Vervanging is te overwegen tussen een vochtgehalte van 62 en 77%.

Laten met vocht verzadigde isolatieplaten los als gevolg van slechte mechanische bevestiging dan is vervanging natuurlijk noodzaak.

In 10 koelcellen zijn in totaal 50 monsters genomen om de beheerders van deze koelcellen te adviseren over eventuele vervanging van de isolatie.

Van de monsters werd het vochtgehalte bepaald.

3. RESULTATEN VOCHTGEHALTEMETINGEN

In tabel 3.1 is het vochtgehalte van de monsters opgenomen. De plaats van de monsters is in de figuren 3.1 t/m 3.10 aangegeven. De figuren stellen bovenaanzichten voor van de koelcellen.

De plaats van de deur en de luchtkoelers is ingetekend. Monsters in de zijwanden zijn genomen op een hoogte van ca. 1 meter boven de vloer. Stippen niet geplaatst in de wanden hebben betrekking op monsters uit het plafond. Van de vloerisolatie zijn geen monsters genomen.

Tabel 3.2 geeft per cel het gemiddelde vochtgehalte en de standaardafwijking.

De metingen zijn in figuur 3.11 nogmaals gegeven. De getrokken lijnen verbinden de laagste met de hoogste waarden.

De gestippelde lijnen geven aan welke vochtgehalten te verwachten zijn als nog meer monsters genomen worden.

Tabel 3.1. Vochtgehalte (op natte basis) van alle isolatiemonsters. Voor plaats in koelcel: Zie tabel 3.2 en figuren 3.1 t/m 3.10.

MONSTER	VOCHT	MONSTER	VOCHT
1	1.65%	26	1.60%
2	1.82%	27	0.99%
3	1.66%	28	1.69%
4	1.98%	29	1.20%
5	1.69%	30	1.31%
6	2.38%	31	1.96%
7	1.23%	32	1.54%
8	1.49%	33	1.39%
9	1.55%	34	1.66%
10	1.64%	35	2.03%
11	0.83%	36	4.11%
12	0.66%	37	1.01%
13	2.07%	38	1.80%
14	0.56%	39	1.47%
15	1.20%	40	2.14%
16	1.43%	41	1.92%
17	1.47%	42	3.58%
18	1.06%	43	1.17%
19	1.74%	44	1.52%
20	0.39%	45	6.53%
21	0.36%	46	4.17%
22	2.60%	47	5.39%
23	3.10%	48	0.64%
24	1.42%	49	1.12%
25	1.29%	50	2.03%

Tabel 3.2. Gemiddeld vochtgehalte van de monsters per koelcel

Omschrijving koelcel	nummers monster	gemiddelde %	standaard- afwijking %
<i>Proeftuin Horst</i>			
Cel nr. 3	1 . . . 5	1,76	0,14
Cel nr. 4	6 . . . 10	1,66	0,43
<i>Dhr. Roojakkers</i>			
Cel nr. 1	11 . . . 15	1,06	0,61
Cel nr. 2	16 . . . 20	1,22	0,52
<i>Dhr. Van Dijk</i>			
Cel nr. 1	21 . . . 25	1,75	1,09
Cel nr. 3	26 . . . 30	1,36	0,29
<i>Dhr. Reinders</i>			
hoge cel	31 . . . 35 + 40	1,79	0,30
oudere cel	36 . . . 39	2,09	1,38
<i>CVV</i>			
Cel nr. 17	41 . . . 44 + 50	2,04	0,92
Cel nr. 13	45 . . . 49	3,57	2,59
totaal		1,83	0,69

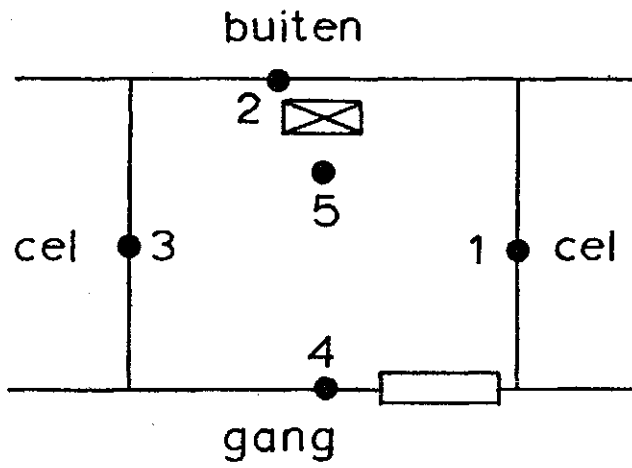


Fig. 3.1. Plaats monsters in koelcel 3 van de Proeftuin Horst

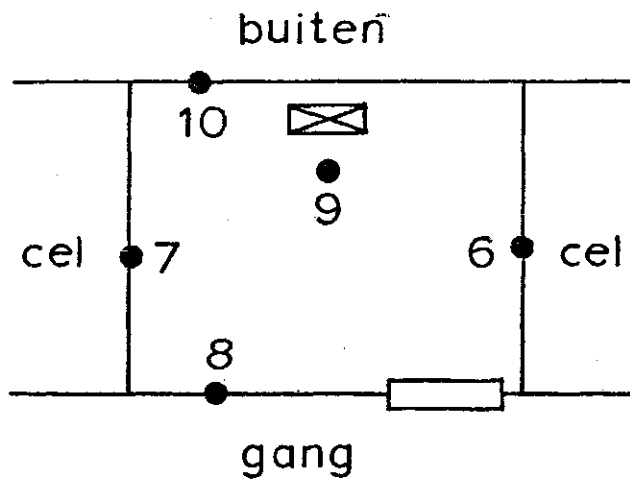


Fig. 3.2. Plaats monsters in koelcel 4 van de Proeftuin Horst

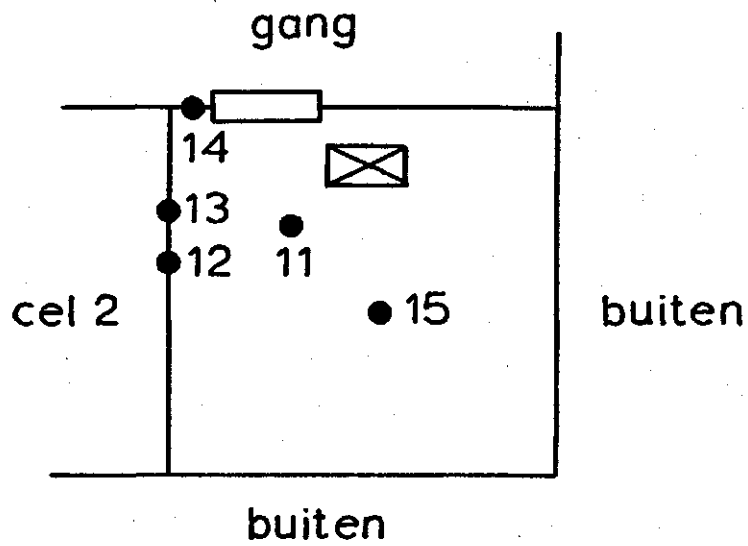


Fig. 3.3. Plaats monsters in koelcel 1 van dhr. Rooyakkers. Leeftijd cel 10 jaar.

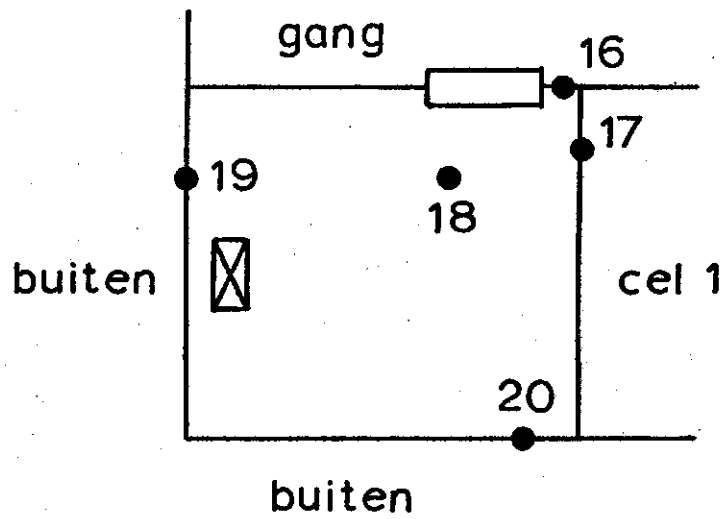


Fig. 3.4. Plaats monsters in koelcel 2 van dhr. Rooyakkers

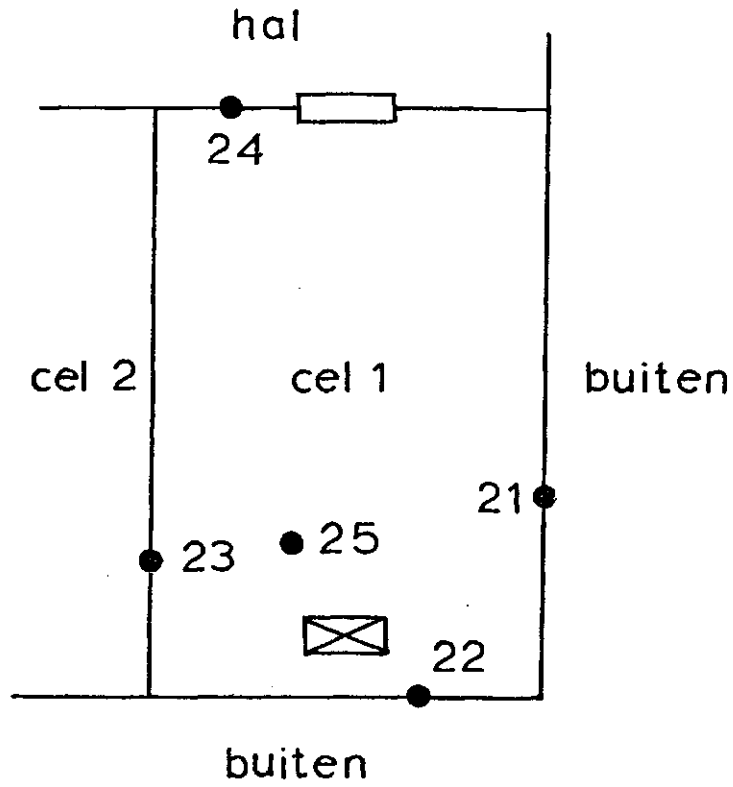


Fig. 3.5. Plaats monsters in cel 1 van dhr. Van Dijk
Leeftijd cel 5 jaar

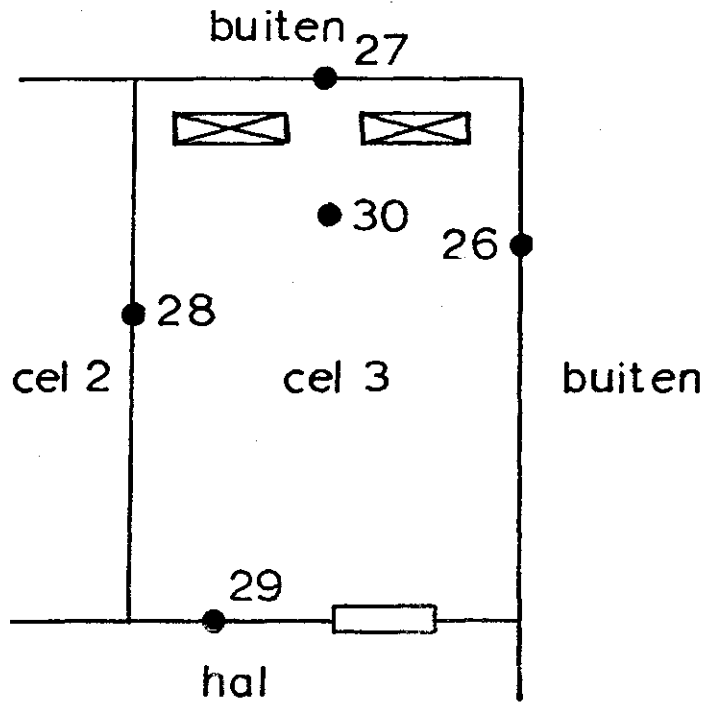


Fig. 3.6. Plaats monsters in cel 3 van dhr. Van Dijk

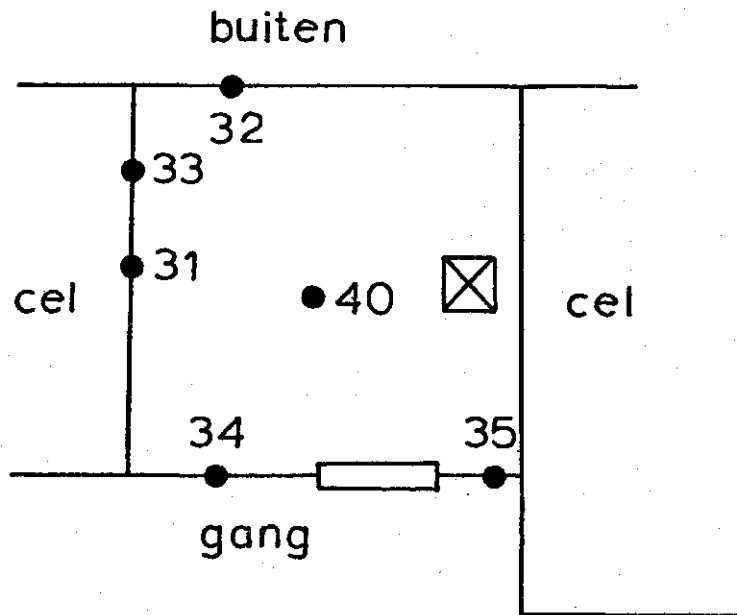


Fig. 3.7. Plaats monsters in de hoge cel van dhr. Reinders. Torenkoeler.

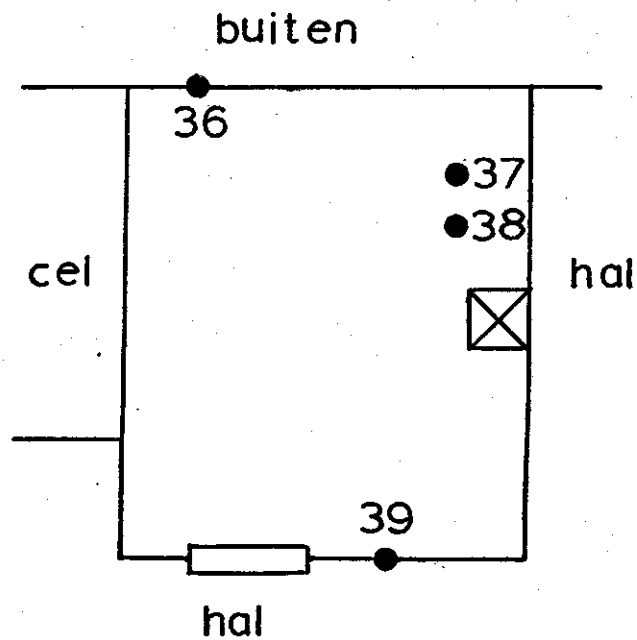


Fig. 3.8. Plaats monsters in oude cel van dhr. Reinders. Op plaats 37 en 38 water blazen tussen gasdichte bekleding en isolatie.

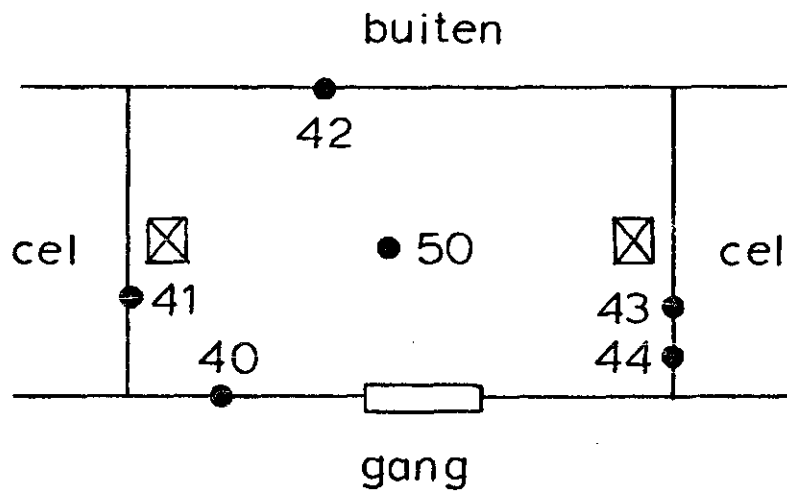


Fig. 3.9. Plaats monsters in koelcel 17 van CVV

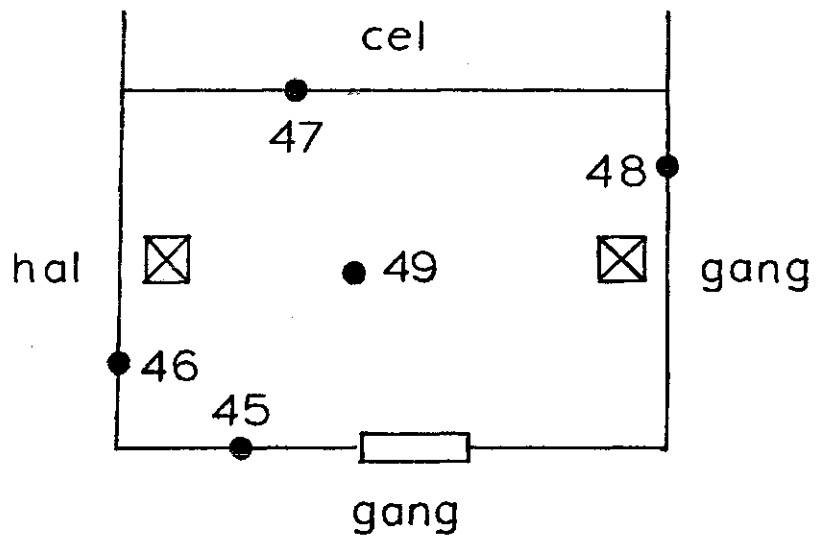


Fig. 3.10. Plaats monsters in koelcel 13 van CVV

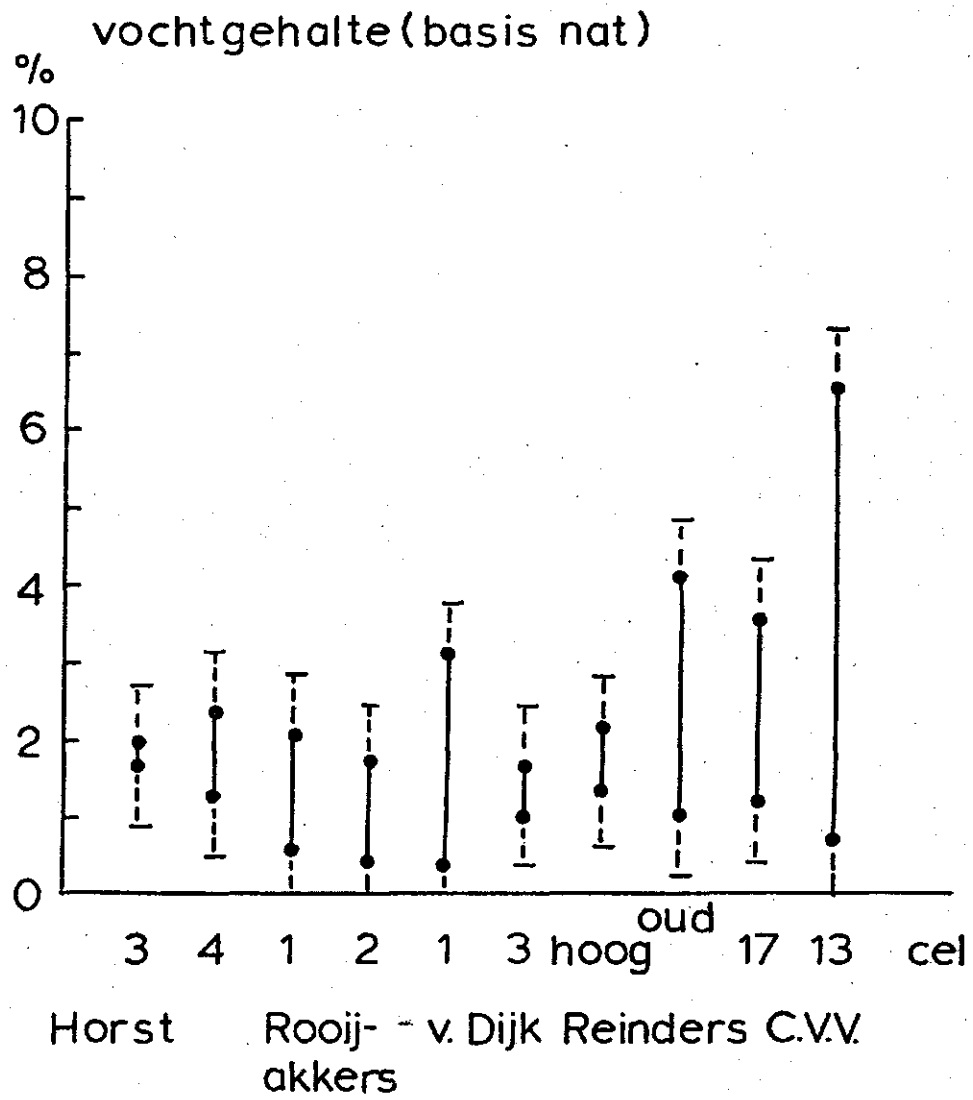


Fig. 3.11. Spreiding vochtgehalte per koelcel.

De gestippelde lijnen geven de 90% betrouwbaarheids-
grens aan.

De reproduceerbaarheid van de meting volgt uit de verschillen tussen de duplo's.

Enkele monsters zijn dicht bij elkaar uit dezelfde wand afkomstig (duplo).

Het gaat om de volgende paren:

nummer	waarde	waarde	verschil
43-44	1,17	1,52	0,35
37-38	1,01	1,80	0,79
33-31	1,39	1,96	0,57
12-13	0,66	2,07	1,41
gemiddelde	0,78		0,78
standaardafwijking			0,45

De standaardafwijking van het verschil tussen de duplo's is 0,45%.

Deze afwijking ontstaat door plaatselijke verschillen in de wand en de gekozen meetmethodiek voor de vochtbepaling. Het betrouwbaarheidsinterval (90%) van de meting is $\pm 0,74\%$.

Een gemeten waarde is slechts een schatting van het vochtgehalte in een wand. Is de gemeten waarde 1,50%, en wordt nog een monster getrokken dan zal voor 9 van de 10 keer gelden dat de gemeten waarde ligt tussen $1,50 - 0,74 = 0,76\%$ en $1,50 + 0,74 = 2,24\%$.

4. CONCLUSIES

- 4.1. De gemeten vochtgehalten in het isolatiemateriaal zijn zo laag, dat de isolerende werking van het isolatiemateriaal niet wordt benadeeld. Het maximum vochtgehalte kan 7,3% zijn.
Uit tabel 1.1 volgt dat de verandering van de warmtegeleidingscoëfficiënt uiterst gering is.
- 4.2. Het gemiddelde vochtgehalte van monsters uit het plafond is 1,42% met standaardafwijking 0,42%. Er is geen duidelijk verschil tussen het vochtgehalte in plafond en wanden. Het gemiddelde van alle monsters is 1,83%. Het gemiddelde van de wanden is 1,98%.

4.3. Verschillen in één cel

Omdat het 90%-betrouwbaarheidsinterval van duplo metingen $\pm 0,74\%$ bedraagt, treden er pas duidelijke verschillen op als 2 waarden meer dan 1,5% uit elkaar liggen. In de onderstaande tabel wordt aangegeven in welke cellen wel en geen duidelijke verschillen tussen de metingen voorkomen.

Tabel 4.1. Verschillen in één cel

geen	wel
Horst 3	Van Dijk 1
Horst 4	Reinders oud
Rooyakkers 1	CVV 17
Rooyakkers 2	CVV 13
Van Dijk 3	
Reinders hoog	

In tabel 4.2 is aangegeven in welke wand het maximum en minimum vochtgehalte optreedt. Uit deze tabel blijkt dat er niet een duidelijke lijn aanwezig is. Soms treedt een minimum waarde op in een buitenwand, soms een maximum waarde.

Tabel 4.2. Type wand waarin een minimum en maximum vochtgehalte gemeten is

koelcel	minimum	maximum
Van Dijk	buitenwand	scheidingswand
Reinders oud	scheidingswand	buitenwand
CVV 17	scheidingswand	buitenwand
CVV 13	gangwand	gangwand

4.4. Wordt polystyreen 1 week in water ondergedompeld dan is het vochtgehalte 50%. Het blijkt dus niet eenvoudig te zijn om veel vocht in het isolatiemateriaal te brengen. Het is te verwachten dat slechts in uitzonderlijke gevallen te veel vocht in de isolatie aanwezig zal zijn. Bijvoorbeeld in isolatieplaten in de buurt van luchtkoelers bij het afwezig zijn van dampwerende lagen aan de warme zijde.

5. SAMENVATTING

Van tien koelcellen is het vochtgehalte van het isolatiemateriaal bepaald. Het maximum vochtgehalte (op natte basis) bedraagt 6,53%. Deze lage vochtgehalten hebben geen nadelige invloed op de isolatiewaarde.

Een isolatie moet vernieuwd worden als de warmtestroom door de wanden dermate groot wordt dat het geïnstalleerde koelvermogen te kort schiet. Een vervanging van een isolatiewand op economische gronden is niet haalbaar.

Wageningen, 28 oktober 1981

GvB/MJ

BIJLAGE 6.1

Basic-programma waarmee tabel 1.1 berekend is.

```
5 OPEN 'TEST.LST' FOR OUTPUT AS FILE #1
20 FOR R1=15 TO 30 STEP 5
25 FOR V1=1 TO 100
50 X1=1-V1/100
60 X2=V1/100
74 R2=1000
80 R=1/(X1/R1+X2/R2)
110 E1=X1*R/R1
120 E2=X2*R/R2
130 L1=.028
140 L2=.6
170 L=E1*L1+E2*L2
180 PRINT #1,V1,L
190 NEXT V1
200 NEXT R1
```

Basic-programma waarmee totale en variabele kosten berekend worden.

```

10 OPEN 'ISO.LST' FOR OUTPUT AS FILE #1
20 DIM X3(50),Y3(50)
60 READ D,F1,F3,A1,A3,T1,T2,A2,R5,L,D8,I1,C5
65 RZ=0
70 PRINT #RZ,'INVESTERING ISOLATIEMATERIAAL      f/m3      D=';D
90 PRINT #RZ,'KOSTEN AFSCHRIJVING                Z          F1=';F1
90 PRINT #RZ,'KOSTEN AFSCHRIJVING KOELMACH        Z          F3=';F3
100 PRINT #RZ,'ALFA BUITEN                        W/(m.K)    A1=';A1
110 PRINT #RZ,'ALFA BINNEN                        W/(m.K)    A3=';A3
120 PRINT #RZ,'TEMPERATUUR BUITEN                'C         T1=';T1
130 PRINT #RZ,'TEMPERATUUR IN DE CEL             'C         T2=';T2
140 PRINT #RZ,'EL.STROOMPRIJS                     cnt/MJ     A2=';A2
150 PRINT #RZ,'KOUDEFACITOR                       R5=';R5
160 PRINT #RZ,'WARMTEGELEID.COEFF                 W/(m.K)    L =' ;L
170 PRINT #RZ,'DRAAITIJD                           maand      D8=';D8
180 PRINT #RZ,'INVESTERING KOELING               f/W        I1=';I1
190 PRINT #RZ,'INVESTERING AANBRENGEN           f/m2       C5=';C5
195 IF RZ=1 THEN 220
200 PRINT \ PRINT 'GOED ZO'; \ INPUT A$
210 IF A$<>'J' THEN GO TO 550
215 IF RZ=0 THEN RZ=1 \ GO TO 70
220 REM OMREKENEN VAN DE INVDER
230 D7=D8/12
240 F=F1/100
250 F4=F3/100
260 A4=A2/1.00000E+08
270 A4=A4/R5
280 REM BEREKENEN FACTOREN
290 A=A4*(T1-T2)*L*D7
300 C=F/3.15000E+07
310 B=(1/A3+1/A1)*L
320 F=L*(T1-T2)*F4*I1/3.15000E+07
330 REM HOOFDBEREKENING
340 FOR X=.02 TO .42 STEP .02
350 Y=A/(B+X)+C*(D*X+C5)+F/X
360 I=I+1
370 X3(I)=X
380 Y3(I)=Y
390 NEXT X
400 V=I
410 GOSUB 580
420 DATA 100,15.5,20.5,10,10,7,3,5.56,1.8,.05,6,1.03,60
430 REM PRINTEN
435 FOR RZ=0 TO 1
445 PRINT #RZ,'-----'
450 PRINT #RZ,'DIKTE', 'TOT KOSTEN', 'VAR KOSTEN'
460 PRINT #RZ,'CM', 'F/(M2.JAAR)', 'F/(M2.JAAR)'
465 PRINT #RZ,'-----'
470 FOR X=.02 TO .42 STEP .02
480 Y=A/(B+X)+C*(D*X+C5)+F/X
490 PRINT #RZ,X*100;
500 IF X=X4 THEN PRINT #RZ,'<<<<'; \ GO TO 510
510 PRINT #RZ,',';
520 PRINT #RZ,Y*3.15000E+07,A/(B+X)*3.15000E+07
530 NEXT X
531 PRINT #RZ,'-----'
536 NEXT RZ
540 INPUT F$ \ I=0 \ GO TO 65
550 PRINT 'VERANDER EN GA VERDER MET CONT'
560 STOP
570 GO TO 65
580 FOR I=1 TO V-1
590 K1=Y3(I)
600 L1=Y3(I+1)
610 IF L1<K1 THEN K2=I
620 NEXT I
630 Y4=Y3(K2+1) \ X4=X3(K2+1)
640 RETURN
650 STOP

```