

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. 2216

Ir. G. van Beek

ECONOMISCHE ISOLATIEDIKTE VOOR GEKOELDE  
RUIMTEN

Proj. no. 3-0004

Voor vier typen gekoelde ruimten is de economische isolatiedikte berekend met behulp van financiële gegevens uit het seizoen 1979/1980. De uitkomsten zijn weergegeven in tabel 1. In deze tabel zijn tevens de jaarlijkse kosten voor de isolatie vermeld.

Tabel 1. Economische isolatiedikte en jaarlijkse kosten

type cel	dikte isolatie cm	kosten f/m <sup>2</sup> .jaar)
appelcel	11	12,8
perencel	12	13,2
handelscel	14	13,9
vriescel	32	19,5

De economische isolatiedikte is berekend met behulp van basisgegevens, die in tabel 2 zijn weergegeven.

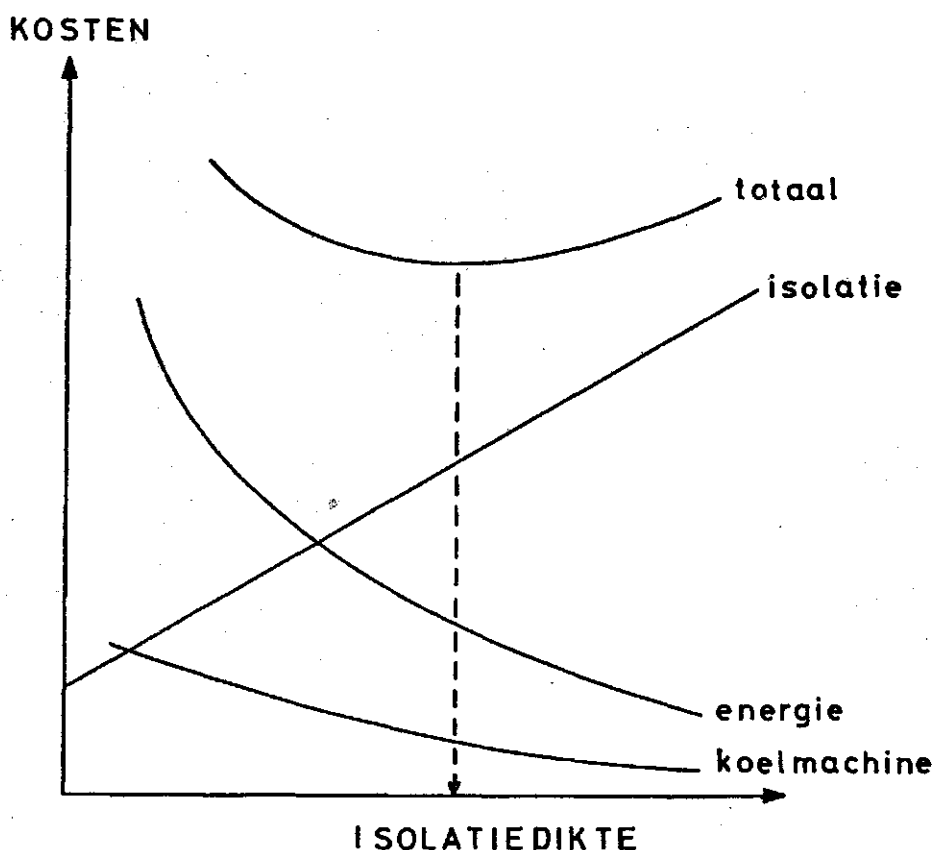
Tabel 2. Waarde van de basisgegevens

gegeven		appel- cel	peren- cel	koel- cel	vries- cel
omgevingstemperatuur	°C	8	7	11	11
celtemperatuur	°C	3	-0,5	5	-25
elektrische stroomkosten <sup>1)</sup>	cent/MJ	5,56	5,56	5,56	5,56
warmtegeleidingscoëff	W/(mK)	0,05	0,05	0,05	0,04
draaiduur	maand	8	6	12	12
investering koelinstallatie	f/W	1,03	1,03	1,03	1,03
aanbrengen van de isolatie	f/m <sup>2</sup>	60	60	60	60
prijs isolatiemateriaal	f/m <sup>3</sup>	100	100	100	100

<sup>1)</sup> 5,56 cent/MJ = 20 cent/kWh

### DE ECONOMISCHE ISOLATIEDIKTE VOOR GEKOELDE RUIMTEN

De kosten per jaar voor de isolatie worden gevormd door vaste kosten, en wel afschrijvings-, rentekosten en onderhoudskosten, en variabele kosten zoals de energiekosten. De afschrijvings- en rentekosten voor de isolatie nemen toe met de dikte van de isolatie, terwijl de energiekosten en de vaste kosten voor de koelmachine afnemen met een dikker wordende isolatie. De som van vaste en variabele kosten is minimaal bij de economische isolatiedikte.



Soms wordt op grond van andere overwegingen niet de economische isolatiedikte toegepast.

Deze overwegingen zijn:

- er mag geen condensatie op de isolatie worden toegelaten. De kans op condensatie is groot bij dunne isolaties;
- de isolatiedikte heeft invloed op de relatieve vochtigheid in de gekoelde ruimte. Een dikke isolatie verhoogt de relatieve vochtigheid;
- de mechanische eigenschappen van de isolatie kunnen een reden zijn om van de economische isolatiedikte af te wijken (vloerisolatie).

Omdat enkele financiële gegevens snel kunnen verouderen is in tabel 3 weergegeven wat de economische isolatiedikte wordt als één gegeven verandert. Het blijkt dat vooral de energieprijs effect heeft op de economische isolatiedikte.

Tabel 3. Economische isolatiedikte bij variatie van één gegeven.

gegeven		appel- cel	peren- cel	handels- cel	vries- cel
energieprijs cent/MJ	5,56	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>32</b>
	8,34	13	14	18	38
	11,12	15	16	20	44
omgevingstemperatuur °C	7	10	<b>12</b>	8	30
	8	<b>11</b>	14	10	31
	11	14	16	<b>14</b>	<b>32</b>
	15	18	18	18	34
warmtegeleidings- coëff. W/(m·K)	0,03	8	10	12	28
	0,04	10	11	13	<b>32</b>
	0,05	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	36
	0,07	13	14	16	42
draaiduur maand	6	10	<b>12</b>	-	-
	8	<b>11</b>	14	-	-
	10	12	15	-	-
prijs isolatiemateriaal f/m <sup>3</sup>	100	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>32</b>
	200	8	8	10	22
	300	6	6	8	18

Het effect van een variatie in de andere gegevens, met uitzondering van de afschrijvings- en rentekosten, is verwaarloosbaar.

In tabel 4 is weergegeven de jaarlijkse meerkosten in guldens bij verschillende isolatiedikten.

De berekeningen zijn gemaakt voor een cel met een wandoppervlakte van 400 m<sup>2</sup> (afmetingen van de cel ongeveer 10 m x 10 m x 5 m).

Tabel 4. Jaarlijkse meerkosten in guldens per 400 m<sup>2</sup> isolatie-oppervlak bij verschillende isolatiedikten.

isolatie- dikte in cm	appel- cel	peren- cel	handels- cel	vries- cel
2	1923	2570		
4	654	930	1389	
6	231	373	634	
8	62	133	282	
10	<b>2</b>	30	107	2953
12	<b>0</b>	<b>0</b>	25	2063
14	32	11	<b>0</b>	1450
16	87	50	10	1015
18	156	106	43	700
20	236	176	95	469
22	323	255	159	302
24	416	342	233	181
26	514	434	314	98
28	616	531	402	43
30	720	631	493	12
32		734	589	<b>0</b>
34		840	688	3
36			790	20
38			894	48
40			1000	85
42				170
44				253
46				366
48				472
50				608

Berekening van de economische isolatiedikte

De volgende vergelijking geeft de kosten voor de isolatie weer:

$$K = \underbrace{\frac{A}{B+d}}_{\text{variabel energie}} + \underbrace{P_1 (D \cdot d + E) + P_2 \left(\frac{F}{d}\right)}_{\text{vast isolatie + koelmachine}}$$

A, B en F zijn constanten die als volgt gedefinieerd zijn:

$$A = \frac{a}{\eta} \cdot (T_u - T_i) \cdot \lambda \cdot f$$

$$B = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_u}\right) \cdot \lambda$$

$$F = (T_u - T_i) \cdot \lambda \cdot I_k$$

De verklaring van de symbolen is in tabel 5 vermeld.

Tabel 5. Verklaring symbolen

symbool	eenheid	grootheid
a	f/J	prijs elektrische energie
T <sub>u</sub>	°C	omgevingstemperatuur
T <sub>i</sub>	°C	celtemperatuur
λ	W/(m · K)	warmtegeleidingscoëfficiënt van het isolatiemateriaal
α <sub>i</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)	warmte-overdrachtscoëfficiënt aan celzijde
α <sub>u</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)	warmte-overdrachtscoëfficiënt aan omgevingszijde
I <sub>k</sub>	f/W	investering van koelinstallatie
f	-	fractie draaitijd
η		koudefactor
K	f/s	kosten voor isolatie
d	m	isolatiedikte
P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	1/s	verhouding afschrijving + rente/investering
D	f/m <sup>3</sup>	investering isolatiemateriaal
E	f/m <sup>2</sup>	investering voor aanbrengen isolatie

In de vergelijking wordt rekening gehouden met de kosten die verband houden met de isolatie:

De afschrijvingskosten:

- prijs van het isolatiemateriaal;
- prijs van het aanbrengen van het isolatiemateriaal;
- meer grootte van de koelinstallatie.

De rentekosten:

van het gemiddeld geïnvesteerde vermogen in isolatie en koelmachine.

De energiekosten:

- benodigde energie om de warmtestroom door de isolatie met een luchtkoeler af te voeren;
- draaitijd van de gekoelde ruimte.

1. Celtemperatuur

De celtemperatuur voor de 4 typen gekoelde ruimten is in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6. In deze studie gebruikte celtemperaturen

type cel	temperatuur °C
appelcel	3
perencel	-0,5
handelscel	5
vriescel	-25

2. Omgevingstemperatuur

Als de omgeving gelijk is aan de buitenlucht dan hangt de gemiddelde omgevingstemperatuur af van de draaitijd van de gekoelde ruimte en de dagelijkse gemiddelde luchttemperatuur. Zie tabel 7.

In verband met de gemiddelde straling wordt de gevonden omgevingstemperatuur verhoogd met 2K.

Grenst de isolatie niet aan de buitenlucht maar aan een ruimte zoals een spouw, een gekoelde ruimte, een werkruimte of een vliering, dan is een omgevingstemperatuur te kiezen gelijk aan de gemiddelde temperatuur van die ruimte. Over de keuze van de gemiddelde temperatuur boven een plafond bestaan geen duidelijke uitspraken op grond van experimenten.

Tabel 7. Gemiddelde temperatuur in Nederland voor een periode van 2 tot 12 maanden.

begin maand	duur in maanden					
	2	4	6	8	10	12
januari	2,5	4,4	7,5	9,7	10,3	9,3
februari	3,7	6,9	9,9	11,3	10,6	9,3
maart	6,3	10,0	12,1	12,2	10,7	9,3
april	10,2	13,0	13,9	12,4	10,4	9,3
mei	13,8	15,1	14,2	11,8	9,9	9,3
juni	15,8	15,7	13,0	10,5	9,1	9,3
juli	16,4	14,4	11,1	8,9	8,4	9,3
augustus	15,7	11,7	8,7	7,4	8,0	9,3
september	12,5	8,5	6,5	6,4	7,9	9,3
oktober	7,8	5,3	4,7	6,1	8,0	9,3
november	4,4	3,5	4,4	6,7	8,7	9,3
december	2,8	3,2	5,5	8,1	9,6	9,3

### 3. Vaste kosten per jaar voor isolatie en koelmachine

#### 3.1. Isolatie

De afschrijvingskosten per jaar worden bepaald door de hoogte van de investering en de periode van afschrijving. Voor isolatieconstructies is de gemiddelde periode van afschrijving 10 jaar. De afschrijvingskosten per jaar zijn dan:

$$\frac{I - R}{n}$$

waarbij:

I f investering isolatie

R f residuwaarde (= 0)

n j periode van afschrijving

De rentekosten van de isolatie worden berekend over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen:

$$r \frac{(I + R)}{2}$$

waarbij:

r  $\frac{f}{f \cdot \text{jaar}}$  rentevoet op de kapitaalmarkt (= 0,11)



De vaste kosten zijn dus 0,155 l, zodat de verhouding  $\frac{\text{vaste kosten}}{\text{investering}}$  wordt  $P = 0,155$ .

### 3.2. Koelmachine

De afschrijvingskosten per jaar voor de koelmachine worden bepaald door

- de periode van afschrijving;
- de hoogte van investering.

De rentekosten van de koelmachine worden berekend over het gemiddeld geïnvesteerd vermogen.

De onderhoudskosten per jaar worden gesteld op 5% van de investering.

De vaste kosten zijn dus:

$$P = \underbrace{\frac{K - R}{L}}_{\text{afschrijving}} + r \underbrace{\left(\frac{K + R}{2}\right)}_{\text{rente}} + \underbrace{0,05 \cdot K}_{\text{onderhoud}}$$

Als  $R = 0$ ,  $L = 10$  dan volgt uit de vergelijking dat  $P = 0,205 \cdot K$

waarin:

K f investering koelmachine  
n jaar periode van afschrijving

### 4. Investering isolatiemateriaal

De prijs van het isolatiemateriaal PS is ongeveer 100 f/m<sup>3</sup>. De prijs van andere isolatiematerialen kan oplopen tot 300 f/m<sup>3</sup>.

De investering voor het aanbrengen van isolatie bedraagt gemiddeld 60 f/m<sup>2</sup>.

Deze investering heeft geen invloed op de economische isolatiedikte.

### 5. Investering koelinstallatie

De capaciteit van de koelmachine wordt gedeeltelijk bepaald door de dikte van de isolatie. Tabel 8 geeft weer dat het geïnstalleerde koelvermogen ongeveer voor 20% door de isolatiedikte wordt bepaald.

Bij de huidige werkwijze in de fruitteelt, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van voorcooling van de produkten, bepaalt voornamelijk de veldwarmte het geïnstalleerde koelvermogen.

De gemiddelde investeringskosten voor gekoelde ruimten zijn opgebouwd uit 3 factoren (zie tabel 9).

Het blijkt dat de investering voor de koelinstallatie + elektriciteit 30% uitmaakt van de totale investering. In 1979 was de gemiddelde investering voor de koelmachine per kW geïnstalleerd koelvermogen f 1030,--. Een dunner worden van de isolatie heeft tot gevolg dat de instraling toeneemt, waardoor de capaciteit van de koelinstallatie iets groter wordt.

Bij de berekening van de kosten voor de isolatie moet rekening worden gehouden met deze relatie tussen warmtestroom door de isolatie en grootte van de koelinstallatie.

Tabel 8. Opbouw van het geïnstalleerde koelvermogen

factor	percentage
instraling door isolatie	20
veldwarmte bij afkoelen	60
warmteproductie produkt	50
ventilatorarbeid	15

Tabel 9. Opbouw investeringskosten

investeringspost	percentage
koelinstallatie + elektriciteit	30
deuren + isolatie	20
gebouw	50

## 6. Prijs elektrische energie

In 1979 bedroeg de gemiddelde prijs per kWh voor een fruitteler 16 cent (minimum 13, maximum 22 cent). Dit bedrag is inclusief BTW, etc. De energieprijzen stijgen zo snel dat in januari 1981 de geschatte energieprijis 20 cent/kWh is. In de basisberekening wordt deze prijs gebruikt.

De kWh-prijs is volgens tabel 10 in f/J om te rekenen. De warmte die door de isolatie naar de lucht van de gekoelde ruimte stroomt wordt opgenomen door de koeler. Het rendement van een koelmachine - ook wel koudefactor genoemd - wordt op 1,8 gesteld, dus:

$$\eta = \frac{\text{koelvermogen}}{\text{opgenomen elektrische energie}} = 1,8$$

Tabel 10. Omrekening kWh-prijs in elektrische energieprijs

kWh-prijs cent	prijs elektrische energie f/J
10	2,78 * 10 <sup>-8</sup>
15	4,17
20	5,56
25	6,94
30	8,33
35	9,72
40	11,11

#### 7. Draaiduur

De gemiddelde draaiduur van appel- en perencellen is 6 maanden. Omdat veel fruittelers menen dat de draaiduur van appelcellen 8 maanden is, wordt in de basisberekening 8 maanden gebruikt. Voor handelscel en vriescel, die door de handel worden gebruikt, is de draaiduur uiteraard 12 maanden.

#### 8. Warmtegeleidingscoëfficiënt

Door de fabrikanten van isolatiemateriaal wordt een gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,03 W/(m.K) opgegeven voor bijna alle materialen.

Door veroudering en opname van een weinig water is de praktische warmtegeleidingscoëfficiënt 0,05 W/(m.K). Voor onnauwkeurig aangebrachte isolaties moet minstens gerekend worden met 0,07 W/(m.K). Voor vriescellen, die in principe nauwkeuriger gebouwd worden, nemen we 0,04 W/(m.K) aan.

#### 9. Warmte-overdrachtscoëfficiënt

De warmte-overdrachtscoëfficiënt hangt af van de snelheid van de lucht volgens de vergelijking:

$$\alpha = 5,8 + 3,9 \cdot v$$

waarin:

v m/s luchtsnelheid

Voor de coëfficiënt aan buitenzijde en binnenzijde is respectievelijk 20 en 10  $W/(m^2 \cdot K)$  genomen. De keuze van deze coëfficiënten is nauwelijks van invloed op de economische isolatiedikte.

Wageningen, 24 maart 1982 )  
GvB/MJ