

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/472

Energiewijzer koel- en vriesopslag

**TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie**

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Datum
december 2000

Auteur(s)
**R.J.F. Vermeeren
M. Verwoerd
S. Lobregt**

Projectnummer
29786

Trefwoorden
– koel- en vrieshuizen
– energiegebruik

Bestemd voor
**NUON
H.P.A.G. Plantiga**

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

Novem onderzoekt op welke wijze de bestaande stimuleringsregeling voor energiezuinige commerciële koeling (STIMECK), uitgebreid kan worden met een regeling voor de industrie. Thema Consulting heeft geconcludeerd dat de A-regeling (hoogwaardige componenten) en de B-regeling (energie efficiënte systemen) in principe hiervoor geschikt zijn. Deze studie is een aanzet om het principe van de B-regeling te integreren in het ontwerpproces van koel- en vrieshuizen.

Voor kantoorgebouwen bestaat sinds 1995 de handleiding 'Energiewijzer Kantoorgebouwen', die dient als een communicatiemiddel tussen de betrokken partijen om reeds in de ontwerpfase tot een goede energetische basis te komen. Een ontwerpge-reedschap (Energiewijzer) om voor koel- en vrieshuizen de invloed op het energiegebruik van ontwerpbeslissingen zichtbaar te maken is niet beschikbaar.

Het computerprogramma 'Koel/Vrieshuis', in het recente verleden gebruikt door SVEN, berekende aan de hand van specifieke bedrijfsgegevens het energiegebruik per onderdeel (wanden, ventilatie, deuren etc.). De berekende energiekosten functioneerden als basis voor besparingsadviezen. Met een 'Energiewijzer' wordt op soortgelijke wijze in deze behoefte voorzien. De Energiewijzer kan mogelijk dienen als onderdeel van de STIMEK Industrie B-regeling, het ontwerpen van energiezuinige koelinstallaties.

In de eerste fase van de studie is een opzet gemaakt voor een 'Energiewijzer koel- en vrieshuizen'. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de structuur van de 'Energiewijzer Kantoorgebouwen'. De technisch-inhoudelijke aspecten zijn grotendeels ingebracht vanuit het computerprogramma 'Koel/Vrieshuis'. In deze fase van de studie heeft de getalsmatige invullingen en uitwerking plaatsgevonden. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van informatie uit de praktijk middels een enquête van installateurs en informatie uit de STIMEK regeling voor de industrie.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding en doelstelling	4
2. Opzet publicatie	6
2.1 Energiedoelstelling	6
2.2 Categorieën	6
2.3 Uitgangspunten	7
2.4 Fasering voorontwerp (V.O.)	11
3. VO-deel 1: Programma van eisen	13
3.1 Transmissieverliezen	13
3.2 Deurverliezen	14
3.3 Interne warmteproductie	15
3.4 Inkoelen en invriezen	17
3.5 Ketenwarmte	19
3.6 Metabolisme	21
3.7 Warmtevraag	23
3.8 Bedrijfstijd	24
3.9 Definitieve energiedoelstelling en energiegebruik referentie	27
4. VO-Deel 2: Ontwerpkeuzen	29
4.1 Isolatie - Transmissieverliezen	29
4.2 Deurverliezen	32
4.3 Warmteterugwinning	33
4.4 Aanpassing energiegebruik door ontwerpkeuzen	33
5. VO-Deel 3: Installatieconcept	35
5.1 Installatie	35
5.2 Definitief verwacht energiegebruik	38
6. Verantwoording	40
Bijlagen	
1. Uitgangspunten	
2. Rendement opwekking	
3. Voorbeeld berekening	

1. Inleiding en doelstelling

Novem onderzoekt op welke wijze de bestaande stimuleringsregeling voor energiezuinige commerciële koeling (STIMECK), uitgebreid kan worden met een regeling voor de industrie. Thema Consulting heeft geconcludeerd dat de A-regeling (hoogwaardige componenten) en de B-regeling (energie efficiënte systemen) in principe hiervoor geschikt zijn. Deze studie is een aanzet om het principe van de B-regeling te integreren in het ontwerpproces van koel- en vrieshuizen.

ISSO (instituut voor studie en stimulering van onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties) heeft in 1995 een handleiding uitgegeven over de invloed van ontwerpbeslissingen op het energiegebruik. Deze 'Energiewijzer Kantoorgebouwen' dient als een communicatiemiddel tussen de betrokken partijen om reeds in de ontwerpfase tot een goede energetische basis te komen. Een ontwerpgerederschap (Energiewijzer) om voor koel- en vrieshuizen de invloed op het energiegebruik van ontwerpbeslissingen zichtbaar te maken is niet beschikbaar.

Halverwege de jaren tachtig heeft SVEN (een voorloper van Novem) wel gebruik gemaakt van het computerprogramma 'Koel/Vrieshuis' geschreven door TNO. Aan de hand van specifieke bedrijfsgegevens werd per onderdeel (wanden, ventilatie, deuren etc.) het energiegebruik berekend. De berekende energiekosten functioneerden als basis voor besparingsadviezen. Met een 'Energiewijzer' wordt op soortgelijke wijze in deze behoefte voorzien. De Energiewijzer kan mogelijk dienen als onderdeel van de STIMEK Industrie B-regeling, het ontwerpen van energiezuinige koelinstallaties.

Doel van deze studie is een opzet te maken voor een 'Energiewijzer koel- en vrieshuizen'. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de structuur van de 'Energiewijzer Kantoorgebouwen'. De technisch-inhoudelijke aspecten worden grotendeels ingebracht vanuit het computerprogramma 'Koel/Vrieshuis'. Voor de getalsmatige invulling is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van informatie uit de praktijk middels enquêtering van installateurs en informatie uit de STIMEK regeling voor de industrie. De Energiewijzer sluit aan op het ontwerpproces. De getallen zijn hierdoor globaal van karakter.

Een uitgewerkt voorbeeld is opgenomen in bijlage 3.

De studie is begeleid door commissie bestaande uit:

J. Duiven, Nekovri

J. Hoogkamer, NVKL

G. Koster, Grenco

M. Verwoerd, TNO - MEP

S. van der Sluis, TNO - MEP

S. Lobregt, TNO - MEP

C. Machielsen, TU Delft
F. Pennaerts, Krachtwerktuigen
H. Plantinga, Energie Noord West
W. van Grootheest, Novem
E. Willems, Novem

2. Opzet publicatie

2.1 Energiedoelstelling

Uitgangspunt van de Energiewijzer is de energiedoelstelling. Een gebruiker legt vast tot welke energieklasser zijn koel- of vrieshuis moet behoren. In deze indeling is klasse C gebaseerd op de norm zoals deze momenteel in de praktijk geldt. Deze klasse wordt in de energiewijzer daarom ook als de referentiesituatie gekozen. Er zijn drie klassen te onderscheiden:

- A. zeer goed;
- B. goed;
- C. voldoende.

Door wetgeving en wensen van klanten wordt energiegebruik (milieubelasting) steeds belangrijker. Een gebruiker kan twee afwegingen maken:

- Minimum eis. Welke keuze is voldoende om aan de huidige eisen/wensen van overheid en afnemers te voldoen?
- Toekomstvisie. Hoeveel is/wordt een hogere klasse waard (lagere energiekosten, energieparagraaf milieuvergunning en 'groen' imago)?

2.2 Categorieën

Koel- en vrieshuizen zijn ondergebracht in twee aparte categorieën. Per categorie is aangegeven welk primair energiegebruik (MJ/m^3) behoort tot klasse A, B of C. De keuze is zo gemaakt dat de getallen (berekening van primair energiegebruik) voor een brede range aan koel- en vriescellen ingezet kan worden. Voor beide categorieën is een referentiesituatie gekozen. In bijlage 1 staan de uitgangspunten die voor de referentiesituatie zijn gehanteerd. De getallen (primair energiegebruik) voor de drie klassen zijn afgeleid van cijfers geldende voor de referentiesituatie.

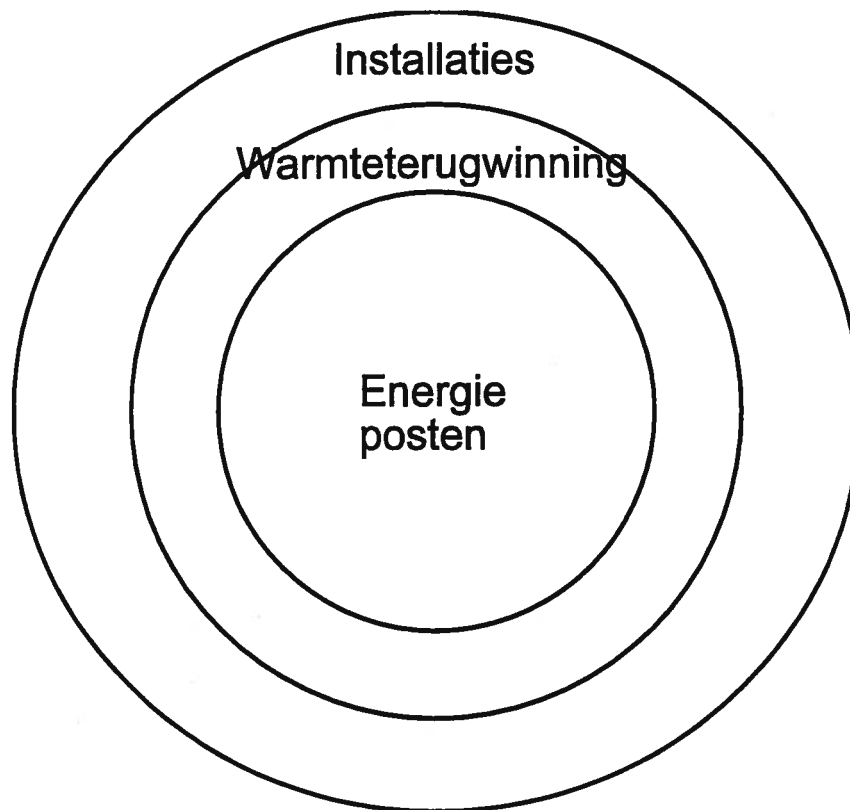
In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten verder onderbouwd. Uitzonderingen op de referentiesituatie komen in hoofdstuk 3 aan de orde.

Tabel 2.1 Categorieën met energiedoelstelling uitgedrukt in het jaarlijkse primaire energiegebruik per kubieke meter celinhoud [MJ/m^3].

Categorie	Klasse	Energiedoelstelling
Koelcel	A	30 MJ/m^3
	B	50 MJ/m^3
	C	81 MJ/m^3
Vriescel	A	126 MJ/m^3
	B	171 MJ/m^3
	C	245 MJ/m^3

2.3 Uitgangspunten

De ontwerpprocedure is afgeleid van het TNO-schillenmodel. Binnen het proces worden de energieposten vastgesteld. Daarna wordt onderzocht welke mogelijkheden er zijn voor procesintegratie. Bij koel en vrieshuizen blijft dat beperkt tot warmteterugwinning voor bijvoorbeeld ruimteverwarming of reiniging. Tot slot is aangegeven met welke installaties in de energiebehoefte kan worden voorzien.



Figuur 2.1 TNO schillenmodel toegepast op ontwerp koel/vriescellen.

De energieposten bij koel- en vriesopslag zijn:

- *Transmissieverliezen:* Dit is het warmtetransport door de wanden en wordt bepaald door temperatuurverschil over de wand, de isolatiewaarde en het oppervlak.
- *Ventilatieverliezen:* Ventilatieverliezen bestaan uit verversing en deurverliezen. Het verschil in warmte-inhoud van lucht binnen en buiten de cel moet weggekoeld worden.
- *Interne warmteproductie:* Onder interne warmteproductie wordt verstaan de warmte van personen en apparaten (verlichting, transport, ventilatoren, machines).

- *Inkoelen/invriezen:* Om producten op de gewenste bewaartemperatuur te brengen (inkoelen/invriezen) is veel energie nodig. De benodigde energie is afhankelijk van de soortelijke warmte van het product, de ingebrachte hoeveelheid en de gewenste eindtemperatuur.
- *Ketenwarmte:* In principe worden gekoelde en ingevroren producten op de juiste bewaartemperatuur aangevoerd en/of afgevoerd. In de praktijk blijkt dat niet het geval. Omdat de koudeketen niet goed functioneert, moet in het koel- en vrieshuis weer warmte aan het product onttrokken worden. Deze warmte wordt hier ketenwarmte genoemd. De benodigde energie is afhankelijk van de soortelijke warmte van het product, de ingebrachte hoeveelheid en het temperatuurverschil.
- *Metabolisme:* Levende producten (groente, fruit, aardappelen, kaas etc.) produceren warmte en geven vocht af. De grootte van deze warmtestroom is afhankelijk van het soort product en de hoeveelheid.
- *Overige warmteposten:* Onder overige staan diverse kleine of incidentele warmteposten vermeld zoals bijvoorbeeld ontdooiverliezen.
- *Ventilator vermogen:* Behalve een bijdrage aan de warmte inbreng leveren verdamper- en condensorventilatoren ook een bijdrage aan het energiegebruik. De grootte hiervan is afhankelijk van de warmtestroom waarvoor de ventilatoren worden ingezet.
- *Warmtevraag:* Bedrijven hebben voor diverse processen (reinigen, ruimteverwarming, vloerverwarming) warmte nodig. Bij elk van de processen dient afzonderlijk vastgesteld te worden hoe groot de warmtevraag is.
- *Diverse energieposten:* Onder diverse energieposten worden alle energieposten verstaan die niet gericht zijn op verwarmen of koelen. Voorbeelden zijn verlichting, acculaders, kantoorbenodigdheden, aandrijvingen, pompen etc. Deze over het algemeen kleine energieposten hebben een gezamenlijk gebruik dat op kan lopen tot ca. 15% van het totaal. Deze energiepost wordt echter niet in de energiedoelstelling opgenomen.

Voor beide categorieën is de energiedoelstelling ingevuld met een concreet getal gebaseerd op de onderstaande uitgangspunten.

Herhaling tabel 2.1 Categorieën met energiedoelstelling [MJ/m³].

Categorie	Klasse	Energiedoelstelling
Koelcel	A	30 MJ/m ³
	B	50 MJ/m ³
	C	81 MJ/m ³
Vriescel	A	126 MJ/m ³
	B	171 MJ/m ³
	C	245 MJ/m ³

De bedrijfstijd van de koel- en vriescel is 365 dagen.

De verhouding oppervlak-celinhoud is onder andere van invloed op de transmissieverliezen. Voor de energiewijzer is een indeling gemaakt in vijf klassen. De celinhoud [m^3] is hierbij het uitgangspunt.

Tabel 2.2 Bedrijfsklassen cel.

Klasse	Grootte [m^3]
I	cel $\leq$ 100
II	100 < cel $\leq$ 1000
III	1000 < cel $\leq$ 10.000
IV	10.000 < cel $\leq$ 50.000
V	50.000 < cel

De deurverliezen zijn afhankelijk van openingstijd en totaal deuropervlak. Voor beide categorieën zijn de volgende uitgangspunten aangenomen:

deuropervlak: 22,2 m^2

openingstijd: 1 uur/dag

In tabel 2.3 staat een samenvatting van de resultaten per energiepost.

Tabel 2.3 Uitgangspunten energiedoelstelling per energiepost.

		Koelcel	Vriescel
Celcondities		T : 2 °C RV : 90%	T : -20 °C RV : 95%
Bezetting [ton/m^3]		200 ton/m^3	500 ton/m^3
	Klasse	[MJ/ m^3]	[MJ/ m^3]
Transmissieverliezen	A	10	36
	B	14	48
	C	21	69
Deurverliezen	A	1	8
	B	3	17
	C	6	36
Interne warmte productie	A	13	61
	B	20	68
	C	30	78
Inkoelen/vriezen		0	0
Ketenwarmte		0	0
Metabolisme		0	0
Overigen		0	0

		Koelcel	Vriescel
	Klasse	[MJ/m ³]	[MJ/m ³]
Verdamper ventilatoren	A	3	13
	B	7	20
	C	12	29
Condensor ventilatoren	A	3	9
	B	7	18
	C	13	29
Warmtevraag		0	42

Warmteterugwinning

Uit een koelinstallatie is zonder dat dit extra energie kost warmte te halen (warmteterugwinning), die kan worden aangewend voor bijvoorbeeld vloerverwarming of het ontdooien van koelers. De condensor geeft warmte af van circa 30 °C. Dit kan gebruikt worden voor het verwarmen van water. In combinatie met warmte uit de persgassen kan een deel doorverwarmd worden tot 70 °C. Het warme water kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor ruimteverwarming, een wasinstallatie of voor het reinigen van ruimtes.

Koelinstallatie

De energetische prestatie van de koelinstallatie is aangegeven met het carnotrendement (η_{carnot}). Dit carnotrendement geeft aan hoeveel energie de compressor (aandrijving) gebruikt afgezet tegen het theoretisch minimum.

Met de term c.o.p. (coefficient of performance) wordt uitgedrukt hoeveel kW koude gemaakt wordt met 1 kW aandrijfenergie.

Er is uitgegaan van een carnotrendement van 50%.

De c.o.p. van de koelinstallatie voor de koelcel is 3,4.

De c.o.p. van de koelinstallatie voor de vriescel is 2,1.

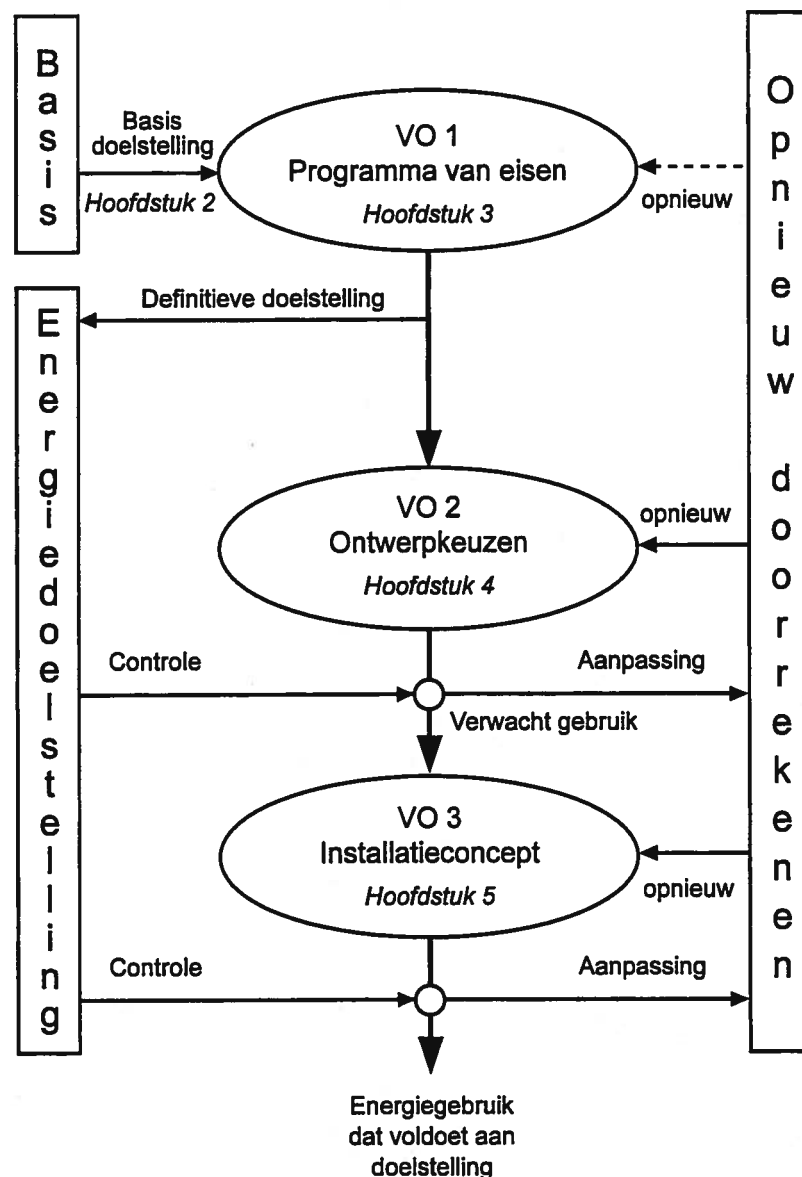
Primaire energie

Het energiegebruik is uitgedrukt in primaire energie. Dit maakt een vergelijking tussen verschillende concepten mogelijk. Voor het berekenen van de primaire energie is uitgegaan van een compressiekoelinstallatie die gevoed wordt vanuit het elektriciteitsnet. Het opwekkingsrendement van het elektriciteitsnet is gesteld op 40%.

In bijlage 2 staan van diverse systemen de opwekkingsrendementen.

2.4 Fasering voorontwerp (V.O.)

Het ontwerp is ingedeeld in fasen. Allereerst wordt de energieklassse gekozen waaraan het ontwerp moet voldoen. Het bij die klasse behorende energieverbruik dient als basis. Deze basis energiedoelstelling wordt in de eerste fase omgezet naar de definitieve energiedoelstelling. Aanpassingen op de basisdoelstelling worden ook toegepast op de referentie, zodat tevens een definitieve referentie ontstaat. Na elke volgende fase wordt aangegeven welke gevolgen de genomen beslissingen hebben voor het energieverbruik (van de referentie). Als de gestelde energiedoelstelling door de genomen besluiten (aanpassingen op de referentie) niet gerealiseerd kan worden moet de fase (of voorgaande fasen) opnieuw doorlopen worden. Het geheel is schematisch weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.2 Schematische weergave voorontwerp.

V.O. deel 1: Programma van Eisen

Het ontwerp begint met een programma van eisen vast te stellen. Hiermee wordt bedoeld alle uitgangspunten en voorwaarden die de opdrachtgever aan het ontwerp stelt. Voorbeelden zijn functie, omvang, temperatuur, ruimtelijke beperkingen en logistieke randvoorwaarden. Waar het programma van eisen afwijkt van de uitgangspunten, zie paragraaf §2.3 en bijlage 1, staat aangegeven hoe de energiedoelstelling gecorrigeerd kan worden. Na deze fase is de definitieve energiedoelstelling bekend en is ook de definitieve referentie bekend. Na het doorlopen van V.O. deel 2 en 3 zal het aangepast energiegebruik van de referentie maximaal gelijk moeten zijn aan dat van de doelstelling om aan de doelstelling te voldoen.

V.O. deel 2: Ontwerpkeuzen

Vanuit het programma van eisen worden de ontwerpkeuzen gemaakt. Voorbeelden zijn de dikte van de isolatie, deurconstructies en verlichting. Als de keuzen gemaakt zijn, kunnen de aanpassingen van de energieposten t.o.v. de referentie berekend worden (koellastberekening).

V.O. deel 3: Installatieconcept

De berekende energieposten (V.O. 1 & 2) zijn uitgangspunt voor het installatieontwerp. In het installatieconcept staat aangegeven welke keuzemogelijkheden er zijn en wat de gevolgen zijn voor de energiedoelstelling. Na deze fase moet door aanpassingen van de energieposten t.o.v. de referentie het werkelijke energiegebruik gelijk of minder zijn dan die van de opgelegde energiedoelstelling.

3. VO-deel 1: Programma van eisen

Doelstelling van VO-deel 1 is de uitgangspunten en voorwaarden voor het ontwerp vast te leggen. Zij bepalen in combinatie met de ontwerpkeuzen (V.O.2) de energieposten.

Tussen het programma van eisen en de energiedoelstelling is sprake van een wisselwerking. De gebruiker stelt voorafgaand aan het programma van eisen vast tot welke klasse de energiedoelstelling moet behoren. Bij specifieke situaties worden de referentiesituatie en de bijbehorende basis energiedoelstelling gecorrigeerd, waarmee de definitieve energiedoelstelling tot stand komt alsmede een definitieve referentie. Indien de gekozen doelstelling klasse C is dan hoeven de wijzigingen slecht één keer doorgevoerd te worden; klasse C is immers gelijk aan de referentie. Voor de relevante posten zijn in dit hoofdstuk correctiefactoren opgenomen.

3.1 Transmissieverliezen

De transmissieverliezen zijn afhankelijk van de verhouding van het wandoppervlak en het celvolume. Voor de referentiesituatie is deze verhouding 0,3 voor kleinere cellen is deze verhouding groter en voor grotere cellen juist kleiner. Indien de oppervlakte/volume verhouding van de cel bekend is, kunnen op de volgende wijze de transmissieverliezen gecorrigeerd worden:

Correctietabel 3.1 Transmissieverliezen.

Energiepost doelstelling (tabel 2.3) [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling (tabel 2.3) [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
x	* y	/ 0,3	- x	= energie (primaire) naar § 3.9
Energiepost referentie (tabel 2.3) [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling (tabel 2.3) [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
x	* y	/ 0,3	- x	= energie (primaire) naar § 3.9

Zoals eerder besproken in § 2.4 (V.O. deel 1) moet nu voor zowel de doelstelling als de referentie de deurverliezen bepaald worden tenzij de gekozen doelstellingsklasse C is, deze is tenslotte gelijk aan de referentie.

Rekenvoorbeeld

Een vriescel die ontworpen moet worden volgens energiedoelstelling A met de volgende afmetingen 10 x 20 x 10 m³. Oppervlak van de wanden is 1000 m². Volume van de cel is 2000 m³.

Energiepost doelstelling A [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling A [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
36	* 0,5	/ 0,3	- 36	= 24 naar § 3.9
Energiepost referentie [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling A [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
69	* 0,5	/ 0,3	- 69	= 46 naar § 3.9

3.2 Deurverliezen

Deurverliezen zijn afhankelijk van het deuroppervlak, aantal deuren en van de tijd dat deze deuren gedurende de dag openstaan. Een correctie op de deurverliezen zoals deze in de referentiesituatie zijn berekend gebeurt op basis van een nieuwe geïntroduceerde eenheid: m²h. Deze geeft aan hoeveel m² deur er gemiddeld een uur openstaat. In de referentiesituatie is voor zowel koel- als vrieshuis deze eenheid omgerekend naar primair energie gebruik per jaar. Hetzelfde moet worden gedaan voor de doelstellingsklasse A en B. Voor de klasse A en B wordt een hoger rendement (COP) van de koelinstallatie verondersteld wat tot uiting moet komen in het primaire energiegebruik. Dit geeft de volgende factoren:

Tabel 3.2 Omrekeningsfactoren m²h naar primair energiegebruik MJ primair.

Klasse	Koelen	Vriezen
A	7,5*10 ²	6,4*10 ³
B	2,5*10 ³	2,0*10 ⁴
C (referentie)	4,6*10 ³	3,6*10 ⁴

De deurverliezen voor een specifieke koel/vriescel kunnen nu bepaald worden. Op basis van de gekozen doelstelling A, B of C wordt nu uit tabel 3.2 de te gebruiken factor bepaald. Zoals eerder besproken in § 2.4 (V.O. deel 1) moet nu voor zowel de doelstelling als de referentie de deurverliezen bepaald worden tenzij de gekozen doelstellingsklasse C is, deze is tenslotte gelijk aan de referentie.

Correctietabel 3.3 Deurverliezen.

	Deur oppervlak [m ²]	Tijd open in 24 uur [h]	Factor [MJ/m ² h]	Volume cel [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings-klasse ...	H*B*aantal	* tijd	* tabel 3.2	/ volume	= energie (primaire)	naar § 3.9
Referentie	H*B*aantal	* tijd	* tabel 3.2	/ volume	= energie (primaire)	naar § 3.9

De correctiewaarde die nu moet worden ingevuld in paragraaf 3.9 is de berekende energiepost uit bovengaannde tabel minus de energiepost voor de betreffende klasse uit tabel 2.3.

Rekenvoorbeeld

Een vriescel die ontworpen wordt volgens energiedoelstelling B met een volume van 5000 m³ heeft 1 deur met de volgende afmetingen: hoogte (H) x breedte (B) = 3 * 3 m². De deur staat gemiddeld een half uur per dag open.

	Deur oppervlak [m ²]	Tijd open in 24 uur [h]	Factor [MJ/m ² h]	Volume cel [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings-Klasse B	3 * 3 * 1	* 0,5	* 2,4*10 ⁴	/ 5000	= 18	naar § 3.9
Referentie	3 * 3 * 1	* 0,5	* 3,6*10 ⁴	/ 5000	= 32	naar § 3.9

De waarden die nu in paragraaf 3.9 moeten worden ingevuld zijn voor klasse B en de referentie. Dit zijn respectievelijk de waarde uit bovenstaande tabel minus de waarden uit tabel 2.3: 10 (18 minus 8) en - 4 (32 minus 36).

3.3 Interne warmteproductie

Indien er naast opslag bewerkingen (productielijnen, verpakkingsmachines) aan het product plaatsvinden neemt de interne warmteproductie toe. Bij de referentiesituatie wordt alleen rekening gehouden met standaard voorzieningen als ventilatie, verlichting, personen en transportmiddelen.

De correctiewaarden (primaire energie) geldend voor de niet -standaardvoorzieningen zijn afhankelijk van grootte, opgesteld vermogen en bedrijfstijd. Bedrijfstijd en opgesteld vermogen worden met elkaar vermenigvuldigd en uitgedrukt in kWh/jaar. Deze waarde wordt omgerekend naar het primaire energie gebruik per jaar in MJ jaar en hetzelfde moet worden gedaan voor de doelstellingsklasse A en B. Voor de klasse A en B wordt een hoger rendement (COP) van de koelinstallatie

verondersteld wat tot uiting moet komen in het primaire energiegebruik. Dit geeft de volgende factoren:

Tabel 3.4 Omrekeningsfactoren kWh naar primair energiegebruik MJ primair.

Klasse	Koelen	Vriezen
A	2,13	3,58
B	2,38	3,98
C (referentie)	2,62	4,39

Het energieverbruik wordt vervolgens nog gecorrigeerd voor het volume van de cel.

Correctietabel 3.5 Interne warmteproductie niet-standaardvoorzieningen.

	Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
Doelstellings- Klasse ...	a	*	*	/	=
	b	*	*	/	=
	c	*	*	/	=
	d	*	*	/	= +
Totaal					= energie (primair) naar § 3.9
Referentie	a	*	*	/	=
	b	*	*	/	=
	c	*	*	/	=
	d	*	*	/	= +
Totaal					= energie (primair) naar § 3.9

Rekenvoorbeeld

In een verwerkingsruimte (2 °C) met een volume van 5000 m³, die moet voldoen aan klasse A, staan drie verpakkingsmachines:

- A 25 kW - 4000 uur
- B 10 kW - 2000 uur
- C 10 kW - 1000 uur

Correctietabel 3.5 *Interne warmteproductie niet-standaardvoorzieningen.*

	Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellingen Klasse A	a 25	* 4000	* 2,13	/ 5000	= 43	
	b 10	* 2000	* 2,13	/ 5000	= 9	
	c 10	* 1000	* 2,13	/ 5000	= 4	
	d	*	*	/	=	+
Totaal					= 56	naar § 3.9
Referentie	a 25	* 4000	* 2,62	/ 5000	= 52	
	b 10	* 2000	* 2,62	/ 5000	= 10	
	c 10	* 1000	* 2,62	/ 5000	= 5	
	d	*	*	/	=	+
Totaal					= 67	naar § 3.9

3.4 Inkoelen en invriezen

In de referentiesituatie wordt niet ingekoeld of ingevroren. Het energieverbruik voor inkoelen en invriezen van producten is afhankelijk van:

- soort product:
 - gemiddelde soortelijke warmte bij afkoelen 3,5 MJ/ton·K;
 - gemiddelde warmte voor bevriezen 235 MJ/ton;
 - gemiddelde soortelijke warmte bij invriezen 1,8 MJ/ton·K;
- ΔT , verschil tussen aanvoer- en eindtemperatuur;
- productie [ton/jaar].

De af te voeren warmte voor inkoelen volgt uit de vermenigvuldiging van productie, verschil tussen aanvoer- en eindtemperatuur en soortelijke warmte.

De af te voeren warmte voor invriezen is opgebouwd uit drie trajecten:

- temperaturen hoger dan vriespunt: vermenigvuldiging van productie, verschil tussen aanvoertemperatuur en vriespunt, en soortelijke warmte;
- vriespunt: warmte voor bevriezen;
- temperaturen lager vriespunt: vermenigvuldiging van productie, verschil tussen vriespunt en eindtemperatuur, en soortelijke warmte.

De op deze wijze berekende energiebehoefte wordt omgerekend naar primair energieverbruik en hetzelfde moet worden gedaan voor de doelstellingsklasse A en B. Voor de klasse A en B wordt een hoger rendement (COP) van de koelinstallatie verondersteld wat tot uiting moet komen in het primaire energieverbruik. Dit geeft de volgende factoren:

Tabel 3.6 Omrekeningsfactoren MJ naar primair energiegebruik MJ primair.

Klasse	Koelen	Vriezen
A	0,59	1,09
B	0,66	1,16
C (referentie)	0,73	1,22

Het energieverbruik wordt vervolgens gecorrigeerd voor het volume van de cel.

Correctietabel 3.7 Inkoelen, invriezen en bevriezen.

	Proces	Productie [ton/jaar]	ΔT	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings- klasse ...	Afkoelen (3,5 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
					Totaal	= energie (primair)	naar § 3.9
Referentie	Afkoelen (3,5 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
					Totaal	= energie (primair)	naar § 3.9

Rekenvoorbeeld

Een bedrijf koelt in een cel met een volume van 3000 m³ die moet voldoen aan klasse A 1000 ton fruit per jaar van 17 °C naar 2 °C.

	Proces	Productie [ton/jaar]	ΔT	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings- klasse A	Afkoelen (3,5 MJ/ton·K)	* 1000	* 15	* 0,59	/ 3000	= 10	
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton·K)	*	*	*	/	=	
	Totaal					= 10	naar § 3.9
Referentie	Afkoelen (3,5 MJ/ton·K)	* 1000	* 15	* 0,73	/ 3000	= 13	
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton·K)	*	*	*	/	=	
	Totaal					= 13	naar § 3.9

3.5 Ketenwarmte

Producten die boven de gewenste temperatuur worden aangeleverd moeten ingekoeld worden. Ook kan het voorkomen dat uit het oogpunt van koudebuffering, producten afgeleverd moeten worden op een lagere temperatuur. In de referentiesituatie is er vanuit gegaan dat de koudeketen goed gesloten is, zodat het product op de gewenste temperatuur aankomt en vertrekt. In de referentiesituatie is de ketenwarmte nul.

Waar dit structureel niet het geval is, dient de energiedoelstelling gecorrigeerd te worden. Deze correctie komt sterk overeen met de correctie voor inkoelen en invriezen van producten.

- soort product:
 - gemiddelde soortelijke warmte bij afkoelen 3,5 MJ/ton.K;
 - gemiddelde soortelijke warmte ingevroren producten 1,8 MJ/ton.K;
 - ΔT , verschil tussen aanvoer- en opslagtemperatuur of tussen opslag- en afvoertemperatuur;
- overslag [ton /jaar].

De af te voeren warmte voor afkoelen en voor verder invriezen volgt uit de vermenigvuldiging van productie, verschil tussen begin- en eindtemperatuur, en soortelijke warmte.

De op deze wijze berekende energiebehoefte wordt omgerekend naar primair energieverbruik en hetzelfde moet worden gedaan voor de doelstellingsklasse A en B.

Voor de klasse A en B wordt een hoger rendement (COP) van de koelinstallatie verondersteld wat tot uiting moet komen in het primaire energiegebruik. Dit geeft de volgende factoren:

Tabel 3.8 Omrekeningsfactoren MJ naar primair energiegebruik MJ primair.

Klasse	Koelen	Vriezen
A	0,59	1,09
B	0,66	1,16
C (referentie)	0,73	1,22

Het energieverbruik wordt vervolgens gecorrigeerd voor het volume van de cel.

Correctietabel 3.9 Ketenwarmte voor inkoelen en invriezen.

	Proces	Productie [ton/jaar]	ΔT	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings- klasse	Afkoelen (3,5 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
					Totaal	= energie (primair)	naar § 3.9
Referentie	Afkoelen (3,5 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
	Invriezen (1,8 MJ/ton-K)	*	*	*	/	=	
					Totaal	= energie (primair)	naar § 3.9

Rekenvoorbeeld

Een bedrijf krijgt per jaar 25.000 ton fruit per jaar binnen op 4 °C. De gewenste opslagtemperatuur is 2 °C, het celvolume bedraagt 10.000 m³ en de gewenste doelstellingsklasse is B.

	Proces	Productie [ton/jaar]	ΔT	Factor	Cel volume [m ³]	Energie- post [MJ/m ³]
Doelstellings- klasse B	Afkoelen (3,5 MJ/ton.K)	* 25000	* 2	* 0,66	/ 10000	= 12
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=
	Invriezen (1,8 MJ/ton.K)	*	*	*	/	=
					Totaal	= 12 naar § 3.9
Referentie	Afkoelen (3,5 MJ/ton.K)	* 25000	* 2	* 0,73	/ 10000	= 13
	Bevriezen (235 MJ/ton)	*	*	*	/	=
	Invriezen (1,8 MJ/ton.K)	*	*	*	/	=
					Totaal	= 13 naar § 3.9

3.6 Metabolisme

Agrarische producten zijn levende producten. Tijdens het bewaren geven ze warmte en vocht af. Dit proces heet *metabolisme*. De afgegeven voelbare en latente warmte moet worden weggekoeld.

De grootte van de warmte- en vochtafgifte is afhankelijk van soort, ras, wijze van voorbehandeling, ontwikkelingsfase en omgevingscondities als temperatuur, zuurstofgehalte, CO₂ gehalte, luchtcirculatie en dampspanningsverschil. Binnen het Voorontwerp wordt slechts onderscheid gemaakt naar drie klassen. De waarden per klasse zijn in onderstaande tabel aangegeven.

De op deze wijze berekende energiebehoefte wordt omgerekend naar primair energiegebruik en hetzelfde moet worden gedaan voor de doelstellingsklasse A en B. Voor de klasse A en B wordt een hoger rendement (COP) van de koelinstallatie verondersteld wat tot uiting moet komen in het primaire energiegebruik. Dit geeft de volgende factoren:

Tabel 3.10 Omrekeningsfactoren MJ naar primair energiegebruik MJ primair.

Klasse	Koelen	Vriezen
A	0,59	1,09
B	0,66	1,16
C (referentie)	0,73	1,22

Tabel 3.11 Warmteafgifte categorieën.

Metabolisme klasse	Soort producten	Warmte- en vochtafgifte per jaar		
		[MJ/m ³]	Factor	Primaire energie [MJ/m ³]
Sterk	Bladgroente (spinazie, andijvie)	700	*	=
Matig	Kolen en (sub)tropische producten	400	*	=
Gering	Fruit, uien, bollen, tomaten	100	*	=

Correctietabel 3.12 Metabolisme.

	Klasse	Primair [MJ/m ³]	% in gebruik	Energiepost [MJ/m ³]
Doelstellings- Klasse ...	Sterk	700 * factor	*	=
	Matig	400 * factor	*	=
	Gering	100 * factor	*	= +
Totaal				= energie (primair) naar § 3.9

Referentie	Sterk	700 * factor	*	=
	Matig	400 * factor	*	=
	Gering	100 * factor	*	= +
Totaal				= energie (primair) naar § 3.9

Rekenvoorbeeld

Een koelcel die moet voldoen aan klasse A heeft naar verwachting de volgende belading:

juni - augustus	=	92 dagen:	bladgroente
september - maart	=	61 dagen:	fruit
april - mei	=	212 dagen:	(sub-) tropische producten

	Klasse	Primair MJ/m ³	% in gebruik	Energiepost
Doelstellings- Klasse A	Sterk	700 * 0,59	* 92 / 365	= 104
	Matig	400 * 0,59	* 61 / 365	= 39
	Gering	100 * 0,59	* 212 / 365	= 34 +
	Totaal			= 177 naar § 3.9
Referentie	Sterk	700 * 0,73	* 92 / 365	= 128
	Matig	400 * 0,73	* 61 / 365	= 49
	Gering	100 * 0,73	* 212 / 365	= 42 +
	Totaal			= 219 naar § 3.9

3.7 Warmtevraag

Warmte is bijvoorbeeld nodig voor:

- ruimteverwarming (kantoren);
- vloerverwarming vriescel;
- reinigen;
- wasinstallatie.

Als er in het productieproces sprake is van een warmtevraag zal de energiedoelstelling gecorrigeerd moeten worden. In referentiesituatie is de opgenomen warmtevraag ten behoeve van vloerverwarming opgenomen. Hierbij wordt er echter vanuit gegaan dat volledig in deze warmtevraag wordt voorzien door warmteterugwinning uit de installatie (persgasverwarming). Indien dit in de actuele situatie niet het geval is dan dient de warmtevraag in de bepaling van het energiegebruik te worden meegenomen. De correctiewaarden zijn afhankelijk van grootte van de cel, opgesteld vermogen en bedrijfstijd. Bedrijfstijd en opgesteld vermogen worden met elkaar vermenigvuldigd en uitgedrukt in kWh/jaar. Deze waarde wordt omgerekend naar het primaire energie gebruik per jaar in MJ. Deze waarde is afhankelijk van de wijze van warmte opwekking: d.m.v. c.v. installatie of d.m.v. stoomproductie. Op basis van de opwekkingsrendementen, zie bijlage 2, kunnen de volgende factoren worden bepaald:

Factor c.v. ketel: 1 kWh = 5,14 MJ (primair)
 Factor stoom: 1 kWh = 7,2 MJ (primair)

Het energieverbruik wordt vervolgens nog gecorrigeerd voor het volume van de cel.

Correctietabel 3.13 Warmtevraag.

Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]
a	*	*	/	=
b	*	*	/	=
c	*	*	/	=
d	*	*	/	= +
Totaal				= energie (primaire) naar § 3.9

Rekenvoorbeeld

Voor een bedrijf met een celvolume van 15000 m³ moet in de volgende warmtevraag worden voorzien:

- Wasinstallatie voor containers draait 2000 uur per jaar. De warmtevraag is 100 kW, die middels een stoomketel wordt opgewekt.
- Voor ruimteverwarming is een c.v. installatie geïnstalleerd van 30 kW. De installatie heeft 1500 bedrijfsuren.

Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]
a 100	* 2000	* 7,2	/ 15000	= 96
b 30	* 1500	* 5,14	/ 15000	= 15
c	*	*	/	=
d	*	*	/	= +
Totaal				= 111 naar § 3.9

3.8 Bedrijfstijd

Het energiegebruik is gespecificeerd naar MJ/m³ (primaire) per jaar. Bij seizoensgebonden producten moet hier een correctie uitgevoerd worden. De correctie is afhankelijk van het aantal dagen dat de cel *buiten bedrijf* is en de periode van het jaar. Een cel die 's zomers niet gebruikt wordt, moet zwaarder gecorrigeerd worden voor transmissie- en deurverliezen dan een cel die 's winters buiten bedrijf is.

De volgende correctiefactoren zijn opgesteld:

Tabel 3.14 Correctiefactoren energieposten.

	Correctie [x= dagen]	Seizoenstoelage	
		koelcel	vriescel
Transmissieverlies (gecorrigeerd § 3.1)	x / 365	0,3, 1,2 of 1,9	0,8, 1,1 of 1,2
Deurverlies (gecorrigeerd § 3.2)	x / 365	0,3, 1,2 of 1,9	0,8, 1,1 of 1,2
Interne warmteproductie (standaardvoorzieningen)	x / 365	n.v.t.	n.v.t.
Verdamper ventilatoren	x / 365	0,7, 1,1 of 1,4	0,9, 1,05 of 1,1
Condensor ventilatoren	x / 365	0,7, 1,1 of 1,4	0,9, 1,05 of 1,1

Hierin is x het aantal dagen waarop een bepaalde toeslag van toepassing is, zie ook tabel 3.16. Voor de transmissieverliezen en de deurverliezen moet gebruik gemaakt worden van de waarden die berekend zijn voor de betreffende post in respectievelijk paragraaf 3.1 en 3.2. Voor de transmissieverliezen wordt deze waarde bepaald uit de som van de oorspronkelijke energiepost en de correctie op deze energiepost.

Om de invloed van buitentemperatuur (transmissie) en energie-inhoud (deurverliezen) te compenseren zijn de volgende toeslagen gemaakt.

Tabel 3.15 Seizoenstoelagen voor correctie bedrijfstijd.

Maanden	Seizoenstoelage	
	koelcel	vriescel
januari, februari, maart, november, december	0,3	0,8
april, mei, september, oktober	1,2	1,1
juni, juli, augustus	1,9	1,2

Ook voor het berekenen van de invloed van de bedrijfstijd moet zowel voor de gewenste energiedoelstelling als voor de referentiesituatie de benodigde berekeningen worden uitgevoerd. Deze expliciete uitsplitsing in de voorbeeld berekening is in deze paragraaf in tegenstelling tot de voorgaande paragrafen niet meegenomen.

Correctietabel 3.16 *Bedrijfstijd.*

	Factor kc: 0,3 vc: 0,8 [dagen]	Factor kc: 1,2 vc: 1,1 [dagen]	Factor kc: 1,9 vc: 1,2 [dagen]	Totaal	Doelstelling energiepost [MJ/m ³]	Correctie [MJ/m ³]
<i>Transmissie</i>						
koelcel	$x_1 * 0,3$	$+ x_2 * 1,2$	$+ x_3 * 1,9$	$= x_t / 365$	*	=
vriescel	$x_1 * 0,8$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,2$	$= x_t / 365$	*	=
<i>Deur</i>						
koelcel	$x_1 * 0,3$	$+ x_2 * 1,2$	$+ x_3 * 1,9$	$= x_t / 365$	*	=
vriescel	$x_1 * 0,8$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,2$	$= x_t / 365$	*	=
<i>Interne warmte prod.</i> (standaardvoor- zieningen)				$= x_t / 365$	*	=
<i>Verdamper vent.</i>						
koelcel	$x_1 * 0,70$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,4$	$= x_t / 365$	*	=
vriescel	$x_1 * 0,9$	$+ x_2 * 1,05$	$+ x_3 * 1,1$	$= x_t / 365$	*	=
<i>Condensor vent.</i>						
koelcel	$x_1 * 0,70$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,4$	$= x_t / 365$	*	=
vriescel	$x_1 * 0,9$	$+ x_2 * 1,05$	$+ x_3 * 1,1$	$= x_t / 365$	*	= +
Totaal						
Naar § 3.9						energie (primaïr)

Rekenvoorbeeld

Een koelcel die moet functioneren volgens doelstelling B wordt de maanden mei, juni, juli en augustus (31 + 92 dagen) niet gebruikt.

Dit geeft de volgende correctie op de energiedoelstelling:

	Factor kc: 0,3 vc: 0,8 [dagen]	Factor kc: 1,2 vc: 1,1 [dagen]	Factor kc: 1,9 vc: 1,2 [dagen]	Totaal	Energiepost behorende bij doelstel- ling B [MJ/m ³]	Energiepost [MJ/m ³]
<i>Transmissie</i>						
koelcel	$0 * 0,3$	$+ 31 * 1,2$	$+ 92 * 1,9$	$= 212 / 365$	* § 3.1	$= 0,58 * § 3.1$
vriescel	$x_1 * 0,8$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,2$	$= x_t / 365$	*	=
<i>Deur</i>						
koelcel	$0 * 0,3$	$+ 31 * 1,2$	$+ 92 * 1,9$	$= 212 / 365$	* § 3.2	$= 0,58 * § 3.2$
vriescel	$x_1 * 0,8$	$+ x_2 * 1,1$	$+ x_3 * 1,2$	$= x_t / 365$	*	=
<i>Interne warmte</i> (standaardvoor- zieningen)				$= 123/365$	* 30	= 10
<i>Verdamper</i>						
koelcel	$0 * 0,70$	$+ 31 * 1,1$	$+ 92 * 1,4$	$= 163 / 365$	* 12	= 5
vriescel	$x_1 * 0,9$	$+ x_2 * 1,05$	$+ x_3 * 1,1$	$= x_t / 365$	*	=

<i>Condensor</i>						
koelcel	$0 * 0,70$	$+ 31 * 1,1$	$+ 92 * 1,4$	$= 163/365$	$* 13$	$= 6$
vriescel	$x_1 * 0,9$	$+ x_2 * 1,05$	$+ x_3 * 1,1$	$= x_i/365$	$*$	$=$
Totaal						
Naar § 3.9 energie (primair)						

3.9 Definitieve energiedoelstelling en energiegebruik referentie

Met de correctiefactoren kan nu tabel 2.1 gecorrigeerd worden, waarmee de gecorrigeerde energiedoelstelling bekend wordt. Tevens wordt daarmee het gecorrigeerde energiegebruik voor de referentiesituatie bekend. In de nu volgende hoofdstukken zal op basis van ontwerp- en installatiekeuzen het definitieve energiegebruik bekend worden. Op basis daarvan kan worden bepaald of de energiedoelstelling wordt gehaald of dat er wijzigingen in de functionaliteit, danwel ontwerp of installatie plaats moeten vinden.

Herhaling tabel 2.1 Categorieën met energiedoelstelling [MJ/m³].

Koelcel	A	30 MJ/m ³
	B	50 MJ/m ³
	C	81 MJ/m ³
Vriescel	A	126 MJ/m ³
	B	171 MJ/m ³
	C	245 MJ/m ³

Tabel 3.17 Bepaling definitieve energiedoelstelling.

1.	Basis energiedoelstelling	tabel 2.1	MJ/m ³
2.	Correctie energiepost transmissieverliezen	tabel 3.1	MJ/m ³
3.	Correctie energiepost deurverliezen	tabel 3.3	MJ/m ³
4.	Correctie energiepost interne warmteproductie	tabel 3.5	MJ/m ³
5.	Energiepost inkoelen en invriezen	tabel 3.7	MJ/m ³
6.	Energiepost ketenwarmte	tabel 3.9	MJ/m ³
7.	Energiepost metabolisme	tabel 3.12	MJ/m ³ +
9.	Energiepost warmtevraag	tabel 3.13	MJ/m ³ +
8.	Energiepost seizoenscorrectie	tabel 3.16	MJ/m ³ -
Definitieve energiedoelstelling			MJ/m³

Tabel 3.18 Bepaling energiegebruik referentie.

1.	Energiegebruik referentie	tabel 2.1	MJ/m ³
2.	Correctie energiepost transmissieverliezen	tabel 3.1	MJ/m ³
3.	Correctie energiepost deurverliezen	tabel 3.3	MJ/m ³
4.	Correctie energiepost interne warmteproductie	tabel 3.5	MJ/m ³
5.	Energiepost inkoelen en invriezen	tabel 3.7	MJ/m ³
6.	Energiepost ketenwarmte	tabel 3.9	MJ/m ³
7.	Energiepost metabolisme	tabel 3.12	MJ/m ³ +
9.	Energiepost warmtevraag	tabel 3.13	MJ/m ³ +
8.	Energiepost seizoenscorrectie	tabel 3.16	MJ/m ³ -
	Energiegebruik referentie		MJ/m³

4. VO-Deel 2: Ontwerpkeuzen

De ontwerpkeuzen zijn een verdere uitwerking van het programma van eisen. De waarde van de energiedoelstelling ligt nu vast evenals de definitieve referentiesituatie (klasse C). Met de ontwerpkeuzen worden de grootte van de energieposten uit de referentie aangepast zodat een aangepast energiegebruik wordt verkregen. Alle aanpassingen die hier worden uitgevoerd vinden dus plaats t.o.v. het referentie energiegebruik (definitieve referentiesituatie) zoals dat is bepaald in paragraaf 3.9 van het voorgaande hoofdstuk.

4.1 Isolatie - Transmissieverliezen

Door de keuze van isolatie (materiaalsoort en dikte) zijn de warmteverliezen door transmissie te beïnvloeden. Naast isolatie wordt het warmteverlies bepaald door temperatuurverschil over de wand en het totale oppervlak. De correctiewaarde is daarnaast afhankelijk van de vastgestelde bedrijfsklasse (Tabel 2.2 Klasse I tot V).

Bij het ontwerp wordt verschil gemaakt in vier soorten wanden:

- buitenwanden;
- dak;
- vloer;
- binnenwanden.

Dit onderscheid is gemaakt omdat de wanden een afwijkend temperatuurverschil hebben. Het standaardreferentiejaar is gebruikt om het gemiddeld temperatuurverschil te berekenen. Bij binnenwanden is de correctie afhankelijk gemaakt van de isolatiewaarde en het temperatuurverschil over de wand.

Aanpassing van de transmissieverliezen heeft behalve direct ook een indirect effect, namelijk dat daarmee ook de ventilatorvermogens van koeler en condensor aangepast kunnen worden. Aangezien deze bijdrage niet onaanzienlijk is, is deze in de correctietabellen reeds meegenomen.

Tabel 4.1a Aanpassing primair energiegebruik per buitenwand [MJ/m^3].

Klasse R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	57	26	9	4	2
5,2	-9	-4	-1	-1	0	0	0	0	0	0
7,3	-12	-5	-2	-1	0	-23	-10	-4	-1	-1
8,9	-13	-6	-2	-1	-1	-33	-15	-5	-2	-1
10,5	-14	-7	-2	-1	-1	-40	-18	-6	-3	-2
12	-15	-7	-2	-1	-1	-44	-20	-7	-3	-2

Tabel 4.1b Aanpassing primair energiegebruik dak [MJ/m^3].

Klasse R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	67	31	24	24	24
5,2	-14	-7	-5	-5	-5	0	0	0	0	0
7,3	-20	-9	-7	-7	-7	-26	-12	-9	-9	-9
8,9	-23	-10	-8	-8	-8	-38	-17	-14	-14	-14
10,5	-24	-11	-9	-9	-9	-46	-21	-17	-17	-17
12	-26	-12	-9	-9	-9	-52	-24	-19	-19	-19

Tabel 4.1c Aanpassing primair energiegebruik vloer [MJ/m^3].

Klasse R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	59	27	21	21	21
5,2	-9	-4	-3	-3	-3	0	0	0	0	0
7,3	-13	-6	-5	-5	-5	-23	-10	-8	-8	-8
8,9	-15	-7	-5	-5	-5	-33	-15	-12	-12	-12
10,5	-16	-7	-6	-6	-6	-40	-18	-15	-15	-15
12	-17	-8	-6	-6	-6	-45	-21	-16	-16	-16

Tabel 4.1.d1 Aanpassing primair energiegebruik per tussenwand (ΔT 10 K) [MJ/m³].

Klasse R [m ² K/W]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	20	9	3	1	1
5,2	-12	-5	-2	-1	0	0	0	0	0	0
7,3	-16	-7	-3	-1	-1	-8	-3	-1	0	0
8,9	-18	-8	-3	-1	-1	-11	-5	-2	-1	0
10,5	-20	-9	-3	-1	-1	-13	-6	-2	-1	-1
12	-21	-9	-3	-1	-1	-15	-7	-2	-1	-1

Tabel 4.1.d2 Aanpassing primair energiegebruik per tussenwand (ΔT 25 K) [MJ/m³].

Klasse R [m ² K/W]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	49	22	8	3	2
5,2	-29	-13	-5	-2	-1	0	0	0	0	0
7,3	-41	-18	-7	-3	-2	-19	-9	-3	-1	-1
8,9	-46	-21	-7	-3	-2	-28	-13	-4	-2	-1
10,5	-49	-22	-8	-3	-2	-34	-15	-5	-2	-1
12	-52	-24	-8	-3	-2	-38	-17	-6	-2	-2

Tabel 4.1.d3 Aanpassing primair energiegebruik per tussenwand (ΔT 40 K) [MJ/m³].

Klasse R [m ² K/W]	Koelcel					Vriescel				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
3,0	0	0	0	0	0	78	35	13	5	3
5,2	-47	-21	-7	-3	-2	0	0	0	0	0
7,3	-65	-30	-11	-4	-3	-31	-14	-5	-2	-1
8,9	-73	-33	-12	-5	-3	-44	-20	-7	-3	-2
10,5	-79	-36	-13	-5	-3	-54	-24	-9	-4	-2
12	-83	-38	-13	-6	-4	-61	-27	-10	-4	-3

Het energiegebruik door keuze van de isolatie komt onder of boven de gestelde doelstelling. Extra gebruik zal elders gecorrigeerd moeten worden, of de kwaliteit van de isolatie dient verbeterd te worden.

Aanpassing energiegebruik

Tabel 4.2 *Aanpassing energiegebruik door kwaliteit isolatie.*

	R-waarde	Waarde tabel	Aantal wanden	Aanpassing
Buitenwand		4.a	*	=
Dak		4.b	*	=
Vloer		4.c	*	=
Binnenwand		4.d	*	= +
Totaal naar §4.4				

Rekenvoorbeeld

Een koelcel uit Klasse III met 2 buitenwanden wordt zodanig geïsoleerd zodat een R-waarde van 5,2 wordt bereikt.

	R-waarde	Waarde tabel	Aantal wanden	Aanpassing
Buitenwand	5,2	-1	* 2	= -2
Dak	5,2	-4	* 1	= -4
Vloer	5,2	-3	* 1	= -3
Binnenwand	5,2	0	* 2	= 0 +
Totaal naar §4.4				-9 [MJ/m ³]

4.2 Deurverliezen

In de ontwerpfase kan met een aantal voorzieningen de deurverliezen beperkt worden. Indien één van de opties wordt doorgevoerd mag het energiegebruik aangepast worden.

Tabel 4.3 *Besparingspotentieel energiegebruik deurverliezen.*

Alternatief	Koelcel		Vriescel	
	Besparings-factor	Energiepost referentie [MJ/m ³]	Besparings-factor	Energiepost referentie [MJ/m ³]
Tochtsluis	- 0,8	* § 3.1	- 0,8	* § 3.1
Tochtafdichting	- 0,4	* § 3.1	- 0,4	* § 3.1
Automatisch sluitende deuren	- 0,4	* § 3.1	- 0,4	* § 3.1
Aanpassing naar §4.4		Energie (primair)		energie (primair)

4.3 Warmteterugwinning

Warmteterugwinning kan in veel gevallen volledig in de energievraag voorzien. Bij koelcellen is 's winters vaak bijverwarming nodig. Dit geldt ook voor warmte met een temperatuur hoger dan 70 °C.

De warmtevraag die met warmteterugwinning wordt ingevuld mag op het energiegebruik in mindering worden gebracht.

Aanpassing energiegebruik

Tabel 4.4 *Aanpassing energiegebruik warmtevraag.*

Totale vraag	§ 3.7	
Warmteterugwinning	*** –	
Aanpassing energiegebruik	(MJ/m ³)	naar §4.4

4.4 Aanpassing energiegebruik door ontwerpkeuzen

In hoofdstuk 3 is de definitieve energiedoelstelling vastgesteld alsmede het energiegebruik voor de referentiesituatie. Met ontwerpkeuzen wordt duidelijk of deze doelstelling ook daadwerkelijk gehaald wordt.

Het verwacht energiegebruik wordt op de volgende wijze bepaald:

Tabel 4.5 *Bepaling aanpassing energiegebruik.*

Aanpassing energiegebruik isolatie	§4.1	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik deurverliezen	§4.2	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik warmteterugwinning	§4.3	MJ/m ³ +
Aanpassing energiegebruik	**	MJ/m ³
Seizoenscorrectie	dagen / 365 *	–
Aanpassing energiegebruik	**	MJ/m³

Bij de seizoenscorrectie moet voor het aantal dagen bij de verschillende posten evenals in tabel 3.16 verschillende waarden worden toegepast. Voor de aanpassing van de transmissie en de deurverliezen wordt hiervoor de zelfde waarde als uit tabel 3.16 toegepast. Voor de aanpassing t.g.v. warmteterugwinning moet bij de seizoenscorrectie het aantal dagen worden ingevuld dat de cel buiten bedrijf is.

Tabel 4.6 Bepaling verwacht energiegebruik.

1.	Energiegebruik referentie (tabel 3.17)	§3.9	MJ/m ³
2.	Correctie energiegebruik (tabel 4.5)	** zie tabel 3.16)	MJ/m ³
Verwacht energiegebruik		**	MJ/m³

5. VO-Deel 3: Installatieconcept

De keuze van het installatieconcept zal van invloed zijn op het in paragraaf 4.4 bepaalde verwachte energiegebruik. Wijzigingen worden dus ook t.o.v. dat energiegebruik doorgevoerd.

Stand der techniek is een elektrisch aangedreven compressiekoelinstallatie. In bijlage 1 staan voor de ontwerpcondities de volgende uitgangspunten:

Tabel 5.1 *Uitgangspunten installatieconcept.*

	Koelen	Vriezen
Celtemperatuur	2 °C	-20 °C
Δt verdamper	8 K	7 K
Δt condensor	15 K	15 K
Gemiddelde condensatietemperatuur	33 °C	33 °C
η_{carnot}	50%	50%
	c.o.p. gemiddeld 3,4	c.o.p. gemiddeld 2,1

De c.o.p. is het koelvermogen gedeeld door de aandrijfvermogen voor de compressor.

Om het totaal energiegebruik van de installatie te bepalen moet het energiegebruik van de onderstaande posten vastgesteld worden:

- vloeistofpompen;
- verdamper ventilatoren;
- condensorventilatoren.

Het energiegebruik van de vloeistofpompen wordt in de referentiesituatie vanwege het zeer geringe aandeel in energiegebruik niet meegenomen.

5.1 Installatie

Belangrijk bij de condities om het energiegebruik te berekenen is het temperatuurverschil tussen buitentemperatuur (luchtgekoelde condensor) en de condensatietemperatuur, en het verschil tussen celtemperatuur en verdampingstemperatuur. Hoe kleiner het verschil, des te lager het energiegebruik. In onderstaande tabel staan de aanpassingen op het energiegebruik voor afwijkende waarden.

Tabel 5.2 Aanpassing energiegebruik tengevolge ΔT [%].

ΔT	Koelen		Vriezen	
	Condensor [%]	Verdamper [%]	Condensor [%]	Verdamper [%]
3	-	-12	-	-7
4	-	-9	-	-5
5	-	-7	-	-3
6	-	-5	-	-2
7	-	-2	-	0
8	-13	0	-9	2
9	-12	2	-7	3
10	-10	5	-5	5
11	-8	7	-5	7
12	-6	9	-4	9
13	-4	12	-3	-
14	-2	-	-1	-
15	0	-	0	-
16	2	-	1	-
17	4	-	3	-
18	6	-	4	-
Aanpassing naar §5.2				

De correcties worden toegepast op het verwachte energiegebruik zoals berekend in paragraaf 4.4.

Rekenvoorbeeld

De installatie van een koelcel wordt uitgelegd als volgt:

ΔT verdamper is 6 K

ΔT verdamper is 12 K

Installatie component	Koelcel		Vriescel	
	Besparings-factor	Energiepost [MJ/m ³]	Besparings-factor	Energiepost [MJ/m ³]
Verdamper	- 5 / 100	* § 4.4		* § 4.4
Condensor	- 6 / 100	* § 4.4		* § 4.4
Aanpassing naar §5.2		energie (primair)		energie (primair)

De opbouw van het systeem zijn diverse ontwerpprincipes mogelijk. In onderstaande tabel wordt een praktijkcijfer aangegeven voor de invloed van een ontwerp principe op het energiegebruik.

De correcties worden toegepast op het verwachte energiegebruik zoals berekend in paragraaf 4.4.

Tabel 5.3 Aanpassing energiegebruik opbouw installatie [%].

Uitgangspunt	Alternatief	Correctiefactor	Energiepost [MJ/m ³]
Direct systeem	Indirect systeem	+ 0,15	* § 4.4
Centrale installatie	Decentraal	?	* § 4.4
Directe expansie	Pompsysteem	?	* § 4.4
Vollastregeling	diverse opties	?	* § 4.4
Deellast regeling	diverse opties	?	* § 4.4 +
	Totaal	Aanpassing naar §5.2	

Het aandrijfvermogen van de ventilatoren van respectievelijk verdamper en condensators levert een bijdrage aan het totale energie gebruik van de referentie. In onderstaande tabellen staan de aanpassingen op het energiegebruik voor afwijkende waarden.

De correcties worden toegepast op het verwachte energiegebruik zoals berekend in paragraaf 4.4.

Tabel 5.4 Aanpassing energiegebruik doelstelling ventilatorvermogen koelers [%].

Koelen		Vriezen	
Ventilator vermogen [W/kW _{koude}]	[%]	Ventilator vermogen [W/kW _{koude}]	[%]
10	-17	25	-13
20	-13	35	-10
30	-10	45	-8
40	-6	55	-6
50	-4	65	-3
60	0	75	0
70	4	85	3
80	8	95	6
		Aanpassing	naar §5.2

Tabel 5.5 *Aanpassing energiegebruik doelstelling ventilatorvermogen condensors [%].*

Koelen		Vriezen	
Ventilator vermogen [W/kW _{koude}]	[%]	Ventilator vermogen [W/kW _{koude}]	[%]
10	-13	10	-10
20	-9	20	-7
30	-6	30	-5
40	-3	40	-2
50	0	50	0
60	3	60	2
70	6	70	5
80	9	80	7
Aanpassing naar §5.2			

Rekenvoorbeeld

De ventilatorvermogens voor condensor en verdamper van een vriescel worden als volgt gedefinieerd:

Verdamper ventilator 55 W/kW

Condensor ventilator 30 W/kW

Alternatief	Koelcel		Vriescel	
	Besparings- factor	Energiepost [MJ/m ³]	Besparings- factor	Energiepost [MJ/m ³]
Verdamperventilator		* § 4.4	- 6/100	* § 4.4
Condensorventilator		* § 4.4	- 5/100	* § 4.4
Aanpassing naar §5.2		[MJ/m ³]		[MJ/m ³]

5.2 Definitief verwacht energiegebruik

In hoofdstuk 3 is de definitieve energiedoelstelling vastgesteld. Met het installatie-concept wordt duidelijk of deze doelstelling ook daadwerkelijk gehaald wordt.

Het verwacht energiegebruik wordt op de volgende wijze bepaald:

Tabel 5.6 *Bepaling definitief verwacht energiegebruik.*

Verwacht energiegebruik	§ 4.4	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik ΔT	§ 5.1	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik installatie-ontwerp	§ 5.1	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik ventilatoren	§ 5.1	MJ/m ³
Definitief verwacht energiegebruik	**	MJ/m³

Indien het definitieve verwachte energiegebruik groter is dan de definitieve energiedoelstelling zoals bepaald in hoofdstuk 3, paragraaf 3.9, moeten bij ontwerpkeuzen en/of bij installatieconcept verbeteringen aangebracht worden.

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem b.v.
t.a.v. de heer Ir. E.M.M. Willems
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers

Ir. R.J.F. Vermeeren - wetenschappelijk research medewerker
Ir. S. Lobregt - wetenschappelijk research medewerker
M. Verwoerd - onderzoeker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Niet van toepassing

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

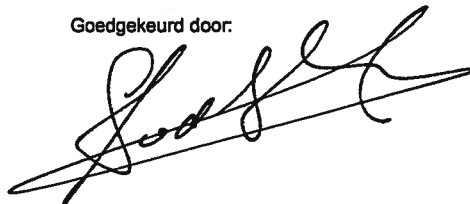
juli 1998 - december 2000

Ondertekening:



M. Verwoerd
onderzoeker

Goedgekeurd door:



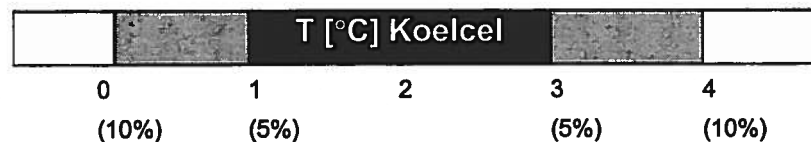
Ir. S. van der Sluis
afdelingshoofd

Bijlage 1 Uitgangspunten referentiesituatie

In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten voor de energiewijzer vermeld. In deze bijlage wordt gemotiveerd waarop deze beslissingen gebaseerd zijn.

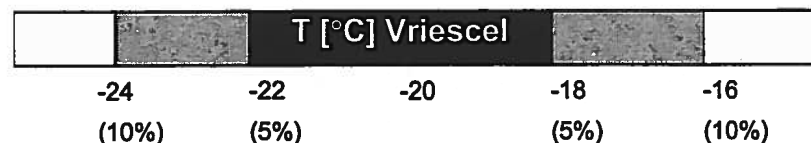
Celcondities

Voor de temperatuur in de koelcel is 2 °C als uitgangspunt genomen. Op deze temperatuur worden veel verse producten (vlees, groente, fruit, zuivel) bewaard. Voor licht afwijkende temperaturen is de energiewijzer goed bruikbaar. In de figuur staan de toleranties. Voor temperaturen binnen het zwarte vlak is de uitgangssituatie goed bruikbaar. Voor het grijze vlak geldt dat in de regel de uitgangssituatie bruikbaar is.



Om productuitdroging te beperken, is de luchtvochtigheid in de koelcel hoog (90%). Een lagere luchtvochtigheid (tot 60%) heeft weinig gevolgen voor de energiedoelstelling.

Voor de temperatuur in de vriescel is -20 °C als uitgangspunt genomen. Op deze temperatuur worden veel ingevroren producten bewaard. Afwijkende producten zijn consumptie-ijs (-30 °C) en boter (-10 °C). In de figuur staat binnen welke grenzen de uitgangspunten van de energiewijzer geldig zijn.



Transmissieverliezen/Grootte

Uitgangssituatie bij het opstellen van de energiewijzer is een cel met de volgende afmetingen:

lengte = 50 meter

breedte = 35 meter

hoogte = 10 meter

Dakoppervlak	= 1750 m ²
Vloeroppervlak	= 1750 m ²
Voor/achtergevel	= 2 * 350 m ²
Zijgevel	= 2 * 500 m ² +
Totaal oppervlak	= 5200 m ²

De inhoud van de cel is 17.500 m³.

Verhouding oppervlak/inhoud = 0,30 m²/m³

Bij kleinere cellen neemt de verhouding oppervlak/inhoud toe en daarmee worden transmissie per m³ een grotere warmtepost. Voor grotere cellen wordt transmissie van minder belang.

Transmissieverliezen/Isolatie

De kwaliteit van de isolatie is een ontwerpvrijheid en komt terug in hoofdstuk 4. In de referentiesituatie is uitgegaan van:

	Koelcel [R = m ² .K/W]	Vriescel [R = m ² .K/W]
Dak	3,0	5,2
Wand (4 buitenwanden)	3,0	5,2
Vloer	3,0	5,2

De buitentemperatuur is afgeleid van het standaard referentiejaar. Verdeeld en gecorrigeerd naar de stralingswarmte van de zon geeft dat de volgende temperaturen en temperatuurverschillen:

	gem. T [°C]	Δ T [K], Koelcel	Δ T [K], Vriescel
Dak	14,3	12,3	34,3
Wand	9,3	7,3	29,3
Vloer	10	8,0	30,0

Met oppervlak, temperatuurverschillen en isolatiewaarde zijn de transmissieverliezen en de bijbehorende primaire energiegebruiken te berekenen.

Voor de referentiesituatie geeft dit het volgende resultaat:

	Energiegebruik transmissie koelcel [MJ/m ³] (primair)	Energiegebruik transmissie vriescel [MJ/m ³] (primair)
Dak	9	25
Wand	5	21
Vloer	6	22
Totaal	21	69

Bedrijfstijd

Voor de energiewijzer is er vanuit gegaan dat de cel continu in bedrijf is.

Bezetting

De effectieve belading van een koelcel komt op 200 kg/m³. Er is geen sprake van metabolisme. Bij vriescellen is de belading 500 kg/m³.

Deurverliezen

Deurverliezen worden bepaald door het oppervlak, de openingstijd en het verschil in luchtcondities binnen en buiten de cel. De luchtcondities zijn een gegeven en niet te beïnvloeden. Het deuropervlak en de openingstijd zijn een afgeleide van de gewenste overslagcapaciteit (ton/uur). Temperatuur en luchtvochtigheid van de buitenlucht zijn afgeleid van het standaard referentiejaar.

In de uitgangssituatie is sprake van 2 deuren, beide 3,0 [m] * 3,7 [m] (B * H). Het totale deuropervlak komt daarmee op 22 m². De deuren staan gemiddeld een uur per dag open. Voor de vriescel is een besparende voorziening getroffen in de vorm van een strokengordijn (20% besparing).

Om te beoordelen of de energiedoelstelling voor deurverliezen gecorrigeerd moet worden, wordt een nieuwe eenheid geïntroduceerd: m²h. Dit is een soortgelijke eenheid als de kWh en geeft aan hoeveel vierkante meter deuropervlak er gemiddeld een uur openstaat. Met het referentiejaar is deze eenheid om te rekenen naar MJ en naar primair energiegebruik.

Koelcel 1 m²h = 4,6*10³ MJ

Vriescel 1 m²h = 3,6*10⁴ MJ

Bij afwijkende verhoudingen blijft de energiewijzer binnen de gestelde grenzen goed bruikbaar. In de figuur staat binnen welke grenzen de uitgangspunten voor de energiewijzer geldig zijn.

Interne warmteproductie

Interne warmteproductie is warmte die vrijkomt bij activiteiten/handelingen die in de ruimte plaatsvinden.

De uitgangspunten zijn gebaseerd op:

	Koelen [W/m ²]	Vriezen [W/m ²]
Verlichting	10	5
Personen	0,1	0,1
Transport	10	10
Ventilatoren	1,5	3,7
Vloerverwarming	n.v.t	10
Ontdooien	0,6	0,6
Totaal	22	29

Het energiegebruik van de ventilatoren heeft op twee manieren invloed op de energiedoelstelling:

- het aandrijfvermogen voor de ventilator;
- warmte-ontwikkeling in de cel.

De warmteproductie van de ventilatoren is meegenomen zoals weergegeven in bovenstaande tabel. Deze waarde is bepaald op basis van het normatieve opgenomen vermogen, zie paragraaf koelinstallatie. Het aandrijfvermogen van de ventilatoren wordt meegenomen bij het energiegebruik van de koelinstallatie zoals hierna wordt beschreven.

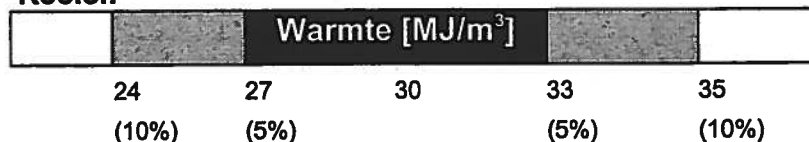
Het totaal product aan interne warmte wordt voor de referentiesituatie:

Koelen 30 MJ/m³ (primair)

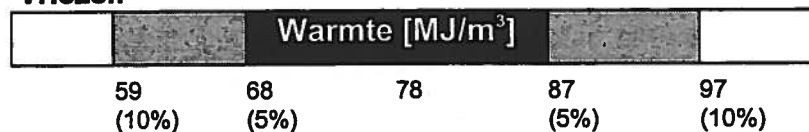
Vriezen 78 MJ/m³ (primair)

In de figuur staat aangegeven welke afwijkingen acceptabel zijn.

Koelen



Vriezen



Inkoelen of invriezen

In de referentiesituatie wordt niet ingekoeld of ingevroren.

Ketenwarmte

In de referentiesituatie is er vanuit gegaan dat de koudeketen goed gesloten is. Er hoeft geen warmte weggekoeld te worden.

Warmtevraag

In de referentiesituatie is van de volgende warmtevraag uitgegaan:

		<i>primair energiegebruik</i>
– Ruimteverwarming	0 MJ/m ³	0 MJ/m ³
– Reiniging en wasinstallatie	0 MJ/m ³	0 MJ/m ³
Vriescel		
– Vloerverwarming	10 W/m ²	38 MJ/m ³
– Ontdooiing		4 MJ/m ³

Ontdooien in de referentie situatie gebeurt electrisch 4 maal per dag 20 minuten met een rendement van 60%.

De ingebrachte warmte heeft een niet te verwaarlozen invloed op de koudevraag deze is daarom ook bij de bepaling van de interne warmtelast meegenomen.

Koelinstallatie

Uitgangspunten bij het ontwerp van de koelinstallatie zijn:

	Koelen	Vriezen
Celtemperatuur	2 °C	-20 °C
Δt verdamper	8 K	7 K
Δt condensor	15 K	15 K
Gemiddelde condensatietemperatuur	33 °C	33 °C
η_{carnot}	50%	50%
	c.o.p. gemiddeld 3,4	c.o.p. gemiddeld 2,1

Voor het bepalen van het energiegebruik van de verdamper- en condensor-ventilatoren gelden de volgende uitgangspunten:

	Koelen [W/kW _{koude}]	Vriezen [W/kW _{koude}]
Vermogen verdamperventilator	60	75
Vermogen condensorventilator	50	50

Bijlage 2 Rendement opwekking

Rendement van grootschalige elektriciteitsopwekking = 40%

Rendement warmteproductie c.v.-ketel = 70%

stoom = 50%

De energieposten worden op de volgende wijze naar primaire energie omgerekend:

energiepost [MJ/m³]/c.o.p. = elektriciteitsgebruik [MJ/m³]

electriciteitsgebruik [MJ/m³]/3,6 = elektriciteitsgebruik [kWh/m³]

electriciteitsgebruik [MJ/m³]/centrale rendement = primair energiegebruik [MJ/m³]

warmtevraag [MJ/m³]/rendement warmte-opwekking = primair energiegebruik [MJ/m³].

Bijlage 3 Voorbeeld berekening

In deze bijlage wordt een voorbeeld uitgewerkt teneinde de wijze waarop deze energiewijzer gebruikt dient worden te verduidelijken.

Uitgangspunten

Een vriescel met de volgende afmetingen: $25 \times 20 \times 10 \text{ m}^3$ ($l \times b \times h$), en daarom behorende tot bedrijfsklasse III, zie tabel 2.2.

Het is de wens van de eigenaar om aan energiedoelstelling B te voldoen. De hierbij horende waarde alsmede de waarde voor de referentie bedragen, zie tabel 2.1:

Basisenergiedoelstelling B: 171 MJ/m^3

Energiegebruik referentie (C): 245 MJ/m^3

VO I Programma van eisen

De definitieve energiedoelstelling voor klasse B en voor de referentie situatie voor dit specifieke geval worden in deze fase van het voorontwerp (VO) bepaald.

Transmissieverliezen

Omdat de afmetingen van de cel afwijken van de referentie moet voor de waarde van de transmissieverliezen gecorrigeerd worden. De cel heeft een volume van 5000 m^3 en een wandoppervlak van 1900 m^2 . Dit resulteert in een oppervlak/volume verhouding van 0,38.

Correctietabel 3.1 Transmissieverliezen.

Energiepost doelstelling B [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling A [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
48	* 0,38	/ 0,3	- 48	= 13
naar § 3.9				
Energiepost referentie [MJ/m ³]	Opp./ Vol. cel [m ² /m ³]	Opp./ Vol. referentie cel [m ² /m ³]	Energiepost doelstelling A [MJ/m ³]	Correctie energiepost [MJ/m ³]
69	* 0,38	/ 0,3	- 69	= 18
naar § 3.9				

Deurverliezen

De cel heeft een deur die gedurende 1 uur per dag open is en die de volgende afmetingen heeft: $3 \times 3 \text{ m}^2$ (h x b).

Correctietabel 3.3 Deurverliezen.

	Deur op- pervlak [m^2]	Tijd open in 24 uur [h]	Factor [MJ/ m^2h]	Volume cel [m^3]	Energiepost [MJ/ m^3]	
Doelstellings- klasse B	3*3*1	* 1	* $2,0 \cdot 10^4$	/ 5000	= 36	naar § 3.9
Referentie	3*3*1	* 1	* $3,6 \cdot 10^4$	/ 5000	= 65	naar § 3.9

De waarden die nu in paragraaf 3.9 moeten worden ingevuld zijn voor respectievelijk klasse B en de referentie: 19 (36 minus 17 (zie tabel 2.3)) en 29 (65 minus 36 (zie tabel 2.3)).

Interne warmteproductie

In de vriescel staat een verpakkingsmachine met een vermogen van 10 kW en een bedrijfstijd van 1000 uur per jaar.

Correctietabel 3.5 Interne warmteproductie niet-standaardvoorzieningen.

	Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel vo- lume [m^3]	Correctie energiepost [MJ/ m^3]	
Doelstellings- klasse B	10	* 1000	* 3,98	/ 5000	= 8	
Totaal					= 8	naar § 3.9
Referentie	10	* 1000	* 4,39	/ 5000	= 9	
Totaal					= 9	naar § 3.9

Inkoelen en invriezen

Er wordt niet ingekoeld of ingevroren.

Ketenwarmte

Op jaarbasis wordt er 25000 ton product aangeleverd op een temperatuur van -18°C. Het product moet in de cel verder worden afgekoeld tot een celtemperatuur van 20°C, zie appendix 1.

Correctietabel 3.9 Ketenwarmte voor inkoelen en invriezen.

	Proces (In-vriezen) [MJ/tonK]	Productie [ton/jaar]	ΔT	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings- klasse B	1,8	* 25000	* 2	* 1,16	/ 5000	= 21	
Totaal						= energie (primaire)	naar § 3.9
Referentie	1,8	* 25000	* 2	* 1,22	/ 5000	= 22	
Totaal						= energie (primaire)	naar § 3.9

Metabolisme

Er vindt geen metabolisme plaats.

Warmtevraag

In de aanliggende verwerkingsruimte van de vriescel worden kratten gewassen. De krattenwasser vraagt een vermogen van 15 kW en draait gedurende 1500 uren per jaar. De warmte voor deze krattenwasser wordt opgewekt door een standaard c.v.-ketel.

Correctietabel 3.13 Warmtevraag

	Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Doelstellings- klasse B	15	* 1500	* 5,14	/ 5000	= 23	
Totaal					= 23	naar § 3.9
	Inventarisatie vermogens [kW]	Bedrijfstijd [uur/jaar]	Factor	Cel volume [m ³]	Energiepost [MJ/m ³]	
Referentie	15	* 1500	* 5,14	/ 5000	= 23	
Totaal					= 23	naar § 3.9

Bedrijfstijd

De vriescel is in de maanden januari t/m februari en september t/m december buiten bedrijf.

Correctietabel 3.16 *Bedrijfstijd.*

Klasse B	Factor kc: 0,3 vc: 0,8 [dagen]	Factor kc: 1,2 vc: 1,1 [dagen]	Factor kc: 1,9 vc: 1,2 [dagen]	Totaal	Doelstelling energiepost [MJ/m ³]	Correctie [MJ/m ³]
<i>Transmissie</i>						
vriescel	122 * 0,8	+ 61 * 1,1	+ 0 * 1,2	=165/365	* (13 + 48)	= 28
<i>Deur</i>						
vriescel	122 * 0,8	+ 61 * 1,1	+ 0 * 1,2	=165/ 365	* 36	= 16
<i>Interne warmte prod.</i> (standaardvoor- zieningen tabel 2.3)				=183/ 365	* 68	= 34
<i>Verdamper vent.</i>						
vriescel	122 * 0,9	+ 61 * 1,05	+ 0 * 1,1	=174/365	* 20	= 10
<i>Condensor vent.</i>						
vriescel	122 * 0,9	+ 61 * 1,05	+ 0 * 1,1	=174/365	* 18	= 9 +
					Totaal	97
					Naar § 3.9	
Referentie	Factor kc: 0,3 vc: 0,8 [dagen]	Factor kc: 1,2 vc: 1,1 [dagen]	Factor kc: 1,9 vc: 1,2 [dagen]	Totaal	Doelstelling energiepost [MJ/m ³]	Correctie [MJ/m ³]
<i>Transmissie</i>						
vriescel	122 * 0,8	+ 61 * 1,1	+ 0 * 1,2	=165/365	* (18 + 69)	= 40
<i>Deur</i>						
vriescel	122 * 0,8	+ 61 * 1,1	+ 0 * 1,2	=165/ 365	* 65	= 29
<i>Interne warmte prod.</i> (standaardvoor- zieningen tabel 2.3)				=183/ 365	* 78	= 39
<i>Verdamper vent.</i>						
vriescel	122 * 0,9	+ 61 * 1,05	+ 0 * 1,1	=174/365	* 29	= 14
<i>Condensor vent.</i>						
vriescel	122 * 0,9	+ 61 * 1,05	+ 0 * 1,1	=174/365	* 29	= 14 +
					Totaal	136
					Naar § 3.9	

De waarde ingevoerd voor de energiepost transmissie is de som van de waarde uit de basis energiedoelstelling (zie tabel 2.3) en de correctie zoals bepaald in VO I (zie tabel 3.1).

Definitieve energiedoelstelling en energiegebruik referentie

In onderstaande tabellen worden alle resultaten uit de voorgaande tabellen samengevoegd.

Tabel 3.17 Bepaling definitieve energiedoelstelling klasse B.

1.	Basis energiedoelstelling	tabel 2.1	171 MJ/m ³
2.	Correctie energiepost transmissieverliezen	tabel 3.1	13 MJ/m ³
3.	Correctie energiepost deurverliezen	tabel 3.3	19 MJ/m ³
4.	Correctie energiepost interne warmteproductie	tabel 3.5	8 MJ/m ³
5.	Energiepost inkoelen en invriezen	tabel 3.7	- MJ/m ³
6.	Energiepost ketenwarmte	tabel 3.9	21 MJ/m ³
7.	Energiepost metabolisme	tabel 3.12	- MJ/m ³ +
9.	Energiepost warmtevraag	tabel 3.13	23 MJ/m ³ +
8.	Energiepost seizoenscorrectie	tabel 3.16	97 MJ/m ³ -
Definitieve energiedoelstelling			158 MJ/m³

Tabel 3.17 Bepaling energiegebruik referentie.

1.	Energiegebruik referentie	tabel 2.1	245 MJ/m ³
2.	Correctie energiepost transmissieverliezen	tabel 3.1	18 MJ/m ³
3.	Correctie energiepost deurverliezen	tabel 3.3	29 MJ/m ³
4.	Correctie energiepost interne warmteproductie	tabel 3.5	9 MJ/m ³
5.	Energiepost inkoelen en invriezen	tabel 3.7	- MJ/m ³
6.	Energiepost ketenwarmte	tabel 3.9	22 MJ/m ³
7.	Energiepost metabolisme	tabel 3.12	- MJ/m ³ +
9.	Energiepost warmtevraag	tabel 3.13	23 MJ/m ³ +
8.	Energiepost seizoenscorrectie	tabel 3.16	136 MJ/m ³ -
Definitieve referentie			210 MJ/m³

VO II Ontwerpkeuzen

De invloeden van de gemaakte ontwerpkeuzen worden verdisconteerd op de definitieve referentie zoals deze is bepaald in VO I.

Transmissieverliezen

De cel wordt ontworpen met de volgende warmteweerstanden voor dak, vloer en wanden:

	R [m ² .K/W]
Dak	7,3
Wand (4 buitenwanden)	5,2
Vloer	5,2

De cel valt onder bedrijfsklasse III (zie tabel 2.2). De daarbij behorende correcties op de transmissie kunnen uit tabel 4.1 worden afgelezen.

Tabel 4.1 *Aanpassing energiegebruik door kwaliteit isolatie.*

	R-waarde	Waarde tabel	Aantal wanden	Aanpassing
Buitenwand	5,2	0	* 4	= 0
Dak	7,3	- 9	* 1	= -9
Vloer	5,2	0	* 1	= 0
			Totaal naar 4.4	-9 [MJ/m ²]

Deurverliezen

De deur wordt voorzien van tochtafdichting die volgens tabel 4.3 resulteert in een reductie van de deurverliezen van 40% (besparingsfactor - 0,4).

Tabel 4.3 *Besparingspotentieel energiegebruik deurverliezen.*

Alternatief	Vriescel Besparings- factor	Energiepost referentie [MJ/m ²]
Tochtafdichting	- 0,4	* 65
Aanpassing naar §4.4		= -26 [MJ/m ²]

De energie post is de waarde van de deurverliezen zoals bepaald in tabel 3.3.

Warmteterugwinning

Er kan geen warmte worden teruggewonnen.

Aanpassing energiegebruik door ontwerpkeuzen

Tabel 4.5 Bepaling Aanpassing energiegebruik.

Aanpassing energiegebruik isolatie	- 9	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik deurverliezen	-26	MJ/m ³
Aanpassing energiegebruik warmteterugwinning	0	MJ/m ³ +
Aanpassing energiegebruik	-35	MJ/m ³
Seizoenscorrectie	165/ 365	* - 35
Aanpassing energiegebruik	- 16	MJ/m³

Bij de seizoenscorrectie moet voor het aantal dagen bij de verschillende posten evenals in tabel 3.16 verschillende waarden worden toegepast. Voor de aanpassing van de transmissie en de deurverliezen wordt hiervoor de zelfde waarde als uit tabel 3.16 toegepast (165, zie ook in bovenstaande tabel). Voor de aanpassing t.g.v. warmteterugwinning moet bij de seizoenscorrectie het aantal dagen worden ingevuld dat de cel buiten bedrijf is.

Tabel 4.6 Bepaling verwacht energiegebruik.

1. Energiegebruik referentie (tabel 3.17)	210	MJ/m ³
2. Correctie energiegebruik (tabel 4.5)	-16	MJ/m ³
Verwacht energiegebruik	194	MJ/m³

Uit vergelijking tussen de waarde uit tabel 3.17, definitieve energiedoelstelling, en de waarde uit bovenstaande tabel blijkt dat nog niet aan de definitieve energiedoelstelling is voldaan.

VO III Installatieconcept

De invloeden ten gevolge van het installatieconcept worden verdisconteerd op het verwachte energiegebruik zoals deze is bepaald in VO II, zie tabel 4.6.

ΔT verdamper en condensor

De verdamper en condensor worden uitgelegd op een temperatuurverschil van respectievelijk 5K en 11K. Uit tabel 5.2 kunnen dan de energiebesparingen worden afgelezen.

Installatie component	Vriescel	
	Bespa- ringsfactor	Energiepost [MJ/m ³]
Verdamper	- 3 / 100	* 194 = - 6
Condensor	- 5 / 100	* 194 = - 10
Totaal	naar §5.2	- 16 [MJ/m ³]

Aandrijfvermogens ventilatoren

De toegepaste ventilatoren voor verdamper en condensor hebben een vermogen van respectievelijk 55 W/kW en 33 W/kW. Uit tabel 5.4 en 5.5 kunnen dan de energiebesparingen worden afgelezen.

Installatie component	Vriescel	
	Bespa- ringsfactor	Energiepost [MJ/m ³]
Verdamperventilator	- 6 / 100	* 177 = - 12
Condensorventilator	- 5 / 100	* 177 = - 10
Totaal	naar §5.2	-22 [MJ/m ³]

Definitief verwacht energieverbruik

Tabel 5.1.5 Bepaling definitief verwacht energieverbruik.

Verwacht energieverbruik	194	MJ/m ³
Aanpassing energieverbruik ΔT	- 16	MJ/m ³
Aanpassing energieverbruik installatie-ontwerp	-	MJ/m ³
Aanpassing energieverbruik ventilatoren	- 22	MJ/m ³
Definitief verwacht energieverbruik	156	MJ/m³

Uit tabel 3.17 kan nu worden afgelezen dat voor dit vrieshuis de gewenste energiedoelstelling B wordt gehaald.