

TNO-rapport
TNO-MEP – R 96/474

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon 055 - 549 34 93
Fax 055 - 541 98 37

Dit CONCEPT rapport dient slechts ter bespreking met de opdrachtgever, en mag, behoudens naar de opdrachtgever, op geen enkele wijze naar buiten worden gebracht

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1996 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 contract-research instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Afleiding van het systeemrendement voor koeling bij klimaatinstallaties t.b.v. NEN 2916

– Systemen met koeltransport via koudemiddel –

Datum
november 1996

Auteur(s)
Ir. S.M. van der Sluis

Projectnummer
27610

Trefwoorden
-

Bestemd voor
ITHO b.v.
Groep Airconditioning
Postbus 21
3100 AA Schiedam



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

Dit rapport behandelt een methode voor de bepaling van het systeemrendement voor koeling van systemen met koudetransport via koudemiddel, te gebruiken in de bepalingsmethode energieprestatie van utiliteitsgebouwen (NEN 2916).

Daarbij wordt als basis gebruik gemaakt van de methode die ook is gebruikt bij de totstandkoming van de systeemrendementen voor koeling die reeds in NEN 2916 zijn opgenomen. Deze methode komt neer op het bepalen van het systeemrendement als gemiddelde van een aantal steekproeven, zijnde energiegebruiksberekeningen aan combinaties van gebouwvarianten en klimaatinstallaties.

Ten opzichte van de methode zoals gebruikt ten behoeve van NEN 2916, wijkt de hier behandelde methode af waar het gaat om de bepaling van de koudelevering van het (opwekkings)systeem. In plaats van een schatting hiervan via het energiegebruik van de installatie, wordt de koudelevering direct bepaald op basis van berekeningen van koelbehoefte en energiegebruik voor koeling op uurbasis.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
2. Definitie systeemrendement voor koeling	5
3. Globale werkwijze gehanteerd bij opstellen systeemrendementen voor NEN 2916	6
4. Bepaling systeemrendement voor koeling bij koudetransport via koudemiddel	8
5. Verantwoording	12
6. Literatuur	13

1. Inleiding

ITHO BV is importeur voor Nederland van Daikin klimatiseringsapparatuur. Deze apparatuur valt in Nederland, voor toepassing in de utiliteitsbouw, onder de Energie Prestatie Normering (EPN). Met name voor systemen met koudetransport via het koudemiddel, zoals het Daikin VRV inverter systeem t.b.v. koeling, is in de Nederlandse norm NEN 2916 "Energieprestatie van utiliteitsgebouwen - bepalingmethode" [1] geen systeemrendement gegeven. Deze rapportage betreft een methode om het systeemrendement voor koeling (zoals bedoeld in NEN 2916) te bepalen toegespitst op klimatiseringssystemen met koeltransport via koudemiddelen.

De hier beschreven methode is een uitwerking en detaillering van de methode die is gebruikt voor de bepaling van de systeemrendementen bij het opstellen van NEN 2916. Deze is beschreven in het rapport "Afleiding systeemrendementen voor verwarming en koeling bij klimaatinstallaties ten behoeve van NEN 2916 "Bepalingmethode energieprestatie Utiliteitsgebouwen" [2].

De methode maakt gebruik van een aantal referentiesituaties, waarvoor systeemrendementen worden bepaald. Vervolgens worden de uitkomsten voor de verschillende referentiesituaties gemiddeld om te komen tot systeemrendementen voor gebruik in NEN 2916. Deze methode kan worden opgevat als het nemen van een aantal steekproeven uit een populatie, op basis waarvan het gemiddelde van de populatie wordt berekend. Alhoewel TNO-MEP de voorkeur geeft aan een meer fysisch-mathematische afleiding van de systeemrendementen is er in dit geval toch voor gekozen om aan te sluiten bij deze methode. Deze keuze is gemaakt om zeker te stellen dat de berekende waarden gebaseerd zijn op uitgangspunten en randvoorwaarden die overeenkomen met die welke gehanteerd zijn bij de totstandkoming van de waarden gebruikt in NEN 2916.

2. Definitie systeemrendement voor koeling

Het systeemrendement is een maat voor de energieverpilling die optreedt door het tegelijk verwarmen en koelen in een energiesector en de optredende energieverliezen door warmte- en koudetransport binnen een energiesector (NEN 2916, §6.7).

Het systeemrendement voor koeling wordt in NEN 2916 gebruikt voor de berekening van het elektrisch energiegebruik voor koeling op basis van koelbehoefte per energiesector (§ 10.3.3):

$$E_{koel} = 0,08 \cdot \frac{Q_{koel;1} + Q_{koel;2} + \dots}{\eta_{sys;koel}}$$

waarin:

E_{koel}	de getalswaarde van de totale jaarlijkse elektrische koelbehoefte in kWh
$Q_{koel;1,2,\dots}$	de getalswaarden van de (voelbare) koelenergiebehoeften in maand 1,2,... in MJ voor de maanden januari tot en met december
$\eta_{sys;koel}$	het systeemrendement voor koeling

De factor 0,08 bestaat uit een omrekenfactor van MJ naar kWh van $(3,6)^{-1}$ vermenigvuldigd met een correctiefactor van 1,1 voor latente koellast, gedeeld door een gemiddeld opwekkingsrendement voor koude van 4,0.

Het systeemrendement voor koeling ($\eta_{sys;koel}$) wordt als volgt gedefinieerd [2]:

$$\eta_{sys;koel} = \text{TKB}_V / \text{TKB}_{\text{SYST}}$$

$$\text{TKB}_V = \text{Voelbare deel van basisbehoefte voor koeling}$$

$$\text{TKB}_{\text{SYST}} = \text{Voelbare koelbehoefte van het systeem}$$

De basisbehoefte voor koeling is de som van de "koelbehoefte voor gebouwen met volledige A.C. (KBG) zoals gedefinieerd in [3], en de koelbehoefte (latent en voelbaar) nodig om de mechanisch toegevoerde en op natuurlijke wijze binnenkomende lucht te koelen en te ontvochtigen.

De voelbare koelbehoefte van het systeem is de door de koude-opwekker opgenomen hoeveelheid voelbare warmte uit het systeem.

3. Globale werkwijze gehanteerd bij opstellen systeemrendementen voor NEN 2916

De werkwijze zoals die gehanteerd is bij de bepaling van systeemrendementen voor toepassing in NEN 2916 is beschreven in "Afleiding systeemrendementen voor verwarming en koeling bij klimaatinstallaties ten behoeve van NEN 2916 "Bepalingsmethoden energiestatistiek Utiliteitsgebouwen" [2]. In dit hoofdstuk wordt deze werkwijze globaal beschreven, voor details zijn te vinden in het genoemde rapport van Deerns raadgevende ingenieurs bv.

De basis voor de afleiding van de systeemrendementen t.b.v. NEN 2916 volgens [2] wordt gevormd door berekeningen van het energiegebruik in een aantal referentiesituaties.

Elk van deze referentiesituaties heeft betrekking op een combinatie van een omschreven gebouw en een omschreven klimaatsysteem van het beschouwde installatietype waarvoor het systeemrendement dient te worden bepaald.

- Ten aanzien van het installatietype zijn een aantal varianten mogelijk ten aanzien van warmteterugwinning en kunnen verschillende regelsystemen als variant optreden (dauwpunts- of enthalpieregeling).
- Ten aanzien van het gebouw zijn een viertal gebouwtypen gedefinieerd (GT1..GT4), waarbij per gebouwtype varianten mogelijk zijn ten aanzien van beglazing (glaspercentage, glassoort), zonwering, interne warmtelast en dakconstructie.

De berekeningen van het energiegebruik van in totaal 74 referentiesituaties zijn gemaakt door TNO, en gerapporteerd in 1983 [4]. Hieruit zijn systeemrendementen voor koeling afgeleid voor 8 systeemvarianten.

Omdat de voelbare koelbehoefte van het systeem (TKB_v) die benodigd is voor de berekening van het systeemrendement niet uit de rekenresultaten te achterhalen was, is in [2] gebruik gemaakt van het berekende energiegebruik voor koeling om de voelbare koelbehoefte van het systeem te achterhalen. Daarbij wordt aangenomen dat in het berekende energiegebruik voor koeling circa 5% voor rekening komt van gekoeldwaterpompen en koeltorenpompen. Het energiegebruik voor koeling wordt middels een schatting van de Coefficient of Performance (COP) en een benadering van de latente koellast teruggerekend naar de voelbare koelbehoefte voor het systeem.

Voor de bepaling van het systeemrendement voor koeling van de 8 systeemvarianten opgenomen in NEN 2916 zijn telkens de (voor die systeemvariant) van toepassing zijnde berekeningen geselecteerd uit de in totaal 74 ter beschikking staande berekeningen, en werden de individuele systeemrendementen gemiddeld. Hierbij zijn berekeningen die betrekking hebben op "enkelglas" varianten niet meegenomen.

4. Bepaling systeemrendement voor koeling bij koudetransport via koudemiddel

Voor de berekening van het systeemrendement voor koeling van klimaatsystemen met koeltransport via koudemiddel wordt in beginsel dezelfde methodiek gehanteerd als beschreven in hoofdstuk 3. Deze keuze is gemaakt om zeker te stellen dat de berekende waarden gebaseerd zijn op uitgangspunten en randvoorwaarden die overeenkomen met die welke gehanteerd zijn bij de totstandkoming van de waarden gebruikt in NEN 2916.

Echter, bij de berekening van de voelbare koelbehoefte van het systeem TKB_V wordt afgeweken van de methode zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. De voelbare koelbehoefte van het systeem wordt niet geschat via het berekende energiegebruik, maar wordt direct bepaald op basis van (nieuwe) berekeningen van koelbehoefte en energiegebruik voor koeling op uurbasis.

Voor de berekeningen is een aantal gebouwvarianten geselecteerd, weergegeven in tabel 1.

In de "Afleiding systeemrendementen voor verwarming en koeling bij klimaatinstallaties ten behoeve van NEN 2916 Bepalingsmethode energieprestaties Utiliteitsgebouwen" [2] is per systeemnummer (1 t/m 8) een aantal gebouwvarianten als basis gekozen. Voor systeemnummer 4 is het grootste aantal gebouwvarianten beschouwd, reden waarom bij de berekeningen van het systeemrendement voor koeling van systemen met koudetransport via koudemiddel deze zelfde set gebouwvarianten wordt gehanteerd. Deze set gebouwvarianten is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Gekozen gebouwvarianten voor de bepaling van het systeemrendement voor koeling van systemen met koudetransport via koudemiddel. Berekeningnummers zijn aangeduid conform [4].

Berekening Nummer	Gebouwtype	Zonwering	Percentage glas	Verlichtingsvermogen P_1 (W/m ²)		
13	GT1	Binnenzonwering	60	25,6		
14			40	25,6		
15			25	25,6		
42			40	20,0		
43			40	30,0		
19			Zonreflecterend glas	60	25,6	
20		40		25,6		
21		25		25,6		
44		25		30,0		
24		GT3		Buitenzonwering	25	25,6
66				Binnenzonwering	40	25,6
67			Zonreflecterend glas	40	25,6	
68	Thermo plus glas		40	25,6		

De gebouwtypen GT1 en GT3 zoals gebruikt bij de berekeningen zijn:

- een middelgroot ondiep kabinettenkantoor (24.300 m³ bruto gebouwvolume) met 7 verdiepingen en 210 vertrekmodules (GT1),
- een relatief klein en ondiep kabinettenkantoor (4.900 m³ bruto gebouwvolume) met 3 verdiepingen en 42 vertrekmodules (GT3).

Beide gebouwen hebben een geveloriëntatie Oost-West en worden niet beschadwd door omliggende gebouwen. Deze gebouwtypen zijn in veel van de literatuur rond energiegebruiksberkeningen van klimaatinstallaties in de utiliteit gebruikt als referentiegebouwen, en zijn aldaar beschreven [2], [4], [5], [6].

Voor installaties met koeltransport via koudemiddel vindt de koude-afgifte op decentraal niveau plaats. Bij berekening van systeemrendementen en opwekkingsrendementen wordt daarom uitgegaan van een systeem zonder centraal voorbehandelde lucht, met lokale afgifte-apparaten voor warmte (radiatoren) en koude (binnenunits koelinstallatie). Er wordt verder uitgegaan van ventilatie met onbehandelde lucht, waarbij geen recirculatie of warmteterugwinning plaatsvindt.

Per gebouwvariant worden het systeemrendement en het opwekkingsrendement berekend op de volgende wijze:

- Voor de betreffende gebouwvariant wordt een (koel)installatie-ontwerp opgesteld waarbij een keuze wordt gemaakt voor het type buitenunit, het aantal en de typen binnenunits en de plaatsing van buiten- en binnenunits (inclusief benodigde leidinglengten en -diameters)
Als basis voor het installatieontwerp wordt gebruik gemaakt van de jaarlijkse koudevraag en de maximaal optredende koudevraag (op vertrekniveau) van de betreffende gebouwvariant.
- Voor de betreffende combinatie van gebouwvariant en installatie-ontwerp wordt een berekening gemaakt van de optredende koudevraag en de daarbij geldende binnen- en buitencondities per tijdvak van één uur over een geheel jaar:
 - via binnenunit te leveren (lokale) voelbare koudevraag (Watt)
 - luchttemperatuur in het vertrek
 - relatieve luchtvochtigheid in het vertrek
 - buitentemperatuur

De lokale voelbare koudevraag wordt over het jaar gesommeerd om de waarde te verkrijgen voor TKB_v , het voelbare deel van basisbehoefte voor koeling. In deze berekeningen dienen de randvoorwaarden overeen te komen met de randvoorwaarden zoals die zijn gebruikt bij het opstellen van de systeemrendementen voor koeling in NEN 2916 [2], alsmede met de randvoorwaarden die opgelegd worden door het installatie-ontwerp. Een overzicht van de belangrijkste randvoorwaarden wordt verderop in dit hoofdstuk gegeven.

Voor deze berekeningen kan gebruik worden gemaakt van in de installatiewereld gebruikelijke programmatuur zoals het VABI gebouwsimulatieprogramma VA 114 [7]. Als buitencondities worden de klimaatgegevens van 1964/1965 van de Bilt gebruikt.

Indien voor de oost- en westzijde van het gebouw verschillende buitenunits worden gebruikt, worden twee berekeningen per gebouwvariant uitgevoerd.

- Per tijdvak van één uur wordt het energiegebruik voor koeling (opgenomen door de compressoren) berekend alsmede de door de koelmachine opgenomen hoeveelheden latente en voelbare warmte, op basis van de in de voorgaande stap verkregen gegevens en de technische specificaties behorende bij het installatieontwerp. Daarbij dient rekening te worden gehouden met optredende leidingverliezen.
De door de koelmachine opgenomen hoeveelheid voelbare warmte per uurvak wordt over het jaar gesommeerd om de waarde te verkrijgen voor TKB_{SYST} , de voelbare koelbehoefte van het systeem.
- Op basis van de berekende gegevens wordt voor elke berekening het systeemrendement voor koeling bepaald via de definitie:

$$\eta_{sys;koel} = TKB_V / TKB_{SYST}$$

$$\begin{aligned} TKB_V &= \text{Voelbare deel van basisbehoefte voor koeling} \\ TKB_{SYST} &= \text{Voelbare koelbehoefte van het systeem} \end{aligned}$$

Het opwekkingsrendement voor elke berekening wordt bepaald door de som van de uurwaarden van de door de koelmachine opgenomen hoeveelheid latente en voelbare warmte te delen door de som van de uurwaarden van het energiegebruik voor koeling.

- Het systeemrendement voor koeling en het opwekkingsrendement voor het beschouwde klimatiseringssysteem met koudetransport via koudemiddel wordt bepaald door het mathematische gemiddelde van de waarden voor alle berekeningsvarianten.

Voor de berekening van de optredende koudevraag en de daarbij geldende binnen- en buitencondities per tijdvak van één uur over een geheel jaar worden de volgende randvoorwaarden gebruikt:

- Bedrijfstijd: 6.00 - 18.00
- Kantoortijd: 8.00 - 18.00
- Geen nacht- en weekendbedrijf van de installatie
- Bezetting 2 personen per vertrekmoduul, warmtebelasting 70 W per persoon (60% straling en 40% convectie).
- Geïnstalleerd verlichtingsvermogen 20.0, 25.6 of 30.0 W/m², schakelniveau 600 lux. Warmte-afvoer door afzuiging via plafond 30%. Afgifte naar vertrek: 60% straling, 40% convectie.

- Ventilatie van de vertrekken met onbehandelde lucht, 30 m³/uur per persoon per vertrek. Exfiltratie 10 m³/uur per vertrekmoduul gedurende het gehele etmaal.
- Verwarmingsvermogen per vertrek (lokaal): 1500 W. Temperatuursetpoint 22°C.
- Koelvermogen per vertrek (lokaal): conform geïnstalleerde maximum capaciteit bij 31°C buitentemperatuur. Temperatuur setpoint voor koeling: 24°C
- Vertrektemperatuur tijdens kantoortijd 22°C - 24°C (zomer); 22°C (winter).
- Regelbare zonweringsystemen treden in werking indien de zonnestraling op de gevel groter wordt dan 120 W/m².

Indien het systeemrendement voor koeling en het opwekkingsrendement wordt bepaald voor een produktrange, dienen de bovengenoemde berekeningen uitgevoerd te worden op basis van de in het installatie ontwerp opgenomen produkten uit de betreffende range. Door middel van een controleberekening aan één van de berekeningsvarianten wordt nagegaan:

- of het systeemrendement voor koeling voor het grootste en kleinste produkt uit de range binnen +/- 2¹/₂ % overeenkomt met het berekende systeemrendement voor koeling in de overeenkomstige berekening conform het installatie ontwerp.
- of het opwekkingsrendement voor het grootste en kleinste produkt uit de produktrange binnen 5% overeenkomen met het berekende opwekkingsrendement in de overeenkomstige berekening conform het installatie ontwerp.

Wanneer dit het geval is, kunnen de berekende waarden worden beschouwd als geldend voor de gehele produktrange. De hier toegelaten onnauwkeurigheden zijn afgeleid van de precisie waarmee systeemrendement en opwekkingsrendement in NEN 2916 worden gebruikt.

5. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:
ITHO b.v.
Groep Airconditioning
Postbus 21
3100 AA Schiedam

Naam en functie van de onderzoeker(s):
Ir. S.M. van der Sluis wetenschappelijk research medewerker

Naam en adres van instanties waaraan delen van het onderzoek zijn uitbesteed:
n.v.t.

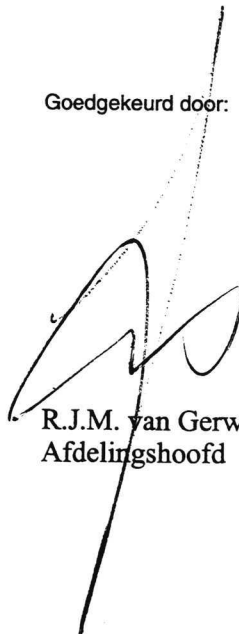
Tijdsbestek waarin het onderzoek is uitgevoerd:
September 1996 - November 1996

Ondertekening:



S.M. van der Sluis,
Onderzoekleider

Goedgekeurd door:



R.J.M. van Gerwen,
Afdelingshoofd

6. Literatuur

- [1] NEN 2916:1994
Energieprestatie van utiliteitsgebouwen - Bepalingsmethode
Normcommissie 351 074 "Klimaatbeheersing in gebouwen"
Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) UDC 697.1:628.81 (september 1994)
- [2] Afleiding systeemrendementen voor verwarming en koeling bij klimaatinstallaties ten behoeve van NEN 2916 "Bepalingsmethode energieprestatie Utiliteitsgebouwen".
Deerns raadgevende ingenieurs bv
Normcommissie 3517416, stuknummer 92/69 (Rijswijk, 16 november 1992)
- [3] Richtlijnen en gereedschappen voor energieverantwoorde keuzen bij het ontwerpen van kantoorgebouwen.
ISSO publikatie 21 deel 1 (informatieve gegevens)
Stichting ISSO (Rotterdam, april 1988)
- [4] Rekenstudie Energiegebruik en energiebesparing in kantoorgebouwen met winter- en zomer conditionering.
Resultaten en kentallen.
TPD rapport nr. 900.250 (Delft, maart 1983)
- [5] Energiegebruik en energiebesparing in kantoorgebouwen, Gebouwen met volledige winter- en zomerconditionering.
Stichting Bouwresearch, SBR 97 (Den Haag/Deventer, 1983)
- [6] Inventarisatie van de uitgangspunten van het gehouden onderzoek over het energieverbruik en over de mogelijkheden van energiebesparing in utiliteitsgebouwen
H.C. Peitsman, P.A. Elkhuizen en S.M. van der Sluis
TNO-Bouw, rapport nummer 93-BBI-R0230 (Delft, februari 1993)
- [7] Gebouwsimulatieprogramma VA114
Vereniging voor Automatisering in de Bouw- en Installatietechniek
VABI, Delft