

Totaal Equivalent Broeikaseffect van koelinstallaties (TEWI): zin en onzin

Inleiding

De koudetechniek is een van de sectoren die bijdragen aan het broeikasprobleem: direct vanwege het gebruik van broeikasgassen, met name de fluorkoolwaterstoffen (HFK's), indirect vanwege het niet onaanzienlijke energiegebruik van een koelinstallatie.

De overheid ontwikkelt een beleid om iets aan dit milieuprobleem te doen, in samenwerking met het betrokken bedrijfsleven. Een van de centrale thema's hierbij is de TEWIwaarde, die het directe en indirecte effect in zich verenigt.

Wat is TEWI?

TEWI (Total Equivalent Warming Impact) is een goed bedoelde poging om een 'appel en

$$\text{TEWI} = \underbrace{\text{GWP} \cdot L \cdot M \cdot n}_{\text{direct}} + \underbrace{\text{GWP} \cdot M(1-a) + n \cdot E \cdot B + C \cdot M_s}_{\text{indirect}}$$

Waarin:

GWP: Global Warming Potential (broeikaseffect) ten opzichte van CO₂. De waarde is afhankelijk van de tijdhorizon die wordt gekozen (meestal 20, 100 of 500 jaren), waarbij de verschillen in levensduur van een broeikasgas in aanmerking wordt genomen (zie tabel 1, ontleend aan [4]).

L: fractie lekkage van de totale koudemiddelinhoud per jaar.

M: Totale koudemiddelinhoud in kg.

n: Levensduur van de installatie in jaren.

a: Terugwinfactor, ofwel de fractie van de totale koudemiddelinhoud die na af-danken van de installatie wordt opgevangen en verwerkt, en dus niet in het milieu vrijkomt; (1-a) komt dus wel in het milieu vrij.

E: Totaal elektriciteitsgebruik van de installatie, uitgedrukt in kWh elektrisch per jaar. Bij andere dan elektrische aandrijving (gasmotor, gasgedreven absorptie, restwarmte etc.) moet de indirecte CO₂-productie op een andere wijze worden berekend.

B: Brandstofconversiefactor bij de opwekking van elektriciteit, uitgedrukt in kg CO₂ die vrijkomt bij de produktie van 1 kWh elektriciteit.

C: Conversiefactor die de CO₂-productie bepaalt ten gevolge van materiaalwinning en productie, onderhoud en afvalverwerking van het gehele koelsysteem, uitgedrukt in kg CO₂ per kg massa van het gehele koelsysteem. Volgens [1] en [3] is C gelijk aan 26 + 0,52 · n.

Ms: Massa van het gehele koelsysteem, uitgedrukt in kg.

Tabel I - ODP- en GWP-CO₂-waarden voor de diverse koudemiddelen. Bron: 5th Plenary Session of IPCC en [4]

Enkelvoudige koudemiddelen					Zeotrope koudemiddelen				
R-nnn	ODP	GWP/CO ₂			R-nnn	ODP	GWP/CO ₂		
		20a	100a	500a			20a	100a	500a
R11	1	2000	4000	1400	R401A	0,037	2848	1082	332
R12	1	7900	8500	4200	R401B	0,040	3093	1186	363
R13	1	5700	8200	9600	R401C	0,030	2268	832	256
R13B1	10-16		4900		R402A	0,021	3104	1816	594
R14	0	4400	6500	10000	R402B	0,033	4328	2084	662
R22	0,055	4300	1700	520	R403A	0,041	4185	2675	2410
R23	0	9100	11700	9800	R403B	0,030	4237	3665	4225
R32	0	2100	650	200	R404A	0	2920	2140	782
R50	0	56	21	6,5	R405A	0,028			
R113	0,8	5000	5000	2300	R406A	0,057	4087	1755	544
R114	1	6900	9200	8300	R407A	0	3620	1770	576
R115	0,6	6200	9300	13000	R407B	0	4110	2285	748
R116	0	6200	9200	14000	R407C	0	3401	1526	494
R123	0,020	300	93	29	R407D	0	3070	1428	4620
R124	0,022	1500	480	150	R408A	0,03	4643	2743	953
R125	0	4600	2800	920	R409A	0,05	3585	1250	444
R134	0	2900	1900	310	R409B	0,05	3590	1425	439
R134a	0	3400	1300	420	R410A	0	3350	1725	560
R141b	0,11	1800	630	200	R410B	0	3475	1833	596
R142b	0,065	4200	2000	630	R411A	0,048	3813	1503	460
R143a	0	5000	3800	1400	R411B	0,052	4056	1602	490
R152a	0	460	140	42	R142A	0,055	4300	2040	1027
R170	0	3	3	3	R413A	0	3424	1774	1279
R218	0	4800	7000	10100					
R227ea	0	4300	2000	950					
R236ea	0								
R236fa	0	5100	6300	4700					
R245ca	0	1800	560	170					
R245cb	0								
RC270	0	3	3	3					
R290	0	3	3	3					
RC318	0								
R600	0	3	3	3					
R600a	0	3	3	3					
R717	0	0	0	0					
R718	0	0	0	0					
R744	0	1	1	1					
R1150	0								
R1270	0								

Azeotrope koudemiddelen				
R-nnn	ODP	GWP/CO ₂		
		20a	100a	500a
R500	0,738	5243	3481	1484
R501	0,291	5200	3400	1440
R502	0,33	5237	5591	6910
R503	~8	7063	9603	9680
R504	0,311	4224	5131	6830
R505				
R506				
R507	0	4800	3300	1160
R508A	0	7331	10175	12362
R408B	0	7534	10350	9476
R509A	0,024	4580	4668	5885

Tabel I (vervolg)

Koudemiddelen waaraan (nog) geen R-nummer is toegekend:						
Fabrikaat:	Samenstelling	ODPGWP/CO2 1)				
Zeotroop:						
Ausimont Meforex DI 36	R22/R124/R600	0,035	2855	1076	331	
Ausimont Meforex DI 44	R22/R125/R143a/R290	0,025	4382	2254	730	
Calor CARE 30	R290/R600a	0	3	3	3	
Calor CARE 50	R170/R290	0	3	3	3	
Daikin	R32/R134a	0	3010	1105	354	
Elf-Atochem FX40	R32/R125/R143a	0	4350	3035	1064	
Elf-Atochem FX220	R23/R32/R134a	0	3377	1628	795	
Greencool G2018C	R1270/R22/R152a	0,050	4113	1626	497	
Hoechst HX4	R32/R125/R134a/R143a	0	4242	2630	916	
Icor Hotshot	R22/R124/R600a/R142b	0,045	3349	1312	404	
Moncten NARM 22	R23/R22/R152a		3964	1966	912	
Moncten NARM 502	R23/R22/R152a		4348	2122	960	
OZ 12	R290/R600	0	3	3	3	
Rhone Poulenc Isceon 59	R125/R134a/R600a	0	3816	1938	633	
Rhone Poulenc Isceon 89	R125/R290/R218	0	4388	3038	1700	
Azeotroop:						
Allied Signal	R23/R116/R744	0	6488	8870	10136	

een peer op te tellen'. Dat het resultaat van deze optelsom niet volledig bevredigend voor iedereen is, is bij zo'n opgave dan ook logisch.

De 'appel' is de directe bijdrage aan het broeikas effect wanneer een koudemiddel (broeikasgas) in de atmosfeer vrijkomt. De 'peer' is het broeikasgas (meestal CO₂) dat vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit voor aandrijving van de koelmachine, of dat vrijkomt bij de productie van de materialen of bij productie en samenbouw van de installatie, bij onderhoud etc.

Eigenlijk is een TEWI-berekening een slap aftreksel van een Life Cycle Analysis (LCA), een techniek waarbij de milieueffecten van een product gedurende de hele levenscyclus worden berekend en opgeteld.

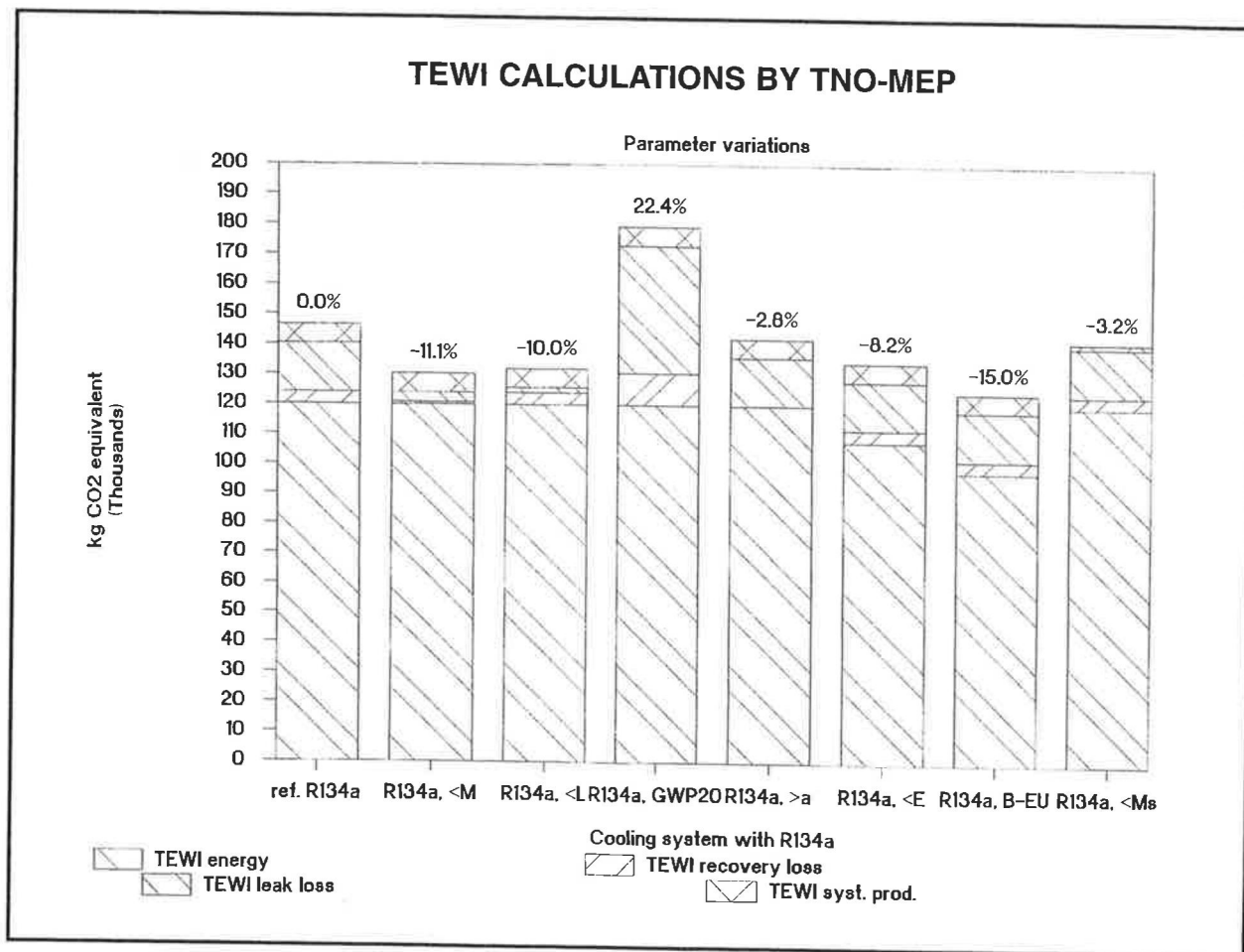
In [1], [2] en [3] wordt de TEWI-methode beschreven.

Deze TEWI berekeningsmethode is internationaal geaccepteerd, waarbij in veel gevallen de laatste term (bijdrage ten gevolge van de productie van de materialen, productie en samenbouw van de installatie, onderhoud etc.) wordt weggelaten.

Waar echter internationaal totaal geen overeenstemming over bestaat, zijn de getalswaarden die in de formule moeten worden ingevuld. Dit wordt hierna geïllustreerd.

Gevoeligheid voor aannames

De internationale onduidelijkheid over welke getalswaarden in de TEWI-formule moeten worden ingevuld, komt ten dele door de van land tot land verschillende situatie. Verder

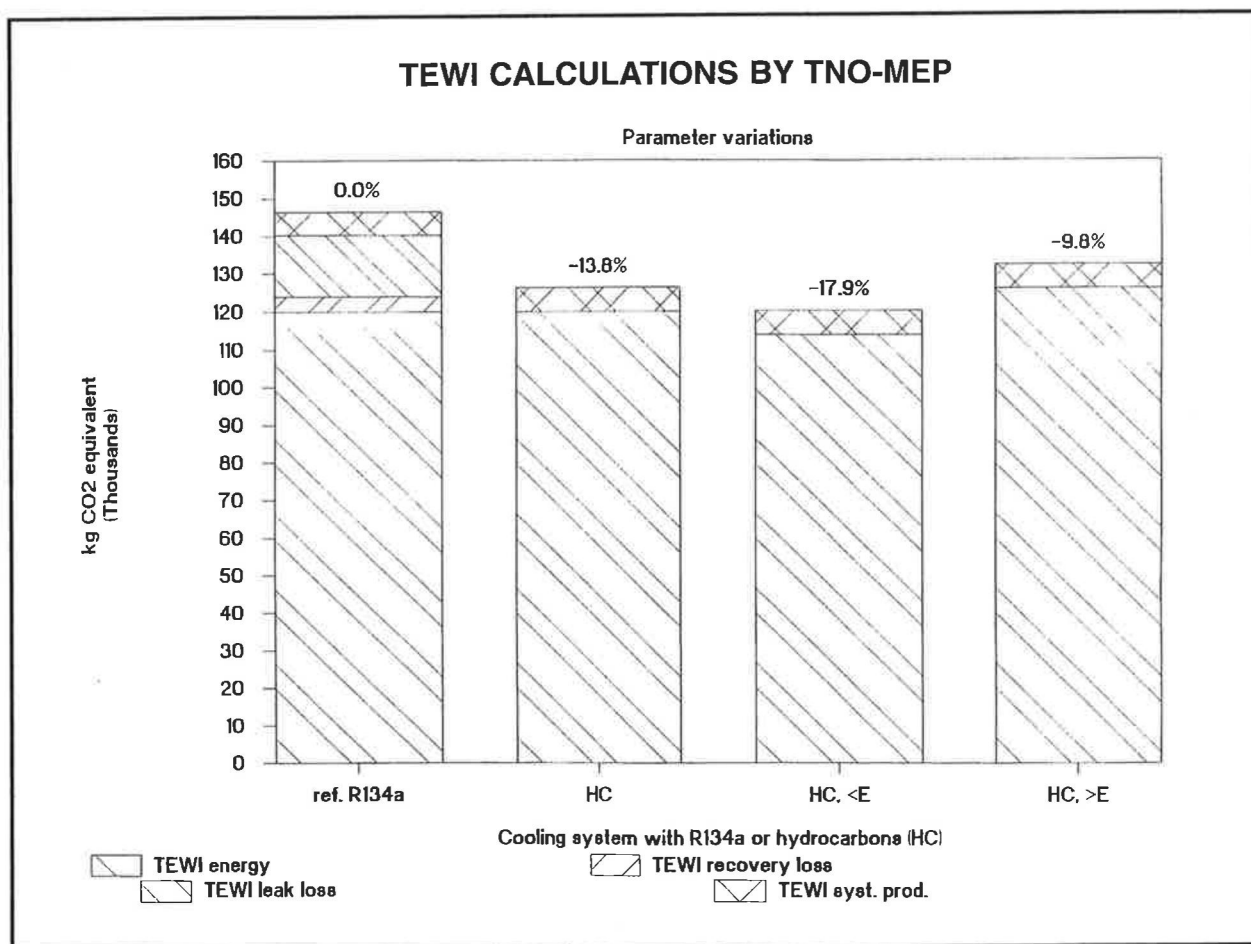


Figuur 1

laat de TEWI-methode toe om met enigszins plausibele getalswaarden datgene aan te tonen wat gewenst is door diegene die de resultaten van de berekeningen presenteert. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een gevoeligheidsanalyse voor de aannames. Hierbij is uitgegaan van een representatieve koelinstallatie met de volgende karakterisering:

- Koudemiddel R134a; hierbij hoort een GWP van 1300 kg CO₂, per kg (tijdhorizon 100 jaar).
- Aandrijfvermogen 5 kW elektrisch.
- Aantal vollasturen 4000 uren per jaar.
- Koudemiddelinhoud M is 12,5 kg.
- Systeemmassa Ms is 200 kg.
- Levensduur n is 10 jaren.
- Terugwintfactor a is 0,75 (geschat Nederlands gemiddelde).
- Lekkage L 0,1 (10 %) per jaar (representatief voor de huidige Nederlandse realiteit).
- Brandstofconversiefactor B is 0,6 kg CO₂, per kWh (gemiddelde voor Nederland).

Vervolgens zijn parameters gewijzigd en is de invloed op de verschillende onderdelen van de totale TEWI-waarde berekend. Hierbij is steeds maar één parameter gewijzigd om hiermee de invloed goed te kunnen beoordelen.



Figuur 2

De volgende parameters zijn gewijzigd.

- Minimale koudemiddelinhoud M is 2,5 kg. Dit is technisch in de meeste gevallen goed realiseerbaar.
- Minimale lekkage L is 0,01 (1 %). Het beleidsstreven van VROM is 0,1 tot 1% lekkage. De huidige realiteit leert evenwel dat dit uiterst moeilijk te realiseren is met de systemen en componenten die in het algemeen worden toegepast.
- GWP met tijdhorizon 20 jaar is 3400 kg CO₂ per kg. Met deze wijziging verandert niets aan het broeikas effect, maar wordt alleen het effect over 20 jaar bekeken; de directe bijdrage van het koudemiddel (GWP) is dan 2,5 keer zo hoog als bij 100 jaar.
- Alle koudemiddel wordt bij afdanken verwerkt, ofwel a is 1; dit is niet eenvoudig te realiseren, maar met een goede handhaving van de huidige wettelijke regels in Nederland moeten we dicht in de buurt kunnen komen.
- Het koelsysteem is 10 % energiezuiniger; een vuistregel stelt dat met 10 % meer investering een koelsysteem 10 % zuiniger is te maken (grotere warmtewisselaars, betere regeling etc.); dit is dus meer een economische dan een technische uitdaging.
- Elektriciteitsopwekking volgens Europees gemiddelde; B is dan 0,49 [5], wat gezien de mate van im- en export van elektriciteit plausibel is. In Frankrijk wordt overigens volgens deze bron 0,09 aangehouden, vanwege het grote aandeel kernenergie; de indi-

recte TEWI-bijdrage is in Frankrijk dus meer dan vijf keer zo laag als in Europa! Het lijkt niet waarschijnlijk dat in de rest van Europa het aandeel kernenergie op korte termijn sterk zal toenemen, dus blijft dit fenomeen beperkt tot Frankrijk.

- Minimale systeemmassa van 50 kg, wat met een uitgekiend ontwerp realiseerbaar is.

In figuur 1 is het resultaat van deze gevoeligheidsanalyse weergegeven. Bij de staafgrafieken staat het procentueel verschil ten opzichte van de referentie vermeld.

Uit deze figuur blijkt dat de arbitraire keuze van de tijdhorizon voor de GWP en de brandstofconversiefactor B de grootste invloed hebben op de berekende totale TEWI-waarde. Ook blijkt dat het effect op de TEWI-waarde van een reductie van koudemiddelinhoud, vermindering van lekkage en vermindering van het elektriciteitsverbruik van dezelfde orde van grootte is.

De TEWI-methode wordt met name gepropageerd als hulp bij de keuze van het koudemiddel. Oppervlakkig gezien lijkt dit een goed hulpmiddel, maar de hieronder weergegeven berekeningen tonen aan dat voorzichtigheid hierbij geboden is.

Rekenvoorbeelden met alternatieve koudemiddelen

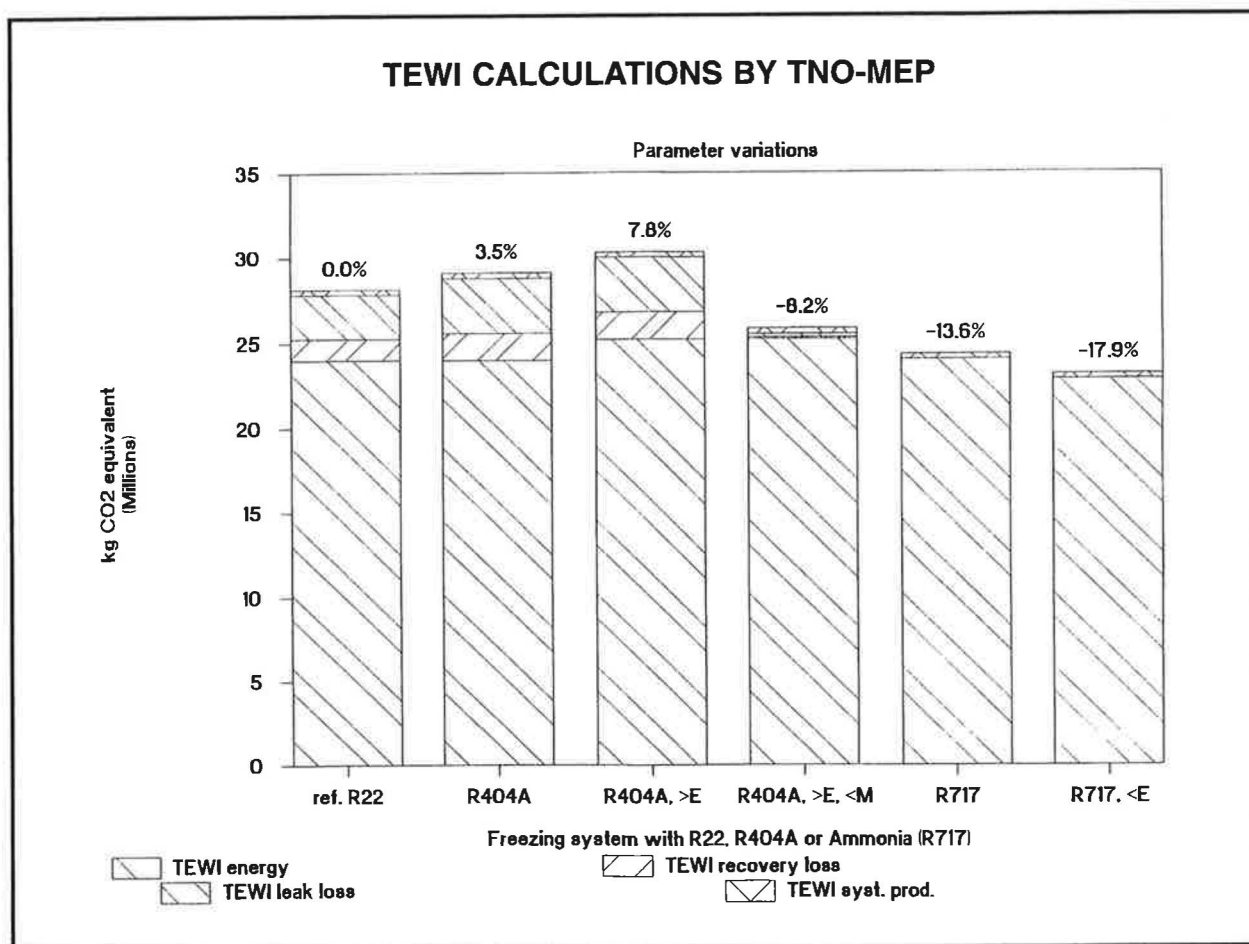
Voor een kleine koelinstallatie met R134a (directe expansie) en een grote vriesinstallatie met R22 (pompcirculatie) zijn TEWI-berekeningen uitgevoerd met alternatieve koudemiddelkeuzes.

Voor de kleine koelinstallatie is de eerdergenoemde referentieinstallatie gebruikt. Als alternatieve koudemiddel is gekozen voor koolwaterstoffen (een mengsel van propaan en isobutaan). Dit natuurlijke koudemiddel is in koeltechnische zin uitstekend en wordt met name in Duitsland krachtig gepropageerd voor alle kleinere toepassingen. De GWP van dit mengsel is 3 kg CO₂ per kg.

- In eerste instantie is er vanuitgegaan dat het energieverbruik bij propaan/isobutaan gelijk is aan dat van de R134a versie.
- Vervolgens is dezelfde vergelijking gemaakt, maar dan met een propaan/isobutaan installatie die 10% energiezuiniger is; een realistische veronderstelling, gebaseerd op onder andere [6] en [7].
- Een derde variant houdt in dat er gebruik gemaakt wordt van propaan/isobutaan in combinatie met een indirect systeem, wat in een aantal gevallen vanuit veiligheidsoogpunt nodig is. Een arbitraire aanname hierbij is dat dit leidt tot 5 % meer energieverbruik ten opzichte van het directe R134a systeem, vanwege extra temperatuurverschillen bij het indirecte systeem (glycol), slechtere warmteoverdracht en de benodigde pompenergie [8].

De berekende TEWI-waarden zijn in figuur 2 weergegeven. Hieruit blijkt dat de vervanging van R134a door propaan/isobutaan weliswaar bijdraagt aan een reductie van de TEWI-waarde, maar dat de orde van grootte van deze reductie vergelijkbaar is met de invloed die de parameter variaties in figuur 1 hebben. Maatregelen met betrekking tot energieverbruik, lekdichtheid en reductie van de koudemiddelinhoud hebben dus vergelijkbare invloed als het vervangen van R134a door koolwaterstoffen.

Als tweede rekenvoorbeeld met alternatieve koudemiddelen zijn voor een grote vriesinstallatie met R22 (pompcirculatie) TEWI-berekeningen uitgevoerd. Als referentie is de volgende installatie gekozen.



Figuur 3

- Pompcirculatiesysteem (vriesinstallatie) met R22; hierbij hoort een GWP van 1700 kg CO₂ per kg (tijdhorizon 100 jaar).
- Aandrijfvermogen 1000 kW elektrisch.
- Aantal vollasturen 4000 uren per jaar.
- Koudemiddelinhoud M is 3000 kg.
- Systeemmassa Ms is 10.000 kg.
- Levensduur n is 10 jaren.
- Terugwinfactor a is 0,75 (geschat Nederlands gemiddelde).
- Lekkage L 0,05 (5 %) per jaar (reële waarde voor een moderne industriële vriesinstallatie in Nederland).
- Brandstofconversiefactor B is 0,6 kg CO₂ per kWh (gemiddelde voor Nederland).

De volgende alternatieven zijn doorgerekend.

- Dezelfde installatie met het koudemiddel R404A; GWP is 2140 kg CO₂ per kg (tijdhorizon 100 jaar), waarbij het totale energiegebruik van de installatie in eerste instantie gelijk blijft.
- Vervolgens is dezelfde installatie met R404A doorgerekend, maar dan met een toename van het energiegebruik met 5 %; over de invloed van R404A op het energiegebruik

lopen de meningen uiteen; voor een vriesinstallatie ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) wordt in [9] circa 5 % toename vermeld.

- Een derde variant bestaat eveneens uit dezelfde installatie met R404A en 5 % meer energiegebruik, maar dan in combinatie met een hoogefficiënt indirect systeem (met CO_2 of een ijsslurrie), wat leidt tot een gereduceerde koudemiddelinhoud van 200 kg.
- Vervolgens is de referentieinstallatie (pompcirculatie) uitgevoerd met ammoniak; de bijbehorende GWP is 0. Het energiegebruik is gelijk aan de R22 referentieinstallatie verondersteld.
- Als vijfde en laatste variant is de voorgaande ammoniak-installatie doorgerekend, waarbij is aangenomen dat het energiegebruik met 5 % gedaald is.

De berekende TEWI-waarden zijn in figuur 3 weergegeven. Hieruit blijkt dat de vervanging van R22 door R404A niet veel invloed heeft op de totale TEWI-waarde. Vervanging door ammoniak heeft iets meer invloed; een reductie in de orde van 14 tot 18 % is daarbij mogelijk, afhankelijk van de mate van energiebesparing. Ook bij dit voorbeeld blijkt dat de orde van grootte van deze reductie vergelijkbaar is met de invloed die de parametervariaties in figuur 1 hebben. Maatregelen met betrekking tot energiegebruik, lek Dichtheid en reductie van de koudemiddelinhoud hebben dus een vergelijkbare invloed als het vervangen van R22 of R404A door ammoniak.

Conclusies

Het resultaat van een TEWI-berekening is sterk afhankelijk van de aannames en uitgangspunten hierbij. Absolute TEWI-waarden moeten dan ook met grote voorzichtigheid worden gebruikt, met inachtneming van de aannames die bij de desbetreffende berekening zijn gebruikt. Als instrument voor vergelijking van koudemiddelen in een specifieke installatie is TEWI bruikbaar, mits verantwoorde aannames zijn gebruikt.

Uit de gepresenteerde rekenvoorbeelden blijkt dat de invloed van de keuze van het koudemiddel op de totale TEWI-waarde beperkt is. Het energiegebruik van een koelinstallatie is de bepalende invloedsfactor op de TEWI-waarde.

De niet op harde feiten gebaseerde maar wel veel gehanteerde vuistregel dat met 10 % meer investering in een koelinstallatie het energiegebruik met 10 % kan worden vermindert (door toepassing van grotere warmtewisselaars, betere regeling, betere compressor etc.) geeft aan dat met energiebesparing veel kan worden bereikt, wat meer een economische dan een technische uitdaging is. Het zuinig omgaan met (fossiele) energiebronnen dient bovendien meer goede doelen dan alleen de reductie van het broeikas effect.

Reductie van de koudemiddelemissie is eveneens effectief; zowel het meer lekdicht maken van installaties (hoeksteen van het Nederlandse CFKbeleid), het verkleinen van de koudemiddelinhoud (nog niet actief gepropageerd), als het voorkomen van emissie bij het af-danken van de installatie (gecontroleerde recycling of verwerking), leiden tot een significante reductie van de TEWI-waarde.

De keuze van het koudemiddel (HCFK's, HFK's, koolwaterstoffen of ammoniak) is van beperkt belang. Een goede redenering is dat natuurlijke koudemiddelen (ammoniak, koolwaterstoffen) de voorkeur verdienen in die gevallen waarbij de veiligheid voldoende gewaarborgd is en eventuele extra kosten acceptabel zijn. Een genuanceerde afweging is op zijn plaats. De TEWI-waarde als hoofdcriterium bij deze afweging moet met voorzichtigheid worden gehanteerd, gezien de 'rek' in de resultaten van berekeningen, afhankelijk van de aannames.

Het is effectiever daadwerkelijk iets te doen aan energiebesparing en emissieverminde-

ring, dan veel energie te steken in het vervolmaken van de TEWI-berekeningsmethode en het bereiken van internationale consensus hierover.

Referenties

- [1] Wunderlich, D.: *Zur Erfassung der klimarelevanten Umweltbelastung durch Kältesysteme*. KI Klima Kälte Heizung 6 (1993)
- [2] Lande, Chr. van der: *TEWI - de werkelijke invloed van koudemiddelen op het broeikaseffect*. Koude & Luchtbehandeling juni 1995.
- [3] *Evaluation of the environmentally friendly refrigerant ammonia according to the TEWI concept*. Eurammon-information 4, July 1996.
- [4] *FKW informiert: single refrigerants, zeotropic refrigerant mixtures, azeotropic refrigerants*. Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH, Hannover, Duitsland, 1996.
- [5] *Quel est l'impact de l'électricité sur l'effet de serre?* Electricité de France, private communication, 1996.
- [6] Ritter, T. J.: *Experiences with hydrocarbon blends in the UK Market*. IIR/IIF Conference, Aarhus, Denmark, 1996.
- [7] Forbes Pearson, S.: *Uses hydrocarbon refrigerants*. IIR/IIF Conference, Aarhus, Denmark, 1996.
- [8] *Einsatz von Kälteanlagen mit indirekter Kühlung in Supermärkten*. Fachgruppe Kühlmöbel, Frankfurt, September 1996.
- [9] Kruse, H.: *Current status of natural working fluids in refrigeration, A/C and heat pump systems*. IIR/IIF Conference, Aarhus, Denmark, 1996.

Auteur:
Ir. René J. M. van Gerwen
TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn

