

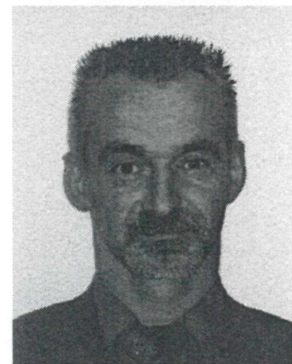
Individueel comfort met lokale warmtepompen

Colt-Caloris is ontwikkeld voor de klimatisering van gebouwen, als alternatief voor de vier-pijps ventilatorconvectoren en de bekende (Variable Refrigerant Flow) VRF-systemen. De toepassing ligt typisch in gebouwen met een groot aantal gelijksoortige ruimten, zoals kantoren, hotels, verzorgings- en ziekenhuizen en in combinaties met andere, op water gebaseerde, warmtebronnen.

- door ir. N.R. Bootsveld* en de heer M.B.A. van der Hoff**



De heer ir. N.R. Bootsveld



De heer M.B.A. van der Hoff

Het gepatenteerde systeem [12] bestaat uit drie hoofdcomponenten, de centrale warmtepomp(en), vele lokale warmtepompen en een neutraal waterringnet dat deze warmtepompen verbindt. Het voordeel van dit systeem is de volledige individuele klimaatregeling per ruimte. Het is mogelijk om altijd warmte of koude onderling tussen eenheden, zones en ruimten uit te wisselen.

Met de water-lucht warmtepompunits per ruimte, kan iedere ruimte op een gewenste temperatuur worden gehouden en is de keuze voor koeling of verwarming lokaal te bepalen. Doordat de units onderling verbonden zijn door een overgedimensioneerd waterleidingcircuit, kunnen zij onderling warmte uitwisselen. Warmte die vrijkomt bij

het koelen van een ruimte, wordt gebruikt als warmtebron voor het verwarmen van een andere ruimte.

Het leidingcircuit is ongeïsoleerd en waar mogelijk ingebed in de vloeren of andere gebouwdelen. Hierdoor wordt de thermische accumulatie van de gebouwmassa mede geactiveerd als buffer. Warmtebuffering betreft hier warmte die vrijkomt bij het koelen van een ruimte en die (op een later moment) wordt opgenomen in een specifiek deel van de gebouwmassa door stijging van de temperatuur van dit deel van de gebouwmassa. De warmtepomp die in de buitenlucht is opgesteld houdt de temperatuur van het watercircuit binnen de ingestelde waarden. Het is de bedoeling dat deze warmtepomp

slechts beperkt in bedrijf komt, door de genoemde warmtebuffering in de gebouwmassa rond het leidingcircuit en de onderlinge warmte-uitwisseling. Het voordeel hiervan is dat de installatie energiezuinig kan functioneren. Naast, of in plaats van, de centrale warmtepompen is een koppeling te maken met externe bronnen, bv. een industrieel proces, restwarmte of lange termijn bodemopslag. Elke bron zal het aantal draaiuren van de centrale warmtepomp verder beperken. Het systeem is schematisch weergegeven in figuur 1.

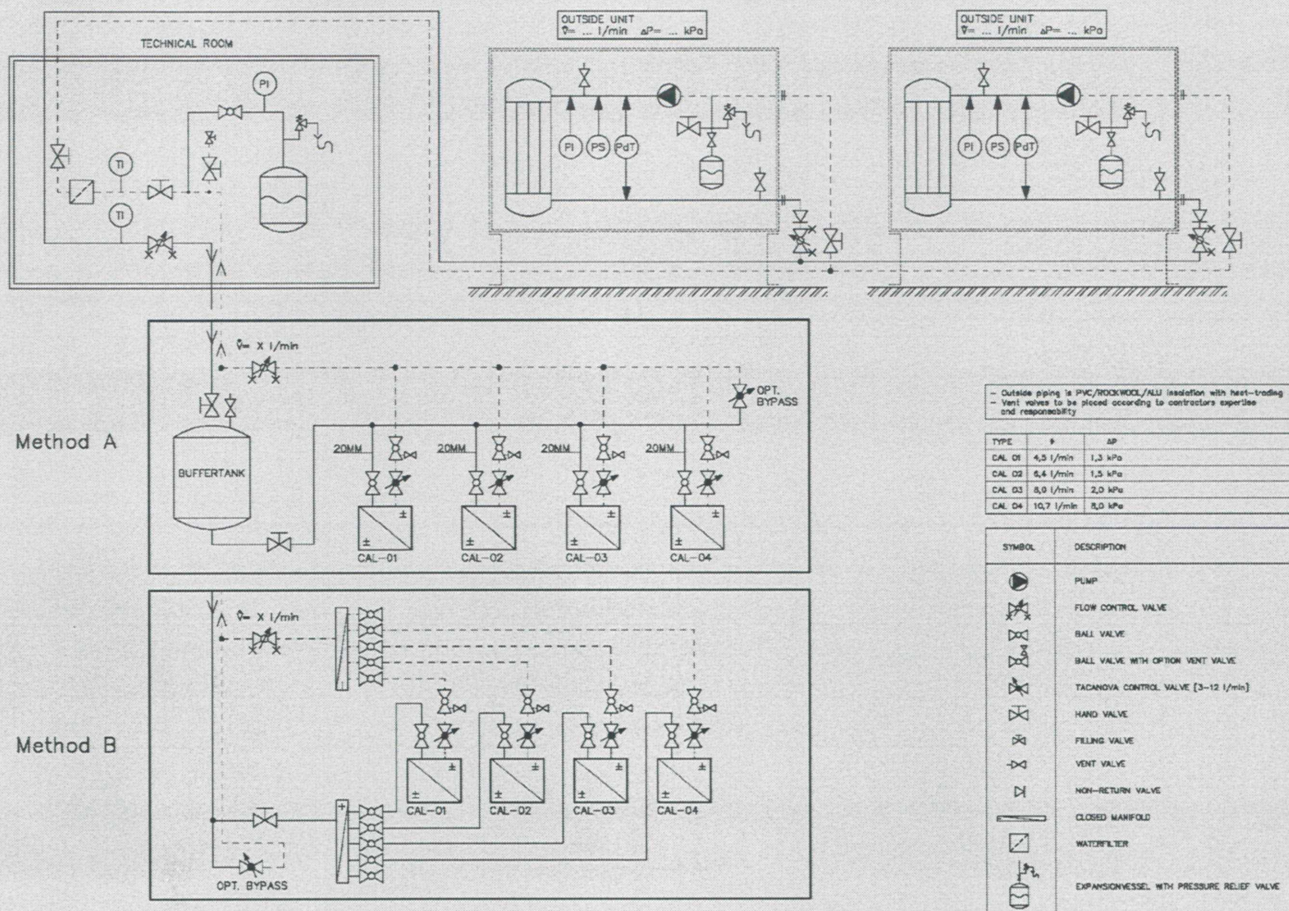
lokale warmtepompen	centrale warmtepomp
Verwarmen	verwarmen uit
Deel verwarmt, deel koelt	verwarmen koelen uit
Uit	uit
Koelen	koelen uit

Bedrijfssituaties

- TABEL 1 -

* Onderzoeker TNO Milieu, Energie en Processinnovatie, Sector Thermische en Fysische Processen

**International Product Manager HVAC, Colt International BV



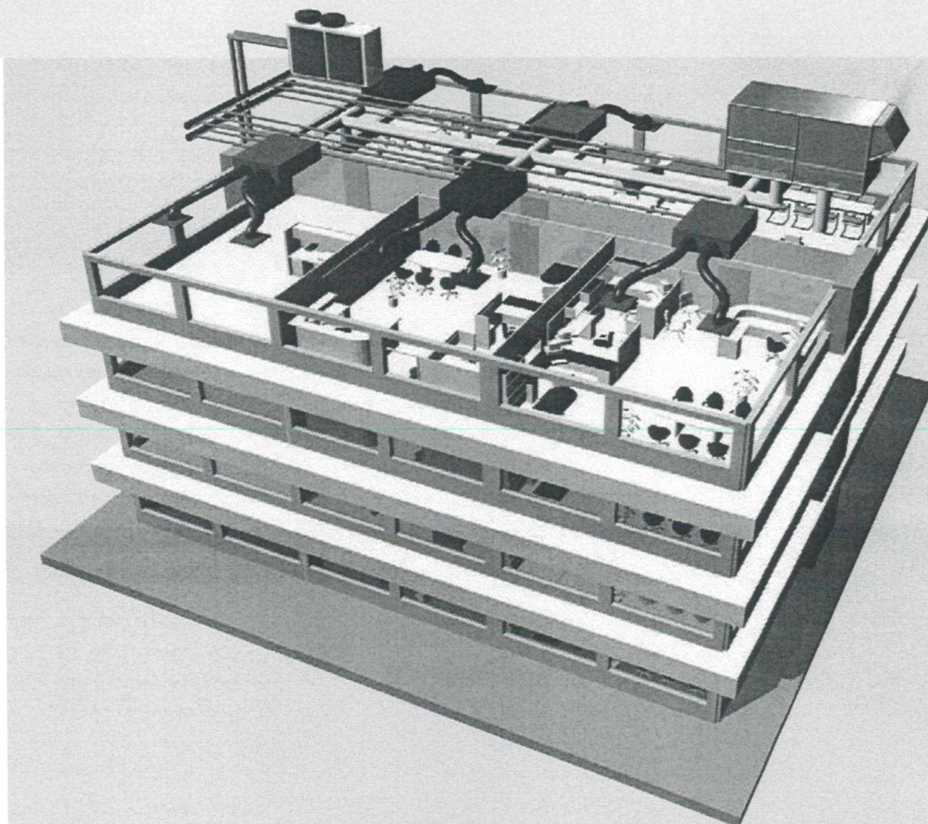
Principeschema

- FIGUUR 1-

Ontwerp-aanvoertemperaturen voor het watercircuit zijn minimaal 16 °C en maximaal 28 °C. Beneden 16 °C wordt de buitenunit ingeschakeld als warmtepomp en boven 28 °C als koelmachine.

HISTORIE EN ONTWIKKELING VAN HET SYSTEEM

Luchtbehandelingssystemen, aangesloten op een warmwater verwarmingsinstallatie hebben statistisch in Europa de voorkeur boven centrale luchtbehandelingssystemen of direct expansiesystemen met koudemiddelleidingen (VRF). De laatste jaren hebben we een opkomst van deze VRF-systemen gezien. Voordeel hiervan is dat voor een budgettair haalbaar investeringsniveau zowel een koel- en/of een verwarmingssysteem wordt aangeboden. De grotere inhoud per circuit en technische beperkingen van het in het gehele gebouw vertakte leidingstelsel voor het koudemiddel, vragen om extra aandacht en nazorg. Lekdichtheid, detectie, inspectie, koeltechnische vakbe-



Systeemopzet.

- FIGUUR 2-

METINGEN VERRICHT VOLGENS EN 255-2, INCLUSIEF OPGENOMEN VERMOGEN VOOR FAN EN CIRCULATIEPOMP.

Type	T water in	T water uit	T lucht in	T lucht uit	RV in	P therm	COP
	°C	°C	°C	°C	%	watt	
2	20,2	15,4	20,0	35,6	11	2.350	3,72
3	20,0	15,2	20,1	35,0	18	3.372	4,29
4	20,1	15,3	20,2	30,2	38	4.134	3,80

Resultaten verwarmingsbedrijf.

- TABEL 2-

Type	T water in	T water uit	T lucht in	T lucht uit	RV in	P therm	COP
	°C	°C	°C	°C	%	watt	
2	20,2	26,4	25,0	15,5	51	2.230	4,21
3	19,9	26,5	25,2	15,1	51	3.661	5,55
4	20,1	27,8	24,7	15,7	51	4.771	4,72

Resultaten koelbedrijf.

- TABEL 3-

kwaamheid, flexibiliteit, comptabiliteit en ook nieuwe normen zoals de EN378: 2004 (Norm voor Veiligheid van Koelinstallaties) zijn aspecten om in het advies mee te werken.

Ventilatorconvectorsystemen kennen deze technische beperkingen niet, water is immers veilig en geaccepteerd, maar de installatiekosten inclusief isolatie van het leidingwerk en de regeltechniek kosten kunnen hoger uitvallen, vooral als het een vier-pijpssysteem betreft waardoor er dubbel wordt geïnvesteerd in leidingwerk, appendages en toebehoren zoals ketels en ook koudwatermachines.

Echter, de warmtepomp is vaak in een groot aantal projecten een geschikte oplossing gebleken. De warmtepomp levert zowel de gevraagde koel- als verwarmingscapaciteit, maar veelal niet tegelijkertijd. De bovengenoemde VRF-systemen kunnen meestal optioneel zodanig worden uitgebreid dat er wél tegelijkertijd kan worden verwarmd en gekoeld. Hiermee neemt het leidingwerk in complexiteit toe.

WARMTEBUFFERING EN -UITWISSELING

Er is onderzocht in welke mate warmtebuffering plaatsvindt in de gebouw-massa rond de leidingen en in welke mate warmte-uitwisseling plaatsvindt. De prestaties van de lokale warmte-

pompen zijn gemeten in het laboratorium en daarmee is het jaargemiddelde opwekkingsrendement berekend, zonder de bijdragen van warmtebuffering en warmte-uitwisseling. [6]

Uit het onderzoek [7] blijkt dat maximaal 15 tot 50 % van de warmte die vrijkomt per koelende warmtepomp, kan worden opgeslagen in het beton rondom de waterleidingen. Bepalende factor is hier de warmteoverdrachtscoëfficiënt, in combinatie met het warmte-uitwisselende oppervlak. De spreiding hangt samen met de verschillen in vermogens van de verschillende modellen.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de berekeningen middels VA114 van een representatief gebouw. Het gaat om het referentiegebouw uit ISSO-researchrapport 11, een middelgroot ondiep kabinettenkantoor (24.300 m³ bruto gebouwvolume) met zeven verdiepingen en 210 vertrekmodules. De simulatie is uitgevoerd volgens systeemnummer twee, vierpijps fancoil units, maar met warmterugwinning op de ventilatielucht. Het gebouw is gebouwd in 1998. Voordeel is dat dit gebouw een 'de facto' standaard is, daar dit gebouw in veel studies als referentie is gebruikt. Het gebouw is onderverdeeld in een Oost- en een West-sector, om de invloeden van de oriëntatie te kunnen bepalen. Er is hier verondersteld dat er

geen verschillen zijn in comforteisen en interne warmtebelasting.

Het opwekkingsrendement (SPF) of Seasonal Performance Factor is de levering van koeling c.q. verwarming gedeeld door (de aandrijfenergie + de hulpenergie). Het jaargemiddelde opwekkingsrendement voor verwarming en koeling is berekend aan de hand van de eerder genoemde simulatie van het referentiegebouw en aan de hand van gemeten rendementen van de lokale warmtepompen en de door de fabrikant verstrekte rendementen van de centrale warmtepomp. De effecten van warmte-buffering en warmte-uitwisseling zijn nog buiten beschouwing gelaten, omdat deze effecten verhoudingsgewijs klein zijn en omdat de effecten op de opwekkingsrendementen niet door modellering zijn vast te stellen. Het beton rondom de leidingen heeft ruim voldoende warmtecapaciteit.

De berekende jaargemiddelde opwekkingsrendementen [4] voor koeling en verwarming bedragen:

SPF-systeem koeling	5,5
SPF-systeem verwarming	2,4
SPF-systeem jaargemiddelde voor koeling en verwarming	4,3

Hierbij is rekening gehouden met het schakelgedrag van het systeem.

De individuele comfortuitgangspunten voor de ontwikkeling van het systeem rijmen niet met de gangbare normen. Zo blijkt dat de EPN [3] uitgaat van

een uniform ingestelde comforttemperatuur in elke ruimte. Dit is een simplificatie van de werkelijkheid, die het voordeel van het systeem niet waardeert. Er zijn meer klimaatsystemen die warmte-uitwisselen binnen de gebouwschil met lokaal regelbare eenheden, zoals systemen met koude- en warmtetransport via koudemiddel [2]. Achtergrond van de wens tot warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil is, dat door verschillen in ligging en gebruik van ruimte in één gebouw in ongeveer dezelfde periode zowel een koudevraag als een warmtevraag kan heersen. Gedacht kan worden aan een serverruimte waar de aanwezige computerapparatuur zoveel warmte afgeeft dat altijd koeling nodig is. Ook verschillen in bezonning (Noord-Zuid gevels) kunnen hiertoe aanleiding zijn, evenals verschillen in gewenste comforttemperatuur tussen individuele gebruikers, in bijvoorbeeld kantoren of hotels. Door de warmte, die vrijkomt bij de koeling van een deel van het gebouw, in te zetten voor de verwarming van het overige deel, zal energie worden bespaard. Laagwaardige warmte die afkomstig is vanuit een productieproces kan eveneens worden hergebruikt.

Uit het verloop van de koude- en warmtevraag in een jaar voor het standaard model referentiekantoor, volgt dat de hoeveelheid warmte die kan worden uitgewisseld, door middel van gelijktijdige uitwisseling, gering is. Er zijn op hetzelfde uur nauwelijks gelijktijdige warmte- en koudevragers, gebaseerd op dit standaard gebouw, bij uniform ingestelde ruimtetemperaturen. Als rekening wordt gehouden met het dag/nacht ritme en de oost/west-oriëntatie van dit referentiegebouw, dan is de hoeveelheid warmte die kan worden uitgewisseld door middel van buffering, in het onderzochte referentiekantoor maximaal circa 7 % van de warmtevraag [1],[7]. Dit komt door de beperkte lengte van het "tussenseizoen" waarin 's nachts verwarming nodig is en overdag koeling. Als de ruimtetemperaturen niet uniform worden ingesteld dan stijgt dit percentage merkbaar.

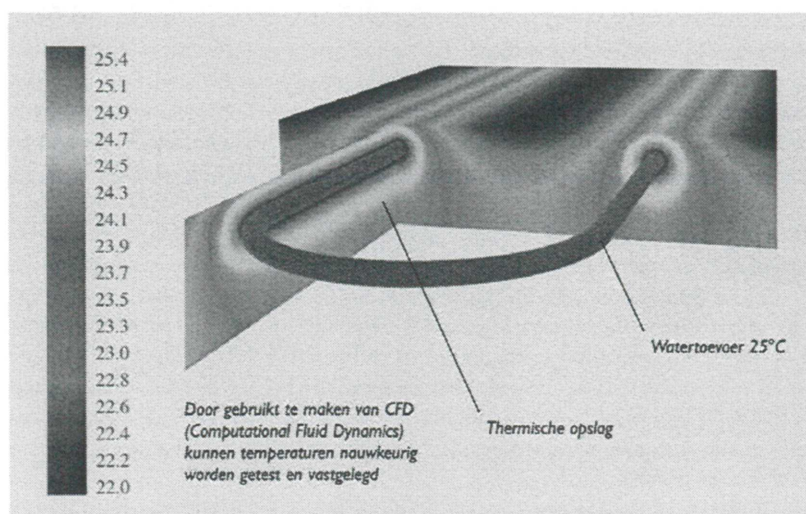
NEN 2916 biedt uit het oogpunt van bewerkelijkheid, maar ook vanuit inhoudelijke argumenten, geen aanknopingspunten voor (extra) waardering van klimaatsystemen met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil.



Distributiecentrum Nic Oud BV te Heerhugowaard. (realisatie 2002)

De benadering van warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil leidt tot een hoger energiegebruik dan bij de benadering van de NEN 2916 om uit te gaan van één energiesector. Een klimaatsysteem met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil is dus per definitie één energiesector in NEN 2916. De installatie bedient immers verschillende ruimtes met gelijke gebruiksfuncties. Warmtevraag en koudevraag worden door deze norm binnen een energiesector met elkaar verdisconteerd, tot de resterende koude- of warmtevraag. Hiermee wordt dus wel gebruik

gemaakt van onderlinge warmte-uitwisseling, maar wordt warmte-uitwisseling tussen zones door de klimaatinstallatie niet extra gewaardeerd. Anders gezegd: de EPN gaat er van uit dat de warmte-uitwisseling wel "van-zelf" plaatsvindt, al hoeft dat in de praktijk niet zo te zijn. Desondanks zullen er andere redenen zijn voor het intern uitwisselen van warmte zoals verhoging van het comfort, vanwege verschillende functies van ruimten, beveiliging, indeling, privacy, werkrust, individuele regelbaarheid.



Warmtebuffering rond ongeïsoleerde leidingen in de betonmassa.

- FIGUUR 3-



BEREKENING VAN WARMTE-CAPACITEIT VAN GEBOUWMASSA ROND LEIDINGEN

Een benadering van de mogelijke warmte-buffering rondom de ongeïsoleerde leidingen in de betonmassa volgt uit de verhouding tussen de meewerkende betonmassa en de waterinhoud in de leiding. Bij een veronderstelde invloed van tot 75 mm van de buis op basis van eerder onderzoek aan tapwaterleidingen [5] zorgt het beton voor een warmte-capaciteit van 5.600 maal de warmte-capaciteit van het circulerende water. Bij 60 m leiding per warmtepomp, een debiet van 0,133 l/s en een tempe-

ratuurtraject tot 10 °C is de waterzijdige buffercapaciteit 184 seconden. De buffer van het systeem wordt dan $184 \times 5.600 = 286$ uur of 12 dagen. Zoals aangetoond is dit ruim voldoende om circa 7 % van de warmtevraag te kunnen bufferen.

GELUID

Lokale water naar lucht warmtepompen zijn in Europa en de USA langer bekend in de markt. Eurovent-gegevens van bestaande fabrikanten melden een voor kantoortoepassing hoog geluidsvermogeniveau L_w van 58-60 dB(A).

Een al in een vroeg stadium opgestelde klantrapportage van DWA Installatie- en energieadvies te Bodegraven [8] geeft een beoordeling over het systeem op negen aspecten.

Naast voordelen (technisch betrouwbaar, stabiel, functionele en individuele flexibiliteit, regelbaarheid, ISO 7730 comfort, beproefde techniek) zijn er punten van nadere aandacht: De COP/energie van het systeem en het geluidsniveau van de lokale warmtepompen. Het geluidaspect van warmtepompen in het kantoor is eerder in een artikel in TVVL Magazine van oktober 2000 "Gemeentehuis Veere" behandeld.

Het is zo dat bij de ontwikkeling van het nieuwe product de meeste investeringen zijn terug te voeren op de doelstelling om het geluidsvermogen met 10-15 dB(A) te reduceren. Concreet is beoogd en ook gerealiseerd dat een geluidsdruk overal in de leefzone conform de huidige eisen van bouwbesluit en de RGD haalbaar is, waarbij de toestellen zijn ingebouwd in of boven deze leefzone zelf en de geluidseisen hierbij niet mogen worden overschreden. Nieuwe wand-vloer-toestellen bevinden zich zelfs direct in de leefzone zelf, het meest aan de gevel.

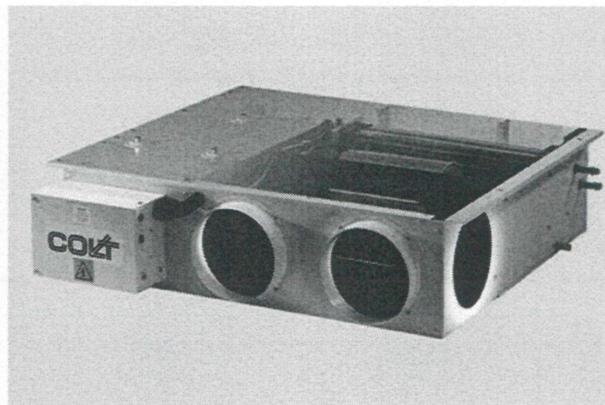
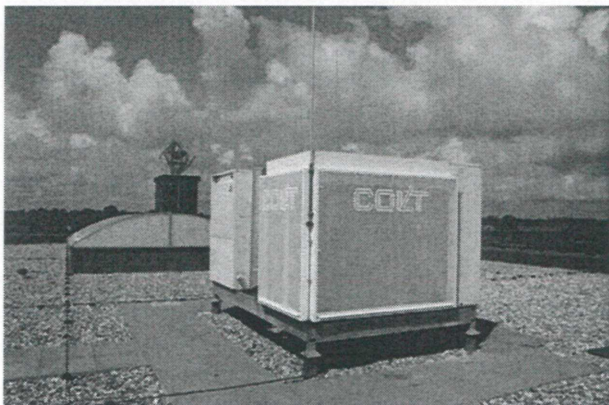
De akoestische constructie van de toestellen kent opvallende en doeltreffende eigenschappen, die in samenwerking met intensiteitsmetingen door Akoestisch bureau Peutz Zoetermeer, en R&D-centra van Colt UK zijn ingebracht. Latere metingen in de laboratoria van Peutz te Mook [9] van de toestellen evenals door Sound Research Laboratories UK [11] hebben aangetoond dat een 12 dB(A) demping in de belangrijke 63, 125 en 250 Hz

Lp in dB(A)	Caloris 2 in ruimte 53 m³		Caloris 3 in ruimte 80 m³		Caloris 4 in ruimte 104 m³	
Bedrijfsstand	Plafond A	Plafond B	Plafond A	Plafond B	Plafond A	Plafond B
Ventileren	39	35	38	35	37	34
Ventileren + Verwarmen	38	35	40	36	39	36
Ventileren + Koelen	38	34	38	35	38	34

Plafond A: zichtbaar ophangstelsel en plafondpanelen, zacht geperste mineraalwol tegels (>4 kg/m²). Per stramien van 1,8 m zijn twee verlichtingsarmaturen met ventilatieopeningen aangebracht, zonder geluiddempende voorzieningen.
Plafond B: als plafond A met mineraalvezelplaten met gewicht >8 kg/m² (bv. OWA, Armstrong)

Realisatie achtergrond geluidsdrumniveau

-TABEL 4-



banden is gerealiseerd ten opzichte van de uitgangssituatie. Een gecentreerd swingmechanisme, een kastcombinatie van damping, reflectie en absorptie, ongelijke massatrilgetallen, variatie in plaatmateriaaldiktes en gecalculerde trillingsdempers hebben, naast een aangepast intern koperen leidingontwerp, geleid tot een bijdrage in het geluidsniveau door de warmtepomp-compressor van 0,5 dB(A). Indien de toestellen in de ruimte zijn toegepast volgens de installatie-instructies is er geen probleem op akoestisch vlak te verwachten.

De tabel geeft aan welk achtergrond geluidsdruk-niveau volgens Peutz Mook [10] zal worden gerealiseerd in de ruimte voorzien van een licht plafond A met mineraalwolvezels ($> 4 \text{ kg/m}^2$) dan wel een standaard plafond B ($> 8 \text{ kg/m}^2$), beiden steeds voorzien van open verlichtingsarmaturen.

CONCLUSIES

De gebouwmassa, zoals bekend uit ander openbaar onderzoek en literatuur, biedt goede mogelijkheden tot warmtebuffering, die ten dele worden aangesproken door het Caloris systeem. Door de beschikbare warmteoverdrachtscoëfficiënt, de drijvende kracht en het beschikbare warmte-uitwisselend oppervlak is de bijdrage van de warmtebuffering voor het referentie gebouw 1 à 4 % van de warmtevraag. Het is niet mogelijk om te bepalen in welke mate deze buffering leidt tot energiebesparing. Overigens is warmtebuffering wel relevant voor het beperken van het aantal schakelingen en bedrijfsuren van de buiten geplaatste centrale warmtepomp. Aansluiting van de lokale warmtepompen op een seizoensopslagsysteem lijkt de moeite van een onderzoek waard. De akoestische eigenschappen

vormen geen belemmering voor toepassing in werkomgevingen volgens huidige normen. Ten opzichte van VRF systemen en vier-pijps ventilatorconvectorontwerpen kan het systeem een aantrekkelijk alternatief vormen.

REFERENTIES

1. Bootsvelde, N.R. (Collin) and Quakernaat, Joost, *Computational-based applicware for sustainable energification at company level*, World Resource Review, 2004, Volume 16, Number 3, 2004.
2. ISSO rapport 43
3. NEN 2916:2001
4. *Bepalingsmethode systeemrendementen ten behoeve van NEN 2916, Onderbouwing en afleiding van getalwaarden*, Elkhuizen, P.A. e.a., ISSO researchrapport 11, 1998.
5. Afink, G.J., *Energieverlies in uit tapleidingen voor warm water*, Verwarming & Ventilatie, november 2002.
6. Bootsvelde, N.R., Vijge J., Velde B. van, *Investigation Caloris Part 2 Test*, TNO report R 2003/121, March 2003.
7. Bootsvelde, N.R., Wolferen H. van, *Onderzoek Caloris deel 1*, TNO rapport R 2003/430, oktober 2003.
8. Vries A.M. de, DWA Installatie- en energieadvies, Bodegraven, 27 jan 2003, *rapport 7407av201, Kantoren-park Veldzicht te Middelburg*.
9. Scheers, Th. W., Adviesbureau Peutz & Associés B.V. Mook, *Laboratoriummetingen aan Colt-Caloris eenheden*, Rapport A 1272-1, 22 april 2003
10. Scheers, Th. W., Adviesbureau Peutz & Associés B.V. Mook, *Berekening van de geluidsproductie ten gevolge van Colt Caloris eenheden in een referentie kantoor-situatie*, Rapport A 1272-2, 2 mei 2003
11. Thomson, G., *Sound Research Laboratories Limited*, Sudbury, Suffolk, UK, The Laboratory Determination of the Sound Power Emission of a Caloris size 1 unit.
12. European Patent Office, General-direktion 2, D-80298 München, Duitsland, Patentnummer EP1347253, *Airconditioning system and method in particular for cooling and heating in buildings*.