

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2002/717

**Toepassingsmogelijkheden systemen met koude-
en warmtetransport via koudemiddel in hotels**

Datum	december 2002
Auteurs	Ir. N.R. Bootsvelt
Projectnummer	33044 Novem projecnummer 0345-01-02-03-0026
Trefwoorden	VRF hotel warmtepomp air conditioning
Bestemd voor	Novem Ing. H.J. Rienks Postbus 8242 3503 RE Utrecht

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.

Samenvatting

TNO heeft in opdracht van Novem onderzoek verricht naar de toepassingsmogelijkheden van systemen met koeling en verwarming via koudemiddel in hotels. Deze systemen zijn in de markt bekend onder de merknamen VRV of VRF, wat staat voor Variable Refrigerant Flow en Variable Refrigerant Volume. Deze warmtepompsystemen bestaan uit meerdere decentrale ruimteklimatiseringseenheden die met elkaar en met een centrale eenheid verbonden zijn via koudemiddelleidingen. De decentrale eenheden zijn naar wens koeling of verwarming, respectievelijk verdampers of condensoren. In de centrale eenheid is de compressor opgenomen en wordt het netto overschot of tekort aan warmte met de omgeving uitgewisseld. Het principe van het systeem komt met name tot zijn recht wanneer er gelijktijdig warmte- en koudevraag is bij de afzonderlijke afnemers. Eén van de marktsegmenten waar de kans op die gelijktijdigheid groot is zijn de grotere en luxe hotels. Doordat de gasten uiteenlopende wensen hebben t.a.v. het ruimteklimaat zal de situatie van koudevraag in de ene hotelkamer en warmtevraag in de andere, eerder voorkomen dan in bijvoorbeeld kantoren, waar een uniform klimaat heerst.

Het blijkt dat een VRF systeem met bodemwarmtewisselaars met 41% energiebesparing ten opzichte van conventioneel, 1% punt beter presteert dan het gangbare systeem. Het VRF systeem met een aquifer als bron, bespaart 47% ten opzichte van conventioneel en bespaart 9% ten opzichte van het gangbare VRF systeem.

De verwarmingsvraag overheerst ten opzichte van de koelvraag waardoor de invloed van het al dan niet gelijktijdig koelen en verwarmen gering is. Uit de analyse van de mogelijke waardering van de warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil blijkt eveneens dat hieraan niet al te grote waarde moet worden gehecht.

De praktische toepassingsmogelijkheden blijken uit het feit dat VRF systemen al veelvuldig worden toegepast in hotels.

Aanbevolen wordt watergekoppelde VRF systemen te overwegen uit andere dan energiebesparingsmotieven, hoewel een zekere energiebesparing bij koppeling aan een aquifer verwacht mag worden.

Conclusie is dat de energiebesparing van een watergekoppeld systeem, niet opweegt tegen de meerinvestering in bodemwarmtewisselaars of een aquifer. Maar als een aquifer beschikbaar is dan is koppeling zeker interessant, ook vanwege het visuele aspect en de kleinere warmtepomp die onder meer constante condities kan werken.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	5
2. Beschrijving van de techniek	6
2.1.1 Natte verdampingsstelsel	6
2.1.2 Directe expansiestelsel	7
2.1.3 Prestaties en normen	9
3. Vergelijking systeemvarianten	12
3.1 Vermogensregeling	12
3.1.1 Invertersystemen	12
3.1.2 Stappenvermogensregeling	12
3.1.3 Digitale vermogensregeling	13
3.2 Warmtepompfunctie	13
3.3 Overkoepelend regelsysteem	13
3.4 Oliespoelingen	14
4. De waardering van klimaatsystemen met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil	15
4.1 Energieprestatienorm NEN 2916	15
4.2 Energiebalansen klimaatsystemen met warmte- uitwisseling binnen de gebouwschil	16
4.2.1 Basis gebouwschil met warmtepomp	16
4.2.2 Bodemwarmtewisselaar	17
4.2.3 Hoog-rendement warmteterugwinning	18
4.2.4 Benutting van interne warmtelast	19
4.2.5 Verschillen in bezonning	20
4.2.6 Comfortwensen	21
4.3 Conclusies	22
5. Berekeningen toepassingsmogelijkheden	23
5.1 Simulaties	23
5.2 Praktische toepassingsmogelijkheden in hotels	24
6. Conclusies	25
7. Literatuurverwijzingen	26
8. Verantwoording	27

Bijlagen

Bijlage 1 Quickscan simulatie VRF systeem

Bijlage 2 Quickscan simulatie VRF systeem met bodemwarmtewisselaar

Bijlage 3 Quickscan simulatie VRF systeem met aquifer

1. Inleiding

TNO heeft in opdracht van Novem onderzoek verricht naar de toepassingsmogelijkheden van systemen met koeling en verwarming via koudemiddel in hotels. Deze systemen zijn in de markt bekend onder de merknamen VRV of VRF, wat staat voor Variable Refrigerant Flow en Variable Refrigerent Volume. Omwille van de leesbaarheid wordt in dit rapport de term VRF gebruikt. Deze warmtepomp-systemen bestaan uit meerdere decentrale ruimteklimatiseringseenheden die met elkaar en met een centrale eenheid verbonden zijn via koudemiddelleidingen. De decentrale eenheden zijn naar wens koeling of verwarming, respectievelijk verdampers of condensoren. In de centrale eenheid is de compressor opgenomen en wordt het netto overschot of tekort aan warmte met de omgeving uitgewisseld. Dit systeem is bij verschillende leveranciers verkrijgbaar, waarbij elke leverancier zijn eigen variant heeft. Een deel van de systemen kan tegelijkertijd koelen en verwarmen en daarbij binnen de gebouwschil warmte uitwisselen. Het principe van het systeem komt met name tot zijn recht wanneer er gelijktijdig warmte- en koudevraag is bij de afzonderlijke afnemers. Eén van de marktsegmenten waar de kans op die gelijktijdigheid groot is zijn de grotere en luxe hotels. Doordat de gasten uiteenlopende wensen hebben t.a.v. het ruimteklimaat zal de situatie van koudevraag in de ene hotelkamer en warmtevraag in de andere, eerder voorkomen dan in bijvoorbeeld kantoren, waar een uniform klimaat heerst.

Het verrichte onderzoek was tweeledig van opzet:

Doelstelling a: een inventariserend onderzoek van de markt.

Doelstelling b: beoordeling van de toepassingsmogelijkheden in hotels.

Bij de beoordeling van de toepassingsmogelijkheden in hotels zijn simulaties uitgevoerd met de quickscan warmtepompen.

2. Beschrijving van de techniek

In de gebruikelijke systemen voor klimatisering wordt gebruik gemaakt van de media lucht en/of water voor de distributie van warmte en koude (VAV systemen, inductie systemen). Als alternatief voor de distributie van warmte en koude kan gebruik gemaakt worden van een koudemiddel. Bij een koudemiddel wordt de warmte opgenomen in een (vloeistof - damp) fase overgang. Door de grote warmte opname capaciteit per kg (Tabel 1) heeft dit systeem een laag energiegebruik voor distributie.

Tabel 1 Warmte afvoer capaciteit van verschillende media.

Medium	Afvoer capaciteit (kJ/kg)
Lucht (15 °C / 24 °C) $\times = 9.3$ g/kg	9,2
Water (6 °C / 12 °C)	25,2
Koudemiddel (R407C) bij +10 °C.	170

In de koeltechniek wordt onderscheid gemaakt tussen droge- of natte verdamping. Droge verdamping vindt plaats in het zogenaamde directe expansiesysteem, natte verdamping in het circulatie- of pompsysteem. Bij het droge of directe expansiesysteem bevindt het expansieorgaan (het ventiel) zich direct tussen het deel van de kringloop dat onder hoge druk staat (de condensor) en de inlaat van de verdamper, die onder lage druk werkt.

Het expansieventiel regelt in dit systeem de koudemiddelstroom van de condensor naar de verdamper. De koudemiddelstroom naar de verdamper dient zodanig te zijn dat er geen onverdampt koudemiddel (vloeistof) door de compressor wordt aangezogen. Er bestaat twee basistypen expansie-organen:

- thermistisch expansieventiel
- elektronisch expansieventiel

Op basis van het thermostatisch expansieventiel zijn twee verbeterde expansie-organen ontwikkeld:

- thermostatisch expansieventiel met thermische sturing
- thermostatisch expansieventiel met drukverhogingsunit

VRF systemen maken gebruik van een elektronisch expansieventiel voor een optimale regeling.

2.1.1 Natte verdampingsysteem

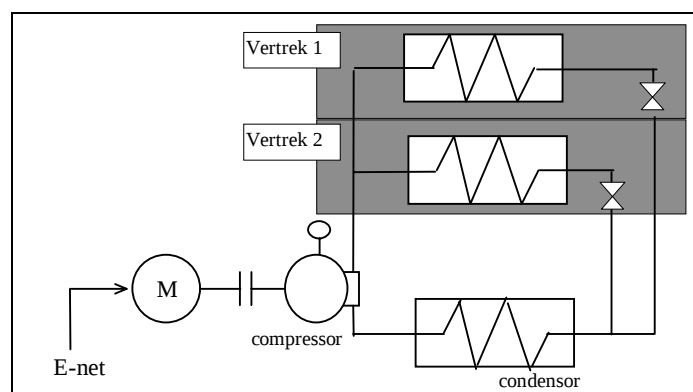
Ter vergelijking wordt hier ingegaan op de werking van het natte verdampingsysteem. Hierbij circuleert het koudemiddel veelal vanuit een lage druk vloeistofvat door één of meerdere verdamperen. Het vloeibare koudemiddel verdampt slechts ten dele in de verdamperen. Het vloeistof/damp mengsel stroomt na verlaten van de verdamper terug in de vloeistofafscheider. Er bevindt zich een

expansie-orgaan tussen het hoge-drukgedeelte van de vloeistofkringloop en het vloeistofvat. De koudemiddelstroom door dit ventiel is niet direct afhankelijk van de hoeveelheid koudemiddel die door de verdamper stroomt.

De vloeistofinspuiting door het expansieorgaan is nodig om een te laag vloeistofniveau in het lage-drukvat aan te vullen. Dit niveau kan worden gemeten met een magneet of een condensator en zodra het niveau te laag is opent het expansieorgaan. Bij een circulatiesysteem is de koudemiddelstroom door de verdamper onafhankelijk van het drukverschil over het smoorventiel. Ten opzichte van directe expansiesystemen kan veelal de condensordruk op een lagere waarde ingesteld worden, wat een gunstig effect heeft op het jaargemiddelde energiegebruik van de installatie.

2.1.2 Directe expansiesysteem

Een DX systeem bij toepassing in de klimatisering van gebouwen is, in zijn meest eenvoudige vorm, een standaard koelmachine waarvan de verdamper (binnen - eenheid) in de te klimatiseren ruimte is geplaatst en de condensor - c.q. de condensing eenheid - buiten is opgesteld ("split" systeem). Veelal zijn meerdere verdamper gekoppeld aan één condensing eenheid ("multi-split" systeem). Een principe schema is afgebeeld in Figuur 1.



Figuur 1 Principe schema van een VRF systeem met meerdere binnen eenheden in de vertrekken ("multi-split")

Een belangrijke variant is de omkeerbare ("reversible") uitvoering. In dit geval kan de binneneenheid ofwel als verdamper (koelfunctie) ofwel als condensor (t.b.v. verwarming) optreden. In de configuratie voor verwarming is in feite sprake van een lucht - lucht warmtepomp.

VRF systemen zijn een bijzondere uitvoering van multi-splitsystemen waarbij de capaciteit van de koudemiddelstroom vrijwel continue wordt geregeld met drie of meer stappen (meerdere compressoren) of door een toerenregeling op de compressor (de zogenaamde "inverter" systemen). De systemen worden geleverd

met warmtepompfunctie die kan koelen of verwarmen en als systemen die tegelijkertijd kunnen koelen en verwarmen. Elk van de binneneenheden of groepen van binneneenheden kunnen dan ofwel koelen ofwel verwarmen, afhankelijk van de lokale behoefte. Zo kan een warmte overschot in één deel van het gebouw naar een ander gedeelte worden getransporteerd, waar een warmtevraag heerst.

VRF systemen in de beschreven variëteiten worden door verschillende firma's op de Nederlandse markt gebracht. Het gaat daarbij om systemen opgebouwd uit standaard modules. De capaciteitsklasse van VRF-systemen start vanaf ongeveer 15 kW.

Ten behoeve van een VRF systeem dienen koudemiddel leidingen aangebracht te worden tussen de buiten eenheid (compressor en condensor) en de verschillende binnen eenheden (expansieventiel en verdamper). Door de toevoerleidingen stroomt bij koeling vloeibaar koudemiddel, door de afvoerleidingen stroomt dan koudemiddel damp. In de aan- en afvoerleidingen heerst een overdruk. Bij een typisch VRF multi split systeem met 16 binnen eenheden wordt gewerkt met leidingmaten van 13 .. 30 mm (damp) en 6 .. 13 mm (vloeistof). Voor een goede werking van het systeem zijn de verticale en horizontale leidinglengte gebonden aan een maximum. Het is noodzakelijk dat alle koudemiddel voerende leidingen bereikbaar zijn, om eventuele koudemiddel lekkages op te kunnen sporen.

Doorgaans wordt geen informatie verstrekt over de temperatuur niveaus die intern in het VRF systeem optreden. Desalniettemin is het niveau van de verdampingstemperatuur van belang voor het gedrag van het VRF systeem m.b.t. ontvochtiging van de te klimatiseren vertrekken; een lagere verdampingstemperatuur geeft een grotere ontvochtiging. Informatie over ontvochtiging wordt wel verstrekt in de vorm van verhoudingsgetallen voor voelbare en latente warmteonttrekking bij verschillende binnen- en buitencondities.

Een VRF systeem stelt geen specifieke eisen aan de lokatie. Als energiebron is elektriciteit benodigd; dit geldt ook voor de reversibele systemen in de warmtepompfunctie. De warmtebron - in de warmtepomp functie - wordt bij op de markt zijnde VRF systemen (single split en multi split) gevormd door buitenlucht.

Voor grotere projecten worden meerdere multi split systemen naast elkaar geplaatst.

Naast het VRF systeem zal doorgaans een ventilatiesysteem nodig zijn voor toevoer van verse lucht. Voor de functie "bevochtiging" (indien die wordt gewenst) is een apart systeem nodig, dat bij voorkeur aansluit op het ventilatiesysteem. Hetzelfde geldt voor de functie "ontvochtiging" - alhoewel een zekere ontvochtiging door het VRF systeem wordt bereikt.

Reversibele VRF systemen verzorgen de functies koeling en verwarming - beiden aangedreven door elektriciteit - hetgeen ten opzichte van conventionele verwarmingssystemen het voordeel heeft dat geen gas - aansluiting benodigd is.

2.1.3 Prestaties en normen

Voor het vastleggen van prestaties van VRF systemen bestonden tot voor kort nog geen normen. Medio 2002 is de draft versie van de norm prEN 14511-1 t/5 gepubliceerd. Deze norm betreft "Air conditioners, liquid packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling". VRF systemen zoals bedoeld in dit rapport zijn opgenomen in de norm onder de volgende definitie:

Modular heat recovery multi-split system

a split system air conditioner or heat pump incorporating a single refrigerant circuit, at least one variable-speed compressor or an alternate compressor combination for varying the capacity of the system by three or more steps, multiple indoor units, each capable of being individually controlled and one or more outdoor units. This system is capable of operating as a heat pump where recovered heat from the indoor units operating in the cooling mode can be transferred to one or more units operating in the heating mode.

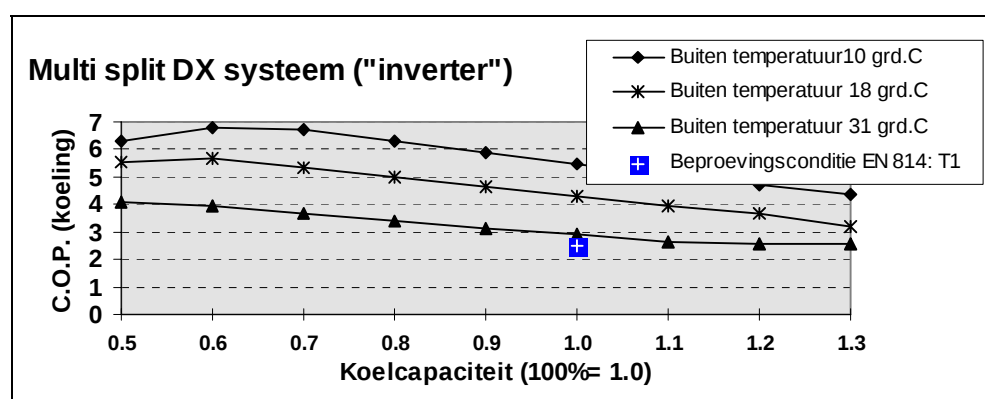
NOTE

This may be achieved by a gas/liquid separator or a third line in the refrigeration circuit

Europees gezien speelt de organisatie van fabrikanten van koeltechnische apparatuur EUROVENT een centrale rol waar het gaat om DX systemen. Jaarlijks wordt door EUROVENT een "Directory of Certified Products" uitgegeven, waarin op een vergelijkbare basis de belangrijkste technische informatie van 95% van alle DX systemen op de Europese markt wordt gegeven. Met het EUROVENT certificatieprogramma wordt de juistheid van de gegevens gecontroleerd. Binnen de organisatie van EUROVENT houdt Werkgroep 6B zich met name bezig met airconditioning. Op dit moment zijn echter nog geen gegevens over VRF systemen beschikbaar.

De gemiddelde C.O.P. en C.O.P.H van de multi split VRF systemen lijken in eerste instantie niet bijzonder hoog in vergelijking tot andere systemen van koude opwekking. Het grote energetische voordeel komt echter naar voren, wanneer men zich realiseert dat bij een VRF systeem geen extra systemen nodig zijn voor transport van "koude" en warmte.

De relatie tussen dimensionering van het opgesteld vermogen en het energieverbruik is voor DX systemen, waaronder VRF systemen, anders dan bij conventionele systemen. De prestaties van multi split DX systemen, zoals hiervoor gegeven bij beproevingsconditie T1 (EN 814 & EN 255) gelden bij vollast. De prestaties van multi split VRF systemen nemen echter toe in het voor klimatisering belangrijke gebied van de deellast (het aantal vollasturen is slechts in de ordegrootte van 5%). Hierdoor is het mogelijk om bij juiste overdimensionering van het opgestelde compressorvermogen, een hoger jaargemiddeld rendement te verkrijgen, door gebruik te maken van de goede deellastwerking.



Figuur 2 Deellast prestaties (C.O.P.) van een multi split VRF “inverter” systeem

In Figuur 2 zijn de deellast prestaties van een multi split DX “inverter” (toerengeregeld) systeem afgebeeld, waarbij ook de prestatie bij vollast is afgebeeld. Duidelijk is dat de prestaties bij deellast ver boven de vollast prestatie uitstijgen, in tegenstelling tot de deellastprestaties van conventionele systemen.

Energiebesparingsmogelijkheden componenten.

VRF systemen worden als compleet pakket geleverd, waarmee de mogelijkheid om componenten uit te wisselen voor energiebesparende alternatieven voor de installateur of gebruiker niet aanwezig is. Voor de fabrikant liggen er nog mogelijkheden tot energiebesparing door het benutten van het thermosyphon effect (zie “thermosyphon systemen”) of korte termijn koude opslag (waarbij het ijs wordt gebruikt voor onderkoeling van het koudemiddel voor expansie). Wel is het, voor de gebruiker, mogelijk om uit het totale aanbod van VRF systemen een energiezuinige keuze te maken.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van buiteneenheden met water of brine als koudebron en koudeput. Eén leverancier levert deze mogelijkheid met als principieel voordeel dat de watertemperatuur bij verwarming meestal hoger is dan de buitentemperatuur en bij koeling lager is dan de buitentemperatuur. Daarnaast maakt

koppeling aan een seizoensopslagsysteem verdere energiebesparing in principe mogelijk. Deze mogelijkheid is toegepast in het Kurhaus in Scheveningen.

VRF systemen bevatten in de regel scroll compressoren. De reden om deze toe te passen is de eigenschap dat de capaciteit bij lage buitentemperaturen beduidend hoger is in vergelijking met een zuigercompressor op basis van gelijkwaardige capaciteit onder normcondities. Een scroll werkt namelijk met een vaste volume verhouding. De volumeopbrengst van zuigercompressoren is meer afhankelijk van de drukverhouding.

In de Nederlandse onderzoekpraktijk op het gebied van klimaatinstallaties komen de VRF systemen veelal niet aan de orde (getuige de omissie van een systeemrendement voor VRF systemen in de EPN). TNO-MEP heeft daarom, voor een fabrikant van dergelijke systemen, de energetische prestaties van VRF multi split inverter systemen beoordeeld, met name in het kader van de waardering van VRF systemen binnen de EPN.

Als gevolg van de afname van het benodigde verwarmingsvermogen en de toename van de comfortwensen is de belangstelling voor de genoemde systemen toegenomen.

3. Vergelijking systeemvarianten

In dit hoofdstuk wordt doelstelling a van het onderzoek uitgewerkt. Het gaat om een inventariserend onderzoek van de markt.

Leveranciers van VRF systemen onderscheiden zich op onder andere de volgende punten:

1. de wijze van vermogensregeling
2. uitvoering van de warmtepompfunctie
3. overkoepelend regelsysteem
4. wijze van oliespoelen
5. aansluiting van binneneenheden met 2 of met 3 pijpen

3.1 Vermogensregeling

Er zijn drie verschillende typen vermogensregelingen [6]:

- invertersystemen
- stappenvermogensregeling
- digitale vermogensregeling

3.1.1 Invertersystemen

Invertersystemen realiseren een variabele koudemiddelstroom met een toerengeregelde compressor. De inverter zet wisselstroom naar gelijkstroom die de gelijkstroommotor voedt van de compressor. In een andere uitvoeringsvorm wordt de gelijkstroom weer omgezet in een wisselstroom om daarmee conventionele motoren aan te drijven. Aangezien elke omzetting van wisselstroom naar gelijkstroom energieverlies betekent, zijn de systemen met gelijkstroommotoren zuiniger dan die met wisselstroommotoren.

Inverters zijn tenslotte relatief duur, kunnen netvervuiling veroorzaken en zijn relatief groot ten opzichte van het koeldeel van de buiteneenheid.

3.1.2 Stappenvermogensregeling

Het vermogen wordt hierbij geregeld door het combineren van verschillende compressoren met een op elkaar afgestemd vermogen, in combinatie met vloeistofonderkoeling. Met twee compressoren kunnen zo drie vermogensstappen worden bereikt. Dit is het minimum aantal stappen volgens de definitie op blz. 5 van een "Modular heat recovery multi-split system" volgens prEN14511-1 t/m 5 lit. [8]. Met drie compressoren ontstaat een 7 traps regeling. Voordeel van het systeem is dat de ingeschakelde compressoren altijd op nominaal vermogen draaien, wat

gunstig is voor de COP van de installatie. Ook zijn er geen invertertechnieken noodzakelijk. Een nadeel is de lagere verdampingstemperatuur als gevolg van de vloeistofonderkoeling.

De onderkoeling wordt gerealiseerd door een extra verdamper met een elektronisch expansieventiel in de vloeistofleiding met koudemiddel. In deze verdamper wordt het vloeistoftemperatuurniveau verder omlaag gebracht. De opgeslagen koude komt in het binnendeel ten goede aan het vermogen. De tijdelijke overcapaciteit wordt daarmee ingezet voor onderkoeling. De besturingseenheid houdt tijdens bedrijf bij wat de verwachte koudevraag is en stuurt op basis hiervan de compressoren en bepaalt op basis hiervan de eventueel wenselijke onderkoeling.

3.1.3 Digitale vermogensregeling

De digitale vermogensregeling kent een stappenregeling door middel van de belastingstijd van de compressor. Binnen een cyclus van b.v. 20 seconden wordt de compressor afhankelijk van het gewenste vermogen periodiek belast. Per vermogensstap van b.v. 5% worden de schroeven van de scrollcompressor belast. De koudemiddeldebietregeling wordt gerealiseerd met deze digitaal geregelde scrollcompressor. Door de helften van de scroll pulserend van elkaar te lichten ontstaat een variabele koudemiddelstroom. Hierdoor is geen inverterregeling of stappenregeling met meerdere compressoren meer nodig en zijn de afmetingen van de machine compact. Het systeem kent een minimale belasting van 10%.

3.2 Warmtepompfunctie

VRF-systemen die gelijktijdig kunnen koelen en verwarmen dienen normaal gesproken te zijn voorzien van een driepijpssysteem. Een afwijkende uitvoering is die met twee pijpen. Dit wordt gedaan met een speciale controller die in staat is om de verhoudingen benodigde vloeistof en gas vast te stellen en dit te communiceren met de buiteneenheid. In de controller wordt de vloeistof en het gas van elkaar gescheiden en aangeboden voor respectievelijk koelen en verwarmen. Het tweepijpssysteem beoogt een reductie in materiaalkosten en montagekosten en een kleinere koudemiddelinhoud.

3.3 Overkoepelend regelsysteem

Bij een VRF systeem hoort een overkoepelende regeling. Deze regelsystemen zijn geschikt voor circa 400 eenheden. Met deze regelsystemen kunnen alle binnen- en buiteneenheden onafhankelijk worden aangestuurd en kunnen centraal de instelling worden geraadpleegd en gewijzigd. Daarnaast kunnen gebruikers lokaal rechten toegewezen krijgen om binnen een bepaalde bandbreedte zelf instellingen te wijzigen.

3.4 Oliespoelingen

Oliespoelingen zijn noodzakelijk om de uit het carter van de buiteneenheid in het koudemiddel opgenomen olie die gecondenseerd is in de leidingen en afgifteapparatuur weer terug te brengen naar de buiteneenheid. Dit wordt gerealiseerd door de installatie op vol vermogen te laten draaien waardoor de oliedeeltjes weer in het koudemiddel worden opgenomen en via de olieafscheider teruggevoerd naar het carter van de buiteneenheid. Afhankelijk van het type en het gebruik moet dit één of meerdere malen per dag gebeuren. Het aantal en de tijdstippen waarop de spoelingen plaatsvinden wordt meestal ingesteld volgens een vast patroon.

Tijdens het spoelen van de installatie is er tijdelijk geen koelvermogen en/of verwarmingsvermogen beschikbaar. Bovendien is voor het spoelen energie nodig die geen bijdrage levert aan het klimaat in het gebouw. Het is daarom wenselijk het aantal spoelingen te beperken. Afhankelijk van het fabrikaat zijn er ook systemen die in staat zijn automatisch het olieniveau in het carter te meten en op basis hiervan automatisch te gaan spoelen. Hiermee kan het aantal spoelingen worden gereduceerd.

4. De waardering van klimaatsystemen met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil

Een algemene vraag is: op welke wijze kunnen klimaatsystemen gewaardeerd worden die warmte uitwisselen binnen de gebouwschil? Het gaat om systemen met lokaal regelbare eenheden die via een warmtetransportsysteem met elkaar verbonden zijn. Op deze manier kan een warmteoverschot in één ruimte benut worden in een andere ruimte. Voorbeelden van dergelijke systemen zijn de systemen met koude- en warmtetransport via koudemiddel, die centraal staan in dit onderzoek.

Achtergrond van de wens tot warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil is dat per ruimte verschillende omstandigheden ertoe kunnen leiden dat in één gebouw zowel een koudevraag als een warmtevraag heerst. Gedacht kan worden aan een serverruimte waar de aanwezige computerapparatuur zoveel warmte afgeeft dat altijd koeling nodig is. Een andere situatie betreft verschillen in bezonning tussen bijvoorbeeld een Oostgevel en een Westgevel of een Noord- en een Zuidgevel. Door de warmte die vrijkomt bij de koeling van een deel van het gebouw in te zetten voor de verwarming van het overige deel, zou energie bespaard kunnen worden. Laagwaardige warmte die afkomstig is vanuit het productieproces kan eveneens hergebruikt worden. In hoeverre deze redenering opgaat wordt systematisch uitgewerkt in dit hoofdstuk.

4.1 Energieprestatienorm NEN 2916

NEN 2916 is de bepalingsmethode voor de energieprestatie van utiliteitsgebouwen en is "de maat der dingen" als het gaat om energiezuinigheid van nieuwe gebouwen en hun installaties. Nieuwe gebouwen moeten een voldoende lage energieprestatiecoëfficiënt hebben, bepaald volgens deze methode. De eisen liggen per gebouw-functie vast in het bouwbesluit. In het voorwoord staat de volgende alinea:

"Omdat uit het oogpunt van bewerkelijkheid geen onderscheid is gemaakt in verschillend georiënteerde zones in een gebouw (tenzij de zones op grond van de daarvoor geldende criteria als aparte energiesectoren moeten worden beschouwd), kunnen bijvoorbeeld verschillen in mate van benutting van zonne-energie of interne warmte per zone niet worden vastgesteld, waardoor ook techniek voor warmte-uitwisseling tussen zones niet worden gewaardeerd."

In hoofdstuk 13 van NEN 2916 wordt de schematisering van het gebouw uitgewerkt. Dit is van belang vanwege de criteria voor aparte energie-sectoren. Het principe conform §13.3.1 van NEN 2916 luidt:

"Maak per verwarmde zone onderscheid tussen (groepen van) ruimten met een verschillend klimatiseringssysteem. Onder de voorwaarden genoemd in §13.3.2 worden energiesectoren nog verder opgedeeld."

De laatste paragraaf biedt alleen aanknopingspunten voor onderverdeling van een verwarmde zone met één klimaatsysteem in afzonderlijke energiesectoren, indien

sprake is van een sportfunctie of van een klinische gezondheidsfunctie, naast een kantoorachtige functie.

Een klimaatstelsel 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 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: men gaat er kennelijk van uit dat de warmte-uitwisseling wel plaatsvindt.

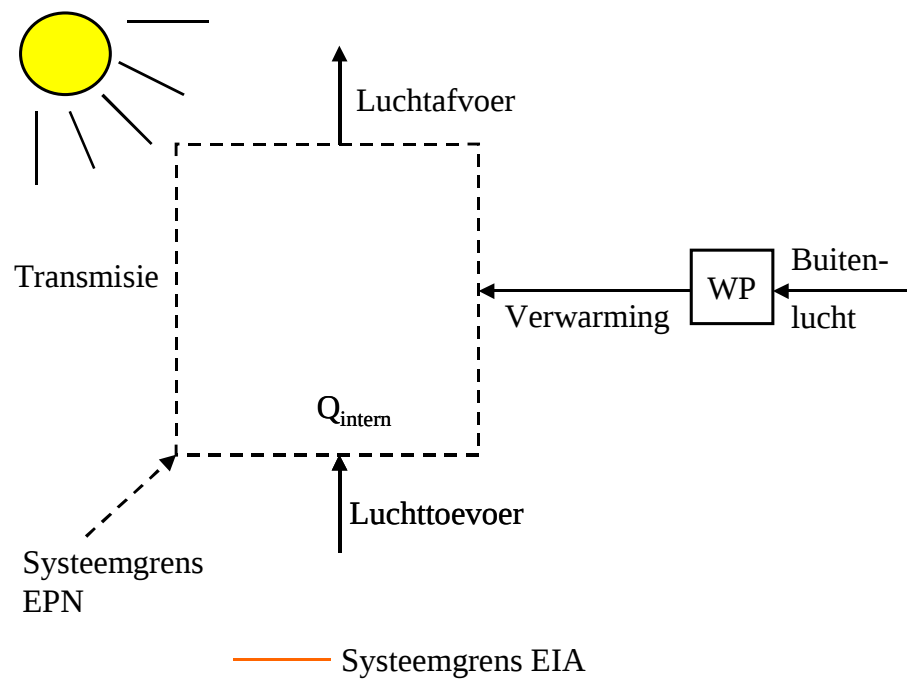
NEN 2916 is geen vaststaand gegeven maar is aan ontwikkelingen onderhevig, gevoed door marktontwikkelingen en nieuwe inzichten van betrokken experts. Bekend is dat de gelijkmatige warmtebelasting van het referentiegebouw in de norm ter discussie staat.

4.2 Energiebalansen klimaatstelsels met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil

In deze paragraaf worden de mogelijkheden voor waardering van warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil, uitgewerkt in energiebalansen met systeemgrenzen. Op basis van de gepresenteerde analyse zal beslist worden welke benadering realistisch is.

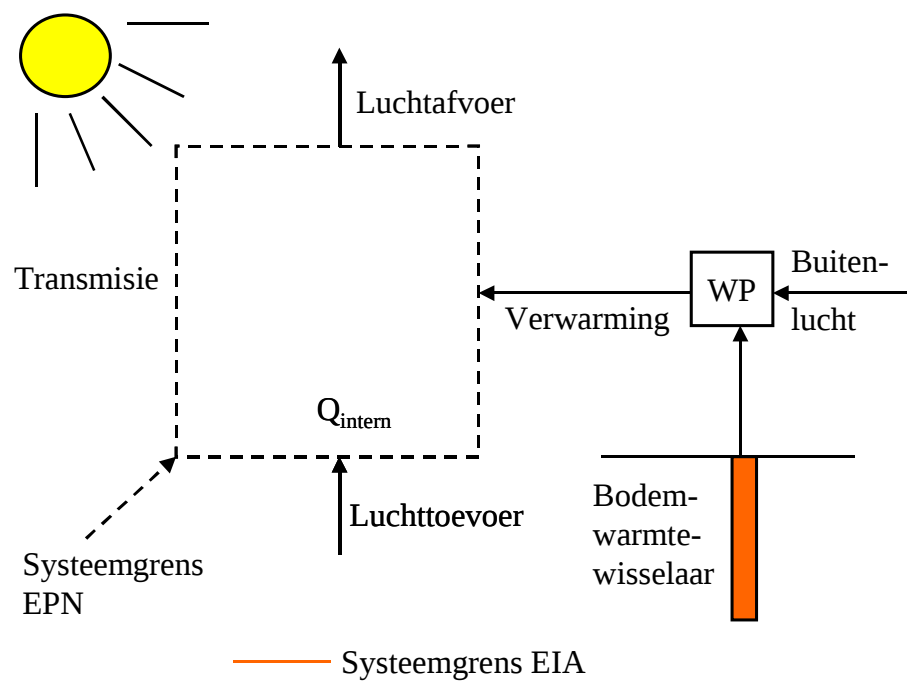
4.2.1 Basis gebouwschil met warmtepomp

In Figuur 3 is een gebouw gedefinieerd met een gebouwschil. Het gebouw heeft een transmissie, ventilatie, zoninstraling, een interne warmtelast en verwarming door een warmtepomp. Deze warmtepomp gebruikt 100% buitenlucht als warmtebron. Dit is een realistische uitvoering, die bijvoorbeeld voor VRF systemen die alleen koelen of verwarmen.

*Figuur 3*

4.2.2 Bodemwarmtewisselaar

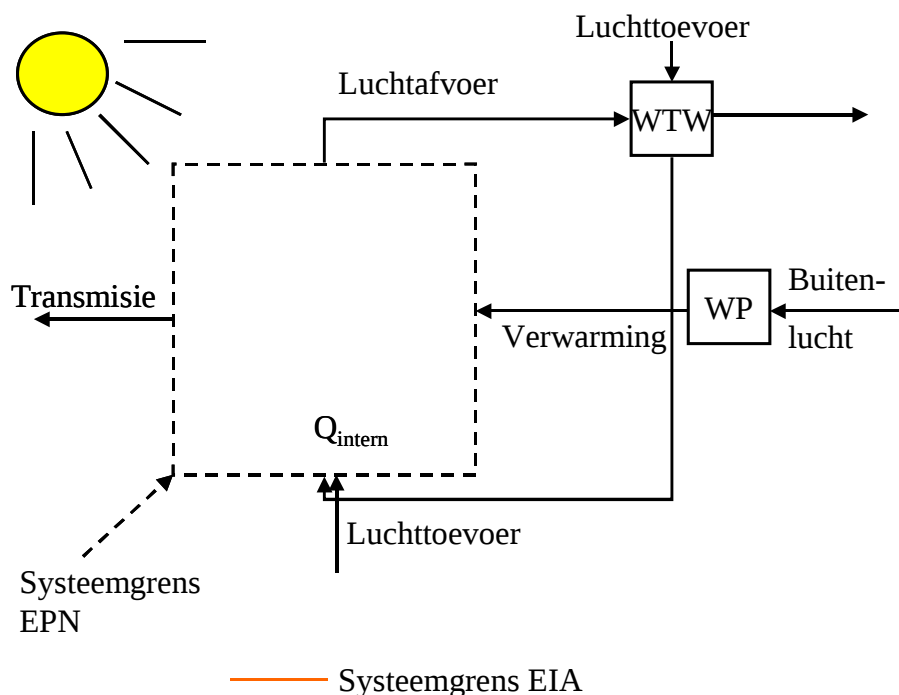
In Figuur 4 is een bodemwarmtewisselaar toegevoegd als voorbeeld van een andere warmtebron. Normaal gesproken zal de bodemwarmtewisselaar de enige warmtebron zijn, eventueel geregenereerd met buitenlucht in de zomer. De uitvoering in figuur 4 is realistisch voor VRF systemen die water als warmtebron gebruiken.



Figuur 4

4.2.3 Hoog-rendement warmteterugwinning

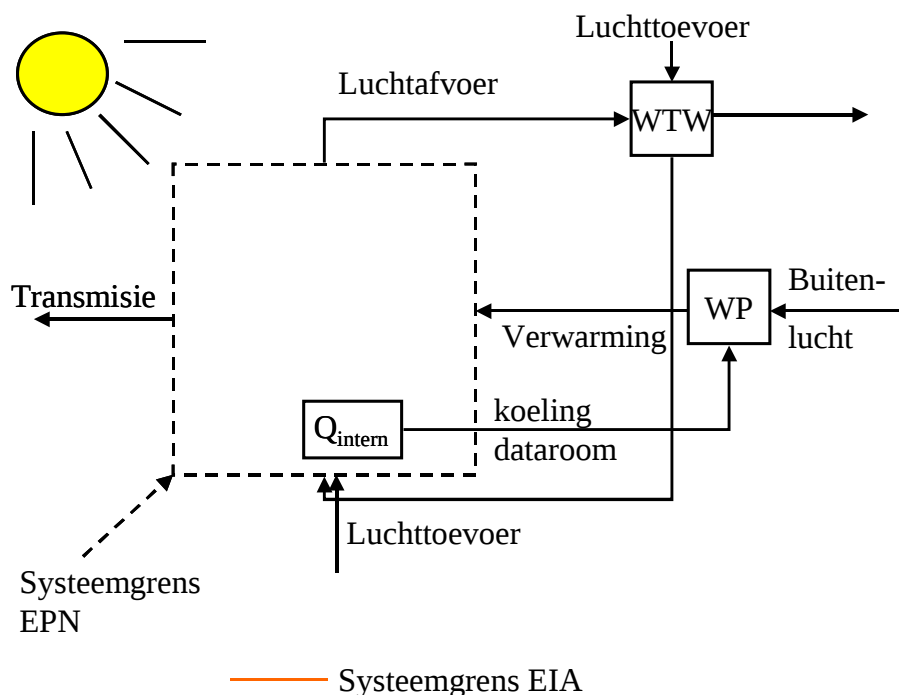
In nieuwbouwsituaties zal men gebruik maken van HR-warmteterugwinning op de ventilatielucht. Dit is weergegeven in Figuur 5. Na warmteterugwinning is het temperatuurverschil tussen afgevoerde lucht en buitenlucht nog slechts 2 tot 3°C.



Figuur 5

4.2.4 Benutting van interne warmtelast

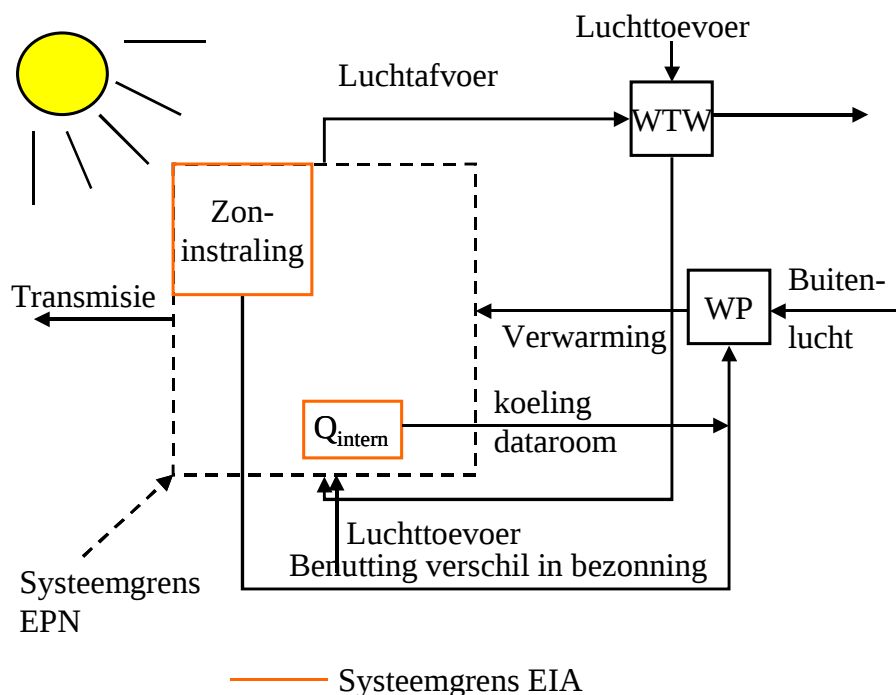
Een andere mogelijkheid is om de interne warmtelast te benutten. De redenering is dan dat bepaalde ruimtes koeling nodig hebben vanwege aanwezige apparatuur en dat deze warmte elders ingezet kan worden. Om dit uit te kunnen voeren is het noodzakelijk dat de te koelen ruimte afgescheiden is van de te verwarmen ruimte, zodat actief transport van warmte nodig is. Dit is weergegeven in Figuur 6. Hoewel de interne warmtebron wordt benut is de inzet van primaire energie wel toegenomen ten opzichte van Figuur 5. Warmte die zich als aanname voorheen vrijelijk verplaatste van de interne warmteproducent naar de delen van het gebouw waar warmte nodig was, wordt nu naar wens verplaatst via de warmtepomp. Een passieve bouwkundige oplossing (geheel open ruimtes) is vervangen door een installatietechnische oplossing. Desondanks kunnen er andere dan installatietechnische redenen zijn om ruimten met een hoge interne warmtelast af te willen scheiden van de rest van het gebouw. Te denken valt aan beveiliging, strikte eisen aan het binnenklimaat vanuit de apparatuur of het productieproces, privacy in hotelkamers, werkruimte in kantoren en afstanden in een gebouw. Figuur 5 geeft een realistisch beeld van de warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil door VRF systemen, bij grote verschillen in interne warmtelast.



Figuur 6

4.2.5 Verschillen in bezonning

Verschillen in bezonning kunnen eveneens aanleiding zijn voor een koudevraag in een deel van het gebouw en een warmtevraag in een ander deel van het gebouw. Hiervoor geldt dezelfde redenering als bij de benutting van de interne warmtelast in figuur 6. Warmte die zich voorheen vrijelijk verplaatste van de in de zon gelegen delen van het gebouw naar delen waar warmte nodig was, wordt nu verplaatst via de warmtepomp. Een passieve bouwkundige oplossing (open ruimtes) is vervangen door een installatietechnische oplossing. Desondanks kunnen er andere dan installatietechnische redenen zijn om ruimten met een sterke zoninstraling af te willen scheiden van de rest van het gebouw. Te denken valt aan beveiliging, indeling van een productieproces, privacy in hotelkamers, werkrust in kantoren en afstanden in een gebouw. Figuur 7 geeft een realistisch systeem weer.



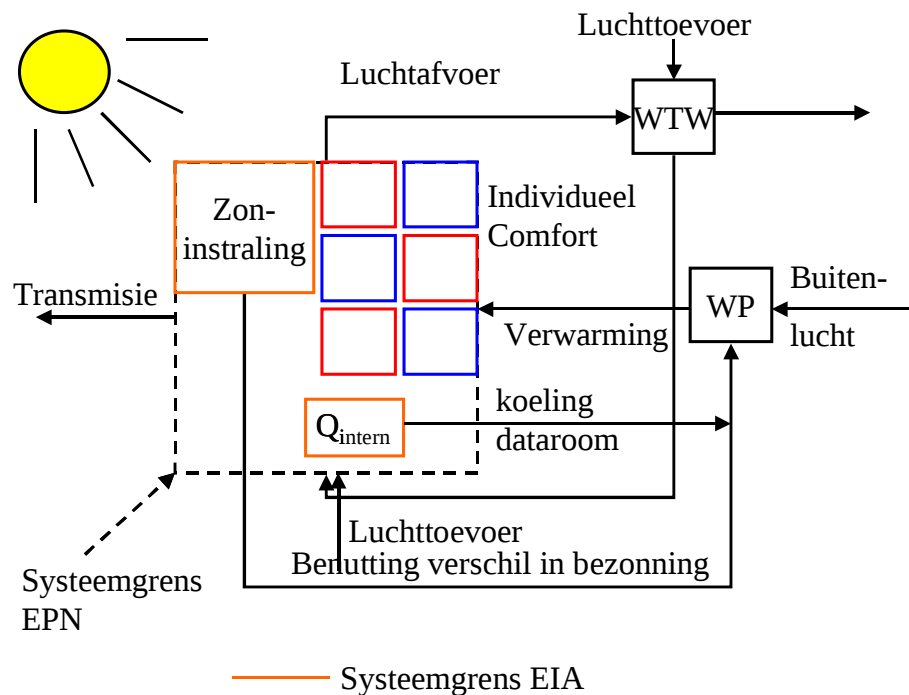
Figuur 7

4.2.6 Comfortwensen

Tot slot kunnen verschillen in comfortwensen aanleiding zijn voor een koudevraag in een deel van het gebouw en een warmtevraag in een ander deel van het gebouw. Dit is weergegeven in Figuur 8. Hiervoor geldt een andere redenering als bij de benutting van de interne warmtelast of verschillen in bezonning. Het VRF systeem werkt hier comfortverhogend door aan de wensen van individuele gebruikers tegemoet te komen. Het energiegebruik kan afgenomen zijn ten opzichte van Figuur 7 omdat individuele regeling in principe leidt tot een hogere systeemrendement. Aan de andere kant valt oneigenlijk gebruik van de comfortmogelijkheden moeilijk te voorkomen. Figuur 8 geeft een realistisch systeem weer. Overigens zal in bestaande hotels de warmteterugwinning op ventilatielucht vaak ontbreken.

Toelichting:

Het systeemrendement is het deel van de opgewekte energie die daadwerkelijk zorgdraagt voor het afdekken van de warmte- en koelbehoefte van het gebouw. Het is een maat voor de energievernietiging, die optreedt door het gelijktijdig verwarmen en koelen in een energiesector en de optredende energieverliezen door warmte- en koeltransport binnen een energiesector [7], [8]. Dit ter onderscheid van het opwekkingsrendement. Het systeem rendement voor verwarming is de verhouding tussen de gebouwbehoefte aan verwarming en de totaal door de klimaatinstallatie geleverde warmte om in deze behoefte te voorzien.



Figuur 8

4.3 Conclusies

In paragraaf 4.1 is gebleken dat NEN 2916 geen aanknopingspunten biedt voor extra waardering van klimaatsystemen met warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil. Gelijktijdig koelen en verwarmen binnen één energiesector, zoals gebeurt bij VRF systemen, wordt beschouwd als energievernietiging. In paragraaf 4.2 is desondanks gebleken dat verschillen in comfortwensen aanleiding kunnen zijn voor een koudevraag in één deel van het gebouw en een warmtevraag in een ander deel van het gebouw. Het VRF systeem werkt hier comfortverhogend door aan de wensen van individuele gebruikers tegemoet te komen. De individuele regeling leidt bovendien in principe tot een hogere systeemrendement.

5. Berekeningen toepassingsmogelijkheden

In dit hoofdstuk wordt doelstelling b uitgewerkt. Het gaat om een beoordeling van de toepassingsmogelijkheden in hotels aan de hand van energiebesparingspotentieel en praktische mogelijkheden.

5.1 Simulaties

Bij de beoordeling van de toepassingsmogelijkheden in hotels zijn simulaties uitgevoerd met de quickscan warmtepompen. Hoewel VRF systemen niet standaard hierin zijn opgenomen is het toch mogelijk gebleken om met goed gekozen instellingen de prestaties van deze systemen te benaderen. De quickscan is ontwikkeld door Ingenieursbureau Knipscheer (IBK) en TNO-MEP en is bedoeld om een eerste indruk te geven omtrent de haalbaarheid van toepassing van een warmtepomp voor de klimatisering van een kantoorgebouw. Voordeel is dat resultaten verkregen kunnen worden, met een relatief beperkt aantal gegevens, hetgeen nodig is vanwege de algemeenheid van dit onderzoek. De benodigde gegevens zijn:

- de hoofdafmetingen van het gebouw en de isolatiewaarden
- de gebruikerseisen ten aanzien van gewenste temperaturen en bezetting en gebruik
- energietarieven
- globale gegevens van de klimaatvoorzieningsinstallatie

Naast een indicatieve terugverdientijd van de meerinvestering resulteren ook data en kengetallen met betrekking tot de energiehuishouding voor de situaties zonder en met warmtepomp.

Er zijn simulaties uitgevoerd voor drie situaties:

1. Gangbaar VRF systeem met warmte-uitwisseling met de buitenlucht
2. VRF systeem met gesloten bodemopslag (bodemwarmtewisselaar)
3. VRF systeem met open bodemopslag

Er is gekozen voor het referentiegebouw uit ISSO research rapport 11.

De resultaten van deze simulaties zijn opgenomen in de bijlagen 1, 2 en 3. Het blijkt dat een gangbaar VRF systeem 40% primaire energie bespaart volgens deze simulatie ten opzichte van conventioneel CV + koelmachine, bij een aangenomen elektriciteit opwekkingsrendement van 55% op onderwaarde (= 42% op bovenwaarde). Het VRF systeem met bodemwarmtewisselaars presteert 1% punt beter dan het gangbare systeem, met 41% energiebesparing. Het VRF systeem met een aquifer als bron ten slotte, bespaart 47% ten opzichte van conventioneel en bespaart 9% ten opzichte van het gangbare VRF systeem.

Verder blijkt uit de simulaties dat het ontwerpvermogen van de buiteneenheid 35% kleiner wordt bij toepassing van een bodemwarmtewisselaar en 45% kleiner bij toepassing van een aquifer. Dit is te verklaren uit de hogere brontemperaturen van de laatste twee uitvoeringsvormen ten opzichte van het standaard systeem. Overigens kunnen deze verschillen in de praktijk iets kleiner zijn omdat het afgiftevermogen van scroll-compressoren minder gevoelig is voor de brontemperatuur dan dat van zuigercompressoren. In de simulaties is gebruik gemaakt van standaardwaarden voor zuigercompressoren.

Bij watergekoppelde VRF systemen kan nog als voordeel worden genoemd dat de broncondities meer constant zijn (vooral voor de aquifer) waardoor de warmtepomp een meer constant werkingsgebied heeft. Dit is voordelig voor het ontwerp, voor het energiegebruik en voor de investeringen in de buiteneenheid zelf.

De berekende belastingduurkromme laat verder zien dat de verwarmingsvraag overheerst ten opzichte van de koelvraag en dat de invloed van het al dan niet gelijktijdig koelen en verwarmen dus gering is.

Het is belangrijk op te merken dat de simulatieresultaten afhankelijk zijn van een groot aantal aannames en niet meer dan richtinggevend zijn. In actuele situaties kunnen andere uitkomsten ontstaan.

5.2 Praktische toepassingsmogelijkheden in hotels

Hotels zijn een bekende markt voor VRF systemen. De praktische mogelijkheden behoeven nauwelijks nog toelichting in de markt, omdat de systemen juist met name ook worden toegepast in hotels. Voordelen zijn de mogelijkheid om achteraf extra comfort te beiden aan de hotelgast met relatief geringe installaties door het gebouw. Dit is vooral van belang in bestaande (historische) hotels. De individuele regelbaarheid, in combinatie met de geïntegreerde regelsystemen maken het mogelijk voor de technische dienst om de hotelgast een grote mate van vrijheid te geven en toch op afstand te kunnen ingrijpen. De mogelijkheid van "buiteneenheden" gekoppeld aan een aquifer is toegepast in het Kurhaus in Scheveningen. De zilte lucht op deze locatie was een belangrijke overweging, naast het visuele aspect en geluid: de units zijn niet meer zichtbaar op of bij het gebouw aanwezig en vormen geen externe geluidsbron.

6. Conclusies

Het blijkt dat een VRF systeem met bodemwarmtewisselaars met 41% energiebesparing ten opzichte van conventioneel, 1% punt beter presteert dan het gangbare systeem. Het VRF systeem met een aquifer als bron, bespaart 47% ten opzichte van conventioneel en bespaart 9% ten opzichte van het gangbare VRF systeem.

De berekende belastingduurkromme laat verder zien dat de verwarmingsvraag overheerst ten opzichte van de koelvraag en dat de invloed van het al dan niet gelijktijdig koelen en verwarmen dus gering is. Uit de analyse van de mogelijke waardering van de warmte-uitwisseling binnen de gebouwschil blijkt eveneens dat hieraan niet al te grote waarde moet worden gehecht.

De praktische toepassingsmogelijkheden blijken uit het feit dat VRF systemen al veelvuldig worden toegepast in hotels.

Aanbevolen wordt watergekoppelde VRF systemen te overwegen uit andere dan energiebesparingsmotieven, hoewel een zekere energiebesparing bij koppeling aan een aquifer verwacht mag worden.

Hoewel cijfers over investeringen zeer afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden, kan wel geconcludeerd worden dat de energiebesparing van een watergekoppeld systeem, niet opweegt tegen de meerinvestering in bodemwarmtewisselaars of een aquifer. Maar als een aquifer beschikbaar is dan is koppeling zeker interessant, ook vanwege het visuele aspect en de kleiner warmtepomp die onder meer constante condities kan werken.

7. Literatuurverwijzingen

- [1] IJsopslag geïntegreerd in klimaatsysteem verhoogt koelcapaciteit
N. Kusumoto
Koude Magazine, oktober 1992, p.10
- [2] Directory of Certified Products, February 1, 1997 - January 31, 1998
EUROVENT Certification Company, Paris (F).
- [3] Afleiding van het systeemrendement voor koeling bij klimaatinstallaties
t.b.v. EN 2916
- Systemen met koeltransport via koudemiddel -S.M. van der Sluis
TNO-MEP rapport R 96/474 (december 1996)
- [4] Praktijk katern: Daikin introduceert
M. Prummel
Koude & Luchtbehandeling, jaargang 90 nr. 3 (maart 1997).
- [5] Energy labelling of residential air conditioners, heat pumps and
dehumidifiers
G.R. King, M. Mondot, J. Nyvad, P. Fahlén, H. Schiphouwer en
S.M. van der Sluis
TNO-MEP rapport R 97/498 (december 1997)
- [6] Grote verscheidenheid aan VRV-systemen beschikbaar, A. Zwinkels,
Verwarming en Ventilatie, april 2002
- [7] Bepalingsmethode systeemrendementen ten behoeve van NEN 2916,
onderbouwing en afleiding van getalswaarden
ISSO Researchrapport 11, 1998
- [8] Energieprestatie van utiliteitsgebouwen - Bepalingsmethode
NEN 2916 (nl), ICS 91.120.10, december 2001
prEN 14511-1 t/5, Air conditioners, liquid packages and heat pumps with
electrically driven compressors for space heating and cooling, (draft).

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Novem
Ing. H.J. Rienks
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. N.R. Bootsvelt
Ir. C.P.J.M. Geelen

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

januari – december 2002

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

Ir. N.R. Bootsvelt
projectleider

Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd

Bijlage 1 Quickscan simulatie VRF systeem

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Gebouw afmetingen van project : Hotel VRF studie

Hoofdafmetingen gebouwschil

☒ Bouwdeel ☒ Bouwdeel ☒ Bouwdeel 4 ☐ Bouwdeel 5

Algemene gegevens

Bouwdeel 1	Bouwdeel 2	Bouwdeel 3	Bouwdeel 4
Lengte gevel [m]	32,8	32,8	32,8
Breedte gevel [m]	7,4	7,4	7,4
Hoogte [m]	22,8	22,8	22,8
Aantal verdiepingen	7	7	7
Netto verdiepingshoogte [m]	2,7	2,7	2,7
Grenzend aan ander bouwdeel: Gevel opp. [m ²]	917	917	917
Grenzend aan ander bouwdeel: Plaat opp. [m ²]	0	0	0
Grenzend aan ander bouwdeel: Dak opp. [m ²]	0	0	0

Totaal vloeroppervlak

Bouwdeel 1	Bouwdeel 2	Bouwdeel 3	Bouwdeel 4
Bruto vloeropp. (bvo) [m ²]	1700	1700	1700
Bruto / netto verhouding [-]	1,59	1,59	1,59
Netto vloeropp. (nvo) [m ²]	1070	1070	1070

Afdrukken Default ☐ handmat: ☐ berekend ☐ fout Bouwlysica Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Bedrijfstijden van project : Hotel VRF studie

Bedrijfstijden

	Star	Einde	Star	Einde	Star	Einde	Star	Einde
--	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------

Dagbedrijf periode 1

Bouwdeel 1	Star	Einde	Bouwdeel 2	Star	Einde	Bouwdeel 3	Star	Einde	Bouwdeel 4	Star	Einde
maandag	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	
dinsdag	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	
woensdag	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	
donderdag	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	
vrijdag	0	9	0	9	0	9	0	9	0	9	
zaterdag	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	
zondag	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	

Kopie Bouwdeel1 Kopie Bouwdeel2 Kopie Bouwdeel3

☒ Extra dagbedrijfperiode

Dagbedrijf periode 2

Bouwdeel 1	Star	Einde	Bouwdeel 2	Star	Einde	Bouwdeel 3	Star	Einde	Bouwdeel 4	Star	Einde
maandag	16	24	16	24	16	24	16	24	16	24	
dinsdag	16	24	16	24	16	24	16	24	16	24	
woensdag	16	24	16	24	16	24	16	24	16	24	
donderdag	16	24	16	24	16	24	16	24	16	24	
vrijdag	16	24	16	24	16	24	16	24	16	24	
zaterdag	17	24	17	24	17	24	17	24	17	24	
zondag	17	24	17	24	17	24	17	24	17	24	

Kopie Bouwdeel1 Kopie Bouwdeel2 Kopie Bouwdeel3

 Afdrukken  Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout  Annuleren  Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Bedrijfswijze van project : Hotel VRF studie

1

Bedrijfswijze Bouwdeel 1

	Dagbedrijf periode 1	gbedrijf periode 2	htbedrijf
Setpoint ruimteverwarming [°C]	22	22	16
-10	Ontwerptemperatuur [°C]		
Setpoint ruimtekoeling [°C]	26	26	26
28	Ontwerp buitenconditie Temperatuur (°C)		
Mechanische afzuiging [vv]	2	2	2
Afzuig temp. koel. [°C]	26	26	26

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Bedrijfswijze van project : Hotel VRF studie

Bedrijfswijze Bouwdeel 2

	bedrijf	Dagbedrijf periode 2	tbedrijf
Setpoint ruimteverwarming			
[°C]	22	22	16
-10	Ontwerptemperatuur [°C]		
Setpoint ruimtekoeling			
[°C]	26	26	26
28	Ontwerp buitenconditie Temperatuur [°C]		
Mechanische afzuiging			
[vv]	2	2	2
Afzuig temp. koel. [°C]	26	26	26

2

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout Annuleren Opslaan

3

Bedrijfswijze Bouwdeel 3

	gbedrijf periode 1	agbedrijf periode 2	tbedrijf
Setpoint ruimteverwarming			
[°C]	18	18	16
-10	Ontwerp temperatuur [°C]		
Setpoint ruimtekoeling			
[°C]	22	22	22
28	Ontwerp buitenconditie Temperatuur [°C]		
Mechanische afzuiging			
[vv]	2	2	2
Afzuig temp. koel. [°C]	22	22	22

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☒ fout Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Bedrijfswijze van project : Hotel VRF studie

Bedrijfswijze Bouwdeel 4

	bedrijf periode	gbedrijf periode 2	tbedrijf
Setpoint ruimteverwarming [°C]	18	18	16
-10	Ontwerptemperatuur [°C]		
Setpoint ruimtekoeling [°C]	22	22	22
28	Ontwerp buitenconditie Temperatuur [°C]		
Mechanische afzuiging [vv]	2	2	2
Afzuig temp. koel. [°C]	22	22	22

4

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Interne warmteproductie van project : Hotel VRF studie

Interne warmteproductie Bouwdeel 1

	gbedrijf periode 1	gbedrijf periode 2	htbedrijf
Personen (80 W p.p.)			
[aantal]	110	22	1
gelijktijdig [%]	60	40	10
Verlichting			
Kantoorruimten (w/m²) [W/m²]	4	17	4
gelijktijdig [%]	60	40	10
		(X 22 / 110)	(X 1 / 110)
Verkeersruimten (w/m²) [W/m²]	5	5	5
gelijktijdig [%]	100	100	100
Apparatuur			
Kantoorruimten (w/m²) [W/m²]	2	10	2
gelijktijdig [%]	60	40	10
		(X 22 / 110)	(X 1 / 110)
Verkeersruimten (w/m²) [W/m²]	0	0	0
gelijktijdig [%]	100	100	100

Bouwdeel 2

Bouwdeel 3

Bouwdeel 4

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Installatie van project : Hotel VRF studie

Installatie

Verwarmen

WP-bedrijfscondities verwarmen

WP - vermogen - condensor	356
Bij afgiftetemp. warmte	35
Brontemp. [°C]	Stooklij
COP - verwarming	4,4

CV-ketel

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	350	0
Rendement (o.w) [%]	90	

Koelen

WP-bedrijfscondities koelen

WP - vermogen - verdamper	993
Bij koelwatertemp. uit	Stooklij
Bij afgiftetemp. koude	14
COP - koeling	10,4

Koelmachine

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	80	0
Bij koelluchttemp. uit	45	
Bij afgiftetemp. koude	10	
COP - koeling	4	

WP-leverancier specificaties

WP - vermogen - condensor [kW]	491	☐ Hold
Bij afgiftetemp. [°C]	50	
Brontemp. [°C]	0	
COP - verwarming	4,1	

Overige gegevens

Schakelbuffer cv-zijde	☐
Schakelbuffer gkw-zijde	☐
Opwekrendement Elek-centrale (o.w) [%]	55

Getallen of tekst vet ? => extra informatie

☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout

Afdrukken Default Annuleren Opslaan

 Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Resultaten van projekt :Hotel VRF studie

Resultaten

Project naam	Hotel VRF studie		Quick-Scan uitgevoerd door	Collin Bootsveld
Lokatie			Datum Berekening	20-12-02
			Kenmerk	

Relevant vloeroppervlak gebouw [m2] 6800

Energiebehoefte

	Max. vermogen [kW]	Verbruik [MWh]	Eq. vollasturen [h/a]
Verw (ontwerp, excl. warmtepomp)	322		
Verwarming (reëel)	314	694	2210
Koeling (reëel)	70	29	410
Elektra (incl. koelmachine)	100	493	5060

Warmtepomp

	Vermogen [kW]	Productie [MWh]	Eq. vollasturen [h/a]	Dekking door WP
Verwarmen (-10/35)	350	694	1980	100 %
Koelen (20/28)	977	29	30	100 %

Energieverbruik

	zonder WP	met WP
Gas [m3]	88000	0
Elektra Max. vermogen [kW]	100	170
MWh - plateau	245	298
MWh - dal	248	330

 Afdrukken

 Kengetallen

 Jaarbelasting

 Financieel

 Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Financiële resultaten van project : Hotel VRF studie

Financiële resultaten

Alle bedragen zijn excl. BTW

	Zonder WP	Met WP
Investering [k€]		
CV - ketels	19	0
Koelmachine (packaged unit)	13	0
Warmtepomp (incl. akoestiek en regeltechniek)		74
bron / opslag - systeem (indicatief)		190
mogelijke subsidie (indicatief)		42
Totaal	32	222
Exploitatie [k€/jaar]		
Energiekosten	55,8	41,2
Onderhoudskosten	0,6	5,3
Totaal	56,4	46,5
Meerinvestering [k.]		
Exploitatievoordeel [k./jaar]	10	
Eenvoudige terugverdientijd [jaar]	19,1	
Gemiddelde kWh prijs WP verbruik [ct/kWh]	0,6	

Afdrukken

Energiekosten

Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Kengetallen van projekt : Hotel VRF studie

Kengetallen

Totaal primair energieverbruik
(incl. alle elektra)

	zonder WP	met WP
absoluut [m3 aeq]	190000	139000
specifiek [MJ/m2]	884	647

(bij een E-centralerendement van 55% (o.w.))

Besparing primaire energie

t.o.v. verbruik voor verwarmen en koelen	40 %
t.o.v. totaalverbruik	27 %
Bespaarde m3 aeq per geïnvesteerde EURO	0,3

Gebouw

Ontwerptransmissie	15	W/m2-bvo
Aandeel glas + kozijn in gevel	35 %	(ca. 1280 m2)
Gemiddelde Rc-waarde schil	1,2	m2.K/W

Interne warmteproductie [W/m2]

	Dagbedrijf	Dagbedrijf	Nachtbedrijf	
Kantoren	14	17	3	(4280 m2)
Verkeersruimten	5	5	5	(2520 m2)

Afdrukken

Sluiten

Bijlage 2 Quickscan simulatie VRF systeem met bodemwarmtewisselaar

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Installatie van project : Hotel VRF studie 2

Installatie

Verwarmen

WP-bedrijfscondities verwarmen

WP - vermogen - condensor (kW)	357
Bij afgiftetemp. warmte (°C)	35
Brontemp. [°C]	Stooklij
COP - verwarming	4,2

CV - ketel

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	350	0
Rendement (o.w) [%]	90	

Koelen

WP-bedrijfscondities koelen

WP - vermogen - verdamper (kW)	689
Bij koelwatertemp. uit (°C)	Stooklij
Bij afgiftetemp. koude (°C)	14
COP - koeling	7,4

Koelmachine

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	80	0
Bij koelluchttemp. uittoeg (°C)	45	
Bij afgiftetemp. koude (°C)	10	
COP - koeling	3,5	

WP-leverancier specificaties

WP - vermogen - condensor (kW)	320	☐ Hold
Bij afgiftetemp. [°C]	50	
Brontemp. [°C]	-5	
COP - verwarming	2,9	

Overige gegevens

Schakelbuffer cv-zijde (kW)	☐
Schakelbuffer gkw-zijde (kW)	☐
Opwekrendement Elek-centrale (o.w) [%]	55

Getallen of tekst vet ? => extra informatie

Afdrukken Default ☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Resultaten van project :Hotel VRF studie 2

Resultaten

Project naam	Hotel VRF studie 2	Quick-Scan uitgevoerd door	Collin Bootsveld
Lokatie		Datum Berekening	20-12-02
		Kenmerk	

Relevant vloeroppervlak gebouw [m2] 6800

Energiebehoefte

	Max. vermogen [kW]	Verbruik [MWh/a]	Eq. vollasturen [h/a]
Verw (ontwerp, excl. warmtepomp)	322		
Verwarming (reëel)	314	694	2210
Koeling (reëel)	70	29	410
Elektra (incl. koelmachine)	100	493	5060

Warmtepomp

		Vermogen [kW]	Productie [MWh/a]	q. vollasturen [h/a]	Dekking door WP
Verwarmen	(-2/35)	357	694	1940	100 %
Koelen	(20/29)	689	29	40	100 %

Energieverbruik

		zonder WP	met WP
Gas	[m3]	88000	0
Elektra	Max. vermogen [kW]	100	170
	MWh - plateau	245	316
	MWh - dal	248	350

Afdrukken

Kengetallen

Jaarbelasting

Financieel

Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Financiële resultaten van project : Hotel VRF studie 2

Financiële resultaten

Alle bedragen zijn excl. BTW

	Zonder WP	Met WP
Investing [k€]		
CV - ketels	19	0
Koelmachine (packaged unit)	15	0
Warmtepomp (incl. akoestiek en regeltechniek)		75
bron / opslag - systeem (indicatief)		190
mogelijke subsidie (indicatief)		42
Totaal	34	223
Exploitatie [k€/jaar]		
Energiekosten	55,8	43,3
Onderhoudskosten	0,7	5,3
Totaal	56,5	48,6
Meerinvestering [k.]		
Meerinvestering [k.]	189	
Exploitatievoordeel [k./jaar]	8	
Eenvoudige terugverdientijd [jaar]	23,9	
Gemiddelde kWh prijs WP verbruik [ct/kWh]	0,9	

 Afdrukken

 Energiekosten

 Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Kengetallen van project : Hotel VRF studie

Kengetallen

Totaal primair energieverbruik
(incl. alle elektra)

	zonder WP	met WP
absoluut [m3 aeq]	190000	138000
specifiek [MJ/m2]	884	642

(bij een E-centralerendement van 55% (o.w.))

Besparing primaire energie

t.o.v. verbruik voor verwarmen en koelen	41 %
t.o.v. totaalverbruik	27 %
Bespaarde m3 aeq per geïnvesteerde EURO	0,28

Gebouw

Ontwerptransmissie	15	W/m2-bvo
Aandeel glas + kozijn in gevel	35 %	(ca. 1280 m2)
Gemiddelde Rc-waarde schil	1,2	m2.K/W

Interne warmteproductie [W/m2]

	Dagbedrijf	Dagbedrijf	Nachtbedrijf	
Kantoren	14	17	3	(4280 m2)
Verkeersruimten	5	5	5	(2520 m2)

Afdrukken

Sluiten

Bijlage 3 Quickscan simulatie VRF systeem met aquifer

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Installatie van project : Hotel VRF studie 3 /

Installatie

Verwarmen

WP-bedrijfscondities verwarmen

WP - vermogen - condensor	483
Bij afgiftetemp. warmte	35
Brontemp. [°C]	Stooklij
COP - verwarming	5,9

CV-ketel

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	470	0
Rendement (o.w) [%]	90	

Koelen

WP-bedrijfscondities koelen

WP - vermogen - verdamper	607
Bij koelwatertemp. uit	Stooklij
Bij afgiftetemp. koude	14
COP - koeling	8,3

Koelmachine

	zonder WP	met WP
Vermogen [kW]	120	0
Bij koelluchttemp. uit	45	
Bij afgiftetemp. koude	10	
COP - koeling	3,5	

WP-leverancier specificaties

WP - vermogen - condensor [kW]	270	☐ Hold
Bij afgiftetemp. [°C]	50	
Brontemp. [°C]	-5	
COP - verwarming	2,9	

Overige gegevens

Schakelbuffer cv-zijde	☐
Schakelbuffer gkw-zijde	☐
Opwekrendement Elek-centrale	55

Getallen of tekst vet ? => extra informatie

☐ handmatig ☐ berekend ☐ fout

Afdrukken Default Annuleren Opslaan

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Resultaten van project :Hotel VRF studie 3 / aquifer

Resultaten

Project naam	Hotel VRF studie 3	Quick-Scan uitgevoerd door	Collin Bootsveld
Lokatie		Datum Berekening	20-12-02
		Kenmerk	aquifer

Relevant vloeroppervlak gebouw [m2] 6800

Energiebehoefte

	Max. vermogen [kW]	Verbruik [MWh/a]	Eq. vollasturen [h/a]
Verw (ontwerp, excl omvormer)	486		
Verwarming (reëel)	422	682	1620
Koeling (reëel)	105	35	340
Elektra (incl. boelmachine)	80	481	5790

Warmtepomp

	Vermogen [kW]	Productie [MWh/a]	q. vollasturen [h/a]	Dekking door WP
Verwarmen (11/35)	572	682	1190	100 %
Koelen (20/25)	720	35	50	100 %

Energieverbruik

	zonder WP	met WP
Gas [m3]	86000	0
Elektra Max. vermogen [kW]	90	140
MWh - plateau	237	292
MWh - dal	243	330

Afdrukken

Kengetallen

Jaarbelasting

Financieel

Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Financiële resultaten van project : Hotel VRF studie 3

Financiële resultaten

Alle bedragen zijn excl. BTW

	Zonder WP	Met WP
Investering [k€]		
CV - ketels	24	0
Koelmachine (packaged unit)	21	0
Warmtepomp (incl. akoestiek en regeltechniek)		106
bron / opslag - systeem (indicatief)		330
mogelijke subsidie (indicatief)		70
Totaal	45	366

Exploitatie [k€/jaar]		
Energiekosten	52,9	38,1
Onderhoudskosten	0,9	8,7
Totaal	53,8	46,8

Meerinvestering [k.]	321	
Exploitatievoordeel [k./jaar]	7	
Eenvoudige terugverdientijd [jaar]	45,8	
Gemiddelde kwh prijs WP verbruik [ct/kWh]	0,5	

 Afdrukken

 Energiekosten

 Sluiten

Quick-Scan Warmtepomp, versie 2.1; Kengetallen van project : Hotel VRF studie

Kengetallen

Totaal primair energieverbruik (incl. alle elektra)	zonder WP	met WP
absoluut [m3 aeq]	186000	128000
specifiek [MJ/m2]	866	596

(bij een E-centralerendement van 55% (o.w.))

Besparing primaire energie

t.o.v. verbruik voor verwarmen en koelen	47 %
t.o.v. totaalverbruik	31 %
Bespaarde m3 aeq per geïnvesteerde EURO	0,18

Gebouw

Ontwerptransmissie	15	W/m2-bvo
Aandeel glas + kozijn in gevel	35 %	(ca. 1280 m2)
Gemiddelde Rc-waarde schil	1,2	m2.K/W

	Dagbedrijf	Dagbedrijf	Nachtbedrijf
Interne warmteproductie [W/m2]			
Kantoren	14	13	4 (4280 m2)
Verkeersruimten	5	5	5 (2520 m2)

Afdrukken

Sluiten