

Rendementsaspecten bij warmtepompsystemen

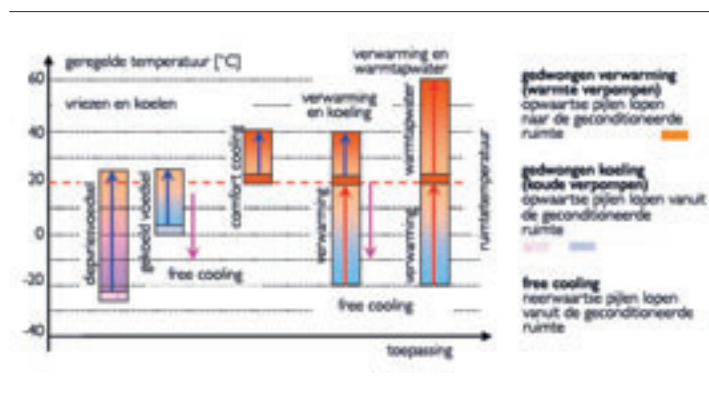
P. Fahlén

Warmtepompen leveren vaak goede oplossingen voor invries-, koel- en verwarmingsprocessen, en voor het verschaffen van warmtapwater. Hoewel er nog veel valt te verbeteren aan de rendementen van warmtepompen, kunnen in veel gevallen aanzienlijk grotere besparingen worden behaald door het verbeteren van het ontwerp van de systemen en de systeemcomponenten die door de warmtepomp worden bediend.

De toepassingen van warmtepompen variëren van systemen met weinig alternatieven, zoals invriessystemen op lage temperatuur, tot systemen met veel competitieve alternatieven, zoals warmtepompen voor alleen verwarmingsdoeleinden. De specifieke omstandigheden van de toepassingen zijn van invloed op de mate waarin gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke bronnen (het medium waaraan de 'vrije' warmte bij het verwarmingsbedrijf wordt onttrokken) en sinks (het medium waaraan de overtollige warmte bij het koelbedrijf wordt toegevoerd) in de omgeving. De specifieke toepassing beïnvloedt ook de bezettingsgraad (relatieve bedrijfstijd) van de warmtepomp en daarmee ook de daaraan gerelateerde verliezen, zoals nullastenergie, parasitaire warmtestromen en dergelijke.

RENDEMENTSASPECTEN

Het theoretische energiegebruik van een warmtepompsysteem hangt primair af van de toepassing en van het systeemontwerp. De toepassing bepaalt de vereiste temperatuur van een te conditioneren ruimte en de locatie verschaft de betreffende omgevingscondities. In veel gevallen zijn er uitgebreide mogelijkheden om het warmtetransport van de warmtepomp (figuur 1, opgaande pijlen) aan te vullen met warmtestromen die ontstaan door positieve temperatuurverschillen (figuur 1, neergaande pijlen).



Figuur 1. Temperatuurbereiken van typische warmtepomptoepassingen.

Voor een specifieke toepassing is er een aantal mogelijkheden om de zogenaamde SPF (Seasonal Performance Factor) te verbeteren door optimaal gebruik te maken van beschikbare energie en aandrijfvermogens. Enkele voorbeelden:

- het verminderen van het energiegebruik door aanpassing van de energiebelasting en -opslag;
- het verminderen van de energiekosten door gebruikmaking van natuurlijke bronnen en sinks;
- het reduceren van de aandrijfenergie voor: het pompen van warmte (door vermindering van de temperatuurlift), voor de warmteoverdracht (door gebruikmaking van de juiste warmtewisselaars en van geoptimaliseerde flowregelingen), voor het warmtetransport (door een optimaal systeemontwerp en een geoptimaliseerde flowregeling);
- de juiste keuze van uitblaaskasten en van geoptimaliseerde flow- en temperatuurregelingen.

UITGANGSPUNTEN

In de discussie over een efficiënter energiegebruik, is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de begrippen energievraag en energiegebruik. Het energiegebruik overschrijdt normaliter de werkelijke vraag aanzienlijk. De werkelijke vraag wordt bepaald door de kwaliteitseisen van de geconditioneerde ruimte, het gebruikersgedrag, de thermische belastingen, het ontwerp van de verwarming, ventilatie en airconditioning en energietoevoersystemen. Discussies over (en het vergelijken van) energiegebruik en energierendement hebben echter weinig betekenis, tenzij eerst de voor die discussies maatgevende systeemgrenzen arbitrair zijn bepaald.

KENGETALLEN

Kengetallen die worden gebruikt voor het uitdrukken van energierendementen van systemen variëren afhankelijk van het doel en de toepassing. Dit kan verwarrend zijn, zeker bij systemen die een belangrijke hoeveelheid 'onbetaalde' energie nuttig gebruiken, zoals warmtepomp- en zonne-energiesystemen. Een gebruikelijke eenheid voor het uitdrukken van energiegebruik is kWh/m²/jaar.



Het minimale gebruik van warmte en elektriciteit wordt bepaald door de vraagspecificatie van de gebruiker. De werkelijke systemen zullen echter altijd meer gebruiken, waarbij er afhankelijk van de mate waarin er 'vrije' energie wordt gebruikt, grote verschillen zullen zijn in de cijfers voor de energietoevoer. Normaliter behelzen bouwstatistieken alleen de aangekochte (dus betaalde) energie.

GEbruIK, NETTO GEbruIK EN BRUTO TOEVOER IN RELATIE TOT DE BELASTINGSFACTOR

Bij het zoeken naar verbeteringen van verwarmings- en koelsystemen die door warmtepompen worden bediend, moet rekening worden gehouden met de huidige ontwikkelingen in de thermische kwaliteit van gebouwomhullingen, het gebruik van warmteopslag om overschotten en tekorten over de tijd uit te middelen, en het gebruik van 'intelligente' gebouwbeheersystemen (bijvoorbeeld met voorwaartskoppelingen, control on demand (COD)), om de verhouding tussen de warmtetoever en de warmtevraag te verkleinen.

Dergelijke ontwikkelingen (vooral COD) zullen het energiegebruik veel sterker verminderen dan de ontwerpcapaciteit. Hierdoor zal de warmtebelastingfactor (L_Q) van het luchtbehandelingsysteem in belangrijke mate afnemen en zal de warmtevraagfactor (D_Q) toenemen. Dit is direct af te leiden uit de volgende vergelijking:

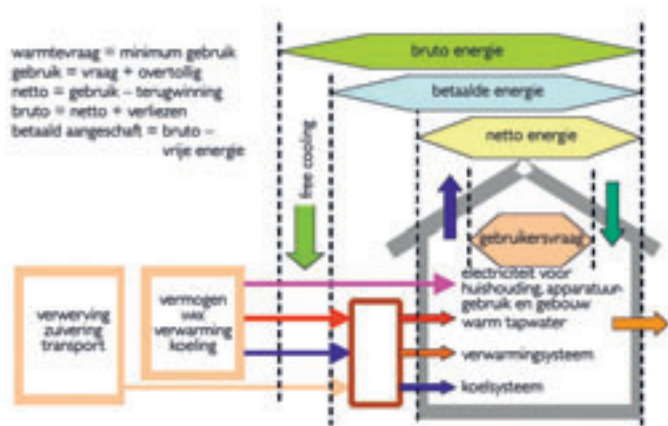
$$L_Q = \frac{Q_0}{t_{\text{year}} \cdot Q_{\text{nom}}} \text{ and } D_Q = \frac{Q_{\text{net}}}{Q_0}$$

Hierin staat Q_0 voor warmtevraag (minimum netto gebruik), Q_{nom} voor nominale warmtecapaciteit en t_{year} voor 8760 uur. Toevoeging van de indices 'h' of 'c' aan de subscripts in de vergelijkingen, geeft verwarmen of koelen aan.

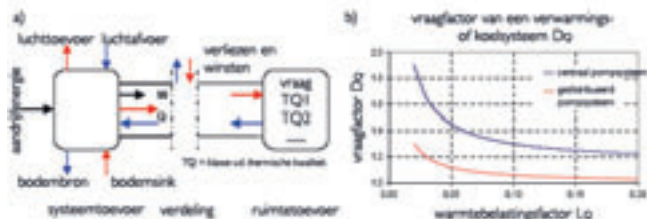
De warmtevraagfactor kan ook worden gedefinieerd als de verhouding D_w , tussen de aandrijfenergie W_{netto} en het minimum netto gebruik W_0 .

Uit ervaring blijkt dat het moeilijk is om de vraag en het aanbod in systemen exact af te stemmen bij een lage warmtebelastingfactor. Wanneer een groot deel van de energiebalans wordt bepaald door ongeregelde warmtestromen (interne belastingen, in de gebouwstructuur opgeslagen warmte en dergelijke) komt het dikwijls voor dat de geconditioneerde ruimte meer wordt verwarmd of gekoeld dan vanuit de vraag nodig is.

Met een voorbeeld (figuur 3) is aan te tonen hoe de warmtevraagfactor D_Q toeneemt bij het verlagen van de belastingfactor L_Q (weergegeven door $D_Q = k_1 + k_2 / L_Q$, waarin k_1 en k_2



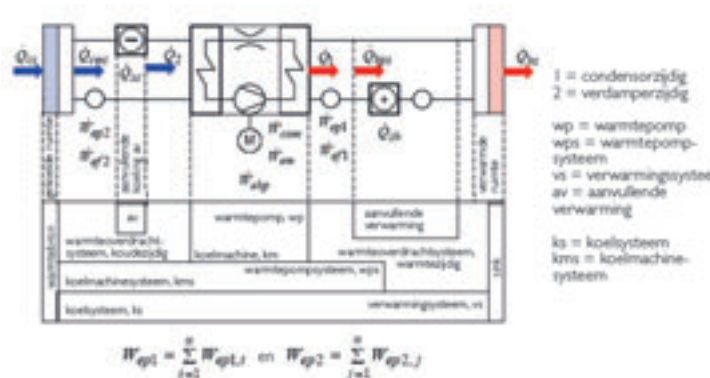
Figuur 2. Arbitraire systeemgrenzen die voor de voornaamste rendementswaarden worden gebruikt.



Figuur 3a. Systeemtoevoer, verdeling en ruimtetoever van een algemeen warmtepomp-systeem.

Figuur 3b. Warmtevraagfactor van een verwarmings- of koelsysteem als functie van de warmtebelastingfactor.

constanten zijn). Het toont ook aan dat het gebruik van meerdere pompen een betere afstemming op de vraag geeft dan bijvoorbeeld het gebruik van één enkele centrale eenheid. Het totale energiegebruik kan worden beperkt door vraagvermindering of door rendementsverbetering. De vraag kan worden verminderd door het verlagen van de verwarmings- en koelbelastingen of door het aanpassen van de specificaties voor de condities van de binnenomgeving. Belangrijke factoren die van invloed zijn op het systeemrendement, zijn de toevoer aan het systeem, de verdeling en de toevoeren naar de ruimten (figuur 3).



Figuur 4. Warmtepompsysteemgrenzen: alternatieve definities van de COP.

SYSTEEMGRENZEN

De belangrijkste kengetallen van warmtepompsystemen zijn de COP en de SPF. Beide zijn maatgevend voor de geleverde verwarmings- of koelenergie van het systeem in relatie tot de opgenomen energie. De SPF is normaliter de geïntegreerde waarde van de momentane COP, gemeten over één jaar (zie vergelijking 2 hieronder). Aangezien de systeemgrenzen van een gebouw arbitrair zijn, zullen er verschillende COP's en SPF's kunnen worden berekend, afhankelijk van de gekozen systeemgrens van het warmtepompsysteem.

Met de aangegeven systeemgrenzen (figuur 3) ontstaat in het geval van een verwarmingstoepassing:

$$\text{COP}_{hp} = \frac{\dot{Q}_1}{W_{e, hp}} \text{ and } \text{SPF}_{hp} = \left[\frac{\dot{Q}_1}{W_{e, hp}} \right]_{\text{aantal}} \quad (2)$$

$$\text{COP}_{hp} = \frac{\dot{Q}_1 + W_{e, pt}}{W_{e, hp} + W_{e, pt} + W_{e, av}} \text{ and } \text{SPF}_{hp} = \left[\frac{\dot{Q}_1 + W_{e, pt}}{W_{e, hp} + W_{e, pt} + W_{e, av}} \right]_{\text{aantal}} \quad (3)$$

$$\text{COP}_{ks} = \frac{\dot{Q}_2 + W_{e, pt} + \eta_{av} \cdot \dot{Q}_{av}}{W_{e, hp} + W_{e, pt} + W_{e, av} + \dot{Q}_{av}} \text{ and } \text{SPF}_{ks} = \left[\frac{\dot{Q}_2 + W_{e, pt} + \eta_{av} \cdot \dot{Q}_{av}}{W_{e, hp} + W_{e, pt} + W_{e, av} + \dot{Q}_{av}} \right]_{\text{aantal}} \quad (4)$$

De overeenkomstige definities voor koeltoepassingen kunnen worden verkregen door het wijzigen van de subscripts 'h' in de vergelijkingen in 'c'. In het geval van verwarmen draagt de toegevoerde elektrische energie bij aan de verwarmingscapaciteit. Echter, in het geval van koelen vermindert deze de koelcapaciteit.

Uit de definities van SPF_{hp} en SPF_{hps} blijkt dat de relatieve invloed van de parasitaire aandrijfenergie snel toeneemt als een verbetering in het warmtepompproces de elektrische energie W_{ehp} ($= W_{em} + W_{besturingen}$) vermindert. In de verge-

lijkingen 2 tot en met 4 is W_{ep1} de som van alle parasitaire aandrijfenergieën naar de pompen en ventilatoren aan de condensorzijde; idem W_{ep2} aan de verdamperszijde. Zonder specificatie van de systeemgrenzen kunnen de vergelijkingen van de COP erg misleidend zijn (figuur 9a, waar op $+10^\circ\text{C}$ $\text{COP}_{hp} = 3.7$ en $\text{COP}_{hps} = 2.5$!).

SYSTEEMONTWERP

Het zal duidelijk zijn dat, alvorens te beginnen aan een discussie over het systeemontwerp en de bedrijfsvoering, eerst de eisen voor de thermische kwaliteit (TQ) van de geconditioneerde ruimte moeten zijn bepaald. Dit legt de prestatie-eisen vast van de technische systemen in termen van temperatuurniveaus, regelfwijkingen en thermische capaciteiten. De ontwerper heeft vervolgens alleen het vereiste (te betalen) aandrijfvermogen van de warmtepomp te minimaliseren door het verminderen van de vraagfactoren (bijvoorbeeld door inzet van COD), door het maximaliseren van het gebruik van 'vrije' energie (bijvoorbeeld het minimaliseren van W_e), door de wijze van opslag en door het gebruik van natuurlijke bronnen en sinks, en door het minimaliseren van de aandrijfvermogens voor warmteoverdracht en -distributie.

AANPASSING VAN DE BELASTING

De warmtebalans van moderne woon- en kantoorgebouwen is in hoge mate afhankelijk van de verwijdering van interne warmtebelastingen via ventilatie. Bij de toepassing van warmteterugwinning is heel weinig warmtesuppletie nodig en zal ook de maximum capaciteit voor het koelen worden vermindert (figuur 5a). Centrale warmtetoevoerunits kunnen een gebouw slechts als een geheel behandelen, terwijl het werkelijke gebruik normaliter op ruimteniveau wordt gecreëerd. Individuele COD kan het gebruik drastisch verminderen, maar zal ook de maatgevende factoren voor de warmtebelasting (L_Q) en de aandrijfenergie (L_W) verlagen. Daarom is een goede afstemming van de belasting van belang, anders worden de vraagfactoren D_Q en D_W onnodig hoog. Voor een warmtepompsysteem met een gegeven ontwerpcapaciteit zijn er daartoe twee belangrijke mogelijkheden:

- aanpassing van de capaciteit aan de vraag (capaciteitsregeling);
- aanpassing van het luchtbehandelingsstelsel om te veel capaciteit op te vangen (buffering).

Via rekenmodellen is vastgesteld dat, locatieafhankelijk, met relatief kleine veranderingen in de nominale waarden van



Voorbeeld I. Kantoorgebouw

De ruimteconditionering van kantoorgebouwen vereist tegenwoordig een groot deel van het jaar ruimtekoeling, vaak zelfs nog bij lagere buitentemperaturen als gevolg van interne warmtegeneratie. Door een juist ontwerp van een warmtepompsysteem met bodembron cq -sink en -opslag, kan een energiezuinige en comfortabele installatie worden verkregen, zowel voor gelijktijdige als voor sequentiële koeling en verwarming.

In de warmtemodus wordt warmte aan de bodem onttrokken. Na het verwarmingsseizoen wordt de afgekoelde bodem voor koeling gebruikt, waardoor de bron weer opwarmt. Als aan het einde van het koelseizoen de brontemperatuur niet meer laag genoeg is, zal de warmtepomp tijdelijk moeten worden ingezet om de grondwatertemperatuur verder te verlagen. Tenzij er een alternatieve gebruik beschikbaar is voor de condensorwarmte, zal deze warmte in de directe omgeving verloren gaan.

Gebouw: Universiteit van Lund, Zweden 5300 m².

Ventilatie: VAV / CAV met wtw.

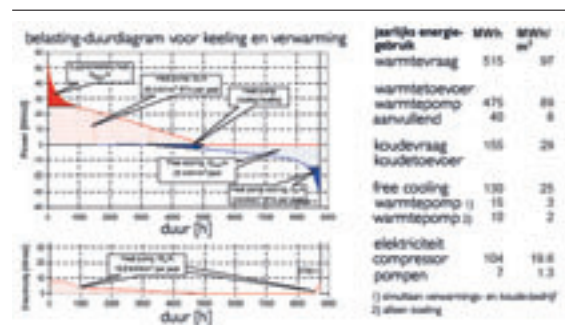
Verwarmen en koelen: Radiatoren en toevoer van lucht met lage temperatuur.

Warmte- en koude-generatie (primair): Warmtepomp met de bodem als bron, sink en opslag.

Warmtesuppletie (secundair): Stadsverwarming.

Energie- en kostenbesparingen worden verkregen door wtw, regelbare ventilatieflows, vrije koeling met externe

ventilatielucht en seizoensafhankelijke bodemopslag. Er zijn geen modificaties van het HVAC-systeem.



Figuur 7. Resultaten van het systeem van verwarming-koeling-opslag in de periode februari 2002 - februari 2003.

Analyse

De meetresultaten (figuur 7) geven aan dat de parasitaire verhouding, $R_p = W_p / W_{hp}$, de optimale waarde (7 procent) voor de maximale COP benadert. Zoals aangegeven, zou een veel grotere inzet van free cooling mogelijk zijn geweest met koelwater met een hogere toevoertemperatuur en gekoelde constructiedelen van het gebouw. Dit zou dan tevens hebben geresulteerd in hogere grondwatertemperaturen in de wintermaanden en dus minder in aandrijfvermogen voor de warmtepomp in warmtebedrijf.

mediumtemperaturen de vereiste aandrijfvermogens voor warmtepompen aanzienlijk kunnen worden verlaagd. Dit kan vooral door verhoogde verdampertemperaturen, maar ook andere effecten kunnen van invloed zijn, zoals 'free cooling'. Voor speciale omstandigheden en locaties geven rekenmodellen aan dat verminderingen van de vereiste aandrijfenergie met een factor 10 en meer mogelijk zijn.

TEMPERATUURLIFT

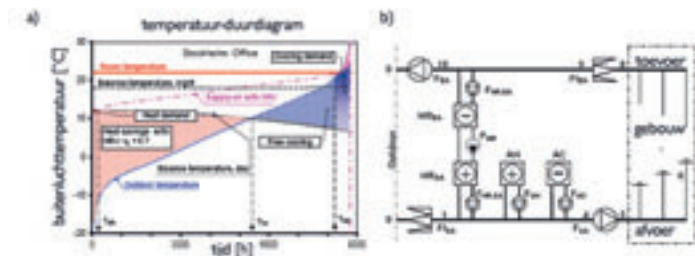
In de discussie over de aandrijfvermogens van warmtepompen voor verwarming- en/of koelbedrijf moet onderscheid worden gemaakt tussen het aandrijfvermogen voor de temperatuurlift (warmteverpomping), het aandrijfvermogen voor de warmteoverdracht tussen de pomp en de bron of sink, het aandrijfvermogen voor het warmtetransport en het aandrijfvermogen voor de warmteoverdracht in de uitblaas-

kasten voor luchtbehandeling. Dat maakt het eenvoudiger om te zien waar echte besparingen in aandrijfvermogens kunnen worden bereikt.

De temperatuurniveaus van de bron en/of de sink bepalen de haalbare COP en dus het aandrijfvermogen voor de temperatuurlift. Uitgaande van een constant Carnot-rendement van het warmtepompproces mag, binnen beperkte temperatuurvariaties, ΔT worden gesteld:

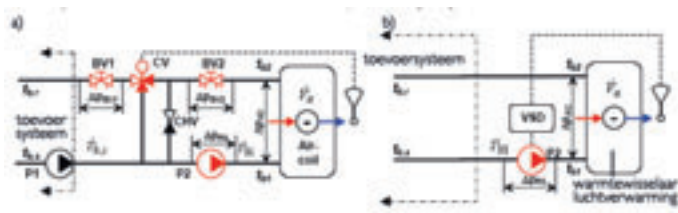
$$\frac{\Delta COP_{hp}}{COP_{hp}} = \frac{\Delta COP_{c}}{COP_{c}} = \left[\frac{\Delta T_2}{T_1 - T_2} - \frac{T_2}{T_1} \frac{\Delta T_1}{T_1 - T_1} \right] = - \frac{\Delta W_{a,lp}}{W_{a,lp}} \quad (1)$$

De COP verbetert 2 tot 3 procent voor iedere graad temperatuurverschil ($T_1 - T_2$) tussen de condensor en de verdampers. Bij kleinere temperatuurverschillen neemt de COP-verbetering zelfs nog extra toe. Mogelijke methodieken om het temperatuurverschil te verkleinen, zijn de inzet van betere



Figuur 5a. Temperatuurdiagram voor een kantoorgebouw.

Figuur 5b. Ontwerp van een luchtbehandelingsseenheid (parallel).



Figuur 6a. Besturing door een variabele inlaattemperatuur.

Figuur 6b. Besturing door een variabele flow.

bronnen en sinks en het verbeteren van de warmtetechnische eigenschappen van de uitblaaskasten. Bij dit laatste moet wel worden opgemerkt dat een aantal middelen om de uitblaaskasten te verbeteren averechts kan werken door een toename van het daarvoor vereiste aandrijfvermogen (bijvoorbeeld als gevolg van hogere snelheden en drukvalen). Zo lang dat minder is dan de verbetering van het aandrijfvermogen van de compressor, is dat winst.

WARMTEOVERDRACHT

De optimale stroming voor de warmteoverdracht bij warmtepompen kan geheel afwijkend zijn van de optimale flow in de uitblaaskasten. Ook de vraag van de uitblaaskasten hoeft niet overeen te komen met de momentane of met de continue warmtelevering. Daarom is het zinvol om onderscheid te maken tussen de flows en de drukvalen bij de warmteoverdracht voor de levering aan het systeem, de ruimten en de verdeling. Voor de parasitaire aandrijfvermogens voor de warmteoverdracht in de condensor en de verdampers, is aangetoond dat er voor een optimale COP eenvoudige relaties moeten zijn

tussen de aandrijfvermogens en de koelcapaciteit. In de praktijk blijken de pompen en ventilatoren vaak te zijn uitgelegd voor een optimale capaciteit en niet voor een optimaal rendement. Naast een goede compressorregeling is ook een goede regeling van de pompen en ventilatoren belangrijk, anders kan een variabele toerenregeling zelfs een averechtsse werking hebben op de COP.

Voor het verkrijgen van de vereiste warmteoverdracht zonder grote consequenties voor het aandrijfvermogen, zijn er hoge verwachtingen van nieuwe ontwikkelingen met betrekking tot fancoilunits of ventilator-convectoren met laminaire flows. Echter, bij het zoeken naar een betere warmteoverdracht bij lagere aandrijfvermogens, moet er wel op worden gelet dat bij de verdeling een hogere flow voornamelijk nadelen geeft zonder directe winst, tenzij er speciale ontwerpen voor een weerstandsverlaging worden ingezet.

Vergelijking 6 geeft het belang aan van parasitaire aandrijfvermogens, gerelateerd aan de maximale input, en, nog belangrijker, als functie van de bedrijfstijden. De parasitaire aandrijfvermogens zijn daarin gescheiden in de warmteoverdrachtafhankelijke factoren p_{11} en p_{21} en de verdelingsafhankelijke factoren p_{12} en p_{22} .

$$COP_{th} = \frac{\int_0^{t_{op}} (\dot{Q}_l + W_{a,p12}) \cdot dt + \int_0^{t_{op}} W_{a,p12} \cdot dt}{\int_0^{t_{op}} (W_{a,lp} + W_{a,p11} + W_{a,p21}) \cdot dt + \int_0^{t_{op}} W_{a,p12} \cdot dt + \int_0^{t_{op}} W_{a,p22} \cdot dt} \quad (6)$$

Vergelijking 7 laat op een iets andere manier zien hoe de COP van het warmtepompsysteem wordt verminderd door W_{ep1} en W_{ep2} .

$$COP_{ep} = \frac{\dot{Q}_l - W_{ep1}}{W_{a,lp} + W_{ep1} + W_{ep2}} = COP_{th} \frac{(COP_{th} - 1) W_{a,p11} + COP_{th} W_{a,p12}}{W_{a,lp}} \quad (7)$$

WARMTETRANSPORT

Een efficiënt warmtetransport van of naar de warmtepomp zou, in principe, de parasitaire verliezen van de aandrijfenergie en de warmte moeten minimaliseren. Uitgedrukt in energietermen is het effect van die verliezen belangrijker dan in vermogenstermen, door het verschil in de bedrijfstijden van de verwarmings- en koelsystemen en die van de warmtepomp (vergelijking 6).

Belangrijk zijn de aandrijfvermogens voor de verdeling, die al snel dominant worden ten opzichte van de andere componenten. Er zijn drie basisprincipes zijn voor het verminderen van de parasitaire aandrijfenergie voor de verdeling:

- Verbetering van het rendement van de componenten (pompen, ventilatoren, motoren en motoraandrijvingen).



Voorbeeld 2. Woonhuis

Hierbij is onderzocht hoe in een bestaande eengezinswoning de SPF van een standaard warmtepomp met bodembron, kon worden verbeterd. Het systeem werd vervolgens door een aantal modificaties in een aantal stappen verbeterd (figuur 8a).

Gebouw: Eengezinswoning (houtskeletbouw, 150 m²), Boras, Zweden.

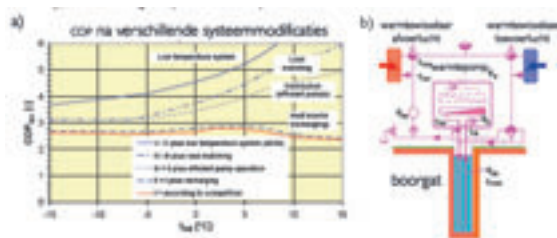
Ventilatie: Gedwongen ventilatie; constant luchtdebiet.

Verwarmen: Direct werkende elektrische en hydraulische FCU en radiatoren.

Warmtetoevoersysteem:

- 1) warmtepomp met bodembron (alleen verwarmingsbedrijf);
- 2) verhoging bodemwatertemperatuur door wtw uit de ventilatie-lucht;
- 3) opslagtank voor verwarming en heet water (nieuw besturings-systeem);
- 4) toevoeging van vier extra radiatoren.

De modificaties zijn primair bedoeld om de directe bedrijfskosten te verlagen door een combinatie van verhoging van de bodemwatertemperatuur, belasting-egalitatie door buffering en een betere regeling door capaciteitverhoging van de verwarming per ruimte en door vermindering van de parasitaire aandrijfenergie.



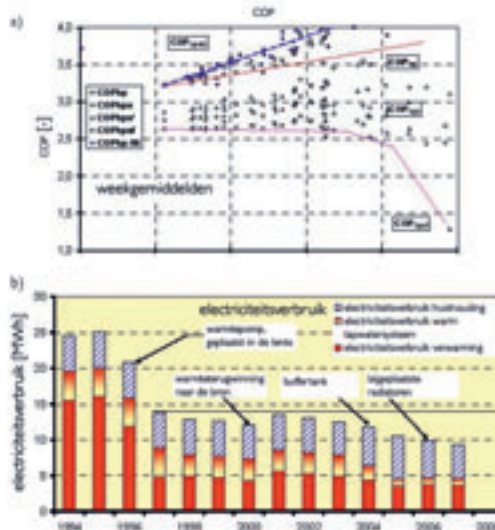
Figuur 8a. Berekende COP_{hps} als gevolg van de verschillende wijzigingen aan de originele installatie.

Figuur 8b. Schematisch overzicht van het regeneratiesysteem met af- en toevoerlucht warmtewisselaars.

Resultaten

Noch in theorie (figuur 8a), noch in de praktijk (figuur 9b) blijkt de toevoeging van een warmteregeneratiesysteem via het bodemwater enig effect op de COP te hebben. Echter, in combinatie met een rendabelere werking van de warmtepomp (III), belasting-egalitatie met behulp van een buffertank (IV), en een per ruimte verbeterde capaciteit van de verwarmingsunits (V), worden aanzienlijke verbeteringen zichtbaar. De SPF_{hps} loopt op van 2.7 tot ongeveer 4.2 in theorie en tot 3.7 in de praktijk. Daarbij is de invloed

van warm tapwater wel, en de invloed van pomp-aanpassingen nog niet verwerkt.



Figuur 9a. COP als functie van de buitenluchttemperatuur met wtw gedurende de winter van 2000-2001 (ter vergelijking bevat het diagram de COP_{hp} zonder wtw in 1996). De COP_{hps} omvat ook de regeneratiepomp en de COP_{hpsf} omvat ook de ventilator in de convector.

Figuur 9b. Gemeten waarden van de elektrische energie voor verwarming, warm tapwater en huishouding.

Analyse

De resultaten (figuur 9a) bevestigen de verwachting (figuur 8a) dat de systeemprestaties niet direct zullen verbeteren door de wtw uit de afgewerkte ventilatielucht toe te voeren aan het bodemcircuit. De meest directe besparing wordt verkregen door inzet van betere pomptechniek en betere regelsystemen. Hierdoor wordt de oorspronkelijke $R_p = 0.38$ verlaagd tot $R_p = 0.08$.

Of de pompen binnen of buiten de systeemgrens vallen maakt een groot verschil, wat weer het belang aantoont van het definiëren van een goede systeemgrens.

Het resultaat van alle modificaties is goed. Zonder modificatie van de warmtepomp zelf, is de SPF_{hps} verbeterd met 30 – 40 procent, bij een verbeterd ruimtecomfort en met een toegevoegde warmtapwatervoorziening (beide zaken verlagen normaliter de COP). De jaarlijkse energielasten zijn verminderd van 25 tot < 10 MWh. De energielasten zijn nu lager dan in veel moderne, zwaar geïsoleerde huizen met wtw en zonnewarmtesystemen.



- Vermindering van de luchtstroomsnelheid (via systeemontwerp, bijvoorbeeld COD).
- Vermindering van de systeemweerstand (via systeemontwerp; figuur 5 en 6).

Voor een kantoorgebouw kunnen de temperaturen van de buiten- en de toevoerlucht als functie van de tijd worden afgebeeld in een diagram (figuur 5). Variabele luchtstromen zorgen voor het grootste deel van de airconditioning. Het gevolg daarvan is dat de toevoerluchtverwarmer en -koeler minder dan 2 en 9 procent van de tijd in bedrijf zijn. Gedurende de overige tijd leiden deze apparaten alleen maar tot ongewenste drukvallen. Een ontwerpwijziging (vervanging van een seriële door een parallelle positie van de verwarmings- en koelunit) is dan een mogelijke oplossing om de luchtzijdige parasitaire aandrijfenergie te verminderen. Ook vloeistofzijdig zijn er voordelen te behalen.

LUCHTBEHANDELING- EN UITBLAASKASTEN

De luchtbehandeling- en uitblaaskasten zijn van doorslaggevende betekenis voor het totaalrendement van een warmtepompsysteem. Het ontwerp en de dimensionering daarvan zullen bepalend zijn voor de temperatuurlift van de warmtepomp en voor de mogelijkheden voor het gebruik van 'free-cooling'. Daarbij moet niet alleen de thermische kant worden bekeken, maar moet er ook rekening worden gehouden met de parasitaire aandrijfenergie.

Het toepassen van nieuwe technologie kan het ontwerp vereenvoudigen en daarbij tegelijkertijd een bijdrage leveren aan besparingen op de aandrijfenergie (figuur 6). Door de keuze van flowregeling voor de heater of de koeler (door middel van een toerengeregelde pomp in plaats van kleppen) wordt enerzijds het aantal componenten in het systeem verminderd en anderzijds wordt de aandrijfenergie verminderd (tot tien keer toe in COD-systemen).

Referenties

- *Fahlén P., Field testing of refrigeration and heat pump equipment - General conditions, Sweden, 1996.*
- *Fahlén P., Markusson C., et al., Opportunities in the design of control-on-demand HVAC systems, 9th Rehva World congress Clima, Finland, 2007.*
- *Haglund Stignor C., Fahlén P., et al., Design of different types of secondary loop cooling systems in supermarkets - Comparison of energy use and costs, 22nd International Congress of Refrigeration, China, 2007.*
- *Heikkilä K., Environmental assessment of air-conditioning systems - Design considerations for Swedish conditions, Sweden, 2007.*

- *Karlsson F., Capacity control of residential heat pump heating systems, Sweden, 2007.*

Malmberg T., Mattsson C.J., The effect of air-conditioning system design temperatures on the potential for using free-cooling, Sweden, 2008.

Naumov J., Optimization of ground-coupled systems for heating and cooling of buildings, Sweden, 2005.

Auteur

P. Fahlén, professor of Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.