

Stelselkeuze voor warmteterugwinning

ing. F.H.J. van Gorkom

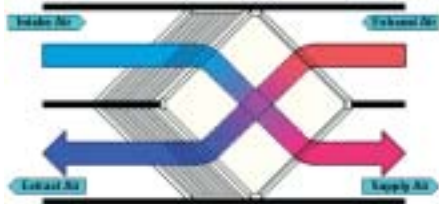
Warmteterugwinning geeft efficiënte luchtbehandelingsinstallaties. Voor het toepassen van warmteterugwinning is een aantal systemen beschikbaar. In dit artikel komen zowel de twincoil, de platenwisselaar, het warmtewiel en het Kantherm-systeem aan bod. De systemen worden kort beschreven en daarnaast beoordeeld op hun rendement, toepassingsmogelijkheden, voor- en nadelen en hun life cycle costs.



1. Twincoil koeler, in koper uitgevoerd, in de luchtafvoer van een luchtbehandelingskast.

Rendement halen uit een bepaalde vorm van warmteterugwinning is relatief eenvoudig. Aluminium, met een hoge warmte-inhoud en een relatief hoge warmtegeleidingscoëfficiënt, →van tussen de 210 en 230 W/m·K, is een van de meest aangewezen materialen om warmte in op te slaan en weer af te geven. Door meer aluminium toe te passen wordt een warmtebuffer gecreëerd, waardoor een hoog thermisch rendement kan worden behaald. Hierbij moet wel worden opgelet dat er niet een te hoog gebruik van een indirecte vorm van energie nodig is, waardoor de uiteindelijke energiewinst alsnog laag kan zijn.

Er zijn twee soorten van warmteterugwinning, namelijk het regeneratieve en het recuperatieve systeem.



2. Principe warmteterugwinning middels kruisstroom platenwisselaar. [Bron Klingenburg]

Bij het regeneratief systeem zorgt een vast of vloeibaar medium voor de overdracht van warmte en eventueel vocht. Voorbeelden hiervan zijn het twincoil, warmtewiel en het Kantherm systeem.

Bij het recuperatief systeem is er een gezamenlijk scheidingsvlak waarlangs de beide luchtstromen gaan. Dit scheidingsvlak is een plaat of een buis. Voorbeeld hiervan is de platenwisselaar.

TWINCOIL

Het systeem met het laagste thermische rendement is het twincoil-systeem. Met deze vorm van warmteterugwinning wordt een voelbaar rendement behaald tussen de 40 en 55 procent. Het systeem bestaat uit een koeler met bijbehorende druppelvanger die in de (warme) afvoerluchtstroom wordt geplaatst en een verwarmingsbatterij die in de toevoerluchtstroom van de luchtbehandelingsinstallatie wordt geplaatst (afbeelding 1). Tussen deze twee componenten wordt een leidingsysteem aangelegd met een driewegafsluiter en voor de circulatie voor de warmtedrager een circulatiepomp. Deze warmtedrager is meestal een water/glycolmengsel om bevriezing te voorkomen. De regeling van het systeem gebeurt met de driewegafsluiter waarmee de hoeveelheid van het circulerende water/glycolmengsel geregeld kan worden. Met een twincoil-systeem wordt alleen voelbare warmte overgedragen.

KRUISSTROOM PLATENWISSELAAR

Het systeem met een rendement tussen de 50 en 65 procent is de platenwisselaar. Met een platenwisselaar wordt, net als met een twincoil-systeem alleen voelbare warmte overgedragen (afbeelding 2).

Installatie van deze vorm van warmteterugwinning is relatief eenvoudig waarbij het de voorkeur geniet de retourlucht met de luchtrichting mee naar onderen uit te voeren. Dit in verband met het condenseren van de retourlucht. Tegenvoerdig wordt steeds vaker gebruik gemaakt van platenwisselaars met een hoger rendement. Bij deze toepassing is de kans op bevriezing van het condenswater wat uit de retourlucht vrijkomt vrij groot. Hier moet bij het ontwerp van een



dergelijke installatie rekening mee worden gehouden. Deze HR-platenwisselaars zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze vooral bij kleinere luchthoeveelheden in bijvoorbeeld woningen worden toegepast.

De regeling van deze vorm van warmteterugwinning gebeurt met een bypass. Deze bypass is ook uitermate geschikt om gedurende de nacht vrij te ventileren (nachtkoeling) of om ongewenste opwarming van de toevoerlucht te voorkomen.

WARMTEWIEL

Van de meest toegepaste vormen van warmteterugwinning heeft het warmtewiel het hoogste rendement. Het rendement wat hiermee is te behalen, ligt tussen de 70 en 80 procent. Een warmtewiel bestaat uit een omkasting met daarin opgenomen een uit aluminium bestaande ronddraaiende rotor. Deze rotor of warmtewiel draait rond met een rotatiesnelheid tot 12 omwentelingen per minuut. Een luchtbehandelingsinstallatie met een warmtewiel bestaat uit twee kastdelen. Doorgaans is het onderste gedeelte voor de toevoerlucht en het bovenste gedeelte voor de afvoerlucht.

Door het draaien van de rotor wordt tijdens de winterperiode afwisselend warmte aan de afvoerlucht onttrokken om die vervolgens weer aan de toevoerlucht af te staan. De regeling van deze vorm van warmteterugwinning wordt uitgevoerd door een frequentieregelaar die de rotatiesnelheid van de rotor aanpast. Afbeelding 3 geeft een goede indruk van het warmtewiel inclusief de aandrijving van de rotor.

Afhankelijk van de toepassing zijn er twee typen warmtewielen. De enthalpierotor wordt het meest toegepast. De rotor bestaat uit aluminium en het wiel draagt zowel warmte (voelbaar) als vocht (latent) over, gebaseerd op condensatie en verdamping van het water in de lucht. Wanneer een hoger vochtrendement is gewenst, kan een sorptierotor worden toegepast. Dit type rotor is voorzien van een hygroskopische absorptiemassa. Hiermee kan een vochtrendement worden behaald, die gelijk is aan het thermische rendement.

KANTHERM

Een relatief weinig toegepaste vorm van warmteterugwinning is het Kantherm-systeem. Met dit systeem wordt een voelbaar rendement behaald van circa 90 procent. Dit hoge rendement wordt behaald met twee warmteaccumulatoren die zijn vervaardigd uit zuiver aluminium. Tussen deze accumulatoren is een kantelklep geplaatst die elke 50 seconde omslaat. In de eerste cyclus wordt één accumulator opgewarmd door de warme retourlucht. Bij de volgende cyclus,

als de kantelklep omslaat, wordt de koude buitenlucht langs de opgewarmde accumulator geleid, waardoor deze in temperatuur gaat stijgen. Tijdens deze cyclus wordt de andere accumulator weer opgewarmd door de retourlucht. Deze constante afwisseling van opslaan en afstaan van energie wordt verduidelijkt in afbeelding 4. Met deze vorm van warmteterugwinning wordt net als bij het warmtewiel naast voelbare ook latente warmte overgedragen.

VOOR - EN NADELEN

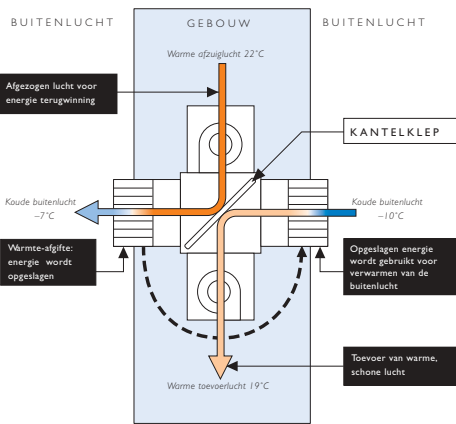
Elke vorm van warmteterugwinning heeft naast het rendement specifieke voor- en nadelen. Op een aantal belangrijke toepassingspunten worden de hierboven beschreven warmteterugwinsystemen nog eens naast elkaar gezet.

Toepassingsmogelijkheden

Het twincoil-systeem is de vorm van warmteterugwinning die het meest eenvoudig is toe te passen. Dit komt omdat de toe- en afvoersecties separaat van elkaar zijn op te stellen waardoor een decentrale opstelling mogelijk is. Nadeel hiervan zijn de langere leidinglengtes. De platenwisselaar is vooral bij kleine luchthoeveelheden eenvoudig te pasbaar.



3. Warmteterugwinning met een roterend warmtewiel.



4. Principe van het Kantherm-warmteterugwinstysteem.

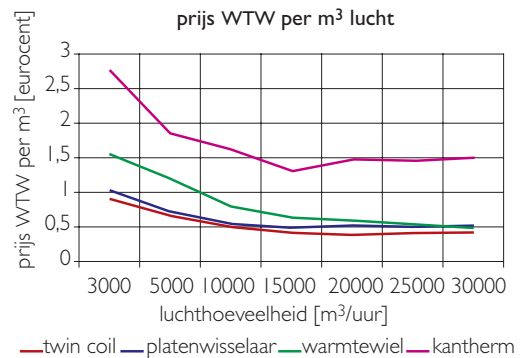
Bij grotere luchthoeveelheden, vanaf circa 15.000 m³/uur, wordt de benodigde inbouwsectie echter bijzonder lang, waardoor inpassing niet eenvoudig is.

Het tegengestelde geldt voor het warmtewiel. Door de aanstroom- en inspectiesecties neemt dit vooral bij kleine luchthoeveelheden veel plaats in beslag en juist bij grotere capaciteiten heeft het een korte bouw lengte. Het Kantherm-systeem neemt doorgaans de meeste opstellingsruimte in beslag. Er zijn echter wel verschillende manieren waarop het systeem op te stellen is.

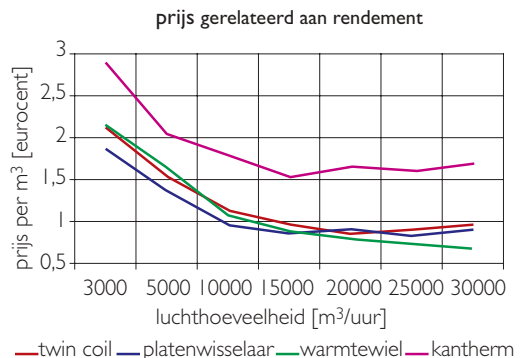
Luchtrecirculatie

Bij de toepassing van een Kantherm-systeem en een warmtewiel bestaat de kans dat er retourlucht wordt vermengd met de buitenlucht. Bij het Kantherm-systeem bedraagt deze maximaal 2 procent bij een systeem voor buitenopstelling. Dit percentage kan oplopen wanneer de unit binnen wordt opgesteld waarbij lange kanalen naar buiten nodig zijn.

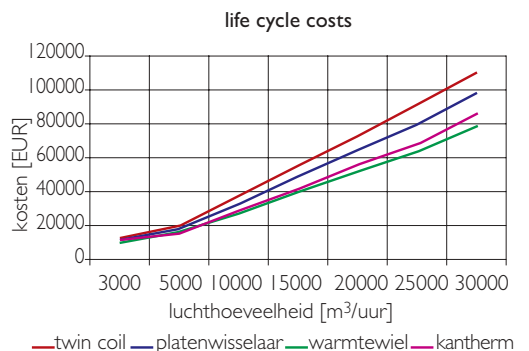
Bij een warmtewiel is het percentage lucht lekkage afhankelijk van de drukval over de toe- en afvoerszijde van het warmtewiel. Dit heeft direct betrekking op de posities van de ventilatoren. Bij een lage drukval, waarbij de afvoer- en toevoerventilator zuigend op het warmtewiel zijn geplaatst, zal de lucht lekkage circa 2 procent bedragen. In de meest ongunstige situatie met een hoge drukval over het warmtewiel, kan een lucht lekkage tot circa 10 procent het gevolg zijn. In deze situatie staat doorgaans de toevoerventilator zuigend en de afvoerventilator persend op het warmtewiel.



5. Kosten verschillende vormen van WTW omgerekend naar 1 m³/uur.



6. Kosten verschillende vormen van WTW per procent rendement en per 1 m³/uur.



7. Life cycle costs verschillende vormen van WTW.



Vochtterugwinning

Bij vele bedrijfssituaties is het een voordeel als een warmteterugwinsysteem ook vocht overdraagt. Hierdoor wordt de lucht niet te droog in het gebouw gebracht. Vochtoverdracht is mogelijk met het warmtewiel en Kantherm-systeem.

Drukval over het wtw- element

Elke vorm van warmteterugwinning heeft een bepaald rendement. Tevens heeft deze sectie van de luchtbehandelingsinstallatie ook een bepaalde drukval. Dit moet de ventilator overwinnen. Het is daarom van belang dat er een goede selectie wordt gemaakt op basis van het rendement en de drukval over het systeem. Hoe hoger de drukval in het systeem des te hoger het asvermogen, en het indirecte energiegebruik, van de ventilator zal worden.

Het extra te leveren vermogen voor de ventilator kan berekend worden met de volgende formule:

$$P_{as} = \frac{V \cdot \tilde{p}_{wtw}}{3600 \cdot 1000 \cdot \Omega}$$

Hierin is:

- P_{as} asvermogen [kW]
- V luchthoeveelheid [m^3 /uur]
- \tilde{p}_{wtw} drukval over WTW-systeem [Pa]
- Ω rendement ventilator [procent]

Een hogere drukval van het warmteterugwingedeelte heeft naast een hoger asvermogen ook invloed op het toerental van de ventilator en daarbij ook op het geluid wat deze produceert. Dit is te berekenen met de formule van Bera- nek:

$$\tilde{L}_p = 20 \log \left[\frac{(p + p_{wtw})}{p} \right]$$

Hierin is:

- \tilde{L}_p toename geluidsdruk niveau [dB]
- p opvoerhoogte van de ventilator zonder WTW
- \tilde{p}_{wtw} drukval van het WTW-gedeelte [Pa]

Bij een optimale selectie hebben zowel het warmtewiel als het Kantherm-systeem een lage drukval van circa 100 Pa. De drukval van het twincoil-systeem en de platenwisselaar zijn doorgaans hoger. Dit komt omdat bij deze vormen van warmteterugwinning een grotere mate van verstoring van de luchtstroom plaatsvindt door de meestal geringe lamel- afstand.

INVESTERING EN LANGE TERMIJN KOSTEN

Naast het rendement is de investering in een bepaalde vorm van warmteterugwinning een belangrijk aspect. Vaak wordt gedacht dat het twincoil-systeem met het laagste rendement, ook het goedkoopst is in aanschaf. In afbeelding 5 staan de investeringsbedragen omgerekend naar $1 m^3/h$ lucht van de besproken vormen van warmteterugwinning voor een luchtbehandelingsinstallatie met verschillende luchthoeveelheden. Uit afbeelding 5 is op te maken dat het twincoil-systeem en de platenwisselaar bij kleine capaciteiten het goedkoopste in aanschaf zijn, maar dat het warmtewiel bij grotere capaciteiten bijna net zo duur is, en soms zelfs goedkoper in aanschaf wordt dan beide systemen. Het Kantherm-systeem blijkt het duurst in aanschaf.

Aangezien de verschillende vormen van warmteterugwinning elk een verschillend rendement hebben, kunnen ze niet goed worden vergeleken. Afbeelding 6 geeft een beter beeld van de investering per m^3/h , maar ook per procent rendement die wordt behaald met een willekeurige vorm van warmteterugwinning. Uit afbeelding 6 blijkt dat de investering van een warmtewiel ook bij lagere capaciteiten verdedigbaar is ten opzichte van het twincoil-systeem en de platenwisselaar. Ook nu blijkt dat het Kantherm-systeem, ondanks zijn hoge rendement duurder in aanschaf is dan elke andere vorm van warmteterugwinning.

Met de afbeeldingen 5 en 6 is een goede indruk gegeven over de investering in een bepaald type van warmteterugwinning. Hierbij moet ook gekeken worden naar de gebruiksperiode van de installatie. De investering in het warmteterugwindeel samen met de te verwachten exploitatiekosten, berekend over de levensduur van de luchtbehandelingsinstallatie, vormen de life cycle costs (LCC) van de verschillende WTW-systemen. De methode van LCC is bedoeld om ontwerpalternatieven te beoordelen op kosten over de beoogde levensduur. In deze berekening is uitgegaan van een economische levensduur van vijftien jaar. Verder is in het voorbeeld uitgegaan van een bedrijfssituatie waarbij tien uur per dag, vijf dagen per week wordt geventileerd. Een andere uitgangscanditie is een constante gasprijs van 30 eurocent per m^3 gas en een rendement van de cv-installatie van 90 procent. Als laatste zijn voor retour- en inblaas-temperatuur 20 respectievelijk 22 °C aangehouden.

Uit afbeelding 7 blijkt dat de te verwachten kosten met het twincoil-systeem het hoogst zijn en dat de platenwisselaar op de tweede plaats komt. De vormen van



Theorie warmteterugwinning

Om warmteterugwinning inzichtelijk te maken kunnen de toestandsveranderingen van vochtige lucht in het Mollier diagram worden weergegeven. De geldende enthalpieformule is:

$$h = 1,0 \cdot T + [x \cdot (2.500 + 1,87 \cdot T)]$$

Hierin is:

h Enthalpie [kJ/kg]

T Temperatuur [°C]

x Absolute vochtigheid [kg/kg]

Wordt de toestandsverandering van lucht tijdens de opwarming in een sorptiewarmtewiel tijdens winterperiode in dit diagram uitgezet ontstaat, dan onderstaand diagram.

Conditie 1= conditie buiten

Conditie 2= conditie retourlucht

Conditie 3= conditie na warmtewiel in de toevoer

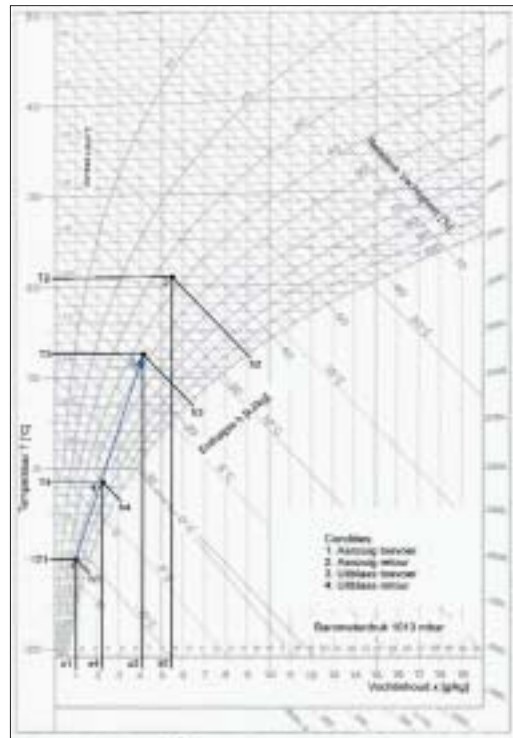
Conditie 4= conditie na warmtewiel in de afvoer

In dit voorbeeld zijn de rendementen als volgt te bepalen:

Thermisch (voelbaar) rendement $\Omega_t = T_3 - T_1 / (T_2 - T_1)$

Vocht (latent) rendement $\Omega_x = x_3 - x_1 / (x_2 - x_1)$

Enthalpie rendement $\Omega_h = h_3 - h_1 / (h_2 - h_1)$



warmteterugwinning met de hoogste rendementen (het warmtewiel en het Kantherm-systeem) hebben bij kleine luchthoeveelheden nagenoeg gelijke kosten. Bij grotere luchthoeveelheden is er een verschil waarneembaar waarbij het Kantherm-systeem enigszins duurder is dan het warmtewiel. Doordat het Kantherm-systeem een hoger rendement heeft dan het warmtewiel, zijn er zeker bedrijfssituaties denkbaar dat dit systeem goedkoper is dan het warmtewiel.

CONCLUSIE

Door stijgende energieprijzen en de aangescherpte EPN normering is warmteterugwinning niet meer weg te denken uit een luchtbehandelingsinstallatie. Daar waar een project niet het soort warmteterugwinning bepaalt, door bijvoorbeeld beschikbare ruimte, kan afhankelijk van de eisen worden gekozen uit diverse vormen van warmteterugwinning. Is de investering de enige bepalende factor dan zal voor relatief kleine luchthoeveelheden een platenwisselaar een goede keuze zijn, terwijl bij capaciteiten vanaf circa 15.000 m³/h het warmtewiel steeds vaker zal prevaleren.

Wordt er daarnaast vanuit bijvoorbeeld Arbo-wetgeving, ook eisen gesteld aan de gewenste relatieve vochtigheid in een gebouw, dan zal er eerder voor een warmtewiel worden gekozen.

Wordt er naar de LCC gekeken dan valt de keuze op de vormen van warmteterugwinning met het hoogste rendement, het warmtewiel of het Kantherm-systeem.

Door het hoge rendement van het Kantherm-systeem is het mogelijk een gebouw te ontwerpen, waarbij in de luchtbehandelingskast geen naverwarming nodig is, wat een aanzienlijke kostenbesparing oplevert. Voorwaarde is wel dat in het gebouw basisverwarming aanwezig moet zijn.

Concluderend kan worden gesteld dat voor de keuze op een bepaalde vorm van warmteterugwinning naast de gebouwsituatie, de wensen en eisen van een eindgebruiker, ook het budget een belangrijke factor is. Hiervoor geldt echter dat de vorm van warmteterugwinning die het minste rendement levert, niet altijd het goedkoopst is. Door een blik in de nabije, of iets verdere toekomst, kan de eindgebruiker veel gebruikskosten besparen.