

ECN-C--06-012

Ventilatie, koeling, zonwering en glas in nieuw en oud Amsterdam

Bundeling van ECN-notities over ventilatie, koeling, zonwering en
beglazing in utiliteitsgebouwen

en over de energietarieven in de zakelijke sector

F.A.T.M. Ligthart

Februari 2006

Verantwoording

Dit rapport is gemaakt in opdracht van de Dienst Milieu en Bouwtoezicht onder ECN-projectnummer 7.4995.

Samenvatting

In de loop van de jaren 2004-2005 zijn door de Dienst Milieu en Bouwtoezicht (DMB) aan ECN vragen gesteld over verschillende energie-onderwerpen betreffende de utiliteitsbouw. De beantwoording van deze vragen vonden plaats in het kader van het raamcontract en meestal werd gekozen voor de vorm van een notitie om de onderzoeksresultaten in vast te leggen. Omdat dit jaar de onderwerpen sterk aan elkaar verwant waren, lag het voor de hand om ze samen in een rapport te publiceren, zodat ze toegankelijker zijn en blijven voor de gebruikers. De onderwerpen zijn:

1. Ventilatie en energie
2. Energiezuinige koeling in kantoorgebouwen
3. Efficiëntieverhoging koelinstallaties in utiliteitsgebouwen
4. Toepassingsmogelijkheden van het multisplitwarmtepompsysteem van Daikin
5. Glassoorten voor monumentale panden
6. Vochtproblemen bij enkel en dubbel glas
7. Zonwering
8. Energiegegevens voor zakelijke markt, midden 2005

De onderwerpen zijn niet uitputtend behandeld maar geven een antwoord op de vraag die door de DMB werd gesteld. Daardoor is de informatie waarschijnlijk minder wetenschappelijk van aard maar wel goed bruikbaar.

Inhoud

Samenvatting	2
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Afkortingen	5
1. Inleiding	7
2. Ventilatie en energie	8
2.1 Het doel van dit hoofdstuk	8
2.2 Wat is ventileren	8
2.3 Het leveren van schone lucht en zuurstof voor mensen	8
2.4 Het creëren van een veilige omgeving	9
2.5 Transport van warmte, koude en vochtigheid	10
2.5.1 De luchtbehandelingskast, kanalen en roosters; mengen of verdringen	10
2.5.2 Verwarmen en koelen met lucht	11
2.5.3 Vochtigheid	12
2.5.4 Overzicht van verschillende ventilatiesystemen en toepassingen	13
2.6 Richtlijnen en wettelijke eisen voor ventilatie	14
2.7 Besparingsmogelijkheden voor ventilatie	14
2.7.1 Besparing door minimaliseren van ventilatielucht in het ontwerp	14
2.7.2 Roken, niet roken	15
2.7.3 Besparing door belastingafhankelijk ventileren	15
2.7.4 Besparing door passieve koeling	16
2.7.5 Warmteterugwinning	16
2.8 Samenvatting besparende maatregelen voor ventilatiesystemen	16
2.9 Voorbeelden	18
2.9.1 Het museum	18
2.9.2 Werkplaatsen en laboratoria in een groot onderzoekscentrum	19
2.9.3 Grootkeuken met inductieafzuigkap	20
2.9.4 CO ₂ -geregelde ventilatie in sporthallen	21
3. Energiezuinige koeling in kantoorgebouwen	22
3.1 Het voorkomen van koelvraag	22
3.2 Bestaande bouw	22
3.2.1 Dakisolatie	22
3.2.2 Centrale koeling versus locale koeling beide door koelmachines	22
3.2.3 Verdampingskoeling	23
3.2.4 Overige (kleine) koelunits	26
3.3 Nieuwbouw	26
3.3.1 Zomernachtventilatie	27
3.3.2 Bodemkoeling	27
3.3.3 Koelmachines	28
3.3.4 Koudeafgiftesysteem	29
4. Efficiëntieverhoging koelinstallaties in utiliteitsgebouwen	30
4.1 Vraagzijdig (zie ook 3.1: Het voorkomen van koelvraag)	30
4.2 Opwekking van koude	30
5. Toepassingsmogelijkheden van het multisplitwarmtepompsysteem van Daikin	32

5.1	Beschrijving van het systeem aan de hand van de Daikin VRV II Systems technical data (EEDE03-2/3A)	32
5.2	Bijkomende voor- en nadelen	32
5.3	De gelijkwaardigheidverklaring	33
5.4	Conclusies & aanbevelingen	33
6.	Glassoorten voor monumentale panden	35
6.1	Glas met een infraroodreflecterende coating	35
6.2	Vacuümglas	35
7.	Vochtproblemen bij enkel en dubbel glas	36
7.1	Inleiding	36
7.2	Oorzaken van vochtproblemen bij toepassing van enkel glas	36
7.3	Condensvorming op de omringende muur	36
7.4	Conclusie	37
Bijlage A	Verwante onderwerpen	38
A.1	“Doorslaande muren”	38
A.2	Optrekkend vocht	38
A.3	Koudebruggen	38
A.4	Kieren en naden	38
A.5	Condensatie in de isolatie	38
A.6	Vochtproblemen door onvoldoende ventilatie	39
8.	Zonwering	40
8.1	Energetische aspecten	40
8.2	Energetisch optimum	40
8.3	Automatisering	41
8.4	Comfort versus energie	41
8.5	Toevoeging december 2005	42
9.	Energiegegevens voor zakelijke markt, midden 2005	43
9.1	Algemeen	44
9.2	Elektriciteit	44
9.3	Gas	45
9.4	Conclusies	45

Lijst van tabellen

Tabel 1: <i>Overzicht van verschillende ventilatiesystemen en hun toepassingen</i>	13
Tabel 2: <i>Luchtverversingen in gebouwen</i>	14
Tabel 3: <i>Opsomming van soorten ventilatiesystemen en besparingsmogelijkheden</i>	17
Tabel 4: <i>De voor- en nadelen van ongelamineerd ten opzichte van gelamineerd glas</i>	35
Tabel 5: <i>Glassoorten met lamellen tussen dubbel glas</i>	41
Tabel 6: <i>Automatiseringen zonwering</i>	41
Tabel 7: <i>De indicatieve kosten voor gas</i>	45
Tabel 8: <i>De indicatieve kosten voor elektriciteit</i>	45

Lijst van figuren

Figuur 1: <i>Installatieschema voor volledige airconditioning</i>	11
Figuur 2: <i>Voorbeeld van een principeschema voor de luchtbehandeling met de mogelijkheid voor recirculatie.</i>	18
Figuur 3: <i>Twee zuurkasten, de achterste met het raam open en de voorste met het raam gesloten</i>	19
Figuur 4: <i>Keukenluchtbehandeling met inductieafzuigkap</i>	21
Figuur 5: <i>Het splitunitsysteem in de meest geavanceerde vorm</i>	23
Figuur 6: <i>Het Kanttherm systeem voor warmte en vochtterugwinning, stand klep a</i>	24
Figuur 7: <i>Het Kanttherm systeem voor warmte en vochtterugwinning, stand klep b</i>	25
Figuur 8: <i>Werking Oxycom systeem</i>	26
Figuur 9: <i>Toepassingsgebieden van verschillende soorten koeling bij verschillende koellasten</i>	28
Figuur 10: <i>Elektriciteitsprijs huishoudens en industrie</i>	43
Figuur 11: <i>Aardgasprijzen huishoudens en industrie</i>	43

Afkortingen

DMB Dienst Milieu en Bouwtoezicht

1. Inleiding

In de loop van de jaren 2004-2005 zijn door de Dienst Milieu en Bouwtoezicht (DMB) aan ECN vragen gesteld over verschillende energie-onderwerpen betreffende de utiliteitsbouw. De beantwoording van deze vragen vond meestal plaats in het kader van een raamcontract terwijl sommige onderzoeksvragen uitmondde in een aparte onderzoeksopdracht. In veel gevallen resulteert een onderzoeksopdracht aan ECN in een rapport. Door de beperkte omvang van het betreffende onderwerp of door de tijdsdruk werd voor de beantwoording van de vragen in het kader van het raamcontract de vorm van een notitie gekozen. Sommige vragen werden om dezelfde redenen telefonisch beantwoord. Door beide partijen werden de voordelen van deze "hotline" gewaardeerd. Voor de DMB werd hierdoor de slagvaardigheid bij de uitvoering van het werk verhoogd. Voor ECN was de informatie uit praktijksituaties een belangrijke inspiratiebron voor het onderzoek. Door beide partijen werd de behoefte gevoeld om de notities een langere houdbaarheidsperiode te geven door ze te bundelen en als DMB/ECN-rapport te publiceren. De onderwerpen worden hieronder genoemd met het hoofdstuk van dit rapport waarin ze behandeld worden:

Hoofdstuk en titel	Vraag
Ventilatie en energie	Welke energiebesparingen mogen gesteld worden aan een ventilatie-installatie zonder de Arbo ventilatie-eisen geweld aan te doen? Waarop moeten inspecteurs wat ventilatie betreft letten bij gebouwen met een hoog energiegebruik?
Energiezuinige koeling in kantoorgebouwen	Door de warme zomers en de toenemende welvaart neemt de vraag naar koelsystemen voor kantoren sterk toe. De vraag is op welke manier deze koeling op een energie-efficiënte manier kan plaatsvinden.
Efficiëntieverhoging koelinstallaties in utiliteitsgebouwen	Welke maatregelen kan men nemen om de efficiëntie van koelinstallaties in utiliteitsgebouwen te verhogen?
Toepassingsmogelijkheden van het multisplitwarmtepompsysteem van Daikin	Hoe is het Daikin systeem (en zijn vergelijkbare systemen) toepasbaar en in hoeverre draagt die toepassing bij aan energiebesparing?
Glassoorten voor monumentale panden	ECN heeft een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van speciale glassoorten op comfort en energiegebruik. Het gaat hierbij om vacuümglas en enkel of gelamineerd glas met een infraroodreflecterende coating.
Vochtproblemen bij enkel en dubbel glas	Zal er meer condensatie op de omringende muur optreden bij toepassing van dubbel glas omdat dat glas zelf niet condenseert in tegenstelling tot enkel glas?
Zonwering	Vragen over energie, comfort en automatisering.
Energiegegevens voor zakelijke markt, midden 2005	Met welke energieprijzen moet rekening worden gehouden bij het berekenen van de kostenverlaging door energiebesparing en de terugverdientijd van besparingsinvesteringen?

2. Ventilatie en energie

2.1 Het doel van dit hoofdstuk

Bij de handhaving en vergunningverlening van de Wet milieubeheer worden regelmatig vragen gesteld over ventilatie. Omdat die vaak niet eenvoudig te beantwoorden zijn ontstaat de behoefte aan meer achtergrondinformatie. In dit rapport zoeken we antwoord op de volgende kernvragen:

- Welke energiebesparings-eisen mogen gesteld worden aan een ventilatie-installatie zonder de Arbo ventilatie-eisen geweld aan te doen?
- Waarop moeten inspecteurs wat ventilatie betreft letten bij gebouwen met een hoog energiegebruik?

Naast isolatie en kierdichtheid is het beheersen van ventilatie, ook in verband met koeling, een belangrijk energieaspect in de utiliteitsbouw. Bovendien is ventilatie heel goed te meten en te besturen en leent zich daarom goed voor besparingsmaatregelen.

2.2 Wat is ventileren

Onder ventilatie wordt in het algemeen het verplaatsten van lucht verstaan. In de meeste gevallen gaat het om buitenlucht waarmee de lucht in een gebouw wordt ververscht. Er wordt dus buitenlucht in het gebouw geblazen. Deze lucht kan zich mengen met de binnenlucht maar kan ook de binnenlucht verdringen. Bij ventilatie hoort altijd afvoer van lucht; er vindt immers geen ophoping plaats. De luchtverversing kan door ventilatoren (mechanisch) maar ook door raamopeningen of roosters plaatsvinden (natuurlijk). Combinaties van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer komen ook vaak voor. Ten slotte is er nog ongecontroleerde ventilatie via kieren en naden, wat meestal wordt aangeduid met infiltratie.

In sommige gevallen wordt onder ventilatie ook recirculatie van lucht verstaan. Dat is het afzuigen van lucht op de ene plaats in het gebouw en diezelfde lucht na eventuele filtratie, opwarming of afkoeling op een andere plaats in het gebouw weer inblazen. Afzuig- en inblaaspunt kunnen zich in verschillende, maar ook in dezelfde ruimte bevinden. Recirculatie wordt hieronder apart beschreven.

De functie van ventileren kan heel verschillend zijn:

1. Het leveren van schone lucht en zuurstof voor mensen.
2. Het creëren van een veilige omgeving door het afvoeren van schadelijke of explosieve stoffen.
3. Het aanvoeren en verspreiden van warmte, koude en relatieve vochtigheid in een gebouw.

In dit rapport wordt vaak het woord ventilatievoud of verversingsvoud gebruikt. Men verstaat hieronder het aantal keren dat een ruimte per uur wordt ververscht, uitgedrukt als het quotiënt van het aantal kubieke meters lucht dat per uur wordt ingeblazen (en afgezogen) en het volume van de ruimte. Als bijvoorbeeld een ruimte van 100 m^3 wordt geventileerd met $50 \text{ m}^3/\text{hr}$ is het ventilatievoud van deze ruimte 0,5.

2.3 Het leveren van schone lucht en zuurstof voor mensen

Tijdens het verblijf van de lucht in het gebouw vindt vervuiling plaats van die lucht. Over het algemeen is buitenlucht vele malen schoner dan binnenlucht. Buitenlucht wordt blootgesteld aan

onder andere zonnestraling, regen, vorst. Deeltjes oxideren en worden vastgelegd in aarde en plantengroei.

In een gebouw zorgen mensen voor een constante productie van onder andere organisch materiaal. Bijvoorbeeld deeltjes die van de huid afkomen, vocht, methaan en CO₂. Hier komen nog andere deeltjes en gassen bij van bijvoorbeeld vloerbedekking, meubels, computers en papier. De natuurlijke afbraak die in de buitenlucht plaats vindt is binnen niet aan de orde, integendeel, de deeltjes en gassen hopen zich op. In delen van het gebouw waar de luchtsnelheden gering zijn dalen de deeltjes neer en stapelen zich op. Omdat er organisch materiaal van onder andere mensen bij zit, ontstaan hierbij allerlei organismen, schimmels, bacteriën, huismijt, gassen etc. Daarom is goed schoonmaken van een gebouw en ventileren met buitenlucht essentieel voor de gezondheid.

Behalve voor de afvoer van dampen, gassen en deeltjes zorgt ventilatie ook voor de aanvoer van zuurstof. Voor deze functies van ventilatie heeft men een norm vastgesteld van rond de 35 m³/hr verse lucht per persoon (ISSO 33). De voorschriften in het Bouwbesluit over ventilatiemogelijkheden zijn van deze ventilatiebehoefte afgeleid.

2.4 Het creëren van een veilige omgeving

In een utiliteitsgebouw, bijvoorbeeld een werkplaats of een productiehal, waar gewerkt wordt met allerlei stoffen is ventilatie belangrijk voor de veiligheid en kwaliteit van de werkomgeving. Bij voor de menselijke gezondheid schadelijke stoffen wordt veelal gewerkt met MAC waardes (Maximaal Aanvaardbare Concentratie), welke niet overschreden mogen worden. In ruimtes waar gasleidingen lopen, die mogelijk kunnen lekken, of waar gas vrijkomt kan ventilatie voor verdunning van het gas zorgen. Die verdunning kan nodig zijn omdat het gas gevaarlijk is voor de gezondheid of wegens explosiegevaar. Men rekent dan uit hoeveel lucht er nodig is om onder een bepaalde concentratie te blijven (parts per million, ppm). Dit kan bijvoorbeeld de onderste explosie waarde (lower explosion level, lel) zijn. Er zijn dan soms meerdere ventilatiehoeveelheden voorgeschreven. De dosis die onder normale omstandigheden vrijkomt moet voldoende worden verdund door de normale ventilatie. De hoeveelheid die bijvoorbeeld bij een leidingbreuk vrijkomt moet voldoende worden verdund door verhoogde ventilatie bij een alarmsignaal van een gassensor of gasdetectiesysteem.

Bij kankerverwekkende stoffen is over het algemeen de eerste prioriteit het zoveel mogelijk beperken van het vrijkomen van deze stoffen (bronbeperking). Vervolgens wordt meestal afzuiging aan de bron en compartimentering toegepast waardoor de omgeving waarin de stof zich kan verspreiden zo klein mogelijk gehouden wordt door bijvoorbeeld zuurkasten, laminar flow kasten en dergelijke. Voorts kan algemene verdringing worden bewerkstelligd door een daarvoor ontworpen ventilatiesysteem toe te passen en ten slotte verdunning door zo'n zelfde ventilatiesysteem in combinatie met persoonlijke beschermingsmiddelen. Bij verdringingsventilatie wordt een zodanige luchtstroom gecreëerd in de richting van de concentratie van de gevaarlijke stof dat besmetting van personen praktisch niet mogelijk is. De te verplaatsen luchthoeveelheid is het resultaat van de minimale luchtsnelheid die veilig wordt geacht, maal het oppervlak dat wordt doorstroomd. Bij zuurkasten wordt bijvoorbeeld een minimale snelheid in de opening van 0,25 m/s gehanteerd. Bij nucleaire stoffen is dat 0,5 m/s. Bij zeer schadelijke gassen moet men zich bedenken dat gassen zich tegen de luchtstroom in kunnen verspreiden. Hiervoor moeten speciale maatregelen worden getroffen zoals bijvoorbeeld hermetisch gesloten handschoenenkasten met een onderdruk.

Laboratoria kunnen worden ingedeeld in klassen. Er zijn natuurkundige, chemische radiologische en biologische labs. In natuurkundige labs wordt meestal een ventilatievoud van 4 aangehouden en in chemische labs 6. Radiologische labs zijn er in 4 klassen: A, B, C en D. Een D-lab moet geventileerd worden met een ventilatievoud van 8, een C-lab met 10 en een A of B lab met 12 of meer als dat nodig is. Bij de meeste labs wordt een onderdruk in stand gehouden

om besmetting van de omgeving tegen te gaan. Bij stofvrije ruimtes, en steriele ruimtes, bijvoorbeeld operatiekamers, wordt juist een overdruk in stand gehouden om het binnendringen van vreemde deeltjes en besmetting van de ruimte zelf tegen te gaan. Bij het werken met zeer gevaarlijke stoffen, zoals bepaalde virussen worden ruimtes gebouwd met een zogenaamd dubbel containment, een dubbele schil. Dat gebeurt onder andere in sommige biologische labs, waar ook insecten niet mogen binnendringen of ontsnappen.

Bij ruimtes die moeten voldoen aan stofklassen ligt het anders. Afhankelijk van de stofproductie van de ruimte zelf en wat erin gebeurt, wordt de luchtverversing bepaald. Dat kan liggen in de orde van een verversingsvoud van 5 tot 20 keer per uur of nog meer. Ook de vochtigheid van die ruimtes is aan strenge eisen gebonden vanwege onder andere de statische lading van droge lucht. Als de lucht te droog en te statisch is dan worden de stofdeeltjes door hun statische lading gestuurd en niet door de luchtstroom. In een operatiekamer heerst ook een stofklasse vanwege het scheppen van een steriele omgeving. Voor dit soort ventilatie worden speciale filters gebruikt die tot hele kleine deeltjes vangen, de zogenaamde hepa filters. Een groot deel van de lucht wordt na afzuiging gefiltreerd en weer ingeblazen in de geconditioneerde ruimte. Voor de mensen die zich in de ruimte bevinden wordt, afhankelijk van het aantal mensen, verse lucht van buiten bijgemengd. Hierbij is dus sprake van gedeeltelijke recirculatie van de lucht, wat bij de overige toepassingen in dit hoofdstuk uit den boze is.

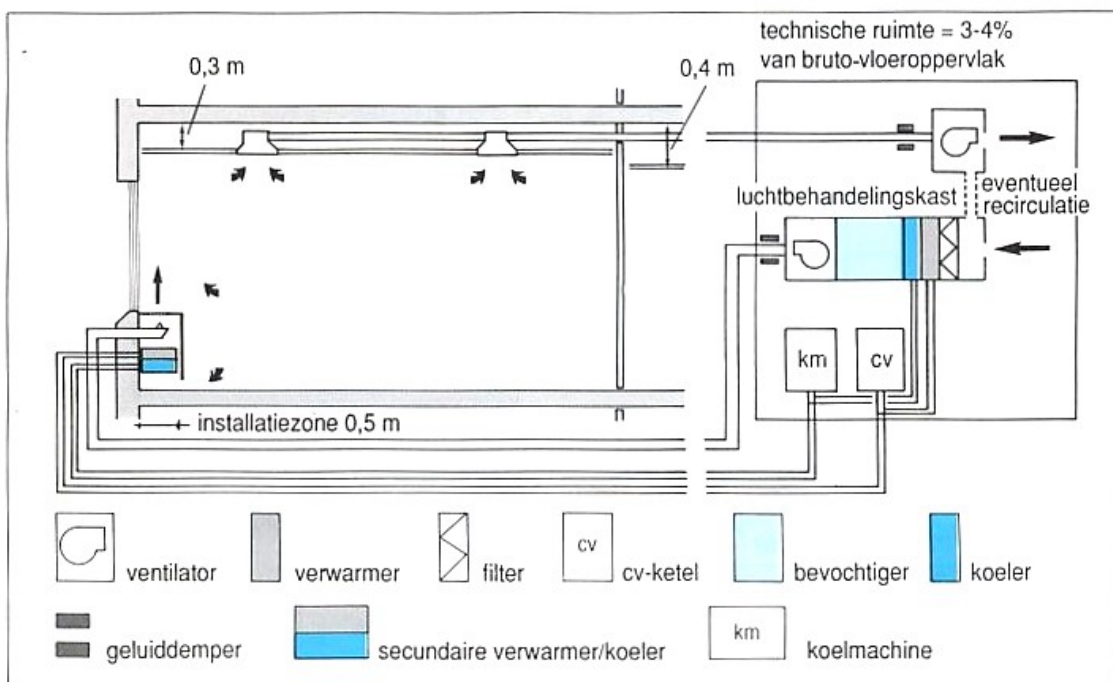
2.5 Transport van warmte, koude en vochtigheid

De toetreding van onbehandelde buitenlucht in een ruimte, bijvoorbeeld via raamroosters leidt in de winter vaak tot klachten over tocht. Daarom wordt de buitenlucht ook wel centraal van buiten aangezogen, verwarmd in een luchtbehandelingskast en via een kanalsysteem verdeeld over de kantoren. De temperatuur van de lucht wordt dan op 21 graden gehouden tenzij ook met lucht wordt verwarmd en gekoeld.

2.5.1 De luchtbehandelingskast, kanalen en roosters; mengen of verdringen

De ventilatielucht wordt meestal verzorgd door de luchtbehandelingskast (zie Figuur 1). Die zuigt lucht aan van buiten, filtert, verwarmt of koelt de lucht en blaast die door kanalen en roosters in de ruimte. Een afzuigunit met roosters, kanalen en een rooster of dakkap naar buiten verzorgt de afvoer van meestal dezelfde hoeveelheid lucht. Normaal gesproken mag de lucht niet kouder dan 21 graden worden ingeblazen in een kantoorruimte. Onder die temperatuur wordt de luchtstroom ervaren als tocht. Toch blaast men ook wel koudere lucht (bijvoorbeeld 16 graden) in om te koelen. Die lucht moet dan goed gemengd worden met de ruimtelucht. Hiertoe wordt de lucht hoog in de ruimte ingeblazen met een behoorlijke snelheid zodat door turbulenties de lucht wordt gemengd (mengventilatie). Men kan ook koudere lucht (minimaal 18 graden) laag inblazen met een heel lage snelheid (om tochtgevaar te voorkomen mag de snelheid niet hoger zijn dan 0,1 m/s). Dit noemt men verdringingsventilatie. Deze manier van koelen gebruikt minder ventilatie-energie en leidt tot schonere lucht omdat de stofdeeltjes niet verspreid worden maar voornamelijk één kant uitgaan naar het afvoerrooster.

Om het vernietigen van energie tegen te gaan is het aan te raden om met het centrale systeem geen koudere lucht te maken dan 18 graden. Daardoor wordt het aanslaan van verwarming in toch al koele ruimtes tegengegaan. Het omgekeerde is ook waar: door centraal de lucht teveel te verwarmen kunnen lokaal koelelementen in werking treden waardoor ook energievernietiging plaatsvindt.



Figuur 1: Installatieschema voor volledige airconditioning

2.5.2 Verwarmen en koelen met lucht

Warmte en koude kunnen op verschillende wijze in een gebouw worden aangevoerd en gedistribueerd. Voor het verspreiden van warmte zijn radiatoren en vloerverwarming een bekend verschijnsel en ook luchtverwarming wordt toegepast. Voor verspreiding van koude worden soms stralingsplafonds gebruikt maar meestal lucht. Deze lucht kan dezelfde zijn als die welke voor verversing van de ruimte wordt gebruikt (zie ook vorige paragraaf over de luchtbehandeling). Meestal is echter meer lucht nodig voor het transport van verwarming en koeling dan de standaard hoeveelheid lucht die voor het welbevinden van de mensen nodig is. Dat komt omdat de hoeveelheid koude of warmte die toegevoerd moet worden in dat geval zo groot is dat de inblaasttemperatuur te laag of te hoog zou worden. In dat geval wordt dus meer lucht ververst dan nodig is of zou lucht kunnen worden gerecirculeerd. Het laten recirculeren van lucht door kanalen in een gebouw brengt echter grote risico's met zich mee omdat die lucht sterk vervuild is¹. In de kanalen kan de vervuiling zich ophopen en aanleiding geven tot de groei van schimmels, bacteriën en huismijt. Daarom wordt recirculatie zelden nog toegepast. Een deel van de verwarming en koeling wordt dan door de standaard hoeveelheid lucht verzorgd en het resterende deel door recirculatie in de ruimte zelf. De apparaten die dit doen heten fancoil units. Ze zitten in de borstwering of hangen aan het plafond. Ze zuigen lucht uit de ruimte aan, verwarmen of koelen die en blazen de lucht weer uit. De ondergrens van de recirculatietemperatuur ligt rond de 11 graden en is alleen mogelijk bij zeer goede menging omdat anders tocht wordt ervaren met als gevolg bijvoorbeeld een stijve nek². Omdat hier geen

¹ Alleen als de vervuiling laag is omdat het gebouwvolume groot is ten opzichte van het aantal mensen, dat zich in het gebouw bevindt kan recirculatie worden toegepast mits de recirculatielucht goed wordt gefilterd. Verlaging van de hoeveelheid toegevoerde lucht is in dit geval niet mogelijk omdat dan de ruimte-eisen niet kunnen worden gehaald in verband met constantheid van temperatuur, stofbelasting en luchtvochtigheid.

² Het gaat hierbij om de combinatie van luchttemperatuur, luchtsnelheid en straling. Hoe lager de luchttemperatuur hoe lager de comfortgrens voor de luchtsnelheid. Bij een koude luchtinblaas van bijvoorbeeld 15 graden moet de inblaassnelheid hoog genoeg zijn om voldoende turbulentie en menging van koude en warme lucht te krijgen. Het resultaat van die menging is een temperatuur van bijvoorbeeld 20 graden en de snelheid moet dan afgenomen zijn tot 0,15 m/s voordat de lucht in de buurt van mensen komt. Is de lucht die men op de huid krijgt kouder dan moet ook de snelheid omlaag bijvoorbeeld naar 0,8 m/s.

Bij het gebruik van een koelplafond zijn de luchtsnelheden meestal laag omdat er geen transport van koude via lucht nodig is. Door de koudestraling mag de luchttemperatuur op de huid echter niet te koud zijn omdat in dat geval ook

sprake is van kanalen is het vervuilingprobleem minder groot. De units moeten wel regelmatig worden schoongemaakt.

In het koelseizoen kan met meer lucht worden geventileerd dan de minimaal vereiste hoeveelheid in de winter door bijvoorbeeld de ventilatoren op te toeren of door meer ramen open te zetten. Deze extra luchthoeveelheid zorgt voor een snellere afvoer van warmte uit de ruimte. Dit is een vorm van passieve koeling. Hiertoe wordt het ventilatievoud bijvoorbeeld opgevoerd van 1,5 naar 4 keer per uur. Als de buitenlucht te warm is werkt dat niet meer. Door het tegen elkaar open zetten van ramen kan de verversing verder opgevoerd worden naar 8 of 12. Dan zorgt de snelheid van de lucht voor extra verkoeling door verdamping op de huid.

Deze hoge verversing kan ook 's nachts worden gebruikt om het gebouw zelf af te koelen (zomernachtventilatie). Dit kan niet met mechanische ventilatie omdat dat bijna net zoveel elektriciteit zou kosten als wanneer men overdag een koelcompressor zou gebruiken³. Bij intensieve natuurlijke ventilatie in de nacht moeten ramen zo worden geconstrueerd dat ze automatisch open gaan wanneer de condities voor zomernachtventilatie gunstig zijn. Er zijn immers geen mensen in het gebouw die de ramen kunnen bedienen. Ook moeten er afvoeropeningen boven in het gebouw en ook tussendeuren automatisch worden bediend. Vooral op de begane grond moeten de ramen of openingen goed beveiligd worden tegen inbraak. Bij een goed ontwerp kunnen op deze wijze ventilatievouden worden bereikt van 8 tot 12 waardoor een gebouw aanzienlijk kan worden gekoeld in de nacht. Bij voldoende afgekoelde gebouwmassa is dan overdag geen aanvullende koeling nodig.

2.5.3 Vochtigheid

Infiltratie door kieren en naden van een gebouw zorgen vooral in de winter en bij wind voor de toetreding van een wisselende hoeveelheid verse lucht. Tijdens de gebruikstijden van een gebouw komt daar nog de natuurlijke of mechanische ventilatie bij. Zo komt het dat de hoeveelheid vocht in de lucht (de absolute vochtigheid) binnen en buiten een gebouw niet ver uit elkaar liggen. De vochtigheid binnen volgt met enkele uren vertraging de vochtigheid buiten afgezien van verstoringen. De aanwezigheid van mensen in een gebouw is zo'n verstoring. Afhankelijk van het aantal mensen, de binnentemperatuur en de activiteit van de mensen komt er weinig of veel vocht vrij in de ruimte. Als de vochtigheid in een ruimte aan de hoge kant is kan condens ontstaan op koude plaatsen. Dat kunnen koudebruggen zijn waar de isolatie niet goed is. Koude plaatsen kunnen ook gebouwdelen zijn die niet of niet snel genoeg op temperatuur komen bijvoorbeeld een dikke betonnen vloer. Bij een verschil van meer dan 5 graden tussen het betreffende oppervlak en de langsstromende lucht kan al condensatie optreden, afhankelijk van de vochtigheid van die lucht.

Wintersituatie

Als lucht warmer wordt, daalt de relatieve vochtigheid omdat warme lucht meer vocht kan bevatten. Als de lucht afkoelt stijgt de relatieve vochtigheid en zal de waterdamp ten slotte condenseren. De relatieve vochtigheid van de buitenlucht die een gebouw in de winter binnen treedt zal dus sterk dalen. Het gevolg is dat vocht dat in de gebouwmassa is opgeslagen zal verdampen. Ook de mensen in het gebouw produceren vocht. Als er relatief sterk geventileerd wordt ten opzichte van het aantal aanwezige mensen dan zal de relatieve vochtigheid laag zijn. Als het gebouw na verloop van tijd is "uitgedroogd", daalt de relatieve vochtigheid van de lucht nog verder en ontstaat een droge atmosfeer en kunnen de slijmvliezen van mensen die daar gevoelig voor zijn geïrriteerd raken. Die irritatie ontstaat meestal door een combinatie van droge en vervuilde lucht. Door een goede filtratie van de lucht (in de luchtbehandelingskast) en het

sprake is van discomfort. Als de stralingstemperatuur van het plafond bijvoorbeeld 15 graden is dan mag de luchttemperatuur niet lager zijn dan 23 graden. Als de lucht dan 20 graden zou zijn kan ook verstijving van spieren optreden.

³ Bij labs kan men de vaak verplichte ventilatie in de nacht op een lagere temperatuur instellen zodat de massa van het gebouw wordt afgekoeld.

beperken van de stofproductie en stofverspreiding in het gebouw en schoonmaken kan een groot deel van de irritatie worden vermeden. Als de klachten blijven kan worden gedacht aan bevochtiging van de ruimtes waar de klachten vandaan komen of, als het gaat om verspreide klachten, bevochtiging in de centrale luchtbehandeling. Een relatieve vochtigheid van 30% wordt gezien als een aanvaardbare ondergrens.

Zomersituatie

De relatieve vochtigheid in een relatief koele binnenruimte zal stijgen als warme buitenlucht die ruimte binnenstroomt. Met de vochtproductie van de mensen in de ruimte zelf erbij kan de vochtigheid tot boven de comfortgrens van 80% stijgen. Het verhogen van de ventilatie en de luchtsnelheid is meestal wel voldoende om het effect van de hoge vochtigheid tegen te gaan. Door meer luchtverplaatsing wordt de verdamping op de huid bevorderd wat leidt tot afvoer van lichaamswarmte en natuurlijke koeling. Onder bepaalde omstandigheden kan het nodig zijn mechanisch te koelen. In het koelement wordt de lucht dan sterkt afgekoeld waardoor veel vocht condenseert. De lucht wordt dus koeler en droger. In centrale luchtbehandelingskasten wordt de lucht soms vóórintvochtigd om te voorkomen dat in de nakoelers in de kantoren condensatie ontstaat. Dat kost extra energie. Bij koeling door koelplafonds of vloerkoeling moet men de vochtigheid goed bewaken omdat anders condens kan ontstaan op het koele oppervlak.

Redelijke grenzen voor de relatieve vochtigheid zijn dus in de winter 30% als ondergrens en in de zomer 80% als bovengrens. Dit zijn grenzen waarbinnen de meeste mensen de vochtigheid acceptabel vinden. Of deze grenzen ook voor de gezondheid van mensen acceptabel is moet op een andere manier worden benaderd. Daarbij moet men onder andere bedenken dat de groeiomstandigheden voor huismijt bij 21 °C meestal boven een relatieve vochtigheid van 50-60% al gunstig zijn. Wil men een hogere vochtigheid toestaan dan zullen de leefomstandigheden voor dit ongedierte moeten worden verslechterd door bijvoorbeeld gladde vloerbedekking toe te passen of door intensievere schoonmaakacties. Voor het behoud van kunstschaten en archieven zijn vaak veel krappere marges van de luchtvochtigheid vereist. Dat kost veel extra energie. Dat computers ook strengere temperatuur- en vochtigheidsgrenzen eisen was vroeger zo maar tegenwoordig zijn geen extra maatregelen nodig.

2.5.4 Overzicht van verschillende ventilatiesystemen en toepassingen

In Tabel 1 worden in grote lijnen de verschillende ventilatieprincipes op een rij gezet met de gebouwtypes waarin ze meestal voorkomen en een indicatie voor het energiegebruik.

Tabel 1: *Overzicht van verschillende ventilatiesystemen en hun toepassingen*

Wijze van ventilatie	Toepassing	Energiegebruik
Natuurlijke ventilatie bestaande uit raamroosters, te openen ramen, geen afzuigventilatoren	oude gebouwen	gering
Natuurlijke ventilatie bestaande uit raamroosters, te openen ramen gecombineerd met mechanische afzuiging van toiletten en centrale ruimten	kleinere, oudere gebouwen	redelijk
Mechanische ventilatie met toevoer- en afvoerkanalen en -ventilatoren en luchtbehandelingskasten zonder warmteterugwinning en zonder koeling	grotere gebouwen; laboratoria	hoog
Idem met koeling	grotere gebouwen; kantoorstorens	zeer hoog
Mechanische ventilatie als boven met warmteterugwinning	moderne gebouwen	redelijk

2.6 Richtlijnen en wettelijke eisen voor ventilatie

Voor ventilatie van een ruimte is het aantal in de ontwerpsituatie aanwezige personen meestal maatgevend. In Tabel 2 worden de gebruikelijke verversingen weergegeven.

Tabel 2: *Luchtverversingen in gebouwen*

	luchtverversing
Niet roken per persoon	35 m ³ /hr
Roken per persoon	50 m ³ /hr
	Aantal luchtwisselingen per uur
Woning	0,5-1
Kantoor	1-1,5
Laboratorium	4-12
Bibliotheek	4-5
Bioscoop	4-8
Garage	4-5
Sporthal	1
Supermarkt	4-6
Operatiekamer	15-20
Zwembad	3-4

bron: Isso publicatie 33

2.7 Besparingsmogelijkheden voor ventilatie

Bij woningen kan de hoeveelheid ventilatielucht worden teruggebracht door zogenaamde dwarsventilatie toe te passen. Hierbij gaan we ervan uit dat de bewoners overdag in de meeste woningen beneden zijn en 's nacht boven in de slaapkamer. Een van beide ruimtes wordt dus gebruikt. Men kan ook overdag beneden en 's nacht boven ventileren. Hetzelfde principe kan men toepassen op utiliteitsgebouwen die een groot deel van de tijd een lage bezetting hebben (in studies hierover wordt een gemiddelde genoemd van 65%). Men ventileert dan afhankelijk van de signalen van aanwezigheidsdetectie in de vorm van infrarood, geluid en/of CO₂ metingen. De manier van ventileren in de praktijk staat los van de minimaal voorgeschreven capaciteit van het ventilatiesysteem die in Tabel 2 is genoemd en die aanwezig moet zijn. In de praktijk is het aantal aanwezige mensen en hun behoefte aan lucht zoals hierboven omschreven maatgevend. Het reduceren van de ventilatie in relatie tot de bezetting van het gebouw is vrijwel altijd binnen vijf jaar rendabel in geval van een Variabel Volume (VAV) systeem. Ook in grote ruimten zoals een bioscoop, een sporthal en een parkeergarage is dat het geval. Het uitschakelen van de ventilatie na bedrijfstijd is de meest simpele en winstgevende vorm van ventilatie afstemmen op behoefte. Het inschakelen wordt meestal een uur voor het begin van de werktijd gedaan om luchtjes uit het gebouw weg te ventileren.

Hieronder worden nog een viertal mogelijkheden genoemd van besparingen die kunnen worden bereikt door het ventilatiesysteem op een goede manier te ontwerpen en te gebruiken.

2.7.1 Besparing door minimaliseren van ventilatielucht in het ontwerp

In de winter moet, bijvoorbeeld bij een kantoor, de minimale ventilatie voor personen beschouwd worden als maximale luchthoeveelheid voor verversing. Overschrijding van deze waarde geeft een extra warmteverlies. De minimale hoeveelheid lucht voor personen is gebaseerd op de geplande bezetting van een ruimte. Dat is bijvoorbeeld het aantal werkplekken in een kantoor, het aantal zitplaatsen in een bioscoop en dergelijke. In vergaderruimten is de bezetting meestal hoog en daardoor de benodigde ventilatie ook. Hier is de ventilatie eenvoudig

te koppelen aan de bezetting van de vergaderruimte. Dat kan door de vergadertijden te koppelen aan de ventilatie- en koelinstallatie via het gebouwbeheerssysteem (uiteeraard met overbruggingsknop in de ruimte zelf en aan de het eind van de dag een reset van die knop).

2.7.2 Roken, niet roken

Bij bestaande gebouwen werd bij het ontwerp meestal uitgegaan van een percentage rokers. Roken op de werkplek was immers tot voor kort toegestaan. Voor rokers geldt een hogere luchtverversingshoeveelheid dan voor niet rokers. Omdat roken op de werkplek inmiddels verboden is, zijn veel bestaande ventilatie-installaties als het ware op dit moment bovengedimensioneerd. Bij een herberekening van het aantal werkplekken vermenigvuldigd met een verversing van 35 m³/uur komt men in veel gebouwen op een aanzienlijk lagere hoeveelheid ventilatielucht uit dan in de bestaande situatie. Door het terugregelen, ook wel aftoeren genoemd, van de ventilatoren kan men de werkelijke hoeveelheid geventileerde lucht terugbrengen. Het is raadzaam om de luchtverdeling dan te controleren en zonodig opnieuw in te regelen omdat sommige instelcomponenten zich niet lineair gedragen. De warmtevraag van het gebouw zal verminderen maar ook het elektriciteitsverbruik door de ventilatoren zal behoorlijk teruglopen. De weerstand van de kanalen en roosters neemt immers exponentieel toe met de snelheid van de lucht en zal dus ook kwadratisch afnemen bij het terugregelen. De besparingen door deze maatregel zijn groot en meer dan evenredig met de reductie van de ventilatie. Bij een halvering van de ventilatie, wat in veel gevallen mogelijk is, zal ook de verwarmingsenergie voor de ventilatielucht worden gehalveerd. Daar komt de elektriciteitsbesparing van de ventilatoren nog bij. Die reductie is kwadratisch. Bij een halvering van de ventilatie gaat de elektriciteit dus terug naar een kwart. Bij ventilatie is de verhouding tussen verwarmingsenergie en elektriciteit voor de ventilatoren ongeveer 3 staat tot 1. Het onderhoud aan de installaties zal ook worden gereduceerd (standtijd van de filters verdubbelt, evenals de levensduur van de ventilatoren en de vervuilingstermijn van kanalen). De terugverdientijd van deze maatregel is dan ook ruim binnen vijf jaar. Een bijkomend voordeel is dat bij het terugregelen van de luchthoeveelheid ook in de meeste gevallen de geluidsproductie van de ventilatie-installatie afneemt.

2.7.3 Besparing door belastingafhankelijk ventileren

Zoals hierboven is vermeld, wordt de capaciteit van de ventilatie afgestemd op de theoretische bezetting van een gebouw. In de praktijk is deze bezetting bijna nooit 100%. In kantoren is de bezetting gemiddeld rond de 65%. Buiten bedrijfstijd is de bezetting vrijwel nul. Door dit gegeven ontstaan mogelijkheden voor grote besparingen. Het uitschakelen van de ventilatie buiten bezettingstijd is de eenvoudigste en meest efficiënte maatregel. Binnen kantoorruimten kan de ventilatie op aanwezigheid worden gestuurd. Bij verwarming en koeling met behulp van lucht kan de hoeveelheid lucht worden afgestemd op de warmte- en koudevraag. Dit gebeurt bij de zogenaamde variabel volume systemen (VAV's). Bij gevaar voor het ontsnappen van gevaarlijke stoffen kan de ventilatie worden geregeld op basis van gevoelige sensoren. Ten slotte kan bij een ruimte met een stofklasse de hoeveelheid lucht worden geregeld op basis van de stofbelasting.

In een openbare ruimte zoals een museum, bioscoop of sporthal kan de ventilatie worden geregeld op basis van het aantal bezoekers (zie 2.9.4).

Besparing door recirculatie kan alleen indien er sprake is van grote ruimtes met relatief weinig gebruikers en goede filtratie van de recirculatielucht. Dit kan bijvoorbeeld bij grote musea worden toegepast.

2.7.4 Besparing door passieve koeling

Buiten het stookseizoen kan de minimale ventilatie worden opgevoerd en zodoende een bijdrage leveren aan koeling (ventilatievoud van bijvoorbeeld 4). Dit geeft een besparing op de energie voor compressiekoeling.

2.7.5 Warmteterugwinning

De verversing van lucht gaat gepaard met een aanzienlijk warmteverlies. Vuistregel voor dat verlies is: 1 m³ luchtverversing geeft een energieverbruik van ongeveer 0,5 m³ gas per jaar. De koude buitenlucht wordt immers in het gebouw opgewarmd en verlaat het gebouw met de binnentemperatuur. Dit warmteverlies is meestal in dezelfde orde van grootte als de warmte die door de schil het gebouw verlaat. Warmteterugwinning uit de ventilatielucht kan de warmtevraag van een gewoon gebouw met eenderde tot de helft verminderen. De verversing die plaats vindt door een luchtbehandelingkast, toevoerkanalen en een afzuigstelsel is meestal geschikt voor warmterugwinning. Als de centrale toevoer en afvoersystemen bij elkaar in de buurt liggen kan in het stookseizoen de warmte uit de afvoerlucht worden teruggewonnen om de toevoerlucht op te warmen. Dit heet gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Het achteraf aanbrengen van warmteterugwinning is alleen binnen vijf jaar terug te verdienen als de omstandigheden ter plaatse gunstig zijn in verband met de ligging van de luchtkanalen en de beschikbare ruimte. Er zijn ook systemen met mechanische afvoer en natuurlijke toevoer. Die toevoer vindt plaats door roosters in de gevel, meestal in de kozijnen. Dat leidt in de winter tot tocht en de warmte uit de afzuiging kan niet op simpele wijze teruggewonnen worden omdat de toevoer verspreid plaatsvindt.

In gebouwen met verhoogde ventilatie uit hoofdstuk 2.4. "Het creëren van een veilige omgeving" is het warmteverlies veel groter dan bij bijvoorbeeld een kantoor vanwege de extra luchtverversing in deze gebouwen. Recirculatie om het warmteverlies te beperken is meestal niet mogelijk vanwege de veiligheid. Warmteterugwinning is om twee redenen lastig. Enerzijds vanwege de vaak chemisch agressieve dampen en gassen waardoor speciale bestendige materialen moeten worden gebruikt. Anderzijds vanwege de mogelijkheid van besmetting van de verse lucht door mogelijke lekkage van de warmtewisselaar. Deze zaken maken de warmteterugwinning vaak duurder dan normaal. Toch worden steeds meer labs en werkplaatsen met warmteterugwinning uitgevoerd omdat de bedrijfstijden vaak lang zijn en de energiewinst dus hoog. Om toch een behoorlijke opbrengst te kunnen halen worden soms twee kruisstroomwisselaars in serie gezet.

2.8 Samenvatting besparende maatregelen voor ventilatiesystemen

In de volgende tabel worden de belangrijkste besparende maatregelen uit de voorgaande paragrafen nog even op een rij gezet.

Tabel 3: *Opsomming van soorten ventilatiesystemen en besparingsmogelijkheden*

Wijze van ventilatie	Energiegebruik	Besparingsmaatregelen
Natuurlijke ventilatie bestaande uit raamroosters, te openen ramen, geen afzuigventilatoren	gering	Fijnafstelling of motorische bediening monteren op te openen ramen of roosters al of niet aangesloten op gebouwbeheerssysteem; zomernachtventilatie toepassen.
Natuurlijke ventilatie bestaande uit raamroosters, te openen ramen gecombineerd met mechanische afzuiging van toiletten en centrale ruimten	redelijk	Zie boven en ventilatoren uitschakelen na werktijd; ramen dicht na werktijd.
Mechanische ventilatie met toevoeren afvoerkanalen en -ventilatoren en luchtbehandelingskasten zonder warmteterugwinning en zonder koeling	hoog	Niet meer ventileren dan nodig is; zie o.a. Tabel 1, paragraaf 2.7.2. Roken, niet roken, bezetting- of vervuilingafhankelijk; eventueel hoog/laag inbouwen: winter vv=2, boven 14 °C vv=4; na werktijd ventilatie uit; twin coil ⁴ of warmtepomp inbouwen
Idem met koeling	zeer hoog	Niet vóórkoelen onder 18 graden; inblaas niet boven 21 graden; koudwatertemperatuur niet onder 13, alleen bij ontvochtigen 6 graden; comforteisen verruimen vgs ISSO 74; zomernachtventilatie toepassen.
Idem met be- en ontvochtiging	zeer hoog	Ruime marges voor vochtigheid (30-80%); ontvochtigen zo ontwerpen dat geen naverwarming nodig is (kleine batterijen, grote bypass factor); bevochtiging ultrasoon of gasgestookt.
Idem met warmteterugwinning (gerangschikt in oplopend rendement van 50-80%): (twin coil, kruisstroomwisselaar, heat pipe, warmtewiel, intermitterende wisselaar, bijvoorbeeld Kanttherm,) ⁵	redelijk	Vochtterugwinning in de winter met zoutwiel; systeem met hoger rendement kiezen; pompschakelingen, toerenregelingen ventilatoren.

⁴ Als toe- en afvoerkanalen niet bij elkaar in de buurt liggen is een kruisstroomwisselaar of een warmtewiel (zie volgende noot) niet mogelijk. In dat geval plaatst men in het toevoer- en afzuigkanaal een lucht/water warmtewisselaar en verbindt deze door een watercircuit. Het energetisch rendement is laag, ongeveer 50% en de kosten zijn hoog, zodat deze optie alleen in bij geschikte omstandigheden kan worden toegepast, bijvoorbeeld het uitsparen van een extra ketelinstallatie bij uitbreiding.

De afzuiglucht kan ook gebruikt worden als bron voor een warmtebron voor bijvoorbeeld de vloerverwarming van een grote ruimte. Bij een verbouwing kan deze optie interessant zijn.

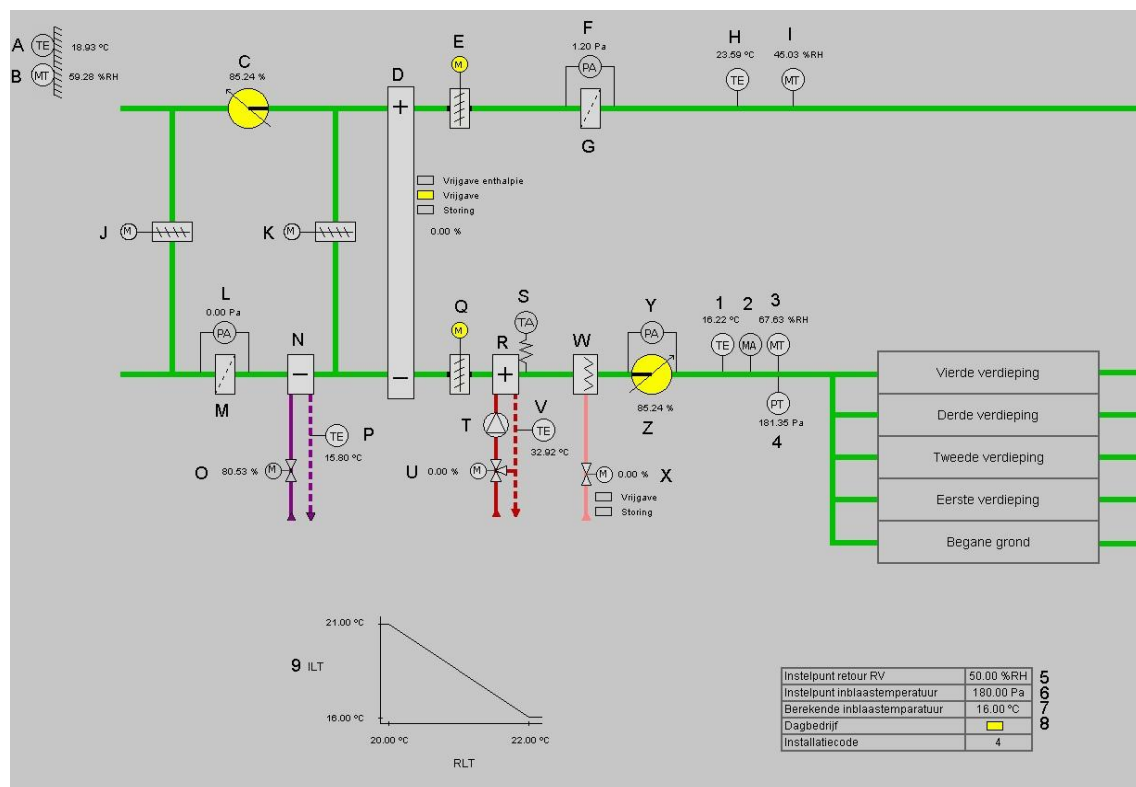
⁵ Als de toe- en afvoerkanalen vrijwel tegen elkaar aanliggen kan de warmte worden overgedragen door een warmtewiel waarvan de schoepen opwarmen het afzuigkanaal en afkoelen in het toevoerkanal; bij een heat pipe lopen pijpjes door beide kanalen waarin een koelmiddel zit dat verdampt in het afzuigkanaal en condenseert in het toevoerkanal; een kruisstroomwisselaar werkt hetzelfde als een warmtewisselaar in de woning. De uitvoering voor utiliteitsgebouwen heeft een veel lager rendement (60%).

2.9 Voorbeelden

Hierna worden nog vier voorbeelden gegeven van succesvolle besparingsacties in de praktijk.

2.9.1 Het museum

In het Rijksmuseum is de voorgeschreven kwaliteit van de lucht met betrekking tot vervuiling, temperatuur en vochtigheid bepalend voor de hoeveelheid ventilatielucht. Om die kwaliteit te kunnen meten en regelen is een minimale verversingssnelheid van de lucht noodzakelijk. Om voldoende spoeling van de ruimtes te kunnen garanderen is drie keer zoveel lucht nodig dan noodzakelijk zou zijn op basis van het aantal bezoekers. Dat komt omdat het volume van de verblijfsruimten ten opzichte van het vloeroppervlak erg groot is, de ruimtes zijn vaak erg hoog. Hier wordt daarom tweederde van de ventilatielucht gerecirculeerd om verwarmingsenergie te besperken. Omdat de belasting van de lucht door vervuiling laag is en omdat de lucht intensief gefilterd wordt kan dit zonder bezwaren. Overigens wordt de warmte uit de ververste lucht teruggewonnen. In deze situatie wordt dus veel lucht gerecirculeerd om de condities van de kunst goed te kunnen bewaken en besturen en wordt slechts een derde deel van die lucht ververst met buitenlucht. Dat deel is gerelateerd aan het aantal bezoekers en moet ervoor zorgen dat er voldoende zuurstof aanwezig is.



Figuur 2: Voorbeeld van een principeschema voor de luchtbehandeling met de mogelijkheid voor recirculatie.

De verklaringen van de hoofdletters is te lezen op de volgende pagina.

Verklaring van de letters en cijfers:

C	Afzuigventilator
Y	toevoerventilator
F, M	filters
N	koelbatterij
R	verwarmingsbatterij
D	warmteterugwinning
W	bevochtiging
J, K, E, Q	kleppenregisters; J opent voor recirculatie, K voor ontvochtiging

2.9.2 Werkplaatsen en laboratoria in een groot onderzoekscentrum

In de zuurkasten in de laboratoria kunnen proeven worden gedaan met gevaarlijke stoffen. De kast wordt afgezogen en door het geopende schuifraam stroomt de lucht de kast in. De luchtsnelheid door de raamopening is zo groot (ongeveer 0,25 m/s) dat er normaal gesproken geen deeltjes en dampen uit de kast in de laboratoriumruimte kunnen komen. Het systeem is gevoelig voor verstoringen. Daarom mogen zuurkasten niet bij een deur worden gebouwd en niet in een looppad. In werkplaatsen en laboratoria ziet men ook afzuigkappen en puntafzuigingen, bijvoorbeeld laskappen. Die zijn heel nuttig omdat gassen en dampen worden afgezogen voordat ze het binnenmilieu kunnen belasten. Als gassen en dampen zich in de ruimte verspreiden, moeten ze in verdunde vorm worden weggeventileerd en dat kost veel meer lucht en energie. Puntafzuigingen, afzuigkappen en zuurkasten zijn ook om een andere reden nuttig. Ze voeren de eventuele warmte van het experiment direct af. Hierdoor hoeft de ruimte zelf minder te worden gekoeld. Bij opstellingen die veel warmte ontwikkelen is het vrijwel altijd gunstiger om de opstelling zelf te koelen dan de ruimte waar de opstelling in staat.



Figuur 3: Twee zuurkasten, de achterste met het raam open en de voorste met het raam gesloten

Alle afgezogen lucht moet ook weer worden aangevuld door verse lucht via het luchtbehandelingssysteem. De afzuiginstallaties vormen dan ook een onderdeel van de

ventilatie. Voor een chemisch lab geldt een minimale verversing van 6 keer per uur. De zuurkasten en afzuigkappen vormen de afzuiging of een deel ervan. Het kan ook zijn dat door zuurkasten en afzuigkappen meer wordt afgezogen dan voor het ventilatievoud van 6 nodig zou zijn. Dan wordt ook de toevoer opgevoerd om afzuig- en toevoerhoeveelheid lucht weer in balans te brengen. Voor zover het ventilatievoud niet boven de 6 komt moeten de afzuigsystemen in bedrijfstijd aan blijven staan. Voor zover het ventilatievoud wel boven de minimaal voorgeschreven 6 keer per uur komt moeten afzuiginstallaties als ze niet gebruikt worden, worden uitgeschakeld. De toevoer wordt dan ook automatisch teruggeregeld. Dit kan een aanzienlijke energiebesparing betekenen. 's Nachts kan het ventilatievoud in laboratoria terug naar 2 mits de veiligheid dat toelaat.

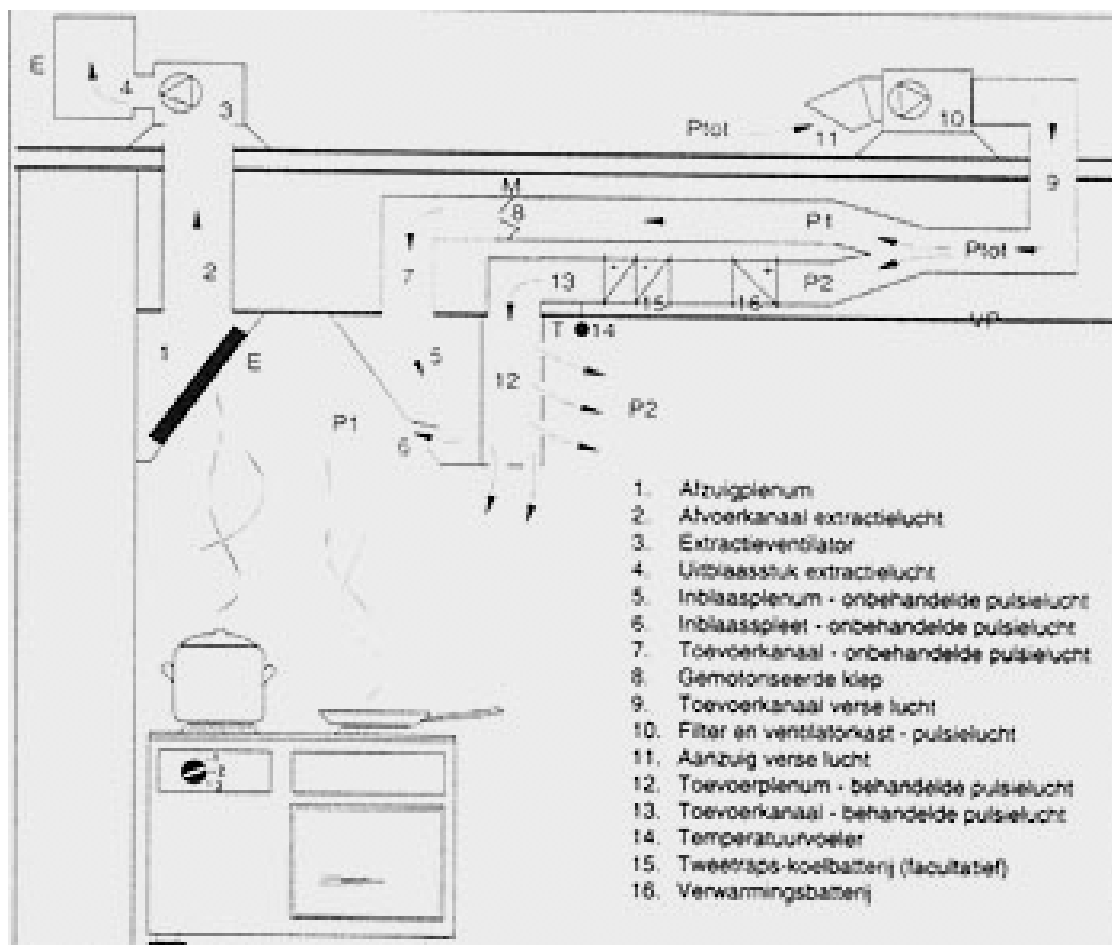
Een goede spoeling van de ruimte wordt niet zozeer bepaald door de positie van afzuiging maar meer door de plaats en richting van de toevoerroosters. Afzuiging is richtingongevoelig. Toevoer van lucht heeft een in te stellen snelheid en richting, ook wel worp genoemd. Door die worp goed in te stellen wordt ervoor gezorgd dat een ruimte goed wordt gespoeld en geen dode hoeken ontstaan.

Bij een onderzoekscentrum is flexibiliteit van de installatie een eerste vereiste omdat experimenten doorgaans een beperkte tijdsduur hebben. Die kan variëren van enkele maanden tot enkele jaren. Daarna moet de ruimte weer opnieuw worden ingericht en verwarming, ventilatie en koeling weer opnieuw worden ingesteld. Vaak worden die installaties bovengedimensioneerd om een zo groot mogelijke flexibiliteit te kunnen waarborgen. Het is dan onvermijdelijk om pompen en ventilatoren te voorzien van elektronische toerenregelingen om energiezuinig terug te kunnen regelen.

In laboratoria wordt tegenwoordig steeds meer gebruik gemaakt van warmteterugwinning ondanks het feit dat dit extra kosten met zich mee brengt ten opzichte van toepassing in kantoren. Warmteterugwinning is om twee redenen lastig. Enerzijds vanwege de vaak chemisch agressieve dampen en gassen waardoor speciale bestendige materialen moeten worden gebruikt. Anderzijds vanwege de mogelijkheid van besmetting van de verse lucht door mogelijke lekkage van de warmtewisselaar, waar extra aandacht aan moet worden besteed. Toch worden steeds meer labs en werkplaatsen met warmteterugwinning uitgevoerd omdat de bedrijfstijden vaak lang zijn en de energiewinst dus hoog. Hierbij worden zelfs twee kruisstroomwarmtewisselaars in serie geplaatst om het totaalrendement op een zo hoog mogelijk niveau te krijgen. Andere hoogrendementwarmtewisselaars zijn niet geschikt vanwege de lek tussen toevoer en afvoerlucht wat bij een laboratorium niet toelaatbaar is.

2.9.3 Grootkeuken met inductieafzuigkap

De afzuiging van de kookplaats in een woning wordt hooguit een uur per dag gebruikt. In bedrijfskantines en restaurants kan het zijn dat die afzuiging een groot deel van de dag aanstaat. Deze afvoer van lucht komt in de plaats van de normale afzuiging die in moderne gebouwen vaak is aangesloten op warmteterugwinning. De lucht in een afzuigkap is doorgaans zozeer vervuild dat die niet geschikt is om door een warmtewisselaar te leiden. Het kan ook zijn dat de afgezogen lucht van de kookplaats een extra verversing van het restaurant betekent boven op de minimaal benodigde ventilatie. De afzuiging van de kookplaats brengt in alle gevallen een extra warmteverlies met zich mee omdat de warmte niet kan worden teruggewonnen. Om verspreiding van de kookluchtjes zoveel mogelijk te vermijden wil men de luchtstroom in de richting van de kookplaats zo hoog mogelijk laten zijn. Daarbij gaat het al gauw om grote luchthoeveelheden en dus een groot warmteverlies. Om dit verlies te beperken is het gebruik van zogenaamde inductiekappen aan te raden. Deze kappen zijn voorzien van een aanzuig van buitenlucht die als luchtgordijn aan de rand van de afzuigkap wordt ingeblazen. Deze lucht wordt niet verwarmd en veroorzaakt dus geen warmteverlies. De onverwarmde lucht wordt met de kookdampen afgezogen. Een extra voordeel van deze constructie is dat de overvloedige warmte die op de kookplaats wordt ontwikkeld als het ware wordt weggekoeld met het buitenluchtgordijn.



bron: De Kobra B-1745 Opwijk, België

Figuur 4: *Keukenluchtbehandeling met inductieafzuigkap*

Op het plaatje is te zien dat er twee inblaasluchtstromen zijn. De ene stroom (P2) wordt verwarmd of gekoeld en wordt de keuken in geblazen. De andere stroom (P1) wordt onverwarmd via opening 6 in de afzuigkap geblazen en neemt de kookdampen via het filter E mee naar het afzuigkanaal 2. De luchtstroom P1 wordt niet verwarmd hetgeen een grote besparing is. Deze luchtstroom vervangt in feite warme lucht die uit de keuken zelf zou worden gezogen en dus een warmteverlies zou veroorzaken.

2.9.4 CO₂-geregelde ventilatie in sporthallen

De ventilatie in sporthallen wordt gedimensioneerd op een maximale bezetting die in de praktijk maar weinig voorkomt. Om verwarmingsenergie te besparen kan de hoeveelheid ventilatielucht in de meeste tijd worden teruggeregeld afhankelijk van de aanwezigheid van mensen en de sportieve inspanning van sommigen van hen. Een goede maat daarvoor is de hoeveelheid CO₂ die door de mensen wordt geproduceerd bij de ademhaling. Daarom is een op het CO₂ gehalte van de lucht geregelde ventilatie een goede manier om energie te besparen in een sporthal. De terugverdientijd van deze optie is afhankelijk van de omstandigheden en ligt vaak in de orde van drie tot vijf jaar

3. Energiezuinige koeling in kantoorgebouwen

Door de warme zomers en de toenemende welvaart neemt de vraag naar koelsystemen voor kantoren sterk toe. De vraag is op welke manier deze koeling op een energie-efficiënte manier kan plaatsvinden.

Er moet hierbij een onderscheid worden gemaakt tussen nieuwbouw, bestaande bouw, de afmetingen van het gebouw en de hoogte van de koelvraag (koellast). Voor een antwoord op de vraag hoe de koellast van kantoorruimtes globaal is opgebouwd verwijs ik naar onze eerdere notitie: "Het effect van isolatie op warmte- en koudevraag van grote kantoorgebouwen" dat deel uitmaakt van het rapport "9 energie-adviezen aan Amsterdam (2000-2004)" ECN-C--04-053.

3.1 Het voorkomen van koelvraag

In het algemeen zijn de volgende aspecten van belang bij het voorkomen van koellast:

- Niet de diep koelen. De comforttemperatuur is veel hoger dan meestal wordt aangenomen. Volgens de nieuwste norm (Isso 74) kan die zelfs na een lange warme zomerperiode ruim boven de 25 graden liggen. Als men een gebouw binnenloopt en last krijgt van de kou, dan wordt er doorgaans te diep gekoeld. Een andere indicatie voor te diep koelen kan zijn dat verwarmingslichamen (bijvoorbeeld radiatoren) warmte produceren bij buitentemperaturen boven de twintig graden. De inblaaslucht moet bij voorkeur niet veel lager worden ingeblazen dan 18 graden. Voor het goed functioneren van kantoorapparatuur hoeft niet extra te worden gekoeld.
- Zorgen dat de verlichting niet hoeft te branden op warme dagen. Dat kan worden bereikt door efficiënte zonwering die het kantoor niet teveel verduistert waardoor de verlichting moet worden ingeschakeld. Daglicht gestuurde verlichting en veegschakelingen helpen de verlichting zoveel mogelijk uit te schakelen.
- Het plaatsen van apparatuur met veel warmteafgifte (printers, kopieermachines, servers) in aparte, met buitenlucht geventileerde ruimtes.

3.2 Bestaande bouw

Hieronder worden koelsystemen beschreven die bij voorkeur worden gebruikt voor bestaande bouw. De principes gelden echter ook voor de nieuwbouw. De scheidslijn tussen bestaande en nieuwbouw moet dan ook niet te strikt worden opgevat.

3.2.1 Dakisolatie

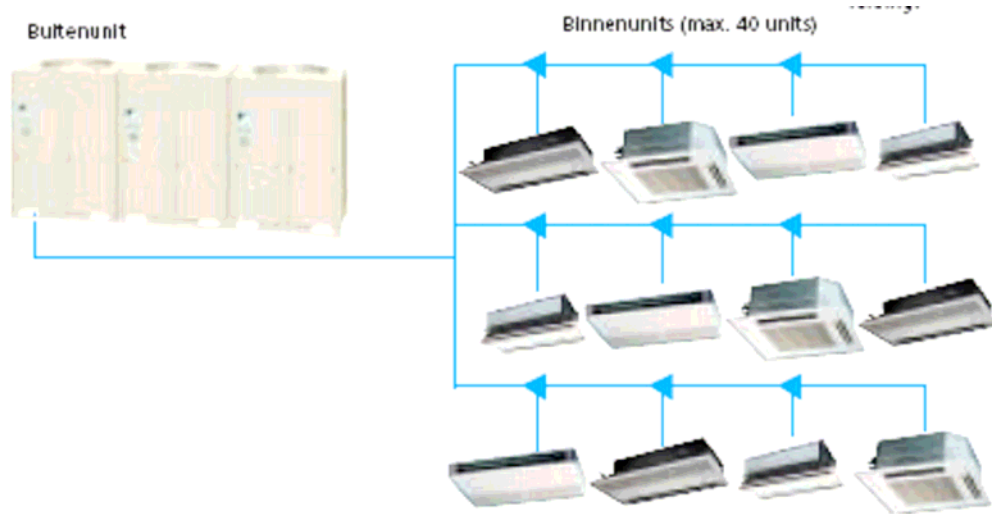
Oververhitting in de zomer op de bovenste verdieping van een kantoorgebouw kan worden bestreden door het dak na te isoleren. Dit kan vrij goedkoop worden gedaan door isolatie op het dak aan te brengen (omgekeerd dak constructie). De kosten van deze actie worden terugverdiend door besparing op verwarmingsenergie in de winter, een beter werkklimaat in de zomer en besparing op koelenergie.

3.2.2 Centrale koeling versus lokale koeling beide door koelmachines

Men kan warme ruimten in een gebouw afzonderlijk koelen met aparte units of een heel gebouw koelen door een centrale koelinstallatie. Het is energetisch gunstiger om ruimten met koelvraag door zogenaamde "splitunits" te koelen dan een heel gebouw te koelen door een centrale installatie. (Centrale verwarming kost immers ook meer energie dan lokale verwarming.) De splitunit⁶ bestaat uit een buitenunit met een koelcompressor, condensor en condensorventilator die buiten, bijvoorbeeld op het dak staat en uit een zogenaamde fancoil- of binnenunit, die de

⁶ Bekende merken van splitunits zijn onder meer Daikin en Fujitsu General Limited

binnenlucht koelt. De binnenunit is een behuizing aan of in het plafond waarin een koelement en een ventilator zijn ondergebracht. Deze unit is met de buitenunit verbonden door koelmiddelleidingen gevuld met bijvoorbeeld R22 of R407C. De ventilatie van de ruimte staat geheel los van dit koelsysteem. Dit kan dus mechanische alsook natuurlijke ventilatie zijn.



Figuur 5: *Het splitunitsysteem in de meest geavanceerde vorm*

Voorheen was maximaal één buitenunit gekoppeld aan één binnenunit (denk aan de simpele systemen in een goedkope hotelkamer: compressorunit op het balkon en recirculatieunit boven het bed, verbonden met een bundel geïsoleerde leidingen). Nu komt deze situatie ook nog veel voor maar is het ook mogelijk meerdere binnenunits te koppelen aan meerdere buitenunits. Het systeem is daardoor bij wijze van spreken eindeloos uit te breiden. De buitenunits zijn er in verschillende vermogens en zijn ook koppelbaar. De binnenunits zijn er in de meest uiteenlopende vormen. Voor inbouw in een verlaagd plafond, montage tegen het vaste plafond, wandmontage, in één, twee, drie of vier richtingen uitblazend, enz, enz.

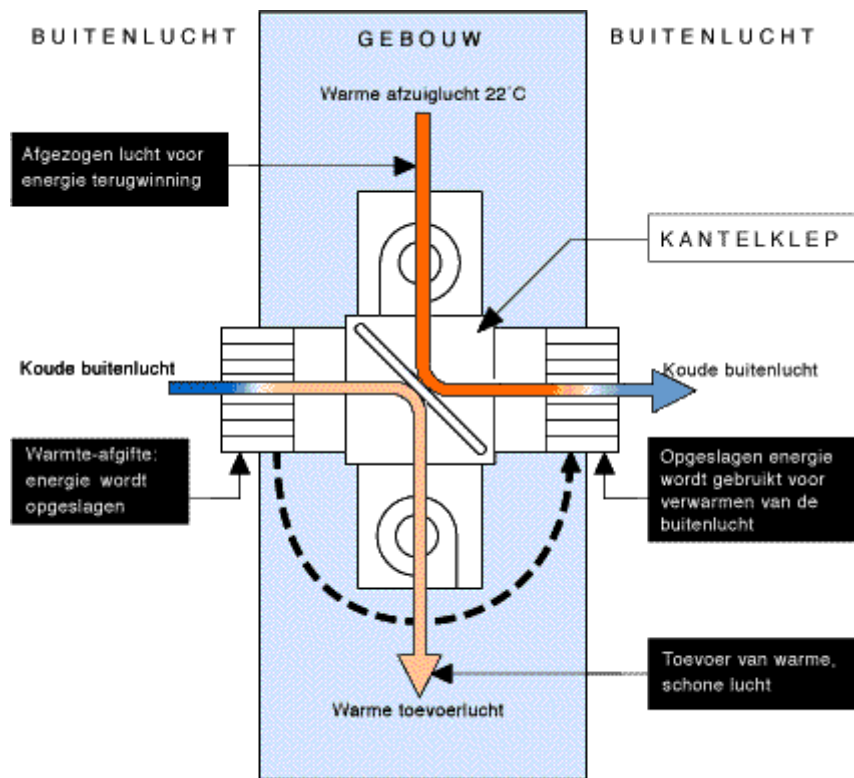
Bij een gebouw met een mechanisch ventilatiesysteem (met luchtkanalen en inblaasroosters) kan de inblaaslucht ook centraal worden gekoeld. Het is meestal gunstiger om met splitunits te werken omdat dan koeling beter op maat kan worden geleverd zonder energie te vernietigen door regeling en transport van de koude. Meerdere binnenunits in meerdere ruimtes kunnen worden aangesloten op één of meerdere buitenunits. Hier is dus in principe geen beperking aan de gebouwafmetingen. De leidinglengte kan zonder al teveel verliezen maximaal 100 meter zijn. Binnen 100 meter afstand moet dus een buitenunit geplaatst kunnen worden op het dak, in de kelder of in een andere met buitenlucht sterk geventileerde, onverwarmde ruimte. Buitenunits kunnen ook aangesloten worden op bodemwarmtewisselaars waardoor het rendement verder toeneemt.

Bij een bestaand gebouw dat reeds voorzien is van een koelinstallatie kunnen voorzieningen worden getroffen om het draaien van de koelmachine in de winter te voorkomen (zogenaamde free air cooling). Hierbij wordt het een condensor die buiten staat direct aangesloten op het koelcircuit en de koelmachine dus in feite “buiten spel” gezet. Koeling in de winter kan nodig zijn voor bijvoorbeeld computerruimtes.

3.2.3 Verdampingskoeling

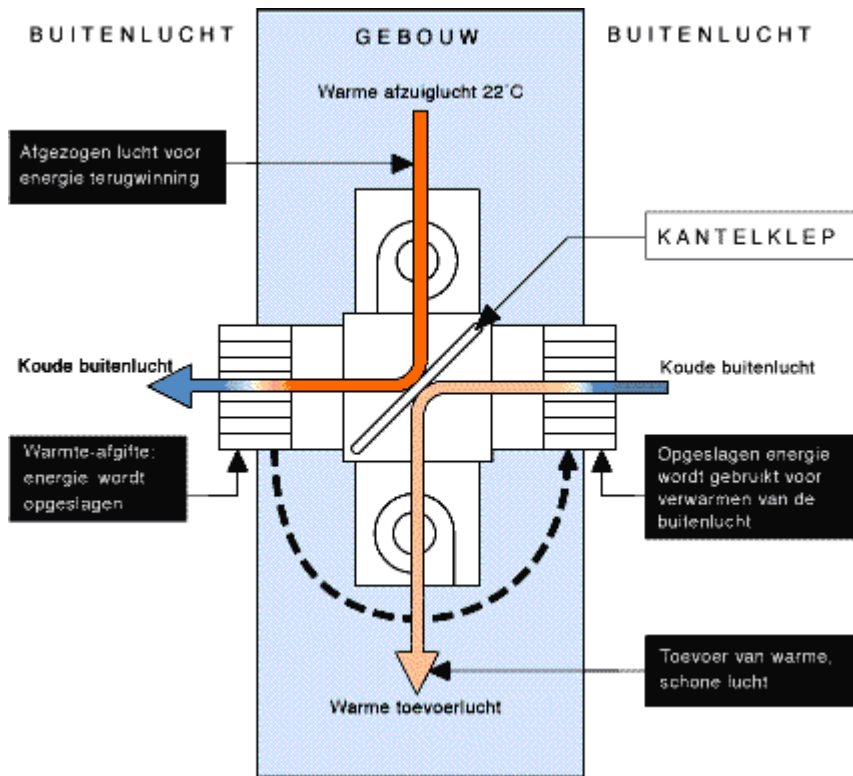
Verdampingskoeling (adiabatische koeling) is een energiezuinige manier om te koelen. Hierbij wordt water in de luchtstroom van een ventilatiekanaal gesproeid. Het water verdampt vrijwel direct. Bij het verdampen is warmte nodig die onttrokken wordt aan de omringende lucht die

hierdoor afkoelt. De koele lucht is echter ook aanzienlijk vochtiger dan vóór het koelen. Onze huid heeft ook een koelende werking. Als het warm is produceert de huid transpiratievocht. Dat zien we meestal niet omdat het vocht meteen verdampt. De huid en de onderliggende bloedvaten worden hierdoor gekoeld. Het bloed zorgt voor de verspreiding van de koelte door het lichaam. Als de lucht vochtiger is dan werkt de koeling van de huid zelf slechter omdat het transpiratievocht slechter verdampt in vochtige lucht. Daarom voldoet de verdampingskoeling zoals boven beschreven niet best in het toch al vochtige Nederlandse klimaat. Met een hoogrendement warmtewisselaar zoals van Kanttherm of van Recair kan men de uitgaande lucht koelen door het sproeien van water in de uitgaande luchtstroom. Deze koude wordt teruggewonnen door de warmtewisselaar. Zodoende wordt de ingaande lucht wel kouder maar niet vochtiger in absolute zin. De *relatieve* vochtigheid wordt wel hoger omdat afgekoelde lucht minder vocht kan bevatten dan warme lucht. Het koelend effect is hierdoor minder omdat de verdamping op de huid minder goed verloopt en zodoende het koelsysteem van ons lichaam zelf minder goed kan werken. Het systeem werkt ook minder dan men zou verwachten door de beperkte vochtopname in de uitgaande lucht (de uitgaande lucht is vochtiger door de vochtproductie van in de ruimte aanwezige personen). Het systeem van bevochtigen kan zonder veel meerkosten worden toegepast wanneer sowieso een warmteterugwinunit wordt geplaatst. Hieronder wordt het Kanttherm systeem uitgelegd aan de hand van twee werkingsschema's. De sproeiërs zijn niet ingetekend.



Figuur 6: Het Kanttherm systeem voor warmte en vochtterugwinning, stand klep a

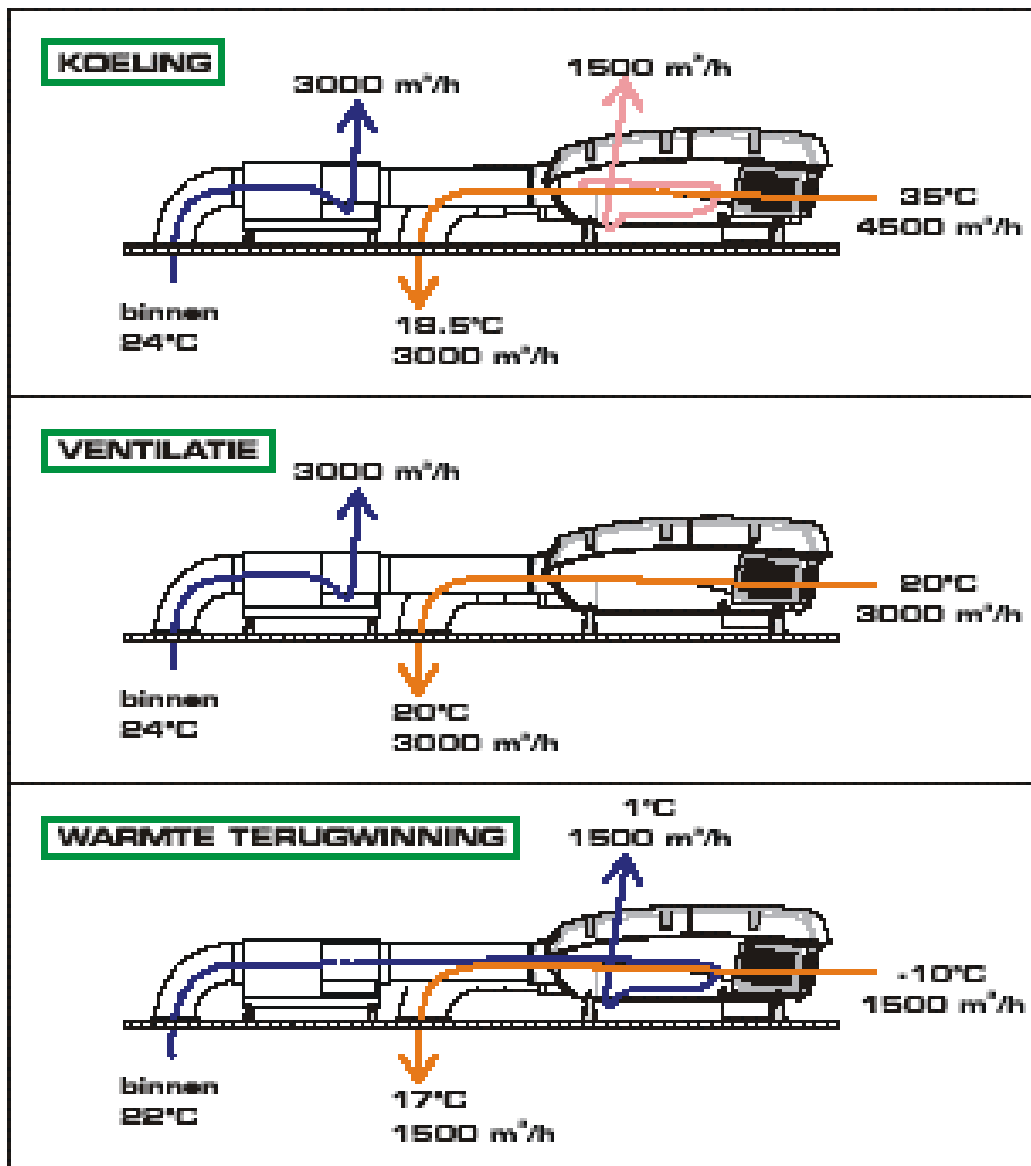
De pakketten links en rechts aan in- en uitvoerzijde worden gevormd door een pakket met kleine tussenruimtes vlak op elkaar gemonteerde aluminium platen met een lengte van meer dan een meter waar de lucht door heen en weer kan stromen. Door de smalle spleten waar de lucht doorheen stroomt, vindt een intensieve warmte-uitwisseling plaats tussen de lucht en het aluminium. De breedte en het aantal van de platen wordt bepaald door de afmetingen van het kanaal waar het op aansluit en bepaalt dus in feite de capaciteit van de warmtewisselaar.



Figuur 7: Het Kanttherm systeem voor warmte en vochtterugwinning, stand klep b

Een meer geavanceerde manier van verdampingskoeling is het Rotocool systeem van Verhulst (Waalwijk). Hierbij wordt water in de luchtbehandelingskast versproeid voor het koelend effect en wordt tegelijkertijd de lucht gedroogd met een zogenaamd droogwiel. Dit is een wiel dat gecoat is met een hygroscopisch (zoutachtig) materiaal. Het draait in de in- en uitgaande luchtstroom waarbij de uitgaande luchtstroom wordt verhit. Door de warmte wordt het wiel in die sectie gedroogd zodat het weer vocht uit de ingaande luchtstroom op kan nemen. Als de warmte door een ketel wordt geleverd is de CO₂-reductie vrijwel nihil maar in combinatie met een warmtenet of een zonneboilersysteem (vacuümbuizen) of de beschikbaarheid van afvalwarmte kan het leiden tot een duurzame manier van koeling. Wat CO₂-reductie betreft geldt wat dat betreft hetzelfde voor absorptiekoelmachines. De werking van deze apparaten berust ook op verdamping en ontvochtiging met behulp van een zout maar dan in een gesloten apparaat waarin een vacuüm heerst.

Het Oxycom systeem berust ook op verdampingskoeling. Door een speciale gepatenteerde techniek kan men een beperkte koeling realiseren. Het apparaat kan echter niet ontvochtigen wat een splitunit wel doet (ongeveer 10% van de koelenergie die een splitunit produceert wordt besteed aan ontvochtigen). Bij vochtig weer wordt in een splitunit de lucht namelijk afgekoeld tot onder het dauwpunt (de relatieve vochtigheid dreigt boven 100% te komen) zodat er condens ontstaat op het koelement. De Oxycom kan niet ontvochtigen zodat in een deel van de tijd de lucht vochtiger is dan bij het gebruik van een splitunit. Als de lucht vochtiger is dan werkt de verdamping op de huid minder goed en voelt het enigszins "drukkend" aan. Menigeen zal dit waarschijnlijk niet opmerken. Over het algemeen is de Oxycom dus een energiezuinige, duurzame manier van koelen die bovendien ook nog kan concurreren met een splitunit. Het apparaat is nog maar kort op de markt.



Figuur 8: Werking Oxycom systeem

In de zomer wordt een deel van de aangezogen buitenlucht gebruikt voor verdamping van water in de warmtewisselaar die zodoende afkoelt (roze circuit).

3.2.4 Overige (kleine) koelunits

Er zijn ook koelunits die zowel de compressor alsook de condensor en de verdamper (die de koude afgeeft) in één behuizing hebben. Hierbij moet een luchtslang van het apparaat naar buiten worden gevoerd (vergelijk met een luchtslang van een wasdroger). Deze apparaten hebben een laag rendement en zijn sterk af te raden. Ze gebruiken soms twee keer zoveel energie als nodig is. Bij de doe-het-zelf-winkel zijn ook koelunits te koop die koelen door het verdampen van water. Deze apparaten werken in ons klimaat niet erg goed omdat bij warm weer de vochtigheid vaak hoog is en de verdampende en koelende werking van deze apparaten dus laag.

3.3 Nieuwbouw

Bij het ontwerp van een koelinstallatie kan gekozen worden uit verschillende systemen.

3.3.1 Zomernachtventilatie

Het systeem van zomernachtventilatie is een vorm van passieve koeling waarbij het gebouw op een veilige en efficiënte wijze 's nachts door natuurlijke ventilatie wordt afgekoeld. Door de traagheid van gebouwmassa is overdag meestal geen actieve koeling nodig. Dit systeem wordt nog niet vaak toegepast maar is de meest duurzame en goedkope methode om een gebouw te koelen. De reden waarom het niet vaak wordt toegepast is dat er bij het ontwerp van het gebouw in behoorlijke mate rekening mee moet worden gehouden. Dat wordt door de veel architecten (de goede niet te na gesproken) niet gedaan omdat het systeem niet voldoende in detail bij hen bekend is. Ook kunnen er om diezelfde reden veel fouten worden gemaakt bij de toepassing ervan waardoor het systeem niet goed werkt.

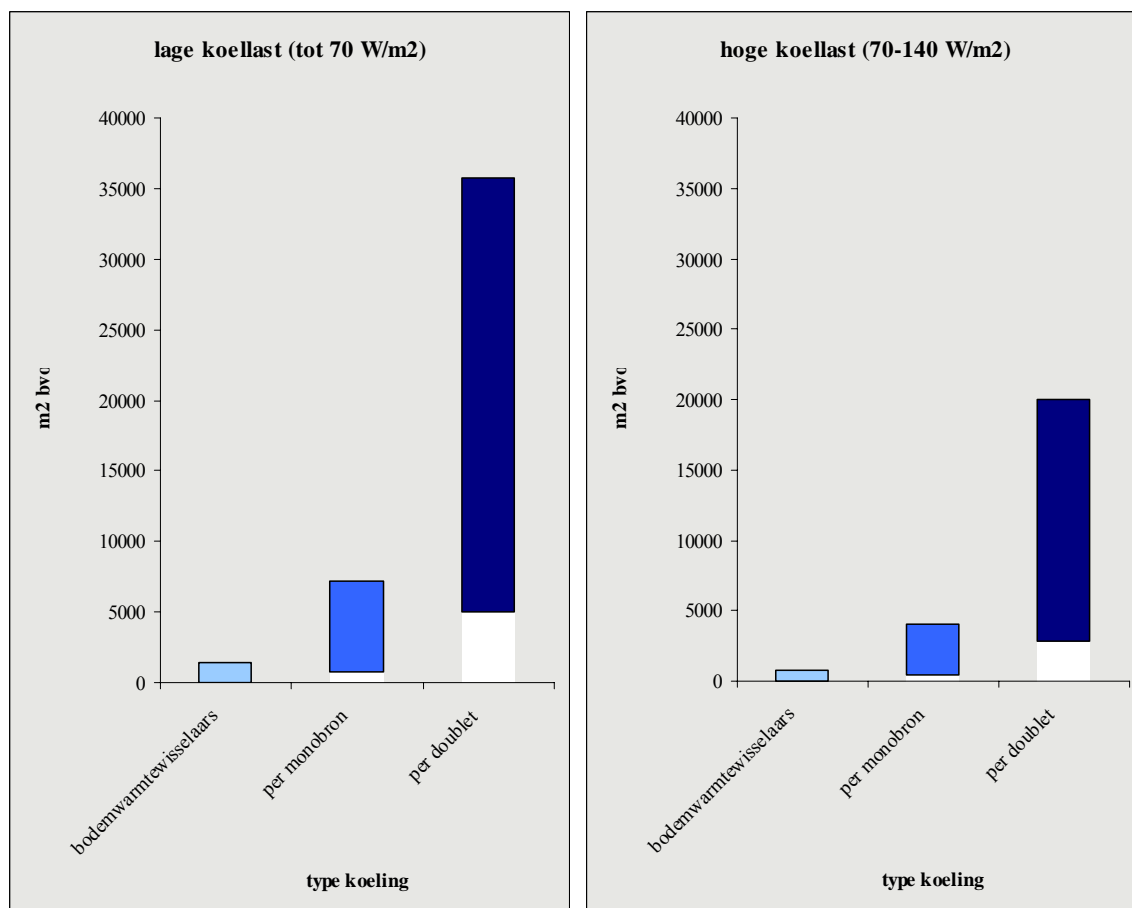
3.3.2 Bodemkoeling

Een gebouw kan worden gekoeld door gebruik te maken van koude uit de bodem. Hierbij wordt de bodem extra afgekoeld door deze in de winter te gebruiken als bron voor de warmtepomp en/of voor een voorwarmer van de ventilatielucht. Er is dan sprake van warmte- en koudeopslag in de bodem (WKO). Met de warmtepomp kunnen radiatoren, luchtverwarming of vloerverwarming van warmte worden voorzien; met de voorwarmer wordt koude buitenlucht voorverwarmd (voor zover dit niet gebeurt door een warmtewisselaar, hetgeen verreweg de voorkeur verdient) alvorens die door het ventilatiesysteem het gebouw in gaat.

Er zijn drie systemen. Voor kleine systemen wordt gebruikt gemaakt van slangen die in de bodem worden gebracht of in heipalen worden ingegoten (bodemwarmtewisselaars). Voor middelgrote systemen is een monobron⁷ geschikt en voor grote systemen een doublet⁸. Een doublet is een systeem met twee bronnen. In de grafieken (Figuur 9: *Toepassingsgebieden van verschillende soorten koeling bij verschillende koellasten*) is te zien wanneer de systemen bij voorkeur worden toegepast. Een belangrijke voorwaarde voor een voordelige toepassing van WKO is dat de warmte en koudevraag van het gebouw enigermate in balans zijn. Als dat zo is dan zal het systeem meestal kunnen concurreren met conventionele systemen. De toepasbaarheid van WKO hangt mede af van de gesteldheid van de bodem. Als de warmte en koudevraag in omvang erg verschillen en/of niet gelijkmatig over de kantoren is verdeeld, dan kan men beter een andere oplossing kiezen voor het koelen. Het systeem kent immers een omschakelpunt waarbij wordt overgeschakeld van verwarmen naar koelen en omgekeerd. Als dat punt voor verschillende ruimtes op een ander moment ligt, dan werkt het systeem niet efficiënt.

⁷ Een monobron is een boring in de bodem waarin meerdere buizen zijn aangebracht. Een buis gaat tot bijvoorbeeld 40 meter diep en een andere tot bijvoorbeeld 80 meter diep. Op die manier is het mogelijk grondwater van de ene diepte naar de andere te pompen en daarbij het water via een warmtewisselaar te gebruiken voor koelen of verwarmen met een warmtepomp. Tussen de twee waterlagen ligt in dit geval een ondoordringbare laag (bijvoorbeeld klei) die voorkomt dat de warme en koude bron met elkaar in contact komen.

⁸ Een doublet is een combinatie van twee bronnen waarbij het water van de ene bron kan worden overgepompt naar de andere. Tussentijds wordt het water gebruikt voor koelen of verwarmen, het laatste met een warmtepomp. 's Winters werkt het systeem voor warmteopwekking en 's zomers voor koudeopwekking. Daarom wordt voor het systeem ook wel de naam Warmte en Koude Opslag (WKO) gebruikt.



Figuur 9: Toepassingsgebieden van verschillende soorten koeling bij verschillende koellasten

Bvo betekent bruto vloeroppervlak, in dit geval van een kantoorgebouw. Bodemwarmtewisselaars worden gebruikt bij kleine kantoren, monobronnen bij middelgrote en doubletten bij grote kantoren. De koelsystemen zijn onderdeel van warmte- en koude-opslag in de bodem (WKO). Bij grotere kantoren kan men meerdere monobronnen en bij hele grote kantoren meerdere doubletten toepassen. Gegevens over de bronsystemen komen van het bedrijf Installect. **Het koelsysteem van Daikin is modulair** en kan dus voor zowel kleine als middelgrote en ook grote kantoorgebouwen worden toegepast.

3.3.3 Koelmachines

Als slechts enkele ruimten in het gebouw koeling nodig hebben dan kan worden gekozen voor een (multi-) splitunit systeem (zie ook paragraaf 3.2.2). Moderne splitunit systemen hebben compressoren met een variabel toerental en een variabel koelmiddeldebiet. Hierdoor kunnen ze een relatief hoog rendement halen ten opzichte van conventionele, centrale koelinstallaties. Bij grote installaties (denk aan de Rembrandttoren, bvo 40.000 m²) kan een koelmachine op maat gemaakt worden. Die kan ook een hoog rendement halen.

Een bijzondere uitvoering van het multisplitsysteem is de driepijpsuitvoering. Hierbij is het mogelijk om in hetzelfde gebouw en binnen dezelfde installatie de ene ruimte te koelen en de andere te verwarmen met dezelfde warmtepomp. De ene binnenunit werkt dan als verdampers en de andere als condensator. De warmte die "over" is in de te koelen ruimte wordt als het ware naar de te verwarmen ruimte getransporteerd door de warmtepomp. Men zou kunnen zeggen dat het verwarmen van die ruimte geen energie kost omdat de compressorenergie wordt toegerekend

aan de te koelen ruimte. Men kan een dergelijk systeem bij voorkeur inzetten voor een gebouw met een even grote koel- als verwarmingsvraag (bijvoorbeeld de Rembrandttoren). Dan zou bij benadering de helft van de energie worden bespaard.

3.3.4 Koudeafgiftesysteem

Als koudeafgiftesysteem is een koelplafond te prefereren omdat hierdoor relatief hoge watertemperaturen kunnen worden gebruikt hetgeen condensatieverliezen beperkt. Luchtverplaatsingen zijn bij plafondkoeling niet aan de orde waardoor transportenergie wordt vermeden evenals tocht. Een koelplafond is weliswaar duurder dan bijvoorbeeld een fancoil unit maar als het ruimtebeslag en onderhoud in aanmerking wordt genomen kan het plafond toch concurreren met systemen op de vloer.

Bij het gebruik van een koelplafond kan aanvullend optimaal gebruikt worden gemaakt van de koudebufferende werking van de vloer door nachtventilatie.

4. Efficiëntieverhoging koelinstallaties in utiliteitsgebouwen

Welke maatregelen kan men nemen om de efficiëntie van koelinstallaties in utiliteitsgebouwen te verhogen?

4.1 Vraagzijdig (zie ook 3.1: Het voorkomen van koelvraag)

1. Zorg dat de zonwering goed werkt zonder dat het licht aan hoeft (lichtgekleurde stoffen of reflecterende lamellen).
2. Schaf energiezuinige apparatuur aan en schakel die zo min mogelijk in zodat weinig warmte wordt ontwikkeld in de werkruimte. Zuig zo veel mogelijk warmte af bij de bron. Plaats apparatuur met een hoog vermogen in een aparte ruimte met afzuiging.
3. Moedig het dragen van lichte kleding aan.
4. Het setpoint van de ruimtetemperatuur zo hoog mogelijk kiezen. Uit diverse recente publicaties blijkt dat de ruimtetemperatuur geleidelijk mag stijgen met de buitentemperatuur tot maximaal 26 graden of nog meer (ISSO 74). De binnentemperatuur is daarbij enkele graden tot 5 graden lager dan de buitentemperatuur. Dit is ook het principe van topkoeling. Te koude en droge lucht leidt tot een ongezonde situatie.
5. Het, bij volledige klimatisering, vóórkoelen van de inblaaslucht tot onder de gewenste, variabele binnentemperatuur is uit den boze. Dit geeft namelijk de mogelijkheid van het gelijktijdig koelen en verwarmen omdat sommige ruimtes te koud worden. Fancoilunits of koelplafonds moeten de koeling verzorgen op de plaats waar dat nodig is.
6. De vochtigheid moet niet lager worden gekozen dan strikt noodzakelijk is om condensatie te voorkomen.
7. Een koude kantooromgeving kan een gebrek aan reiniging maskeren. Fris wordt vaak verward met schoon. Als de temperatuur en vochtigheid 's zomers omhoog gaan, kan vervuild tapijt gaan stinken. Het is dan beter schoon te maken dan extra te gaan koelen.
8. Begin met ventileren een half uur voor aanvang van de werktijd om luchtjes te verwijderen en een echt frisse atmosfeer te creëren.
9. Zet buiten werktijd de koeling uit.
10. Zorg dat er een ruime dode zone zit (een graad of 3 a 4) tussen de ingestelde waarde van koelen en verwarmen.

4.2 Opwekking van koude

1. Plaats in een kantoorruimte met een meer dan gemiddelde koelvraag een extra koelunit in plaats van het verlagen van de koudwatertemperatuur in het hele gebouw.
2. Stel de koelwatertemperatuur (buiten de ontvochtigingsuren) zo hoog mogelijk in.
3. Zorg dat bij deellast van de installatie, zowel aan de afname- als aan de opwekkingskant, zo weinig mogelijk koudwater met relatief warm retourwater wordt gemengd. Dat wil zeggen, zo min mogelijk mengventielen gebruiken (bijvoorbeeld alleen op het eind van een streng), maar de koudwaterflow variëren bij verschillende belastingen (toerengeregeld pompen, compressors afschakelen).
4. Zorg voor koelmachines van verschillende grootte zodat aan/uit schakelen van groot vermogen zo veel mogelijk wordt voorkomen.
5. Veel koelmiddelen hebben bij lekkage een enorm broeikaseffect, vaak duizend maal meer dan CO₂. Lekkage moet dus te allen tijde vermeden worden.
6. Bekort het koelseizoen zoveel mogelijk. Het draaien op deellast in voor- en najaar kost relatief veel energie. De leidingverliezen zijn dan relatief groot.
7. Bij grote installaties loont het de moeite om een koelmachine met een hoger rendement te laten maken. De COP kan dan oplopen van 4 tot 5 of hoger.
8. Zorg dat de condensors op een koele plek staan.

9. Maak gebruik van koeling uit de bodem door toepassing van bodemwarmtewisselaars of seizoensopslag in de bodem
10. Schakel de warmteterugwinning uit op het moment dat het buiten koeler is dan binnen en er koeling gevraagd wordt.

5. Toepassingsmogelijkheden van het multisplitwarmtepomp-systeem van Daikin

5.1 Beschrijving van het systeem aan de hand van de Daikin VRV II Systems technical data (EEDE03-2/3A)

Het Daikin VRV II systeem kent drie uitvoeringsvarianten. De eerste variant is een zogenaamd multisplitsysteem voor het koelen van ruimten in een gebouw. Het systeem bestaat uit één of meerdere buitenunits en één of meerdere binnenunits. In een buitenunit zit een warmtepomp en een condensor met ventilator. De warmtepomp wordt in dit geval gebruikt als koelmachine. De binnenunit huisvest een verdamper met ventilator en een elektronisch gestuurd expansieventiel. Binnen- en buitenunits zijn verbonden door geïsoleerde koelmiddelleidingen. De binnenunit recirculeert lucht uit de ruimte en koelt deze af. In deze unit kan condensatie van vocht uit de lucht optreden, de lucht wordt dan koeler maar ook droger. Er kunnen meerdere binnenunits aangesloten worden op een buitenunit. Bij een bepaald aantal binnenunits is het mogelijk om extra buitenunits te koppelen. De COP van dit soort apparaten kan bij een gunstige dimensionering over het jaar gemiddeld een waarde van 5 bereiken volgens een simulatie van TNO op basis van de in de kop genoemde data. Dat is circa 20% beter dan bij een conventioneel centraal koelsysteem.

De tweede variant bestaat ruwweg uit dezelfde componenten maar kan behalve koelen ook verwarmen. De verdamper werkt dan als condensor en omgekeerd. De COP bij verwarmen kan over het jaar gemiddeld een waarde van ruim 3 bereiken volgens de TNO simulaties. Rekening houdend met het opwekkingsrendement van de elektriciteitscentrale is de besparing ten opzichte van een gasgestookte ketel dan ongeveer 20%. Deze variant kan verwarmen óf koelen. De COP voor koeling kan ook hier een waarde van 5 bereiken wat net als bij variant 1 circa 20% beter is dan bij een conventioneel centraal koelsysteem.

De derde variant kan tegelijkertijd verwarmen én koelen. De ene binnenunit werkt dan als condensor en de andere, op hetzelfde moment, als verdamper. De componenten zijn globaal gezien hetzelfde als hierboven maar in plaats van twee leidingen zijn er drie nodig per unit. De warmte die wordt 'weggekoeld' in de te koelen ruimte kan bij deze variant direct worden gebruikt voor het verwarmen van de te verwarmen ruimte. Bij gebouwen met een grote koelvraag (soms zelfs ook in de winter) komt tegelijkertijd verwarmen en koelen vaak voor. De warmte die uit een te koelen ruimte komt wordt normaliter direct naar buiten afgevoerd. Wanneer de actieve koeling van bepaalde ruimtes onvermijdelijk is dan zou men het nuttig gebruiken van deze 'afvalwarmte' als "gratis" en CO₂-vrij verkregen warmte kunnen beschouwen. Op dat moment is de energiebesparing door dit systeem in de orde van 50% ten opzichte van een conventioneel systeem met gescheiden verwarming en koeling. Het hangt af van de gelijktijdige warmte- en koudevraag van het betreffende gebouw hoe hoog de jaarlijkse besparing uiteindelijk zal uitvallen. (zie Figuur 5: *Het splitunitsysteem in de meest geavanceerde vorm*).

5.2 Bijkomende voor- en nadelen

Behalve de verwachte hogere rendementen van bovengenoemde systemen ten opzichte van conventionele systemen voor verwarming en koeling zijn er andere mogelijke voordelen van de toepassing ervan. Er treden bij de drie beschreven systeemvarianten waarschijnlijk minder transportverliezen op en er is, bij variant twee en drie minder vernietiging van energie door de mogelijkheid om gelijktijdig te verwarmen en koelen, hetgeen bij een conventioneel centraal klimatiseringssysteem in de praktijk meestal optreedt. Het vermijden van transport- en

energieverniepigingsverliezen kan leiden tot een extra besparing van maximaal zo'n 30% (respectievelijk 20 en 10, globaal volgens de EPA-U).

Een nadeel van de tweede variant is dat er omschakelmomenten zijn waarop het hele systeem overgaat van verwarmings- naar koelbedrijf en omgekeerd. Het kan echter in een gebouw gebeuren dat de kantoren aan de zuidgevel koeling nodig hebben en die aan de noordgevel verwarming. Ook kan het zijn dat een ruimte zoveel koelvraag heeft dat die in het stookseizoen ook koeling behoeft. In zulke gevallen is variant twee niet geschikt en moet gekozen worden voor variant drie.

Binnen enkele maanden zal er een variant op de markt komen die aangesloten kan worden op een bodemwarmtewisselaar in plaats van op de buitenlucht. Dan zullen de rendementen verder stijgen. Plaatsing van de centrale "buitenunits" in de buitenlucht of een sterk met buitenlucht geventileerde binnenruimte is dan niet meer nodig. De "buitenunits" kunnen dan ook binnen, bijvoorbeeld in de kelder, worden geplaatst.

Als laatste voordeel noemen we dat door te verwarmen en koelen met lucht de energie-opslagfunctie van de gebouwmassa behouden blijft. Bij vloerverwarming is het niet mogelijk de vloer te gebruiken voor de opslag van overtollige warmte door bijvoorbeeld zoninstraling of interne warmte, die in de loop van de dag cumuleert. Bij vloerkoeling zal bij een weersomslag eerst de koude uit de gebouwmassa moeten worden gestookt voordat warmteverliezen door de schil kunnen worden gecompenseerd. Bij het gebruik van lucht als koel- en verwarmingsmedium fungeert de massa van het gebouw als opslag voor teveel aan warmte en koude. De binnentemperatuurvariaties worden hierdoor als het ware gedempt en er wordt energie bespaard. Het verlaagde koelplafond mits aan de bovenzijde goed geïsoleerd laat ook de bufferende werking van de gebouwmassa in tact en heeft bovendien nog het voordeel dat het een uitstekende koelende werking heeft zonder de lucht te hoeven verplaatsen. Dat laatste kost energie en kan tocht veroorzaken.

Vanwege de modulaire opbouw is het systeem geschikt voor alle gebouwgroottes

5.3 De gelijkwaardigheidverklaring

TNO heeft een gelijkwaardigheidverklaring opgesteld (TNO-rapport R 2003/504) maar men heeft hierbij geen metingen gedaan aan het systeem. Men heeft de gedetailleerde opgaven van de fabrikant als uitgangspunt voor de berekening van de rendementen genomen. TNO heeft een specifieke case genomen en hiervoor met behulp van simulaties de jaarrendementen uitgerekend. Deze rendementen zijn dus niet algemeen geldend. Ze hangen af van de keuze en combinatie van de componenten. De case gaat over een systeem dat hierboven is aangeduid als variant twee. Variant drie wordt door TNO niet genoemd. De aan de uitkomsten van het TNO rapport ten grondslag liggende berekeningen zijn op basis van de tekst van de gelijkwaardigheidverklaring niet te verifiëren omdat de informatie in het rapport daarvoor niet toereikend is.

5.4 Conclusies & aanbevelingen

De volgende conclusies en aanbevelingen zijn gebaseerd op de technische gegevens van de fabrikant van het Daikin VRV II systeem en de bevindingen van TNO en ECN. Er zijn door TNO, noch door ECN tests gedaan om het functioneren van het systeem te toetsen.⁹

Ten opzichte van conventionele klimatiseringssystemen kunnen met het Daikin VRV II systeem besparingen worden verwacht van circa 20% en meer, afhankelijk van de toegepaste systeemvariant en het optreden van een gelijktijdige vraag naar koeling en verwarming. Het

⁹ Later dit jaar zullen bij ECN metingen worden gedaan aan een praktijkopstelling waar het Daikin-systeem deel van uitmaakt.

verdient aanbeveling het systeem aan te sluiten op een bodemwarmtewisselaar in plaats van op de buitenlucht. Dan zullen de rendementen verder stijgen.

Misschien ten overvloede wordt hierbij opgemerkt dat primair de koel- en verwarmingsbehoefte zo laag mogelijk moeten worden gehouden door een energiebewust ontwerp, uitvoering en gebruik van het gebouw.

Het voorlopige oordeel over het Daikin VRV II systeem is dat het een relatief energiezuinig en flexibel te installeren klimatiseringsstelsel is, wellicht ook voor toepassing bij renovaties en grotere kantoorgebouwen. Getallen over praktijkrendementen en bijvoorbeeld de lekdichtheid van het systeem op langere termijn zijn nog niet met de nodige nauwkeurigheid te geven. Om tot een definitief oordeel te komen zullen de praktijktests en eventuele laboratorium tests moeten worden afgewacht.

6. Glassoorten voor monumentale panden

ECN heeft in Den Haag een onderzoek uitgevoerd naar de invloed van speciale glassoorten op comfort en energiegebruik van monumentale gebouwen. Het gaat hierbij om vacuümglas en enkel of gelamineerd glas met een infraroodreflecterende coating.

6.1 Glas met een infraroodreflecterende coating

Naar onze informatie is in Amsterdam vorig jaar bij enkele projecten het gelamineerde glas met coating toegepast. In de Algemene Rekenkamer te Den Haag zijn zowel de gelamineerde (9 mm) als de ongelamineerde (4 mm) glastypes toegepast. De ongelamineerde is in eerste instantie door Alwin in samenwerking met Glaverbel ontwikkeld en op de markt gebracht. De Algemene Rekenkamer was een van de eerste projecten voor het ongelamineerde enkel glas van Allwin. Vanwege de nieuwheid van het product kan nog geen algemene prijsinformatie gegeven worden. Wel kan een projectprijs worden aangevraagd. Inmiddels voert ook Van Ruysdael het ongelamineerde product.

Tabel 4: *De voor- en nadelen van ongelamineerd ten opzichte van gelamineerd glas*

Gelamineerd (9 mm)	Ongelamineerd (4 mm)
Inbraakveilig of geluidswerend	
Sponning moet worden opgefreesd	Opfresen hoeft niet
Wordt in kit gezet	Mag ook in stopverf

De U-waarde van het gecoate glas ligt op $3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ volgens de brochures. Dit is feitelijk niet helemaal juist. De U-waarde is gelijk aan die van normaal enkel glas maar door de reflectie van de infrarooduitstraling wordt hetzelfde effect bereikt als van een dubbel raam met een U-waarde van $3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Daarnaast zijn de randeffecten bij enkel glas gunstiger dan bij dubbel glas maar de condensatie aan de binnenzijde is niet geheel verdwenen bij het gecoate enkele glas.

6.2 Vacuümglas

Over het vacuümglas kunnen we het volgende melden. De leverancier is Nippon Sheet Glas uit Japan. De naam van het product is Spacia. De U-waarde is $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Het glas is opgebouwd uit twee lagen van 3 mm en een vacuüm spleet van 0,2 mm. Er zijn al prijzen genoemd maar die zijn niet representatief voor de marktsituatie. In de komende maanden zal meer bekend worden over reële prijsindicaties.

Ons rapport wordt binnenkort uitgebracht. Hierin zijn de comfortwaarden bij toepassingen van de verschillende glassoorten opgenomen. Ook worden een aantal varianten voor het ventilatieprobleem behandeld.

7. Vochtproblemen bij enkel en dubbel glas

Vraagstelling: Zal er meer condensatie op de omringende muur optreden bij toepassing van dubbel glas omdat dat glas zelf niet condenseert in tegenstelling tot enkel glas?

7.1 Inleiding

Vochtproblemen in een gebouw kunnen door tal van problemen ontstaan. Waterlekkage en gebrek aan ventilatie zijn bekende oorzaken. Het doorslaan van oude, massieve muren en condensatie door koudebruggen, kieren en het ontbreken van een dampremmende laag zijn minder bekend. In Bijlage A zijn deze verschijnselen beschreven. De condensatie van waterdamp op enkel glas kan ook vochtproblemen veroorzaken. De oorzaken hiervan, die verschillen met dubbel glas en het effect op de vochtigheid van de omringende muur worden hieronder uiteengezet.

7.2 Oorzaken van vochtproblemen bij toepassing van enkel glas

Enkel glas is in feite een koudebrug waarop vocht uit de binnenlucht, bij voldoende hoge luchtvochtigheid, neerslaat. Het vormt uiteindelijk druppels die naar beneden lopen. De afvoergaatjes in het condensgootje of in de onderdorpel van het kozijn die het vocht naar buiten af moeten voeren zijn vaak verstopt of niet aanwezig zodat het vocht, dat van het glas af druipt, mogelijk op de vensterbank terecht komt. Deze onderdelen zijn vaak relatief warm bijvoorbeeld door de nabijheid van radiatoren, zodat het vocht langzamerhand weer verdampt.

Bij hoge vochtigheden in de ruimte kan, in uitzonderlijke gevallen, de condensatie zo groot zijn dat het condenswater langs de vensterbank op de muur en uiteindelijk op de vloer terecht zal komen. De muur en de vloer kunnen dan vochtig worden en er kunnen vochtplekken ontstaan wanneer de hoge vochtigheid lang aanhoudt. Normaalgesproken is de relatieve vochtigheid van de binnenlucht met name in de winter, als condensatie op enkel glas een rol speelt, laag en is condensatie en verdamping in evenwicht. Verse lucht van buiten is in de winter als het binnenkomt en opgewarmd wordt relatief droog.

Langdurige hoge vochtigheid in een ruimte kan verschillende oorzaken hebben (zie ook de bijlage). Het komt er vaak op neer dat de ventilatie in verhouding tot de vochtproductie in de ruimte te gering is. Vocht wordt geproduceerd door mensen en planten en bijvoorbeeld door koken, douchen en de was drogen. Als er bijvoorbeeld meer personen in de ruimte aanwezig zijn dan waarmee bij de ventilatie rekening gehouden is dan moet per dag per persoon ongeveer twee liter vocht extra worden afgevoerd. De beste manier om overtollig woonvocht af te voeren is goed te ventileren. Als de vochtigheid in de ruimte toch langdurig veel te hoog is zal het vocht zich ophopen en tot schimmelvorming en/of een onplezierig binnenklimaat kunnen leiden.

7.3 Condensvorming op de omringende muur

De productie van woonvocht in een huishouden ligt in veel gevallen tussen de 8 en 16 liter per dag. In een hotel zal dat rond de helft liggen, afhankelijk van de omstandigheden. Via condensatie op enkel glas wordt in het gunstigste geval slechts een fractie daarvan afgevoerd. De relatieve vochtigheid zal daarom niet merkbaar beïnvloed worden als enkel glas vervangen zou worden door dubbel glas.

Wel of geen condensatie op de muur hangt naast de vochtigheid van de lucht ook af van de oppervlaktetemperatuur van de muur. Over het algemeen zal de oppervlaktetemperatuur van de muur in beide gevallen ook weinig verschillen. Hierom zal er bij dubbel glas niet sneller condensatie op de muur optreden dan bij enkel glas. In tegendeel, een stalen kozijn met enkel

glas is in feite een koudebrug. Daarom zal de muur vlak bij het kozijn kouder zijn dan bij een geïsoleerd kozijn en raam. In het laatste geval blijft de muur warmer en zal dus minder snel condenseren.

Het is overigens wel om andere redenen mogelijk dat na toepassing van dubbel glas condensproblemen optreden bij de omringende muur. Bij na-isolatie en renovatie, en ook bij vervanging van ramen of glas, worden de kieren en naden veelal afgedicht en hierdoor zal de infiltratie van lucht door kieren en naden afnemen. Wanneer de juiste ventilatievoorzieningen (roosters) ontbreken of niet juist gebruikt worden bestaat het risico dat de vertrekken onvoldoende geventileerd worden waardoor de relatieve luchtvochtigheid verhoogd wordt en daarmee de kans op condensvorming toeneemt. Goede ventilatievoorzieningen en het luchten van vertrekken bij hoge vochtproductie blijven daarom van groot belang.

7.4 Conclusie

Men kan uit de hierboven beschreven situaties concluderen dat condensatie op enkel glas niet leidt tot een noemenswaardige ontvochtiging van het binnenklimaat. De keuze tussen enkel of dubbel glas heeft dus weinig effect op de relatieve vochtigheid in de ruimte. Er is om deze reden dan ook geen extra risico op condensvorming op de omringende muur.

Vocht- en condensproblemen bij muren kunnen echter andere oorzaken hebben, zoals in de bijlage beschreven. Wanneer bijvoorbeeld de juiste ventilatievoorzieningen (roosters) ontbreken of niet juist worden gebruikt en ook kieren en naden zijn gedicht nadat bijvoorbeeld de enkele beglazing of de ramen zijn vervangen bestaat het risico dat de vertrekken onvoldoende geventileerd worden. Hierdoor wordt de kans op condensvorming op de omringende muur, zij het indirect, weer hoger. Goede ventilatievoorzieningen en het luchten van vertrekken bij hoge vochtproductie blijven daarom van groot belang.

Bijlage A Verwante onderwerpen

A.1 “Doorslaande muren”

Het doorslaan van steens muren ontstaat bij het verouderen van de voeg en de stenen. Vooral in gevels die niet door de zon worden beschenen en die blootgesteld worden aan regen en wind, vooral op westgevels, kan zich veel vocht ophopen dat ten slotte aan de binnenzijde zichtbaar wordt. Een vochtige muur heeft een aanzienlijk lagere isolatiewaarde dan een droge muur. De binnenzijde van een vochtige muur is dus kouder dan bij een droge muur. Op het koude oppervlak zal eerder vocht uit de binnenlucht condenseren waardoor de muur nog vochtiger wordt.

A.2 Optrekkend vocht

Door capillaire werking en een slechte kwaliteit van gevelmetselwerk kan vocht omhoog trekken. Het vocht wordt omhoog gezogen door poreuze materialen, zoals baksteen. Hygroscopische zouten die in het water aanwezig zijn en in de baksteen achter blijven, beïnvloeden de stijghoogte en de snelheid van het optrekkende vocht. De oorzaak van optrekkend vocht kan het grondwater of oppervlaktewater zijn. Ook kan vocht opgenomen worden uit de aarde die tegen de fundering aan ligt.

A.3 Koudebruggen

Koudebruggen zijn plaatsen waar zich weinig of geen isolatiemateriaal bevindt. Dat kan voorkomen door bouwkundige fouten of omdat bijvoorbeeld bij renovatie sommige plaatsen om constructieve redenen niet kunnen worden nageïsoleerd. Dat komt bijvoorbeeld bij na-isolatie aan de binnenzijde voor op de plaats waar de vloer door de isolatie heen steekt en soms zelfs doorloopt in het balkon. De oplegging van de vloer op de fundering of funderingspalen is ook een bekend probleem. Door het ontbreken van isolatie wordt die plek kouder dan zijn omgeving waardoor vocht uit de binnenlucht hier eerder condenseert.

A.4 Kieren en naden

Ter plaatse van kieren (aansluiting ramen, deuren) en naden (aansluiting niet-bewegende bouwdelen) kan buitenlucht naar binnen stromen en zodoende de omringende constructie afkoelen. Op die plaatsen condenseert vocht uit de binnenlucht omdat binnenlucht meer vocht bevat en afgekoeld wordt.

A.5 Condensatie in de isolatie

Als de warme, vochtige binnenlucht in de isolatie kan dringen door het ontbreken van een dampdichte laag aan de binnenzijde dan kan vocht uit de lucht in de constructie dringen en daar afkoelen en condenseren. De isolatie wordt dan vochtig en gaat slechter isoleren waardoor het probleem groter wordt. Zo kunnen vochtplekken in het binnenspouwblad van de buitenmuur ontstaan. Door het ontbreken van een dampdoorlatende of de aanwezigheid van een dampremmende folie aan de buitenzijde van de isolatie wordt het effect versterkt.

Door de inwendige condensatie kan het houtwerk in de constructie gaan rotten. De oorzaak hiervan is vergelijkbaar. De verf aan de binnenzijde moet dampremmend zijn en aan de buitenzijde dampdoorlatend. Aan de binnenzijde moeten alle glassponningen goed afgekit zijn.

A.6 Vochtproblemen door onvoldoende ventilatie

Vocht wordt geproduceerd door mensen en planten en bijvoorbeeld door koken, douchen en de was drogen. De productie van woonvocht in een huishouden ligt in de regel tussen de 8 en 16 liter per dag. De beste manier om overtollig woonvocht af te voeren is goed te ventileren door bijvoorbeeld ventilatieroosters, uitzetraampjes en klepramen open te zetten. Een spleet van een centimeter per kozijn is in de meeste gevallen voldoende. Naast de basisventilatie die de hele dag plaatsvindt, kunnen vertrekken elke dag even gelucht worden door ramen een kwartier lang wat verder open te zetten. Ook is het aan te bevelen om tijdens het douchen een raampje te openen of de ventilatie op volle kracht te zetten. Na het douchen bij voorkeur de wanden en vloeren droogmaken en de doucheruimte een half uurtje luchten. Het gebruik van vochtabsorberende materialen in een doucheruimte zoals stukwerk en gips is af te raden, tegels en kunststof zijn een betere keuze.

8. Zonwering

De primaire functies van het glas zijn:

1. isolatie
2. zonnewarmte doorlaten in de winter
3. zonlicht doorlaten (en zo mogelijk regelen)
4. zonnewarmte weren in de zomer

8.1 Energetische aspecten

In energetisch opzicht is van deze functies van glas de isolatie de belangrijkste. Daarna komt de toetreding van zonnewarmte in het stookseizoen en als laatste komen de lichttoetreding en het vermijden van koeling door zonwering. Dit geldt voor woningen. Voor kantoren zijn lichttoetreding en koeling afzonderlijk vaak belangrijker dan toetreding van zonnewarmte in de winter. Dat komt door de grote interne warmte van personen en apparaten en de grote verlichtingsvraag in kantoren. Los daarvan is ook voor kantoren in energetisch opzicht de isolerende werking van glas de belangrijkste.

Er zijn zeer vele typen van zonwering. Hierna worden de typen zonwering besproken die min of meer zijn gekoppeld aan het kozijn. De volgende zonweringstypen zijn hierin te onderscheiden:

- zonwerend glas
- lamellenzonwering binnen, buiten
- rolschermen binnen, buiten
- zonwering tussen dubbel glas optrekbaar en niet-optrekbaar
- (rol-)luiken in gesloten en louver uitvoering, vaste lamellen of luifels

De volgende opties moeten vanwege bovengenoemde rangorde als energetisch minder geschikt worden betiteld:

- oudere types van niet optrekbare zonwering tussen het dubbele glas (luxaclair) waarvan de isolerende eigenschappen aanmerkelijk slechter zijn dan van HR++ glas.
- zonwerend glas waarvan de zonwerende eigenschappen niet regelbaar zijn waardoor de toetreding van warmte in de winter aanzienlijk slechter is dan bij helder glas.
- rolschermen, (rol-)luiken, vaste lamellen en luifels waarvan de lichttoelatende eigenschappen niet regelbaar zijn.

8.2 Energetisch optimum

De overblijvende opties zijn dus zonweringen in de vorm van lamellen die regelbaar en al of niet optrekbaar zijn. De buitenzonwering is het meest effectief en het is de vraag of de nieuwste lamellensystemen *tussen* dubbel glas kunnen wedijveren met de buitenlamellen (met behoud van maximale isolatiewaarde van het glas). Voor de volledigheid moet nog worden vermeld dat de meeste zonweringen (behalve de vaste luiken) in gesloten toestand geen wezenlijke bijdrage leveren aan de isolatiewaarde van het glas. Het sluiten van zonwering in de nacht heeft in energetisch opzicht weinig effect. Meestal is de isolatiewaarde van de materialen laag en is de luchtuitwisseling tussen de ruimte achter het zonweringssysteem en de buitenlucht groot, hetgeen voordelig is voor de zonwerende eigenschappen.

Vanwege de recente ontwikkelingen op het gebied van lamellen tussen het dubbel glas volgt hier een overzicht van de gevonden waarden van de nieuwe producten:

Tabel 5: *Glassoorten met lamellen tussen dubbel glas*

	ZTA	LTA	U	
Pilkington Insulight Sun Screenline	0,2	0,1	1,1	optrekbaar, motorisch
Luxaclair	0,2	0,05	1,3	niet optrekbaar
Velthec	?	?	1,1	optrekbaar, motorisch
Syglas	0,15		1,1	optrekbaar, motorisch
ter vergelijking:				
buitenzonwering	0,08	0,06		
binnenzonwering	0,36	0,09		

U-waarde: warmteoverdracht [$W/m^2.K$]

ZTA: percentage zonne-energie dat binnentreedt

LTA: percentage zonlicht dat binnentreedt

Warema (www.warema.de) is een producent van zonweringen (ze noemen het zelf liever daglichtregelsystemen) die intensief samenwerkt met een Oostenrijks onderzoeksinstituut genaamd Bartenbach Lichtlabor (www.bartenbach.com). Zij hebben een lamellensysteem ontwikkeld met een hoogreflectieve coating die ook als binnenzonwering goed scoort (ZTA 0,25). Door de hoge reflectie en de mogelijkheid van kantelen van de lamellen is deze zonwering ook geschikt om de hoeveelheid en de richting van het daglicht te sturen. Er zijn ook metingen gedaan in een situatie waarbij deze zonwering aan de buitenzijde is geplaatst (beschermd door een voorzetraam). In dat geval is de ZTA aanzienlijk lager: 0,05.

8.3 Automatisering

Automatisering van zonwering- ofwel daglichtsystemen zijn essentieel om ervoor te zorgen dat de functies van het invangen of weren van warmte en licht worden gewaarborgd. Het sluiten van de zonwering bij lage buitentemperaturen bijvoorbeeld moet zoveel mogelijk vermeden worden omdat daardoor het energiegebruik voor verwarming stijgt (geldt meer voor woningen dan voor kantoren). De automatische buitenzonwering moet dus niet alleen reageren op de zon maar ook op de buiten- en binnentemperatuur. Hieronder volgt een overzicht van de automatiseringsregelingen die er zijn.

Tabel 6: *Automatiseringen zonwering*

merk	reageert op:
Somfy	zon, wind, binnentemperatuur
Huppe form	zon, wind, binnentemperatuur, buitentemperatuur, regen, ijs
Reko electronic	zon, wind, binnentemperatuur
Warema	zon, wind, binnenlicht (door kantelen)

8.4 Comfort versus energie

Een minder exact te definiëren factor dan energie is comfort. We zouden het begrip comfort kunnen onderverdelen in thermisch comfort en lichtcomfort. Oververhitting kan een oorzaak zijn van een oncomfortabel binnenklimaat maar ook een teveel aan licht of een te groot lichtcontrast door zoninstraling kan oncomfortabel zijn. In de Arbo-richtlijnen worden voor beeldschermwerk grenzen voor de maximale luminantieverhouding¹⁰ genoemd van 10 tot 30. Dat gaat dus over de luminantie van scherm en interieurdelen, bijvoorbeeld een muur of een raam, en de verhouding daartussen. Voor visueel comfort is het dus wenselijk de hoeveelheid daglicht te kunnen regelen. Er zijn echter ook onderzoeksresultaten die aantonen dat mensen positieve prikkels krijgen van sterke veranderingen in lichtniveau's. Het prettige gevoel van een

¹⁰ de luminantieverhouding is de verhouding in helderheid van bijvoorbeeld een object (beeldscherm) en de achtergrond

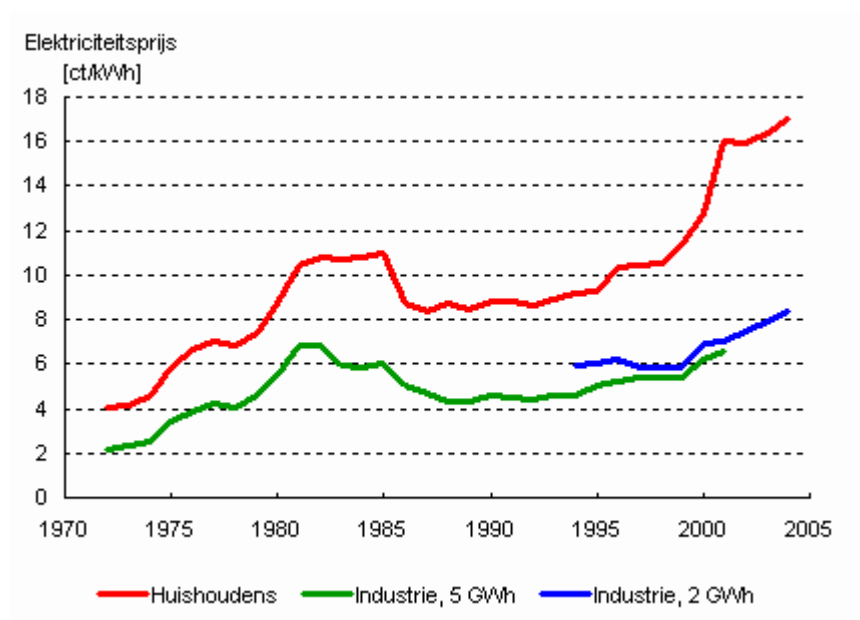
doorbrekend zonnetje dat de kamer in schijnt is een vertaling in gewoon Nederlands van deze stelling. Over visueel comfort valt echter nog veel meer te zeggen. De huidige lichtnormen zijn vooral gericht op taakverlichting (verlichtingsniveaus op het werkblad) wat iets anders is dan comfortverlichting. Onderzoek heeft het positieve effect aangetoond bij blootstelling van de mens aan veel hogere lichtniveaus dan voor taakverlichting nodig is.

8.5 Toevoeging december 2005

Multifilm (<http://www.multifilm.nl/>) is de nieuwe naam voor het vroegere Nederlandse Agero (<http://www.agero.de/>). De naam Agero wordt in Duitssprekende landen gevoerd voor vrijwel hetzelfde product. Bij dit product wordt de folie echter van onder naar boven getrokken! Hierdoor kan de hoeveelheid daglicht beter worden ingesteld in verhouding tot het warmtewerende onderdeel. Licht van boven is immers effectiever dan licht van onder. Een ander product dat ook verschillende lichtdoorlating van onder- en bovendeel kan regelen is van Verosol (<http://www.verosol.nl/>). Hierbij is het bovendeel meestal donkerder dan het onderdeel dat meer doorzicht toelaat. Dat lijkt plezierig maar de lichttoetreding door het bovendeel bepaalt voor een groot deel de hoeveelheid daglicht in de ruimte. Als dat te weinig is gaat het kunstlicht aan en dat is niet de bedoeling. Waarschijnlijk is de Verosol ook wel te bestellen met een transparanter bovendeel. Uit eigen ervaring weet ik dat Multifilm erg goed werkt en ook nog enigszins doorzicht naar buiten toelaat. Het van onder naar boven trekken en boven een strook vrijlaten voor daglichttoetreding, wat de Duitsers doen, is naar mijn idee nog beter. Het aanzicht van Agero/Multifilm buitenaf vind ik minder fraai dan van Verosol dat weliswaar minder effectief is. De warmtewerende effectiviteit van Multifilm ligt rond 20% en Verosol rond 30% in combinatie met het glas.

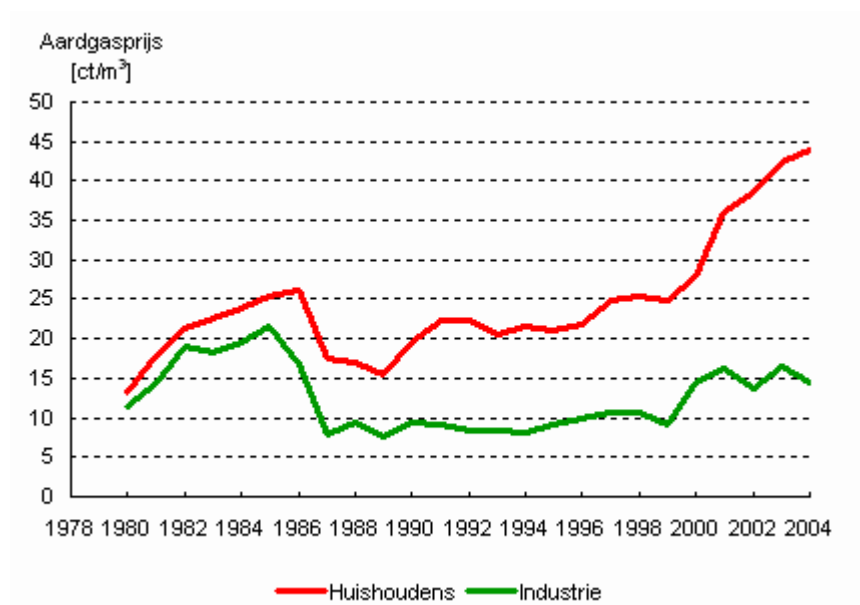
9. Energiegegevens voor zakelijke markt, midden 2005

Met welke energieprijzen moet rekening worden gehouden bij het berekenen van de kostenverlaging door energiebesparing en de terugverdiendtijd van besparingsinvesteringen? Hieronder is de algemene ontwikkeling van de energieprijzen in beeld gebracht. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de energiekosten in specifieke situaties.



Prijzen exclusief BTW

Figuur 10: *Elektriciteitsprijs huishoudens en industrie*



Prijzen exclusief BTW

Figuur 11: *Aardgasrijzen huishoudens en industrie*

9.1 Algemeen

De specifiek voor dit onderzoek gevraagde gegevens zijn verzameld in de periode mei-juni 2005. De gasprijzen zijn ongewijzigd sinds het derde kwartaal van 2004 en de elektriciteitsprijzen sinds januari 2005. Begin augustus zijn door de energiedistributiebedrijven prijsverhogingen gemeld voor particulieren. Deze categorie komt in dit overzicht niet voor maar zou een indicatie kunnen zijn dat de tarieven voor de kleinzakelijke markt ook omhoog gaan.

Bij de gastarieven per m³ die door het energiebedrijf worden opgegeven is de energiebelasting (voorheen REB genoemd) inbegrepen. Dat ligt voor de hand omdat de categorieën van de gasprijs (genoemd in de kop van de vier kolommen in onderstaand overzicht van gastarieven) hetzelfde zijn onderverdeeld als die van de energiebelasting. Bij de elektriciteitstarieven is dat niet het geval (omdat de prijs niet verschillend is voor bijvoorbeeld de eerste 10000 kWh) en moet de energiebelasting apart berekend worden. In bijgaand prijzenoverzicht is de energiebelasting voor elektriciteit ook meegenomen. De energiebelasting wordt gedeeltelijk gecompenseerd door een teruggave van 176 euro per jaar. Er is een MEP-toeslag ingevoerd voor elektriciteit. De REB-korting op duurzame energie is per 1 januari 2005 afgeschaft.

9.2 Elektriciteit

Bij elektriciteit hebben transport en leveringskosten allebei een vast en een variabel deel zodat transport en levering moeilijk te scheiden zijn. De verdeling van vaste en variabele kosten zijn ook verschillend per soort aansluiting, die men in veel gevallen niet weet. Om deze twee redenen zijn bij de elektriciteitstarieven alle kosten van transport, levering, het variabele en ook het vaste deel inbegrepen in dit overzicht. Het gevolg hiervan is dat bij de berekening van de winst bij energiebesparingen een iets te rooskleurig beeld wordt gegeven, omdat het vaste deel bij besparingen slechts weinig of niet vermindert.

Voor het berekenen van de totaalprijs per kWh is in het overzicht het gemiddelde van het piek- en dal tarief of het “continue” tarief dat dag en nacht dezelfde vaste prijs heeft als basis genomen. In het geval van een piek/dal tarief leveren de overdag bespaarde kWh's uiteraard een grotere besparing op en een snellere terugverdientijd voor investeringen in energiebesparingen.

Voor grootverbruikers worden door Nuon geen automatische offertes meer gegenereerd op het internet zoals tot voor kort nog gebruikelijk was. De inkoop vindt tegenwoordig plaats op de APX markt. De prijs kan per dag sterk variëren en is ook afhankelijk van de omvang, de leveringsduur en het leveringspatroon van het energiegebruik. Daarom wordt elke offerte door een medewerker van Nuon persoonlijk behandeld en uitgebracht. Een vrijblijvende, informatieve prijsopgave is dus niet meer mogelijk. Elke offerte-aanvraag beïnvloedt immers de prijzen op de APX markt. De prijzen zijn op dit moment redelijk stabiel maar men verwacht in de nabije toekomst een sterke daling van de prijzen. De prijzen die ik heb gekregen gaan over een offerte die enkele dagen daarvoor voor een andere klant is afgegeven. De volgende gegevens waren op de offerte van toepassing:

- Looptijd 1 jaar
- Aansluitvermogen 365 kW
- Omvang 1,3 miljoen kWh
- Piek 70%
- Dal 30%
- Piek 7,6 ct/kWh
- Dal 3,88 ct/kWh

Bij overschrijding van het vermogen vindt een berekening op basis van de dan geldende prijs plaats.

Een offerte met een omvang van 3 miljoen kWh en verder dezelfde condities zou een prijs hebben opgeleverd van rond de 7 ct/kWh piek. Deze prijzen, vermeerderd met

transporttoeslagen, energiebelasting en dergelijke heb ik opgenomen in het overzicht en zijn dus gebaseerd op een eenmalige aanvraag op een bepaald moment.

9.3 Gas

De gasprijzen heb ik in het verleden steeds exclusief de transportkosten weergegeven omdat die per categorie een vast deel van de prijs vormen. Dit deel van de kosten voor gas verandert dus niet bij besparingen op de hoeveelheid aardgas tenzij men in zeldzame gevallen in andere categorie terecht komt. In dit overzicht is ter informatie ook de volledige prijs van het gas per m³ vermeld, dus inclusief de transportkosten, voor het geval dat geheel van het gebruik van gas wordt afgezien en overgegaan wordt op een andere energiedrager.

9.4 Conclusies

Over het algemeen kan worden gesteld dat de elektriciteitsprijzen zijn gestegen en dat de gastarieven licht zijn gedaald. De stijging van de elektriciteitsprijzen is voor een deel te danken aan de verhoogde energiebelasting en voor een ander deel aan de verhoogde leverings- en transportprijzen. De toegenomen leveringsprijzen zijn voornamelijk het gevolg van de gestegen olieprijzen.

De verschillen met 2003 kunnen soms ook worden toegeschreven aan de andere uitgangspunten (bijvoorbeeld het jaarverbruik en de categoriekeuze).

Het energieprijzenoverzicht 2005:

Tabel 7: *De indicatieve kosten voor gas*

in EURO centen per m ³ incl. REB, excl. BTW	0 - 5.000 m ³	5.000 - 170.000 m ³	170.000 - 1 miljoen m ³	1 miljoen – 3 miljoen m ³ :
Grootverbruik excl. Transport idem 2003	38* (37)	30* (30)	16 (17)	15 (16)
Grootverbruik incl. transport	107	45	27	22
Kleinzakelijk incl. transport	48	36		

*is hetzelfde als kleinzakelijk

Tabel 8: *De indicatieve kosten voor elektriciteit*

in EURO centen per kWh incl. REB en transport, excl. BTW	Kleinzakelijk (bijv. 5000 kWh/jr)	kleinzakelijk (bijv. 50000 kWh/jr)	middenspanning (bijv. 1.300.000 kWh/jr)	middenspanning (bijv. 3 milj. kWh/jr)
2005 (2003)	15 (10)	12 (9)	9 (7)	8 (7)