II Duurzaam installeren

Inleiding

De geschiedenis van de installatietechniek begint in het midden van de negentiende eeuw met de opkomst van de centrale verwarming. Daarna gaat het snel. Vijftig jaar later is de basis gelegd voor de installatietechniek zoals we die nu kennen.

In 1851 krijgt de Amerikaan Gorrie patent op de door hem ontwikkelde koelmachine. In 1857 installeert Otis de eerste personenlift in New York, waardoor hoogbouw mogelijk wordt. In 1870 worden de hygiënische grondslagen voor luchtkwaliteit gepubliceerd (Pettenkofer 1870), en niet lang daarna begint mechanische ventilatie in zwang te raken. In 1880 krijgt Edison patent op de door hem uitgevonden gloeilamp en wordt kunstlicht in gebouwen mogelijk. Omstreeks dezelfde tijd ontwikkelen architecten en constructeurs stalen draagconstructies, waardoor de hoogte van gebouwen niet meer afhankelijk is van dragende gevels, en de eerste 'wolkenkrabber' van 60 meter hoog, verrijst in 1885. In 1889 wordt de Carnegie Hall in New York voorzien van comfort-koeling, in 1902 gevolgd door de New York Stock Exchange. In 1897 wordt de eerste Recknagel [1] gepubliceerd.

Begin 20e eeuw worden door Carrier en anderen systemen voor klimaatregeling ontwikkeld, eerst voor industrieel gebruik, en daarna ook voor comfort. Grootschalige toepassing wordt mogelijk gemaakt door de elektromotor, die begin 20e eeuw de stoommachine en de verbrandingsmotor begint te vervangen. Het is vooral de klimaatregeling geweest die de bouwwereld en de architectuur drastisch heeft veranderd (Bronsema 2000).

Eeuwenlang hield de architectuur zorgvuldig rekening met het klimaat op de locatie van gebouwen. Eeuwenlang werden gebouwen zorgvuldig ontworpen op de toetreding van licht en lucht en het weren dan wel toelaten van zonnewarmte. De ontwikkeling van de installatietechniek maakte dit allemaal overbodig. Installaties maakten gebouwen onafhankelijk van de natuur en zorgden voor een tot dan toe ongehoord comfort. Installaties gaven architecten ook een grote ontwerpvrijheid, en daar heeft men ten volle gebruik van gemaakt. De keerzijde is dat gebouwen hierdoor ook volledig afhankelijk werden van de installatietechniek. Zonder installaties kunnen gebouwen niet meer functioneren.

VIBA heeft als Vereniging voor Integraal Biologische Architectuur vanaf haar oprichting tegenwicht geboden aan deze situatie en daardoor bijgedragen aan de ontwikkeling van de Duurzaam Bouwen-filosofie, die nu wereldwijd volop in de belangstelling staat. Pioniers hebben woningen ontworpen en gebouwd die minder afhankelijk zijn van installaties, en soms zelfs geen installaties meer nodig hebben.

Een duurzaam gebouw is niet per definitie een gebouw zonder, of met weinig installaties. De DuBo-technologie zal in de samenleving ook meer weerklank vinden als dat niet ten koste gaat van het comfort dat de installatietechniek ons in een ontwikkeling van 150 jaar heeft gebracht. De installatiesector wil daarom Duurzame Installaties ontwikkelen die passen in het concept van Duurzaam Bouwen.

Duurzaam installeren

Technische installaties zijn een substantieel onderdeel van elk gebouw. In veel gebouwen wordt meer dan een derde van de totale investering besteed aan klimaatregeling, regeltechniek en gebouwautomatisering, elektrotechnische en sanitaire installaties, communicatie en beveiligingssystemen. Door de relatief korte levensduur van installaties, zeker in vergelijking met bouwkundige constructies, en de energie die ze gebruiken, is de totale milieubelasting van gebouwinstallaties waarschijnlijk veel hoger dan van de gebouwen zelf. Duurzaam Installeren, hierna DuBo Instal genoemd, is daarmee niet minder belangrijk dan Duurzaam Bouwen (DuBo). Desondanks krijgt DuBo Instal in de bouwwereld nauwelijks aandacht, en worden installaties veelal als sluitpost of stelpost beschouwd. Het is daarom een goed idee van VIBA dit boekwerk te openen met een beschouwing over Duurzaam Installeren. Maar wat houdt dat eigenlijk in?

> *'Duurzaam installeren is de bijdrage van de installatiesector aan het realiseren en een verantwoord beheer van een gezonde gebouwde omgeving, gebaseerd op ecologische principes en een efficiënt gebruik van natuurlijke hulpbronnen'. (vrij naar Kibert 1994)*

Met een van deze meest kernachtige definities van duurzaam bouwen is nog niet alles gezegd. ISIAQ [2], een organisatie die zich bezig houdt met het gezonde binnenmilieu, hanteert de volgende definitie:

> *'Duurzame gebouwen beschermen en bevorderen de gezondheid en behaaglijkheid van de bewoners, terwijl ze tegelijk het milieu beschermen en een efficiënt gebruik maken van energie'.*

De notie dat een Gezond Gebouw ook een Duurzaam Gebouw behoort te zijn, is weliswaar niet geheel onomstreden, maar vormt desondanks een gezond uitgangspunt voor de installatiesector. We hebben zorg te dragen voor een gezond binnenmilieu én voor een gezond buitenmilieu.

Het begrip 'duurzaam' wordt hier gebruikt in de betekenis van 'geschikt om het welzijn van het milieu te bevorderen' ofwel 'heilzaam voor het milieu'. Het ligt hiermee in dezelfde lijn als het begrip 'gezond' in 'een gezond gebouw' of 'een gezonde streek'.

De trias energetica

Novem heeft enkele jaren geleden de Trias Ecologica geïntroduceerd als stappenplan voor het realiseren van Milieu Neutrale Gebouwen. Milieu neutraal is in dit verband op te vatten als: energie neutraal, water neutraal en materiaal neutraal.

© 2001 Stichting VIBA Expo

De drie stappen zijn:

1. *Verminder de vraag en het gebruik.*
2. *Gebruik vernieuwbare bronnen.*
3. *Streef naar uiterste efficiëntie.*

Het rekenen aan de milieu-impact van installaties in LCA-modellen (Levens Cyclus Analyse), staat in de installatiesector nog in de kinderschoenen. (En is trouwens in de bouwwereld de kinderschoenen ook nog nauwelijks ontgroeid). Met energie-analyses daarentegen zijn installatietechnici zeer vertrouwd, en derhalve draait het in de navolgende beschouwingen hoofdzakelijk om energie. In plaats van de Trias Ecologica van Novem wordt daarom in het navolgende de Trias Energetica gebruikt.

Verder is het voor de installatietechniek logischer de volgorde van de stappen 2 en 3 om te draaien. Eerst de efficiëntie opvoeren en pas daarna overgaan op vernieuwbare bronnen. De Trias Energetica van de hierna te bespreken installatietechnische voorzieningen ziet er daarom als volgt uit:

1. *Vermindering van de vraag.*
2. *Verbetering van de efficiëntie.*
3. *Gebruik van vernieuwbare bronnen.*

Milieuprestatie versus energieprestatie

Hiervoor is al opgemerkt dat het beoordelen van de integrale milieu-impact met behulp van LCA-rekenprogramma's in de installatiesector nog in de kinderschoenen staat. De bouwwereld is hiermee verder gevorderd; momenteel zijn hiervoor twee rekenprogramma's beschikbaar, die naast elkaar worden gebruikt, te weten:

- ECO-QUANTUM, ontwikkeld door onderzoeksbureau IVAM Environmental Research UvA in samenwerking met de Stichting Bouwresearch (SBR) en de Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting (SEV). Momenteel is het model alleen beschikbaar voor woningbouw.

- GREENCALC, ontwikkeld door DGMR raadgevende ingenieurs in samenwerking met de Rijksgebouwendienst en gebaseerd op het TWIN-model (Haas 1997).

Energetische aspecten worden in beide programma's meegenomen, zij het op een vrij grove wijze en zonder rekening te houden met type en uitvoering van de installatietechnische voorzieningen en de integrale milieu-impact van de installatie zelf. Hierin voorziet het rekenprogramma:

- ECO-INSTAL, ontwikkeld door TNO-MEP in opdracht van ISSO, en met ondersteuning van VNI en TVVL.

Momenteel is van dit progamma alleen een prototype beschikbaar; de ontwikkeling van een markt-versie stagneert wegens het ontbreken van financiële middelen. Hierdoor is een gefundeerde beoordeling en selectie van installatieconcepten op basis van integrale milieuprestatie helaas nog niet mogelijk. Toch is dat noodzakelijk want een beoordeling en selectie op basis van energieprestatie is veel te beperkt.

Bij de ontwikkeling van DuBo ligt momenteel het accent op bouwkundige maatregelen om het binnenklimaat van gebouwen te verbeteren en het energiegebruik te beperken. Deze trend levert meestal zware bouwconstructies op met een sterk accumulerende werking. De invloed van het wisselende buitenklimaat wordt hierdoor sterk gedempt en met een zekere faseverschuiving aan het binnenklimaat doorgeven. In de zomersituatie is dit stabiliserende effect welkom, maar in de wintersituatie is het ongewenst. Bovendien is het volstrekt niet zeker dat hierdoor de milieuprestatie wordt geoptimaliseerd, want bouwmassa, vooral de steenachtige, kost ook 'milieu'. Een licht gebouw met 'snelle' installaties scoort wellicht qua milieuprestatie beter dan een zwaar gebouw!

Duurzaam verwarmen

Vermindering van de vraag (1): thermische isolatie

Sinds de jaren '70 van de vorige eeuw is de thermische isolatie van gebouwen enorm verbeterd. De introductie van, subsidies op en de prijsdaling van HR^{+}- en HR^{++}-glas hebben hieraan een zeer grote bijdrage geleverd. De eerste stap van de Trias Energetica is hier duidelijk succesvol uitgevoerd.

Vermindering van de vraag (2): verbeterde kierdichting

Ook op dit terrein is sinds de jaren '70 veel succes geboekt. De toevallige ventilatie van gebouwen via kieren en spleten is vervangen door het bewust aanbrengen van ventilatie voorzieningen. Voor het realiseren van een luchtdicht gebouw zijn constructietechnieken ontwikkeld (SBR 2001).

Warmtepompboiler.

© 2001 Stichting VIBA Expo

Zonnepanelen krijgen een handzamer formaat.

Vermindering van de vraag (3): warmteterugwinning uit ventilatielucht

Zie: *Duurzaam ventileren, Verbetering van de efficiency (1): Ventilatie-effectiviteit*.

Vermindering van de vraag (4): warmteterugwinning uit warm tapwater

Systemen voor warmteterugwinning uit warm tapwater en gebruik van rioolwater als warmtebron voor warmtepompen zijn reeds in ontwikkeling (Peereboom en Visser 1999). Praktische toepassing hiervan is nog niet beschikbaar. Ook de vraag hoeveel warmte hiermee kan worden teruggewonnen staat nog open.

Vermindering van de vraag (5): een lagere ruimtetemperatuur?

De uitgebreide campagne *Zet de thermostaat een graadje lager* heeft mensen ongetwijfeld bewogen bewuster met hun verwarming om te gaan, al is de invloed daarvan voor zover bekend nimmer gemeten. Het afstand doen van een eenmaal verworven comfort ligt echter niet in de menselijke aard. Wellicht heeft het bijproduct van een betere isolatie, een verhoogd thermisch comfort, wel geleid tot lagere ruimtetemperaturen.

Hoeveel mensen gehoor hebben gegeven aan de oproep zich 's winters binnenshuis warmer te kleden is evenmin bekend, maar waarschijnlijk is dit een zeer kleine minderheid. Het vragen van concessies aan mensen kan ook nooit onderdeel zijn van een succesvolle marketing van DuBo; *milieu* 'verkoopt' nu eenmaal niet. Slogans als *Bespaar geld en voel je beter* en *Warm in de winter – Koel in de zomer* verkopen daarentegen wel en zijn nog waar ook!

Verbetering van de efficiency (1): de HR-ketel

De HR-ketel is in Nederland niet meer weg te denken. Helaas is vooral in woningen en appartementen. een combinatie met een Hoog Temperatuur(HT)-verwarmingssysteem eerder regel dan uitzondering. Omdat de ketel hier ook meestal wordt geregeld met behulp van een ruimtethermostaat, zijn het gebruiksrendementen van de ketel zeker niet optimaal.

Verbetering van de efficiency (2): lage temperatuur verwarming

Lage Temperatuur(LT)-verwarmingssystemen halen een hoger rendement uit HR-ketels, en maken toepassing mogelijk van warmtepompen.

LT-verwarming met lucht is in principe een goede optie, maar luchtverwarming is in Nederland om allerlei redenen nooit erg aangeslagen.

LT-verwarming met radiator maakt het installeren van grote radiatoren noodzakelijk, en drijft hiermee de installatiekosten op zonder substantiële verbetering van het thermisch comfort voor de bewoners.

Vloerverwarming biedt 's winters een hoge mate van thermisch comfort, en is hierdoor, mede door een trendy imago, in feite het beste alternatief. Helaas is vloerverwarming door de grote warmtecapaciteit van de dekvloer zeer traag en daarom minder geschikt als hoofdverwarming (ISSO 1985). Dit geldt eveneens voor de in populariteit toenemende wandverwarming.

Een zeer goede oplossing is het gebruik van vloer- of wandverwarming als basisverwarming, en fluctuaties in de ruimtetemperatuur op te vangen met behulp van een snel reagerende warmtebron. Bij toepassing van gebalanceerde ventilatie kan hiervoor de toevoerlucht dienen, die naar behoefte wordt naverwarmd. Bij zeer goed geïsoleerde woningen en andere gebouwen met geringe warmtevraag kunnen hiervoor elektrische radiatoren of convectoren, aangesloten op groene- of ecostroom, worden gebruikt.

Ook de veelbelovende techniek van bouwdeelactivering past uitstekend in deze strategie.

Verbetering van de efficiency (3): de warmtepomp

De warmtepomp, die laagwaardige energie aan de omgeving onttrekt en deze met behulp van externe energie geschikt maakt voor de verwarming van gebouwen, is al ruim 25 jaar de 'warmtebron van de toekomst'. Desondanks is anno 2001 de penetratiegraad door hoge investeringskosten, problemen in de bedrijfsvoering en tegenvallende resultaten momenteel nog zeer gering.

Voor grootschalige toepassing in woningen heeft de elektrische warmtepomp (EWP) de beste papieren, maar diverse factoren hebben een grootschalige toepassing tot op heden in de weg gestaan, o.a.:

- De hoge kosten en lage energieprestatie in vergelijking met de concurrerende HR-CV-ketel

© 2001 Stichting VIBA Expo

- Het vereiste LT-verwarmingssysteem en de noodzaak tot warmteopslag in een buffervat
- De (te) geringe capaciteit voor de warm tapwatervoorziening; het lage temperatuurniveau en de inherente legionella-problematiek
- Twijfels of warmtepompen überhaupt wel in een duurzame energiehuishouding passen. (van der Ree, de Swaan Arons en Ruijgers 1997).

In de utiliteitsbouw wordt de warmtepomp met meer succes toegepast. Enerzijds is het installatieconcept hier gemakkelijker aan te passen aan de vereiste lage temperatuur van het verwarmingsmedium; anderzijds wordt de warmtepomp hier veelal ook gebruikt voor het leveren van koude in de zomer.

Verbetering van de efficiency (4): overige kansen

Micro Warmte Kracht Units met gasmotor voor de woningbouw (plug and play) met een vermogen van 2 – 5 kW/h en 6 – 12 kW/h worden reeds als bedrijfsklare units op de markt gebracht.

Vrijwel alle Europese ketelfabrikanten zijn actief bezig met de ontwikkeling van micro Warmte Kracht Units op basis van brandstofcellen.

De Technische Raad Commissie DuBo Instal van TVVL heeft een voorstudie uitgevoerd naar innovatieve installatieconcepten voor duurzame woningen (Nobel 2000). Voor nieuwe woningen met een lage warmtebehoefte voor ruimteverwarming lijkt de gasvoorziening een onrendabele investering te worden en is de EWP, aangedreven door natuurstroom of ecostroom, een interessante optie. De toepassing van warmtepompboilers, die de afgezogen ventilatielucht als energiebron benutten ligt eveneens voor de hand. Een alternatief voor de thermische bestrijding van het legionella-risico is hiervoor een noodzakelijke voorwaarde.

De aanleg van centrale lage temperatuurnetten op wijkniveau lijkt voor nieuwbouwwijken erg aantrekkelijk, vooral in combinatie met seizoenopslag in de bodem. Warmtepompen kunnen hieraan zowel warmte onttrekken als afgeven, waardoor energiezuinige verwarming én koeling van woningen mogelijk wordt. Tegelijk kan tegemoet worden gekomen aan een toenemende behoefte aan thermisch comfort in de zomer.

Uit de voorstudie blijkt dat inpassing van innovatieve systemen voor warmteconversie beter niet stand-alone kan worden toegepast, maar als onderdeel van een totaalconcept op (minstens) wijkniveau aanzienlijk kansrijker is. De vergelijking dringt zich hier op met de stand-alone windgenerator versus complete windparken, die duidelijk aan de winnende hand zijn. Andere studies (Haskoning 1994) bevestigen deze zienswijze.

Exergie

Exergie is, eenvoudig uitgedrukt, het voor mechanische energie (kracht) bruikbare deel van energie. Het drukt de kwaliteit van een bepaalde vorm van energie uit.

Het rekenen met energetische rendementen is in zekere zin misleidend, want de kwaliteit van verschillende energievormen wordt hierdoor aan het zicht onttrokken. Het hoge energetische rendement van bijvoorbeeld een HR-CV-ketel (ruim 90% op calorische bovenwaarde, en 100% op calorische onderwaarde) wekt de indruk dat er geen verbeteringen meer mogelijk en nodig zouden zijn. Het exergetisch rendement van deze ketel is echter slechts ca 15%.

Het exergetisch rendement geeft een reëler beeld van de prestaties van een installatie dan het energetisch rendement. Het rekenen met exergetische rendementen maakt daarom een zuiverdere benchmarking van prestaties mogelijk.

Exergie-analyse is momenteel een overwegend academische aangelegenheid. TVVL wil het exergieconcept echter van haar academisch aura trachten te ontdoen om het werken met exergetische rendementen binnen het vakgebied van de installatietechniek te bevorderen. De Technische Raad heeft hiervoor de Commissie Exergie ingesteld, die tot taak heeft te onderzoeken of, en hoe deze doelstelling kan worden gerealiseerd.

Samenvatting en conclusies

De huidige bouwwijze, concepten en technieken voor ruimteverwarming bieden weinig mogelijkheden meer voor verdere verbeteringen.

Ontkoppeling van verwarmingssystemen in een LT-basisverwarming met warmtepompen en een elektrische naverwarming met groene- of ecostroom past in het DuBo Instal-concept, en is daarmee een aantrekkelijk alternatief, dat niet alleen het milieu dient, maar eveneens het comfort van de gebruiker.

Innovatieve systemen zullen in een integraal concept op wijkniveau meer succes hebben dan bij stand-alone toepassingen. De komst van (micro) warmtekracht units op basis van brandstofcellen zou hierbij een werkelijke paradigma verandering kunnen betekenen.

Voor een benchmarking van prestaties wordt het rekenen met exergetische rendementen aanbevolen.

Duurzaam ventileren

Vermindering van de vraag (1): ventilatiecapaciteit

Een goede ventilatie is essentieel voor een gezond en productief binnenmilieu en bij eventuele vermindering van de vraag mogen hieraan geen concessies worden gedaan.

Ventilatie is nodig voor het verdunnen en afvoeren van hinderlijke en schadelijke stoffen uit het interieur, zoals lichaamsgeuren, vocht, vluchtige organische componenten (VOC's), stof, allergenen, ziektekiemen en tabaksrook. Minder ventileren is alleen maar mogelijk als we de verontreinigingen beperken door te zorgen voor:

- Een droog gebouw. Vocht is één van de ergste vijanden van een gezond binnenmilieu vooral door de potentiële kans op schimmelvorming en de allergenen en microorganismen die hierdoor in de binnenlucht kunnen worden gebracht.

© 2001 Stichting VIBA Expo

- Beperking van de chemische emissie uit bouw- en inrichtingsmaterialen. In Nederland is het helaas nog niet mogelijk op een eenvoudige manier gezonde materialen te selecteren, dit in tegenstelling tot een land als Finland, waar al enkele jaren een catalogus van emissiearme materialen beschikbaar is. Voorlopig zijn we hier nog aangewezen op ons gezond verstand, ons reukorgaan en/of gespecialiseerde adviseurs zoals TNO Bouw.

- Een rookvrij gebouw; tegen tabaksrook in het interieur is nauwelijks te ventileren.

- Een effectief schoonmaakonderhoud.

Als al deze maatregelen getroffen zijn, kunnen we in principe de noodzakelijke ventilatie baseren op hygiënische criteria i.c. de geurverontreiniging door personen. Volgens de Beleidsregels ARBO kan hiervoor worden gerekend met een maximum CO_2 concentratie in de lucht van 0,1 vol % (1.000 ppm). Hierbij is de ventilatiecapaciteit ca 25 à 30 m^3/uur per persoon, afhankelijk van het activiteitsniveau. Uiteraard moet hierbij worden voldaan aan de minimale eisen uit het Bouwbesluit, die in sommige gevallen wat hoger liggen.

Vermindering van de vraag (2): warmteterugwinning

Warmteterugwinning uit ventilatielucht is anno 2001 voor de U-bouw al min of meer standaard en wordt ook voor de woningbouw op grote schaal toegepast. Rendementen tot 70% zijn standaard bereikbaar en een enkele fabrikant gaat zelfs tot 90%. Aangezien door de hoge isolatiegraad van gebouwen de warmtebehoefte voor ventilatie vaak groter is dan die voor dekking van het warmteverlies levert warmteterugwinning uit ventilatielucht een substantiële bijdrage aan de vermindering van de warmtevraag.

Voor warmteterugwinning is een systeem van gebalanceerde ventilatie vereist. Het extra materiaal- en energiegebruik hiervoor kan als een minpunt worden beschouwd. Een studie uit 1993 toonde aan dat warmteterugwinning bij woonhuisventilatie een negatief effect had op de totale milieuprestatie (Hendriksen en Eggels 1994).

Verbetering van de efficiency (1): ventilatie-effectiviteit

De ventilatie-effectiviteit van een systeem geeft aan in hoeverre de ventilatielucht nuttig wordt gebruikt voor de afvoer van hinderlijke en schadelijke stoffen uit een ruimte. Bij sommige systemen is de concentratie in de afgezogen lucht lager dan die in de ruimte, hetgeen duidt op een minder effectief gebruik van de ventilatielucht. Ook het omgekeerde is mogelijk.

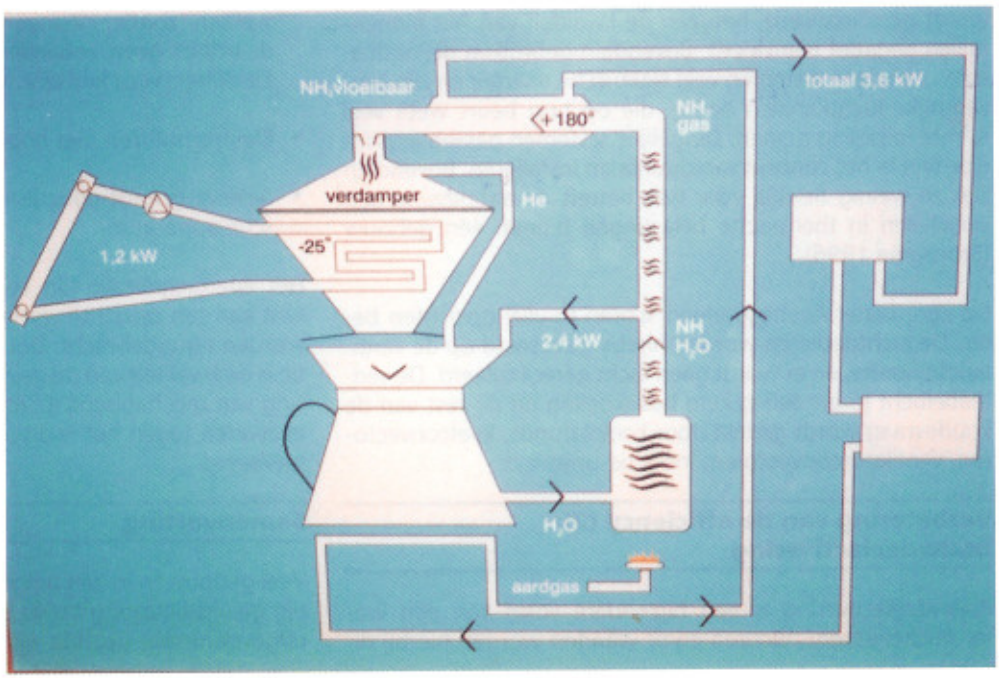
Voor beperking van het energiegebruik met behoud van een gezond binnenmilieu is maximalisering van de ventilatie-effectiviteit noodzakelijk.

Verbetering van de efficiency (2): hybride ventilatie

Hybride ventilatiesystemen maken gebruik van gevelroosters voor natuurlijke luchttoevoer in combinatie met mechanische afzuiging.

Natuurlijke ventilatiesystemen scoren in het algemeen uitstekend bij onderzoek naar het binnenmilieu in kantoren e.d. Een nadeel is dat gebruikers de gevelroosters vaak sluiten bij lage buitentemperaturen en/of hoge winddruk op de gevel, waardoor de kwaliteit van de ruimtelucht snel vermindert. Ook in de zomer kunnen problemen ontstaan, omdat de drijvende kracht voor de ventilatie, wind en/of temperatuursverschillen te gering zijn. "Intelligente" hybride ventilatiesystemen met geregelde gevelroosters combineren het grote voordeel van natuurlijke ventilatie (de lucht komt direct van buiten) met de stabiliteit van mechanische ventilatie (Bronsema 2001).

Warmteterugwinning uit de ventilatielucht kan bij hybride ventilatie worden gerealiseerd met behulp van een warmtepomp, die in de woningbouw bij voorkeur als warmtepompboiler wordt uitgevoerd. Omdat er geen gebalanceerd ventilatiesysteem nodig is, vervalt ook het materiaal- en energiegebruik van deze voorzieningen. Hybride ventilatie past hierdoor uitstekend in het concept van duurzaam installeren (ISSO / SBR 2001).



Schematische weergave van de werking van een gaswarmtepomp.

Samenvatting

Een droog gebouw, gebruik van emissie-arme (gezonde) materialen in het interieur, effectief schoonmaakonderhoud en een rookverbod zijn de beste middelen om de ventilatiecapaciteit te beperken. Hierbij mogen geen concessies worden gedaan aan de gezondheid van de gebruikers.

Een optimale ventilatie-effectiviteit en warmteterugwinning zijn nodig om het energiegebruik voor ventilatie te beperken. Het extra materiaal- en energiegebruik van gebalanceerde ventilatiesystemen kan hierbij niet worden verwaarloosd en moet bij de integrale milieuprestatie worden betrokken.

'Intelligente' hybride ventilatiesystemen kunnen het binnenmilieu en de milieuprestatie verbeteren.

Duurzame klimaatregeling

Vermindering van de vraag

Voor veel gebouwen in een omgeving met gezonde lucht en weinig geluidsbelasting op de gevel zal hybride ventilatie de eerste keus zijn. Deze systemen kunnen bij matige thermische belastingen aan hoge comforteisen voldoen door toepassing van hoge temperatuur koelschermen (Veerman 2001).

Voor gebouwen met hoge thermische belastingen en hoge comforteisen, (prestigieuze) hoogbouw, ondergrondse gebouwen, en gebouwen in verkeersrijke gebieden en grootstedelijke omgevingen waar de kwaliteit van de buitenlucht vaak minder goed is en de geluidsbelasting op de gevel hoog, zal in het algemeen worden gekozen voor kunstmatige klimaatregeling.

Verbetering van de efficiency (1): water-/luchtsystemen

Bij de in de jaren '70 en '80 veel toegepaste lucht-/lucht(all air)-systemen met constant of variabel debiet wordt de volledige koudebehoefte van de ruimte gedekt door lucht. Vooral bij hoge thermische belastingen zijn grote luchtdebieten nodig waarbij, om energie te besparen een deel van de lucht wordt gerecirculeerd, hetgeen de kwaliteit van het binnenmilieu negatief beïnvloedt. Bovendien gebruiken de ventilatoren van deze systemen veel elektrische energie en zijn omvangrijke luchtkanalen nodig, die op hun beurt weer veel ruimte in beslag nemen. Dergelijke systemen passen in principe niet in het concept van duurzaam installeren. Bovendien zijn ze weinig flexibel voor wat betreft de aanpassing aan verschillen in thermische belastingen binnen één gebouw (Bronsema 1996).

De zgn. water-/luchtsystemen scoren in veel opzichten beter. De luchtdebieten worden hierbij gebaseerd op de ventilatiebehoefte, en er wordt geen lucht gerecirculeerd. De ventilatielucht levert een zekere basiskoeling en de rest van de koudevraag wordt gedekt door koelplafonds, koelconvectoren, ventilatorconvectoren, inductie-units e.d.

Verbetering van de efficiency (2): bouwdeelactivering

Bouwdeelactivering is een bijzondere vorm van een water-/luchtsysteem. Vloeren en/of wanden worden hierbij direct gekoeld en kunnen hierdoor warmte uit de ruimte opnemen. Ook het omgekeerde, verwarming, is hierbij mogelijk. Door de grote beschikbare oppervlakken zijn slechts geringe temperatuurverschillen nodig, waardoor het systeem kan worden beschouwd als ultiem Lage Temperatuur(LT)-verwarmingssysteem en Hoog Temperatuur(HT)-koelsysteem. Dit is zowel energetisch als exergetisch bijzonder gunstig.

De Technische Raad Commissie DuBo Instal van TVVL heeft over de technologie van bouwdeelactivering een voorstudie opgesteld (Nijeboer en Besselink 2000), op basis waarvan naar verwachting door ISSO vervolgonderzoek zal worden uitgevoerd en door VABI software zal worden ontwikkeld.

Verbetering van de efficiency (3): luchtbehandelingskasten

Aan het energiegebruik van luchtbehandelingskasten valt nog veel te verbeteren. De eerste en meest voor de hand liggende mogelijkheid is het beperken van de doorstroomsnelheid, waardoor de luchtweerstand en daarmee het elektrisch vermogen voor de ventilatoren sterk afneemt. Uit concurrentie overwegingen worden kasten vaak zo klein mogelijk geselecteerd, waardoor niet alleen de luchtweerstand, maar ook de geluidsproductie van de ventilatoren stijgt. De hiervoor benodigde de geluiddempers veroorzaken weer extra luchtweerstand.

Ook verder zijn op dit gebied substantiële verbeteringen mogelijk (Bronsema 1997), namelijk:

- Ultieme luchtfiltering bij geringe luchtweerstand met behulp van elektrostatische luchtfilters (Bronsema 1997).
- Koeling, bevochtiging en droging van de lucht met behulp van multifunctionele luchtwassers, ter vervanging van de traditionele koelbatterij met druppelvanger. De water- en de luchttemperatuur liggen hierbij dicht bij elkaar en de wasser neutraliseert eventuele ozon uit het elektrostatisch filter.
- Drukverhoging met plenumventilatoren, met elektronische regeling van het luchtdebiet. Deze ventilatoren werken zonder V-snaar overbrenging en veroorzaken daardoor geen vervuiling van de lucht met rubberstof. Eindfilters voor kritische toepassingen worden overbodig.
- Elektromotoren met hoog rendement (Smit 1994).
- Actieve geluidsreductie met behulp van elektro-akoestische apparatuur.

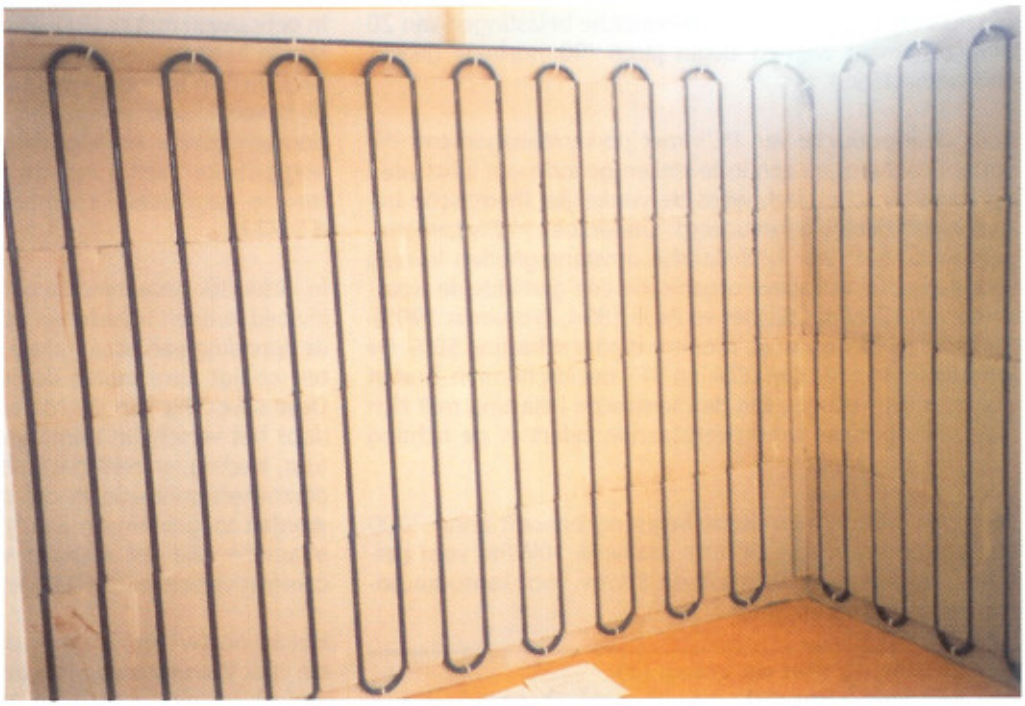
Het energiegebruik van een dergelijke luchtbehandelingskast kan ten opzichte van een traditionele kast tot de helft worden teruggebracht. Door de luchtfilter/-wassercombinatie is de kwaliteit van de geleverde lucht beter dan bij toepassing van mechanische luchtfilters, waardoor de hygiënische bezwaren tegen het recirculeren van lucht worden geminimaliseerd.

Samenvatting

Veel gebouwen in een omgeving met gezonde lucht en weinig geluidsbelasting op de gevel kunnen uitstekend worden uitgevoerd met hybride ventilatie, waardoor de omvang en

© 2001 Stichting VIBA Expo

Wandverwarming.



het energiegebruik van de luchttechnische voorzieningen kan worden beperkt.

Water-/luchtsystemen hebben in het algemeen een betere energieprestatie dan all air- systemen, en bieden een beter binnenmilieu bij een grotere flexibiliteit. Dit geldt in het bijzonder voor bouwdeelactivering.

De energieprestatie, en ook de milieuprestatie van luchtbehandelingskasten kan nog substantieel worden verbeterd.

Duurzaam koelen

Vermindering van de vraag (1): externe thermische belastingen

Na een aantal ervaringen met onacceptabele ruimtecondities in de zomer tijdens de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw is in de architectuur een trend ontstaan het raamoppervlak van gebouwen te beperken. Deze trend werd versterkt door klimaatingenieurs die waarschuwden voor hoge investerings- en bedrijfskosten van de klimaatinstallatie. Als resultaat hiervan zijn in de daarop volgende jaren vele gebouwen gerealiseerd met kleine tot zeer kleine ramen, vaak voorzien van reflecterende beglazing. Pas veel later drong het besef door dat in deze gebouwen weliswaar werd bespaard op de kosten voor koeling, maar dat door de continu ingeschakelde kunstverlichting het stroomgebruik en daardoor de bedrijfskosten juist waren gestegen.

Tegenwoordig gaat de trend de andere kant op; gebouwen worden weer transparanter, en de vraag doet zich voor waar nu het evenwicht ligt tussen voldoende uitzicht, optimale toetreding van daglicht, de noodzaak voor mechanische koeling en de belevingswaarde van het gebouw zowel voor de bewoners als voor de gebouwde omgeving.

Voor wat betreft het uitzicht is er op basis van gezondheidsonderzoek consensus over een minimale raamgrootte van 30% van het gevelbinnenoppervlak. Ramen moeten tevens bij voorkeur uitzicht bieden waarin zowel de skyline met een stuk van de hemel is te zien, als een stuk grondoppervlak.

Voor de toetreding van daglicht geldt in feite, hoe groter de ramen, des te meer daglicht, maar dit heeft een keerzijde. Als bij het ontwerp wordt gekozen voor een gebouw zonder mechanische koeling is de raamgrootte uiteraard kritischer dan bij een gebouw met klimaatregeling.

Bij deze overwegingen moet met respect melding worden gemaakt van de ontwikkelingen in de glasindustrie gedurende de laatste decennia. HR^{++}-glas met een U-waarde van 1,2 W/m^2.K, een hoge lichttoetreding (LTA) in combinatie met een een lage zontoetreding (ZTA), een hoge selectiviteit, LTA/ZTA ca 70/30, en een neutrale kleur met weinig reflecties maakt het mogelijk op een geheel andere manier over de gevel te denken dan twintig jaar geleden. Een grotere transparantievan de gevel, meer daglicht en minder kunstlicht levert een win-win situatie op voor de architect, de gebruiker en de beheerder in de vorm van een grotere ontwerpvrijheid, een beter binnenmilieu en een lagere energierekening.

Vermindering van de vraag (2): interne thermische belastingen

De interne thermische belastingen laten over de laatste dertig jaar eveneens een grillig beeld zien. In de jaren '60 van de vorige eeuw was een geïnstalleerd elektrisch vermogen voor de kunstverlichting van 30W/m^2 niet ongewoon. Er was in die tijd zelfs een systeem voor klimaatregeling op de markt, Heat of Light geheten, dat met behulp van inductieunits gebruikt maakte van de warmte dissipatie van de verlichtingsarmaturen in de plafondruimte.

In de jaren '90 werd een geïnstalleerd vermogen van ca 10 W/m^2 voor een één- of tweepersoons kantoorvertrek normaal.(van Bergem-Jansen 1995). Hierbij worden hoogfrekwent fluorescentie buislamp armaturen gebruikt. Tevens werd de daglichtafhankelijke regeling van de verlichting geïntroduceerd, waardoor de thermische belasting, mede afhankelijk van het toegepaste daglichtsysteem in de ramen, verder kan worden gereduceerd tot 5 à 6 W/m2.

In de jaren '70 kwam de kantoorautomatisering op, en moest rekening worden gehouden met de warmtedissipatie

© 2001 Stichting VIBA Expo

van PC's en randapparatuur. Thermische belastingen van 20 W/m² en meer werden begin jaren '90 normaal geacht (Bronsema 1995).

Door de introductie van PC's met powermanagement, die het beeldscherm na een in te stellen periode van inactiviteit op stand-by schakelen, werd de werkelijke thermische belasting aanzienlijk gereduceerd. Onderzoek in Zwitserland, geëxtrapoleerd naar Nederlandse omstandigheden leverde voor een administratieve organisatie een gemiddelde waarde op van 12 W/m². (Eicher en Pauli 1994, Bronsema 1995). Het aandeel hierin van de monitor is naar schatting 50%. De introductie van vlakke LCD- en TFT-beeldschermen brengt opnieuw een reductie van de thermische belasting met zich mee, die op basis van bovenstaande cijfers in de richting gaat van 8W/m².

De totale interne thermische belasting behoeft anno 2000 niet groter te zijn dan 24W/m², namelijk 10W/m² voor personen, 6W/m² voor kunstlicht en 8W/m² voor kantoorautomatiserings apparatuur.

Vermindering van de vraag (3): het adaptieve model voor thermisch comfort

Het PMV(Predicted Mean Vote)-model voor thermisch comfort (Fanger 1970, ISO 1994) gaat ervan uit dat het thermisch evenwicht van het menselijk lichaam wordt geregeld door autonome fysiologische reacties aangestuurd door thermische prikkels uit zijn directe omgeving (de Dear en Schiller 1998, Humphreys en Nicol 1998). Het PMV-model wordt algemeen beschouwd als universeel toepasbaar in alle soorten van gebouwen, klimaatzones, en bevolkingen.

De laatste jaren zijn veel onderzoekers zich af gaan vragen of het PMV-model wel zo universeel is als word aangenomen, omdat het belangrijke culturele, klimatologische, sociale, psychologische, fysiologische en omgevingsfactoren negeert. De behoefte aan ruimtekoeling wordt hierdoor min of meer overdreven. Richtlijnen en normen voor het binnenklimaat zouden moeten zijn gebaseerd op een adaptief model voor thermisch comfort waarin deze factoren wel tot uitdrukking worden gebracht. Een dergelijke norm houdt rekening met het actuele buitenklimaat, maar ook met het verwachtingspatroon dat mensen hebben over het binnenklimaat, dat op zijn beurt weer is gebaseerd op ervaringen uit het verleden.

Als een verandering in het binnenmilieu thermische onbehaaglijkheid tot gevolg heeft, leidt dit in het algemeen tot een reactie van mensen die hun behaaglijkheid weer willen herstellen. Dergelijke reacties of adaptaties, kunnen betrekking hebben op het gedrag, bijvoorbeeld het aan- of uittrekken van een kledingstuk, het open zetten van een raam, het aanzetten een airconditioner of een werkonderbreking met een siësta. De meer gecompliceerde interactie tussen het menselijk gedrag en de fysiologische en psychologische aspecten van adaptatie is voer voor psychologen. Dat het setpoint van het thermische comfort allerminst een vast gegeven is, staat wel vast.

Een uitgebreid en wereldomvattend onderzoek (21.000 personen in 160 gebouwen) heeft aangetoond dat mensen vaak veel toleranter zijn over de ruimtecondities waarin ze werken dan op grond van het thermofysiologisch model van ISO 7730 kan worden berekend. Maar er zijn wel grote verschillen tussen de gebouwen onderling.

In gebouwen met centrale klimaatregeling en niet te openen ramen hebben mensen weinig mogelijkheden voor aanpassing, en hun tolerantie met betrekking tot het binnenklimaat blijkt veel kleiner te zijn dan in natuurlijk geventileerde gebouwen zonder koeling. Ongetwijfeld speelt hun verwachtingspatroon hierbij een rol. Interessant is dat de geregistreerde voorkeurstemperaturen goed overeenkomen met ISO 7730.

In natuurlijk geventileerde gebouwen, waarin mensen meer invloed kunnen uitoefenen op hun thermische omgeving, is de spreiding van acceptabele ruimtetemperaturen veel groter, en ligt ruim buiten de comfortgrenzen van ISO 7730. Deze spreiding kan slechts voor de helft worden verklaard door het verschil in ruimtetemperatuur en buitentemperatuur, kleding, en relatieve luchtsnelheid in de ruimte. De onderzoekers concluderen dat de rest van de spreiding moet worden toegeschreven aan fysiologische en psychologische adaptatie, die het setpoint van het subjectieve thermisch comfort verstellen (de Dear en Schiller 1998).

Het zal nog wel enkele jaren duren voordat het adaptief model voor thermisch comfort betrouwbaar genoeg is om in de praktijk te worden gebruikt. Met de gegevens uit de vermelde referenties kan ook nu al een goed inzicht worden verkregen in de gebruiksmogelijkheden van dit model.

In Nederland wordt het binnenklimaat in utiliteitsgebouwen meestal beoordeeld op basis van ISO 7730 in combinatie met een computersimulatie die het gemiddeld te verwachten aantal uren tijdens de zomermaanden berekent van bepaalde ruimtetemperaturen bij verschillende bouwkundige en/of installatietechnische varianten. In veel gevallen wordt hierbij een bepaald percentage of jaarlijks aantal uren overschrijdingen van de optimale PMV geaccepteerd. Als installatietechnische varianten worden vaak het ventilatiedebiet en de temperatuur van de toegevoerde lucht (de koelcapaciteit) ingevoerd.

Op basis van het bovengenoemde onderzoek kan de vraag worden gesteld of deze methode wel juist is. Door een gebouw van koeling te voorzien, verschuift het verwachtingspatroon van de bewoners naar lagere ruimtetemperaturen in de zomer waardoor de 'acceptabel' geachte overschrijdingen van de optimale PMV zichzelf 'onacceptabel' maken.

Een betere benadering lijkt om voor elk gebouw vooraf een keuze te maken tussen koeling of natuurlijke ventilatie, en daarop het gebouw ook te ontwerpen. Bij de keuze voor natuurlijke ventilatie wordt dan het simulatiemodel ingezet voor de toetsing van het binnenklimaat aan het adaptieve thermo-fysiologische model en niet meer aan ISO 7730. Bij de keuze voor koeling wordt dan getoetst aan ISO 7730. Dit is eveneens het geval indien een bepaald gebouwontwerp om één of andere reden niet voldoet aan de toets aan het adaptieve model, waardoor koeling noodzakelijk wordt,

Verbetering van de efficiency (1): koudeopwekking

Een veelgehoord argument tégen mechanische koeling is het vermeende hoge energiegebruik van koelinstallaties. Nu valt dat in het Nederlandse klimaat nogal mee, maar toch is het goed om dit argument nader eens nader te beschouwen. Een paar eenvoudige formules uit de Recknagel [1] geven hierin enig inzicht.

© 2001 Stichting VIBA Expo

$\varepsilon_k = \varepsilon_{kc} \times \varepsilon_{ck}$

waarin:
ε_k = koudefactor (COP)
ε_{kc} = (ideale) Carnot-koudefactor
ε_{ck} = Carnot rendement

$\varepsilon_{kc} = T_0 / (T_c - T_0)$

waarin:
T_0 = absolute temperatuur koude kant
T_c = absolute temperatuur warme kant

De formules laten zien dat een hoge koudefactor, en dus een laag energiegebruik voor koeling, kan worden bereikt door de temperatuur van de koude kant en de warme kant (verdampingstemperatuur en condensatietemperatuur) zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen.

Voor de koelinstallatie houdt dit in het kiezen van verdampers en condensors met een groot oppervlak. Voor het klimaatsysteem betekent dit enerzijds het kiezen voor hoge temperatuur koelsystemen, koelplafonds, gekoelde vloeren en bouwdeelkoeling. Anderzijds moet worden gezocht naar lage temperatuur afgifte-systemen, bijvoorbeeld het gebruik van grondwater en/of de bodemmassa. Enkele illustraties:

Zie de volgende tabel.

Situatie	(1)	(2)	(3)	(4)
T_c – °C	50	35	35	20
T_o – °C	1	1	11	11
ε_{kc}	5,6	8,0	11,8	31,5
ε_{ck}	0,58	0,63	0,58	0,31
ε_k	3,2	5,0	6,8	9,8

Installatieontwerp en Koudefactor

(1) Als we lucht willen koelen naar 14 °C met koud water van 6 °C zal de verdampingstemperatuur bijvoorbeeld 1 °C zijn. Als een luchtgekoelde condensor wordt toegepast zal de condensatietemperatuur bijvoorbeeld 50 °C zijn. Bij een Carnot rendement van 0,55 wordt dan een koudefactor berekend van 3,2

(2) Bij toepassing van een koeltoren kan de condensatietemperatuur worden verlaagd naar bijvoorbeeld 35 °C, waardoor de koudefactor wordt verbeterd naar 5,0

(3) Toepassing van koelplafonds met koudwater van 16 °C, een verdampingstemperatuur van 11 °C en een condensatietemperatuur van 35 °C (koeltoren) levert een koudefactor op van 6,8

(4) Als we in dit geval de warmte naar de bodem afvoeren via bodemabsorbers of actieve heipalen zou de condensatietemperatuur wellicht kunnen worden verlaagd naar 20 °C bij een koudefactor van 9,8 als een koelcyclus in dit temperatuurgebied tenminste haalbaar is. We komen dan in de buurt van directe koeling met koude uit de bodem waarvoor geen koelmachine meer nodig is.

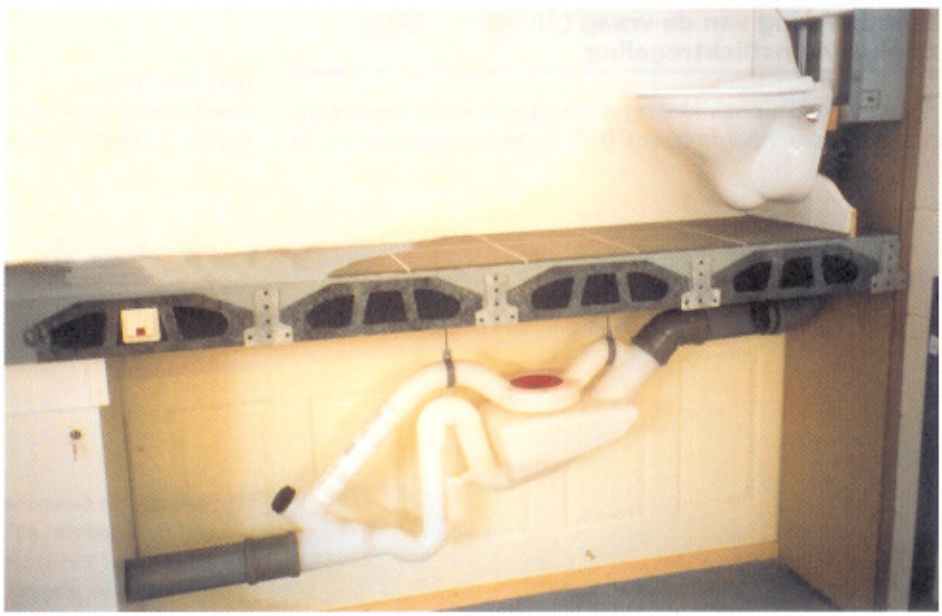
Deze voorbeelden illustreren uiteraard slechts globaal waarover het gaat. Maar daarvoor zijn het ook illustraties.

Verbetering van de efficiency (2): alternatieve koelsystemen

Adiabatische koeling is voor comfortinstallaties de laatste jaren in de belangstelling komen te staan. Vooral als laagwaardige afvalwarmte ter beschikking staat, kan dit een interessant alternatief zijn. Ook zonne-energie komt in aanmerking. Over de integrale koudefactor van deze systemen is (nog) weinig bekend.

Samenvatting

Vermindering van de koudevraag staat bij duurzaam koelen voorop. In de eerste plaats met behulp van een doordacht ontwerp van de daglichtopeningen in de gevel inclusief zonwering en daglichtsysteem. De thermische belasting door zoninstraling en de inherente behoefte aan koeling moet hierbij worden afgewogen tegen de behoefte aan kunstverlichting. Door een daglichtafhankelijke regeling van de verlichting en een milieugerichte keuze van PC's en beeldschermen, kan de interne thermische belasting substantieel worden beperkt.



Een waterbesparend toilet is een voorbeeld van een 'ingewikkelde installatie'.

Aandacht wordt gevraagd voor een alternatieve benadering van thermisch comfort op basis van het in ontwikkeling zijnde adaptieve model. De behoefte aan koeling kan hierdoor op een subtielere manier worden bepaald dan op basis van ISO 7730.

De koudefactor van koelinstallaties laat nog mogelijkheden zien voor verbetering. Hiervoor is medewerking van de industrie noodzakelijk. Veel grotere mogelijkheden biedt het dichter bij elkaar brengen van de koude en de warme kant (verdampingstemperatuur en condensatietemperatuur) in concepten van klimaatregeling, waarop de installatieontwerper kan worden aangesproken.

In sommige gevallen kan adiabatische koeling energiebesparing opleveren. Over de energie- en milieuprestatie van dergelijke systemen is echter nog weinig bekend.

Duurzaam verlichten

Vermindering van de vraag (1): daglicht

Daglicht is gratis en wordt door mensen in het algemeen ook meer gewaardeerd dan kunstlicht. Optimalisatie van daglichtopeningen is dan ook de eerste stap om bij verlichting energie te besparen.

Daglichtopeningen verlichten de ruimte ongelijkmatig, met hoge verlichtingsniveaus in de buurt van het raam en lagere niveaus dieper in het vertrek. Het gebruik van daglicht kan ook tot oncomfortabele, verblindende situaties leiden, waardoor de gebruiker van de ruimte zowel door direct zonlicht alsook door de hoge mate van helderheid van een bewolkte hemelkoepel verblind kan worden. Hierbij kunnen ook reflecties in het beeldscherm worden waargenomen, een vorm van indirecte verblinding.

Met behulp van daglichtsystemen in de vorm van lamellen en/of light shelves kan het visueel comfort worden geoptimaliseerd (van der Voorden 2000). De optimale daglichtopening, waarbij visueel comfort in de ruimte gepaard gaat met een zo laag mogelijk energiegebruik voor de kunstverlichting is het resultaat van een zorgvuldig ontwerpproces waarbij het gekozen daglichtsysteem een belangrijke rol speelt.

Vermindering van de vraag (2): daglicht/kunstlichtregeling

Een belangrijke ontwikkeling die in steeds meer nieuwe armaturen voor hoogfrequent (HF) fluorescentiebuizen is te vinden, zijn sensoren die de verlichtingssterkte van de lichtbron aanpassen aan het binnentredende daglicht. Een dergelijk verlichtingssysteem leidt in combinatie met een aanwezigheidsdetectie tot energiebesparingen oplopend tot 50 à 60%, afhankelijk van de ruimte (Gordijn 1996). Bij een verlichtingsinstallatie met hoogfrequente voorschakelapparatuur is een daglichtafhankelijke regeling slechts een kleine extra investering die zeer snel is terugverdiend.

Ook een individuele regeling van de lichtsterkte, bijvoorbeeld met werkplekverlichting, draagt bij aan energiebesparing en komt tegemoet aan de wens van veel mensen zelf het licht te kunnen regelen.

Verbetering van de efficiency

Spiegeloptiekarmaturen met hoog verlichtingsrendement en lage helderheid hebben het geïnstalleerd vermogen sinds enkele decennia substantieel teruggebracht.

Hoogfrequente fluorescentiebuizen hebben hieraan een extra impuls gegeven. Deze combineren een beter visueel comfort in de ruimte met een lager energiegebruik. Een geïnstalleerd vermogen van ca 10W/m^2 voor een één- of tweepersoons kantoorvertrek is tegenwoordig normaal (van Bergem-Jansen 1995). Bij toepassing van daglichtafhankelijke regeling wordt het energiegebruik, en daarmee ook de thermische belasting, mede afhankelijk van het toegepaste daglichtsysteem in de ramen, gereduceerd tot 5 à 6W/m^2.

Gebruik van vernieuwbare bronnen

De Technische Raad Commissie van TVVL heeft een Voorstudie gemaakt over de toepassing van installatieconcepten, waarin Duurzame Energie een wezenlijke bijdrage levert aan de energiehuishouding van comfortinstallaties in de gebouwde omgeving (Brouwer 2000). Het huidige aandeel in de totale energievoorziening bedraagt ca 1,3%, waarmee een aanzienlijke achterstand bestaat op de doelstelling voor 2000 van 2,8%.

De doelstellingen voor 2007 een 2020 zijn respectievelijk 6,4% en 10%, en de installatiesector staat klaar om hieraan een substantiële bijdrage te leveren.

Ben Bronsema,
Raadgevend Ingenieur ONRI, Hoofddocent Faculteit Bouwkunde TU Delft, Voorzitter Technische Raad TVVL.

[1] 'Kalender für Gesundheitstechniker', thans 'Taschenbuch für Heizung und Klima Technik', 69e druk 2000

[2] International Society for Indoor Air Quality and Climate - Nederlandse afdeling, www.isiaq.nl

© 2001 Stichting VIBA Expo

III Literatuurlijst

Van Bergem-Jansen, P.M. 1995. Belevingsaspecten van verlichting. Studiedag Elektrotechniek 1995. Uitgave Rijksgebouwendienst.

Bronsema, B. 1995. Kantoorautomatisering en Binnenklimaat. Heroriëntatie op thermische belastingen? (1) en (2). TVVL magazine 5/95.

Bronsema, B. 1996. Binnenklimaat op Maat – Idee en Realisatie. Nationale Milieutechniekdag 1996.

Bronsema, B. 1997. An Air Handling Unit for the Next Century – The Factor 4 in Air Conditioning - Part 1 and 2. Proceedings Healthy Buildings / IAQ '97 Washington DC.

Bronsema, B. 1997. Luchtfilters voor een beter milieu. Nationale Milieutechniekdag 1997.

Bronsema, B. 2000. Koelen voor een beter milieu. TVVL magazine 06/2000

Bronsema, B 2001. Hybrid Ventilation: Our first Choice! Proceedings Clima 2000 World Congress Napoli (I) 2001.

Bronsema, B. 2001. Hybride ventilatie – Thermisch-hygrisch comfort en luchtkwaliteit. TVVL magazine 09-2001.

Brouwer, G. 2000. Duurzame energie opwekken, omzetten en gebruiken in de gebouwde omgeving. Voorstudie TVVL Technische Raad Commissie DuBo Instal. Technische Vereniging voor Installaties in Gebouwen TVVL, Leusden.

De Dear, J., Schiller Brager, G. 1998. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Technical Data Bulletin Vol. 14 Number 1-Field Studies of Thermal Comfort and Adaptation.

Eicher en Pauli AG 1994. Grösse und Gleichzeitigkeit von internen Lasten in Nichtwohngebäuden. NEFF-Projekt Nr. 501

Fanger, P.O. 1970. Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering. Copenhagen, Danish Technical Press.

Gordijn, W.M. 1996. Binnenverlichting vergt steeds minder energie. De Bouwadviseur september 1996.

Haas, M. 1997.TWIN-model – Milieu Classificatiemodel Bouw. Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie, Bussum.

HASKONING 1994. Exergie proefproject knooppunt Arnhem-Nijmegen. HASKONING Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau Nijmegen.

Hendriksen, L.J.A.M. en Eggels, P.G. 1994. Milieubelasting door comfortinstallaties in woningen. TNO-Milieu en Energie rapport 94-033.

Humphreys, M.A en Fergus Nicol, J. Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort. ASHRAE Technical Data Bulletin Vol. 14 Number 1-Field Studies of Thermal Comfort and Adaptation.

ISO 1994. International Standard 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specifications of Thermal Comfort, 2nd ed. Geneva International Standards Organization.

ISSO 1985. Vloerverwarming. Publikatie 10, 2e druk van het Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling

ISSO / SBR 2001. Innovatieve Gebouw- en InstallatieSystemen – Smart-tec Natuurlijk (IGIS-2).Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van verwarming en luchtbehandeling / Stichting Bouwresearch Rotterdam.

Kibert 1994.Proceedings First International Conference on Sustainable Construction, Tampa 1994.

Nobel, K.J.C. 2000. Installatieconcepten voor duurzame woningen – Voorstudie TVVL Technische Raad Commissie DuBo Instal. Technische Vereniging voor Installaties in Gebouwen TVVL, Leusden.

Nijeboer, F.J. en Besselink, H. 2000. Studie Bouwdeelactivering - Voorstudie TVVL Technische Raad Commissie DuBo Instal. Technische Vereniging voor Installaties in Gebouwen TVVL Leusden.

Peereboom, P.W.E. en Visser, J.C. Het terugwinnen van douchewaterwarmte in woningen. TVVL magazine 1/99.

Pettenkofer, M.V. 1970. Über das Verhalten der Luft zum Wohnhause des Menschen, Populäre Vorträge von M.V. Pettenkofer, 1. Heft.

Van der Ree, de Swaan Arons en Ruijgers 1995. Passen bestaande warmtepompen in een duurzamer energiehuishouding? TVVL Magazine 7/97

Smit, J. 1994. Haal meer rendement uit uw elektromotor. PT Polytechnisch Tijdschrift nummer 9/1994

Stichting Bouwresearch 2001. Luchtdicht bouwen, Deel A-Ontwerpaanbevelingen. Deel B-Uitvoeringsaanbevelingen. SBR Art. nr. 360A.01 en 360B.01.

Van der Voorden 2000. Daglichtsystemen + Visueel comfort. ISSO SBR Publikatie

Veerman, J. 2001. Ontwerp gerealiseerde projecten met hybride ventilatie. TVVL magazine 09/2001.