BINNENKLIMAAT OP MAAT: IDEE EN REALISATIE

Ing. B. Bronsema
Ketel raadgevende ingenieurs bv, Delft

SAMENVATTING

Een goede temperatuur om in te werken is voor iedereen belangrijk. Een goede temperatuur is voor een gezond en behaaglijk binnenklimaat één van de belangrijkste eisen, zo niet de belangrijkste. Een goede temperatuur voorkomt improduktiviteit door warmte of koude. Maar wat is een goede temperatuur?

Verschillende mensen geven op deze vraag verschillende antwoorden, omdat hun **thermische karakters** verschillen. Bovendien hangt de hoogte van de goede temperatuur af van kleding en activiteitsniveau, werkdruk en conditie, en nog enkele andere factoren. De mogelijkheid om de ruimtetemperatuur aan te kunnen passen aan de momentane persoonlijke behoefte is daarom voor de klimaatinstallatie een belangrijke eis.

's Winters is het meestal niet zo moeilijk aan deze eis te voldoen. Een goed berekende radiator heeft voldoende verwarmingscapaciteit en kan desgewenst worden dichtgezet. Bovendien kan er, als het goed is. altijd nog een raam worden geopend. 's Zomers ligt het minder eenvoudig. Enerzijds is door een te kleine koelcapaciteit de ruimtetemperatuur vaak niet goed in de hand te houden. Anderzijds is het in de meeste gebouwen moeilijk of onmogelijk de temperatuur effectief individueel te beïnvloeden. Een te kleine koelcapaciteit kan overigens al bij het ontwerp zijn ingebracht (topkoeling), maar ook in de loop van de tijd zijn ontstaan, bijvoorbeeld door indikking (meer mensen in dezelfde ruimte) en door kantoorautomatisering (hogere thermische belasting).

In dit artikel wordt een installatieconcept voor kantoorgebouwen omschreven waarmee op zeer flexibele wijze kan worden ingespeeld op de in ruimte en tijd wisselende behoefte aan koeling. Aan alle kantoorruimten wordt een minimum basiskoeling geleverd, gekoppeld aan het mechanisch ventilatiesysteem, terwijl met behulp van een vaste infrastructuur elke ruimte, kamer en zelfs werkplek naar behoefte van additionele koeling kan worden voorzien. Het omschreven systeem komt niet alleen tegemoet aan de wisselende koelbehoefte binnen kantoorgebouwen, maar ook aan de wens tot individuele beïnvloeding van het binnenklimaat per werkplek. Dit laatste aspect wordt algemeen gezien als één van de belangrijkste middelen ter voorkoming van het sick-building-syndrome.

VERSCHILLENDE MENSEN - VERSCHILLENDE THERMISCHE KARAKTERS

Mensen zijn verschillend, en dat is maar goed ook want anders zou het een saaie boel zijn op de wereld. Verschillen in uiterlijk en karakter mogen soms problemen geven, maar ze maken het leven ook spannend. Verschillen in smaak vormen een uitdaging voor elke kok en houden een bloeiende voedingsmiddelenindustrie in stand. Verschillen in kleding- en schoenmaat worden door de confectie- en schoenindustrie efficiënt en creatief uitgebuit; er is voor elk wat wils en in de goede maat.
Verschillen in **thermisch karakter** daarentegen leveren vaak problemen op die door de klimaatindustrie maar moeilijk kunnen worden opgelost. Want waar door de meeste mensen een ruimtetemperatuur naar eigen smaakt wordt gevraagd, is meestal slechts één smaak beschikbaar, afgestemd op een collectief gemiddelde.
Met **thermisch karakter** bedoel ik de persoonlijke eigenschap die aangeeft bij welke omgevingscondities het lichaam zich thermisch behaaglijk voelt. Omgevingscondities zijn de luchttempera-

BINNENKLIMAAT OP MAAT: IDEE EN REALISATIE

Ing. B. Bronsema
Ketel raadgevende ingenieurs bv, Delft

SAMENVATTING

Een goede temperatuur om in te werken is voor iedereen belangrijk. Een goede temperatuur is voor een gezond en behaaglijk binnenklimaat één van de belangrijkste eisen, zo niet de belangrijkste. Een goede temperatuur voorkomt improduktiviteit door warmte of koude. Maar wat is een goede temperatuur?

Verschillende mensen geven op deze vraag verschillende antwoorden, omdat hun **thermische karakters** verschillen. Bovendien hangt de hoogte van de goede temperatuur af van kleding en activiteitsniveau, werkdruk en conditie, en nog enkele andere factoren. De mogelijkheid om de ruimtetemperatuur aan te kunnen passen aan de momentane persoonlijke behoefte is daarom voor de klimaatinstallatie een belangrijke eis.

's Winters is het meestal niet zo moeilijk aan deze eis te voldoen. Een goed berekende radiator heeft voldoende verwarmingscapaciteit en kan desgewenst worden dichtgezet. Bovendien kan er, als het goed is. altijd nog een raam worden geopend. 's Zomers ligt het minder eenvoudig. Enerzijds is door een te kleine koelcapaciteit de ruimtetemperatuur vaak niet goed in de hand te houden. Anderzijds is het in de meeste gebouwen moeilijk of onmogelijk de temperatuur effectief individueel te beïnvloeden. Een te kleine koelcapaciteit kan overigens al bij het ontwerp zijn ingebracht (topkoeling), maar ook in de loop van de tijd zijn ontstaan, bijvoorbeeld door indikking (meer mensen in dezelfde ruimte) en door kantoorautomatisering (hogere thermische belasting).

In dit artikel wordt een installatieconcept voor kantoorgebouwen omschreven waarmee op zeer flexibele wijze kan worden ingespeeld op de in ruimte en tijd wisselende behoefte aan koeling. Aan alle kantoorruimten wordt een minimum basiskoeling geleverd, gekoppeld aan het mechanisch ventilatiesysteem, terwijl met behulp van een vaste infrastructuur elke ruimte, kamer en zelfs werkplek naar behoefte van additionele koeling kan worden voorzien. Het omschreven systeem komt niet alleen tegemoet aan de wisselende koelbehoefte binnen kantoorgebouwen, maar ook aan de wens tot individuele beïnvloeding van het binnenklimaat per werkplek. Dit laatste aspect wordt algemeen gezien als één van de belangrijkste middelen ter voorkoming van het sick-building-syndrome.

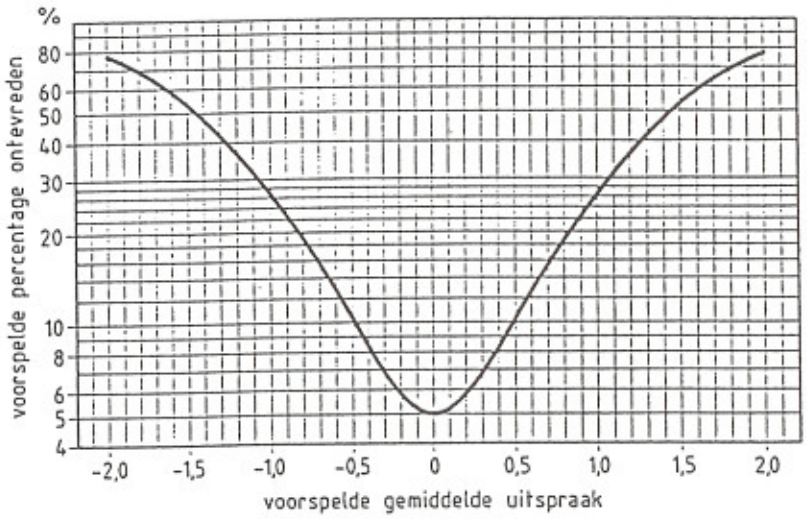
VERSCHILLENDE MENSEN - VERSCHILLENDE THERMISCHE KARAKTERS

Mensen zijn verschillend, en dat is maar goed ook want anders zou het een saaie boel zijn op de wereld. Verschillen in uiterlijk en karakter mogen soms problemen geven, maar ze maken het leven ook spannend. Verschillen in smaak vormen een uitdaging voor elke kok en houden een bloeiende voedingsmiddelenindustrie in stand. Verschillen in kleding- en schoenmaat worden door de confectie- en schoenindustrie efficiënt en creatief uitgebuit; er is voor elk wat wils en in de goede maat.
Verschillen in **thermisch karakter** daarentegen leveren vaak problemen op die door de klimaatindustrie maar moeilijk kunnen worden opgelost. Want waar door de meeste mensen een ruimtetemperatuur naar eigen smaakt wordt gevraagd, is meestal slechts één smaak beschikbaar, afgestemd op een collectief gemiddelde.
Met **thermisch karakter** bedoel ik de persoonlijke eigenschap die aangeeft bij welke omgevingscondities het lichaam zich thermisch behaaglijk voelt. Omgevingscondities zijn de luchttempera-

tuur, de gemiddelde stralingstemperatuur, de luchtsnelheid langs het lichaam en de luchtvochtigheid. Als maat voor de thermische gewaarwording wordt meestal de ASHRAE-schaal gebruikt; zie figuur 1.

Met behulp van een groot aantal proefpersonen is door o.a. Fanger [1] een frequentieverdeling gemaakt van de verschillende **thermische karakters**, gestileerd weergegeven in figuur 1. Horizontaal is de zgn. Predicted Mean Vote (PMV) uitgezet waarvoor de getalwaarden van de ASHRAE-schaal zijn gebruikt. Verticaal is op een logaritmische schaal het zgn. Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) aangegeven, oftewel het percentage **potentiële klagers**. De proefpersonen droegen tijdens de tests kleding met identieke warmteweerstand en hadden alle hetzelfde activiteitsniveau. Zie hierna.

Figuur 1 - PPD als functie van PMV



ASHRAE Schaal

-3	koud
-2	koel
-1	lichtelijk koel
0	neutraal
+1	lichtelijk warm
+2	warm
+3	heet

Voor een grote groep mensen is er maar één optimale omgevingsconditie, nl. bij PMV = 0. Het minimum aantal potentiële klagers (PPD) is 5%. Normaliter wordt een klimaatinstallatie ontworpen op - 0,5 < PMV < + 0,5 en ca. 10% **potentiële klagers**. Tabel 1 laat zien hoe hierbij de verdeling is tussen warme en koude klagers.

Tabel 1 - Verdeling tussen **"warme en koude klagers"**

PMV	PPD		
	Koud	Warm	Totaal
-0,5	9,9	0,4	10,3
+0,5	0,4	9,9	10,3

Opvallend is dat bij PMV -0,5 een aantal mensen het nog steeds te warm vindt (0,4%) en omgekeerd bij PMV +0,5 nog steeds 0,4% van de groep vindt dat het te koud is. Een uniform thermisch binnenklimaat, dat een gehele groep mensen tevreden stelt, is dus duidelijk een illusie.

VERSCHILLENDE MENSEN - VERSCHILLENDE KLEDING EN ACTIVITEIT

Kleding- en activiteitsniveau zijn zgn. persoonsgebonden parameters; Zij hebben betrekking op de warmteweerstand van de kleding (eenheid: Clo) en het activiteitsniveau dat de warmteontwikkeling in het lichaam veroorzaakt (metabolisme-eenheid: Met). Een hoger activiteitsniveau kan door een lagere Clo-waarde worden gecompenseerd en omgekeerd. Uiteraard heeft dit zijn beperkingen, vooral voor mannen. Jasje uit in de zomer kan in de meeste organisaties tegen-

woordig wel, zij het niet in alle functies, maar zonder stropdas en in korte mouw wordt het vaak al wat lastiger, om nog maar niet te spreken van een korte broek.

Het activiteitsniveau van mensen op kantoren kan ook sterk uiteenlopen. Voor rustig zittend kantoorwerk wordt meestal 1,2 Met aangehouden, maar bij onder druk werkende, koffiedrinkende en ambulante personen (staan - ijsberen - toiletbezoek - trap op- en af etc.) kan dit gemakkelijk oplopen tot 1,5 Met. Stress (snelle hartslag - transpiratie) en een slechte conditie geeft nog hogere waarden.

Een binnenklimaat, keurig ontworpen op PPD ≤ 10% bij 1,2 Met en 0,65 Clo kan hierdoor in de praktijk gemakkelijk een PPD score van 25% opleveren. Mensen zijn dus niet alleen verschillend; ze werken ook onder verschillende omstandigheden. De illusie van een ideaal uniform thermisch binnenklimaat voor iedereen wordt hierdoor nog groter.

Bij de bepaling van de optimale omgevingstemperatuur op basis van het Fanger model (NEN-ISO 7730) is het belangrijk de Clo-waarde en het activiteitsniveau niet te onderschatten. Als gemiddelde optimale temperatuur kan worden uitgegaan van 20°...22°C in het stookseizoen en 22°...24°C in het koelseizoen [2].

VERSCHILLENDE MENSEN - VERSCHILLENDE WERKOMSTANDIGHEDEN EN WERK

Werk- en werkomstandigheden zijn in hoge mate bepalend voor de thermische belasting van de werkplek en beïnvloeden daardoor sterk de kwaliteit en de capaciteit van de klimaatregeling. Leidinggevenden hebben in het algemeen een grote kamer, niet alleen voor de status maar ook om gesprekken en overleg te kunnen voeren, waarmee een groot deel van hun tijd wordt gevuld. Een eventuele P.C. wordt weinig gebruikt. De thermische belasting is laag.

Uitvoerende werkzaamheden worden vrijwel altijd gedaan in meerpersoonskamers of groepskantoren. De werkplekgrootte is 8 à 10 m². Het werk kenmerkt zich door een intensief gebruik van P.C.'s en printers. De thermische belastingen zijn hoger.

De aard van het bedrijf of afdelingen binnen een bedrijf heeft ook invloed op de thermische belastingen. Ingenieursbureaus bijvoorbeeld kennen meestal een hoge graad van automatisering, maar de werkplekken van de ambulante medewerkers zijn onregelmatig bezet. CAD-tekenkamers daarentegen met krachtige werkstations worden juist heel intensief gebruikt.
In de administratieve sector, zoals het bank- en verzekeringsbedrijf, zijn de werkplekken regelmatig bezet, en de gemiddelde terminal/PC dichtheid is vaak groter dan 1, bijv. 1,25.
De thermische belastingen kunnen door al deze omstandigheden sterk variëren.
Tabel 2 geeft een beeld van de mogelijke spreiding van interne belastingen in kantoorruimten.

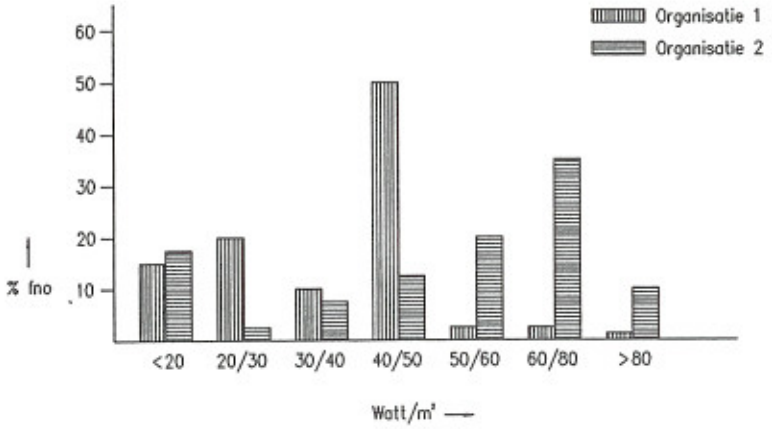
Tabel 2 - Interne thermische belastingen in kantoorruimten

	Thermische belasting Watt/m²			
Warmtebron	Laag	Normaal	Hoog	Zeer hoog
Personen	≤ 8	10	10	10
Verlichting	5	10	10	15
P.C.'s e.d.	≤ 7	15	25	≥ 35
Totaal	≤ 20 (57%)	35 (100%)	45 (129 %)	≥ 60 (171 %)

Behalve kantoorruimten zijn er in kantoorgebouwen nog vele bijzondere ruimten te vinden, zoals vergaderruimten, spreekkamers, archiefruimten, computerruimten, reproruimten, pantries, kantines, post- en telefoonruimten, magazijnen etc. De thermische belasting in deze ruimten is zeer divers, van vrijwel nihil tot 250 Watt/m² of meer.

Figuur 2 geeft een beeld van de interne thermische belastingen in een tweetal kantoorgebouwen, berekend op basis van de betreffende Programma's van Eisen. Voor 7 groepen van thermische belastingen is het percentage aangegeven dat elke groep van het totale functioneel nuttig oppervlak (fno) in beslag neemt. Het is duidelijk dat het om verschillende organisaties gaat, met uiteenlopende automatiseringsdichtheid.

Figuur 2 - Interne thermische belastingen in twee kantoorgebouwen



Behalve de interne thermische belastingen is er 's zomers ook nog een externe belasting, hoofdzakelijk door zoninstraling. Afhankelijk van oriëntatie, beschaduwing, raamgrootte en zonweringssysteem, kan deze belasting variëren van 10.....40 Watt/m², betrokken op functioneel nuttig oppervlak (fno).
Het zou gewenst zijn het huisvestingsplan zodanig te ontwerpen dat ruimten met hoge interne belastingen worden gesitueerd op lokaties met lage externe belastingen. De totale thermische belasting zou hierdoor voor de verschillende ruimten wat kunnen worden vereffend.
In de praktijk houden huisvesters hier meestal nauwelijks rekening mee, en dat kunnen ze ook vaak moeilijk omdat andere criteria prioriteit hebben. Bovendien brengt de dynamiek van organisaties veelvuldige herindelingen met zich mee, waardoor een ideale uitgangssituatie al na korte tijd volledig veranderd zou blijken te zijn.

BINNENKLIMAAT OP MAAT: HET IDEE

In het voorgaande is getracht duidelijk te maken dat er grote verschillen tussen mensen zijn voor wat betreft hun **thermisch karakter**, hun kleding en hun activiteit, hun werkomstandigheden en hun werk. Enerzijds is er daardoor een grote behoefte het binnenklimaat af te kunnen stemmen op de persoonlijke voorkeur. Anderzijds wordt het binnenklimaat verstoord door wisselende interne en externe warmtebronnen. Het is de opgave van de klimaattechniek hier oplossingen voor te bieden. Deze oplossingen moeten flexibel zijn, want organisaties zijn voortdurend in beweging en de technische hulpmiddelen ontwikkelen zich snel. Als goed voorbeeld hiervan kan de kantoorautomatisering worden genoemd die vanaf het midden van de jaren '80 de interne warmteproduktie met 15...25 Watt/m² deed stijgen. Door toepassing van nieuwe generatie P.C.'s en monitoren is er echter momenteel weer een dalende tendens te signaleren.

Klimaatinstallaties hebben verschillende functies, die niet alle flexibel behoeven te worden ingevuld. Voor verwarmen en ventileren zijn de flexibiliteitseisen gering. Koeling daarentegen vraagt gezien bovenstaande een hoge mate van flexibiliteit. In het stookseizoen hoeft koeling niet direct een probleem te zijn. Door de lage buitentemperatuur en een open raam kan heel wat warmte worden afgevoerd. 's Zomers moet de klimaatinstallatie **voldoende koeling** kunnen geven op straffe van hoge ruimtetemperaturen met als direct gevolg slechte arbeidsomstandigheden en productiviteitsverlies.

Maar wat is eigenlijk **voldoende koeling?** We kunnen dat voor één omstandigheid nauwkeurig berekenen, maar die omstandigheid kan morgen anders zijn. Organisatieveranderingen, interne en externe verhuizingen, andere taken en andere hulpmiddelen maken het moeilijk deze vraag goed te beantwoorden.

Traditioneel wordt bij het ontwerp van klimaatinstallaties uitgegaan van een bepaalde maatgevende interne thermische belasting. Een blik op figuur 2 leert dat dit voor organisatie[1] bijvoorbeeld 40...50 Watt/m² zou kunnen zijn, waarmee ca. 50% van het kantooroppervlak goed zou zijn bediend. Voor ca. 40% wordt in dat geval teveel koeling geïnstalleerd en voor ca. 5% (veel) te weinig.
Als echter dit gebouw zou worden betrokken door organisatie II met overwegend hogere thermische belastingen, zijn de volgende alternatieven denkbaar:

- De klimaatinstallatie wordt grotendeels vernieuwd;
- Er worden additionele voorzieningen getroffen;
- Er ontstaat een rampsituatie voor het binnenklimaat.

De meest voorkomende luchtbehandelingssystemen, VAV, inductie, en, in iets mindere mate, ventilatorconvectoren, zijn uitstekend geschikt om de ontwerpcapaciteit terug te regelen, dus minder koeling te leveren. Het waar nodig opvoeren van de koeling boven de ontwerpcapaciteit is echter niet mogelijk, hetgeen als een gebrek van deze systemen moet worden beschouwd.

De conclusie kan dan ook niet anders zijn dan dat bij het ontwerp van hedentijdse klimaatinstallaties moet worden gezocht naar een veel flexibeler invulling van de koudelevering.

BINNENKLIMAAT OP MAAT: DE REALISATIE

De bovengenoemde functies van een klimaatinstallatie, ventileren, koelen en verwarmen, desgewenst nog aan te vullen met drogen en bevochtigen, kunnen in één luchtbehandelingssysteem worden gecombineerd. Een voorbeeld hiervan is het all-air variabel debietsysteem (VAV) met geïntegreerde verwarming. Hierbij treden risico's op o.a. met betrekking tot het thermisch comfort (tocht) en de binnenluchtkwaliteit (recirculatie). Hoewel technisch zeer sophisticated zijn dergelijke installaties bovendien nogal gecompliceerd, hetgeen een optimale bedrijfsvoering in de weg kan staan.
Er tekent zich daarom een trend af de bovengenoemde klimaatfuncties zoveel mogelijk te ontkoppelen. Elke functie kan dan op zichzelf worden geoptimaliseerd en de installaties worden in principe eenvoudiger. Deze functiescheiding gaat als volgt:

Ventilatie: Constant debiet - 100% buitenlucht - warmteterugwinning - inblaastemperatuur 16°....18°C constant - geen naregelingen - constante ventilatie-effectiviteit.

Verwarming: C.V.-installatie met radiatoren - thermostatisch geregeld.

Koeling: Basiskoeling wordt geleverd door de gekoelde ventilatielucht. Voor additionele koeling wordt een infrastructuur aangebracht, bestaande uit een gekoeld water ringleiding met een aanvoertemperatuur van ca. 16°C. Op deze ringleiding kunnen, afhankelijk van de behoefte per kantoorruimte, moduul, of werkplek, koelconvectoren, koelplafonds, ventilatorconvectoren of watergekoelde koelunits worden aangesloten.

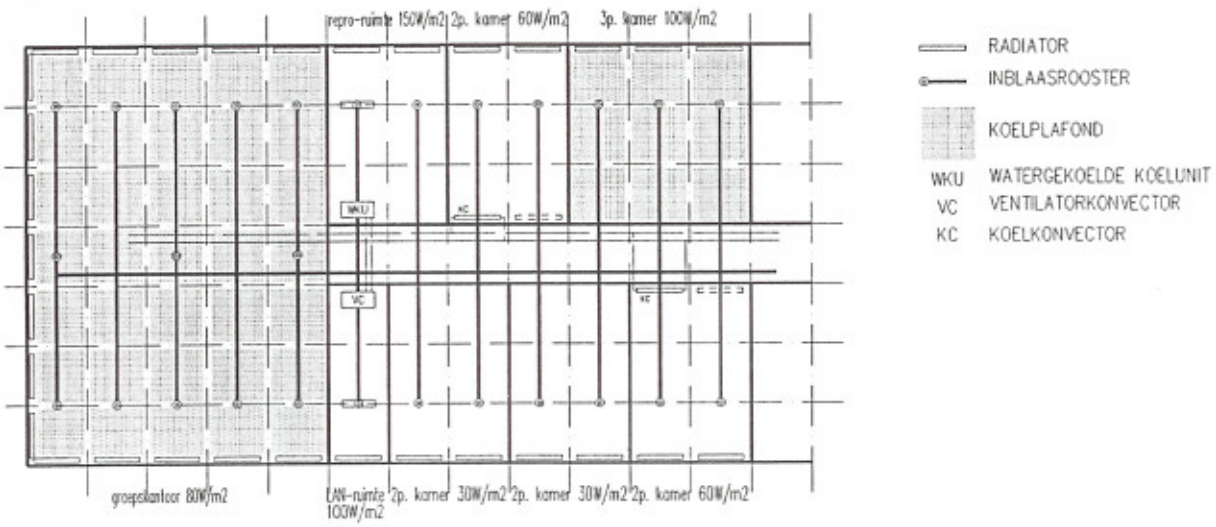
Figuur 3 brengt in beeld hoe met deze systematiek metterdaad binnenklimaat op maat kan worden geleverd. Uitgegaan is van een ventilatie met ca. 2,5 luchtwisselingen per uur en een

inblaastemperatuur van 18°C. In combinatie met een zekere warmteacculatie in de bouwmassa kan hiermee ca. 30 Watt/m² basiskoeling worden geleverd. Koelconvectoren komen in aanmerking bij additionele koeling tot totaal ca. 60 Watt/m². Bij nog hogere belastingen worden koelplafonds toegepast in kantoren, respectievelijk ventilatorconvectoren in repro- en computerruimten, waar tochtgevoeligheid geen grote rol speelt. Bij zeer hoge belastingen kan een watergekoelde koelunit worden geïnstalleerd.
In cellenkantoren is een afzonderlijke temperatuurinstelling per moduul mogelijk door volgorderegeling van de koelconvector of sectie van het koelplafond en de radiator. In groepskantoren kan het koelplafond in secties worden uitgevoerd ter grootte van een werkplek. Met behulp van infra-rood afstandsbediening kan per werkplek individueel de temperatuur worden ingesteld.

Belangrijke nevenvoordelen van de omschreven systematiek zijn:

- De grote Nederlandse kantoorvoorraad die is uitgerust met mechanische ventilatie en topkoeling kan zonodig op relatief eenvoudige wijze van additionele koeling worden voorzien.
- De infrastructuur voor additionele koeling kan tegen een laag bedrag in de huurprijs worden opgenomen. De huurders betalen zelf voor de gewenste additionele koeling.
- Door het hoge temperatuurniveau van de koeling is het systeem bijzonder energie-efficiënt en kunnen milieuvriendelijke koelsystemen worden toegepast [2].

Figuur 3



CONCLUSIE

Door toepassing van een nieuw installatieconcept is het mogelijk een binnenklimaat te realiseren dat nauw aansluit bij de individuele behoefte en werkomstandigheden van kantoorwerkers. Het systeem is uiterst flexibel en geschikt voor temperatuurregeling per werkplek. De kosten zijn beperkt en de inbouwmogelijkheden in bestaande kantoorgebouwen groot. Het systeem is bijzonder energie-efficiënt.

REFERENTIES

[1] P.O. Fanger (1970). **"Thermal comfort" - Analysis and Applications in Environmental Engineering.** Mr. Graw - Hill Book Company

[2] B. Bronsema (1994). **"Healthy buildings but less energy consumption. How can airconditioning technology help".** Healthy Buildings '94 - Proceedings of the 3rd International Conference