

Betonkernactivering, klimaatplafonds, wand- en vloerverwarming

Dit artikel is een bewerking van een lezing gehouden op de ISSO-SBR-TVVL studiedag 'Afgiftesystemen en comfort bij duurzame energietechnieken' op 9 november 2006. Koelen en verwarmen op een energetisch efficiënte manier, dus met minimale verliezen, en een goed binnenklimaat.

Een belangrijke bijdrage kan worden geleverd door systemen, waarbij water als energiedrager wordt gebruikt, bij verwarmen met een relatief lage en voor koelen met een relatief hoge watertemperatuur.

Dan zijn opwekkingssystemen met een hoog rendement, zoals warmtepompen, bruikbaar of kan gebruik worden gemaakt van bodemopslag, energiepalen en dergelijke.

Dit artikel behandelt en vergelijkt een aantal systemen op ruimte- of gebouwniveau, die toepassing van deze technieken mogelijk maken, maar gaat niet in op de opwekking zelf.

Deze systemen zijn dus geschikt voor LTV/HTK en een deel van de systemen maakt gebruik van de massa van het gebouw. Warmteoverdracht vindt plaats d.m.v. straling en convectie.

*- door ing. H.M. Bruggema**



Voorbeeld metalen klimaatplafond (foto Inteco).

- FIGUUR 1-

Doel van dit artikel is te komen tot een globale vergelijking van vier systemen:

- klimaatplafonds;
- vloerverwarming/koeling;
- betonkernactivering;
- wandverwarming/koeling

Na een korte omschrijving van het principe van deze systemen worden de volgende eigenschappen besproken: warmteoverdracht, thermische traagheid en buffering, thermische behaaglijkheid en ruimteakoestiek en ruimteafwerking. Met behulp van een aantal tabellen worden de eigenschappen voor de diverse systemen vergeleken. Afgerond wordt met enkele conclusies.

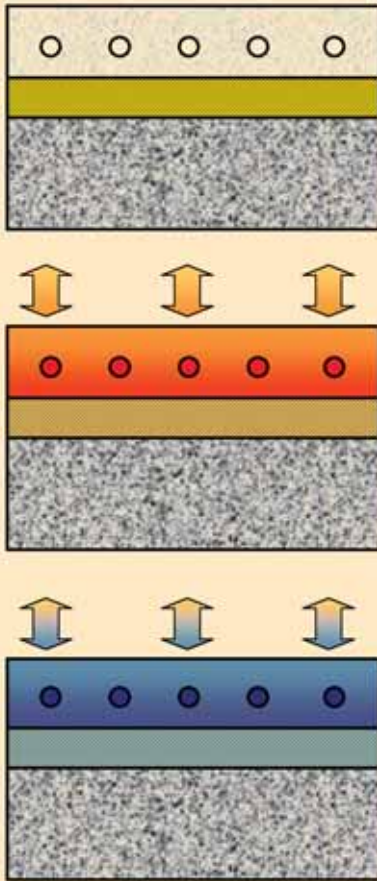
Natuurlijk spelen meer factoren een rol bij de systeemkeuze, zoals esthetica en kosten. Ook moet, wanneer we spreken over duurzame technieken, worden gedacht aan levensduur en het hergebruik van materialen aan het einde van de levenscyclus. Deze aspecten blijven in dit artikel echter buiten beschouwing.

KORTE SYSTEEMBESCHRIJVING

Klimaatplafonds

Een klimaatplafond is veelal een metalen plafondconstructie, voorzien van een watervoerend systeem, waarmee d.m.v. straling en convectie kan worden gekoeld of verwarmd. Twee typen domineren de markt van metalen plafonds:

*Peutz bv te Mook



Principe vloerverwarming/koeling.

- FIGUUR 2-

- ingelijmde warmteoverdracht lamellen, waarbij de watervoerende koperen buizen in deze aluminium lamellen worden geperst, of d.m.v. kunststof strips worden geklemd;
- inlegsysteem: watervoerende koperen buizen gesoldeerd op een (strek)metaal drager, kunststof matten of ingelegde koellamellen.

Daarnaast zijn er systemen waarmee een verhoogde convectieve overdracht wordt nagestreefd door het gebruik van strekmetaal i.p.v. geperforeerde metaalplaten of het gebruik van vrij hangende koellamellen. Ook is toepassing in gipsplafonds mogelijk. In figuur 1 is een voorbeeld van een metaalplafond weergegeven waarbij een geactiveerd paneel is neergeklapt.

Voor meer informatie wordt verwezen naar literatuur [1], [2] en [3].

Vloerverwarming / vloerkoeling

Het principe is weergegeven in figuur 2. De vloerconstructie bestaat uit:

- een dekvloer waarin een leidingnet (activering) is opgenomen;
- de dekvloer wordt d.m.v. isolatie gescheiden van draagvloer.

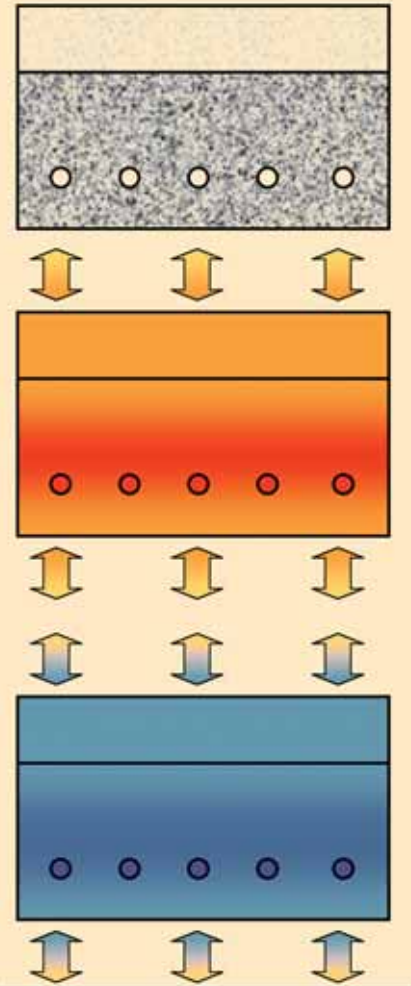
Voor de dekvloer is thermisch actief, dus warmte-uitwisseling vindt aan de bovenzijde plaats. De warmteoverdracht wordt mede bepaald door o.a. de dichtheid van het leidingnet, de watercondities en de vloerafwerking. Toepassing is ook in lichte vloeren mogelijk, waarbij een dekvloer van plaatmateriaal wordt toegepast.

Voor meer informatie wordt verwezen naar literatuur [4].

Betonkernactivering

Uit door ons tussen 1985 en 1990 uitgevoerd onderzoek is gebleken dat met het benutten van de thermische massa in een gebouw een stabiliserend effect op de temperatuur wordt verkregen: lagere temperatuur maxima en een reductie van het energiegebruik; zie literatuur [5] en [6]. Echter de mogelijkheden om de hoeveelheid energie, die overdag in de constructie is gebufferd, 's nachts weer af te voeren is beperkt, zeker gedurende een langere periode van warme dagen. Ons onderzoek was gebaseerd op het klimaatjaar 1964. Mogelijke klimaatveranderingen beperken de toepasbaarheid.

Door het thermisch activeren van de kern van betonconstructies kan dit probleem worden ondervangen en kan veel meer vermogen worden gerealiseerd. Het principe van BetonKernActivering



Principe Betonkernactivering.

- FIGUUR 3-



Inhijzen leidingnet in de praktijk (Foto Betonson).

- FIGUUR 4-

(BKA) is aangegeven in figuur 3. In de vloerconstructie wordt een waterleidingnet opgenomen dat wordt aangesloten op de koel- en verwarmingsinstallaties. Hiermee wordt de vloerconstructie geconditioneerd en kan zowel aan de boven- als onderzijde energie uitwisselen. De plaats van het leidingnet in de vloer kan in hoogte verschillen en heeft invloed op het gedrag van het systeem: vermogen, actieve zone en traagheid.

Het systeem is toepasbaar in prefab vloeren, waarbij in het bijzonder in een zogenaamde Wingvloer ook nog andere leidingen kunnen worden geïntegreerd.

Maar ook in ter plaatse gestorte vloeren kan het systeem worden toegepast (zie figuur 4).

BKA lijkt soms wel een hype in bouw Nederland. Waarom dit enthousiasme? Wat zijn de mogelijkheden? Veel gehoorde argumenten zijn:

- door het koelen of verwarmen van de bouwmasa wordt de ruimtetemperatuur gestabiliseerd en hoeft minder aanvullend te worden verwarmd of gekoeld;
- er kan vermogen worden gebufferd door 's nachts te laden of te ontladen, dit vermogen kan overdag worden benut;
- bij niet continue processen kan het opwekkingsvermogen worden gereduceerd t.o.v. capaciteit, doordat het koelen of verwarmen van de massa over een langere periode kan worden gespreid;

- de warmteoverdracht vindt niet alleen door convectie maar ook door straling plaats. Dit beperkt het risico van tocht en staat een lagere luchttemperatuur toe in de winter en een hogere luchttemperatuur in de zomer;
- er is sprake van zelfregelend vermogen: bij een groter temperatuurverschil wordt meer vermogen afgegeven;
- er kan energie worden bespaard door optimaliseren van de opwekking door o.a. LTV/HTK en/of gebruik te maken van nachtkoeling.

In dit artikel wordt informatie verstrekt zodat kan worden beoordeeld welke van deze argumenten valide zijn en of er sprake is van te veel optimisme. Voor meer informatie wordt verwezen naar de andere bijdragen van de studiedag en de in 2007 te verschijnen SBR-publicatie.

Wandverwarming / wandkoeling

Bij wandverwarming/-koeling wordt een leidingnet opgenomen in de wand of in het wandoppervlak. Afhankelijk van de wandopbouw en de plaats van de leiding kan de 'masa' van de wandconstructie worden geconditioneerd of vooral de oppervlakte van de wand bij lichte wanden. Energie kan worden uitgewisseld met de ruimte(n) aan 1 of 2 zijden.

Bij zware wanden kunnen de leidingen worden opgenomen in de betonconstructie. Bij middelzware wanden kan gebruik worden gemaakt van voorgesleufde lijmblokken waarin de leidingen op eenvoudige wijze kunnen worden aangebracht. Voor lichte wandcon-

structies kan gebruik worden gemaakt van voorgesleufde cementgebonden vezelplaten waarin de leidingen kunnen worden gemonteerd. Ook kunnen leidingmatten, vergelijkbaar met die in klimaatplafonds worden toegepast, in de wandafwerking worden opgenomen. Voor meer informatie wordt verwezen naar literatuur [4].

BOUWFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Warmteafgifte

Voor het beoordelen van de warmteafgifte van de systemen wordt uitgegaan van de volgende gangbare formules voor warmteoverdracht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen straling en convectie, zie ook literatuur [1].

Warmteoverdracht door straling

$$q_r = h_r \cdot \Delta\theta \text{ (W/m}^2\text{)}$$

met:

$$q_r = \text{warmteoverdracht d.m.v. straling (W/m}^2\text{)}$$

$\Delta\theta$ = verschil tussen de oppervlakte-temperatuur van de constructie en de gemiddelde temperatuur van de overige ruimteomwanden. (K)

h_r = warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling W/(m².K) volgens:

$$h_r = 4 \cdot C \cdot T^3 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

waarin:

$$C = \text{resulterende stralingsconstante: } \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \sigma \text{ W/(m}^2\text{.K}^4\text{)}$$

met:

Oppervlak	$\theta_{\text{opp.}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\theta_{\text{ruimte}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$h_r \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$h_c \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$h_r + h_c \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$\Delta\theta \text{ (K)}$	$q \text{ (W/m}^2\text{)}$	aandeel straling (%)	aandeel convectie (%)
plafond	20	25	4,7	3,3	8,0	5	40	59	41
vloer	20	25	4,7	0,9	5,6	5	28	84	16
wand	20	25	4,7	2,6	7,3	5	37	65	35

Vermogen koelen.

- TABEL 1

Oppervlak	$\theta_{\text{opp.}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\theta_{\text{ruimte}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$h_r \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$h_c \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$h_r + h_c \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$\Delta\theta \text{ (K)}$	$q \text{ (W/m}^2\text{)}$	aandeel straling (%)	aandeel convectie (%)
plafond	26	21	4,8	0,9	5,7	5	28	84	16
vloer	26	21	4,8	3,3	8,1	5	40	59	41
wand	26	21	4,8	2,6	7,4	5	37	65	35

Vermogen verwarmen.

- TABEL 2-

ϵ_1, ϵ_2 = emissiecoëfficiënten van respectievelijk de constructie en de overige ruimteomwandingen (-)
 σ = constante van Stefan-Boltzmann
 $= 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m².K⁴)
 en:
 T = de gemiddelde temperatuur van de constructie en de overige ruimteomwandingen (K)

Deze berekeningsmethode is bruikbaar voor een goede indicatie. Voor een nauwkeurige berekening moet de stralingsuitwisseling tussen de constructie en de overige vlakken per vlak worden berekend, rekeninghoudend met de vlaktemperaturen, zichtfactoren en emissiefactoren.

Warmteoverdracht door (vrije) convectie

$$q_c = h_c \cdot \Delta\theta \text{ (W/m}^2\text{)}$$

met:

q_c = warmteoverdracht d.m.v. convectie (W/m²)

$\Delta\theta$ = verschil tussen de oppervlakte-temperatuur van de constructie en de luchttemperatuur in de ruimte? (K)

h_c = warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie (W/m²K), is afhankelijk van de situatie en de richting van de warmtestroom:

- horizontaal vlak, warmtestroom opwaarts (vloerverwarming en plafondkoeling):

$$h_c = 2 \cdot \Delta\theta^{0,31} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

- horizontaal vlak, warmtestroom neerwaarts (plafondverwarming en vloerkoeling):

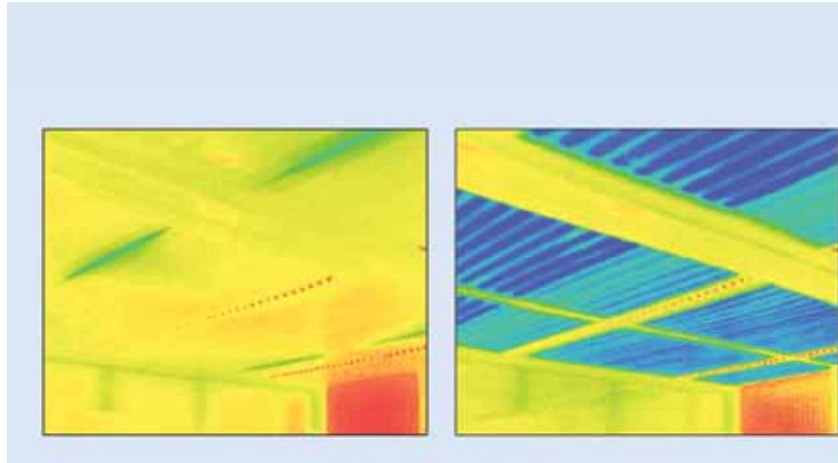
$$h_c = 0,54 \cdot \Delta\theta^{0,31} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

- verticaal vlak:

$$h_c = 1,6 \cdot \Delta\theta^{0,3} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

In de tabellen 1 en 2 zijn rekenvoorbeelden gegeven van het af te geven vermogen. In tabel 1 voor koelen, in tabel 2 voor verwarmen. In beide situaties is uitgegaan van een temperatuurverschil tussen ruimte en constructie van 5 K.

De gebruikte randvoorwaarden zijn toepasbaar bij BKA, de temperatuur voor verwarming is hierbij reeds aan de hoge kant. Bij vloerverwarming of klimaatplafonds zijn zeker andere, meer extreme temperaturen te hanteren. De warmteoverdrachtscoëfficiënten wisselen van de boven naar de onder-



Uitkoeling plafond in 12 minuten.

- FIGUUR 5-

zijde bij de omschakeling van verwarmen naar koelen. De totale overdracht bedraagt in het voorbeeld maximaal ca. 40 W/m² actief oppervlak. Het koelvermogen aan de bovenzijde van de vloer en het verwarmingsvermogen aan de onderzijde is wezenlijk lager.

De werkelijke afgifte in de praktijk wordt sterk bepaald door bijvoorbeeld:

- de werkelijke oppervlaktetemperatuur, die sterk afhankelijk is van het systeem. Bij klimaatplafonds kunnen veel grotere temperatuurverschillen tussen ruimte en oppervlak worden toegelaten door het snelle gedrag. Maar ook de warmtebelasting, bijvoorbeeld opvallende zonstraling op een vloer is van invloed;
- het actuele temperatuurverschil tussen ruimte en constructie: wijzigingen in het temperatuurverschil t.g.v. langzaam opwarmen of afkoelen van de constructie en het temperatuurverloop in de ruimte zorgen voor dynamische verschillen. Indien de buitenste laag van de buffer 'leeg loopt', daalt de effectiviteit;
- de in de ruimte optredende temperatuurgradiënt;
- de afwerking van de ruimte: tapijt, verhoogde vloer, akoestische plafondpleister;
- belemmeringen in de vorm van plafondeilanden, baffles, meubilair etc.

Thermische traagheid en buffering

Uit het eerder genoemde onderzoek van het benutten van de gebouwmassa kwam het volgende naar voren:

- het thermisch benutten van de gebouwmassa, bijvoorbeeld door het gebruik van thermisch open plafonds heeft een stabiliserende werking op ruimtetemperatuur;
- bij het door nachtventilatie koelen van de buffer kan tot ca. 10 W/m² koelvermogen worden gerealiseerd;

- ca. 0,1 m vloerdikte doet actief mee, waardoor de buffercapaciteit beperkt is;
- zoals al genoemd is de effectiviteit sterk afhankelijk van het buitenklimaat voor het 'resetten' van de buffer. Indien de warme zomers van de laatste jaren doorzetten zijn aanvullende maatregelen nodig.

Het activeren van de bouwmassa in vloeren en (binnen)wanden kan daarom een goede oplossing zijn. De buffer kan 's nachts actief worden geladen, waardoor kan worden volstaan met een geringer opgesteld vermogen en zo mogelijk gebruik kan worden gemaakt van vrije koeling. Deze voordelen zullen echter in het bijzonder kunnen worden benut bij gebouwen waar sprake is van een duidelijk verschil in dag/nacht belastingen. De buffercapaciteit wordt het eerst aangesproken aan het oppervlak. De reeds gebruikte laag van de buffer vormt vervolgens een weerstand om de dieper liggende capaciteit aan te spreken.

De massa is traag. ISSO-publicatie 49 definieert de opwarmtijd als de benodigde tijd voor opwarming van stationaire naar bedrijfstemperatuur van de constructie en geeft de volgende richtwaarden:

- zware constructies, vloeren en wanden: > 2 uur;
- lichte vloerconstructies: < 2 uur;
- lichte wandconstructies: < 1 uur.

Uit eigen metingen aan klimaatplafonds, zie het voorbeeld in de figuur 5, is bij een systeem met ingelijmde koellampen een periode van ca. 12 minuten vastgesteld, wezenlijk korter dan bij de hier boven genoemde zwaardere constructies.

Bij trage constructies mogen daarom slechts beperkte temperatuurvariaties in de constructie worden toegestaan om discomfort door te ver uitkoelen

		Klasse A	Klasse B	Klasse C
PPD	%	< 6	< 10	< 15
PMV	-	- 0,2 < PMV < + 0,2	- 0,5 < PMV < + 0,5	- 0,7 < PMV < + 0,7
DR	%	< 10	< 20	< 30
Verticale temperatuur gradiënt	%	< 3	< 5	< 10
Vloertemperatuur	%	< 10	< 10	< 15
Temperatuur asymmetrie	%	< 5	< 5	< 10

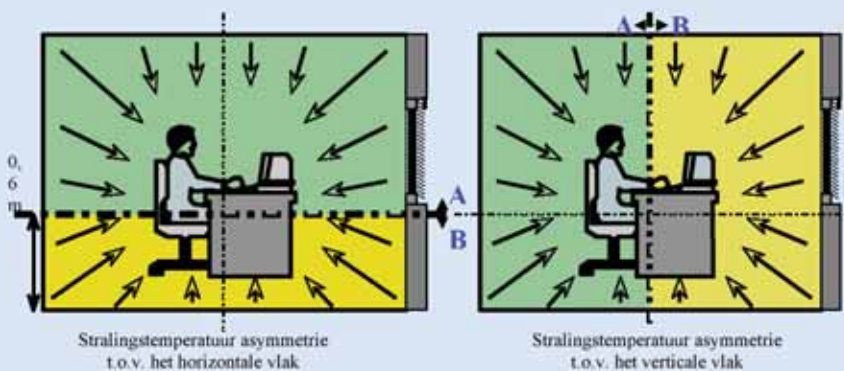
Toelaatbaar % klagers NEN EN ISO 7730: 2005

- TABEL 3-

		Klasse A	klasse B	klasse C
PPD	%	< 6	< 10	< 15
PMV	-	- 0,2 < PMV < + 0,2	- 0,5 < PMV < + 0,5	- 0,7 < PMV < + 0,7
DR	%	< 10	< 20	< 30
Verticale temperatuur gradiënt	°C	< 2	< 3	< 4
Vloertemperatuur	°C	19 - 29	19 - 29	17 - 31
Temeratuur asymmetrie:				
- Warm plafond	°C	< 5	< 5	< 7
- Koele wand	°C	< 10	< 10	< 13
- Koel plafond	°C	< 14	< 14	< 18
- Warme wand	°C	< 23	< 23	< 35

Criteria NEN EN ISO 7730: 2005.

- TABEL 4-



Principe stralings(temperatuur)asymmetrie.

- FIGUUR 6-

of te ver doorwarmen van een ruimte te voorkomen. Er is weliswaar sprake van enig zelfregelend vermogen: bij een kleiner temperatuurverschil wordt minder warmte overgedragen, maar dit moet zeker niet worden overschat. Ook bij het inblazen van lucht met een constante temperatuur is sprake van enig zelfregelend vermogen. Immers het vermogen is evenredig met het

temperatuurverschil. Op basis van de weergegeven formules kan worden vastgesteld dat ook de convectieve overdrachtfactoren enigszins afhankelijk zijn van het temperatuurverschil, zodat het 'zelfregelend' effect iets wordt versterkt. Dit zelfregelende vermogen geldt voornamelijk indien de temperatuurverschillen tussen constructieoppervlak en ruimte beperkt zijn tot bijvoorbeeld

5 K. Bij grotere verschillen is de procentuele daling van de afgifte per graad temperatuurverschil te gering. BKA moet om deze reden vooral worden gezien als een basis voorziening. Aanvullende voorzieningen voor het actief regelen van de ruimtetemperatuur zullen in veel gevallen noodzakelijk zijn. Hierbij kan worden gedacht aan VAV-systemen, gevelconvectoren etc. Meer informatie kan o.a. worden ontleend aan literatuur [7].

Thermische behaaglijkheid

In 2005 is de derde versie van NEN EN ISO 7730 verschenen. In deze normversie is veel overgenomen wat tot voor kort beschikbaar was in NPR 1752. De norm geeft aanbevelingen voor de behaaglijkheid van het gehele lichaam (PMV/PPD) en eisen voor plaatselijk discomfort door:

- verticale temperatuur gradiënt;
- vloertemperatuur;
- stralings(temperatuur)asymmetrie;

De norm gaat uit van drie kwaliteitsklassen: A, B en C. Het maximaal toelaatbare percentage klagers zoals weergegeven in tabel 3 wordt vertaald naar de grenswaarden per onderwerp in tabel 4.

Op basis van veelvuldig klimaatkameronderzoek moet worden geconcludeerd dat de eis voor de DR-waarde (Draught Rating) in klasse A bij mengventilatie niet of nauwelijks realiseerbaar is; indien in koelbedrijf aan de eis wordt voldaan zal in verwarmingsbedrijf veelal sprake zijn van onvoldoende doorspoeling/menging. Het voorschrijven van een maximale DR-waarde van 15 % wordt meer realistisch geacht. Het risico van tocht in klasse C is te hoog!

Bij thermische behaaglijkheid spelen een groot aantal parameters een rol. Voor de uit te voeren vergelijking van de vier systemen ga ik op twee nader in:

Stralings(temperatuur)asymmetrie

Niet alleen de gemiddelde stralings-temperatuur is van belang, maar ook het verschil in straling in tegengestelde richting (asymmetrie). Er wordt onderscheid gemaakt tussen de asymmetrie t.o.v. een horizontaal en een verticaal vlak. Het referentiepunt bevindt zich altijd op 0,6 m hoogte (zie figuur 6). Daarnaast dient er onderscheid te worden gemaakt over de oorzaak van de asymmetrie: een warme bron of een koude bron.

De stralingstemperatuur in een bepaalde richting is de resultante van alle in die richting aanwezige constructie- en installatieoppervlakken. Bij een koud glasvlak kan er ook een warme radiator aanwezig zijn, bij een verwarmingsplafond tellen in een kamerkantoor ook de tussenwanden mee.

Dat betekent dat de gemeten of berekende waarde veel minder extreem is dan de maximale verschillen in de oppervlaktetemperatuur.

In tabel 4 is de invloed van diverse oorzaken van stralingsasymmetrie op de comfortbeleving af te lezen:

- het meest kritisch is een warm plafond (zandzak effect);
- het minst kritisch is een warme wand (knuffelmuur).

Oppervlaktetemperatuur

Eisen voor vloeren in NEN EN ISO 7730 zijn weergegeven in tabel 4.

Hierbij is uitgegaan van licht schoei-

sel. De recente GIW/ISSO-publicatie over ontwerpuitsgangspunten voor de woningbouw, zie literatuur [8], stelt de volgende eisen:

- verblijfsruimten: 29 °C;
- badkamer en hal: 31 °C.

Voor wanden geeft NEN EN ISO 7730 geen specifieke eisen. De GIW/ISSO-publicatie maximeert de wandtemperatuur voor zowel verblijfsruimten als badkamers op 32 °C.

Condensatie

Worden constructiedelen voor koeling gebruikt, dan zal de oppervlaktetemperatuur wezenlijk lager zijn dan de ruimtetemperatuur. Daarom dient aandacht te worden besteed aan:

- oppervlaktecondensatie: condensvorming op een constructie of leidingsysteem treedt op wanneer de oppervlaktetemperatuur lager is dan het dauwpunt van de lucht;
- schimmelvorming: dit kan optreden indien de RV nabij het oppervlak van een materiaal langdurig hoger is dan ca. 80 %;
- inwendige condensatie: condensvorming in een constructie doordat de temperatuur in de constructie lager is dan het dauwpunt.

Bij het ontwerp dient daarom aandacht te worden geschonken aan deze condensatierisico's. Bij de selectie van de watertemperatuur dient rekening te worden gehouden met de luchtvochtigheid in het gebouw door bijvoorbeeld personen en (natuurlijk) ventilatie. Door de trage reactie van zware constructies, zoals bij BKA, dient te worden gezorgd voor voldoende marge voor de oppervlaktetemperatuur en, afhankelijk van de constructieopbouw, ook voor de temperatuur in de constructie. Risico's als schimmelvorming, 'lekkage' en materiaalschade moeten worden voorkomen. De mate waarin er sprake is van risico's zal sterk afhankelijk zijn van de wijze van ventilatie van het gebouw en de mogelijkheid tot het openen van ramen.

Maatregelen zijn o.a.:

- condensatieregeling: hierbij wordt de wateraanvoertemperatuur verhoogd op basis van de gemeten RV in de buitenlucht of in het gebouw. Verhoging van de wateraanvoertemperatuur betekent verlaging van het koelvermogen. De veiligheidsmarge zal afhankelijk moeten zijn van de traagheid van de constructie;

- geen tapijt op koelvloeren;
- voorkom afscherming van koelwanden.

Ruimteakoestiek

Binnen dit artikel is het niet mogelijk de benodigde akoestische kwaliteit van kantoorruimten compleet te behandelen. Toch wil ik een paar dingen opmerken die mis (kunnen) gaan. Bij de beoordeling van het akoestische comfort in een ruimte is het beoordelen van de nagalmtijd alleen niet voldoende.

Ook dient aandacht te worden gegeven aan geluidreflecties in een ruimte. Vooral in ruimten groter dan een standaard kantoorvertrek is dit van essentieel belang, omdat bijvoorbeeld plafondreflecties een wezenlijk invloed hebben op de geluidoverdracht in een vertrek. Wat kan er, indien geen goede voorzieningen worden getroffen, mis gaan:

- er ontstaan te hoge geluidsniveaus (concentratieproblemen, hoofdpijn);
- er is gebrek aan akoestische privacy: verstaan wat anderen zeggen en het gevoel dat een ander kan verstaan wat je zelf zegt.

Welke maatregelen zijn mogelijk?

Allereerst het verbeteren van de geluidafname in de ruimte door:

- het aanbrengen van geluidabsorptie op delen van het plafond(stroken), vloer en wanden;
- het plaatsen van geluidafschermingen of geluidabsorberende kasten;
- het aanbrengen van baffles.

Bij het aanbrengen van plafondstroken of baffles dient aandacht te worden gegeven aan de resterende reflecties. Deze dienen in diverse richtingen te worden beoordeeld. Vaak zullen dergelijke voorzieningen leiden tot afscherming van de stralingscomponent. Het directe zicht op de betonconstructie en daarmee ook de directe stralingsoverdracht wordt sterk gereduceerd. Dit heeft, zoals uit tabel 2 kan worden afgeleid, de grootste invloed in de verwarmingssituatie.

SYSTEMVERGELIJKING

In de tabellen 5 t/m 8 worden de systemen vergeleken over warmteoverdracht, thermische traagheid en buffering, thermische behaaglijkheid en ruimteakoestiek en afwerking. Per tabel wordt een beknopte toelichting gegeven.

	Klimaatplafonds	Vloerverwarming/ -koeling	BKA	Wandverwarming/ -koeling
Actief oppervlak	-	-	+	?
Belemmering	+	-	0	-
Symmetrie	+	+	-	+ / 0
Oppervlaktetemperatuur: verwarmen/koelen	+ / ++	- / -	- / +	- / +
Overdrachtsfunctie: verwarmen/koelen	- / +	+ / -	0	0

Warmteoverdracht.

- TABEL 5-

	Klimaatplafonds	Vloerverwarming/ -koeling	BKA	Wandverwarming/ -koeling
reactiesnelheid	+	-	--	?
Buffering	-	0	+	0 / +
Reductie opwekkings- vermogen	-	0 / +	+	0 / +
Reactie condensrisico koelen	+	-	--	-
Noodzaak extra verwarming/koeling	+ / +	- / +	0	0

Thermische traagheid / buffering.

- TABEL 6-

WARMTEOVERDRACHT (ZIE TABEL 5)

Actief oppervlak:

- klimaatplafond: vloeroppervlak minus armaturen etc. maximaal ca. 70 %;
- vloer: 1 x vloeroppervlak;
- BKA: 2 x vloeroppervlak;
- wand: sterk afhankelijk van de situatie. Bij toepassing in buitenwanden dient rekening te worden gehouden met een wezenlijke toename van de transmissie.

Belemmering:

- klimaatplafond: geen belemmeringen;
- vloer: meubilair, eventuele vloer-afwerking;
- BKA: deels meubilair, vloer-afwerking en deels eventueel akoestische voorzieningen;
- wand: meubilair.

Symmetrie (duidelijk te onderscheiden van stralingsasymmetrie):

- klimaatplafond: 1 vlak, straalt naar vlakken met andere temperaturen;
- vloer: 1 vlak, idem;
- BKA: 2 oppervlakken, stralen deels naar een vlak met gelijke temperatuur, hetgeen het vermogen reduceert;
- wand: afhankelijk van aantal actieve wanden.

Toelaatbare oppervlaktetemperatuur verwarmen/koelen:

- klimaatplafond: verwarmen en koelen maximaal door korte reactietijd. Daardoor is in de aanwarmfase, buiten de gebruiksperiode, een hogere temperatuur mogelijk;
 - vloer: beperking eisen vloeroppervlaktetemperatuur en traagheid;
 - BKA: 2 x vloeroppervlak, maar beperking door traagheid;
 - wand: mogelijk traagheid beperking.
- Overdrachtsfunctie verwarmen/koelen:**
- klimaatplafond: bij verwarmen beperkte overdracht;
 - vloer: bij koelen beperkte overdracht;
 - BKA: door benutting boven en onderzijde maximale overdracht mits goede temperatuurverdeling;
 - wand: overdracht gemiddeld.

THERMISCHE TRAAGHEID/BUFFERING (ZIE TABEL 6)

Reactiesnelheid:

- klimaatplafond: snel;
- vloer: traag;
- BKA: extra traag;
- wand: sterk afhankelijk van de constructie.

Buffering:

- klimaatplafond: vrijwel geen;
- vloer: enige buffering, afhankelijk

van uitvoering;

- BKA: maximale buffering;
- wand: enige tot redelijke buffering, afhankelijk van wandopbouw.

Reductie opwekkingsvermogen:

- plafond: geen buffering, geen reductie;
- vloer: beperkte buffering dus beperkte reductie;
- BKA: maximale buffering, dus maximale reductie;
- wand: bij beperkte buffering beperkte reductie.

Reactie op condensrisico:

- klimaatplafond: snelle reactie;
- vloer: traag;
- BKA: zeer traag;
- wand: traag, bij lichte wanden iets beter, maar meer risico op inwendige condensatie.

Noodzaak extra koeling / verwarming:

- klimaatplafond: niet;
- vloer: alleen koelen met een vloer geeft een gering vermogen;
- BKA: als basis, dus extra systeem voor temperatuurregeling bij wisselende belastingen nodig;
- wand: afhankelijk van traagheid, oppervlak etc.

	Klimaatplafonds	Vloerverwarming/ -koeling	BKA	Wandverwarming/ -koeling
Regelgedrag	+	0	-	?
Stralingsbeperking door belemmering	+	-	-	-
Asymmetrie	--	-	+	+
Oppervlaktetemperatuur: verwarmen/koelen	-/+	-/-	-/+	-/+
Flexibiliteit indeling	+	+	-	-

Thermische behaaglijkheid.

- TABEL 7-

	Klimaatplafonds	Vloerverwarming/ -koeling	BKA	Wandverwarming/ -koeling
Nagalmtijd	+	0	-	+
Reflectie/absorptie	+	+	-	+
Contactgeluid	+	-	0	+
Montage ventilatie, verlichting en sprinklers	0/+	+	-	+
Flexibiliteit	++	+	0	-

Ruimteakoestiek en ruimteafwerking.

- TABEL 8-

Thermische behaaglijkheid

(ZIE TABEL 7)

Regelgedrag:

- klimaatplafond: kan snel reageren;
- vloer: traag;
- BKA: zeer traag, dus veelal aanvullende voorzieningen nodig;
- wand: sterk afhankelijk van de situatie.

Beperking stralingsoverdracht doorbelemmering:

- klimaatplafond: geen;
- vloer: meubilair, eventuele vloer-afwerking;
- BKA: deels meubilair, deels eventuele akoestische voorzieningen;
- wand: meubilair.

Asymmetrie:

- klimaatplafond: 1 vlak, voor verwarming strengste criterium;
- vloer: 1 vlak, echter minder kritisch;
- BKA: 2 oppervlakken;
- wand: ruimer criterium.

Toelaatbare oppervlaktetemperatuur:

- klimaatplafond: verwarmen en koelen maximaal bij aanwarmen door korte reactietijd;
- vloer: beperking i.v.m. voeten en traagheid;
- BKA: beperking i.v.m. voeten en traagheid;
- wand: mogelijk traagheid beperking.

Flexibiliteit indeling:

- klimaatplafond: geen beperkingen bij voldoende regelkringen;
- vloer: geen beperkingen bij voldoende regelkringen;
- BKA: aandacht voor boven elkaar gelegen ruimten met verschillende belasting/gebruik;
- wand: aandacht voor naast elkaar gelegen ruimten met verschillende belasting/gebruik.

Ruimteakoestiek en ruimteafwerking (ZIE TABEL 8)

Nagalmtijd:

- klimaatplafond: tapijt en plafond-absorptie mogelijk;
- vloer: plafondabsorptie mogelijk;
- BKA: geen tapijt, geen plafond-absorptie;
- wand: tapijt en plafondabsorptie mogelijk.

Reflectie/absorptie:

- klimaatplafond: tapijt en plafond-absorptie mogelijk;
- vloer: harde vloer-afwerking, plafond absorptie mogelijk;
- BKA: beide hard;
- wand: vloer en plafond absorptie mogelijk.

Contactgeluid:

- klimaatplafond: gesloten plafond en tapijt, dus geen aandachtspunt;
- vloer en BKA: aandachtspunt, oplosbaar;
- wand: geen probleem, wel aandacht voor luchtgeluidsisolatie bij lichte wanden.

Montage installaties:

- klimaatplafond: geringe beperking, afhankelijk van systeem;
- vloer en wand: geen belemmeringen in plafond;
- BKA: speciale voorzieningen instorten in vloer of toepassen van bijvoorbeeld Wingvloer, anders aangepaste concepten voor ventilatie nodig.

Flexibiliteit:

- klimaatplafond: maximale flexibiliteit: demontabel;
- vloer: leidingen in vloeroppervlak, dus indeling ligt min of meer vast, optimalisatie modulair indelen (veel regelkringen);
- BKA: modulair indelen, aandacht voor verschil in ruimte boven en onder;
- wand: vaste wand of zeer arbeidsintensief.

CONCLUSIES

Op basis van de verstrekte informatie en de (globale) systeemvergelijking wordt het volgende geconcludeerd:

Klimaatplafonds

- deze hebben t.o.v. BKA weliswaar een lager actief oppervlak, maar door de korte reactietijd kan door een groot temperatuurbereik sprake zijn van hoge vermogens. In de aanwarmfase kunnen deze nog worden vergroot;
- er treden geen wezenlijke belemmeringen op door akoestische voorzieningen en door de montage van installaties voor ventilatie en verlichting.

Vloerverwarming/koeling

- i.v.m. voldoende voetcomfort is een beperkt temperatuurbereik mogelijk;
- hierdoor kan maar een geringe koelcapaciteit worden geleverd;
- door de traagheid is het regelgedrag beperkt.

BKA

- het systeem is traag, wat het te hanteren temperatuurbereik beperkt;
- daarom moet BKA vooral worden

beschouwd als een basisvoorziening, met het energetische voordeel van buffering;

- er dient extra aandacht te worden besteed aan de wijze waarop installaties voor bijvoorbeeld ventilatie, verlichting en eventuele aanvullende verwarming/koeling worden geïntegreerd in het ontwerp;
- aandacht moet worden geschonken aan boven elkaar gelegen ruimten met een verschillende warmtebelasting/gebruik;
- akoestische voorzieningen zijn nodig. In kleine ruimten kunnen deze langs wanden worden aangebracht. In het bijzonder in grotere ruimten zullen voorzieningen in de plafondzone noodzakelijk zijn die de effectiviteit van BKA kunnen beperken!

Wandverwarming/koeling

- actieve wanden geven een wezenlijke beperking van de flexibiliteit van een gebouw en de indeelbaarheid van de ruimte (plaatsing meubilair);
- er dient aandacht te worden geschonken aan extra energieverliezen bij toepassing in gevels en woningscheidende constructies;

- bij trage constructies is de regelbaarheid beperkt. 

LITERATUUR:

1. ISSO-publicatie 48 *Klimaatplafonds/koelconvectoren*, Rotterdam 1998
2. Bruggema H.M. en Veerman J., *ISSO-publicatie 48: Klimaatplafonds en koel-convectoren*. TVVL Magazine nr. 4/1999; idem *Verwarming & Ventilatie* 10/2000.
3. Bruggema H.M., *Klimaatplafonds en koelconvectoren in 2005*; *Verwarming & Ventilatie* 4/2005
4. ISSO-publicatie 49 *Kwaliteitseisen vloer-/wandverwarming en vloer-/wandkoeling*, Rotterdam 2004
5. Bruggema H.M. en Wapenaar P.H., *Onderzoek aan thermisch open plafonds*; *Klimaatbeheersing* nr. 12/1987
6. Bruggema H.M., *Benutten van de gebouwmassa door toepassing van thermisch open plafonds*; *Klimaatbeheersing* nr. 12/1990
7. Wisse C.J., *Comfort en regelbaarheid van betonkernactivering*; *TVVL Magazine* nr. 9/2004
8. GIW/ISSO-publicatie (2007), Rotterdam 2006

Smitsair



Toepassing JET-systemen in o.a.:

- fabriekshallen en lashallen,
- magazijnen, distributiecentra,
- voedselverwerkende industrie,
- zwembaden, sporthallen,
- concertzalen, discotheken,
- multifunctionele evenementenhallen,
- winkels, winkelcentra,
- atria en binnentuinen, etc.

Voor informatie en/of een vrijblijvende offerte kunt u contact opnemen met de heer R. Langeweg.

Smitsair-JETsystemen BV, onderdeel van de Smitsair Groep te Uithoorn, uw betrouwbare partner voor ontwerp, levering, montage en in-bedrijf-stelling van luchtdistributiesystemen met inducerende JETS t.b.v. koeling, verwarming en ventilatie van middelgrote tot zeer grote ruimten en hallen in binnen- en buitenland. U bent verzekerd van optimale begeleiding bij ontwerp en uitvoering van uw klimaatsysteem, waarbij techniek en comfort centraal staan tegen een zeer gunstige prijs/kwaliteit verhouding.

SMITSAIR-JETsystemen B.V.

Tel. 0297-564455

Fax 0297-569296

e-mail: jetsystemen@smitsair.nl

internet: www.smitsair.nl