

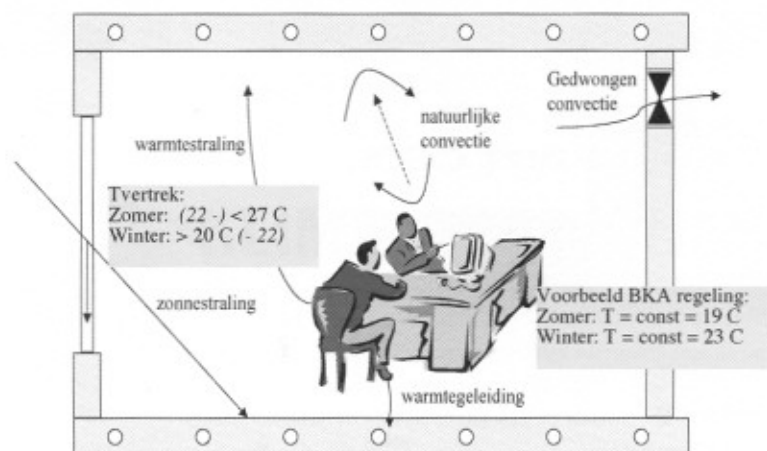
BetonKernActivering in VA114 Gebouw- simulatie

BetonKernActivering (BKA) wordt steeds meer toegepast voor de klimatisering van gebouwen. Om deze systemen te ontwerpen en te dimensioneren worden verschillende hulpmiddelen toegepast, o.a. het gebouwsimulatieprogramma VA114. In dit artikel worden enkele uitbreidingen van VA114 toegelicht, die in september 2004 beschikbaar komen. Tevens wordt in dit artikel de kracht en noodzaak van een gelijktijdige afweging van thermisch comfort en energiegebruik aangegeven. Hierbij geldt in het algemeen, maar in het bijzonder bij BKA systemen, dat de regelstrategie en instellingen (lucht- en waterstooklijnen) kritisch zijn en bepalend voor de mate van energiegebruik en het gerealiseerde thermische comfort.

- door W. Maassen, A. Wijsman* en W. Plokker***

Vanaf circa 2000 [1] is er in Nederland een toenemende interesse voor klimatiseringssystemen die gebruik maken van geactiveerde betondelen. Inmiddels zijn ook al meerdere projecten gerealiseerd en nog meer projecten liggen op de teken/ontwerptafel.

Een BetonKernActiveringstelsysteem (BKA-systeem), ook wel Thermo Actieve Bouwdeel Systeem (TABS) genoemd, bestaat uit betondelen waarvoor slangen met warm/koud water lopen om de thermische massa c.q. de opslagcapaciteit van de constructie te benutten, zie figuur 1.

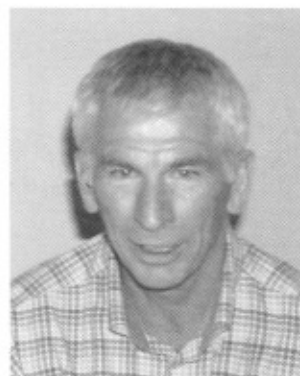


Schematische weergave van betonkernactivering in een vertrek.

- FIGUUR 1 -



W. Maassen



A. Wijsman



W. Plokker

In figuur 1 zijn de slangen in de constructie aangegeven. Aangegeven is dat luchttemperaturen in het vertrek hoger of lager mogen liggen in de zomer

* TNO Bouw

**VABI

respectievelijk winter. Dit is het gevolg van de grotere stralingsoppervlakken die het thermische comfort in dat geval waarborgen. Tevens zijn typische temperaturen van het water door de slangen in de betondelen aangegeven.

In figuur 2 zijn de geactiveerde betondelen (vloer/plafond) als onderdeel van de gehele installatie weergegeven, waarbij tevens het belang van een goede warmte-uitwisseling tussen ruimte en betonnenconstructie wordt aangegeven met het open plafond.

In de literatuur [1], [2] en [3] worden over BKA een aantal voor- en nadelen genoemd. Enkele voordelen die worden genoemd zijn: laag energiegebruik door hoog rendement warmte- en koudeopwarming met LT-verwarmings- en HT-koelsystemen en een minimaal luchtdebiet, hoog thermisch comfort door grote stralingsoppervlakken, zelfregulerend vermogen van het BKA-systeem doordat vertrektemperatuur en afgiftemtemperatuur dicht bij elkaar liggen, laag vermogen van de op te stellen opwekkers doordat piekbelastingen door het effect van de thermische massa worden opgevangen.

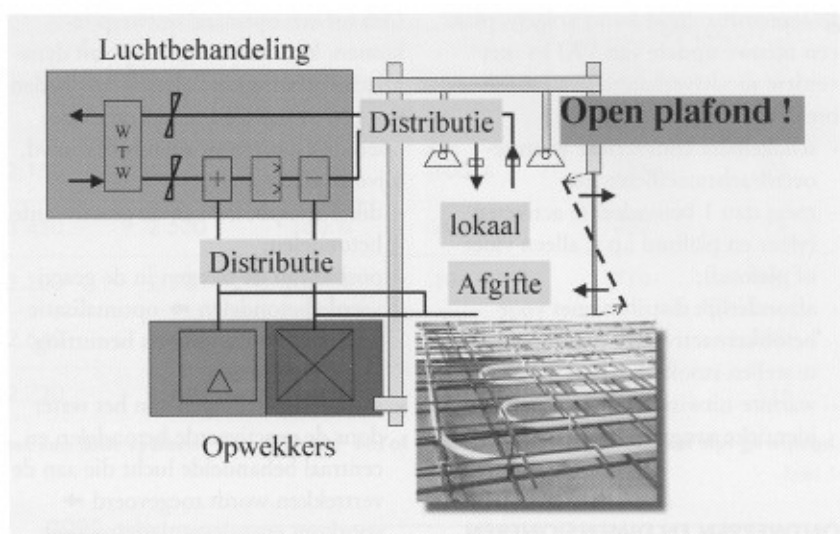
Enkele nadelen die worden genoemd zijn: extra voorzieningen nodig voor ontvochtigen, omdat ten behoeve van BKA wordt gekoeld met een hoge temperatuur, beperkte koelcapaciteit van ca. 40-60 W/m² bij een vertrektemperatuur van 27 °C, energiegebruik van de distributiepompen voor het watertransport door geactiveerde delen, ruimte moet akoestisch worden gedempt vanwege noodzakelijke open constructie.

Toepassingen van BKA-systemen hebben het potentieel om t.o.v. conventionele systemen een beter thermisch comfort te realiseren bij een lager energiegebruik en daardoor een lagere CO₂-uitstoot. Of en hoe dit potentieel kan worden benut, kan voor verschillende situaties en systeemvarianten met gebouwsimulaties worden vastgesteld.

MODELLERING BKA

Bij betonkernactivering zijn er een drietal fysische aspecten van belang.

A. Warmteoverdracht vloer/plafondoppervlak naar het vertrek.



Schematische weergave betonkernactivering als onderdeel van het klimatiseringssysteem.

- FIGUUR 2.

B. Warmtegeleiding en accumulatie in de constructie.
C. Overdracht van de leidingen naar de constructie.
Daarnaast speelt de regeling een belangrijke rol.

Van de bovengenoemde aspecten volgt nu kort een beschrijving hoe dit in VA114 is gemodelleerd.

A. Warmte overdracht aan het oppervlak.

Betonkernactivering heeft via het grote uitwisselende oppervlak een grote invloed op de stralingstemperatuur. Vanwege de geringe temperatuurverschillen met de omgeving is de warmteoverdracht door straling een belangrijk mechanisme. Het is daarom ook belangrijk dat de warmteoverdracht door straling en door convectie gescheiden worden gemodelleerd. In VA114 wordt in alle situaties (ook zonder betonkernactivering) de warmteoverdracht door straling naar de overige wanden (bv. een warm glasoppervlak) exact bepaald via zichtfactoren en uitwisselingsfactoren. De warmteoverdracht via convectie gebeurt via een constante warmteoverdrachtscoëfficiënt, daarbij is de totale warmteoverdracht recht evenredig met het temperatuurverschil. In een verbeterde versie zal deze convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt ook afhankelijk zijn van de richting van de warmtestroom.

B. Geleiding en accumulatie.

Warmtegeleiding en -accumulatie in de constructie worden meegenomen

door de wanden op te delen in lagen en van elke laag de warmtebalans (inclusief opwarmen en afkoelen van de massa van die laag) ieder uur op te stellen en op te lossen.

C. Overdracht van slang naar de constructie.

In principe is de warmteoverdracht van de slang naar de constructie een tweedimensionaal probleem. In VA114 wordt dit benaderd door een effectieve warmteoverdracht te veronderstellen tussen de buizen en de laag waarin deze buizen zich bevinden. Deze effectieve warmteoverdracht wordt bepaald aan de hand van de door de fabrikant opgegeven temperaturen en vermogens. Uit de aanvoer- en retourtemperaturen en het vermogen wordt het debiet bepaald dat door de vloer gaat. Met deze gegevens kan per uur worden bepaald wat de resulterende kerntemperatuur wordt en hoeveel warmte of koude er in de watervoerende laag kan worden afgegeven. Ook wanneer de toevoertemperaturen afwijken van de door de fabrikant opgegeven temperaturen

Het hele stelsel van vergelijkingen wordt per uur impliciet opgelost.

In de VA114-update die vanaf juni 2004 beschikbaar is, zijn een aantal belangrijke modelverbeteringen opgenomen:

- bepaling afgegeven vermogen (effectiviteit);
- randvoorwaarden aangrenzende identieke vertrekken.

In september 2004 komt volgens plan een nieuwe update van VA114 met verdere modelverbeteringen en -uitbreidingen beschikbaar:

- schakelbare convectieve warmte-overdrachtscoëfficiënten;
- meer dan 1 betondeel te activeren (vloer en plafond i.p.v. alleen vloer of plafond);
- afzonderlijk distributienet voor betonkernactivering met separaat in te stellen stooklijn;
- warmte-uitwisseling ook naar niet identieke aangrenzende vertrekken.

ONTWERPEN EN DIMENSIONEREN BKA SYSTEMEN

Bij het ontwerpen en dimensioneren van een BKA systeem zullen berekeningen /simulaties moeten worden uitgevoerd om o.a. de volgende aspecten te kwantificeren:

- vermogen opwekkers (dimensioneren);
- energiegebruik (verwarmen, koelen, pompen, ventilatoren);
- thermisch comfort (PMV, GTO, AGTO).

Om tot een optimaal ontwerp te komen, kunnen met behulp van dynamische gebouwsimulaties de invloeden van een aantal parameters op de genoemde aspecten worden beschouwd, bijvoorbeeld:

- dikte en opbouw van de geactiveerde betondelen;
- positie van de slangen in de geactiveerde betondelen → optimalisatie warmte/koudeafgifte en benutting thermische massa;
- stooklijninstellingen van het water door de geactiveerde betondelen en centraal behandelde lucht die aan de vertrekken wordt toegevoerd → voorkom energievernietiging (ook van in de thermische massa opgeslagen warmte of koude) door gelijktijdig koelen en verwarmen, zie [4];
- setpoint instellingen → voorkom frequent schakelen tussen koelen en verwarmen, zie [5].

SIMULATIERESULTATEN

Bij ontwerp en dimensionering is systeemoptimalisatie van groot belang om,

bij gewaarborgde bedrijfszekerheid en een laag energiegebruik, met minimale vermogens en afmetingen van de installatie een optimaal thermisch binnenklimaat te realiseren. Het belang van systeemoptimalisatie, o.a. regelstrategie (incl. set points) en keuze van lucht- en waterstooklijnen, wordt door steeds meer ontwerpers en adviseurs onderkend en is aangegeven in [4] en [5].

Hieronder worden enkele resultaten gepresenteerd van een aantal berekeningen met de ontwikkelversie van VA114 (incl. uitbreidingen VA114 september update) waarbij de instellingen van lucht- en waterstooklijnen zijn gevarieerd.

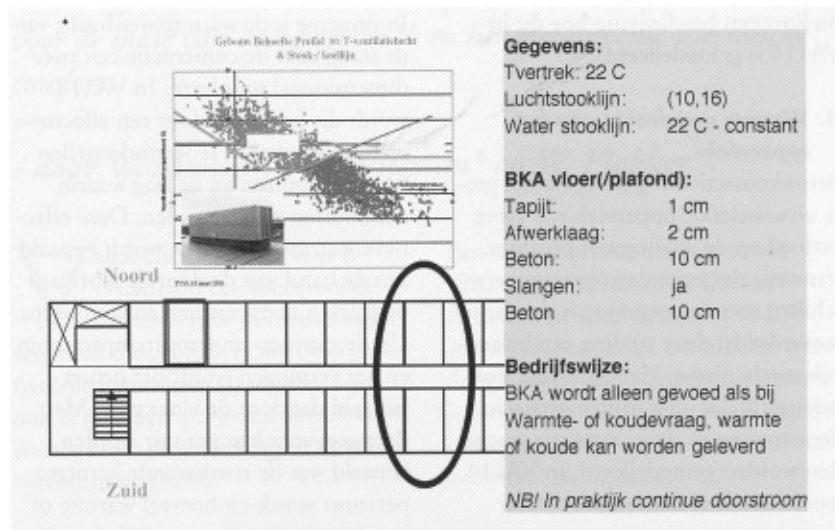
De referentie situatie is schematisch weergegeven in figuur 3. Het betreft het kantoorgebouw dat is gebruikt voor de afleiding van de systeemrendementen in de EPN, zie [6]. Van dit kantoorgebouw worden op een tussenverdieping een 2-tal tussenvertrekken en de gang tussen de vertrekken beschouwd. De kantelpunttemperatuur volgens ISSO 68 van het gebouw bedraagt 11 °C. De (energetisch optimale) luchtstooklijn L0 is weergegeven in figuur 4. De waterstooklijn W0 is 22 °C constant, onafhankelijk van de buitenluchttemperatuur, zie figuur 4.

In Figuur 3 is de opbouw van de vloer c.q. plafond aangegeven en wordt de bedrijfswijze toegelicht.

Er zijn twee waterstooklijn varianten (luchtstooklijn L0), W1 en W2, en twee luchtstooklijn varianten (waterstooklijn W0), L1 en L2, berekend. De lucht en waterstooklijnen zijn in Figuur 4 weergegeven.

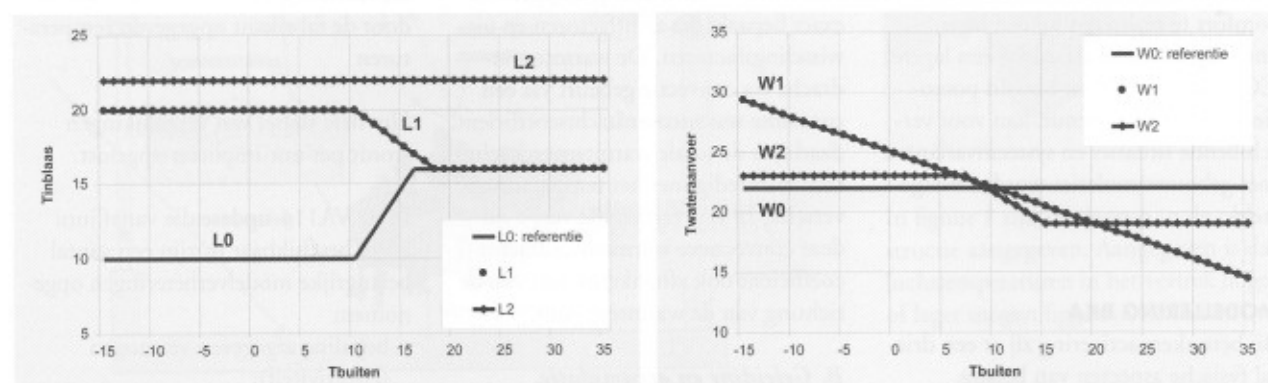
De berekende warmte- en koudelevering bij de verschillende varianten is weergegeven in tabel 1.

Uit de resultaten in de bovenstaande tabel blijkt dat de instellingen van zo-



Referentiesituatie: twee tussenvertrekken incl. gang van het referentiekantoorgebouw.

- FIGUUR 3-



Lucht- en waterstooklijnen van de referentiesituatie en de varianten.

- FIGUUR 4-

Variant	Stooklijn		Beide vertrekken en gang				Vertrek op zuiden	
	Lucht	Water	Energielevering [kWh]		Energielevering [%]		GTO [uren]	
			Warmte	Koude	Warmte	Koude	-	+
Ref.	L0	W0	2.150	1.230	100 %	100 %	734	20
Var W1	L0	W1	3.450	2.530	160 %	206 %	485	11
Var W2	L0	W2	3.200	2.390	149 %	194 %	719	0
Var L1	L1	W0	2.640	1.450	123 %	118 %	76	32
Var L2	L2	W0	2.720	1.440	127 %	117 %	64	118

Simulatiereultaten van vertrekken met een BKA-systeem waarbij lucht- en/of waterstooklijnen per variant zijn gewijzigd.

- TABEL 1-

wel de lucht als de waterstooklijn een groot effect hebben op het energiegebruik.

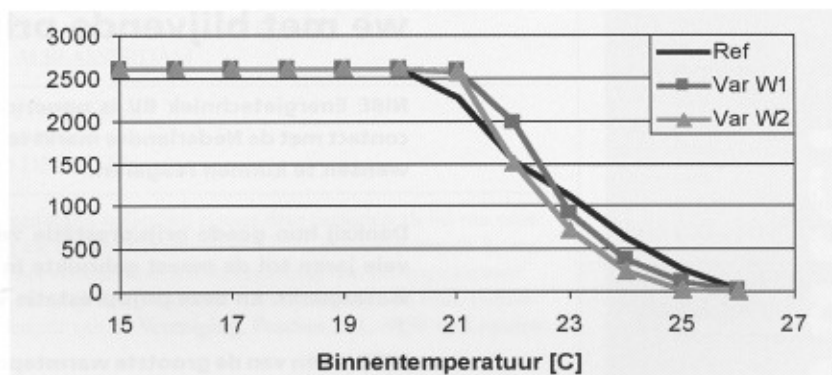
De verschillen in het gerealiseerde thermische binnenklimaat zijn aangegeven in Tabel 1 met gewogen onderschrijdingsuren (GTO '-') en gewogen overschrijdingsuren (GTO '+'). Uit de resultaten blijkt dat het gerealiseerde binnenklimaat per variant verschillend is.

Toepassen van een energetisch optimale stooklijn (ref.) in plaats van een conventionele stooklijn (L1) resulteert in een energiebesparing van 23 % voor verwarming en 18 % voor koeling. In dit voorbeeld zal wel additionele verwarming moeten worden toegepast om de gewogen onderschrijdingsuren te reduceren en daarmee zal de besparing lager komen te liggen. Als indicatie is in de figuur 5 het aantal uren in een jaar dat de binnenluchttemperatuur boven de op de x-as aangegeven binnenluchttemperatuur ligt, weergegeven. De curve van variant W1 loopt steiler dan de curve van de referentie en W2. Hiermee wordt een indicatie gegeven van het effect van een verschillend beschikbaar vermogen door de verschillende waterstooklijnen.

CONCLUSIES

Dynamische gebouwsimulatie van BKA-systemen biedt binnenklimaatadviseurs ondersteuning bij het realiseren van een optimaal binnenklimaat met een minimaal opgesteld vermogen aan opwekkers (lagere investeringskosten) en een laag energiegebruik (lagere energiekosten).

De kracht van BKA-simulatie met een dynamisch gebouwsimulatie programma als VA114 is:



Uren in een jaar dat de binnenluchttemperatuur hoger ligt dan de binnentemperatuur aangegeven op de x-as voor de varianten: Ref. Var W1 en Var W2.

- FIGUUR 5-

- gelijktijdig beschouwen van energiegebruik en het gerealiseerde thermische comfort;
- thermische massa effect nauwkeurig in rekening brengen (van groot belang voor het dimensioneren van de opwekkers);
- optimalisatie regelingen/instellingen (lucht- en waterstooklijnen);
- betrouwbaar en nauwkeurig gebouwsimulatieprogramma.

Uitbreidingen in update (september 2004) van VA114:

- aparte stooklijn BKA is mogelijk;
- meerdere betondelen kunnen worden geactiveerd;
- warmte/koude-uitwisseling met buurvertrekken;
- model verbeteringen o.a. schakelbare convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënten en effectiviteitsbepaling.

Enkele simulaties tonen aan dat de instellingen van water- en luchtstooklijnen ook bij BKA-systemen grote invloed hebben op het energiegebruik en het thermische comfort. De regelingen en instellingen zijn kritische ontwerpfactoren om het BKA-systeem te optimaliseren.

Geadviseerde aanvullende uitbreidingen op VA114, om bestaande systeemconcepten beter te benaderen en regeling en instellingen optimaal te kiezen, zijn:

- regelen op retourwatertemperatuur, en andere regelingen;
- kortsluiten zones (bv. noord- en Zuidgevel in tussenseizoen).

REFERENTIES

1. Nijboer, Besselink, 'Bouwdeelactivering', TVVL H0088, 2000
2. Meierhans, Olesen, 'Betonkernactivering', Velta productions, 1999
3. Koschenz, Lehmann, 'Thermoaktive Bauteilsysteme tabs', EMPA Zwitserland, 2000
4. Elkhuisen, 'ISSO publicatie 68: Energetisch optimale stook- en koellijnen voor klimaatinstallaties in kantoorgebouwen', Stichting ISSO, Rotterdam, februari 2002
5. Olesen, Curro Dossi, 'Operation and control of activated slab heating and cooling systems', CIB2004, Toronto, May 2004
6. Elkhuisen, 'Bepalingsmethode systeemrendementen ten behoeve van NEN 2916; onderbouwing en afleiding getalswaarden', TNO-rapport 98-BBI-R0382, Delft, april 1998.