

# Regeling van betonkernactivering

Betonkernactivering (BKA) toepassen betekent dat een grote thermische massa aan de klimaatinstallatie wordt gekoppeld. Hierdoor gaat de keuze van de regelstrategie en de instelling van de regelaar een cruciale rol spelen in het bereiken van het gewenste thermische comfort én een laag energiegebruik. Vermits BKA de schakel vormt tussen de installaties die koude en warmte produceren en het gebouw dat geconditioneerd moet worden, is het uiterst belangrijk om het dynamisch thermisch gedrag ervan mee te nemen in het ontwerp van het regelsysteem.

Dr.ir. M. (Maarten) Sourbron<sup>1</sup>, prof.dr.ir. L.M.L. (Lieve) Helsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associatie KU Leuven, Departement Industriële Ingenieurswetenschappen, België

<sup>2</sup> Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven), Departement Werktuigkunde, Afdeling Toegepaste Mechanica en Energieconversie, België

BetonKernActivering is een afgiftesysteem voor koeling en verwarming van een kantoorgebouw, waarbij waterleidingen in de betonnen vloerplaat geïntegreerd worden. Warm of koud water doorstroomt de leidingen, verwarmt of koelt de betonnen vloerplaat, die op haar beurt de onder- en bovenliggende ruimte conditioneert.

Drie belangrijke thermische eigenschappen van BKA beïnvloeden de werking van de klimaatinstallatie, ongeacht of de installatie koelt of verwarmt. Ten eerste heeft BKA een *beperkt thermisch vermogen in regimetoestand*. Ten tweede vormt het beton van de vloerplaat een grote thermische massa met *een lange reactietijd*. En ten slotte zal BKA *in een overgangssituatie een groot thermisch vermogen* onttrekken aan het water dat door de leidingen stroomt. Dit 'transient' thermisch vermogen kan initieel meer dan dubbel zo groot zijn als het thermisch vermogen in regimetoestand. Meer nog, door de lange reactietijd van typisch 4 tot 6 uur, zal dit transient thermisch ver-

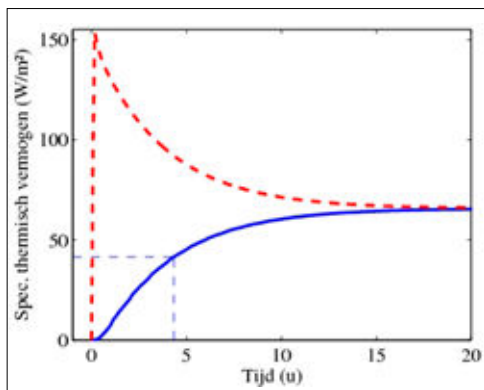
gen gedurende een lange tijd aanhouden. Deze drie eigenschappen worden geïllustreerd aan de hand van Figuur 1. Deze figuur toont de warmtestromen in een niet-afgedekte, 20 cm dikke vloerplaat, die initieel 20°C warm is. Het water in de leidingen ondergaat een plotse temperatuursprong naar 30°C. Figuur 1 toont in rode stippellijn  $q_{\text{water-BKA}}$ , het thermisch vermogen van water naar beton; en in volle blauwe lijn  $q_{\text{BKA-ruimte}} = q_{\text{BKA-ruimte onder}} + q_{\text{BKA-ruimte boven}}$ , het totale thermisch vermogen dat de BKA-plaat afgeeft aan de onder- en bovenliggende ruimte. Het thermische vermogen in regimetoestand is 65 W/m<sup>2</sup>, maar initieel bedraagt  $q_{\text{water-BKA}}$  het thermisch vermogen dat de beton onttrekt aan het water, 153 W/m<sup>2</sup>, wat 2,4 keer hoger is dan de regimesituatie. Deze overgangssituatie duurt bijna 20 uur.

### ■ BKA-REGELSTRATEGIE

De BKA-regelstrategie bepaalt wanneer en op welke temperatuur water door de BKA-leidingen gestuurd wordt. Door de specifieke

thermische BKA-eigenschappen, zal de regelstrategie niet alleen het thermisch vermogen van BKA naar de ruimte bepalen, maar ook invloed hebben op de werking van het productiesysteem. Het opgestelde thermisch vermogen wordt immers vaak bepaald met een berekening van de regimetoestand, terwijl het gevraagde vermogen in een overgangssituatie veel groter kan zijn.

Warmteoverdracht tussen BKA en de ruimte wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen het BKA oppervlak en de temperatuur van de ruimte. De grote thermische massa van de betonnen vloerplaat maakt dat er veel energie nodig is om de BKA-oppervlakte temperatuur te veranderen. Daarom is het belangrijk dat de BKA-regelaar *vermijdt dat er verwarmd en gekoeld wordt gedurende eenzelfde dag*. Als dit wel gebeurt, zal er een grote hoeveelheid energie gebruikt worden om de betonplaat bijvoorbeeld op te warmen en terug af te koelen, zonder dat dit een merkbaar effect zal hebben op de ruimtetemperatuur.



-Figuur 1- Specifiek thermisch vermogen van water naar beton (- -) en van de beton naar de onder- en bovenliggende ruimte (—) voor een stap in de water aanvoertemperatuur van 20°C naar 30°C in het midden van een 20 cm dikke vloerplaat

Omdat het thermisch vermogen van BKA beperkt is (typische regimewaarden voor plafond en vloer samen zijn 90 W/m<sup>2</sup> voor verwarming en 40 W/m<sup>2</sup> voor koeling), legt BKA hoge eisen op aan de gebouwschil: de warmte en koudelast van het gebouw moeten drastisch beperkt worden. Typisch wordt de wateraanvoertemperatuur van de BKA-installatie zo geregeld dat de BKA-temperatuur dicht bij de gewenste ruimtetemperatuur ligt. Er zal in normale werking dus maar een klein temperatuurverschil bestaan tussen het BKA-oppervlak en de ruimte. Hierdoor bestaat er een belangrijk zelfregelend effect: een stijging van 1°C van het temperatuurverschil tussen het BKA-oppervlak en de ruimte betekent al een relatief grote stijging van het thermische vermogen. Ook belangrijk is dat warmteoverdracht tussen BKA en de ruimte enkel gebeurt wanneer de ruimtetemperatuur verandert ten opzichte van de BKA-oppervlaktetemperatuur. Omdat de BKA-oppervlaktetemperatuur slechts traag verandert, wil dat zeggen dat er in een BKA-gebouw altijd een zeker variatie van de ruimtetemperatuur zal zijn. De norm ISO7730 schrijft voor dat de operationele temperatuur van een ruimte in de winter tussen 20 en 24°C moet liggen en in de zomer tussen 23°C en 26°C.

## INDIVIDUELE RUIMTEREGELING

Door de lange reactietijd is individuele ruimteregeling onmogelijk met BKA. Zone-regeling (bijv. zuid-zone versus noord-zone) moet toegepast worden, waarbij de instellingen van de regelaar (waterdebiet, aanvoertemperatuur) bepaald worden op basis van de externe en interne belasting van de specifieke zone. Individuele ruimteregeling kan gewenst zijn om bijvoorbeeld onverwachte of te grote thermische lasten te compenseren, of om het ther-

miscomfort van de gebruiker te vergroten. In dat geval moet BKA gecombineerd worden met een bijkomend snel reagerend afgiftesysteem, zoals bijvoorbeeld de ventilatielucht, ventilo-convectoren of radiatoren. De volledige klimaatinstallatie moet dan zo ontworpen zijn dat de BKA de basislast levert, terwijl het bijkomend systeem de piekbelasting opvangt. Het ontwerp van installatie én regeling moet ervoor zorgen dat de BKA en het bijkomend systeem elkaar niet tegenwerken.

De buitentemperatuur, zonnestraling en interne warmtewinsten beïnvloeden de ruimtetemperatuur en bijgevolg ook het thermische comfort. De BKA moet deze storingen, die met een cyclus van 24 uur of frequenter terugkomen, compenseren. Door de lange reactietijd en het beperkte thermische vermogen van BKA, zal een typische aan-uit regeling, op basis van de ruimtetemperatuur, onvermijdelijk achter de feiten aanhollen.

## FEEDBACKREGELING

Toch is een feedbackregeling eenvoudig te ontwerpen en toe te passen. Het verschil tussen het optreden van de storingen en de reactietijd van BKA, laat geen andere optie over dan de BKA constant op een gewenst temperaturniveau te houden. Enkel op deze manier is de regeling robuust en energie-efficiënt, terwijl thermisch discomfort beperkt blijft [2,3]. Een goed voorbeeld van een dergelijke regeling is de temperatuur van de BKA-kern gedurende het hele jaar op  $T_{\text{comfort,min}} + 1^\circ\text{C}$  te houden. De waarde van 1°C is een instelparameter van de regeling en hangt af van de warmte-aanwinst in de ruimte: een grote aanwinst betekent een kleinere waarde, een kleinere aanwinst een grotere waarde. Figuur 2, op de volgende pagina, toont het gedrag van een dergelijke 'Constante BKA-kern' regeling ('Constant Concrete Core Control' of C<sup>4</sup>-regeling) voor een typische winter- en zomerweek. Het komt erop neer de betonnen vloerplaat constant thermisch 'opgeladen' te houden.

Te hoge of te lage BKA-kerntemperaturen vergroten het risico op oververhitting of onderkoeling van de ruimte. Dat kan een tegenwerkende reactie van het bijkomend systeem veroorzaken, met overbodig energiegebruik tot gevolg. Als de C<sup>4</sup>-regeling de ruimtetemperatuur niet binnen de gewenste grenzen kan houden, moet het bijkomende systeem ingeschakeld worden om de piekbelastingen te compenseren.

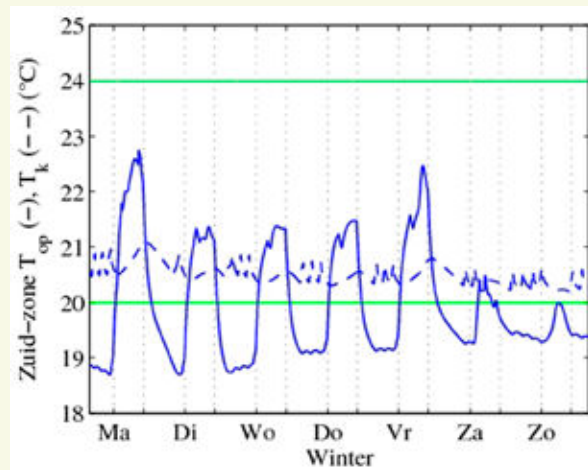
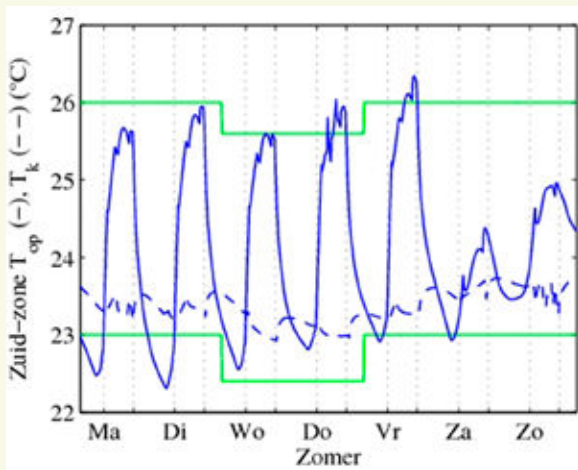
Om de C<sup>4</sup>-regeling toe te passen, moet er een feedback regellus opgezet worden die de 'thermische lading' van de BKA-plaat opvolgt. Indicatieve metingen kunnen zijn: het temperatuurverschil tussen water aan- en terugvoer of een bepaalde temperatuur van de

BKA-plaat (kern, oppervlak of ergens tussenin). De instelling van deze feedback regellus (aan-uit schakelpunt, hysteresis) moet zorgen voor een stabiele werking van de circulatiepomp (geen te frequent aan-uit schakelen), zodat de volledige betonnen vloerplaat thermisch opgeladen wordt en niet enkel de betonlaag rond de leidingen. Een goed uitgangspunt voor het ontwerp van de verwarmings- en koelcurve voor de watertoevoertemperatuur is de warmte- en koudelast van het gebouw en de thermische eigenschappen van de BKA-plaat in regimetoestand.

## ALTERNERENDE ZONEREGELING

De thermische massa van BKA kan nuttig gebruikt worden om alternerende zoneregeling te verkrijgen. Door de verschillende regelzones van het gebouw afwisselend aan te sturen, kan het volledige geïnstalleerde productievermogen aangewend worden om één zone te bedienen. Aangezien BKA in een overgangssituatie een groter thermisch vermogen opneemt uit het water dan nominaal, zou het gezamenlijk aansturen van alle regelzones niet mogelijk zijn met een productieinstallatie die gedimensioneerd is op basis van de regimetoestand. De alternerende zoneregeling zorgt ervoor dat het instelpunt van de regeling toch gehaald kan worden met een productie-installatie die gedimensioneerd is op het nominaal vermogen van het gebouw of zelfs lager. Het verhogen van de verwarmingscurve of verlagen van de koelcurve zorgt ervoor dat een BKA-plaat sneller opgeladen zal zijn (en dus sneller naar een volgende regelzone kan worden overgeschakeld), maar dit vereist wel een hoger thermisch vermogen van de productie-installatie. De verwarming-/koelcurve verhogen/verlagen met 3°C in vergelijking met de regime-curve is een goed compromis. Dit toont duidelijk het nauwe verband aan tussen ontwerp van de regeling en ontwerp van de klimaatinstallatie.

De C<sup>4</sup>-regeling leidt automatisch tot nachtwerking van de installatie in verwarmingsregime, wat financieel voordeel oplevert omdat er van nachttarief gebruik gemaakt wordt. Koeling daarentegen, gebeurt meestal tijdens de dag, wanneer de vloerplaat geleidelijk aan warmte opneemt uit de ruimte totdat de 'thermische lading' te laag is en koeling moet worden aangeschakeld. Voorkoeling tijdens de nacht (het verlagen van het schakelpunt van de regellus) is mogelijk, maar slechts beperkt, want onderkoeling kan optreden (typisch tijdens de ochtenduren wanneer er nog geen interne warmtewinsten zijn), waardoor het bijkomend systeem de BKA moet tegenwerken. Dit veroorzaakt nutteloos energiegebruik. De beschreven C<sup>4</sup>-regeling geeft een goede



-Figuur 2- Operatieve (volle lijn) en BKA-kern (stippellijn) temperatuur voor een typische winter- en zomerweek. De band voor thermisch comfort is aangeduid, alsook de kantooruren in de periode 8 tot 18 uur

en robuuste regelprestatie, maar het houdt slechts indirect rekening met alle systeemparameters die het thermisch comfort en het energiegebruik beïnvloeden. Een regelstrategie zoals Modelgebaseerde Predictieve Regeling (Model based Predictive Control (MPC)) zal wel actief rekening houden met de transiente eigenschappen van BKA, van de bijkomende installatie en van het gebouw, met tijdsvariërende parameters, zoals energieprijzen, weercondities en bezetting van het gebouw. Onderzoek naar dergelijke MPC bevindt zich in demonstratiefase, waarbij de implementatie in

verschillende voorbeeldgebouwen nauwgezet wordt opgevolgd ([www.geotabs.eu](http://www.geotabs.eu)).

#### ■ DANKWOORD

De auteurs bedanken het Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en Technologie in Vlaanderen (IWT-Vlaanderen) voor de financiële steun in het kader van het EraSME – Geotabs-project (100403).

#### ■ REFERENTIES

1. M. Sourbron, Dynamic thermal behaviour

of buildings with Concrete Core Activation. PhD Thesis, KU Leuven, Leuven, 2012

2. B.W. Olesen, Cooling and heating of buildings by activating their thermal mass with embedded hydronic pipes systems, in Proceedings Ashrae-Cibse (Dublin, Ireland, 2001), p. 19
3. M. Sourbron and L. Helsen, Sensitivity analysis of feedback control for Concrete Core Activation and impact on installed thermal production power, Submitted for publication in Journal of Building Performance simulation, December 2012

# Smitsair-JETsystemen



## LUCHTDISTRIBUTIE OP MAAT

- PROJECTMATIGE AANPAK • LUCHTVERDELING OP MAAT • SNELLE INSTALLATIE
- LAAG ENERGIEVERBRUIK • WEINIG TRANSPORTKANALEN NODIG • TOCHTVRIJ EN HOMOGEEN KLIMAAT • HOOGINDUCEREND SYSTEEM • INCLUSIEF IN BEDRIJFSTELLING
- ONDERHOUDSVRIJ • GESCHIKT VOOR KOELING, VERWARMING EN VENTILATIE



### Toepassingsgebieden JETsystemen:

- fabriekshallen en lashallen,
- magazijnen en distributiecentra,
- voedselverwerkende industrie,
- sporthallen en zwembaden,
- concertzalen, theaters en discotheken,
- multifunctionele evenementenhallen,
- winkels, bouwmarkten,
- atria en binnentuinen,
- kantoorruimten, hotelkamers,
- scholen, klaslokalen.



SMITSAIR-JETsystemen B.V.

Tel. 0297-564455

Fax 0297-569296

e-mail: [jetsystemen@smitsair.nl](mailto:jetsystemen@smitsair.nl)

internet: [www.smitsair.nl](http://www.smitsair.nl)