

## Tweedehuid facade en thermische activatie bouwkundige constructie

Roelofsen, C.P.G.

**Publication date**

2022

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Verwarming Ventilatie Plus (VV+)

**Citation (APA)**

Roelofsen, C. P. G. (2022). Tweedehuid facade en thermische activatie bouwkundige constructie. *Verwarming Ventilatie Plus (VV+)*, 14-19.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Rekenstudie

# TWEEDEHUID FAÇADE EN THERMISCHE ACTIVATIE BOUWKUNDIGE CONSTRUCTIE

**In de utiliteit hebben duurzaam en energiezuinig bouwen een sterke invloed op het ontwerp van de gevel en de klimaatinstallatie. In bepaalde situaties kan het raadzaam zijn om een zogeheten tweedehuid façade toe te passen. Hierbij wordt de gevel niet – zoals bij de klimaatgevel – met binnenlucht, maar met buitenlucht geventileerd. Om na te gaan aan welke randvoorwaarden de belangrijkste bouwkundige en installatietechnische voorzieningen moeten voldoen bij een tweedehuid façade, is een rekenstudie uitgevoerd.**

Tekst: dr.ir. C.P.G. (Paul) Roelofsen, Industrial Design Engineering, TU Delft

Fotografie: iStock

In deze tijd is het niet meer acceptabel dat bouwkundige tekortkomingen van een gebouw door installatietechnische maatregelen moeten worden gecompenseerd. Dit betekent dat het bouwkundige en installatietechnische ontwerp zoveel mogelijk op elkaar dienen te worden afgestemd of zelfs met elkaar te worden geïntegreerd. Actieve façades, zoals de klimaatgevel en de tweedehuid façade, worden vaak toegepast in gebouwen met een groot glaspercentage in de gevel.

Bij de toepassing van een tweedehuid façade is het, uit het oogpunt van investeringskosten en energiegebruik, zinvol om de ruimtekoeling niet louter door centrale koeling van de toegevoerde ventilatielucht te laten plaatsvinden, maar via centrale koudwaterkoeling, zoals bijvoorbeeld vloerkoeling [1]. De toegevoerde luchthoeveelheid dient dan slechts te worden afgestemd op de gewenste luchtkwaliteit en niet op het afvoeren van de overtollige warmte uit het gebouw. Koeling na werktijd geschiedt primair via thermische activatie van de vloer en het plafond (bijvoorbeeld PCM's) en niet door nachtventilatie via het mechanisch ventilatiesysteem. Aanvullende koeling door natuurlijke ventilatie via de tweedehuid façade is zowel in als na werktijd mogelijk.

Om na te gaan aan welke randvoorwaarden de belangrijkste bouwkundige en installatietechnische voorzieningen dienen te voldoen, bij toepassing van voornoemd klimaatconcept, is een rekenstudie uitgevoerd.

### Tweedehuid façade

Een actieve façade, zoals de klimaatgevel, is een duidelijk voorbeeld van een synthese van bouwkunde en installatie-

techniek; de gevel en de installatietechniek zijn onderdelen van elkaar geworden. In bepaalde situaties kan het echter raadzaam zijn om in plaats van een klimaatgevel een zogenaamde tweedehuid façade toe te passen. Hierbij wordt de gevel niet met binnenlucht, maar met buitenlucht geventileerd en is zelfs bij hoogbouw ventilatie via te openen ramen mogelijk, zonder dat hiervan last wordt ondervonden [2]. Kenmerken van de tweedehuid façade zijn:

- een te openen thermisch geïsoleerde ruit aan de binnenzijde,
- een gesloten enkele ruit aan de buitenzijde,
- een luchtspouw die in open verbinding staat met de buitenlucht en waarbij de spouw veelal op natuurlijke wijze wordt geventileerd,
- een zonwering in de spouw.

In de praktijk kan de spouwdiepte variëren tussen de 200 en 1.000 mm.

Belangrijke voordelen van de tweedehuid façade ten opzichte van de klimaatgevel zijn:

- tot op grote gebouwhoogte te openen ramen,
  - een geringer energiegebruik ten gevolge van het koel- en ventilatiesysteem.
- Belangrijke nadelen van de tweedehuid façade ten opzichte van de klimaatgevel zijn:
- de noodzakelijke convectieve verwarming aan de gevel; met andere woorden: een uitgebreid verwarmingssysteem,
  - een minder nuttig vloeroppervlak in verband met de kleinere leefzone.





### Thermisch binnenmilieu

Voor wat betreft het thermische binnenmilieu worden in NEN-EN-15251 [3] de vier categorieën als volgt omschreven, met de gemiddelde voorspelde uitspraak over de beleving van de algemene thermische behaaglijkheid (PMV) als kritische prestatie indicator (KPI):

- Categorie I: hoog comfort ( $-0,2 < PMV < +0,2$ ; minder dan 6 procent ontevredenen),
- Categorie II: standaard comfort ( $-0,5 < PMV < +0,5$ ; minder dan 10 procent ontevredenen),
- Categorie III: minimum comfort ( $-0,7 < PMV < +0,7$ ; minder dan 15 procent ontevredenen),
- Categorie IV: overige ( $PMV \leq -0,7$  en  $PMV \geq 0,7$ ; meer dan 15 procent ontevredenen).

Deze categorieën worden ook gehanteerd in NEN-EN-ISO-7730 [4] en de Nederlandse praktijkrichtlijn NPR-CR-1752 [5]. De Well Building Standard [6] hanteert geen PMV-overschrijdingen. Aan de eis per categorie (minimaal categorie II) moet 100 procent van de werktijd worden voldaan [7].

### Methoden

In Nederland is het gebruikelijk de richtlijnen van de voormalige Rijksgebouwendienst (RGD), het huidige Rijksvastgoedbedrijf (RVB), te hanteren voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat in kantoren gedurende de zomer [8]. De in de RGD-richtlijnen gegeven methoden (TO- en GTO-methode) en criteria, die zijn afgeleid van het NEN-EN-ISO-7730-model, hebben zich in de praktijk gedurende

een groot aantal jaren als betrouwbare ontwerpmethodode bewezen en zijn goed bruikbaar als hulpmiddel bij het ontwerpen en toetsen van de klimaatinstallaties in gebouwen waarin het klimaat voornamelijk door de installaties wordt bepaald.

Onderzoek heeft echter aangetoond dat deze methoden hun beperkingen hebben als het gaat om natuurlijk geventileerde gebouwen; gebouwen met individuele mogelijkheden om het binnenklimaat te beïnvloeden en het effect van adaptatie. Vanwege deze beperkingen is een voor Nederland nieuwe ATG-beoordelingsmethode ontwikkeld [9]. Als uitgangspunt bij de ontwikkeling van elk van de genoemde RGD-beoordelingsmethoden is steeds als referentie de primaire eis voor rijks overheidsgebouwen gehanteerd, te weten: op jaarbasis 90 procent van de werktijd minimaal 90 procent tevredenen [7, 9, 10].

### Beoordeling thermisch binnenklimaat

Om een indruk te krijgen van het thermische binnenklimaat en de eventueel noodzakelijke maatregelen zijn temperatuursimulatieberekeningen uitgevoerd voor een op een tussenverdieping gelegen kantoorvertrek (b x d x h: 3,6 x 5,4 x 2,7 m) georiënteerd op het zuiden. Met behulp van een computerprogramma, gebaseerd op een mathematisch model, opgesteld volgens de eindige elementenmethode, wordt de dynamische warmtehuishouding van de ruimte per uur gesimuleerd. Het computerprogramma biedt de mogelijkheid om de thermische activatie van de bouwkundige constructie en de luchtuitwisseling van de ruimte

variant	categorie	binnentemperatuur			weegtijd	primaire eis RVB	
		T <sub>inb,max</sub> [°C]	T <sub>i,max</sub> [°C]	T <sub>i</sub> ≥ 25,5 °C [h/jaar]		PMV ≥ 0,5 [weeguren] <sup>1)</sup>	-0,5 < PMV < 0,50 [%/jaar] <sup>2)</sup>
1	IV	22,5	26,5	152	149	94,6	5,4
2	III	22,0	26,4	133	125	95,4	4,6
3	II	18,0	25,7	6	0	100,0	0,0
4	I	<16,0	geen optie in verband met kans op oppervlaktecondensatie				

1 ≤ 150 weeguren, conform RGD-richtlijn

2 ≥ 90 %/jaar, conform primaire eis rijksoverheidskantoren

3 ≤ 5 %/jaar, conform primaire eis rijksoverheidskantoren.

Tabel 1. Overzicht berekeningsresultaten temperatuur- en PMV-overschrijdingen.

Hierin is:

categorie : conform NEN-EN-15251

T<sub>inb,max</sub> : maximale inblaastemperatuur in werktijd [°C]

T<sub>i,max</sub> : maximale binnentemperatuur in werktijd [°C]

PMV : Predicted Mean Vote, conform NEN-EN-ISO-7730

weegtijd : Conform GTO-methode RGD-richtlijn.

variant	V <sub>gem</sub> [m <sup>3</sup> /h] <sup>1)</sup>	V <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /h] <sup>2)</sup>
1	164	249
2	164	249
3	160	248

1 alle ventilatie-openingen aanvullende natuurlijke ventilatie open

2 Q<sub>naverwarming</sub> ≤ 1.302[Watt]

Tabel 2. Overzicht berekende luchtuitwisseling.

Hierin is:

V<sub>gem</sub> : gemiddelde luchtuitwisseling van de ruimte met buitenlucht [m<sup>3</sup>/h]

V : maximale luchtuitwisseling van de ruimte met buitenlucht [m<sup>3</sup>/h]

achter de tweedehuid façade met buitenlucht, op basis van een gevalideerd model in de berekeningen mee te nemen. Met dit computerprogramma wordt voor elk uur onder andere de binnentemperatuur, de PMV-waarde [4] en de weegfactor [8] berekend.

### Klimaatgegevens

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van uurlijkse klimaatgegevens van het referentieklimaatjaar, conform NEN-5060 (2018, Bijlage E) [11], geschikt voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen. Het referentieklimaatjaar heeft een kans van 1 procent dat de werkelijk optredende buitentemperatuur hoger zal zijn. Van dit jaar is voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat in de actuele situatie het volledige jaar beschouwd met inachtneming van de zomertijd.

### Uitgangspunten

Teneinde de PMV-waarde te kunnen berekenen is uitgegaan van:

1. een gemiddeld activiteitsniveau: 70 [W/m<sup>2</sup>] (lichte zittende werkzaamheden),
2. een gemiddelde luchtsnelheid: 0,10 [m/s],
3. een kledingweerstand: 0,7/0,9 clo (buiten/binnen stookseizoen).

Voor de binnenluchtkwaliteit is uitgegaan van categorie II,

overeenkomstig NEN-EN-15251. Hierbij is verondersteld: geurbelasting van de buitenlucht: 0,2 decipol, geurbelasting van het gebouw en de installaties: 0,1 olf/m<sup>2</sup>. Bij een bezettingsgraad van 1 persoon per 10 m<sup>2</sup>, een metabolisme van 1,2 met en een ventilatie-effectiviteit van 0,95 resulteert dit in een verse luchthoeveelheid van minimaal 71 m<sup>3</sup>/h per persoon (voor de overige uitgangspunten zie kader).

### Variantberekeningen

Voor een standaard kantoorvertrek, op een tussenverdieping en op een zuidoriëntatie van een kantoorgebouw, zijn een aantal variantberekeningen uitgevoerd. Op basis van de in de bijlage vermelde uitgangspunten zijn voor dit vertrek de volgende variantberekeningen gemaakt:

1. een tweedehuid façade, thermische activatie van vloer en plafond, constante vloertemperatuur van 23 °C in werktijd en 15 uur na werktijd, constante plafondtemperatuur van 23 °C in werktijd, criterium RGD-richtlijn.
2. als 1, echter criterium categorie III overeenkomstig NEN-EN-15251.
3. als 1, echter criterium categorie II overeenkomstig NEN-EN-15251 c.q. de Well Building Standard.

### Berekeningsresultaten

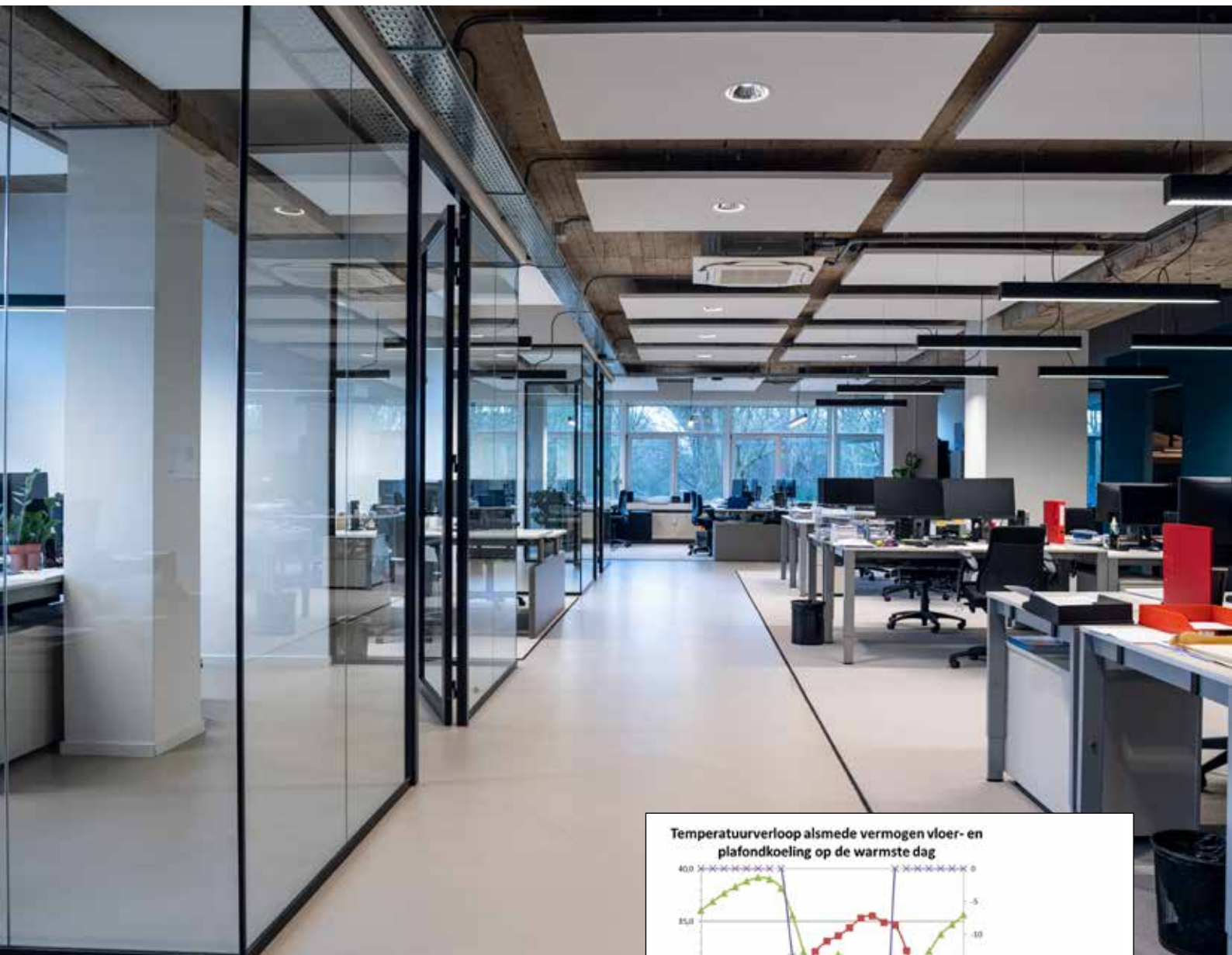
De belangrijkste berekeningsresultaten zijn weergegeven in de tabellen 1 en 2.

De berekende luchtuitwisseling van de ruimte, achter de tweedehuid façade, met buitenlucht, is weergegeven in tabel 2 (voor de regeling zie kader).

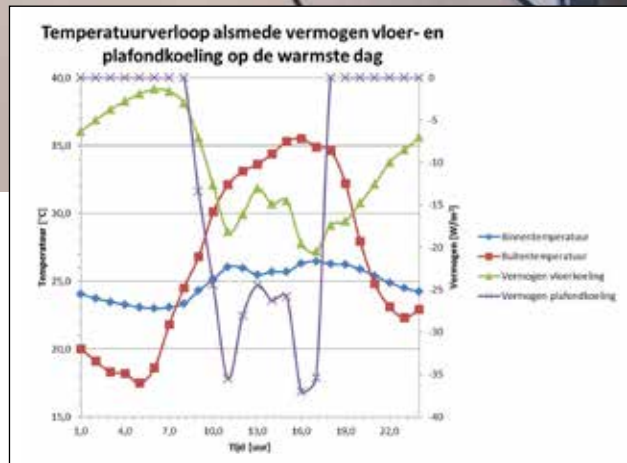
Het vermogen van de vloer- en plafondkoeling alsmede het verloop van de binnen- en buitentemperatuur, op de warmste dag, voor de standaard kantoor situatie (variant 1) is weergegeven in figuur 1.

Het verloop van de capaciteit van de vloerkoeling en vloerverwarming op jaarbasis (variant 1) is weergegeven in figuur 2.

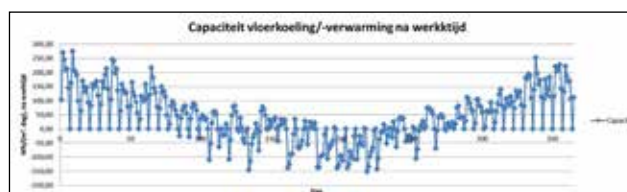
In figuur 2 is te zien dat de capaciteit van de vloerkoeling, bij variant 1, tot 15 uur na werktijd, maximaal 151 Wh/(m<sup>2</sup>.dag)



bedraagt. Het maximaal geïnstalleerd vermogen van de vloerkoeling, bij variant 1, bedraagt  $20,5 \text{ W/m}^2$  (figuur 1). Voor genoemde capaciteit en vermogen zijn geen problemen bij een eventuele toepassing van extra thermische opslag in de vloer in de vorm van PCM (phase change materials). Door bijvoorbeeld de vloer, bij variant 1, tot maximaal 25 procent van het vloeroppervlak van zogeheten PCM's te voorzien (figuur 3), kunnen de leidingen in de vloer het PCM, in werktijd, actief op een temperatuur van gemiddeld  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  handhaven. Hierdoor kan de hierin opgeslagen energie op een later tijdstip, na werktijd, weer worden gebruikt. Zo gezien is variant 1 vrijwel equivalent aan een situatie met vloerkoeling en het gebruik van PCM's in de vloer na werktijd. Bekeken vanuit de dynamische warmtehuishouding van de vloer resulteert dit in een energiereductie van 55 procent op jaarbasis, immers na werktijd kan de koelfunctie door de PCM's worden overgenomen.



1. Het vermogen van de vloer- en plafondkoeling alsmede het verloop van de binnen- en buitentemperatuur op de warmste dag.

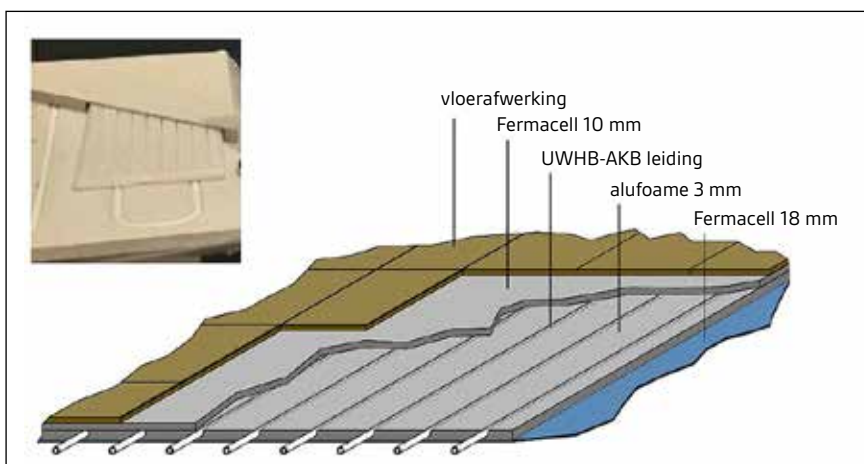


2. Het verloop van de capaciteit van de vloerkoeling en vloerverwarming op jaarbasis.

## Uitgangspunten bij de temperatuuroverschrijdingsberekeningen

### Tussenverdieping

Glaspercentage gevel:	80%
U-waarde beglazing:	0,94 W/(m <sup>2</sup> .K)
ZTA-waarde beglazing:	0,26
ZTA-waarde beglazing + zonwering:	0,14 (lamellen zonwering in de spouw)
LTA-waarde beglazing:	0,60
Personenbezetting:	1 persoon à 80 W per 10 m <sup>2</sup>
Geïnstalleerd verlichtingsvermogen:	10 W/m <sup>2</sup>
Warmteafgifte apparatuur:	10 W/m <sup>2</sup>
Plenumfunctie:	onderdruk
Infiltratievoud:	0,3
Mechanisch ventilatievoud:	2,7
Minimale inblaastemperatuur:	16,0 °C
Ventilator- en kanaalopwarming:	1,5 °C
Inblaastemperatuur:	buitentemperatuur
Werktijd:	09.00 t/m 17.00 uur
Minimale vertrektemperatuur:	22,0 °C tijdens werktijd
Minimale vertrektemperatuur:	15,0 °C na werktijd
Zonwering bediend in werktijd:	indien Qzondoorgelaten ≥ 120 W/m <sup>2</sup>
Na werktijd geen zonwering	
Aanvullende ventilatie via gevel (in werktijd):	indien $T_i > 24\text{ °C}$ , $T_u > 16\text{ °C}$ , $(T_i - T_u) > 1\text{ K}$
Aanvullende ventilatie via gevel (na werktijd):	geen
Netto opening glazen buitenblad:	0,2 m <sup>2</sup> /m
Netto opening glazen binnenblad:	2,08 m <sup>2</sup> /m
Type opening buitenblad:	kleppen (openingshoek 15 graden)
Type opening binnenblad:	kiepraam (openingshoek 15 graden)
Oppervlak spleet onder deur:	0,005 m <sup>2</sup>
Nacht-/weekendventilatie:	geen
Binnenwanden:	Metal Stud
Vloeropbouw (boven - beneden):	projecttapijt 36 mm gipskarton (inclusief waterregister) 50 mm dekvloer 200 mm betonvloer plenum 50 mm minerale wol 18 mm gipskarton (inclusief waterregister)



3. PCM-klimaatvloer.



## Conclusie

Op grond van de berekeningsresultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

- De minimaal mechanisch toegevoerde verse luchthoeveelheid voldoet aan categorie II, overeenkomstig NEN-EN-15251 (ontwerpuitgangspunt). Ergo: het percentage ontevreden inzake de luchtkwaliteit is minder dan 20 procent.
- In de onderhavige situatie varieert de luchtuitwisseling van de ruimte, achter de tweedehuid façade, met buitenlucht, tussen de 15,8 en 249 m<sup>3</sup>/h; met een gemiddelde van circa 160 m<sup>3</sup>/h.
- Een thermisch binnenklimaat gebaseerd op een weegtijd van 150 weeguren, overeenkomstig de GTO-methode, voldoet aan categorie IV, conform NEN-EN-15251.
- Een tweedehuid façade en een maximale inblaasttemperatuur lager dan 16 °C (variant 4; niet verder uitgewerkt) is, in de onderhavige situatie en rekening houdend met condensatie, geen optie voor een categorie I thermisch binnenklimaat overeenkomstig NEN-EN-15251.
- PCM, verwerkt in de vloer (zie figuur 3), zal de klimaatinstallatie na werktijd ontlasten met als resultaat een significante capaciteitsreductie. Bekeken vanuit de dynamische warmtehuishouding van de vloer resulteert dit in een capaciteitsreductie voor de vloerkoeling/-verwarming van 55 procent op jaarbasis.
- Een tweedehuid façade, vloer- en plafondkoeling alsmede PCM's (in de vloer) zijn een goede combinatie in een kantoorgebouw voor een categorie II thermisch binnenklimaat en binnenluchtkwaliteit, conform NEN-EN-15251 c.q. de Well Building Standard.

Hieruit blijkt dat vloer- en plafondkoeling, met PCM's in de vloer, een interessante optie is om te worden toegepast in kantoorgebouwen met een tweedehuid façade waarmee een categorie II binnenklimaat haalbaar is. <<

## Bronnen

1. Roelofsen P., Hooft E 't, 'Healthy investments in HVAC systems', Journal of Facilities Management, Emerald Publishing Ltd, Bingley (VK), 2008.
2. Roelofsen P., 'Tweede huidfacade versus klimaatgevel', Stedebouw & Architectuur, Zwolle, 2003.
3. Nederlands Normalisatie Instituut, 'NEN-EN-15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics', Delft, 2007.
4. Nederlands Normalisatie Instituut, 'NEN-EN-ISO-7730: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005.IDT)', Delft, 2005.
5. Nederlands Normalisatie Instituut, 'NPR-CR-1752: Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment', Delft, 1999.
6. International Well Building Institute, 'The Well Community Standard', New York (VS), 2020.
7. Roelofsen P., 'Installatieconcepten in het licht van de Well Building Standard', VV+, Woerden, 2018.
8. Roel M.K.W., 'Wettelijke eisen en RGD-richtlijnen voor bouwfysica', Rijksgebouwendienst, Den Haag, 1994.
9. ISSO, 'ISSO-74: Thermische behaaglijkheid', Rotterdam, 2015.
10. Mossink J.C.M., Ellens E., Eveleens W., 'Ontwerpen van arbeidssituaties', Ministerie SZW / TNO, Den Haag, 1992.
11. Nederlands Normalisatie Instituut, 'NEN 5060: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - Referentieklimaatgegevens', Delft, 2018.