

# OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

## BEHEER VAN OVERVERHITTING IN DE ZOMER

LENTE 2025

**Warmte absorberen**



- ▶ Begrijpen van de begrippen en de grootheden in verband met inertie
- ▶ Zich bewust worden van de impact van verschillende bouwwijzen en de materiaalkeuze
- ▶ Ontdekken van faseovergangsmaterialen



**INLEIDING**

THEORETISCHE BEGRIPPEN

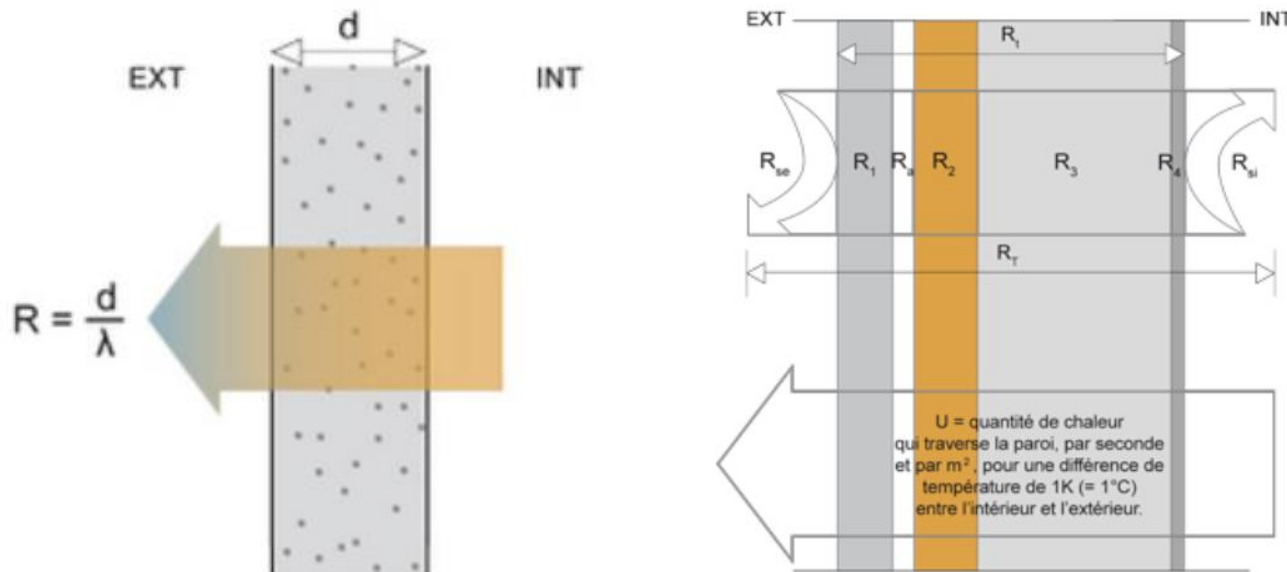
IN DE PRAKTIJK

FASEOVERGANGSMATERIALEN



## Permanente toestand

- Hypothese: permanente warmte-uitwisseling tussen een gebouw en zijn omgeving, onder invloed van een gemiddelde temperatuurgradiënt
  - ⇒ Het is de **thermische weerstand  $R$**  van de scheidingsconstructies die in acht wordt genomen in de thermische balans.



Bron: EPB-gids van het Waals Gewest

- ⇒ Hoe hoger de thermische weerstand, hoe beter de prestaties van de scheidingsconstructie



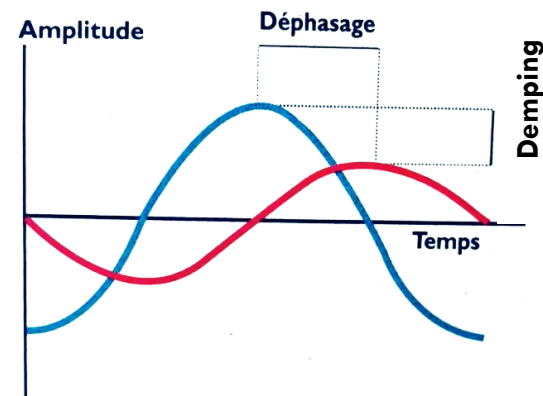
## Variabele toestand

- ▶ In werkelijkheid echter ...
  - varieert de buitentemperatuur,
  - varieert de binnentemperatuur – indien deze niet constant wordt gehouden door een verwarmings-/koelingssysteem
- ⇒ De analyse van de warmte-uitwisseling dient te gebeuren in een **variabele toestand!**
- Ook andere grootheden spelen een rol ...
  - Thermische inertie



## Thermische inertie van een gebouw

- ▶ Dat is de eigenschap van het gebouw om **temperatuurschommelingen tegen te gaan**
  - Het gaat om het gebouw **met alle componenten**, in het bijzonder de scheidingsconstructies van de gebouwschil, maar ook de binnenwanden
- ▶ Thermische inertie zorgt voor
  - het dempen van de amplitude van de thermische golf
  - het verschuiven van de afgifte ervan in de tijd

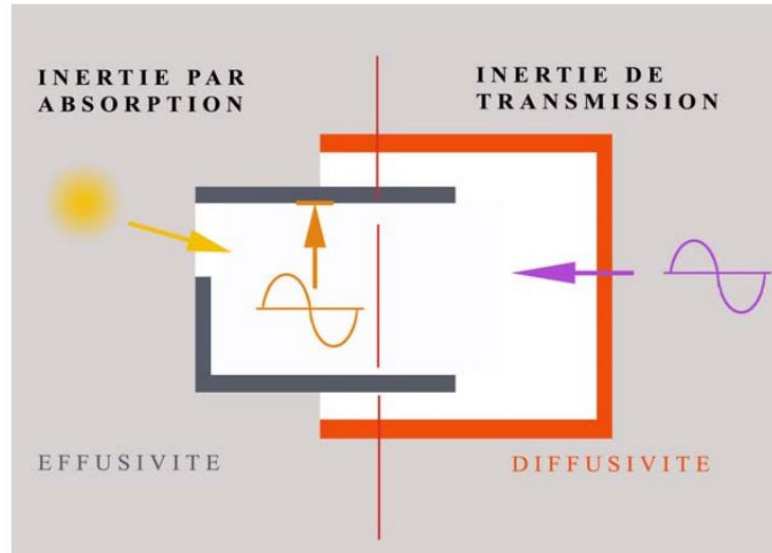


Bron: La conception bioclimatique,  
Samuel Courgey en Jean Pierre Oliva



## Thermische inertie van een gebouw

- We kunnen twee situaties onderscheiden waarin thermische inertie een rol speelt



Bron: Julie LELONG

> Vermindering van de schommelingen in binnentemperaturen veroorzaakt door **intermitterende interne warmtebronnen** en het binnendringen van zonlicht door de vensteropeningen.

> Heeft betrekking op de **binnenwanden**

> Vermindering van de schommelingen in buitentemperaturen veroorzaakt door **> de thermische amplitudes van het klimaat** en door de effecten van de zonnestraling op de scheidingsconstructies van de gebouwschil

> Heeft betrekking op de **scheidingsconstructies van de gebouwschil**



### Inertie van een scheidingsconstructie [ $\text{kWh/m}^2\text{K}$ ]

- ▶ Het is het vermogen van de binnenzijde van de scheidingsconstructies om de onmiddellijke warmtetoevoer te absorberen, op te slaan en weer af te geven
- ▶ De inertie van een scheidingsconstructie wordt berekend als som van de inertie van de componenten

### Interne inertie van een ruimte [ $\text{kWh/K}$ ]

- ▶ De inertie van een scheidingsconstructie wordt berekend als som van de interne inertie van alle scheidingsconstructies van de ruimte.
- ▶ Deze kan eventueel in verband worden gebracht met de  $\text{m}^2$  aan woonoppervlakte.

⇒ Hoe kan de thermische inertie worden gekwantificeerd?



INLEIDING

**THEORETISCHE BEGRIPPEN**

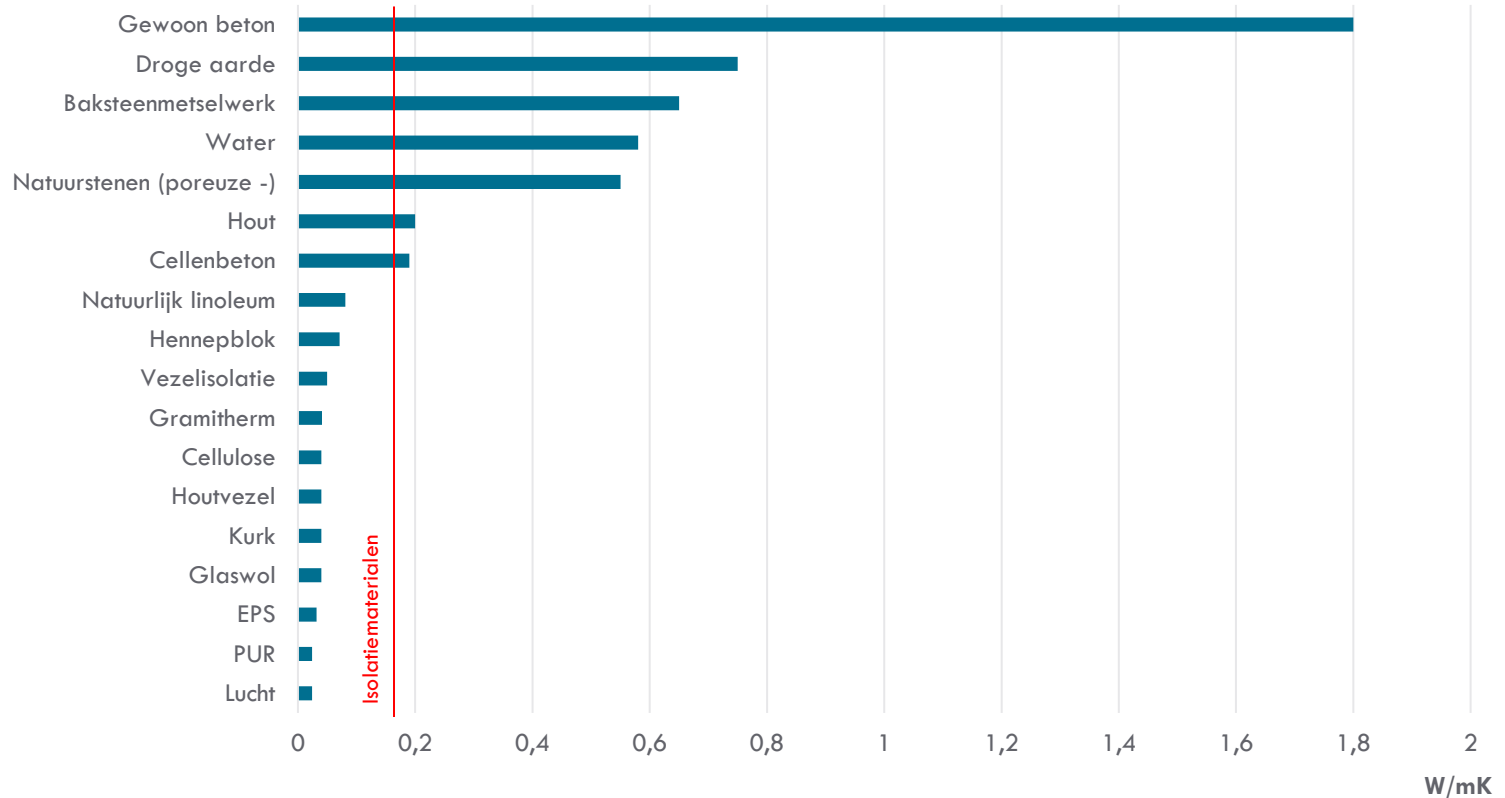
IN DE PRAKTIJK

FASEOVERGANGSMATERIALEN



## Warmtegeleidend vermogen – $\lambda$ [W/mK]

- Het vermogen van een materiaal **om warmte door te geven door geleiding**
  - Hoe hoger het warmtegeleidend vermogen, hoe beter het materiaal geleidt.
  - Hoe lager het warmtegeleidend vermogen, hoe beter het materiaal isoleert.



**Soortelijke warmte –  $\rho$  [J/kg.K]**

- Dit is de hoeveelheid warmte-energie vereist om de temperatuur van één kg van dit materiaal met één graad te verhogen.

**Volumieke massa (dichtheid) –  $C$  [kg/m<sup>3</sup>]**

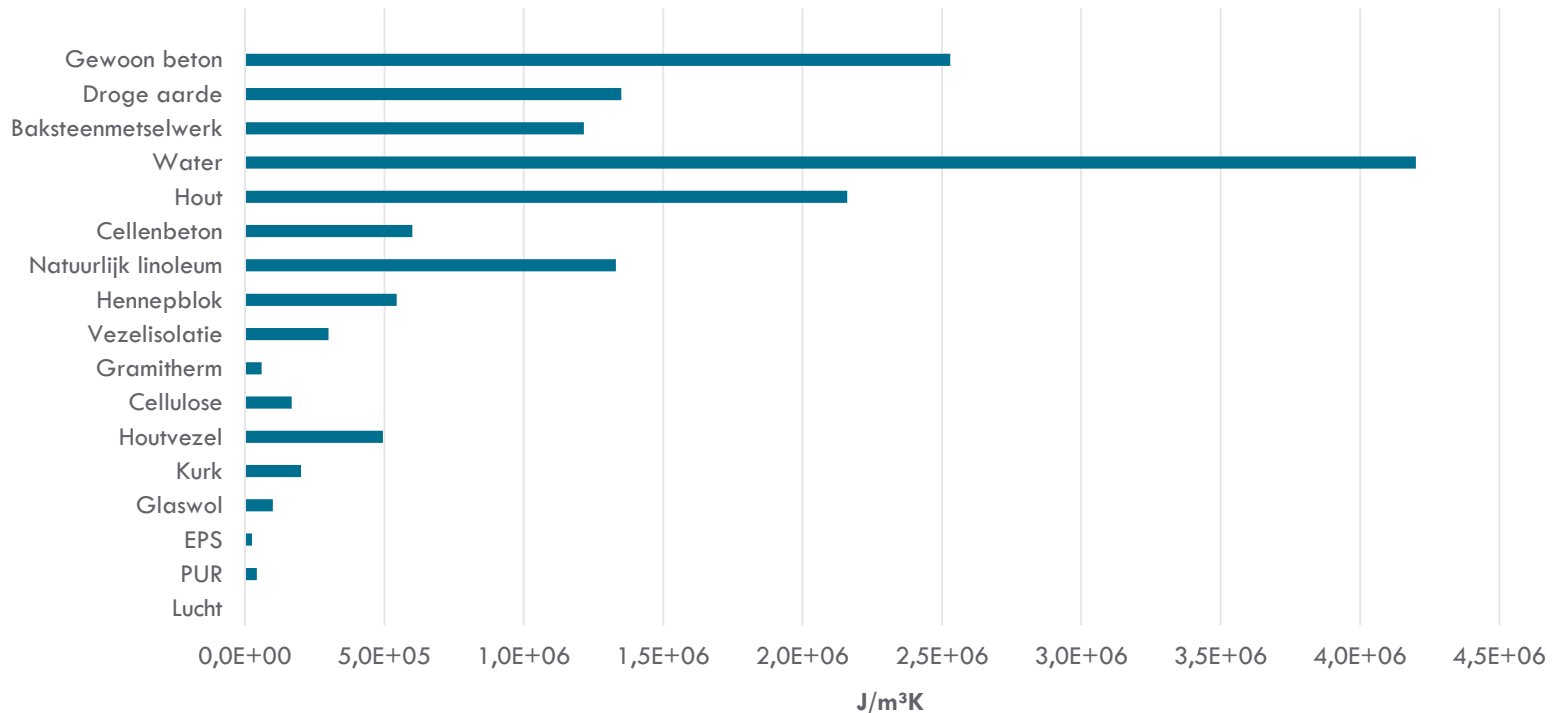
- Dit is de massa van een materiaal per volume-eenheid.



## Warmteopslagcapaciteit / volumieke warmte – $\rho C$ [J/m<sup>3</sup>K]

- ▶ Dit is de hoeveelheid warmte-energie vereist om de temperatuur van 1 m<sup>3</sup> van dit materiaal met 1°C te verhogen
  - Hoe hoger de warmteopslagcapaciteit, hoe meer warmte het materiaal op kan slaan

⇒ **Het vermogen van een materiaal om warmte op te slaan**



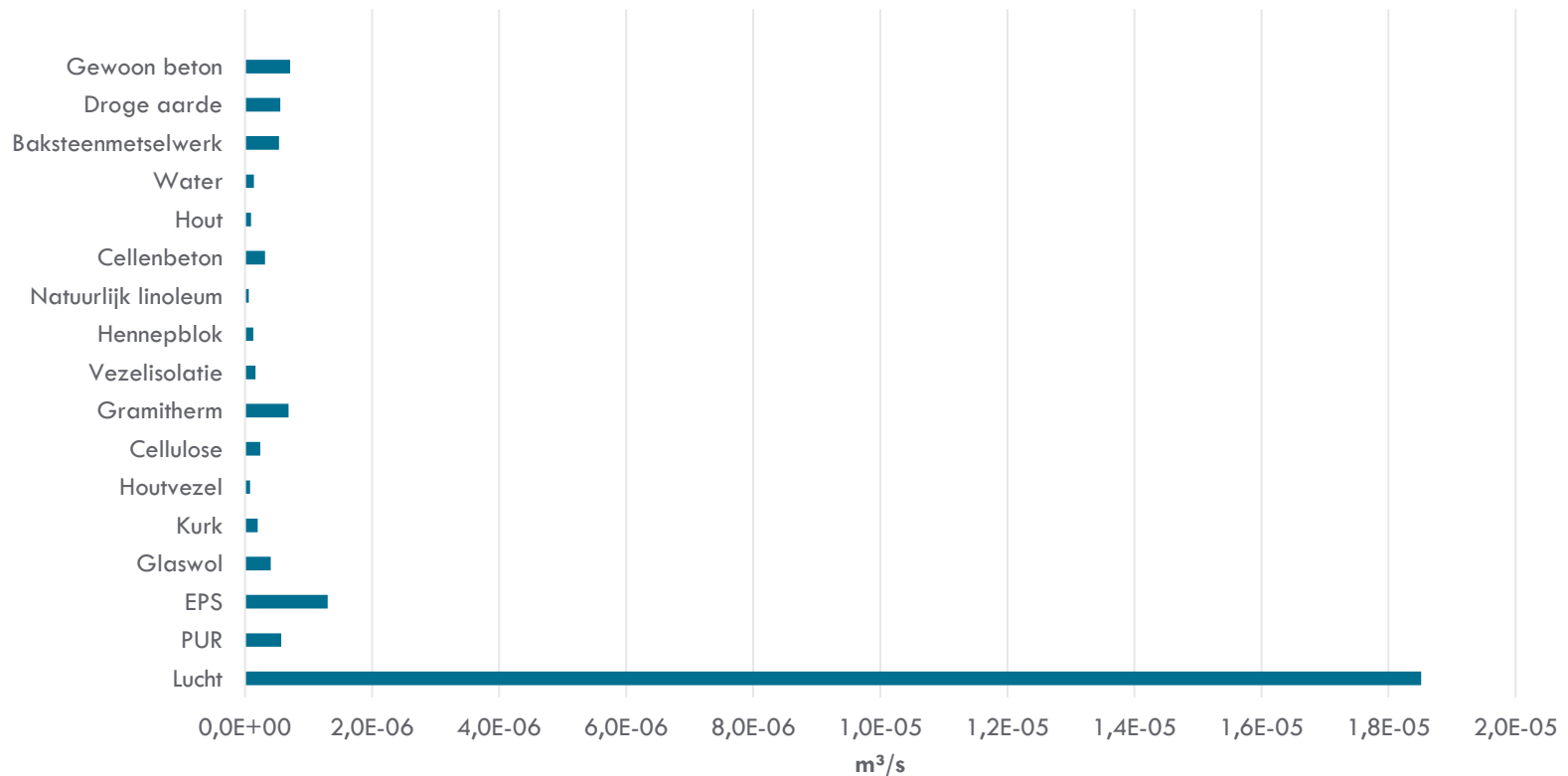
### Diffusiviteit – $K [m^2/s] = \lambda / \rho C$

- ▶ Het vermogen van een materiaal **om snel een temperatuurvariatie door te geven**
  - Hoe hoger de diffusiviteit,
    - hoe sneller het warmtefront door het materiaal gaat
- ⇒ Deze waarde drukt **de efficiëntie van warmteoverdracht door geleiding uit**
- ▶ De diffusiviteit is **omgekeerd evenredig** aan de faseverschuiving
- ▶ De **inertie van de transmissie** is voornamelijk gebaseerd op de thermische diffusiviteit van de scheidingsconstructies van de gebouwschil



## Diffusiviteit – $K [m^2/h] = \lambda / \rho C$

- Het vermogen van een materiaal om snel een temperatuurvariatie door te geven



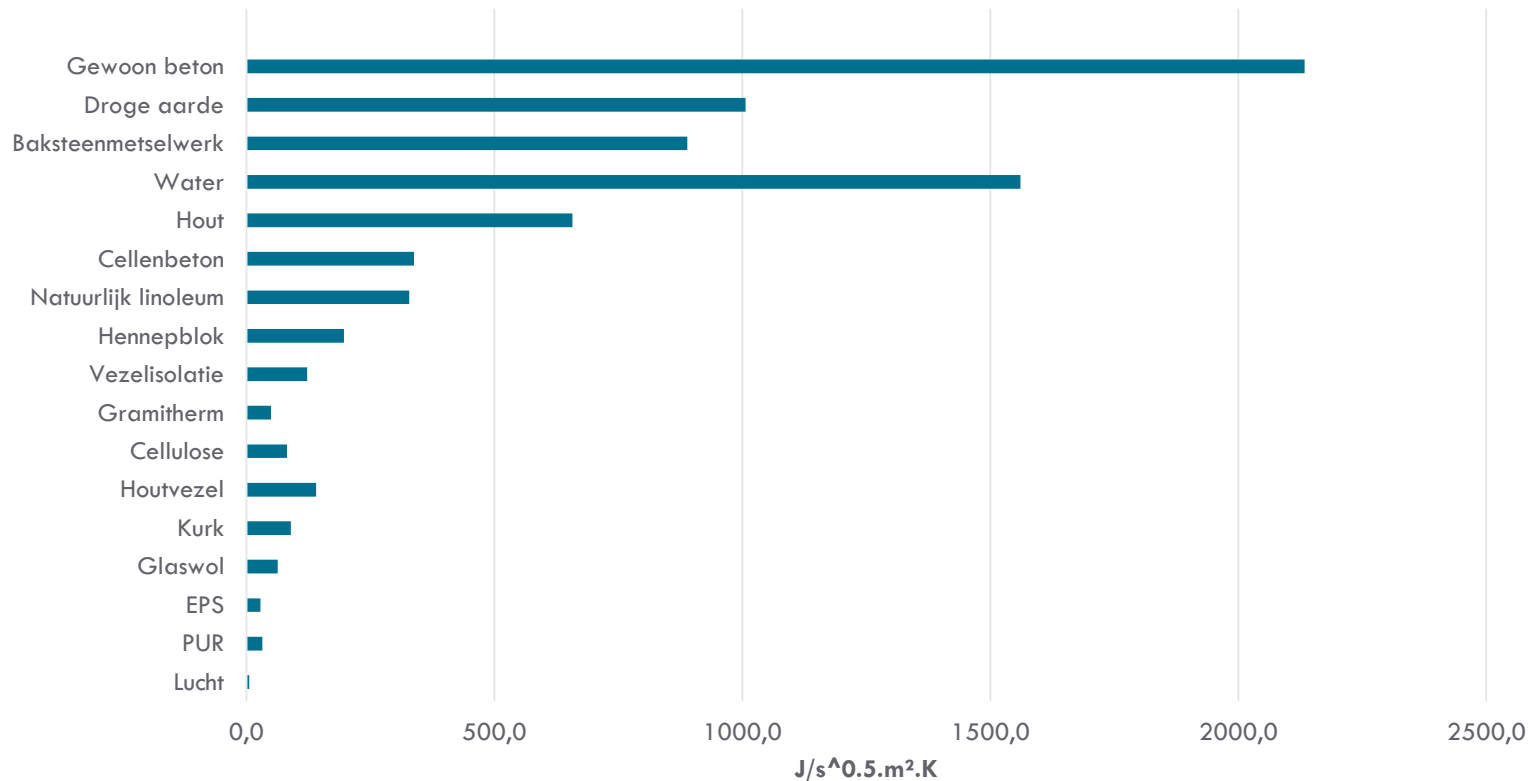
**Effusiviteit –  $E [J/s^{0,5}m^2K] = (\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$** 

- ▶ Het vermogen van een materiaal **om snel warmte-energie te absorberen**
  - Hoe hoger de effusiviteit, hoe meer het materiaal energie absorbeert, zonder noemenswaardig op te warmen
  - Hoe lager de effusiviteit, hoe sneller het materiaal opwarmt.
- ▶ De **inertie door absorptie** is voornamelijk gebaseerd op de thermische effusiviteit van de materialen waaruit de binnenwanden zijn opgebouwd
- ▶ Door makkelijk warmtestromen te absorberen, zal een effusief materiaal slechts beperkt opwarmen en zullen interne temperatuurschommelingen gedempt worden.



**Effusiviteit –  $E [J/s^{0,5}m^2K] = (\lambda \cdot \rho C)^{0,5}$**

- Het vermogen van een materiaal om snel warmte-energie te absorberen



### Karakteristieke tijd

- ▶ Dit is de tijd vereist voor een materiaal om na een verstoring in zijn omgeving naar een thermisch evenwicht terug te keren.
- ▶ De karakteristieke tijd is afhankelijk van de thermische diffusiviteit en het verschil tussen de twee evenwichtstemperaturen.
  - Als het materiaal een lage thermische diffusiviteit heeft, zal het slechts na lange tijd een thermisch evenwicht bereiken.
  - Als het materiaal een hoge thermische diffusiviteit heeft, zal het al na korte tijd een thermisch evenwicht bereiken.



**Warmteopslagcapaciteit van een ruimte of gebouw [J/K]**

- ▶ Dit is de warmteopslagcapaciteit van alle scheidingsconstructies die in contact staan met de binnenomgeving.

**Tijdsconstante van een ruimte –  $\tau$  [s]**

- ▶ Deze waarde drukt uit hoe snel de temperatuur in de ruimte verandert afhankelijk van externe impulsen.
  - Hoe hoger  $\tau$ , hoe stabielere de temperatuur van de ruimte.
- ▶ Deze waarde drukt de verhouding uit tussen de warmteopslagcapaciteit en de warmteverliezen (door transmissie en ventilatie).
- ▶ De tijdsconstante wordt in de EBP gebruikt als indicator voor de berekening van oververhitting
- ▶ De globale thermische inertie van een gebouw kan worden beoordeeld op basis van de totale "nuttige" warmteopslagcapaciteit van het gebouw, d.w.z. de capaciteit van alle scheidingsconstructies die in contact staan met de binnenomgeving.



## Focus op beton

- ▶ Beton vertoont
  - een **lage diffusiviteit**: de snelheid van de warmteoverdracht doorheen beton is laag, de thermische golf beweegt zich dus traag voort alvorens de binnenomgeving te bereiken
    - ⇒ **De inertie van de transmissie is hoog**
  - een **hoge effusiviteit**: beton absorbeert energie zonder noemenswaardig op te warmen...
    - ⇒ **De inertie door absorptie is hoog**
      - > De overdag opgeslagen hoeveelheid warmte wordt 's nachts of 's avonds weer afgegeven
      - > De dankzij een effectieve ventilatie 's nachts opgeslagen hoeveelheid koelte, wordt op het hoogtepunt van de dag weer afgegeven



## Focus op hout

- ▶ Hout vertoont als bijzonder kenmerk zowel
  - een **lage diffusiviteit**: de snelheid van de warmteoverdracht doorheen hout is laag, de thermische golf beweegt zich dus traag voort alvorens de binnenomgeving te bereiken
    - ⇒ **De inertie van de transmissie is hoog**
  - een **lage effusiviteit**: hout warmt snel op...
    - ⇒ **De inertie door absorptie is laag**



## Isoleren voor de winter of de zomer?

- ▶ In de winter,
  - Warmtegeleidend vermogen
    - >> materialen met een laag warmtegeleidend vermogen
  
- ▶ In de zomer
  - Warmtegeleidend vermogen
  - Vermindering van de amplitude
    - >> materialen met een hoge warmteopslagcapaciteit
  
  - Faseverschuiving van de thermische golf
    - >> materialen met een lage thermische diffusiviteit



## Impact van de plaats van de isolatie

- ▶ Met betrekking tot de inertie van de transmissie is er weinig verschil tussen beide oplossingen
- ▶ Met betrekking de inertie door absorptie is het verschil tussen beide oplossingen groter
  - Inertie door absorptie vereist toegankelijke effusieve materialen (= die zowel een hoge warmtegeleidend vermogen als een hoge warmteopslagcapaciteit vertonen)

*Beton, baksteen, ongebakken aarde...*

- De oplossing om de effusiviteit langs de binnenzijde te plaatsen, en bijgevolg **te isoleren langs de buitenzijde, geniet de voorkeur.**



### Waar moet inertie voorzien worden?

- ▶ Inertie is niet in alle ruimten vereist ...
- ▶ In de ruimten waar inertie vereist is, dienen er op correcte wijze inerte massa's geplaatst en uitgevoerd te worden.
  - ⇒ Elke scheidingsconstructie heeft een andere rol met betrekking tot inertie!
- Zuidgevel >> opvang van zon + faseverschuiving
- Dak + westgevel >> zonnewering + faseverschuiving
- Binnenvloer >> opslag
- Binnenwanden door luchtverplaatsingen >> opslag
- Binnenwanden kunnen als afgiftesysteem fungeren >> afgifte, met of zonder opslag
- Ruimte tussen bewoond volume en de aarde >> opslag + faseverschuiving
- ⇒ Niet alle scheidingsconstructies moeten inert zijn
- ⇒ Inertie is niet de enige rol van een scheidingsconstructie ... (akoestiek, stabiliteit, brandweerstand, verwarming, flexibiliteit, ...)



## THEORETISCHE BEGRIPPEN

- ▶ Warmtegeleidend vermogen
- ▶ Warmteopslagcapaciteit
- ▶ Diffusiviteit
- ▶ Effusiviteit
- ▶ Thermische inertie

## IN DE PRAKTIJK

- ▶ **Vergelijking van verschillende soorten scheidingsconstructies**
- ▶ Casestudy

## FASEOVERGANGSMATERIALEN



Voor eenzelfde warmtegeleidend vermogen, vergelijken we de volgende parameters

...

► Faseverschuiving [h]

- geeft de tijd weer die verstreken is tussen de warmtepieken binnen en buiten

*Een waarde van 12 uur betekent hier dat de maximale binnentemperatuur bereikt wordt 12 uur na de maximale oppervlaktetemperatuur buiten.*

► Damping (= tempering van de warmtestroom)

- geeft de verhouding weer van de warmtegolf die van buiten naar binnen wordt overgedragen

*Een waarde van 10 betekent dat de oppervlakte aan de buitenzijde 10 keer meer in temperatuur varieert dan de oppervlakte aan de binnenzijde.*

*Voorbeeld: Voor een dempingswaarde 10, en*

*een  $T_{\text{buiten}}$  die varieert van 15 tot 35 °C (variatie van 20 °C)*

*zal de  $T_{\text{binnen}}$  een variatie van 2 °C hebben*

► Opslagcapaciteit [kJ/m³K]

⇒ Deze indicatoren worden uitsluitend gebruikt voor de vergelijking van verschillende componenten en zeggen niets over de werkelijk verwachte binnentemperatuur

*Simulaties uitgevoerd met behulp van de tool ubaktus*

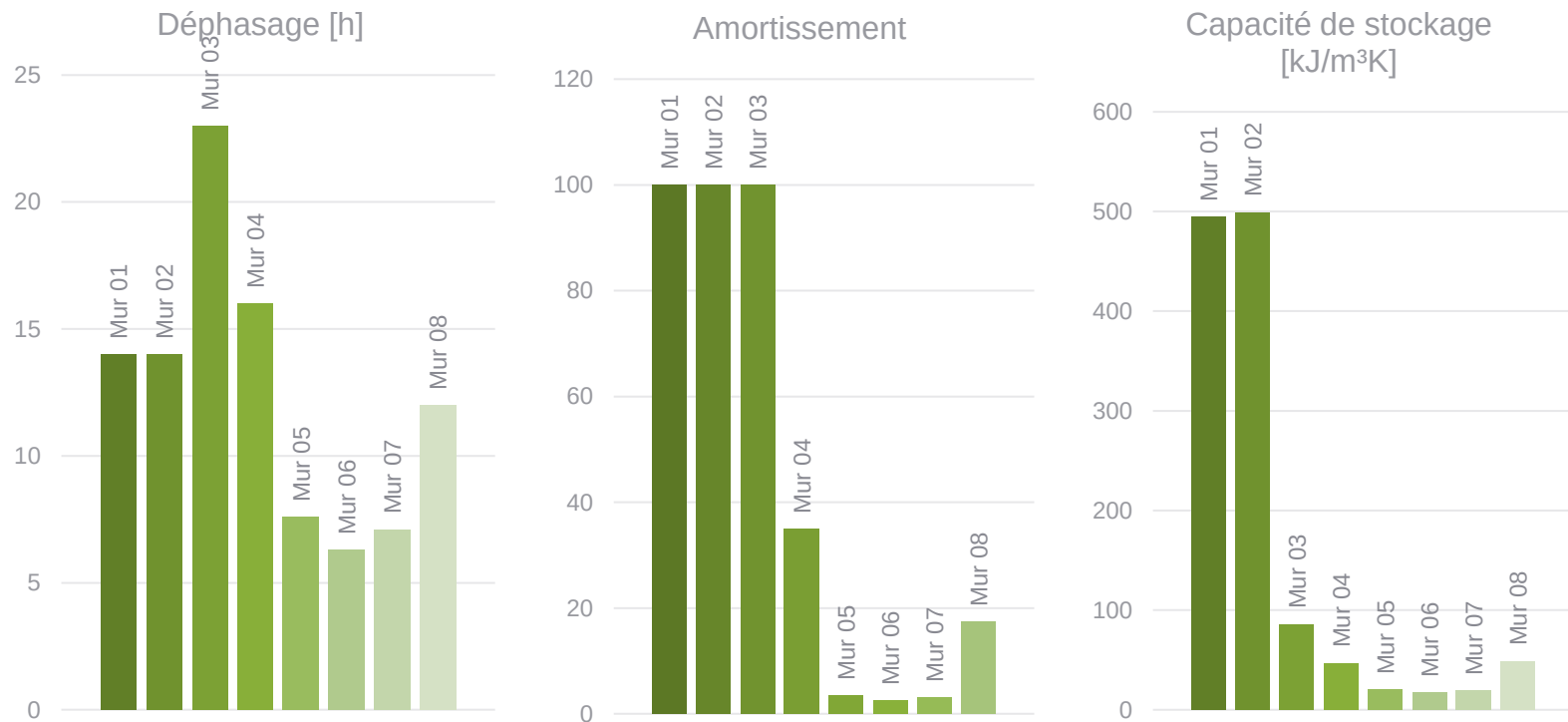


## Muren – Warmtegeleidend vermogen $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

|               |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metselwerk    | Isolatie langs de buitenzijde | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muur 01: bepleistering + metselwerk + EPS + beraping</li> <li>• Muur 02: bepleistering + metselwerk + houtvezel + kalkpleister</li> </ul>                                                                                                                                   |
|               | Isolatie langs de binnenzijde | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muur 03: leempleister + kalk-hennepblok + metselwerk</li> <li>• Muur 04: gipsplaat + PUR + metselwerk</li> </ul>                                                                                                                                                            |
| Houtstructuur |                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muur 05: gipsvezelplaat + houten geraamte / cellulose</li> <li>• Muur 06: gipsvezelplaat + houten geraamte / droge grassen</li> <li>• Muur 07: gipsvezelplaat + houten geraamte / houtvezel</li> <li>• Muur 08: leempleister + houten palen-balkensysteem / stro</li> </ul> |



## Muren – Warmtegeleidend vermogen $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$



**Daken – Warmtegeleidend vermogen  $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$** 

## Hellend dak

Sarking-  
isolatie

- Dak 01: houtstructuur + PUR
- Dak 02: houtstructuur + houtvezel

Isolatie tussen  
kepers

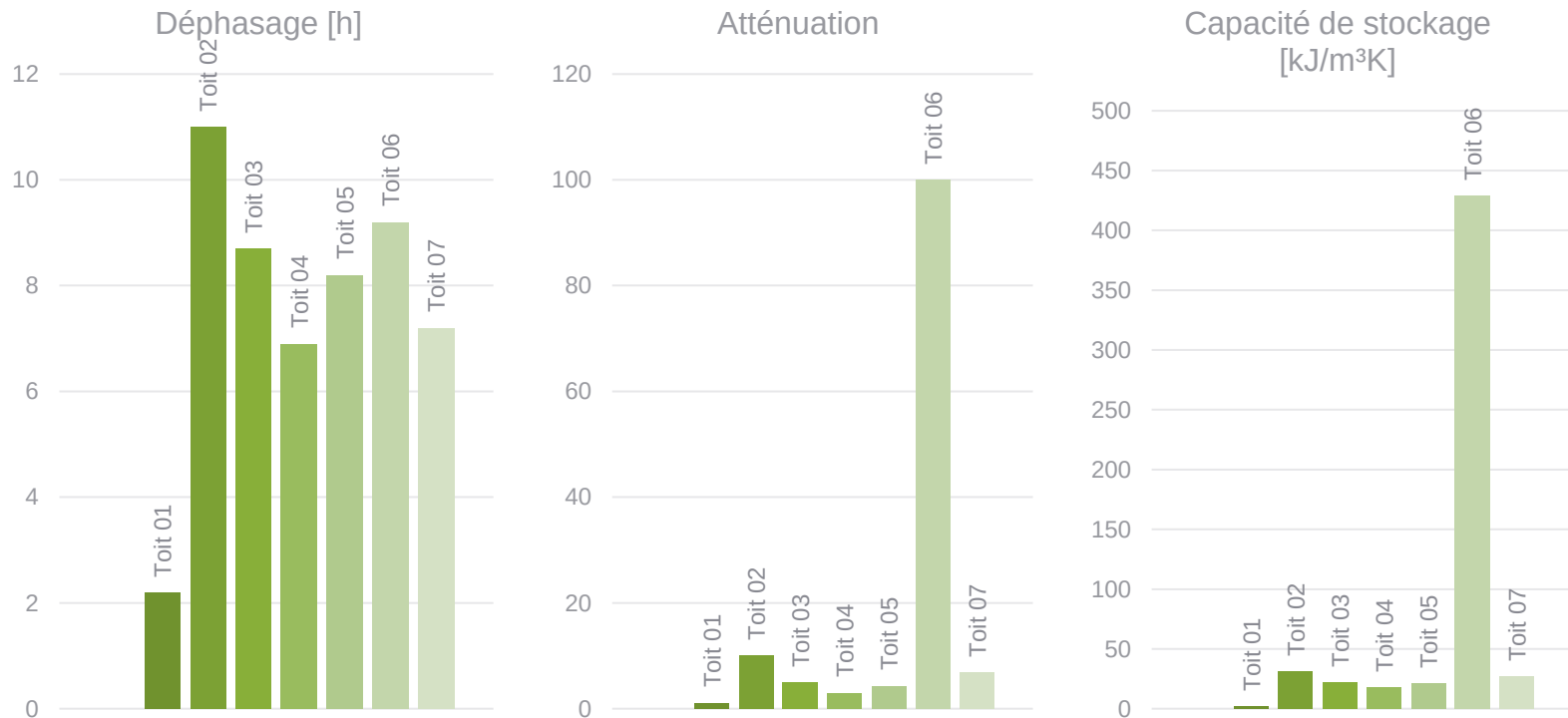
- Dak 03: houtstructuur + houtvezel
- Dak 04: houtstructuur + droge grassen
- Dak 05: houtstructuur + cellulose

## Plat dak

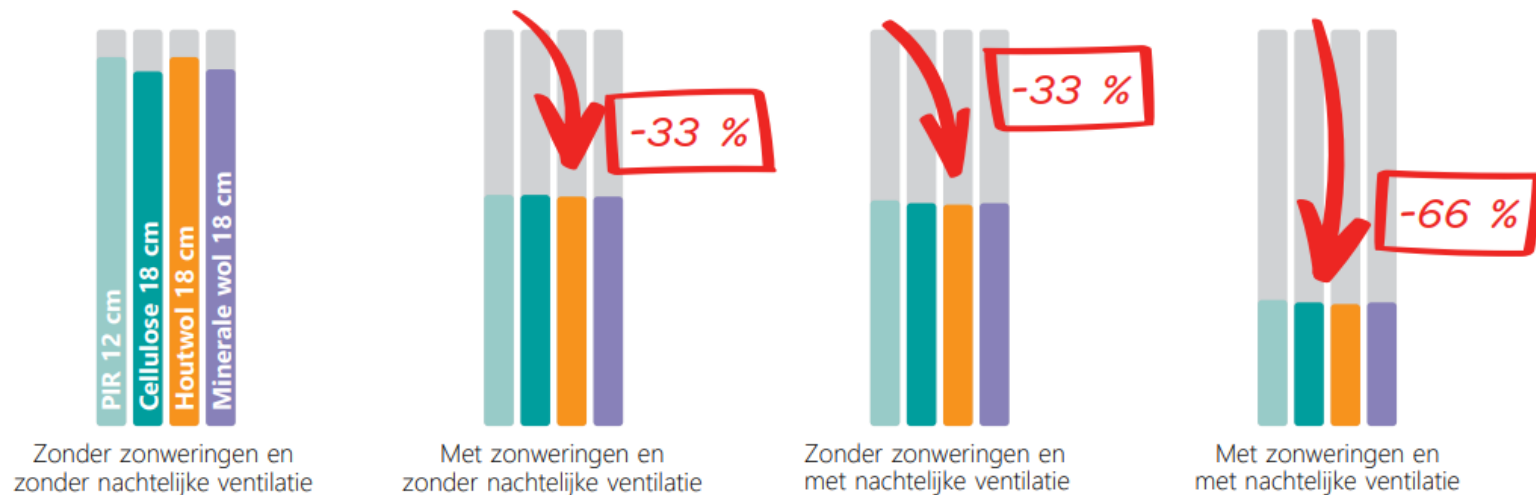
- Dak 06: EPDM + PUR + betonstructuur
- Dak 07: EPDM + houtvezel + houtstructuur + houtvezel



**Daken** – Warmtegeleidend vermogen  $U = \sim 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$



- Uittreksel uit de resultaten van een studie van Buildwise over de impact van de aard van de isolatie van hellende daken.



- 2 | Vergelijking van de impact van de installatie van zonweringen of van nachtelijke ventilatie op de oververhittingsindicatoren vanaf een temperatuur van 25 °C.

Bron: WTCB Contact 2021/2

⇒ De aard van de isolatie heeft een kleine impact op de oververhitting



## THEORETISCHE BEGRIPPEN

- ▶ Warmtegeleidend vermogen
- ▶ Warmteopslagcapaciteit
- ▶ Diffusiviteit
- ▶ Effusiviteit
- ▶ Thermische inertie

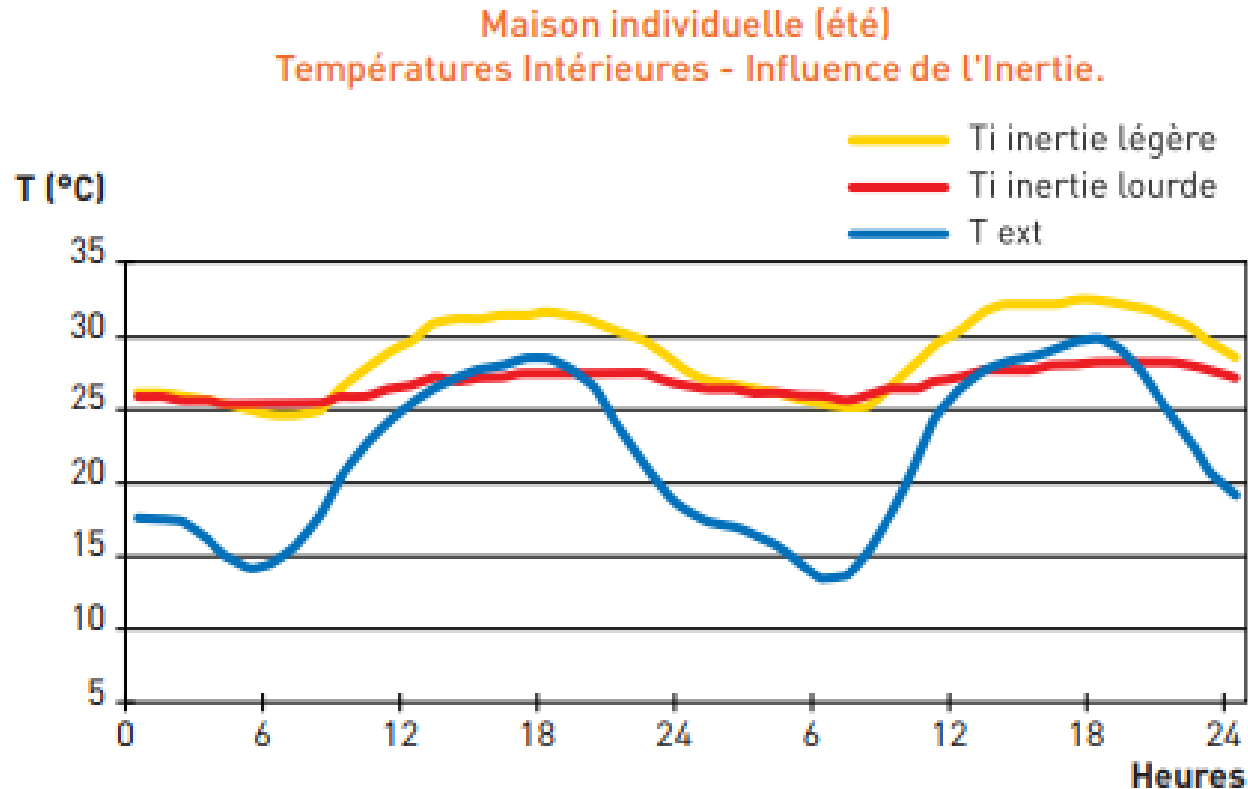
## IN DE PRAKTIJK

- ▶ Vergelijking van verschillende soorten scheidingsconstructies
- ▶ **Casestudy**

## FASEOVERGANGSMATERIALEN



## Impact van de inertie op het thermisch zomercomfort in een woongebouw

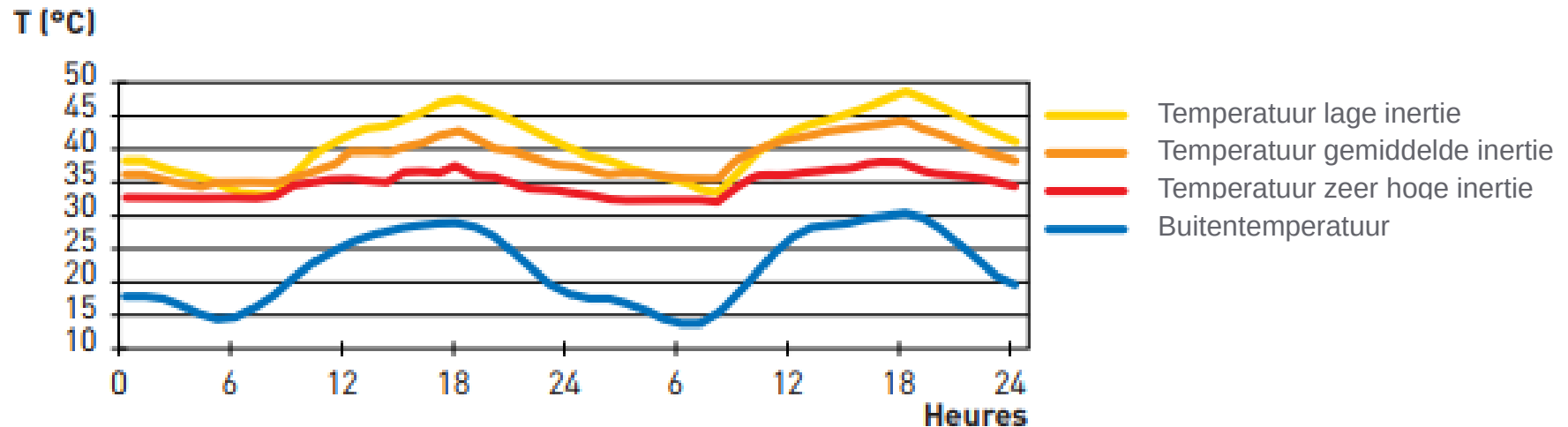


Bron: Tribu



## Impact van de inertie op het thermisch zomercomfort in een kantoorgebouw

BUREAUX été  $T = f(\text{inertie})$



Bron: Tribu



### Verzekeren van het zomercomfort

- ▶ Voor alle gebouwen geldt dat een hoge inertie in de zomer bijna altijd gunstig is.
- ▶ In het geval van opeenvolgende zeer warme dagen (hittegolf) wordt de structuur echter geladen met warmte en duurt het langer om de opgeslagen oververhitting weer te “ontladen”.
- ▶ Inertie alleen is niet voldoende om het comfort te verzekeren, en dit moet worden verbonden aan
  - een strategie voor het beheersen van zonnewinsten en interne winsten
  - een strategie voor nachtelijke ventilatie



INLEIDING

THEORETISCHE BEGRIPPEN

IN DE PRAKTIJK

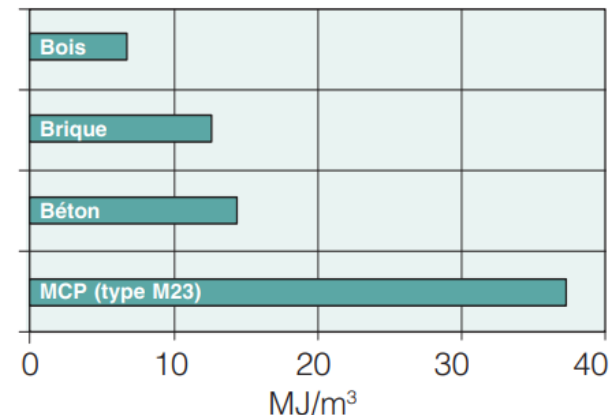
**FASEOVERGANGSMATERIALEN**



## Werkingsprincipe

- ▶ Alle materialen veranderen van fase en gaan van de ene toestand over naar de andere overeenkomstig de temperatuur- en drukvoorwaarden
- ▶ De faseovergang gaat gepaard met warmte-uitwisseling met de omgeving
- ▶ Bepaalde materialen gaan over van een vaste naar een vloeibare toestand en omgekeerd bij omgevingstemperaturen (20 tot 26°C). Dit is het geval met paraffine.

⇒ Door in afwerkingsmaterialen paraffine te integreren, wordt een deel van de warmte in de ruimte opgeslagen en weer afgegeven wanneer de temperatuur daalt.



**Fig. 1** Capacité de stockage de l'énergie (pour un échauffement du matériau de 20 à 26 °C).

Bron: Buildwise



## Integratie van faseovergangsmaterialen (PCM)

- ▶ In pleister op basis van een mineraal of organisch bindmiddel
- ▶ In membranen
- ▶ ...



Bron: BioPCM



## RETERMAT-project

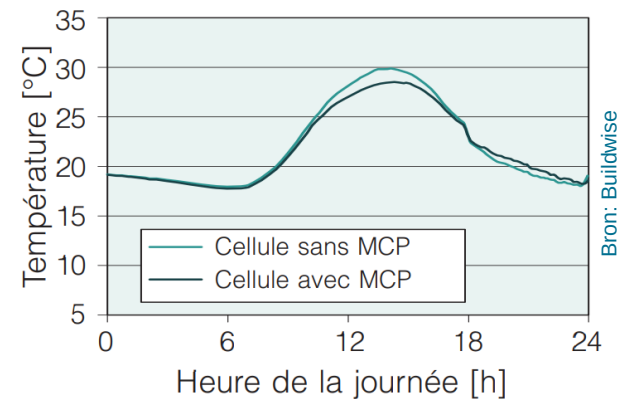
- Studie uitgevoerd door Buildwise in samenwerking met CRM, CENTEXBEL, CERTECH

Twee perfect identieke cellen



Traditionele  
pleister

PCM-  
pleister



**Fig. 2 Evolution de la température dans les cellules jumelées au cours d'une journée d'été ensoleillée.**

### ► Resultaten

- Fysische kenmerken van de PCM-pleister vergelijkbaar met een pleister op basis van gips
- Verschil in de orde van 3 °C tussen de scheidingsconstructies van de twee cellen
- Verschil in de orde van 1 tot 1,5 °C voor de omgevingstemperatuur
- De PCM moeten zich kunnen “ontladen” >> intensieve ventilatie vereist



## Ongebakken aarde

- ▶ Het in de aarde gecondenseerde water verhoogt de warmteopslagcapaciteit van ongebakken aarde.
  - 3 % luchtvochtigheid draagt voor 10 % bij tot de warmteopslagcapaciteit
- ▶ Het water geeft de ongebakken aarde ook een **latente inertie**
  - Water verandert van toestand overeenkomstig de thermische en hygrometrische schommelingen in de omgeving.

*In de zomer zorgen de weersomstandigheden buiten ervoor dat een deel van het water in de aarde verdampt, bij deze verdamping wordt energie verbruikt, waardoor de temperatuur plaatselijk daalt.*





- ▶ De inertie zorgt voor een demping van de amplitude van de thermische golf en een verschuiving van de warmteafgifte in de tijd
- ▶ Om **het zomercomfort te verzekeren**, dient de voorkeur te worden gegeven aan materialen ...
  - met een lage diffusiviteit (inertie bij transmissie)
  - met een hoge effusiviteit (inertie door absorptie)
- ▶ De bouwwijzen hebben een impact op de inertie van een gebouw,
- ▶ De aard van het isolatiemateriaal heeft een relatief beperkte impact op de inertie van de scheidingsconstructies
- ▶ Inertie alleen is niet voldoende om het comfort te verzekeren, en dit moet worden verbonden aan
  - een strategie voor het beheersen van zonnewinsten en interne winsten
  - een strategie voor nachtelijke ventilatie





## Gids Duurzame Gebouwen

[www.gidsduurzamegebouwen.brussels](http://www.gidsduurzamegebouwen.brussels)

- ▶ Energetische gebouwschil  
Dossier I Een hoge thermische inertie verzekeren  
Dossier I Inertie van binnenwanden



## Websites

- ▶ Opleiding Duurzame Gebouwen  
<https://leefmilieu.brussels/themas/gebouwen/goede-praktijken-om-te-bouwen-en-te-renoveren/om-u-te-helpen/opleidingen-duurzaam-104>
- ▶ Energie+: <https://energieplus-lesite.be/#>



## Naslagwerken

- ▶ [Jean Louis IZARD, \(2006\), L'inertie thermique dans le bâtiment, ENVIROBAT-Méditerranée, ENSA-Marseille](#)
- ▶ CIM béton, Béton et confort thermique, Collection technique Cimbéton, Paris



## Opleidingen en seminars

- ▶ Schrijf u in voor de door Leefmilieu Brussel georganiseerde opleidingen  
<https://leefmilieu.brussels/opleidingenduurzamegebouwen>

Raadpleeg [gratis](#) alle documentatie!



**Julie RENAUX**

Projectingenieur

écorce sa

 + 32 4 226 91 60 [info@ecorce.be](mailto:info@ecorce.be)

**BEDANKT VOOR UW AANDACHT!**

