



BASISCURSUS GEVELTECHNIEK 2023

Module Bouwfysica

Vochttransport

Prof. Nathan Van Den Bossche

VOCHTTRANSPORT

Prof. Nathan Van Den Bossche

INLEIDING

TRANSPORT VAN WATERDAMP

VOCHTIGE LUCHT

DAMPDIFFUSIE

CONVECTIEF DAMPTRANSPORT

VOCHTBEHEERSING VAN GEBOUWEN

INLEIDING VOCHT: SYMBOLEN (SI-CEN)

– Massa

- m massa (kg)
- G massastroom, debiet (kg/s)
- g massastroomdichtheid (kg/s/m²)

– Vochtgehalte

- p dampdruk (Pa)
- ρ dampconcentratie, -gehalte (kg/m³)
- x dampverhouding (kg/kg)
- φ relatieve vochtigheid (- of %)
- w vochtgehalte poreus materiaal (kg/m³)
- u idem (kg/kg)

Suffixen:

v: waterdamp

a: luchtmengsel

d: droge lucht

VOCHT IN BOUWCONSTRUCTIES: OORZAKEN

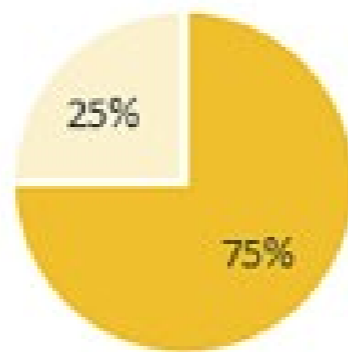
- Contact met water
 - Regen
 - Grondwater
 - Bouwvocht
 - (Leidinglekken)

Vochtbeheersing =
Bouwtechnisch,
constructief ontwerp

- Contact met vochtige lucht:
 - Hygroscopisch vocht
 - Oppervlaktecondensatie
 - Inwendige condensatie

Vochtbeheersing = Bouwfysisch

SCHADEGEVALLEN

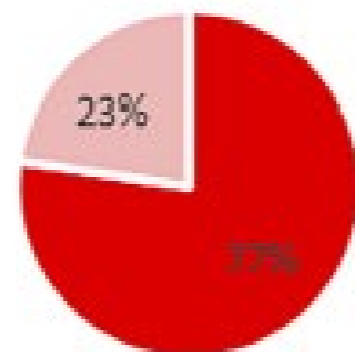


- Energy efficiency problems in general
- Insulation problems

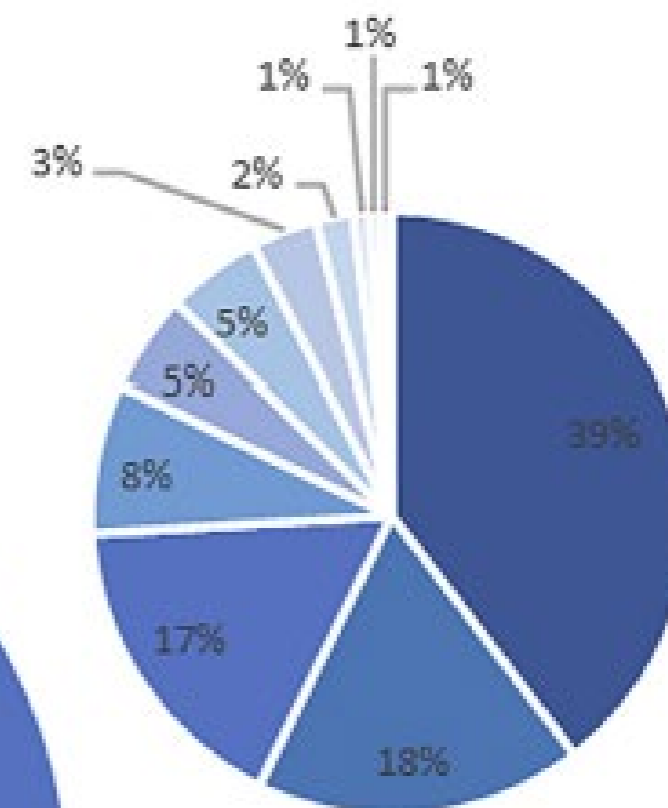
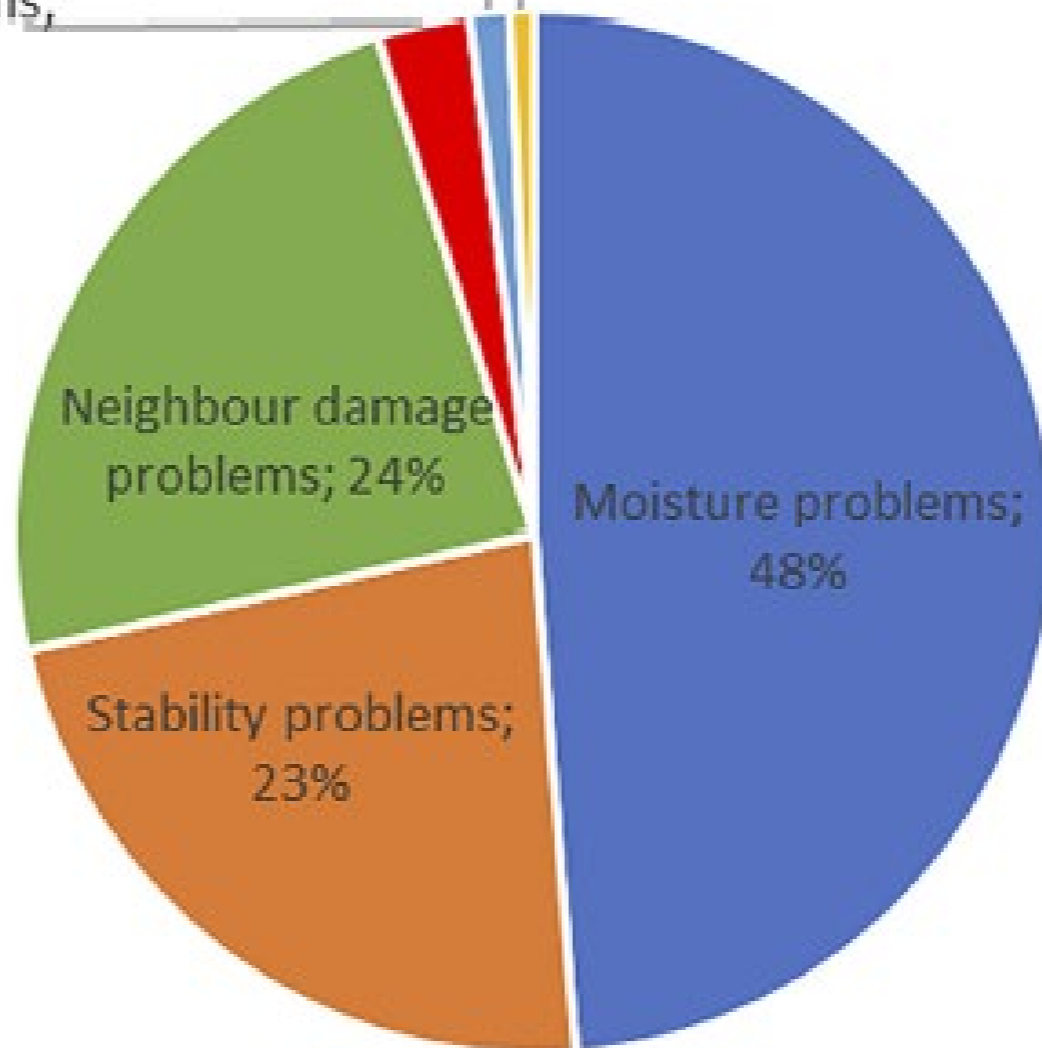
Energy efficiency problems; 1%

Acoustics problems; 1%

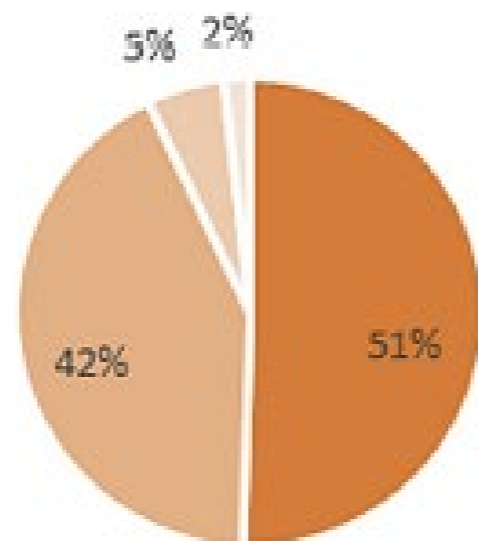
HVAC problems; 3%



- HVAC problems in general
- Smoke extraction problems



- Moisture problems in general
- Water infiltration-Roof
- Water infiltration-Basement
- Water infiltration-Other
- Water infiltration-Window
- Water infiltration-Facade
- Capilarity problems
- Condensation
- Water infiltration-Sill
- Water infiltration-Chimney
- Water infiltration-Sit pit



- Stability problems in general
- Tears and cracks
- Foundation problems
- Collapse



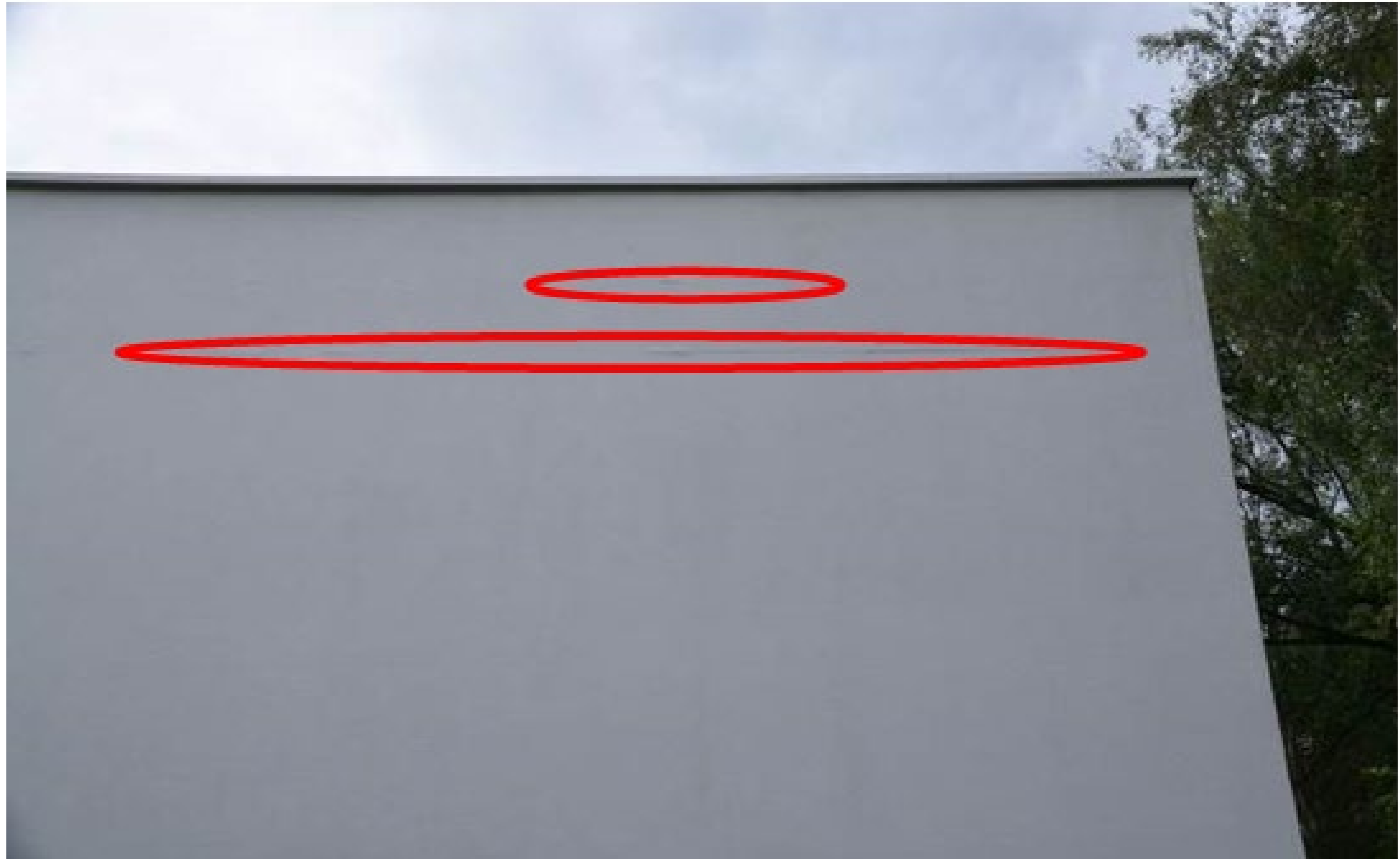




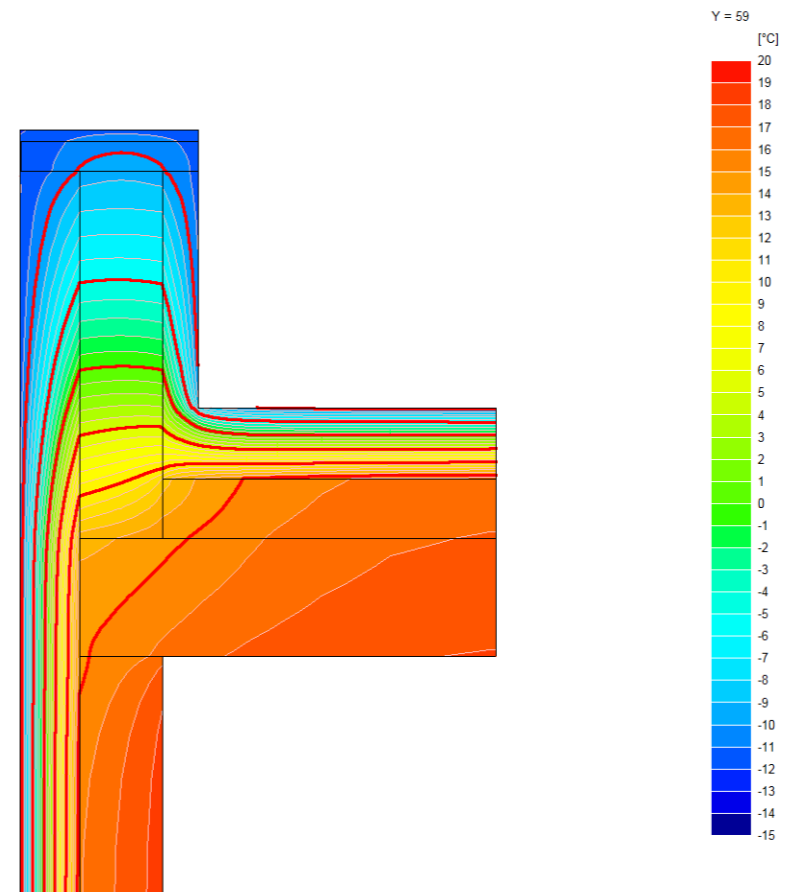
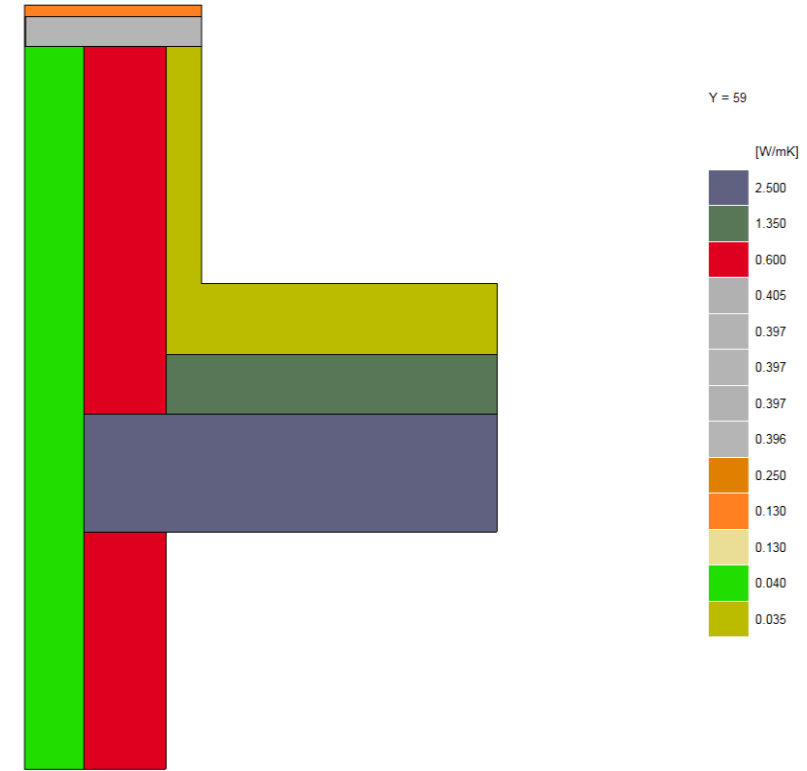
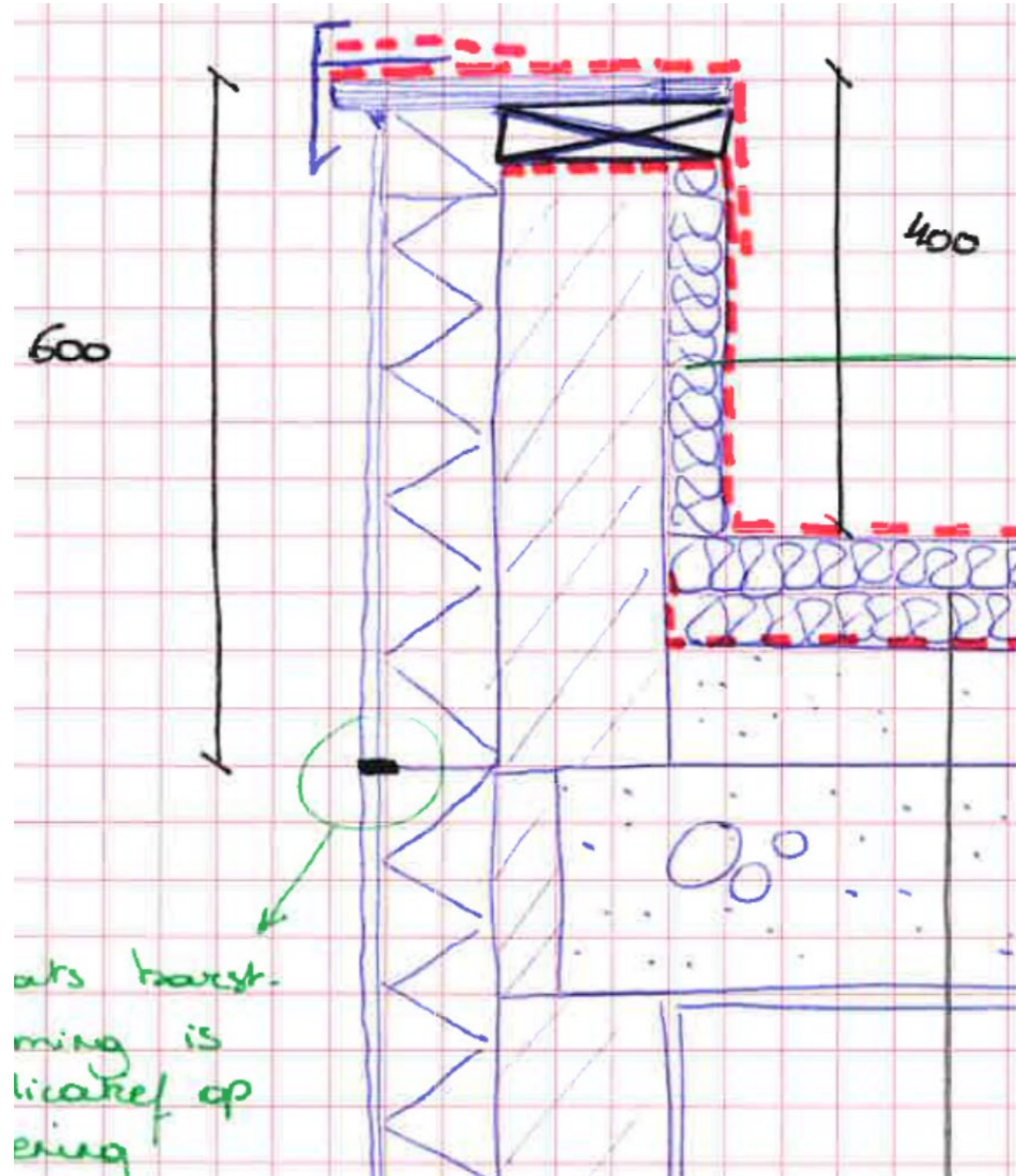




CASE



CASE



CASE

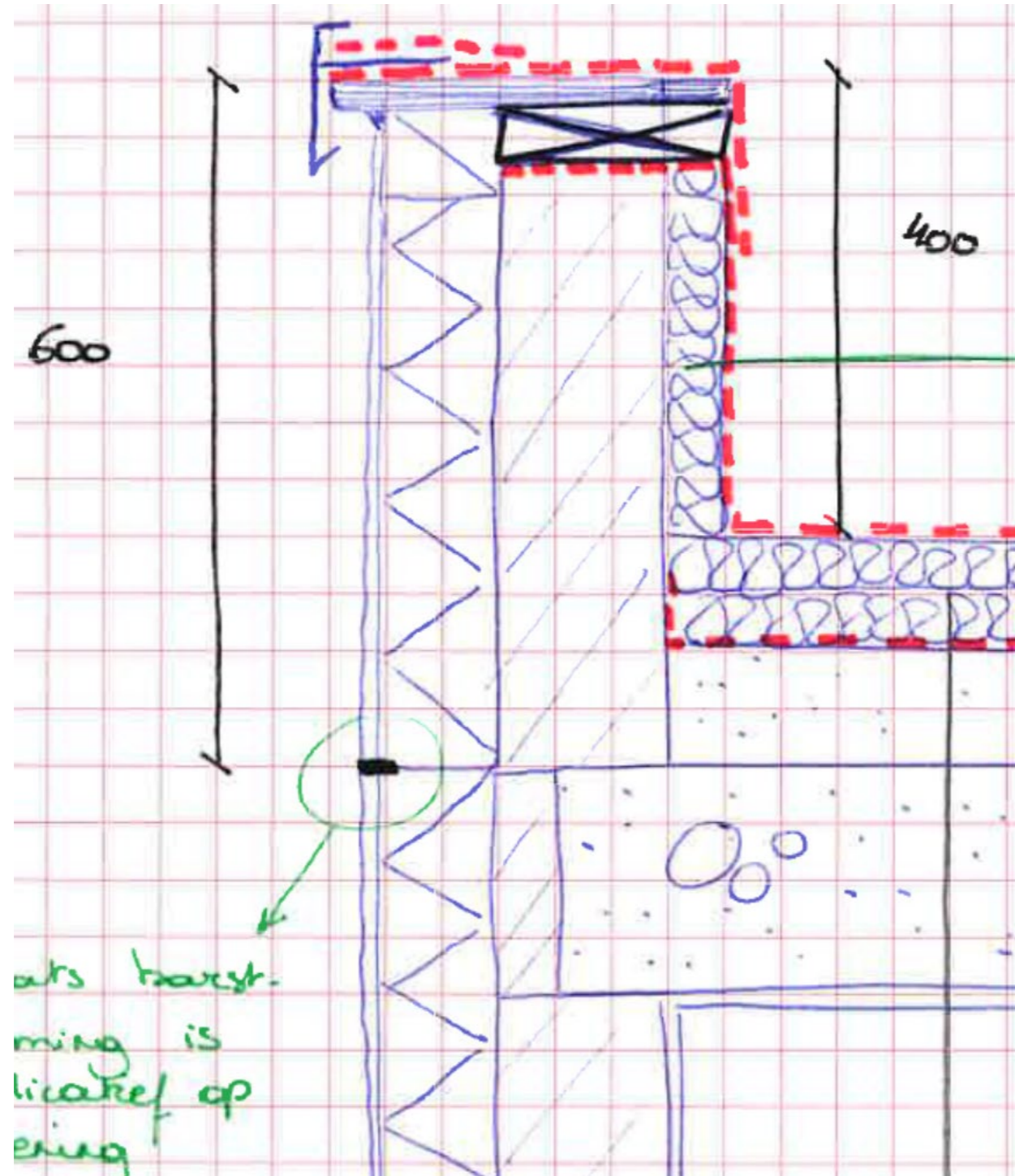


Foto 1: Boring 1 dakvlak- onmiddellijk na boring



Foto 2: Boring 1 dakvlak- na 10min 5cm water in boring. Minerale wol is verzadigd



Foto 3: Boring 1 dakrand - houten dakplaat en isolatie zijn droog



Foto 4: Boring 2 - waterdruppels tussen isolatie en dakdichting

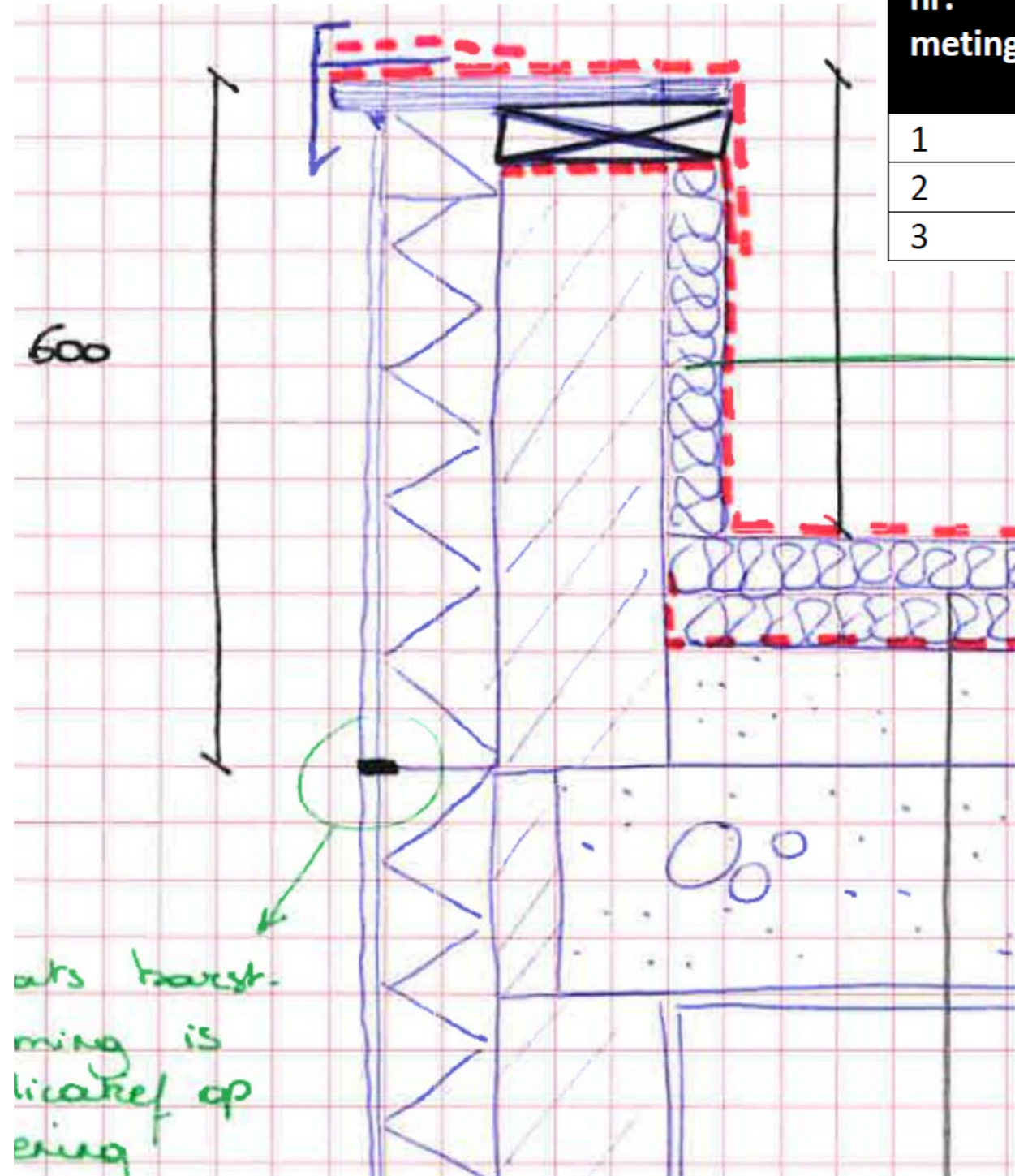


Foto 5: Boring 2 - bovenste 2cm minerale wol is meer dens



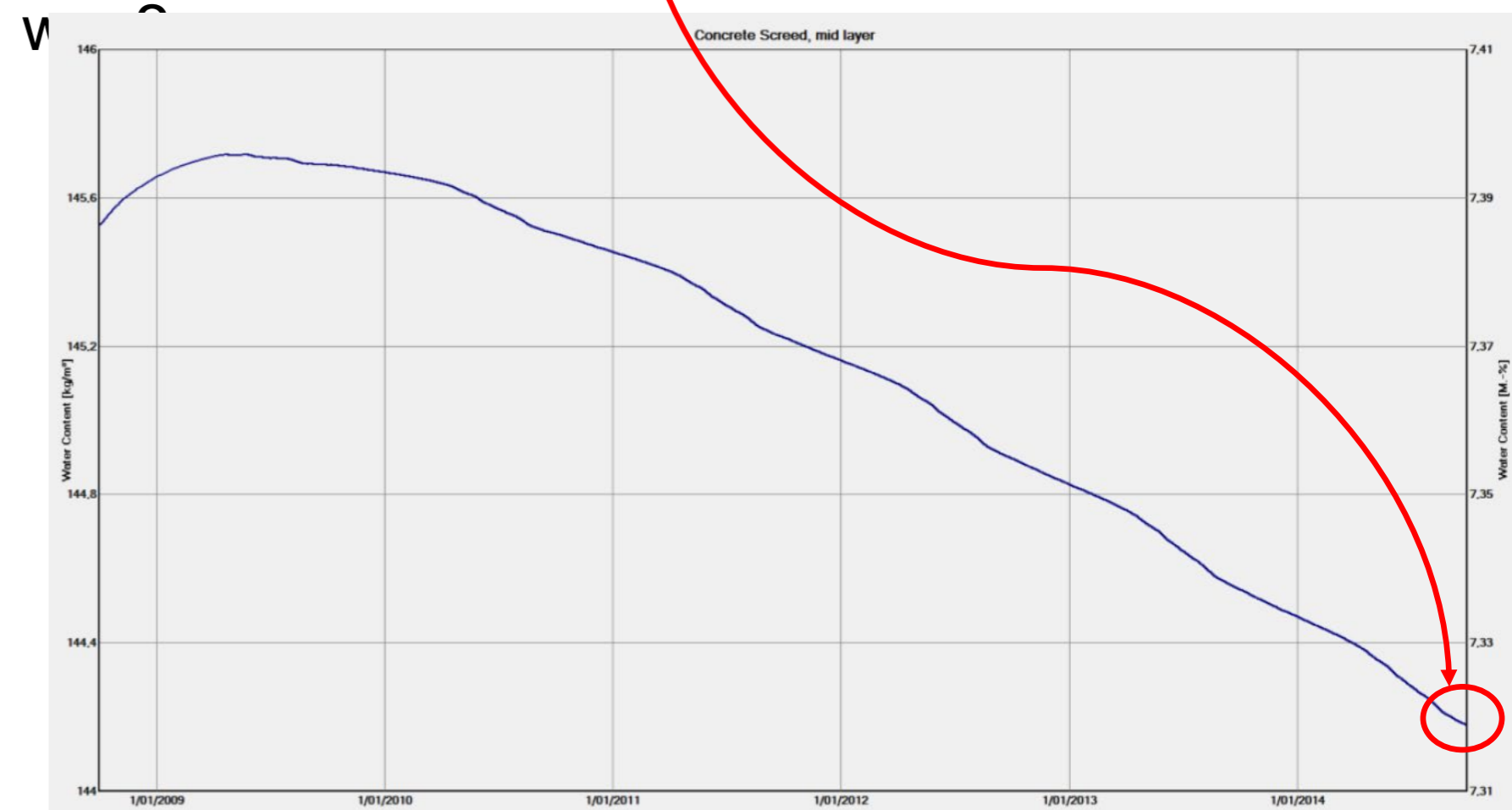
Foto 6: Vergroten boring 1 - aflopend water afkomstig tussen isolatie en dakdichting

CASE

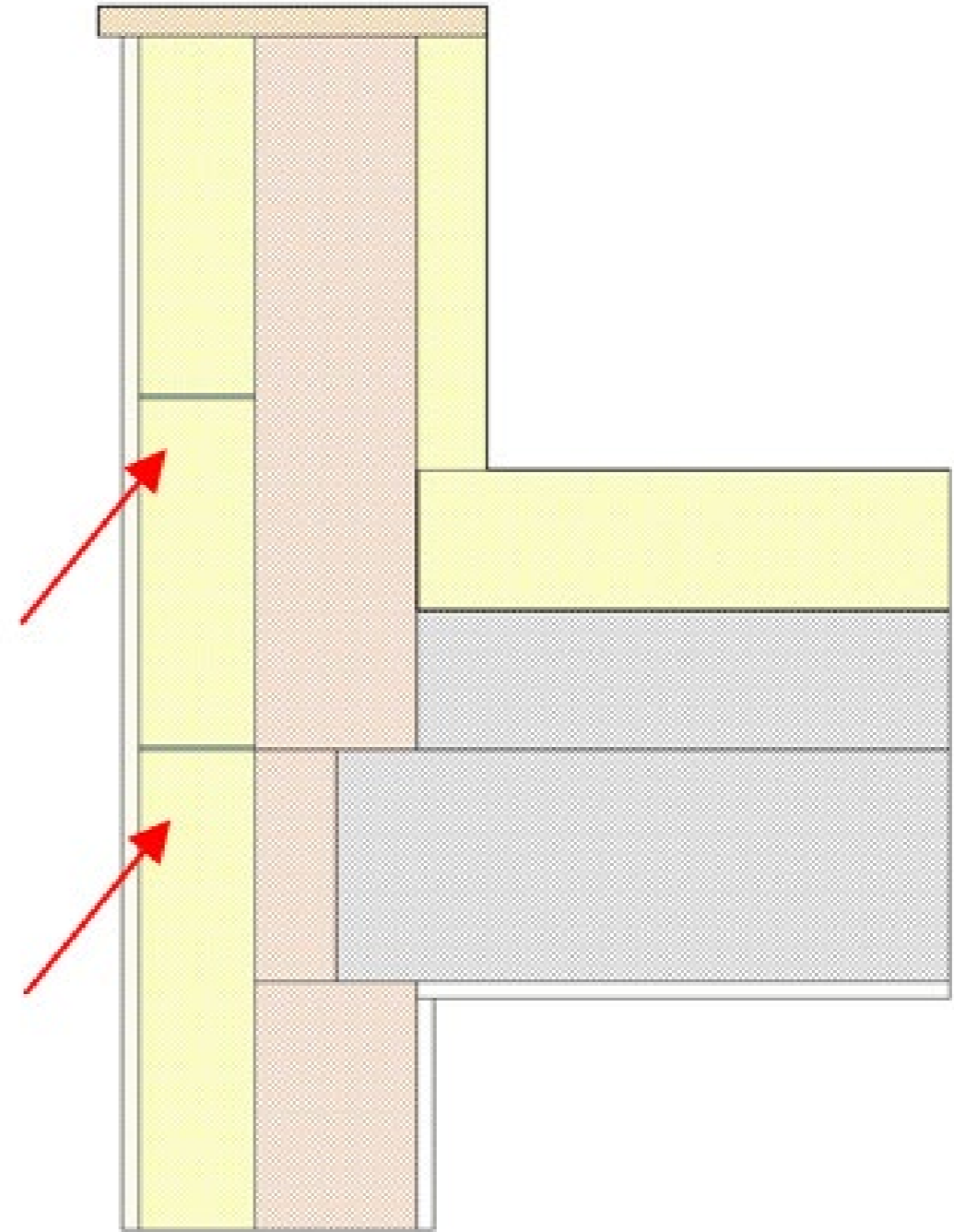
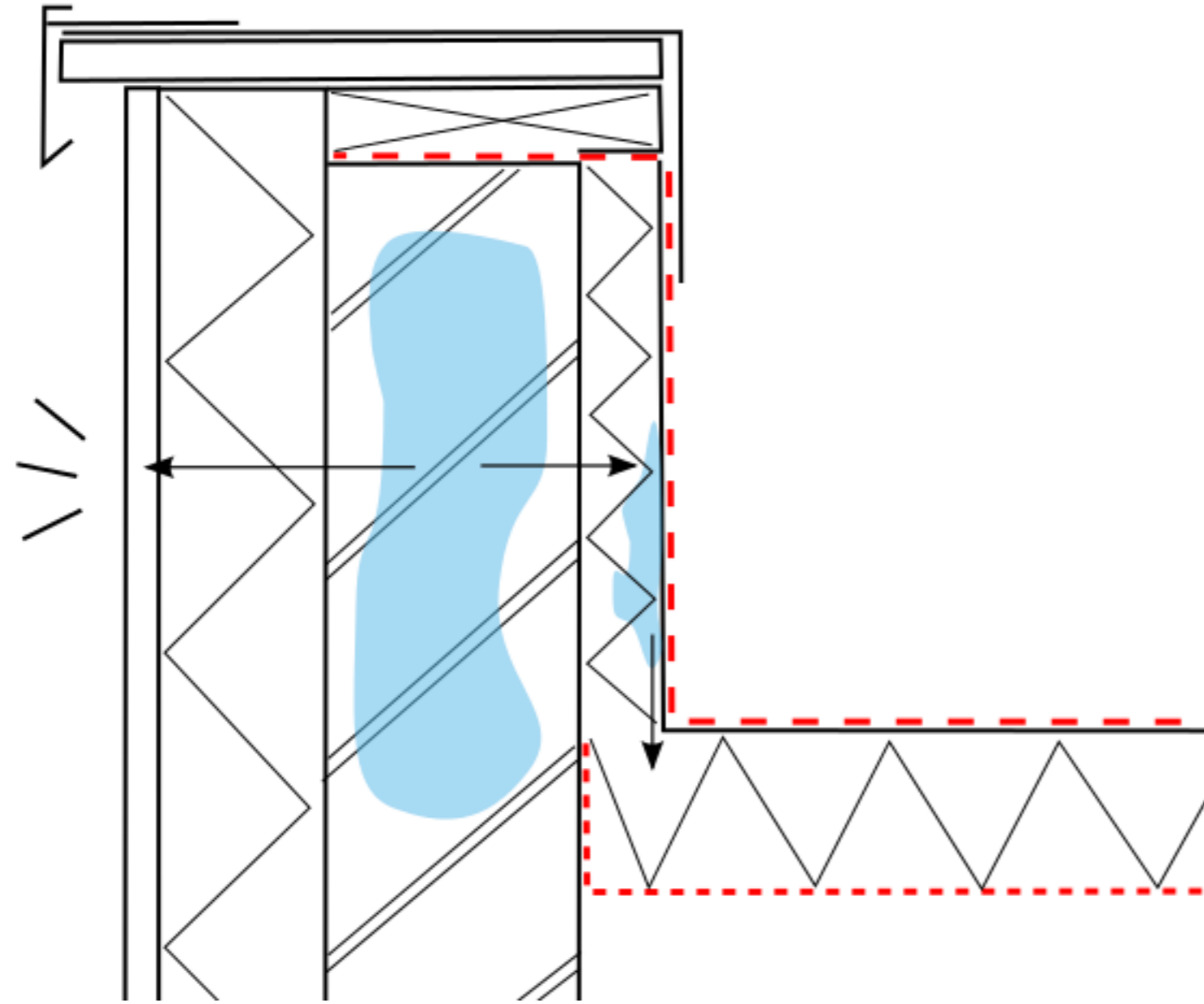


nr. meting	materiaal	boring	gewicht getest staal (gr)	Vochtgehalte [M%]	Vochtgehalte [kg/m ³]	referentiewaarde in droge toestand
1	afschotlaag	1	20	7.6 M%	145kg/m ³	2,1 – 2,95 M%
2	argexkorrels	1	3	33.1 M%	112kg/m ³	12,5 – 20 M%
3	afschotlaag	3	20	7.4 M%	142kg/m ³	2,1 – 2,95 M%

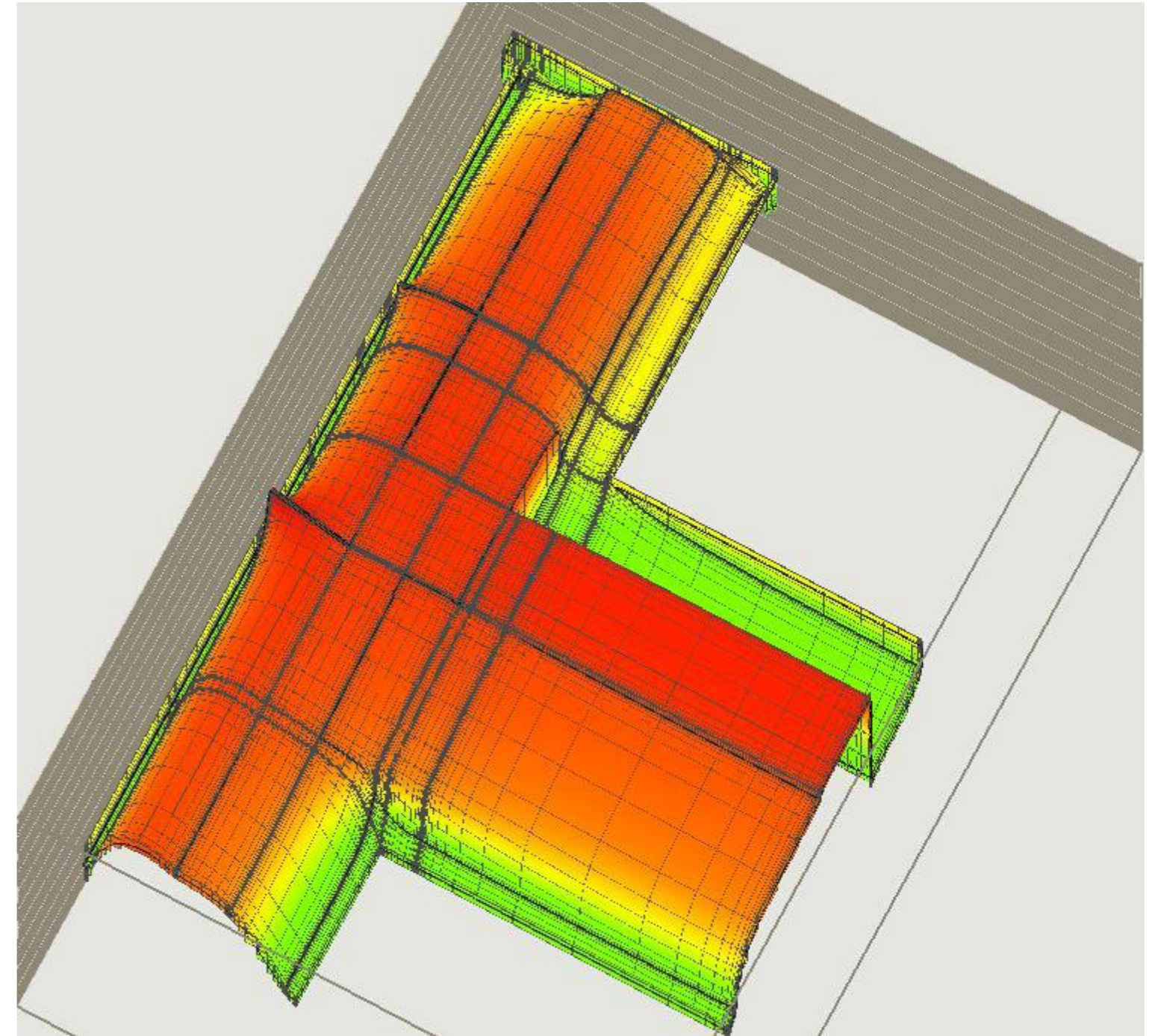
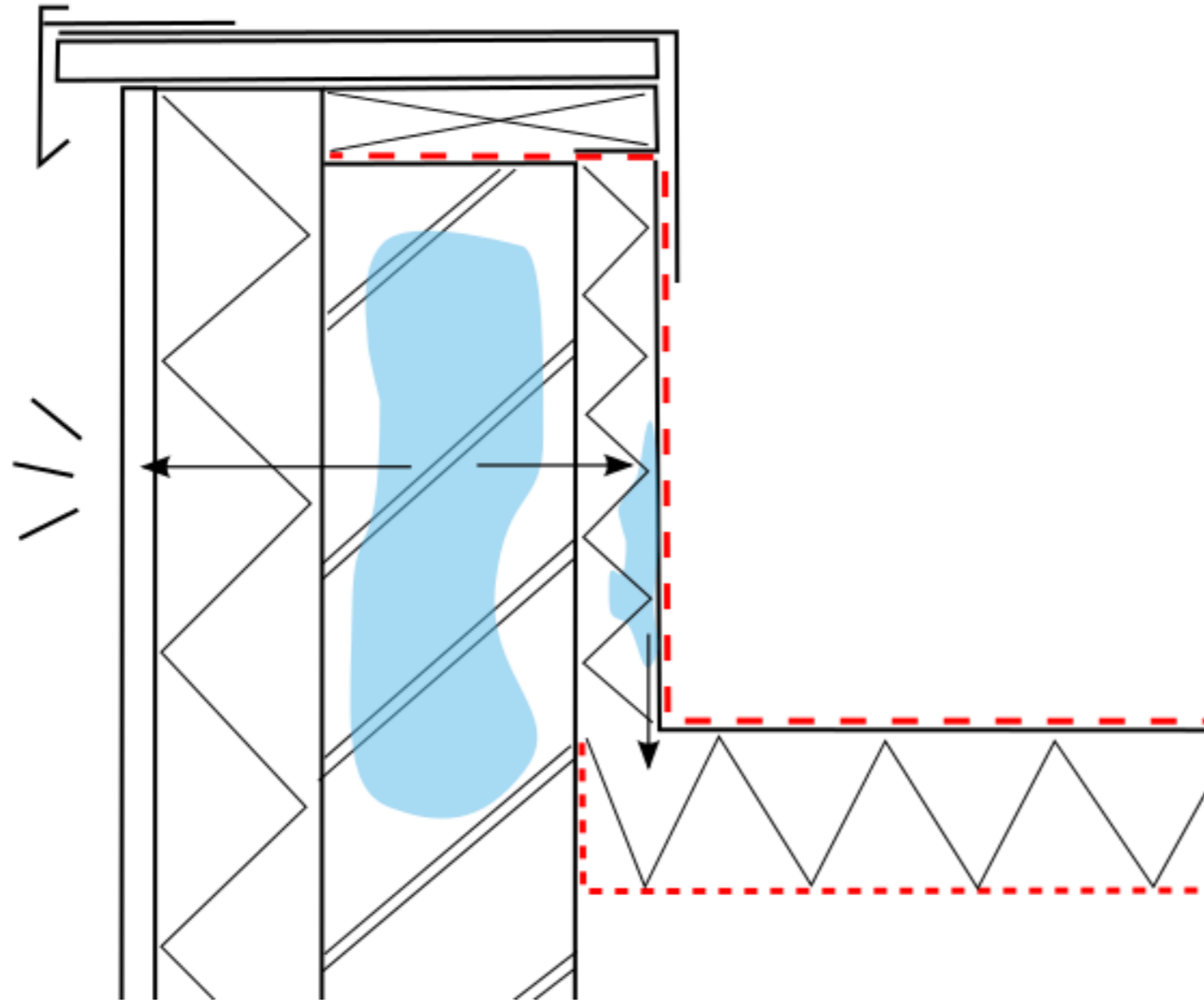
– Wat als ... de afschotlaag initieel verzadigd



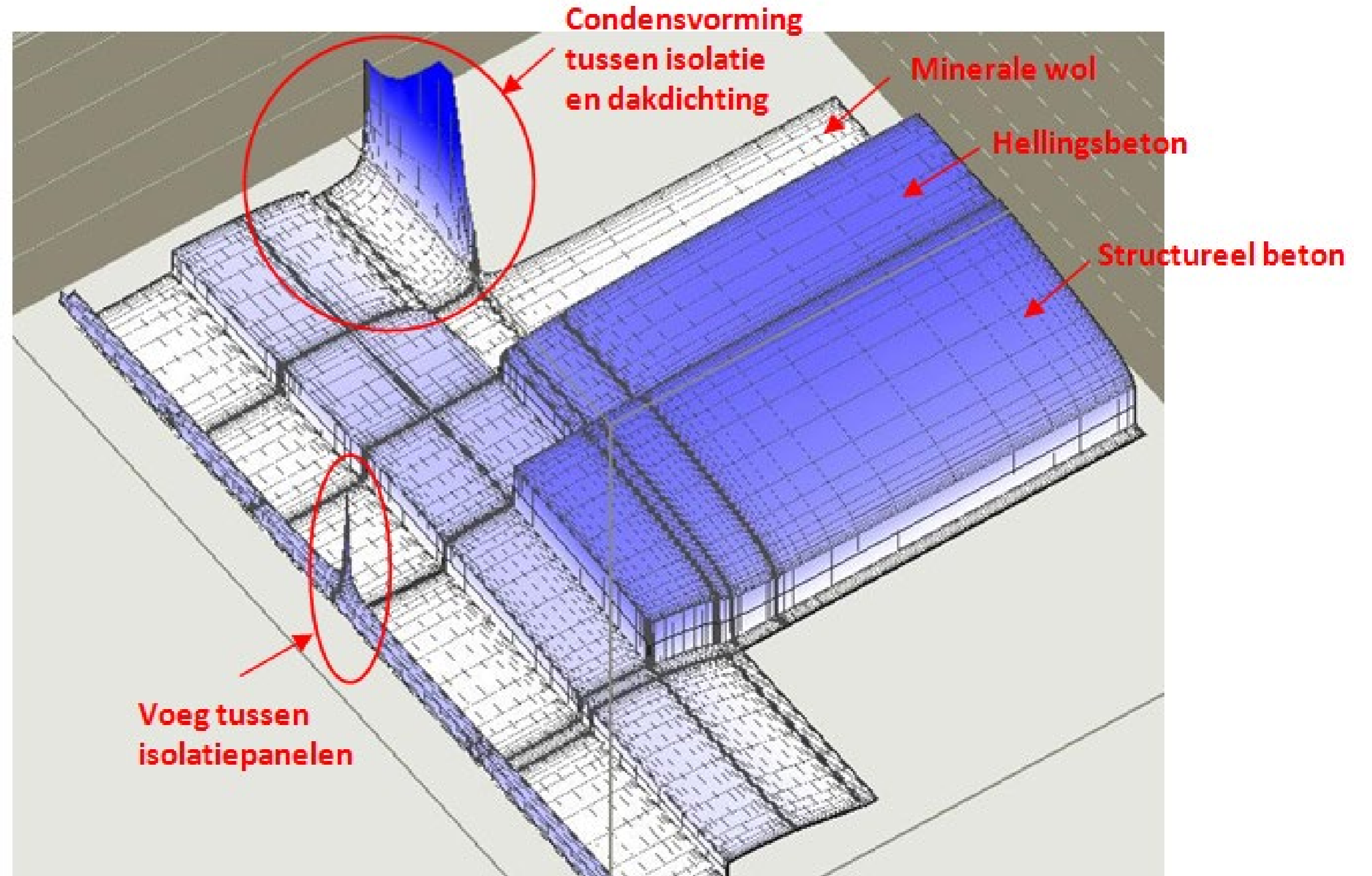
CASE



CASE



CASE



INLEIDING

TRANSPORT VAN WATERDAMP

VOCHTIGE LUCHT

DAMPDIFFUSIE

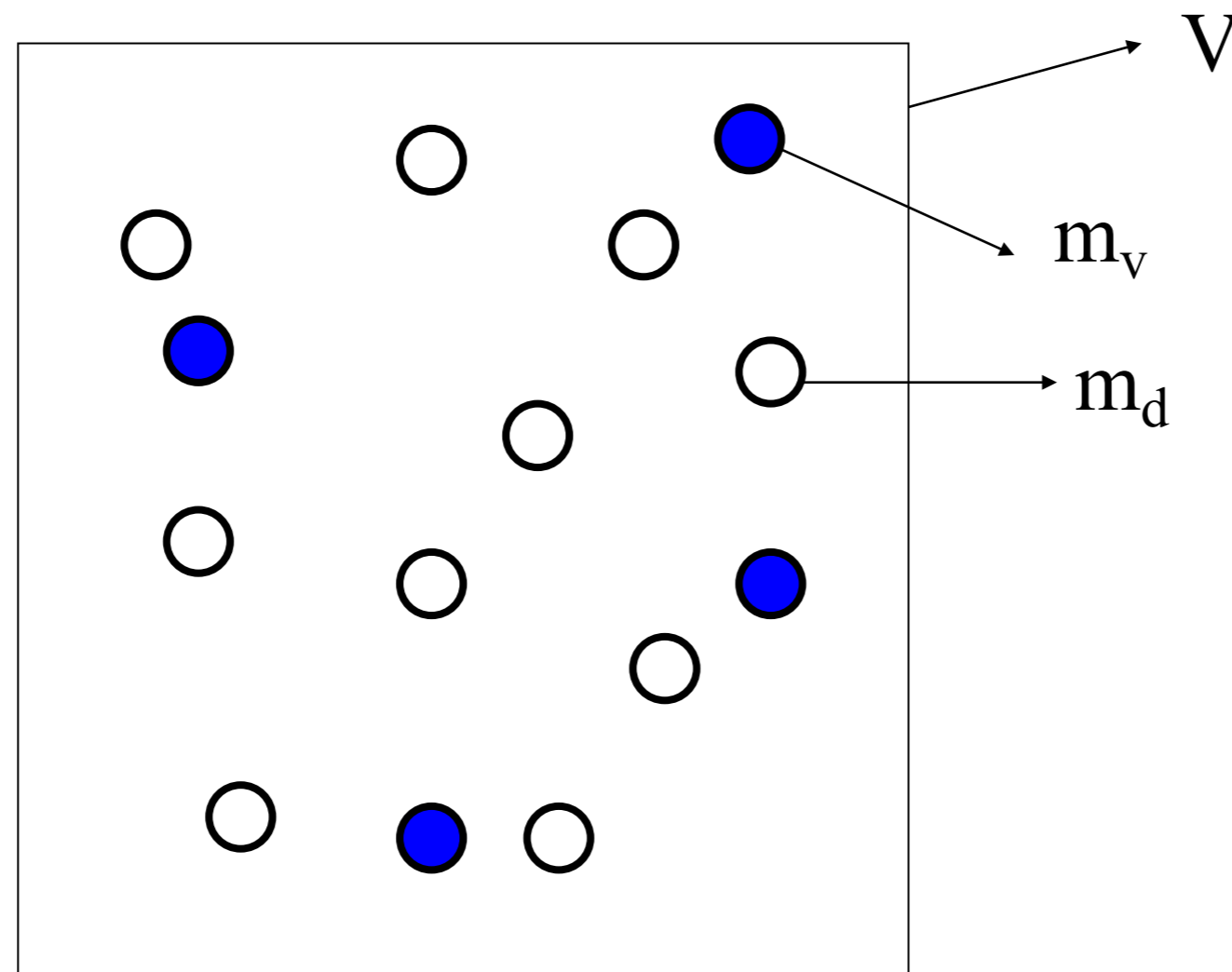
CONVECTIEF DAMPTRANSPORT

VOCHTBEHEERSING VAN GEBOUWEN

VOCHTIGE LUCHT



TOESTANDEN VAN VOCHTIGE LUCHT



Gaswet:

$$p_v V = m_v R_v T$$

$$p_v = \rho_v R_v T$$

$$R_v = 462 \text{ J/kgK}$$

$$R_d \cong R_a = 287 \text{ J/kgK}$$

Wet van Dalton:

$$p_a = p_d + p_v$$

$$= P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$$

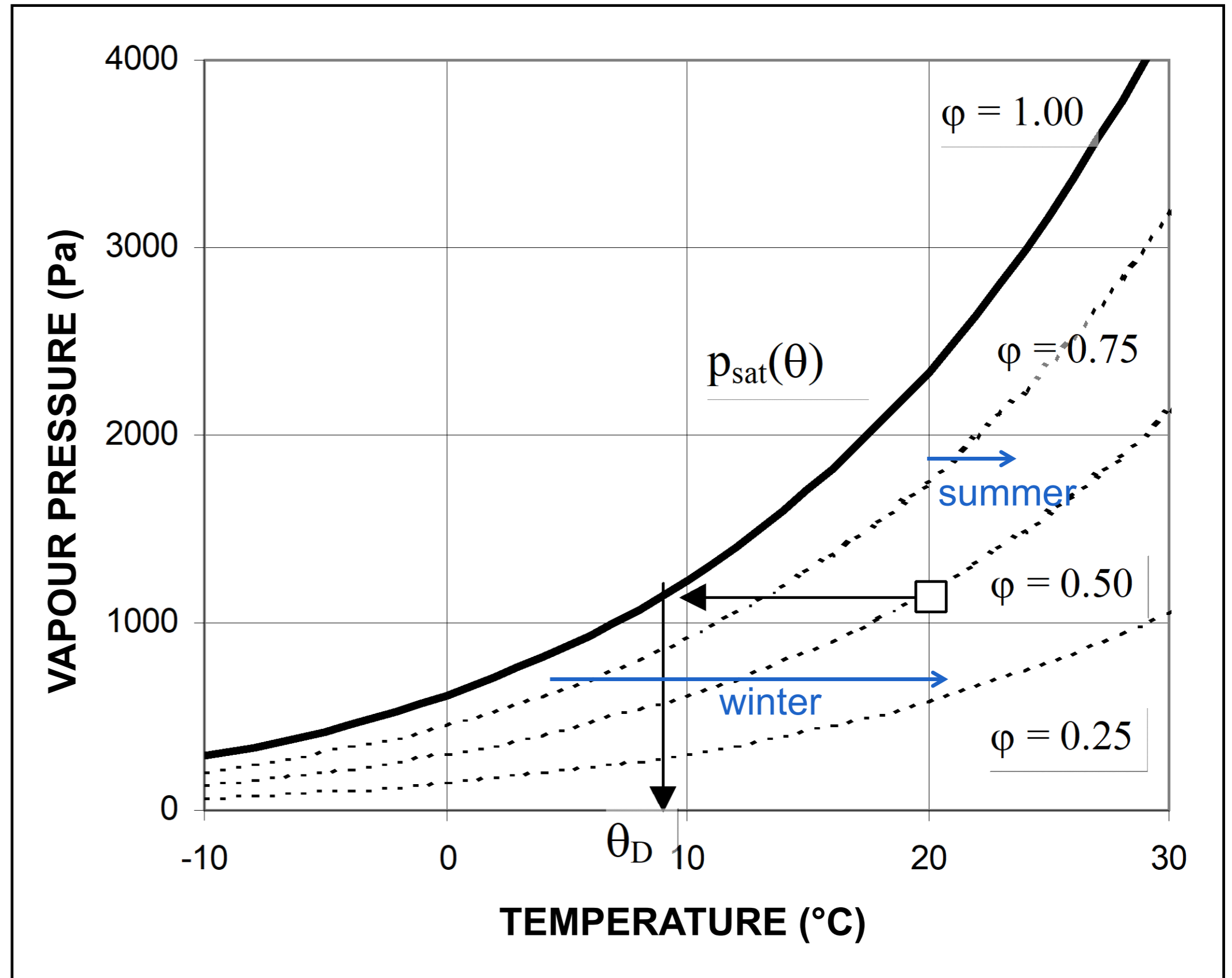
\approx constante

VOCHTIGE LUCHT BUITEN

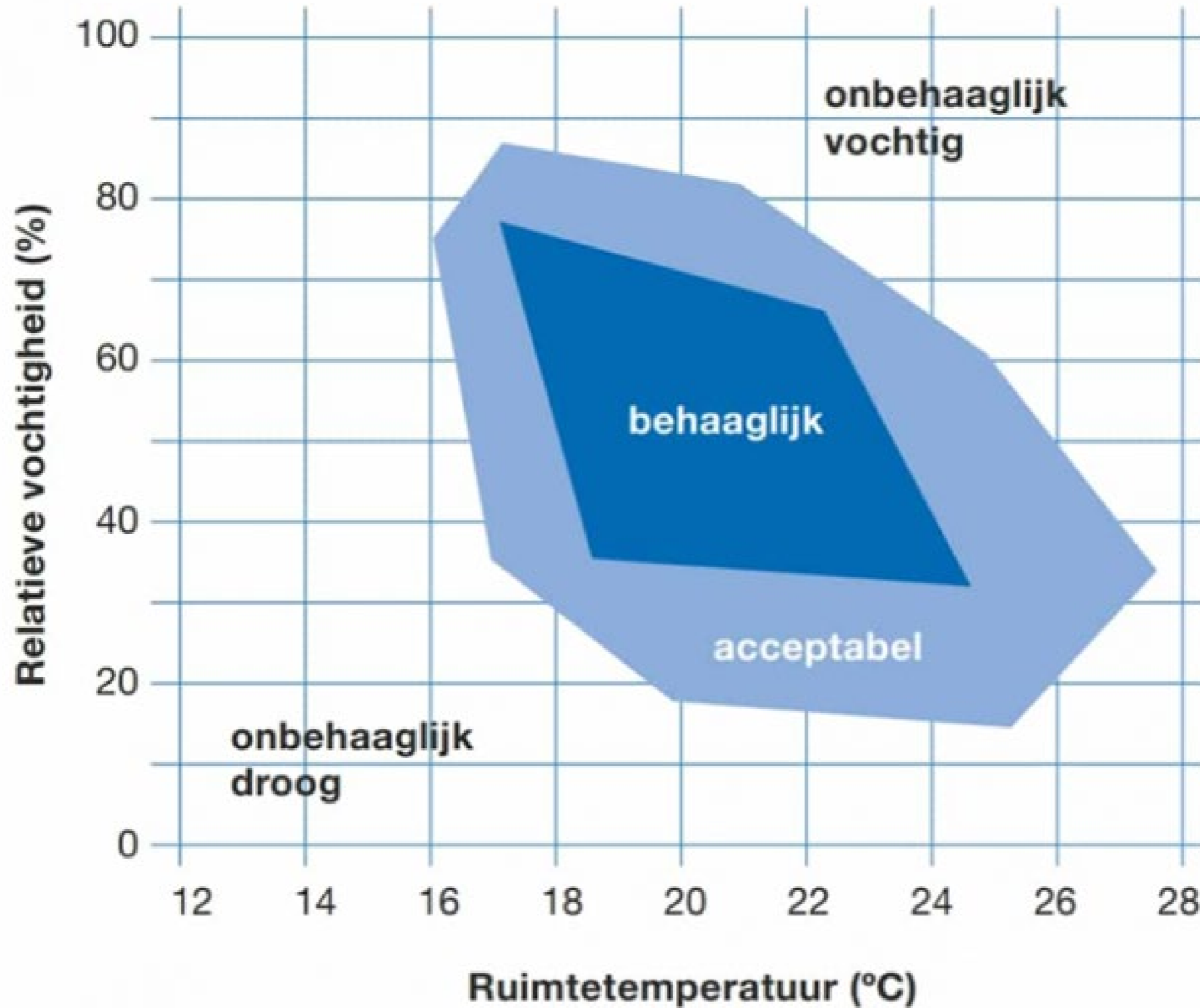
	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
gemiddelde Temperatuur (°C)	3.9	3.9	6.1	9.6	13.1	15.8	18	17.8	15.4	11.8	7.8	4.9
Min. Temperatuur (°C)	2	1.7	3.2	6.1	9.7	12.5	14.8	14.8	12.7	9.4	5.8	3
Max. Temperatuur (°C)	5.8	6.3	9.1	13.1	16.4	19	21	20.8	18.3	14.3	9.8	6.6
Neerslag (mm)	69	57	58	57	68	73	88	86	76	70	68	74
vochtigheid(%)	85%	83%	80%	75%	74%	75%	77%	78%	80%	82%	86%	84%
Regen dagen (d)	9	9	9	9	9	9	11	10	9	9	10	10
Uren zonneshijn (uren)	3.3	4.2	5.5	8.0	9.1	9.5	9.7	8.7	6.9	5.4	3.7	3.1

SEIZOENSVARIATIES

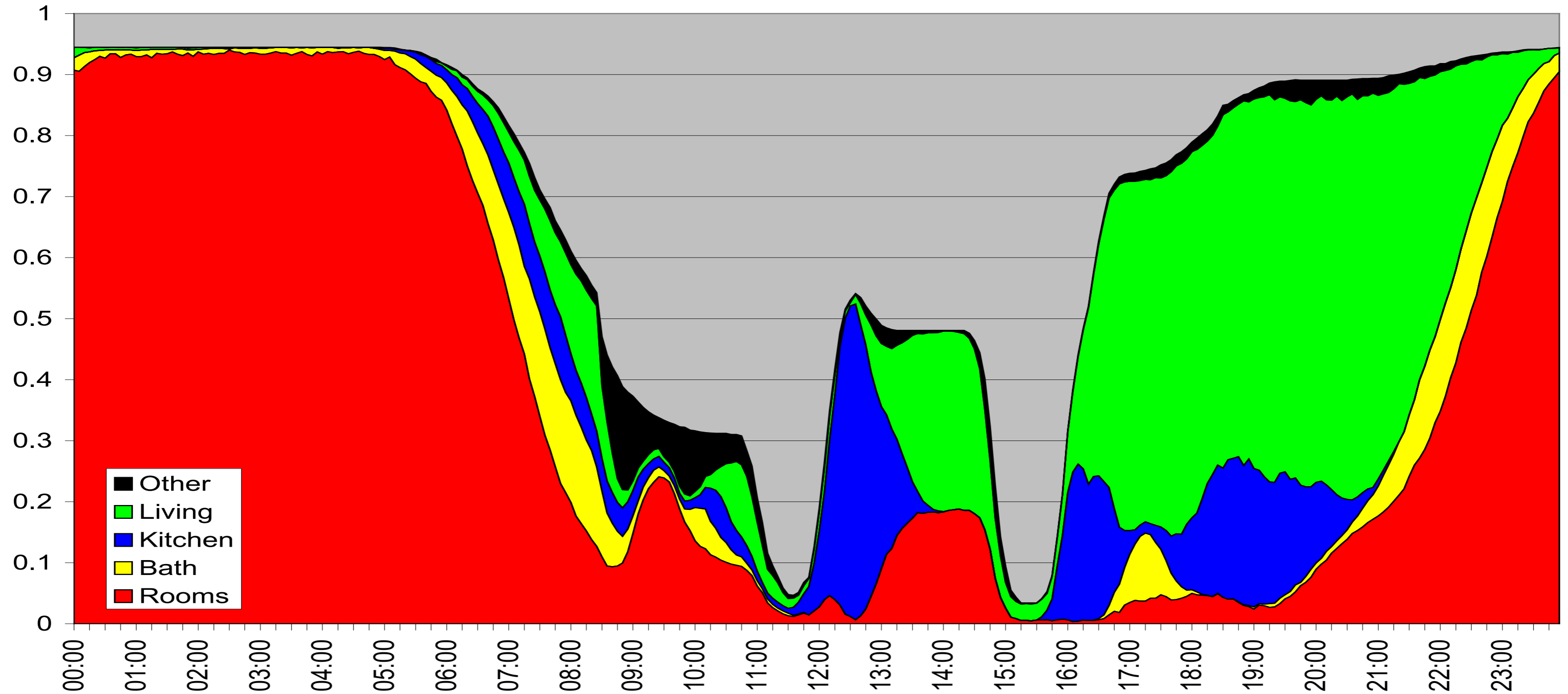
$$\varphi = \frac{p_v}{p_{sat}(\theta)} = \frac{\rho_v}{\rho_{v,sat}}$$



VOCHTIGE LUCHT

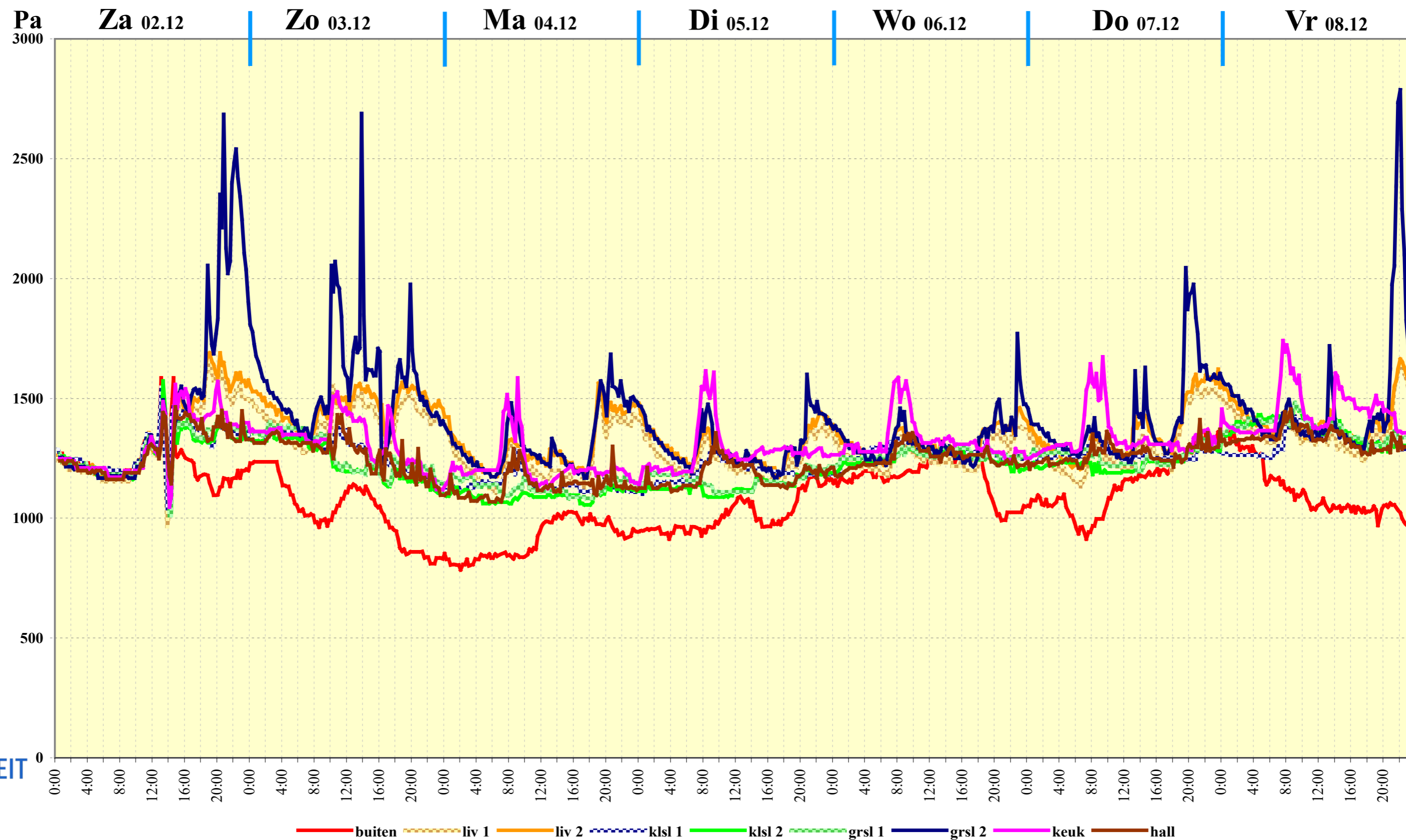


VOCHTIGE LUCHT BINNEN

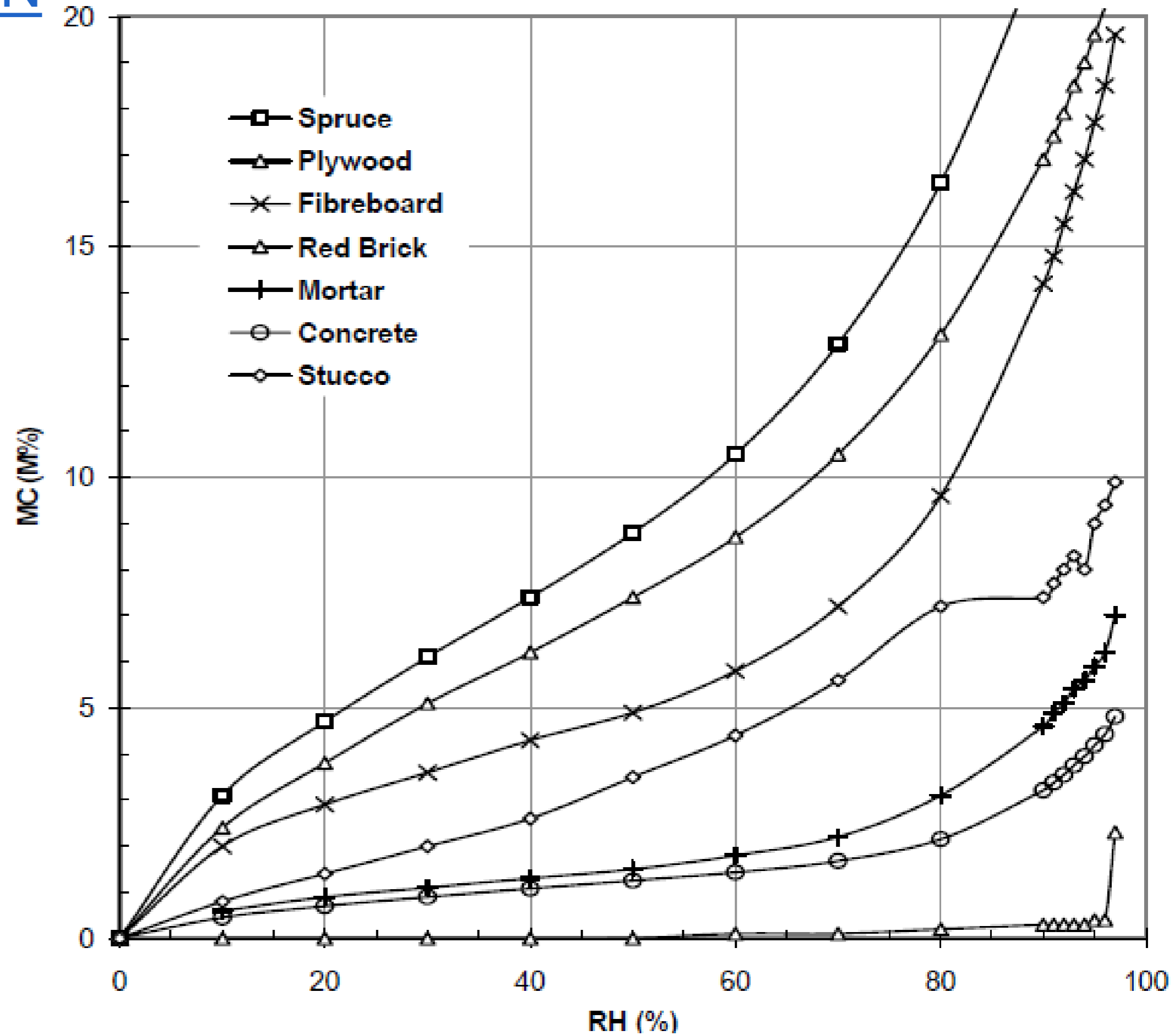


VOCHTIGE LUCHT BINNEN

Vapour pressures

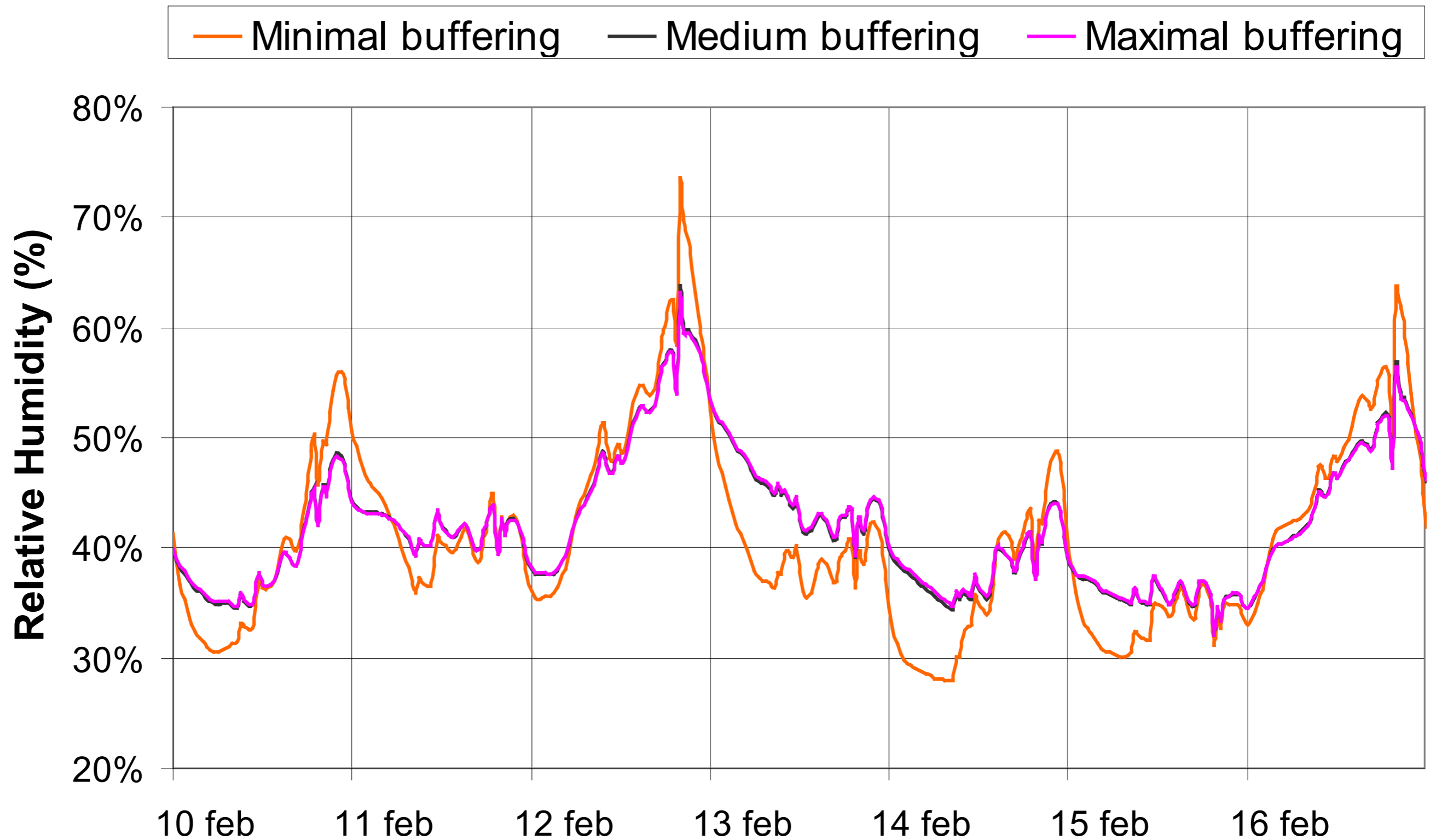


VOCHTIGE LUCHT BINNEN



VOCHTIGE LUCHT BINNEN

Humidity - Living room



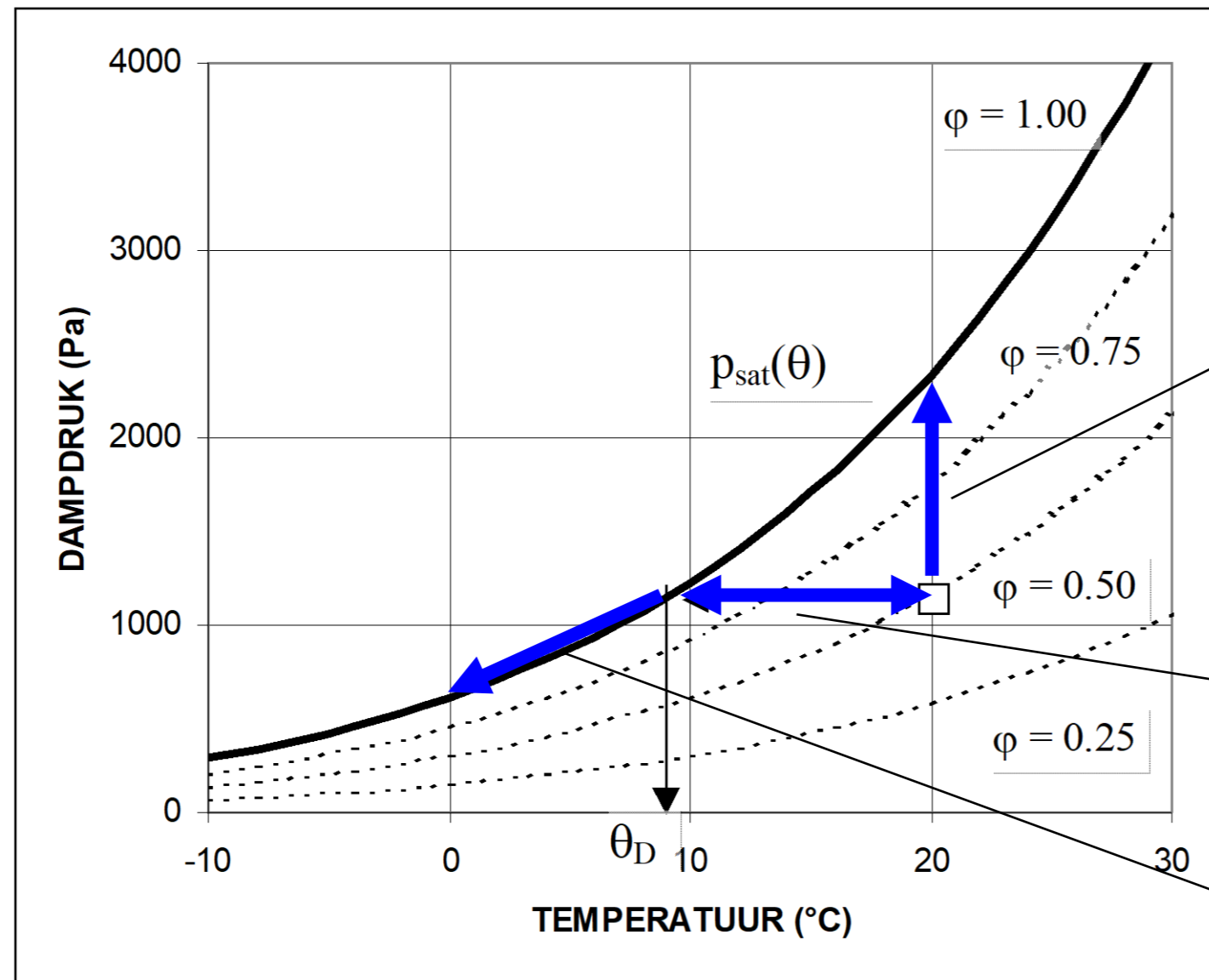
GEBRUIK VAN VERZADIGINGSTABEL

θ (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	634	638	643	647	652
1	657	662	666	671	676	681	686	691	696	701
2	706	711	716	721	726	731	736	742	747	752
3	758	763	768	774	779	785	790	796	802	807
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
5	872	878	884	890	896	903	909	915	922	928
6	935	941	948	954	961	967	974	981	987	994
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1057	1065
8	1072	1079	1087	1094	1101	1109	1117	1124	1132	1139
9	1147	1155	1163	1171	1178	1186	1194	1203	1211	1219
10	1227	1235	1243	1252	1260	1269	1277	1286	1294	1303
11	1312	1320	1329	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1392
12	1401	1411	1420	1429	1439	1448	1458	1467	1477	1487
13	1497	1506	1516	1526	1536	1546	1556	1566	1577	1587
14	1597	1608	1618	1629	1639	1650	1661	1671	1682	1693
15	1704	1715	1726	1737	1748	1760	1771	1782	1794	1805

$$p_{\text{vsat}}(\theta) = 611 \exp\left(\frac{22.44\theta}{272.44 + \theta}\right) \quad \theta \leq 0^{\circ}\text{C}$$

$$p_{\text{vsat}}(\theta) = 611 \exp\left(\frac{17.08\theta}{234.18 + \theta}\right) \quad \theta > 0^{\circ}\text{C}$$

TOESTANDSVERANDERINGEN



1. isotherme
bevochtiging

2. isobare
afkoeling/opwarming

3. afkoeling onder
dauwpunt

TOESTANDSVERANDERINGEN

Oefening

Buiten is het 10°C en 90% RV.

Die lucht wordt opgewarmd naar 20°C .

Wat zal de relatieve vochtigheid dan zijn?

TOESTANDSVERANDERINGEN

Oefening

Binnen is het 20°C en 70% RV.

De ruimte is 300m^3 . Er is een koelleiding op 10°C die door de ruimte loopt.

Hoe groot moet de emmer zijn eronder?

(zonder bijkomende vochtproductie of ventilatie)

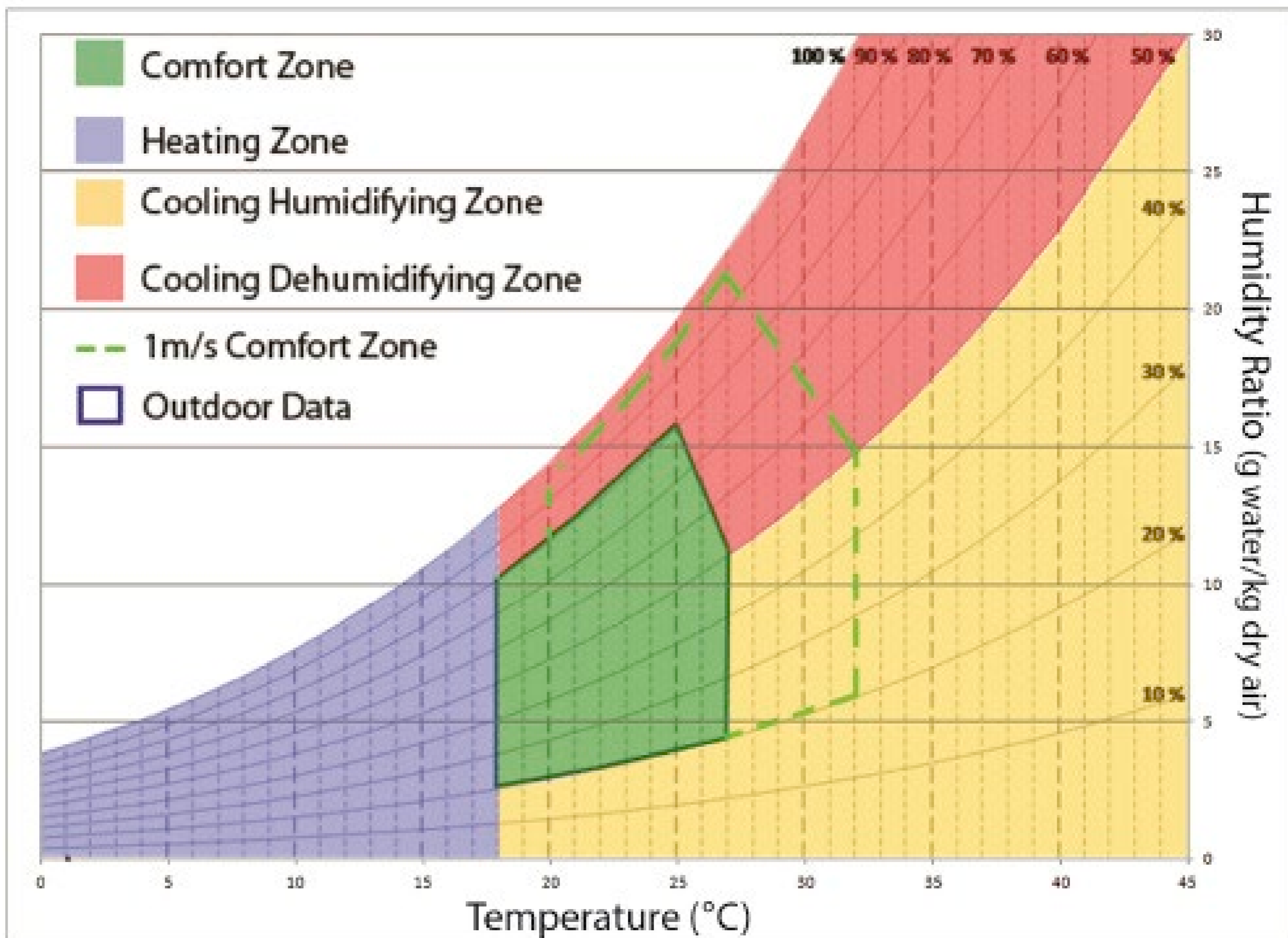
TOESTANDSVERANDERINGEN

Oefening

Binnen is het 22°C en 65% RV.

Vanaf welke temperatuur zal er condens op een raamprofiel staan?

Psychrometric Chart



BINNENKLIMAAT ERFGOED



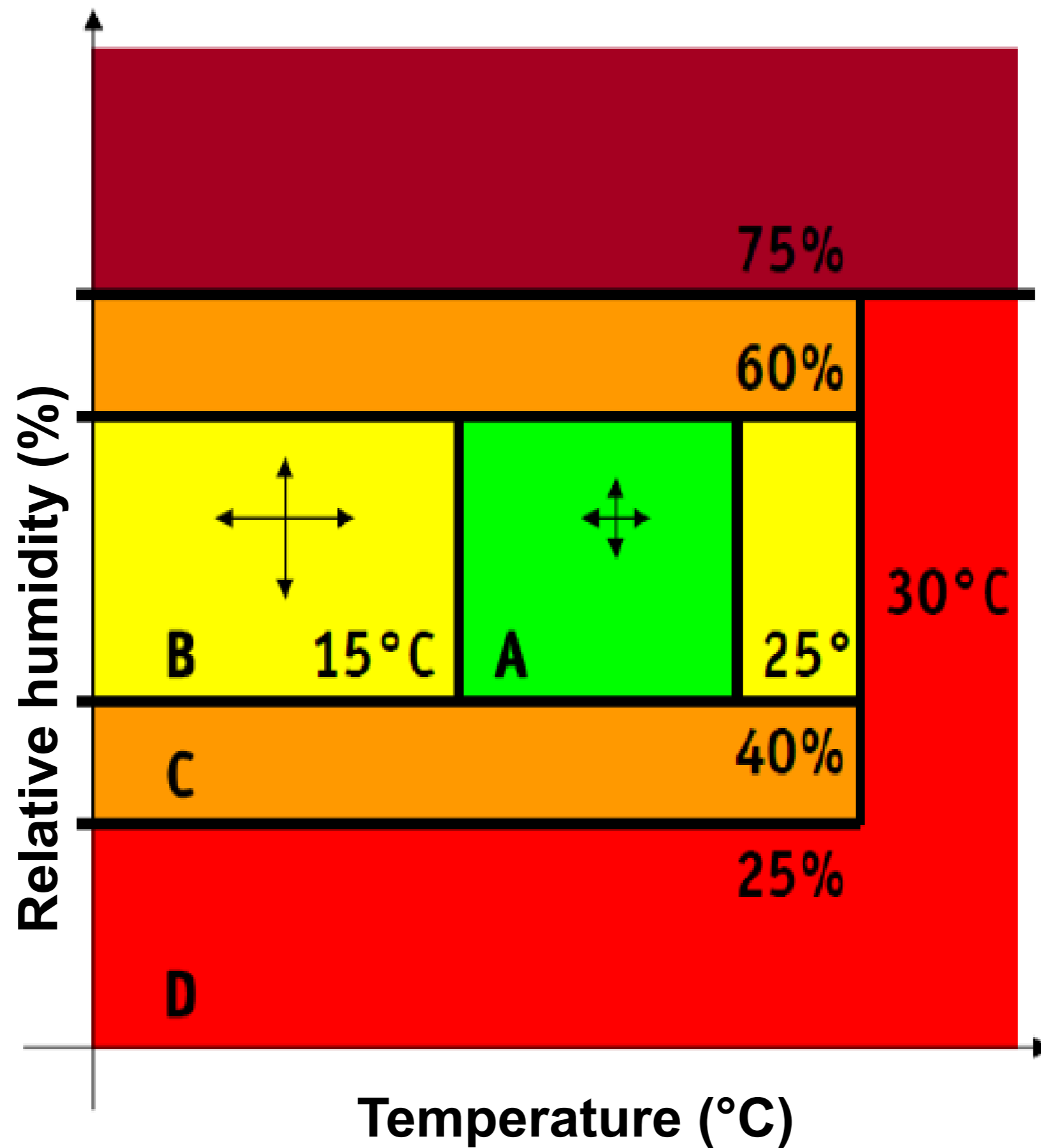
Figure 1.1: Natural deterioration of a panel painting: yellowing of the varnish. Detail of the Ghent Altarpiece before (left) and after (right) restoration. Composition: KIKIRPA/Lukas Art [13].

BINNENKLIMAAT ERFGOED - ASHRAE

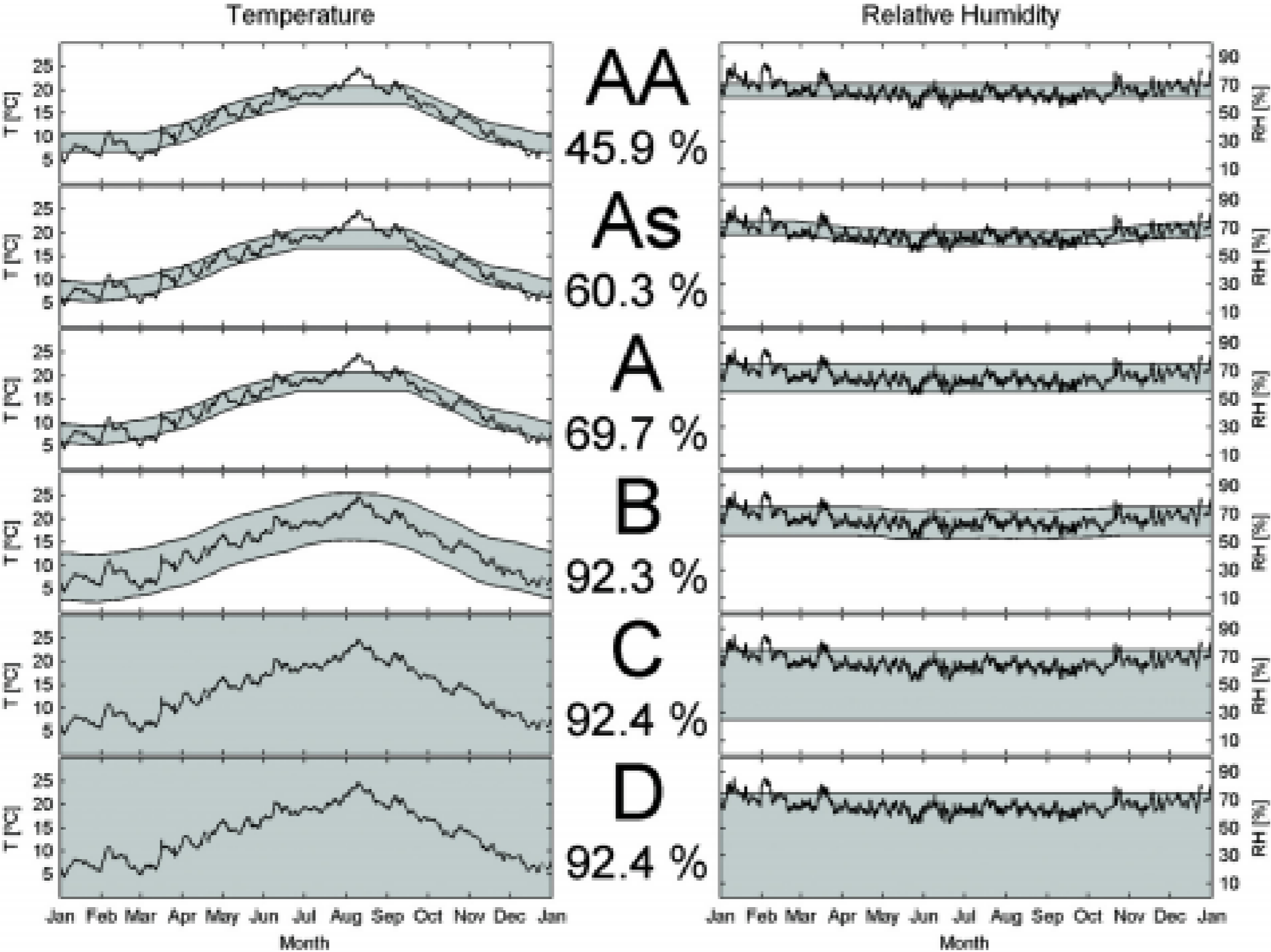
Table 1. ASHRAE Climate Classes AA, A, B, C, and D [4]

Setpoint or Annual Value	Maximum Fluctuations and Gradients in Controlled Spaces		
	Class of Control	Short Fluctuations Plus Space Gradients	Seasonal Adjustments in System Setpoint
50% RH (or historic annual average for permanent collections)	AA Precision control; no seasonal RH changes	±5%RH, ±2 K	RH no change; Up 5K; down 5 K
	A Precision control; some gradients or seasonal changes, not both	As ±5%RH, ±2 K	Up 10% RH; Down 10% RH; Up 5 K; down 10 K
Temperature set between 15°C and 25°C		A ±10% RH, ±2 K	RH no change; Up 5 K; down 10 K
<i>Note:</i> Rooms intended for loan exhibitions must handle setpoint specified in load agreement, typically 50% RH, 21°C, but sometimes 55% or 60% RH	B Precision control; some gradients plus winter temperature setback	±10%RH, ±5 K	Up 10% RH; Down 10% RH; Up 10K but not above 30°C, down as low as necessary to maintain RH control)
	C Prevent all high risk extremes	Within 25% to 75% RH year-round; Temperature rarely over 30°C, usually below 25°C	
	D Prevent dampness	Reliably below 75% RH	

BINNENKLIMAAT ERFGOED - ASHRAE



BINNENKLIMAAT ERFGOED - ASHRAE

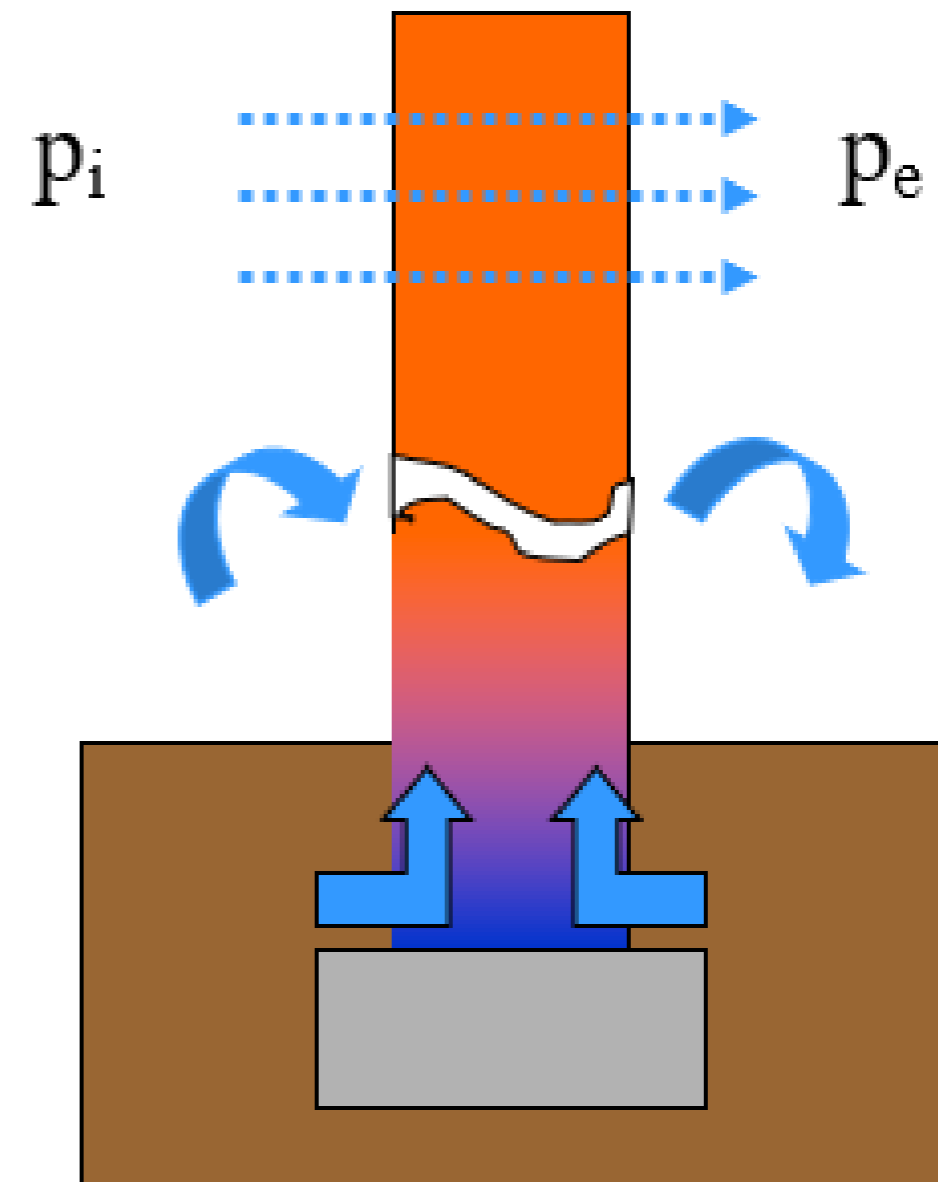


Museum Ons' Lieve Heer op Solder

Source: Martens & Schellen (TU/e)

VOCHTTRANSPORT IN CONSTRUCTIES

- Vormen van vochttransport
 - Dampdiffusie
 - Damptransport door luchtlekkage (convection)
 - Capillaire waterabsorptie
 - (Waterstroming door waterdrukverschillen ~Hydraulica)



TRANSPORT VAN WATERDAMP

ANALOGIE MET WARMTETRANSPORT

– Dampdiffusie

$$g_v = \frac{p_e - p_i}{\sum_n Z_i} \qquad q = \frac{\theta_e - \theta_i}{\sum_n R_i}$$

Z: diffusieweerstand (m/s)

– Convectief damptransport

$$g_v = \beta \cdot (p - p_s) \qquad q = \alpha \cdot (\theta - \theta_s)$$

$$G_v = G_a \xi_a (p_e - p_i) \qquad \Phi_v = G_a c_a (\theta_e - \theta_i)$$

β : waterdampovergangscoefficiënt (s/m)

ξ_a : specifieke dampcapaciteit van lucht
($6.1 \cdot 10^{-6}$ kg/kg/Pa)

DAMPDIFFUSIE 1D

Wet van Fick:

~ wet van Fourier

$$g_v = -\delta \frac{\partial p_v}{\partial x}$$

Transporteigenschap =
dampgeleidingscoëfficiënt δ

~ porositeit

Behoud van massa:
~ behoud van energie

Netto-aanvoer van
damp door diffusie

+ dampproductie

= Capacitieve opslag
van vocht

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\delta \frac{\partial p_v}{\partial x} \right) + g' = \frac{\partial w}{\partial t}$$

diffusieweerstandsgetal

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta}$$

$$\delta_a = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m.s.Pa}$$

DAMPDIFFUSIE: LAAGEIGENSCHAPPEN

– Diffusieweerstand Z

– homogene lagen:

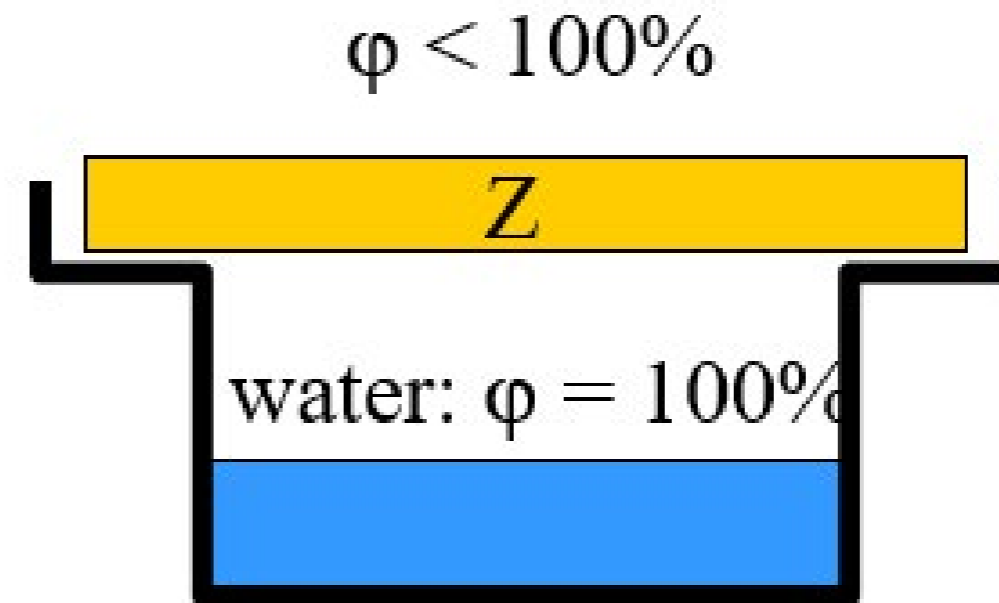
$$Z = d/\delta = \mu d/\delta_a$$

~ warmteweerstand $R = d/\lambda$

– Meting Z

- Potje met materiaalmonster
- Omgeving $p = \text{cte}$
- Gewichtsafname meten
- Grote diffusieweerstand moeilijk

nauwkeurig meetbaar



VOCHTTRANSPORT DOOR DIFFUSIE: μ -WAARDEN

Metaal, Glas,...	∞
Beton	100
Baksteen, Hout	20
Kunststofschuim	50-150
Minerale wol-isolatie	< 2
(stilstaande) Lucht	1

Dunne lagen: laageigenschap μd -waarde (m) =
diffusiedikte of equivalente luchtlaagdikte

STATIONNAIR ISOTHERM DAMPTRANSPORT 1D

$$g = \frac{p_i - p_e}{Z_{\text{tot}}} = \frac{p_i - p_e}{\sum \mu d / \delta_a}$$

Invloed van overgangsweerstanden
verwaarloosbaar

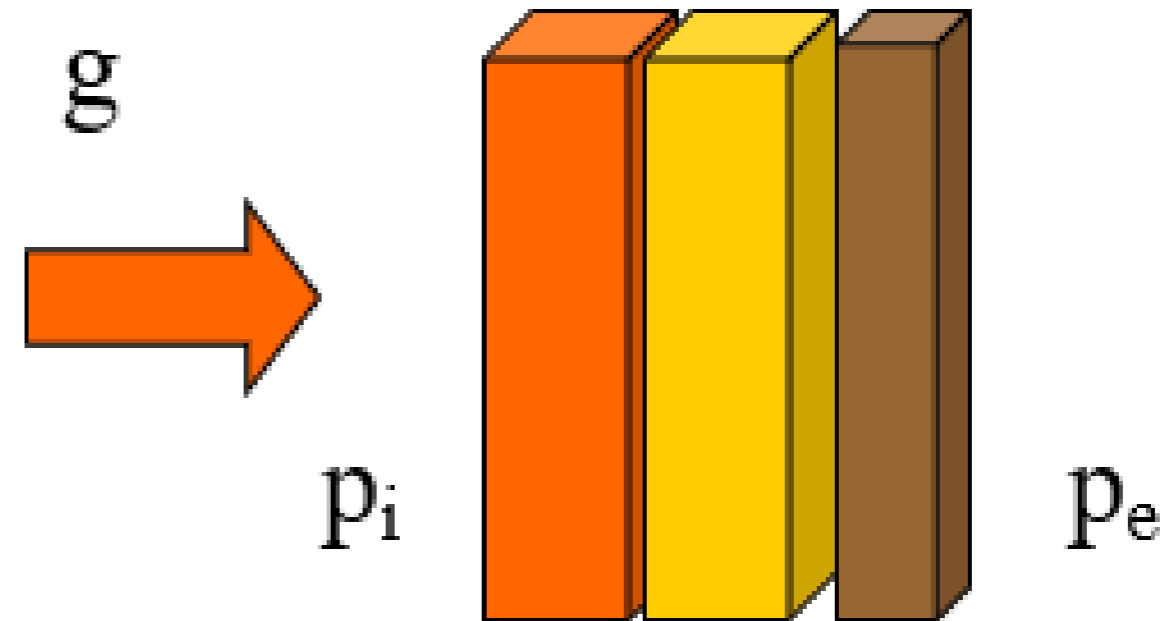
– Voorbeeld:

– Beton $d = 0.1\text{m}$, $\mu = 100$

– Jaargemiddeld

dampdrukverschil = 400 Pa

$\delta_a = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m.s.Pa}$



STATIONAIR ISOTHERM DAMPTRANSPORT 1D

$$g = \frac{p_i - p_e}{Z_{tot}} = \frac{p_i - p_e}{\sum \mu d / \delta_a}$$

Invloed van overgangsweerstanden
verwaarloosbaar

– Voorbeeld:

– Beton $d = 0.1\text{m}$, $\mu = 100$

– Jaargemiddeld

dampdrukverschil = 400 Pa

$\delta_a = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m.s.Pa}$

g uitgedrukt in gram per seconde

⇒ Omrekenen naar jaarbasis

⇒ Seconden/jaar * $2 \cdot 10^{-10}$

⇒ 0,0063 kg/m.Pa.jaar

⇒ Met deze eenheden is het resultaat in kg/m².jaar

$$g_{\text{jaar}} = \frac{p_i - p_e}{Z_{tot}} = \frac{0,0063 * (p_i - p_e)}{\sum \mu d}$$

⇒ 0,25 kg/m².jaar

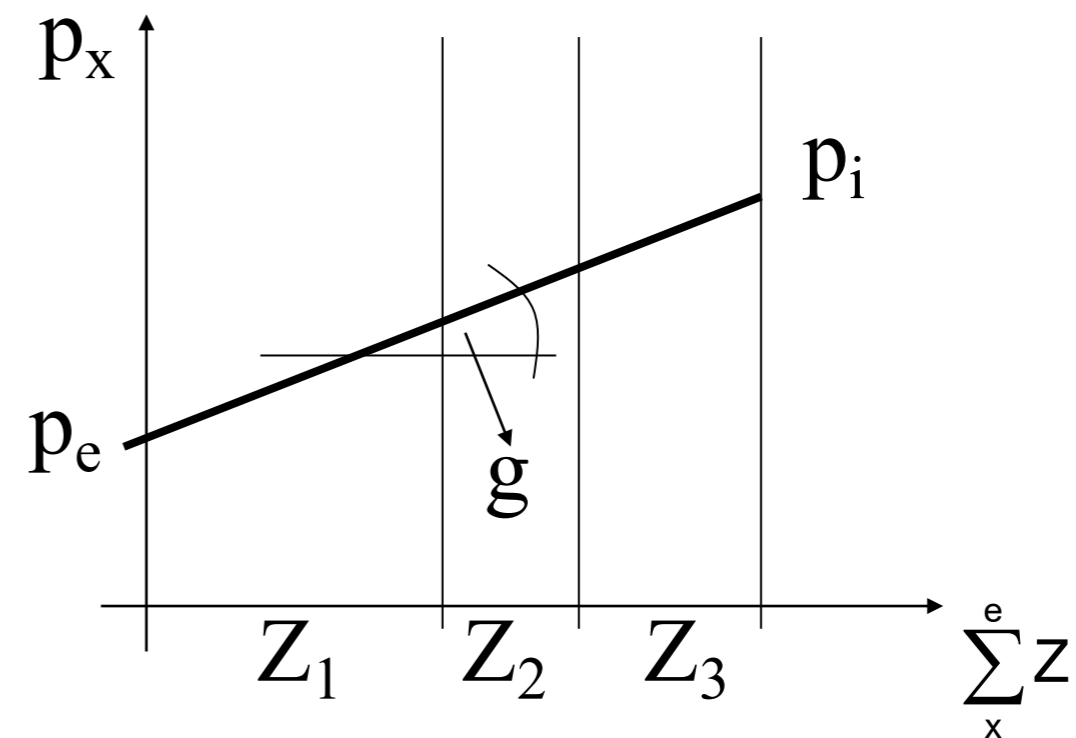
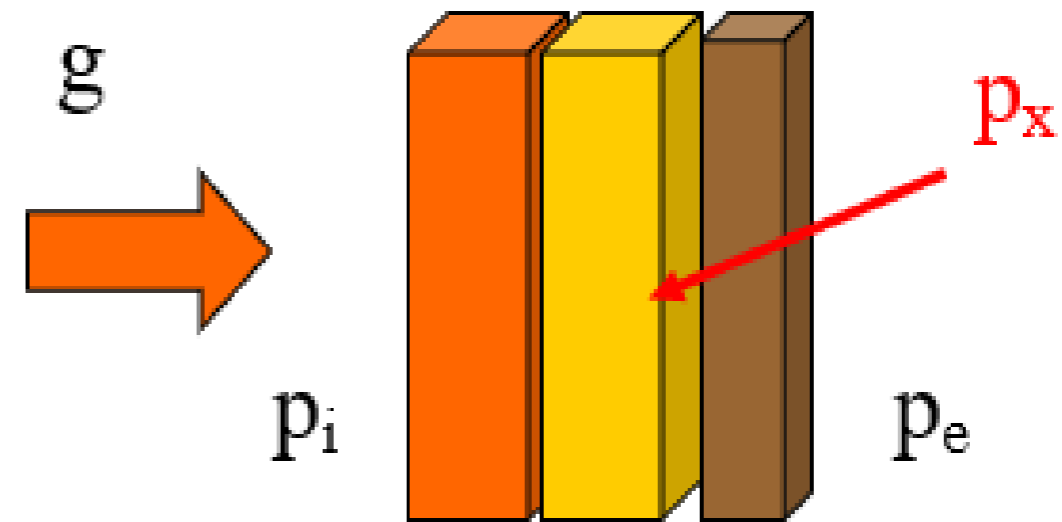
STATIONAIR ISOTHERM DAMPTRANSPORT 1D

$$g = \frac{p_i - p_e}{Z_{\text{tot}}} = \frac{p_i - p_e}{\sum \mu d / \delta_a}$$

$$p_x = p_e + g \cdot \sum_x^e Z$$

$$= p_e + (p_i - p_e) \frac{\sum_x^e Z}{Z_{\text{tot}}}$$

$$\theta_j = \theta_{se} - q \cdot \sum_{i=1}^j R_i = \theta_{se} + (\theta_{si} - \theta_{se}) \frac{\sum_{i=1}^j R_i}{R_{\text{tot}}}$$



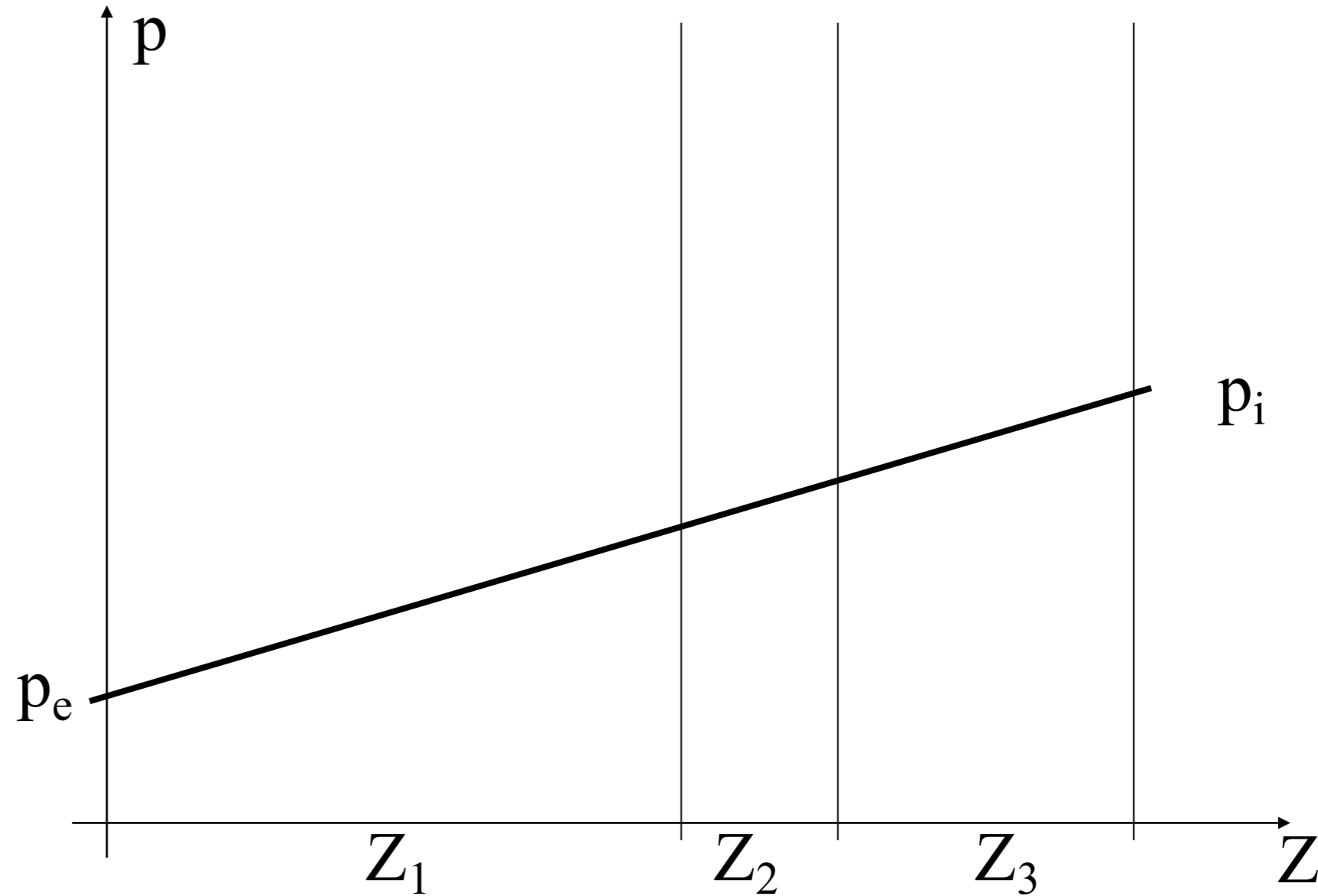
STATIONAIR NIET-ISOTHERM DAMPTRANSPORT: METHODE VAN GLASER

- Berekeningsmethode
 - Enkel transport door diffusie
 - Initieel droge constructie
- Stappen:
 1. Dampdrukverloop
 2. Temperatuurverloop +verloop
verzadigingsdruk
 3. Dampdruk < verzadiging?
 4. Nee?
 1. Aangepast dampdrukverloop
 2. Hoeveelheid condensatie
 5. Maatregelen nodig?

INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 1: P



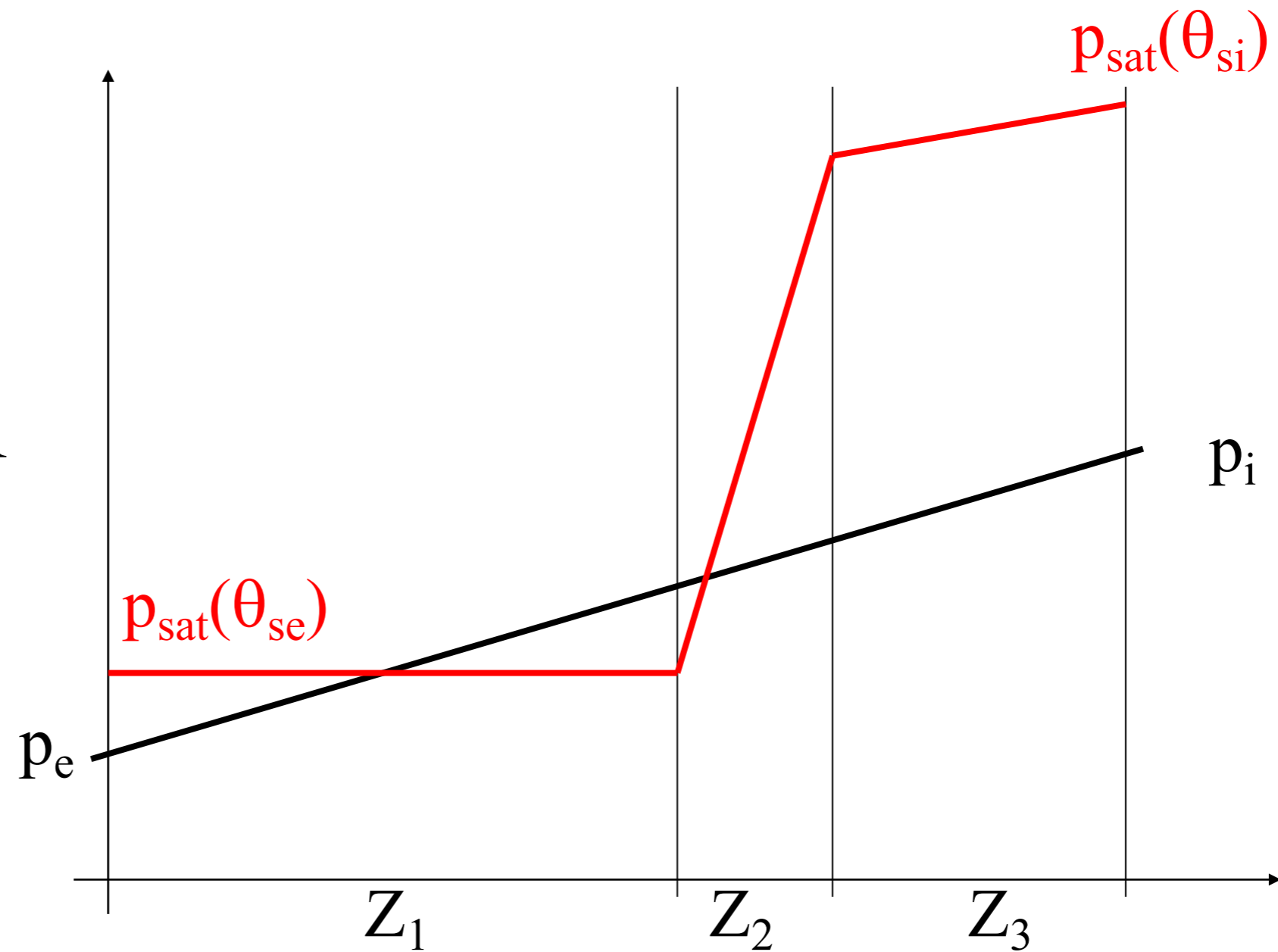
$$p_x = p_e + g \cdot \sum_x^e Z$$



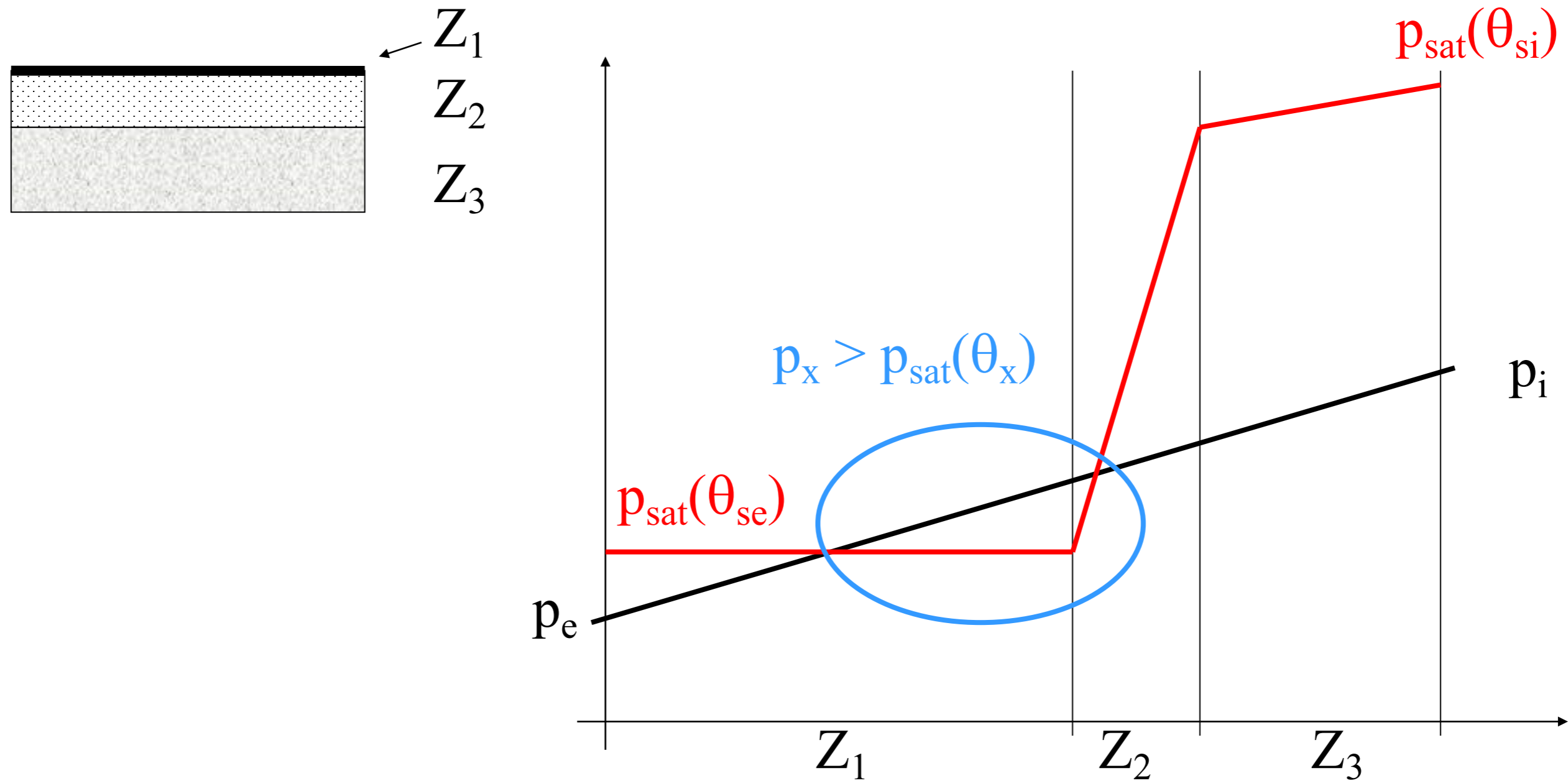
INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 2: P_{SAT}



$$\theta_x = \theta_e + U(\theta_i - \theta_e) \sum_x^e R$$



INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 3: CONDENS?



CORRECT DAMPDRIUKVERLOOP?

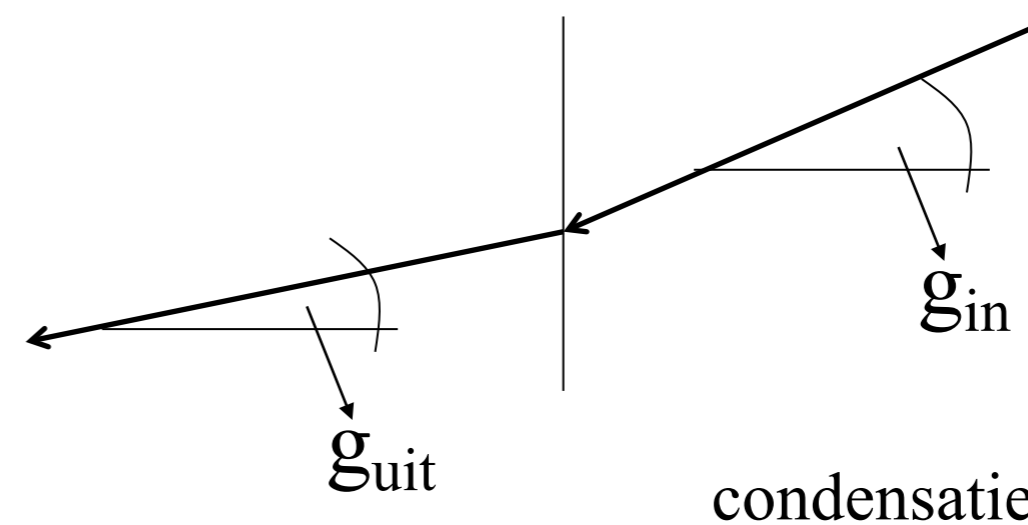
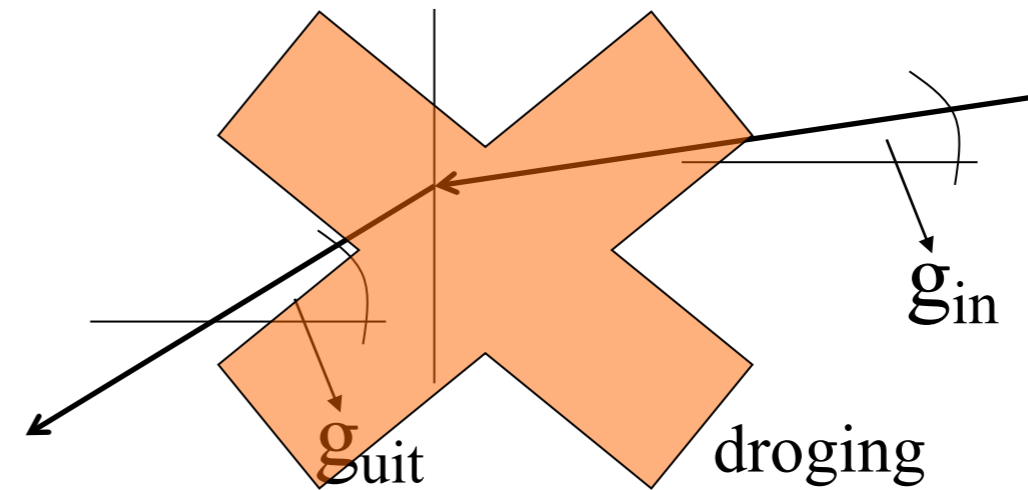
- Randvoorwaarden:

- Verzadigingstoestand

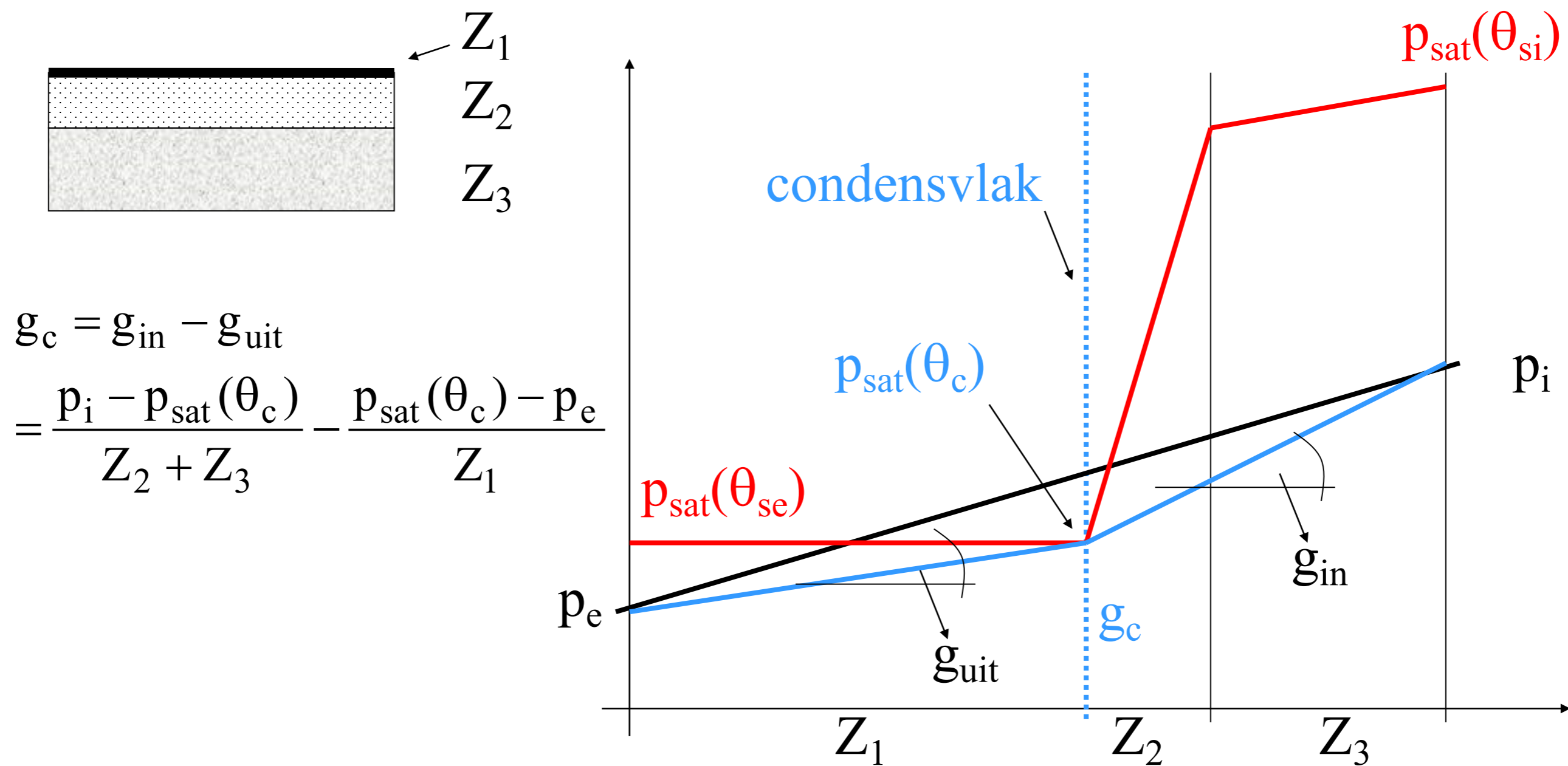
$$p_x \leq p_{\text{sat}}(\theta_x)$$

- Initiëel droge constructie

$$g_{\text{uit}} \leq g_{\text{in}}$$

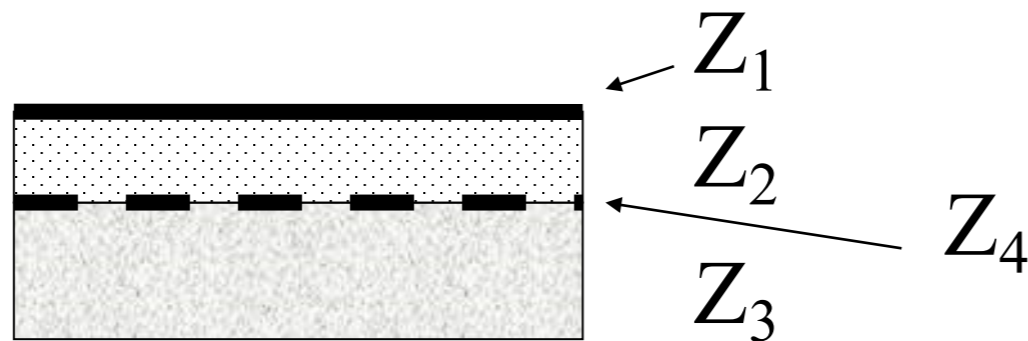


INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 4: HOEVEEL?



Dampdichtste laag aan koude kant isolatie = problematisch

INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 5: MAATREGELLEN



$$g_c = g_{in} - g_{uit}$$
$$= \frac{p_i - p_{sat}(\theta_c)}{Z_2 + Z_3 + Z_4} - \frac{p_{sat}(\theta_c) - p_e}{Z_1}$$

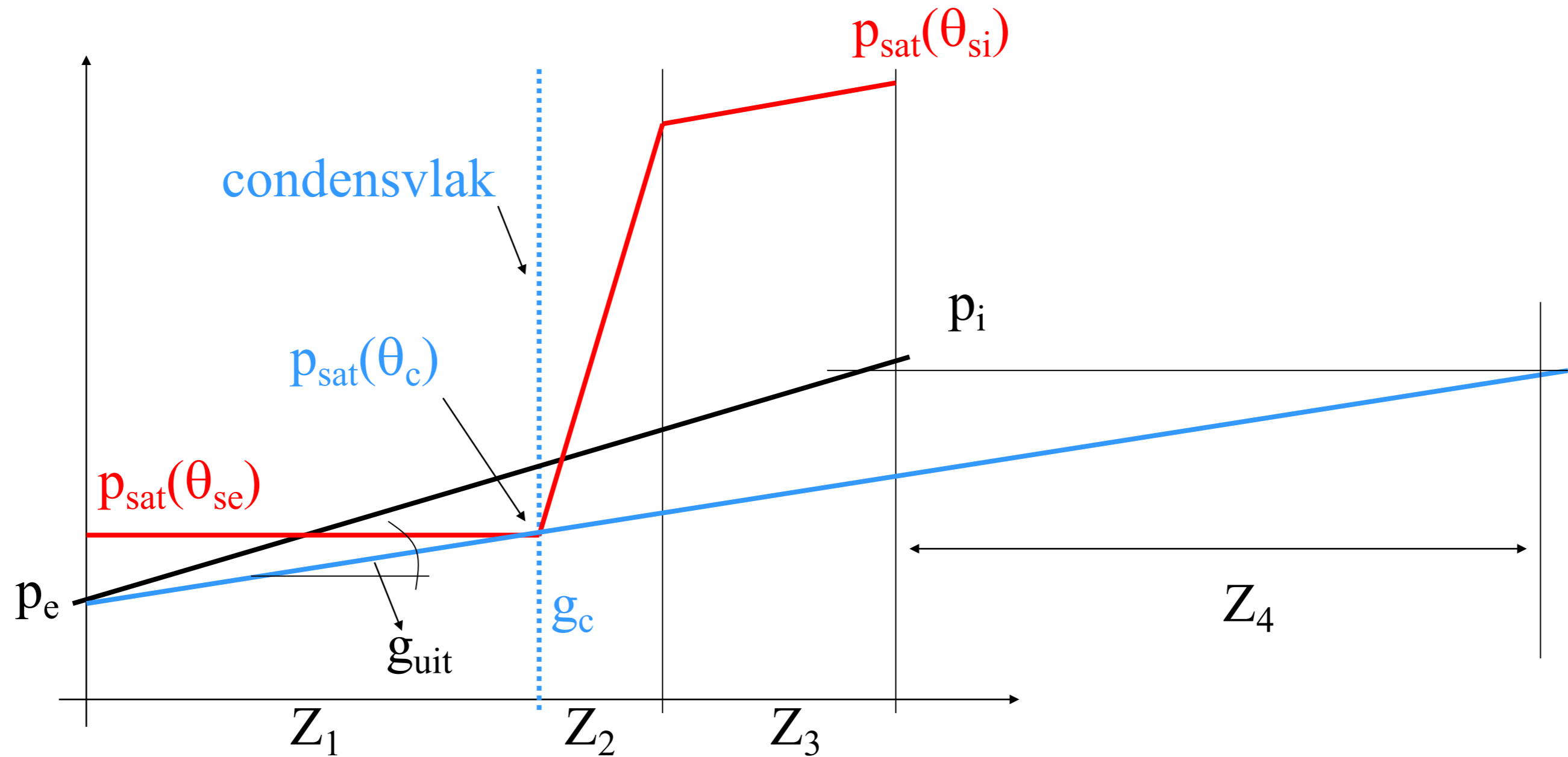
Mogelijke maatregelen:

- Lagere dampdruk binnen
- Lagere diffusieweerstand aan koude zijde isolatie
- Hogere diffusieweerstand aan warme zijde isolatie

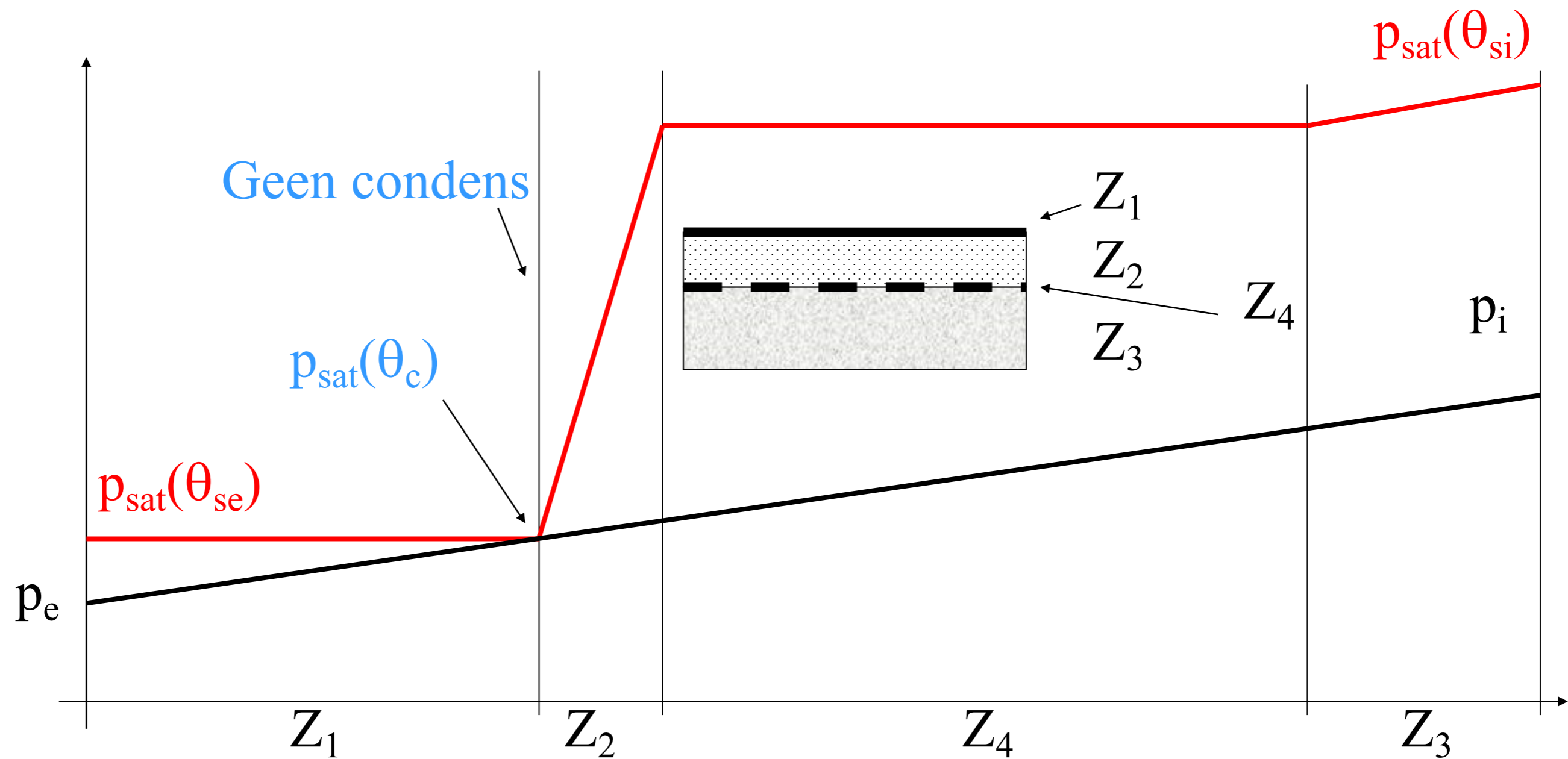
Dampscherm verhindert damptransport naar condensatievlak:

Welke μ_d -waarde nodig? Afhankelijk van p_i en van $Z_2 + Z_3$

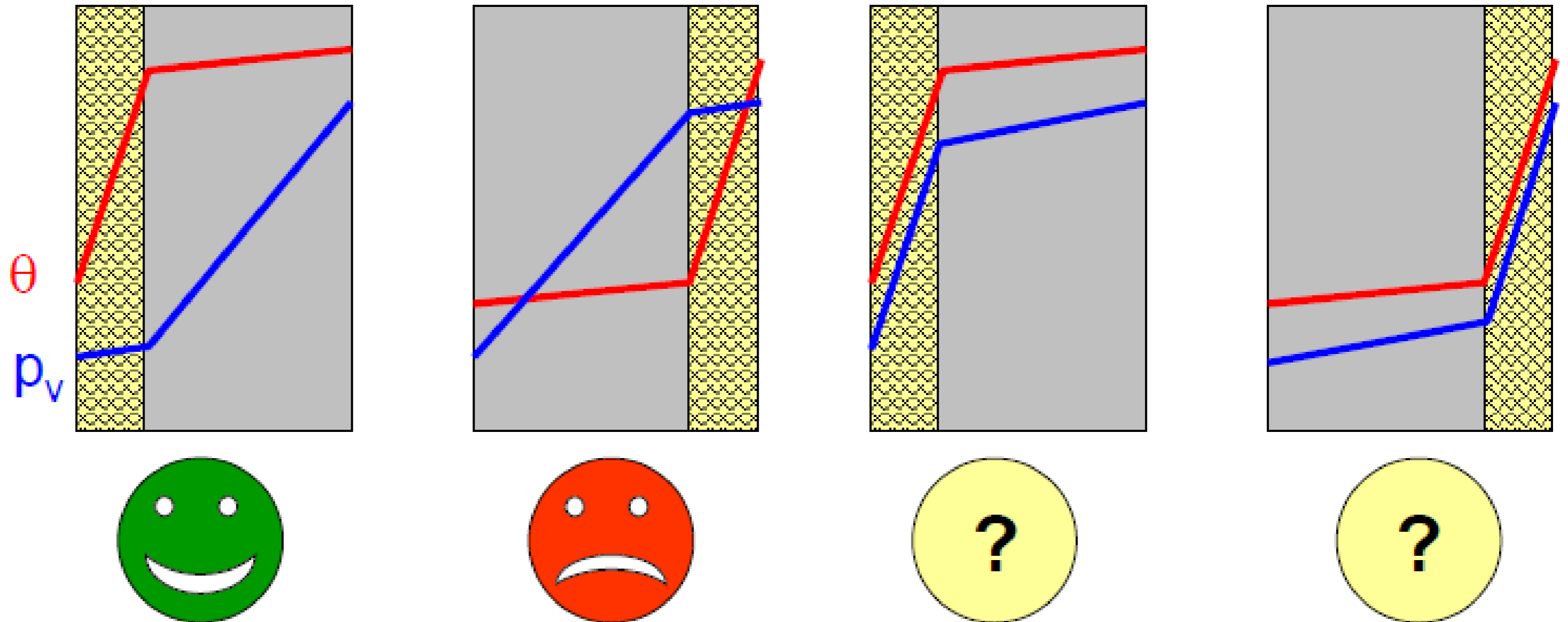
INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 5: MAATREGELLEN



INWENDIGE CONDENSATIE: METHODE VAN GLASER- STAP 5: MAATREGELEN



INWENDIGE CONDENSATIE: KANS OP INWENDIGE CONDENSATIE INTUÏTIEF INSCHATTEN

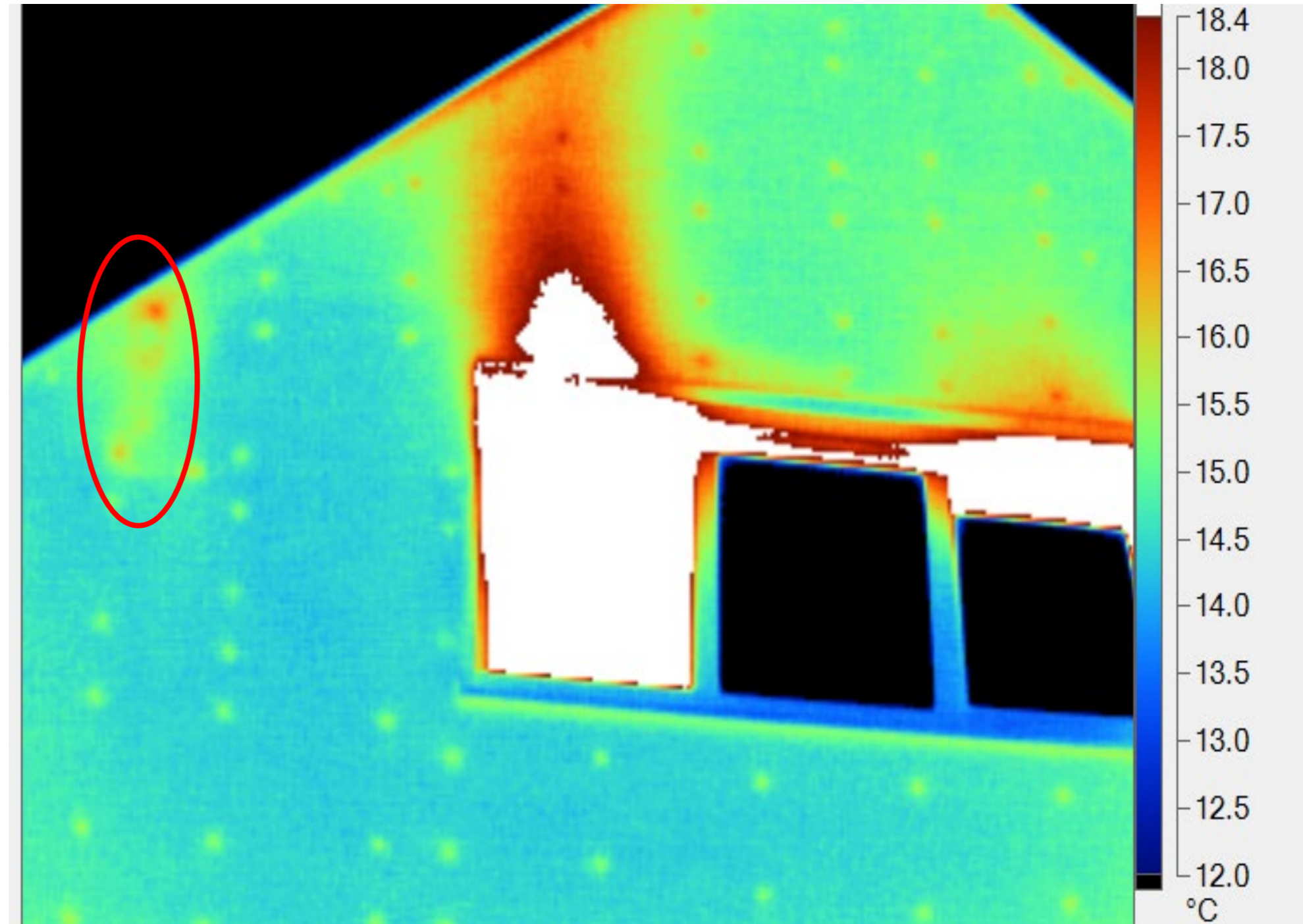


CASE



UNIVERSITEIT
GENT

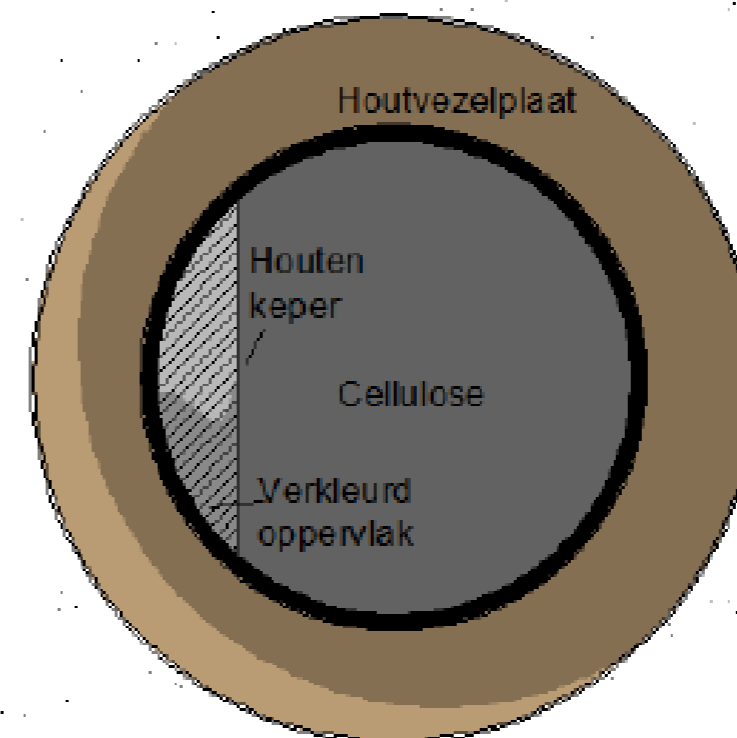
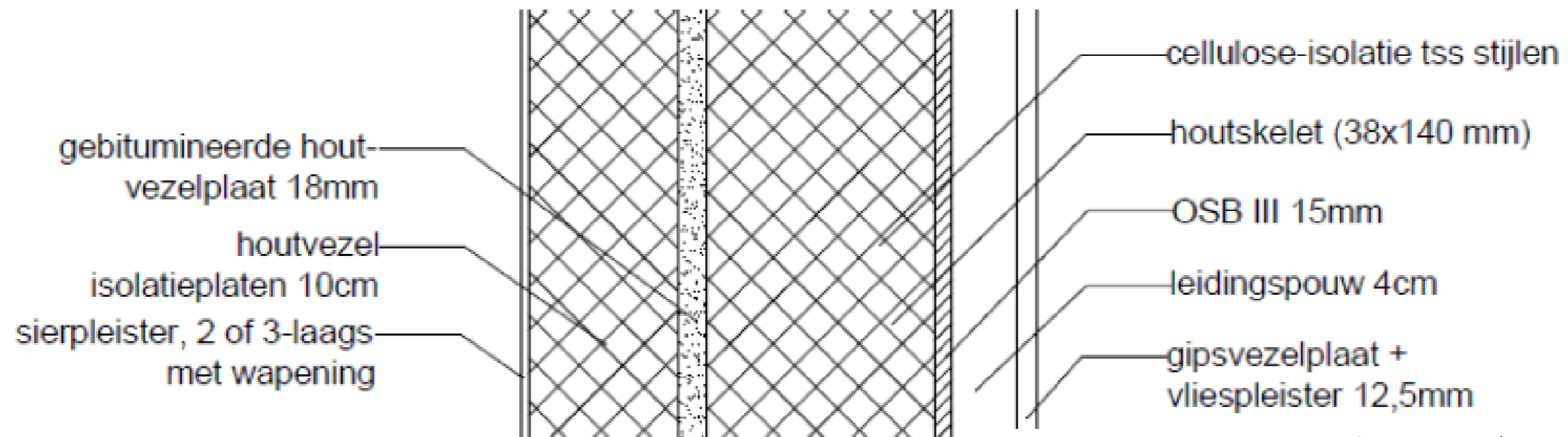
CASE



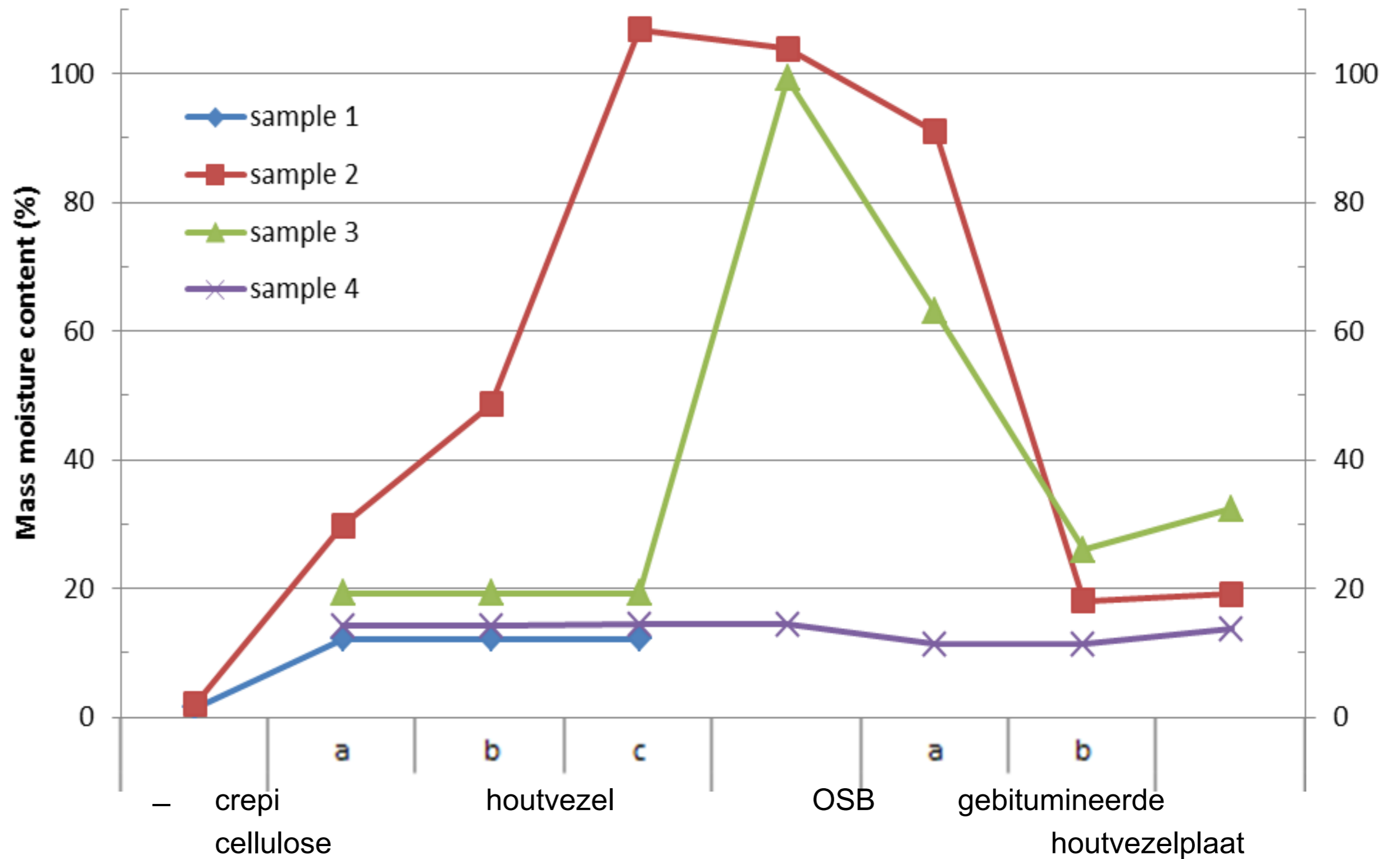
CASE



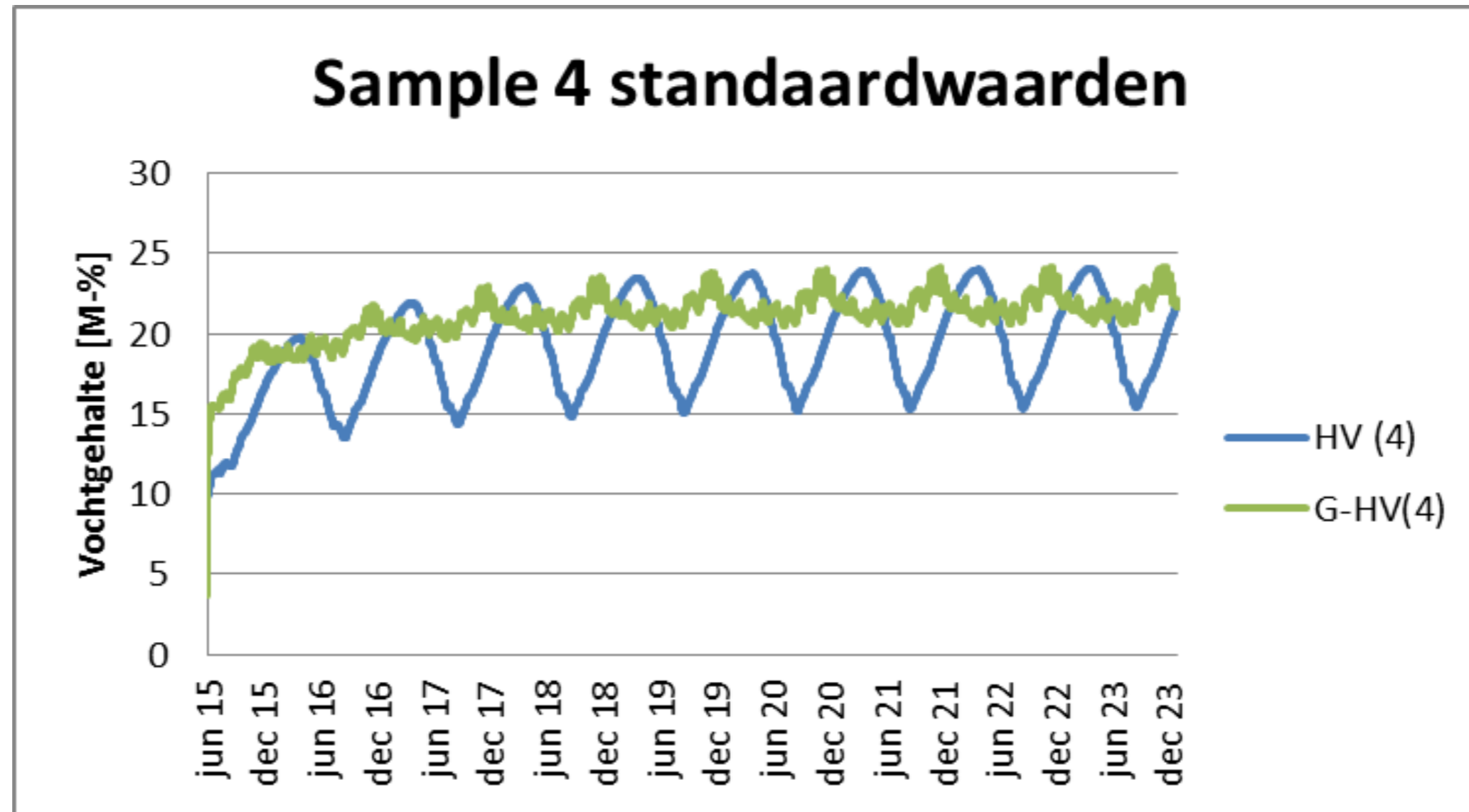
CASE



CASE

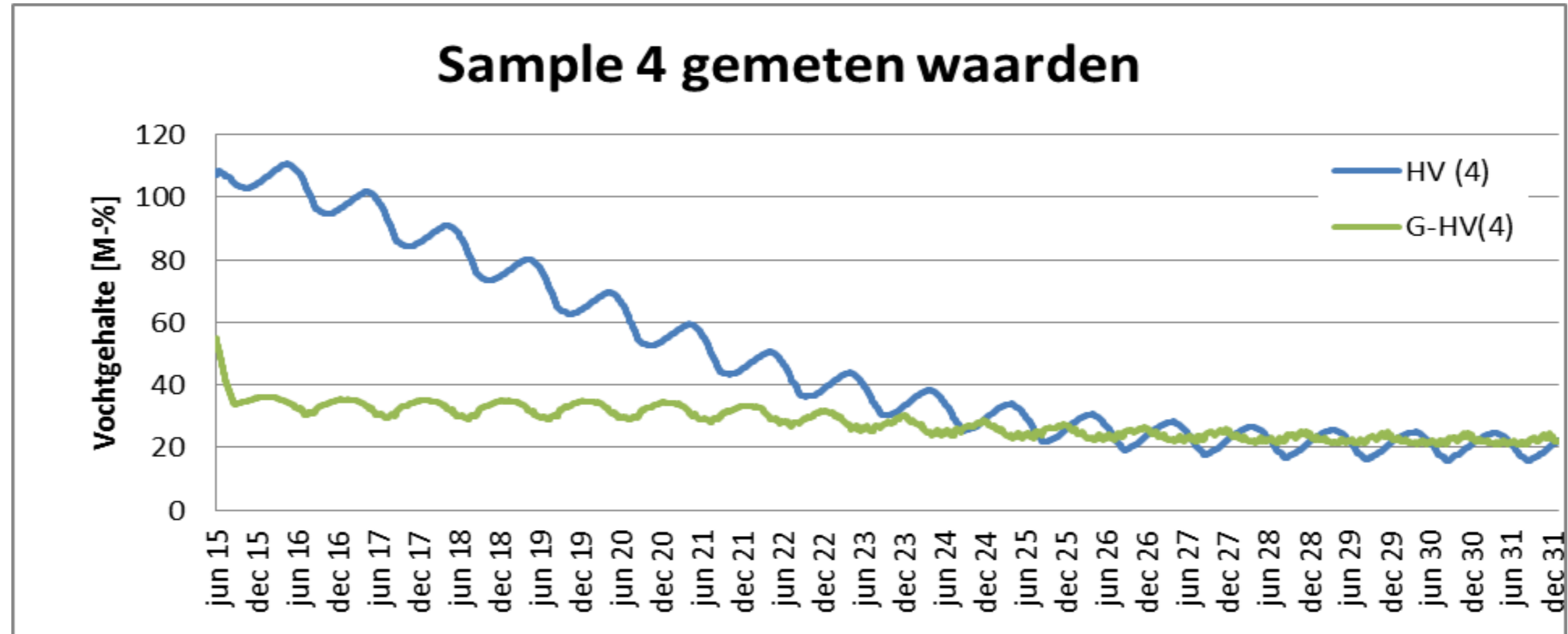


CASE



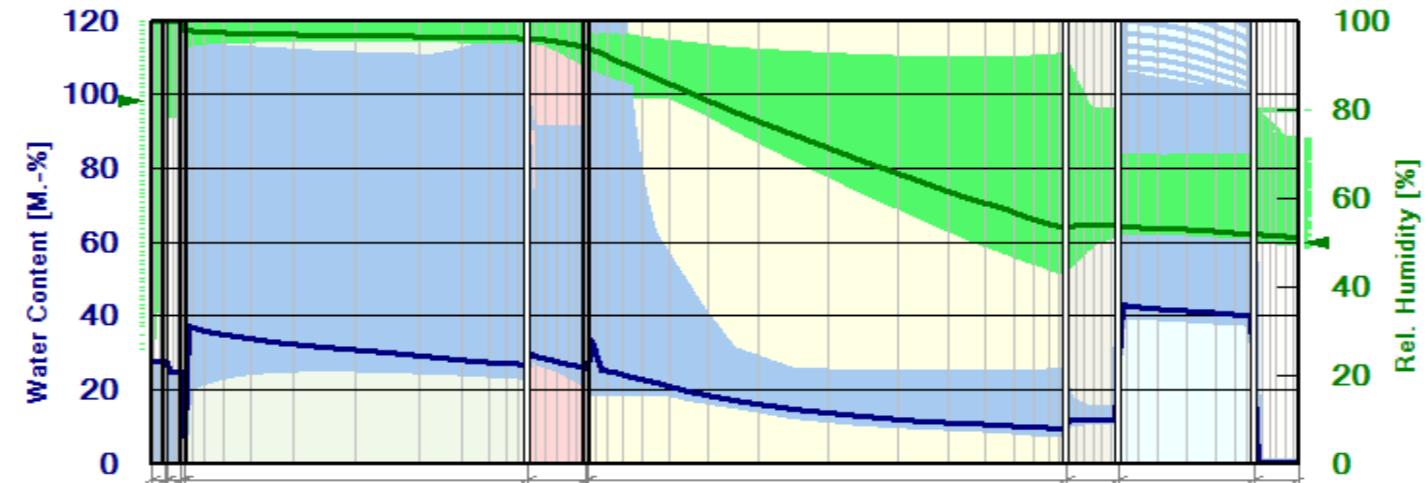
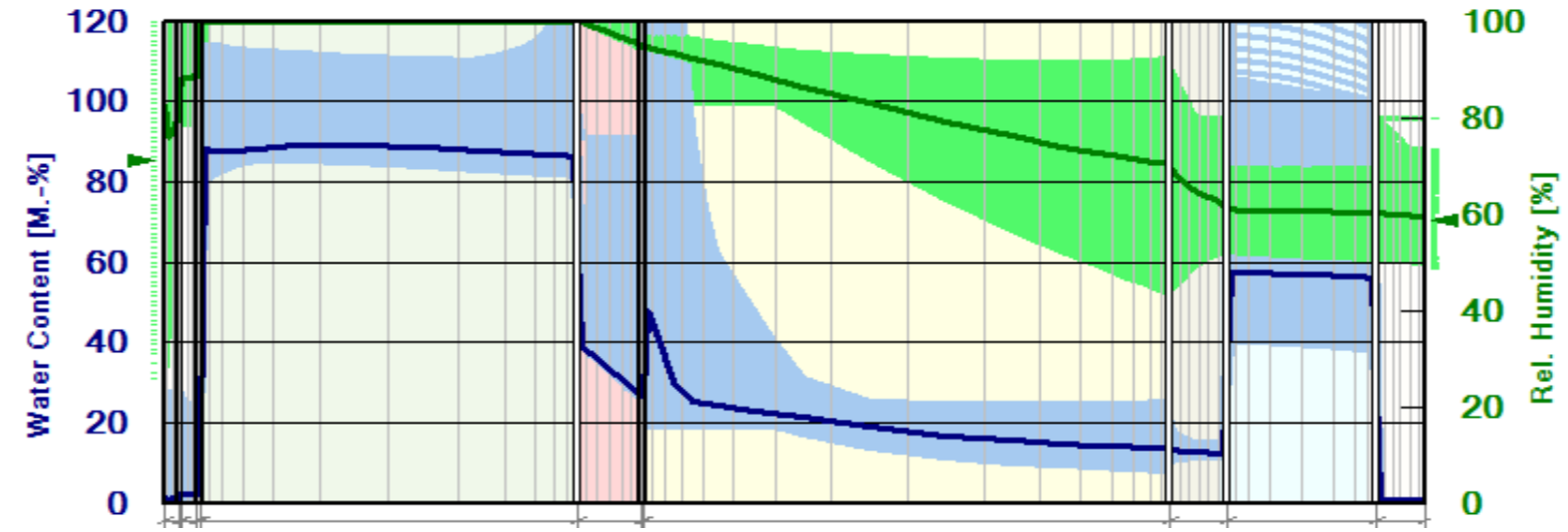
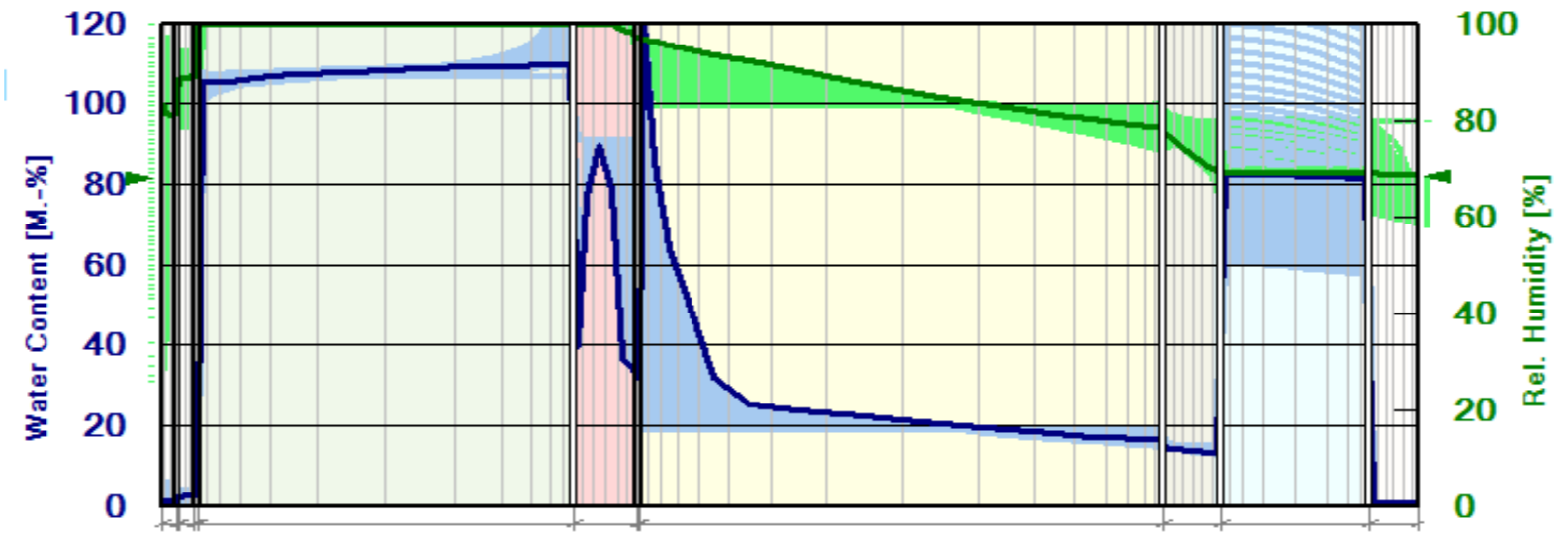
- Zonder waterinfiltratie
- - vochtgehaltes > 20M%
- - criterium echter onduidelijk

CASE



- Als we rekenen met het huidige vochtgehalte:
 - Duurt circa 8 jaar voor het geheel stabiliseert
 - Dampdichtheid systeem 0,2m
 - In de veronderstelling dat er geen waterinfiltraties meer plaatsvinden...

CASE



INLEIDING

TRANSPORT VAN WATERDAMP

VOCHTIGE LUCHT

DAMPDIFFUSIE

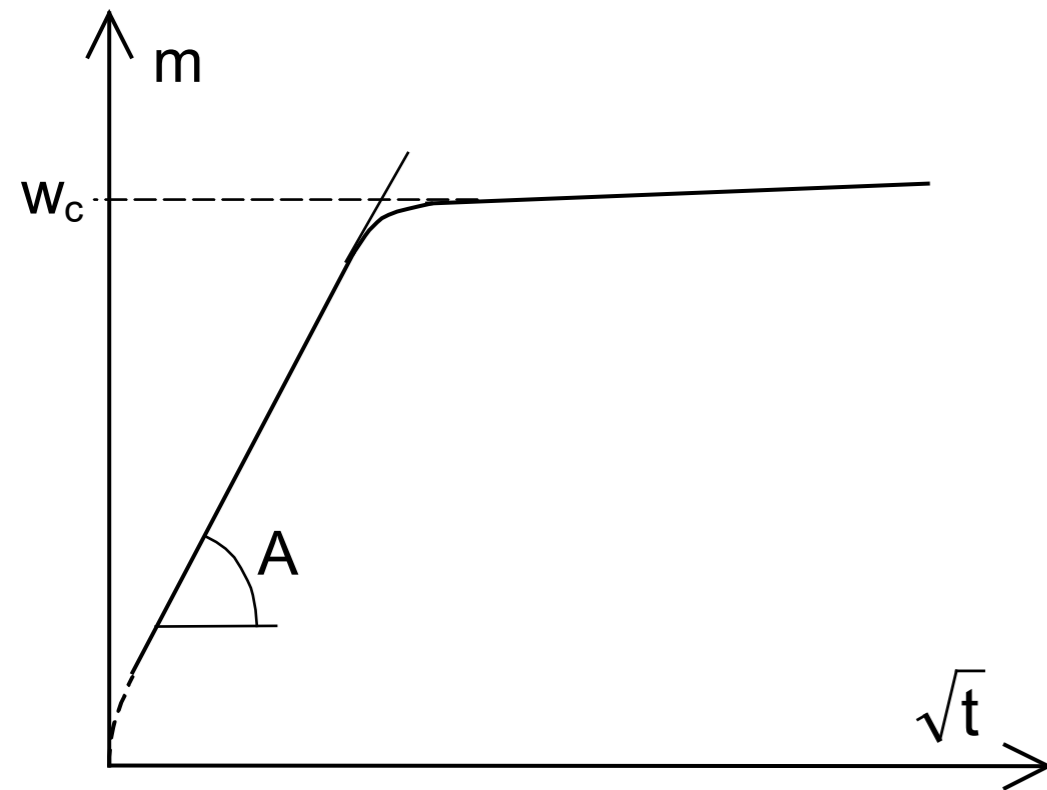
CONVECTIEF DAMPTRANSPORT

VOCHTBEHEERSING VAN GEBOUWEN

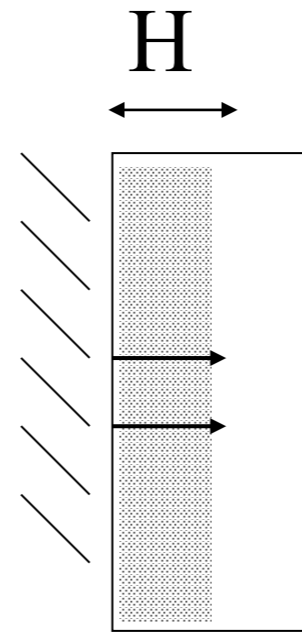
VOORBEELD OPPERVLAKTECONDENSATIE

- Slaapkamer winterdag
 - $\theta_i = 15^\circ\text{C}$, $p_i = 1200 \text{ Pa}$ ($\theta_{i,D} = 9.7^\circ\text{C}$)
 - $\theta_e = 0^\circ\text{C}$
- Enkel glas, $U = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $\theta_{si} = \theta_i - U(\theta_i - \theta_e)/\alpha_i = 3.75^\circ\text{C} < \theta_{i,D} = 9.7^\circ\text{C}$
 - $p_{si} = p_{\text{sat}}(\theta_{si}) = 800 \text{ Pa}$
 - $g_c = \beta_i(p_i - p_{\text{sat}}(\theta_{si})) = 7.6 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^2/\text{s} = 0.66 \text{ kg/m}^2/\text{dag}$

CAPILLAIR TRANSPORT



1 uur
Slagregen



Indringdiepte H
vochtfront?

– Beton (fijnporeus):

– $A = 0.02 \text{ kg/m}^2/\text{s}^{1/2}$

– $w_c = 100 \text{ kg/m}^3$

– $H = 0.012 \text{ m}$

– $m = 1.2 \text{ kg/m}^2$

– Baksteen (grofporeus):

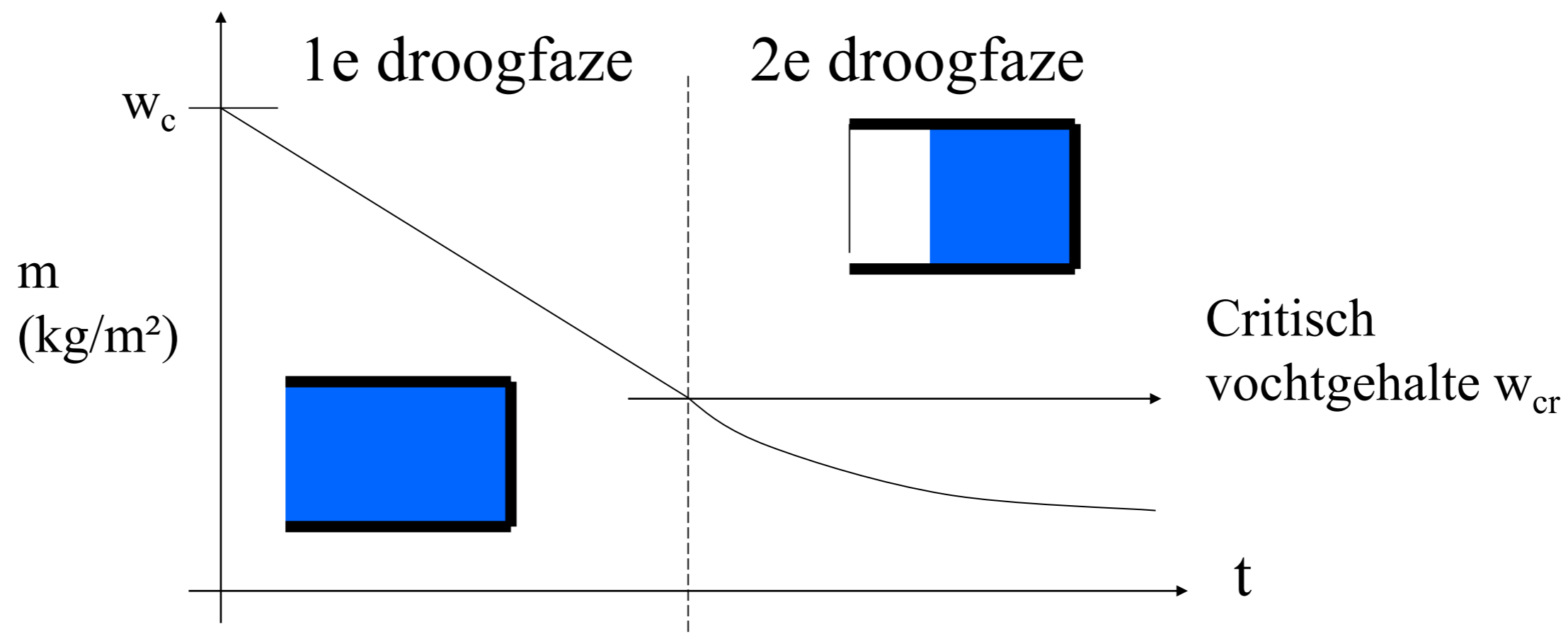
– $A = 0.50 \text{ kg/m}^2/\text{s}^{1/2}$

– $w_c = 300 \text{ kg/m}^3$

– $H = 0.10 \text{ m}$

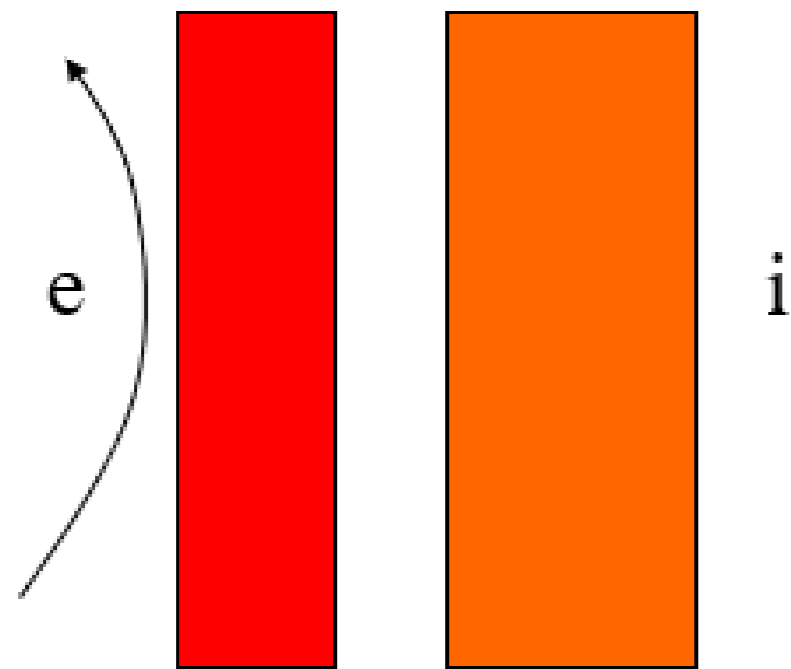
– $m = 30 \text{ kg/m}^2$

DROGING



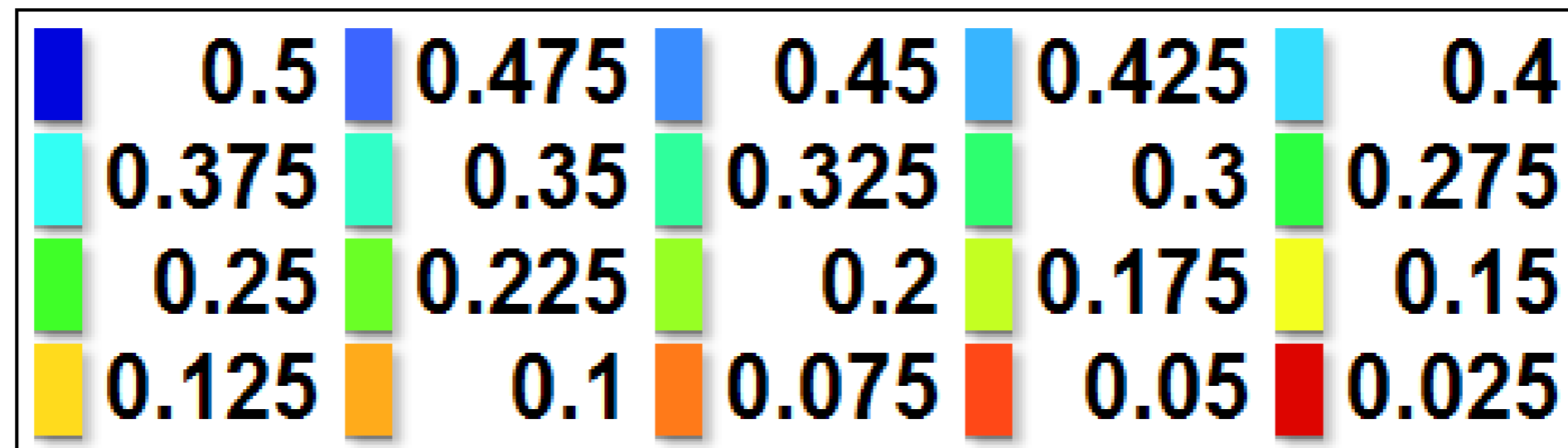
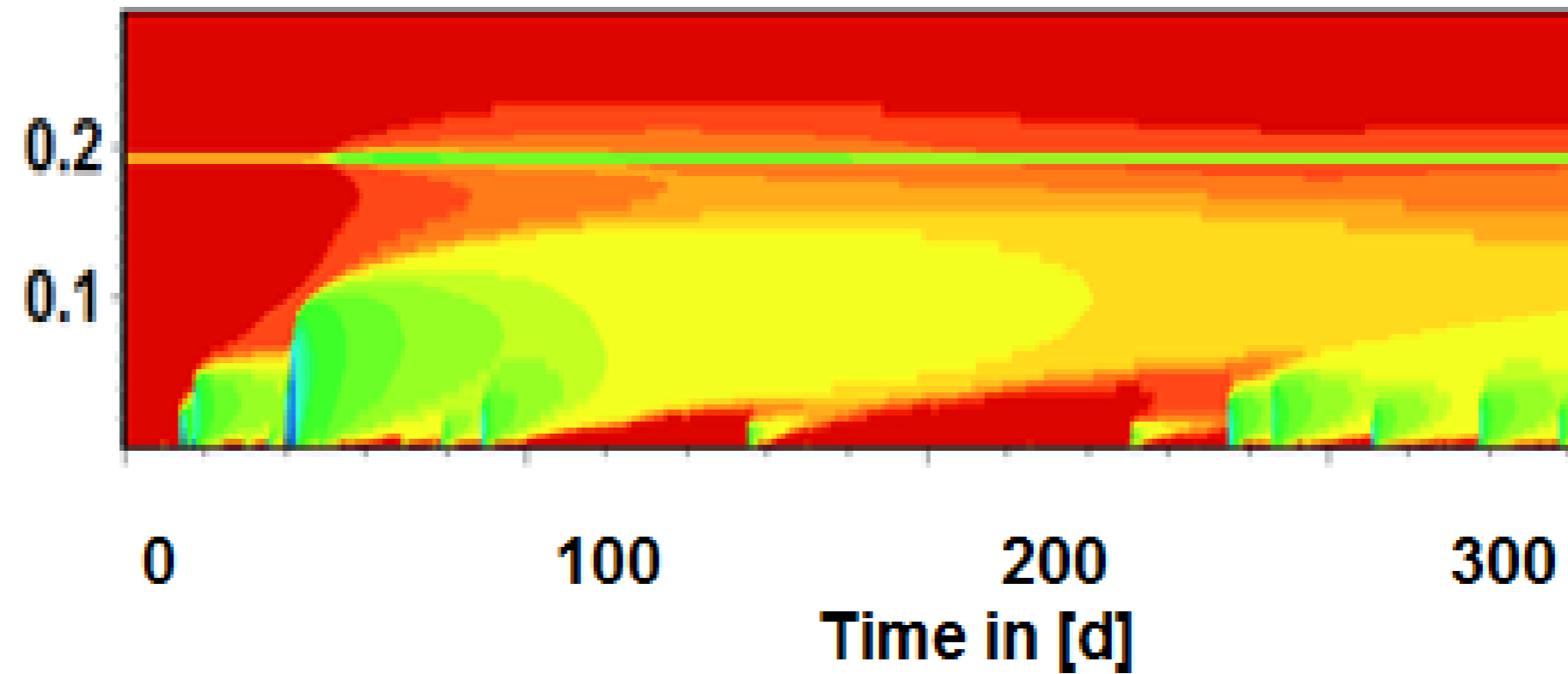
- Constante droogsnelheid
- Verdamping aan oppervlak
- Convectieve droging
- Afnemende droogsnelheid
- Vochtfront trekt zich terug in materiaal
- Droging door diffusie

BEREKENING DROGING

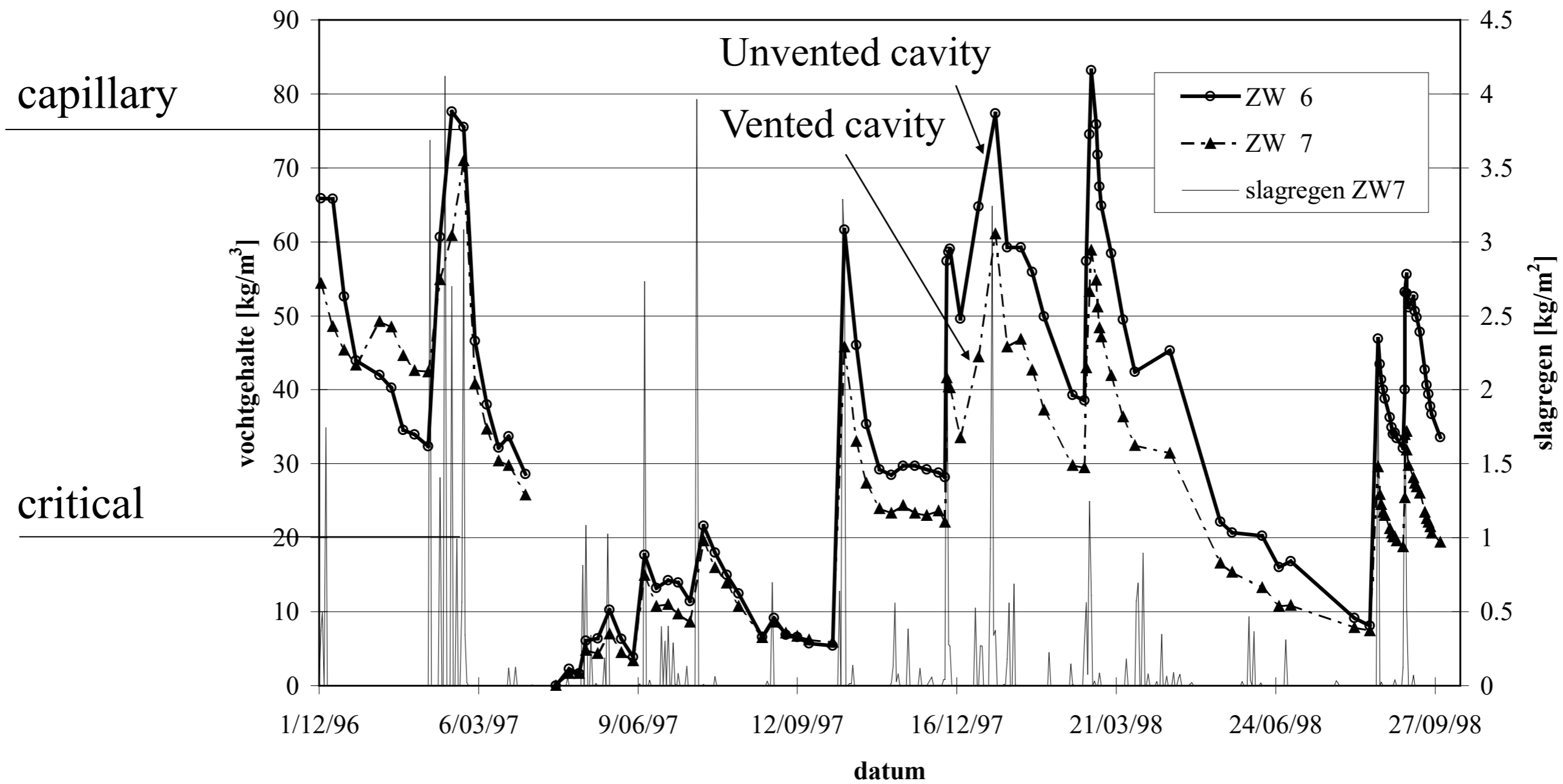


$\theta = 10^{\circ}\text{C}$, $\phi = 85\%$
 $p_{\text{sat}} = 1227 \text{ Pa}$
(jaargemiddelde
waarden)

- Beton:
 - $\mu = 100$
 - $w_{\text{sat}} = 150$
 - $w_{\text{c}} = 120$
 - $w_{\text{cr}} = 100$
 - $w_{\text{h}}(85\%) = 80$
- Droogduur:
 - $t_1 = 0.8$ dagen
 - $t_2 = 7$ jaar
- Baksteen:
 - $\mu = 10$
 - $w_{\text{sat}} = 450$
 - $w_{\text{c}} = 300$
 - $w_{\text{cr}} = 100$
 - $w_{\text{h}}(85\%) = 5$
- Droogduur:
 - $t_1 = 8$ dagen
 - $t_2 = 3$ jaar



EXAMPLE: MOISTURE CONTENT BRICK WALL



Conclusion: brick walls subjected to rain loads will remain above the critical moisture content for a long time

INLEIDING

TRANSPORT VAN WATERDAMP

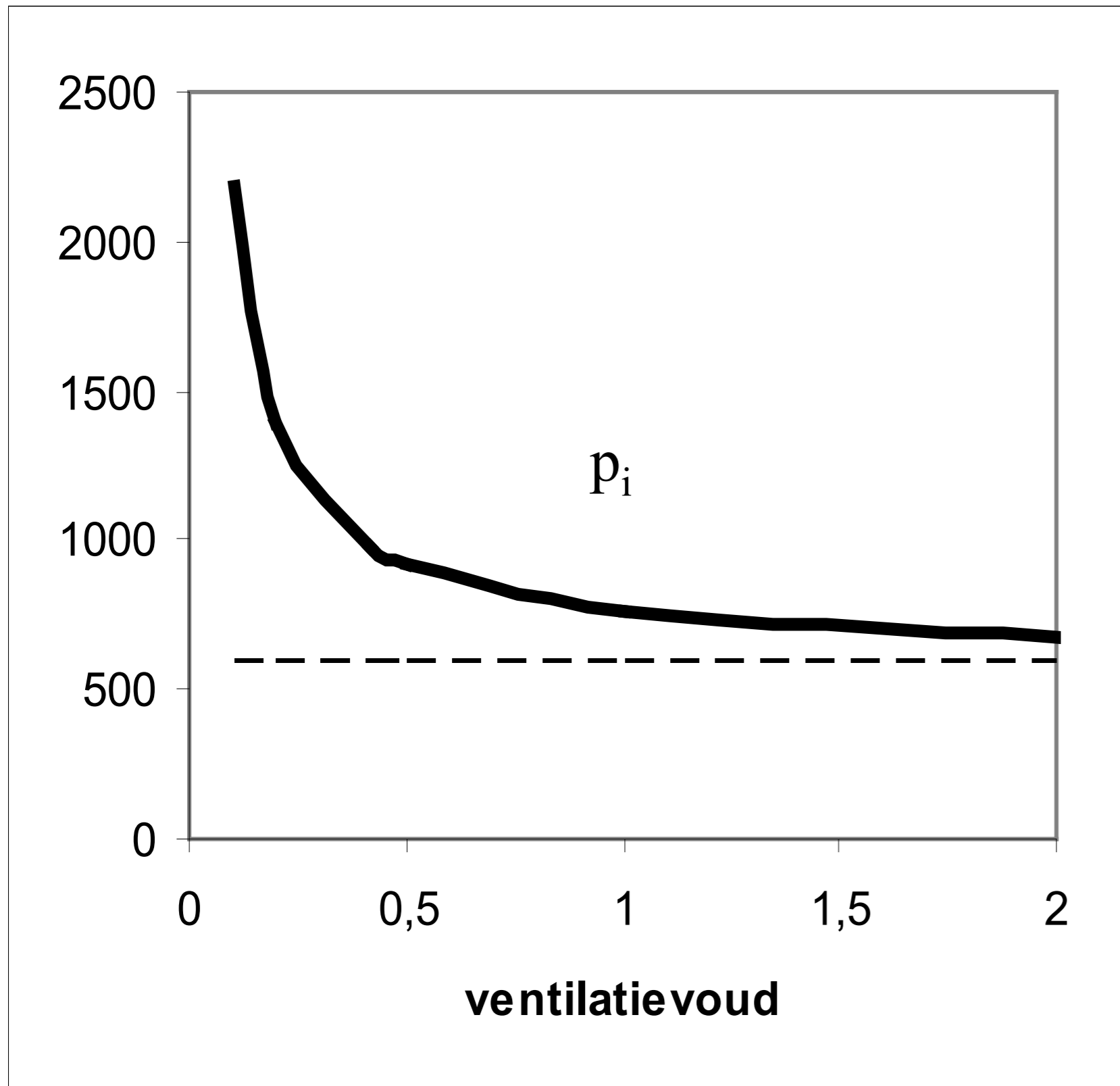
VOCHTIGE LUCHT

DAMPDIFFUSIE

CONVECTIEF DAMPTRANSPORT

VOCHTBEHEERSING VAN GEBOUWEN

VOCHT EN VENTILATIEBALANS



$$p_i = p_e + \frac{R_v T_i}{nV} G_p$$

[kg/h] (pointing to G_p)
[1/h] (pointing to nV)

$$p_i = p_e + \frac{\text{dampproductie}}{\text{ventilatie}}$$

Binnen gemiddeld vochtiger dan buiten

Weinig ventilatie = vochtig binnenklimaat

BINNENKLIMAATKLASSEN

BKK laat toe in ontwerpfase een inschatting van vochtbelasting te maken

Binnenklimaatklassen	Voorbeelden	Gemiddelde jaarlijkse dampspanning p_i [Pa]	Gemiddelde dampspanning voor de maanden december en januari p_i [Pa]	Dampspanning sverschil voor 4 weken $p_i - p_e$ [Pa]
1 - Gebouw met weinig tot geen vochtproductie	Magazijn (droge goederen) Kerk, tentoonstellingsruimte, garage, werkplaats	$1\ 100 \leq p_i < 1\ 165$	$955 \leq p_i < 1\ 020$	$< 159 - 10 \cdot \Theta_e$
2 - Goed verlucht gebouw met beperkte vochtproductie per m ³	Grote woonhuizen, scholen, winkels Kantoren zonder klimaatregeling Sportzalen, polyvalente zalen	$1\ 165 \leq p_i < 1\ 370$	$1\ 020 \leq p_i < 1\ 225$	$< 436 - 22 \cdot \Theta_e$
3 - Gebouw met matige vochtproductie per m ³ en matige tot toereikende ventilatie (RV = 60 %)	Kleine woningen, flats Ziekenhuizen, opvangcentra Verbruikzalen, restaurants Feestzalen, theaters Licht geklimatiseerd gebouw	$1\ 370 \leq p_i < 1\ 500$	$1\ 225 \leq p_i < 1\ 355$	$< 713 - 22 \cdot \Theta_e$
4 - Gebouw met grote vochtproductie (RV > 60 %)	Sterk geklimatiseerd gebouw Vochtige industriële gebouwen: drukkerij	$1\ 500 \leq p_i < 1\ 700$	$1\ 355 \leq p_i < 1\ 700$	$< 1\ 028 - 22 \cdot \Theta_e$
5 - Gebouw met zeer grote vochtproductie	Zeer vochtige industriële gebouwen: papierfabriek Zwembad	$p_i \geq 1\ 700$	$p_i \geq 1\ 700$	$\geq 1\ 028 - 22 \cdot \Theta_e$

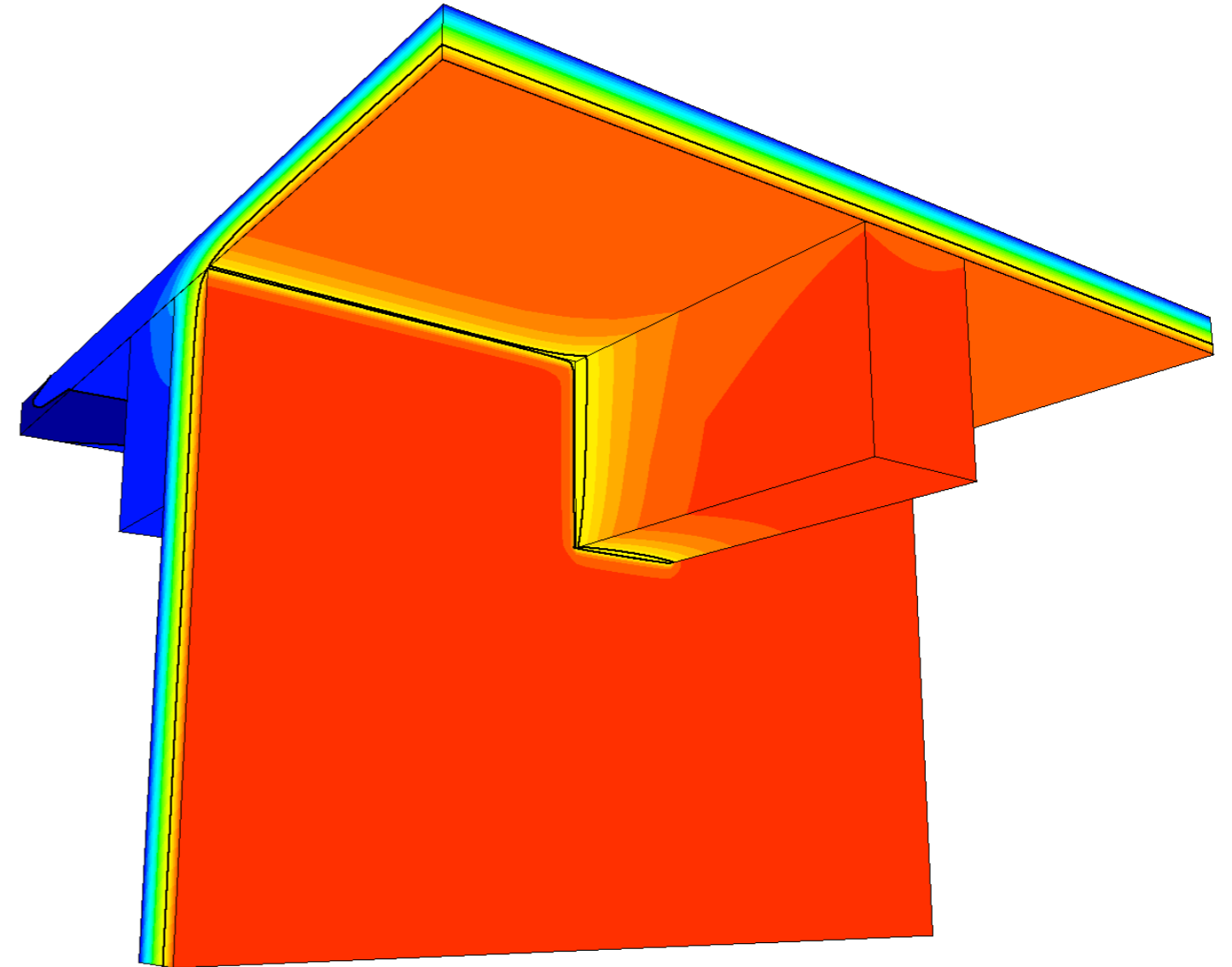
CRITERIA VOOR THERMISCHE KWALITEIT

Algemene indicator voor
thermische kwaliteit
gebouwschil

Temperatuurfactor f :

$$f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Dimensieloze temperatuur
aan binnenoppervlak



TOESTANDSVERANDERINGEN

Oefening

Binnen is het 20°C en 55% RV.

Vanaf welke temperatuursfactor zal er condens op een raamprofiel staan?



BINNENKLIMAATKLASSEN

NBN B25-002-1

6.8.3.3.5 Aanbevelingen voor de keuze van de minimumtemperatuurfactor f_{Rsi}

Aan de hand van Tabel 7 kan men zich voor de keuze van deze factor richten naar de binnenklimaatklasse en naar de buitentemperatuur in de klimaatzones op de kaart van België in Afbeelding 13. Voor elke binnenklimaatklasse werd het gemiddelde binnenklimaat als referentie genomen.

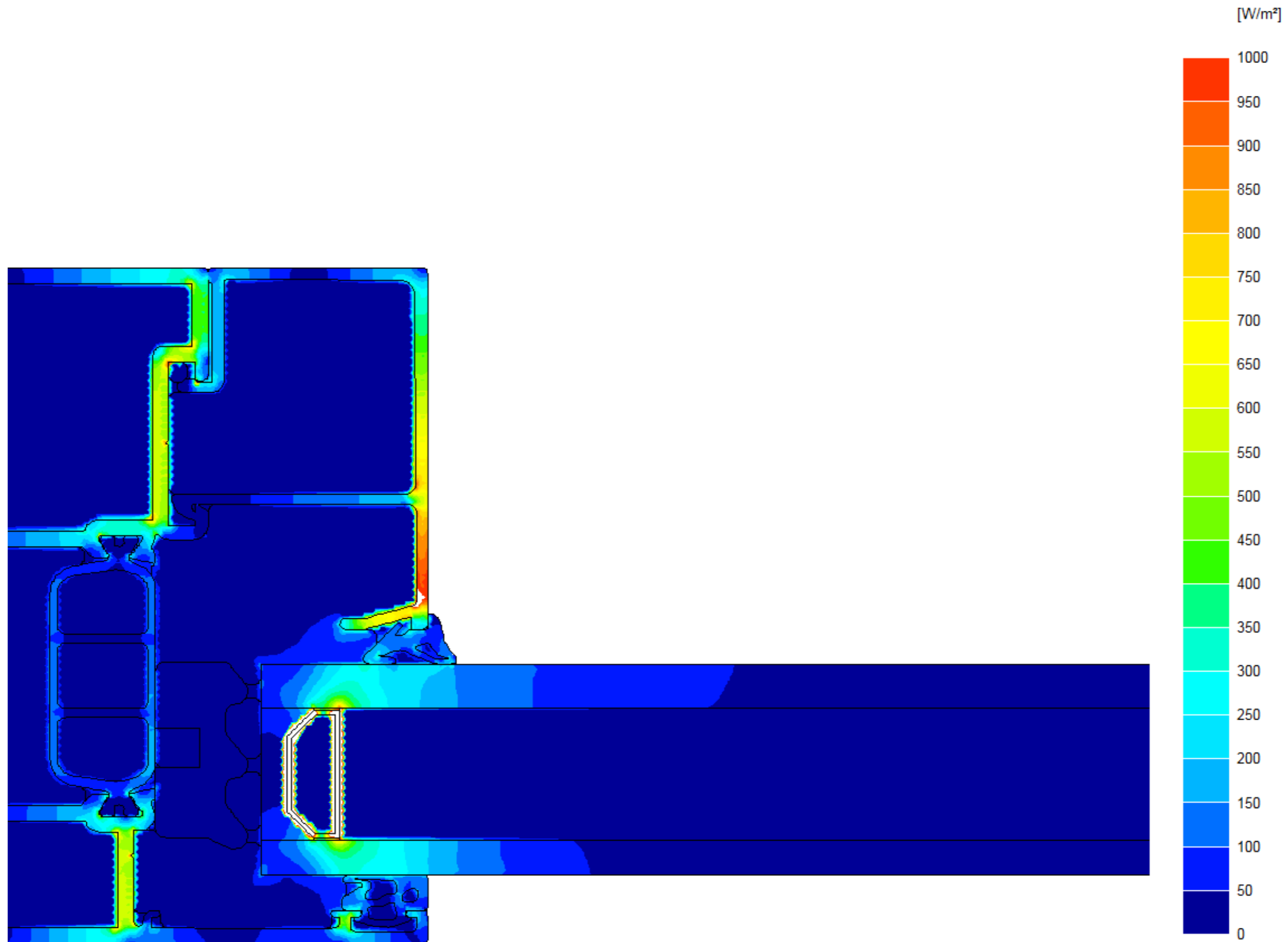
Tabel 7 - Minimumtemperatuurfactoren f_{Rsi}

Buiten Zones	Binnen - op basis van december en januari														
	Klasse 1 $p_{i \text{ gemid geb.}} = 987 \text{ Pa}$			Klasse 2 $p_{i \text{ gemid geb.}} = 1122 \text{ Pa}$			Klasse 3 $p_{i \text{ gemid geb.}} = 1290 \text{ Pa}$			Klasse 4 $p_{i \text{ gemid geb.}} = 1527 \text{ Pa}$			Klasse 5 $p_{i \text{ gemid geb.}} = 2185 \text{ Pa}$		
$\Theta_e \text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta_i \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi \text{ } \%$	$\Theta_{si} \text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta_i \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi \text{ } \%$	$\Theta_{si} \text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta_i \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi \text{ } \%$	$\Theta_{si} \text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta_i \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi \text{ } \%$	$\Theta_{si} \text{ }^\circ\text{C}$	$\Theta_i \text{ }^\circ\text{C}$	$\varphi \text{ } \%$	$\Theta_{si} \text{ }^\circ\text{C}$
	18	48	7	19	51	8,6	20	55	11	22	58	13,7	26	65	19
-2		0,45			0,50			0,59			0,65			0,75	
-3		0,48			0,53			0,61			0,67			0,76	
-4		0,50			0,55			0,63			0,68			0,77	
-5		0,52			0,57			0,64			0,69			0,77	
-6		0,54			0,58			0,65			0,70			0,78	
-7		0,56			0,60			0,67			0,71			0,79	
-8		0,58			0,61			0,68			0,72			0,79	

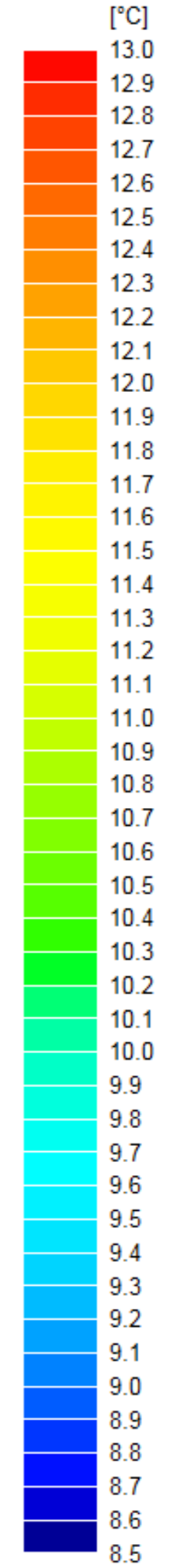
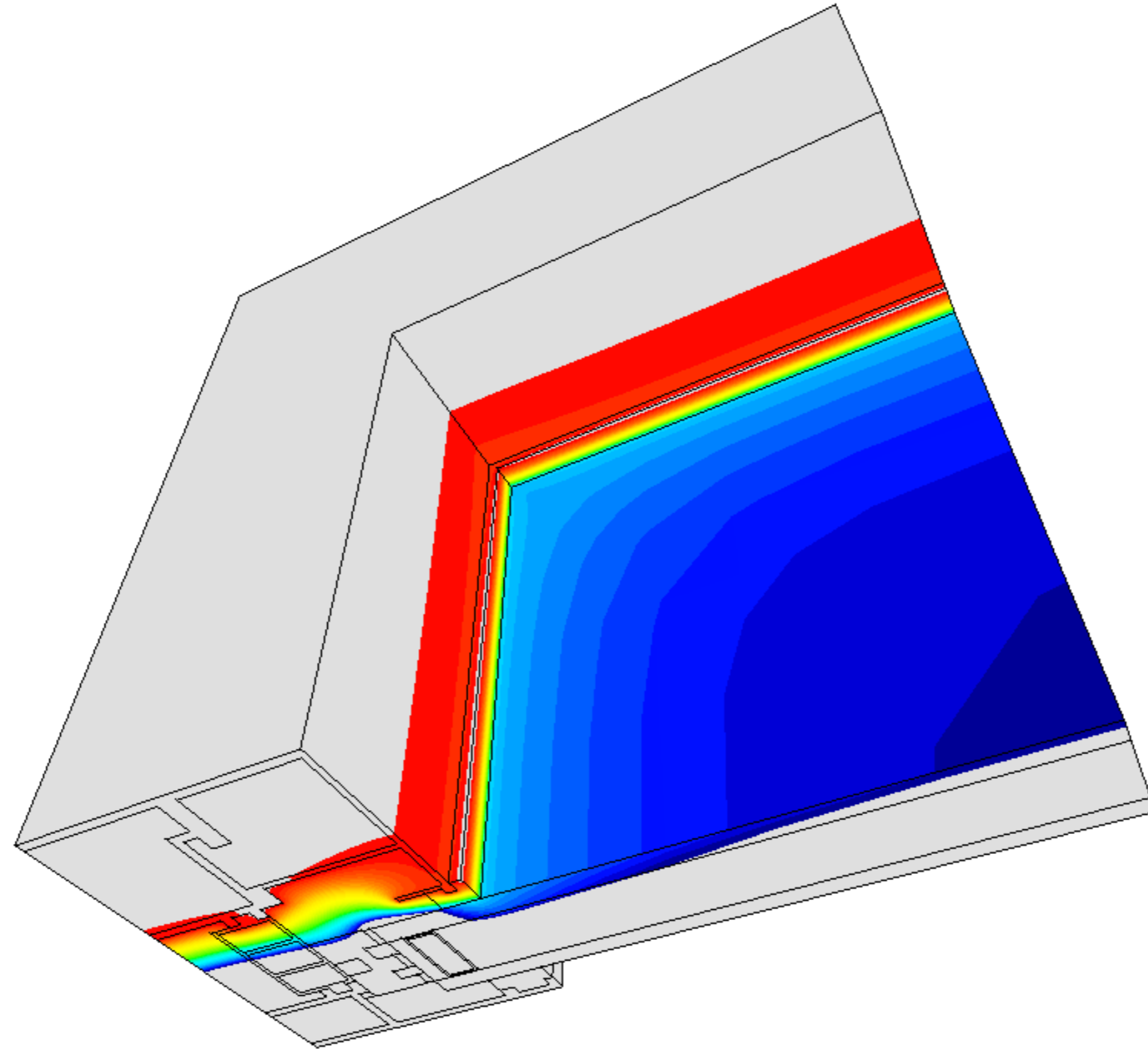
waarbij

- Θ_i = Gemiddelde temperatuur van de referentiebinnenlucht voor de klimaatklasse [$^\circ\text{C}$]
- Θ_e = Maandgemiddelde van de minimale dagtemperaturen van de buitenlucht [$^\circ\text{C}$]
- Θ_{si} = Minimale binnenoppervlaktetemperatuur of dauwpunt [$^\circ\text{C}$]

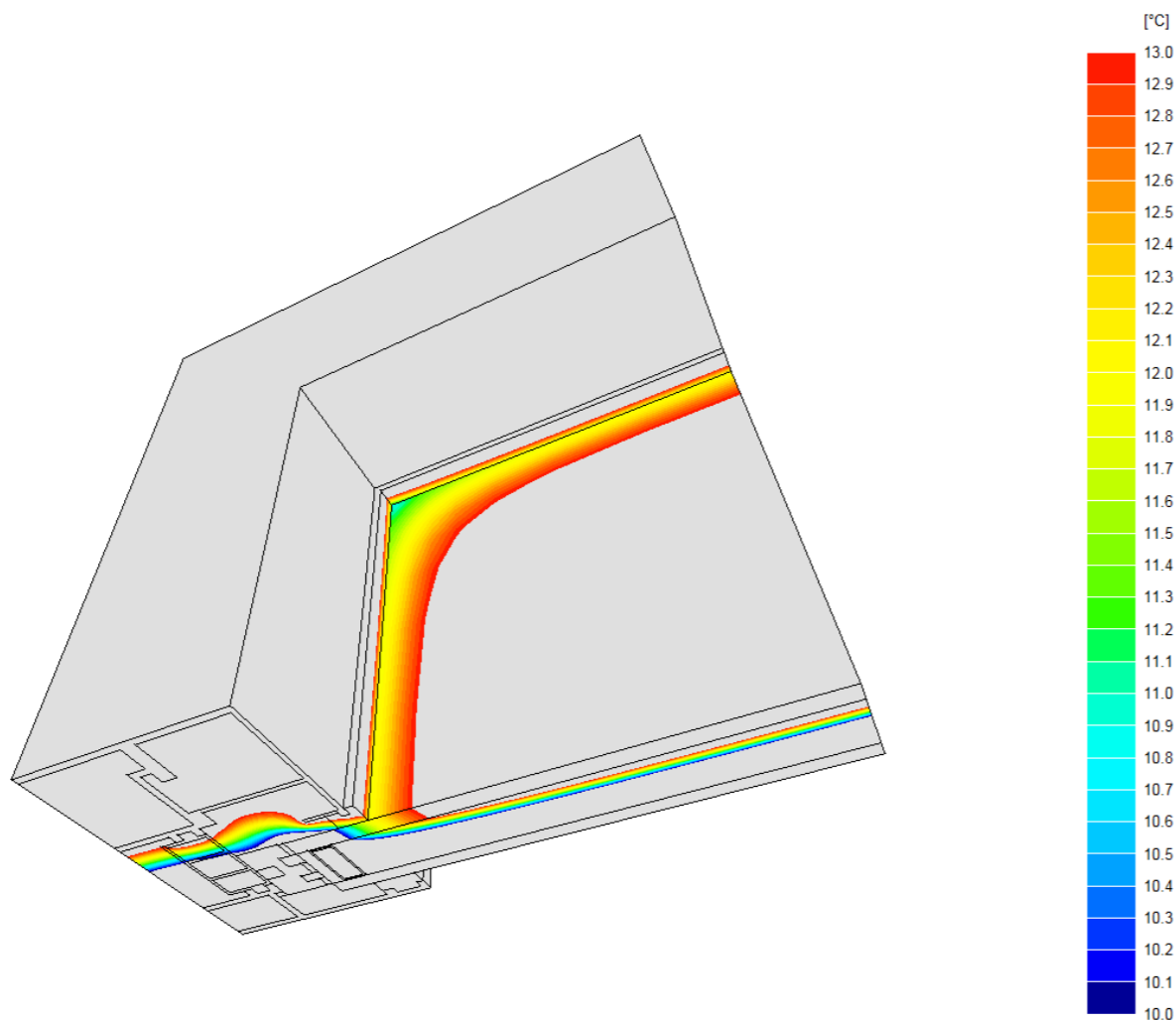
OPPERVLAKTECONDENSATIE



OPPERVLAKTECONDENSATIE



OPPERVLAKTECONDENSATIE



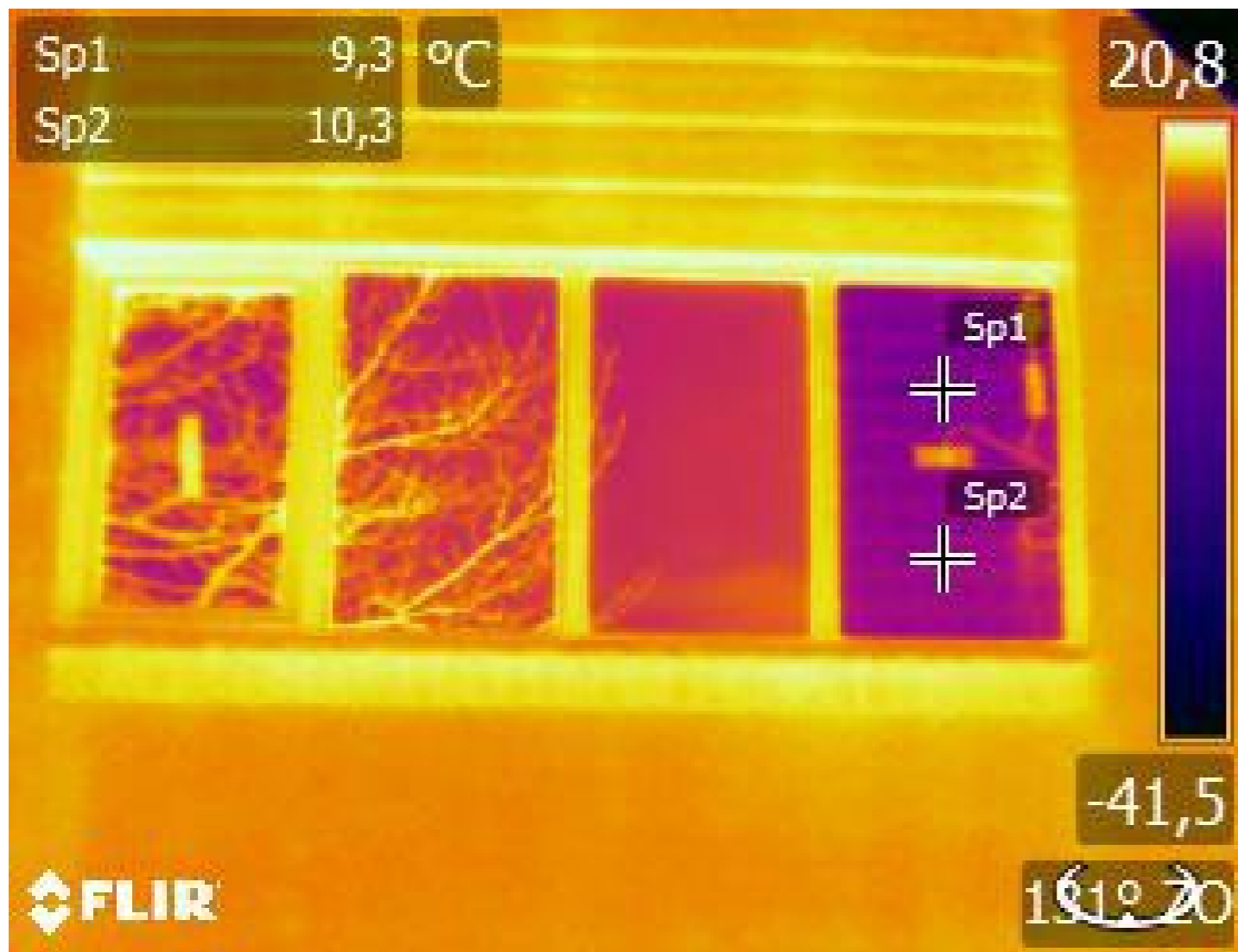
Condensatie aan de binnenzijde van het glas zal eerst onderaan optreden, met een lichte verhoging in de hoeken, een gevolg van de afstandshouders in het glas

OPPERVLAKTECONDENSATIE



Bij zeer lage buitentemperaturen is condensatie vaak niet te vermijden; zelfs bij $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ -glas, goede raamprofielen en normale afstandshouders kan men in dat geval condensatie aan de binnenkant van het raam verwachten

OPPERVLAKTECONDENSATIE



Bij thermisch goed isolerende beglazing kan men 's nachts zelfs condensatie aan de buitenzijde van het glas krijgen, vergelijkbaar met dauw op een grasveld

BEHEERSING VAN OPPERVLAKTE- CONDENSATIE EN SCHIMMEL

Groeicondities: isopleten

Oppervlakte-
condensatie:

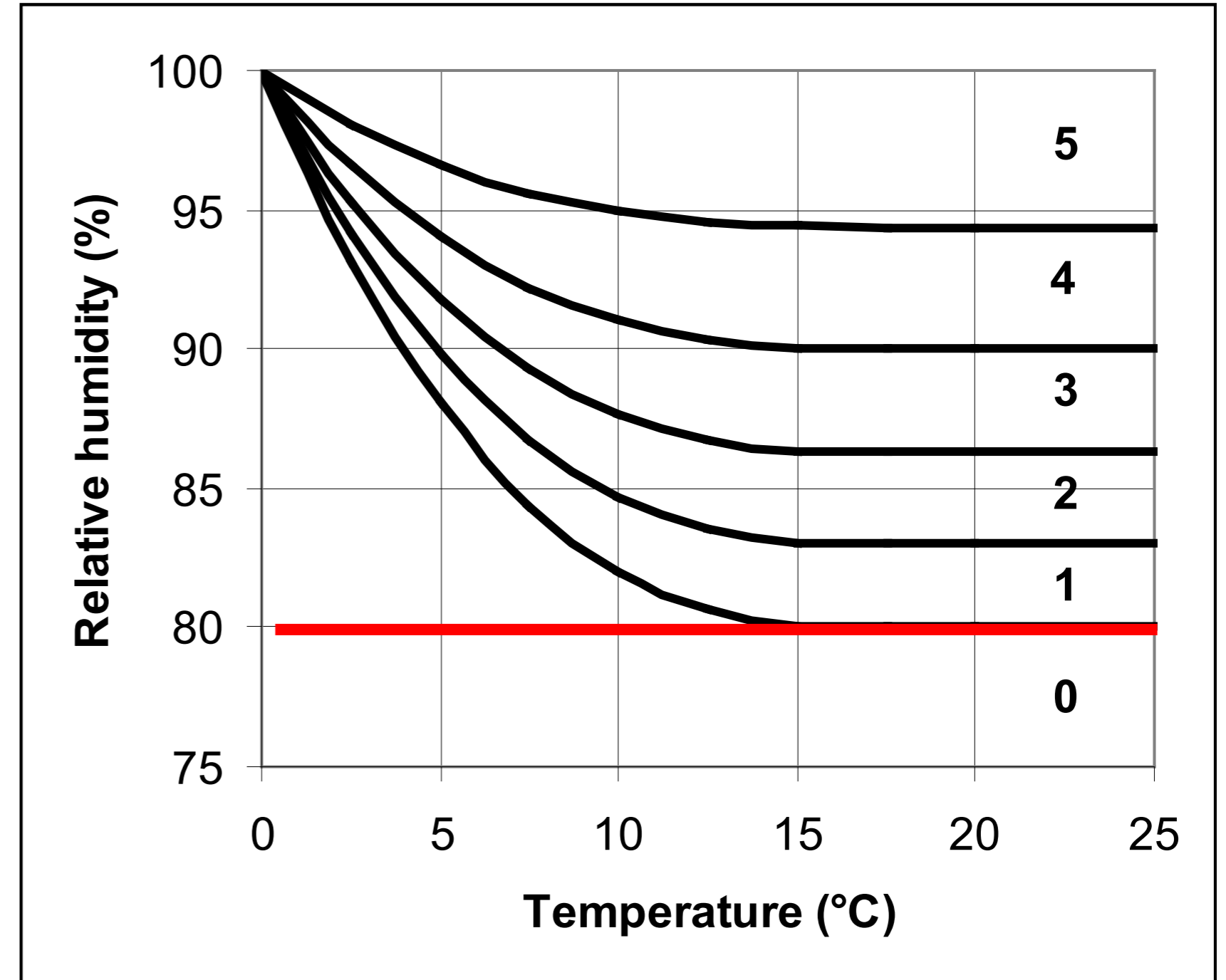
$$p_i \leq p_{sat}(\theta_{si})$$

Schimmelgroei
criterium?

$$\varphi_{si} \leq 0.8$$

$$p_i \leq 0.8 \cdot p_{sat}(\theta_{si})$$

1. Groei-initiatie
2. Groei zichtbaar onder microscoop
3. Zichtbare groei, spoorvorming
4. 10% schimmelaantasting
5. 50% schimmelaantasting



Praktische eis: relatieve vochtigheid
niet meer dan een maand boven 80%



BEHEERSING VAN OPPERVLAKTE- CONDENSATIE EN SCHIMMEL

Hoe?

$$p_i \leq 0.8 \cdot p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$$

$$p_i = p_e + \frac{R_v T_i}{nV} G_p$$

$$\theta_{\text{si}} = \theta_i - \frac{U}{\alpha_i} (\theta_i - \theta_e)$$

1. Voldoende ventilatie ifv dampproductie (nV/G_p)
2. Voldoende verwarmen (θ_i)
3. Voldoende thermische kwaliteit gebouwschil (U)
4. Gericht op kritische locaties: hoeken, achter kasten, ... (α_i)

Ontwerpmatig beheersbaar:
CRITERIUM?

CRITERIA VOOR THERMISCHE KWALITEIT

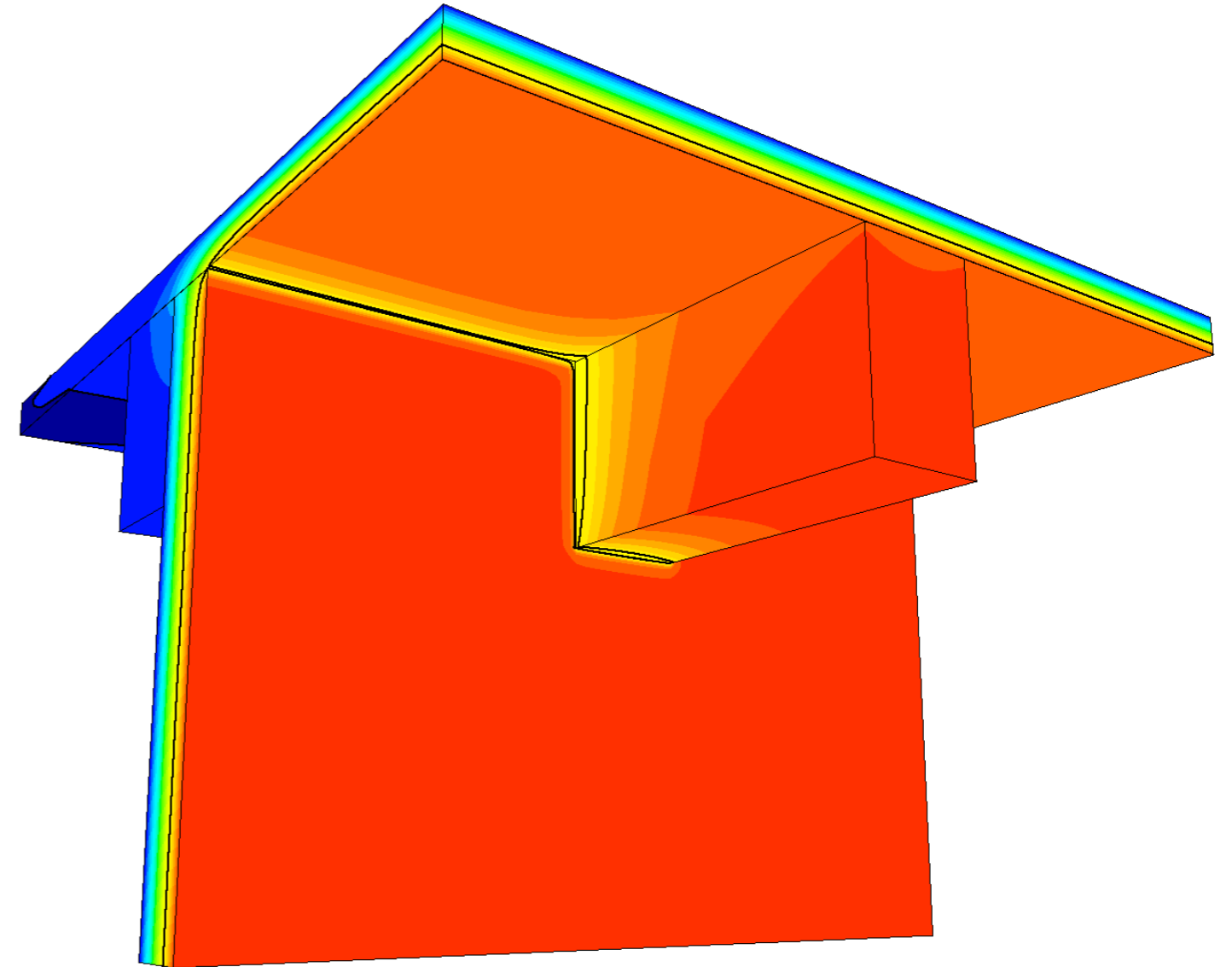
Algemene indicator voor
thermische kwaliteit
gebouwschil

Temperatuurfactor f :

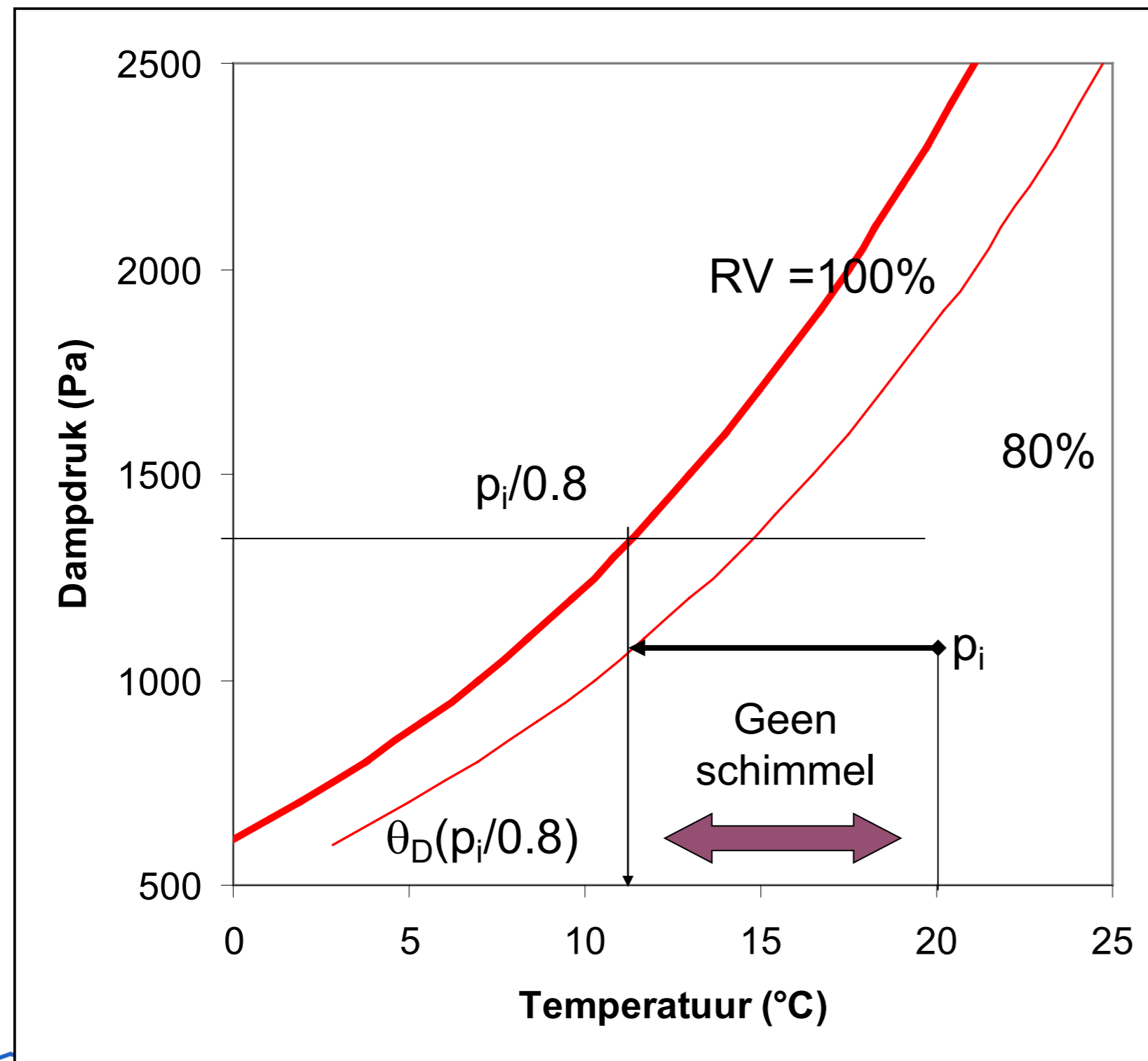
$$f = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Dimensieloze temperatuur
aan binnenoppervlak

Welke temperatuurfactor
nodig om schimmelvorming
te voorkomen?



CRITERIA VOOR THERMISCHE KWALITEIT



– Vermijden van schimmelontwikkeling:

- Relatieve vochtigheid aan oppervlak kleiner dan 80%
- Vertalen naar eis voor temperatuurfactor f:

$$f \geq \frac{\theta_D(p_i / 0.8) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

– Criterium hangt af van:

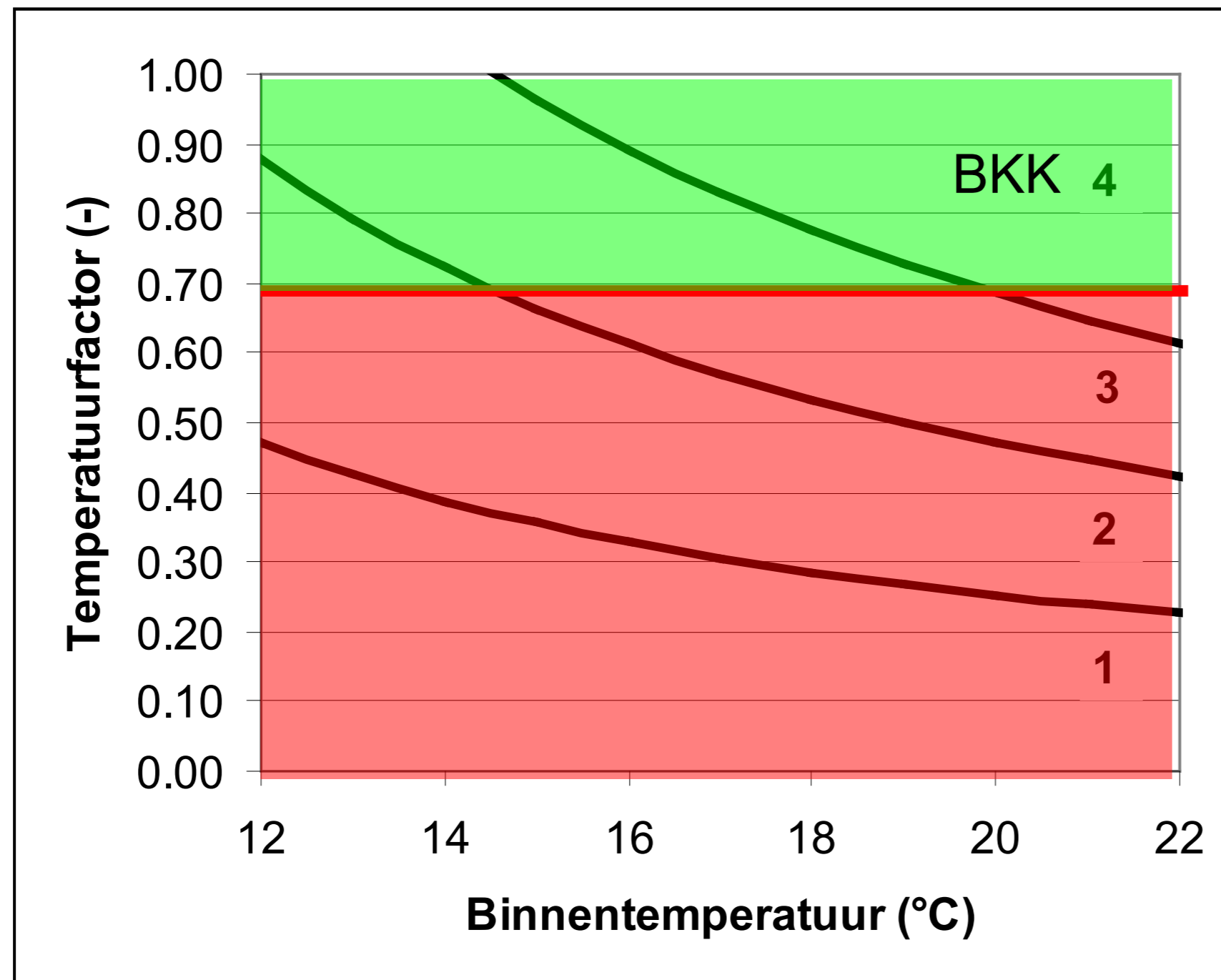
- Dampdruk binnenlucht
- Binnentemperatuur
- Buitentemperatuur

CRITERIA VOOR THERMISCHE KWALITEIT

Relatieve vochtigheid niet meer dan een maand boven 80%

Minimale temperatuurfactor voor kritische randvoorwaarden?

(januarigemiddeld buitenklimaat)



$$f \geq \frac{\theta_D (p_i / 0.8) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Ontwerpeis:

$$f_{0.2} \geq 0.7$$

$$R_{si} = 1/\alpha_i = 0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Bedankt voor uw aandacht!

Prof. Nathan Van Den Bossche, PhD
Building Science – Ghent University
Faculty of Engineering and Architecture
Sint Pietersnieuwstraat 41 B4
9000 Ghent, Belgium
M +32 (0)476 97 85 91
nathan.vandenbossche@ugent.be