

4.10 Thermische eigenschappen

4.10.1 Warmtegeleidingscoëfficiënt λ

De warmtegeleidingscoëfficiënt λ is de maat voor de warmtestroom die per uur door een materiaal met een oppervlakte van 1 m^2 en een dikte van 1 m gaat wanneer het temperatuurverschil tussen beide tegenover elkaar liggende vlakken gelijk is aan 1 graad Kelvin (symbool K).

De λ -waarde hangt af van de aard en het vochtgehalte van het materiaal. Hoe kleiner de λ -waarde van een materiaal, hoe groter het isolatievermogen.

Het symbool λ_{ui} (binnen) geldt voor materialen die niet nat worden door insijpelend regenwater, blijvende condensatie of door opstijgend vocht.

4.10.2 Warmtegeleidingscoëfficiënt λ voor muren uit cellenbetonblokken

In België wordt aanbevolen om de Europese benadering (CEN) te volgen en de warmtegeleidingswaarden te gebruiken in overeenstemming met de Europese normen.

Hierna worden de waarden opgegeven zoals vermeld in de Europese normen. Dit zijn maximumwaarden voor gekeurde materialen. Het is mogelijk dat de fabrikant van cellenbetonblokken betere waarden (gedeclareerde waarden—declared values) kan voorleggen door aan bepaalde controles te voldoen. Hiervoor dient contact te worden opgenomen met de fabrikant.

Europese normen:

EN 1745 (2002) :

Metselwerk en producten: Methode voor bepaling van de thermische rekenwaarden

EN 12524 (2000) :

Bouwmaterialen en bouwproducten – Warmte- en vochtwerende eigenschappen – Getabelleerde ontwerpwaarden

EN ISO 10456 (2000) :

Bouwmaterialen en bouwwaren – Procedure voor de bepaling van de karakteristieke waarden en de rekenwaarden van de thermische eigenschappen

EN ISO 6946 (2003) :

Componenten en elementen van gebouwen – Warmteweerstand en warmtegeleidingscoëfficiënt – Berekeningsmethode



1) Basiswaarden van cellenbetonblokken

Als basiswaarden dienen de waarden in acht genomen te worden van EN 1745 (2002) Tabel A.10 – $\lambda_{10,\text{dry}}$ gebaseerd op het 90%-fractiel bij een vertrouwensniveau van 90%.

Volumemassa (kg/m^3)	$\lambda_{10,\text{dry}}$ (W/mK)
400	0,11
500	0,13
600	0,16

2) Rekenwaarden van gelijkjnde cellenbetonmuren (design values)

De rekenwaarden λ_{U_i} en λ_{U_e} voor de berekening van de warmtegeleidbaarheid worden bepaald volgens de formules en coëfficiënten opgegeven in de normen EN 1745, EN 12524 en EN ISO 10456:

$$\lambda_{U_i} = \lambda_d \cdot e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)} \quad \text{met}$$

λ_d = basiswaarde van cellenbetonblokken volgens EN 1745 - tabel A.10 - $\lambda_{10, \text{dry}}$

$$u_1 = 0$$

$$u_2 = 0,026 \text{ kg/kg}$$

$$f_u = 4 \text{ kg/kg}$$

$$\lambda_{U_e} = \lambda_d \cdot e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)} \quad \text{met}$$

λ_d = basiswaarde van cellenbetonblokken volgens EN 1745 - tabel A.1 - $\lambda_{10, \text{dry}}$

$$u_1 = 0$$

$$u_2 = 0,150 \text{ kg/kg}$$

$$f_u = 4 \text{ kg/kg}$$

Volumemassa (kg/m ³)	λ rekenwaarden	
	λ_{U_i} (W/mK)	λ_{U_e} (W/mK)
400	0,12	-
500	0,14	-
600	0,18	0,29

Voor tussenliggende volumemassa's (bv 435 kg/m³) moeten de waarden in de bovenstaande tabel worden geïnterpoleerd.

λ_{U_i} : wordt gebruikt voor materialen die beschermd zijn tegen indringing van regen of vocht, zoals bijvoorbeeld de binnenmuren, het binnenspouwblad van een buitenmuur of buitenmuren beschermd door een bepleistering, een wandbeplating of een andere waterdichte afwerklaag.

λ_{U_e} : wordt gebruikt voor materialen die nat kunnen worden door regen of andere bronnen van vocht.

3) Rekenwaarden van cellenbetonwandplaten (design values)

Volumemassa (kg/m ³)	λ rekenwaarden	
	λ_{U_i} (W/mK)	λ_{U_e} (W/mK)
500	0,14	-
600	0,18	0,29

4) Rekenwaarden van cellenbetondakplaten (design values)

Volumemassa (kg/m ³)	λ_{U_i} (W/mK)
500	0,14
600	0,18



4.10.3 Warmteweerstand R

De warmteweerstand R van een product is het quotiënt van de dikte e van het element, uitgedrukt in m, gedeeld door de warmtegeleidingscoëfficiënt λ van het materiaal.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \text{K/W}]$$

4.10.4 Totale warmteweerstand R_T van een wand


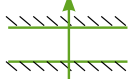
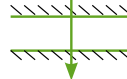
De totale warmteweerstand R_T van een wand is de som van de weerstanden R van de samenstellende materialen, waaraan de overgangsweerstanden aan het binnenvlak R_{si} en aan het buitenvlak R_{se} , alsook de warmteweerstand van de eventuele spouw R_a worden toegevoegd.

Deze weerstand wordt uitgedrukt in $\text{m}^2 \text{K/W}$.

De waarden R_{si} , R_{se} en R_a kunnen variëren afhankelijk van de richting van de warmtestroom, zoals aangegeven in de volgende tabellen (EN ISO 6946).

Warmteweerstand R_{si} en R_{se}		
Warmtestroomrichting	R_{si} ($\text{m}^2\text{K/W}$)	R_{se} ($\text{m}^2\text{K/W}$)
	0,13	0,04
	0,10	0,04
	0,17	0,04

De waarde R_a van een niet-geventileerde luchtlaag bedraagt volgens de norm EN ISO 6946:

EN ISO 6946: warmteweerstand van niet-geventileerde luchtlagen R_a (m ² K/W)			
Dikte van de luchtlaag	Helling van de luchtlaag en warmtestroomrichting		
	Verticale luchtlagen	Horizontale luchtlagen	Horizontale luchtlagen
			
Twee vlakken met $e \geq 0,82$ (emissievermogen)			
5 mm	0,11	0,11	0,11
10 mm	0,15	0,15	0,15
25 mm	0,18	0,16	0,19
50 mm	0,18	0,16	0,21

Opmerking: Voor tussenliggende diktes moeten de cijfers in de bovenstaande tabel lineair worden geïnterpoleerd.

Als de verticale luchtlaag van een muur weinig geventileerd is (verluchting: 15 cm² per meter muur), wat kennelijk het meest voorkomende geval is, dient deze waarde te worden gedeeld door 2, zijnde $R_a = 0,09$.

4.10.5 Warmtedoorgangscoefficiënt U van wanden

De coëfficiënt U is een maat voor de hoeveelheid warmte die door een wand gaat (dikte) in permanente klimaattoestand, per tijdseenheid (uur), per oppervlakte-eenheid (m²) en per eenheid omgevings temperatuurverschil aan weerszijden van deze wand.

Deze coëfficiënt wordt uitgedrukt in W/m²K.

Hierbij wordt rekening gehouden met de totale warmteweerstand (R_T) van de materialen en de eventuele spouw (R_a), waaraan de overgangsweerstand aan het buitenvlak (R_{se}) en het binnenvlak (R_{si}) worden toegevoegd.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_a + R_{si}} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

In Vlaanderen gelden sinds 1 januari 2006 eisen voor de energieprestatie en het binnenklimaat (EPB). De wetgeving legt via deze energieprestatie regelgeving strikte regels en controles op inzake thermische isolatie. Cellenbeton voldoet ruimschoots aan deze nieuwe isolatie-eisen. Met de invoering van de EPB-regelgeving is cellenbeton trouwens het enige materiaal waarmee uw project gebouwd kan worden zonder dat het nodig is isolatie toe te voegen!

Een woordje uitleg

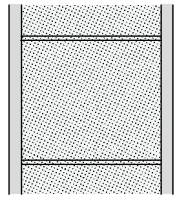
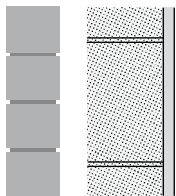
Het E-peil = het energieverbruik van een gebouw
Het E-peil geeft een beeld van het energieverbruik van het gebouw en haar vaste installaties. Het wordt uitgedrukt in een cijfer dat kleiner of gelijk moet zijn aan 100.

Het K-peil = het isolatiepeil van een gebouw
Het K-peil is het totale isolatiepeil van een gebouw. Het houdt rekening met de warmteverliezen door alle buitenmuren, daken, vloeren en vensters. Voor een industriebouw hebt u de keuze tussen K-peil < 55 en Umax-waarden voor de verschillende onderdelen.

U-waarde = isolatiewaarde van een constructieonderdeel (bv. muur, dak,...)

De Umax-waarde van een muur moet volgens EPB $\leq 0,6$ W/m²K zijn. Voor een dak moet $U \leq 0,4$ W/m²K zijn.

U-waarden van cellenbetonmuren

Samenstelling van de muur	Cellenbeton				Coëfficiënt U van de muur (W/m ² K)
	Dikte (mm)	Type	Vol.massa (kg/m ³)	λ_{Uj} (W/mk)	
 Massieve muur uit gelijkde cellenbetonblokken + buitenpleister 12 mm en binnenpleister 10 mm	240	C2/400	370	0,12	0,46
		C3/450	440	0,14	0,53
	300	C2/400	370	0,12	0,37
		C3/450	440	0,14	0,44
 Spouwmuur uit gelijkde cellenbetonblokken + gevelsteen 90 mm + binnenpleister 10 mm	175	C2/400	370	0,12	0,56
		C3/450	440	0,14	0,64
	200	C2/400	370	0,12	0,50
		C3/450	440	0,14	0,57
	240	C2/400	370	0,12	0,43
		C3/450	440	0,14	0,49

De λ_{Uj} -waarden hier opgegeven zijn deze vermeld in de Belgische Norm. Het is mogelijk dat de fabrikant van cellenbetonblokken betere waarden (gedeclearde waarden – declared values) kan voorleggen. Hiervoor dient contact te worden opgenomen met de fabrikant.

Aangezien er geen isolatiemateriaal moet worden toegevoegd, voorkomt men:

- Aanvullende en delicate werken.
- Een verhoogde controle als opdrachtgever.
- Het frequent gevaar van koudebruggen veroorzaakt door het niet goed aaneensluiten van het toegevoegd isolatiemateriaal tijdens de plaatsing (koudebruggen veroorzaken condensatie, schimmelvorming en onbehaaglijkheid).
- Een sterke vermindering van het isolerend vermogen van de wand ten gevolge van de koudeluchtcirculatie tussen het isolatiemateriaal en de muur, die zelden volledig effen is (onregelmatig gevormde ruwbouwblokken, uitstekende mortelvoegen).
- Gevaar van vochtbruggen wanneer het isolatiemateriaal, bij de plaatsing of later, in contact komt zowel met de gevel als met het binnenspouwblad.

Bij de berekening van de warmte-isolatie wordt geen rekening gehouden met de koude- en vochtbruggen, aangezien deze a priori niet cijfermatig kunnen worden ingeschat. Toch is dit een reëel en bijzonder schadelijk gevaar. Koude- en vochtbruggen veroorzaken immers niet alleen tal van ongemakken maar hebben ook extra energieverbruik tot gevolg.

Door te kiezen voor cellenbeton voorkomt men deze nadelen. Dat is te danken aan de volgende troeven:

- De maximaal toegestane maatafwijking van de producten (2 mm) maakt het mogelijk volkomen effen wanden te realiseren.
- Door de grote afmetingen van de blokken en de plaatsing met lijm mortel blijven de voegen beperkt tot 1%

van de massa (en het oppervlak). De voegbreedte bedraagt enkel ca. 2 mm, zodat er geen koudebruggen ontstaan.

- Door de oordeelkundige spreiding in de cellenbetonmassa van de gesloten poriën (max. Ø 2 mm) blijft de lucht ingesloten, en verdeelt de warmte-isolatie zich gelijkmatig over de volledige massa van de wanden.

Hierdoor krijgt de opdrachtgever een beter eindresultaat en krijgt de bouwheer de zekerheid dat de warmte-isolatie niet zal afnemen met de tijd en aan de gestelde eisen zal blijven voldoen.

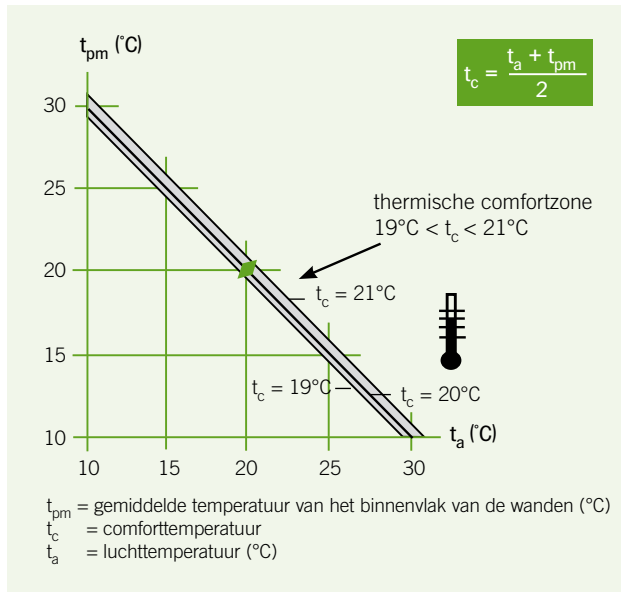
4.10.6 Oppervlaktetemperatuur

Onder het thermisch comfort van een woning wordt verstaan het gevoel van behaaglijkheid dat wordt bereikt bij de comforttemperatuur 't_c'. Deze wordt gedefinieerd als het gemiddelde tussen de omgevingstemperatuur 't_a' en de gemiddelde temperatuur op het binnenvlak van de wanden in het vertrek 't_{pm}':

$$t_c = \frac{t_a + t_{pm}}{2}$$

De thermische comfortzone ligt tussen 19°C en 21°C. Het is niet voldoende de binnenruimte te verwarmen, of de verwarming hoger te zetten om een behaaglijk binnenklimaat te realiseren. Integendeel, meer verwarmen kan zelfs leiden tot onbehaaglijkheid en kan de gezondheid schade toebrengen. Wel is het belangrijk dat de gewenste temperatuur in elke ruimte gelijkmatig verdeeld is en nagenoeg overal dezelfde is, zowel bij de muren als bij de warmtebron.

Daarom moeten de wanden met warmteverlies (muren, plafonds, vloeren...) zo sterk geïsoleerd worden dat hun temperatuur zo dicht mogelijk bij die van de omgevingslucht wordt gehouden.



Bij een buitentemperatuur van -10°C is de temperatuur aan de binnenzijde van een ongeïsoleerde buitenmuur 8°C lager dan de omgevingstemperatuur. Als de ruimte wordt opgewarmd tot 24°C , bedraagt de temperatuur van de muur 16°C en wordt de waargenomen temperatuur

$$t_c = \frac{24 + 16}{2} = 20^\circ\text{C}$$

Als dezelfde muur geïsoleerd is volgens de gewestelijke voorschriften (coëfficiënt $k = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$), dan wordt het temperatuurverschil met de omgevingslucht teruggebracht tot 2°C bij gelijkblijvende weersomstandigheden. In dit geval kunt u hetzelfde resultaat bereiken door de ruimte op te warmen tot 21°C , aangezien

$$t_c = \frac{21 + 19}{2} = 20^\circ\text{C}$$

Dit is wel degelijk dezelfde theoretische behaaglijkheid. In de praktijk daarentegen zal in het geval van geïsoleerde muren een relatief gelijkmatige temperatuur in de volledige ruimte heersen. Bij niet-geïsoleerde muren zal men in de winter een koude stroom gewaarworden naarmate men dichterbij de muren komt.

De hierboven vermelde cijfers komen van het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB), dat overigens heeft berekend dat elke afname van de warmtebehoefte met één graad resulteert in een energiebesparing van 8%.

Bij cellenbeton hebben alle woningscheidende buitenmuren een grotere coëfficiënt U , variërend van 0,34 tot 0,51 voor de dichtheidsklassen die het meest voor dit woningtype worden gebruikt (zie par. 4.10.5.).

Als u bij het bouwproject warmte-isolatie kunt combineren met thermische inertie (wat het geval is voor cellenbeton), dan kunt u in de winter en in het tussenseizoen optimaal voordeel halen uit de gratis toevoer van warmtecalorieën door zonnestraling, zonder dat de temperatuur té hoog oploopt. Hierdoor blijft een thermisch behaaglijk binnenklimaat behouden. Bovendien moet de verwarming in de winter minder lang draaien en blijft de stooktijd in het tussenseizoen beperkt. U bespaart zodoende meer energie.

4.10.7 Thermische inertie

4.10.7.1 Algemeen

De warmte-isolatie is niet de enige factor die van invloed is voor de algemene thermische behaaglijkheid van een gebouw. We moeten ook rekening houden met de warmtecapaciteit, de afkoeltijd, de oppervlaktetemperatuur, de demping en de faseverschuiving van de materialen.

Hierna zal blijken dat cellenbeton deze diverse invloedsfactoren optimaal met elkaar combineert en zodoende bijdraagt tot een thermisch behaaglijk binnenklimaat.

4.10.7.2 Warmtecapaciteit

Bij oplopende omgevingstemperatuur neemt elk bouw materiaal een bepaalde hoeveelheid warmte op. De warmtecapaciteit is een maat voor de hoeveelheid warmte opgenomen door een materiaal per m^2 en per graad temperatuurstijging:

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot e \quad \text{J/m}^2\text{K}$$

Met Q_s = warmtecapaciteit
 c = de soortelijke warmte in $\text{J/kg} \cdot \text{K}$
 ρ = de droge volumemassa in kg/m^3
 e = de dikte in m.

In de volgende tabel vergelijken we de warmtecapaciteit van verschillende materialen bij een identieke dikte van 300 mm.

Materiaal	c (J/kg K)	ρ (kg/m ³)	e (m)	Q _s (J/m ² K)	λ (W/mK)	A (h)
Cellenbeton	1000	400	0,3	120000	0,11	91
Cellenbeton	1000	500	0,3	150000	0,13	96
Cellenbeton	1000	600	0,3	180000	0,16	94
Baksteen	1000	1800	0,3	540000	0,73	62
Beton	1000	2000	0,3	600000	2,1	24
Geëxpandeerd polystyreen	1450	20	0,3	87000	0,04	2

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat de warmtecapaciteit van een bouwmateriaal evenredig is met de volumemassa. Zo heeft gewapend beton een zeer grote warmtecapaciteit (Q_s).

Een zeer grote warmtecapaciteit in combinatie met een geringe warmte-isolatie staat niet garant voor een betere warmteregulatie in een gebouw. Dit is een misvatting. Voor buitenmuren bijvoorbeeld, wordt een gedeelte van de opgeslagen warmte naar buiten afgevoerd wanneer de temperatuur daalt. Deze warmte kan bijgevolg niet meer worden gebruikt om de warmte in het gebouw te reguleren.

Willen we temperatuurschommelingen compenseren, dan is een hoge warmtecapaciteit van even groot belang als een lage warmtegeleidingscoëfficiënt λ. Zo kan de muur de warmte opslaan en op het meest gepaste moment 'teruggeven'.

We kunnen deze bewering staven door het begrip 'afkoeltijd' toe te lichten.

4.10.7.3 Afkoeltijd

De afkoeling van een muur hangt af van de verhouding tussen zijn warmtecapaciteit Q_s en zijn isolatiecoëfficiënt.

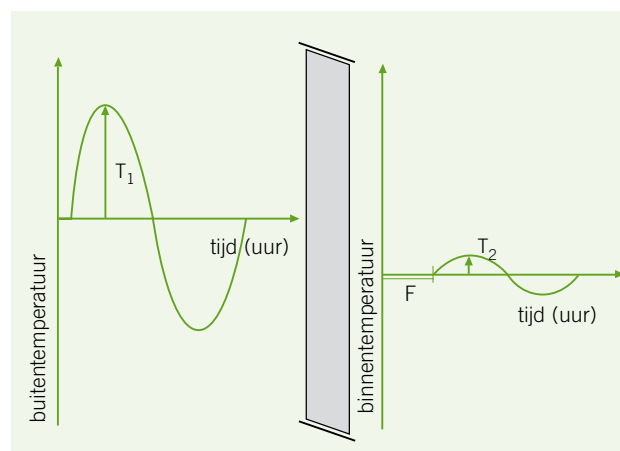
$$\text{Zo krijgen we } A = \frac{Q_s \cdot e}{\lambda \cdot 3600} \text{ [h]}$$

Met A wordt de afkoeltijd in uur uitgedrukt. Hoe groter de factor A, hoe meer tijd de muur nodig heeft om af te koelen en hoe langer het duurt voor men binnen de buitentemperatuur schommelingen aanvoelt. Uit tabel 1 blijkt dat de coëfficiënt A bij gelijke dikte belangrijker is voor cellenbeton dan voor de andere gebruikelijke bouwmaterialen. Dat komt doordat cellenbeton twee kenmerken combineert die van doorslaggevend belang zijn voor een goede coëfficiënt A: een grote volumemassa en een goede warmte-isolatie.

4.10.7.4 Damping en faseverschuiving

In de zomermaanden worden gebouwen op het heetste moment van de dag blootgesteld aan relatief hoge buitentemperaturen als gevolg van de zonnestraling. Door de oplopende buitentemperatuur kan het binnenklimaat onbehaaglijk worden voor de bewoners van het gebouw.

Door een goede warmte-isolatie van de buitenmuur, samen met een grote faseverschuiving ervan, kan de invloed van deze stijging van de buitentemperatuur binnen in het gebouw beperkt blijven.



De faseverschuiving F is de verschuiving in tijd (uur) tussen de maximale buitentemperatuur en de maximale binnentemperatuur.

De demping μ is de verhouding tussen de maximale amplitude van de buitentemperatuur en de maximale amplitude van de binnentemperatuur: $\mu = T_1/T_2$.

De faseverschuiving en de demping kunnen worden berekend volgens de methode van Hauser/Gertis, door gebruik te maken van Fouriertransformaties.

Zo krijgen we de resultaten die in de volgende tabel zijn weergegeven [25]

Materiaal	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	e (m)	Demping μ	Faseverschuiving (h)
Cellenbetonmetselwerk	400	0,11	0,24	9,09	11,4
Muur- en dakplaten uit cellenbeton	600	0,16	0,24	7,14	9,7
	500	0,14	0,20	8,06	8,7
Zuiver isolatiemateriaal	20	0,04	0,10	1,43	2,1
	20	0,04	0,15	1,49	3,1
Beton	2400	2,1	0,20	1,61	4,0
	2400	2,1	0,25	2,27	6,0
Hout	600	0,13	0,10	2,50	6,0

Uit deze tabel blijkt het volgende:

- 1) Cellenbeton heeft een hoge demping. Hoe groter de demping, hoe lager de binnentemperatuur. Als het zeer warm is, zal in gebouwen uit cellenbeton een lagere binnentemperatuur heersen dan in gebouwen uit de meeste andere materialen.
- 2) Cellenbeton heeft eveneens een grotere faseverschuiving. Het voordeel van een grote faseverschuiving is dat men een buitentemperatuurpiek rond het middaguur pas aan het einde van de dag gewaarwordt. Zo is even ventileren 's avonds voldoende om de binnenruimte af te koelen.
- 3) Zuivere isolatiematerialen hebben een lage faseverschuiving en demping. Bij hevige zonnestrallen rond het middaguur op een dak bestaande uit niet-massieve elementen in zuiver isolatiemateriaal, zal de binnentemperatuur ondraaglijk worden zonder airconditioning. Dat noemt men het 'caravaneffect' (goede warmte-isolatie, maar onbestaande thermische inertie).

Cellenbeton biedt dus niet alleen een uitstekend thermisch comfort in de winter, maar ook in de zomer, door de koelte in het gebouw te bewaren.

In fabrieksgebouwen en grootwarenhuizen is een thermisch behaaglijk binnenklimaat makkelijk te realiseren door dak- en muurconstructies uit te voeren in gewapende cellenbetonplaten. Deze behaaglijkheid komt tot zijn volste recht wanneer men een gebouw uit cellenbeton vergelijkt met een ander gebouw, dat met niet-massieve materialen bekleed is (bijvoorbeeld staalplaat + isolatiemateriaal).

Let op:

Glasvlakken zijn een bron van oververhitting in het gebouw en reduceren het comfortverhogende effect van cellenbeton. Het is bijgevolg altijd wenselijk de vensters van buitenaf tegen zoninstraling te beschermen.

4.10.8 Thermische vereisten voor de wanden en het dak in België

Naast de maximale U-waarden voor warmteverliesoppervlakken (muren, vensters, deuren, daken...) schrijven de gewesten voor de meeste nieuwbouwconstructies en verbouwingen een maximaal aan te houden peil van de globale warmte-isolatie K voor.

Dat geldt voor:

- woongebouwen
- scholen
- kantoren
- collectieve gebouwen (bijvoorbeeld ziekenhuizen, hotels, rusthuizen, internaten, kazernes, gevangenissen).

In Wallonië wordt ook een minimale ventilatie voorgeschreven.