



dit bulletin is een publicatie van:
FEBELCEM - Federatie van de
Belgische Cementindustrie
Voltastraat 8
1050 Brussel
tel. 02 645 52 11
fax 02 640 06 70
http://www.febelcem.be
e-mail : info@felbelcem.be

auteurs :
A. De Herde, A. Evrard
Architecture et climat
tekeningen, opmaak :
J. Flémal, S. Rouche
Architecture et climat



verantw. uitgever :
J. P. Jacobs
wettelijk depot :
D/2005/0280/03



arch. Ph. Jaspard - foto's S. Rouche

Bibliografie

1. *Europese Richtlijn 2002/91/CE*
december 2002
http://europa.eu.int
2. *Energieprestatiedecreet*
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Belgisch Staatsblad, 7 juli 2004
www.energiesparen.be
3. *Methode be*
Ministère de la Communauté française
Belgisch Staatsblad, 30 april en 9 mei 1996
4. *NBN B 62-002 – Berekening van de warmtetransmissie-coëfficiënt van bouwvdelen*
Brussel : IBN, 1987
5. *NBN B 62-002/A1 – Berekening van de warmtetransmissie-coëfficiënt van bouwvdelen*
IBN, 2001
6. *NBN B 63-003 – Berekening van de warmteverliezen van gebouwen*
IBN, 1986
7. *NBN B 62-201– Bepaling van de thermische geleidbaarheid of van de thermische permeantie van bouwmaterialen - Algemeenheden*
IBN, 1978
8. *NBN B 62-301 – Warmte-isolatie van gebouwen – Peil van globale warmte-isolatie*
IBN, 1979
9. *NBN EN 12524 – : Bouwmaterialen en bouwproducten – Warmte- en vochtwerende eigenschappen – Getabelleerde ontwerpwaarden*
IBN, 2000
10. *NBN D 50-001 – Ventilatievoorzieningen in woongebouwen*
IBN, 1991
11. *ABC van cement en beton*
Brussel : FEBELCEM (Federatie van de Belgische Cementnijverheid), 2003
12. *ANINK D. ; MAK J.*
Beton en milieu : Antwoord op de meest gestelde vragen
's Hertogenbosch : VNC (Vereniging Nederlandse Cementindustrie), 1996
13. *Guide de l'architecture bioclimatique – Cours fondamental d'architecture bioclimatique*
Programme Learnet de l'observatoire des énergies renouvelables
Chaumont (F), 1996
14. *HUBERTY J.-M.*
Memento cement/beton
Brussel : FEBELCEM, 1995
15. *DE HERDE A.*
Le manuel du responsable énergie : L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le tertiaire
Stavelot : Ministère de la Région wallonne, 1992
16. *Guide à la conception bioclimatique*
RD Energie, Architecture et Climat
SPPS Brussel, 1986
17. *Massaal beton*
Cementbulletin nr. 4
Brussel : VCN (FEBELCEM), 1981
18. *Thermisch belang van massa*
Cementbulletin nr. 8
Brussel : VCN (FEBELCEM), 1982

www.jaspard-architecture.be
www.wollaert.be
www.claisse-architecte.be
www.climat.arch.ucl.ac.be

BETON EN RATIONEEL ENERGIEGEBRUIK

Sedert de energiecrises van de jaren '70 hebben de meeste Europese landen almaar strengere thermische isolatiereglementen ingevoerd. Deze tendens groeit vandaag nog voortdurend, nu blijkt dat het milieu verder aftakt (uitstoot van broeikasgassen, uitputting van grondstoffen...) en onze leefgewoonten zo evolueren dat wij steeds meer tijd doorbrengen in gebouwen.

Met de opkomst van het concept Duurzame Ontwikkeling zijn verschillende maatregelen genomen om de ontwerpers, en ook de gebruikers, aan te zetten tot Rationeel Energiegebruik (REG). Op basis van deze overwegingen is de 'bioklimatische architectuur' ontstaan en zijn een reeks ontwerpprincipes ontwikkeld die tot doel hebben het energieverbruik te doen dalen en het comfort van de leefruimtes te verbeteren.

Voorliggend bulletin baseert zich op de bioklimatische principes om de voordelen van het gebruik van beton met betrekking tot energie te situeren. Eerst worden de voornaamste karakteristieken van de verschillende betonsoorten voorgesteld, samen met die van de meest courante bouwmaterialen.

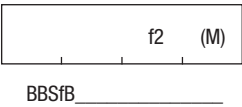
Daarna wordt voor elk bioklimatisch principe de invloed geanalyseerd van de materiaaleigenschappen op de energieprestaties van het gebouw.

Bijzondere aandacht gaat naar de thermische inertie – een aspect van het gebruik van beton – en aan de plaats die ze inneemt in de Belgische thermische regelgeving. Er wordt ingegaan op de betekenis van de Europese richtlijn van 16 december 2002 in verband met de energieprestatie van gebouwen, en op de projecten die op dit ogenblik ter studie liggen om de reglementering op gewestelijk niveau erop af te stemmen. Dit laat toe een evaluatie te maken van de actuele tendenzen en van de perspectieven voor het gebruik van beton in dit domein.

DOSSIER CEMENT

35
juni 2005

beton
thermische
prestaties



Inhoud

1. **Van zwaar beton... tot korrelbeton** 2
Voornaamste fysische eigenschappen
Levenscyclus en grijze energie
2. **Principes van de Bioklimatische Architectuur** 4
De bioklimatische benadering
Het gebouw in zijn klimaat
Comfortparameters voor de gebruikers
3. **Warmtestrategie in de winter** 6
CAPTEREN – Zonnewinsten valoriseren 6
STOCKEREN – Thermische inertie benutten 8
CONSERVEREN – Warmteverliezen beperken 13
VERDELEN – Warmte verspreiden 17
4. **Koudestrategie in de zomer** 18
AFSCHERMEN – Zonwering voorzien 18
MINIMALISEREN – Interne warmtewinsten beperken 19
AFVOEREN – Oververhitting voorkomen 19
5. **Globale energieprestaties** 21
De Europese Richtlijn 21
Peil van primair energieverbruik 21
Netto-energiebehoefte voor verwarming 22
Verbruiksprofiel en stookseizoen 23
6. **Voorbeelden van gebouwen** 24
Bioklimatische basisprincipes voor een eenvoudige woning in landelijke omgeving 24
Woning in betonblokken 25
Woning in ter plaatse gestort beton 26
Renovatie van een burgerwoning met conciërgerie 27

Nuttige rekenwaarden

	ρ [kg/m3]	λ _{Ui} [W/mK]	λ _{Ue} [W/mK]	c [J/kgK]
Steenachtig element zonder voegen				
Gewoon zwaar beton, gewapand	2400	1,7	2,2	1000
Gewoon zwaar beton, niet gewapand	2200	1,3	1,7	1000
Licht beton	350-400	0,14	-	1000
	650-700	0,21	0,34	1000
	1100-1200	0,37	0,58	1000
Metselwerk <i>(gecertificeerd)</i>				
Gebakken klei	1000	0,29	0,57	1000
	1500	0,46	0,91	1000
	2000	0,69	1,35	1000
	1000	0,34	0,74	1000
Kalkzandsteen	1500	0,60	1,30	1000
	2000	1,18	2,58	1000
	1600	0,97	1,26	1000
	2000	1,32	1,71	1000
Betonblokken	2400	1,90	2,47	1000
	400	0,13	-	1000
	1000	0,35	0,46	1000
	1700	0,76	1,00	1000
Betonblokken, geëxpandeerde kleikorrels	300	0,09	-	1000
	600	0,18	0,29	1000
	1000	0,29	0,47	1000
Bopleistering				
Cementmortel	1900	0,93	1,5	1000
Kalkmortel	1600	0,70	1,2	1000
Gips	1300	0,52	-	1000
Isolatiematerialen <i>(gecertificeerd)</i>				
Minerale wol	≥ 20	0,041	-	1030
Geëxpandeerd polystyreen	≥ 20	0,040	-	1450
Geëxtrudeerd polystyreen	≥ 25	0,034	-	1450
Cellenglas	130-140	0,048	-	1000
Hout en afgeleiden				
Massief hout	≤600	0,13	0,15	1880
	>600	0,18	0,20	1880
Spaanplaten	450-750	0,14	-	1880
Cementgebonden vezelplaten	1200	0,23	-	1470
Diverse materialen				
Vezelcementpanelen	1400-1900	0,35	0,50	1000
Staal	7800	45	45	390
’Petit granit’ (blauwe hardsteen)	2700	2,91	3,49	1000
Glas	2500	1	1	750
Gebitumineerd membraan	1100	0,23	0,23	1000
Stilstaande lucht	1	0,026	0,026	1000
Stilstaand water	1000	0,58	0,58	4176
Poedersnieuw	100	0,05	0,05	2088
IJs	900	2,23	2,23	2088

1. Van zwaar beton... tot korrelbeton

Voornaamste fysische eigenschappen

Voor de ontwerper bekleedt de materiaalkeuze een fundamentele plaats in het ontwerpproces. Elk materiaal heeft immers zijn specifieke kenmerken die hij moet kennen en zo goed mogelijk benutten. De keuze heeft niet te verwaarlozen repercussies op het globaal energieprestatieniveau van het gebouw.

De tabel hier tegenover geeft de voornaamste karakteristieken van verschillende materialen weer (NBN B 62-002/A1) :

- *Volumemassa* ρ [kg/m³] :
Verhouding massa per volume-eenheid.
- Rekenwaarde *warmtegeleidingscoëfficiënt* λ_U [W/mK] :
De warmtegeleidingscoëfficiënt is de hoeveelheid warmte die, bij een permanent regime, per tijdseenheid, per oppervlakte-eenheid en per eenheid van temperatuur-gradiënt door het materiaal stroomt. De ‘rekenwaarde’ van de warmtegeleidbaarheid van een materiaal of product in binnenomstandigheden (λ_{Ui}) of buitenomstandigheden (λ_{Ue}) is de waarde die als typisch mag beschouwd worden bij verwerking van dat materiaal of product in een gebouwdeel.
- *Soortelijke warmte* c [J/kgK] :
Hoeveelheid warmte nodig om de temperatuur van een massa-eenheid materiaal met één graad te doen stijgen.

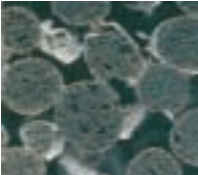
De karakteristieken zijn aangegeven voor de meest courante materialen. Bovendien valt op dat voor beton zeer uiteenlopende eigenschappen worden verkregen: van gewoon zwaar beton tot lichte en zeer lichte betonsoorten waar een deel van de gebruikelijke granulaten vervangen zijn door lichtere toeslagmaterialen, zoals geëxpandeerde kleikorrels. Behalve met de eventuele aanwezigheid van wapening moet ook worden rekening gehouden met het feit dat gewoon zwaar beton bestaat uit 70 à 80 % (gewichtsprocenten) zand en grove granulaten (van alluvionnaire, sedimentaire of eruptieve oorsprong, of gerecycleerd), 15 à 20 % cement, 5 à 10 % water, en enkele procenten hulpstoffen of toevoegsels. Op onderstaande illustraties zijn enkele typische betondoorsnedes te zien, waaronder ‘korrelbeton’, een betontype waarin het zand geheel of gedeeltelijk ontbreekt en dat als gevolg hiervan bijzondere doorlatendheidseigenschappen vertoont.



gewoon “zwaar” beton



“licht beton”



“korrelbeton”

Levenscyclus en grijze energie

In België is het gebruik van beton, meer dan van andere bouwmaterialen, wijd verspreid. Betoncentrales en prefab fabrieken produceren jaarlijks ca. 30 miljoen ton (of ~12,5.10⁶ [m³/jaar]). Het is hier niet de bedoeling de milieubelasting van het materiaal te evalueren tijdens zijn hele levenscyclus, maar enkel een schatting te maken van de hoeveelheid energie die in de opeenvolgende fasen wordt verbruikt. Deze energie is de grijze energie, d.w.z. de energie die gepaard gaat met ontginning en processing van de bestanddelen, de fabricage en het transport van het beton, de eigenlijke bouwwerkzaamheden, de gebruiksfase en het onderhoud, en tenslotte het slopen (gevolgd door hergebruik of eliminatie) van één eenheid materiaal *[bron : FEBELCEM]*.

De gekozen eenheid is hier « 1 m³ gewoon zwaar beton, gewapend, in situ gestort, in België ».

Ontginning en processing van de bestanddelen

Cement

België produceert jaarlijks bijna 7 miljoen ton cement, waarvan ca. 5 miljoen ton voor de binnenlandse markt bestemd zijn. Dit stemt overeen met 3,5 % van het totaal cementverbruik van de Europese Unie. De overige 2 miljoen ton worden geëxporteerd, voornamelijk naar Nederland, Duitsland en Frankrijk. De Belgische cement-fabrieken verbruiken jaarlijks 600 000 ton petroleumequivalent aan brandstoffen, wat ongeveer neerkomt op de jaarlijkse energie-behoefte van een stad van 700 000 inwoners. Daarom heeft de cementsector van de verlaging van haar energieverbruik een erezaak gemaakt.

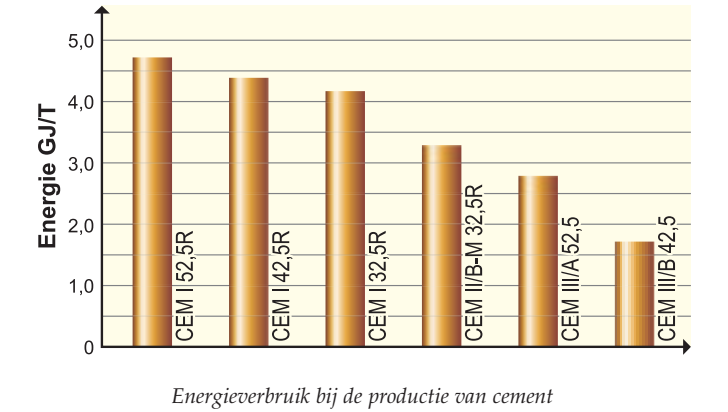
De energiebehoeften zijn ongelijk verdeeld over de verschillende fasen van de cementfabricage. Een temperatuur van 1450°C is noodzakelijk voor de transformatie van de grondstoffen die in de cementoven worden ingebracht (kalksteen CaCO₃, siliciumoxide - SiO₂, aluminiumoxide - Al₂O₃ en ijzeroxide - Fe₂O₃). In de praktijk betekent dit een temperatuur van ca. 2000°C ter hoogte van de vlam : de oven slurpt dus de meeste energie op, nl. 69% van het totaal. De voorbehandeling van de mineralen en brandstoffen vraagt slechts 10%, het maalproces na sintering ongeveer 18%.

De cementindustrie gebruikt traditionele fossiele brandstoffen zoals steenkool, stookolie en aardgas. Cementovens zijn ook geschikt voor minder nobele brandstoffen, zoals steenkoolschist, petroleumcokes, autobanden, gebruikte olie... Ook beperkte hoeveelheden hout, papier, restanten van autoafbraak, kunststoffen, lichte fracties van huisvuil, industrieel afval, enz. worden ingeschakeld. Op die manier wordt een deel van de niet-hernieuwbare energiebronnen vervangen door restproducten of afvalstoffen. Een ander belangrijk aspect van het Rationeel Energiegebruik (REG) in de cementsector betreft de inzet van secundaire grondstoffen (poederkoolvliegias, hoogovenslak...) als cementbestanddeel.

In de afgelopen dertig jaar heeft de sector haar verbruik van elektriciteit en brandstof met ongeveer 30% verminderd.

Onderstaande figuur toont aan dat de energie-inhoud van cement varieert volgens cementtype en sterkteklasse. Bijvoorbeeld, een ton portlandcement (CEM I 42,5R) vergt 4,5 GJ verbrandings- en elektrische energie. Als een m³ beton 350 kg van dat ciment bevat, dan impliceert dat een energieverbruik van 1,58 GJ.

Noteer evenwel ook dat in België globaal meer CEM III dan CEM I wordt aangewend : het gemiddelde Belgische energieverbruik per m³ beton is bijgevolg lager dan deze waarde.



Energieverbruik bij de productie van cement

Zand en granulaten

Per jaar worden 15 van de 43 miljoen ton granulaten die België produceert, aangewend voor de fabricage van beton. De Belgische bouwsector verbruikt 9 van de 16 miljoen ton groeve-, rivier- en zeezand die jaarlijks in ons land gewonnen worden. Het energieverbruik van de machines die bij de zandwinning in groeves, in rivieren of op zee worden ingezet, hangt af van het type motor. Er moet ongeveer 1 m³ materiaal gebaggerd worden om 1 ton zand of grind te verkrijgen. De verschillende installaties waarmee granulaten afkomstig uit een steengroeve of gerecycleerde granulaten worden verwerkt, zijn over het algemeen elektrisch aangedreven. Ervan uitgaand dat 1 m³ beton ongeveer 1800 kg toeslagmaterialen (groeve granulaten + zand) bevat, en dat de hoeveelheid energie nodig voor ontginning, processing en transport van 1 ton toeslagmateriaal ±0,15GJ bedraagt, houdt de productie van 1 m³ beton 0,27 GJ grijze energie in.

Wapening

Het staal dat gebruikt wordt voor de fabricage van de wapening heeft een hoge milieu-impact. Er mag worden aangenomen dat de productie van een ton staal 22,5 GJ energie vereist, of 2,25 GJ per m³ beton, vermits 1 m³ beton niet zelden ca. 100 kg wapening bevat. Het belang van deze energiepost noopt tot een optimaliseren van de hoeveelheid staal, ofwel door het gebruik van voorgespannen beton of hoge-sterktebeton, ofwel door het toepassen van nauwkeurige dimensioneringsmethodes.

Bekisting

Vertrekkend van een verbruik van 0,5 m³ bekistingshout per m³ beton, en van een energieverbruik van ongeveer 0,86 GJ per m³ hout, bedraagt het energieverbruik voor de bekisting van 1 m³ beton 0,43 GJ.

Water en andere bestanddelen

Om 1 m³ beton te vervaardigen is een kleine 200 liter water nodig. De jaarlijkse hoeveelheid water (meestal leidingwater) die in België voor de betonproductie wordt ingezet kan worden geschat op 2 miljoen m³. (NB: het totale drinkwaterverbruik in België bedraagt ongeveer 1,2 miljoen m³ per dag). In België zijn alle basisgrondstoffen nodig voor de productie van hulpstoffen beschikbaar in een fase die geen chemische krakers vergen. Het energieverbruik beperkt zich tot het verbruik van de elektrische motoren van de menginstallaties, het transport (tankwagens), en het overpompen in vaste reservoirs.

Het gebruik van hulpstoffen laat overigens vaak toe de energie te reduceren die nodig is om het beton te verdichten.

De hier geciteerde energieposten zijn klein in vergelijking met het totale energieverbruik bij de productie van de referentie-m³ beton. Gemakshalve worden ze als verwaarloosbaar beschouwd.

Transport, vervaardiging en verwerking

Zeer dikwijls wordt het beton in een centrale aangemaakt en vervolgens stortklaar naar de bouwplaats vervoerd. De betonbestanddelen worden naar de centrale getransporteerd, automatisch gewogen en gedoseerd, en vervolgens samen met het water in de menginstallatie gebracht.

Het energieverbruik voor het transport van de grondstoffen naar de centrale is een relatief belangrijke post en varieert naargelang van de afstand en het transportmiddel. Als gemiddelde afstand naar de centrale wordt 100 km genomen, via waterwegen (0,00032 GJ/t.km). Wegen en mengen vergen daarentegen maar weinig energie, namelijk 0,025 GJ/ton, d.w.z. 0,06 GJ per m³ beton. Gedurende dit stadium wordt dus 0,137 GJ per m³ beton verbruikt.

Na het mengen wordt het verse beton in een truck-mixer naar de bouwplaats gebracht, waar het in de bekisting wordt gestort en met trilnaalden verdicht. Als gemiddelde transportafstand tot de bouwplaats wordt 50 km genomen (0,00172 GJ/t.km). De energie nodig voor het storten en verdichten wordt daarentegen verwaarloosd. Per m³ beton is bijgevolg 0,206 GJ nodig. Samen vertegenwoordigen alle posten van deze fase dus ongeveer 0,34 GJ.

Gebruiksfase en onderhoud

In de volgende hoofdstukken zal worden aangetoond hoe warmteverliezen kunnen worden begroot en hoe sommige gratis warmtewinsten ten nutte kunnen worden gemaakt. Die beschouwingen slaan op de globale energieprestaties op het niveau van een gebouw, niet van het materiaal beton. De energie nodig voor sommige onderhoudswerkzaamheden kan worden verwaarloosd.

Sloop — hergebruik of eliminatie

De hoeveelheid energie die de eigenlijke sloop (met inbegrip van het transport) vergt, bedraagt ± 0,1 GJ per m³ beton. Voor het scheiden van het staal en het sorteren van het afbraakmateriaal is 0,06 GJ/ton nodig, voor het vermalen en zeven naar schatting nog eens 0,01 GJ/ton. Bijgevolg is aan het einde van de levenscyclus 0,268 GJ per m³ beton nodig om de afbraakproducten te verwerken.

Samenvatting

Het energieverbruik tijdens de volledige levenscyclus van «1 m³ gewoon zwaar beton, gewapend, in situ gestort in België» omvat als belangrijkste posten :

Cement	1,58 GJ
Zand en granulaten	0,27 GJ
Wapening	2,25 GJ
Bekisting	0,43 GJ
Transport, vervaardiging en verwerking	0,34 GJ
Sloop en verwerking afbraakproducten	0,27 GJ
Totaal	5,14 GJ

Ter vergelijking

In volgende tabel zijn de waarden voor de grijze energie van enkele materialen, volgens verschillende bronnen, samengebracht :

	GJ/m³	kg/m³	GJ/ton
<i>Beton en milieu, VNC, 1996 / FEBELCEM :</i>			
Gewoon zwaar beton, gewapend	5,14	2400	2,14
Gewoon zwaar beton, ongewapend	2,89	2200	1,31
<i>EPFL, O. Joliet, 2003 :</i>			
Volle baksteen	4	1500	3
Massief hout	1	500	2
Gelamelleerd, gelijmd hout	5,1	500	10,2
Staal	250-780	7800	32-100
Glas	35	2500	14
Aluminium	500	2700	184
<i>Graue Energie von Baustoffen, Büro für Umweltschutz, 1995:</i>			
Rotswol	0,7	56	12,3
Glaswol	5,9	128	46
Polyurethaan	3	30	100

Opmerking

Veronderstel een gemiddelde woning, waarin 60 m³ beton verwerkt is. De grijze energie in dit beton bedraagt bijgevolg ca. 200 GJ, of omgerekend 56 000 kWh. Uitgaande van een jaarlijks energieverbruik voor ruimteverwarming van 15 000 kWh, komt deze grijze energie overeen met ruim 3,5 jaar stookverbruik. Dit kan veel lijken, maar voor een woning met een levensduur van 75 jaar betekent het minder dan 5 %. Vergeleken met andere materialen levert beton bovendien vaak energiebesparingen op in andere domeinen (beperkt onderhoud, geen airconditioning nodig in de zomer...)

2. Principes van de Bioklimatische Architectuur

De bioklimatische benadering

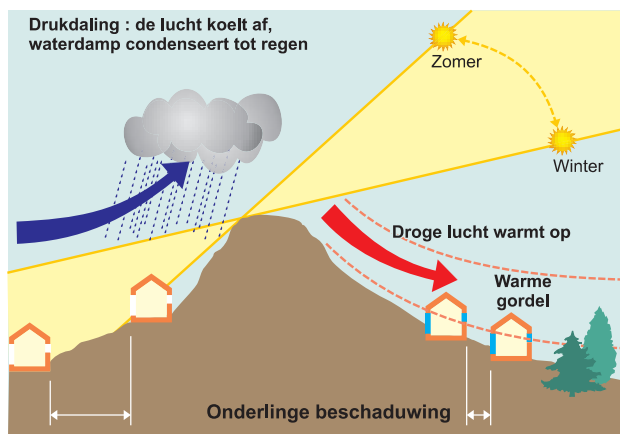
Elk architectuurproject creëert een microkosmos die min of meer verband houdt met de omgeving waarin het zich bevindt. Ontwerp, constructie of renovatie van een gebouw hebben tot doel die microkosmos optimaal in overeenstemming te brengen met zijn omgeving. Zo krijgt het klimaat zijn terechte plaats als fundamentele dimensie van elke architecturale ingreep in de omgeving. Architectuur die op die manier gedefinieerd wordt, houdt rekening met het klimaat en de dynamiek die het impliceert en wordt bioklimatische architectuur genoemd.

Centraal staat de gebruiker : behalve naar vragen met betrekking tot energiebesparing en milieubescherming, gaat de aandacht van de bioklimatische architectuur ook naar comforteisen. Zij komen hierna aan bod. Er moet worden opgemerkt dat het gedrag van de gebruikers het « goed functioneren » van de bioklimatische woning stuurt. Het is van belang dat de bewoners bewust zijn van hun rol en leren leven in symbiose met hun omgeving, en dit volgens het ritme van de dagen en seizoenen.

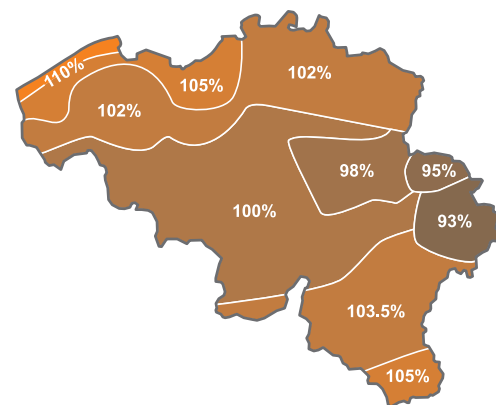
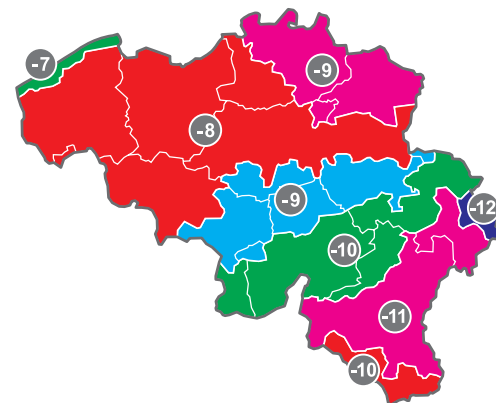
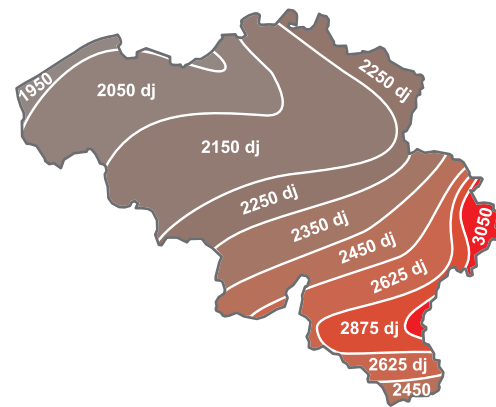
Ons klimaat is niet van die aard dat het thermisch comfort verzekerd is in alle weersomstandigheden, het jaar rond. Afhankelijk van de seizoenen dienen verschillende strategieën gevolgd te worden. In de winter moet worden geprofiteerd van zonnewinsten en is bescherming nodig tegen de koude. We spreken van **warmtestrategie**. In de zomer is zonwering nodig om overhitting te voorkomen en moet soms tocht in de woning worden toegelaten. Dit is de **koudestrategie**. Een bioklimatische woning sluit ook aan bij de natuurlijke ritmes door zoveel mogelijk gebruik te maken van natuurlijk licht : dat is de strategie van de natuurlijke verlichting. Wij behandelen hier de eerste twee strategieën en zullen daarbij nagaan hoe het materiaal beton kan helpen ze in praktijk te brengen.

Het gebouw in zijn klimaat

In België, of waar dan ook, veronderstelt bouwen dat de ligging en de onmiddellijke omgeving van het project goed gekend zijn. Het Belgisch klimaat, dat gematigd is en vochtig, is niet uniform over het hele grondgebied. De directe omgeving van een gebouw heeft bovendien een plaatsgebonden invloed op de windsnelheid (en bijgevolg op de windinfiltratie) en op de zontoetreding (indien het zich niet in de schaduw van een ander gebouw bevindt).



Invloeden van de onmiddellijke omgeving



De ontwerper beschikt over een reeks specifieke kaarten die zijn opgemaakt aan de hand van meteorologische gegevens afkomstig van verschillende weerstations. Zij geven gemiddelde waarden die hij in functie van de plaatselijke randvoorwaarden zal moeten interpreteren:

- de kaart der graaddagen (°d) dient om de jaarlijkse transmissie- en ventilatieverliezen te berekenen (dit is de som van de dagelijkse verschillen tussen de gewenste binnentemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur die dag) ;
- de kaart met de basisbuitentemperaturen (cfr. NBN B 62-003) is nodig om de koude temperaturen te bepalen en het ketelvermogen te berekenen ;
- op basis van de kaart met de zonnestraling worden de zonnewinsten berekend op een bepaalde locatie ; ze wordt uitgedrukt in procent ten opzichte van de waarde voor Ukkel.

De comfortparameters voor de gebruikers

De zorg voor het welzijn van de gebruikers moet voor elke ontwerper centraal staan. Een gevoel van comfort ontstaat wanneer de omgeving als bevredigend wordt ervaren. Verschillende parameters – thermisch, akoestisch, visueel en met betrekking tot de ademhaling – werden gedefinieerd om dit gevoel te bevorderen.

Thermisch comfort

Het dynamisch evenwicht in de warmte-uitwisseling tussen het lichaam en zijn omgeving hangt af van verschillende parameters : het metabolisme van het individu, en bijgevolg van zijn/haar activiteit, kledij, temperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid, en tenslotte wandtemperatuur.

Op basis van talrijke proefopstellingen kon het voorspelde percentage ontevreden (PPD – *Predicted Percentage Dissatisfied*) bepaald worden, evenals de thermische comfortzones in functie van activiteit en kledij. Het blijkt dat de wandtemperatuur t_{wand} [°C] net zo belangrijk is voor het comfortgevoel als de luchttemperatuur t_{lucht} [°C]. Daarom wordt het gemiddelde van deze twee waarden als referentietemperatuur genomen : de droge resulterende temperatuur of comforttemperatuur t_{rs} [°C]. De norm NBN B 62-003 (1986) geeft de verschillende referentiewaarden voor verschillende ruimte- en gebruikstypes. Voor elk lokaal geldt dus :

$$t_{rs} = (t_{wand} + t_{lucht}) / 2$$

Bovendien veroorzaakt een temperatuurverschil van meer dan 3 °C tussen lucht en muren dikwijls een oncomfortabel gevoel. Ook is vastgesteld dat de relatieve vochtigheid van de lucht bij voorkeur tussen 30 en 70 % ligt, en dat de luchtbewegingssnelheid best niet groter is dan 0,2 m/s.

Akoestisch comfort

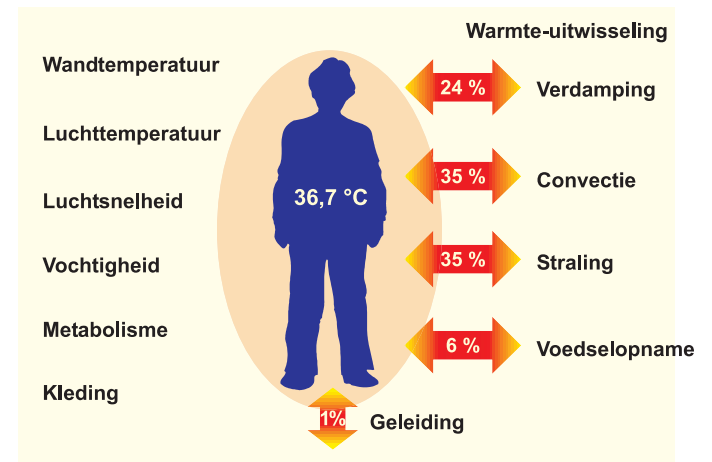
Op gebied van akoestiek hangt het comfort in een lokaal voornamelijk af van het *geluidniveau* en van de *nagalmtijd*. Op voorwaarde dat ze luchtdicht zijn, dragen zware materialen weinig lichtgeluiden over, omdat de akoestische energie snel in het inwendige van het materiaal verstrooid wordt. Ongelukkig genoeg bevordert hun grote stijfheid dikwijls de transmissie van *contactgeluiden*. Er zijn goed doordachte oplossingen nodig om geluidsbruggen te onderbreken. De aard van het wandoppervlak beïnvloedt bovendien de *geluidabsorptie*. Hoe gladder en harder de wand is, hoe beter hij het geluid weerkaatst. Om aan de akoestische comforteisen te voldoen zal het ontwerp met het geheel van deze fenomenen moeten rekening houden.

Visueel comfort

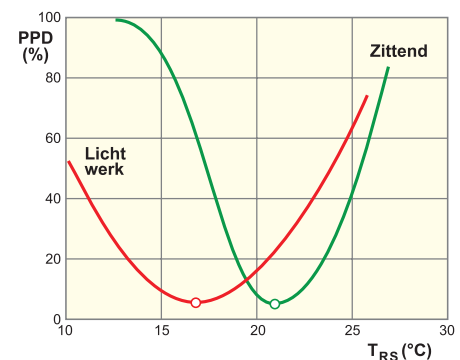
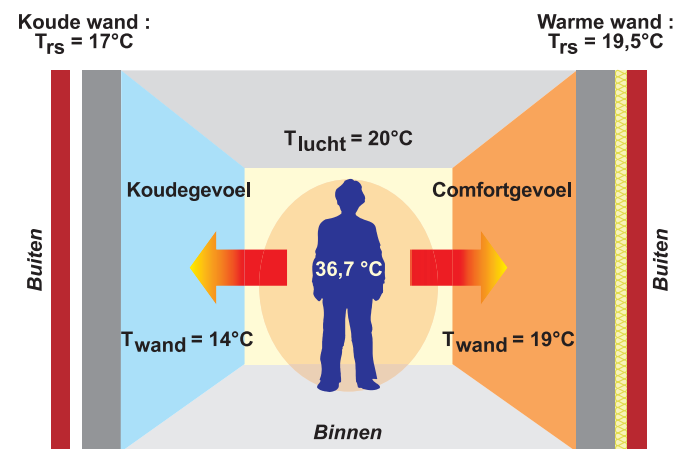
De visuele omgeving moet zodanig zijn dat voorwerpen duidelijk zichtbaar zijn, in aangename kleuren en zonder de ogen te vermoeien. Activiteiten moeten op een efficiënte manier kunnen plaatsvinden, met een maximum aan natuurlijk licht.

Ademhalingscomfort

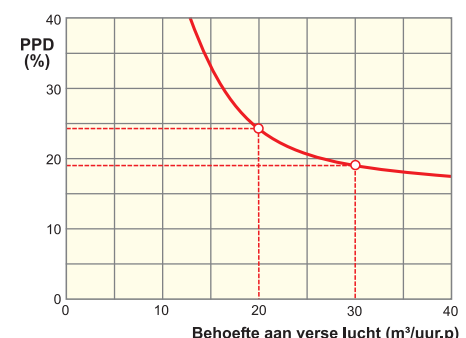
De kwaliteit van de lucht is belangrijk voor het metabolisme en vanuit het oogpunt van hygiëne. Goed geïsoleerde woningen zijn vaak te luchtdicht : de lucht wordt niet voldoende ververst en niet zelden moet worden vastgesteld dat de vervuiling binnen (b.v. CO₂, radon...) groter is dan buiten. Binnen de problematiek van comfort en hygiëne in gebouwen wint *ventilatie* daarom aan belang. Het ademhalingscomfort is een omgevingsfactor die rechtstreeks verband houdt met de temperatuurhuishouding in de woning. Het zuiveren van de lucht veronderstelt immers dat deze lucht ververst wordt door middel van een natuurlijk of mechanisch proces. Ventilatie wordt almaar belangrijker in het energieverbruik van een gebouw. Beton geeft geen giftige stoffen af en heeft bijgevolg weinig te maken met dit comfortaspect.



Thermisch evenwicht tussen het lichaam en zijn omgeving

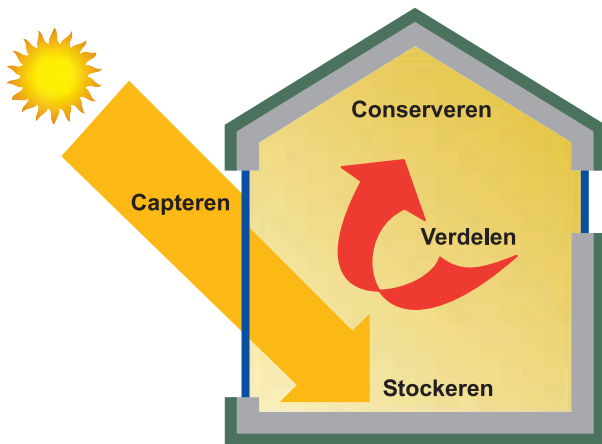


Belang van de wandtemperatuur



Belang van de ventilatie

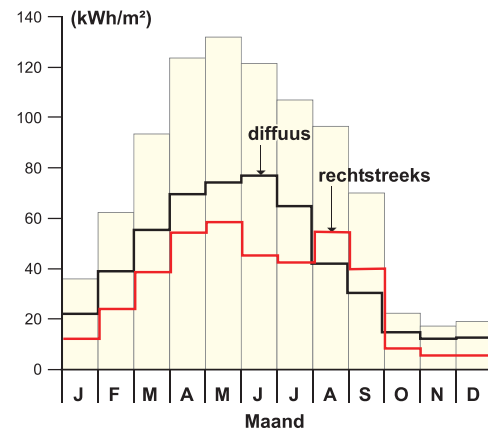
3. Warmtestrategie in de winter



CAPTEREN

> zonnewinsten valoriseren

Warmte capteren houdt in dat de zonne-energie wordt opgevangen en in warmte omgezet. De zonnestraling die door een gebouw wordt ontvangen, kan rechtstreeks zijn of diffuus. In Noord-Frankrijk en België is het aandeel van de diffuse zonne-energie echter groter dan de rechtstreekse straling (ca. 55 %), zelfs in de zomermaanden (invloed van de bewolking). In onderstaande figuur worden de gemiddelde energiehoeveelheden weergegeven die in Brussel door een horizontaal oppervlak worden opgevangen. Het blijkt dat enkel de maanden augustus en september meer directe bezonning hebben dan diffuse.



Globale energie door bezonning

Wanneer de zonnestralen op een transparant element invallen, worden ze deels gereflecteerd, deels geabsorbeerd en deels doorgelaten (transmissie). Vallen ze in op een opake wand, dan wordt de stralingsenergie gedeeltelijk geabsorbeerd en voor een deel weerkaatst, maar er is geen rechtstreekse transmissie. Een deel van de geabsorbeerde energie wordt in dat geval aan de andere kant van de wand verstrooid, maar met een zekere faseverschuiving. Dit komt in het volgende punt aan bod (« STOCKEREN »).

Een deel van de straling die door een glazen wand is gepasseerd, zit aan de andere kant gevangen. Dit veroorzaakt een stijging van de binnentemperatuur: het *broeikaseffect*. Zonnewinsten, of ze nu plaatsvinden door rechtstreekse transmissie doorheen een transparant element, dan wel door absorptie in de massa van de materialen, zijn functie van de invalshoek van de zonnestralen, de oriëntatie en de helling van de wand, de wind, de eigenschappen van het transparante materiaal, de kleur en het soort oppervlak (in het geval van opake materialen).

Om de *zonnewinsten* in een gebouw te kwantificeren moet eerst nagegaan worden welk aandeel van de bezonning het gebouw effectief zal bereiken. De hoogte van de horizonlijn wordt bepaald, zoals deze vanaf het terrein te zien is. Is die hoogte te groot, dan zal de bezonningsduur van de wanden immers sterk gereduceerd worden. Vervolgens worden de *bruto warmtewinsten* berekend van elk van de ramen en na toekenning van een *beschaduwingsfactor*. Hiervoor bestaan talrijke tabellen en voor het Waals Gewest is er een nauwkeurige werkwijze om deze zonnewinsten te integreren in de berekeningsmethode van de netto-energievraag van een gebouw (zie verder bij « Netto-energiebehoefte voor ruimteverwarming »).

De figuur op de volgende pagina toont bijvoorbeeld de onmiddellijke zonneflux doorheen een dubbele beglazing op een zonnige dag in juli, in functie van de oriëntatie van het raam (in Watt per m² beglazing).

De meest kritische oriëntatie is de westelijke : de energie die aangevoerd wordt door de straling van een laagstaande zon voegt zich bij de warmte die reeds in de loop van de dag is geaccumuleerd. Het risico van oververhitting is bijgevolg groter. Bij beglazing die uitkijkt op het zuiden zijn de zonnepwinsten belangrijker in de winter, omdat de zon lager boven de horizon staat en de stralen hierdoor dieper in het gebouw dringen. In de zomer geldt in dat geval het omgekeerde en wordt een toename van het risico van oververhitting verhinderd.

Voor opake wanden wordt het aandeel invallende zonnestraling dat geabsorbeerd wordt, bepaald met de *zonneabsorptiecoëfficiënt* α [-]. Enkele waarden van α :

Proper beton	0,55
Halfproper beton	0,70
Vuil beton	0,80
Leien	0,89
Gewone rode baksteen	0,68

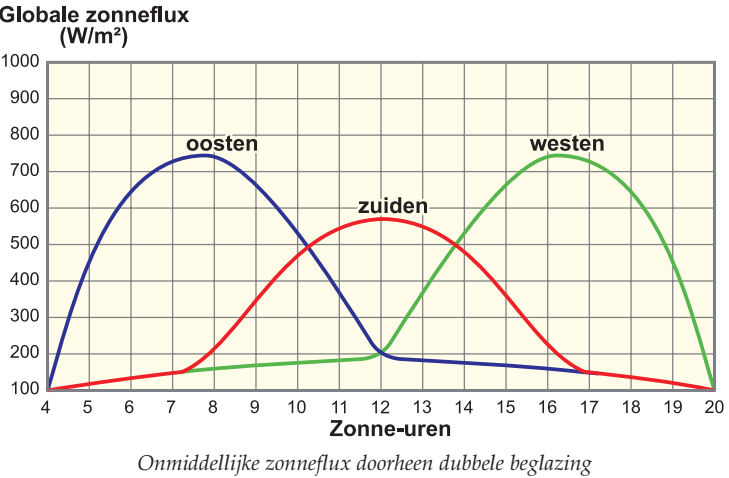
De kleur van het oppervlak en de luchtsnelheid hebben een grote invloed op de manier waarop de zonnestraling wordt geabsorbeerd. Ten bewijze tonen onderstaande figuren het temperatuurverloop op de buitenzijde van een naar het zuiden gerichte wand, uitgevoerd in licht beton en met een cementmortel bepleisterd, bij een heldere hemel, op 15 juni, in België. Op de grafiek links stemmen de drie krommes overeen met drie verschillende waarden voor de absorptiecoëfficiënt α : 0,7 (rood en bruin); 0,45 (grijs); 0,2 (wit).

De grafiek rechts illustreert de invloed van de wind op de oppervlaktetemperatuur. Er is verondersteld dat de binnentemperatuur vastligt op 20°C.

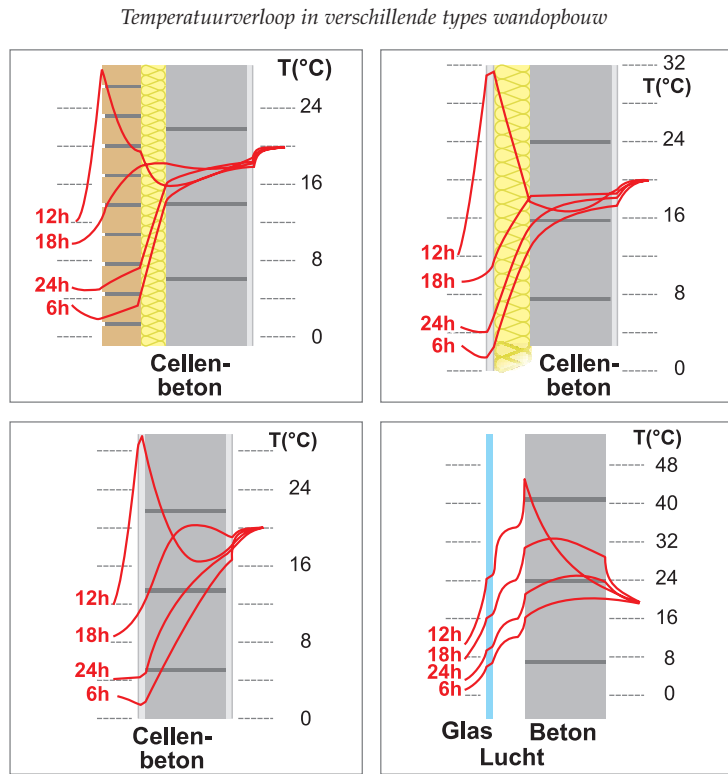
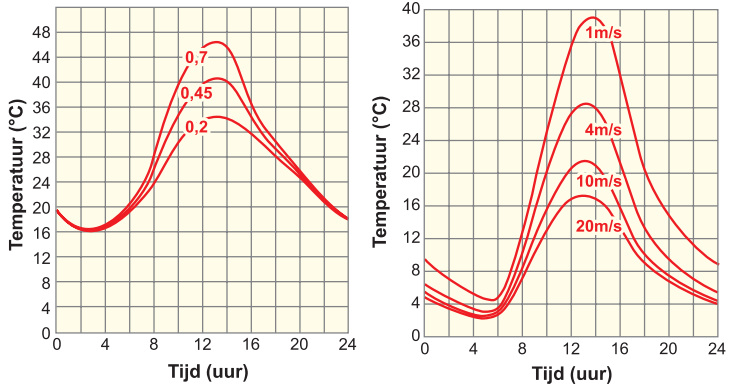
Zonnepwinsten doorheen isolerende opake wanden zijn jammer genoeg moeilijk te begroten. De aanwezigheid van isolatie belet inderdaad dat de massa van de wand aan de binnenkant onderworpen wordt aan de temperatuurschommelingen ten gevolge van zonnestraling. In het volgende hoofdstuk (« STOCKEREN ») zal worden teruggekomen op het feit dat om de thermische inertie-effecten te kunnen benutten, de opdracht erin bestaat de thermische massa « toegankelijk » te maken voor de warmteuitwisseling tussen massa en binnenlucht.

Onderstaande figuren illustreren de temperatuurschommelingen in diverse wandtypes die naar het zuiden zijn georiënteerd, bij heldere hemel, bij een windsnelheid van 4 m/s, op 15 maart, in België. De binnentemperatuur is vastgelegd op 20°C.

In de eerste twee gevallen (spouwmuur met isolatie ; enkelvoudige wand met isolatie) blijkt de temperatuur binnen in de metselblokken zeer weinig te variëren. Zonnepwinsten hebben hier dus weinig invloed op het binnenklimaat. In de andere twee gevallen daarentegen (enkelvoudige muur in licht beton ; muur achter glas) is er een zeer duidelijke temperatuurevolutie tussen het binnenste van de wand en het wandoppervlak. Maar deze wanden zijn dan ook slecht geïsoleerd.



Grafiek 1 : Verschillende zonneabsorptiecoëfficiënten
Grafiek 2 : Invloed van de wind op de oppervlaktetemperatuur



STOCKEREN

> de thermische inertie benutten

Voorafgaandelijke begrippen

In een variabel, en dus dynamisch regime, hangt de manier waarop elk materiaal warmte accumuleert en terug afgeeft vooral af van twee fysische eigenschappen die verband houden met de combinatie van hun volumemassa ρ , hun warmtegeleidbaarheid λ en hun soortelijke warmte c .

Thermische diffusiviteit (warmtevereffeningscoëfficiënt)

De snelheid waarmee de temperatuur van een materiaal evolueert, hangt af van de verhouding van de warmtegeleidbaarheid en het product van de twee andere grootheden : $\lambda/\rho.c$. Dit is de thermische diffusiviteit a [m^2/s]. Hoe groter deze waarde, hoe sneller het materiaal opwarmt.

Thermische effusiviteit

Daar tegenover staat dat de hoeveelheid warmte die aan het materiaal moet geleverd worden om zijn temperatuur te doen stijgen, afhangt van de vierkantswortel van het product van de drie grootheden. Het resultaat wordt *thermische effusiviteit* Eff [$J/m^2Ks^{1/2}$] genoemd, of warmte-indringingsgetal, of nog contactcoëfficiënt:

$$Eff = (\rho \cdot \lambda \cdot c)^{1/2}$$

Hoe groter deze waarde, hoe meer energie aan het materiaal moet geleverd worden om het op te warmen. Een materiaal met een lage Eff voelt warm aan. Een koud aanvoelend materiaal heeft een hoge Eff .

De tabel geeft referentiewaarden voor beton en enkele andere courante materialen. Gemakshalve wordt voor de warmtegeleidbaarheid uitgegaan van een binnenklimaat λ_{ui} .

	ρ [kg/m ³]	a [10 ⁻⁷ m ² /s]	Eff [J/m ² Ks ^{1/2}]
Gewoon zwaar beton, gewapend	2400	7,08	2020
Gewoon zwaar beton, ongewapend	2200	5,91	1691
Betonblokken	2000	5,9	1625
Betonblokken, geëxpand. kleikorrels	1000	3,5	592
Licht beton	700	3	383
Gebakken klei	1500	3,07	831
Kalkzandsteen	1500	3	949
Cellenbetonblokken	600	3	329
Minerale wol	30	13,27	36
Geëxtrudeerd polystyreen	25	9,38	35
Cellenglas	130	3,69	79
Massief hout	500	1,38	350
Cementgebonden vezelplaten	1200	1,3	637
Staal	7800	148	11700
'Petit granit' (blauwe hardsteen)	2700	10,78	2803
Glas	2500	5,33	1369
Stilstaande lucht	1	260	5
Stilstaand water	1000	1,39	1556

Wanden samengesteld uit één materiaal

Geval van thermische schok

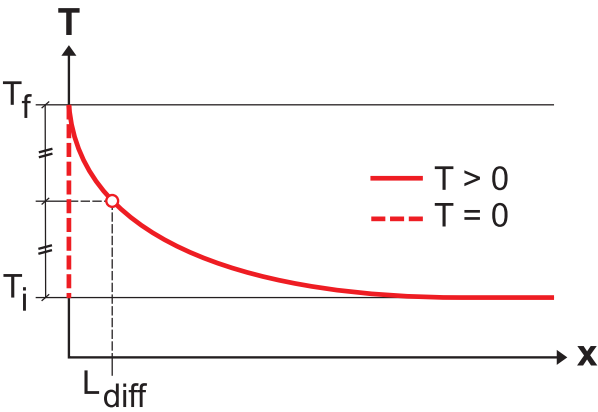
Wanneer één van de oppervlakken van een wand onderworpen wordt aan een plots temperatuurverschil θ , waarbij de temperatuur van T_i naar T_f verloopt, dan hangt de verdeling van deze thermische schok over de wanddikte af van de *diffusielengte* L_{diff} . Deze grootheid geeft de diepte aan tot op dewelke nagenoeg de helft (48%) van de temperatuursprong q zich na een gegeven tijd t heeft voortgeplant. Ze wordt berekend als :

$$L_{diff} = (at)^{1/2}$$

De *totale hoeveelheid warmte* q [J/m^2] die aan het materiaal is toegeleverd na een tijd t kan als volgt worden uitgedrukt:

$$q = 2\theta \cdot (t/\pi)^{1/2} \cdot Eff$$

De hoeveelheid energie nodig om deze temperatuurstijging teweeg te brengen is blijkbaar niet evenredig met de beschouwde tijdsduur, maar met de vierkantswortel ervan.



Temperatuurverloop na een thermische schok

Voorbeeld

Beschouw een zeer dikke wand in *ongewapend gewoon zwaar beton* tussen twee verschillende omgevingen waarin de temperatuur $T_i = 20^\circ\text{C}$ heerst, maar waarbij in één ervan de temperatuur bruusk stijgt : $T_f = 40^\circ\text{C}$ ($\theta = T_i - T_f = 20^\circ\text{C}$).

1 / Na 4 uur :

$$L_{\text{diff}} = (5,91 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 3600)^{1/2} = 9,2 \text{ cm}$$

De diffusielengte L_{diff} bedraagt 9,2 cm en de temperatuur op deze diepte L_{diff} is dan $T_i + (\theta/2) = 30^\circ\text{C}$, indien de temperatuur in de warme omgeving heel die tijd 40°C blijft.

$$q = 2 \cdot 20 \cdot [(4 \cdot 3600) / 3,14]^{1/2} \cdot 1691 = 4,58 \text{ MJ/m}^2$$

Gedurende die tijd heeft de wand dus in totaal deze hoeveelheid warmte ontvangen: $q = 4,58 \text{ MJ/m}^2$.

NB : Dezelfde berekening voor een wand in massief hout levert een diffusielengte op van 4,5 cm en een hoeveelheid ontvangen warmte gelijk aan $0,9 \text{ MJ/m}^2$.

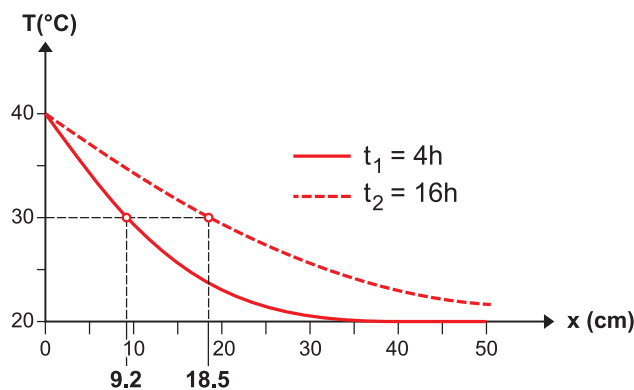
2 / Na 16 uur :

$$L_{\text{diff}} = (5,91 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 3600)^{1/2} = 18,5 \text{ cm}$$

$$q = 2 \cdot 20 \cdot [(16 \cdot 3600) / 3,14]^{1/2} \cdot 1691 = 9,16 \text{ MJ/m}^2$$

De diffusielengte is 18,5 cm, d.w.z. dubbel zoveel als na 4 uur blootstelling. Hetzelfde geldt voor de hoeveelheid warmte die moet aangevoerd worden : $q = 9,16 \text{ MJ/m}^2$.

NB : Voor de wand in massief hout zijn de resultaten respectievelijk 9 cm en $1,8 \text{ MJ/m}^2$.



Thermische schok in gewoon zwaar beton

Geval van harmonisch regime

Buitentemperaturen

Het regime van de buitentemperaturen is veranderlijk en verloopt volgens een sinusöide waarvan de aslijn ter hoogte van de gemiddelde dagtemperatuur ligt. Deze laatste kent op haar beurt over de seizoenen een jaarlijks cyclisch verloop dat schommelt rond de gemiddelde jaartemperatuur. De *amplitude van de schommeling van de buitentemperatuur* wordt genoteerd als θ [$^\circ\text{C}$], zijnde het verschil tussen de uiterste waarden en de gemiddelde temperatuur van de buitenlucht.

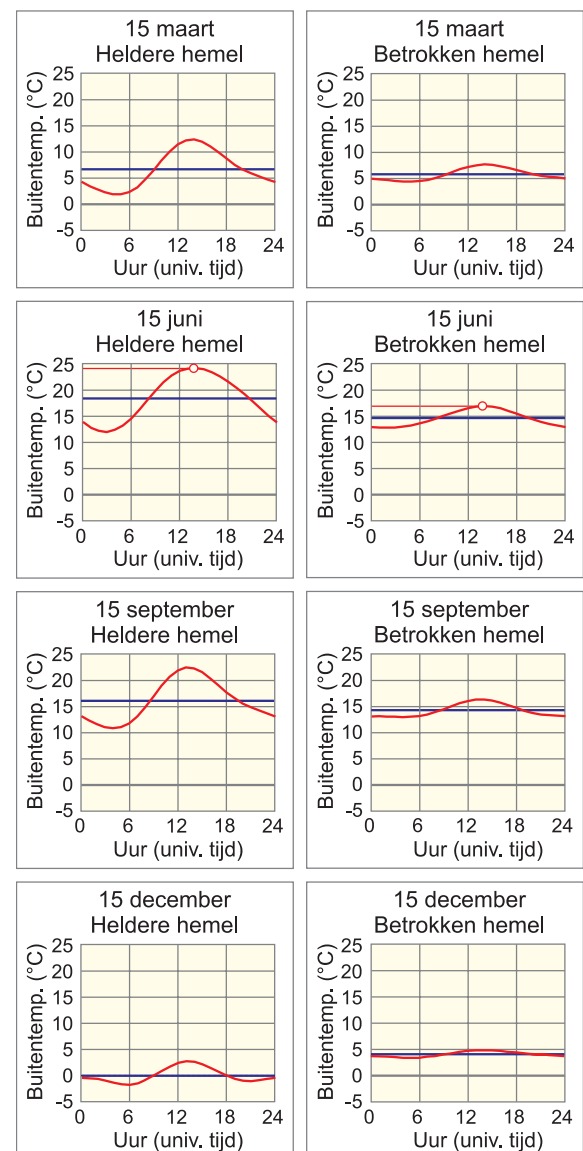
De dagelijkse schommeling van de buitentemperatuur heeft een periode T van 24 uur. De *hoeksnelheid* of *pulsatie* [rad/uur] van deze golf wordt uitgedrukt door

$$\omega = 2\pi / T$$

en is in dit geval gelijk aan $0,7 \cdot 10^{-5}$ cycli per seconde.

Onderstaande grafieken geven de dagelijkse evolutie van de gemiddelde buitentemperatuur weer in Ukkel, bij heldere en bij bewolkte hemel, op de 15^{de} van de maanden maart, juni, september en december.

Dagelijks temperatuurverloop



Indringingsdiepte

Net zoals bij een thermische schok een diffusielengte werd ingevoerd, zo wordt bij een harmonisch regime een *indringingsdiepte* δ [m] gedefinieerd. Dit is de diepte waarop de verhouding tussen de amplitude van de gedempte golf en de amplitude ter hoogte van het blootgestelde oppervlak gelijk is aan $1/e$, hetzij 37% van de aanvangsamplitude. Op te merken valt dat de amplitude van de temperatuurschommeling (θ_{init}) op het buitenoppervlak van de wand afhangt van die van de buitenlucht (θ), alsook van de effecten van convectie, straling of verdamping aan het oppervlak.

Dus geldt :

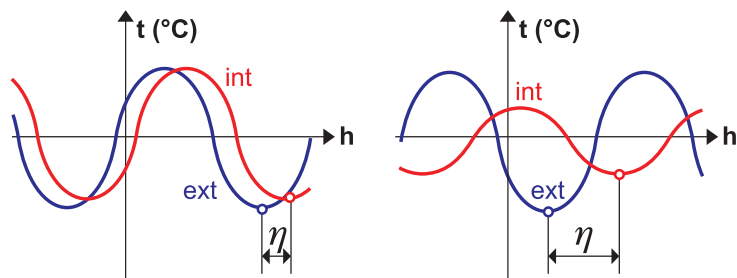
$$\delta = (2a / \omega)^{1/2} = (aT / \pi)^{1/2}$$

Faseverschuiving en demping

Er kan inderdaad worden vastgesteld dat in elk punt van de wand, en bijgevolg ook aan het binnenoppervlak, de begingolf geleidelijk gedempt (de amplitude neemt af) en in fase verschoven wordt (pieken en dalen van de sinusoidale schuiven op in de tijd). Daarom worden volgende grootheden gedefinieerd :

op een diepte x is ν [-] de *dempingsfactor* van de amplitude en η [uur] de *faseverschuiving in de tijd*. Is x gelijk aan de dikte van de homogene wand, dan kan de resulterende temperatuurgolf bepaald worden ter hoogte van het binnenoppervlak van de wand. We kunnen schrijven :

$$\eta = x \cdot \delta / 2a \quad \text{en} \quad \nu = 1 - \theta_{\text{fin}} / \theta_{\text{init}} = e^{-x/\delta}$$



Kleine thermische inertie

Grote thermische inertie

Warmte-accumulatie

Als θ_{init} de amplitude is van de temperatuurschommeling op het blootgestelde oppervlak, dan kan de totale *energie-accumulatie-capaciteit* E_{tot} [J/m²] in de wand gedurende een halve periode uitgedrukt worden als :

$$E_{\text{tot}} = 2^{1/2} \cdot \rho \cdot c \cdot \theta_{\text{init}}$$

Omdat de amplitude van de thermische belasting tijdens de doortocht door de wand geleidelijk gedempt wordt, neemt de wand niet over zijn volledige dikte deel aan het warmte-accumulatieproces onder een harmonisch regime. Zo kan bijvoorbeeld worden aangetoond dat 90% van de opgestapelde warmte-energie gestockeerd wordt in een dikte gelijk aan 2,3 maal de indringingsdiepte δ . Deze energiehoeveelheid wordt aangeduid door E_{δ} [J/m²].

Dus geldt :

$$E_{2,3\delta} = 0,9 \cdot E_{\text{tot}}$$

Rekenvoorbeelden

A/ Op de blootgestelde zijde :

Beschouw een wand in ongewapend gewoon zwaar beton die aan één zijde blootgesteld wordt aan een sinusoidale temperatuurschommeling met amplitude $\theta_{\text{init}} = 5^\circ\text{C}$ en periode $T = 24$ u. Op die manier wordt een denkbeeldige situatie gesimuleerd waarbij de temperatuur aan het blootgestelde oppervlak evolueert van $T_{\text{i,min}} = 15^\circ\text{C}$'s nachts naar $T_{\text{i,max}} = 25^\circ\text{C}$ overdag. Als gemiddelde temperatuur van het materiaal wordt in dit voorbeeld over de volledige dikte 20°C genomen.

De indringingsdiepte is gelijk aan :

$$\delta = [(5,91 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 3600) / 3,14]^{1/2} = 12,8 \text{ cm}$$

B/ Voor $x = \delta$:

Faseverschuiving en demping worden als volgt berekend :

$$\eta = 0,128^2 / 2 \cdot 5,91 \cdot 10^{-7} = 1370 \text{ s} = 3 \text{ h } 49'$$

Vermits $\nu = e^{-1} = 37\%$, bedraagt de amplitude van de temperatuurschommeling op de diepte δ :

$$\theta_{\text{fin}} = \theta_{\text{init}} \cdot \nu = 1,8^\circ\text{C}$$

De temperatuur evolueert dus van $T_{\text{f,min}} = 18,2^\circ\text{C}$, een kleine 4 uur (3 u 49') nadat de blootgestelde zijde op het minimum was (15°C), naar $T_{\text{f,max}} = 21,8^\circ\text{C}$, bijna 4 u nadat op de buitenzijde het maximum was bereikt (25°C).

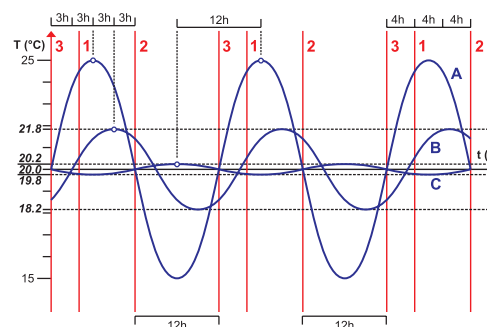
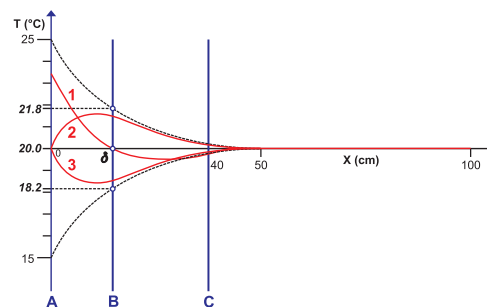
C/ Met welke x stemt een faseverschuiving η van 12 uur overeen ?

$$x = 2\eta \cdot (\pi a / T)^{1/2}$$

$$= 2 \cdot 12 \cdot 3600 \cdot [(3,14 \cdot 5,91 \cdot 10^{-7}) / (24 \cdot 3600)]^{1/2} = 40 \text{ cm}$$

Bijgevolg, als $\eta = 12$ h, dan is $x = 40$ cm. De dempingsfactor is dan $\nu = 96\%$, de amplitude van de temperatuurschommeling $\theta_{\text{fin}} = 0,2^\circ\text{C}$, $T_{\text{f,min}} = 19,8^\circ\text{C}$ en $T_{\text{f,max}} = 20,2^\circ\text{C}$.

Opdat de minimumtemperatuur ($19,8^\circ\text{C}$) op het binnenoppervlak zou bereikt worden op het ogenblik dat op de blootgestelde zijde de maximumtemperatuur wordt genoteerd (25°C), m.a.w. na 12 u faseverschuiving, moet dit type wand een dikte hebben van 40 cm. Temperatuurschommelingen ter hoogte van het binnenoppervlak zijn in dat geval verwaarloosbaar. Een en ander wordt geïllustreerd in onderstaande grafieken. De bovenste figuur toont de temperatuurverdeling over de dikte van het materiaal ; de onderste geeft de evolutie van de temperaturen op verschillende dieptes.



Dynamisch temperatuurverloop bij sinusoidale blootstelling

D/ Vergelijking met andere materialen :

Uitgaande van dezelfde veronderstellingen als hierboven geeft volgende tabel voor verschillende materialen de indringingsdiepte δ aan en de *accumulatiecapaciteit* $E_{2,3,\delta}$ [MJ/m²] voor een diepte gelijk aan $2,3 \cdot \delta$. Ter informatie is ook de *accumulatiecapaciteit* E_{20} [MJ/m²] toegevoegd voor een homogene wand van 20cm. Duidelijk is dat zware materialen, zoals beton, globaal meer warmte accumuleren. Ook is de dikte die daadwerkelijk kan bijdragen tot deze warmte-accumulatie, groter.

	δ [cm]	$2,3 \cdot \delta$ [cm]	$E_{2,3,\delta}$ [MJ/m ²]	E_{20} [MJ/m ²]
Gewoon zwaar beton, gewapend	14	32,2	4,3	3,6
Gewoon zwaar beton, ongewapend	12,8	29,4	3,6	3,2
Betonblokken	12,7	29,2	3,2	2,8
Betonblokken, geëxpandeerde klei	9,8	22,5	1,2	1,2
Licht beton	9,1	20,9	0,8	0,8
Gebakken klei	9,2	21,2	1,8	1,8
Kalkzandsteen	9,1	20,9	1,7	1,7
Cellenbetonblokken	9,1	20,9	0,7	0,7
Minerale wol	19,1	43,9	0,08	0,06
Geëxtrudeerd polystyreen	16	36,8	0,07	0,06
Cellenglas	10,1	23,2	0,02	0,02
Massief hout	6,2	14,3	0,7	0,7
Cementgebonden vezelplaten	6	13,8	1,3	1,4
Staal	63,8	146,7	24,7	7,4
'Petit granit' (blauwe hardsteen)	17,2	39,6	5,9	4,5
Glas	12,1	27,8	2,9	2,1
Stilstaande lucht	8,5	19,6	0,001	0,001
Stilstaand water	6,2	14,3	3,3	3,5

Meerlagige wanden

Strikt genomen geldt wat hierboven is uiteengezet enkel voor een half-oneindige wand (één blootgestelde zijde en een oneindige dikte) die homogeen is over zijn volledige dikte (samengesteld uit één materiaal). Reële situaties zijn inderdaad erg moeilijk te simuleren voor dynamische regimes en de invloed van fenomenen die hier werden verwaarloosd, kan toch belangrijk zijn.

Deze complexiteit maakt het lastig om de inertie in de praktijk in rekening te brengen. Vooraleer meerlagige wanden nader te bekijken kan toch een algemeen principe geformuleerd worden. Zoals in het hoofdstuk « CAPTEREN » reeds werd opgemerkt, belet een isolatielaag in de muur dat de massa die zich aan de andere kant ervan bevindt daadwerkelijk betrokken wordt bij de dynamische uitwisselingen die gepaard gaan met warmtestockage. Om inertie-effecten te kunnen benutten is daarom de volgende regel van toepassing : **de ontwerper moet de massa aan de binnenkant van de wanden van een gebouw « toegankelijk maken », zodat tussen deze massa en het binnenklimaat uitwisseling mogelijk is.** Uit de voorgaande voorbeelden bleek dat zware materialen, zoals beton, globaal in staat zijn meer warmte op te slaan. De toepassing van dit principe biedt overigens de gelegenheid de architecturale eigenschappen van zichtbeton te benutten : ruw, gepolijst, mat, gekleurd, natuurlijk of gebeitst, glad of korrelig... Dit kan ook economisch interessant zijn, vermits de kosten van een bijkomende afwerking wegvallen.

Hierbij moet evenwel worden opgemerkt dat te vaak enkel permanente temperatuurregimes worden beschouwd, en dat in de huidige normen bijvoorbeeld het effect van de inertie slechts voorkomt in de berekening van de netto-energiebehoefte (zie verder onder « *Netto-energiebehoefte voor ruimteverwarming* ») en voor de berekening van het vereiste vermogen voor zelden of periodiek verwarmde ruimtes – NBN B 62-003/Annex A van 1996 (zie verder). De nieuwe Europese Richtlijn inzake energieprestaties van gebouwen (zie verder onder « *De Europese Richtlijn* ») veronderstelt dat rekening wordt gehouden met de klimatologische en plaatselijke omstandigheden en met de binnenklimaatseisen. Het decreet dat door het Vlaams parlement is aangenomen op 28 april 2004, en dat beantwoordt aan deze richtlijn, omvat een volledige methode gebaseerd op de berekening van het peil van primair energieverbruik (E-peil).

Oppervlaktemassa - Inertieklasse

Voor de berekening van de netto-energiebehoefte b_e (zie verder) zijn vijf inertieklassen gedefinieerd. Deze beïnvloeden het rendement waarmee gratis energiebronnen (zonnewinsten, interne winsten) worden benut. Ingeval het een klassieke ('traditionele') bouwwijze betreft, beveelt de b_e -berekeningsmethode klasse I_3 aan voor woningen en klasse I_5 voor appartementsgebouwen.

In de andere gevallen moet de keuze van de inertieklasse verantwoord worden door een berekening. Eerst wordt de *reële oppervlaktemassa* m_s [kg/m²] berekend van alle wanden die het beschermd volume V begrenzen en van alle wanden die zich binnen dit volume bevinden. Hiertoe wordt voor elke materiaallaag de volumemassa ρ vermenigvuldigd met de dikte e van die laag. Vervolgens wordt de *nuttige oppervlaktemassa* m_u [kg/m²] berekend. Enkel de massa die zich tussen de isolatie en de binnenruimte bevindt, telt hiervoor mee. Is de isolatie over het materiaal verdeeld, dan wordt de totale oppervlaktemassa slechts voor de helft beschouwd, en ze wordt in ieder geval beperkt tot 150kg/m². Aan ramen wordt geen massa toegekend. De massa van de binnenwanden wordt meegerekend met een maximum van 300kg/m². De *conventionele massa* van de wand M [kg/m²] wordt dan gedefinieerd als het product van de wandoppervlakte met de kleinste van de waarden m_s en m_u .

De *inertie-index* I [kg/m²] van het gebouw wordt gedefinieerd als de verhouding van som van de waarden M van alle wanden tot de *verwarmde vloeroppervlakte* A_{ch} : $I = \Sigma M / A_{ch}$. Zo wordt vastgesteld tot welke *inertieklasse* het gebouw behoort :

I_1 als $I < 60$; I_2 als $60 < I \leq 150$; I_3 als $150 < I \leq 400$, I_4 als $I > 400$ en I_5 voor appartementsgebouwen.

Thermische weerstand tegen opwarming

Voor sporadisch of periodiek verwarmde lokalen stelt Annex A van de norm NBN B 62-003 (1996) – net als de Duitse norm DIN 4701 (1983) – dat de *warmtebehoefte* Φ [W] van een lokaal gelijk is aan de som van de *warmteverliezen door transmissie* Φ_t [W], de *warmteverliezen door ventilatie* Φ_v [W] en de *warmtebehoefte* Φ_w [W] van alle wanden van het lokaal die warmte kunnen accumuleren (binnen- en buitenwanden, vloer, plafond). In wat volgt, gaat de aandacht naar deze laatste factor, namelijk Φ_w . Volgens de norm is

$$\Phi_w = \sum (A_w (\theta_i - \theta_0) / R_z)$$

waarbij A_w de *wandoppervlakte* [m²], θ_i de gewenste droge resulterende binnentemperatuur [°C] aan het einde van de opwarmingsperiode, θ_0 de binnentemperatuur [°C] in het lokaal vóór opwarming, en tenslotte R_z , de gemiddelde *weerstand tegen opwarming* [m²K/W].

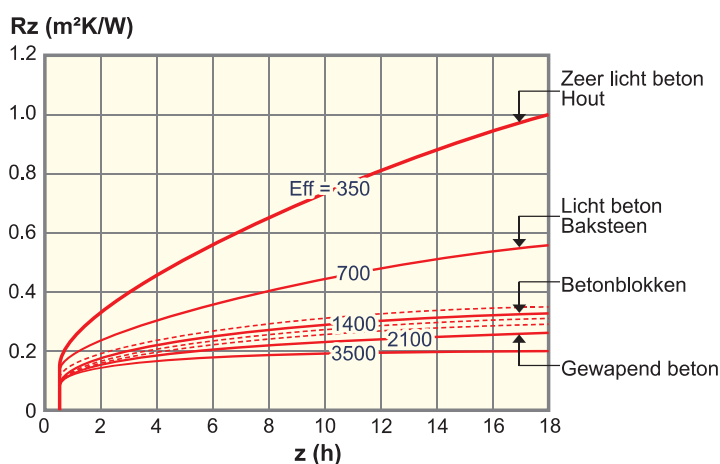
Deze gemiddelde thermische weerstand tegen opwarming wordt berekend met volgende semi-empirische formule :

$$R_z = 0,13 + 67,7 \cdot (z - 0,5)^{1/2} / \text{Eff}$$

Daarin is z de opwarmingstijd [uur]. De andere parameters zijn reeds eerder gedefinieerd. Onderstaande figuur toont dat de *effusiviteit* opnieuw een rol speelt.

De binnentemperatuur θ_0 , die heerst vóór het heropstarten, kan worden berekend voornamelijk op basis van de warmteverliezen van het lokaal, de thermische inertie van de wanden en de afkoelingsduur. Meestal zorgt de verwarmingsinstallatie ervoor dat deze temperatuur begrensd blijft tot een minimumwaarde (beletten van vorst). Er kan worden aangenomen dat θ_0 deze grenswaarde bereikt.

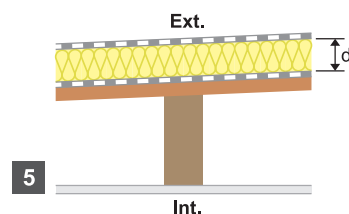
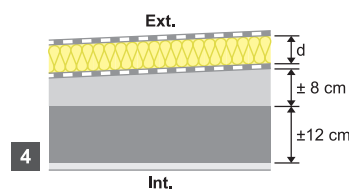
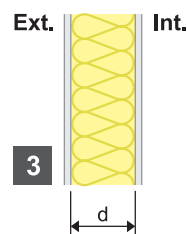
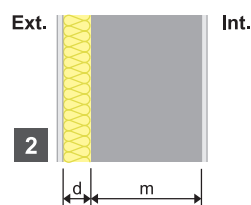
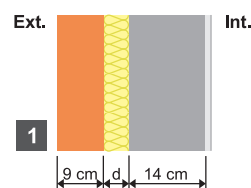
De voorgestelde formule is evenwel slechts geldig indien de heropwarmingstijd beperkt is tot 1, 3, 12 en 30 uur voor wanddiktes van respectievelijk 10, 20, 40 en 60 cm. Steeds volgens de norm NBN B 62-003, wordt het te installeren ketelvermogen bepaald door de grootste van deze waarden : de warmtebehoefte Φ , berekend volgens deze methode, en de genormaliseerde warmteverliezen Φ_n , berekend volgens de methode beschreven in de volgende paragraaf. In sommige gevallen kunnen massieve wanden dus een hoger stookvermogen vergen.



Bepaling van de gemiddelde thermische weerstand tegen opwarming

Voorbeelden van typewanden

- 1 / Spouwmuren, holle blokken van gewoon zwaar beton
→ $m_u = 150 \text{ kg/m}^2$.
- 2 / Massieve buitenmuren, holle blokken van gewoon zwaar beton
→ $m_u = 150 \text{ kg/m}^2$.
- 3 / Houtskeletwanden, thermische isolatie tussen multiplex-, houtvezel- of gipskartonplaten
→ $m_u = 37 \text{ kg/m}^2$.
- 4 / Platte daken, draagconstructie in gewapend beton
→ $m_u = 150 \text{ kg/m}^2$.
- 5 / Platte daken, draagconstructie in hout of afgeleide producten
→ $m_u = 150 \text{ kg/m}^3$.



CONSERVEREN

> de warmteverliezen beperken

Warmtedoorgangscoefficiënt van wanden

In koude periodes moet getracht worden alle beschikbare warmte te conserveren, of ze nu afkomstig is van *bezinning*, van *interne winsten*, of van de verwarmingsinstallatie. In een gematigd klimaat zoals het onze, kunnen twee derden van de *warmteverliezen* plaatsgrijpen door geleiding doorheen de gebouwschil.

Naast het opteren voor een thermisch geïsoleerde schil moet de ontwerper streven naar een zo compact mogelijke gebouwvorm. De warmteverliezen doorheen de wanden hangen immers af van de compactheid van het *beschermd volume* V [m³]. Dit volume V omvat het geheel van alle lokalen die normaliter bestemd zijn om verwarmd of gebruikt te worden. De *compactheidsgraad* of *vormfactor van het gebouw* is de verhouding V/A_T [m], waarin A_T [m²] de *verliesoppervlakte* is, d.w.z. de oppervlakte waardoor het beschermd volume van het gebouw warmte kan verliezen. Hoe groter de compactheidsgraad (dus hoe compacter het gebouw), hoe kleiner de verliezen voor een gegeven beschermd volume. De ontwerper kan nog verder gaan en de verdeling van de verwarmingslast optimaliseren door verschillende zones te creëren waarvan oriëntatie en binnentemperatuur aangepast zijn aan de activiteiten die in elke zone zullen plaatsvinden.

Vanuit een fysisch oogpunt bekeken, ontstaat een *warmteflux* q [W/m²] in een wand wanneer deze twee ruimtes scheidt waarin verschillende temperaturen heersen. Bij een stationair regime (constante flux), is de warmteweerstand van elke wandlaag evenredig met de *laagdikte* e [m] en met het omgekeerde van de *warmtegeleidingscoëfficiënt* λ [W/mK] van het materiaal waaruit de laag bestaat. De *totale thermische weerstand van de wand* R_t [m²K/W] is de som van de weerstand van elke laag en de weerstand van de twee wandoppervlakken.

$$R_t = R_i + \sum e / \lambda + R_e$$

De *warmtedoorgangscoefficiënt van een wand* U [W/m²K] wordt gedefinieerd als het omgekeerde van R_t : $U = 1 / R_t$.

Tevens geldt :

$$q = U \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

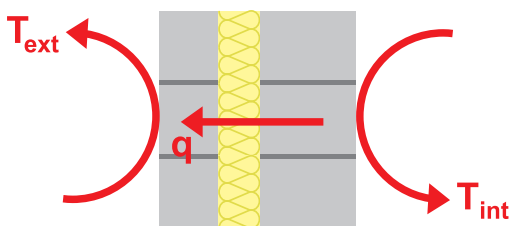
Zie hiervoor de norm NBN B 62-002 (1987) en zijn Annex 1 (2001).

De wetgeving van de verschillende Belgische Gewesten legt waarden op volgens het type wand: ofwel maximumwaarden voor de warmtedoorgangscoefficiënt van de wand, U_{max} [W/m²K], ofwel minimumwaarden voor de warmteweerstand van de wand, R_{min} [m²K/W]. Ter informatie zijn hierna enkele limietwaarden aangegeven die vandaag van toepassing zijn in de verschillende regio's (voor woningen enkel in het Vlaams Gewest), voor muren en opake verticale wanden in contact met :

- de buitenlucht of een niet-verwarmd niet-vorstvrij lokaal : $U_{max} = 0,6$;
- een niet-verwarmd vorstvrij lokaal of de bodem : $U_{max} = 0,9$.

In Vlaanderen mag de eerstgenoemde waarde overschreden worden — mits ze evenwel kleiner blijft dan 1 [W/m²K] — indien kan worden aangetoond dat deze aanname niet zal leiden tot condensatieproblemen.

Warmteflux bij stationair regime in een homogene wand



Voorbeelden

Wand bestaande uit één enkel materiaal :

Veronderstel een wand die gemaakt is uit één enkel materiaal en die het beschermd volume scheidt van de buitenlucht. Om het voorgaande te illustreren wordt voor verschillende materialen de *minimale dikte* e_{min} [cm] vergeleken die nodig is om te voldoen aan $U = 0,6$ W/m²K.

$$R_t = R_i + e / \lambda + R_e = 1 / U \Rightarrow e_{min} = [(1 / 0,6) - 0,125 - 0,043] \cdot \lambda$$

	ρ [kg/m³]	e_{min} [cm]
Gewoon zwaar beton, gewapend	2400	330
Gewoon zwaar beton, ongewapend	2200	255
Betonblokken	2000	256
Betonblokken, geëxpandeerde kleikorrels	1000	69
Licht beton	700	51
Gebakken klei	1500	136
Kalkzandsteen	1500	195
Cellenbetonblokken	600	43
Massief hout	500	22
Minerale wol	30	6
Geëxtrudeerd polystyreen	25	5
Cellenglas	130	7
Staal	7800	6744
'Petit granit' (blauwe hardsteen)	2700	523
Stilstaande lucht	1	4
Stilstaand water	1000	87

Spouwmuur :

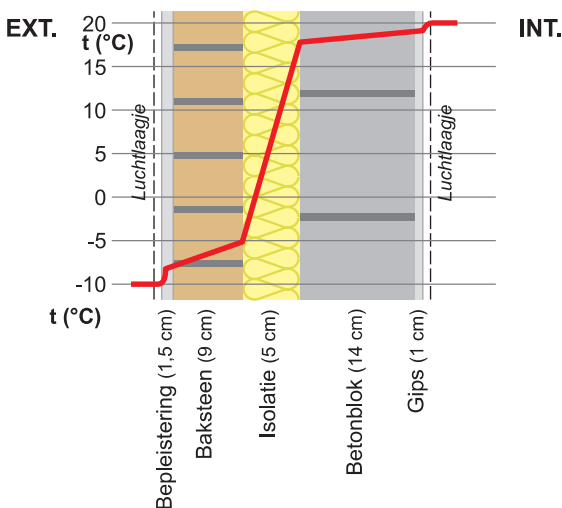
Uit bovenstaande tabel blijkt dat het moeilijk is om aan de thermische eisen te voldoen met een wand die slechts uit één materiaal bestaat. Valt de keuze op een materiaal als beton, dan zal in de praktijk een isolatielaag moeten geïntegreerd worden in de wand. De berekening van de warmteweerstand van een spouwmuur, zoals in onderstaande figuur afgebeeld (totale dikte = 30,5 cm), gebeurt als volgt :

$$R_t = 1 / 23 + 1,5 \cdot 10^{-2} / 1,2 + 9 \cdot 10^{-2} / 0,91 + 5 \cdot 10^{-2} / 0,034 + 14 \cdot 10^{-2} / 1,32 + 10^{-2} / 0,52 + 1 / 8 = 1,9 \text{ m}^2\text{K/W}$$

En bijgevolg $U = 1 / R_t = 0,5$ W/m²K < U_{max}

Ook het temperatuurverloop $T(x)$ door de opeenvolgende lagen waaruit de muur bestaat, kan worden bepaald.

Temperatuurverloop in een spouwmuur



Inwendige condensatie en koudebruggen

Vochtige lucht en verzadiging

De omgevende lucht kan slechts een beperkte hoeveelheid waterdamp absorberen. Is deze hoeveelheid bereikt, dan is de lucht verzadigd, en alle bijkomende waterdamp zal *condenseren*. De hoeveelheid waterdamp die verzadigde lucht kan bevatten, is kleiner als de temperatuur daalt. Bijgevolg, wanneer lucht die een hoeveelheid waterdamp bevat, afkoelt in contact met een koud oppervlak of terwijl hij door een materiaal migreert naar een koudere omgeving (de buitenlucht 's winters), kan hij op een temperatuur uitkomen (het *dauwpunt*) waarbij hij verzadigd is, terwijl hij nog steeds dezelfde hoeveelheid damp bevat (m.a.w.: de partiële dampdruk wordt gelijk aan de verzadigingsdruk). Indien de temperatuur van de lucht verder daalt, zal een deel van de waterdamp die hij bevat, condenseren. Met een vochtige lucht-diagram kunnen deze fenomenen gevisualiseerd worden en becijferd.

Waterdampdoorlatendheid

De meeste materialen zijn poreus. Dikwijls zien ze er niet poreus of waterdoorlatend uit, maar toch laten ze waterdamp door. Het damptransport dat in het materiaal plaatsvindt, hangt hoofdzakelijk af van het drukverschil tussen de omgevingen aan weerszijden van het materiaal, maar ook van andere factoren zoals vorm en afmetingen van de poriën...

Relatieve en absolute porositeit

Net zoals een warmtegeleidingscoëfficiënt werd ingevoerd, zo kan ook een *waterdampdoorlatendheid* λ_D worden gedefinieerd, uitgedrukt in [kg/msPa] of [mg/mhPa].

De norm NBN EN 12524 definieert, vertrekkend van de definities uit ISO 7345 en ISO 9346, het *diffusieweerstandsgetal* μ [-]. Dit is de verhouding van de $\lambda_{D, \text{lucht}}$ -waarde van de lucht en van het materiaal :

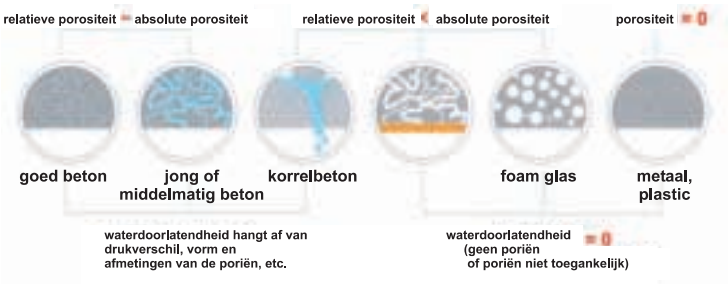
$$\mu = \lambda_{D, \text{lucht}} / \lambda_{D, \text{materiaal}}$$

Een materiaal met een laagdikte e [m] en met een diffusieweerstandsgetal μ vertoont dezelfde diffusieweerstand als een laag lucht met een dikte S_d [m]:

$$S_d = \mu \cdot e$$

Dit wordt de *equivalente dikte* genoemd.

Diffusieweerstandsgetal van enkele materialen :		
	ρ [kg/m³]	μ [-]
Gewoon zwaar beton, ongewapend	2200	70-150
Beton met geëxpandeerde kleikorrels	700-1200	10-30
Baksteen	1500	6-10
Kalkzandsteenblok	1500	10-25
Cellenbetonblok	600	5-10
Minerale wol	30	1-2
Geëxpandeerd polystyreen	30	50-100
Geëxtrudeerd polystyreen	25	80-150
Cellenglas	130	(Dampdicht)
Massief hout	500	20-40
Vezelplaat	600	40-200
Staal	7800	(Dampdicht)
'Petit granit' (blauwe hardsteen)	2700	20
Stilstaande lucht	1	1



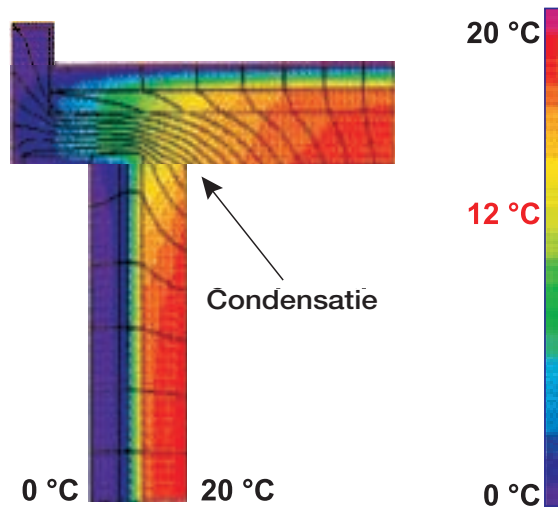
Relatieve en absolute porositeit

Inwendige condensatie

Zoals te zien is op het T(x)-diagram van de spouwmuur (zie vorige pagina), is het temperatuurverloop in de wand zo dat de temperatuur in de isolatielaag kan dalen tot het *dauwpunt*. In deze zone bestaat bijgevolg het gevaar dat inwendige condensatie optreedt in de wand. Om dit risico in te schatten wordt het verloop van de effectieve dampdruk en van de verzadigingsdampdruk bepaald, uitgaande van het diagram van de vochtige lucht en van de diffusieweerstandsgetallen μ (of S_d) van de verschillende materialen waaruit de wand is samengesteld. Met de *methode van Glaser*, die temperatuur- en dampdruk-profielen combineert, kan inwendige condensatie worden gelokaliseerd en gekwantificeerd. Is het risico van inwendige condensatie aanwezig, dan moet een dampscherm (of dampremmende laag) voorzien worden aan de warme zijde, waardoor het binnendringen van waterdamp in de wand onder controle blijft.

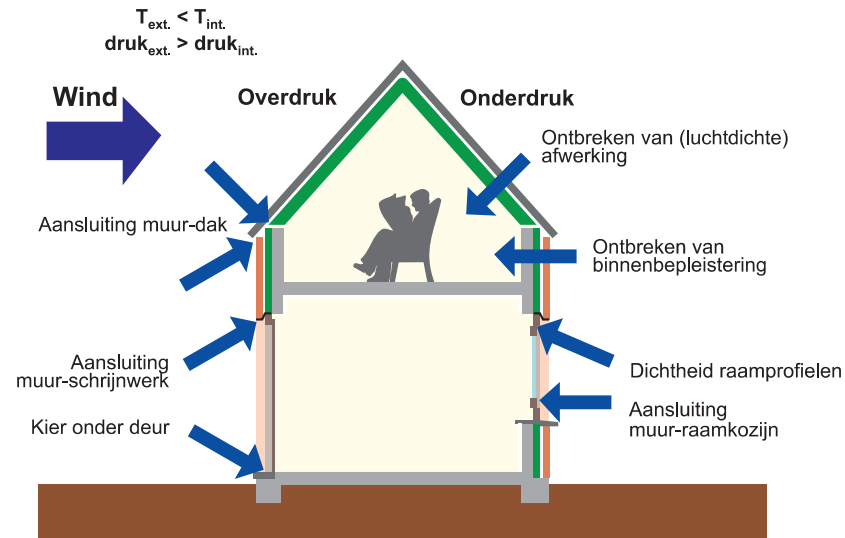
Koudebruggen

Koudebruggen zijn gebreken in het ontwerp en/of de plaatsing van de isolerende gebouwschil. Mits een goede detaillering en uitvoering kunnen ze dus vermeden worden. De problemen die ze veroorzaken zijn gebrek aan comfort (wandtemperatuur), extra energieverbruik (warmteverliezen), eventueel schade aan de constructie (condensatie, schimmelvorming).



Voorbeeld van lijnvormige koudebrug

Merk op dat een slechte luchtdichtheid in sommige constructiedetails gelijkaardige problemen kan veroorzaken als de hierboven geciteerde koudebruggen. Plaatsen waar de luchtdichtheid vaak in gebreke blijft, zijn op het schema hieronder aangeduid.



Gebrekkige luchtdichtheid en tocht

Bovenstaande figuur illustreert een typisch geval waarbij de warmteflux ter hoogte van de constructieknoop bijzonder sterk is. De transmissieverliezen veroorzaakt door deze koudebrug zijn verre van verwaarloosbaar. De temperatuurschaal duidt aan dat de temperatuur er rond 12 °C ligt. In normale vochtigheidscondities van een woning is dit het dauwpunt : op die plaats zal bijgevolg condensatie optreden.

De invloed van een koudebrug beperkt zich over het algemeen niet tot het oppervlak en kan daarom niet berekend worden zoals de U-waarde van de wanden. De bijkomende warmteverliezen ten gevolge van de koudebrug worden uitgedrukt door een *transmissie-coëfficiënt*, namelijk (U_l) voor een lijnkoudebrug en (U_p) voor een puntkoudebrug. Ze worden bepaald door meting of door berekening. Benaderende waarden zijn opgenomen in de norm NBN B 62-002.

De voornaamste constructiedetails waar zich koudebruggen kunnen situeren zijn: **lateien boven ramen en deuren; vensterbanken; spouw dichting aan raam- en deursponningen; vloeren in contact met het buitenspouwblad; dakranden; uitkragingen aan terrassen en balkons; balken en kolommen in beton; funderingen...** Er bestaan talrijke systemen en technieken om koudebruggen te voorkomen.

Berekening van warmteverliezen - Isolatiepeil

Berekening van de genormaliseerde verliezen

Nadat de warmtedoorgangscoefficienten (U-waarden) voor de verschillende wanden en de eventuele koudebruggen zijn bepaald, laat de norm NBN B 62-003 toe, lokaal per lokaal, de warmteverliezen van een gebouw uit te rekenen. De norm geeft inderdaad de basisbuitentemperaturen op (zie « *Het gebouw in zijn klimaat* ») en de binnentemperaturen (droge resulterende temperaturen) die als referentiewaarden moeten worden gebruikt om de *transmissieverliezen* Φ_t [W] te bepalen. Vervolgens kunnen de *ventilatie- en infiltratieverliezen* Φ_v [W], berekend worden. Voor elk lokaal worden vermeerderingsfactoren opgegeven, één die rekening houdt met de orientatie, en een andere om het effect van koude wanden te verrekenen. Zo worden de *genormaliseerde warmteverliezen* Φ_n [W] van de verschillende lokalen en van het gebouw bepaald. Deze worden gebruikt om het ketelvermogen te begroten (uitgezonderd voor zelden of periodiek verwarmde ruimtes, waar de warmtebehoefte bijzonder hoog kunnen zijn – cfr. einde hoofdstuk « *STOCKEREN* »).

Globaal thermisch isolatiepeil K

De norm NBN B 62-301 definieert de gemiddelde *warmtedoorgangscoefficient* k_s [W/m²K] van een gebouw. Hij wordt berekend met behulp van de U-waarden van de verschillende wanden en van de eventuele koudebruggen. De gemiddelde coefficient geeft de hoeveelheid warmte aan die door transmissie verloren gaat per seconde en per vierkante meter, bij een temperatuurverschil van 1 graad tussen buiten- en binnenomgeving, en rekening houdend met het effect van eventuele koudebruggen (U_{lj} et U_{pj}) in het verliesoppervlak A_T . Aan elke wand, met warmtedoorgangscoefficient U_j en oppervlakte A_j , wordt een wegingsfactor a_j toegekend die afhangt van het type wand en het type omgevingen die de wand scheidt :

$$k_s = (\sum a_j U_j A_j + \sum U_{lj} l_j + \sum U_{pj} p_j) / A_T$$

De norm NBN B 62-301 stelt dat het thermisch isolatiepeil van een gebouw kan gekarakteriseerd worden door de waarden k_s en V/A (compactheid). Met dit koppel kan het *globaal thermisch isolatiepeil* K [-] van het gebouw worden bepaald.

Behalve het U_{max} -criterium voor de warmtetransmissie door de wanden, moeten gebouwen, afhankelijk van het type en van het inplantingsgebied, een K-waarde halen die lager is dan het door het reglement opgelegde referentiegetal. Het ontwerpdecreet dat door het Vlaams Parlement is aangenomen (april 2004), beantwoordt aan de nieuwe Europese Richtlijn. Het voorziet dat vanaf 2006 aan alle gebouwen, uitgezonderd industriegebouwen, een maximumpeil van K45 zal opgelegd worden. De huidige Waalse wetgeving is minder streng :

- nieuwbouw:

- K55 voor woongebouwen;
- K65 voor kantoren en scholen;

- voor verbouwingen met verandering van bestemming :

- K65 voor woongebouwen;
- K70 voor kantoren en scholen.

Aan verbouwingen zonder verandering van bestemming worden daarentegen geen eisen gesteld met betrekking tot het K-niveau.

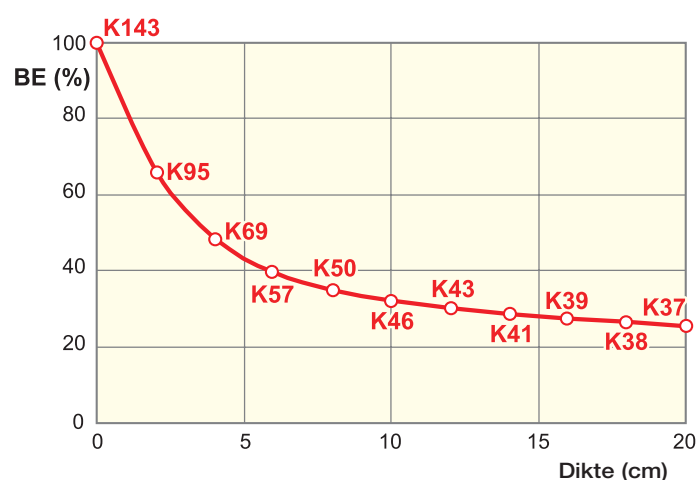
Vooraleer verder te gaan moet worden opgemerkt dat bij de beoordeling van de energieprestaties van een gebouw, het aldus berekende globale isolatiepeil K geen rekening houdt met zonnewinsten, noch met interne winsten, noch met het effect van thermische inertie of de verliezen door ventilatie en infiltratie, en evenmin met het energieverbruik voor de productie van warm tapwater... Zoals verder zal worden uiteengezet, zijn andere methodes op punt gesteld om de globale energieprestatie van gebouwen te kwantificeren, b.v. de b_e -methode in het Waals Gewest of het E100-criterium in het goedgekeurde Vlaamse decreet.

Voorbeeld

Evolutie van het K-peil in functie van de dikte van de isolatie :

Onderstaande figuur vergelijkt de bereikte K-niveaus bij verschillende isolatiediktes voor de experimentele lage-energiewoning Pléiade te Louvain-la-Neuve (arch. Ph. Jaspard). Eenzelfde isolatiedikte werd beschouwd voor muren, vloeren en daken. Alle andere parameters (glasoppervlakte, luchtverversing...) bleven ongewijzigd.

Bij isolatiedikte 0 is de woning niet geïsoleerd en wordt het energieverbruik gelijkgesteld met 100 %. Dat de eerste centimeters isolatie het nuttigst zijn, vertaalt zich in een onmiddellijke en aanzienlijke daling van K. Daarna daalt de kromme minder snel : isoleren is nog steeds voordelig, maar het rendement zakt. De relatieve winst komt overeen met een steeds kleinere winst in absolute termen. De bouwkost stijgt daarentegen snel. Op dat ogenblik wordt het interessanter in te grijpen in de efficiëntie van de ventilatie of in andere energieparameters dan de isolatiedikte.



Evolutie van het K-peil in functie van de isolatiedikte

VERDELEN

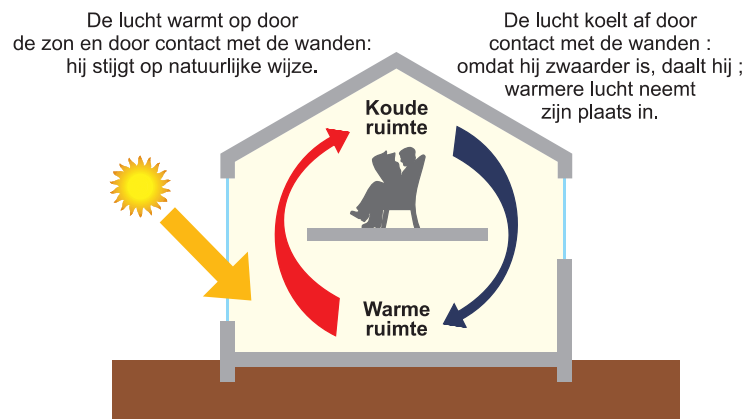
> de warmte verspreiden

Of ze nu afkomstig is van bezonning, van interne winsten of van de verwarmingsinstallatie, warmte verspreiden in het gebouw (en ze ondertussen bijregelen) betekent dat ze wordt gebracht naar die leefruimtes waar ze gewenst is. Plaats en grootte van de verwarmingselementen zijn hierbij van belang, maar dit valt buiten het bestek van deze publicatie. De verspreiding van de warmte kan echter ook gebeuren met natuurlijke middelen of met behulp van speciale voorzieningen. Hierop wordt teruggekomen in het hoofdstuk « AFVOEREN », waar het probleem van eventuele oververhitting aan bod komt.

Een eerste natuurlijk fenomeen waarop kan gesteund worden om de warmte in het gebouw te verspreiden, houdt verband met de inertie van de materialen : de warmte wordt in hun massa geaccumuleerd (door geleiding) en vervolgens terug afgegeven (door convectie en straling). Zoals eerder is vastgesteld, kan de warmte door middel van zware materialen, waaronder beton, uitgesmeerd worden in de tijd (faseverschuiving) en in de ruimte (diffusielengte, penetratiediepte).

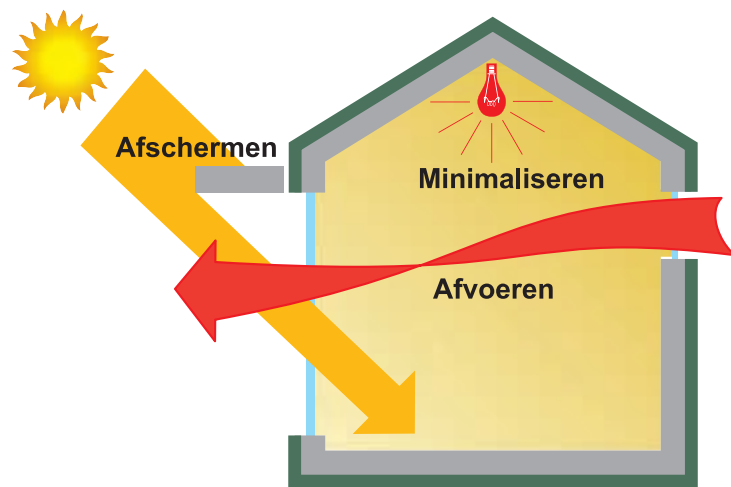
Luchtverplaatsingen (horizontaal of verticaal) kunnen worden opgewekt door drukgradiënten (wind) of door thermische circulatie : de warme lucht stijgt op, koelere lucht komt in zijn plaats. Met dit krachtige middel kunnen ontwerpers en bewoners de warmte in het gebouw herverdelen. Het vergt echter een goede controle van de luchtstromen in het gebouw, meer bepaald een open ruimtelijke indeling en oordeelkundig geplaatste openingen (boven en beneden).

De norm NBN D 50-001 (1991) met betrekking tot ventilatie in woongebouwen geeft, in functie van het type lokaal, de verversingsfrequentie van de binnenlucht (aanvoer verse lucht, geurafvoer...) die nodig is voor de gezondheid van de bewoners. De ingebrachte lucht moet verwarmd of voorverwarmd worden in het stookseizoen (en eventueel gekoeld in de zomer). Dit gaat gepaard met een niet te verwaarlozen energieverbruik, maar kan bijdragen tot het herverdelen van de warmte in het gebouw. Ventilatie kan « natuurlijk » zijn, waarbij gebruik wordt gemaakt van de hierboven vermelde fenomenen, of « gedwongen », d.w.z. mechanisch (MV, mechanische ventilatie).



Thermische luchtcirculatie

4. Koudestrategie in de zomer



AFSCHERMEN

> zonwering voorzien

Om het risico van *oververhitting* te verkleinen moet het gebouw, en vooral elke opening, in de eerste plaats afgeschermd worden tegen *directe bezonning*. Ook isolatie, die zoals gezegd de warmteverliezen moet beperken, draagt er toe bij dat minder warmte in het gebouw binnendringt.

Directe bezonning wordt in principe voorkomen door schermen te voorzien die schaduw bieden aan de beglaasde oppervlakken. Deze schermen kunnen *architecturale elementen* zijn verbonden met het gebouw, of ze kunnen deel uitmaken van de *omgeving*. Eerstgenoemde kunnen *permanent, vast of beweegbaar* zijn; de andere worden gevormd door vegetatie, naburige gebouwen, of gewoon door een bijzondere inplanting of gebruikmaking van het reliëf.

De permanente beschermingstechnieken (films gekleefd op het glas, speciale glassoorten – reflecterend en/of absorberend...) en de beweegbare schermen (luiken, rolluiken, lamellen...) vallen buiten het bestek van dit bulletin.

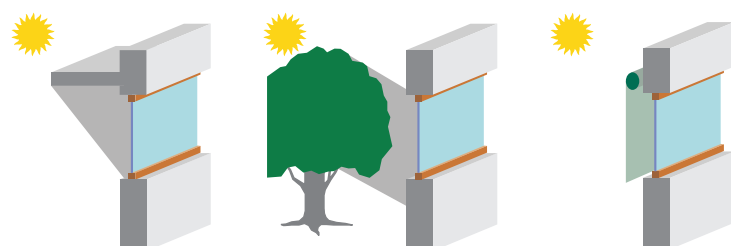
Vaste zonweringen zijn hoofdzakelijk horizontale overstekken boven, of verticale uitspringende elementen aan weerszijden van de ramen. De twee belangrijkste parameters bij het ontwerp van vaste zonweringen zijn hun positie en grootte. Enerzijds moet hun oriëntatie bepaald worden, anderzijds moet worden uitgerekend hoe lang en op welk moment van het jaar, en zelfs van de dag, zij de zontoetreding verhinderen (*beschaduwingsfactor*). Zuidelijk georiënteerde gevels zijn het gemakkelijkst te beschermen : met een vaste zonwering kan de zonnestraling tijdens de zomer volledig worden uitgesloten, zonder dat dit leidt tot ongewenste schaduw in de winter. Daartegenover staat evenwel dat geen enkele vaste zonwering, horizontaal of verticaal, het probleem van de oost- en westgevels kan oplossen. In dat geval is een beweegbare zonwering aangewezen. Belangrijke opmerking : worden betonnen zonweringen voorzien, dan moet erop gelet worden dat deze geen aanleiding geven tot koudebruggen.

De natuurlijke beschaduwing door vegetatie is bij voorkeur omvangrijker in de zomer dan in de winter, zodat de zonnewinsten 's winters toch benut kunnen worden. Bladverliezende bomen met weinig takken genieten de voorkeur om zo weinig mogelijk schaduw te hebben in de winter ; een dicht bladerdek heeft het omgekeerde effect in de zomer. Groene schermen van klimplanten (druivelaar, kamperfoelie, blauwereggen) zijn eveneens zeer nuttig. Ze kunnen ook groeien tegen verticale vlakken en op die manier beletten dat deze opwarmen.

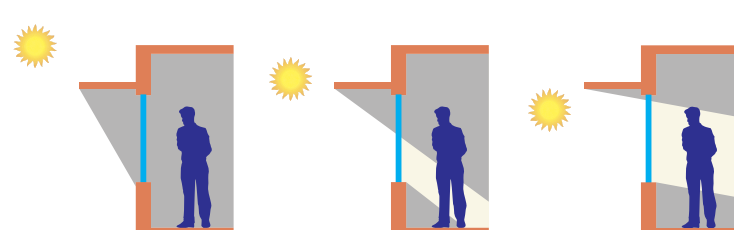
In de zomer bieden naburige gebouwen zelden efficiënt schaduw, terwijl ze in de winter een reële hinderpaal vormen voor zontoetreding.

Het reliëf heeft een invloed op de temperatuurverdeling (straling van helling in functie van oriëntatie en hellingshoek), de mogelijkheden van bezonning, de bewolking en het windregime. Hellingen blootgesteld aan wind zijn kouder dan hellingen die zich in de luwte bevinden. Op sommige sites heeft het reliëf een beschermend effect, elders veroorzaakt het extra blootstelling.

Vaste en beweegbare schermen aan de buitenkant van het gebouw



Vaste zonwering aan de zuidgevel



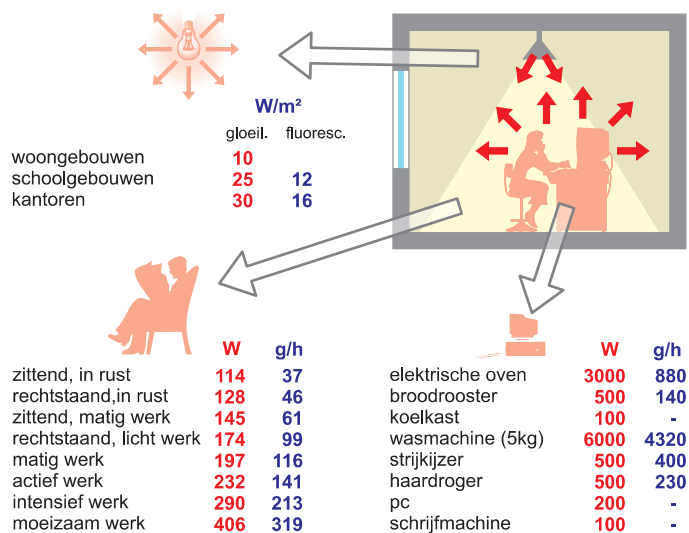
MINIMALISEREN

> interne warmtewinsten beperken

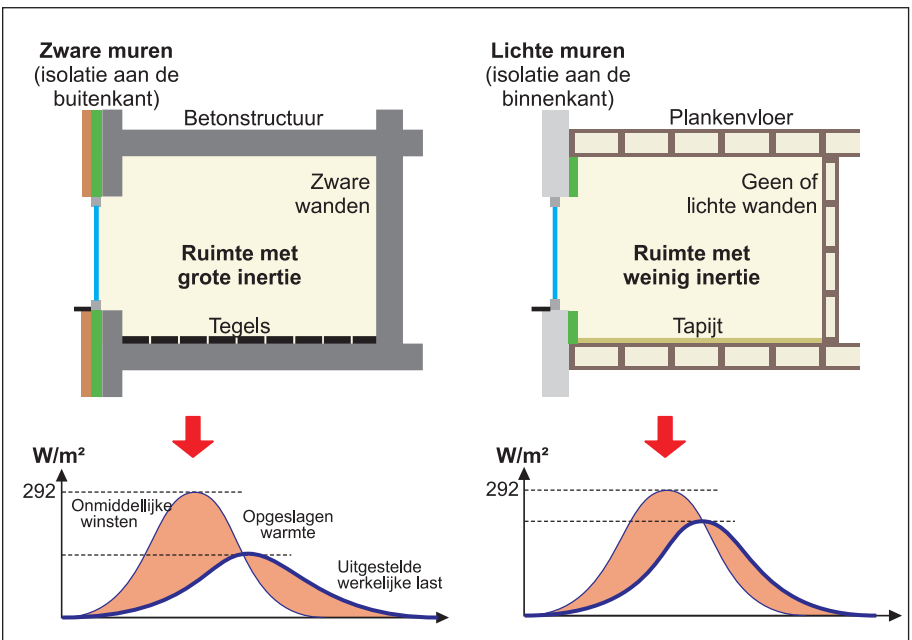
Beperken van de interne warmtewinsten betekent het vermijden van oververhitting van de lokalen door gebruikers of installaties : kunstmatige verlichting, elektrische uitrusting, dichtheid van het ruimtegebruik, enz. Sommige warmtebronnen kunnen gemakkelijk terugged Schroefd worden, bijvoorbeeld door meer gebruik te maken van natuurlijk licht. Het gebeurt zelden dat al deze interne warmtewinsten zich gelijktijdig voordoen of op het zelfde ogenblik hun maximum bereiken. Ze vormen dus een diffuse warmtebron in het gebouw. Superpositie met andere warmtebronnen (verwarmingsinstallatie, rechtstreekse zontoetreding) kan evenwel leiden tot een buitensporige stijging van de temperatuur en een oncomfortabele situatie. Dit gebeurt voornamelijk in gebouwen waar een aanzienlijke hoeveelheid interne warmte wordt geproduceerd (scholen, kantoorgebouwen, enz.).

De tabellen in de figuur geven enkele waarden voor warmteproductie (voelbare en latente warmte) en vochtproductie van gebruikers en toestellen, uitgedrukt in Watt en in gram per uur. Hierbij moet worden opgemerkt dat de gebruiksduur van die toestellen sterk varieert. De tabel i.v.m. verlichting slaat op de gemiddelde lichtbelasting in W/m^2 van gloeilampen en fluorescentielampen.

Warmte- en vochtproductie door gebruikers en toestellen



Effect van thermische inertie



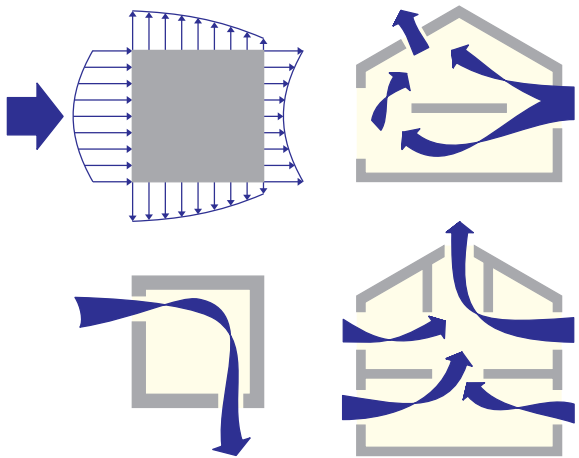
AFVOEREN

> oververhitting voorkomen

Zoals gezegd zorgt de thermische inertie van materialen in een gebouw ervoor dat de warmte die ze accumuleren, verdeeld wordt in de tijd en in de ruimte. Op die manier kan oververhitting binnen het gebouw, en het ermee gepaard gaande comfortverlies, beperkt worden. Het intelligent aanwenden van beton of andere zware materialen vertraagt en dempt immers de impact van de zonnewinsten of van andere interne winsten op de binnentemperatuur (zie eerder onder «STOCKEREN» - Meerlagige wanden). In onderstaande figuur worden twee extreme gevallen vergeleken : hoe groter de toegankelijke thermische massa, hoe kleiner het maximum van de reële zonnewinsten, en hoe verder dit maximum opschuift in de tijd ten opzichte van de onmiddellijke flux doorheen de beglazing.

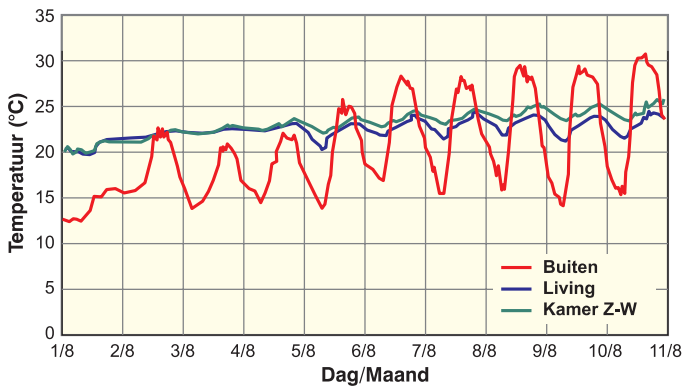
Tijdens sommige periodes van het jaar voldoet deze inertie evenwel niet en moet eventuele oververhitting door ventilatie worden weggewerkt. Zoals aangestipt in het hoofdstuk « VERDELEN », kan ventilatie natuurlijk of gedwongen zijn. Ze laat toe de warmte in het gebouw te herverdelen in functie van de ruimtelijke indeling en de situering van openingen. Ventilatie- en airconditioningsystemen verbruiken echter veel energie. Een kosten-batenanalyse moet de meest energiezuinige oplossing aanduiden. Vaak gaat het echter niet zozeer om een technologische keuze, maar moet meer aandacht besteed worden aan het ontwerp.

Er dient te worden opgemerkt dat, om oververhitting te beperken, 's nachts ventileren duidelijk veel effectiever is dan overdag. De buitentemperatuur is dan immers lager. Met behulp van (toegankelijke) thermische inertie, door overdag niet onnodig te ventileren en door het plaatsen van geschikte zonweringen, is het met nachtelijke ventilatie mogelijk overdag binnentemperaturen te realiseren die lager zijn dan de buitentemperatuur.



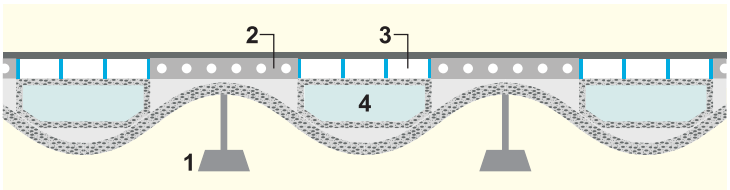
Afvoeren van overtollige warmte door ventilatie

Onderstaande figuur illustreert het temperatuurverloop in de experimentele lage-energie woning *Pléiade* te Louvain-la-Neuve, tijdens de eerste dagen van augustus 1997. Omdat de woning naar de zon is georiënteerd, is er een risico van oververhitting. Twee beschermingsstrategieën zijn evenwel voorzien : enerzijds zonweringen en anderzijds nachtelijke ventilatie (door de ramen halfopen te laten staan). Door 's nachts te ventileren wordt de overdag geaccumuleerde warmte afgevoerd : de blauwe lijn (binnentemperatuur) stijgt, maar minder steil dan de rode (buitentemperatuur).



Nachtelijke ventilatie en afkoeling

Een ander voorbeeld van een goed ventilatieconcept ter voorkoming van oververhitting biedt de vloer-en plafondopbouw van het *Environmental Building* van het *British Research Establishment* (BRE), ten noorden van Londen. Het plafond, dat bestaat uit zichtbare prefab betonelementen, heeft de vorm van een sinusoïde, wat een groter contactvlak oplevert voor de thermische uitwisseling met de lucht (zie figuur hierna). Via een rij computergestuurde kleine ramen (die evenwel ook handmatig kunnen bediend worden), wordt buitenlucht binnengelaten, ofwel rechtstreeks in het lokaal, ofwel in de holle ruimtes boven het plafond (4). In dit laatste geval wordt tot in het hart van het gebouw lucht aangevoerd die door de betonnen koker waarlangs hij stroomt, hetzij wordt opgewarmd (in de winter), hetzij gekoeld ('s zomers). Het inertie-effect van het beton wordt op die manier rechtstreeks benut.



Ventilatiesysteem met gebruikmaking van de thermische inertie van beton

5. Globale energieprestaties

De Europese Richtlijn

Richtlijn 2002/91/CE van het Europees Parlement en van de Raad van 16 december 2002 betreffende de energieprestatie van gebouwen sluit aan bij een eerdere richtlijn uit 1993, die "vereist dat de lidstaten programma's op het gebied van energie-efficiëntie in de bouwsector opstellen" en verslag uitbrengen van de genomen maatregelen. De eerste richtlijn heeft een aantal belangrijke effecten gesorteerd. Toch rest er nog een groot potentieel aan energie-besparingsmogelijkheden en bestaan er nog aanzienlijke verschillen tussen de verschillende lidstaten voor wat de bereikte resultaten betreft.

Het doel van de jongste richtlijn is het bevorderen, in de hele Europese Gemeenschap, van de energieprestaties van gebouwen en dit door er een algemeen kader voor te definiëren. Ze vraagt dat er rekening wordt gehouden met "de klimatologische en plaatselijke omstandigheden, alsmede met de binnenklimaatseisen en de kosteneffectiviteit" van de genomen maatregelen. Bovendien stelt de richtlijn eisen met betrekking tot :

- a) het algemeen kader voor een methode voor de berekening van de geïntegreerde energieprestaties van gebouwen;
- b) de toepassing van minimumeisen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen;
- c) de toepassing van minimumeisen voor de energieprestatie van bestaande grote gebouwen die een ingrijpende renovatie ondergaan;
- d) de energiecificering van gebouwen; en tenslotte
- e) de regelmatige inspectie van c.v.-ketels en airconditioning-systemen in gebouwen, en een keuring van verwarmings-installatie waarvan de ketel ouder is dan 15 jaar.

De lidstaten moeten deze richtlijn ten laatste op 4 januari 2006 in hun nationale wetgeving hebben omgezet.

Primair energieverbruik

In België is het beraad over de omzetting naar de eigen wetgeving momenteel aan de gang. Het komt erop aan de isolatie (het K-peil) zowel van woongebouwen als van kantoren en scholen te verbeteren. Bovendien heeft het Vlaams parlement op 28 april 2004 een decreet aangenomen waarin het criterium « E100 » wordt gedefinieerd voor de globale energetische prestatie van een gebouw.

Om hieraan te voldoen moet het *jaarlijks primair energieverbruik* E_{prim} [MJ] lager zijn dan een *referentieniveau* E_{ref} [MJ]. Het referentieniveau voor woningen wordt bijvoorbeeld gegeven door volgende formule:

$$E_{\text{ref}} = a \cdot A_T + b \cdot V$$

Daarin is A_T [m²] het *verliesoppervlak* en V [m³] het *beschermde volume*. De coëfficiënten a en b zijn dimensieloze constanten vastgelegd in de reglementering.

De schatting van het jaarlijks primair energieverbruik gebeurt door voor het hele jaar de som te maken van het maandelijks primair energieverbruik voor de ruimteverwarming E_{heat} , de productie van warm tapwater E_{water} , de aandrijving van pompen, ventilatoren... E_{aux} , en de koeling E_{cool} , verminderd met de energie gewonnen uit fotovoltaïsche systemen E_{pv} , en met de energie afkomstig van warmtekrachtkoppeling E_{cogen} :

$$E_{\text{prim}} = \sum (E_{\text{heat}} + E_{\text{water}} + E_{\text{aux}} + E_{\text{cool}} - E_{\text{pv}} - E_{\text{cogen}})$$

Al deze maandelijks waarden [MJ] worden berekend volgens de methode die in de bijlagen van de wetteksten is opgenomen.

Het *peil van primair energieverbruik* E [%] wordt als volgt bepaald :

$$E = 100 \cdot E_{\text{prim}}/E_{\text{ref}}$$

Om te voldoen aan het criterium « E100 » moet $E \leq 100$.

In de rekenmethode en de bijhorende software zal de thermische inertie van een woning op een vereenvoudigde manier meegenomen worden in de berekening van de netto-energiebehoefte voor ruimteverwarming en de beheersing van de zomercondities. Uitgaande van een tabel kan de effectieve thermische capaciteit C [J/K] worden bepaald van elk van de 'energiesectoren' van een gebouw (= delen van het gebouw met homogene technische installaties), in functie van hun volume en naargelang de constructie zwaar, halfzwaar, matig zwaar of licht is. Per energiesector wordt de benuttingsfactor η van de interne warmtewinsten bepaald, waarin indien nodig een tijdconstante τ [s] is verrekend die functie is van deze effectieve thermische capaciteit.

Netto-energiebehoefte voor verwarming

In plaats van te voldoen aan de K-eis met betrekking tot thermische isolatie, mogen nieuwbouwwoningen in Wallonië op dit ogenblik reeds afgestemd worden op een ander criterium. De ontwerper die sommige bioklimatische ontwerpconcepten wil toepassen (de eerder beschreven gratis warmtewinsten, toegankelijke inertie...) mag inderdaad aantonen dat de *netto-energiebehoefte voor de verwarming* van zijn gebouw, aangeduid als b_e [MJ/m².jaar], lager is dan een limietwaarde $b_{e \max 55}$ (of b_{e450}) [MJ/m².jaar].

Deze hangt af van de compactheid van het gebouw. De berekeningsmethode is in 1996 in het Belgisch Staatsblad gepubliceerd.

Interne winsten en temperatuur zonder verwarming

Eerst moet de *temperatuur waarboven geen verwarming nodig is* t_{NC} [°C] worden berekend. Boven deze temperatuur hoeft de verwarmingsinstallatie geen warmte te leveren : het verschil met de *comforttemperatuur* t_{rs} wordt bijgepast door het menselijk lichaam en door andere interne warmtewinsten. Voor de berekening moeten eerst de *warmteverliezen door ventilatie* V en de *warmteverliezen door de schil* D opgeteld worden. Dit levert de *warmteverliescoëfficiënt* p_b [W/K] op. Het totale *verwarmede vloeroppervlak* van alle lokalen die kunnen verwarmd worden, wordt genoteerd als A_{ch} [m²]. Met volgende formule wordt t_{NC} berekend :

$$t_{NC} = 19 - 5,42 \cdot (A_{ch} / p_b)$$

waarbij wordt uitgegaan van een energiewinst van 5,42 [W/m²] per m².

Inertiëklasse

De methode kent een inertiëklasse I toe aan elk gebouw. Vijf klassen zijn mogelijk, van I_1 tot I_5 . Voor woningen en appartementsgebouwen die op een klassieke manier ontworpen zijn (de zogenoemde 'traditionele' bouw), is geen berekening vereist van de inertie-index. Voor woningen wordt I_3 aangenomen, voor appartementsgebouwen I_5 . In andere gevallen moet de inertiëklasse bepaald worden zoals in het hoofdstuk « STOCKEREN » is uiteengezet.

Zonnewinsten en recuperatierendement

De methode beschrijft hoe de *zonnewinsten* S in rekening moeten worden gebracht, en dit in functie van oppervlak, oriëntatie, helling, zontoetredingsfactor, shading coëfficiënt enz. van de beglazing. Deze berekeningen staan los van het gebruik van beton en worden daarom hier niet in detail behandeld. Toch kan worden opgemerkt dat de methode een *maandelijke recuperatiecoëfficiënt* R_s definieert (bij heldere hemel). Dit is de temperatuurstijging in het gebouw ten gevolge van de zonnewinsten. Voor de eenvoud wordt de berekening beperkt tot twee typemaanden (maart en december). Vertrekkend van deze twee wordt door extrapolatie een waarde bepaald voor elke maand van het jaar. Met de som van de *gemiddelde buitentemperatuur* t_{ex} [°C] en de coëfficiënt R_s vermenigvuldigd met een maandelijke weegfactor Γ [dimensieloos], wordt voor elke maand de *temperatuur zonder verwarming* t_{SC} bepaald :

$$t_{SC} = t_{ex} + R_s \cdot \Gamma$$

Het *rendement van de zonnewinsten* η [%] wordt dan gegeven door een wet die afhangt van de inertiëklasse I van het gebouw en het verschil tussen de temperatuur waarboven geen verwarming nodig is en de temperatuur zonder verwarming, d.w.z. $t_{NC} - t_{SC}$ [°C].

Equivalente graaddagen en niveau b_e

Het aantal *equivalente graaddagen* van een bepaalde maand wordt gegeven door de volgende uitdrukking :

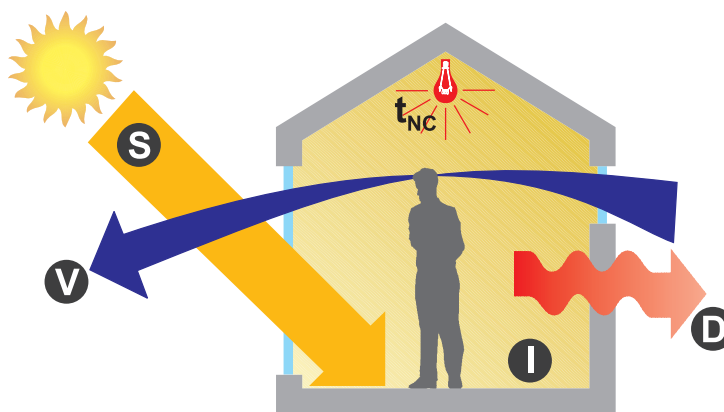
$$\text{deg } j^* = n \cdot [t_{NC} - t_{ex} - (\eta \cdot R_s \cdot \Gamma / 100)]$$

waarin n het aantal dagen is van de maand in kwestie. (De andere parameters werden gedefinieerd in voorgaande paragraaf.) Het aantal *equivalente graaddagen* van het stookseizoen wordt verkregen door de som te maken voor alle maanden van het jaar: $\Sigma \text{deg } j^*$.

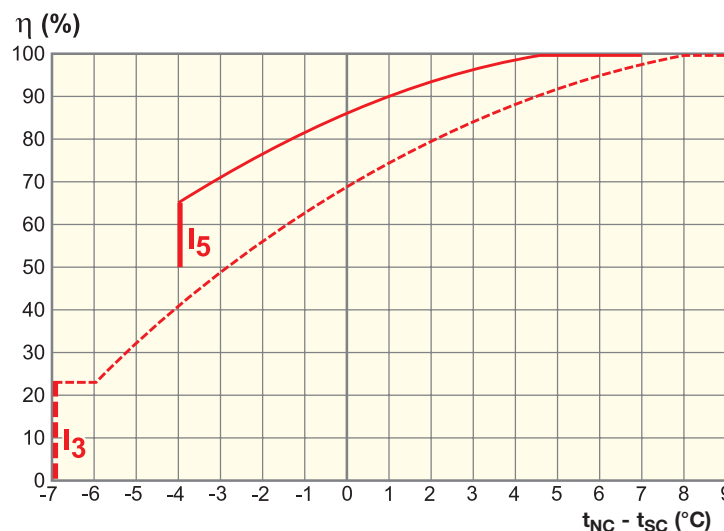
Hiermee kan de *netto energiebehoefte voor ruimteverwarming* b_e [MJ/m².jaar] van een gebouw berekend worden:

$$b_e = 0,0864 \cdot \Sigma \text{deg } j^* \cdot p_b / A_{ch}$$

In het Waalse Gewest kan de ontwerper, i.p.v. te voldoen aan een opgelegd isolatiepeil K , zich op een ander criterium richten: b_e mag niet groter zijn dan de waarde $b_{e \max 55}$ (of b_{e450}) [MJ/m².jaar] die anders berekend wordt naargelang van de *compactheidsgraad* V/A_T . Als de compactheidsgraad 1 bedraagt, is $b_{e \max 55}$ gelijk aan 450 MJ/m².jaar. Bij compactere gebouwen gelden lagere waarden voor $b_{e \max 55}$.



Energiebehoefte voor verwarming



Rendement van de zonnewinsten

Verbruiksprofiel en stookseizoen

De profielen van het *jaarlijkse energieverbruik Q* en van het aantal stookdagen kunnen vergeleken worden voor verschillende types gebouwen, bijvoorbeeld een klassiek ontworpen woning, een zeer goed geïsoleerde woning en een woning waarin de principes van de bioklimatische architectuur worden benut. Op dezelfde grafiek worden de zonnewinsten (gele lijn, nr. 2) uitgezet die zijn opgeteld bij de interne winsten (groene lijn, nr. 1). Het oranje oppervlak (nr. 4) stelt de *energiebehoefte voor ruimteverwarming* voor. Tussen de kromme van de zonnewinsten en die van de verwarmingsbehoefte wordt een oppervlak afgesneden (nr. 3) dat overeenstemt met de *niet-buikbare zonnewinsten* (oververhitting...).

Allereerst moet worden genoteerd dat de supergeïsoleerde en de bioklimatische woningen globaal minder energie verbruiken. De reden is dat het isolatiepeil op elk punt van de gebouwschil gewaarborgd wordt : koudebruggen zijn zorgvuldig vermeden en de luchtdichtheid is voldoende verzekerd.

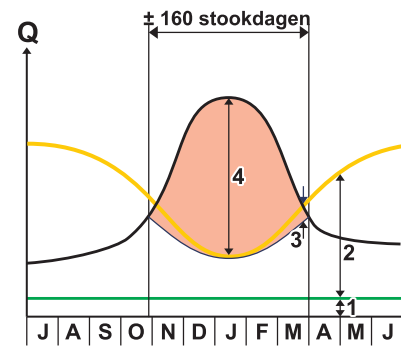
De bioklimatische woning heeft grotere brutoverliezen, maar deze worden gecompenseerd door hogere zonnewinsten. Er werd reeds op gewezen dat deze zonnewinsten door oordeelkundige ontwerpkeuzes kunnen gevaloriseerd worden (oriëntatie, openingen...) en dat de thermische inertie van het gebouw het rendement van de zonneënergie significant kan beïnvloeden. In dit verband kan het rationeel aanwenden van beton zeer interessant zijn, indien de inertie die het levert « toegankelijk » is, en indien ze samengaat met een goede isolatie.

Te noteren is ook dat hoge zonnewinsten het stookseizoen aanzienlijk kunnen verkorten. De energiebehoefte voor ruimteverwarming in het bioklimatische huis (oranje oppervlak) is bijgevolg bijzonder klein.

Met betrekking tot intermitterende verwarming is er nog een kleine toelichting nodig bij een op het eerste gezicht paradoxaal probleem. Zoals eerder gezegd zijn de energieverliezen evenredig met het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Energieverliezen en verwarmingsbehoeften zijn rechtstreeks met elkaar verbonden. Het voordeel van intermitterende verwarming bestaat erin te profiteren van de periodes waarin de binnentemperatuur (in functie van het gebruik, de activiteit...) mag dalen. Logischerwijze daalt dan het verbruik, vermits de verliezen beperkter zijn. In het geval van een grote inertie, gecombineerd met een sterke isolatie, zal de binnentemperatuur bij het afzetten van de verwarming langzamer dalen, waardoor het voordeel van intermitterend verwarmen minder uitgesproken is.

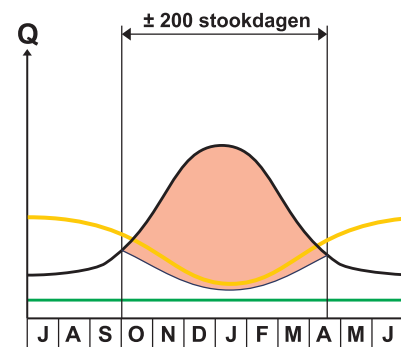
Tot slot moet worden vastgesteld dat, hoewel de methodes om de warmtEDOORgangscOEfficiënten U van wanden en het thermische isolatiepeil K van gebouwen te bepalen dezelfde zijn in heel België, de aanvaarde maxima verschillen van gewest tot gewest. Het ziet er evenwel naar uit dat een uniformisering in de maak is. Uitgangspunt is het decreet dat op 28 april 2004 door het Vlaams Parlement is aangenomen. Het lijkt geen twijfel dat de K45-eis voor alle nieuwbouwwoningen over het gehele Belgische grondgebied zal gelden. Dit zal enkel mogelijk zijn door een doorgedreven isolatie van de gebouwen. De intelligente aanwending van beton, d.w.z. waarbij de thermische inertie van het gebouw effectief verbeterd wordt, kan de ontwerpers helpen in hun streven naar betere energieprestaties voor gebouwen, waarbij de stookperiode korter wordt en het energieverbruik daalt.

De principes die in dit bulletin zijn ontwikkeld, moeten ontwerpers en kandidaat-bouwers die begaan zijn met Rationeel Energiegebruik in staat stellen de gevolgen van sommige keuzes beter te begrijpen. Zo bieden ze bij hun bouwproject een leidraad om het materiaal beton vanuit het oogpunt van energieprestaties op een betere manier aan te wenden.

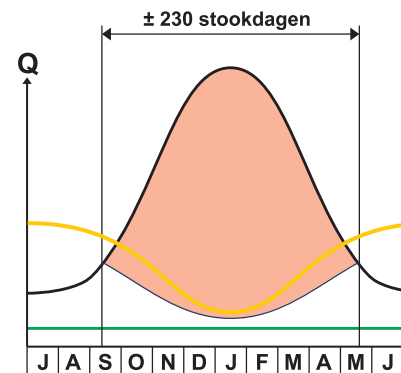


Bioklimatische woning

- 1 : interne winsten
- 2 : zonnewinsten
- 3 : niet-buikbare warmtewinsten
- 4 : energiebehoefte voor verwarming



Supergeïsoleerde woning



Klassieke woning

6. Voorbeelden van gebouwen

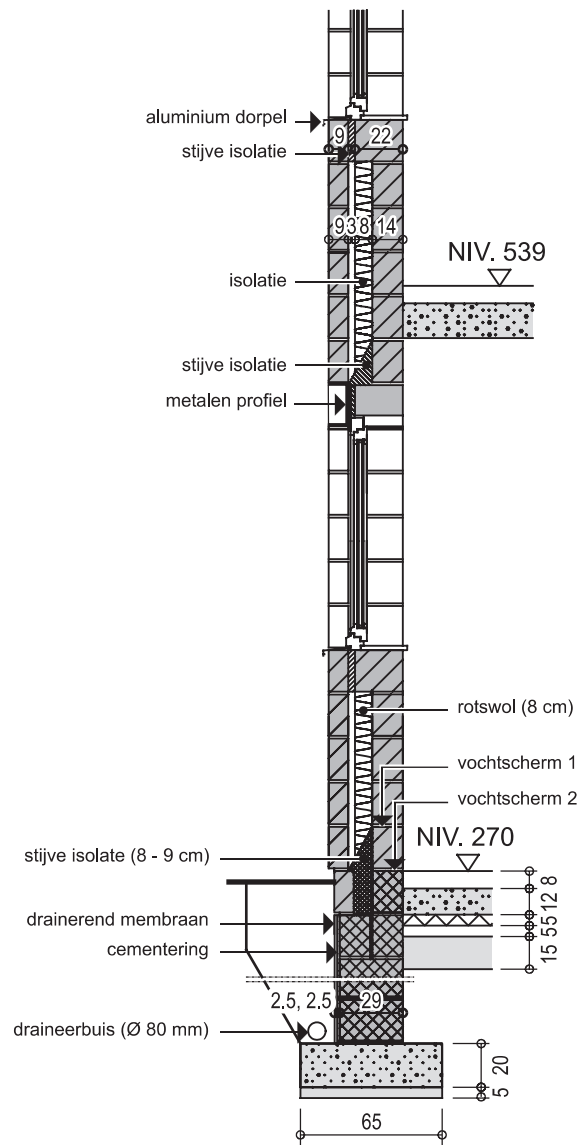
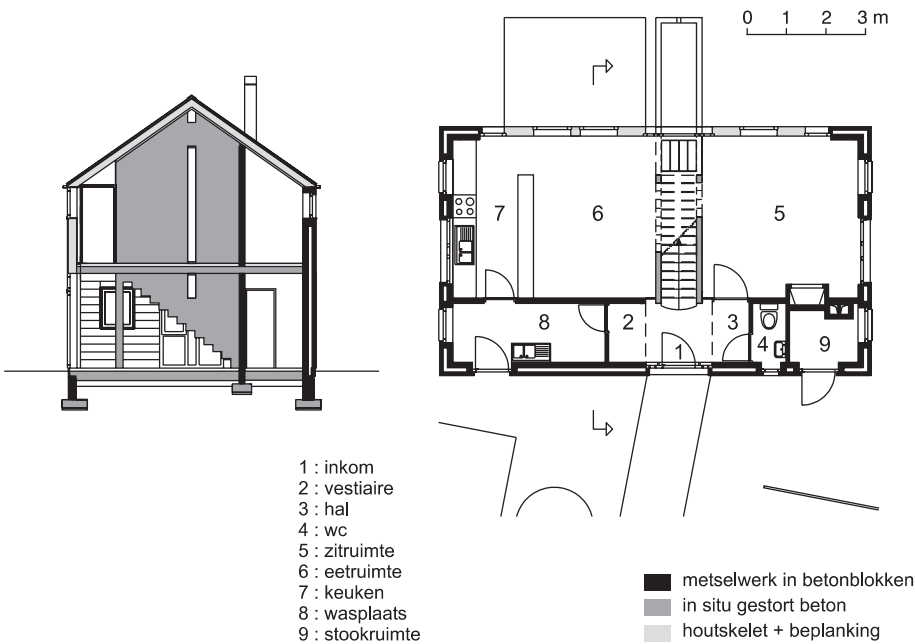
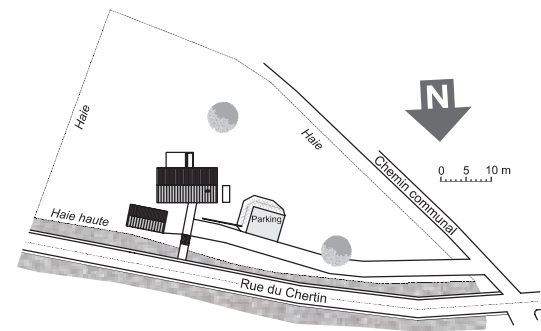
> Bioklimatische basisprincipes voor een eenvoudige woning in landelijke omgeving

Het terrein helt zachtjes af naar het zuiden. Het werd gekozen omwille van de bezonning en omdat het aan de noordkant beschut wordt door een hoge haag. De inplanting diende rekening te houden met de lageregelegen straat, de blootstelling en het landschap. De gebouvvolumes, woning met garage, zijn minimalistisch opgevat en sluiten aan bij de traditionele volumetrie.

Drie gevels van het hoofdgebouw zijn uitgevoerd in zichtbaar beton-metselwerk. De vierde is opengewerkt in functie van de bezonning en bestaat uit een lichte constructie van hout en glas. Binnen is er een duidelijke ruimtelijke scheiding tussen de leefruimtes aan de zuidkant en de dienstruimtes aan de noordzijde.

De bioklimatische benadering heeft het ontwerp vanaf de eerste schetsen richting gegeven. Ze heeft geleid tot een goed evenwicht tussen thermische isolatie en inertie. Het metselwerk aan de binnenzijde van de gebouwschil is toegankelijk voor warmteuitwisseling met de binnenlucht. De twee in situ gestorte betonnen schijven die de trap afbakenen en de betonnen vloerplaten bieden een bijkomende thermische inertie, zodat het binnencomfort het hele jaar door verzekerd is.

Ligging : Falaën (provincie Namen)
Bouwjaar : 2002
Architect : SPRL ATELIER D'ARCHITECTURE PHILIPPE JASPARD – DINANT –
Ph. Jaspard – D. Deschambre – Ch. Capart – architectes associés
Medewerkster : A.-S. Denis
Foto's : S. Rouche



> Woning in betonmetselwerk

Het concept van deze woning, ontworpen door architect Gie Wollaert, is ingegeven door de inplanting op een golvend terrein. De leefruimtes liggen even hoog als de inkom en zijn verlengd met een terras boven de garage. Achteraan biedt het terras een zicht op de tuin die zich op het niveau van de kelder bevindt.

De opdrachtgevers wensten vooral een krachtig ruimtelijk gevoel. Daartoe is de hoofdverdieping opgevat als één ruimte waarin living, trap en eetruimte zijn opgenomen. Alleen de slaapkamer van de ouders en de keuken (gedeeltelijk) zijn afgeschermd.

Het gebouw is opgetrokken in betonmetselwerk, antracietkleurig voor de garage en wit voor de rest van de buitenmuren.

Het terras is naar het zuid-westen georiënteerd; een glazen wand zorgt voor overvloedig natuurlijk licht.

Een vide maakt de verbinding met de bovenverdieping en een mezzanine. Daar zijn een klein bureau en een TV-ruimte ondergebracht. Een gang leidt naar de kamer en de badkamer van de zoon.

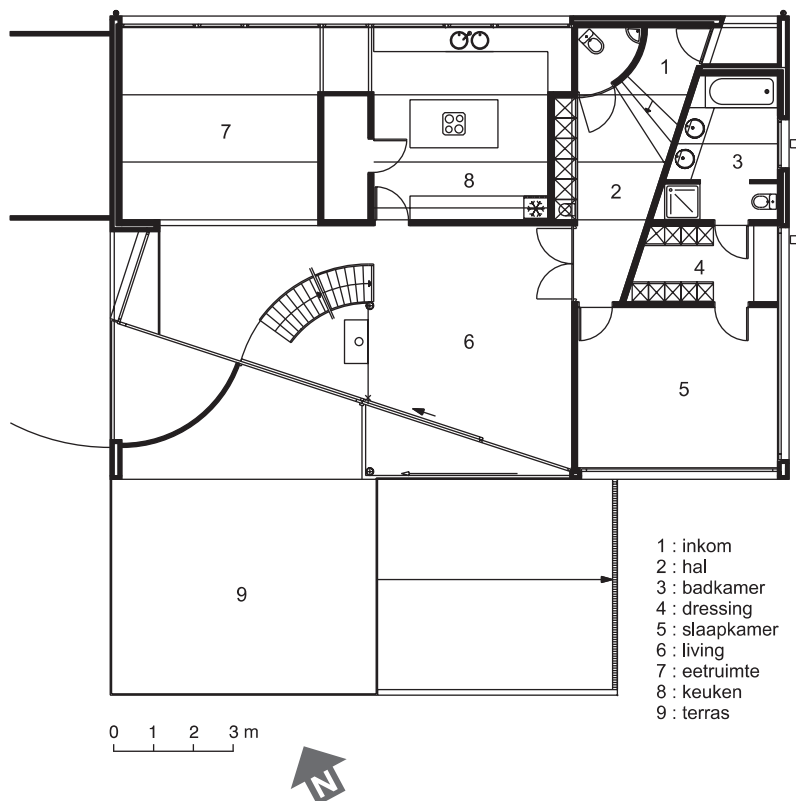
In het hart van dit uitgepuurd maar krachtig ontwerp meandert de gebogen rand van de mezzanine. De beweging eindigt abrupt achteraan de woning in een gebogen wand van glasstenen die het bureau van natuurlijk licht voorziet.

Ligging : Lennik (provincie Vlaams-Brabant)

Bouwjaar : 1999

Architect : Gie Wollaert

Foto's : Jan Dirckx



> Woning in ter plaatse gestort beton

Het terrein ligt in een doordeweekse verkaveling. Opklimmend vanaf het straatniveau is er een hoogteverschil van één verdieping. De woning heeft een oppervlakte van 300 m², verdeeld over drie niveaus.

De enige opening op de benedenverdieping omvat de ingang en de carport. De eerste verdieping opent zich volledig naar de tuin aan de noordzijde. Een langwerpig raam in de voorgevel beperkt de inkijk en kadreert het zicht op de boomkruinen. De tweede verdieping met de slaapkamers heeft alleen openingen in de kopgevels. Een technisch blok in het centrum van het volume groepeerde alle voorzieningen.

Het gebouw rust op een 30 cm dikke funderingsplaat. Rondom bevindt zich een drainering die verbonden is met de riolering.

De buitenschil is een spouwmuur bestaande uit twee schijven, elk met een dikte van 18 cm en uitgevoerd in waterafstotend beton dat in situ gestort werd. De bekisting bestond uit geprefabriceerde modulaire panelen. Zowel buiten als binnen blijft het beton zichtbaar. De thermische inertie van het materiaal wordt bijgevolg beter benut. Vloerplaten en plafonds zijn eveneens in zichtbeton gerealiseerd met behulp van systeembekistingen.

De wanden in contact met de grond worden beschermd door een isolatielaag en een drainerende mat. De spouw (6 cm) is volledig gevuld met isolatie en aan de binnenzijde voorzien van een vochtscherm.

Het plat dak omvat een dampscherm, 8 cm isolatie en een dubbele waterafdichting.

Het technisch blok is uitgevoerd in metselwerk afgewerkt met een bepleistering.

Ligging : Sint-Genesius-Rode

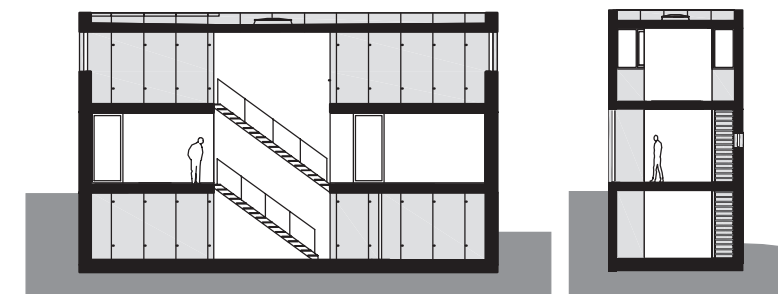
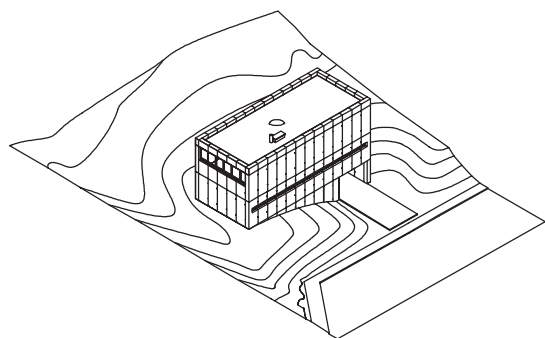
Bouwjaar : 1997

Architect : JOEL CLAISSE ARCHITECTURES

Foto's : Serge Brison

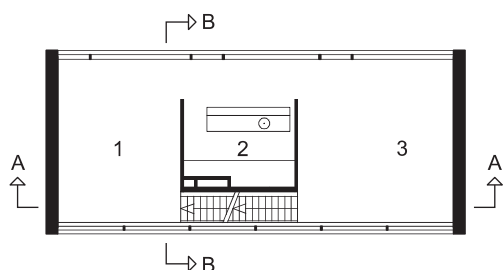
Prijs 'Eighth World Triennial of Architecture (1997)

Prijs 'Belgium Architectural Award' (1999)



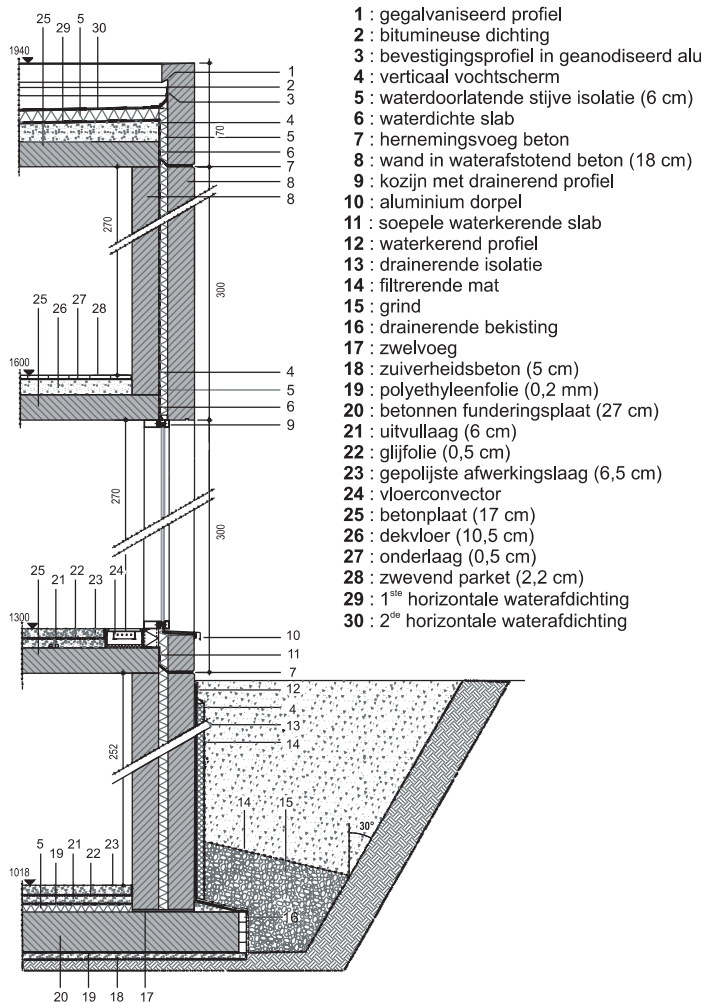
AA

BB



- 1 : eetruimte
- 2 : keuken
- 3 : zitruimte

0 1 2 3 m



- 1 : gegalaniseerd profiel
- 2 : bitumineuse dichting
- 3 : bevestigingsprofiel in geanodiseerd alu
- 4 : verticaal vochtscherm
- 5 : waterdoorlatende stijve isolatie (6 cm)
- 6 : waterdichte slab
- 7 : hernemingsvoeg beton
- 8 : wand in waterafstotend beton (18 cm)
- 9 : kozijn met drainerend profiel
- 10 : aluminium dorpel
- 11 : soepele waterkerende slab
- 12 : waterkerend profiel
- 13 : drainerende isolatie
- 14 : filterende mat
- 15 : grind
- 16 : drainerende bekisting
- 17 : zwelvoeg
- 18 : zuiverheidsbeton (5 cm)
- 19 : polyethyleenfolie (0,2 mm)
- 20 : betonnen funderingsplaat (27 cm)
- 21 : uitvullaag (6 cm)
- 22 : glijfolie (0,5 cm)
- 23 : gepolijste afwerkingslaag (6,5 cm)
- 24 : vloerconvector
- 25 : betonplaat (17 cm)
- 26 : dekvloer (10,5 cm)
- 27 : onderlaag (0,5 cm)
- 28 : zwevend parket (2,2 cm)
- 29 : 1^{ste} horizontale waterafdichting
- 30 : 2^{de} horizontale waterafdichting



> Renovatie burgerwoning + conciërgerie

Binnen werd de oorspronkelijke geest van de woning gerespecteerd. De kwaliteiten van de originele volumes bleven bewaard, de afgewerkte vloer- en plafondhoogtes werden gehandhaafd, de moulures behouden. De eigentijdse visie wordt tot uitdrukking gebracht door een groot monolithisch volume, een verticale doos die evenwijdig met de zijmuren is ingeplant. Ze verenigt de verschillende verdiepingen in een geheel, van het tussenniveau tot de tweede verdieping. Ze bevat een lift en technische ruimtes, en biedt tegelijk een zekere thermische inertie. Hierdoor worden schommelingen van de binnentemperatuur getemperd. De verticaliteit wordt geaccentueerd door openingen in de vloer over de volledige lengte van de doos.

Achteraan werden bijgebouwen en tussenniveaus afgebroken. De gevel is opnieuw vormgegeven door middel van een wand in beige glad beton die vanuit de nieuwe minerale koer oprijst. Brede raamopeningen laten het licht diep in de woning binnendringen. Er ontstaat een dialoog tussen de binnenkant van de woning en de minerale koer die leidt naar de volledig heropgebouwde conciërgerie. Deze is in dezelfde geest opgevat en haar nieuwe façade is een antwoord op die van het hoofdgebouw.

De koer tussen de twee volumes werd compleet herwerkt. De niveaus werden zo herschikt dat er zoveel mogelijk licht tot op het tussenniveau dringt, en er een vloeiende verbinding ontstaat tussen de volumes van woning en conciërgerie. Een grote betonschijf, waarin de traptreden zijn verwerkt, bindt de ruimte tot één geheel en draagt het grote terras dat bestaat uit glazen platen.

Het minerale aspect – koer en treden zijn betegeld – laat het vegetatiescherm dat voor de gevel van de conciërgerie is aangebracht, tot zijn recht komen. De planten zijn bladhoudend waardoor het risico van oververhitting in de conciërgerie beperkt wordt.

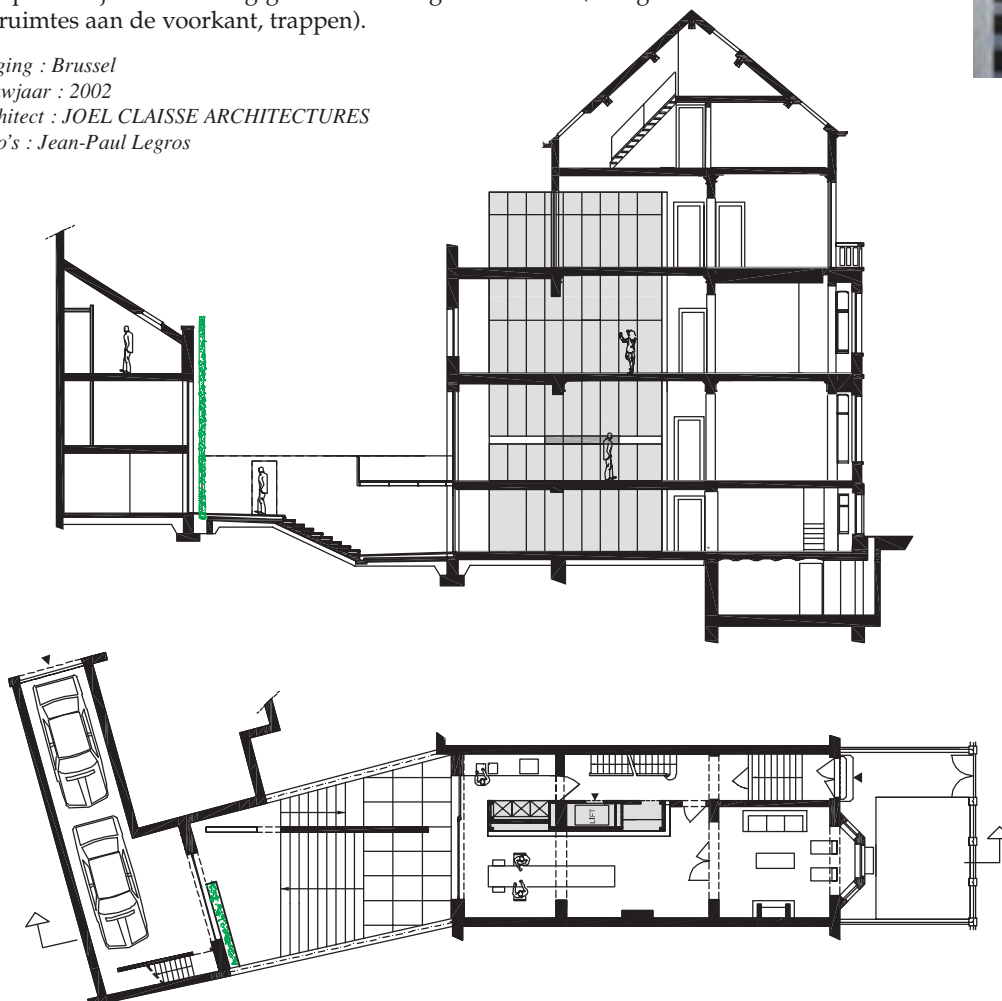
De nieuwe architecturale ingrepen versterken het karakter van alle oorspronkelijke en volledig gerestaureerde gebouwdelen (voorgevel en ruimtes aan de voorkant, trappen).

Ligging : Brussel

Bouwjaar : 2002

Architect : JOEL CLAISSE ARCHITECTURES

Foto's : Jean-Paul Legros



0 5 m

