



Cellenbeton
Materiaal van de toekomst

Cellenbeton

Bouwsteen van de toekomst



Redactie

ir. Jos Cox

ir. Albert Ingelaere

Jacques Sizaire

Redactiemedewerkers:

ir. Pascal Meulders

ir. Elly Van Overmeire

Verantwoordelijk uitgever

Jacques Sizaire

Kantelenlaan 18 bus 1

1200 Brussel

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze ook, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Deze publicatie berust op de huidige kennis en stand van de techniek. De uitgever behoudt zich het recht voor deze gegevens zonder voorafgaande aankondiging te wijzigen.

De vzw Federatie Belgisch Cellenbeton (FeBeCel) bestaat reeds meer dan 25 jaar, en geeft reeds zolang een Handboek Cellenbeton uit.

FeBeCel (voorheen BCB) is als vereniging altijd uiterst actief geweest. In samenwerking met technische instituten en universiteiten heeft deze federatie het initiatief genomen voor talloze publicaties in verband met cellenbeton en de toepassing ervan. Deze publicaties gaan steeds uitvoerig in op alles wat met cellenbeton en zijn toepassing te maken had, zoals brandwerendheid, warmte-isolatie, afwerkingsmogelijkheden, enzovoort. De grote vraag naar dergelijke publicaties, het alsmear toenemend gebruik van cellenbeton in de bouwsector en, last but not least, de noodzaak aan een duidelijk overzicht van de eigenschappen en de toepassingsmogelijkheden van cellenbeton, zijn aanleiding tot het uitgeven van een derde versie van dit handboek over cellenbeton.

Het handboek van FeBeCel is het sluitstuk van een nauwe samenwerking tussen de verschillende leden van FeBeCel en hun medewerkers, die elk in hun eigen vakgebied specialisten zijn. Zij vertegenwoordigen hun organisatie bij het BIN (Belgisch Instituut voor Normalisatie). Daarnaast hebben zij meegewerkt in diverse werkgroepen voor normalisering op Europees niveau. De ervaring die de auteurs na talloze jaren in de praktijk hebben opgedaan, vormt een belangrijke garantie voor de lezer.

Ondanks de technische opzet van deze publicatie hebben we geprobeerd er een leesbaar geheel van te maken en de nodige aandacht te besteden aan praktische toepassingen voor de professionals.

Dit is de juiste plaats om een bijzonder woord van dank te richten tot de heer Jacques Sizaire, die het dagelijks bestuur van het secretariaat van FeBeCel waarneemt. Als drijvende kracht en coördinator heeft hij alle logistieke aspecten in verband met de publicatie van dit handboek op zich genomen.

Wij hopen dat dit vernieuwde handboek van FeBeCel u van pas zal komen als waardevol hulpmiddel voor alle bouwtoepassingen in cellenbeton.

De leden van FeBeCel staan te uwer beschikking voor extra inlichtingen of advies, reeds vanaf het voorontwerpstadium. Wij zijn er om u te helpen.

ir. Jos Cox
Voorzitter FeBeCel vzw

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	11
2. Historiek	13
3. Algemeen	15
4. Fysische en mechanische eigenschappen	23
5. Producteigenschappen	85
6. Toepassingsgebied	93
7. Afwerking van cellenbeton	97
8. Bevestigingsmiddelen	109
9. Overzicht van de eigenschappen en de voordelen van cellenbeton	115

1. Inleiding	11
<hr/>	
2. Historiek	13
<hr/>	
3. Algemeen	15
<hr/>	
3.1 Wat is cellenbeton?	15
3.2 Grondstoffen	16
3.3 Fabricage van cellenbeton	17
3.4 Cellenbetonproducten	20
3.5 Gebruik	20
4. Fysische en mechanische eigenschappen	23
<hr/>	
4.1 Uiterlijk en structuur	23
4.2 Schijnbare droge volumemassa	25
4.3 Druksterkte	26
4.4 Buigtreksterkte	26
4.5 Schuifspanningen	27
4.6 Elasticiteitsmodulus (E-waarde)	27
4.7 Gedrag van cellenbeton in de tijd	28
4.7.1 Droging van cellenbeton	28
4.7.2 Verhardingskrimp	29
4.7.3 Warmte-uitzetting	29
4.7.4 Doorbuiging van gewapende elementen in cellenbeton	30
4.7.5 Dampdiffusie	30
4.7.6 Chemische bestendigheid	30
4.7.7 Wateropname	31
4.7.8 Weerstand tegen vorst en dooi	31
4.8 Milieu en kwaliteit van het leven	32
4.8.1 Behoud van natuurlijke hulpbronnen	32
4.8.2 Energiebesparing	32
4.8.3 Recycleerbaarheid	32
4.8.4 Milieuvriendelijkheid	32
4.8.5 Beperking van productieafval	32
4.8.6 Kwaliteit van het leven	32
4.8.7 Levenscyclus	33
4.9 Berekening van dragend metselwerk onderworpen aan verticale belasting	33
4.9.1 Volgens NBN B 24-301 (maart 1980)	33
4.9.1.1 f_k volgens proeven op bouwmaterialen	33
4.9.1.2 f_k volgens proeven op muurtjes	34

4.9.2	Volgens NBN ENV 1996-1-1, Eurocode 6 met NAD (juni 1998)	34
4.9.2.1	Genormaliseerde druksterkte van metselwerkblokken: f_b	34
4.9.2.2	Mortelcategorieën	35
4.9.2.3	Karakteristieke druksterkte f_k van ongewapend metselwerk	35
4.9.2.4	f_k -waarde voor verschillende soorten metselwerk	36
4.9.2.5	Sterkteberekening van een muur volgens ENV 1996-1-1 met NAD	37
4.9.2.5.1	Slankheid van de muur	37
4.9.2.5.2	Excentriciteit van de belastingen	37
4.9.2.5.3	Controle van de sterkte van de muur (ongewapend metselwerk)	38
4.9.2.5.4	Veiligheidsfactoren voor belastingen γ_f	38
4.9.2.5.5	Rekenvoorbeelden volgens ENV 1996-1-1 met NAD	39
4.10	Thermische eigenschappen	43
4.10.1	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ	43
4.10.2	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ voor muren uit cellenbetonblokken	43
4.10.3	Warmteweerstand R	45
4.10.4	Totale warmteweerstand R_T van een wand	45
4.10.5	Warmtedoorgangcoëfficiënt U van wanden	46
4.10.6	Oppervlaktetemperatuur	47
4.10.7	Thermische inertie	48
4.10.7.1	Algemeen	48
4.10.7.2	Warmtecapaciteit	48
4.10.7.3	Afkoeltijd	49
4.10.7.4	Demping en faseverschuiving	49
4.10.8	Gewestelijke thermische eisen	50
4.10.8.1	Vlaanderen	51
4.10.8.2	Wallonië en Brussel	51
4.10.8.3	Rekenvoorbeeld van het peil van de globale warmte-isolatie K	53
4.11	Akoestiek	63
4.11.1	Algemene begrippen	63
4.11.1.1	Frequentie	63
4.11.1.2	Voortplantingssnelheid van geluid	63
4.11.1.3	Golfenlengte - periode	64
4.11.1.4	Geluidsdruk niveau	64
4.11.1.5	Zuivere toon - het geluidsspectrum	64
4.11.1.6	Luidheidsniveau – isofonen	65
4.11.1.7	Geluid - een subjectieve waarneming	66
4.11.1.8	Achtergrondgeruis	66

4.11.2	Bouwakoestiek	66
4.11.2.1	Luchtgeluid en contactgeluid	66
4.11.2.2	Nagalm	66
4.11.2.3	Absorptiecoëfficiënt (α)	67
4.11.3	Belgische normen	68
4.11.4	Geluidsisolatie van gebouwen	69
4.11.4.1	Luchtgeluidsisolatie	69
4.11.4.2	Algemeen	69
4.11.4.3	Luchtgeluidsisolatie van muren	70
4.11.4.4	Contactgeluidsisolatie van muren	70
4.11.5	Bouwakoestiek met cellenbeton	71
4.11.5.1	Massieve buitenmuren in cellenbetonblokken	71
4.11.5.2	Binnenmuren in cellenbetonblokken	71
4.11.5.3	Dubbele scheidingsmuren tussen rijwoningen / dubbelwoningen / appartementen	71
4.11.5.4	Binnenmuren in cellenbetonblokken met voorzetwand aan 1 of 2 zijden	72
4.11.5.5	Industriegebouwen met cellenbetonplaten	72
4.11.5.6	Dakplaten in cellenbeton	72
4.12	Brandwerendheid van cellenbeton	74
4.12.1	Klassering van bouwelementen op basis van de brandwerendheid	75
4.12.2	Brandwerendheid van cellenbetonwanden	76
4.12.3	Gedrag van cellenbeton bij brand	76
4.12.4	Compartimentering en brandwerendheid van wanden van gebouwen	78
4.12.5	Bouwtechnische principes	78
4.12.5.1	Combinatie cellenbetonmuur / staalstructuur	79
4.12.5.2	Combinatie cellenbetonmuur / structuur in gewapend beton	82
4.12.5.3	Brandwerende voegen	83
4.12.5.4	Concreet voorbeeld	83
5.	Producteigenschappen	84
5.1	Blokken en lateien	85
5.1.1	Blokken	85
5.1.2	Lateien	87
5.2	Gewapende elementen	88
5.2.1	Wandplaten	88
5.2.2	Dakplaten	89
5.2.3	Vloerplaten	90
5.2.4	Scheidingswanden	91

6. Toepassingsgebied	93
<hr/>	
6.1 Blokken en lateien	93
6.2 Gewapende elementen	93
6.2.1 Wandplaten	93
6.2.2 Dakplaten	93
6.2.3 Vloerplaten	94
6.2.4 Scheidingswandplaten	94
7. Afwerking van cellenbeton	97
<hr/>	
7.1 Afwerking van cellenbetonblokken	97
7.1.1 Gevelsteen – spouwmuur	97
7.1.2 Buitenpleister op cellenbetonblokken	97
7.1.3 Beplating aan de buitenzijde	101
7.1.4 Buitenschilderwerk op cellenbetonblokken	101
7.1.5 Binnenpleister op cellenbetonblokken	102
7.1.6 Binnenschilderwerk op cellenbetonblokken	102
7.2 Afwerking van cellenbetonwandplaten	103
7.2.1 Voegdichting tussen cellenbetonwandplaten	103
7.2.2 Buitenschilderwerk op cellenbetonwandplaten	103
7.2.3 Buitenpleister op cellenbetonwandplaten	104
7.2.4 Beplating op cellenbetonwandplaten	105
7.2.5 Gevelsteen met cellenbetonwandplaten	105
7.2.6 Binnenafwerking van cellenbetonwandplaten	105
7.3 Afwerking van cellenbetondakplaten	106
7.3.1 Dakdichting op cellenbetondakplaten	106
7.3.2 Binnenafwerking van cellenbetondakplaten	106
8. Bevestigingsmiddelen	109
<hr/>	
8.1 Cellenbetonnagels in aluminium of verzinkt staal	109
8.2 Uitdrijfnagels	110
8.2.1 Montage	110
8.2.2 Toegelaten belasting	110
8.3 Pluggen voor cellenbeton	111
8.4 Chemische ankers	112
8.5 Fabrikanten	112
9. Overzicht van de eigenschappen en de voordelen van cellenbeton	115
<hr/>	



1. Inleiding

Cellenbeton heeft zijn intrede gedaan op de Belgische bouwmarkt in 1953. De afgelopen vijf decennia heeft het zijn opmars gestaag voortgezet, zelfs in de jaren negentig, toen de bouwsector wegzakte in een diepe recessie. Precies in die moeilijke dagen kwamen de voordelen van cellenbeton als bouw materiaal tot hun volste recht.

Cellenbeton is een licht en sterk materiaal waarmee men om het even welk gebouw kan bouwen van kelder tot dak. De blokken, lateien en gewapende platen in verschillende formaten laten toe om snel en eenvoudig te bouwen, zodat de rentabiliteit al in de bouw fase omhoog gaat.

Cellenbetonproducten bieden immers tal van voordelen in iedere fase van het bouwproces.

1. De architect beschikt over een veelzijdig bouw materiaal waarmee hij om het even welk gebouw in alle vrijheid kan ontwerpen. Bovendien is hij er zeker van dat het volledige gebouw over een uitstekende warmte-isolatie beschikt, want iedere kubieke centimeter cellenbeton is een volwaardig isolatiemateriaal op zich.

2. De aannemer beschikt over een licht en sterk bouw materiaal dat zich eenvoudig laat verwerken. De uitvoeringstijd van het bouwwerk wordt korter, zonder extra belasting voor de bouwvakker.

Cellenbeton wordt immers gelijk. Voor 1 m³ cellenbetonblokken is nog slechts 17 liter lijm mortel nodig, terwijl voor gewone blokken 170 liter (10 keer meer) traditionele mortel nodig is.

De gewapende elementen, wand- of dakplaten kunnen een oppervlak van 5,6 m² per eenheid bereiken en zijn met behulp van lichte heftoestellen eenvoudig te plaatsen.

3. De bouwheer of de gebruiker krijgt snel een droog en gezond gebouw dat hem een uitstekend thermisch comfort biedt, zowel in de zomer als in de winter. Al deze voordelen zijn eigen aan gebouwen in cellenbeton en zorgen al in de bouw fase voor een aanzienlijke kostenbesparing.

Bovendien krijgt de gebruiker een kosteloze extra brandverzekering, aangezien cellenbeton onbrandbaar is en bij brand geen rook of toxische gassen afgeeft.

4. Een bedrijfsleider krijgt de beschikking over goedkope en efficiënte industriële gebouwen in termen van:

- arbeidscomfort dankzij de goede geluidsabsorberende eigenschappen (resonantie) van de cellenbetonproducten;
- het behoud van aangename en stabiele temperaturen zonder airconditioningsysteem;
- de aanwezigheid van efficiënte brandmuren (brandbeveiliging van voorraden, apparatuur, personeel) zonder meerkosten.

Daarenboven zijn de wandplaten eenvoudig te demonteren en opnieuw te gebruiken, bijvoorbeeld voor de uitbreiding van een fabrieksgebouw.

Cellenbeton wordt volgens de modernste productiemethoden vervaardigd en voldoet zodoende aan de stijgende eisen op de bouwmarkt.

Elk gebouw is uniek. Iedere constructie moet beantwoorden aan de functie waarvoor het bestemd is. Of dat nu een pakhuis is waar gevoelige of brandgevaarlijke producten worden opgeslagen, een fabrieksgebouw waar met moderne productiemethoden wordt gewerkt, of een woning waar het aangenaam vertoeven is. Ieder gebouw vraagt een eigen ontwerp, aangepast aan de persoonlijke behoeften van de gebruiker.

Een modern bouw materiaal moet dan ook niet alleen voldoen aan de eisen van deze tijd, maar ook aan die van de toekomst.

Over een dergelijk bouw materiaal gaat dit handboek. Over de bouwsteen van de toekomst, voor mensen van deze tijd. Over cellenbeton.



2. Historiek

Cellenbeton: bouwsteen van de toekomst.

Cellenbeton, zoals we dat vandaag kennen, is ontstaan uit de combinatie van twee uitvindingen uit het verleden: het autoclaveren van een mengsel van zand-kalk-water en het doen rijzen van mengsels van zand, cement-kalk en water.

De eerste uitvinding dateert van 1880 en wordt toegeschreven aan W. Michaelis. Hij bracht een mengsel van kalk, zand en water in contact met verzadigde waterdamp onder hoge druk. Hierdoor ontstonden vocht-afstotende, gehydrateerde calciumsilicaten. Kalk reageert met kwartszand en water. Deze uitvinding vormt nog altijd de basis voor alle bouwmaterialen die gehard zijn met verzadigde waterdamp onder hoge druk.

De tweede uitvinding bestaat uit het doen rijzen van mortel. E. Hoffmann deed deze ontdekking in 1889. Hij gebruikte fijngemalen kalksteen en zwavelzuur om mortel op basis van cement en gips te laten rijzen. In 1914 kregen J.W. Aylsworth en F.A. Dyer een octrooi voor een procédé waarbij aluminium- of zinkpoeder als rijsmiddel werd gebruikt. Deze metaalpoeders reageren in een alkalisch milieu (kalk of cement) onder de vorming van waterstof. De gasvorming doet de verse betonmassa rijzen, net als bij het maken van brood.

In 1924 begon de Zweed J.A. Eriksson met de productie van cellenbeton op basis van een mengsel van fijn zand, kalk en water, waaraan een kleine hoeveelheid metaalpoeder werd toegevoegd. Drie jaar later combineerde hij dit proces met het autoclaveren, zoals het in het octrooi van Michaelis beschreven is. Hierbij verhardt het geëmulgeerde mengsel nadat het is gerezen en gestold in een autoclaaf bij een temperatuur van circa 180 °C met verzadigde waterdamp onder hoge druk. Parallel hiermee werd aan het begin van de jaren dertig een proces ontwikkeld op basis van fijn zand, cement en water, met toevoeging van een kleine hoeveelheid metaalpoeder. K.I.A. Eklund verkreeg in 1939 een octrooi voor dit procédé.

De belangrijkste vooruitgang in de productie van cellenbeton ten opzichte van de beginperiode is het verharden met verzadigde hogedrukdamp. Hierdoor wordt de drogingskrimping tot een minimum beperkt.

Tot slot was er nog een derde stap nodig om te komen tot het cellenbeton zoals we het vandaag kennen: de seriefabricage in kleine en grote formaten van al dan niet gewapende elementen, met een voldoende nauwkeurighedsgraad. Hiervoor werd na 1945 een productiemethode uitgewerkt. De producten worden op de gewenste maat gesneden door middel van gespannen staaldraad. Zo krijgt men uiterst precies gedimensioneerde eindproducten. In 1953 werd in België begonnen met de productie van cellenbetonblokken. Het product werd op de markt verwelkomd als een interessante aanvulling op de traditionele bouwmaterialen. Aansluitend op het overweldigende succes van deze bouwstof werd de productie reeds in 1957 uitgebreid met gewapende elementen in cellenbeton. Dat was een belangrijke doorbraak, want voortaan kon men elementen met grote afmetingen realiseren, die vooral in de industriebouw gebruikt worden.

De eerste cellenbetonfabrieken zagen het licht in Zweden, het vaderland van Eriksson. Zweden was ook de uitvalsbasis voor de distributie en productie van cellenbeton over de hele wereld.

Vandaag de dag is de productietechniek van cellenbeton het meest innoverende procédé van alle steenachtige bouwmaterialen; het verloopt volledig geautomatiseerd.



3. Algemeen

3.1 Wat is cellenbeton?

Versteende lucht

Zand, kalk en cement vormen de basisgrondstoffen die volgens een welbepaald recept intensief worden gemengd, waarna water wordt toegevoegd.

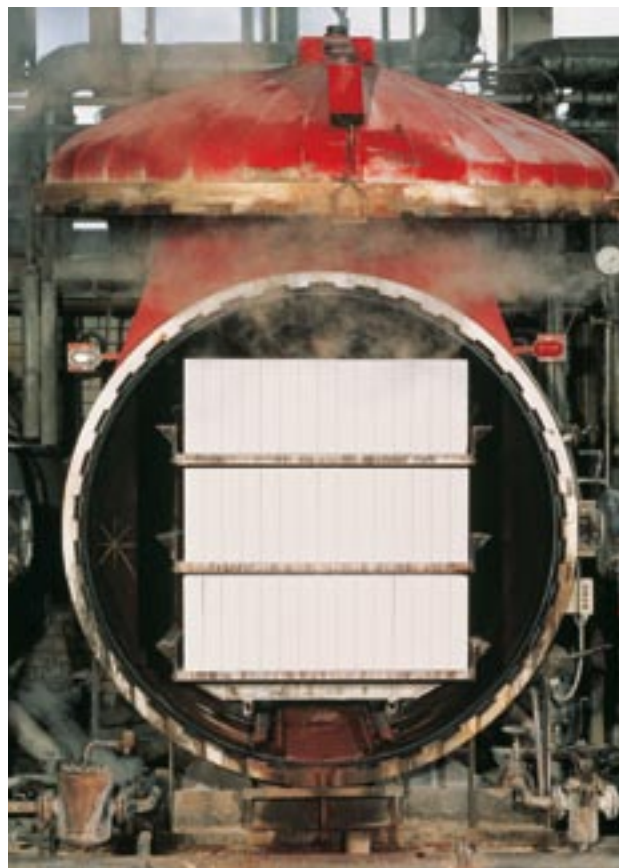
De unieke massa verkrijgt men echter pas door een kleine hoeveelheid aluminiumpoeder toe te voegen, dat de brij doet rijzen.

De brijachtige massa wordt in vormen gegoten, die slechts gedeeltelijk gevuld worden. Voor gewapende elementen worden eerst de wapeningsnetten in de vormen gelegd. Die netten zijn vooraf op een automatische lasstraat gemaakt en gedimensioneerd voor de eindbestemming van de platen. De wapening is tevens voorzien van een corrosiewerende laag.

Door het aluminiumpoeder toe te voegen komt er waterstofgas vrij, waardoor de massa gaat rijzen tot de vormen volledig gevuld zijn en er miljoenen kleine cellen worden gevormd. Het waterstofgas in de cellen wordt onmiddellijk verdrongen door de veel zwaardere omgevingslucht.

Cellenbeton bestaat dus voor een groot deel uit lucht en wordt daarom wel eens 'versteende lucht' genoemd. Belangrijker is echter dat die lucht verantwoordelijk is voor de twee meest essentiële kenmerken van cellenbeton: het lichte gewicht en de uitstekende warmte-isolerende eigenschappen.

Nu terug naar het fabricageproces: nadat de massa uit de vorm is genomen, wordt deze in het gewenste producttype gesneden: blokken, lateien, gewapende platen. Vervolgens wordt het product in een autoclaaf versteend bij een temperatuur van 180°C, en een stoomdruk van 10 atmosfeer. Na de autoclavering krijgt het materiaal zijn definitieve eigenschappen.



Dankzij de moderne fabricagetechnieken en de strikte naleving van de kwaliteitsnormen ontstaat een hoogwaardig materiaal dat klaar is om zijn kwaliteiten in de bouw te doen gelden.

Cellenbeton draagt, door de kleine hoeveelheid basisgrondstoffen die bij de productie vereist zijn, bij aan het behoud van de natuurlijke grondstoffen: 500 kg grondstof is voldoende voor 1 m³ metselwerk; dat is de helft of één derde van de hoeveelheid vereist voor andere ruwbouwmaterialen.



Voor de fabricage is slechts weinig energie nodig: 300 kW/h is voldoende om 1 m³ geautoclaveerd cellenbeton te produceren. Dit is 10 keer minder dan bij de productie van volle stenen van gebakken aarde. Cellenbeton is, met andere woorden, een milieuvriendelijk bouw materiaal.

Bij de productie komen geen toxische gassen vrij en er wordt geen water verontreinigd.

3.2 Grondstoffen

Voor de productie van cellenbeton worden de volgende grondstoffen gebruikt:

- zeer zuiver wit zand (95% silicium)
- kalk
- cement
- aluminiumpoeder
- water.

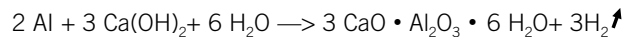
Op te merken valt dat het grondstoffen betreft die in overvloed in de natuur voorhanden zijn.

In aanwezigheid van water reageert kalk met het silicium aanwezig in het zand. Hierdoor ontstaan gehydrateerde calciumsilicaten (Tobermoriet).

Kalk en cement fungeren als bindmiddel.

Tijdens de fabricage wordt een zeer kleine hoeveelheid ($\pm 0,05\%$) zeer fijn aluminiumpoeder (korrelgrootte ca. 50 μm) toegevoegd. Dit poeder fungeert als gist om tijdens de fabricage de pasta te doen rijzen en de cellen te vormen.

In alkalisch milieu reageert het aluminiumpoeder als volgt:



De cellen worden gevormd door de vrijgekomen waterstof. Tijdens het verharden van de pasta ontsnapt de waterstof en worden de cellen gevuld met lucht.

De gemiddelde verhouding van de grondstoffen zoals die bij de fabricage wordt gebruikt, is als volgt:

- | | |
|-------------------|--------------|
| • kwartszand | $\pm 65\%$ |
| • cement | $\pm 20\%$ |
| • kalk | $\pm 15\%$ |
| • aluminiumpoeder | $\pm 0,05\%$ |
| • water | |

De percentages variëren in geringe mate, afhankelijk van de gewenste volumemassa.

3.3 Fabricage van cellenbeton

Cellenbetonproducten worden gemaakt in sterk geïndustrialiseerde productie-eenheden. De constant hoge productkwaliteit wordt gewaarborgd door stabiele grondstoffen te gebruiken, door het fabricageproces te automatiseren en, last but not least, door continue interne en externe controles.

Hier volgen de belangrijkste productiestadia:

- het voorbereiden, doseren en mengen van de grondstoffen
- het vervaardigen en corrosiewerend maken van de benodigde wapeningen voor de productie van gewapende elementen
- het voorbereiden van de vormen
- het gieten, rijzen en verharden van de pasta
- het op maat snijden en profileren van de producten
- het autoclaveren
- het laden op pallets en verpakken in beschermende krimpfolie (blokken).

Cellenbeton behoort tot de groep geautoclaveerde lichte betonsoorten. Voor de bereiding worden de volgende grondstoffen gebruikt: cement, zuiver zand (95% silicium), kalk en water.

Het zand wordt fijngemalen in droge toestand of nat, gemengd met water. Vervolgens voegt men cement, kalk, aluminiumpoeder en water toe. Na het intensief mengen van deze bestanddelen wordt de verkregen massa in vormen gegoten. Deze vormen hebben een inhoud van 4,5 tot 8 m³ en worden voor ongeveer de helft gevuld.

Gewapende elementen worden gemaakt door een wapeningsnet, dat van tevoren tegen corrosie is behandeld, uiterst nauwkeurig in de vormen aan te brengen en vast te zetten door middel van afstandshouders.

Bij de productie van cellenbetonblokken worden de vormen alleen met het mengsel gevuld.

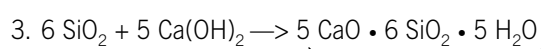
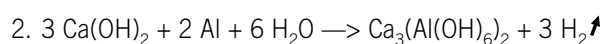
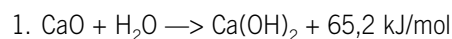
Het aluminiumpoeder reageert met de andere bestanddelen. Door de chemische reactie komt waterstof vrij, waardoor de gesloten cellenstructuur ontstaat die kenmerkend is voor cellenbeton.

Na enkele uren is de celvormige massa zodanig hard geworden (men spreekt terecht van een 'koek'), dat deze uit de vorm kan worden genomen. Vervolgens wordt het materiaal door middel van stalen zaagdraden gesneden op maat, in de lengte voor gewapende elementen, of in de lengte en breedte voor de cellenbetonblokken.

Ondanks het snijden behoudt de 'koek' de vorm die het in de mallen gekregen heeft.

De volgende stap is het thermisch behandelen van het half afgewerkte product in een autoclaaf onder een druk van circa 10 bar en bij een temperatuur van circa 180 °C. Hierbij treedt een nieuwe chemische reactie op waarbij het zand zich bindt met het kalk. Zo ontstaan kristallen met een welbepaalde vorm en samenstelling (Tobermoriet).

Vanaf het mengen van de grondstoffen tot het ontstaan van het eindproduct vinden de volgende, vereenvoudigde chemische reacties plaats:



= Tobermoriet
(gehydrateerd calciumsilicaat)

De fijne celwanden danken hun grote stevigheid aan het Tobermoriet - $\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ of $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$ (industriële benaming).

Hoewel cellenbeton dezelfde bestanddelen bezit als beton, is het een totaal verschillend materiaal. Bij beton neemt het zand niet deel aan de chemische reactie en bijgevolg niet aan de kristalvorming.

Door de thermische behandeling in een autoclaaf krijgt het cellenbeton zijn definitieve eigenschappen.

Men kan diverse volumemassa's verkrijgen door de grondstoffen uiterst precies in verschillende hoeveelheden te doseren.

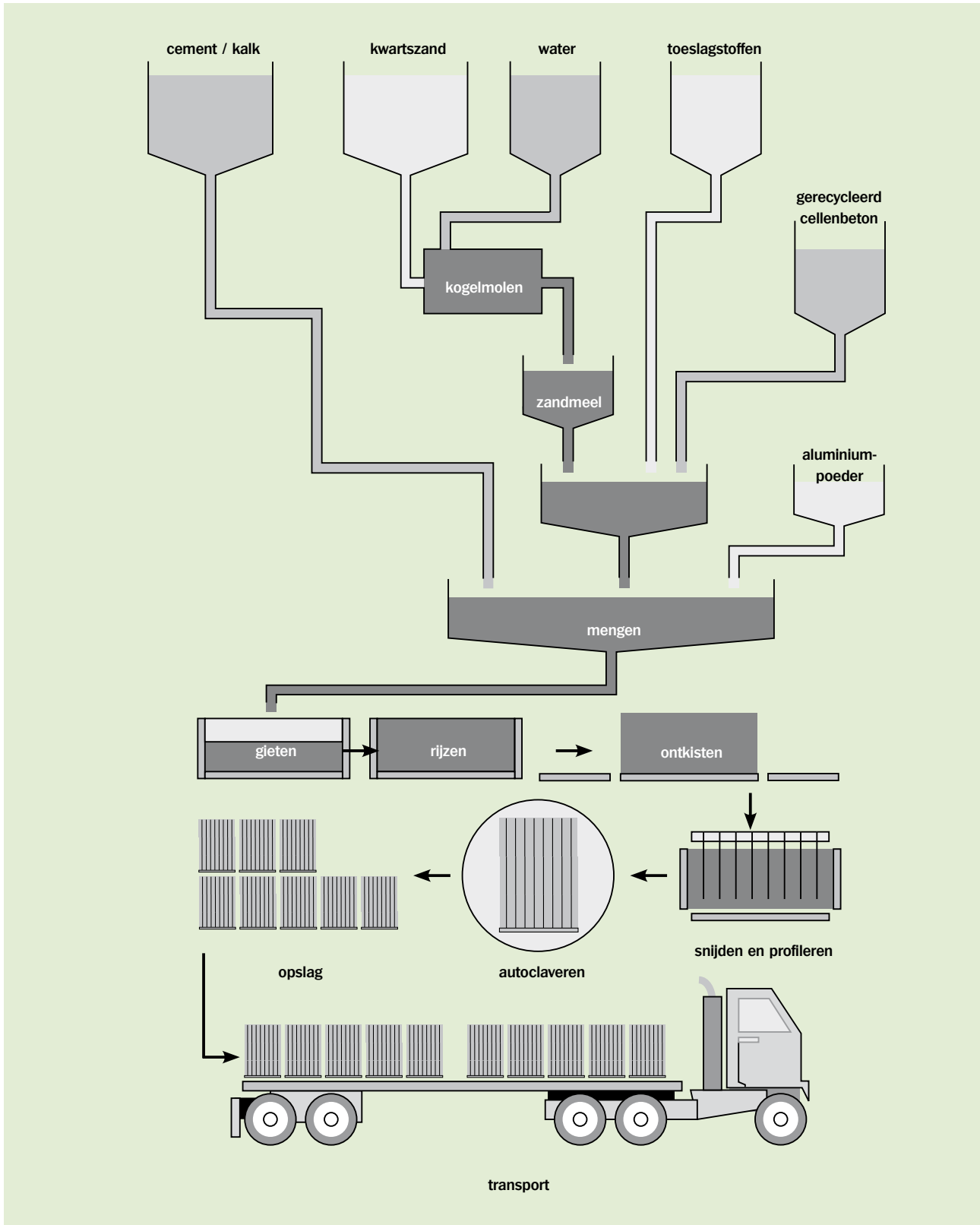
Elke massacategorie heeft specifieke eigenschappen en voldoet aan de eisen van de normen NBN B 21-002 en EN 771-4 (blokken) of NBN B 21-004 en EN 12602 (gewapende elementen).

Productiecontrole

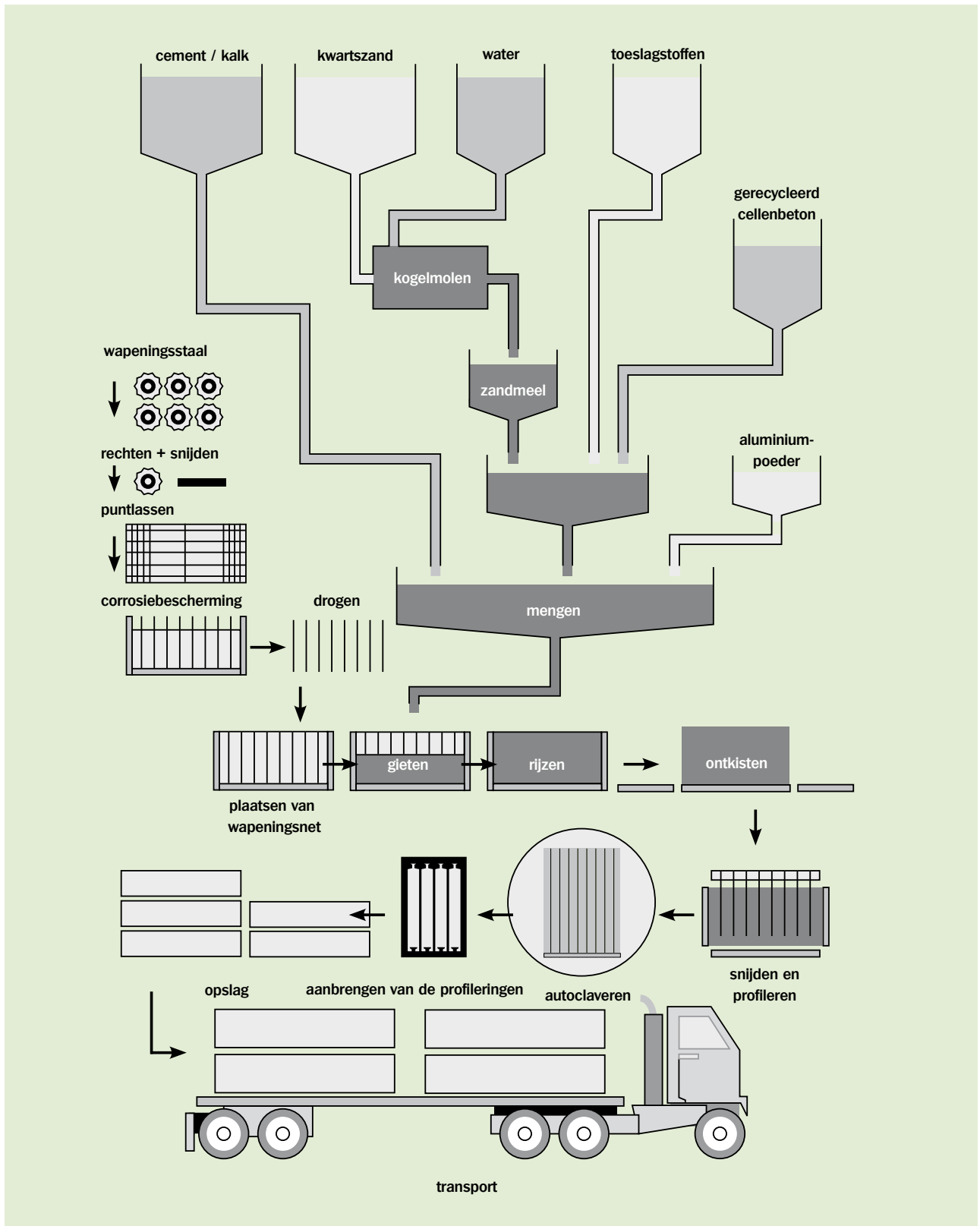
Het fabriekslaboratorium houdt nauwlettend toezicht op elke fase van het productieproces. Deze controles beginnen bij de aankomst van de grondstoffen en eindigen bij elk eindproduct. In elk tussenstadium worden kwaliteitstests uitgevoerd.

De strenge 'zelfcontrole' wordt uitgevoerd volgens de methoden voorgeschreven in de norm 'Geautoclaveerd cellenbeton'. Op het proces wordt toezicht uitgeoefend door technische keuringsinstellingen. Aan universiteiten wordt meer specialistisch onderzoek verricht.

Productieschema van cellenbetonblokken



Productieschema van gewapende elementen



3.4 Cellenbetonproducten

Blokken met grote afmetingen: 6,6 tot 8 blokken per m²

Supergrote blokken: 2 blokken per m²

Blokken en lateien in U-vorm voor het realiseren van:

- ringbalken
- lateien met grote lengte
- lateien met een groter draagvermogen dan toege- staan voor standaardlateien

Dragende en niet-dragende lateien

Gewapende elementen:

- wandplaten (horizontale of verticale plaatsing)
- scheidingswanden (verdiepingshoog)
- dakplaten
- vloerplaten



3.5 Gebruik



Cellenbetonproducten zijn geschikt voor alle soorten constructies: eengezinswoningen, appartementen, kantoren, garages, winkels, scholen, ziekenhuizen, industriële gebouwen, gebouwen voor de landbouw, enzovoort.

De blokken worden gebruikt voor dragende of niet-dragende binnen- en buitenmuren.

De wandplaten worden hoofdzakelijk gebruikt in industriële gebouwen en commerciële centra. De dakplaten vinden toepassing in industriële gebouwen, maar ook in collectieve woningen of eengezinswoningen, kantoorgebouwen en hotels. Als bouw materiaal wordt cellenbeton vooral gebruikt wegens de uitstekende warmte-isulerende eigenschappen. Bovendien behoudt het de koelte van het gebouw in de zomer.

Cellenbeton is sneller en eenvoudiger te verwerken dan traditionele bouwmaterialen, wat een aanzienlijke kostenbesparing oplevert.





4. Fysische en mechanische eigenschappen

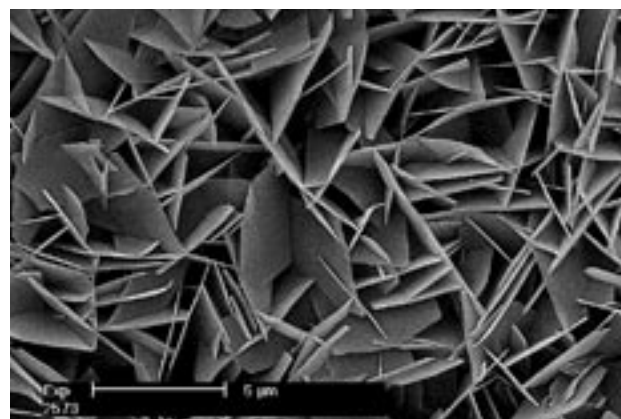
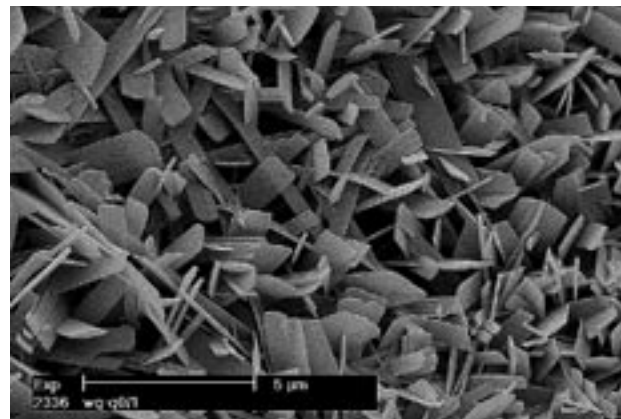
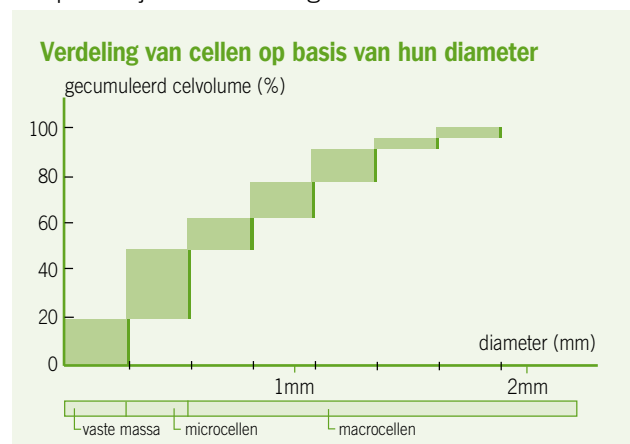
4.1 Uiterlijk en structuur

De structuur van cellenbeton wordt bepaald door de aanwezigheid van een groot aantal uiterst kleine cellen.

Cellenbeton wordt in verschillende volumemassa's vervaardigd, variërend van 300 tot 800 kg/m³ (normaal beton: 2400 kg/m³).

Deze cellen maken 80% uit van het totale volume.

We onderscheiden twee soorten cellen: macrocellen (0,5 – 2 mm), die bij het vrijkomen van waterstof worden gevormd, en microcellen met capillaire afmetingen, die bij het uitzetten van de massa worden gevormd en verspreid zijn in het vaste gedeelte van deze massa.



Voor cellenbeton van 500 kg/m³ bedraagt de verdeling van de cellen in volumepercent:

- Macrocellen 50%
- Capillaire microcellen verspreid in de vaste massa 30%

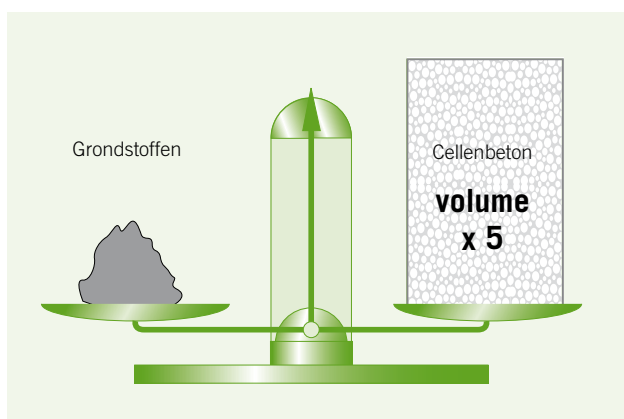
In totaal bestaat het volume van cellenbeton dus voor 80% uit lucht, terwijl de vaste massa 20% uitmaakt.

Met 1 m³ grondstof kan men dus 5 m³ cellenbetonmateriaal maken.

Deze opmerkelijke grondstofbesparing is een van de belangrijkste ecologische kenmerken van cellenbeton.

De oppervlakte van de cellen in 1 kg cellenbeton bedraagt 20 m².

In 1 m³ komt dit neer op ± 10.000 m².



Het is van het allergrootste belang dat de cellen klein, bolvormig en homogeen in de massa verdeeld zijn. Grote cellen verminderen de sterkte van het materiaal omdat de krachten worden overgedragen door de celwand. Hoe groter de cellen, hoe meer spanningen zich in de celwanden concentreren. Dit in tegenstelling tot normaal beton, waar de krachtoverdracht plaatsvindt via het toeslagmateriaal en waarbij de cement enkel fungeert als bindmiddel tussen de toeslagstoffen.

Door de productiemethode nauwgezet bij te sturen, kan men de diameter en het aantal gesloten cellen wijzigen en de volumemassa aanpassen (van 300 tot 800 kg/m³).



4.2 Schijnbare droge volumemassa

In de Belgische normen

NBN B 21-002 (blokken)

NBN B 21-004 (gewapende elementen)

en de Europese normen

EN 771-4 (blokken)

EN 12602 (gewapende elementen)

wordt cellenbeton in kwaliteitsklassen ingedeeld in functie van de schijnbare droge volumemassa (ρ -klasse) en van de druksterkte (f-klasse).

Karakteristieke druksterkte (f_{bk})

ρ -klasse	Maatstaven
ρ 0,4	$350 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 400 \text{ kg/m}^3$
ρ 0,5	$400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 450 \text{ kg/m}^3$
ρ 0,6	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 550 \text{ kg/m}^3$
ρ 0,7	$600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 650 \text{ kg/m}^3$

f-klasse	(N/mm ²)
f2	$f_{bk} \geq 2$
f3	$f_{bk} \geq 3$
f4	$f_{bk} \geq 4$
f5	$f_{bk} \geq 5$

De verschillende klassen worden aangeduid door de letter C voor blokken en CC voor gewapende elementen, gevolgd door de aanduiding van de karakteristieke druksterkte.

Hier volgen de kwaliteitsklassen die op dit ogenblik het meest op de Belgische markt worden gebruikt:

Klassen cellenbetonblokken:

Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ -klasse
C2/400	2	ρ 0,4
C3/450	3	ρ 0,5
C4/550	4	ρ 0,6
C5/650	5	ρ 0,7

Klassen gewapende elementen:

Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ -klasse (kg/m ³)
CC3/500	3	$400 \leq \rho < 500$
CC4/600	4	$500 \leq \rho < 600$

Op aanvraag kunnen andere klassen door de fabrikant worden geleverd.

4.3 Druksterkte

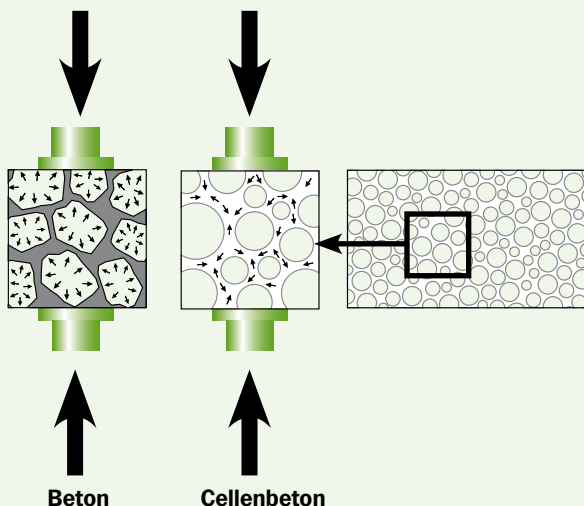
Uit de tabellen in de Belgische normen NBN B 21-002 en NBN B 21-004 (zie par. 4.2) kunnen we afleiden dat de druksterkte toeneemt bij stijgende volumemassa van het cellenbeton.

Bij de berekening van een muur dient men er rekening mee te houden dat metselwerk met gelijmde voegen (wat het geval is bij cellenbeton) een grotere drukweerstand heeft dan metselwerk met mortelvoegen.

Met metselwerk in gelijmde cellenbetonblokken van het type C4/550 kunnen constructies tot vijf verdiepingen hoog worden gebouwd.

Voor grotere prestaties kan door de cellenbetonproducent of de opdrachtgever een cellenbetonklasse met een hogere dichtheid worden aanbevolen, indien vereist, na berekening of volgens de norm 'Metselwerk' NBN B 24-301 of NBN ENV 1996-1-1 (zie par. 4.9.2).

Principe van krachtoverdracht in beton en cellenbeton



4.4 Buigtreksterkte

Alle betonsoorten zijn beter bestand tegen drukbelastingen dan tegen trekbelastingen. Bij gebrek aan proefondervindelijke gegevens moeten de volgende cijfers in acht worden genomen:

De karakteristieke zuivere treksterkte van cellenbeton is 12% van de druksterkte ($f_{ctk} = 0,12 f_{ck}$)

De karakteristieke buigtreksterkte is 22% van de druksterkte : $f_{ctfk} = 0,22 f_{ck}$ (prEN 12602).

Karakteristieke waarden van de buigtreksterkte

Klasse	f_{ctfk}
f2	0,44 N/mm ²
f3	0,66 N/mm ²
f4	0,88 N/mm ²
f5	1,10 N/mm ²



4.5 Schuifspanningen

Voor de schuifspanningen van cellenbeton dienen de volgende waarden te worden aangehouden:

Klasse	τ
CC3/500	0,07 N/mm ²
CC4/600	0,10 N/mm ²

4.6 Elasticiteitsmodulus (E-waarde)

“E” wordt uitgedrukt in N/mm², en is het quotiënt van de spanning gedeeld door de vervorming. De E-waarde moet worden berekend volgens de normen NBN B 21-004 en prEN 12602.

$$E_c = 5 (\rho_{dry} - 150) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

met

$$\rho_{dry} = \text{droge volumemassa in kg/m}^3$$

Klasse	E_c
CC3/500	1750 N/mm ²
CC4/600	2250 N/mm ²

Door de autoclaving hebben cellenbetonproducten een veel kleinere kruip dan normaal beton. De kruipcoëfficiënt (phi) van cellenbeton is 0,3 [24].

De doorbuiging onder blijvende belasting wordt berekend met de elasticiteitsmodulus op lange termijn $E_{c,\infty}$

$$E_{c,\infty} = \frac{E_c}{1 + \text{phi}} = \frac{E_c}{1,3}$$



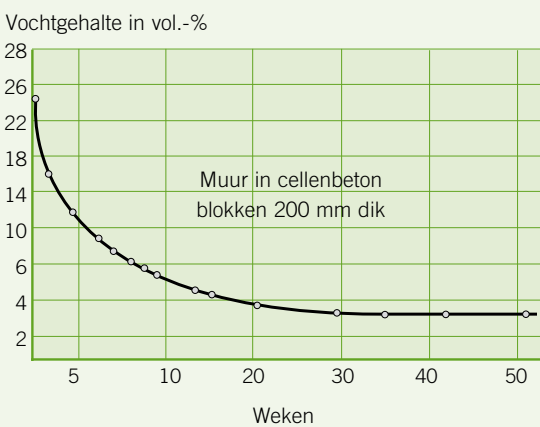
4.7 Gedrag van cellenbeton in de tijd

4.7.1 Droging van cellenbeton

Wanneer het cellenbeton de autoclaaf verlaat, bevat het ongeveer 23 volumepercent vocht.

De onderstaande grafiek toont aan dat het aanwezige vocht na drie maanden grotendeels verdwenen is. Het gebouw verkeert dan nog in het ruwbouwstadium.

Drogingskromme van cellenbetonblokken bij binnenklimaat [24]

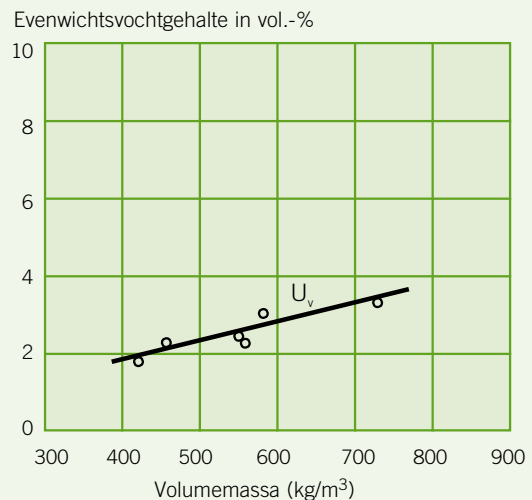


In de praktijk wordt het evenwichtsvochtgehalte van 2,5 in volumepercent van cellenbetonmetselwerk met een volumemassa van 500 kg/m^3 bereikt nadat het gebouw 12 tot 24 maanden in gebruik is, afhankelijk van de gebruiksomstandigheden van de constructie. Daarbij is rekening gehouden met het water dat bij de verwerking en de afwerking wordt toegevoegd, alsook door de regen tijdens de bouwwerken.



Deze evenwichtsfactor kan licht variëren afhankelijk van de volumemassa van het cellenbeton, zoals uit de onderstaande tabel blijkt.

Evenwichtsvochtgehalte (in volume) als functie van de volumemassa [22]

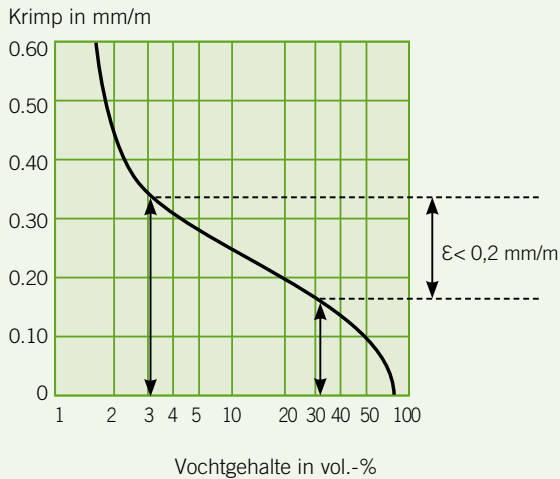


Het restwater van cellenbeton komt in verschillende vormen voor:

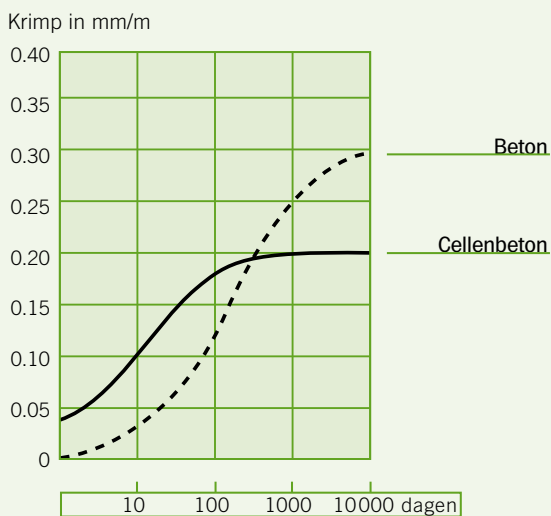
- als chemisch gebonden water (kristallen)
- als gelachtig water in de microporiën, en als vrij water
- in de lucht opgesloten in de capillaire poriën en in de macroporiën.

Voor cellenbeton is de drogingskrimp niet groter dan 0,2 mm/m, wat veel minder is dan voor zware betonblokken.

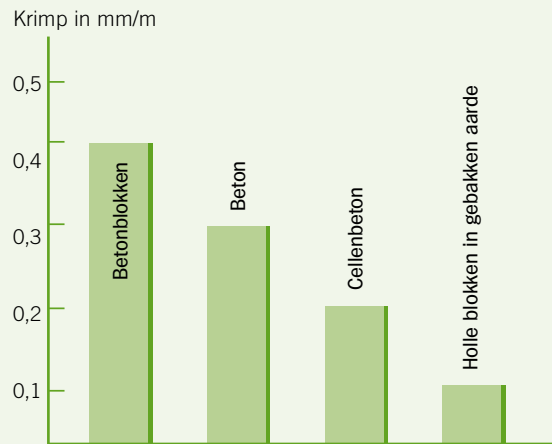
Drogingskrimp van cellenbeton [17]



Krimp in de tijd



Vergelijking van de drogingskrimp van diverse materialen



4.7.2 Verhardingskrimp

Cellenbeton verhardt tijdens het autoclaveren door de vorming van kristallen van gehydrateerd calciumsilicaat (Tobermoriet). Deze stof geeft cellenbeton zijn karakteristieke sterkte. Wanneer het cellenbeton de autoclaaf verlaat, is het verhardingsproces beëindigd en is de verhardingskrimp ook reeds voorbij. Bij de verwerking van cellenbeton moet men bijgevolg geen rekening houden met verhardingskrimp.

4.7.3 Warmte-uitzetting

De lineaire uitzettingscoëfficiënt van een materiaal is de variatie in lengte van een element van 1m bij een temperatuurstijging van 1K.

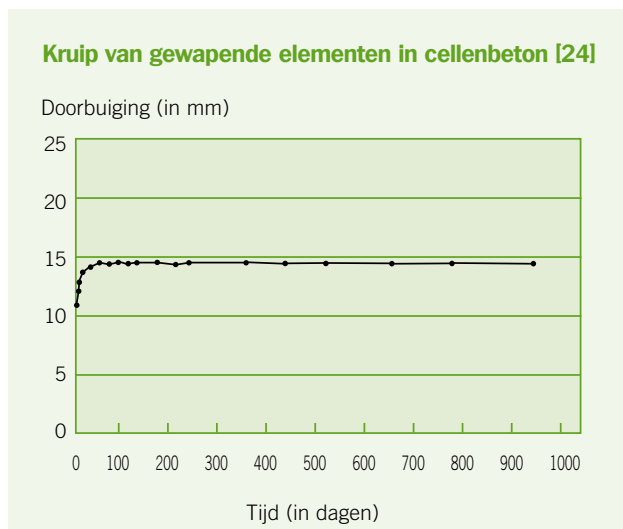
Voor cellenbeton bedraagt deze uitzettingscoëfficiënt $8 \cdot 10^{-6}$ m/mK.

Ter vergelijking volgt hier de lineaire uitzettingscoëfficiënt van verschillende metselstenen (in m/mK):

- baksteen $5 \cdot 10^{-6}$ m/mK
- kalkzandsteen $9 \cdot 10^{-6}$ m/mK
- graniet $5 \cdot 10^{-6}$ m/mK
- beton $10 \cdot 10^{-6}$ m/mK
- cellenbeton $8 \cdot 10^{-6}$ m/mK

4.7.4 Doorbuiging van gewapende elementen in cellenbeton

Naast de ogenblikkelijke doorbuiging bij het belasten van een constructief element treedt na verloop van tijd nóg een vormverandering op ten gevolge van kruip. De toename van de doorbuiging van de elementen, onder invloed van een blijvende vaste belasting, neemt af in de tijd. De volgende curve toont het verloop van de doorbuiging in de tijd van cellenbetonplaten.



4.7.5 Dampdiffusie

De dampdiffusie wordt veroorzaakt door het dampdrukverschil tussen de twee zijden van een poreuze wand. Dit drukverschil heeft geen mechanische gevolgen, maar maakt dampdiffusie in de richting van de drukdaling mogelijk.

Elk bouw materiaal heeft een bepaalde dampdiffusieweerstand. Het dampdiffusieweerstandsgetal μ is de maat voor deze weerstand.

De μ -waarde van lucht is 1. De μ -waarde van een materiaal geeft aan hoeveel keer de dampdiffusieweerstand van dit materiaal groter is dan die van een luchtlaag met dezelfde dikte.

Voor cellenbeton varieert de μ -waarde tussen 5 en 10 afhankelijk van de volumemassa. Die van een dampdicht materiaal is oneindig (∞).

Voorbeelden van materialen (waarden EN 12524):

• lucht	$\mu = 1$
• cellenbeton	
C2/400	$\mu = 4$
C3/450, CC3/500	$\mu = 5$
C4/550, CC4/600	$\mu = 6$
• gebakken aarde	$\mu = 20$
• hout	$\mu = 50 \text{ tot } 200$
• beton	$\mu = 100 \text{ tot } 130$
• gewapend beton	$\mu = 130$
• synthetisch isolatiemateriaal	$\mu = 20 \text{ tot } 300$
• geëxtrudeerd polystyreen	$\mu = 150$
• asfalt	$\mu = 50.000$
• PVC	$\mu = 20.000$
• glas	$\mu = \infty$
• staalplaat	$\mu = \infty$

Hoe kleiner de waarde μ , hoe beter de dampdiffusie. Dit betekent dat waterdamp sneller wordt afgevoerd. Aangezien cellenbeton een zeer lage μ -waarde heeft, zegt men dat het goed 'ademt'.

4.7.6 Chemische bestendigheid

De bestandheid van cellenbeton tegen chemische aantasting is vergelijkbaar met die van zwaar beton. Beide materialen zijn echter minder goed bestand tegen sterke zuren, die doorgaans niet voorkomen in woningen of industriële gebouwen. Door de hoge alkaliteit is cellenbeton bestand tegen zure regen. Lichte aantasting vindt slechts plaats tot enkele millimeters diep.

4.7.7 Wateropname

In direct contact met water (ook regenwater) zuigen materialen water op door capillariteit volgens de formule:

$$m(t) = A \cdot \sqrt{t_w}$$

$m(t)$ = opgezogen water per oppervlakte-eenheid (kg/m^2) gedurende een periode t

A = wateropnamecoëfficiënt ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$)

t_w = contactduur met het water (seconden)

De A -waarde van cellenbeton varieert tussen $70 \cdot 10^{-3}$ en $130 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$. Deze waarde ligt veel lager dan die van gebakken aarde of gips. Dankzij de gesloten celstructuur van cellenbeton kan het water alleen opgezogen worden via de vaste stof waaruit het materiaal is samengesteld. Deze vaste stof maakt slechts 20% uit van het volume, wat de opname van het water sterk vermindert.

Capillaire opzuiging van verschillende materialen [12]



- 1. Pleister $1390 \text{ kg}/\text{m}^3$
- 2. Volle baksteen $1730 \text{ kg}/\text{m}^3$
- 3. Cellenbeton $600 \text{ kg}/\text{m}^3$
- 4. Kalkzandsteen $1770 \text{ kg}/\text{m}^3$

4.7.8 Weerstand tegen vorst en dooi

Cellenbeton wordt in de regel niet beschadigd door de cycli van bevriezen en ontdooien. Alleen voor bepaalde bijzondere constructies moeten voorzorgsmaatregelen worden genomen. Een voorbeeld hiervan is de bouw van koelruimten. Poreuze materialen zijn doorgaans niet vorstbestendig boven een kritisch vochtgehalte. Dat geldt zowel voor zwaar beton als voor cellenbeton. Deze kritische vochtgrens voor cellenbeton van het type C4 is pas bereikt bij 45 volumepercent.

In principe wordt deze waarde nooit bereikt op de bouwplaats. Kort na de ingebruikneming van de constructie stabiliseert het vochtgehalte zich tussen 2 en 4 volumepercent. Als de buitenmuren in cellenbeton niet worden beschermd of behandeld, kan deze waarde 10% bereiken. Als een behandeling van het buitenoppervlak wenselijk is om wateropname en de daaruit voortvloeiende vermindering van het warmte-isulerende vermogen van het cellenbeton te voorkomen, moet de beschermlaag in elk geval waterdampdoorlatend zijn. Is de beschermlaag dampdicht, dan zal er condensatie van de waterdamp optreden in het buitenste gedeelte van de muur.

In dit geval kan verzadiging optreden, met zelfs overschrijding van het kritische vochtgehalte tot gevolg. Hierdoor ontstaat vorstschade. Dit principe geldt voor de meeste materialen. Een afwerklaag is dampdoorlatend als deze voldoet aan de **criteria van Künzels**, met name:

Wateropnamecoëfficiënt:

$$A \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$$

Dampdiffusieweerstand:

$$S_d \leq 2 \text{ m}$$

met $S_d = \mu \cdot d$, of het dampdiffusieweerstandsgetal vermenigvuldigd met de dikte. Het product van beide parameters is onderworpen aan de volgende eis:

$$A \cdot S_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$$

4.8 Milieu en kwaliteit van het leven

De invloed van bouwmaterialen op het milieu en de kwaliteit van het leven is lange tijd onderschat geweest. Vandaag krijgt dit criterium de bijzondere aandacht die het verdient, ook in politieke kringen. In België lijken diverse acties op gang te komen. In andere landen daarentegen, met Duitsland op kop, staat deze kwestie al geruime tijd hoog op de agenda. Een erkend laboratorium, het Bundesverband für Baubiologische Produkte te Stuttgart, analyseert reeds geruime tijd de ecologische kenmerken van bouwmaterialen. Dit laboratorium heeft het label 'Groen product' toegekend aan cellenbeton. Cellenbeton draagt in velerlei opzichten bij aan het behoud van natuur en milieu.

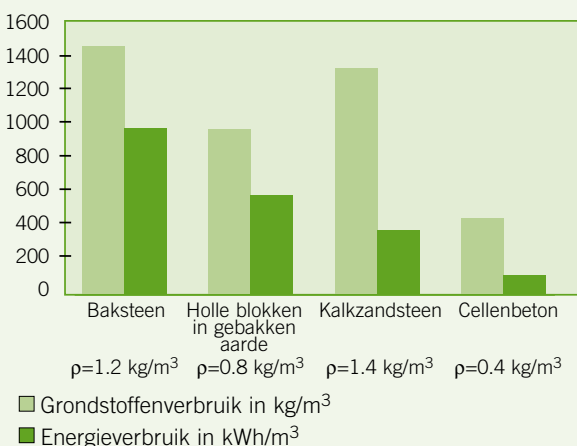
4.8.1 Behoud van natuurlijke hulpbronnen

Voor de productie van cellenbeton worden de volgende grondstoffen gebruikt: zand, kalk, cement en een zeer kleine hoeveelheid (0,05%) aluminiumpoeder. Al deze stoffen zijn in overvloed in de natuur voorhanden, en worden spaarzaam gebruikt voor de productie van cellenbeton: amper 500 kg grondstof is voldoende om 1 m³ cellenbeton te maken. Dat is amper één derde van de hoeveelheid vereist om andere ruwbouwmaterialen te maken.

4.8.2 Energiebesparing

- Door de autoclaving tijdens het fabricageproces is voor de productie van 1 m³ cellenbeton slechts 200 kWh energie nodig.
- Circa 90% van de waterdamp die voor de autoclaving wordt geproduceerd, wordt gerecupereerd en opnieuw gebruikt.
- Dankzij de lichteheid van de bouwstof blijft het transport beperkt, zowel voor de grondstoffen als voor de aanvoer op de bouwplaats.

Verbruik van grondstoffen en energie voor de productie van bouwmaterialen [18]



4.8.3 Recycleerbaarheid

Tijdens de fabricage worden de reststoffen van het op maat snijden van de producten volledig opnieuw in het productieproces opgenomen. Na de autoclaving wordt een kleine hoeveelheid reststoffen fijngemalen en opnieuw gebruikt voor andere toepassingen. Het aluminiumpoeder, dat in zeer kleine hoeveelheid wordt gebruikt (0,05%), is zelf een recyclageproduct. Op de werven kan de overschot van cellenbeton in speciale bigbags verzameld worden. Volle bigbags kunnen door de handelaar teruggebracht worden naar de cellenbetonfabriek. De teruggebrachte stukken cellenbeton worden in de fabriek in het productieproces herwerkt tot nieuwe materialen.



4.8.4 Milieuvriendelijkheid

Bij de productie van cellenbeton komen geen toxische gassen vrij, en wordt geen water verontreinigd.

4.8.5 Beperking van productieafval

Aangezien cellenbeton tot op de millimeter precies gezaagd kan worden, wordt de productiehoeveelheid bijna volledig opgebruikt, wat resulteert in minder afval.

4.8.6 Kwaliteit van het leven

De uitstekende warmte-isolerende eigenschappen en de thermische inertie maken van cellenbeton een energiezuinig en milieuvriendelijk bouw materiaal dat het comfort in de woon- en leefruimte verhoogt, zowel in de zomer als in de winter. Muren die volledig in cellenbeton zijn gebouwd, hebben geen koudebrug en blijven dan ook gespaard van de hieruit voortvloeiende condensatie en schimmelvorming. Dankzij het zeer gunstige dampdiffusieweerstandsgetal μ 'ademen' cellenbetonmuren goed en verbeteren ze de kwaliteit van de binnenlucht.

De radioactiviteit die mogelijk wordt uitgestraald in constructies, is hoofdzakelijk te wijten aan de aanwezigheid van radium (Ra 226) en/of thorium (Th 232) in de kelder en in de gebruikte materialen. Uit de onderstaande tabel blijkt dat het cellenbeton het laagste gehalte aan deze radioactieve stoffen heeft.

Gemiddelde radioactieve straling van verschillende bouwmaterialen (pCi/g) [19]		
	Ra 226	Th 232
Blokken in gebakken aarde	2,5	2,3
Beton	0,8	1
Gips	19	0,7
Kalkzandsteen	0,7	0,7
Cellenbeton*	0,3	0,3

* Metingen in het laboratorium voor natuurwetenschappen van de universiteit van Gent

De zeer kleine radioactiviteit van cellenbeton is te danken aan zijn samenstelling uit zuiver zand ($\pm 70\%$), een grondstof met een zeer lage radioactiviteit (gemiddeld 3 keer minder dan die van klei waaruit baksteen wordt vervaardigd). Bovendien is er relatief weinig zand nodig om 1 m³ cellenbeton te maken (opnieuw 3 keer minder dan voor de meeste andere ruwbouwmaterialen).

4.8.7 Levenscyclus

“Een duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die beantwoordt aan de huidige eisen zonder de voldoening van de eisen van de toekomstige generaties in het gedrang te brengen.”

Duurzaam bouwen bevat verschillende hoofdlijnen:

- de energie-efficiëntie van gebouwen, die voornamelijk bepaald wordt door de thermische isolatie van de gebouwen
- het gebruik van materialen met weinig impact op het milieu, die dus de mens en zijn omgeving ontzien gedurende hun hele levenscyclus
- vermindering van de bouw- en sloopafval

De politiek evolueert vandaag naar een concept van duurzame ontwikkeling, naar een responsabilisering voor alle levensfasen van een product. Een nieuwe concept werd gedefinieerd: engineering van de levenscyclus. Dit ‘engineering’ gaat de milieu- en economische belangen verenigen, en gaat dus rekening houden met alle levenscycli van de materialen. Dat betekent minder grondstoffen, energie, afval, verpakking en meer recyclage, met als objectief de productiekosten te verminderen en een betere ecologische balans te krijgen. ‘Engineering’ van producten veronderstelt ook de creatie van ergonomische producten met meer comfort voor de gebruikers. Cellenbeton beantwoordt perfect aan de huidige vereisten, laat toe duurzaam te bouwen en toont een optimale levenscyclus.

4.9 Berekening van dragend metselwerk onderworpen aan verticale belasting

4.9.1 Volgens NBN B 24-301 (maart 1980)

De berekeningen worden uitgevoerd volgens de methode van de toelaatbare spanningen (elastische methode).

De sterkte van het metselwerk wordt afgeleid uit proeven op materialen of op constructieve bouwdelen.

4.9.1.1 f_k volgens proeven op bouwmaterialen

Cellenbetonblokken hebben het BENOR keurmerk.

a) Karakteristieke druksterkte: f_{bk}
Deze waarde wordt afgeleid uit de gemiddelde waarde f_{bm} verkregen na een reeks drukproeven op afzonderlijke blokken, conform NBN B 24-201.

b) Gecorrigeerde karakteristieke druksterkte: $(f_{bk})_{corr}$
Deze gecorrigeerde waarde wordt gebruikt om rekening te houden met het formaat van de verschillende blokken. Het standaard proefstuk is een kubus met een ribbe van 200 mm. Deze waarde is het quotiënt van de deling van f_{bk} door een vormfactor c .

$$(f_{bk})_{corr} = \frac{f_{bk}}{c}$$

De vormfactor voor cellenbetonblokken bedraagt ongeveer 1.

Afmetingen (mm)	Vormfactor c
600 x 250 x 150	1,0017
600 x 250 x 200	1,0699
600 x 250 x 240	1,0819
600 x 250 x 300	1,0991

c) Mortelcategorieën

De verschillende mortelcategorieën worden bepaald op basis van de gemiddelde sterkte gemeten volgens NBN B 12-208. We onderscheiden vijf verschillende mortelklassen: M1 tot M5.

De lijm mortel voor cellenbeton behoort tot klasse M2 en heeft een druksterkte van 12 N/mm².



4.9.2 Volgens NBN ENV 1996-1-1, Eurocode 6 met NAD (juni 1998)

De Belgische norm NBN B 24-301 zal geleidelijk worden vervangen door de Europese norm. Sinds 1998 bestaat een NAD (Nationale Toepassingsrichtlijn) voor ENV 1996-1-1 (Design of masonry structures. General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry (1995)).

De ENV is drie jaar geldig. Deze geldigheidsduur kan eventueel met twee jaar worden verlengd, vanaf de publicatie. Intussen gebruiken de lidstaten de norm als zodanig, of dienen ze voorstellen tot wijziging van bepaalde voorschriften in. De wijzigingen worden voor elk land opgenomen in het NAD. In België wordt het NAD opgemaakt en gepubliceerd door het BIN.

Voorlopig zijn er dus twee normen van kracht in België:

- NBN B 24-301 (Definitief)
- het NAD betreffende ENV 1996-1-1.

nota: een NA bij EN 1996-1-1 is in voorbereiding en zal het NAD vervangen.

In de praktijk is het wenselijk het gebruik van het NAD voor Eurocode 6 aan te moedigen, omdat deze binnen afzienbare tijd de norm NBN B 24-301 zal vervangen.

Het NAD betreffende ENV 1996-1-1 wordt hierna uitvoerig beschreven, met rekenvoorbeelden voor cellenbeton.

We staan ook even stil bij ongewapende dragende muren die verticaal worden belast. In de praktijk is het raadzaam wapeningsmateriaal in de metselvoegen te plaatsen om de treksterkte en de buig- en druksterkte van het metselwerk te verbeteren. De bijzonderheden over de berekening van gewapend metselwerk zijn hier niet overgenomen, maar staan in Eurocode 6.

De berekening wordt uitgevoerd volgens de methode van de uiterste grenstoestanden. De sterkte van metselwerk wordt berekend op basis van proeven die op de materialen of op de bouwelementen worden uitgevoerd. Doorgaans worden berekeningen gebruikt die berusten op proeven uitgevoerd op de meest gebruikte materialen. Bijgevolg zullen we deze hier van naderbij bekijken.

4.9.2.1 Genormaliseerde druksterkte van metselwerk-blokken: f_b

De gemiddelde sterkte wordt verkregen op luchtgedroogde kubussen met een ribbe van 100 mm.

d) Karakteristieke druksterkte van metselwerk: f_k
Op basis van de gecorrigeerde karakteristieke druksterkte ($f_{bk,corr}$) en de mortelsoort kan de f_k -waarde worden berekend met behulp van tabel 5 van de norm NBN B 24-301.

In de praktijk wordt aangenomen dat de sterkte van metselwerk uitgevoerd in cellenbetonblokken en lijmortel, niet vermindert als de blokken door middel van lijmortel worden verbonden. De druksterkte van de gebruikte mortel is immers 3 tot 4 keer groter dan die van de blokken.

Bijgevolg wordt aangenomen dat $f_k = (f_{bk,corr})$

4.9.1.2 f_k volgens proeven op muurtjes

De f_k -waarde kan ook rechtstreeks worden bepaald door proeven op muren of op muurtjes.

Na afleiding van f_k kan de eigenlijke berekening worden uitgevoerd.

De toelaatbare druksterkte f_{adm} is een fractie van f_k en wordt berekend door f_k te delen door een veiligheidscoëfficiënt 4,5.

Deze toelaatbare druksterkte wordt vermenigvuldigd met een verminderingcoëfficiënt Φ teneinde rekening te houden met de slankheid van de muur en de excentriciteit van de toegepaste belasting. Zo krijgen we de toelaatbare spanningen in de muur.

Ten slotte moeten we nog nagaan of:
de optredende spanning $\leq f_{adm} \cdot \Phi$

In België wordt de druksterkte doorgaans uitgedrukt als karakteristieke waarde f_{bk} die wordt afgeleid uit de gemiddelde waarde f_{bm} resulterend uit een reeks drukproeven op blokken volgens EN 772-1.

Willen we tot een equivalente gemiddelde sterkte $f_{bm, eq}$ komen, zoals bepaald in Eurocode 6, dan moeten we volgens het NAD de karakteristieke waarde vermenigvuldigen met factor 1,2.

$$f_{bm, eq} = 1,2 f_{bk}$$

Vervolgens wordt de equivalente gemiddelde sterkte omgerekend naar genormaliseerde druksterkte door omzetting naar drogeluchtconditie, voorzover dat nog niet gebeurd is, en door de waarde te vermenigvuldigen met de vormfactor δ .

$$\text{Zo krijgen we: } f_b = \delta \cdot f_{bm, eq}$$

De vormfactor δ wordt berekend op basis van de onderstaande tabel:

Hoogte [mm]	Horizontale afmetingen [mm]				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

4.9.2.2 Mortelcategorieën

De indeling van de mortelcategorieën berust op de gemiddelde sterkte gemeten volgens EN 1015-11. We onderscheiden vijf verschillende mortelklassen.

In tegenstelling tot NBN B 24-301 geeft het cijfer na de letter M de gemiddelde druksterkte van de mortel aan. In de onderstaande tabel wordt de oude indeling volgens NBN B 14-001 vergeleken met de nieuwe indeling volgens Eurocode 6.

Mortelklasse volgens NBN ENV 1996-1-1	Gemiddelde sterkte [N/mm ²]	Mortelklasse volgens NBN B 24-301
M20	20	M1
M12	12	M2
M8	8	M3
M5	5	M4
M2,5	2,5	M5

De lijm mortel voor cellenbeton valt nu onder klasse M12 en heeft een gemiddelde druksterkte na 28 dagen $f_m = 12 \text{ N/mm}^2$.

4.9.2.3 Karakteristieke druksterkte f_k van ongewapend metselwerk

Op basis van de genormaliseerde druksterkte f_b van de metselblokken en de sterkte f_m van de mortel kan de karakteristieke sterkte f_k van het metselwerk op basis van de volgende formules worden berekend:

a) Voor gewoon metselwerk, uitgevoerd met normale mortel, geldt:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} \quad [\text{N/mm}^2]$$

waarbij K ligt tussen 0,40 en 0,60 afhankelijk van het type stenen. De vier groepen metselstenen worden ingedeeld volgens § 3.1.1 van Eurocode 6 (zie de onderstaande tabel).

Indeling van de groepen	Baksteen-blokken	Blokken van beton en kalkzandsteen
Groep 1	minder dan 25% holten	minder dan 25% holten
Groep 2a	25-45% holten	25-50% holten
Groep 2b	45-55% holten	50-60% holten
Groep 3	tot 70% holten	tot 70% holten

Als de muurbreedte gelijk is aan de dikte van de blokken:

- voor metselwerk van groep 1: $K = 0,60$
- voor metselwerk van groep 2a: $K = 0,55$
- voor metselwerk van groep 2b: $K = 0,50$
- voor metselwerk van groep 3: $K = 0,40$

b) Voor metselwerk van groep 1, vervaardigd met lijm mortel (dunne voegen van 1 tot 3 mm dik), hetgeen het geval is voor cellenbeton, wordt de f_k -waarde als volgt berekend:

$$f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,85} \quad [\text{N/mm}^2]$$

4.9.2.4 f_k -waarde voor verschillende soorten metselwerk

De f_k -waarde voor een 200 mm dikke cellenbetonmuur van het type C3/450 wordt als volgt berekend (blokafmetingen: 600 x 250 x 200 mm):

$$f_{bk} = 3 \text{ N/mm}^2 \text{ (zie par. 4.2.)}$$

$$f_{bm, eq} = 1,2 \cdot f_{bk} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_b = \delta \cdot f_{bm, eq} = 1,25 \cdot f_{bm, eq} = 4,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,85} = 2,87 \text{ N/mm}^2$$

De volgens Eurocode 6 berekende waarde $f_k = 2,87 \text{ N/mm}^2$ is te vergelijken met de waarde $f_k = 1,80 \text{ N/mm}^2$ berekend volgens NBN B 24-301. Op te merken valt dat de sterkte met ruim 50% toegenomen is vergeleken met de oude Belgische norm. De grotere sterkte is te danken aan de laatste onderzoeken die de uitstekende prestaties van gelijmd metselwerk hebben aangetoond.

In de onderstaande overzichtstabel staan de volgens Eurocode 6 berekende f_k -waarden voor de verschillende densiteiten van cellenbetonblokken.

f_k -waarde (N/mm ²) volgens NBN EN 1996-1-1 voor cellenbeton Blokafmetingen: L = 600 mm, H = 250 mm				
Dikte (mm)	f-klasse (+ type)			
	f2 (C2/400)	f3 (C3/450)	f4 (C4/550)	f5 (C5/550)
150	2,17	3,07	3,92	4,73
175	2,10	2,97	3,79	4,59
200	2,04	2,87	3,67	4,43
240	1,92	2,72	3,47	4,19
300	1,90	2,68	3,42	4,13
365	1,90	2,68	3,42	4,13

Cellenbetonmuren hebben hun grote sterkte te danken aan het feit dat de voegen gelijmd zijn met lijm mortel (dunne voegen) en dat de blokken niet hol zijn (geen perforaties).

Bij wijze van voorbeeld hebben we de f_k -waarden vergeleken voor metselstenen met dezelfde f_{bk} geplaatst met mortel, of met lijm mortel (voor cellenbeton).

- 1) 200 mm dikke cellenbetonblokken van het type C4/550, verwerkt met lijm mortel van klasse M12

$$f_k = 3,67 \text{ N/mm}^2$$

- 2) Metselblokken van groep 1 (minder dan 25% holten) vervaardigd met mortel van klasse M12 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, blokafmetingen: L = 290, H = 140, B = 190 mm, zijnde $\delta = 1$)

$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

$$\text{met } K = 0,60 \text{ en } f_m = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 3,09 \text{ N/mm}^2$$

- 3) Metselblokken van groep 3 (tot 70% holten) vervaardigd met mortel van klasse M12 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, blokafmetingen: L = 290, H = 140, B = 190 mm, zijnde $\delta = 1$)

$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

$$\text{met } K = 0,40 \text{ en } f_m = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 2,06 \text{ N/mm}^2$$

- 4) Metselblokken van groep 3 (tot 70% holten) vervaardigd met mortel van klasse M5 ($f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, blokafmetingen: L = 290, H = 140, B = 190 mm, zijnde $\delta = 1$)

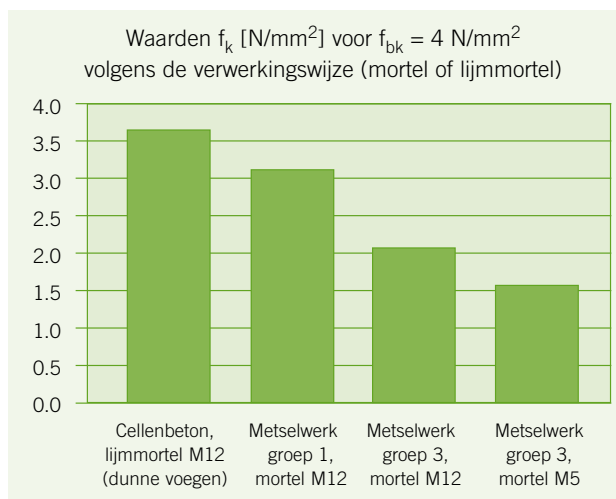
$$f_b = 1,2 \cdot \delta \cdot f_{bk} = 4,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

$$\text{met } K = 0,40 \text{ en } f_m = 5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

Deze waarden zijn grafisch weergegeven in onderstaand diagram:



De grafiek toont duidelijk aan dat de muren die met lijm mortel zijn vervaardigd, de grootste sterkte hebben. Verder zien we de invloed van de druksterkte van de mortel, alsook de invloed van het holtepercentage in de blokken (groep 1 en 3).

4.9.2.5 Sterkteberekening van een muur volgens ENV 1996-1-1 met NAD

Om de sterkte van een muur te berekenen, passen we een verminderingsfactor Φ toe, die rekening houdt met de slankheid en excentriciteit. Deze rekenwijze volgt hetzelfde principe als NBN B 24-301, maar de formules om Φ te berekenen, zijn verschillend. De resultaten leunen dicht aan bij die van de NBN.

4.9.2.5.1 Slankheid van de muur

We bepalen h = hoogte van de muur
 L = afstand tussen verticale muren
 t = muurdikte

We bepalen de slankheid S van de muur:

$$S = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 27$$

waarbij h_{ef} = effectieve hoogte van de muur
 t_{ef} = effectieve dikte van de muur

Er geldt:

1) $h_{ef} = \rho_n \cdot h$ met $n = 2, 3$ of 4 afhankelijk van de manier waarop de muur gesteund is.

2) in ons geval is $t_{ef} = t$ want de blokken zijn even dik als de muur (zie Eurocode 6)

a. Muur gesteund aan boven- en onderzijde (niet aan de verticale kanten)

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_2$

waarbij $\rho_2 = 0,75$ als de muur in de vloer ingeklemd is
 $\rho_2 = 1$ in de andere gevallen

b. Muur gesteund aan twee horizontale zijden en aan één verticale zijde

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_3$

$$\text{met voor } h \leq 3,5 L \quad \rho_3 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{3 \cdot L} \right]^2} > 0,3$$

$$\text{voor } h > 3,5 L \quad \rho_3 = \frac{1,5 \cdot L}{h}$$

c. Muur gesteund aan twee horizontale zijden en aan twee verticale zijden

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_4$

$$\text{met voor } h \leq L \quad \rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2}$$

$$\text{voor } h > L \quad \rho_4 = \frac{0,5 \cdot L}{h}$$

4.9.2.5.2 Excentriciteit van de belastingen

We berekenen de excentriciteit e_i aan de boven- en onderzijde van de muur, alsook de excentriciteit e_{mk} op halve muurhoogte:

$$e_i = \frac{M_i}{N_i} + e_{hi} + e_a \geq 0,05t$$

$$e_{mk} = \frac{M_m}{N_m} + e_{hm} + e_a + e_k \geq 0,05t$$

waarbij M_i = het buigmoment aan de boven- en onderzijde van de muur resulterend uit de excentriciteit van de verticale belasting

N_i = de verticale belasting in de beschouwde sectie

e_{hi} = de excentriciteit van de horizontale belastingen (bijvoorbeeld de winddruk)

e_a = de toevallige excentriciteit = $h_{ef} / 450$

M_m = het buigmoment in het midden van de muur resulterend uit de excentriciteit van de verticale belasting

- N_m = de verticale belasting in de beschouwde sectie
- e_{hm} = de excentriciteit van de horizontale belastingen (bijvoorbeeld de winddruk)
- e_k = de excentriciteit tengevolge van kruip

4.9.2.5.3 Controle van de sterkte van de muur (ongewapend metselwerk)

a. Controle van de bovenste en onderste sectie van de muur

De rekenwaarde van de belastingen in uiterste grenstoestand N_{Sd} moet kleiner zijn dan:

$$N_{Sd} < \frac{\Phi_i \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m}$$

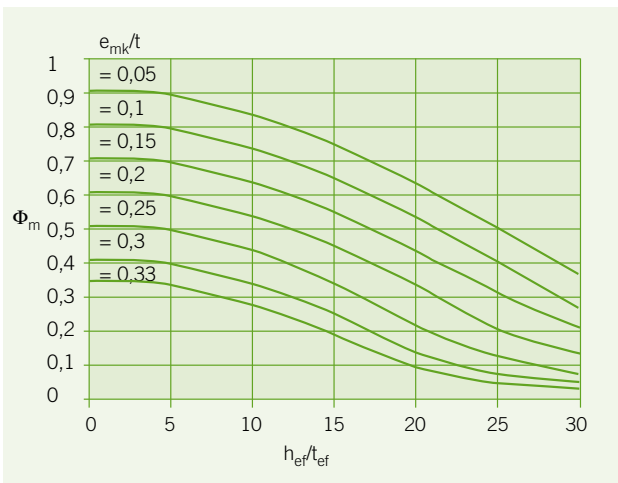
met $\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$

b. Controle van de sectie op halve hoogte

De rekenwaarde van de belastingen in uiterste grenstoestand N_{Sd} moet kleiner zijn dan:

$$N_{Sd} < \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m}$$

met Φ_m gegeven in de onderstaande tabel afhankelijk van de slankheid en de excentriciteit. [21]



De waarden van γ_m zijn gegeven in de onderstaande tabel:

γ_m	Uitvoeringscategorieën		
	A	B	C
Controlecategorie 1	1,7	2,2	2,7
Controlecategorie 2	2,0	2,5	3,0

Controlecategorie 1 komt overeen met een materiaal waarop een doorlopend toezicht wordt uitgeoefend met statistische interpretatie (BENOR-procedure of gelijkwaardig). Als geen doorlopend toezicht wordt uitgeoefend, neemt men controlecategorie 2. De Belgische cellenbetonfabrikanten hebben het BENOR-keurmerk gekregen en vallen dus in categorie 1.

Uitvoeringscategorieën	Minimale vereisten
A	<ul style="list-style-type: none"> • Voortdurend toezicht door gekwalificeerd en ervaren personeel van de firma • Regelmatige en veelvoudige controle door onafhankelijk personeel • Mechanisch aangemaakte en geteste mortel
B	<ul style="list-style-type: none"> • Voortdurend toezicht door gekwalificeerd en ervaren personeel van de firma • Mechanisch aangemaakte en geteste mortel
C	<ul style="list-style-type: none"> • "Normale" controle van de aangeleverde materialen en de uitvoering + 'courante' opvolging door de ontwerper van het project

4.9.2.5.4 Veiligheidsfactoren voor belastingen γ_f

γ_f	Ongunstig	Gunstig
Permanente belasting γ_g	1,35	1,0
Veranderlijke belasting γ_q	1,50	0

4.9.2.5.5 Rekenvoorbeelden volgens ENV 1996-1-1 met NAD

Voorbeeld 1

Sterkteberekening van een buitenmuur uit cellenbetonblokken met gevelsteen (cellenbetonmuur 200 mm + spouw + gevelsteen).

Gegevens: L = 5,00 m, h = 2,80 m,
 Blokken met densiteit C4/550,
 dikte 200 mm
 Excentriciteit te wijten aan de winddruk:
 5 mm
 Excentriciteit van de belasting (vloerplaat):
 20 mm
 Veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk:
 $\gamma_m = 2,2$
 De muur is vierzijdig gesteund

Berekening:

a) $f_{bk} = 4 \text{ N/mm}^2$, dus $f_k = 3,67 \text{ N/mm}^2$
 (zie par. 4.9.2.4)

b) Slankheid:

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} = 0,76 \quad \text{met } \rho_2 = 1$$

dus $h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$

$$S = \frac{2,13}{0,2} = 10,66 < 27$$

c) Excentriciteit:

$e_a = \text{toevallige excentriciteit} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$

$e = e_a + e_{wind} + e_{vl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$

d) Controle van de muur:

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,70$$

$\Phi_m = 0,62$ voor $\frac{e_{mk}}{t} = 0,15$

De sterkte van de muur in de uiterste grenstoestand N_{Rd} berekenen we dan als volgt:

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 207,6 \text{ kN/m}$$

Voorbeeld 2

We zullen voorbeeld 1 vergelijken met een gelijkaardige muur in snelbouwblokken. De muur is als volgt samengesteld: 140 mm dikke snelbouwblokken + isolatiemateriaal 60 mm + spouw + gevelsteen.

Gegevens: L = 5,00 m, h = 2,80 m
 $f_{bk} = 12 \text{ N/mm}^2$, mortel van klasse M8, groep 2b
 Blokafmetingen: H = 140, L = 190 mm
 Excentriciteit te wijten aan de winddruk:
 5 mm
 Excentriciteit van de belasting (vloerplaat):
 20 mm
 Veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk:
 $\gamma_m = 2,2$
 De muur is vierzijdig gesteund

Berekening:

a) $f_{bk} = 12 \text{ N/mm}^2$

$f_{bm \text{ eq}} = 1,2 f_{bk} = 14,4 \text{ N/mm}^2$

$f_b = \delta \cdot f_{bm \text{ eq}} = 1,10 f_{bm \text{ eq}} = 15,84 \text{ N/mm}^2$

$f_k = 0,50 f_b^{0,65} f_m^{0,25} = 5,06 \text{ N/mm}^2$

b) Slankheid:

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} = 0,76 \quad \text{met } \rho_2 = 1$$

dus $h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$

$$S = \frac{2,13}{0,14} = 15,2 < 27$$

c) Excentriciteit:

$e_a = \text{toevallige excentriciteit} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$

$e = e_a + e_{wind} + e_{vl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$

d) Controle van de muur:

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,58$$

$\Phi_m = 0,39$ voor $\frac{e_{mk}}{t} = 0,21$

De sterkte van de muur in de uiterste grenstoestand N_{Rd} wordt dan:

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 126,9 \text{ kN/m}$$

Voorbeeld 3

We zullen voorbeeld 1 en 2 vergelijken met een gelijk-aardige muur in betonblokken. De muur is als volgt samengesteld: 140 mm dikke betonblokken + isolatiemateriaal 60 mm + spouw + gevelsteen.

Gegevens: $L = 5,00$ m, $h = 2,80$ m

$f_{bk} = 8$ N/mm², mortel van klasse M8, groep 3

Blokafmetingen: $H = 190$, $L = 290$ mm

Excentriciteit te wijten aan de winddruk: 5 mm

Excentriciteit van de belasting (vloerplaat): 20 mm

Veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk:

$\gamma_m = 2,2$

De muur is vierzijdig gesteund

Berekening:

a) $f_{bk} = 8$ N/mm²

$$f_{bm\ eq} = 1,2 \cdot f_{bk} = 9,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_b = \delta \cdot f_{bm\ eq} = 1,25 \cdot f_{bm\ eq} = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = 0,40 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} = 3,38 \text{ N/mm}^2$$

b) Slankheid:

$$\rho_4 = 0,76$$

$$\text{dus } h_{ef} = 0,76 \cdot h = 2,13 \text{ m}$$

$$S = \frac{2,13}{0,14} = 15,2 < 27$$

c) Excentriciteit:

$$e_a = \text{toevallige excentriciteit} = h_{ef} / 450 = 5 \text{ mm}$$

$$e = e_a + e_{wind} + e_{vl} = 30 \text{ mm} = e_i = e_{mk}$$

d) Controle van de muur:

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 0,58$$

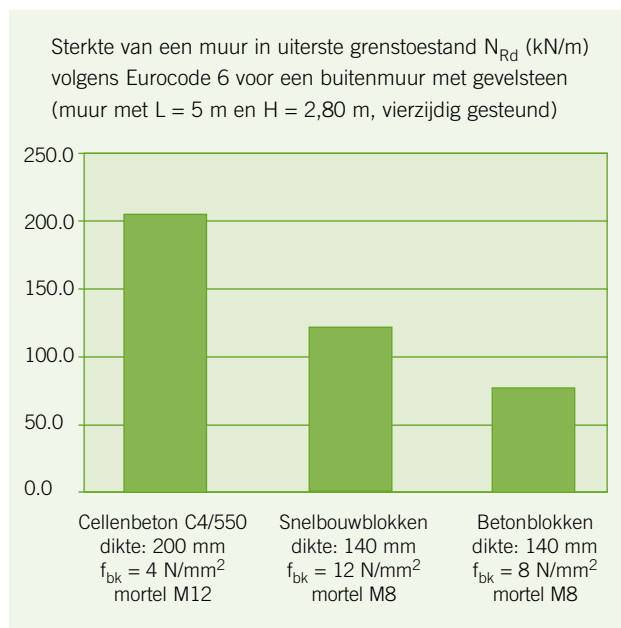
$$\Phi_m = 0,39 \quad \text{voor} \quad \frac{e_{mk}}{t} = 0,21$$

De sterkte van de muur in uiterste grenstoestand N_{Rd} wordt dan:

$$N_{Rd} = \frac{\Phi_m \cdot t \cdot f_k}{\gamma_m} = 84,4 \text{ kN/m}$$



De resultaten van de drie voorbeelden worden hieronder grafisch voorgesteld. De drie voorbeelden gelden voor een welbepaald type blok, overeenstemmend met de meest gebruikte soort. De meeste bouwblokken hebben afwijkende kenmerken in termen van afmetingen en druksterkte.



Uit de resultaten blijkt duidelijk dat cellenbetonmuren sterker zijn dan andere traditionele bouwsystemen met een grotere druksterkte f_{bk} . De grotere druksterkte van de cellenbetonmuur is te danken aan de combinatie van drie factoren:

- Cellenbetonmuren worden geplaatst met lijm-mortel.
- Cellenbetonblokken zijn vol, in tegenstelling tot andere traditionele bouwsystemen die een variërend holtepercentage hebben.
- Bij cellenbeton wordt zonder isolatiemateriaal gewerkt, met iets dikkere muren (200 mm in plaats van 140 mm of 300 mm in plaats van 190 mm). Hierdoor kan de muur een grotere belasting opnemen.

De druksterkte van cellenbetonblokken is voldoende groot om de belasting van meerdere verdiepingen op te nemen. Deze cellenbetonblokken kunnen dan ook probleemloos worden ingezet als dragende blokken voor appartements- of kantoorgebouwen met meerdere verdiepingen.

Voorbeeld 4:

Appartementsgebouw met 6 bouwlagen
(begane grond + 5)

Zie schema

Gegevens: Buitenmuren uit cellenbeton van 300 mm dik + buitenpleister.
 Dragende binnenmuren uit cellenbetonblokken van 200 mm dik.
 Niet-dragende binnenmuren uit cellenbetonblokken van 100 mm dik.
 Vloerplaat van gewapend beton (L = 5,5 m)
 Hellend dak (houten spanten)

Berekeningen

a) Rekenwaarden van de belastingen:

- Vloerplaat + chape + afwerking:
 $4,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,35 = 6 \text{ kN/m}^2$
- Veranderlijke belasting op vloerplaat:
 $2,5 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ kN/m}^2$
- Totale rekenwaarde van de belasting (vloerplaat):
 $6 + 3,75 = 9,75 \text{ kN/m}^2$
- Dak: $1,5 \cdot 1,35 + 1,0 \cdot 1,5 = 3,52 \text{ kN/m}^2$

b) Sterkte van de muren N_{Rd} (uiterste grenstoestand):

- 300 mm dikke muur met densiteit C3/450 ($f_k = 2,68 \text{ N/mm}^2$)
 We krijgen voor L = 10 m, h = 2,60 m, vierzijdig gesteunde muur, excentriciteit van de belastingen van 20 mm, $\gamma_m = 2,2$:
 $N_{Rd} = 289,6 \text{ kN/m}$
- 200 mm dikke muur met densiteit C4/550 ($f_k = 3,67 \text{ N/mm}^2$)
 We krijgen voor L = 4 m; h = 2,60 m ; vierzijdig gesteunde muur;
 excentriciteit = 0,05.t ; $\gamma_m = 2,2$:
 $N_{Rd} = 283,7 \text{ kN/m}$
- Voor dezelfde muur (200 mm) met densiteit C5/650 ($f_k = 4,43 \text{ N/mm}^2$), krijgen we:
 $N_{Rd} = 342,5 \text{ kN/m}$

c) Lastendaling:

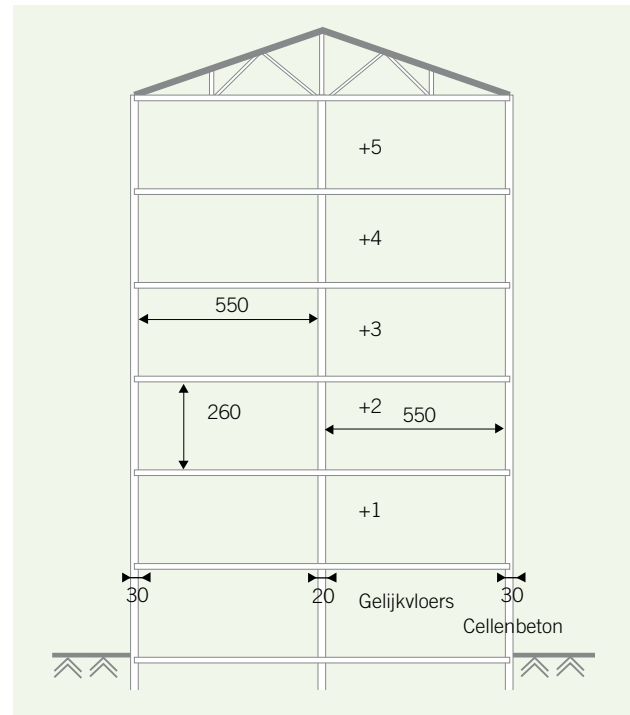
- centrale muur (200 mm dik):

Op het gelijkvloers, rekenwaarde optredende belasting N_{Sd}

$$N_{Sd} = 9,75 \cdot 5,5 \cdot 5 + 5,5 \cdot 3,52$$

$$+ 0,20 \cdot 6,35 \cdot 6 \cdot 2,6 \cdot 1,35$$

$$N_{Sd} = 314,2 \text{ kN/m} < N_{Rd} = 342,5 \text{ kN/m}$$



We zullen bijgevolg densiteit C5/650 gebruiken voor het gelijkvloers.

Voor de andere verdiepingen (1, 2, 3, 4, 5), nemen we densiteit C4/550.

- buitenmuur (300 mm dik):

Op het gelijkvloers, rekenwaarde optredende belasting N_{Sd}

$$N_{Sd} = 11,25 \cdot 5,5/2 \cdot 5 + 5,5/2 \cdot 3,52$$

$$+ 0,30 \cdot 3,35 \cdot 6 \cdot 2,6 \cdot 1,35$$

$$N_{Sd} = 185,5 \text{ kN/m} < N_{Rd} = 289,6 \text{ kN/m}$$

We zullen bijgevolg densiteit C3/450 gebruiken voor alle verdiepingen. Deze dichtheid is ruimschoots voldoende voor het draagvermogen en biedt een uitstekende warmte-isolatie ($U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$).

d) Conclusie:

Cellenbetonblokken zijn bijgevolg uitstekend geschikt om alle dragende en niet-dragende muren van dit appartementsgebouw met 6 verdiepingen te bouwen. Gelet op de plaatsingssnelheid van de blokken, gecombineerd met de uitstekende geluids- en warmte-isolerende eigenschappen, vormen cellenbetonblokken een economische en hoog kwalitatieve oplossing.

4.10 Thermische eigenschappen

4.10.1 Warmtegeleidingscoëfficiënt λ

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

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

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

4.10.2 Warmtegeleidingscoëfficiënt λ voor muren uit cellenbetonblokken

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

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

Europese normen:

EN 1745 (2002) :

Metselwerk en producten: Methode voor bepaling van de thermische rekenwaarden

EN 12524 (2000) :

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

EN ISO 10456 (2000) :

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

EN ISO 6946 (2003) :

Componenten en elementen van gebouwen – Warmteweerstand en warmtegeleidingscoëfficiënt – Berekeningsmethode



1) Basiswaarden van cellenbetonblokken

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

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

2) Rekenwaarden van gelijkjnde cellenbetonmuren (design values)

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

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

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

$$u_1 = 0$$

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

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

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

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

$$u_1 = 0$$

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

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

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

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

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

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

3) Rekenwaarden van cellenbetonwandplaten (design values)

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

4) Rekenwaarden van cellenbetondakplaten (design values)

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



4.10.3 Warmteweerstand R

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

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

4.10.4 Totale warmteweerstand R_T van een wand


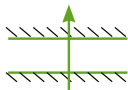
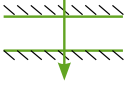
De totale warmteweerstand R_T van een wand is de som van de weerstanden R van de samenstellende materialen, waaraan de overgangsweerstanden aan het binnenvlak R_{si} en aan het buitenvlak R_{se} , alsook de warmteweerstand van de eventuele spouw R_a worden toegevoegd.

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

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

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

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

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

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

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

4.10.5 Warmtedoorgangscoefficiënt U van wanden

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

Deze coëfficiënt wordt uitgedrukt in W/m²K.

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

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

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

Een woordje uitleg

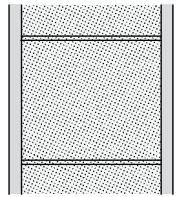
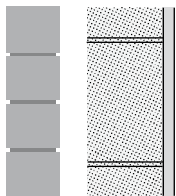
Het E-peil = het energieverbruik van een gebouw
Het E-peil geeft een beeld van het energieverbruik van het gebouw en haar vaste installaties. Het wordt uitgedrukt in een cijfer dat kleiner of gelijk moet zijn aan 100.

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

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

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

U-waarden van cellenbetonmuren

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

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

Aangezien er geen isolatiemateriaal moet worden toegevoegd, voorkomt men:

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

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

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

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

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

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

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

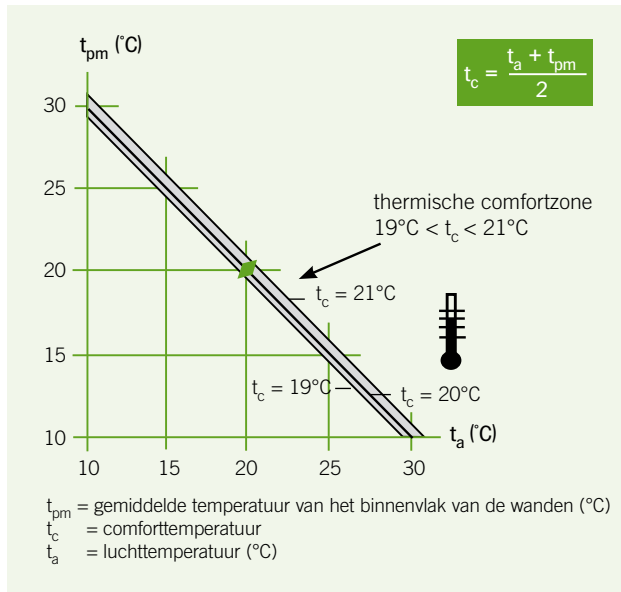
4.10.6 Oppervlaktetemperatuur

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

4.10.7 Thermische inertie

4.10.7.1 Algemeen

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

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

4.10.7.2 Warmtecapaciteit

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.10.7.3 Afkoeltijd

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

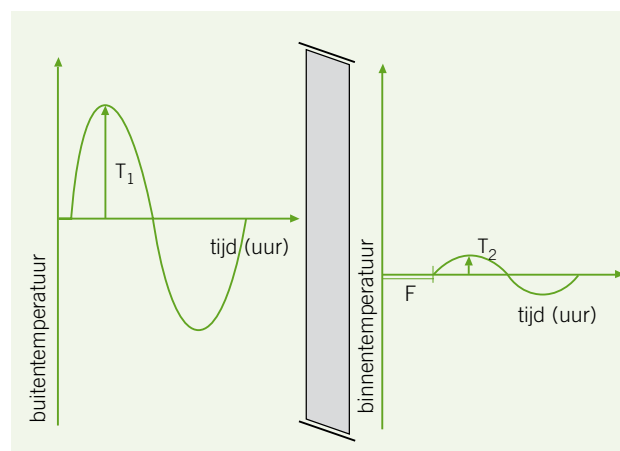
$$\text{Zo krijgen we } A = \frac{Q_s \cdot e}{\lambda \cdot 3600} \text{ [h]}$$

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

4.10.7.4 Damping en faseverschuiving

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

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



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

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

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

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

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

Uit deze tabel blijkt het volgende:

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

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

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

Let op:

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

4.10.8 Thermische vereisten voor de wanden en het dak in België

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

Dat geldt voor:

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

In Wallonië wordt ook een minimale ventilatie voorgeschreven.

4.10.8.1 Vlaanderen

Sinds 1 januari 2006 is de nieuwe Europese regelgeving op de energieprestatie van gebouwen (EPB) hier geldig onder de vorm van een besluit. De eisen staan samengevat in de onderstaande tabellen.

Vlaanderen: eisen nieuwbouw		
	Thermische isolatie	EnergiePrestatie
Woongebouwen, kantoren* en scholen	K45 en U_{max}	E100
Gebouwen met andere specifieke bestemmingen (ziekenhuis, hotel, restaurant, sporthal, winkel,...)	K45 en U_{max}	-
Industriële gebouwen die verwarmd worden	K55 of U_{max}	-
* als het kantoor een beschermd volume < 800m ³ heeft en hoort bij een industriegebouw (kantoor is max. 40% van het totale beschermd volume) dan zijn de eisen voor verwarmde industriële gebouwen van kracht.		

Voor verbouwingen, renovaties en uitbreidingen van bestaande gebouwen geldt U_{max} voor de veranderde gedeeltes als het beschermd volume $\leq 800 \text{ m}^3$ is zonder wooneenheden. Als er wordt uitgebreid met een beschermd volume $> 800 \text{ m}^3$ of met wooneenheden zijn de eisen voor nieuwbouw van kracht.

Vlaanderen: U_{max} (W/m ² K)	
Daken en plafonds	0,4
Wanden	0,6

4.10.8.2 Wallonië en Brussel

Hier zijn de eisen geldend voor woongebouwen, kantoren en schoolgebouwen. Voor deze gebouwen staan de U_{max} -waarden voor daken en muren in onderstaande tabel. Woongebouwen moeten beantwoorden aan K55 en scholen en kantoren K65. Voor de andere gebouwen

zijn er momenteel geen specifieke thermische vereisten en wordt dit overgelaten aan de ontwerper.

U_{max} -waarden (W/m ² K)		
	Wallonië	Brussel
Type	Nieuwbouw en verbouwingen	Nieuwbouw en verbouwingen
Dak	0,4	0,4
Buitenmuur	0,6	0,6

Een verstrenging van de K-peil eisen en de invoering van EPB is voorzien voor 2008.

U kunt deze instanties op de volgende manieren contacteren:

Voor het Vlaamse gewest:

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Markiesstraat 1, 1000 Brussel
tel. (02) 553 31 11 - fax (02) 553 44 38
www.vlaanderen.be
e-mail ewbl.anze@ewbl.vlaanderen.be

Voor het Waalse gewest:

Ministère de la Région Wallonie
Direction Générale des Technologies
de la Recherche et de l'Energie
Avenue Prince de Liège.7, 5100 Jambes
tel. (081) 33 50 50 - fax (081) 30 66 00
http://mrw.wallonie.be/dgtre/
e-mail energie@mrw.wallonie.be

Voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest:

Belgisch Instituut voor Milieubeheer (BIM)
Afdeling Energie, Gulledele 100, 1000 Brussel
tel. (02) 775 75 75 - fax (02) 775 76 79
e-mail energie@ibgebim.be





3. Beschermd volume

Het beschermd volume van een gebouw bestaat uit het volume van de ruimten die direct of indirect verwarmd moeten worden, of die bewoond zijn.

Er bestaat een duidelijk onderscheid tussen het gebouwd volume en het beschermd volume. Het beschermd volume houdt rekening met alle warmteverliesoppervlakken.

Het warmteverliesoppervlak van een gebouw is gelijk aan het totaal van alle oppervlakken van de wanden die het beschermd volume van het gebouw afscheiden

- van de buitenomgeving
- van de volle grond
- van naburige ruimten die niet tot het beschermd volume behoren.

Opmerking: de scheidingswanden tussen twee beschermde volumes maken geen deel uit van het warmteverliesoppervlak (bijvoorbeeld een gemeenschappelijke scheidingsmuur tussen twee woongebouwen).

Het beschermd volume en het warmteverliesoppervlak worden vrij gedefinieerd in de ontwerpfase van het gebouw!

4. Volumecompactheid

De compactheid van een gebouw is de verhouding van het beschermd volume (V) tot het totale warmteverliesoppervlak (A_t). Bij het ontwerp kunnen minder compacte gebouwen (lage V/A_t) ook voldoen aan de gewestelijke voorschriften, voorzover de warmte-isolatie van de verliesoppervlakken wordt verbeterd.

Of omgekeerd:

Zeer compacte gebouwen (hoge V/A_t) kunnen voldoen aan de eisen van het decreet met normaal geïsoleerde wanden.

$$\text{Volumecompactheid} = \frac{V}{A_t}$$

V = beschermd volume (m^3)

A_t = totale oppervlakte van wanden met warmteverlies (m^2)

Voor ons geval hebben we:

$$\text{Volumecompactheid} = \frac{V}{A_t} = \frac{524,40}{404,05} = 1,30$$

5. Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt k van de wanden

In het voorbeeld gebruikte λ -waarden

Cellenbeton C2/400:	$\lambda_{Uj} = 0,11$ (officiële tests)
Gevelsteen:	$\lambda_{Ue} = 1,1$ (norm NBN B 62-002)
Hardhout:	$\lambda_{Uj} = 0,17$ (norm NBN B 62-002)
Glaswol:	$\lambda_{Uj} = 0,04$ (norm NBN B 62-002)
Binnenpleister, gipskartonplaat, buitenpleister:	$\lambda_{Uj} = 0,52$ (norm NBN B 62-002)

Warmteweerstand:

De totale warmteweerstand R_T van een wand is gelijk aan de som van de weerstanden R van de samenstellende materialen, waarbij de warmteoverdrachtsweerstand aan het binnenvlak R_i , aan het buitenvlak R_e en in de spouw R_a , wordt toegevoegd. Deze weerstand wordt uitgedrukt in m^2K/W .

De warmteweerstand R van elk bestanddeel van de wand is gelijk aan de dikte e gedeeld door de lambda-waarde λ , zijnde:

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (} m^2K/W \text{)}$$

De waarden R_{si} , R_{se} en R_a kunnen variëren afhankelijk van de warmtestroomrichting, zoals blijkt uit de tabellen in par. 4.10.4.

De waarde R_a van 0,18 op de buitenmuur geldt voor een niet-geventileerde spouw.

Bij een weinig geventileerde spouw (verluchting $\leq 15 \text{ cm}^2$ per meter muur), wat het meest voorkomt, moet deze waarde door 2 worden gedeeld, zijnde:

$$R_a = 0,090.$$

Deze waarde hebben we als uitgangspunt genomen voor onze berekeningen.

Aan de hand van deze gegevens moet het officiële formulier 'Warmte-isolatievereisten' worden ingevuld. Dit formulier moet met de bouwvergunningaanvraag worden ingediend.

Voor het gebouw van het gekozen type [eengezinswoning met 4 gevels (2 verdiepingen)], berekenen we twee oplossingen voor de buitenmuren:

Oplossing A: spouwmuren

Oplossing B: massieve muren

Rekenbladen om de coëfficiënt U voor wanden met warmteverlies te bepalen.

Rekenblad 1 - Buitendeuren - oplossingen A en B

$M_1 =$

$d_1 =$ m $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_1 m²K/W

$\lambda_1 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_1 of R_1 :

NBN B 62-002:

ATG-keuring:

Andere:

$M_2 =$

$d_2 =$ m $R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}$ R_2 m²K/W

$\lambda_2 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_2 of R_2 :

NBN B 62-002:

ATG-keuring:

Andere:

$M_3 =$

$d_3 =$ m $R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3}$ R_3 m²K/W

$\lambda_3 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_3 of R_3 :

NBN B 62-002:

ATG-keuring:

Andere:

$M_4 =$

$d_4 =$ m $R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4}$ R_4 m²K/W

$\lambda_4 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_4 of R_4 :

NBN B 62-002:

ATG-keuring:

Andere:

Warmteoverdrachtsweerstand:

R_{si} m²K/W

R_{se} of R_e m²K/W

$R_T =$ m²K/W

$U = \frac{1}{R_T} =$ W/m²K

WANDDOORSNEDE

GEBRUIK VAN HET REKENBLAD

- M_1, M_2, M_3, M_4 : aard van het materiaal waaruit de respectieve laag 1, 2, 3, 4 is samengesteld;
- d_1, d_2, d_3, d_4 : dikte in meter van de laag 1, 2, 3, 4;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: de warmtegeleidingscoëfficiënt van het betreffende materiaal;
- Als de wand een of meer lagen niet-isotrope materialen bevat, gebruikt men de waarde R_U van deze laag, zoals opgegeven in tabel 2b van de norm NBN B 62-002;
- De totale warmteweerstand van de wand R_T wordt berekend door de volgende waarden op te tellen:
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + (R_{si}$ of $R_{se})$

Rekenblad 2 – Buitenmuren - Oplossing A – spouwmuren

$M_1 =$

$d_1 =$ m $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_1 m²K/W

$\lambda_1 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_1 of R_1 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_2 =$

$d_2 =$ m $R_2 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_2 m²K/W

$\lambda_2 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_2 of R_2 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_3 =$

$d_3 =$ m $R_3 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_3 m²K/W

$\lambda_3 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_3 of R_3 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere: *Officiële proeven in erkende laboratoria*

$M_4 =$

$d_4 =$ m $R_4 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_4 m²K/W

$\lambda_4 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_4 of R_4 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

Warmteoverdrachtsweerstand:

R_{si} m²K/W

R_i of R_{se} m²K/W

$R_T =$ m²K/W

$U = \frac{1}{R_T} =$ W/m²K

WANDDOORSNEDE

GEBRUIK VAN HET REKENBLAD

- M_1, M_2, M_3, M_4 : aard van het materiaal waaruit de respectieve laag 1, 2, 3, 4 is samengesteld;
- d_1, d_2, d_3, d_4 : dikte in meter van de laag 1, 2, 3, 4;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: de warmtegeleidingscoëfficiënt van het betreffende materiaal;
- Als de wand een of meer lagen niet-isotrope materialen bevat, gebruikt men de waarde R_U van deze laag, zoals opgegeven in tabel 2b van de norm NBN B 62-002;
- De totale warmteweerstand van de wand R_T wordt berekend door de volgende waarden op te tellen:
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + (R_{si}$ of $R_{se})$

Rekenblad 3 - Buitenmuren - Oplossing B - massieve muren

$M_1 =$

$d_1 =$ m $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_1 m²K/W

$\lambda_1 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_1 of R_1 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_2 =$

$d_2 =$ m $R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}$ R_2 m²K/W

$\lambda_2 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_2 of R_2 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere: *Officiële proeven in erkende laboratoria*

$M_3 =$

$d_3 =$ m $R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3}$ R_3 m²K/W

$\lambda_3 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_3 of R_3 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_4 =$

$d_4 =$ m $R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4}$ R_4 m²K/W

$\lambda_4 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_4 of R_4 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

Warmteoverdrachtsweerstand:

R_{si} m²K/W

R_1 of R_{se} m²K/W

$R_T =$ m²K/W

$U = \frac{1}{R_T} =$ W/m²K

WANDDOORSNEDE

GEBRUIK VAN HET REKENBLAD

- M_1, M_2, M_3, M_4 : aard van het materiaal waaruit de respectieve laag 1, 2, 3, 4 is samengesteld;
- d_1, d_2, d_3, d_4 : dikte in meter van de laag 1, 2, 3, 4;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: de warmtegeleidingscoëfficiënt van het betreffende materiaal;
- Als de wand een of meer lagen niet-isotrope materialen bevat, gebruikt men de waarde R_u van deze laag, zoals opgegeven in tabel 2b van de norm NBN B 62-002;
- De totale warmteweerstand van de wand R_T wordt berekend door de volgende waarden op te tellen:
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + (R_{si}$ of $R_{se})$

Rekenblad 4 - Dak - oplossingen A en B

$M_1 =$
 $d_1 =$ m $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_1 m²K/W
 $\lambda_1 =$ W/mK
 Bron van de waarden λ_1 of R_1 :
 NBN B 62-002:
 ATG-keuring:
 Andere:

$M_2 =$
 $d_2 =$ m $R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}$ R_2 m²K/W
 $\lambda_2 =$ W/mK
 Bron van de waarden λ_2 of R_2 :
 NBN B 62-002:
 ATG-keuring:
 Andere: *Officiële proeven in erkende laboratoria*

$M_3 =$
 $d_3 =$ m $R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3}$ R_3 m²K/W
 $\lambda_3 =$ W/mK
 Bron van de waarden λ_3 of R_3 :
 NBN B 62-002:
 ATG-keuring:
 Andere:

$M_4 =$
 $d_4 =$ m $R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4}$ R_4 m²K/W
 $\lambda_4 =$ W/mK
 Bron van de waarden λ_4 of R_4 :
 NBN B 62-002:
 ATG-keuring:
 Andere:

Warmteoverdrachtsweerstand:
 R_{si} m²K/W
 R_{se} of R_e m²K/W

 $R_T =$ m²K/W
 $U = \frac{1}{R_T} =$ W/m²K

WANDDOORSNEDE

GEBRUIK VAN HET REKENBLAD

- M_1, M_2, M_3, M_4 : aard van het materiaal waaruit de respectieve laag 1, 2, 3, 4 is samengesteld;
- d_1, d_2, d_3, d_4 : dikte in meter van de laag 1, 2, 3, 4;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: de warmtegeleidingscoëfficiënt van het betreffende materiaal;
- Als de wand een of meer lagen niet-isotrope materialen bevat, gebruikt men de waarde R_u van deze laag, zoals opgegeven in tabel 2b van de norm NBN B 62-002;
- De totale warmteweerstand van de wand R_T wordt berekend door de volgende waarden op te tellen:
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + (R_{si} \text{ of } R_{se})$

Rekenblad 5 – Vloer op volle grond - oplossingen A en B

$M_1 =$

$d_1 =$ m $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$ R_1 m²K/W

$\lambda_1 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_1 of R_1 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_2 =$

$d_2 =$ m $R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}$ R_2 m²K/W

$\lambda_2 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_2 of R_2 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_3 =$

$d_3 =$ m $R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3}$ R_3 m²K/W

$\lambda_3 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_3 of R_3 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

$M_4 =$

$d_4 =$ m $R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4}$ R_4 m²K/W

$\lambda_4 =$ W/mK

Bron van de waarden λ_4 of R_4 :

NBN B 62-002:
ATG-keuring:
Andere:

Warmteoverdrachtsweerstand:

R_{si} m²K/W

R_1 of R_{se} m²K/W

$R_T =$ m²K/W

$U = \frac{1}{R_T} =$ W/m²K

WANDDOORSNEDE

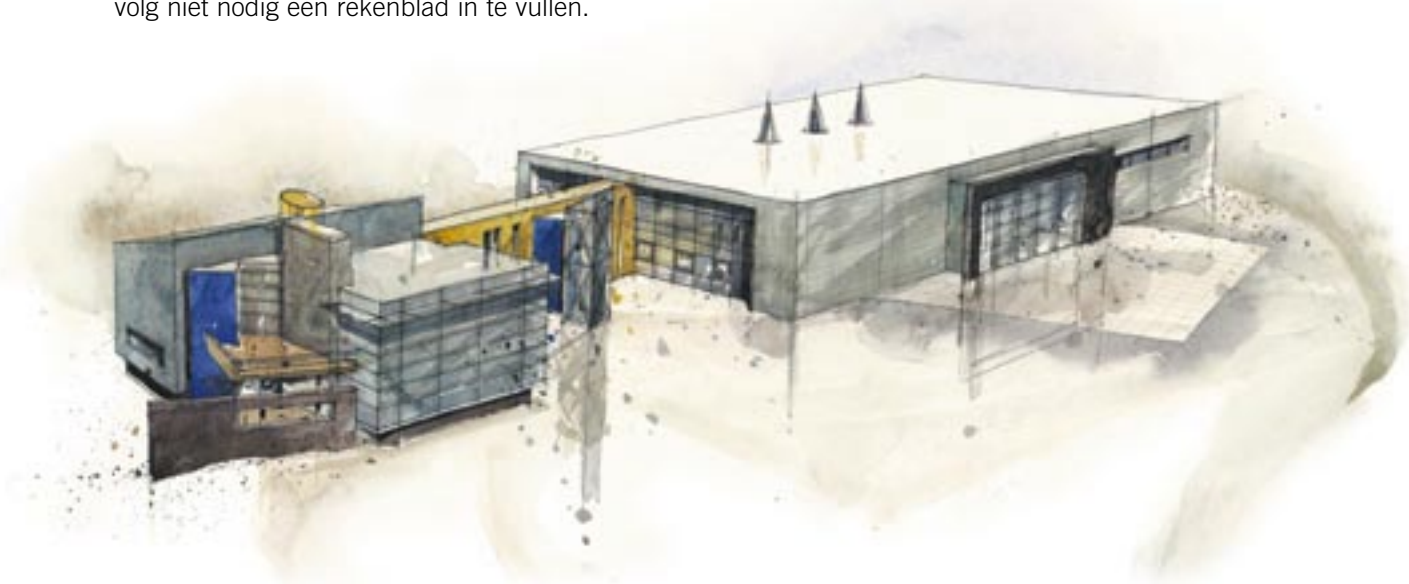
GEBRUIK VAN HET REKENBLAD

- M_1, M_2, M_3, M_4 : aard van het materiaal waaruit de respectieve laag 1, 2, 3, 4 is samengesteld;
- d_1, d_2, d_3, d_4 : dikte in meter van de laag 1, 2, 3, 4;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: de warmtegeleidingscoëfficiënt van het betreffende materiaal;
- Als de wand een of meer lagen niet-isotrope materialen bevat, gebruikt men de waarde R_u van deze laag, zoals opgegeven in tabel 2b van de norm NBN B 62-002;
- De totale warmteweerstand van de wand R_T wordt berekend door de volgende waarden op te tellen:
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + (R_{si} \text{ of } R_{se})$

Opmerking:

vensters, dakramen, lichtkoepels en andere doorschijnende wanden

Voor vensters van woonhuizen mag krachtens de norm NBN B 62-002 een vooraf bepaalde coëfficiënt U worden gebruikt afhankelijk van de aard van het raam en het beglazingstype. We hebben gekozen voor een houten raam en dubbele beglazing met hoog rendement, met een spouw van 8 mm. De coëfficiënt U gegeven in de publicatie 'LES FENETRES' van de Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie van het Ministerie van het Waalse Gewest en opgemaakt door het WTCB, bedraagt 1.52. Het is bijgevolg niet nodig een rekenblad in te vullen.



6. Berekening van het peil van de globale warmte-isolatie

Het formulier dat op de volgende pagina is gebruikt, komt van het Waalse Gewest.

Voor de andere gewesten zijn er kleine verschilpunten wat de indeling van het formulier betreft, maar de waarden worden op dezelfde manier berekend.

Conclusies:

Uit de berekeningen blijkt dat met de twee oplossingen van cellenbeton een peil van globale warmte-isolatie K wordt bereikt dat ver beneden de eis (K 45) ligt, met name:

Oplossing A: Spouwmuren: K 38

Oplossing B: Massieve muren: K 33

Oplossing A – Spouwmuren met binnenspouwblad in cellenbeton: we bekommen het peil K = 38

Berekening van het peil van de globale warmte-isolatie van een gebouw volgens NBN B 62-301							
A	Referentie gebouw	Bouwheer / Architect / Opdrachtgever:				Dossiernr.:	
						Datum:	
B	Wanden van het verliesoppervlak	U_i [W/(m ² K)]	A_i (m ²)	$U_i A_i$ (W/K)	$\sum U_i A_i$ (W/K)	A_i	$\sum a_i U_i A_i$ (W/K)
1.	Vensters, dakramen, lichtkoepels en andere doorschijnende wanden	1,52	22,8	34,66	34,66	x 1	34,66
2.	Buitendeuren	0,96	10,25	9,84	9,84	x 1	9,84
3.	Buitenmuren, gevels	0,46	196,2	90,25	90,25	x 1	90,25
4.	Daken (plat, hellend) of bovenste plafond onder niet-beschermdde ruimten	0,25	87,40	21,85	21,85	x 1	21,85
5.	Vloeren boven buitenomgeving			0,00	0,00	x 1	0,00
6.	Vloeren boven niet-vorstvrije naburige ruimten (kruipruimten)			0,00	0,00	x 1	0,00
7.	Vloeren boven vorstvrije naburige ruimten (kelders)			0,00	0,00	x0.667	0,00
8.	Vloeren op volle grond	0,47	87,4	41,08	41,08	x0.333	13,69
9.	Buitenmuren in contact met de grond (ingegraven muren)			0,00	0,00	x0.667	0,00
10.	Binnenwanden in contact met niet-vorstvrije naburige ruimten			0,00	0,00	x 1	0,00
11.	Binnenwanden in contact met vorstvrije naburige ruimten			0,00	0,00	x0.667	0,00
12.	TOTAAL (verliesoppervlakte)	$A_T = \sum A_i = 404,1$ [1] (m ²)		$\sum a_i U_i A_i = 170,8$ [2] (W/K)			

C	Koudebruggen	U_i [W/(MK)]	l_i (M)	$U_i l_i$ (W/K)	$\sum U_i l_i$ (W/K)
13	Volgens de bepalingen van NBN B 62-002				

[3]

D 14.	WARMTEVERLIES VAN VERLIESOPPERVLAKTE	$\sum a_i U_i A_i + \sum U_i l_i = [2] + [3] = 170,8$	W/K	[4]
15.	GEMIDDELDE WARMTEDOORGANGS-COEFFICIËNT	$U_s = [4] / [1] = 0,42$	W/ (m ² K)	[5]
16.	BESCHERMD VOLUME VAN HET GEBOUW	$V = 524,4$	m ³	[6]
17.	VOLUME COMPACTHEID VAN HET GEBOUW	$V/A_T = [6] / [1] = 1,30$		[7]

E 18.	PEIL VAN DE GLOBALE	$Si \ V/A_T \leq 1$: $k_s \times 100$	= [5] x 100	= K...
	WARMTE-ISOLATIE	$Si \ 1 < V/A_T < 4$: $k_s \times 300 / (V/A_T + 2)$	= [5] x 300 / ([7] + 2)	= K 38
	VAN HET GEBOUW	$Si \ V/A_T = 4$: $k_s \times 50$	= [5] x 50	= K...

Opmerking:
Het gebruik van gelijkjnde cellenbetonblokken voorkomt koudebruggen; in dit geval hoeft vak C niet te worden ingevuld.

Oplossing B – Massieve cellenbetonmuren: we bekomen het peil K = 33

Berekening van het peil van de globale warmte-isolatie van een gebouw volgens NBN B 62-301							
A	Referentie gebouw	Bouwheer / Architect / Opdrachtgever:				Dossierr.:	
						Datum:	
B	Wanden van het verliesoppervlak	U_i [W/(m ² K)]	A_i (m ²)	$U_i A_i$ (W/K)	$\Sigma U_i A_i$ (W/K)	A_i	$\Sigma a_i U_i A_i$ (W/K)
1.	Vensters, dakramen, lichtkoepels en andere doorschijnende wanden	1,52	22,8	34,66	34,66	x 1	34,66
2.	Buitendeuren	0,96	10,25	9,84	9,84	x 1	9,84
3.	Buitenmuren, gevels	0,84	196,2	66,71	66,71	x 1	66,71
4.	Daken (plat, hellend) of bovenste plafond onder niet-beschermde ruimten	0,25	87,4	21,85	21,85	x 1	21,85
5.	Vloeren boven buitenomgeving			0,00	0,00	x 1	0,00
6.	Vloeren boven niet-vorstvrije naburige ruimten (kruipruimten)			0,00	0,00	x 1	0,00
7.	Vloeren boven vorstvrije naburige ruimten (kelders)			0,00	0,00	x0.667	0,00
8.	Vloeren op volle grond	0,47	87,4	41,08	41,08	x0.333	13,69
9.	Buitenmuren in contact met de grond (ingegraven muren)			0,00	0,00	x0.667	0,00
10.	Binnenwanden in contact met niet-vorstvrije naburige ruimten			0,00	0,00	x 1	0,00
11.	Binnenwanden in contact met vorstvrije naburige ruimten			0,00	0,00	x0.667	0,00
12.	TOTAAL (verliesoppervlakte)	$A_T = \Sigma A_i = 404,1$ [1] (m ²)			$\Sigma a_i U_i A_i = 146,7$ [2] (W/K)		

C	Koudebruggen	U_i [W/(MK)]	l_i (M)	$U_i l_i$ (W/K)	$\Sigma U_i l_i$ (W/K)
13	Volgens de bepalingen van NBN B 62-002				[3]

D 14.	WARMTEVERLIES VAN VERLIESOPPERVLAKTE	$\Sigma a_i U_i A_i + \Sigma U_i l_i = [2] + [3] = 146,7$	W/K	[4]
15.	GEMIDDELDE WARMTEDOORGANGS-COEFFICIËNT	$U_s = [4] / [1] = 0,86$	W/ (m ² K)	[5]
16.	BESCHERMD VOLUME VAN HET GEBOUW	$V = 524,4$	m ³	[6]
17.	VOLUMECompactheid VAN HET GEBOUW	$V/A_T = [6] / [1] 1,8$		[7]

E 18.	PEIL VAN DE GLOBALE WARMTE-ISOLATIE VAN HET GEBOUW	Si $V/A_T \leq 1$: $U_s \times 100 = [5] \times 100 = K...$
		Si $1 < V/A_T < 4$: $U_s \times 300 / (V/A_T + 2) = [5] \times 300 / ([7] + 2) = K 33$
		Si $V/A_T = 4$: $U_s \times 50 = [5] \times 50 = K...$

Opmerking:

Het gebruik van gelijkde cellenbetonblokken voorkomt koudebruggen; in dit geval hoeft vak C niet te worden ingevuld.

4.11 Akoestiek

Inleiding

Geluidsoverlast wordt steeds groter. Het straatverkeer wordt intenser, de burens en de kinderen hebben kennelijk steeds krachtiger geluidsinstallaties en televisie kijken kan nu ook de klok rond.

In ons dichtbewoond land wordt stilte steeds meer een luxeproduct, waarmee in de toekomst in toenemende mate rekening zal moeten worden gehouden.

Jammer genoeg wordt in de meeste gevallen te laat aan de akoestische problematiek gedacht, wanneer het gebouw af is of wanneer geluidsproblemen optreden. Dit leidt dan meestal tot ingewikkelde en dure ingrepen, die niet altijd gegarandeerd resultaat opleveren.

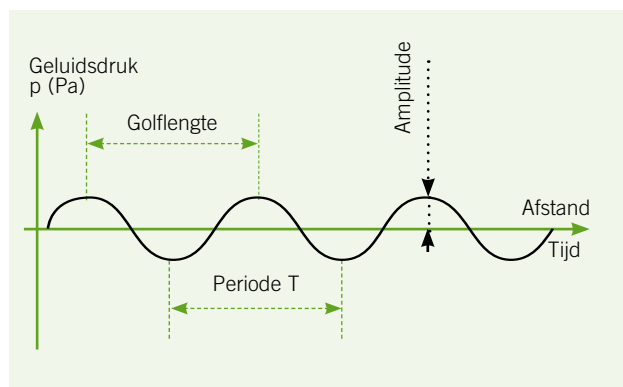
Wil men tot een akoestisch comfortabel gebouw komen, dan is het noodzakelijk dit probleem reeds van in de ontwerpfase in overweging te nemen. Gevelsamenstelling, materiaalkeuze, technische bijzonderheden, oriëntatie van het gebouw... dit zijn stuk voor stuk punten die de bouwakoestische kwaliteit van een constructie bepalen. Akoestiek is een complex fenomeen met een specifieke terminologie. Daarom is het aangewezen hier enkele algemene begrippen uit de akoestiekleer in herinnering te brengen.

4.11.1 Algemene begrippen

Geluid is niets anders dan trillingen of golven die zich voortplanten door een medium. Dat medium kan een gasmengsel (bijvoorbeeld lucht), een vloeistof of zelfs een vaste stof zijn. Geluid plant zich niet voort in het luchtledige.

Deze golven worden gekenmerkt door een golflengte en een amplitude (= geluidsdruk p_a).

Het medium (meestal lucht) bevindt zich in een evenwichtstoestand met een evenwichtsdruk, maar door een geluidsverstoring verandert de druk van dit medium.



4.11.1.1 Frequentie

De toonhoogte van een geluid wordt bepaald door zijn frequentie.

De frequentie van het geluid is het aantal drukvariaties per seconde en wordt uitgedrukt in Hertz (Hz).

Lage tonen hebben een lage frequentie en hoge tonen een hoge frequentie.

Een persoon met een normaal gehoor kan geluiden waarnemen binnen een bereik van 20 Hz tot 20.000 Hz, waarbij de periode (T) varieert van 0,05 tot 0,00005 seconden.

We onderscheiden:

- lage tonen: 20 tot 200 Hz
- middentonen: 200 tot 2.000 Hz
- scherpe tonen: 2.000 tot 20.000 Hz

4.11.1.2 Voortplantingssnelheid van geluid

De voortplantingssnelheid van geluid varieert van medium tot medium. In lucht bij kamertemperatuur plant geluid zich voort met een snelheid van 344 m/s of 1.238 km/uur.

In een ander medium is de snelheid anders, bijvoorbeeld:

- glas, staal: 5000 m/s
- beton: 4000 m/s
- mortel: 3000 m/s
- water: 1450 m/s
- lood: 1200 m/s
- rubber: 50 m/s

Geluid plant zich dus veel sneller voort in staal en beton dan in lucht.



4.11.1.3 Golflengte - periode

De golflengte van het geluid is de afstand tussen twee golftoppen of twee drukpieken:

Golflengte (λ) =

$$\frac{\text{voortplantingssnelheid van geluid (c)}}{\text{frequentie (f)}}$$

De golflengte bij 20Hz = 17m
en bij 20.000Hz = 1,7cm.

De golflengtes zijn bij hoge frequenties klein, en bij lage frequenties groot.

De tijd nodig voor het doorlopen van 1 cyclus (van golftop tot golftop) noemt men de periode T.

Bijgevolg geldt :

- hoe groter de amplitude, hoe luider de toon
- hoe groter de golflengte, hoe lager de toon
- hoe groter de frequentie, hoe hoger de toon

4.11.1.4 Geluidsdrukkniveau

Het oor is gevoelig voor geluidsdrukken die variëren van $2 \cdot 10^{-5} P_a$ tot $100 P_a$ ($1 P_a = 1 N/m^2$).

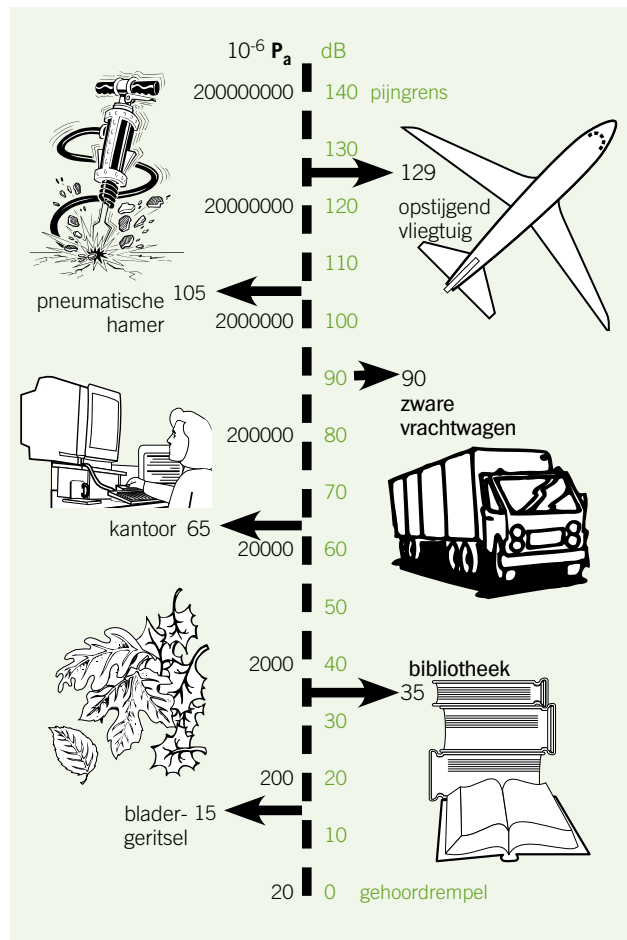
In de praktijk ervaren we dat bij een verdubbeling van de geluidsdruk de waarneming van het oor helemaal niet verdubbelt. De gevoeligheid van het oor volgt een logaritmische functie.

Daarom wordt een geluid bepaald door het geluidsdrukkniveau L_p , uitgedrukt in decibel (dB).

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ (dB)}$$

met p = geluidsdruk in P_a (N/m^2)
 p_0 = referentiegeluidsdruk gelijk aan $2 \cdot 10^{-5} P_a$
(de onderste gehoorrens van een normaal oor)

De onderstaande figuur illustreert de orde van grootte van verschillende in de praktijk voorkomende geluidsdrukkniveaus.



4.11.1.5 Zuivere toon - het geluidsspectrum

Een geluid dat slechts één frequentie heeft, wordt een zuivere toon genoemd. Dat komt in de praktijk zelden voor. Alle geluiden bestaan uit een samenstelling van een groot aantal tonen (frequenties). We kunnen dit vergelijken met zonlicht dat in een prisma ontbonden wordt in een kleurspectrum, waarbij elke kleur gekenmerkt wordt door een frequentie-interval. De analyse van het geluidsspectrum is van belang om een akoestische situatie te beoordelen. Hiermee bepaalt men de geluidsoverbrenging van een machine, de geluidsisolatie van muren, het akoestisch comfort in bepaalde ruimten, ...enz.

Het spectrum dat van belang is voor de isolatie van woningen, is gesitueerd tussen 100 en 4.000 Hz. Voor machines spelen vooral de frequenties tussen 31 en 8.000 Hz een rol.

4.11.1.6 Luidheidsniveau - isofonen

Uit hetgeen voorafgaat blijkt duidelijk dat geluid een zeer complex fenomeen is. Daarbij komt nog dat voor het menselijk oor de luidheid van een toon afhangt van de frequentie (Hz) en van het geluidsdruk niveau (dB). Ons oor ervaart als even luid de volgende tonen:

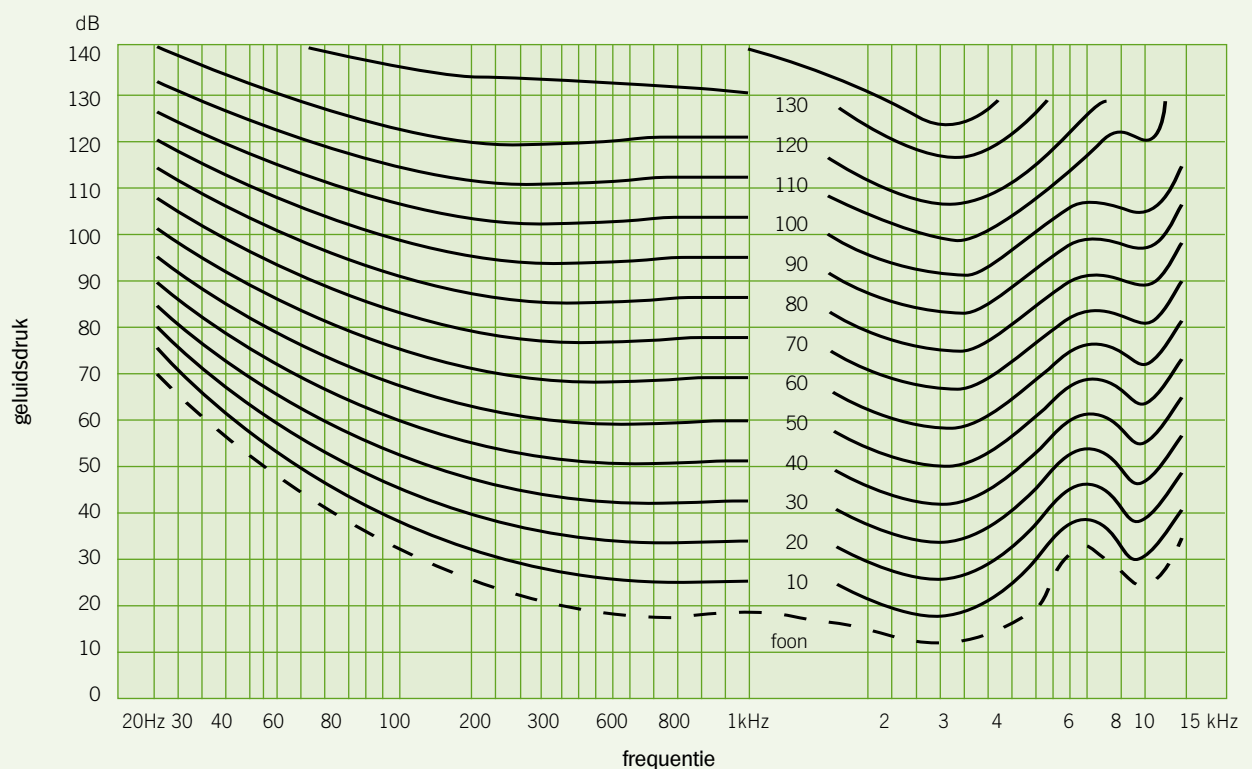
- 50 dB bij 1.000 Hz
- 56 dB bij 125 Hz
- 82 dB bij 31 Hz

Zo werden lijnen van gelijke luidheid, isofonen, opgesteld als functie van de frequentie en het geluidsdruk niveau. Elke isofoon wordt benoemd naar zijn geluidsdruk niveau bij 1.000 Hz.

Het menselijk oor ervaart een stijging van 8 à 10 dB als een verdubbeling van het luidheidsniveau, en omgekeerd een daling met 8 à 10 dB als een halvering van de luidheid.



Isofonen - lijnen van gelijke luidheid



Als de radio bijvoorbeeld zacht staat, stelt men vast dat de hoge tonen vaak perfect hoorbaar zijn, terwijl de bastonen er nauwelijks doorkomen. Door de toets "loudness" in te drukken kunt u de lage tonen luider laten klinken, waardoor de muziek geheel tot haar recht komt.

We kunnen dus stellen dat ons oor gevoeliger is voor hoge tonen dan voor lage tonen. Dit betekent dat de geluidsisolatie voor de lage tonen niet zo groot hoeft te zijn als voor de middentonen.

4.11.1.7 Geluid - een subjectieve waarneming

Lawaai is zeer subjectief. Een jonge moeder wordt 's nachts wakker bij het minste gekir van haar baby (= 30 dB), terwijl zij een voorbijrijdende auto 's nachts zelfs niet hoort (= 80 dB).

Het menselijk oor interpreteert het geluid subjectief. De geluidswaarneming verschilt van persoon tot persoon. De ene persoon kan hetzelfde lawaai verdraagbaar vinden, terwijl het voor een andere persoon hinderlijk luid klinkt.

4.11.1.8 Achtergrondgeruis

Vaak wordt verwacht dat achtergrondgeruis wordt teruggebracht tot nul. Dat is een misvatting. Achtergrondgeruis kan enkel gereduceerd worden en vervult een belangrijke rol in de subjectieve waarneming van lawaai. In een rustig woongebied kunnen spelende kinderen op straat storend zijn. In een omgeving met meer achtergrondgeruis, bijvoorbeeld in de stad, wordt ditzelfde lawaai niet meer als storend ervaren.

4.11.2 Bouwakoestiek

4.11.2.1 Luchtgeluid en contactgeluid

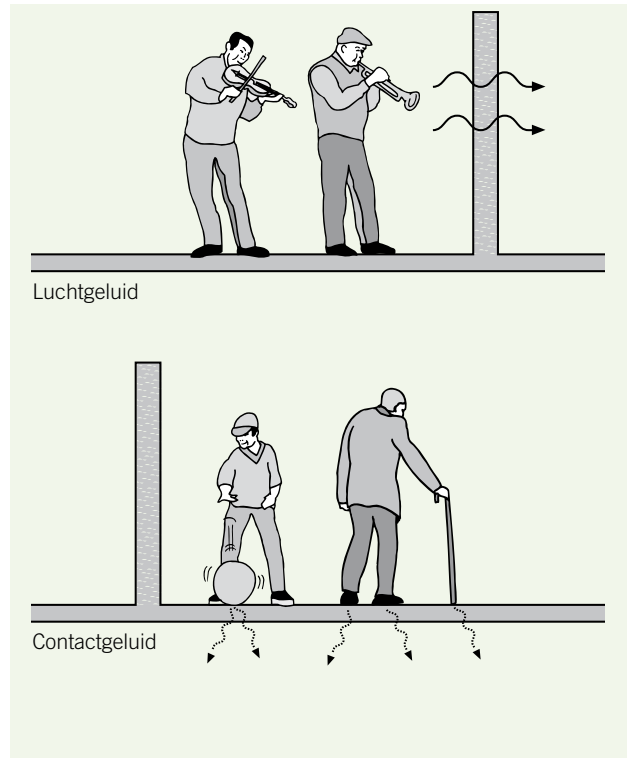
Fundamenteel dienen we voor de geluidsisolatie van constructie-elementen onderscheid te maken tussen luchtgeluid en contactgeluid.

Wil men de bewoners van een gebouw een goed akoestisch comfort geven, dan moeten de nodige maatregelen worden getroffen, zowel tegen luchtgeluid als tegen contactgeluid.

Onder geluidsisolatie verstaat men het verminderen van de geluidsoverdracht van een ruimte naar een andere. De geluidsisolatie wordt uitgedrukt in decibel (dB).

We onderscheiden :

- **luchtgeluid:** geluid afkomstig van een bron die rechtstreeks de lucht in trilling brengt, bijvoorbeeld radio, televisie, stemmen...
- **contactgeluid:** geluid afkomstig van een bron die rechtstreeks een constructiedeel (wand of vloer) in trilling brengt, waarbij dit geluid zich verder voortplant in de constructie en in een andere ruimte lawaai afstraalt (bijvoorbeeld trillingen in leidingen van de centrale verwarming).



4.11.2.2 Nagalm

In lege ruimten (bijvoorbeeld kerken, niet-gemeubelde kamers...) blijft geluid naklinken. Dit fenomeen wordt 'nagalm' genoemd. Nagalm is erg storend voor de verstaanbaarheid van het gesprek of voor de klankkleur van de muziek, en beïnvloedt ook het totale geluidsniveau van de kamer.

De geluidsgolven die vallen op een wand van een vertrek worden gedeeltelijk teruggekaatst (gereflecteerd), gedeeltelijk geabsorbeerd en gedeeltelijk doorgelaten. Dit wordt aangegeven door de absorptiecoëfficiënt (α) van de muur.

In een kamer hoort men dus eerst het directe geluid van de bron, en dan net iets later (afhankelijk van de afgelegde weg) het gereflecteerde geluid.

De mogelijkheid bestaat het geluidsniveau in een ruimte te verminderen door extra absorberend materiaal aan te brengen.

In ruimten met niet-absorberende muren (wanden bekleed met spiegels, tegels, marmer...) is de verstaanbaarheid zeer slecht en krijgt men het zogenaamde 'cocktail-effect': doordat men zich slecht verstaanbaar kan maken, gaat men nog luider praten waardoor het totale geluidsniveau nog slechter wordt.

In de dagelijkse praktijk worden de begrippen 'luchtgeluidsisolatie' en 'geluidsabsorptie' vaak met elkaar verward. Daarom ter verduidelijking: geluidsabsorberende producten dienen om de nagalm te beperken en de klankkleur binnen dezelfde ruimte bij te stellen, terwijl men onder geluidsisolatie verstaat het verminderen van de mate van geluidsoverdracht van een ruimte naar de andere.

Als extreem voorbeeld: een openstaand venster is 100% geluidsdoorlatend ($\alpha = 1$), maar is als zodanig niet geluidsisolerend.

4.11.2.3 Absorptiecoëfficiënt (α)

Geluidsgolven die op een wand invallen, worden gedeeltelijk gereflecteerd, gedeeltelijk geabsorbeerd en gedeeltelijk doorgelaten. Bij absorptie wordt de energie van de geluidsgolven in warmte omgezet.

De absorptiecoëfficiënt (α) van een muur is :

$$\alpha = \frac{\text{niet-gereflecteerde geluidsenergie}}{\text{invallende geluidsenergie}}$$

of

$$\alpha = \frac{\text{doorgelaten + geabsorbeerde geluidsenergie}}{\text{invallende geluidsenergie}}$$

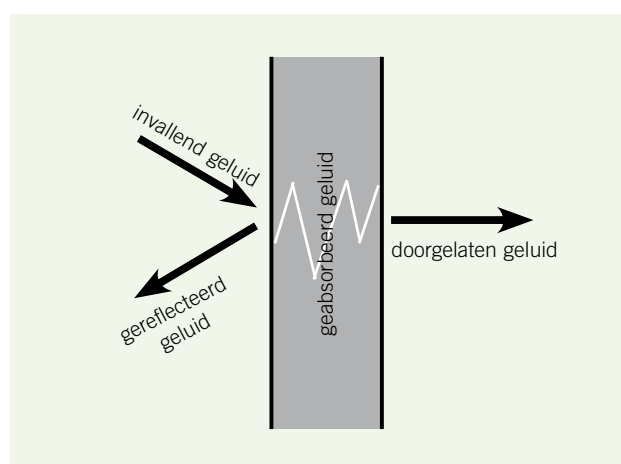
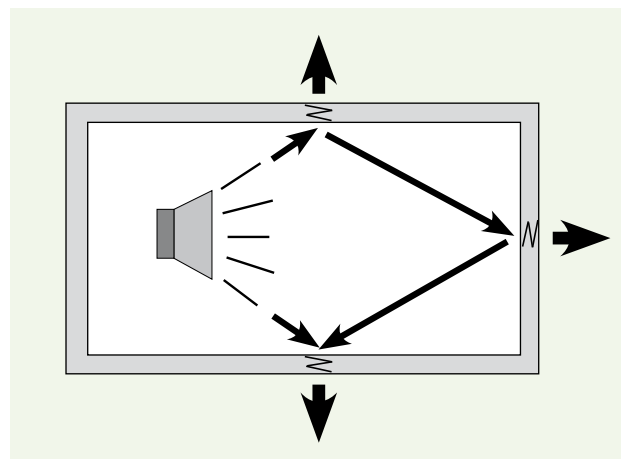
Deze absorptiecoëfficiënt is een getal tussen 0 en 1 zonder eenheid.

$\alpha = 0$ betekent dat alle geluiden worden gereflecteerd (hertoe moeten de bouwelementen vlak, niet-poreus en stijf zijn)

$\alpha = 1$ betekent dat alle geluiden worden geabsorbeerd of doorgelaten (bijvoorbeeld een open raam)

De grootte van de coëfficiënt α hangt af van :

- de frequentie van het invallende geluid
- de aard, dikte, soortelijk gewicht en de oppervlaktestructuur van het constructie-element enz.



Absorptiecoëfficiënt (α) van verschillende materialen

Materiaal	Frequentie (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Glad beton	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
Cementpleister	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
Cellenbeton platen en blokken	0,09	0,09	0,12	0,18	0,19	0,18
Staalplaat	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03

Door zijn opencellige oppervlaktestructuur is de geluidsabsorptie van cellenbeton 5 tot 10 keer groter dan die van gladde, 'geluidsharde' materialen.

Daardoor is de toepassing van cellenbetonplaten en -blokken vooral interessant voor geluidsintensieve constructies, zoals industriegebouwen, discotheken, bioscoopzalen, schouwburgen... om de overdracht van het intern geluid (diffuus geluid) in de hal te dempen.

4.11.3 Belgische normen

NBN S 01-400 : Geluidseer - Maatstaven voor geluidswering.

NBN S 01-401 : Akoestiek - Grenswaarden voor de geluidsniveaus om het gebrek aan comfort in gebouwen te vermijden.

NBN S 01-402 : Geluidseer - Kenmerkende peilen van omgevingslawaai.

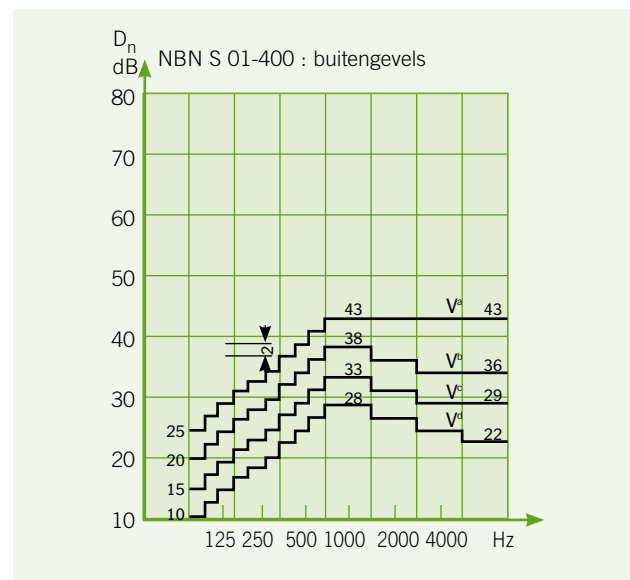
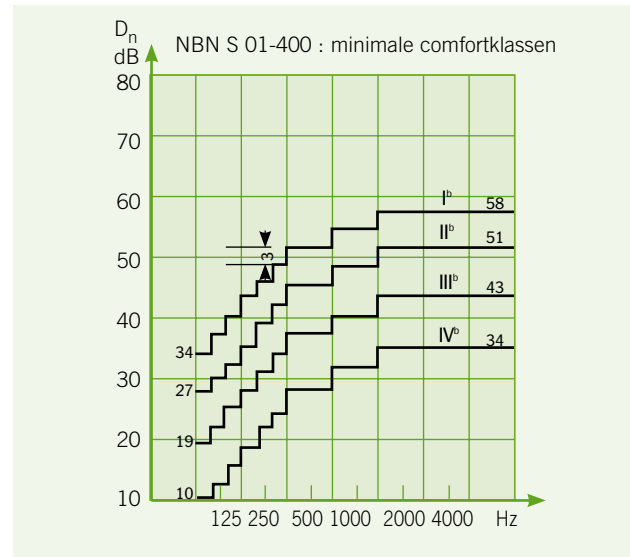
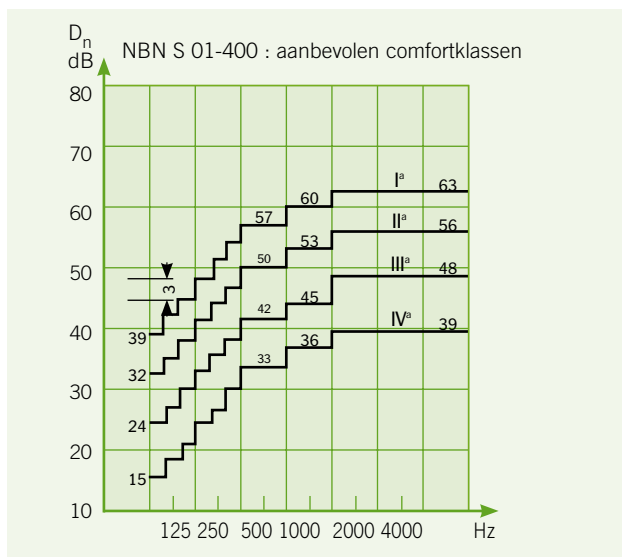
NBN S 01-403 : Akoestiek - Geluid veroorzaakt door hydraulische uitrustingen.

In de norm NBN S 01-400 worden de geluidscriteria uitgedrukt in de vorm van categorieën voor minimale comfortklassen (index b: klasse Ib, IIb, IIIb en IVb), en voor aanbevolen klassen (index a: klasse Ia, IIa, IIIa en IVa). Het verschil tussen beide klassen bedraagt bij luchtgeluidsisolatie 5 dB, terwijl dit bij contactgeluid 3 dB is.

Voor buitengevels geldt de norm NBN S 01-402. Zoals in de voorgaande norm wordt de geluidsisolatie ook hier uitgedrukt in 4 categorieën.

Op te merken valt dat wanden met klasse Ia geluid beter isoleren dan wanden met klasse IVa.

a) Criteria voor luchtgeluidsisolatie voor metingen "in situ"



In de praktijk plant het geluid zich niet alleen rechtstreeks voort tussen twee ruimten (dat wil zeggen door de scheidingswand), maar ook via indirecte overdrachtswegen (bijvoorbeeld zijmuren, vloer, zoldering enz.).

Bij geluidsisolatie tussen twee vertrekken wordt rekening gehouden met zowel de directe weg als de nevenwegen. Dit noemen we de brutogeluidsisolatie (symbool D_n).

De aanbevolen categorieën van de brutogeluidsisolatie zijn vermeld in de norm NBN S 01-400.

b) Criteria voor contactgeluidsisolatie

Ook voor de contactgeluiden zijn in de norm drie aanbevolen criteria met index a, en drie minimale criteria met index b opgegeven. Het contactgeluidsspectrum wordt veroorzaakt door machines met een genormaliseerd klopmechanisme.

Belangrijk is dat het hier gaat om geluidsniveaus, dus het omgekeerde van de luchtgeluidsisolatieklassen. Hier geldt met andere woorden: hoe hoger het spectrum, hoe slechter de geluidsisolatie.

4.11.4 Geluidsisolatie van gebouwen

Wil men een goed akoestisch comfort in een woning krijgen, dan is het van belang reeds in de planningsfase hiermee rekening te houden.

Het is uiterst belangrijk in de woning voor een oordeelkundige schikking te zorgen tussen de geluidsarme ruimten (slaapkamers, kinderkamers, woonkamer) en de geluidsintensieve ruimten (keuken, traphal, sanitaire ruimten).

In rijwoningen en flatgebouwen dient men daarnaast bij de keuze van de indeling ook nog rekening te houden met de naastgelegen woningen en de boven- en onderliggende appartementen.

4.11.4.1 Luchtgeluidsisolatie

Opfrissing:

- E_r = gereflecteerde geluidsenergie
- E_i = invallende geluidsenergie
- E_a = geabsorbeerde geluidsenergie
- E_d = doorgelaten geluidsenergie

Dan is de theoretische luchtgeluidsisolatie :

$$R = 10 \log \frac{E_i}{E_d} \text{ (dB)}$$

Dit is een logaritmische functie. Met andere woorden, een luchtgeluidsisolatie van 20, 30, 40, 50 dB betekent dat van de invallende energie slechts respectievelijk 1/100, 1/1.000, 1/10.000 of 1/100.000 wordt doorgelaten.

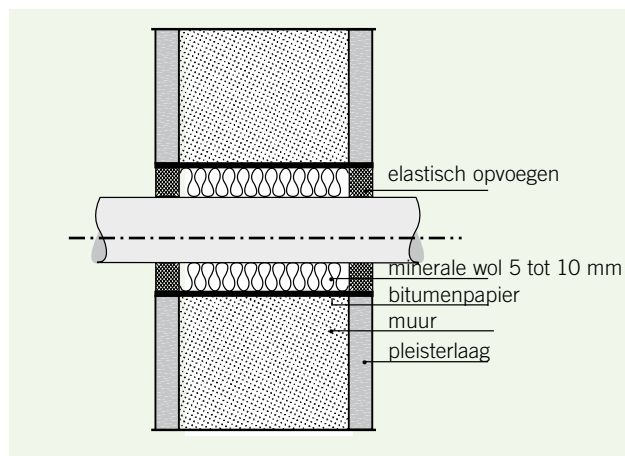
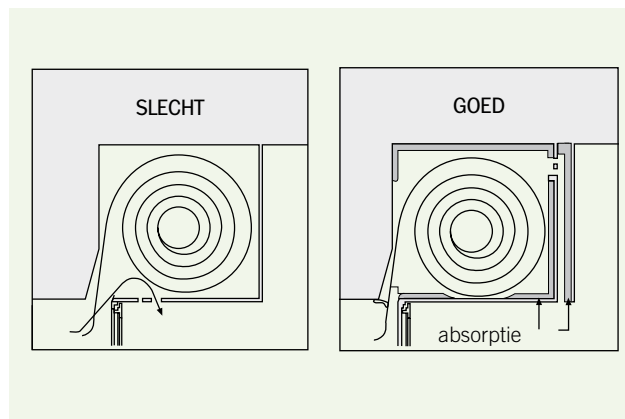
4.11.4.2 Algemeen

Een wand is meestal samengesteld uit verschillende onderdelen (deuren, ramen, betonkolommen, leidingen enz.). In de beoordeling van een wand met een dergelijke samenstelling, is er een fundamenteel verschil tussen geluidsisolatie en warmte-isolatie.

Evenals warmte-isolatie is de luchtgeluidsisolatie van een wand natuurlijk afhankelijk van de isolerende eigenschappen van de samenstellende delen. Bij de warmte-isolatie wordt het isolatieniveau van een bouw-element bepaald door het gemiddelde van de waarden van de verschillende delen, gemeten over hun aandeel in het totale oppervlak. Dat is niet het geval bij geluidsisolatie. Bij geluidsisolatie benadert het isolerend vermogen van een wand dat van het zwakste element (deuren, vensters, ingewerkte buizen...), zoals de zwakste schakel van een ketting de sterkte ervan bepaalt.

Bij warmte-isolatie helpt elke m² isolatie, bij geluidsisolatie geeft het zwakste onderdeel de doorslag.

Eerste voorwaarde voor een goede geluidsisolatie is dus een goede luchtdichtheid (kieren onder deuren, rolluikkasten, airconditioningkokers, schoorsteen, buizen...).



4.11.4.3 Luchtgeluidsisolatie van muren

De geluidsisolatie van een massieve muur hangt in de eerste plaats af van zijn massa en van zijn stijfheid. Men kan de isolatie tegen luchtgeluidsoverdracht als volgt verbeteren :

- zorgen voor een grotere massa per m² bij massieve wanden;
- de muur ontdebelen met een tussenliggende spouw. Door de spouw op te vullen met absorberend poreus materiaal, voorkomt men zogenaamde spouwresonanties (staande golven).

De isolatiewaarde kan verder worden verbeterd door spouwbladen te nemen met verschillende massa of verschillende dikte (voorkoming van het coïncidentie-effect).

In de praktijk zijn voor muren betere luchtgeluidsisolatiewaarden te bereiken door de volgende principes in acht te nemen :

- een dubbele constructie (muur bestaande uit twee wanden) heeft een betere isolatiewaarde dan een massieve muur van dezelfde dikte;
- bij spouwconstructies bestaande uit hetzelfde materiaal verdient het aanbeveling spouwbladen in verschillende diktes aan te brengen.
- in de spouw moet poreus absorptiemateriaal (minerale wol) worden aangebracht om spouwresonantie (staande golven) te voorkomen;
- er dient een minimale spouwbreedte (5 tot 6 cm) te worden aangehouden. Een te kleine spouw vermindert de geluidsisolatie op lage frequenties vanwege de resonantie;
- elk star contact tussen de spouwbladen is in elk geval te vermijden (geen stijve koppelingen);
- een goede kierdichting (geen geluidslekken) en luchtdichtheid (pleisterlaag).

4.11.4.4 Contactgeluidsisolatie van muren

In gemeenschappelijke woongebouwen (appartementen, hotels, kantoorgebouwen...) wordt geluidshinder in de eerste plaats veroorzaakt door contactgeluiden. De meest voorkomende bronnen van contactgeluid zijn:

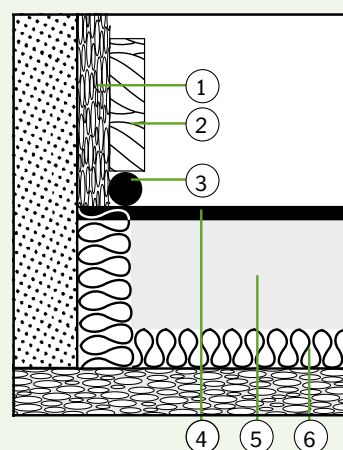
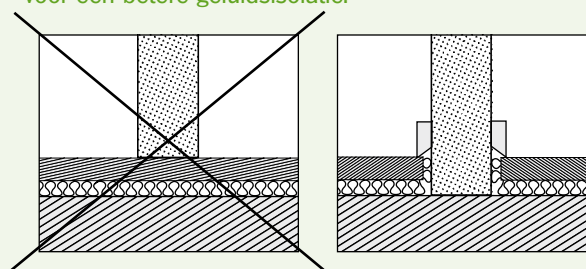
- voetstappen
- vallende voorwerpen
- verschuiven van stoelen
- machines zoals liftmotoren, pompen, installaties voor centrale verwarming

Contactgeluidsisolatie verdient reeds in het ontwerp stadium bijzondere aandacht. Oplossingen achteraf, na ontvangst van klachten, zijn dikwijls moeilijk uitvoerbaar en meestal duur.

De contactgeluidsisolatie van vloeren kan verbeterd worden door middel van :

- **een zachte vloerbekleding (tapijt)**, of een verende onderlaag bestaande uit vilt, kurk, rubbermatten e.d.
- **een zwevende dekvloer**. Belangrijk hierbij is dat de verende mat ter plaatse van de aansluiting met de wanden wordt doorgetrokken naar boven toe, om elk contact met de wand te vermijden (geluidsbruggen).

De verende mat naar boven doortrekken voor een betere geluidsisolatie.



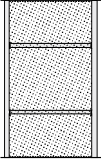
- ① Bepleistering
- ② Plint
- ③ Elastische voeg
- ④ Afgewerkte vloer
- ⑤ Dekvloer
- ⑥ Verende laag doorgetrokken tegen de muur (onontbeerlijk voor een goede geluidsisolatie)

- **een verlaagd plafond** (vooral in ziekenhuizen, kantoorgebouwen, scholen...)
- een van de basisprincipes om tot een goed akoestisch comfort in gemeenschappelijke gebouwen te komen, bestaat erin de **verschillende vertrekken oordeelkundig in te planten**, zowel in verticale als in horizontale richting, dat wil zeggen de ligging van de woonkamer, keuken, slaapkamer... ten opzichte van de naastgelegen appartementen, van de boven- en onderverdiepingen, alsook van de trapgang en de liftschacht.

4.11.5 Bouwakoestiek met cellenbeton

4.11.5.1 Massieve buitenmuren in cellenbetonblokken

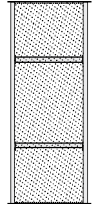
Cellenbetonblokken met crepi (12 mm) en binnenpleister (10 mm)

	Isolatiewaarde R (dB)			
	Dichtheidsklasse (kg/dm ³)	Dikte van cellenbetonblokken (mm)		
		240	300	365
0,40	-	47 (V ^a)	50 (V ^a)	
0,50	49 (V ^a)	50 (V ^a)	50 (V ^a)	
0,60	52 (V ^a)	50 (V ^a)	-	

De opgegeven waarden zijn de waarden volgens de norm ISO 717-1. De waarden tussen haakjes zijn de klassen volgens de norm NBN S 01-400.

4.11.5.2 Binnenmuren in cellenbetonblokken

Cellenbetonblokken + pleister (10 mm) aan weerszijden.

	Isolatiewaarde R (dB)			
	Dichtheidsklasse (kg/dm ³)	Dikte van cellenbetonblokken (mm)		
		100	150	200
0,50	-	40 (IV ^a)	45 (III ^a)	49 (III ^a)
0,60	40 (IV ^a)	44 (III ^b)	48 (III ^a)	52 (II ^b)
0,80	-	-	51 (II ^b)	52 (II ^b)

De opgegeven waarden zijn de waarden volgens de norm ISO 717-1. De waarden tussen haakjes zijn de klassen volgens de norm NBN S 01-400.

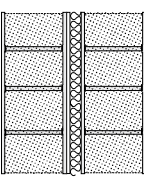
4.11.5.3 Dubbele scheidingsmuren tussen rijwoningen / dubbelwoningen / appartementen

Herinnering:

- Ten opzichte van een massieve muur met hetzelfde gewicht biedt een spouwmuur een akoestisch voordeel van ca. 12 dB.
- Hoe breder de spouw, hoe beter de geluidsisolatie. De verbetering bedraagt:

Spouwbreedte (mm)	Isolatieverbetering (dB)
30	0
40	2,5
50	4,4
60	6,0

Isolatiewaarden van dubbele scheidingsmuren

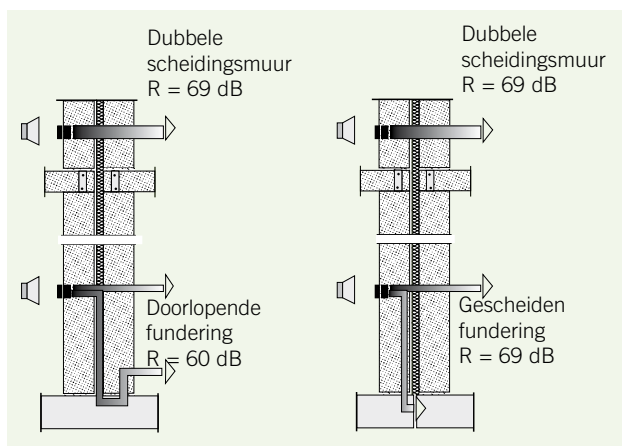
	Dikte (mm)	Isolatiewaarde R (dB)
Muuropbouw		
Binnenpleister	10	68 (I ^a)
Cellenbetonblokken C4/550	175	
Spouw met platen van minerale wol 40mm	50	
Cellenbetonblokken C4/550	175	57 (II ^a)
Binnenpleister	10	
Binnenpleister	8	
Cellenbetonblokken C4/550	200	57 (II ^a)
Spouw	20	
Cellenbetonblokken C4/550	200	
Binnenpleister	8	

De opgegeven waarden zijn de waarden volgens de norm ISO 717-1. De waarden tussen haakjes zijn de klassen volgens de norm NBN S 01-400.

Bij de uitvoering van een scheidingsmuur tussen twee wooneenheden, is het van belang dat een voldoende brede spouw wordt aangebracht. Deze spouwconstructie moet zonder onderbreking doorlopen van de fundering tot het dak en mag niet door geluidsbruggen, zoals mortelresten, betonbalken of nagels, worden onderbroken. Het is belangrijk dat alle betonbalken, lateien, welfsels e.d. ter plaatse van de spouw worden onderbroken en zeker niet doorlopen.

Voor de vertrekken op het gelijkvloers van een onderkelderd gebouw is een ontubbelde fundering van minder groot belang vanwege de lange geluidsweg, voor zover de scheidingsmuur in de kelder ook is uitgevoerd met een spouw. Hier krijgt men weliswaar een kleinere geluidsisolatie in de kelderverdieping.

Bij niet-onderkelderde woningen is een scheiding van de fundering sterk aangeraden.



4.11.5.4 Binnenmuren in cellenbetonblokken met voorzetwand aan 1 of 2 zijden

Muuropbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
Binnenpleister	10	53 (II ^b)
Cellenbetonblokken C4/550	150	
Glaswol	40	
Gipskartonplaat	10	
Gipskartonplaat	10	58 (II ^b)
Glaswol	40	
Cellenbetonblokken C4/550	150	
Glaswol	40	
Gipskartonplaat	10	63 (I ^a)
Gipskartonplaat	10	
Glaswol	60	
Cellenbetonblokken C4/550	150	
Glaswol	60	
Gipskartonplaat	10	

De opgegeven waarden zijn de waarden volgens de norm ISO 717-1. De waarden tussen haakjes zijn de klassen volgens de norm NBN S 01-400.

4.11.5.5 Industriegebouwen met cellenbetonplaten

Bij industriegebouwen (en ook bij discotheken) moet vooral de overdracht van het lawaai naar buiten toe worden beperkt, rekening houdend met de omgeving waarin het gebouw is gesitueerd (landelijke omgeving, woongebied, industriegebied...). Ook binnen in het gebouw moet het geluidsniveau op een aanvaardbaar niveau worden gehouden (< 85 dB(A)).

Het binnengeluidsniveau in een werkhal hangt natuurlijk af van de geluidsbronnen (machines), maar ook van het absorptievermogen van het wand- en het dak-oppervlak. Hoe groter het absorptievermogen, hoe lager het geluidsniveau.

Het geluidsniveau binnen de werkhal bestaat uit het directe geluidsniveau L_{dir} en het diffuus geluidsniveau L_{diff} .

Het directe geluidsniveau varieert afhankelijk van de afstand tot de geluidsbron, zoals in een vrije ruimte.

Door de geluidsreflectie op de wanden en op het dak-oppervlak ontstaat een geluidsveld dat, ongeacht de afstand tot de geluidsbron, een min of meer constante waarde heeft, op elke plaats in de werkhal. Dat noemt men het diffuus geluidsniveau L_{diff} . De omvang van het diffuus geluidsniveau hangt af van het absorptievermogen van de oppervlakken van de dak- en wandelementen, en van de vorm van de hal. Daarom is het af te raden in werkhallen met een intensief lawaainiveau de wanden en het dak uit te voeren in niet-absorberende gladde materialen (bv. staalplaat). Voor grote hallen met dak en wanden in cellenbetonplaten mag bij benadering worden aangenomen dat het geluidsniveau met 2,5 dB vermindert bij elke verdubbeling van de afstand tot de geluidsbron (machine).

Onderzoek heeft uitgewezen dat een wand met aan de buitenzijde nog een voorgezette wandbekleding (bv. glasal, eternit, gevelplaten...) de geluidsisolatie van buiten naar binnen nog kan verbeteren met ruim 14 dB. De juiste waarde hangt af van het type voorzetwand.

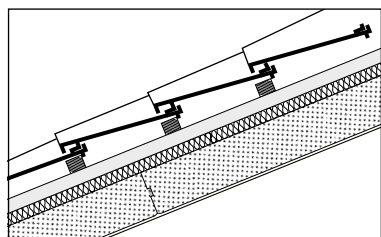
4.11.5.6 Dakplaten in cellenbeton

Voor woningen is het gebruik van dakplaten in cellenbeton vooral aangeraden in zones met veel geluidsoverlast, bv. in de nabijheid van luchthavens.

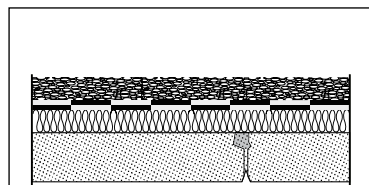
Voor industriegebouwen zijn de dakplaten vooral interessant vanwege hun absorptievermogen, waardoor de geluidsreflectie, c.q. het diffuus geluidsniveau, binnen de werkhal wordt beperkt.

Als deze dakplaten worden verzwaard met 50 mm grind (= 90 kg/m²), dan mogen deze waarden verhoogd worden met 6 tot 8 dB.

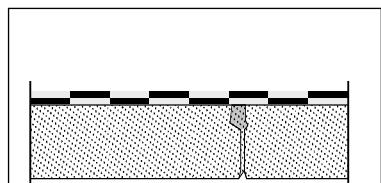
Dakplaten in cellenbeton met dakbedekking



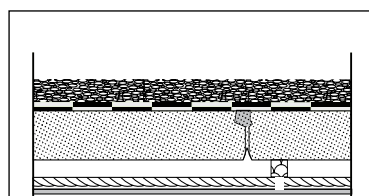
Dakopbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
Dakpannen of leien	-	56 (V ^a)
Isolatieplaten	50	
Dakplaten in cellenbeton	200	
Binnenpleister	10	



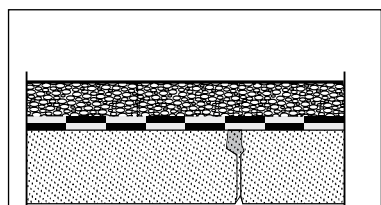
Dakopbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
Grindlaag	50	52 (V ^a)
2 lagen dakdichting	-	
Isolatieplaat	50	
Dakplaten in cellenbeton	200	



Dakopbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
2 lagen dakdichting	-	44 (V ^a)
Dakplaten in cellenbeton	200	



Dakopbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
Grindlaag	50	55 (V ^a)
2 lagen dakdichting	-	
Dakplaten in cellenbeton	200	
Latwerk - 2x30 mm	60	
Gipskartonplaten	10	



Dakopbouw	Dikte (mm)	Isolatie-waarde R (dB)
Grindlaag	50	51 (V ^a)
2 lagen dakdichting	-	
Dakplaten in cellenbeton	200	

De opgegeven waarden zijn de waarden volgens de norm ISO 717-1. De waarden tussen haakjes zijn de klassen volgens de norm NBN S 01-400.



4.12 Brandwerendheid van cellenbeton

De uitzonderlijke brandweerstand van cellenbeton is een rechtstreeks gevolg van de manier waarop het materiaal op vlammen reageert. Cellenbeton is onontvlambaar en onbrandbaar. Het is thermisch isolerend, het ontwikkelt geen giftige dampen en is ongevoelig aan temperatuursinvloeden. Deze fysische eigenschappen maken van cellenbeton een van de veiligste bouwmaterialen voor brandwanden en brandwerende wanden.

4.12.1 Klassering van bouwelementen op basis van de brandwerendheid

Cellenbeton behoort tot de Europese klasse A1 'niet-brandbare materialen'.

De Europese klassen van brandwerendheid refereren naar brandscenario's en gedragscriteria.

De brandweerstand wordt uitgedrukt d.m.v. de volgende criteria:

a) Stabiliteit (R): geeft aan hoe lang het bouwelement zijn dragende functie blijft vervullen (stabiliteit, vormverandering...).

b) Vlamdichtheid (E): het materiaal moet ondoorlatend zijn voor de vlammen, rook en hete gassen die de brand naar naburige ruimten kunnen doen overslaan.

b) Thermische isolatie: deze moet voldoende groot zijn om te verhinderen dat het materiaal en de bekledingen aan de niet aan het vuur blootgestelde muurzijde spontaan ontvlammen door de stijgende oppervlaktetemperatuur. De gemiddelde temperatuurstijging moet kleiner zijn dan 140 °C, en de plaatselijke stijging kleiner dan 180 °C.

Een muur die gedurende 180 minuten aan de 3 criteria voldoet, krijgt de classificatie REI 180.



Brand in een opslagruimte, gecompartmenteerd door brandwanden in cellenbeton.



De smeltankers zijn bezweken aan de brandzijde, en de staalconstructie is ingestort zonder de brandwand mee te sleuren.



Aan de andere kant van de brandwand zijn de smelttankers intact gebleven: de brandwand heeft zijn functie vervuld.

4.12.2 Brandwerendheid van cellenbetonwanden

a) Muren in gelijmde cellenbetonblokken

Officiële proeven op cellenbetonblokken, geplaatst met lijm mortel, hebben de volgende waarden opgeleverd:

Dikte	Brandweerstand
100 mm	EI 180
150 mm	REI 240
200 mm	REI 360
240 mm	REI 360

b) Muren in gewapende platen

Dikte	Brandweerstand
150 mm	EI 360
200 mm	EI 360

Opmerking: Deze platen zijn aan een draagstructuur vastgemaakt. Het spreekt vanzelf dat de brandweerstandswaarden gelden zolang de stabiliteit van de draagstructuur intact blijft (zie hierna: bouwtechnische principes).

Vastgesteld wordt dat de brandweerstandswaarden uitstekend zijn, zelfs met een geringe materiaaldikte. Zo wordt de hoogste brandwerendheid (EI 360) reeds bereikt met een 150 mm dikke muur. Dit verklaart waarom de meeste installaties, waarin men de brandwerendheid van andere materialen test, in cellenbeton worden uitgevoerd.

c) Dak- en vloerplaten

De brandwerendheid van dak- en vloerplaten hangt af van de spanwijdte, de belasting en de dikte van de betondekking van de onderwapening. Zo verliest een plaat zijn weerstand zodra de wapening de kritische temperatuur van 550 °C bereikt. Om dit te vermijden kan men de betondekking van de hoofdwapening vergroten, of isolerend beton gebruiken om het warmtetransport af te remmen. Aangezien cellenbeton een zeer lage λ -waarde heeft, blijft de warmtedoorgang beperkt en werkt de betondekking veel efficiënter dan met zwaar beton.

In dit verband verwijzen we naar de norm DIN 4102 Teil 4, die de brandwerendheid voor cellenbetonplaten geeft als functie van de betondekking van de hoofdwapening.

Brandwerendheid	REI 30	REI 60	REI 120	REI 180
Betondekking u minimum [mm]*	12	20	40	55
*u = afstand tussen de onderzijde van de plaat en de as van de hoofdwapeningsstaven.				

4.12.3 Gedrag van cellenbeton bij brand

Cellenbeton combineert twee essentiële eigenschappen die het gedrag bij brand optimaliseren: het materiaal reageert niet op brand en heeft daarbij een zeer grote brandwerendheid.

a) Reactie bij brand

De reactie bij brand van een bouw materiaal is het geheel van de eigenschappen van dit materiaal met betrekking tot zijn invloed op het ontstaan en op de ontwikkeling van een brand.

Cellenbeton is niet-brandbaar, en levert geen enkele bijdrage aan de verbranding. Bij brand geeft het geen rook af en draagt het niet bij tot de brandverspreiding.

b) Brandwerendheid

De brandwerendheid van bouwelementen is de tijdsduur dat de bouwelementen hun rol blijven vervullen die hun is toebedeeld, ondanks de effecten van een brand. De wand moet stabiel, branddicht en thermisch isolerend blijven.

Niet-brandbaar materiaal is niet noodzakelijkerwijs brandwerend. Vezelcement is niet-brandbaar, maar zal bij een brand reeds bij lage temperatuur stukspringen als gevolg van de inwendige thermische spanningen. Bijgevolg kan dit materiaal niet verhinderen dat de brand zich verspreidt.

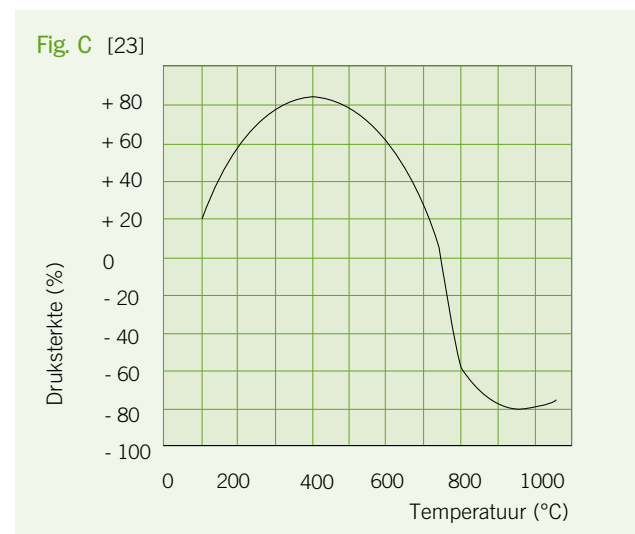
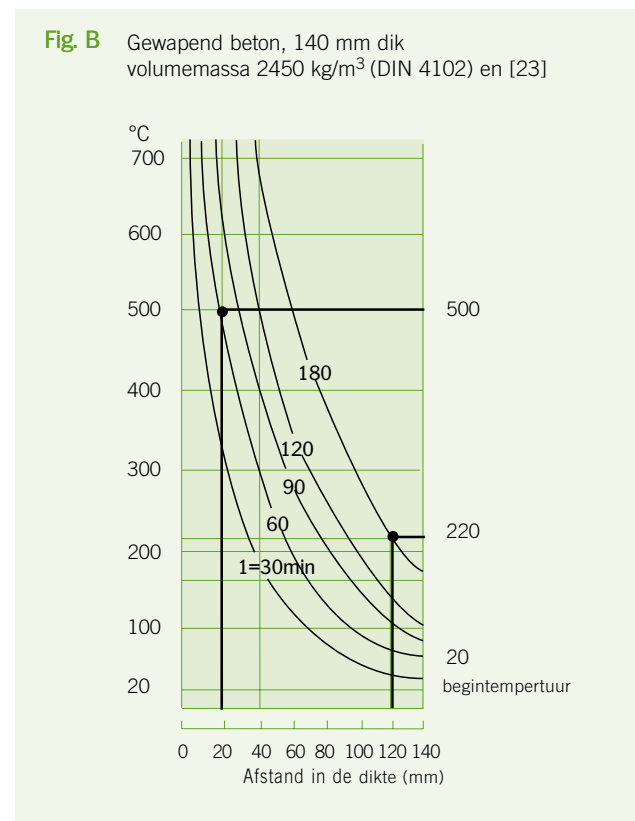
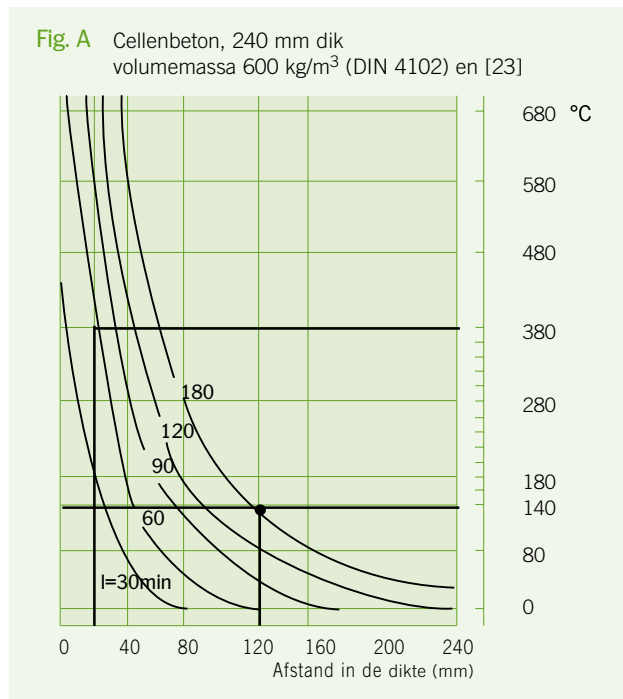
De langdurige blootstelling van cellenbeton aan grote hitte bij brand heeft vrijwel geen invloed op de materiaalstructuur. Er treedt geen vormverandering op. Vormverandering resulteert doorgaans in vlamoverslag, rookvorming of zuurstoftoevoer naar de brandhaard via naburige ruimten.

Figuur A illustreert het temperatuurverloop in een cellenbetonmuur die aan brand is blootgesteld.

In figuur B staat het temperatuurverloop voor een muur in gewapend beton die aan dezelfde voorwaarden is onderworpen. Door de isolerende celstructuur gaat de inwendige temperatuur minder snel omhoog in de cellenbetonmuur dan in de betonmuur.

Na circa 180 minuten is de temperatuur in de binnenuimte op 120 mm van het gedeelte aan de brandzijde met 120 °C gestegen voor cellenbeton, en met 200 °C voor gewapend beton.

Na een brandtijd van 1 uur bedraagt de temperatuur op 20 mm van de aan het vuur blootgestelde zijde 380 °C voor cellenbeton. Voor gewapend beton bedraagt de temperatuur op 20 mm van de rand na 1 uur 500 °C. Bijgevolg moet een grotere betondekking op de hoofdwapeningen worden aangebracht. Om de brandwerendheid van dragende platen in gewapend beton te vergroten, moet de betondekking worden aangepast in functie van het temperatuurverloop in het materiaal (zie fig. A).



In figuur C staat de invloed van de hitte op de druksterkte van cellenbeton. Deze neemt toe onder invloed van een temperatuurstijging en bereikt een piek bij 400 °C: bij deze temperatuur verandert Tobermoriet in Wollastoniet. Vervolgens neemt de druksterkte af en bereikt zijn minimumniveau op circa 950 °C.

4.12.4 Compartimentering en brandwerendheid van wanden van gebouwen

In de reglementering op federaal vlak alsook op het niveau van de gemeenschappen en gewesten, vinden we twee basisregels voor brandbeveiliging terug: de compartimentering en de aanwezigheid van nooduitgangen (evacuatiewegen). Deze twee basisregels voldoen aan drie doelstellingen die hun neerslag vinden in alle reglementen, met name:

- **Eerste doelstelling: de veiligheid waarborgen van de aanwezigen in het gebouw.**

De aanwezigen moeten de mogelijkheid krijgen bij brand het gebouw te verlaten via een veilige weg en op eigen kracht, of om te vluchten naar een brandveilig compartiment. Dit hangt af van de snelheid waarmee de brand zich in het gebouw voortplant.

- **Tweede doelstelling: de ontwikkeling van de brand vertragen en verhinderen dat de brand zich in het gebouw verspreidt.**

Door de brandverspreiding (rook en vuur) in te perken kunnen de aanwezigen gemakkelijker in veiligheid worden gebracht en kan men de brand sneller blussen.

- **Derde doelstelling: het ingrijpen van de hulpdiensten vergemakkelijken.**

Het koninklijk besluit van 7 juli 1994 legt de basisnormen vast voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen. Deze basisnormen zijn minimeisen die men voor elke constructie in acht dient te nemen, ongeacht de bestemming. Zo kan het Brussels Hoofdstedelijk Gewest bijvoorbeeld een besluit uitvaardigen dat op brandpreventief gebied de voorwaarden bepaalt waaraan nieuwe hotels dienen te voldoen. Deze voorwaarden moeten echter overeenstemmen met de eisen in de basisnormen, met daarbovenop specifieke voorschriften voor hotels.

De eisen inzake compartimentering en nooduitgangen (evacuatiewegen) hangen af van de hoogte en de bestemming van het gebouw. Zo wordt de **hoogte van een gebouw H** omschreven als de afstand tussen het afgewerkte vloerpeil van de hoogste verdieping, en het laagste peil van de door de brandweerwagens bruikbare wegen rond het gebouw.

- hoge gebouwen (HG): $h > 25 \text{ m}$
- middelhoge gebouwen (MG): $10 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$
- lage gebouwen (LG): $h < 10 \text{ m}$

Een **compartiment** wordt omschreven als het volume van een gebouw begrensd door wanden die de brandverspreiding naar de aanliggende compartimenten ge-

durende een bepaalde tijd dienen te beletten. Een compartiment is al dan niet onderverdeeld in lokalen.

Het koninklijk besluit bepaalt de maximale oppervlakte van de compartimenten als functie van de bestemming en de hoogte van het gebouw. In de meeste gevallen bedraagt de maximaal toegestane oppervlakte **2500 m². De wanden tussen de compartimenten moeten een weerstand tegen brand hebben van EI 120 voor HG, en van EI 60 voor MG en LG.** Structurele elementen, zoals kolommen, balken, vloeren en draagmuren, moeten minstens dezelfde weerstand tegen brand hebben als de wanden van het compartiment.

De tabel op de volgende pagina geeft een niet-beperkend overzicht van de minimale weerstand tegen brand van de wanden, zoals voorgeschreven in het koninklijk besluit van 7 juli 1994.

Op te merken valt dat cellenbeton in alle gevallen voldoende weerstand biedt, en qua brandwerendheid zelfs ruimschoots beter presteert (zie par. 4.12.2) dan voorgeschreven in het KB. Het bouwen in cellenbeton staat garant voor een optimale brandveiligheid, voorzover de voorgeschreven bouwtechnische principes (compartimentering, evacuatiewegen...) worden toegepast.

In het koninklijk besluit is geen rekening gehouden met **industriële gebouwen** (hierover is een KB in voorbereiding). In de praktijk schrijven de brandweer en verzekeringsmaatschappijen voor industriële gebouwen echter de strengste brandwerendheidsnormen voor, die ruim boven EI 120 liggen (opslag van kostbare producten of licht ontvlambare stoffen, of vanwege de schade veroorzaakt door het stilleggen van de productie). In deze gevallen worden EI 240 of EI 360 voorgeschreven.

Vereiste weerstand tegen brand [EI]	Hoog gebouw HG	Middelhoog gebouw MG	Laag gebouw LG
Wanden tussen compartimenten	120	60	60 (> 1 bouwlaag)
Structurele elementen, trappenhuizen	120	60 boven EI 210 onder EI	60 (>1 bouwlaag)
Dak	120	60	30
Gevel	60	60	
Wanden tussen aanpalende gebouwen	240	120	60
Technisch lokaal	120	60	60
Transformatorlokalen	120	120	60
Collectieve keukens, lokaal voor opvang van huisvuil	120	60	60
Stookafdelingen en bijhorigheden	120	120	
Wand die een zaal begrenst (>500 personen)	120	60	60
Wand tussen winkel- en handelscomplex en de rest van het gebouw	120	60	60
Wanden van archiefruimten	60	60	60
Verticale binnenwanden van lokalen die 's nachts worden gebruikt	60	60	

KB van 7 juli 1994

EI = Het laagste evacuatie niveau

4.12.5 Bouwtechnische principes

Voor brandwanden worden drie bouwtechnische principes toegepast:

- 1. De vrijstaande wand.** Dit is een stevige, stabiele wandconstructie uit cellenbeton, die aan beide zijden geheel onafhankelijk is van het gebouw. Het maakt bij een dergelijke constructie niet uit aan welke zijde van de wand er brand ontstaat. De constructie is zodanig ontworpen dat aan elke brand relatief lang kan worden weerstaan.
- 2. De gekoppelde wand.** Hier wordt de cellenbetonwand (wandplaten) verankerd aan de draagstructuur van het gebouw. Die verankering kan op tal van manieren worden uitgevoerd, zoals verder zal blijken (dubbele muren, enkele muur, staalstructuur, betonstructuur, enz.). In industriële gebouwen wordt deze toepassing het meest gebruikt om brandwerende wanden te bouwen.
- 3. De homogene constructie.** Het volledig gebouw wordt in cellenbeton uitgevoerd, met inbegrip van de draagstructuur. Dit systeem wordt toegepast voor eengezinswoningen, appartementen, alsook voor niet-industriële gebouwen (kantoren, garages, klein-handelszaken, enz.).

4.12.5.1 Combinatie cellenbetonmuur / staalstructuur

In België wordt voor draagconstructies vaak staal

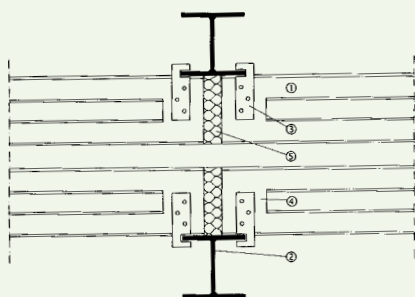
gebruikt. Dat is ongetwijfeld te wijten aan de interessante kostprijs. Constructief gezien is staal een uitstekend bouw materiaal. Vanuit brandtechnisch oogpunt zijn er evenwel een aantal bezwaren aan verbonden: het belangrijkste minpunt is dat staal verweekt bij een stijgende temperatuur. Bij belaste draagconstructies ontstaat reeds bij een temperatuur van circa 400°C een kritieke toestand. Bij 600°C heeft de structuur slechts 40% van de oorspronkelijke sterkte. Zulke temperaturen worden bij een brand van enige betekenis al snel bereikt, en doorgaans stijgt de temperatuur tot niveaus tussen 800 en 1200°C. Omdat verweking leidt tot het zogenaamd 'zigen' van de staalconstructie (in het begin langzaam, maar naarmate de temperatuur stijgt versneld ineenzakken van de staalconstructie) komt de aan een staalconstructie verankerde brandwand in gevaar. Immers, door het zigen kan de wand worden meegesleurd en zelfs instorten. Eerst stort het dak in, en vervolgens het volledig gebouw. Daardoor kan de brand naar de andere compartimenten overslaan.

Cellenbetonfabrikanten hebben verschillende systemen uitgewerkt om dit scenario te voorkomen:

a) Men kan twee vrijstaande brandwerende wanden bouwen, die elk aan een eigen stalen draagstructuur zijn vastgemaakt. Wanneer het gebouw door brand instort, kan het vuur niet overslaan naar het naburige gebouw, aangezien dit een vrijstaande structuur heeft die volkomen intact en zodoende brandveilig blijft.

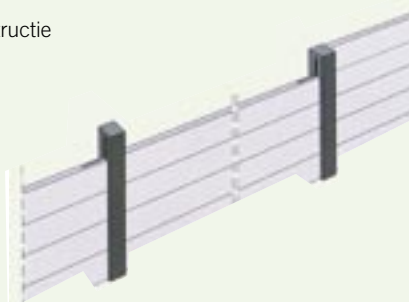
b) Men kan een brandwerende wand bouwen die door middel van smeltankers aan de staalconstructie wordt bevestigd. Bijzonder aan deze brandwandankers is dat ze smelten zodra een bepaalde temperatuur wordt bereikt. Als de staalstructuur begint te vervormen door de brand komen de smeltankers los van de structuur waar de brand gesitueerd is. Hierdoor wordt de brandwerende wand niet meegeleurd door de draagstructuur, maar blijft deze vast aan de staalstructuur van de andere kant.

Brandwand met dubbele muur

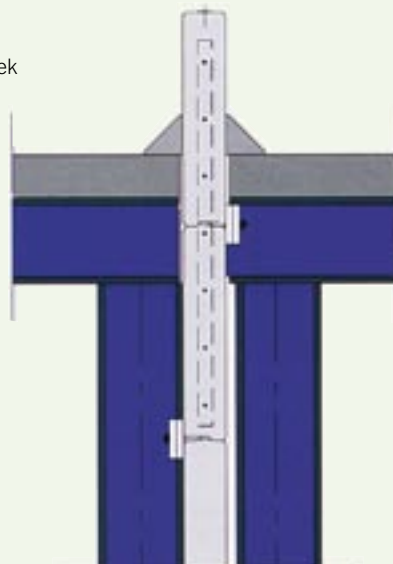


Brandwand met smeltankers

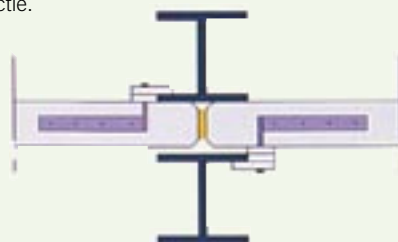
Staalconstructie

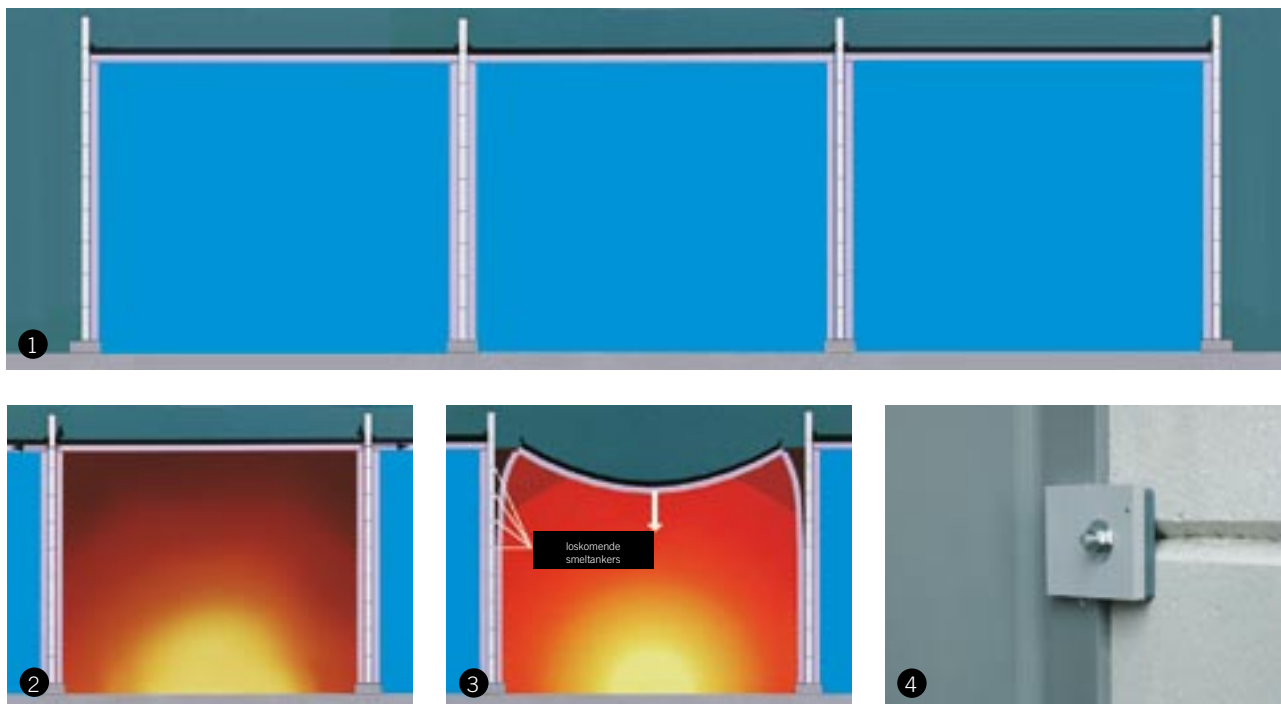


Dakoversteek



Bevestiging aan de kolommen:
Brandwand gecombineerd met een dubbele staalconstructie.





Principe van brandwand met smeltankers.

① De meest efficiënte maatregel vanuit brandpreventief oogpunt bestaat erin het industriegebouw te compartimenteren in meerdere ruimten die door brandwanden worden gescheiden.

Zo voorkomt men dat de brand zich in het hele industriegebouw uitbreidt, met alle economische gevolgen hiervan. Eventuele schade blijft beperkt tot het compartiment waar de brand is ontstaan.

Zoals blijkt uit de bovenstaande figuur, kan men een industriegebouw bijvoorbeeld in drie compartimenten verdelen door middel van twee brandwanden.

② De compartimenten worden gescheiden door middel van brandwanden die voorkomen dat de brand naar andere delen van het gebouw overslaat.

In het gebruikte systeem krijgt men een staalstructuur per compartiment met brandwanden uit cellenbeton die aan weerszijden aan de kolommen van de constructie vastgemaakt zijn.

De brandwanden zijn uitgevoerd in cellenbeton van 15 of 20 cm en hebben een brandwerendheid van de hoogste klasse, namelijk EI 360.

De wandplaten moeten beurtelings aan beide draagstructuren worden vastgemaakt door middel van smeltankers.

③ Wanneer brand ontstaat in een compartiment, smelten de brandwandankers aan de brandzijde bij een temperatuur van 168 °C. Hierdoor komen de kolommen aan de brandzijde los van de brandwand. Gezien de uitstekende thermische isolatie van cellenbeton zal de temperatuur aan de andere kant van de muur nauwelijks toenemen en blijven de brandwandankers aan de niet-brandzijde intact. De brandwand uit cellenbeton blijft verankerd aan de staalstructuur aan de andere kant van de brand.

Wanneer de staalstructuur aan de brandzijde instort, is deze niet meer verbonden aan de cellenbetonmuur. Dit betekent dat de muur blijft rechtstaan. De cellenbetonmuur blijft verankerd aan de staalstructuur van de andere hal, en beschermt deze tegen het vuur.

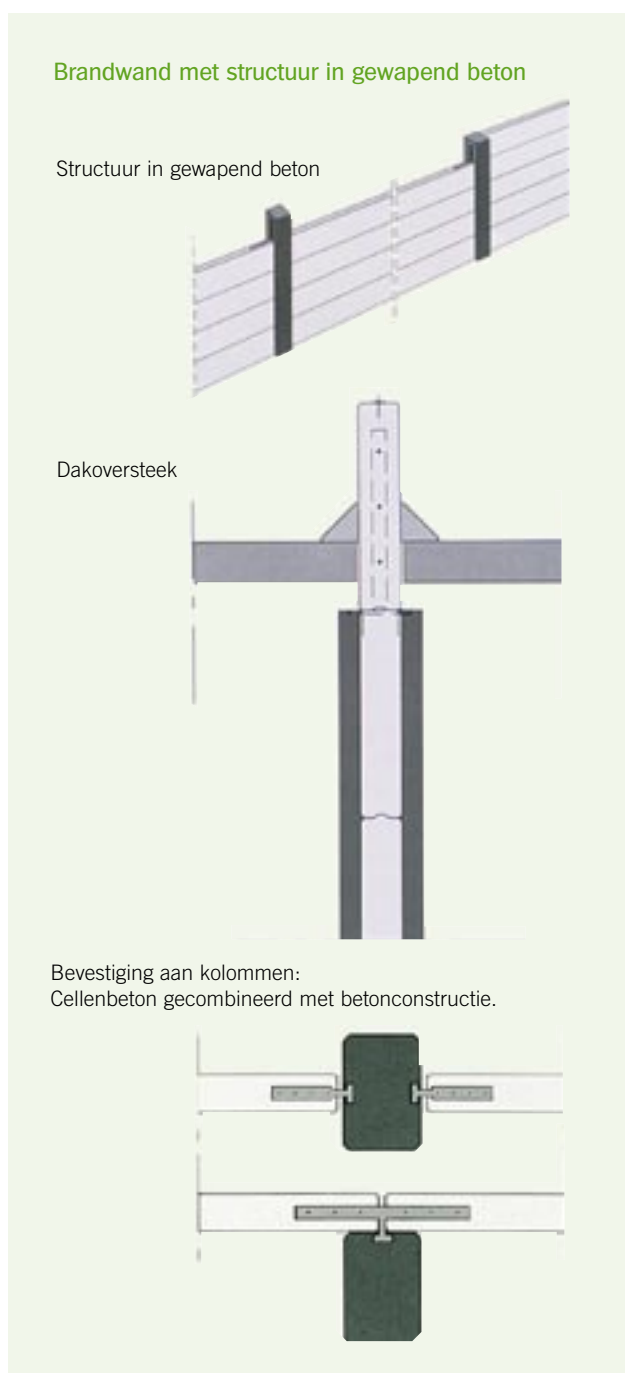
④ Detail van het smeltanker.

De brandwand is door middel van smeltankers aan de stalen kolommen vastgemaakt.

Deze ankers zijn beurtelings vastgemaakt aan de stalen kolommen aan weerszijden van de brandwand.

4.12.5.2 Combinatie cellenbetonmuur / structuur in gewapend beton

Ook in dit geval wordt de brandwerendheid van de muur grotendeels bepaald door de kolommen en liggers uit beton. Hierbij vervult de betondekking van de wapening van de kolommen en liggers een belangrijke rol. Op dit ogenblik wordt veelvuldig gebruik gemaakt van H-vormige betonnen kolommen waarin cellenbeton wandplaten worden ingeklemd.



4.12.5.3 Brandwerende voegen

Om de vlam- en rookdichtheid te waarborgen, wordt op de horizontale voegen van de muurplaten lijm-mortel voor cellenbeton aangebracht (geen Comtriband).

De stootvoegen tussen cellenbetonplaten moeten speciaal afgekit worden. Eerst worden ze gevuld met minerale wol (dichtheid: 30 kg/m³; initiële dikte: 50 mm) die zorgvuldig wordt aangedrukt. Vervolgens worden ze volledig afgesloten door middel van een soepele brandwerende voegmassa van minstens 20 mm dik. Deze bouwwijze levert een brandwerendheid op van EI 240.

4.12.5.4 Concreet voorbeeld

In de nacht van zondag 5 januari 1997 ontstond brand in een expeditiebedrijf. Oorzaak was een kortsluiting in een van de vorkheftrucks in het magazijn. Het gebouw waar de reisbrochures waren opgeslagen, ging in een mum van tijd in de vlammen op. De brandweer was snel ter plaatse maar kon pas na één uur de bluswerkzaamheden aanvatten. Dat kwam doordat het buiten hard vroom (-15 °C), zodat het water moeilijk door de brandslangen kon stromen. Dankzij de brandwerende constructie bleef de schade echter beperkt: het magazijn was in twee compartimenten gescheiden door een brandwerende wand uit cellenbeton met smeltankers.

Hierdoor kon de brand niet overslaan naar de andere delen van het gebouw. Tijdens de brand doorstond de brandwerende wand van cellenbeton de praktijkproef gedurende 120 uur. Toch was er vrijwel geen beginnen aan om de grote balen papier te blussen. Er restte de brandweer alleen nog de buitenlaag nat te spuiten, weg te nemen en de volgende laag te blussen, tot de volledige voorraad papier gedooft was – een tijdrovende taak die vijf dagen zou duren. Inmiddels draaide het bedrijf echter weer op volle toeren. Twee dagen na de brand was het kantoorpersoneel opnieuw op post, aan de intact gebleven zijde van de brandwerende wand. Zes weken later bereikte de onderneming weer de normale kruissnelheid. De schade bleef relatief beperkt dankzij de hoge brandwerendheid van de brandwand uit cellenbeton met smeltankers. Het vernielde gedeelte werd in een mum van tijd heropgebouwd zonder buitensporige kosten. Niet voor niets is de brandwerendheid van cellenbeton een belangrijk argument voor de verzekeringsmaatschappijen, dat zij belonen met een minder hoge premie.





5. Producteigenschappen

5.1 Blokken en lateien

5.1.1 Blokken

Cellenbetonblokken behoren tot de categorie van zeer lichte en extra lichte betonsoorten, volgens de norm NBN B 21-002: Metselstenen – Specificaties voor geautoclaveerde cellenbetonmetselstenen.

(zie par. 4.2)

Deze blokken worden gebruikt voor dragende en niet-dragende binnen- en buitenmuren. Ze vinden toepassing in de meeste soorten constructies: eengezinswoningen, appartementen, kantoren, garages, winkels, ziekenhuizen, agrarische gebouwen, industriële gebouwen, brandwanden enzovoort. De blokken kunnen worden gemetseld of gelijmd.



5. PRODUCTEIGENSCHAPPEN

Hierna volgen de belangrijkste technische gegevens van cellenbetonblokken.

TECHNISCHE GEGEVENS VAN CELLENBETONBLOKKEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> Lengte (in mm) Hoogte (in mm) Dikte (in mm) Toegestane maatafwijking De meeste blokken worden geleverd met tand en groef 	600 250 50-70-100-150-175-200- 240-300-365 max. 2 mm	1,4 tot 6,6 blokken per m ² . Bepaalde gegevens zijn merk-afhankelijk, zie de documentatie van de fabrikant.

2. Klassering volgens de norm NBN B 21-002

Type	Klasse	Maatstaven voor volumemassa	Maatstaven voor druksterkte	Opmerkingen
C2/400	ρ 0,4	$200 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 400 \text{ kg/m}^3$	$f_{bk} \geq 2 \text{ N/mm}^2$	Alle in België verkochte cellenbetonproducten vallen in één van deze klassen en voldoen aan de bijbehorende maatstaven.
C3/450	ρ 0,5	$400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 450 \text{ kg/m}^3$	$f_{bk} \geq 3 \text{ N/mm}^2$	
C4/550	ρ 0,6	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 550 \text{ kg/m}^3$	$f_{bk} \geq 4 \text{ N/mm}^2$	
C5/650	ρ 0,7	$600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho < 650 \text{ kg/m}^3$	$f_{bk} \geq 5 \text{ N/mm}^2$	

3. Verwerking

Mortelsoort	Richtlijnen	Opmerkingen
Lijmmortel	<ul style="list-style-type: none"> Bereiding: 1 zak lijm mortel van 25 kg. 5 tot 7 l water Voegen van 2 tot 3 mm 	1 zak lijm mortel van 25 kg is voldoende voor 1,5 m ³ metselwerk (alleen de door de blokkenfabrikant geleverde lijm mortel gebruiken)
Cementmortel	Hiervoor moet een watervasthoudend middel worden toegevoegd. Cementmortel wordt gebruikt om de eerste rij blokken te plaatsen. In bijzondere gevallen kan het metselwerk volledig in cementmortel met dikke voegen (± 10 mm) worden uitgevoerd.	Deze plaatsingswijze is veel minder efficiënt in termen van: <ul style="list-style-type: none"> - verwerkingssnelheid - druksterkte - thermische isolatie - vochtinbreng

4. Thermische waarden van gelijmd blokkenmetselwerk (evenwichtsvochtgehalte)

Wandtype	Dikte cellenbeton in mm	Type	U-waarde* (W/m ² K)	Opmerkingen
Massieve muur met buiten- en binnenpleister	200	C2/400	0,49	Massieve muren zijn het voordeligst vanuit thermisch- en kostenpunt
	240	C2/400	0,42	
	300	C2/400	0,34	
Dubbele muur met gevelsteen van 90 mm, spouw en binnenpleister	175	C2/400	0,51	Als het binnenspouwblad wordt gemetseld met cementmortel en dikke voegen (± 10 mm), vermindert de U-waarde met 20%
	200	C2/400	0,46	
	240	C2/400	0,39	
	300	C2/400	0,32	

* Merkfankelijke U-waarden voor cellenbeton dienen bij de respectievelijke fabrikanten te worden opgevraagd.

5.1.2 Lateien

Door lateien in cellenbeton te gebruiken bekomt men een homogene constructie en eenzelfde ondergrond voor de afwerkingslaag. De lateien worden tegelijk met de blokken geleverd. Het lichte gewicht maakt ze makkelijk verwerkbaar.

De wapeningen worden zodanig gedimensioneerd en aangebracht dat de latei aanzienlijke belastingen kan opnemen (zie voor meer bijzonderheden de technische gegevens en de documentatie van de fabrikant).

Bij de verwerking dient u rekening te houden met de plaatsingsrichting die door de fabrikant op de latei is aangegeven. Ook mogen de lateien in geen geval worden ingekort.

Aangezien deze producten uit dezelfde bestanddelen als de blokken zijn samengesteld, hebben ze soortgelijke warmte-isolerende eigenschappen. Hierdoor ontstaan geen koudebruggen.



TECHNISCHE GEGEVENS VAN LATEIEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> Lengte (in mm) Hoogte (in mm) Dikte (in mm) 	1250 - 1500 - 2000 - 2500 - 3000 250 100 - 150 - 175 - 200 - 240 - 300 - 365	Op verzoek zijn andere lengten verkrijgbaar

2. Belasting

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> maximaal toelaatbare belasting voor dragende lateien 	10 - 18 kN/lm	Varieert afhankelijk van de spanwijdte. Raadpleeg de documentatie van de fabrikant. Voor grotere spanwijdtes of belastingen zijn andere producten (in U-vorm) verkrijgbaar. Houd rekening met de plaatsingsrichting die op de latei is aangegeven (de fabrikant raadplegen).

3. Oplegging

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
	min. 200 mm aan weerszijden	

4. Thermische waarden

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
	Komen grotendeels overeen met die van de blokken.	Voor de realisatie van homogene wandconstructies zonder koudebrug.

5.2 Gewapende elementen

5.2.1 Wandplaten

De wandplaten worden doorgaans gebruikt in combinatie met een beton-, staal- of houtskelet. De wandplaten worden horizontaal of verticaal geplaatst, vóór of tussen de kolommen. De platen zijn vrijdragend en kunnen op elkaar worden geplaatst tot de gebruikelijke hoogte in industriebouw.

Bepaalde elementen kunnen worden versterkt om uitzonderlijke belastingen op te nemen (bijvoorbeeld vensterbanken, lateien, frontons, aardappelsilo's...).

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste eigenschappen van gewapende wandplaten.



TECHNISCHE GEGEVENS VAN DE WANDPLATEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> Lengte: - standaard (in mm) - bijzondere uitvoering (in mm) Breedte (in mm) Dikte (in mm) 	tot 6000 tot 7500 600 en 750 150 - 200 - 240 - 300	De gewapende elementen worden gefabriceerd op basis van opmetingen en plannen die aan de fabrikant worden bezorgd. Andere diktes zijn leverbaar op aanvraag.

2. Thermische waarden: praktische U-waarden in W/m²K

Dikte (in mm)	Klasse	U-waarde (W/m ² k)*	Opmerkingen
150	CC4/600	0,90	U-waarden voor een evenwichtsvochtgehalte. De muren dienen tegen weer en wind te worden beschermd: industriebouw: verf woningbouw: buitenpleister
200	CC3/500	0,59	
240	CC3/500	0,50	
300	CC3/500	0,40	

3. Brandwerendheid

Kenmerken	Brandweerstand	Opmerkingen
Overeenkomstig de normen NBN 713-020 en ISO 834.	Vanaf een dikte van 150 mm: EI 360 minutes	Gewaarborgd brandveilig voor zover de draagconstructie dezelfde brandwerendheid heeft.

4. Verwerking

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> horizontale plaatsing verticale plaatsing 		Zie de gedetailleerde documentatie van de fabrikant.

* Merkfankelijke U-waarden voor cellenbeton dienen bij de respectievelijke fabrikanten te worden opgevraagd.

5.2.2 Dakplaten

De dakplaten worden geplaatst op dragend metselwerk, op een beton-, staal- of houtskelet. Ze zijn vrijdragend, thermisch goed isolerend en nemen de belastingen op. Dakplaten kunnen ook deel uitmaken van het windverband van het skelet.



TECHNISCHE GEGEVENS VAN DE DAKPLATEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> Lengte (mm): - standaard - bijzondere uitvoering Breedte (in mm) Dikte (in mm) 	tot 6000 tot 7500 600 en 750 100 - 150 - 200 - 240 - 300	

2. Maximaal toelaatbare belasting

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> standaard op aanvraag 	1150 N/m ² hoger	Bijvoorbeeld voor grindbelasting

3. Maximaal toelaatbare doorbuiging

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
	1/300 in belaste toestand en onder eigen gewicht	

4. Thermische U-waarden in (W/m²K)

Dikte in mm	Type cellenbeton	U-waarden (Wm ² K)*	Opmerkingen
100	CC4/600	1,26	Waarden voor een evenwichtsvochtgehalte.
150	CC4/600	0,90	
200	CC3/500	0,59	
240	CC3/500	0,50	
300	CC3/500	0,40	

* Merkfankelijke U-waarden voor cellenbeton dienen bij de respectievelijke fabrikanten te worden opgevraagd.

5. Brandwerendheid

Kenmerken	Opmerkingen
	REI 30 tot REI 180 minuten afhankelijk van de betondekking van de hoofdwapening zie par. 4.12.2

6. Verwerking:

Kenmerken	Opmerkingen
Horizontale of hellende plaatsing	Zie de gedetailleerde documentatie van de fabrikant Dakplaten kunnen gebruikt worden als windverband van de constructie.

5.2.3 Vloerplaten

De vloerplaten zijn qua uitvoering identiek aan de dakplaten, met dit verschil dat de wapening wordt gedimensioneerd om hogere belastingen op te nemen.



TECHNISCHE GEGEVENS VAN DE VLOERPLATEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none"> Lengte (in mm) Breedte (in mm) Dikte (in mm) 	Bepikt afhankelijk van de maximaal vereiste belasting en doorbuiging 600 200-240-300	Raadpleeg de fabrikanten

2. Belasting

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
	Te bepalen door de opdrachtgever	

3. Maximaal toelaatbare doorbuiging

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
	1/500 v/d overspanning in belaste toestand	

4. Thermische U- waarden in (Wm²K)

Dikte (in mm)	Type cellenbeton	U-waarden (Wm ² K)*	
200	CC4/600	0,68	Waarden voor een evenwichtsvochtgehalte.
240	CC4/600	0,58	
300	CC4/600	0,48	

* Merkfankelijke U-waarden voor cellenbeton dienen bij de respectievelijke fabrikanten te worden opgevraagd.

5. Brandwerendheid

Kenmerken	Opmerkingen
	Zie par. 4.12.2 (idem als voor de dakplaten)

6. Verwerking

Kenmerken	Opmerkingen
	Zie de gedetailleerde documentatie van de fabrikant.

5.2.4 Scheidingswanden

Deze verdiepinghoge scheidingswandpanelen zijn 70 en 100 mm dik, en worden met name gebruikt voor het uitvoeren van niet-dragende scheidingswanden in appartementen, kantoren, rusthuizen...

Dit bouwsysteem biedt de volgende voordelen:

- **snelle plaatsing**
- **dunnere, dus goedkopere afwerking**
- **uitzonderlijke brandwerendheid**
Dikte 70 mm - EI 180 minuten
Dikte 100 mm - EI 180 minuten



TECHNISCHE GEGEVENS VAN DE SCHEIDINGSWANDEN

1. Afmetingen

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none">• Lengte (in mm)• Breedte (in mm)• Dikte (in mm)	Verdiepingshoogte 600 70-100	Op maat vervaardigd volgens plan

2. Brandwerendheid

Kenmerken	Brandweerstand	Opmerkingen
<ul style="list-style-type: none">• Dikte (in mm)	70 → EI 180 100 → EI 180	Waarden ruimschoots boven de gebruikelijke eisen

3. Verwerking

Kenmerken	Waarden	Opmerkingen
Verticale plaatsing	Zie de gedetailleerde documentatie van de fabrikant	Zeer hoge verwerkingssnelheid



6. Toepassingsgebied

6.1 Blokken en lateien

Deze bouwelementen worden gebruikt voor dragende en niet-dragende muren in alle types van gebouwen. De blokken worden niet met gewone mortel maar met lijm mortel geplaatst, met dunne voegen van ± 2 mm. Dit verbetert de prestaties van de muren in termen van:

- verwerkingsnelheid (bereiden van 15l lijm mortel/ m³, transporteren en plaatsen)
- dunnere, dus goedkopere afwerking
- grotere druksterkte (+15%)
- betere thermische isolatie (+20%)
- efficiënter gedrag bij brand (rook- en vlamdichtheid).

Het gebruik van lateien in cellenbeton maakt het metselwerk homogener (blokken en lateien uit hetzelfde materiaal), verhindert koudebruggen en thermische spanningen te wijten aan het gebruik van verschillende bouwstoffen.

Bij de fabrikant kunnen de verwerkingsinstructies worden opgevraagd waarin nadere bijzonderheden zijn vermeld. Op aanvraag ontvangt u een exemplaar van deze brochures.

6.2 Gewapende elementen

6.2.1 Wandplaten

De wandplaten worden horizontaal of verticaal geplaatst. Ze worden gebruikt voor het realiseren van:

- muren die tegen een beton-, staal- of houtskelet worden geplaatst in industrie- of bedrijfsgebouwen.
- dragende muren voor de realisatie van kantoren en woningen tot drie verdiepingen hoog. In dit geval worden ze altijd verticaal geplaatst, volgens een systeem erkend door BUtgb.
- brandwanden, compartimentering (zie par. 4.12).

Muren in cellenbetonplaten zijn:

- voordelig en makkelijk te plaatsen;
- thermisch zeer goed isolerend, en verbeteren ook het thermisch comfort in de zomer;
- brandwerend;
- geluidsabsorberend.

6.2.2 Dakplaten

Deze platen kunnen gebruikt worden in alle gebouwen met een plat of een schuin dak. Ze worden hoofdzakelijk aangewend in grote constructies, zoals grootwarenhuizen, fabrieken, loodsen, supermarkten, garages, appartementsgebouwen, rijwoningen, enzovoort. Ze kunnen ook gebruikt worden in de eengezinswoningen, die zich daartoe lenen.

Cellenbetondaken:

- vormen het windverband in het dak van industriële gebouwen;
- kunnen hogere belastingen dragen (grind – groene daken);
- zijn thermisch zeer goed isolerend;
- verhogen het thermisch comfort in de zomer dankzij de thermische inertie van de cellenbeton (demping en faseverschuiving...). Zie par. 4.10.7;
- zorgen voor een akoestisch comfort dankzij hun goed geluidsabsorberend vermogen.

6.2.3 Vloerplaten

Vloerplaten worden gebruikt voor het maken van vloeren van het type P, zoals omschreven in de norm NBN 539. Dit vloertype bestaat uit naast elkaar liggende platen op twee oplegpunten, met voegvulling. Afhankelijk van de gebruiksbestemming, de thermische isolatie of het gewicht, vinden cellenbetonvloerplaten toepassing als:

- isolerende vloeren boven een kruipruimte
- isolerende keldervloeren
- zoldervloeren
- lichte vloeren voor gebouwen met vrijstaand beton- of staalskelet
- vloeren geïntegreerd in een woningsysteem.

6.2.4 Scheidingswandplaten

Verdiepinghoge scheidingswandplaten zijn perfect geschikt voor niet-dragende muren in grote constructies, zoals kantorencomplexen, ziekenhuizen, rust- en verzorgingstehuizen, scholen, hotels, magazijnen, enzovoort. Ze worden ook gebruikt voor woningen die volledig in gewapende elementen zijn uitgevoerd (woningbouw).

Scheidingswanden:

- zijn snel te plaatsen en vormen een voordelig compartimenteringssysteem;
- bieden voortreffelijk weerstand tegen brand:
 - dikte 70 mm: 180 minuten
 - dikte 100 mm: 180 minuten
- zijn voldoende vlak zodat een dunne oppervlakafwerking (binnenpleister) volstaat.







7. Afwerking van cellenbeton

7.1 Afwerking van cellenbetonblokken

Buitenmuren in cellenbetonmetselwerk moeten tegen de weersomstandigheden worden beschermd. Hierdoor worden de uitstekende isolerende eigenschappen van het materiaal onder alle weersinvloeden behouden en krijgt de muur tevens een esthetisch aantrekkelijk uitzicht. Cellenbetonmetselwerk dient ook beschermd tegen opstijgend vocht en tegen ieder rechtstreeks contact met de grond.

Als buitenafwerking kan gekozen worden voor een gevelsteen, een buitenpleister (crépi) of voor een bekleding met leien, planchetten of een beplating (metaal, kunststof of natuursteen).

Als binnenafwerking wordt bij woningen meestal een binnenpleister aangebracht, bij industriegebouwen volstaat meestal een verflaag.

Voor het aanbrengen van elke afwerklaag gelden, behalve de hierna gegeven aanbevelingen, natuurlijk altijd ook de regels van goed vakmanschap.

Bemerking:

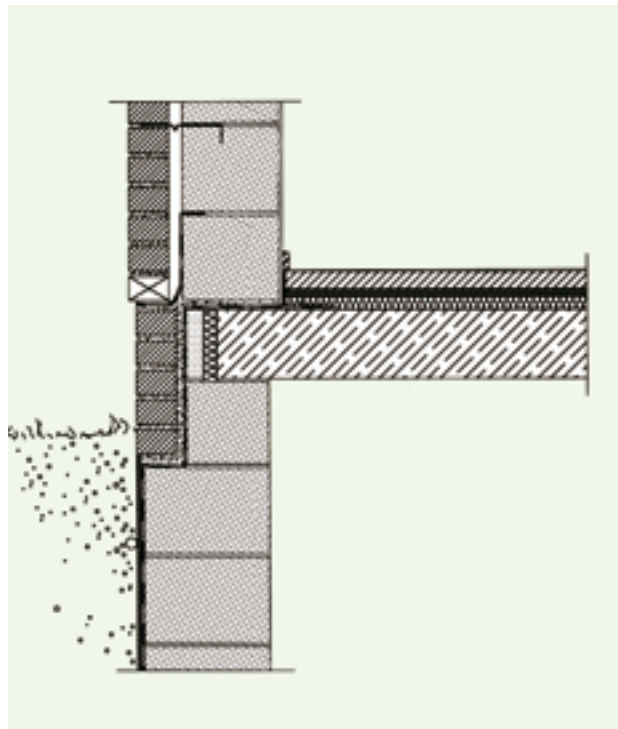
Het is belangrijk dat bij de verwerking van de blokken de lijm mortel gebruikt wordt geleverd door de fabrikant van de blokken. Daardoor heeft men de garantie dat deze 100% afgestemd is op de blokken. Bij gebruik van lijm mortels van een ander fabrikaat is het mogelijk dat onder invloed van vocht en/of vorst de voegen zich achteraf aftekenen in de buiten- en binnenpleister.

Het dichtsmen met lijm mortel van de voegen aan de buiten- of binnenzijde is uit den boze. Hierdoor bekomt de pleister een andere zuigkracht ter plaatse van de voeg dan op de blok en de voegband zal zich blijvend aftekenen in de pleister.

7.1.1 Gevelsteen - spouwmuur

Het bouwen met spouwmuren behoort tot de traditie in België en gans noordwest Europa.

Spouwmuren zijn op bouwfysisch gebied, een ideale bouwwijze voor gebieden met overvloedige slagregens. Bij spouwmuren wordt de muur ont dubbeld in een buitenblad dat de regendichtheid verzekert en een binnenblad dat de dragende functie van de muur vervult. Beide zijn gescheiden door een spouw, minstens 4 cm breed, om het water dat door de gevelsteen doorslaat, ongehinderd te kunnen laten aflopen en onderaan te laten afvoeren langs de open stootvoegen in het gevelmetselwerk.



Het is dan ook uiterst belangrijk dat deze spouw open blijft en licht verlucht wordt door open stootvoegen.

Met het binnenspouwblad in cellenbeton, kan aan de eis K 45 worden voldaan zonder een bijkomende isolatie te moeten voorzien in de spouw. Hierdoor blijft de spouw vrij en behoudt dus de essentie voor zijn functie.

Voor de verbinding van de gevelsteen met het binnenspouwblad worden gegalvaniseerde spouwhaken met anti drup voorzien à ratio van 5 stuks per m². Voor gelijkmd metselwerk volstaat het één uiteinde van de spouwhaak 90° om te buigen en in de cellenbetonblok in te slaan.

7.1.2 Buitenpleister op cellenbetonblokken

Algemeen:

Buitenpleisters zijn blootgesteld aan de invloeden van het buitenklimaat nl. neerslag, wind, hoge en lage temperaturen (bezonning, vorst) en grote temperatuurschommelingen (plotse afkoeling, zon/schaduw op een gevelvlak...). De spanningen die hierdoor ontstaan moet de buitenpleister kunnen opnemen en dit in zijn relatief dunne dikte (ca. 10 mm).

Daarom moet men zich bij de keuze van de buitenpleister niet enkel laten leiden door de kleur of het uitzicht,

maar in de eerste plaats door de fysische eigenschappen ervan. Het is van groot belang dat deze optimaal afgestemd zijn op de ondergrond van cellenbeton. Daarom is het ten zeerste aangeraden te werken met buitenpleisters (crépi's) die zijn aanbevolen door de fabrikant van de cellenbetonblokken.

Eigenschappen van de buitenpleister:

Niet alle crépi's zijn geschikt voor toepassing op cellenbetonmetselwerk. Het is niet zo dat omdat een crépi op een bepaalde ondergrond goed hecht hij ook geschikt is voor die ondergrond. Niets is minder waar. Crépi's die geschikt zijn voor beton- of baksteenmetselwerk zijn daarom nog niet geschikt voor cellenbeton.

Behalve zijn hechtvermogen en het esthetisch aspect moet **een pleister ook nog aan andere fysische eisen voldoen** :

1. Hij moet regendicht maar ook ademend (dampopen) zijn.
2. Zijn mechanische en bouwfysische karakteristieken moeten overeenstemmen met deze van de ondergrond waarop hij wordt aangebracht (druksterkte, E-module, λ -waarde, warmte-uitzettingscoëfficiënt, μ -waarde, enz...).
Iedere ondergrond heeft een bepaald fysisch gedrag (uitzetting, dilatatie, enz...) en de pleister moet deze kunnen volgen. Daarom is het belangrijk dat de karakteristieken van de pleister en de ondergrond ongeveer gelijk zijn.
Bij de opbouw van een muur met pleisters geldt als algemene regel dat de verschillende materialen van binnen naar buiten altijd meer elastisch, meer dampopen en minder drukvast moeten zijn. Hierdoor vermijdt men spanningen in de verschillende lagen van de pleister en in het scheidingsvlak tussen de pleisterlaag en zijn ondergrond.
3. Anderzijds moet men er ook rekening mee houden dat een pleister aangebracht op een cellenbetonmuur thermisch meer belast wordt dan op andere muren. Door zijn groot isolatievermogen is de doorstroming van warmte in een cellenbetonmuur gering. Daardoor moet de buitenpleister met zijn geringe dikte van ca. 10 mm alle "thermische schokken" opvangen (een plotse regenbui op een bezonde gevel, dag/nacht temperatuurschommelingen, schaduw delen op de gevel, enz...). Er ontstaat een duidelijk temperatuurverschil tussen de crépi en de ondergrond en indien deze buitencrépi te hard is (d.w.z. te rijk aan cement) zullen er scheuren optreden. Hierbij wordt dikwijls de ondergrond als oorzaak aangeduid maar in feite is hij niet verantwoordelijk. **Daarom zijn pleisters rijk aan cement niet geschikt voor toepassing op cellenbeton.** Ze zijn te hard en onvoldoende dampdoorlatend.

Buitenpleisters voor cellenbeton moeten voldoen aan de criteria van Künzel (zie par. 4.7.8).

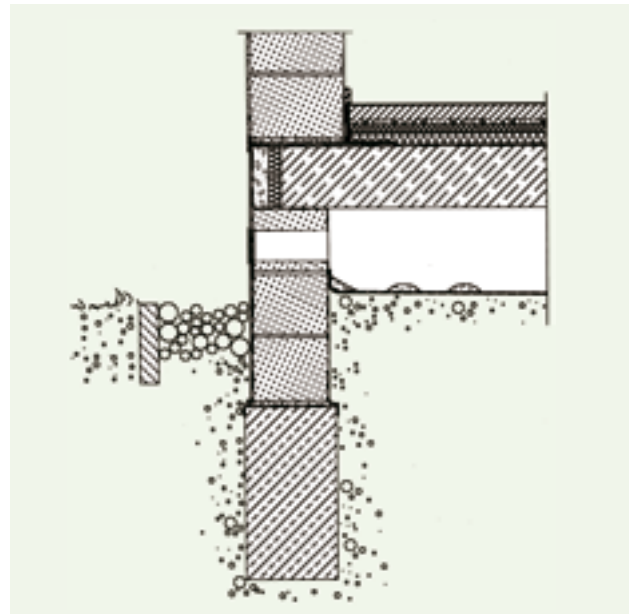
Constructieve uitvoeringsdetails:

Het effen oppervlak van cellenbetonmetselwerk is ideaal voor het aanbrengen van kant-en-klare buitenpleisters. De vereiste minimum dikte van 10 mm dient altijd gerespecteerd en zoals reeds gezegd mogen nooit cementpleisters worden gebruikt op cellenbetonmetselwerk.

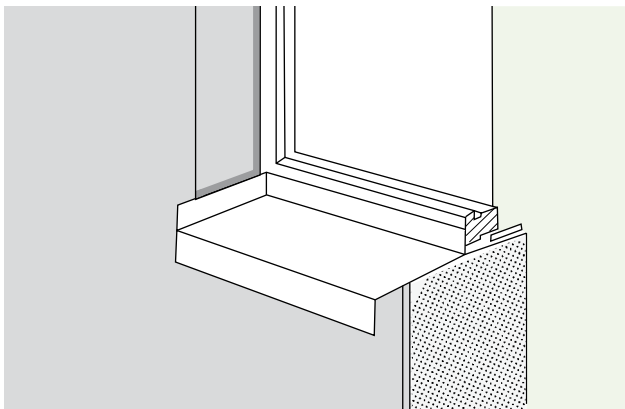
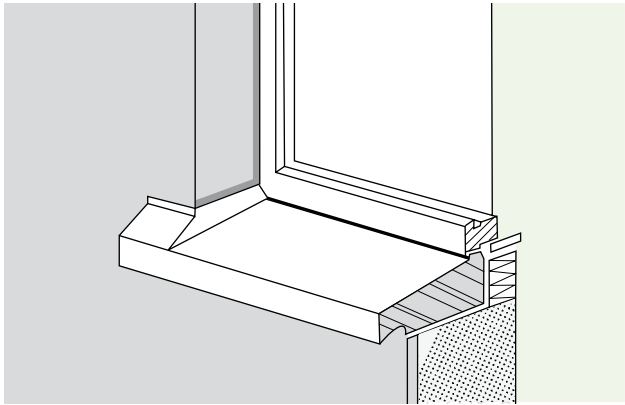
Muren uit cellenbeton bieden het grote voordeel dat alle onderdelen van het metselwerk, lateien, U-balken, ringankers, enz... kunnen worden uitgevoerd in hetzelfde materiaal. Hierdoor bekomt men over het ganse geveloppervlak dezelfde ondergrond met dezelfde zuigkracht waardoor "schaduwplekken" in de crépi worden vermeden.

Voor de goede uitvoering van een crépi gelden de algemene regels van goed vakmanschap, toch wensen wij te wijzen op enkele belangrijke uitvoeringsdetails:

- De buitenpleister mag zeker niet doorgetrokken worden tot aan het maaiveld en moet daarbij nog beschermd worden tegen opspattend vocht. Daarom is het nodig een plint te voorzien van minimum 300 mm hoogte. Deze kan worden uitgevoerd in gevelsteen, in blauwe hardsteen of in een speciale sokkelpleister met aansluiting aan de kelderafdichting.

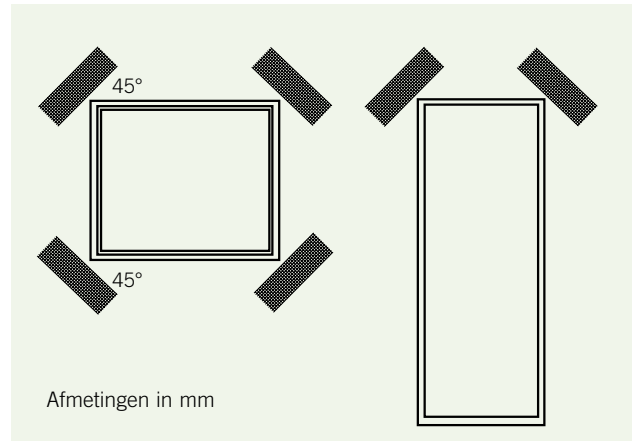
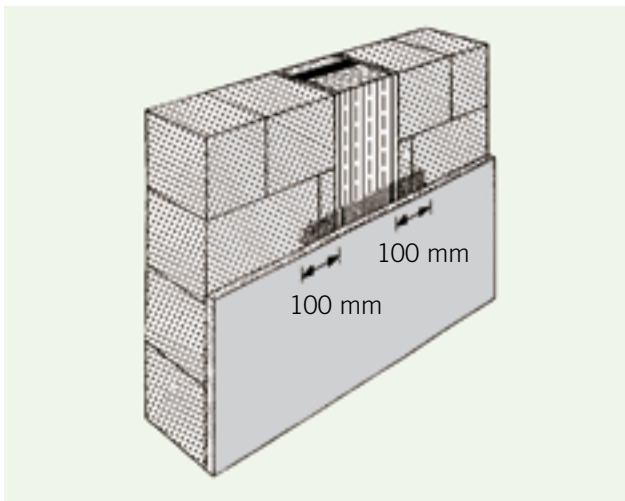


- De vensterdorpels dienen minimum 50 mm voorbij het gevelvlak uit te steken en voorzien zijn van een opstand aan de twee zijanten. De aansluiting van de pleister met de ramen, deuren of de dakrand moet altijd gebeuren door middel van een elastische voeg, ook bij gebruik van een stopprofiel.

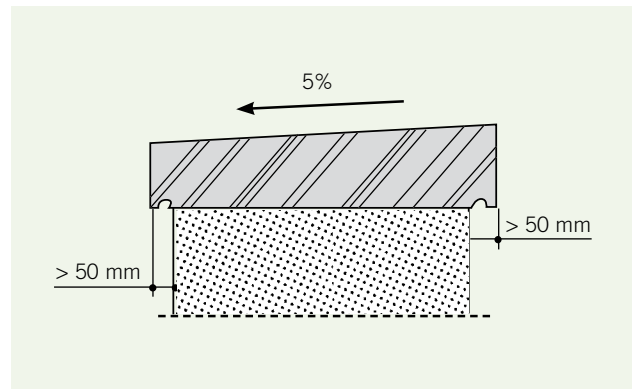


- In zones waar een gevaar voor scheurvorming bestaat zoals de aansluiting met andere materialen (beton, baksteen, enz...), ter plaatse van lateien, betonnen balken of kolommen, vloerplaten... wordt een glasvezel net in de eerste laag van de pleisterspecie ingebed.

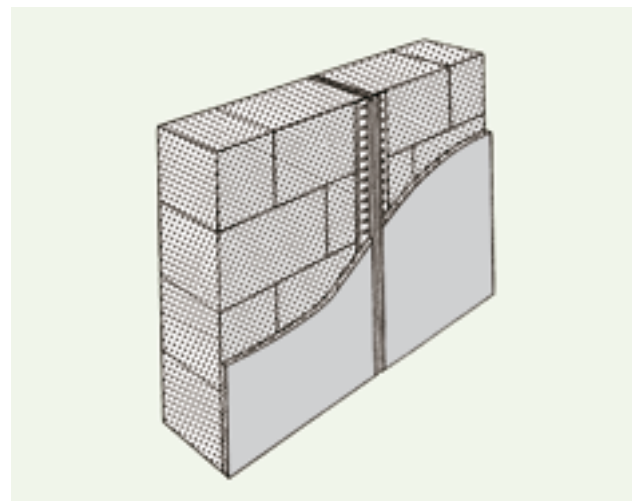
Bij woningen met veel vensters in het gevelvlak is het noodzakelijk om een wapeningsnet te plaatsen over de ganse gevel.



- De bovenzijden van niet-afgedekte muren dienen beschermd met een muurkap (deksteen of metaal) die minstens 50 mm over de muur uitsteekt en voorzien is van een druipgroef aan de onderkant op voldoende afstand van de muur (> 30 mm). De bovenzijde moet hellend zijn (ongeveer 5%) de voegen tussen de dekstenen moeten waterdicht zijn, zoniet moet worden voorkomen dat vocht in de muren binnendringt (waterdicht membraan onder de deksteen).



- Dilatatievoegen in de muren worden doorgetrokken in het pleisterwerk, hiervoor worden speciale uitzettingsprofielen voorzien.



- Aan de hoeken van het gebouw, aan de vensters en de deuren en ook aan de sokkel is het nodig om hoeklijsten of sokkellijsten met een pvc-rand te voorzien.



- Het dichtn van de sleuven van diverse nutsleidingen gebeurt met herstellmortel voor cellenbeton en niet met gewone metselmortel.
- Een goede detaillering moet er voor zorgen dat regenwater niet volgens een preferentiële weg langs de buitenpleister afloopt en aldus plaatselijke erosie en lopers vormt.
- Bij de keuze van de kleur van de buitenpleister zijn donkere tinten (helderheid < 30) te vermijden wegens hun grotere thermische vervormingen ten gevolge van hun sterkere opwarming.
- Hernemingsnaden in de bepleistering blijven vrijwel altijd zichtbaar, daarom dienen deze altijd vooraf gepland. Een volledige gevelzijde wordt in 1 dag afgewerkt, of indien niet mogelijk van dilatatievoeg tot dilatatievoeg. Het is aangeraden heel grote gevelvlakken te onderbreken door horizontale of verticale geaccentueerde voegen.

Buitenpleister voor cellenbeton:

Voor cellenbeton wordt een waterafstotende, damp-open buitenpleister die zich hydraulisch bindt aanbevolen. Deze is geplastificeerd en met vezels versterkt. Ze wordt aangebracht in 2 lagen met een totale dikte van 10 mm. Door zijn korrelsamenstelling kan hij worden gebruikt om zowel een relatief glad als een meer gestructureerd uitzicht te bekomen. De pleister is vanwege zijn samenstelling regendicht zonder verdere beschikking. Deze pleister mag niet worden gebruikt voor de bepleistering van muursokkels.

Verwerking:

De ondergrond moet stof- en vetvrij zijn. Mortel- en lijmresten en losse deeltjes moeten verwijderd worden. Het muurvlak afvegen met een harde borstel. Een primer of grondlaag aanbrengen indien vereist door de fabrikant van de pleister. Bij aanhoudende droogte, hitte of sterke wind, moet de ondergrond vooreerst bevochtigd worden. Bij temperaturen lager dan 5°C mogen er geen pleisterwerken uitgevoerd worden.

Alle hoeken van het gebouw, van de deur- en van de vensteropeningen met hoeklijsten tegen stoten beschermen. Deze geven tevens de dikte aan van de bepleistering. Lijsten gebruiken waarvan de hoekkant beschermd is met PVC. Voor de bevestiging gewoon een laag pleister aanbrengen en dan de hoeklijsten indrukken. De sokkellijsten bevestigen met gegalvaniseerde nagels.

Daarna kan de eerste laag van de pleister worden aangebracht. De dikte van de pleister komt overeen met de dikte van de hoek- en de sokkellijsten.

De pleister kan manueel worden aangebracht of machinaal gespoten, wel moet in dit geval een spiraal voor lichte pleisters gebruikt worden. Ze wordt aangebracht in 2 lagen met een totale dikte van minstens 10 mm. De eerste laag minstens 7 mm dik aanbrengen en met de rijlat effenen. Na verharding een tweede laag in korrel dikte (ca. 3 mm) met de pleisterspaan aanbrengen. Door horizontaal of verticaal te wrijven met een strijkspaan bekomt men de gewenste oppervlaktestructuur.

Op de plaatsen waar gevaar voor scheurvorming bestaat (bijv. aansluiting met andere materialen of ter plaatse van de opleg van betonnen lateien) een glasvezel net in de eerste laag inwerken.

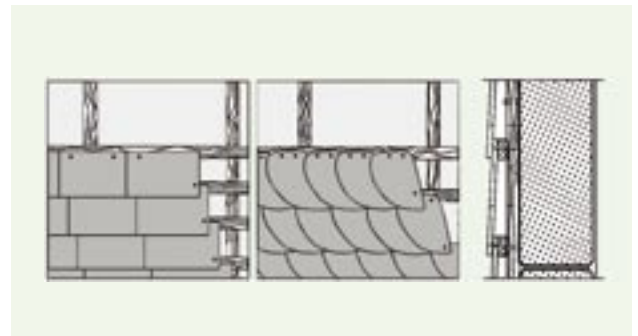


7.1.3 Beplating aan de buitenzijde

Een andere vorm van afwerking is de cellenbetonmuur te bekleden met leien, planchetten, metaalplaten, kunststofplaten of dergelijke.

Belangrijk is dat het materiaal regendicht en vorstvast is, en aangebracht wordt op een regelwerk (hout of staal) dat bevestigd is op de cellenbetonmuur. De spouw tussen het bekledingsmateriaal en de muur moet verlucht blijven.

Het aanbrengen van steenstrips rechtstreeks op de cellenbeton is volledig af te raden.



7.1.4 Buitenschilderwerk op cellenbetonblokken

Met een buitenverf op cellenbetonmetselwerk bekommt men geen absolute slagregendichtheid. Dit is bijgevolg af te raden.

Ook een behandeling met een waterwerend impregneermiddel (hydrofuge) is evenmin een blijvende oplossing. Deze producten breken af onder de U.V.-straling en gezien deze kleurloos zijn wordt hun inefficiëntie slechts vastgesteld op het ogenblik dat er schade zichtbaar wordt.

7.1.5 Binnenpleister op cellenbetonblokken

Algemeen:

Als algemene regel geldt dat de binnenpleister slechts mag worden geplaatst nadat de buitenafdichting is aangebracht.

Voor binnenpleisters hoeft men geen rekening te houden met de weersomstandigheden, ze moeten wel "ademend" zijn en de luchtvochtigheid van de kamer doorlaten.

Voor de bepleistering van binnenmuren zijn er diverse éénlagige pleisters beschikbaar die men kan aanbrengen mits het voorzien van een primer en het volgen van de voorschriften van de fabrikant.

Binnenpleister voor cellenbeton:

Speciaal voor cellenbeton bestaan er fijne éénlagige binnenpleisters op de markt waarvan de karakteristieken aangepast zijn aan een ondergrond van cellenbeton. Omdat er kunststof in verwerkt is, is hij zo stevig dat hij, in tegenstelling tot gewone binnenpleisters, dun (5 mm) kan worden aangebracht en onmiddellijk glad gestreken.

Het aanbrengen van een primer is nodig indien vereist door de fabrikant van de pleisters. Gezien deze binnenpleister wordt aangebracht in een dikte van enkel 5 mm, is het vooraf bevochtigen van de ondergrond aangeraden. De sleuven van elektroleidingen en sanitair worden vooraf opgestopt met cellenbeton herstellmortel en overspannen met een glasvezel net.

Op de plaatsen waar gevaar voor scheurvorming bestaat wordt een glasvezel net ingewerkt. Hoeken en kanten worden voorzien van hoekprofielen voor binnenpleister. De pleister wordt in een dikte van ca. 5 mm aangebracht en met een rijlat of groot mes geëffend.

Na het aantrekken wordt, onder voortdurend bevochtigen, de pleisterlaag gepolierd door middel van een strijkspaan bekleed met vilt of schuimrubber.

Deze binnenpleister droogt zeer snel en kan dus spoedig verder worden afgewerkt of nabehandeld.



7.1.6 Binnenschilderwerk op cellenbetonblokken

Alleen verven gebruiken die door de fabrikant uitdrukkelijk worden aanbevolen voor toepassing op cellenbeton. Steeds de verffabrikant de verwerkingsvoorschriften voor cellenbeton vragen.

Het aanbrengen of het vernieuwen van een verflaag mag pas gebeuren als de muur luchtdroog is t.t.z. een vochtgehalte heeft minder dan 14 volumepercent.



7.2. Afwerking van cellenbetonwandplaten

Cellenbetonwandplaten zijn regendicht vanaf een dikte van 15 cm (het zwakke punt voor eventuele waterdoorslag zijn de voegen). Toch is het aangeraden een afwerking te voorzien op de cellenbetonwandplaten en dit om de volgende redenen :

1. Bij hevige regen neemt cellenbeton water op tot een diepte van ca 2 cm. Eens de buitenlaag verzadigd, zal de overige regen niet meer de wand binnendringen, maar gewoon aflopen. Het resultaat is echter dat het isolerend vermogen - een van de belangrijkste eigenschappen van cellenbeton - hierdoor vermindert.
2. De buitenste vochtlaag is een ideale voedingsbodem voor de ontwikkeling van schimmels, mossen of voor een snelle vervuiling in het algemeen, vooral indien het gebouw omgeven is door bomen en planten.
3. Cellenbeton is een ruwbouwmateriaal dat om esthetische redenen een afwerking vereist. Net als ieder product vervaardigd uit natuurlijke grondstoffen, kunnen bij de productie kleurverschillen optreden, zelfs bij platen vervaardigd in éénzelfde productieproces. Daarbij zal zowel bij het stockeren, het transport als op de werf meestal een vervuiling optreden. Daarom is het om esthetische redenen aangeraden een afwerklaag te voorzien, die dan ook bijdraagt tot het imago van het bedrijf.

Cellenbetonwandplaten worden aan de buitenzijde meestal afgewerkt met een verflaag, een kwartskorrelaag of met een aangebrachte beplating (staalplaat, kunststofplaat...). De binnenzijde wordt bij industriegebouwen geveerd of onbehandeld gelaten.

Cellenbetonwandplaten moeten worden beschermd tegen opstijgend vocht en tegen ieder contact met de grond. Daarom is het nodig een betonnen plint te voorzien die minstens 300 mm boven het maaiveld uitsteekt.

7.2.1 Voegdichting tussen cellenbetonwandplaten

Het opvoegen tussen de cellenbetonplaten is vereist daar waar de wand vocht- en regendicht moeten zijn. De hieronder aangegeven voegdichtingen gelden voor normale gevallen. Voor uitzonderlijke omstandigheden, bijv. agressieve lucht of water, bijzonder hoge winddruk, enz..., kan het noodzakelijk zijn een andere voegdichting toe te passen.

Horizontale wandplaten

De horizontale voegen tussen de wandplaten worden afgedicht door middel van één enkele gebitumineerde mousseband, sectie 15 x 15 mm geplaatst op ca. 20 mm van de buitenzijde van de plaat. Deze dichtingsband wordt bevestigd op de plaat door middel van nietjes geplaatst in de lengterichting van de band. Verschillende banden worden aan elkaar aangesloten door deze 150 mm naast elkaar (niet op elkaar) te leggen.

Voor gevelzijden blootgesteld aan hevige windbelasting en extreme slagregens garandeert een dergelijke dichtingsband geen absolute dichtheid. In dit geval kan deze enkel worden bekomen door de horizontale voegen aan de buitenzijde af te kitten met een overschilderbare elastische voegmassa type thiokol of gelijkwaardig.

Een voegkit op basis van siliconen is te vermijden daar zich hierbij problemen kunnen voordoen met de aanhechting van de verf, alsook dat aan de randen een verkleuring van de cellenbeton kan optreden.

De verticale voegen worden aan de buitenzijde afgekit met een overschilderbare elastische voegmassa (type thiokol of gelijkwaardig) op een rugvulling met gesloten cellen.

Verticale wandplaten

Hier worden alle verticale voegen tussen de wandplaten opgespoten met een overschilderbare elastische voegmassa type thiokol of gelijkwaardig.

7.2.2 Buitenschilderwerk op cellenbetonwandplaten

Algemeen

Cellenbetonwandplaten kunnen door middel van een verflaag tegen de weersinvloeden beschermd worden. Gebruik hiervoor een acrylaatverf voor buiten (waterafstotende kunstharstdispersieverf). Het is van belang alleen verven te gebruiken die uitdrukkelijk door de fabrikant worden aanbevolen om op cellenbeton te worden toegepast. Steeds de verffabrikant de verwerkingsvoorschriften voor cellenbeton vragen.

Het verven van cellenbetonwanden of het nabehandelen ervan kan alleen dan gebeuren als de wand luchtdroog is t.t.z. een vochtigheidsgraad heeft lager dan 14 volumepercent.

Vereiste eigenschappen van de verven

Een goede verflaag voor cellenbeton moet afgezien van zijn algemene kwaliteiten zoals een goed hechtvermogen, lichtbestendigheid, weerbestendigheid en elasticiteit vooral slagregendicht en toch dampdoorlatend zijn. Dit betekent dat de vochtafgave groter moet zijn dan de vochtopname.

Dit leidt tot volgende eisen betreffende de dampdoorlatendheid en de wateropnamecoëfficiënt (criteria van Künzel, zie par. 4.7.8) :

$$A \cdot S_d \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$$

met als wateropnamecoëfficiënt:

$$A \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$$

en als waterdampdiffusieweerstand:

$$S_d \leq 2 \text{ m}$$

Een verflaag met een $S_d = 2 \text{ m}$ heeft een dampdiffusie die vergelijkbaar is met die van een 2 meter dikke luchtlaag.

De waterabsorptiecoëfficiënt $A \leq 0,5$ geeft aan dat er in verloop van tijd slechts een zeer geringe hoeveelheid vocht wordt opgenomen.

Het product $A \cdot S_d$ geeft aan of een bepaalde verfsoort in staat is de regendichtheid te waarborgen.

Hoe groter A (doch grenswaarde $\leq 0,5$) hoe kleiner S_d (grenswaarde $\leq 2 \text{ m}$) moet zijn; ofwel hoe kleiner A des te groter kan S_d (grenswaarde $\leq 2 \text{ m}$) zijn.

Op grond van deze strenge eisen kunnen gewoonlijk dunne verflagen worden gebruikt.

Kleur

Verven zijn momenteel in een ganse skala van kleuren te verkrijgen. Donkere kleuren met een helderheid < 30 (helderheid van zwart = 0 en van wit = 100) moeten vermeden worden omdat ze te veel warmte opnemen.

Verwerking

De voor cellenbeton geschikte acrylverven zijn verzaaid met mineralische vulstoffen en andere toeslagstoffen waardoor de poriën aan de oppervlakte van cellenbeton worden gevuld. Deze verven worden aangebracht in twee lagen en hebben een totaal verbruik van minstens $1,8 \text{ kg}/\text{m}^2$. Deze verven mogen niet worden verwerkt bij temperaturen beneden $+5^\circ\text{C}$ of bij felle zon.

Alvorens met het verven te beginnen dienen de horizontale en de verticale voegen te worden afgekit. Voor de horizontale voegen kan dit ook gebeuren met een kunststofmortel op acrylbasis die dan halfroond wordt afgetrokken.

Bij gebruik van een kit op siliconenbasis moeten we er op wijzen dat zich hier problemen kunnen voordoen met de aanhechting van de verf, alsook met een eventuele verkleuring van de cellenbeton in het voegbereik.

Het oppervlak moet luchtdroog, stof- en vetvrij en zuiver zijn. Het muurvlak afvegen met een harde borstel. Bij het aanbrengen van de eerste verflaag op een nieuw bouwwerk is er geen primer nodig. Bij oppervlakken die lange tijd onbehandeld aan de weersomstandigheden blootgesteld zijn geweest, dient voor elk geval afzonderlijk te worden bepaald of het gebruik van een primer nodig is.



7.2.3 Buitenpleister op cellenbetonwandplaten

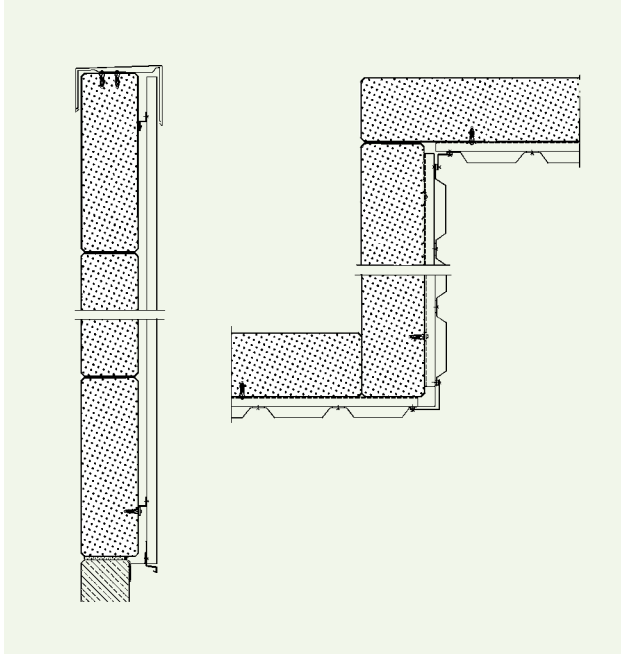
Op cellenbetonwandplaten mag alleen een buitenpleister worden aangebracht mits bepaalde voorzorgsmaatregelen worden genomen.

- De wandplaten worden in de horizontale voegen aan elkaar gelijmd met mortellijm voor cellenbeton van de fabrikant van de platen.
- De horizontale voegen worden gedicht met herstelmortel voor cellenbeton en overspannen met een 10 cm brede voegband.
- In de eerste laag van de buitenpleister wordt een wapeningsnet (glasvezel net) geplaatst over het ganse geveloppervlak.
- De verticale voegen zijn bewegingsvoegen en moeten worden doorgetrokken in de buitenpleister.

Voor de buitenpleister gelden dezelfde eigenschappen, verwerkingsvoorschriften en uitvoeringsdetails als voor de cellenbetonblokken.

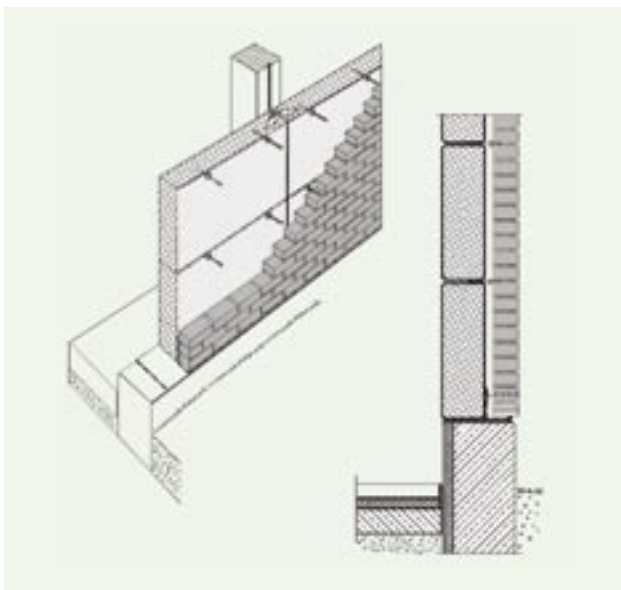
7.2.4 Beplating op cellenbetonwandplaten

Cellenbetonwandplaten kunnen ook bekleed worden met een staalplaat, kunststofplaten, leien of dergelijke. Hiervoor worden op de wandplaten metaalprofielen geplaatst waarop deze beplating wordt bevestigd. De spouw tussen het bekledingsmateriaal en de muur moet open blijven voor verluchting.



7.2.5 Gevelsteen met cellenbetonwandplaten

Het is ook mogelijk een spouwmuur uit te voeren met een binnenspouwblad uit wandplaten. Hierbij dient per m² minstens 5 spouwankers met druipprofiel te worden voorzien verankerd aan de wandplaten.



7.2.6 Binnenafwerking van cellenbetonwandplaten

Aan de binnenzijde kunnen de wandplaten geschilderd worden indien gewenst. Alleen die materialen gebruiken die door de fabrikant speciaal worden aanbevolen voor het verwerken op cellenbeton. Steeds de verffabrikant de verwerkingsvoorschriften voor cellenbeton vragen. Het aanbrengen of het vernieuwen van een verflaag kan pas gebeuren als de muur luchtdroog is t.t.z. een vochtgehalte heeft lager dan 14 volumepercent.

Het is mogelijk dat omwille van de aard van de binnenlucht of van de milieuvorwaarden (agressieve dampen) een speciale oppervlaktebehandeling noodzakelijk is. In dit geval dient zeker de nodige aandacht besteed aan het zorgvuldig afdichten van alle horizontale en verticale voegen, alsook alle aansluitingsvoegen.

7.3 Afwerking van cellenbetondakplaten

7.3.1 Dakdichting op cellenbetondakplaten

De dakbedekking, kan afhankelijk van de helling van de dakplaten, worden uitgevoerd met roofing, kunststof banen, metaalplaten, dakpannen of leien.

Bij platte daken worden de dakplaten meestal zelf in lichte helling gelegd (> 5%) of indien niet mogelijk, zal een hellingsbeton worden voorzien.

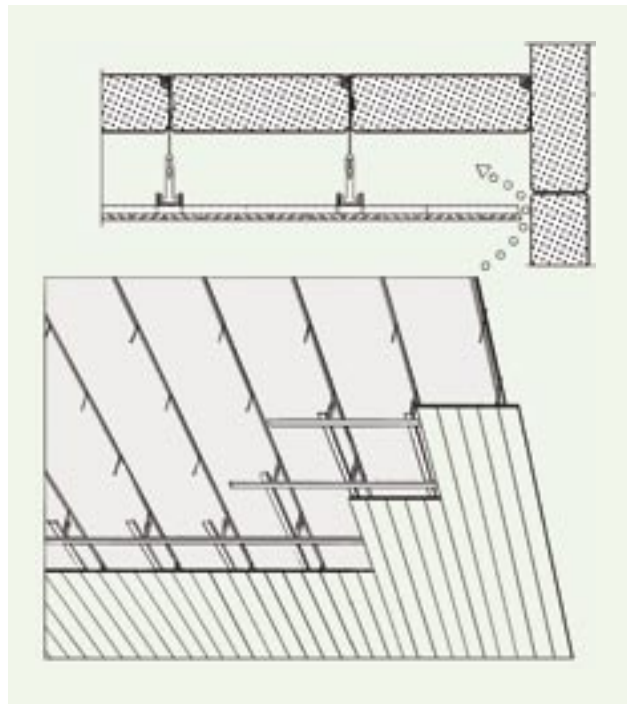
De roofing of de kunststof banen worden ofwel gelijmd ofwel mechanisch bevestigd aan de platen. Aandacht moet vooral worden besteed aan de correcte aansluiting met de dakrand, afvoergaten, spuwers... Het is ook altijd mogelijk een bijkomende grindlaag aan te brengen.

7.3.2 Binnenafwerking van cellenbetondakplaten

Naast de traditionele afwerking (verf, pleister) kan onder de dak- of vloerplaten van cellenbeton gemakkelijk een verlaagd plafond worden opgehangen.

Men dient er voor te zorgen dat in de tussenruimte tussen het plafond en de onderzijde van de platen dezelfde klimaatomstandigheden heersen als in de ruimte eronder. Daarvoor is een voldoende ventilatie van de tussenruimte noodzakelijk. Dit gebeurt door voldoende ventilatieopeningen te laten aan de aansluiting van het vals plafond met de muur. Zo niet ontstaan in de tussenruimte oncontroleerbare physicalische omstandigheden die tot schade kunnen leiden.

Voor de ophanging van het verlaagd plafond worden in de voegen tussen de dakplaten hangers of staalband voorzien. Een andere mogelijkheid is deze met aangepaste pluggen te bevestigen in de onderzijde van de platen. Alle hangers of staalband moeten in roestvrij of gegalvaniseerd staal zijn.







8. Bevestigingsmiddelen

Diverse bevestigingsystemen zijn speciaal voor cellenbeton ontwikkeld.

Het is raadzaam, ongeacht de toegepaste methode, bevestigingsmiddelen in roestvrij materiaal te gebruiken zoals aluminium, verzinkt staal, nylon, kunststof.

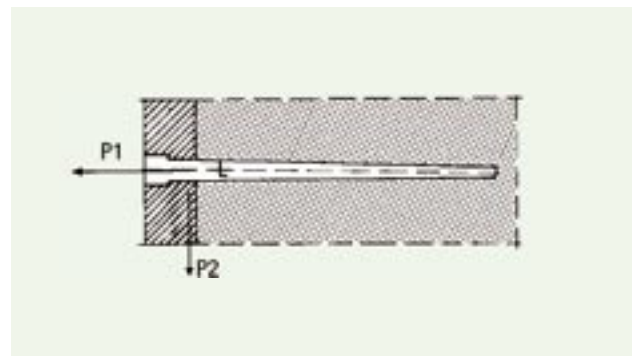
Belangrijke opmerking:

bij het boren van gaten in cellenbeton mag geen klopper worden gebruikt. Dit omdat hiermee een minder nauwkeurige doormeter van het boorgat wordt bekomen, waardoor de pluggen minder zouden spannen.

Voor het bevestigen van lichte voorwerpen (kaders ...) mogen gewone verzinkte stalen nagels worden gebruikt.

8.1 Cellenbetonnagels in aluminium of verzinkt staal

Nagels die gebruikt worden in cellenbeton hebben bij voorkeur een conische of trapezoïdale vorm. Deze vorm garandeert een optimale hechting tussen het cellenbeton en de nagel. Dit resulteert in een grotere uittreksterkte. In de onderstaande tabel vindt u de toelaatbare belasting die mag worden uitgeoefend op dergelijke nagel (nagels van het type GUNNEBO).



Nagels Gunnebo		Densiteit van cellenbeton			
		400 kg/m ³		500 kg/m ³	
lengte mm	diepte mm	P ₁ [N]	P ₂ [N]	P ₁ [N]	P ₂ [N]
75	75	-	150	100	240
100	100	20	225	115	320
125	125	75	385	155	500
150	150	115	605	200	660
175	175	165	640	300	790
Veiligheid		3	2,5	3	2,5

P₁ : toegelaten belasting (trek)

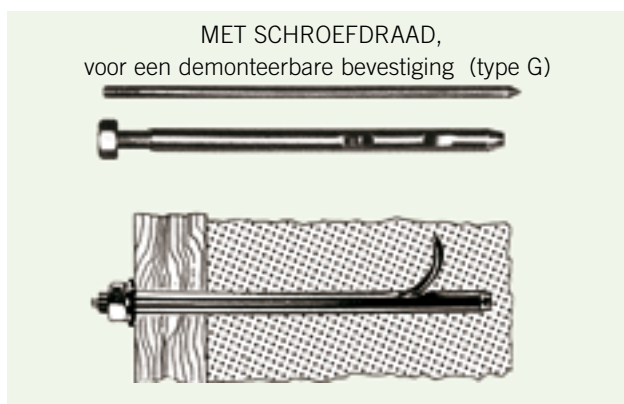
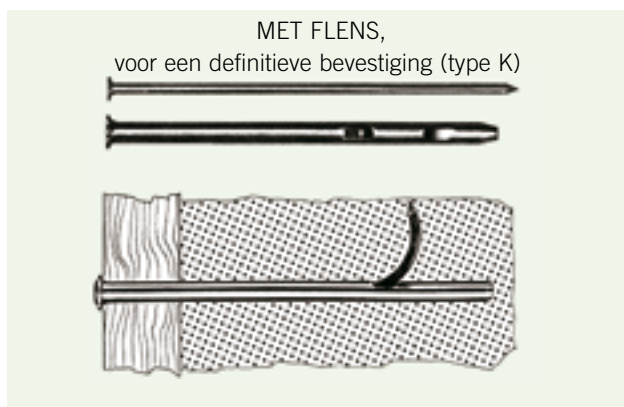
P₂ : toegelaten belasting (schuif)

Voor grotere belastingen bestaan er andere oplossingen:

- uitdrijfnagels
- pluggen
- chemische pluggen.

8.2 Uitdrijfnagels

Voor het vastmaken van voorwerpen (houten latten, allerlei toestellen, deuren, vensters, enz.) in cellenbeton boort men meestal eerst een gat, waarin een plug wordt geplaatst. Dit werk kan sneller en eenvoudiger worden uitgevoerd door middel van uitdrijfpluggen. Deze pluggen bestaan in twee uitvoeringen: met flens of met schroefdraad, en in diverse diameters.



8.2.1 Montage

1. Sla de huls in het cellenbeton ZONDER VOORBOREN

- Plaats eventueel een moer op de schroefdraad om deze niet te beschadigen met de hamer.
- De diepte hangt af van het te bevestigen voorwerp.

2. Sla nu de nagel in de huls

- Als de nagel de twee tegenoverliggende lippen bereikt, worden deze in het cellenbeton gedrukt. Hierdoor ontstaat reeds een behoorlijke trekkracht.
- Deze trekkracht krijgt zijn definitieve waarde als de nagel uit de huls gedreven wordt, in de vorm van een weerhaak.

8.2.2 Toegelaten belasting

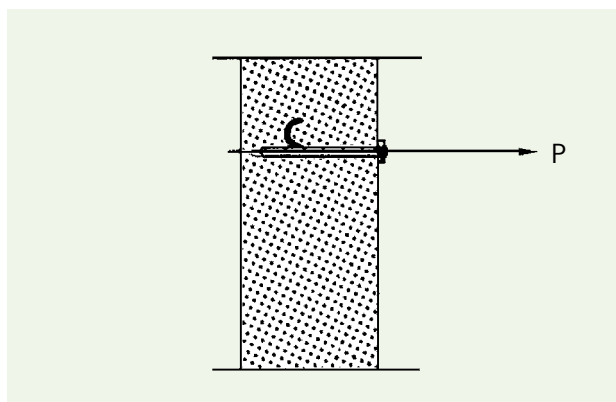
Speciaal voor cellenbeton ontwikkelde nagels kunnen een aanzienlijke belasting opnemen (uitdrijfnagels van het type HEMA).

- Trekproeven
- Resultaten voor cellenbeton van het type C3/05.

Nagels HEMA			Cellenbeton C3/05	
Type	Ø [mm]	Lengte [mm]	Diepte [mm]	P [N]
60-8K	8	60	40-50	500
60-8G	8	60	40-50	500
115-8K	8	115	70-105	600
115-8G	8	115	70-105	600
130-8K	8	130	75-125	650
130-8G	8	130	75-125	650

Veiligheidscoëfficiënt: 3

- P = toegelaten belasting (in alle richtingen)
- type K: met flens
- type G: met schroefdraad



8.3 Pluggen voor cellenbeton

De meeste pluggenfabrikanten beschikken over een gans gamma pluggen voor verschillende materialen. Deze pluggen zijn geschikt ofwel voor diverse materialen (waaronder cellenbeton), ofwel zijn ze speciaal ontwikkeld voor cellenbeton. Bepaalde pluggen zijn bestand tegen een trekbelasting van 1200 N (120 kg). Voor dit bevestigingssysteem moet een gat worden geboord (geen klopboor gebruiken).

Hier volgen enkele voorbeelden van pluggen die geschikt zijn voor cellenbeton (zie het adres van de producenten in par. 8.5).

Fabrikant	Type plug geschikt voor cellenbeton
FISCHER	GB SHR
HILTI	HGN HRD-U
SPIT	JETFIX DRIVA ARPON
UPAT	DRILL UGD

Deze pluggen zijn verkrijgbaar in diverse diameters. Raadpleeg de documentatie van de fabrikant voor meer informatie over de maximaal toelaatbare belasting.



8.4 Chemische ankers

Als zeer grote trek- of schuifkrachten moeten worden opgenomen, wordt een chemische verankering toegepast.

Er zijn verschillende bedrijven die speciaal voor cel-beton ontwikkelde chemische ankers op de markt brengen (HILTI, SPIT, FISCHER). Voor de uittrekwaarden verwijzen we naar de documentatie van de fabrikant.

8.5 Fabrikanten

Enkele fabrikanten van bevestigingsmiddelen (in alfabetische volgorde):

- Beluma NV, Assesteenweg 15, Industrieterrein Mollem, B-1702 Asse, tel. 02/454 01 20, fax 02/640 01 30
- Fischer-Cobemabel NV, Toussaintstraat 55, B-1050 Brussel, tel. 02/649 21 06, fax 02/640 79 62
- Hilti NV, Bettegem 12, B-1730 Asse, tel. 02/467 79 11, fax 02/465 58 02
- Interfixings NV, Bergensesteenweg 454, B-1600 Sint-Pieters-Leeuw, tel. 02/378 37 00, fax 02/378 37 21
- Spit, Bollinckxstraat 205, B-1070 Brussel, tel. 02/524 10 60, fax 02/520 25 58

U dient de aanwijzingen van de fabrikant nauwkeurig op te volgen.

De opgegeven waarden zijn volledig vrijblijvend en kunnen zonder voorafgaande verwittiging door de fabrikant worden gewijzigd.





9. Overzicht van de eigenschappen en de voordelen van cellenbeton

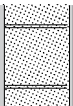
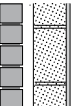

BELANGRIJKSTE EIGENSCHAPPEN			PRESTATIES - VOORDELEN															
Structuur																		
<ul style="list-style-type: none"> uiterst kleine gesloten cellen (max. Ø 2 mm) die 80% van het volume uitmaken 			De structuur met een groot aantal uiterst kleine cellen : <ul style="list-style-type: none"> garandeert een uitzonderlijk hoge, gelijkmatig in de massa verdeelde warmte-isolatie bepert de waterindringing verbetert de waterdampdiffusie verhoogt de druksterkte 															
Schijnbare droge volumemassa																		
<ul style="list-style-type: none"> voor de blokken : 400-500-600-700-800 kg/m³ voor gewapende elementen : 500-600 kg/m³ 			<ul style="list-style-type: none"> gemiddeld : 5 keer lichter dan beton, : 3 keer lichter dan de meeste ruwbouwmaterialen. eenvoudig te hanteren en te verwerken (grote bouwelementen) 															
Druksterkte																		
Conform NBN B 21-002 en NBN B 21-004 <ul style="list-style-type: none"> Blokken : <table border="1"> <thead> <tr> <th>Aanduiding</th> <th>f-klasse (N/mm²)</th> <th>ρ-klasse (kg/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C2/400</td> <td>2</td> <td>300 ≤ ρ < 400</td> </tr> <tr> <td>C3/450</td> <td>3</td> <td>400 ≤ ρ < 450</td> </tr> <tr> <td>C4/550</td> <td>4</td> <td>500 ≤ ρ < 550</td> </tr> <tr> <td>C5/650</td> <td>5</td> <td>600 ≤ ρ < 650</td> </tr> </tbody> </table>			Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ-klasse (kg/m ³)	C2/400	2	300 ≤ ρ < 400	C3/450	3	400 ≤ ρ < 450	C4/550	4	500 ≤ ρ < 550	C5/650	5	600 ≤ ρ < 650	Gelijmde cellenbetonblokken van het type C3 en C4 zijn geschikt voor het bouwen van draagmuren tot 5 verdiepingen of meer.
Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ-klasse (kg/m ³)																
C2/400	2	300 ≤ ρ < 400																
C3/450	3	400 ≤ ρ < 450																
C4/550	4	500 ≤ ρ < 550																
C5/650	5	600 ≤ ρ < 650																
<ul style="list-style-type: none"> Gewapende elementen : <table border="1"> <thead> <tr> <th>Aanduiding</th> <th>f-klasse (N/mm²)</th> <th>ρ-klasse (kg/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CC3/500</td> <td>3</td> <td>400 ≤ ρ < 500</td> </tr> <tr> <td>CC4/600</td> <td>4</td> <td>500 ≤ ρ < 600</td> </tr> </tbody> </table>			Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ-klasse (kg/m ³)	CC3/500	3	400 ≤ ρ < 500	CC4/600	4	500 ≤ ρ < 600							
Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ-klasse (kg/m ³)																
CC3/500	3	400 ≤ ρ < 500																
CC4/600	4	500 ≤ ρ < 600																
Gedrag van cellenbeton in de tijd																		
<ul style="list-style-type: none"> evenwichtsvochtgehalte van de beschermde muren : <ul style="list-style-type: none"> na 2 maanden: 5 vol.-% na 12 maanden: 2,5 vol.-%. 			<ul style="list-style-type: none"> voor een snelle ingebruikname van ruimten weinig verwarming nodig om de muren te drogen 															
<ul style="list-style-type: none"> dampdiffusie: μ-waarde = 5 tot 10 			Zeer lage waarde garandeert : <ul style="list-style-type: none"> snelle waterdampdiffusie ademende wanden een gezonde constructie 															



KENMERKEN TEN AANZIEN VAN HET MILIEU	
<u>Tijdens productie</u> <ul style="list-style-type: none"> • zeer weinig grondstoffen: slechts 500 kg per m³ bouw-materiaal • geringe energiebehoefte: 200 kW/m³ • alle reststoffen worden gerecycleerd • geen emissie van toxische gassen en geen watervervuiling 	<ul style="list-style-type: none"> • behoud van natuurlijke grondstofbronnen • energiebesparing • geen afval
<u>Tijdens verwerking</u> <ul style="list-style-type: none"> • eenvoudig te transporteren: lichte producten • beperkte afval: de blokken laten zich even gemakkelijk zagen als hout 	<ul style="list-style-type: none"> • optimale energiebesparing • weinig afval • alle vormen van constructies mogelijk (rondingen...)
<u>Tijdens gebruik</u> <ul style="list-style-type: none"> • warmte-isolatie en thermische inertie • de laagste radioactieve straling van alle bouwmaterialen 	<ul style="list-style-type: none"> • energiezuinig comfort • eerbied voor de kwaliteit van het leven
Producten	
Blokken	
<ul style="list-style-type: none"> • lengte (in mm): 600 • hoogte (in mm): 250 • dikte (in mm): 50-70-75-100-150-175-200 240-300-365 	<ul style="list-style-type: none"> • groot formaat: 6,6 blokken per m²
<ul style="list-style-type: none"> • toegestane maatafwijking: max. 2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • nauwkeurige verwerking
<ul style="list-style-type: none"> • met handgreep, met tand en groef of glad 	<ul style="list-style-type: none"> • voor blokken met tand en groef worden alleen de horizontale voegen verlijmd; dit garandeert een snelle en eenvoudige plaatsing
<ul style="list-style-type: none"> • plaatsing met lijm mortel 	<ul style="list-style-type: none"> • dunne voegen (2 tot 3 mm) die ±1% van het volume van het metselwerk uitmaken
<ul style="list-style-type: none"> • speciale blokken 	<ul style="list-style-type: none"> • bijvoorbeeld voor de uitvoering van ringankers, zie de documentatie van de fabrikant
Lateien	
<ul style="list-style-type: none"> • lengte (in mm): 1250-1500-2000-2500-3000 • hoogte (in mm): 250 • dikte (in mm): 100-150-175-200-240-300-365 	<ul style="list-style-type: none"> • uitvoering van een uniform metselwerk mogelijk: <ul style="list-style-type: none"> - wat het materiaal betreft - vanuit thermisch standpunt
<ul style="list-style-type: none"> • belasting (in kN/lm): 10 tot 18 kN/lm 	<ul style="list-style-type: none"> • veranderlijk in functie van de spanwijdte, zie de documentatie van de fabrikant
Gewapende platen	
<ul style="list-style-type: none"> • standaardlengte (in mm): 6000 • niet-standaard (in mm): tot 7500 • breedte (in mm): 600 en 750 • dikte (in mm): 100-150-200-240-300 • omvat: - wandplaten voor horizontale plaatsing - voor verticale plaatsing - wandplaten brandmuur - dakplaten - vloerplaten - scheidingswanden 	<ul style="list-style-type: none"> • relatief licht gewicht ondanks groot formaat • eenvoudig te plaatsen door middel van heftoestellen met een klein hefvermogen • de producten worden op maat gemaakt volgens bestek



Isolatie-eigenschappen

Beschrijving van de muur	Type cellenbeton	λ_{Uf} -waarde (W/mK)	U-waarde (W/m ² k)			
			Dikte (mm)			
			240	300	175	200
 Massieve muur van gelijmde cellenbetonblokken + buitenpleister 12 mm + binnenpleister 10 mm.	C2/400	0,12	0,46	0,37		
	C3/450	0,14	0,53	0,44		
	C4/550					
 Spouwmuur van gelijmde cellenbetonblokken + spouw + gevelsteen 90 mm.	C2/400	0,12	0,56	0,50		
	C3/450	0,14	0,64	0,57		
	C4/550					
 Muur van gewapende cellenbetonplaten	CC3/500	0,14	-	0,63	0,53	0,43
	CC4/600	0,18	1,00	-	-	-

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

- wat de thermische prestaties betreft doen alle oplossingen het beter dan de normwaarden voorgeschreven door het Vlaams, Brussels en Waals gewest
- het peil van de warmte-isolatie K45 is eenvoudig te bereiken zonder extra isolatiematerialen te gebruiken

Dit biedt volgende extra voordelen:

- minder werk op de bouwplaats
- eenvoudiger toezicht op de uitvoering
- geen gevaar van koudebruggen tussen niet-aaneensluitende isolatiematerialen
- de opdrachtgever heeft de zekerheid van een correcte uitvoering

Thermische inertie

Zie beschrijving par. 4.10.7

Dankzij deze thermische en fysische eigenschappen wordt de invloed van de buitentemperatuur op de binnentemperatuur van het gebouw vertraagd (faseverschuiving) en verzwakt (damping). Cellenbeton is in dat opzicht een van de efficiëntste bouwmaterialen en garandeert een optimaal thermisch comfort in de gebouwen, zowel in de zomer als in de winter.

Brandweerstand

Type	Dikte (in mm)	Waarde		
- Muren in gelijmde blokken	70	EI 180	Deze prestaties voldoen aan de strengste voorschriften. Cellenbeton bestaat uitsluitend uit minerale stoffen en is volkomen onbrandbaar; het ontwikkelt geen rook en verhindert brandverspreiding. Dankzij de uitstekende warmte-isolerende eigenschappen van het materiaal neemt de temperatuur van het muurvlak aan de niet-brandzijde minder snel toe. De compartimentering van industriegebouwen door middel van brandwerende cellenbetonwanden is bijzonder efficiënt, verhoogt de veiligheid en kan resulteren in een verlaagde brandverzekeringspremie.	
	100	EI 180		
	150	REI 240		
	200	REI 360		
	240	REI 360		
- Wandplaten	150	EI 360		
	200	EI 360		
Resultaten van officiële laboratoria uitgevoerd volgens de norm NBN 713.020 (Weerstand tegen brand van bouwelementen)				



Belgische Federatie Cellenbeton

Kantelenlaan 18 bus 7

1200 Brussel

tel.: 02 771 18 42

fax : 02 763 13 53

e-mail: info@febecel.be

www.febecel.be

- [1] Aroni S., de Groot G.J., Robinson M.J., Svanholm G., Wittman F.H., "Autoclaved aerated concrete: properties, testing and design", RILEM Recommended Practice, E & FN Spon, London, 1993
- [2] "Autoclaved aerated concrete", CEB manual of design and technology, The Construction Press (1985)
- [3] Svanholm G., "Influence of water content on properties in autoclaved aerated concrete, moisture and properties", Elsevier, Amsterdam 1983
- [4] Bruhwiler E., Wang J. and Wittmann F.H., "Fracture of AAC as influenced by specimen dimensions and moisture", Journal of Materials in Civil Engineering 2,1990, P.136-145
- [5] "Het vochtgedrag in niet-geventileerde daken van cellenbeton", SBR-rapport 33, Samsom, Alphen a/d Rijn, 1971
- [6] Luckin K.R., Jones A.J. and Engledow G., "Sound insulation performance of an autoclaved aerated concrete", Proc. British Masonry Society 2, 1989
- [7] Weber H., "Das Porenbeton Handbuch", Bauverlag, Wiesbaden, 1991
- [8] "Hygrisch gedrag gasbetondaken", Lichtveld Broers & Partners B.V., rapport nr 21.052, 9 mei 1990
- [9] "Temperatuuramplitudedemping en tijdsverschuiving van gasbetonconstructies vergeleken met enige andere constructies", rapport nr .D972-2, Akoestisch Adviesbureau Peutz & Associés B.V. in opdracht van Siporex Nederland B.V., 8 november 1983
- [10] YTONG "Ökologie heute. Bauen im Einklang mit der Natur", München, 1994
- [11] Van Nieuwenburg D., De Blaere B., "Compositive study of empirical design formulas for shear capacity calculation of reinforced autoclaved aerated concrete components", Laboratorium Magnel voor Gewapend Beton, Universiteit Gent, België, 1993
- [12] Künzel H., "Gasbeton : Wärme und Feuchtigkeitsverhalten", Wiesbaden, 1971
- [13] "Specifieke activiteits- en exhalatiemetingen aan cellenbeton", IBR-rapport 94.37, Haelen, november 1994
- [14] CSTC, "L'acoustique dans le bâtiment", 1992
- [15] Hebel Handbuch Wohnbau - 7 Auflage 1999
- [16] Hebel Handbuch Wirtschaftsbau - 7 Auflage 1999
- [17] Bijen J.M., "Handboek Cellenbeton", Nederlandse Cellenbeton Vereniging, NCV 1995
- [18] Advanced in autoclaved aerated concrete, edited by Folker H. Wittmann - A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1992
- [19] Aktuelles Tabellenhandbuch Feuchte, Wärme, Scholl, 1987, WEKA-Fachverlage
- [20] Maçonnerie portante - Oscar Pfefferman - Kluwer, editorial 1999
- [21] Eurocode 6 ENV 1996-1-1, juin, 1995, Design of masonry structure
- [22] PORENBETON Bericht 11 Wärme- und Feuchteschutz, 1997
- [23] AAC - CEB Manual of design and technology
- [24] Essais de laboratoire chez les fabricants
- [25] YTONG "Planungsunterlagen Wohnungsbau"