B.2 Fysische en mechanische eigenschappen

B.2.1 Technische fiche
B.2.2 Thermische isolatie en comfort
B.2.2.1 Thermische isolatie
B.2.2.2 Thermische inertie
B.2.3 Brandwerendheid
B.2.3.1 Uitzonderlijke brandweerstand
B.2.3.2 Bepaling van de brandweerstand
B.2.3.3 De beste bescherming tegen brand
B.2.4 Ecologisch en duurzaam bouwen
B.2.5 Geluidswering
B.2.5.1 Algemeen
B.2.5.2 Geluidsabsorptie
B.2.5.3 Luchtgeluid
B.2.5.4 Isolatie tegen luchtgeluid in gebouwen
B.2.6 Sterkteberekening van Ytong-muren
B.2.6.1 Berekening van metselwerk in Ytong met verticale belasting (volgens Eurocode 6)
B.2.6.2 Berekening van metselwerk in Ytong met horizontale belasting (volgens Eurocode 6 en nationale bijlage)

B.2.1 Technische fiche

De blokken zijn conform de norm NBN EN 771-4:2011 en PTV21-002:2011. Ze worden geleverd met BENOR attest (nummer 002/253). Ze zijn tevens voorzien van de verplichte CE-markering.

Afmetingen blokken

Lengte	60 cm
Hoogtes	25 - 30 - 50 cm
Diktes	5 - 7 - 10 - 11,5 - 15 - 20 - 24 - 36,5 - 40 - 50 cm

Afmetingen kimblokken

Lengte	60 cm
Hoogtes	15 - 20 - 25 - 30 cm
Diktes	9 - 10 - 14 - 15 - 19 - 20 cm

Uitzicht en profielen

De blokken hebben een vlak gestructureerd oppervlak en waarborgen een voldoende hechting.
Alle blokken (behalve diktes 5 - 7 - 10 en 11,5 cm en de kimblokken) hebben ergonomische handgrepen.
Sommige afmetingen hebben een tand- en groefprofiel, andere zijn glad op de kopse kanten.

Toleranties

Lengte ± 3 mm, hoogte ± 2 mm, dikte ± 2 mm

Verwerking

De Ytong-blokken worden verlijmd met Ytocol en eventueel gewapend met Murfor type EFS/Z volgens de voorschriften en worden gecombineerd met Ytong-lateien en U-lateien.

Druksterkte en droge volumemassa

Volgens NBN EN 1996-1-1 en NBN EN 771-4 wordt onderscheid gemaakt tussen stenen van 'categorie I' en 'categorie II'. De geleverde blokken voldoen aan de eisen van '**categorie I**' (attest van conformiteit volgens systeem 2+). Voorts is in NBN EN 1996-1-1 ook sprake van 'groepen'. Cellenbeton blokken voldoen aan de criteria van '**groep 1**'-stenen.

Gebruikelijke types cellenbeton blokken:

Cellenbeton type	Gemiddelde genormaliseerde druksterkte f_b	Karakteristieke blokdruksterkte f_{bk}	Droge volumemassa $\rho_{,dry}$
C2/300	2,0	1,6 N/mm²	250 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 300 kg/m³
C2/350	2,0	1,8 N/mm²	300 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 350 kg/m³
C3/450	3,4	3 N/mm²	400 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 450 kg/m³
C4/500	4,5	4 N/mm²	450 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 500 kg/m³
C4/550	4,5	4 N/mm²	500 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 550 kg/m³
C5/650	5,6	5 N/mm²	600 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 650 kg/m³

De druksterkte van de lijmmortel (Ytocol) ≥ 10 N/mm².

Treksterkte en buigtreksterkte

De treksterkte van cellenbeton varieert tussen 1/4 en 1/6 van de druksterkte. De buigtreksterkte bevindt zich tussen 1/3 en 1/4 van de druksterkte.

E-modulus

Uitgaande van de karakteristieke muurdruksterkte fk kan door berekening volgens NBN EN 1996-1-1 en NBN EN 1996-1-1 ANB de E-modulus worden afgeleid. E=1000•f_k

Cellenbeton type	Elasticiteitscoëfficiënt in N/mm² *
C2/300	1400
C2/350	1400
C3/450	2300
C4/500	3000
C4/550	2900
C5/650	3500

*** Volgens NBN EN 1996-1-1 ANB:2010**

Schuifweerstand

Volgens NBN EN 1996-1-1 bedraagt f_{vk0} voor gelijmd cellenbeton 0,30 N/mm². De karakteristieke schuifsterkte f_{vk} is te berekenen uitgaande van f_{vk0} (zie formules in NBN EN 1996-1-1).

Dampdiffusieweerstand

Het dampdiffusieweerstandsgetal varieert in functie van de richting van de dampdiffusie.

Cellenbeton type	Droge volumemassa $\rho_{,dry}$	Dampdiffusieweerstandsgetal * μ
C2/300	250 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 300 kg/m³	5/10
C2/350	300 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 350 kg/m³	5/10
C3/450	400 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 450 kg/m³	5/10
C4/500	450 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 500 kg/m³	5/10
C4/550	500 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 550 kg/m³	5/10
C5/650	600 kg/m³ ≤ $\rho_{,dry}$ < 650 kg/m³	5/10

*** 5 = dampdiffusie naar binnen, 10 = dampdiffusie naar buiten**
Volgens NBN EN 1745:2012

Wateropname, regendichtheid en vorstbestendigheid

In direct contact met water (ook regenwater) zuigen materialen water op door capillariteit. 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. Onder normale atmosferische omstandigheden en met dichte voegen, is een muur in cellenbeton van 200 mm dik regendicht. Aangeraden wordt om, in geval er geen afwerking voorzien is, gebruik te maken van gladde blokken en de voegen zowel horizontaal als verticaal te lijmen.
Er wordt aanbevolen om het cellenbeton, in alle gevallen waar de thermische isolatie gewenst wordt, regendicht af te werken (vb. met een buitenbepleistering, zie hoofdstuk B.5.2). Zoniet dient men bij de berekening van de U-waarde met λ_{Ue} in plaats van λ_{Ui} te rekenen.

Cellenbeton wordt in de regel niet beschadigd door de cycli van bevriezen en ontdooien omdat de wateropname in normale gevallen beperkt is. Tijdens de ruwbouwfase in vorstperiode is het desondanks aangeraden ervoor te zorgen dat de eerste lagen niet langdurig in stilstaand water komen te staan en de blokken zo volledig verzadigd kunnen worden. Dit geldt trouwens voor elk ruwbouwmateriaal. De bovenzijde van een muur moet tijdens de ruwbouwfase steeds afgedekt worden. Naargelang de weersomstandigheden (vb. vorst na regen) kunnen de muurvoeten tijdens de ruwbouwfase ook best beschermd worden.

Wanneer cellenbeton ondergronds wordt gebruikt dient men een geschikte waterdichte coating aan te brengen (zie hoofdstuk B.3.16).

Steenachtig materiaal

Ytong cellenbeton is een steenachtig materiaal dat anorganisch, onrotbaar en schimmelvrij is. Het wordt niet aangetast door vochtigheid. Het kan dus zonder probleem aangewend worden in sanitaire ruimtes.

α De lineaire uitzettingscoëfficiënt van Ytong bedraagt 8 • 10^{-6} m/mK.

Soortelijke warmte c De soortelijke warmte van Ytong cellenbeton bedraagt 1000 J/kgK.

λ_{Ui} in W/mK Rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ_{Ui}.

Cellenbeton type	Rekenwaarde volumemassa	λ_{Ui} in W/mK*
C2/300	335 kg/m³	0,080
C2/350	385 kg/m³	0,090
C3/450	485 kg/m³	0,120
C4/500	535 kg/m³	0,125
C4/550	585 kg/m³	0,145
C5/650	685 kg/m³	0,170

*** correctiefactor vocht Fm op basis van proeven**

Warmtedoorgangscoëfficiënt Warmtedoorgangscoëfficiënt U van buitenmuren.

Massieve muur in Ytong met buitenbepleistering.

	Ytong				
Dikte Ytong (cm)	C2/300 U (W/m²K)	C2/350 U (W/m²K)	C3/450 U (W/m²K)	C4/550 U (W/m²K)	C5/650 U (W/m²K)
15,0	-	-	0,69	0,81	0,93
17,5	-	0,47	0,60	0,71	0,82
20,0	0,37	0,41	0,54	0,63	0,73
24,0	0,31	0,35	0,46	0,54	0,62
30,0	0,25	0,28	0,37	0,44	0,51
36,5	0,21	0,24	0,31	0,37	0,43
40,0	0,19	-	-	-	-
50,0	0,15	-	-	-	-

Spouwmuur met binnenspouwblad in Ytong.

	Ytong				
Dikte Ytong (cm)	C2/300 U (W/m²K)	C2/350 U (W/m²K)	C3/450 U (W/m²K)	C4/550 U (W/m²K)	C5/650 U (W/m²K)
15,0	-	-	0,62	0,72	0,81
17,5	-	0,43	0,55	0,64	0,72
20,0	0,35	0,39	0,49	0,58	0,65
24,0	0,30	0,33	0,42	0,50	0,56
30,0	0,24	0,27	0,35	0,41	0,47
36,5	0,20	0,23	0,29	0,35	0,40
40,0	0,19	-	-	-	-
50,0	0,15	-	-	-	-

Brand-reactieklasse

Brandreactieklasse A1 (onbrandbaar) volgens NBN EN 13501-1+A1

Overzicht brandwerendheid muren in cellenbeton in functie van de dikte.

Brandwerendheid muren (in minuten)	
Dikte (in mm)	Brandwerendheid in minuten
70	E 90*, EI 90*
100	E 120*, EI 180*
150	E 120*, EI 240*, REI 180**
200	E 120*, EI 240*, REI 360*
240	REI 360*

*** volgens testrapport**
**** volgens NBN EN 1996-1-2-ANB:2011**

B.2.2 Thermische isolatie en comfort

B.2.2.1 Thermische isolatie

B.2.2.1.1 Warmtegeleidbaarheid

De warmtegeleidbaarheid λ is een maat voor de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid doorheen een materiaal met een oppervlakte van 1 m^2 en een dikte van 1 m dringt, bij een temperatuursverschil van 1 Kelvin (symbool K). De λ-waarde hangt af van de aard van het materiaal en van het vochtgehalte. Hoe lager de λ-waarde van een materiaal, hoe groter zijn isolatievermogen.

De λ-waarde kan worden berekend volgens de NBN B 62-002 (juli 2008) "Thermische prestatie van gebouwen. Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënten van gebouwcomponenten en gebouwelementen. Berekening van de warmteoverdrachtscoëfficiënt".

Deze norm definieert 2 waarden:

- Gedeclareerde waarde λ_d: te verwachten waarde van de warmtegeleidbaarheid van een materiaal in referentiecondities van temperatuur en vochtigheid. Symbool: λ_d (W /mK)

- Rekenwaarde λ_U: waarde van de warmtegeleidbaarheid van een materiaal in binnen- of buitencondities die als typisch voor het gebruik van dat materiaal kunnen beschouwd worden bij de verwerking van dit materiaal. Deze rekenwaarde wordt bepaald uitgaande van λ_d (Voor details van de berekening, zie normtekst).



Men definieert 2 rekenwaarden:

-λ_{Ui}: wordt gebruikt voor materialen die beschermd zijn tegen regenindringing, zoals vb. binnenmuren, binnenspouwbladen, buitenmuren beschermd met een crepi, een beplating, een gevelsteen of een andere waterdichting.

-λ_{Ue}: wordt gebruikt voor materialen die nat kunnen zijn door regen of andere bronnen van vocht, i.e. een buitenmuur zonder afwerking.

In de praktijk worden Ytong-blokken aan de buitenzijde altijd afgewerkt. De toe te passen λ-waarde bij de berekening van de U-waarde is dus λ_{Ui}.



Types blokken					
	C2/300	C2/350	C3/450	C4/550	C5/650
λ_{Ui} (W/mK)*	0,080	0,090	0,125	0,150	0,180

*** correctiefactor vocht Fm op basis van proeven**

B.2.2.1.2 Totale warmteweerstand van een wand R_T

De warmteweerstand R is gelijk aan de dikte d, uitgedrukt in meter, gedeeld door de warmtegeleidbaarheid .

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

De totale warmteweerstand R_T van een wand is gelijk aan de som van de weerstanden R van de samenstellende materialen, waarbij de warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak R_{si}, de warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak R_{se} en de warmteweerstand van de eventuele luchtlaag R_a. worden geteld.

Men heeft dus voor een buitenmuur:

met R_a = warmteweerstand van de luchtlaag (gesitueerd tussen de gevelsteen en de dragende muur), berekend volgens NBN B62-002.
R_a = 0,18 m^2K/W voor een niet geventileerde luchtlaag
R_a = 0,09 m^2K/W voor een licht geventileerde luchtlaag (meest voorkomend)
R_{se} = 0,04 m^2K/W
(volgens NBN B62-002)
R_{si} = 0,13 m^2K/W
(volgens NBN B62-002)



rekenvoorbeeld:

Stel een muur samengesteld uit 1 cm binnenpleister + Ytong blok C2/300 van 24 cm dikte + spouw van 3 cm + gevelsteen van 9 cm. De spouw wordt licht geventileerd verondersteld.
Men heeft dus $R_T = R_{si} + R_{binnenpleister} + R_{Ytong\ muur} + R_{lucht} + R_{gevelsteen} + R_{se}$

Rekening houdende met volgende waarden (W/mK):

Binnenpleister: λ_{Ui} = 0,570 W/mK
Ytong C2/300: λ_{Ui} = 0,080 W/mK
Gevelsteen: λ_{Ue} = 1,1 W/mK

Men bekomt:

$$R_T = 0,13 + \frac{0,01}{0,57} + \frac{0,24}{0,08} + 0,09 + \frac{0,09}{1,1} + 0,04 = 3,36\ (m^2K/W)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,30\ W/m^2K$$

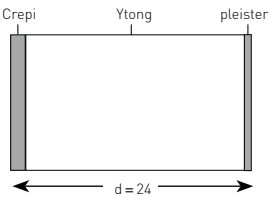
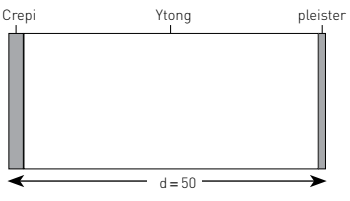
B.2.2.1.3 Warmtedoorgangs-coëfficiënt U van een wand

De warmtedoorgangscoëfficiënt U is een maat voor de hoeveelheid warmte die doorheen een wand (dikte) verloren gaat in permanent regime, per tijdseenheid, per oppervlakteeenheid en per eenheid van temperatuur. Deze wordt uitgedrukt in W/m^2K.

$$U = \frac{1}{R_T}$$

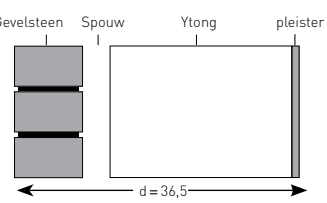
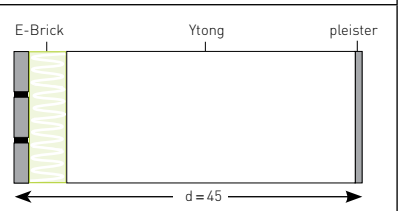

Cobegat Sogeprom

Massieve YTONG-muur met crépi

Binnenpleister YTONG Buitenpleister	**EPB** **U ≤ 0,40** **U ≤ 0,32**	
Binnenpleister YTONG low energy Buitenpleister	**PASSIEF** **U ≤ 0,15**	


Arch. Dirk Hulpia

YTONG-muur met gevelsteen

Binnenpleister YTONG Luchtspouw Gevelsteen	**EPB** **U ≤ 0,40** **U ≤ 0,32**	
Binnenpleister YTONG E-brick - gevelsteenstrips	**PASSIEF** **U ≤ 0,15**	


Arch. Carl Vanassche / Archium

B.2.2.1.4 Isolatie eisen in België

Sinds midden 2008 is in alle gewesten in België de EnergiePrestatie - en Binnenklimaat - regelgeving (EPB) van kracht. Nieuwbouw en verbouwingen, die verwarmd of gekoeld worden en waarvoor een bouwaanvraag ingediend wordt, moeten hieraan voldoen.

Eén aspect uit deze regelgeving is het maximale isolatieniveau (K-peil) dat een woning mag hebben. Dit peil houdt rekening met de warmteverliezen door alle buitenmuren, daken, vloeren, vensters, ... en kan verschillen per gewest. Duidelijk is wel: hoe lager het K-peil, hoe beter je woning geïsoleerd is.

Om het K-peil van een woning te berekenen, moeten eerst de U_{max}-waarden van de verschillende onder delen van het gebouw, zoals vloeren, wanden, dak, ... berekend worden. Deze waarden geven de isolatiecapaciteit van de afzonderlijke constructiedelen weer, en zijn eveneens per gewest vastgelegd.

Het E-peil geeft een beeld van het energieverbruik van de woning en haar vaste installaties. Het maximum cijfer is vastgelegd per gewest. Hoe lager dit is, hoe energiezuiniger de woning en haar toestellen is.

Ytong geeft oplossingen die meer dan toereikend zijn voor de EPB-norm geldig in de 3 Gewesten. Zowel in een tweeschalige muur als in een éénschalige muur (afgewerkt met crépi), zijn de U-waarden zo laag dat extra isolatiemateriaal niet nodig is om het vereiste K-isolatiepeil te bereiken. Hierin is Ytong uniek. Uw woning geniet met Ytong van een duurzame en efficiënte isolatie, zonder extra uitgaven voor bijkomende isolatie materialen.

EPB-eisen in België				
	U_{max} buitenmuur			
	2012 - EPB	2014 - EPB	2015 - EPB	2020 - Passief
Vlaanderen	0,32	0,24		0,15
Brussel	0,40	0,40	0,15	0,15
Wallonië	0 32	0,24		0,15

Vanaf eind 2020 schrijft Europa voor dat alle nieuwbouw volgens de passief standaard moet gebouwd worden.



B.2.2.1.5 Controle van de U-waarde op de werf

Sinds maart 2001 is de controle van de isolatiewaarde van een woning veel eenvoudiger geworden vermits het addendum bij de NBN B 62-002 op eenduidige wijze de isolatie waarden van de verschillende bouwmaterialen vastlegt. De controleur kan dus zonder discussie het globale isolatiepeil van uw woning bepalen in functie van de gebruikte materialen.

Het addendum is voor de controleurs een onmisbaar instrument geworden. Ze beschikken sinds de publicatie ervan, over tabellen waarin λ waarden vastgelegd zijn. Dus kunnen ze ook de U-waarde van de gevels bepalen op basis van enkele parameters (gebruikte materialen, diktes, etc.). Het addendum toont aan dat men enkel met cellenbeton aan de eis kan voldoen indien men geen supplementaire isolatie wil gebruiken en een klassieke muurbreedte wil aanhouden.


arch. Stefan Feliers

Cellenbeton is in België het enige materiaal dat toelaat om buitenmuren op te trekken zonder toegevoegde isolatie.


arch. Stefan Feliers

B.2.2.1.6 Een efficiënte isolatie

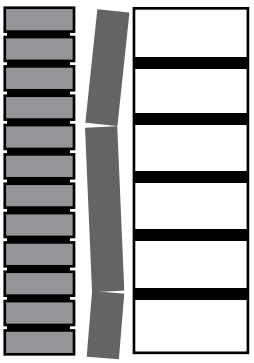
De isolatie van een woning moet niet alleen "op papier" voldoen aan de gestelde eisen, maar moet eveneens correct uitgevoerd worden op de werf. En daar moet men opmerken dat dit spijtig genoeg niet altijd het geval is. Om echt doeltreffend te zijn moet de isolatie met zorg aangebracht worden, perfect aansluitend tegen de binnenmuur, zonder dat er tussen de verschillende platen spleten ontstaan. De minste onderbreking in de continuïteit van de isolatie leidt tot circulaties van koude lucht tussen de binnenmuur en de isolatie. Gevolg : verlies in isolatievermogen en het ontstaan van koudebruggen. Deze koudebruggen kunnen ernstige gevolgen hebben (inwendige condensatie, ontstaan van vochtvlekken op de muren).

Ytong levert een perfecte oplossing voor dit probleem.
Ytong is isolerend op zichzelf, zonder dat er supplementaire isolatie aan te pas komt. De nadelen die kunnen ontstaan tengevolge van een slechte plaatsing van de isolatie kunnen we dus vergeten. Door met Ytong te bouwen bekomt men tegelijk een duurzame isolatie die ook nog 100 % efficiënt is. Meer nog, de isolatiewaarden van de Ytong-blokken liggen veel hoger dan de strengste regels, wat automatisch leidt tot bijkomende besparingen in verwarmingskosten. En dat allemaal zonder te moeten betalen voor uw isolatie!

Geen koudebruggen dankzij lateien en U-lateien

Een koudebrug is een zone waar er een zwak punt is op vlak van isolatie. Als de koudebruggen tot een minimum beperkt worden zullen ze het energieverbruik op jaarbasis slechts in geringe mate beïnvloeden. Ze kunnen daarentegen desastreuze gevolgen hebben. Indien de temperatuur van het binnenoppervlak van de wand lager is dan een bepaalde waarde (ongeveer 14°C voor normale omstandigheden), dan zal de in de omgevingslucht aanwezige vochtigheid condenseren op het oppervlak. Dit vertaalt zich in het ontstaan van vochtvlekken en schimmels op de binnenmuren van de woning.

Het gebruik van U-blokken, U-lateien en volle lateien laat toe koudebruggen te vermijden ter plaatse van de openingen en evenals alle condensatieproblemen die hiermee verbonden zijn.



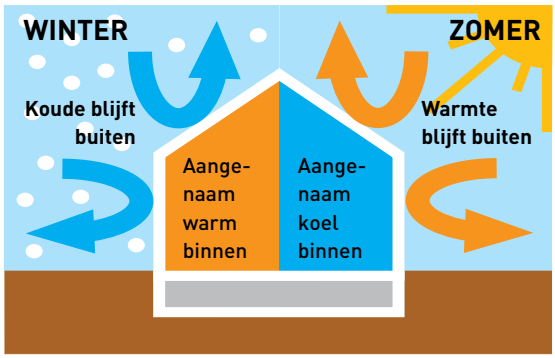
Muur + toegevoegde isolatie + gevelsteen

Het isolatiemateriaal wordt op de werf vaak slecht aangebracht, wat leidt tot koudebruggen of vochtinsijpeling.



Ytongoplossing

Geen isolatiemateriaal in de spouw.
Geen risico op koudebruggen of waterinsijpeling. Geen kans op beschadiging van het isolatiemateriaal.
Dit systeem biedt een doeltreffende isolatie aan 100%, gedurende de hele levensduur van het gebouw.



B.2.2.2 Thermische inertie

Naast de isolatiewaarden en hun impact op het energieverbruik, is ook de thermische behaaglijkheid en het gezonde leefklimaat in de woning van belang. En ook daar onderscheidt Ytong zich met uitzonderlijke kwaliteiten.
Tijdens de zeer warme periodes met intense zonnestraling zal een goed geïsoleerde woning, die tevens voorzien is van een goede thermische inertie, aangenaam fris blijven overdag, maar 's nachts een goede temperatuur behouden.

Elk bouwmateriaal absorbeert een zekere hoeveelheid warmte wanneer de omgevingstemperatuur toeneemt. De hoeveelheid warmte die door een materiaal geabsorbeerd wordt per m^2 en per graad temperatuursstijging, wordt thermische capaciteit (B) genoemd. De thermische capaciteit B van een materiaal is evenredig met de massa. Derwijze kan men stellen dat een "zwaar" beton een goede thermische capaciteit zal hebben.
Om een goede thermische inertie te bekomen is het niet alleen belangrijk om buitenmuren met een hoge thermische capaciteit te kiezen (om de warmte te kunnen "absorberen"), maar deze wanden moeten ook isoleren, zodat de warmte niet te snel wordt doorgegeven naar de andere kant van de wand.

Daarom moet de verhouding $A = \frac{B \bullet d}{\lambda}$

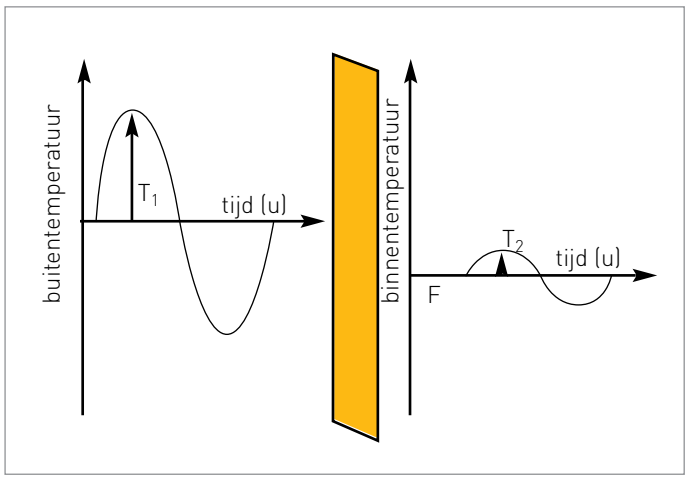
(met d = dikte) moet zo hoog mogelijk zijn.

Dit kan alleen maar als het gebruikte materiaal tegelijk isolerend en zwaar is. Een "zuiver" isolatiemateriaal heeft een zeer geringe massa en kan de warmte niet opslaan. Bij felle zonneschijn ontstaat dan het "caravaneffect" (waarbij het in de binnenruimte binnen de kortste keren ondraaglijk heet wordt).

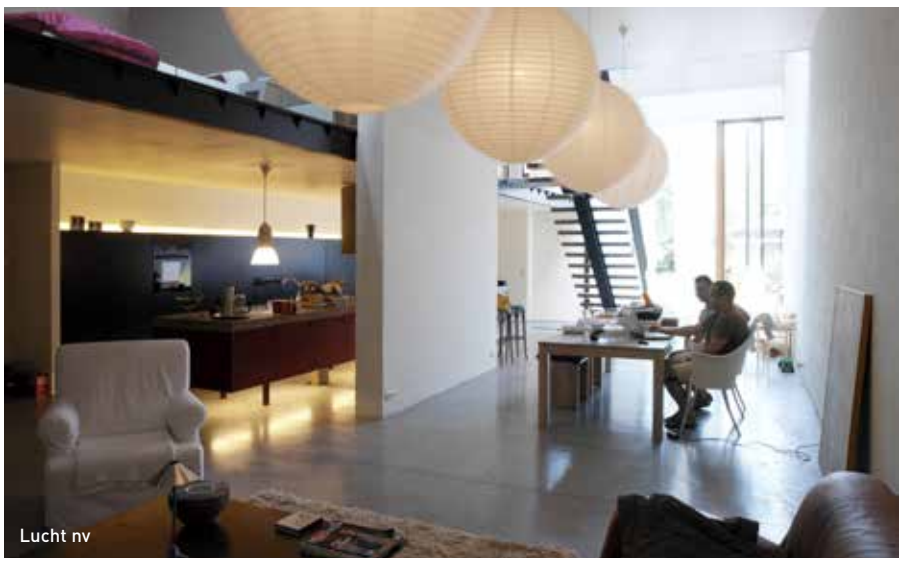
Ytong heeft de eigenschappen van een isolatiemateriaal maar heeft ook een belangrijke massa (tussen 300 en 650 kg/m^3). Het voldoet dus aan alle voorwaarden om een goede thermische inertie te creëren. Zo blijkt dat de A waarde van Ytong hoger is dan die van andere gebruikelijke bouwmaterialen. Als de thermische inertie hoger is (hoge A waarde, resulteert dat in een grote faseverschuiving en thermische demping.

Twee belangrijke voorwaarden om tijdens de zomermaanden te genieten van een ideaal comfort:
- de faseverschuiving F moet groot zijn. Het gaat hier over het tijdsverschil tussen de maximumtemperaturen buiten en binnen. Bij een grote faseverschuiving voelt men het effect van de hete middagzon pas rond de avond. Om een constante temperatuur te behouden moet men dus enkel nachtelijke ventilatie toepassen.
- de thermische demping moet groot zijn. De thermische demping is het verhouding tussen maximum buitentemperatuur en de maximum binnentemperatuur. Bij een grote thermische demping wordt een warmtepiek van 40°C buiten omgezet in een warmtepiek van 22°C binnen. Deze zal behaald worden na de faseverschuiving F.

Uit onderstaande figuur blijkt dat Ytong op beide vlakken uitstekende prestaties neerzet.



Materiaal	ρ	λ	d	Demping μ	Faseverschuiving F
	(kg/m³)	(W/mK)	(m)		(h)
Metselwerk in Ytong	400	0,11	0,24	9,09	11,4
Wand- en dakplaten in Ytong	600 500	0,16 0,14	0,24 0,20	7,14 8,06	9,7 8,7
Isolatie	20 20	0,04 0,04	0,10 0,15	1,43 1,49	2,1 3,1
Beton	2400 2400	2,10 2,10	0,20 0,25	1,61 2,27	4,0 6,0
Hout	600	0,13	0,10	2,50	6,0

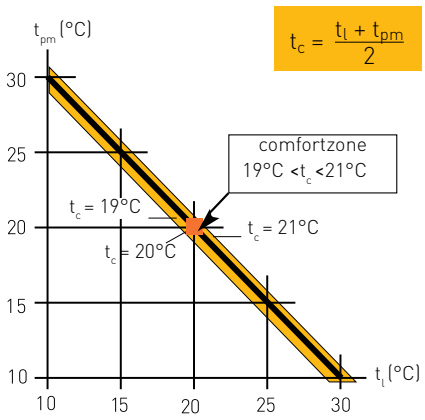

Lucht nv

Behaaglijkheid
De oppervlaktetemperatuur van de wand

Thermisch comfort is een gevoel van behaaglijkheid, dat voor het grootste deel gecreëerd wordt door de comforttemperatuur t_c. Dat is het gemiddelde van de luchttemperatuur tlen de oppervlaktetemperatuur t_{pm}

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

De comfortzone bevindt zicht tussen tc= 19°C en tc= 21°C. Uit het diagram blijkt dat in een kamer met een oppervlaktetemperatuur van 15 °C, het comfortgevoel (tc= 20°C) past bereikt wordt als de luchttemperatuur 25°C bedraagt.



t_{pm} = gemiddelde oppervlaktetemperatuur (°C)
t_c = comforttemperatuur
t_l = luchttemperatuur (°C)

Als we weten dat een verhoging van de luchttemperatuur met 5°C het energieverbruik met 40 % de hoogte injaagt, wordt het belang van een hogere oppervlaktetemperatuur meteen duidelijk. Dankzij zijn isoleren de structuur, draagt Ytong bij tot een hogere oppervlaktetemperatuur, die ons toelaat op de kosten voor verwarming te besparen en zo nog steeds een optimaal comfort in de woning te verzekeren.

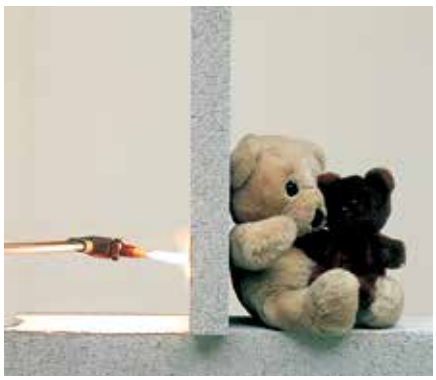
B.2.3 Brandwerendheid

B.2.3.1 Uitzonderlijke brandweerstand

De uitzonderlijke brandweerstand van Ytong is een rechtstreeks gevolg van de manier waarop het materiaal op vlammen reageert. Dankzij zijn unieke fysische eigenschappen is Ytong het ideale bouwsysteem om u tegen brand te beschermen.

- Ytong is onontvlambaar en onbrandbaar. Het is ongevoelig voor vlammen en wakkert de brand ook niet aan.
- Brandreactieklasse A1
- Ytong is thermisch isolerend (dankzij zijn unieke celstructuur).
- Ytong ontwikkelt geen giftige dampen bij brand.
- Ytong is ongevoelig voor de temperatuursinvloeden:
  - de structuur van het materiaal verandert niet.
  - er treedt geen vervorming op. Daardoor kunnen de vlammen of de rook zich niet verder verspreiden en worden er geen openingen gecreëerd langs waar verse zuurstof het vuur verder aanwakkert.

Bovendien is Ytong een natuurlijk isolerend materiaal. Daardoor is er bij brand geen enkel risico op het ontstaan van giftige dampen voortkomend uit synthetische isolatieproducten.



B.2.3.2 Bepaling van de brandweerstand

Om een brandweerstand te bepalen wordt in gelijke mate rekening gehouden met volgende drie criteria:

- **stabiliteit (R):**
  de tijd dat het bouwmateriaal zijn dragende functie behoudt (stabiliteit, vervormingen)
- **vlamdichtheid (E):**
  het materiaal moet ondoordringbaar zijn voor vlammen, dampen en verhitte gassen, die het vuur naar naburige lokalen kunnen doen overslaan
- **thermische isolatie (I):**
  moet voldoende zijn om materialen en bekleding, die zich tijdens een brand tegen de andere zijde van de wand bevinden, te beschermen tegen zelfontbranding ten gevolge van de hogere oppervlaktetemperatuur.



Brandwerendheid muren (in minuten)	
Dikte (in mm)	Brandweerstand in minuten
70	E 90*, EI 90*
100	E 120*, EI 180*
150	E 120*, EI 240*, REI 180**
200	E 120*, EI 240*, REI 360*
240	REI 360*

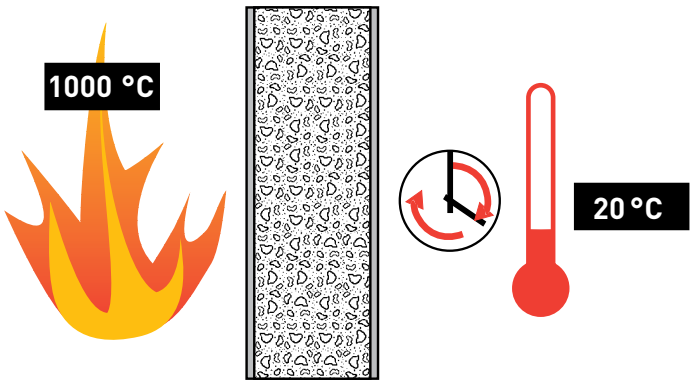
*** volgens testrapport** **** volgens NBN EN 1996-1-2-ANB: 2011**

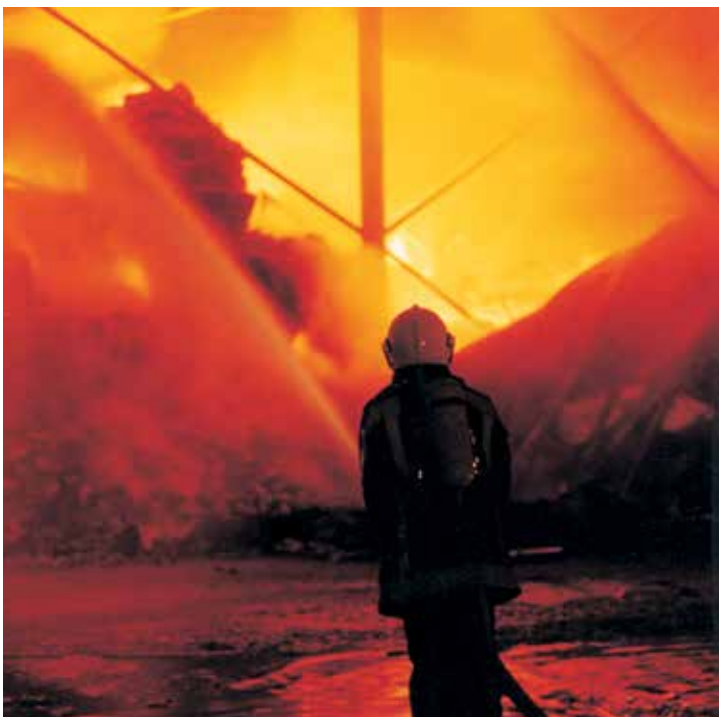
Opmerking:
Deze cijfers bewijzen dat de brandweerstand van cellenbeton uitzonderlijk is, zelfs bij een geringe dikte.

Meteen wordt duidelijk waarom de gebouwen, waarin materialen op hun brandweerstand getest worden, opgetrokken zijn in Ytong of Hebelmaterialen.

B.2.3.3 De beste bescherming tegen brand

Door zijn uitzonderlijk hoge brandweerstand is cellenbeton ook de eerste keuze bij gebouwen, waarin op het vlak van brand niets aan het toeval mag worden overgelaten (opslagplaatsen voor ontvlambare stoffen, compartimenten, ...). De verzekeringsmaatschappijen houden rekening met het gebruik van cellenbeton (Ytong en Hebel) door hun tarieven te verlagen.





In het hoofdstuk "Brandwanden" van de Hebel-documentatie, zal u meer informatie voor het ontwerpen van dergelijke wanden terugvinden.

B.2.4 Ecologisch en duurzaam bouwen

"Een duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die tegemoet komt aan de noden van het heden zonder de behoeftevoorziening van de volgende generaties in het gedrang te brengen."

De bouwsector kent de hoogste energiebehoeften. Gebouwen vertegenwoordigen 42% van de primaire energie. De bouwsector is verantwoordelijk voor de ontginning van 58% van de natuurlijke grondstoffen en genereert 50% van alle afval.

Het enorme belang van een duurzame ontwikkeling is hiermee duidelijk gesteld.

Het concept van deze duurzame ontwikkeling is een echte uitdaging voor de werknemers in de bouw en is van levensbelang voor het welzijn van de toekomstige generaties.

Bij duurzaam bouwen moeten we rekening houden met verschillende factoren:
- Energetische efficiëntie van gebouwen
- Gebruik maken van materialen met weinig impact op het milieu
- Verminderen van bouw- en afbraakafval

A Energetische efficiëntie van gebouwen

De energetische efficiëntie is primordiaal voor het verminderen van de energiebehoeften van gebouwen.

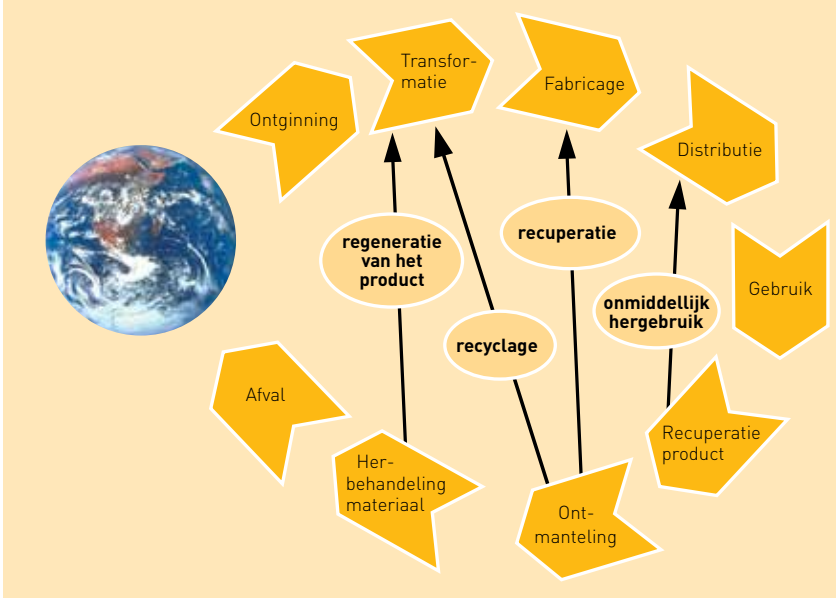
De energetische efficiëntie wordt bepaald door de thermische isolatie van het gebouw, maar ook door talrijke andere factoren: het type beglazing, woningautomatiseringssystemen (domotica), verlichting, gecontroleerde ventilatie, optimale verwarmingsinstallaties, gebruik van hernieuwbare energiebronnen,....

B Bouwmaterialen met weinig impact op het milieu

Een duurzaam bouwmateriaal is een materiaal dat de natuur en de mens gedurende zijn hele levenscyclus spaart.

De politiek die zich tot op heden toegespitst heeft op directe uitstoten, evolueert naar het concept duurzaam bouwen. Van een verantwoordelijkheid voor een productie zonder vervuiling, evolueert men vandaag naar een verantwoordelijkheid voor alle fasen van de levenscyclus van een product.
Men kan hierbij een nieuw concept definiëren: engineering van de levenscyclus. Dit "engineering" zal twee verschillende belangen verenigen en deze zoveel mogelijk optimaliseren: het ecologische en het economische belang.

Analyse van de levenscyclus



Engineering van producten zal dus alle levenscycli van de materialen in rekening brengen en zal de ecologische impacten met de economische combineren.

Dit betekent **minder grondstoffen, minder energie, minder afval, minder verpakkingen,** maar betekent ook **meer recyclage** met als doelstelling een daling van de productiekosten en een betere ecologische balans.

Engineering van producten veronderstelt de creatie van ergonomische producten: met een hoger plaatsingsrendement, een verbeterde gezondheid en comfort voor de arbeiders en meer comfort voor andersvalide gebruikers.



c Afval

Het afvalbeheer speelt eveneens een belangrijke rol in de logica van een duurzame ontwikkeling.

De fabrikanten van materialen moeten bij de ontwikkeling van producten al rekening houden met recyclage en hergebruik.

Bouwheren en bouwprofessionelen moeten gevoelig zijn voor hergebruik, recyclage, selectieve afbraak, organisatie van afvalstromen en de stimulatie voor het gebruik van gerecycleerde producten.

d Ytong en duurzame ontwikkeling

Ytong is sinds vele jaren met de problematiek van een duurzame ontwikkeling bezig.
De zeer doorgedreven engineering van het materiaal Ytong heeft ertoe geleid dat het een van de meest performante bouwmaterialen is tijdens zijn levenscyclus.
Deze "ecologische performantie" is vertaald in talrijke europese labels.

- Grondstoffen

Ytong is een geautoclaveerd cellenbeton dat ontstaat door water, zand en lucht met elkaar te combineren. Daardoor heeft het de eigenschappen van een steenachtig materiaal (duurzaam, hard, onvervormbaar, onrotbaar en onbrandbaar) en de eigenschappen van een isolatiemateriaal (de stilstaande lucht in de vele poriën is de beste isolator).
De grondstoffen zijn zand, water, kalk en cement. Deze grondstoffen zijn overvloedig aanwezig in de natuur.
Het materiaal is licht. Er komen dus weinig grondstoffen aan te pas.
Tijdens de productie worden o.a. snijverliezen gerecupereerd (korst) en terug verwerkt. Na autoclavering wordt het afval fijngemalen en als grondstof in de fabricatie gebruikt ter vervanging van zand.

- Productie: laag energieverbruik

Ytong is een geautoclaveerd materiaal (verharding onder hoge druk en lage temperatuur). Dankzij dit procédé is het energieverbruik tijdens de productie beduidend lager dan bij andere bouwmaterialen. Voor de productie van 1 m^3 Ytong zijn slechts 200 kWh nodig.

Bij de vervaardiging van Ytong ontstaan geen schadelijke gassen en wordt geen water vervuild.



- Constructie

Ytong is een licht product hetgeen zich vertaalt in efficiëntere transporten en plaatsing. De producten zijn ergonomisch.
Het gemak waarmee Ytong kan verzaagd worden (tot op 1 mm nauwkeurig), laat een quasi volledig gebruik van de geleverde producten toe, hetgeen leidt tot een minimale hoeveelheid afval.
Bouwafval kan bovendien gemakkelijk gerecycleerd worden.

Voor de paletten vraagt men een waarborg om teruggave te stimuleren, zodat ze herbruikt kunnen worden

- Gebruik

Dankzij zijn isolerende werking en thermische inertie kan men met Ytong besparen op energie en het milieu beter vrijwaren. Ook draagt Ytong bij tot een beter wooncomfort en dit zowel 's zomers als 's winters.
Muren opgebouwd met Ytong vertonen geen koudebruggen en verhinderen dat er condensatie ontstaat met eventuele schimmels als gevolg.
Dankzij hun gunstige μ-waarde (weerstand tegen waterdampdiffusie), zullen de muren ademen en bijdragen tot een goede luchtkwaliteit binnen.

- **Recyclage**

Ytong is voor 100 % recycleerbaar. Fabricatieafval wordt gerecupereerd, gemalen en opnieuw in het productieproces gebracht. Via een systeem van BigBags is het mogelijk om Ytongafval op de werf te recupereren en te recycleren, en het zo terug in de productie te brengen.

- **Ytong Recycling Bag**

Ytong heeft een programma op punt gesteld om Ytongafval op de werf te recupereren voor hergebruik. Overschotten van Ytong-materialen worden in speciale BigBags (Ytong Recycling Bag) verzameld en via de handelaar terug aan de fabriek bezorgd.



- **De Groene Motor**

Xella wil een voorloper zijn op het gebied van duurzame bouwoplossingen. Het op de markt brengen van bouwproducten en bouwsystemen die de vraag naar energie minimaliseren, heeft daarbij prioriteit. 'De Groene Motor' geeft aan welke initiatieven we ontplooien in het belang van mensen, onze leefomgeving en de wereld als geheel.

De brochure kan u downloaden op:
www.xella.be



Recupereren van afval op de werf en terugbrengen naar fabriek voor recyclage



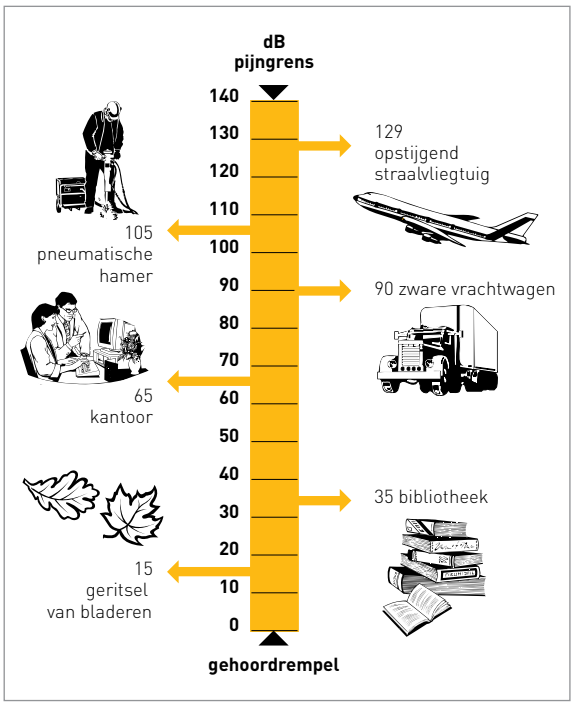
B.2.5 Geluidswering

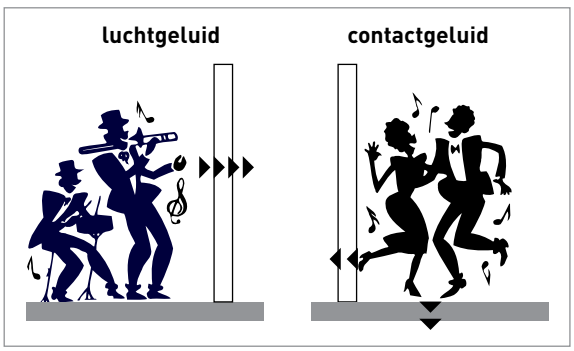
B.2.5.1 Algemeen

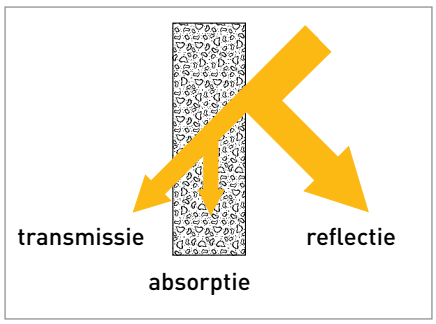
Fundamenteel dienen we voor de geluidsisolatie van constructieelementen onderscheid te maken tussen luchtgeluid en contactgeluid. Wil men de bewoners van een gebouw een goed akoestisch comfort geven, dan moeten de nodige maatregelen worden getroffen, zowel tegen luchtgeluid als tegen contactgeluid.

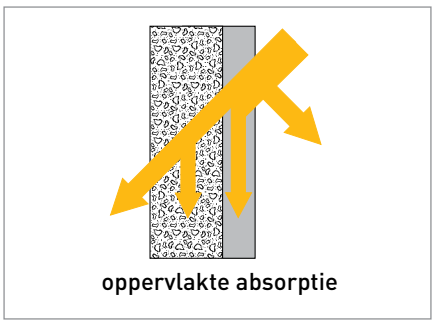
- luchtgeluid: geluid afkomstig van een bron die rechtstreeks de lucht in trilling brengt, vb. radio, televisie, stemmen, vliegtuigen, ...
- contactgeluid: geluid afkomstig van een bron die eerst een constructiedeel (wand of vloer) in trilling brengt, waarbij dit geluid zich verder voortplant in de constructie en in een andere ruimte lawaai afstraalt, vb. voetstappen op vloeren of trappen, ...

Onder geluidsisolatie verstaat men het verminderen van de geluidsoverdracht van een ruimte naar een andere. De geluidsisolatie wordt uitgedrukt in decibel (dB). Naast isolatieproblemen zijn er ook andere akoestische problemen, vb. nagalm. Wanneer geluidsgolven op een wand invallen, zal een gedeelte van het geluid gereflecteerd en de rest geabsorbeerd of doorgelaten worden.









B.2.5.2 Geluidsabsorptie

De geluidsabsorptiecoëfficiënt α van een wand wordt gedefinieerd als:

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

α =1 betekent dat alle geluiden worden geabsorbeerd of doorgelaten.

α =0 betekent dat alle geluiden worden gereflecteerd

De grootte van de coëfficiënt α (geluidsabsorptiefactor volgens Sabine) hangt af van de frequentie van het invallende geluid en de oppervlaktestructuur van het constructie-element. Nagalm ontstaat in een ruimte naargelang het invallend geluid wordt gereflecteerd en in mindere mate wordt geabsorbeerd. De geluidsabsorptie van een bouwelement verhindert de nagalm van geluid binnen een ruimte. Als alle geluidsenergie perfect wordt geabsorbeerd, is de waarde van deze coëfficiënt 1.
De geluidsabsorptie kan worden bepaald volgens NBN EN 130 354 (2003). Door het meten van de nagalmtijd T en de formule van Sabine kan de absorptie worden berekend.
Dankzij de opencellige oppervlaktestructuur is de geluidsabsorptie van Ytong 5 tot 10 keer groter dan die van gladde, "geluidsharde" materialen.

Uit proeven blijkt dat onbehandeld Ytong C3/450 tot 25 % van het geluid absorbeert in de hoge frequenties.

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
700 kg/m³	0,16	0,22	0,28	0,20	0,20	0,31
480 kg/m³	0,05	0,10	0,15	0,15	0,20	0,25
480 kg/m² geverfd	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Tabel: geluidsabsorptiecoëfficiënt α.

B.2.5.3 Luchtgeluid

De doorgang van luchtgeluid kan bepaald worden door meting van de geluidsdruk in de zend- en ontvangstruimte.

Wanneer de meting in een labo gebeurt, definieert NBN S 01-005 de geluidsverzwakkingsindex R voor luchtgeluid. Dit is een genormaliseerde waarde waarbij rekening is gehouden met de oppervlakte van de scheidingswand en de absorptiekarakteristieken van de zend- en ontvangstruimtes.
Wanneer de meting "in situ" plaatsvindt, wordt volgens NBN S 01-006 gesproken over de genormaliseerde bruto akoestische isolatie $D_{nT,w}$ voor luchtgeluid.
Voor enkelvoudige wanden geldt voor de geluidsverzwakkingsindex R:

Dikte	Voegen	Afwerking	Densiteit	Norm	R-waarde ISO 717-1
10 cm	Verlijmd	2-zijdig bepleisterd	C4/550	NBN S 01-005	38 dB
15 cm	Verlijmd	2-zijdig bepleisterd	C4/550	NBN S 01-005	44 dB
20 cm	Verlijmd	2-zijdig bepleisterd	C3/450	NBN S 01-005	49 dB

Tabel: geluidsverzwakkingsindex Ytong-muren

B.2.5.4 Isolatie tegen luchtgeluid in gebouwen

Een wand is meestal samengesteld uit verschillende onderdelen (deuren, ramen, betonnen kolommen, leidingen, ...). In de beoordeling van een wand met een dergelijke samenstelling is er een fundamenteel verschil tussen geluidsisolatie en warmteisolatie.

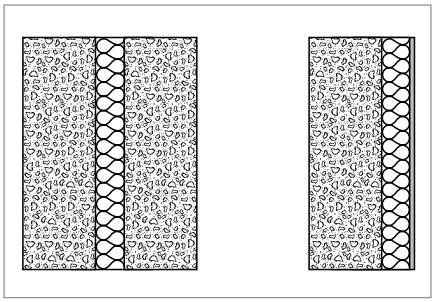
Evenals bij warmte-isolatie is de luchtgeluidsisolatie van een wand natuurlijk afhankelijk van de isolerende eigenschappen van de samenstellende delen. Bij de warmte-isolatie wordt het isolatieniveau van een bouwelement bepaald door het gemiddelde van de waarden van de verschillende delen, gemeten over hun aandeel in het totale oppervlak. Dat is niet het geval bij geluidsisolatie!

Bij geluidsisolatie wordt het isolerend vermogen sterk bepaald door dit van het zwakste element (deuren, vensters, ingewerkte buizen, ...). Bij warmte-isolatie helpt elke m^2 isolatie, bij geluidsisolatie geeft het zwakste onderdeel de doorslag.

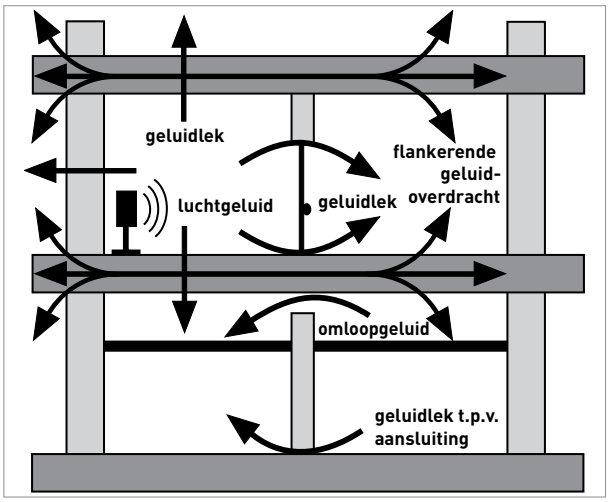
Wil men een goed akoestisch comfort, dan is het van belang reeds in de planningsfase hiermee rekening te houden. Het is dus uiterst belangrijk om in de woning te zorgen voor een oordeelkundige schikking van de geluidsarme ruimten (slaapkamers, woonkamer) en de geluidsintensieve ruimten (keuken, traphal, sanitaire ruimten).

In rijwoningen en flatgebouwen dient men daarnaast bij de keuze van de indeling ook nog rekening te houden met de woningscheidende wanden (en vloeren).

Voor de muren zal in deze gevallen meestal geopteerd worden voor een ontdubbelde constructie bestaande uit 2 spouwbladen gescheiden door een soepele tussenlaag (vb. lucht).



In een eengezinswoning is het gebruik van enkelvoudige binnenmuren van 10 of 15 cm Ytong ruim voldoende voor wat de luchtgeluidsisolatie tussen kamers betreft.
Door toepassing van Ytong in de buitenmuren en in het dak kan ook daar een uitstekende isolatie t.o.v. buitenlawaai (verkeer, vliegtuigen,...) bekomen worden.







B.2.6 Sterkteberekening van Ytong-muren

B.2.6.1 Berekening van metselwerk in Ytong met verticale belasting (volgens Eurocode 6)

B.2.6.1.1 Inleiding

De hierna uitgelegde berekeningsmethode voor de druksterkte van Ytongmuren is deze volgens de Europese norm NBN EN 1996-1-1 (Design of masonry structures – Part 1.1: General rules for buildings – Rules for reinforced and unreinforced masonry) en de NBN EN 1996-1-1 ANB (nationale bijlage). Deze methode vervangt sinds eind 2010 de oude belgische norm NBN B 24-301.

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 (Murfor – zie B.0.3) om de treksterkte en de buig- en druksterkte van het metselwerk te verbeteren. De bijzonderheden over de berekening van gewapend metselwerk staan in Eurocode 6 en zijn nationale bijlage.

Naast deze uitgebreide methode is er tevens een vereenvoudigde methode. Deze berekeningsmethode is gebaseerd op de NBN EN 1996-3 en de NBN EN 1996-3 ANB. Men kan hiermee op een eenvoudigere manier de sterkte van een muur bepalen. De berekeningsmethode met bijhorend rekenvoorbeeld wordt hier verder toegelicht.

De vereenvoudigde methode is een zeer veilige manier van berekenen. De sterkte van de muur volgens de uitgebreide methode zal normaal gezien exacter zijn en een hogere drukweerstand van het metselwerk als resultaat hebben. De uitgebreide methode geniet bijgevolg de voorkeur boven de vereenvoudigde methode.

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.

B.2.6.1.2 Genormaliseerde gemiddelde druksterkte van Ytong-blokken f_b

De druksterkte van Ytong cellenbeton blokken wordt onder CE verklaard als de karakteristieke druksterkte f_{bk}, aangevuld met de genormaliseerde gemiddelde druksterkte f_b.

De druksterkte van de Ytong blokken wordt bepaald op luchtgedroogde kubussen met een ribbe van 100 mm.

Type	f_{bk} in N/mm²	f_b in N/mm²
C2/300	≥ 1,6	≥ 2,0
C2/350	≥ 1,8	≥ 2,0
C3/450	≥ 3,0	≥ 3,4
C4/550	≥ 4,0	≥ 4,5
C5/650	≥ 5,0	≥ 5,6

B.2.6.1.3 Mortelcategorieën: f_m

De indeling van de mortelcategorieën berust op de gemiddelde sterkte gemeten volgens EN 1015-11. De mortels wordt geklasseerd in functie van hun druksterkte. De letter M van de druksterke f_m uitgedrukt in N/mm² moet gevolgd worden.
De lijmmortel Ytocol (paragraaf B.0.6.1) behoort tot de klasse M10 en heeft een gemiddelde druksterkte na 28 dagen f_m = 10 N/mm².

B.2.6.1.4 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 onderstaande formule worden berekend.

Ytong behoort tot metselwerk van groep 1 (minder dan 25 % holle ruimtes) en wordt met lijmmortel Ytocol verlijmd.

f_k wordt als volgt bepaald:

$f_k = 0{,}80 \bullet f_b^{0{,}85}$ (N/mm²)

B.2.6.1.5 Karakteristieke druksterkte f_k en rekenwaarde druksterkte f_d voor verschillende soorten metselwerk

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

$f_k = 0{,}8 \bullet f_b^{0{,}85} = 2{,}26$ N/mm²
met $f_b = 3{,}4$ N/mm²

Indien de karakteristieke druksterkte van het metselwerk f_k wordt gedeeld door de partiële veiligheidsfactor γ_M wordt de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk f_d bekomen. De partiële veiligheidsfactor γ_M voor Ytong cellenbetonblokken van Categorie I met bijkomende productcertificatie (BENOR) en een prestatiemortel Ytocol met bijkomende productcertificatie (KOMO), bij een normale uitvoeringsklasse N, bedraagt 2,5.

$$f_d = \frac{2{,}26 \text{ N/mm}^2}{2{,}5} = 0{,}91 \text{ N/mm}^2$$

In de onderstaande tabel staan de volgens de NBN EN 1996-1-1 en de NBN EN 1996-1-1 ANB berekende karakteristieke muurdruksterkte f_k en de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk f_d waarden voor Ytong.

Type	f_k in N/mm²	f_d in N/mm²
C2/300	1,44	0,58
C2/350	1,44	0,58
C3/450	2,26	0,91
C4/550	2,87	1,15
C5/650	3,46	1,38

Ytong-muren hebben hun grote sterkte te danken aan het feit dat de voegen gelijmd worden met lijmmortel (dunne voegen) en dat de blokken niet hol zijn (geen perforaties).

B.2.6.1.6 Sterkteberekening van de muur

B.2.6.1.6.1 Sterkteberekening van de muur volgens de uitgebreide methode NBN EN 1996-1-1 en de NBN 1996-1-1 ANB

Om de sterkte van een muur te berekenen, passen we een verminderingsfactor Φ toe, die rekening houdt met de slankheid en excentriciteit.

A 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.

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

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

Er geldt:

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

2) t_{ef} = de effectieve dikte
waarbij $t_{ef} = t$
Voor een enkele wand

$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef}\, t_1^3 + t_2^3}$$

Voor een spouwmuur (dikte spouwbladen t_1 en t_2) met spouwankers (niet minder dan 5 per m²) en met

$$k_{tef} = \frac{E_1}{E_2} \leq 2$$

E = elasticiteitsmodulus.

1 Muur enkel gesteund aan boven- en onderzijde (niet aan de verticale kanten)

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_2$

of ρ_2 = 0,75 als de muren als voldoende ingeklemd kunnen beschouwd worden (vb tussen betonvloeren)
ρ_2 = 1,0 als de muren als scharnierend beschouwd worden (vb tussen houten vloeren)

2 Muur gesteund aan twee horizontale zijden en aan één verticale zijde

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_3$

met voor $h \leq 3{,}5\ l$

$$\rho_3 = \frac{\rho_2}{1 + \left(\frac{\rho_2 \bullet h}{3 \bullet l}\right)^2}$$

voor $h > 3{,}5\ l$

$$\rho_3 = \frac{1{,}5 \bullet l}{h} \geq 0{,}3$$

3 Muur gesteund aan twee horizontale zijden en aan twee verticale zijden

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_4$

met voor $h \leq 1{,}15\ l$

$$\rho_4 = \frac{\rho_2}{1 + \left(\frac{\rho_2 \bullet h}{l}\right)^2}$$

voor $h > 1{,}15\ l$

$$\rho_4 = \frac{1{,}5 \bullet l}{h}$$

B Excentriciteit van de belastingen

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

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0{,}05t$$

$$e_{mk} = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} \pm e_{init} + e_k \geq 0{,}05t$$

waarbij
M_{id} = de rekenwaarde van het buigmoment aan de boven- en onderzijde van de muur resulterend uit de excentriciteit van de verticale belasting
N_{id} = de rekenwaarde van de verticale belasting in de beschouwde sectie
e_{he} = de excentriciteit aan de boven- en onderzijde van de muur ten gevolge van de horizontale belastingen (vb. de winddruk)
e_{init} = de rekenwaarde van de toevallige excentriciteit h_{ef} /450
M_{md} = de rekenwaarde van het buigmoment in het midden van de muur resulterend uit de excentriciteit van de verticale belasting
N_{md} = de rekenwaarde van de verticale belasting in de beschouwde sectie
e_{hm} = de excentriciteit in het midden van de muur ten gevolge van de horizontale belastingen (vb. de winddruk)
e_k = de excentriciteit ten gevolge van kruip

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

1 Controle van de bovenste en onderste sectie van de muur

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

$$N_{Ed} \leq \frac{\Phi_i \bullet t \bullet f_k}{\gamma_M} = N_{Rd}$$

met

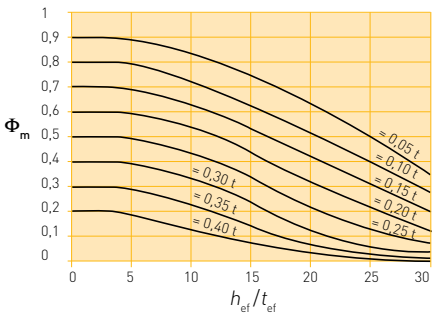
$$\Phi_i = 1\text{-}2\,\frac{e_i}{t}$$

2 Controle van de sectie op halve hoogte

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

$$N_{Ed} \leq \frac{\Phi_m \bullet t \bullet f_k}{\gamma_M} = N_{Rd}$$

met Φ_m gegeven in de onderstaande tabel afhankelijk van de slankheid en de excentriciteit (Eurocode 6).



De waarde van de veiligheidsfactor γ_M voor de Ytong-blokken is opgenomen in de NBN EN 1996-1-1 ANB en bedraagt 2,5.

D Veiligheidsfactoren voor belastingen γ_F

γ_F	Ongunstig	Gunstig
Permanente belasting γ_G	1,35	0,90
Veranderlijke belasting γ_Q	1,50	0

B.2.6.1.6.2 Sterkteberekening van de muur volgens de vereenvoudigde methode overeenkomstig de NBN EN 1996-3 en de NBN EN 1996-3 ANB

A Voorwaarden voor toepassing van de vereenvoudigde methode

Voor specifieke toepassingsvoorwaarden van de vereenvoudigde methode wordt verwezen naar de NBN EN 1996-3. Hieronder vindt u een kort overzicht van deze voorwaarden.

Algemene voorwaarden:

1. Gebouwhoogte ≤ 20 m. Bij hellende daken wordt de gemiddelde hoogte genomen.
2. Overspanning van de vloer ≤ 7,0 m.
3. Overbrugging dak door de muren gedragen ≤ 7,0 m, tenzij bij lichte daken met vakwerkliggers. In dat geval geldt 14m als maximale overspanning.
4. Verdiepingshoogte ≤ 3,2 m. Indien de totale hoogte gebouw groter is dan 7,0m mag de verdiepingshoogte van het gelijkvloers 4,0 m bedragen.
5. Karakteristieke waarde van de variabele last op vloeren en dak ≤ 5,0 kN/m².
6. Muren worden lateraal ingebonden door de vloeren en het dak in horizontale richting in een rechte hoek t.o.v. het vlak van de muur, hetzij door de vloeren en het dak samen of via geëigende methode, zoals ringbalken met voldoende stijfheid.
7. Dragende muren worden verticaal boven elkaar geplaatst over hun totale hoogte.

8. Opleg vloer en dak ≥ 0,4 keer de muurdikte, met een minimum van 75 mm.
9. Eindkruipcoëfficiënt van het metselwerk $\varnothing_\infty \leq 2{,}0$
10. Muurdikte en druksterkte metselwerk worden gecontroleerd per verdieping, tenzij ze onveranderlijk zijn over alle verdiepingen.

Bijkomende voorwaarden:
Bij muren die het eindsteunpunt vormen van vloeren wordt de overspanning van de vloer l_f beperkt, nl:

$l_f \leq 7{,}0$ m indien $N_{Ed} \leq k_G\ t\ b\ f_d$

of

l_f = de kleinste waarde van 4,5 + 10 t (in m) en 6,0 m indien $f_d \leq 2{,}5$ N/mm²

met:
N_{Ed} = rekenwaarde verticale belasting op het beschouwde verdiep
t = werkelijke dikte muur of van dragend spouwblad
b = breedte van de muur waarover de verticale belasting effectief inwerkt
f_d = rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk
k_G = 0,2 voor metselstenen van Groep 1

B Slankheid, effectieve dikte en effectieve hoogte van een muur

We bepalen:
h = verdiepingshoogte
l = afstand tussen de verticale steunen van de muren
t = muurdikte

We bepalen de slankheid S van de muur

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

Hier is:
h_{ef} = de effectieve hoogte

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

t_{ef} = de effectieve dikte

waarbij
$t_{ef} = t$ Voor een enkele wand

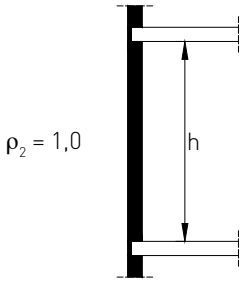
$t_{ef} = \sqrt[3]{(t^3 + t^3)}$ Voor een spouwmuur met spouwankers (niet minder dan 5 per m²) met de elasticiteits-modulus van het niet belaste spouwblad minstens gelijk aan 90% van die van het belaste spouwblad

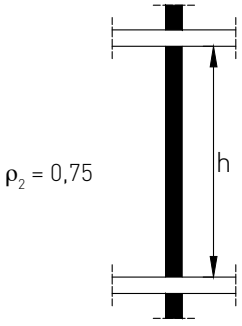
1 Muur aan boven- en onderzijde gesteund door gewapend of voorgespannen betonnen vloeren of daken en met een oplegging van minstens 2/3 van de muurdikte en ≥ 85 mm

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_2$

met $\rho_2 = 1{,}0$
indien de muur de eindoplegging van de vloer levert

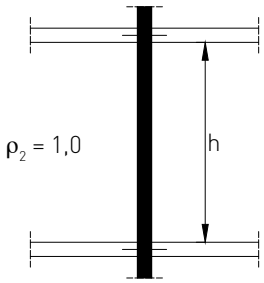
met $\rho_2 = 0{,}75$
voor alle andere muren





2 Muur aan boven-en onderzijde gesteund door ringbalken met voldoende stijfheid of door houten vloeren

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_2$



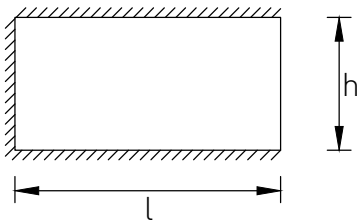
3 Muren gesteund aan boven-en onderzijde en aan één verticale rand

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_3$

met $\rho_3 = \dfrac{1{,}5 \bullet l}{h} \leq 0{,}75$
in het geval van rotatievaste in klemming (zie 1) indien de muur geen eindsteun van de vloer is

met $\rho_3 \leq 1{,}0$
voor alle andere muren in 1 en 2 hierboven

waarin
h = verdiepingshoogte
l = afstand van de verticale rand tot de vrije rand



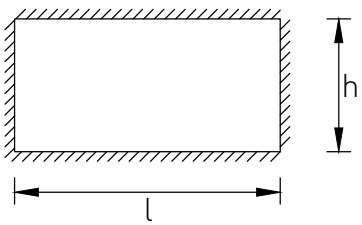
4 Muur gesteund aan boven- en onderzijde en aan twee verticale randen

De verminderingsfactor $\rho_n = \rho_4$

met $\rho_4 = \dfrac{l}{2 \bullet h} \leq 0{,}75$
in het geval van rotatievaste inklemming enkel boven en onder zoals in 1 indien de muur niet werkt als eindoplegging voor de vloer

met $\rho_4 \leq 1.0$
voor alle andere muren in 1 en 2 hierboven

waarin
h = verdiepingshoogte
l = afstand tussen de verticale steunen



C. Effectieve overspanning van een vloer

$l_{f,ef}$ = De effectieve overspanning van de vloer die als eindoplegging dienst doet:

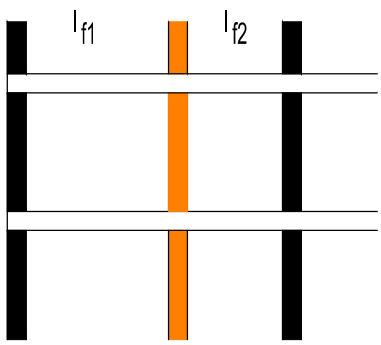
$l_{f,ef} = l_f$ voor gewoon opgelegde vloeren

$l_{f,ef} = 0{,}7\ l_f$ voor doorlopende vloeren

$l_{f,ef} = 0{,}7\ l_f$ voor gewoon opgelegde vloeren, dragend in twee richtingen waarvan de opleglengte op de muur in kwestie niet groter is dan twee maal l_f

$l_{f,ef} = 0{,}5\ l_f$ voor doorlopende vloeren dragend in twee richtingen waarvan de opleglengte op de muur in kwestie niet groter is dan twee maal l_f

Voor binnenmuren, waarbij $l_{f,ef1}$ en $l_{f,ef2}$ de effectieve overspanningen van de vloeren aan weerszijden van de beschouwde binnenmuur zijn wordt $l_{f,ef}$ als volgt bepaald: $l_{f,ef} = l_{f,ef1} - l_{f,ef2}$



D. Controle van de sterkte van de muur (ongewapend metselwerk)

Het nazicht van de sterkte van een muur uit gelijmde cellenbetonblokken bestaat erin de optredende normaalkrachten N_{Ed} te vergelijken met de weerstandsbiedende N_{Rd} zodat

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

waarbij

$N_{Rd} = \phi_s \bullet f_d \bullet A$ met

$$\phi_s = 1{,}3 - \frac{l_{f,ef}}{8} - 0{,}0004 \left(\frac{h_{ef}}{t_{ef}}\right)^2 \leq 0{,}85 - 0{,}0011 \left(\frac{h_{ef}}{t_{ef}}\right)^2$$

A = belaste horizontale oppervlakte van de muur

E. Veiligheidsfactoren voor belastingen γ_F

γ_F	Ongunstig	Gunstig
Permanente belasting γ_G	1,35	0,90
Veranderlijke belasting γ_Q	1,50	0

F. Berekeningsvoorbeeld

Appartementsgebouw met 4 bouwlagen.

Gegevens:
- Buitenmuren uit Ytong van 300 mm dikte + buitenpleister
- Dragende binnenmuren uit Ytong blokken van 200 mm dikte
- Vloerplaat van gewapend beton ($l_{f,ef1}$ = 5m en $l_{f,ef2}$ = 5m)
- Hellend houten spantendak

Berekeningen:
a) Rekenwaarden van de belastingen:
- Vloerplaat + chape + afwerking:
  4,5 kN/m² • 1,35 = 6,08 kN/m²
- Veranderlijke belastingen op vloerplaat:
  2,5 kN/m² • 1,5 = 3,75 kN/m²
- Totale rekenwaarde van de belasting op de vloerplaat
  6,08 kN/m² + 3,75 kN/m² = 9,83 kN/m²
- Houten dakconstructie
  1,5 kN/m² • 1,35 + 1,0 kN/m² • 1,5 = 3,53 kN/m²
- Metselwerk binnenmuren 200 mm - type C4/550:
  5,85 kN/m³ • 2,6 m • 0,20 m • 1,35 = 4,11 kN/m
- Metselwerk buitenmuren 365 mm – type C2/300:
  3,35 kN/m³ • 2,6 m • 0,365 m • 1,35 = 4,29 kN/m

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

- *Centrale binnenmuur (200 mm dik)*

t_{ef} = 200 mm, type C5/650
f_d = 1,38 N/mm²
h_{ef} = 2,6 m • 0,75 = 1,95 m (ρ_2 = 0,75)
$l_{f,ef} = l_{f,ef1} - l_{f,ef2}$ = 0 m

We bepalen de reductiefactor ϕ_s uit de onderstaande formule, namelijk:

$$\phi_s = 1{,}3 - \frac{0\text{m}}{8} - 0{,}0004\left(\frac{1{,}95\text{m}}{0{,}2\text{m}}\right)^2 \leq 0{,}85 - 0{,}0011\left(\frac{1{,}95\text{m}}{0{,}2\text{m}}\right)^2$$

=> ϕ_s = 0,75

Hieruit volgt de rekenwaarde van de muurdruksterkte N_{Rd}:
$N_{Rd} = \phi_s \bullet f_d \bullet A = 0{,}75 \bullet 1{,}38\text{N/mm}^2 \bullet 200\text{mm} = 207\text{ N/mm} = 207\text{ kN/m}$

- *Buitenmuur (365 mm dik)*

t_{ef} = 365mm, type C2/300
f_d = 0,58 N/mm²
h_{ef} = 2,6 m • 1,0 = 2,6 m (ρ_2 = 1,0)
$l_{f,ef}$ = 5 m (gewoon opgelegde vloer)

We bepalen de reductiefactor ϕ_s uit de onderstaande formule, namelijk:

$$\phi_s = 1{,}3 - \frac{5\text{m}}{8} - 0{,}0004\left(\frac{2{,}6\text{m}}{0{,}365\text{m}}\right)^2 \leq 0{,}85 - 0{,}0011\left(\frac{2{,}6\text{m}}{0{,}365\text{m}}\right)^2$$

=> ϕ_s = 0,65

Hieruit volgt de rekenwaarde van de muurdruksterkte N_{Rd}:
$N_{Rd} = \phi_s \bullet f_d \bullet A = 0{,}65 \bullet 0{,}58\text{N/mm}^2 \bullet 365\text{mm} = 138\text{ N/mm} = 138\text{ kN/m}$

c) Lastendaling:
- *Centrale binnenmuur (200 mm dik)*

Op het gelijkvloers is de rekenwaarde van de optredende belasting N_{Ed} gelijk aan:

$N_{Ed} = 9{,}83\text{ kN/m}^2 \bullet 5\text{m} \bullet 3 + 3{,}53\text{kN/m}^2 \bullet 5\text{m} \bullet 1 + 4{,}11\text{kN/m} \bullet 3$
$N_{Ed} = 177\text{ kN/m} \leq N_{Rd} = 206\text{ kN/m}$

We zullen bijgevolg type C5/650 gebruiken voor het gelijkvloers. Voor de andere verdiepingen (1, 2 en 3) nemen we type C4/550.

- *Buitenmuur (365 mm dik)*

Op het gelijkvloers is de rekenwaarde van de optredende belasting N_{Ed} gelijk aan:

$N_{Ed} = 9{,}83\text{kN/m}^2 \bullet 2{,}5\text{m} \bullet 3 + 3{,}53\text{kN/m}^2 \bullet 2{,}5\text{m} \bullet 1 + 4{,}29\text{kN/m} \bullet 3$
$N_{Ed} = 95\text{kN/m} \leq N_{Rd} = 138\text{ kN/m}$

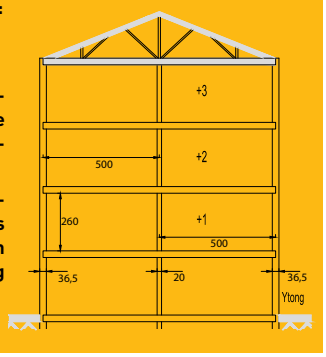
We zullen bijgevolg type C2/300 gebruiken voor alle verdiepingen. Dit type is ruimschoots voldoende voor het draagvermogen en biedt een uitstekende warmte-isolatie.

d) Conclusie

Ytong-blokken zijn uitstekend geschikt om alle dragende en niet-dragende muren van dit appartementsgebouw met 4 bouwlagen te bouwen. Gelet op de plaatsingssnelheid van de blokken, gecombineerd met de uitstekende geluid- en warmte-isolerende eigenschappen, vormen Ytong-blokken een economisch en hoog kwalitatieve oplossing.

De uitstekende druksterkte van muren uit Ytong-materiaal is te danken aan de combinatie van drie factoren:

- **Ytong-muren worden geplaatst met lijmmortel;**
- **Ytong-blokken zijn vol, in tegenstelling tot andere traditionele bouwsystemen die een variërend holtepercentage hebben;**
- **Bij Ytong wordt zonder isolatiemateriaal gewerkt, met iets dikkere muren. Hierdoor kan de muur een grotere belasting opnemen.**



B.2.6.1.7 Geconcentreerde belastingen

Wanneer een muur onderhevig is aan een geconcentreerde belasting, moet de rekenwaarde van de verticale puntlast N_{Edc} aangebracht op het metselwerk kleiner of gelijk zijn aan de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk voor geconcentreerde lasten N_{Rdc}.

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc}$$

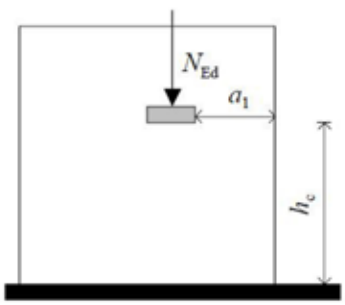
De berekening kan volgens de uitgebreide methode beschreven in de NBN EN 1996-1-1 en de NBN EN 1996-1-1 ANB gebeuren. In deze paragraaf gaan we echter dieper in op de vereenvoudigde methode die beschreven staat in de NBN EN 1996-3 en NBN EN 1996-3 ANB.

Voor metselwerk van Groep 1 metselstenen (zoals bij Ytong) heeft men:

$$N_{Rdc} = f_d \bullet \left(1.2 + 0{,}4 \frac{a_1}{h_c}\right) A_b \leq 1.5 \bullet f_d \bullet A_b$$

met

- a_1 de afstand van de meest dichtbij zijnde hoek van de draagzone puntlast tot einde muur
- h_c de hoogte vanaf de vloer tot niveau waar puntlast aangrijpt
- A_b belaste draagvlak



Deze formule mag enkel toegepast worden indien aan de onderstaande voorwaarden is voldaan:

- draagvlak onder puntlast ≤ ¼ dwarsdoorsnede muur
- draagvlak onder puntlast ≤ 2t² (t = muurdikte)
- excentriciteit puntlast ten op zichte van het centrale vlak van de muur ≤ $\frac{t}{4}$
- sterkte van de muur op halve hoogte is voldoende om de verticale belasting op te vangen, rekening houdende met een spreiding van de puntlast onder 60°.



B.2.6.1.8 Tabellen voor de berekening van de Ytong muren bij verticale belasting

De hierna vermelde tabellen laten toe de rekenwaarde druksterkte van de Ytong-muren snel te bepalen. Zij zijn opgesteld volgens de NBN EN 1996-3 en NBN EN 1996-3 ANB. De details van de berekeningen werden hiervoor in paragraaf B.2.6.16 uitgelegd.

Berekening van N_{Rd} (kN/m)-blokken met densiteit C2/300

Tabellen voor de berekening van Ytong-muren met een verticale belasting (volgens NBN EN 1996-3 ANB)

Bepaling van N_{Rd}. De rekenwaarde van de belasting in uiterste grenstoestand (N_{Ed}) moet ≤ N_{Rd}

$h_{ef} = \rho_n \bullet h$ met h = hoogte van de muur en ρ_n = 1 in het slechtste geval

γ_M = 2.5

	effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ ≤ 3m					
	dikte (m)					
h_{ef} (m)	0,2	0,240	0,3	0,365	0,4	0,5
1,5	90,92	111,72	142,33	175,04	192,54	242,28
1,6	89,93	110,90	141,67	174,50	192,05	241,89
1,7	88,89	110,03	140,97	173,93	191,53	241,47
1,8	87,78	109,10	140,23	173,32	190,97	241,03
1,9	86,60	108,12	139,45	172,68	190,39	240,56
2,0	85,37	107,09	138,62	172,00	189,77	240,06
2,1	84,07	106,01	137,76	171,29	189,12	239,54
2,2	82,70	104,87	136,85	170,54	188,43	239,00
2,3	81,27	103,68	135,90	169,76	187,72	238,43
2,4	79,78	102,44	134,90	168,94	186,98	237,83
2,5	78,23	101,14	133,87	168,09	186,20	237,21
2,6	76,61	99,80	132,79	167,20	185,39	236,56
2,7	74,93	98,39	131,67	166,28	184,55	235,89
2,8	73,18	96,94	130,50	165,32	183,68	235,19
2,9	71,38	95,43	129,30	164,33	182,77	234,47
3,0	69,50	93,87	128,05	163,31	181,84	233,72
3,1	67,57	92,26	126,76	162,25	180,87	232,95
3,2	65,57	90,60	125,43	161,15	179,87	232,15
3,3	63,51	88,88	124,05	160,02	178,84	231,32
3,4	61,38	87,11	122,64	158,86	177,78	230,47
3,5	59,19	85,28	121,18	157,66	176,68	229,60
3,6	56,94	83,41	119,67	156,42	175,55	228,69
3,7	54,63	81,48	118,13	155,15	174,40	227,77
3,8	52,25	79,49	116,54	153,85	173,21	226,82
3,9	49,80	77,46	114,92	152,51	171,99	225,84
4,0	47,30	75,37	113,25	151,14	170,73	224,84

	effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 4m					
	dikte (m)					
h_{ef} (m)	0,2	0,240	0,3	0,365	0,4	0,5
1,5	89,69	108,58	136,70	167,00	183,28	229,68
1,6	89,33	108,28	136,46	166,81	183,10	229,54
1,7	88,89	107,97	136,21	166,60	182,91	229,39
1,8	87,78	107,63	135,94	166,38	182,71	229,23
1,9	86,60	107,28	135,66	166,14	182,49	229,05
2,0	85,37	106,90	135,36	165,90	182,27	228,87
2,1	84,07	106,01	135,04	165,64	182,03	228,69
2,2	82,70	104,87	134,71	165,37	181,78	228,49
2,3	81,27	103,68	134,36	165,08	181,52	228,28
2,4	79,78	102,44	134,00	164,78	181,25	228,06
2,5	78,23	101,14	133,63	164,47	180,97	227,84
2,6	76,61	99,80	132,79	164,15	180,68	227,60
2,7	74,93	98,39	131,67	163,82	180,37	227,36
2,8	73,18	96,94	130,50	163,47	180,05	227,10
2,9	71,38	95,43	129,30	163,11	179,73	226,84
3,0	69,50	93,87	128,05	162,74	179,38	226,57
3,1	67,57	92,26	126,76	162,25	179,03	226,29
3,2	65,57	90,60	125,43	161,15	178,67	225,99
3,3	63,51	88,88	124,05	160,02	178,29	225,70
3,4	61,38	87,11	122,64	158,86	177,78	225,39
3,5	59,19	85,28	121,18	157,66	176,68	225,07
3,6	56,94	83,41	119,67	156,42	175,55	224,74
3,7	54,63	81,48	118,13	155,15	174,40	224,40
3,8	52,25	79,49	116,54	153,85	173,21	224,06
3,9	49,80	77,46	114,92	152,51	171,99	223,70
4,0	47,30	75,37	113,25	151,14	170,73	223,34

	effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 5m					
	dikte (m)					
h_{ef} (m)	0,2	0,240	0,3	0,365	0,4	0,5
1,5	75,27	91,28	115,07	140,69	154,44	193,63
1,6	74,91	90,98	114,83	140,49	154,26	193,49
1,7	74,53	90,66	114,58	140,28	154,07	193,34
1,8	74,13	90,33	114,31	140,06	153,87	193,18
1,9	73,70	89,97	114,03	139,83	153,65	193,00
2,0	73,25	89,60	113,73	139,58	153,43	192,82
2,1	72,78	89,20	113,41	139,32	153,19	192,64
2,2	72,28	88,79	113,08	139,05	152,94	192,44
2,3	71,77	88,36	112,73	138,77	152,68	192,23
2,4	71,22	87,90	112,37	138,47	152,41	192,01
2,5	70,66	87,43	112,00	138,16	152,13	191,79
2,6	70,07	86,94	111,60	137,84	151,84	191,55
2,7	69,46	86,43	111,20	137,50	151,53	191,31
2,8	68,82	85,90	110,77	137,15	151,21	191,05
2,9	68,17	85,36	110,33	136,79	150,89	190,79
3,0	67,49	84,79	109,88	136,42	150,54	190,52
3,1	66,78	84,20	109,41	136,03	150,19	190,24
3,2	65,57	83,60	108,93	135,64	149,83	189,94
3,3	63,51	82,97	108,43	135,23	149,45	189,65
3,4	61,38	82,33	107,91	134,80	149,07	189,34
3,5	59,19	81,67	107,38	134,37	148,67	189,02
3,6	56,94	80,98	106,83	133,92	148,26	188,69
3,7	54,63	80,28	106,27	133,46	147,84	188,35
3,8	52,25	79,49	105,70	132,98	147,41	188,01
3,9	49,80	77,46	105,10	132,49	146,96	187,65
4,0	47,30	75,37	104,50	132,00	146,51	187,29

	effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 6m					
	dikte (m)					
h_{ef} (m)	0,2	0,240	0,3	0,365	0,4	0,5
1,5	60,85	73,97	93,44	114,37	125,60	157,58
1,6	60,49	73,68	93,20	114,17	125,42	157,44
1,7	60,11	73,36	92,95	113,97	125,23	157,29
1,8	59,71	73,02	92,68	113,74	125,03	157,13
1,9	59,28	72,67	92,40	113,51	124,81	156,95
2,0	58,83	72,29	92,10	113,26	124,59	156,77
2,1	58,36	71,90	91,78	113,01	124,35	156,59
2,2	57,86	71,48	91,45	112,73	124,10	156,39
2,3	57,35	71,05	91,10	112,45	123,84	156,18
2,4	56,80	70,60	90,74	112,15	123,57	155,96
2,5	56,24	70,13	90,37	111,84	123,29	155,74
2,6	55,65	69,64	89,97	111,52	123,00	155,50
2,7	55,04	69,13	89,57	111,18	122,69	155,26
2,8	54,40	68,60	89,14	110,84	122,37	155,00
2,9	53,75	68,05	88,70	110,48	122,05	154,74
3,0	53,07	67,49	88,25	110,10	121,70	154,47
3,1	52,36	66,90	87,78	109,72	121,35	154,19
3,2	51,64	66,29	87,30	109,32	120,99	153,89
3,3	50,89	65,67	86,80	108,91	120,61	153,59
3,4	50,11	65,02	86,28	108,49	120,23	153,29
3,5	49,32	64,36	85,75	108,05	119,83	152,97
3,6	48,50	63,68	85,20	107,60	119,42	152,64
3,7	47,66	62,98	84,64	107,14	119,00	152,30
3,8	46,79	62,26	84,07	106,66	118,57	151,96
3,9	45,90	61,52	83,47	106,18	118,12	151,60
4,0	44,99	60,76	82,87	105,68	117,67	151,24

Berekening van N_{Rd} (kN/m)-blokken met densiteit C2/350

Tabellen voor de berekening van Ytong-muren met een verticale belasting (volgens NBN EN 1996-3 ANB)

Bepaling van N_{Rd}. De rekenwaarde van de belasting in uiterste grenstoestand (N_{Ed}) moet ≤ N_{Rd}

$h_{ef} = \rho_n \bullet h$ met h = hoogte van de muur en ρ_n = 1 in het slechtste geval

γ_M = 2.5

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ ≤ 3m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5		77,64	90,92	111,72	142,33	175,04
1,6		76,52	89,93	110,90	141,67	174,50
1,7		75,32	88,89	110,03	140,97	173,93
1,8		74,05	87,78	109,10	140,23	173,32
1,9		72,71	86,60	108,12	139,45	172,68
2,0		71,30	85,37	107,09	138,62	172,00
2,1		69,81	84,07	106,01	137,76	171,29
2,2		68,25	82,70	104,87	136,85	170,54
2,3		66,62	81,27	103,68	135,90	169,76
2,4		64,92	79,78	102,44	134,90	168,94
2,5		63,14	78,23	101,14	133,87	168,09
2,6		61,29	76,61	99,80	132,79	167,20
2,7		59,37	74,93	98,39	131,67	166,28
2,8		57,37	73,18	96,94	130,50	165,32
2,9		55,31	71,38	95,43	129,30	164,33
3,0		53,17	69,50	93,87	128,05	163,31
3,1		50,96	67,57	92,26	126,76	162,25
3,2		48,67	65,57	90,60	125,43	161,15
3,3		46,32	63,51	88,88	124,05	160,02
3,4		43,89	61,38	87,11	122,64	158,86
3,5		41,39	59,19	85,28	121,18	157,66
3,6		38,81	56,94	83,41	119,67	156,42
3,7		36,16	54,63	81,48	118,13	155,15
3,8		33,45	52,25	79,49	116,54	153,85
3,9		30,65	49,80	77,46	114,92	152,51
4,0		27,79	47,30	75,37	113,25	151,14

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 4m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5		77,64	89,69	108,58	136,70	167,00
1,6		76,52	89,33	108,28	136,46	166,81
1,7		75,32	88,89	107,97	136,21	166,60
1,8		74,05	87,78	107,63	135,94	166,38
1,9		72,71	86,60	107,28	135,66	166,14
2,0		71,30	85,37	106,90	135,36	165,90
2,1		69,81	84,07	106,01	135,04	165,64
2,2		68,25	82,70	104,87	134,71	165,37
2,3		66,62	81,27	103,68	134,36	165,08
2,4		64,92	79,78	102,44	134,00	164,78
2,5		63,14	78,23	101,14	133,63	164,47
2,6		61,29	76,61	99,80	132,79	164,15
2,7		59,37	74,93	98,39	131,67	163,82
2,8		57,37	73,18	96,94	130,50	163,47
2,9		55,31	71,38	95,43	129,30	163,11
3,0		53,17	69,50	93,87	128,05	162,74
3,1		50,96	67,57	92,26	126,76	162,25
3,2		48,67	65,57	90,60	125,43	161,15
3,3		46,32	63,51	88,88	124,05	160,02
3,4		43,89	61,38	87,11	122,64	158,86
3,5		41,39	59,19	85,28	121,18	157,66
3,6		38,81	56,94	83,41	119,67	156,42
3,7		36,16	54,63	81,48	118,13	155,15
3,8		33,45	52,25	79,49	116,54	153,85
3,9		30,65	49,80	77,46	114,92	152,51
4,0		27,79	47,30	75,37	113,25	151,14

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 5m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5		65,17	75,27	91,28	115,07	140,69
1,6		64,76	74,91	90,98	114,83	140,49
1,7		64,32	74,53	90,66	114,58	140,28
1,8		63,86	74,13	90,33	114,31	140,06
1,9		63,38	73,70	89,97	114,03	139,83
2,0		62,86	73,25	89,60	113,73	139,58
2,1		62,32	72,78	89,20	113,41	139,32
2,2		61,75	72,28	88,79	113,08	139,05
2,3		61,16	71,77	88,36	112,73	138,77
2,4		60,54	71,22	87,90	112,37	138,47
2,5		59,89	70,66	87,43	112,00	138,16
2,6		59,22	70,07	86,94	111,60	137,84
2,7		58,52	69,46	86,43	111,20	137,50
2,8		57,37	68,82	85,90	110,77	137,15
2,9		55,31	68,17	85,36	110,33	136,79
3,0		53,17	67,49	84,79	109,88	136,42
3,1		50,96	66,78	84,20	109,41	136,03
3,2		48,67	65,57	83,60	108,93	135,64
3,3		46,32	63,51	82,97	108,43	135,23
3,4		43,89	61,38	82,33	107,91	134,80
3,5		41,39	59,19	81,67	107,38	134,37
3,6		38,81	56,94	80,98	106,83	133,92
3,7		36,16	54,63	80,28	106,27	133,46
3,8		33,45	52,25	79,49	105,70	132,98
3,9		30,65	49,80	77,46	105,10	132,49
4,0		27,79	47,30	75,37	104,50	132,00

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 6m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5		52,55	60,85	73,97	93,44	114,37
1,6		52,14	60,49	73,68	93,20	114,17
1,7		51,71	60,11	73,36	92,95	113,97
1,8		51,25	59,71	73,02	92,68	113,74
1,9		50,76	59,28	72,67	92,40	113,51
2,0		50,24	58,83	72,29	92,10	113,26
2,1		49,70	58,36	71,90	91,78	113,01
2,2		49,14	57,86	71,48	91,45	112,73
2,3		48,54	57,35	71,05	91,10	112,45
2,4		47,92	56,80	70,60	90,74	112,15
2,5		47,28	56,24	70,13	90,37	111,84
2,6		46,60	55,65	69,64	89,97	111,52
2,7		45,91	55,04	69,13	89,57	111,18
2,8		45,18	54,40	68,60	89,14	110,84
2,9		44,43	53,75	68,05	88,70	110,48
3,0		43,65	53,07	67,49	88,25	110,10
3,1		42,85	52,36	66,90	87,78	109,72
3,2		42,02	51,64	66,29	87,30	109,32
3,3		41,16	50,89	65,67	86,80	108,91
3,4		40,28	50,11	65,02	86,28	108,49
3,5		39,37	49,32	64,36	85,75	108,05
3,6		38,43	48,50	63,68	85,20	107,60
3,7		36,16	47,66	62,98	84,64	107,14
3,8		33,45	46,79	62,26	84,07	106,66
3,9		30,65	45,90	61,52	83,47	106,18
4,0		27,79	44,99	60,76	82,87	105,68

Berekening van N_{Rd} (kN/m)-blokken met densiteit C3/450

Tabellen voor de berekening van Ytong-muren met een verticale belasting (volgens NBN EN 1996-3 ANB)

Bepaling van N_{Rd}. De rekenwaarde van de belasting in uiterste grenstoestand (N_{Ed}) moet ≤ N_{Rd}

$h_{ef} = \rho_n \bullet h$ met h = hoogte van de muur en ρ_n = 1 in het slechtste geval

γ_M = 2.5

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ ≤ 3m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	100,51	121,89	142,74	175,39	223,44	274,80
1,6	98,46	120,13	141,19	174,10	222,41	273,96
1,7	96,26	118,25	139,55	172,74	221,32	273,06
1,8	93,94	116,26	137,80	171,28	220,15	272,10
1,9	91,48	114,15	135,96	169,75	218,93	271,09
2,0	88,89	111,93	134,02	168,13	217,63	270,03
2,1	86,17	109,60	131,98	166,43	216,27	268,91
2,2	83,32	107,15	129,84	164,64	214,84	267,73
2,3	80,33	104,59	127,59	162,77	213,35	266,51
2,4	77,21	101,91	125,25	160,82	211,79	265,22
2,5	73,95	99,12	122,81	158,79	210,16	263,89
2,6	70,57	96,22	120,27	156,67	208,47	262,50
2,7	67,05	93,20	117,63	154,47	206,71	261,05
2,8	63,39	90,07	114,89	152,19	204,88	259,55
2,9	59,61	86,83	112,06	149,83	202,99	257,99
3,0	55,69	83,47	109,12	147,38	201,03	256,38
3,1	51,64	80,00	106,08	144,84	199,00	254,72
3,2	47,46	76,41	102,94	142,23	196,91	253,00
3,3	43,14	72,71	99,70	139,53	194,75	251,22
3,4	38,69	68,90	96,37	136,75	192,53	249,40
3,5	34,11	64,97	92,93	133,89	190,24	247,51
3,6	29,39	60,93	89,39	130,94	187,88	245,58
3,7	24,55	56,78	85,76	127,91	185,46	243,58
3,8	19,57	52,51	82,02	124,80	182,97	241,54
3,9	14,45	48,12	78,19	121,60	180,41	239,43
4,0	9,21	43,63	74,25	118,32	177,79	237,28

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 4m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	100,51	121,89	140,81	170,47	214,61	262,18
1,6	98,46	120,13	140,25	170,00	214,24	261,88
1,7	96,26	118,25	139,55	169,50	213,84	261,55
1,8	93,94	116,26	137,80	168,97	213,42	261,20
1,9	91,48	114,15	135,96	168,42	212,97	260,83
2,0	88,89	111,93	134,02	167,83	212,50	260,45
2,1	86,17	109,60	131,98	166,43	212,00	260,04
2,2	83,32	107,15	129,84	164,64	211,49	259,61
2,3	80,33	104,59	127,59	162,77	210,94	259,17
2,4	77,21	101,91	125,25	160,82	210,37	258,70
2,5	73,95	99,12	122,81	158,79	209,78	258,22
2,6	70,57	96,22	120,27	156,67	208,47	257,71
2,7	67,05	93,20	117,63	154,47	206,71	257,18
2,8	63,39	90,07	114,89	152,19	204,88	256,64
2,9	59,61	86,83	112,06	149,83	202,99	256,07
3,0	55,69	83,47	109,12	147,38	201,03	255,49
3,1	51,64	80,00	106,08	144,84	199,00	254,72
3,2	47,46	76,41	102,94	142,23	196,91	253,00
3,3	43,14	72,71	99,70	139,53	194,75	251,22
3,4	38,69	68,90	96,37	136,75	192,53	249,40
3,5	34,11	64,97	92,93	133,89	190,24	247,51
3,6	29,39	60,93	89,39	130,94	187,88	245,58
3,7	24,55	56,78	85,76	127,91	185,46	243,58
3,8	19,57	52,51	82,02	124,80	182,97	241,54
3,9	14,45	48,12	78,19	121,60	180,41	239,43
4,0	9,21	43,63	74,25	118,32	177,79	237,28

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 5m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	86,25	102,31	118,17	143,30	180,65	220,87
1,6	85,50	101,67	117,61	142,83	180,28	220,56
1,7	84,71	100,99	117,01	142,34	179,88	220,23
1,8	83,86	100,26	116,38	141,81	179,46	219,89
1,9	82,97	99,49	115,71	141,25	179,01	219,52
2,0	82,03	98,69	115,00	140,66	178,54	219,13
2,1	81,04	97,84	114,26	140,04	178,05	218,73
2,2	80,00	96,95	113,48	139,39	177,53	218,30
2,3	78,91	96,02	112,67	138,71	176,98	217,85
2,4	77,21	95,04	111,82	138,00	176,42	217,39
2,5	73,95	94,03	110,93	137,26	175,83	216,90
2,6	70,57	92,97	110,00	136,49	175,21	216,39
2,7	67,05	91,88	109,04	135,69	174,57	215,87
2,8	63,39	90,07	108,05	134,86	173,91	215,32
2,9	59,61	86,83	107,02	134,00	173,22	214,76
3,0	55,69	83,47	105,95	133,11	172,51	214,17
3,1	51,64	80,00	104,84	132,19	171,77	213,57
3,2	47,46	76,41	102,94	131,24	171,01	212,94
3,3	43,14	72,71	99,70	130,26	170,22	212,30
3,4	38,69	68,90	96,37	129,25	169,41	211,63
3,5	34,11	64,97	92,93	128,21	168,58	210,95
3,6	29,39	60,93	89,39	127,14	167,72	210,24
3,7	24,55	56,78	85,76	126,04	166,84	209,52
3,8	19,57	52,51	82,02	124,80	165,94	208,77
3,9	14,45	48,12	78,19	121,60	165,01	208,01
4,0	9,21	43,63	74,25	118,32	164,05	207,22

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 6m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	69,27	82,50	95,53	116,14	146,70	179,55
1,6	68,53	81,86	94,97	115,67	146,32	179,25
1,7	67,73	81,18	94,38	115,17	145,92	178,92
1,8	66,88	80,45	93,74	114,64	145,50	178,57
1,9	65,99	79,69	93,07	114,08	145,06	178,20
2,0	65,05	78,88	92,36	113,49	144,58	177,82
2,1	64,06	78,03	91,62	112,88	144,09	177,41
2,2	63,02	77,14	90,84	112,23	143,57	176,98
2,3	61,93	76,21	90,03	111,55	143,03	176,54
2,4	60,80	75,24	89,18	110,84	142,46	176,07
2,5	59,61	74,22	88,29	110,10	141,87	175,58
2,6	58,38	73,17	87,37	109,33	141,25	175,08
2,7	57,10	72,07	86,41	108,53	140,61	174,55
2,8	55,78	70,93	85,41	107,70	139,95	174,01
2,9	54,40	69,75	84,38	106,84	139,26	173,44
3,0	52,97	68,53	83,31	105,95	138,55	172,86
3,1	51,50	67,27	82,20	105,03	137,81	172,25
3,2	47,46	65,96	81,06	104,08	137,05	171,63
3,3	43,14	64,62	79,89	103,10	136,27	170,98
3,4	38,69	63,23	78,67	102,08	135,46	170,32
3,5	34,11	61,80	77,42	101,04	134,62	169,63
3,6	29,39	60,33	76,14	99,97	133,77	168,93
3,7	24,55	56,78	74,82	98,87	132,88	168,20
3,8	19,57	52,51	73,46	97,74	131,98	167,46
3,9	14,45	48,12	72,06	96,58	131,05	166,69
4,0	9,21	43,63	70,63	95,38	130,10	165,91

Berekening van N_{Rd} (kN/m)-blokken met densiteit C4/550

Tabellen voor de berekening van Ytong-muren met een verticale belasting (volgens NBN EN 1996-3 ANB)

Bepaling van N_{Rd}. De rekenwaarde van de belasting in uiterste grenstoestand (N_{Ed}) moet ≤ N_{Rd}

$h_{ef} = \rho_n \bullet h$ met h = hoogte van de muur en ρ_n = 1 in het slechtste geval

γ_M = 2.5

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ ≤ 3m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	127,56	154,69	181,14	222,58	283,56	348,73
1,6	124,94	152,45	179,18	220,95	282,25	347,66
1,7	122,16	150,06	177,09	219,21	280,86	346,52
1,8	119,21	147,53	174,88	217,36	279,38	345,31
1,9	116,10	144,86	172,54	215,41	277,82	344,02
2,0	112,81	142,04	170,08	213,36	276,18	342,67
2,1	109,35	139,08	167,48	211,20	274,45	341,25
2,2	105,73	135,98	164,77	208,94	272,64	339,76
2,3	101,94	132,73	161,92	206,57	270,75	338,21
2,4	97,98	129,33	158,95	204,09	268,77	336,58
2,5	93,85	125,79	155,85	201,51	266,70	334,88
2,6	89,55	122,11	152,63	198,82	264,55	333,12
2,7	85,08	118,28	149,28	196,03	262,32	331,28
2,8	80,45	114,31	145,81	193,14	260,00	329,38
2,9	75,65	110,19	142,20	190,13	257,60	327,40
3,0	70,67	105,93	138,47	187,03	255,11	325,36
3,1	65,53	101,52	134,62	183,81	252,54	323,25
3,2	60,22	96,97	130,64	180,49	249,89	321,06
3,3	54,75	92,28	126,53	177,07	247,15	318,81
3,4	49,10	87,44	122,29	173,54	244,33	316,49
3,5	43,29	82,45	117,93	169,91	241,42	314,10
3,6	37,30	77,32	113,45	166,17	238,43	311,64
3,7	31,15	72,05	108,83	162,32	235,35	309,12
3,8	24,83	66,63	104,09	158,37	232,19	306,52
3,9	18,34	61,07	99,22	154,32	228,95	303,85
4,0	11,68	55,36	94,23	150,16	225,62	301,12

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 4m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	127,56	154,69	178,69	216,33	272,35	332,72
1,6	124,94	152,45	177,98	215,74	271,88	332,33
1,7	122,16	150,06	177,09	215,10	271,37	331,92
1,8	119,21	147,53	174,88	214,43	270,83	331,47
1,9	116,10	144,86	172,54	213,72	270,27	331,01
2,0	112,81	142,04	170,08	212,98	269,67	330,52
2,1	109,35	139,08	167,48	211,20	269,04	330,00
2,2	105,73	135,98	164,77	208,94	268,38	329,46
2,3	101,94	132,73	161,92	206,57	267,69	328,89
2,4	97,98	129,33	158,95	204,09	266,97	328,30
2,5	93,85	125,79	155,85	201,51	266,22	327,68
2,6	89,55	122,11	152,63	198,82	264,55	327,04
2,7	85,08	118,28	149,28	196,03	262,32	326,37
2,8	80,45	114,31	145,81	193,14	260,00	325,68
2,9	75,65	110,19	142,20	190,13	257,60	324,96
3,0	70,67	105,93	138,47	187,03	255,11	324,22
3,1	65,53	101,52	134,62	183,81	252,54	323,25
3,2	60,22	96,97	130,64	180,49	249,89	321,06
3,3	54,75	92,28	126,53	177,07	247,15	318,81
3,4	49,10	87,44	122,29	173,54	244,33	316,49
3,5	43,29	82,45	117,93	169,91	241,42	314,10
3,6	37,30	77,32	113,45	166,17	238,43	311,64
3,7	31,15	72,05	108,83	162,32	235,35	309,12
3,8	24,83	66,63	104,09	158,37	232,19	306,52
3,9	18,34	61,07	99,22	154,32	228,95	303,85
4,0	11,68	55,36	94,23	150,16	225,62	301,12

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 5m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	109,46	129,83	149,97	181,85	229,26	280,29
1,6	108,51	129,02	149,25	181,26	228,78	279,90
1,7	107,50	128,15	148,49	180,63	228,28	279,48
1,8	106,42	127,23	147,69	179,96	227,74	279,04
1,9	105,29	126,26	146,84	179,25	227,17	278,58
2,0	104,09	125,24	145,94	178,50	226,58	278,09
2,1	102,84	124,16	145,00	177,72	225,95	277,57
2,2	101,52	123,03	144,01	176,89	225,29	277,03
2,3	100,14	121,85	142,98	176,03	224,60	276,46
2,4	97,98	120,62	141,90	175,13	223,88	275,87
2,5	93,85	119,33	140,77	174,19	223,13	275,25
2,6	89,55	117,99	139,60	173,22	222,35	274,61
2,7	85,08	116,60	138,38	172,20	221,54	273,94
2,8	80,45	114,31	137,12	171,15	220,69	273,25
2,9	75,65	110,19	135,81	170,06	219,82	272,53
3,0	70,67	105,93	134,45	168,93	218,92	271,79
3,1	65,53	101,52	133,05	167,76	217,98	271,02
3,2	60,22	96,97	130,64	166,55	217,02	270,23
3,3	54,75	92,28	126,53	165,31	216,02	269,41
3,4	49,10	87,44	122,29	164,02	214,99	268,57
3,5	43,29	82,45	117,93	162,70	213,94	267,70
3,6	37,30	77,32	113,45	161,34	212,85	266,80
3,7	31,15	72,05	108,83	159,94	211,73	265,88
3,8	24,83	66,63	104,09	158,37	210,58	264,94
3,9	18,34	61,07	99,22	154,32	209,40	263,97
4,0	11,68	55,36	94,23	150,16	208,19	262,97

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 6m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	87,91	104,70	121,24	147,38	186,16	227,86
1,6	86,96	103,88	120,52	146,79	185,69	227,47
1,7	85,95	103,02	119,77	146,15	185,18	227,05
1,8	84,88	102,10	118,96	145,48	184,65	226,61
1,9	83,74	101,12	118,11	144,78	184,08	226,15
2,0	82,55	100,10	117,21	144,03	183,48	225,66
2,1	81,29	99,02	116,27	143,24	182,85	225,14
2,2	79,97	97,89	115,28	142,42	182,20	224,60
2,3	78,59	96,71	114,25	141,56	181,51	224,03
2,4	77,15	95,48	113,17	140,66	180,79	223,44
2,5	75,65	94,19	112,04	139,72	180,04	222,82
2,6	74,09	92,85	110,87	138,74	179,25	222,18
2,7	72,47	91,46	109,65	137,73	178,44	221,51
2,8	70,78	90,01	108,39	136,67	177,60	220,82
2,9	69,03	88,52	107,08	135,58	176,73	220,10
3,0	67,23	86,97	105,72	134,45	175,82	219,36
3,1	65,36	85,36	104,32	133,28	174,89	218,59
3,2	60,22	83,71	102,87	132,08	173,92	217,80
3,3	54,75	82,00	101,38	130,83	172,93	216,98
3,4	49,10	80,24	99,84	129,55	171,90	216,14
3,5	43,29	78,43	98,25	128,23	170,84	215,27
3,6	37,30	76,57	96,62	126,87	169,75	214,37
3,7	31,15	72,05	94,94	125,47	168,64	213,45
3,8	24,83	66,63	93,22	124,03	167,49	212,51
3,9	18,34	61,07	91,45	122,56	166,31	211,54
4,0	11,68	55,36	89,63	121,04	165,10	210,54

Berekening van N_{Rd} (kN/m)blokken met densiteit C5/650

Tabellen voor de berekening van Ytong-muren met een verticale belasting (volgens NBN EN 1996-3 ANB)

Bepaling van N_{Rd}. De rekenwaarde van de belasting in uiterste grenstoestand (N_{Ed}) moet ≤ N_{Rd}

$h_{ef} = \rho_n \bullet h$ met h = hoogte van de muur en ρ_n = 1 in het slechtste geval

γ_M = 2.5

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ ≤ 3m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	153,61	186,29	218,14	268,05	341,48	419,98
1,6	150,47	183,59	215,78	266,08	339,91	418,68
1,7	147,12	180,72	213,27	263,99	338,23	417,31
1,8	143,57	177,67	210,60	261,77	336,46	415,85
1,9	139,81	174,45	207,79	259,42	334,58	414,30
2,0	135,85	171,06	204,82	256,95	332,60	412,68
2,1	131,69	167,50	201,70	254,35	330,52	410,97
2,2	127,33	163,75	198,43	251,62	328,34	409,17
2,3	122,76	159,84	195,00	248,76	326,06	407,30
2,4	117,99	155,75	191,42	245,78	323,67	405,34
2,5	113,02	151,49	187,69	242,68	321,18	403,29
2,6	107,84	147,05	183,81	239,44	318,60	401,17
2,7	102,47	142,44	179,78	236,08	315,91	398,96
2,8	96,88	137,66	175,59	232,59	313,12	396,66
2,9	91,10	132,70	171,25	228,97	310,22	394,28
3,0	85,11	127,57	166,76	225,23	307,23	391,82
3,1	78,92	122,26	162,12	221,36	304,13	389,28
3,2	72,53	116,78	157,32	217,37	300,94	386,65
3,3	65,93	111,13	152,38	213,24	297,64	383,94
3,4	59,13	105,30	147,28	208,99	294,24	381,15
3,5	52,13	99,30	142,02	204,62	290,74	378,27
3,6	44,92	93,12	136,62	200,11	287,13	375,31
3,7	37,51	86,77	131,06	195,48	283,43	372,26
3,8	29,90	80,25	125,36	190,73	279,62	369,14
3,9	22,09	73,55	119,49	185,84	275,72	365,92
4,0	14,07	66,68	113,48	180,83	271,71	362,63

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 4m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	153,61	186,29	215,20	260,52	327,99	400,69
1,6	150,47	183,59	214,34	259,81	327,42	400,22
1,7	147,12	180,72	213,27	259,05	326,81	399,72
1,8	143,57	177,67	210,60	258,24	326,16	399,19
1,9	139,81	174,45	207,79	257,39	325,48	398,63
2,0	135,85	171,06	204,82	256,49	324,76	398,04
2,1	131,69	167,50	201,70	254,35	324,00	397,42
2,2	127,33	163,75	198,43	251,62	323,21	396,76
2,3	122,76	159,84	195,00	248,76	322,38	396,08
2,4	117,99	155,75	191,42	245,78	321,51	395,37
2,5	113,02	151,49	187,69	242,68	320,61	394,62
2,6	107,84	147,05	183,81	239,44	318,60	393,85
2,7	102,47	142,44	179,78	236,08	315,91	393,05
2,8	96,88	137,66	175,59	232,59	313,12	392,21
2,9	91,10	132,70	171,25	228,97	310,22	391,35
3,0	85,11	127,57	166,76	225,23	307,23	390,45
3,1	78,92	122,26	162,12	221,36	304,13	389,28
3,2	72,53	116,78	157,32	217,37	300,94	386,65
3,3	65,93	111,13	152,38	213,24	297,64	383,94
3,4	59,13	105,30	147,28	208,99	294,24	381,15
3,5	52,13	99,30	142,02	204,62	290,74	378,27
3,6	44,92	93,12	136,62	200,11	287,13	375,31
3,7	37,51	86,77	131,06	195,48	283,43	372,26
3,8	29,90	80,25	125,36	190,73	279,62	369,14
3,9	22,09	73,55	119,49	185,84	275,72	365,92
4,0	14,07	66,68	113,48	180,83	271,71	362,63

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 5m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	131,82	156,36	180,60	219,00	276,09	337,55
1,6	130,67	155,38	179,74	218,29	275,52	337,08
1,7	129,46	154,33	178,83	217,53	274,91	336,58
1,8	128,16	153,23	177,86	216,72	274,26	336,05
1,9	126,80	152,06	176,84	215,87	273,58	335,49
2,0	125,36	150,82	175,76	214,97	272,86	334,90
2,1	123,85	149,53	174,62	214,02	272,11	334,27
2,2	122,26	148,17	173,43	213,03	271,31	333,62
2,3	120,60	146,74	172,19	211,99	270,48	332,94
2,4	117,99	145,25	170,89	210,91	269,61	332,23
2,5	113,02	143,70	169,53	209,78	268,71	331,48
2,6	107,84	142,09	168,12	208,60	267,77	330,71
2,7	102,47	140,42	166,65	207,38	266,79	329,91
2,8	96,88	137,66	165,13	206,11	265,78	329,07
2,9	91,10	132,70	163,55	204,80	264,72	328,21
3,0	85,11	127,57	161,92	203,44	263,64	327,31
3,1	78,92	122,26	160,23	202,03	262,51	326,39
3,2	72,53	116,78	157,32	200,58	261,35	325,43
3,3	65,93	111,13	152,38	199,08	260,15	324,45
3,4	59,13	105,30	147,28	197,53	258,91	323,43
3,5	52,13	99,30	142,02	195,94	257,64	322,38
3,6	44,92	93,12	136,62	194,30	256,33	321,31
3,7	37,51	86,77	131,06	192,62	254,98	320,20
3,8	29,90	80,25	125,36	190,73	253,60	319,06
3,9	22,09	73,55	119,49	185,84	252,18	317,89
4,0	14,07	66,68	113,48	180,83	250,72	316,70

effectieve overspanning van de vloer $l_{f,ef}$ = 6m

h_{ef} (m)	dikte (m) 0,15	0,175	0,2	0,24	0,3	0,365
1,5	105,87	126,08	146,00	177,49	224,19	274,41
1,6	104,73	125,10	145,15	176,77	223,62	273,94
1,7	103,51	124,06	144,23	176,01	223,01	273,44
1,8	102,22	122,95	143,26	175,20	222,37	272,91
1,9	100,85	121,78	142,24	174,35	221,68	272,35
2,0	99,41	120,55	141,16	173,45	220,97	271,75
2,1	97,90	119,25	140,02	172,51	220,21	271,13
2,2	96,31	117,89	138,83	171,51	219,42	270,48
2,3	94,65	116,47	137,59	170,48	218,58	269,80
2,4	92,92	114,98	136,29	169,39	217,72	269,09
2,5	91,11	113,43	134,93	168,26	216,81	268,34
2,6	89,23	111,82	133,52	167,08	215,87	267,57
2,7	87,27	110,14	132,05	165,86	214,89	266,77
2,8	85,24	108,40	130,53	164,59	213,88	265,93
2,9	83,14	106,60	128,95	163,28	212,83	265,07
3,0	80,96	104,73	127,32	161,92	211,74	264,17
3,1	78,71	102,80	125,63	160,51	210,61	263,25
3,2	72,53	100,81	123,89	159,06	209,45	262,29
3,3	65,93	98,75	122,09	157,56	208,25	261,31
3,4	59,13	96,63	120,23	156,01	207,02	260,29
3,5	52,13	94,45	118,32	154,42	205,74	259,24
3,6	44,92	92,21	116,36	152,78	204,43	258,17
3,7	37,51	86,77	114,34	151,10	203,09	257,06
3,8	29,90	80,25	112,26	149,37	201,70	255,92
3,9	22,09	73,55	110,13	147,59	200,28	254,75
4,0	14,07	66,68	107,95	145,77	198,82	253,56

B.2.6.2 Berekening van metselwerk in Ytong met horizontale belasting (volgens Eurocode 6 en nationale bijlage)

B.2.6.2.1 Principe van de berekening

Wanden die horizontaal worden belast door vb. wind, worden berekend volgens de NBN EN 1996-1-1 en de NBN EN 1996-1-1 ANB. Wanneer zo'n wand aan winddruk is blootgesteld, treden er spanningen op in de muur ten gevolge van de momenten en de dwarskrachten. De berekening van dergelijke wanden bestaat erin de muren zodanig te dimensioneren dat de optredende spanningen de toegelaten spanningen niet overschrijden.

Men dient onderstaande spanningen na te zien:

- Bij ongewapend metselwerk:
  - buigtrekspanningen evenwijdig met de lintvoegen
  - buigtrekspanningen loodrecht op de lintvoegen
  - schuifspanningen

- Bij horizontaal gewapend metselwerk:
  - buigdrukspanningen evenwijdig met de lintvoegen
  - trekspanningen in de wapening
  - buigtrekspanningen loodrecht op de lintvoegen
  - schuifspanningen

B.2.6.2.2 Bepaling van de momenten

In functie van de oplegcondities van de wanden worden de buigende momenten M en dwarskrachten V bepaald.

- Voor muren die slechts aan 2 zijden rusten gelden de klassieke formules van de sterkteleer.

$$M = \frac{W_{Ed} \bullet h^2}{8} \qquad \text{en} \qquad V = \frac{W_{Ed} \bullet h^2}{2}$$

met:

h = afstand tussen de horizontale steunpunten (= hoogte)

W_{Ed} = rekenwaarde horizontale belasting in kN/m²

- Wanneer de muur aan de uiteinden bevestigd wordt, worden voor de bepaling van de buigende momenten M_{Ed1} en M_{Ed2}, verdeelcoëfficiënten α ingevoerd die rekening houden met de anisotrope eigenschappen van het metselwerk. Bijkomend wordt er een parameter μ ingevoerd:

$$\mu = \frac{\text{buigsterkte loodrecht op de lintvoegen}}{\text{buigsterkte parallel aan de lintvoegen}} = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}}$$

NBN EN 1996-1-1 ANB geeft waarden voor f_{xk1} en f_{xk2}.

Men heeft :

f_{xk1} = 0,15 N/mm²

f_{xk2} = 0,30 N/mm² (verticale voeg verlijmd)
0,15 N/mm² (verticale voeg niet verlijmd)

De verdeelcoëfficiënt α wordt bepaald in functie van μ en h/l.
Vervolgens kan men dan de rekenwaarde van de momenten bepalen:

M_{Ed1} = $\alpha_1 \bullet W_{Ed} \bullet l^2$
horizontale buigmomenten

M_{Ed2} = $\alpha_2 \bullet W_{Ed} \bullet l^2$
verticale buigmomenten

met:

α_1, α_2 = verdeelcoëfficiënt buigmomenten in functie van μ en h/l

l = afstand tussen de verticale steunpunten

W_{Ed} = rekenwaarde horizontale belasting in kN/m²

4-zijdig opgelegde muren								
h/l μ	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1,00	0,008	0,018	0,030	0,042	0,051	0,059	0,066	0,071
0,90	0,009	0,019	0,032	0,044	0,054	0,062	0,068	0,074
0,80	0,010	0,021	0,035	0,046	0,056	0,064	0,071	0,076
0,70	0,011	0,023	0,037	0,049	0,059	0,067	0,073	0,078
0,60	0,012	0,025	0,040	0,053	0,062	0,070	0,076	0,081
0,50	0,014	0,028	0,044	0,057	0,066	0,074	0,080	0,085
0,40	0,017	0,032	0,049	0,062	0,071	0,078	0,084	0,088
0,35	0,018	0,035	0,052	0,064	0,074	0,081	0,086	0,090
0,30	0,020	0,038	0,055	0,068	0,077	0,083	0,089	0,093
0,25	0,023	0,042	0,059	0,071	0,080	0,087	0,091	0,096
0,20	0,026	0,046	0,064	0,076	0,084	0,090	0,095	0,099
0,15	0,032	0,053	0,070	0,081	0,089	0,094	0,098	0,103
0,10	0,039	0,062	0,078	0,088	0,095	0,100	0,103	0,106
0,05	0,054	0,076	0,090	0,098	0,103	0,107	0,109	0,110

Tabel 1: verdeelcoëfficiënt α_2 in functie van μ en h/l voor 4-zijdig opgelegde muren

3-zijdig opgelegde muren								
h/l μ	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
1,00	0,031	0,045	0,059	0,071	0,079	0,085	0,090	0,094
0,90	0,032	0,047	0,061	0,073	0,081	0,087	0,092	0,095
0,80	0,034	0,049	0,064	0,075	0,083	0,089	0,093	0,097
0,70	0,035	0,051	0,066	0,077	0,085	0,091	0,095	0,098
0,60	0,038	0,053	0,069	0,080	0,088	0,093	0,097	0,100
0,50	0,040	0,056	0,073	0,083	0,090	0,095	0,099	0,102
0,40	0,043	0,061	0,077	0,087	0,093	0,098	0,101	0,104
0,35	0,045	0,064	0,080	0,089	0,095	0,100	0,103	0,105
0,30	0,048	0,067	0,082	0,091	0,097	0,101	0,104	0,107
0,25	0,050	0,071	0,085	0,094	0,099	0,103	0,106	0,109
0,20	0,054	0,075	0,089	0,097	0,102	0,105	0,108	0,111
0,15	0,060	0,080	0,093	0,100	0,104	0,108	0,110	0,113
0,10	0,069	0,087	0,098	0,104	0,108	0,111	0,113	0,115
0,05	0,082	0,097	0,105	0,110	0,113	0,115	0,116	0,117

Tabel 2: verdeelcoëfficiënt α_2 in functie van μ en h/l voor 3-zijdig opgelegde muren

B.2.6.2.3 Nazicht van de spanningen

Het nazicht van de optredende spanningen gebeurt dan als volgt:

• Bij ongewapende wanden:
- buigtrekspanning evenwijdig met de lintvoegen:

$$f_{xk2} \geq \frac{6 \bullet \gamma_m \bullet M_{Ed2}}{b \bullet t^2}$$

- buigtrekspanning evenwijdig met de lintvoegen:

$$f_{xk1} \geq \frac{6 \bullet \gamma_m \bullet M_{Ed1}}{b \bullet t^2}$$

- schuifspanning:

$$f_{vk} \geq \frac{\gamma_m \bullet V_{Ed}}{b \bullet t}$$

waarbij:

γ_M veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk (zie NBN EN 1996-1-1, ANB)
γ_f veiligheidscoëfficiënt op de belasting (zie EN 1990)
M_{Ed1} rekenwaarde moment overeenstemmend met breuk parallel met de horizontale voegen
M_{Ed2} rekenwaarde moment overeenstemmend met breuk loodrecht op de horizontale voegen
V_{Ed} rekenwaarde dwarskracht
b eenheidsbreedte muur
t dikte muur

Volgens NBN EN 1996-1-1 geldt:
f_{vk0} = 0,30 N/mm²

• Bij horizontaal gewapende wanden:
De benodigde wapening A_s in het trekgebied wordt bepaald volgens:

$$A_s \geq \frac{M_{Ed2}}{f_{yk}.z}$$

met $z = d\left(1 - 0{,}5 \bullet \frac{A_s \bullet f_{yd}}{b \bullet d \bullet f_d}\right) \leq 0{,}95\ d$

Voor Murfor EFS/Z geldt:
f_{yk} = 500 N/mm²
f_{yk} = karakteristieke treksterkte van het staal

Na het bepalen van de wapening worden volgende spanningen nagezien. Dit is een iteratief proces. Als niet aan de onderstaande voorwaarden is voldaan, dient het wapeningspercentage te worden aangepast en opnieuw gecontroleerd. Dit proces dient men te herhalen tot aan de voorwaarden is voldaan.

- buigdrukspanning evenwijdig met de lintvoegen:

$$f_{hk} \geq \frac{\gamma_m \bullet M_{Ed1}}{c \bullet b \bullet d^2}$$

met $z = d\left(1 - 0{,}5 \bullet \frac{A_s \bullet f_{yd}}{b \bullet d \bullet f_d}\right)$

$c = 2 \bullet (1 - z/d) \bullet z/d$

- schuifspanning

$$f_{vk} \geq \frac{\gamma_m \bullet V_{Ed1}}{b \bullet d}$$

- buigtrekspanning loodrecht op de lintvoegen:

$$f_{xk1} \geq \frac{6 \bullet \gamma_m \bullet M_{Ed1}}{b \bullet t^2}$$

waarbij:

γ_M veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk (zie NBN EN 1996-1-1, ANB)
γ_s veiligheidscoëfficiënt op het staal (zie NBN EN 1996-1-1, ANB)
γ_f veiligheidscoëfficiënt op de belasting (zie NBN EN 1990, ANB)
M_{Ed1} rekenwaarde moment overeenstemmend met breuk parallel met de horizontale voegen
M_{Ed2} rekenwaarde moment overeenstemmend met breuk loodrecht op de horizontale voegen
V_{Ed} rekenwaarde dwarskracht
b eenheidsbreedte van de muur
t dikte van de muur
d nuttige dikte van de muur (t - dekking op de wapening)
z hefboomsarm
f_{yd} rekenwaarde treksterkte staal (f_{yk}/γ)
f_d rekenwaarde druksterkte in de richting van de belasting ($=f_{kh} / \gamma_M$)
Voor Ytong geldt het volgende : $f_k = f_{kh}$

Aarzel niet de technische dienst van ons bedrijf te contacteren voor meer uitleg.

B.2.6.2.4 Rekenvoorbeelden

Ter verduidelijking van de theorie zijn hierna 2 rekenvoorbeelden opgegeven.

1 Voorbeeld 1

Het eerste voorbeeld handelt over een ongewapende muur die slechts in één richting draagt. In dit geval is de berekening eenvoudig en gesteund op de klassieke formules van de sterkteleer.

Gegevens:

h = 2,60 m.
Muur onder en boven gesteund, verticale zijden vrij.
Blokken type C3/450, dikte 300 mm
Veiligheidscoëfficiënt metselwerk: 2,5 $(=\gamma_M)$
Veiligheidscoëfficiënt belastingen: 1,5
Horizontale belasting: 0,7 kN/m².

Berekening:

a) bepaling sterkte van het metselwerk:

f_b= 3,4 N/mm², dus f_k= 2,26 N/mm²

b) bepaling van moment en dwarskracht:

$$M_{Ed1} = \frac{W_{Ed} \bullet h^2}{8}$$

of

$$M_{Ed1} = \frac{0{,}7\text{kN/m}^2 \bullet 1{,}5 \bullet (2{,}6\text{m})^2}{8} = 0{,}89\ \text{kNm/m}$$

en

$$V_{Ed} = \frac{W_{Ed}.h}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{0{,}7\text{kN/m}^2 \bullet 1{,}5 \bullet (2{,}6\text{m})}{2} = 1{,}37\ \text{N/m}$$

c) nazicht van spanningen:

$$f_{xk1} \geq \frac{6 \bullet \gamma_M \bullet M_{Ed1}}{b \bullet t^2}$$

$$f_{xk1} \geq \frac{6 \bullet 2{,}5 \bullet 0{,}89 \bullet 10^6}{1000 \bullet 300^2} = 0{,}148\text{N/mm}^2$$

en

$$f_{vk} \geq \frac{\gamma_M \bullet V_{Ed}}{b \bullet t}$$

$$f_{vk} \geq \frac{2{,}5 \bullet 1{,}37 \bullet 10^3}{1000 \bullet 300} = 0{,}011\text{N/mm}^2$$

Nemen we voor f_{xk1} de waarde van NBN EN 1996-1-1 ANB gelijk aan 0,15 N/mm², en voor f_{vk} een waarde van 0,30 N/mm², dan voldoet de wand van 300 mm dikte aan de gestelde eisen.

Aarzel niet de technische dienst van ons bedrijf te contacteren voor meer uitleg.

2 Voorbeeld 2

Het tweede voorbeeld is een illustratie van de methode waarbij een verdeling van de momenten gebeurt zoals beschreven in de NBN EN 1996-1-1 en NBN EN 1996-1-1 ANB

Gegevens :
- h = 7,5 m, l = 5 m.
- Muur 4 zijdig gesteund.
- Blokken type C3/450, dikte 200 mm
- Voegen horizontaal en vertikaal verlijmd.
- Afmetingen blok:
- 600mm x 200mm x 250mm
- Veiligheidscoëfficiënt metselwerk: 2,5
- Veiligheidscoëfficiënt op het staal: 1,15
- Veiligheidscoëfficiënt belastingen: 1,5
- Horizontale belasting:
- 0,7 kN/m² • 1,5 = 1,05 kN/m² (W_{Ed})

Berekening :

a) Bepaling van de sterkte van het metselwerk:

$f_b = 3{,}4\text{N/mm}^2 \Rightarrow f_k = 2{,}26\text{N/mm}^2$
$f_{bh} = 3{,}4\text{N/mm}^2 \Rightarrow f_{kh} = 2{,}26\text{N/mm}^2$

b) bepaling van de wapening

Het uitgangspunt voor de bepaling van de definitieve benodigde wapening is een vrij gekozen hoeveelheid wapening in de muur. We berekenen op basis van deze initiële wapening de momenten. Hieruit volgt een controle van de spanningen. Indien de spanningen in de muur te hoog zijn wordt de wapening aangepast. Vervolgens wordt de berekening van de momenten en de controle van de spanningen opnieuw uitgevoerd tot deze laatste toelaatbaar zijn.

Voor de eenvoud gaan we in dit geval uit van het minimaal benodigde wapeningspercentage ($A_{s,min}$) van 0.03% van de wandsectie.

$$A_{s,min} \geq 0{,}03 \bullet A = \frac{0{,}03 \bullet 200\text{mm} \bullet 1000\text{mm}}{100} = 60\text{mm}^2/\text{m}$$

Dit geeft een totale benodigde wapeningssectie van minstens 3 lagen Murfor EFS/Z per meter.

$$A_{s,tot} = 8\text{mm} \bullet 1{,}5\text{mm} \bullet 3 \bullet 2 = 72\text{mm}^2/\text{m} \geq 60\text{mm}^2/\text{m}$$

Voor de wapeningssectie in de trekzone bekomen we:

$$A_s = 8\text{mm} \bullet 1{,}5\text{mm} \bullet 3 = 36\text{mm}^2/\text{m}$$

c) bepaling van de momenten en de dwarskracht:

De waarde voor μ kan nu berekend worden met behulp van de formules uit de NBN EN 1996-1-1 en de NBN EN 1996-1-1 ANB. Zo bekomen we door interpolatie in de tabel ('4 zijdig opgelegde muren') de waarde voor α_2.

Hieruit kunnen de momenten M_{Ed1} en M_{Ed2} berekend worden en kunnen ook alle spanningen gecontroleerd worden.

Volstaat de initieel gekozen wapening niet wordt de berekening herhaald voor een andere hoeveelheid wapening.

Op basis van de wapeningssectie in de trekzone wordt de waarde voor μ bepaald met behulp van onderstaande formules:

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2,app}} \quad \text{(in geval van gewapende wanden)}$$

met $f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{\gamma_M} = \frac{0{,}15}{2{,}5} = 0{,}06\text{N/mm}^2$

$$f_{xd2,app} = \frac{6 \bullet A_s \bullet f_{yd} \bullet z}{t^2} = \frac{6 \bullet 36 \bullet 500 \bullet 161}{1000 \bullet 1{,}15 \bullet (200)^2} = 0{,}38\text{N/mm}^2/\text{m}$$

en: $z = d \bullet \left(1 - \frac{0{,}5 \bullet A_s \bullet f_{yd}}{b \bullet d \bullet f_d}\right) \leq 0{,}95\text{d}$

$$z = 170 \bullet \left(1 - \frac{0{,}5 \bullet 36 \bullet 500 \bullet 2{,}5}{1000 \bullet 170 \bullet 1{,}15 \bullet 2{,}26}\right) \leq 0{,}95\text{d}$$

z = 161mm

Aarzel niet de technische dienst van ons bedrijf te contacteren voor meer uitleg.

waarbij

f_{xd1} rekenwaarde buigtrekspanningen loodrecht op de lintvoeg
f_{xd2} rekenwaarde buigtrekspanningen parallel met de lintvoeg

A_s benodigde wapening in de trekzone

f_{yd} rekenwaarde treksterkte van het staal $\left(f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}\right)$

f_d rekenwaarde druksterkte metselwerk in de richting van de belasting $\left(f_d = \frac{f_{kh}}{\gamma_M}\right)$

z hefboomsarm
b breedte van de sectie (veronderstelling b=1000 mm)
d effectieve dikte van de muur
t dikte van de muur
γ_M partiële veiligheidscoëfficiënt op het metselwerk

Dit geeft $\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2,app}} = 0{,}158$

Door interpolatie in de tabel bekomt men volgende waarden voor de verdeelcoëfficiënten:

$\alpha_2 = 0{,}0933$
$\alpha_1 = \alpha_2 \bullet \mu = 0{,}0147$

De momenten en dwarskracht worden als volgt bepaald:

$M_{Ed1} = \alpha_1 \bullet W_{Ed} \bullet l^2 = 0{,}39 \text{kNm/m}$
$M_{Ed2} = \alpha_2 \bullet W_{Ed} \bullet l^2 = 2{,}45 \text{kNm/m}$

$V_{Ed} = \frac{W_{Ed} \bullet l}{2} = 2{,}63 \text{ kN/m}$

Aarzel niet de technische dienst van ons bedrijf te contacteren voor meer uitleg.

d) nazicht van de spanningen

- $f_{kh} = \frac{\gamma_M \bullet M_{Ed2}}{c \bullet b \bullet d^2} = \frac{2,5 \bullet 2,45 \bullet 10_6}{0,095 \bullet 1000 \bullet 170^2} = 2,12 N/mm^2$

  met $c = 2 \bullet \left(1 - \frac{z}{d}\right) \bullet \frac{z}{d} = 0,095$

  en $\frac{z}{d} = 1 - \left(\frac{A_s \bullet f_{yk} \bullet \gamma_M}{2 \bullet b \bullet d \bullet f_{kh} \bullet \gamma_s}\right) = 0,95$

  waarbij
  f_{kh} = karakteristieke muurdruksterkte parallel met de langsvoegen

  $(f_{kh} = 0,8 \bullet f_{bh}^{0.85})$

- $f_{vk} = \frac{\gamma_M \bullet V_{Ed}}{b \bullet d} = \frac{2,5 \bullet 2,63 \bullet 10^3}{1000 \bullet 170} = 0,039 N/mm^2$

- $f_{xk1} = \frac{6 \bullet \gamma_M \bullet M_{Ed1}}{b \bullet t^2} = \frac{6 \bullet 2,5 \bullet 0,39}{1000 \bullet 200^2} = 0,15 N/mm^2$

Nemen we voor f_{xk1} en f_{xk2} de waarden van NBN EN1996-1-1 ANB gelijk aan 0,15 N/mm² en 0,30 N/mm², dan voldoet de wand van 200mm mits de plaatsing van 3 geprefabriceerde lintvoegwapening Murfor type EFS/Z met breedte 140 mm per meter (hoogte). In de praktijk komt dit overeen met één lintvoegwapening in elke laag blokken.

Aarzel niet de technische dienst van ons bedrijf te contacteren voor meer uitleg.