

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar de invloed van isolerende kimplagen op de stabiliteit van metselwerkmuren

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Copromotor :
De heer Mohammed DEYAZADA

Promotor :
ir. DIEDERIK VAN ROSSEM

Melissa Jansen , Stef Verelst

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2016•2017
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Onderzoek naar de invloed van isolerende kimlagen op de
stabiliteit van metselwerkmuren

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Copromotor :
De heer Mohammed DEYAZADA

Promotor :
ir. DIEDERIK VAN ROSSEM

Melissa Jansen , Stef Verelst

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: bouwkunde*

I. WOORD VOORAF

Deze masterproef is het sluitstuk van onze opleiding in de industriële ingenieurswetenschappen bouwkunde. Via deze weg zouden wij dan ook graag een dankwoord willen richten tot alle personen die een bijdrage hebben geleverd aan deze masterscriptie.

Allereerst bedanken wij onze promotor Prof. Dr. Ir. Hervé Degée en copromotor Ir. Mohammed Deyazada, die ons ten allen tijde in de juiste richting stuurde en ons de juiste richtlijnen gaf die we op dat moment nodig hadden. Daarnaast bedanken wij Ing. Dan Dragan voor de technische vaardigheden die hij ons ter beschikking stelde tijdens de labosessies. Vervolgens willen we ook Ir. Diederik van Rossem bedanken voor het opstellen van het interessant onderwerp van deze masterproef.

Tenslotte willen we ook onze kennissen en familie bedanken voor de morele steun in zowel leuke als moeilijke tijden.

1. INHOUD

I.	Woord vooraf.....	1
II.	Tabellenlijst.....	7
III.	Figurenlijst.....	9
IV.	Verklarende woordenlijst en symbolenlijst.....	11
V.	Nederlands abstract.....	13
VI.	Engels abstract.....	15
1.	Inleiding.....	17
2.	Literatuurstudie.....	19
2.1	Kimlaag in een metselwerkmuur.....	19
2.2	Bestanddelen dragende composiet metselwerkmuur met een kimlaag.....	20
2.2.1	Kleistein.....	20
2.2.2	Betonsteen.....	22
2.2.3	Cellenbeton.....	23
2.3	Dragend metselwerk onderhevig aan verticale belastingen.....	28
2.3.1	Optredende verticale belasting.....	28
2.3.2	Genormaliseerde druksterkte metselstenen.....	29
2.3.3	Druksterkte van de mortel.....	30
2.3.4	Druksterkte van het metselwerk.....	30
2.4	Proefresultaten op homogene muren.....	32
2.4.1	Klei en beton.....	32
2.4.2	Cellenbeton muren.....	36
2.4.3	Heterogene muur.....	38
2.4.4	Vergelijken resultaten.....	40
2.5	Formules van composiet muren.....	41
3.	Scope en objectieven.....	45
4.	Experimenteel programma.....	47
4.1	Proefopstelling.....	47
4.1.1	Mortel en lijm mortel.....	47
4.1.2	Enkele stenen.....	47
4.1.3	Gestapelde stenen.....	48
4.2	Geteste materialen.....	49
4.3	Vorbereiding van de proefstukken.....	50
4.4	Proefprocedure.....	52
4.4.1	Mortel en lijm mortel.....	52
4.4.2	Enkele stenen.....	52

4.4.3	gestapelde stenen	52
5	Proefresultaten en analyseren druksterktes	53
5.1	Mortel	53
5.2	Enkele stenen	53
5.3	Combinatie van 2 metselstenen	55
5.4	Vergelijking enkele stenen en homogene combinaties	58
5.4.1	Kleisteel C10 vs. combinatie kleisteel C10	58
5.4.2	Cellenbetonsteen vs. combinatie cellenbetonsteen	59
5.4.3	Betonsteen vs. combinatie betonsteen	60
5.5	Vergelijking karakteristieke sterktes uit testresultaten met formule voor metselwerk uit Eurocode 6	61
5.5.1	Combinatie cellenbeton, klei C10 en klei C15 met lijmvoeg	61
5.5.2	Combinatie cellenbeton en klei c10 met mortelvoeg	62
5.6	Vergelijking gemiddelde druksterktes cellenbeton en hybride combinaties	63
5.7	Conclusie invloed van cellenbeton op de druksterkte	64
6.	Verplaatsing en scheurvorming	65
6.1	Algemene resultaten	65
6.2	Cellenbeton	67
6.2.1	Verplaatsingen	67
6.2.2	Scheurvorming	68
6.3	Kleisteel	69
6.3.1	Verplaatsingen	69
6.3.2	Scheurvorming	70
6.4	Betonsteen	71
6.4.1	Verplaatsingen	71
6.4.2	Scheurvorming	72
6.5	Cellenbeton vs. hybride combinaties	73
6.5.1	Cellenbeton vs. hybride klei combinaties	73
6.5.2	Cellenbeton vs. hybride combinaties met mortel	73
6.6	Conclusie verplaatsingen en vervormingen	74
7	Voorstel op basis van resultaten	75
7.1	Bepaling van de reductiefactor μ	75
7.2	Controle berekeningsmethodes STS 22	75
8	Besluit	79
9	Geciteerde werken	81
10	Bijlagelijst	83
	Bijlage A: Technische Fiche Porotherm PLS 500 10N	85

Bijlage B: Technische Fiche Porotherm PLS 500 15N.....	87
Bijlage C: Technische Fiche Betonsteen.....	89
Bijlage D: Technische Fiche Cellenbeton.....	90
Bijlage E: Technische Fiche Mortel	92
Bijlage F: Technische Fiche Lijmmortel.....	94
Bijlage G: Test-reports mortel/lijmmortel.....	95
Bijlage H: Test-reports enkele stenen.....	100
Bijlage I: Test-reports dubbele stenen	104

II. TABELLENLIJST

Tabel 1: Indeling metselbakstenen [5].....	21
Tabel 2: Druksterkteklassen [9].....	26
Tabel 3: Volumemassaklassen [9].....	26
Tabel 4: Standaardkwaliteitsklassen [9]	27
Tabel 5: Indeling in soorten metselstenen [9].....	27
Tabel 6: Veiligheidsfactoren UGT	28
Tabel 7: Vormfactor	29
Tabel 8: Druksterkteklassen mortel [10]	30
Tabel 9: Parameters karakteristieke druksterkte van metselwerk met gewone mortel [10]	31
Tabel 10: Parameters karakteristieke druksterkte van metselwerk met lijm mortel [10]	31
Tabel 11: Veiligheidsfactor [10].....	32
Tabel 12: Metselstenen gebruikt bij proeven BCCI [13]	34
Tabel 13: Druksterkte van de metselwerkstenen volgens EN 772-4 [13]	34
Tabel 14: Vergelijking tussen theoretische en experimentele sterkte van metselwerk waarin 1/2 stenen werden gebruik i.p.v. volledige stenen [13].....	35
Tabel 15: Druksterkte metselwerk volgens EN 1052-1: Vergelijking	36
Tabel 16: Karakteristieken van cellenbeton.....	37
Tabel 17: Resultaten drukproeven cellenbeton muren [14]	38
Tabel 18: Parameters voor de berekening van de druksterkte van een metselwerkmuur met een kimlaag van cellenglas HL, met een druksterkte van $3,1\text{N/mm}^2$ [17].....	40
Tabel 19: Snelheid aanbrengen lading [20]	52
Tabel 20: Resultaten drukproeven mortel en lijm mortel	53
Tabel 21: Resultaten drukproeven enkele stenen met f_{mean} de gemiddelde waarde en CV de variatiecoëfficiënt.....	54
Tabel 22: Resultaten drukproeven op homogene combinatie van 2 stenen.....	57
Tabel 23: Resultaten drukproeven op composiet combinatie van 2 stenen	57
Tabel 24: Resultaten LVDT's enkele stenen	65
Tabel 25: Resultaten LVDT's homogene combinaties	65
Tabel 26: Resultaten LVDT's hybride combinaties	66
Tabel 27: Reductiefactor μ verkregen uit de experimentele karakteristieke druksterktes	75
Tabel 28: Berekening volgens STS 22 met behulp van experimentele resultaten.....	77

III. FIGURENLIJST

Figuur 1: Warmteverlies via koudebrug zonder kimlaag (links) en met kimlaag (rechts) [2]	19
Figuur 2: Productieproces kleisteen [4]	20
Figuur 3: POROTHERM Lijm-systeem met rolbak [6]	22
Figuur 4: Productieproces betonsteen [7]	23
Figuur 5: Luchtbellen in cellenbeton [8]	23
Figuur 6: Productieproces cellenbeton [8]	24
Figuur 7: Krachtsoverdracht in beton en cellenbeton [8]	25
Figuur 8: Vergelijking tussen f_k [test] en f_k [formule]	33
Figuur 9: Test opbouw, druksterkte van metselwerkmuur gemaakt met deels halve stenen	35
Figuur 10: Proefopstelling cellenbetonmuur	37
Figuur 11: Scheurpatroon na drukproef	38
Figuur 12: Druktest op een kubus cellenglas [17]	39
Figuur 13: Proefopstelling drukproef op composiet muur met cellenglas en kleisteen [17]	39
Figuur 14: Voorbeeld van proefopstelling voor drukproeven [2]	42
Figuur 15: Proefopstelling drukproef mortel/lijmmortel	47
Figuur 16: Proefopstelling met DIC	48
Figuur 17: Proefopstelling enkele stenen met LVDT's	48
Figuur 18: Proefopstelling gestapelde stenen met LVDT's en DIC	48
Figuur 19: Porotherm kleisteen	49
Figuur 20: Betonsteen	49
Figuur 21: Proefopstellingen met mortel	51
Figuur 22: Proefopstellingen met lijm	51
Figuur 23: Voorbereiding stenen voor metingen DIC	51
Figuur 24: Meetpunten volgens NBN EN 1052-1 [12]	52
Figuur 25: Spreiding van de spanning bij 2 gestapelde stenen	55
Figuur 26: Gemiddelde druksterkte kleisteen en combinaties kleisteen	58
Figuur 27: Karakteristieke druksterkte combinatie kleisteen	59
Figuur 28: Gemiddelde druksterkte cellenbeton en combinaties cellenbeton	60
Figuur 29: Karakteristieke druksterkte combinatie cellenbeton	60
Figuur 30: Gemiddelde druksterkte betonsteen en combinatie betonsteen	61
Figuur 31: Karakteristieke druksterkte combinatie betonsteen	61
Figuur 32: Karakteristieke druksterktes uit testresultaten cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton gelijmd	61
Figuur 33: Karakteristieke druksterkte metselwerk volgens EC6 cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton gelijmd	62
Figuur 34: Karakteristieke druksterktes uit testresultaten cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton mortel	62
Figuur 35: Karakteristieke druksterkte metselwerk volgens EC6 cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton mortel	62
Figuur 36: Gemiddelde druksterkte met kimlaag combinatie met kleisteen gelijmd	63
Figuur 37: Gemiddelde druksterkte zonder kimlaag met lijmvoeg	63
Figuur 38: Gemiddelde druksterkte met kimlaag combinatie met kleisteen mortelvoeg	64
Figuur 39: Gemiddelde druksterkte zonder kimlaag met mortelvoeg	64
Figuur 40: Verticale verplaatsing in functie van de aangebracht belasting	66
Figuur 41: Spannings-rek diagram cellenbeton	67
Figuur 42: Schematische weergaven van een spannings-rek diagram voor cellenbeton	67
Figuur 43: Scheurpatroon na drukproef enkele cellenbetonsteen	68

Figuur 44: Scheurpatroon na drukproef dubbel cellenbetonstenen (links: lijm mortel en rechts: mortel)	68
.....	
Figuur 45: Spannings-rek diagram enkele kleisteen en homogene combinaties	69
Figuur 46: Spanning – rek diagrammen van de hybride combinaties met cellenbeton	70
Figuur 47: Scheurpatroon enkele kleisteen.....	70
Figuur 48: Scheurpatroon gestapelde kleisteen (links: lijm en rechts: mortel)	70
Figuur 49: Scheurpatroon composiet combinatie cellenbeton en klei (Links: lijm en rechts: mortel)	71
.....	
Figuur 50: Spannings-rek diagram betonsteen	71
Figuur 51: Spannings-rek diagram hybride combinatie betonsteen	72
Figuur 52: Scheurpatroon enkele betonsteen.....	72
Figuur 53: Scheurpatroon hybride combinatie cellenbeton met betonsteen met mortelvoeg	72
Figuur 54: Scheurpatroon homogene combinatie betonsteen met mortelvoeg.....	72
Figuur 55: Spannings-rek diagram cellenbeton en combinaties kleisteen.....	73
Figuur 56: Spannings-rek diagram cellenbeton en combinatie betonsteen	74

IV. VERKLARENDE WOORDENLIJST EN SYMBOLENLIJST

A_i	Belast oppervlak
$F_{i,max}$	Maximale drukkracht
$f_{bm,eq}$	Equivalente druksterkte die luchtvochtigheid van de proefstukken in rekening brengt
f_d	Rekenwaarde van de druksterkte
f_k	Karakteristieke druksterkte
f_{mean}	Gemiddelde druksterkte metselstenen
γ_F	Veiligheidscoëfficiënt
γ_M	Veiligheidscoëfficiënt
$\phi_{1,2}$	Reductiefactor ten gevolge slankheid en excentriciteit
E	Elasticiteitsmodulus
f_{bk}	Karakteristieke druksterkte
f_{bm}	Genormaliseerde druksterkte
f_d	Druksterkte metselwerk
f_m	Gemiddelde druksterkte
f_m	Druksterkte mortel
N_{Ed}	Optredende verticale belasting
t	Dikte van een metselwerkmuur
δ	Vormfactor weergegeven in Tabel 6
δ_c	Conditioneringsfactor
ρ	Schijnbare droge volumemassa
ν	Poisson coëfficiënt
K	Constante
α	Constante
β	Constante
μ	Gemiddelde druksterkte van de steekproef
σ	Standaardafwijking

V. NEDERLANDS ABSTRACT

Deze masterproef onderzoekt de invloed van isolerende kimlagen op de stabiliteit van metselwerkmuren. Momenteel bestaat er nog geen formule voor de berekening van heterogeen metselwerk wegens gebrek aan specifieke proeven. Hoewel er reeds veel gebruik gemaakt wordt van isolerende kimlagen in de bouwsector is er toch een grote negatieve invloed op de druksterkte te verwachten. Deze invloed dient door een factor in rekening gebracht te worden in de bestaande formule voor metselwerk.

Deze factor kan bepaald worden door middel van drukproeven op gestapelde metselstenen. Hierbij is er een selectie gemaakt van klei – en betonblokken als metselwerk en cellenbeton als kimlaag. De karakteristieke druksterkte verkregen uit deze proeven kan dan vergeleken worden met de formule voor metselwerk uit STS 22. Daarnaast wordt de verticale en laterale verplaatsing tijdens de proeven opgemeten om de bijdrage van de verschillende elementen aan de vervorming te bestuderen.

Uit de resultaten is gebleken dat heterogeen metselwerk een positieve invloed heeft op de druksterkte van cellenbeton niettegenstaande dat er wel een reductie in sterkte is van het metselwerk. De huidige formules voor de berekening van metselwerk geven bijgevolg nog een onveilige benadering voor de opneembare normaalkrachten. Om een accuraat voorstel te geven is het echter noodzakelijk proeven uit te voeren op volledige metselwerkmuren. Tot slot leidt een kimlaag uit cellenbeton tot grote verplaatsingen en geeft het aanleiding tot scheurvorming in bovenliggend metselwerk.

VI. ENGELS ABSTRACT

This master's thesis investigates the influence of insulating layers on the stability of masonry walls. Currently there is no formula available for the calculation of masonry consisting of different types of bricks by the lack of specific tests. Although insulating layers are already being used extensively in the construction industry, a non-negligible negative effect on the strength is expected. This effect should be taken into account by a factor in the formula for masonry.

This factor can be determined by compression tests on two stacked masonry bricks. These tests are conducted on clay- and concrete bricks as masonry and autoclaved aerated concrete as insulating layers. The characteristic strength obtained from these tests can then be compared with the formula for masonry from STS 22. In addition, the vertical and lateral displacements are measured during the tests to investigate the contribution of the different elements on the global deformation.

The results show that heterogeneous masonry has a positive influence on the strength of autoclaved aerated concrete, nevertheless there is a reduction in strength of the masonry. This results in an unsafe approach of the current formula for the calculation of the resisting axial forces. However, to give an accurate proposal it is necessary to conduct compression tests on complete masonry walls. Finally an insulating layer of autoclaved aerated concrete leads to large displacements and causes cracks in the upper part of the masonry.

1. INLEIDING

In het kader van de masterproef die volbracht dient te worden in het masterjaar van de opleiding industrieel ingenieur bouwkunde aan de U Hasselt/KU Leuven, wordt er een onderzoek gevoerd naar de invloed van isolerende kimlagen op de stabiliteit van metselwerkmuren. Een kimlaag is de eerste laag stenen van een metselwerkmuur die hedendaags vaak bestaat uit thermisch goed isolerende blokken. Deze eigenschap wordt gebruikt om koudebruggen te vermijden die ontstaan ter hoogte van de aansluiting van de muren met de vloer. Isolerende kimblokken blijken daarnaast ook voldoende draagkrachtig te zijn voor het optrekken van een gebouw met verschillende verdiepingen. Er is echter nog geen Europees goedgekeurde regelgeving die de stabiliteit van dit soort muren kan garanderen. Om deze reden kwam de Belgian Construction Certification Association (BCCA) met de vraag om dit aspect grondig te onderzoeken aan de hand van proeven.

De eisen waaraan nieuwbouwwoningen of renovaties moeten voldoen, de zogenaamde EPB-eisen die betrekking hebben op de thermische isolatie, energieprestaties en het binnenklimaat van een gebouw, worden alsmaar strenger. Hierdoor worden woningen tegenwoordig zeer goed geïsoleerd en wordt er al vanaf het ontwerp veel aandacht besteed aan de energieprestaties. Hierbij is het belangrijk dat bouwknopen, die aanleiding kunnen geven tot warmteverliezen, vochtproblemen en schimmels, zoveel mogelijk vermeden worden. Naarmate een gebouw beter geïsoleerd wordt neemt het effect van bouwknopen namelijk toe, waardoor de impact ervan zeker niet verwaarloosd mag worden. Een plaats waar bouwknopen regelmatig voorkomen is bij de aansluiting tussen de vloer en een muur. Bij metselwerkmuren kan dit probleem opgelost worden door het plaatsen van een isolerende kimlaag. Er zijn reeds tal van producten op de markt gebracht waaruit deze isolerende laag kan gebouwd worden. Een veelgebruikt materiaal is cellenbeton dat naast zijn isolerende werking ook een grote druksterkte bezit.

Hoewel deze producten al op grote schaal gebruikt worden in de woningbouw, is de invloed ervan op de stabiliteit van metselwerkmuren nog niet grondig onderzocht. De Europese norm voor het ontwerp en berekening van metselwerkconstructies bevat bijgevolg ook nog geen uitgewerkte formules voor het berekenen van metselwerk met een isolerende kimlaag. Hoewel er reeds formules werden voorgesteld met betrekking tot de druksterkte, zijn er nog onbepaalde of onnauwkeurige parameters. Het doel van het onderzoek bestaat dus uit het bepalen van deze onbekende parameters door middel van drukproeven op metselwerk. Hierdoor zal men een formule kunnen integreren in Eurocode 6 die de invloed van isolerende kimlagen op de druksterkte van metselwerk tot uitdrukking brengt. Daarnaast wordt er ook onderzocht wat de invloed is op de scheurvorming en verplaatsingen in het metselwerk.

In dit onderzoek beperken we ons tot het onderzoeken van de invloed van cellenbeton op metselwerk uit kleiblokken en betonsteen met een mortel- en lijmvoeg. Hierbij focussen we ons enkel op belastingen zonder excentriciteiten. Een eerste deel van het onderzoek bestaat uit het uitvoeren van drukproeven op enkele metselstenen om de genormaliseerde druksterktes te bepalen. Vervolgens worden er proeven uitgevoerd op twee gestapelde stenen waarbij er combinaties gemaakt worden met de verschillende types metselstenen. Hieruit kan de karakteristieke druksterkte bepaald worden en kan er bekeken worden wat de invloed is van een isolerende kimlaag. De karakteristieke druksterkte kan ook berekend worden met de formule voor homogeen metselwerk uit Eurocode 6 met de sterktes bepaald uit de proeven op enkele stenen. Deze twee waarden kunnen vergeleken worden om een eerste idee te krijgen van de parameters in de nieuwe formule. Oorspronkelijk was er ook gepland om drukproeven uit te voeren op volledige homogene en heterogene metselwerkmuren van ongeveer één meter op één

meter. Wegens tijdgebrek kon dit echter niet meer volbracht worden binnen onze masterproef. Mr. Deyazada, die ook onderzoek doet omtrent dit onderwerp, zal deze proeven wel voortzetten.

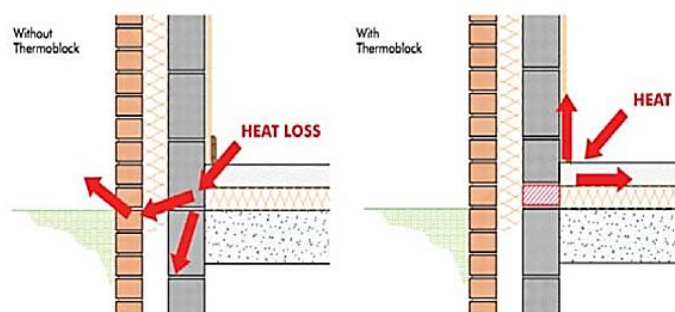
2. LITERATUURSTUDIE

2.1 KIMLAAG IN EEN METSELWERKMUUR

Ter hoogte van de aanzet tussen muren en vloerplaten zal er, zonder preventieve maatregelen te treffen, een koudebrug ontstaan. Dit is een lokale onderbreking van de isolerende gebouwschil waar de warmtestroming bijzonder dicht is. Dit zorgt voor lage oppervlaktetemperaturen op de omliggende wand. Hetgeen plaatsvindt bij de verbinding van de vloerplaat en de opstaande muur wordt een lineaire koudebrug genoemd [1]. Een koudebrug kan zorgen voor allerlei ongemakken zoals lokale condensatie, wat op zijn beurt kan zorgen voor schimmelvorming, gebrek aan comfort, hoger energieverbruik, enz. Koudebruggen zijn ook nadelig voor de luchtkwaliteit van de binnenruimte. Daarom tracht men ten allen tijde koudebruggen te vermijden. Indien de eisen van de EPB-regelgeving worden gerespecteerd zal er geen condensatie optreden. Over koudebruggen zelf staan er in de EPB-regelgeving nog geen specifieke eisen. Hiervoor wordt beroep gedaan op de controle van de kwaliteit van de uitvoering van de plaatsing van het isolatiemateriaal, schrijnwerk, enz.

Koudebruggen hebben ook een grote impact op het milieu. Van het totaal warmteverlies van een middelmatig geïsoleerd gebouw hebben de koudebruggen een aandeel van 10%. Hoe zwaarder men een gebouw isoleert, hoe groter dit aandeel van koudebruggen wordt. Economisch gezien zorgt een koudebrug ook voor een hogere energierekening. De gemakkelijkste oplossing om koudebruggen te voorkomen is om deze reeds te vermijden tijdens de bouw van de constructie. Daarom tracht men bij een nieuwbouw ervoor te zorgen dat er een ononderbroken isolatieschil wordt verkregen rondom het volledige gebouw.

Hiervoor zal men gebruik maken van specifieke materialen die een lage thermische geleiding bezitten. In de verbinding tussen een vloerplaat en een muur maakt men hiervoor gebruik van een kimlaag zoals te zien is in Figuur 1. Dit is de eerste laag stenen die in een mortelbed wordt gelegd waardoor de onregelmatigheden van de ondergrond worden weggewerkt. Deze eerste laag stenen bestaat uit cellenbeton, agrex, cellenglas enz. Deze materialen worden vaak gebruikt als thermische isolatie omwille van de lage thermische geleiding en de goede vuurbestendigheid die ze bezitten. Ze zijn eveneens gemakkelijk te plaatsen. Echter, doordat deze materialen meestal veel poriën bevatten, bezitten deze slechts een geringe draagkracht waardoor de stabiliteit van de metselwerkmuur in zekere mate beïnvloed wordt [2].



Figuur 1: Warmteverlies via koudebrug zonder kimlaag (links) en met kimlaag (rechts) [2]

De verschillende soorten stenen waaruit deze samengestelde muren opgebouwd zijn, zullen in de volgende paragrafen meer in detail besproken worden. Aangezien deze masterproef gaat over de invloed van isolerende kimlagen op de stabiliteit van metselwerkmuren, is het belangrijk om de materialen die men gebruikt als kimlaag gedetailleerd te bekijken. Het is echter niet mogelijk om alle materialen te bespreken, het onderzoek zou hierdoor te uitgebreid worden. Hierdoor is het onderzoek

bepikt tot enkel de kimlaag die bestaat uit cellenbeton. Door het onderzoek te beperken is het mogelijk om meer accurate resultaten te leveren.

2.2 BESTANDELEN DRAGENDE COMPOSIT METSELWERKMUUR MET EEN KIMLAAG

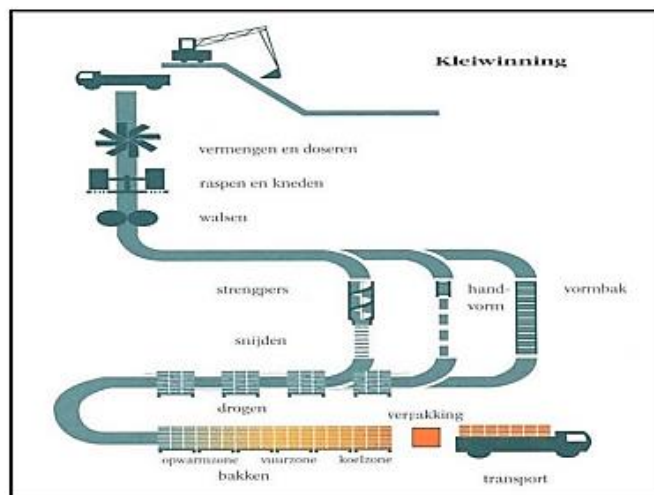
Eerst zullen de verschillende soorten stenen, die later gebruikt zullen worden voor de proefopstellingen, van een composiet metselwerkmuur worden besproken. Het productieproces, fysische en chemische eigenschappen van zowel metselbakstenen, kleisteen en cellenbeton zullen uitvoerig behandeld worden. Dit zijn immers de combinaties die in de praktijk worden toegepast om een muur met kimlaag te vervaardigen. Met behulp van de gegevens in deze paragraaf wordt het mogelijk om later de berekeningen uit te voeren op volledige metselwerkmuren.

2.2.1 KLEISTEEN

2.2.1.1 Productieproces

De fabricage van metselbakstenen, getoond in Figuur 2 kan ingedeeld worden in 5 stappen [4]:

1. de kleiwinning,
2. de voorbereiding van de klei,
3. het vormen,
4. het drogen,
5. het bakken.



Figuur 2: Productieproces kleisteen [4]

Het eerste proces is de kleiwinning. De natuurlijke basisgrondstof waaruit bakstenen geproduceerd worden is klei. Hieronder vallen ook grondstoffen met dezelfde mineralogische samenstelling zoals leemgronden en verweerde leisteen. In België is vette klei en leisteen op vele plaatsen in de ondergrond aanwezig waardoor traditionele woningbouw nog steeds zeer populair is.

Vervolgens wordt de klei voorbereid. Hierbij worden er twee hoofdbewerkingen uitgevoerd. Enerzijds is er het kneden en malen met als doel een homogene plastische kleimassa te bekomen die gemakkelijk verwerkbaar is. Anderzijds moet de grondstof gemengd en gedoseerd worden. Hierbij worden verschillende kleisoorten en indien nodig ook andere toevoegingen gemengd om ervoor te zorgen dat de grondstof steeds dezelfde eigenschappen bezit. Daarnaast wordt er ook voor gezorgd dat het vochtgehalte van de kleimassa constant wordt gehouden.

Enmaal de voorbereiding van de klei beëindigd is, kan het vormproces van start gaan. Metselbakstenen kunnen naargelang het vormproces onderverdeeld worden in drie soorten. Stenen die vroeger met de hand gevormd werden, worden beschreven als handvormstenen. Tegenwoordig worden deze machinaal gevormd en worden ze gekenmerkt door hun typisch generfd oppervlak. Een tweede soort die op een gelijkaardige manier gevormd wordt, met als verschil dat ze ook aangedrukt worden, zijn vormbakstenen. Tot slot is er de strengperssteen waarbij de kleimassa in de vorm van een doorlopende streng wordt vervaardigd die vervolgens wordt afgesneden op de maat van de stenen. Bij deze soort is het ook mogelijk om de steen te perforeren waardoor er grote formaten geproduceerd kunnen worden, zoals de snelbouwstenen van klei.

Vervolgens vindt het drogingsproces plaats. Om te voorkomen dat de bakstenen barsten of stuk springen bij het bakken moeten de gevormde kleimassa's eerst gedroogd worden tot het vochtgehalte ongeveer 2% bedraagt. De droging gebeurt in droogkamers of droogtunnels waardoor het proces nauwkeurig opgevolgd kan worden en slechts twee tot vier dagen in beslag neemt.

De laatste stap in het productieproces waardoor de eigenlijke baksteen bekomen wordt is het bakken. Hierbij wordt de temperatuur volgens een tijdschema geleidelijk verhoogd tot de "baktemperatuur" bereikt wordt. Deze ligt afhankelijk van de kleisoort tussen de 850 en 1200 graden Celsius. Vervolgens laat men de temperatuur geleidelijk afnemen tot de steen volledig afgekoeld is.

2.2.1.2 Indeling volgens Europese normen

Metselbakstenen kunnen ingedeeld worden volgens de Europese norm of volgens de Belgische technische voorschriften. De Europese norm deelt metselbakstenen op in P-metselbakstenen en U-metselbakstenen. P-metselbakstenen worden gebruikt in beschermd metselwerk dat wil zeggen dat ze niet blootgesteld worden aan water en/of bodem. U-metselbakstenen daarentegen worden gebruikt in onbeschermd metselwerk en worden dus wel blootgesteld aan water, grond en vorst-dooicycli. Beide soorten kunnen zowel in dragend als niet-dragend metselwerk toegepast worden. Volgens de Belgische technische voorschriften worden metselbakstenen opgedeeld in gevelbakstenen en bakstenen voor niet-decoratief metselwerk. Gevelbakstenen hebben een decoratieve functie en zijn bedoeld voor gebruik in onbeschermd metselwerk. Daarnaast kunnen bakstenen voor niet-decoratief metselwerk nog eens opgedeeld worden in niet zichtbaar blijvende stenen en zichtmetselstenen waarbij het verschil ligt in het belang van de kwalificeerbare kenmerken.

Volgens NBN EN 1996-1-1 kunnen metselbakstenen ook onderverdeeld worden in vier groepen afhankelijk van de geometrische kenmerken [5]. In Tabel 1 worden deze groepen weergegeven.

Tabel 1: Indeling metselbakstenen [5]

	Groep 1	Groep 2 verticale holten	Groep 3 vertical holten	Groep 4 Horizontale holten
Volume van alle holten	≤ 25 %	>25 % ≤ 55 %	>25 % ≤ 70 %	>25 % ≤ 70 %
Volume van iedere holte	≤ 12,5 %	ledere perforatie ≤ 2 % Handgrepen tot een totaal van max 12,5 %	ledere perforatie ≤ 2 % Handgrepen tot een totaal van max 12,5 %	ledere perforatie ≤ 30 %
Diktes van ribben en mantels	Geen eis	Ribben ≥ 5 mm Mantels ≥ 8 mm	Ribben ≥ 3 mm Mantels ≥ 6 mm	Ribben ≥ 5 mm Mantels ≥ 6 mm
Gecombineerde dikte		≥ 16	≥ 12	≥ 12

In het geval van een muur met een kimlaag, wordt er gebruik gemaakt van niet-decoratieve stenen die niet zichtbaar blijven. Tegenwoordig worden deze kleistenen niet meer gemetseld met een klassieke mortel, maar wordt er gebruik gemaakt van lijm mortel. Zo heeft de firma Wienerberger reeds een systeem waar ze binnenmuurstenen lijmen. De stenen zijn vlakgeslepen met verticale tand- en groefverbinding. De lijm wordt enkel op de horizontale voeg aangebracht met een speciale rolbak zoals weergegeven in Figuur 3. De voegdikte bedraagt ca. 1mm. Voor de aanmaak van de lijm mortel is slechts weinig water nodig, waardoor de muren sneller zullen drogen. Eveneens zal dit ervoor zorgen dat er een aanzienlijke vermindering van bouwvocht in de woning zal optreden, tot zelfs 1000 liter minder t.o.v. traditioneel metselen. Doordat de lijmvoegen zo dun kunnen worden uitgevoerd, vermindert dit de koudebruggen in de binnenmuur en zal er een beter thermisch geïsoleerd systeem ontstaan [6].

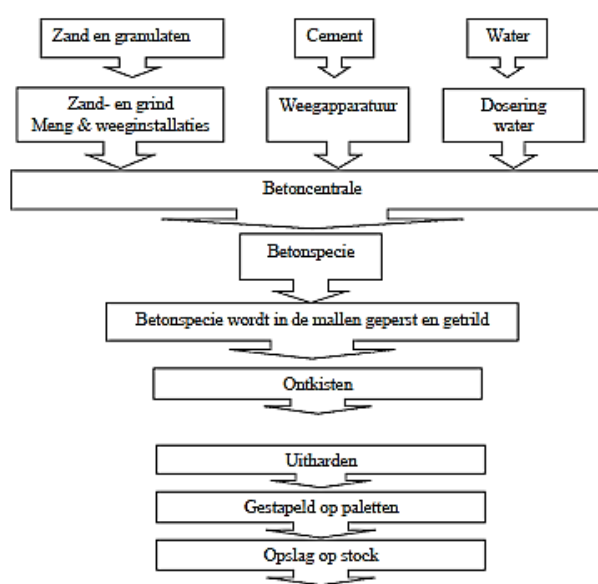


Figuur 3: POROTHERM Lijm-systeem met rolbak [6]

2.2.2 BETONSTEEN

2.2.2.1 Productieproces

Het productieproces van betonsteen wordt weergegeven in Figuur 4 en kan onderverdeeld worden in vier grote stappen. De eerste stap bestaat uit het bepalen van de correcte hoeveelheid van alle grondstoffen, namelijk zand, granulaten, cement en water, zodat ze vervolgens gemengd kunnen worden in de betonmolen. In deze stap wordt dus het betonmengsel aangemaakt. Tijdens de volgende stap worden de betonblokken gevormd in mallen en krachtig geperst en getrild. Vervolgens worden de stenen onmiddellijk ontkist en gedurende 24 uur in droogkamers gestockeerd. Tot slot kunnen ze gestapeld en afgevoerd worden naar de stockageruimte.



Figuur 4: Productieproces betonsteen [7]

In de praktijk worden deze betonstenen gebruikt met klassieke mortel. Er zijn verschillende maten en soorten, de meest gebruikte is die met 2 holtes aan 1 zijde. De holtes zorgen namelijk voor een reductie in gewicht, waardoor het metselen makkelijker wordt. De stenen worden met de holtes naar beneden op elkaar gestapeld. De mortel wordt dus aangebracht op de vlakke zijde. Deze steen vormt de basis voor de woning- en industriebouw, utiliteits- en burgerlijke bouwkunde [7].

2.2.3 CELLENBETON

Cellenbeton is een bouw materiaal dat vaak wordt gebruikt, doordat het relatief goedkoop is en makkelijk te gebruiken. Zo beschikt cellenbeton over goede thermische en mechanische eigenschappen. Het heeft ook goede geluidsabsorberende eigenschappen en het zorgt dankzij de goede thermische isolatie-eigenschap dat een gebouw stabiele temperaturen zonder airconditioning kan verkrijgen. Cellenbeton is eveneens onbrandbaar en het geeft geen rook bij brand, hierdoor krijgt de gebruiker zelfs een kosteloze extra brandverzekering.

Echter, wanneer men volledige muren opbouwt uit cellenbeton, kunnen er bepaalde faalmechanismen ontstaan. De constructie faalt dan op de plaatsen tussen de aanhechting van de verschillende cellenbetonblokken en in een aantal gevallen scheurt de cellenbetonblok zelf. Om dit faalmechanisme beter te begrijpen, heeft men een onderzoek uitgevoerd naar de mechanische eigenschappen van cellenbeton.

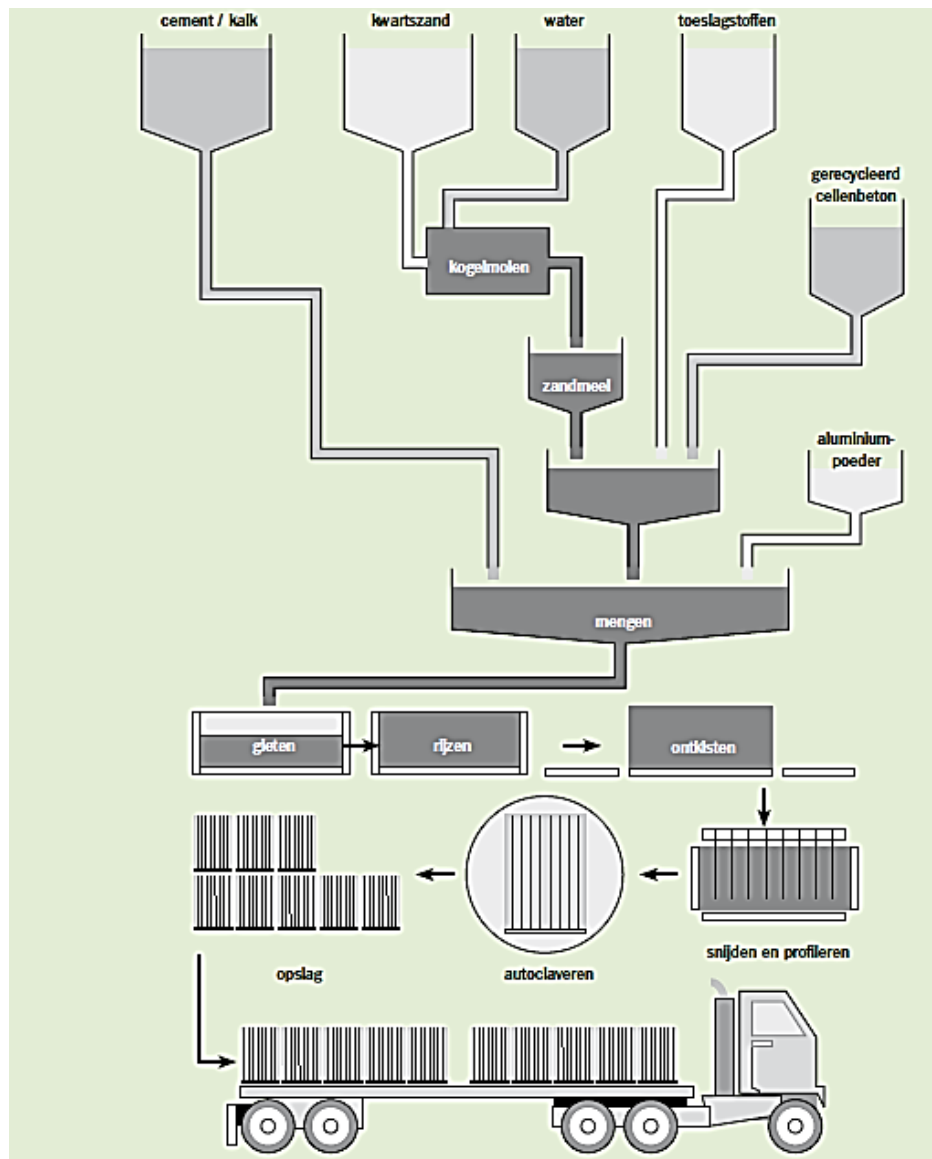
2.2.3.1 Bestanddelen en productieproces

Cellenbeton is een licht cement product met als basisgrondstoffen: Zand, kalk en cement. Het unieke uitzicht van cellenbeton verkrijgt men door aluminium poeder in de mengeling toe te voegen tijdens de vloeibare of plastische fase. Dit doet de brij dan rijzen en zorgt voor de vorming van luchtbelletjes zoals te zien is in Figuur 5. Na toevoeging van het aluminium poeder, wordt de massa in vormen gegoten. Wanneer men echter gewapend cellenbeton wil vervaardigen, zal men eerst de corrosiewerende wapening in deze vormen moeten plaatsen. Deze vormen



Figuur 5: Luchtbelletjes in cellenbeton [8]

worden slechts gedeeltelijk gevuld, het aluminiumpoeder zorgt er immers voor dat er waterstofgas vrij komt en de massa gaat rijzen. Dankzij deze miljoenen luchtbelletjes verkrijgt cellenbeton zijn unieke eigenschappen. Deze eigenschappen zijn het lichte gewicht en de uitstekende warmte-isolatiecapaciteit. Nadat het uit de vorm wordt genomen, kan het op maat gesneden worden. Vervolgens wordt het product versteend in een autoclaaf bij een temperatuur van 180 graden Celsius en een stoomdruk van 10 atmosfeer. Hierna beschikt het materiaal over zijn definitieve eigenschappen. In Figuur 6 wordt het productieproces van cellenbeton weergegeven [8].



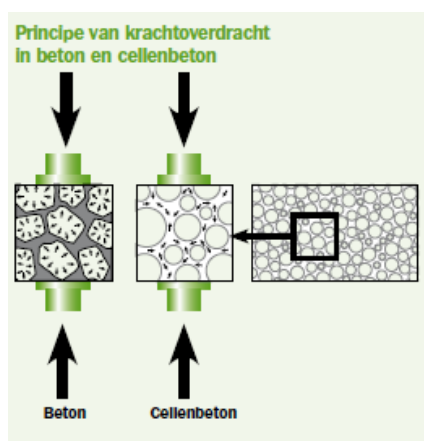
Figuur 6: Productieproces cellenbeton [8]

Doordat het proces gepaard gaat met een volumevermeerdering, kan men met 500 kg grondstof 1 m^3 produceren. Dit is slechts de helft of één derde van de hoeveelheid die men nodig heeft om andere ruwbouwmaterialen te produceren. Het productieproces zelf verbruikt ook slechts 300 kWh/h om 1 m^3 te produceren. Dit is zelfs 10 keer minder dan wordt verbruikt bij de productie van stenen bestaande uit gebakken aarde. Tijdens de fabricage worden de reststoffen, die ontstaan tijdens de snijfase, volledig opnieuw in het productieproces opgenomen. Hieruit blijkt dat cellenbeton dus een milieuvriendelijk product is [8].

2.2.3.2 Eigenschappen

Cellenbetonproducten zijn geschikt voor alle soorten constructies. Het is mogelijk om de blokken te gebruiken voor dragende of niet-dragende muren, binnen- of buitenmuren of voor halfhoge gebouwen, dit zelfs in aardbevingsgebied. Het wordt vooral gebruikt als bouw materiaal omdat het beschikt over uitstekende warmte-isulerende eigenschappen. Het houdt de koelte in het gebouw tijdens de zomer en de kou buiten tijdens de winter. Het is ook gemakkelijker om mee te werken in vergelijking met de klassieke bouwmaterialen, dit zal uiteindelijk ook tot een aanzienlijke kostenbesparing leiden.

Cellenbeton is makkelijk bewerkbaar doordat het voor 80% uit luchtbelletjes bestaat. Het is in verschillende volumemassa's beschikbaar, variërend van 300 tot 800 kg/m³. In vergelijking met normaal beton, 2400 kg/m³, heeft cellenbeton dus een lagere dichtheid. Doordat de krachten in cellenbeton worden overgedragen door de celwand en niet door de luchtbelletjes is het van belang dat de cellen klein, bolvormig en homogeen in de massa verdeeld zijn. Indien er grote cellen in het cellenbeton zouden zitten, zou dit de druksterkte aanzienlijk verminderen. In normaal beton gebeurt de krachtsoverdracht anders, hier wordt de druksterkte bepaald door de grootte van krachtsoverdracht die plaatsvindt via het toeslagmateriaal zoals is weergegeven in Figuur 7. Het cement dient hier dus enkel als bindmiddel tussen de toeslagstoffen. In vergelijking met cellenbeton kan hieruit afgeleid worden dat de druksterkte van cellenbeton met een factor tussen 1/3 en 1/6 lager ligt dan die van normaal beton. Bij wateropname zal deze reductiefactor van de druksterkte nog hoger worden [8].



Figuur 7: Krachtsoverdracht in beton en cellenbeton [8]

Doordat cellenbeton zo anders is dan de standaard metselwerk materialen, is het nodig om dit grondig te testen en zo de mechanische eigenschappen te achterhalen. De resultaten hiervan kunnen worden gebruikt om de numerieke modellen voor de structurele analyses te kalibreren. Net zoals kleistenen worden ook cellenbetonblokken in de meeste gevallen gelijmd. Hier moet men ook rekening mee houden wanneer men de eigenschappen tracht te achterhalen van een cellenbetonmuur.

2.2.3.3 Indeling cellenbetonstenen volgens Europese normen

Cellenbetonstenen kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. De indelingen gebeuren volgens:

- fabricagematen,
- genormaliseerde druksterkte,
- schijnbare droge volumemassa,
- kwaliteitsklassen,
- soorten metselwerk,
- vertrouwenspeil van de druksterkte.

De indeling volgens fabricagematen spreekt voor zich. Hier is nog een onderverdeling mogelijk tussen de standaard geautoclaveerde stenen (maatcode S) en de niet-standaard geautoclaveerde stenen (Maatcode NS).

De indeling in verschillende klassen volgens genormaliseerde druksterkte is gebaseerd op de verklaarde genormaliseerde druksterkte f_{bm} die door de fabrikant verklaard wordt. Tabel 2 geeft de indeling weer [9].

Tabel 2: Druksterkteklassen [9]

Klasse	Minimale genormaliseerde druksterkte
f 6	$f_{bm} \geq 6 \text{ N/mm}^2$
f 5	$f_{bm} \geq 5 \text{ N/mm}^2$
f 4	$f_{bm} \geq 4 \text{ N/mm}^2$
f 3	$f_{bm} \geq 3 \text{ N/mm}^2$
f 2	$f_{bm} \geq 2 \text{ N/mm}^2$

De schijnbare droge volumemassa voor blokken wordt beschreven in de Belgische normen NBN B21-002 en de Europese norm EN 771-4. De indeling gebeurt dan volgens volumeklasse. De waarde voor de gemiddelde bruto schijnbare droge volumemassa die verklaard is door de fabrikant mag hierbij niet de bovengrens overschrijden en de ondergrens met niet meer dan 25 kg/m^3 overschrijden. De indeling volgens schijnbare droge volumemassa wordt weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Volumemassaklassen [9]

Klasse	Maximale of minimale droge volumemassa
ρ 300	$250 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 300 \text{ kg/m}^3$
ρ 350	$300 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 350 \text{ kg/m}^3$
ρ 400	$350 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$
ρ 450	$400 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 450 \text{ kg/m}^3$
ρ 500	$450 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$
ρ 550	$500 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 550 \text{ kg/m}^3$
ρ 600	$550 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$
ρ 650	$600 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 650 \text{ kg/m}^3$
ρ 700	$650 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 700 \text{ kg/m}^3$
ρ 750	$700 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 750 \text{ kg/m}^3$
ρ 800	$750 \text{ kg/m}^3 < \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

Vervolgens kan cellenbeton worden ingedeeld in kwaliteitsklassen. Deze kwaliteitsklassen worden gemaakt op basis van de schijnbare droge volumemassa (ρ -klasse) en van de druksterkte (f-klasse). De drukklasse die hier behandeld wordt is de karakteristieke drukklasse f_{bk} . De klasse wordt aangeduid door middel van een letter-cijfer combinatie. Eerst de letter C, dit duidt erop dat het gaat over blokken. Het cijfer dat volgt staat voor de karakteristieke druksterkte, gevolgd door het cijfer ter aanduiding van de ρ -klasse. De indeling volgens standaardkwaliteitsklassen wordt in Tabel 4 weergegeven.

Tabel 4: Standaardkwaliteitsklassen [9]

Aanduiding	f-klasse	p-klasse
C 2 / 300	f 2	p 300
C 2 / 350	f 2	p 350
C 2 / 400	f 2	p 400
C 3 / 450	f 3	p 450
C 4 / 550	f 4	p 550
C 5 / 650	f 5	p 650
C 6 / 750	f 6	p 750

De indeling van cellenbetonstenen kan ook gebeuren volgens soorten metselwerk. Tabel 5 geeft de verschillende klassen weer waarbij het metselwerk wordt opgedeeld volgens bestemming.

Tabel 5: Indeling in soorten metselstenen [9]

Code	Soort metselsteen	Bijzondere prestatie-eisen		Beoogd metselwerk
		Kenmerk	§	
A	buitenmetselsteen	- uiterlijk - duurzaamheid (vorstbestandheid) - vochtgedrag - waterdampdoorlatendheid - wateropslorping door capillariteit	5.2 5.5 5.6 5.7 5.8	buitenmetselwerk ⁽¹⁾
C	grondmetselsteen	- uiterlijk - vorstbestandheid - vochtgedrag	5.2 5.5 5.6	grondmetselwerk ⁽¹⁾
D	andere metselsteen	- uiterlijk	5.2	ander metselwerk ⁽²⁾
⁽¹⁾ - onbeschermd blootgesteld aan de buitenklimaatinvloeden (A) of aan de grond (C) ⁽²⁾ - niet blootgesteld aan buitenklimaatinvloeden				

Wanneer cellenbeton wordt gebruikt als dragend metselwerk, wordt dit ingedeeld tot groep 1 volgens NBN EN 1996-1-1. Hierbij zullen dan de constanten K , α en β bepaald moeten worden voor het berekenen van de sterkte van zulk soort muren.

Tot slot kan de indeling van cellenbeton ook gebeuren volgens het vertrouwenspeil van de druksterkte. Deze kunnen worden onderverdeeld in 2 klassen:

- Categorie I: De waarschijnlijkheid dat de verklaarde druksterkte wordt bereikt bedraagt tenminste 95% (NBN EN 771-4, 3.17);
- Categorie II: Degene die niet voldoen aan het vertrouwenspeil van categorie I.

2.2.3.4. Druksterkte cellenbeton

De druksterkte van cellenbeton zal toenemen bij een stijgende volumemassa. Dit kan afgeleid worden uit de tabellen in de Belgische norm NBN B 21-002. De minimale genormaliseerde druksterkte (f_{bm}) volgens de norm mag niet kleiner zijn dan 2 N/mm^2 . Deze genormaliseerde druksterkte wordt berekend door de gemiddelde druksterkte f_m te vermenigvuldigen met een vormfactor δ . Deze vormfactor is afhankelijk van de fabricagehoogte en fabricagebreedte. De fabrikant is verplicht om de steen te leveren met een gekende genormaliseerde druksterkte f_{bm} , eventueel in aanvulling met de gemiddelde druksterkte f_m of de karakteristieke druksterkte f_k . Wanneer het gaat over de druksterkte van volledige muren cellenbeton, is het belangrijk om tijdens de berekening rekening te houden met het feit dat deze muren gelijmd worden. Gelijmde voegen bezitten namelijk een grotere drukweerstand dan metselwerk met mortelvoegen.

2.3 DRAGEND METSELWERK ONDERHEVIG AAN VERTICALE BELASTINGEN

In paragraaf 2.2 werden de verschillende bestanddelen van een muur met een kimlaag besproken. Nu de fysische en mechanische eigenschappen van de stenen gekend zijn, is het mogelijk om hiermee berekeningen uit te voeren wanneer de stenen worden gebruikt om een muur te bouwen. Deze paragraaf handelt over de berekening van de stabiliteit van een dragend homogeen metselwerk dat onderhevig is aan verticale belastingen.

In Eurocode 6 staat uitgebreid beschreven hoe een homogene metselwerkwand ontworpen moet worden en hoe de sterkte ervan bepaald kan worden. Er bestaan echter nog geen formules in de Eurocode waarmee de sterkte van heterogene muren berekend kan worden. Aangezien het metselwerk een onderdeel is van het gebouw bedraagt de ontwerplevensduur 50 jaar en moet het zo ontworpen zijn dat het de vereiste duurzaamheid bezit bij het gebruik ervan, rekening houdend met de omgevingsomstandigheden die van toepassing zijn. Hierbij is het belangrijk dat zowel de metselstenen, de mortel en eventueel het wapeningsstaal voldoende duurzaam zijn om weerstand te bieden aan het milieu dat zich voordoet tijdens de gebruiksperiode van het gebouw. Indien één van deze materialen niet voldoende weerstand bezit en aangetast wordt kan het metselwerk namelijk een deel van zijn sterkte verliezen. In deze paragraaf wordt besproken hoe de sterkte van een metselwerkmuur berekend wordt volgens Eurocode 6. Aangezien deze masterproef enkel handelt over metselwerkmuren onderworpen aan een verticale belasting zonder excentriciteiten, wordt de berekening van laterale weerstand en invloed van excentriciteiten achterwege gelaten.

Het controleren van de sterkte van een homogeen dragend metselwerk kan onderverdeeld worden in 4 stappen:

1. Bepaling optredende verticale belasting N_{Ed} ;
2. Bepaling genormaliseerde druksterkte metselstenen f_b ;
3. Bepaling druksterkte van de mortel f_m ;
4. Berekening sterkte van het metselwerk f_d .

De 4 stappen zullen in de volgende paragrafen worden uitgelegd.

2.3.1 OPTREDENDE VERTICALE BELASTING

De verticale belastingen of normaalkrachten die optreden in de metselwerkmuur worden bepaald in uiterste grenstoestand. De lasten worden hierbij vermenigvuldigd met een veiligheidscoëfficiënt. De veiligheidsfactor voor permanente lasten bedraagt 1.35 en voor mobiele lasten 1.5. Daarnaast wordt er een veiligheidsfactor van 0.9 en 0.0 gebruikt bij respectievelijk permanente en mobiele lasten als de deellast een gunstige invloed heeft op de belasting. In Tabel 6 worden deze waardes samengevat.

Tabel 6: Veiligheidsfactoren UGT

γ_F	ongunstig	gunstig
vaste lasten	1,35	0,90
mobiele lasten	1,50	0

2.3.2 GENORMALISEERDE DRUKSTERKTE METSELSTENEN

De genormaliseerde druksterkte wordt normaal door de producent opgegeven, indien dit niet het geval is wordt de volgende formule gebruikt:

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{mean} \quad (1)$$

Met:

- δ : de vormfactor weergegeven in Tabel 6
- δ_c : de conditioneringsfactor
- f_{mean} : de gemiddelde druksterkte van de metselstenen

De gemiddelde druksterkte van de metselstenen wordt normaal gegeven door de fabrikant, deze kan gecontroleerd worden volgens NBN EN 772-1. Dit gebeurt door middel van drukproeven op afzonderlijke proefstukken waaruit de gemiddelde druksterkte bepaald wordt. De conditioneringsfactor zet deze waarde vervolgens om naar een equivalente druksterkte $f_{bm,eq}$ die de luchtvochtigheid van de proefstukken in rekening brengt. Deze factor wordt voor bakstenen, betonstenen en cellenbeton gelijk genomen aan 1 en voor kalksteen gelijk aan 0.8.

Tot slot neemt de vormfactor, weergegeven in Tabel 7, afwijkingen ten opzichte van de eenheidsmaat voor de proefstukken in rekening. De genormaliseerde druksterkte is dus de gemiddelde druksterkte van een bouwsteen, herleid naar een eenheidsformaat van 100 x 100 x 100 mm³ in luchtdroge toestand.

Tabel 7: Vormfactor

Width mm	50	100	150	200	≥ 250
Height ^a mm					
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

NOTE Linear interpolation between adjacent values of shape factor is permitted.
^a height after surface preparation.

Aangezien voor metselbakstenen van groep 2 en 3 (Indeling zie Tabel 5) de vormfactor echter niet in rekening gebracht wordt en de conditioneringsfactor gelijk aan 1 beschouwd wordt geeft dit volgende aannames volgens STS 22 [10]:

Voor metselbakstenen van groep 2 en 3: $f_b = f_{mean}$ (2)

Voor metselbakstenen van groep 1: $f_b = \delta \times f_{mean}$ (3)

2.3.3 DRUKSTERKTE VAN DE MORTEL

Indien de mortel een prestatiemortel betreft moet de druksterkte opgegeven worden door de producent. In Tabel 8 worden de verschillende druksterkteklassen weergegeven.

Tabel 8: Druksterkteklassen mortel [10]

Klasse	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Druksterkte [N/mm ²]	1	2,5	5	10	15	20	d
d is een verklaarde drukweerstand, groter dan 20N/mm ² en een veelvoud van 5							

De druksterkte van de mortel kan eveneens bepaald worden door middel van proeven volgens NBN EN 1015-11. Hierbij worden prisma's met afmetingen 160mm x 40mm x 40mm gemaakt die, eventueel na uitvoering van een buigproef, in twee helften gebroken worden. Afhankelijk van de voorbereiding en opslagmethode wordt de droogtijd van de proefstukken (ongeveer 28 dagen) bepaald. Vervolgens worden ze tussen de drukplaten van het toestel geplaatst waarbij er op gelet moet worden dat de belasting over de volledige oppervlakte van het proefstuk aangebracht wordt. Deze belasting wordt gelijkmatig verhoogd met een toenamesnelheid in die mate dat er binnen een tijdspanne van 30 tot 90 seconde een breuk optreedt. De sterkte van elk proefstuk wordt vervolgens berekend als de verhouding van de hoogst verdragen belasting tot de oppervlakte van de doorsnede. Uit alle proefstukken wordt tot slot het gemiddelde bepaald en dit is dan de druksterkte van de mortel [11].

2.3.4 DRUKSTERKTE VAN HET METSELWERK

De karakteristieke druksterkte van de metselwerkmuur kan enerzijds bepaald worden aan de hand van proeven op muurtjes volgens NBN EN 1052-1 en anderzijds door berekeningen.

- **Bepaling aan de hand van proeven**

Op kleine metselwerkmuren worden drukproeven uitgevoerd waaruit de druksterkte van het metselwerk loodrecht op de voegen bepaald kan worden. Vooraf wordt ook de druksterkte van de metselstenen en mortel bepaald volgens de methode die eerder besproken werd in paragraaf 2.3.2 en 2.3.3. Om een correct resultaat te verkrijgen moeten er op minstens 3 verschillende metselwerkmuren proeven uitgevoerd worden. Deze proefstukken worden opgebouwd op een vlakke, horizontale ondergrond en er moet voor gezorgd worden dat de te belasten oppervlakken vlak zijn en loodrecht op de hoofdas van het proefstuk staan. Voor de drukproeven uitgevoerd kunnen worden moet de uithardingstijd van de mortel van 28 dagen gerespecteerd worden [12].

Vervolgens kunnen de proeven uitgevoerd worden waarbij de belasting gelijkmatig verhoogd wordt. De snelheid van belasting toename moet zodanig zijn, dat het proefstuk binnen een tijdspanne van 15 tot 30 min na het aanbrengen van de belasting een breuk vertoont. Tijdens de uitvoering van de proeven wordt de maximale drukkracht $F_{i,max}$ van elke proefstuk opgemeten. Hiermee kan dan de druksterkte van elk metselwerkmuurkje berekend worden door toepassing van de volgende formule:

$$f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i} \quad (4)$$

Uit de resultaten van de verschillende metselwerkmuurkjes kan vervolgens de gemiddelde druksterkte f_m bepaald worden. De karakteristieke druksterkte van het metselwerk wordt tot slot bepaald uit de kleinste waarde van:

$$f_k = \frac{f}{1.2} \quad \text{en} \quad f_k = f_{i,min} \quad (5)$$

- **Bepaling aan de hand van berekeningen**

De karakteristieke druksterkte van metselwerk kan ook bepaald worden aan de hand van de volgende vergelijking:

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta \quad (6)$$

Met:

K: een constante

α, β : constanten

f_b : de genormaliseerde gemiddelde druksterkte van de metselstenen

f_m : de druksterkte van de mortel

In onderstaande tabellen worden de waarden voor K, α en β weergegeven voor verschillende soorten metselstenen en de verschillende groepen. Tabel 9 geeft de formules voor de karakteristieke druksterkte van metselwerk met gewone mortel en Tabel 10 de formules voor metselwerk met lijm mortel [10].

Tabel 9: Parameters karakteristieke druksterkte van metselwerk met gewone mortel [10]

Metselwerk in	Groep 1	Groep 2	Groep 3
Bakstenen	$0,50 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	$0,50 \cdot f_{mean}^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	$0,40 \cdot f_{mean}^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$
Betonmetselstenen	$0,60 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	$0,50 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	$0,45 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$
Kalkzandsteen	$0,60 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	$0,50 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$	
Cellenbetonmetselsteen	$0,60 \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$		

Tabel 10: Parameters karakteristieke druksterkte van metselwerk met lijm mortel [10]

Metselwerk in	Groep 1	Groep 2	Groep 3
Bakstenen		$0,50 \cdot f_{mean}^{0,80}$	$0,40 \cdot f_{mean}^{0,80}$
Betonmetselstenen	$0,80 \cdot f_b^{0,85}$	$0,65 \cdot f_b^{0,85}$	$0,50 \cdot f_b^{0,85}$
Kalkzandsteen	$0,80 \cdot f_b^{0,85}$	$0,55 \cdot f_b^{0,85}$	
Cellenbetonmetselsteen	$0,80 \cdot f_b^{0,85}$		

De rekenwaarde voor de druksterkte van het metselwerk wordt tot slot bekomen door de karakteristieke druksterkte te delen door een veiligheidsfactor:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (7)$$

De waarde voor deze veiligheidsfactor wordt bepaald uit Tabel 11.

Tabel 11: Veiligheidsfactor [10]

Materiaal		γ_M	
		KLASSE	
Code	Metselwerk vervaardigd met	S	N
A	Metselstenen van categorie I met productcertificaat Prestatiemortel met productcertificaat	2,0	2,5
B	Metselstenen van categorie I Willekeurige mortel	2,3	2,8
C	Metselstenen van categorie II Willekeurige mortel	3,0	3,5

Hierbij zijn “S” en “N” de uitvoeringsklassen, afkortingen van respectievelijk “Special” en “Normal”. Uitvoeringsklasse S betekent dat er naast een interne controle door het uitvoerend bedrijf een frequente controle plaatsvindt door extern, gekwalificeerd personeel. Bij uitvoeringsklasse N is er enkel controle door ervaren personeel van het uitvoerend bedrijf.

2.4 PROEFRESULTATEN OP HOMOGENE MUREN

In de voorgaande paragrafen werden reeds de eigenschappen van de verschillende stenen besproken en hoe deze eigenschappen te gebruiken in een berekening voor een volledige metselwerkmuur. Deze paragraaf zal de proefresultaten die reeds uitgevoerd zijn op metselwerkmuren bespreken. Ten eerste zullen resultaten worden behandeld inzake homogene muren uit klei en beton. Vervolgens zal een proef op een homogene cellenbetonmuur besproken worden. Daarna zal een onderzoek worden beschreven waarbij reeds proeven uitgevoerd werden op composiet muurtjes. Tot slot zullen de belangrijkste overeenkomsten en verschillen besproken worden.

2.4.1 KLEI EN BETON

Het Belgian Building Research Institute (BBRI) heeft reeds onderzoek gedaan naar de waarden die de Eurocode 6 voorstelt inzake de druksterkte van een muur [13]. Na een eerste reeks van testen op metselwerk, vervaardigd uit kleistenen, werd al snel duidelijk dat de formules die gebruikt worden voor de combinatie van kleisteen met klassieke mortel onveilig waren, in tegenstelling tot de formules voor de combinatie met lijm mortel, die te veilig waren. Om deze verschillen beter te begrijpen is een verder onderzoek van de invloed van de vormfactor nodig. Het onderzoek bestaat uit het uitvoeren van druktesten op muren met gezaagde stenen en ongezaagde stenen. Men gaat hierbij uit van de formule van de karakteristieke druksterkte, die gegeven wordt in de Eurocode 6:

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta \quad (8)$$

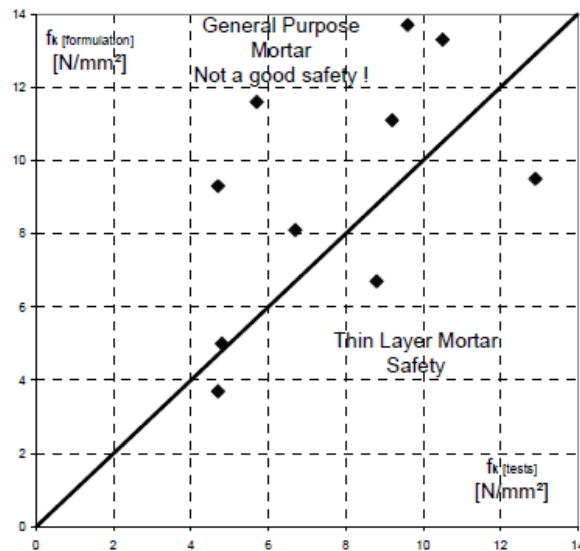
Het testprogramma is gebaseerd op het testen van metselwerk stenen, mortels en metselwerk muren. Met de karakteristieke druksterkte, $f_{k[test]}$, verkregen uit de proeven uitgevoerd volgens EN 1052-1, kan men dan een vergelijking maken met de waarden die men verkrijgt bij de theoretische berekening volgens de formule uit Eurocode 6, $f_{k[formule]}$. Het doel is dus niet om de parameters, K, α of β te bepalen, maar om het veiligheidsniveau van de aanbevelingen te verifiëren.

Met andere woorden wil dit dus zeggen dat:

$$f_{k[test]} > f_{k[formule]} \quad (9)$$

De eerste testfase is het testen van enkele stenen. Men is begonnen met de kleistenen van groep 2 of 3 met afmetingen 29 x 14 x 19 cm³. Deze worden dan gecombineerd met algemene mortel en met lijm mortel. 30 muren werden getest, waarvan 3 per combinatie. De belangrijkste conclusie hieruit is dat de formule van EC6 een onveilige benadering maakt in het geval van algemene mortel en een te veilige in het geval van lijm mortel. Figuur 8 geeft deze vergelijking weer.

$$f_{k[test]} > 1.3 f_{k[formule]} \quad (10)$$



Figuur 8: Vergelijking tussen $f_{k[test]}$ en $f_{k[formule]}$

Tijdens de volgende testen werd er rekening gehouden met verschillende parameters, namelijk de vormfactor en de geometrische factor. Zoals reeds vermeld in paragraaf 2.3.2 wordt de genormaliseerde druksterkte bepaald door de druksterkte van de metselsteen te vermenigvuldigen met een vormfactor en een conditioneringsfactor:

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{mean} \quad (11)$$

Om deze parameters te onderzoeken worden er eerst testen gedaan op volledige metselstenen en gezaagde stenen, hiervan wordt dan de druksterkte vergeleken. Ten tweede worden er volledige muren getest die eveneens opgebouwd worden uit volledige metselstenen en gezaagde stenen, hiervan wordt dan eveneens de druksterkte vergeleken. Een overzicht van de verschillende materialen wordt weergegeven in onderstaande Tabel 12. De kolom 'void' geeft het percentage aan holtes weer over beide oppervlaktes die in contact staan met de stalen platen. Deze metselwerkstenen werden dan onderworpen aan testen zoals beschreven in EN 772-1.

Tabel 12: Metselstenen gebruikt bij proeven BCCI [13]

Masonry units				
Type	Ref	void [%]*	+/-L _u xI _u [mm ²]	h [mm]
Clay Group 2	TC2	48	290x140	92 (h _u /2)
				141 (I _u)
				189 (h _u)
	TC3	39	290x140	86 (h _u /2)
			182 (h _u)	
Concrete Group 2	B2	16	290x140	96 (h _u /2)
				189 (h _u)
AAC Group 1	BC1	0	100x100	100
			150x150	94
				250 (h _u)

Voor de volgende proeven werden er muren gemetseld met algemene mortel (MT2 en MT4) en lijm mortel (LMTC2, LMB2 en LMBC1) met LMTC2 dat verwijst naar TC2 muur met lijm mortel. LMB2 en LMBC1 verwijzen respectievelijk naar de muur vervaardigd uit beton met lijm mortel en cellenbeton met lijm mortel.

De muren, in totaal 21, waarvan een deel vervaardigd werd met volledige metselstenen en een deel met gezaagde stenen, werden dan getest volgens EN 1052-1. De karakteristieke waarde wordt dan berekend volgens de standaard die aangeeft om de kleinste waarde te nemen van de 3 individuele resultaten, anderszinds wordt het gemiddelde berekend volgens EC6.

Tabel 13: Druksterkte van de metselwerkstenen volgens EN 772-4 [13]

Masonry units					Compressive strength		Conditioning		Shape	Normalised
Type	Ref	void [%]*	+/-L _u xI _u [mm ²]	h [mm]	Mean value f _{unit} [N/mm ²]	Variation coefficient CV [%]	type	factor	factor δ	compressive strength f _b [N/mm ²]
Clay Group 2	TC2	48	290x140	92 (h _u /2)	33.5	6	Oven dried	1,0	0.8882	29.8
				141 (I _u)	33.2	5			1.0840	35.9
				189 (h _u)	33.8	3			1.2362	41.8
	TC3	39	290x140	86 (h _u /2)	23.7	22	Oven dried	1,0	0.8654	20.5
				182 (h _u)	21.9	8			1.2186	26.7
Concrete Group 2	B2	16	290x140	96 (h _u /2)	28.1	6	Oven dried	1.0	0.8958	25.2
				189 (h _u)	24.4	8			1.2292	30.0
AAC Group 1	BC1	0	100x100	100	2.3	9	6%water	1.0	1	2.3
			150x150	94	2.8	5			0.8767	2.5
				250 (h _u)	2.3	4			1.3495	3.1

* : by means of area, in comparison with the total gross area of both bed faces

Uit de resultaten van de drukproeven op de afzonderlijke metselstenen kan besloten worden dat de waarde van f_b voor de verschillende vormen van metselstenen gelijk moet zijn, hetgeen volgens de testen niet het geval is. Voor deze combinaties kunnen we besluiten dat vormfactoren niet realistisch zijn. Belangrijk is de observatie bij een toenemend percentage aan holtes, dit leidt tot een kleinere variatie tussen de gemiddelde waarden die overeenkomen met de verschillende vormen van de metselstenen.

Vervolgens werden er proeven uitgevoerd op metselwerkmuren. Volgens de vergelijking uit EC6 zou het gebruik van halve metselwerkstenen in een muur de druksterkte verminderen, zoals weergegeven in Tabel 14.

Tabel 14: Vergelijking tussen theoretische en experimentele sterkte van metselwerk waarin 1/2 stenen werden gebruikt i.p.v. volledige stenen [13]

Masonry unit	Mortar	Loss of characteristic compressive strength when using half units instead of whole units in walls [%]	
		Experimental loss of f_k [test] of walls tested according to EN1052-1	Theoretical loss of f_k [formulation] of walls evaluated according to EC6
Clay unit TC2 (group 2)	GPM MT4	45	21
	GPM MT2	6	
	TLM LMTC2	53	
Concrete unit B2 (group 2)	GPM MT2	26	20
	TLM LMB2	38	24
	comments	Must be = 0 according to EC6	Must be = 0 according to EN772-1 and EC6

De testopstelling voor de drukproeven op metselwerkmuren wordt weergegeven in Figuur 9 .



Figuur 9: Test opbouw, druksterkte van metselwerkmuur gemaakt met deels halve stenen

De resultaten voor de muren die gebouwd werden met gebruik van halve stenen zijn weergegeven in Tabel 12. Wanneer men de resultaten bekijkt en een vergelijking maakt tussen de muren die uit volledige stenen zijn gemaakt en deze gemaakt uit deels halve stenen, kan besloten worden dat halve stenen geen veiligere resultaten geven, zelfs met het feit dat de overeenkomstige f_b waarden gebruikt in de formules lager zijn. De voorspellingen van EC6 voor de kleistenen van TC2 metselwerk verschillen voor 20% met de experimentele waarden. De voorspellingen voor de betonnen B2 metselwerk verschillen met 15 % van de experimentele waarden.

In Tabel 15 zijn eveneens de experimentele verliezen in druksterkte wanneer men halve stenen gebruikt weergegeven. Dit verlies in sterkte fluctueert tussen 6% voor TC2 en MT2 en 53% voor TC2 en LMTC2. Deze observatie is niet in overeenstemming met de voorspelling van EC6, waarin de invloed van de geometrie van de gebruikte materialen enkel in rekening wordt gebracht in de formule doordat er een onderscheid wordt gemaakt tussen de dikte van mortelvoegen en lijmvoegen. Lijmvoegen hebben een dikte tussen 0,5 en 3mm. Dit is het enige onderscheid waarmee rekening wordt gehouden in de formule, de vorm of de afmetingen van de metselstenen worden hier dus niet in rekening gebracht. Uit de proeven kan eveneens worden afgeleid dat de Youngs modulus afneemt wanneer er gebruik wordt gemaakt van halve stenen in plaats van volledige.

Tabel 15: Druksterkte metselwerk volgens EN 1052-1: Vergelijking

Masonry		Unit		Mortar		Tests - EN 1052-1			Characteristic values					
type	Geom-etry	ref	group	f_b [EN 772-1] [N/mm ²]	ref	f_m [EN 1015-11] [N/mm ²]	Joint thick [mm]	wall 1 [N/mm ²]	wall 2 [N/mm ²]	wall 3 [N/mm ²]	Tests - EN 1052-1			EC6
											f_k [N/mm ²]	E [N/mm ²]	$K_E = E/f_k$	f_k [N/mm ²]
Clay														
GPM		TC2	2	41.8	MT4	7.2	14	10.0	11.6	11.5	9.2	8240	896	11.1
				36.5		MT2	26.0	13	12.6	12.2	9.6	9.6	8600	896
		1/2 TC2	2	29.8	MT4	12.1	13	5.3	6.5	6.5	5.1	4200	823	10.2
				23.8		MT2	23.8	15	10.2	12.0	10.3	9.0	5500	611
TLM		TC2	2	41.6	LMT C2	21.1	2	15.7	17.2	13.5	12.9	8460	656	9.5
				29.8		27.5	4	7.4	8.6	6.0	6.0	7800	1300	7.5
Dense aggregates Concrete														
GPM		B2	2	30.0	MT2	25.5	11	16.5	16.0	13.9	12.9	14640	1135	12.0
				21.6		MT4	3.2	12	6.1	5.7	7.2	5.3	3300	623
		1/2 B2	2	21.6	MT2	23.4	10	9.6	13.8	11.1	9.6	6900	719	9.5
TLM		B2	2	30.0	LMT C2	24.8	3	15.6	16.6	13.5	12.7	15920	1254	11.7
				21.6		20.2	5	9.4	9.0	10.1	7.9	9100	1152	8.9
Autoclaved Aerated Concrete														
TLM		1/2 BC1	1	2.5	LMB C1	13.8	2	1.8	1.5	1.4	1.3	900	692	1.7

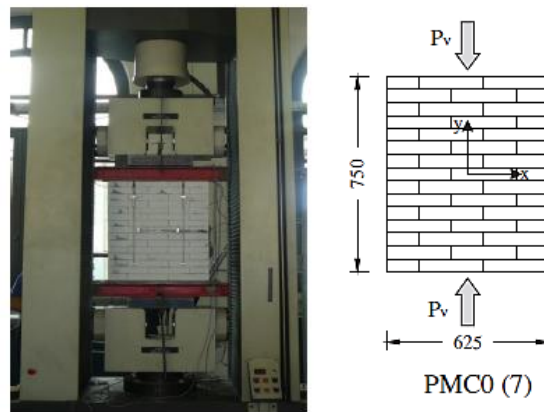
De resultaten van dit onderzoek geven 2 hoofdconclusies, een eerste in verband met de sterkte van de metselstenen en een tweede in verband met de sterkte van metselwerk zelf. Er werd aangetoond dat de vormfactoren niet realistisch zijn voor de types van metselstenen die in dit onderzoek werden gebruikt. Eveneens is het normaliseren van de sterkte onafhankelijk van het percentage aan holtes wanneer dit 50% of hoger is. De EC6 maakt in relatie met de geometrie van het materiaal enkel een onderscheid tussen algemene mortel en lijm mortel. In dit geval is aangenomen dat de mortel geen invloed heeft op de druksterkte van het metselwerk. Voor de studie van de geometrische invloed werd aangetoond dat het gebruik van halve stenen in een metselwerkmuur wel degelijk leidt tot een reductie aan druksterkte tot wel 50%, dit in tegenstelling tot waarden die de EC6 beweert.

Verder recomanderen de onderzoekers van deze paper verder onderzoek, doordat er zoveel verschillende combinaties mogelijk zijn. In ons geval zal dit onderzoek bestaan uit composiet muren. BBRI heeft ook onderzoek gedaan naar de druksterkte van cellenbeton. Uit Tabel 15 kan reeds worden afgeleid dat cellenbetonstenen een veel lagere gemiddelde druksterkte bezitten dan kleisteen of betonsteen. Deze bedraagt slechts 2.3 N/mm². Dit is echter geen verrassing, doordat cellenbeton een poreuze structuur bezit. Vervolgens werd ook een proef uitgevoerd op een muur van cellenbeton vervaardigd met lijm mortel. Hieruit kan afgeleid worden dat de karakteristieke druksterkte van cellenbetonmuren aanzienlijk lager ligt dan muren van kleisteen of betonsteen. De resultaten van de proeven met lijm mortel zijn slechts ter informatie gegeven doordat de combinatie van de lijm mortel zich nog in de ontwikkelingsfase bevond tijdens het uitvoeren van de proeven en de bindingssterkte hiervan niet suffiënt bevonden werd. De resultaten van reeds uitgevoerde proeven op volledige cellenbetonmuren zullen in de volgende paragraaf daarom uitgebreider besproken worden.

2.4.2 CELLENBETON MUREN

Het departement of Civil engineering van de universiteit te Parma heeft reeds onderzoek uitgevoerd naar de mechanische karakterisatie van cellenbetonmuren vervaardigd met lijm mortel [14]. De resultaten hiervan zullen in deze paragraaf besproken worden. Zo zal er een duidelijk beeld ontstaan over het gedrag van metselwerkmuren uit cellenbeton onderhevig aan een loodrechte lading op het vlak.

Er zijn reeds experimenten uitgevoerd die de sterkte bepalen van klassieke metselwerkmuren die bijvoorbeeld bestaan uit kleistenen en gevoegd zijn met klassieke mortel. De resultaten van deze experimenten kunnen echter niet herleid worden naar metselwerkmuren gemaakt van cellenbeton. De reden hiervoor is dat cellenbeton blokken gelijmd worden. Verschillende onderzoeken zijn reeds uitgevoerd op gelijmd cellenbeton (onder andere, [15] [16]). Deze onderzoeken hebben uitgewezen dat de dikte van de voeg inderdaad invloed heeft op het gedrag van het metselwerk. Het doel van het onderzoek dat hier zal beschreven worden is, om een volledige beschrijving te geven van het gedrag van cellenbetonmetselwerk wanneer het belast wordt met een lading loodrecht op het vlak, zoals weergegeven in Figuur 10. Hiervoor werden 7 testen uitgevoerd op cellenbetonelementen met gelijmde voeg. Er werd niet geopteerd voor de klassieke afmetingen van cellenbetonblokken (Zie Tabel 16), maar verkleinde versies om zo meer voegen te verkrijgen zonder dat de proefopstellingen te groot zouden worden.



Figuur 10: Proefopstelling cellenbetonmuur [14]

Tabel 16: Karakteristieken van cellenbeton

Afmetingen	250 x 50 x 100 mm ³
Dichtheid	550 kg/m ³
Druksterkte	3,1 MPa
Elasticiteit modulus	1320 MPa

Voor de lijm mortel werd gebruik gemaakt van Portland cement, silica zand en specifieke additieven met een waterdosis gelijk aan 24% van het gewicht. De lijm bekam dan een dichtheid van 1300 kg/m³ en een druksterkte van 6 MPa op 40 x 40 x 160 mm³ proefstukken.

De cellenbetonblokken werden gelijmd en voor 3 maanden opgeslagen in het laboratorium. De muren hadden een lengte van 625 mm, een dikte van 100 mm en een hoogte van 750 mm. Hieruit kon dan de elasticiteitsmodulus bepaald worden. Deze bedroeg 5300 MPa. De nominale dikte van de voegen was 1,5 mm.

Na 3 maanden uitharden werden de muren onderworpen aan uniaxiale druktesten. De proefopstelling wordt getoond in Figuur 10. De pers die men gebruikte was een Metrocom PV50 met een capaciteit tot 5000 kN. Om te zorgen dat er een verdeelde belasting werd uitgeoefend op de muur, heeft men de pers voorzien van een stalen profiel die de druk verdeelde over de muur. Met gebruik van LVDT's (Linair Variable Displacement Transducers), geïnstalleerd langs de x- en de y-richting. Hiermee werden de horizontale en verticale rekken (ϵ_v en ϵ_h) gemeten. In totaal werden er 6 LVDT's geïnstalleerd. Door het meten van deze spanningen kon men ook de elasticiteitsmodulus in beide richtingen bepalen en de Poisson coëfficiënt evalueren.

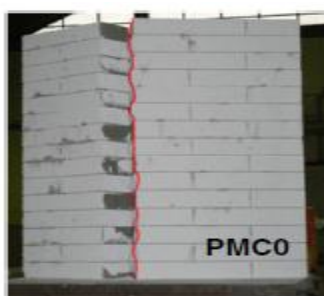
De eerste testen die men heeft uitgevoerd waren op cellenbeton kubussen met een zijde van 80 mm op een vierkante basis van 40 mm. Deze testen op de kubussen met een basis van 80 mm gaven als resultaat een gemiddelde druksterkte van 2,8 MPa, terwijl deze met een basis van 40 mm een druksterkte hadden van 3.1 MPa. Deze resultaten kwamen goed overeen met gegevens uit andere literatuur. Echter moet men er wel rekening mee houden dat de druksterkte van cellenbeton afhankelijk is van de geometrie en de afmetingen van de proefstukken.

Hierna werden proeven uitgevoerd op muren vervaardigd met cellenbeton en gelijmd voegen. Er werden verschillende proefopstellingen gebouwd met verschillende oriëntaties van de voegen, 0, 22, 45, 68 en 90 graden. Voor ons zullen enkel de resultaten van de proeven op de muren met horizontale voegen van belang zijn. Uit de proefresultaten heeft men dan de elasticiteitsmodulus en de coëfficiënt van Poisson berekend. De verkregen waarden waren van dezelfde grootte orde als die van de fabrikant, die waarden aangaf tussen 1400MPa en 1750 MPa. Verder geeft Tabel 17 ook de rekken weer die in de y-richting verkregen werden die een gemiddelde hebben van 2,2%.

Tabel 17: Resultaten drukproeven cellenbeton muren [14]

Sample	#	Test control	E_x (MPa)	E_y (MPa)	ν (MPa)	ϵ_{px} (‰)	ϵ_{py} (‰)
PMCO	2	LC		1417	032		2.00
PMCO	3	LC		1392	038		2.20
PMCO	7	DC		1346	029		2.40
PMCs0	1	DC		1737	035		1.68

Het scheurpatroon dat verkregen werd na de drukproef is weergegeven in Figuur 11. Het is opvallend dat het scheurpatroon niet de voegen van het metselwerk volgt. Dit komt doordat de druksterkte van gelijmd metselwerk hoger is dan deze van conventioneel metselwerk. Het is zelfs zo dat de gelijmd voeg zich eerder gedraagt als een homogeen geheel met de cellenbetonblokken en zo de belasting beter verdeelt. Hierdoor zal gelijmd cellenbeton metselwerk meestal niet het klassieke scheurpatroon vertonen dat langsheen de voegen loopt.



Figuur 11: Scheurpatroon na drukproef [14]

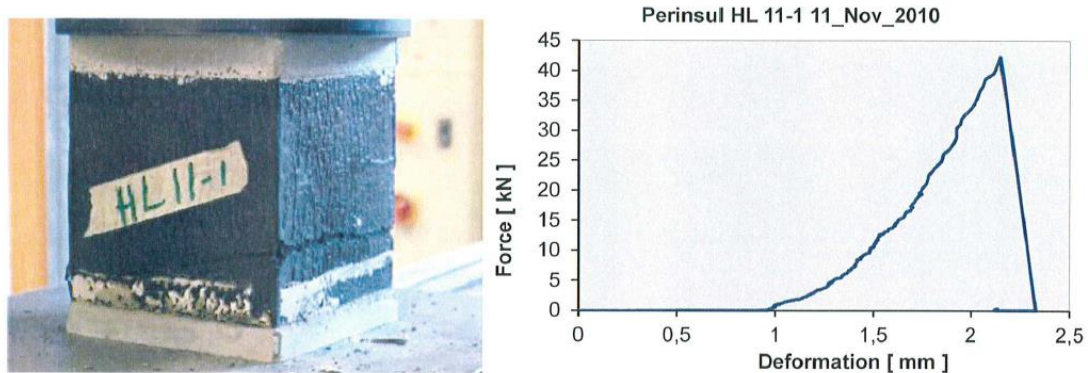
2.4.3 HETEROGENE MUUR

Wat betreft proeven op heterogene muren, zijn er reeds enkele uitgevoerd op een composiet muur met een isolatielaag van cellenglas. Deze resultaten kunnen reeds een eerste indruk geven van drukproeven op heterogene muren met een isolatielaag. Cellenglas is net zoals cellenbeton een hoog thermisch isolerend materiaal dat gebruikt kan worden om koudenbruggen te voorkomen. Men past deze techniek reeds enkele jaren toe in niet-dragende muren, omdat de sterkte van cellenglas niet evenaart aan die van de klassieke metselstenen. Recente ontwikkelingen hebben echter cellenglas ontwikkeld dat gebruikt kan worden voor dragende muren. Op al deze producten, die zorgen voor een thermische onderbreking, heeft men nog maar zeer weinig testen uitgevoerd. De EC6 heeft zelfs geen uitdrukkelijke formules waarmee men de sterkte van een composiet muur kan uitrekenen. Het

onderzoek uitgevoerd door Dirk Martens geeft een eerste stap naar het opvullen van deze leegte in de EC [17].

Doordat het uitzonderlijk is dat er een centrische kracht optreedt op een metselwerkmuur, moesten er excentrische testen uitgevoerd worden op stenen van cellenglas. Tijdens dit onderzoek werd gebruik gemaakt van 2 verschillende soorten cellenglas (S: standaard en HL: High load) in combinatie met calcium silicaat blokken, solide klei blokken en geperforeerde kleiblokken.

Eerst werden testen uitgevoerd op enkelvoudige cellenglas elementen. Hiervoor testte men 6 kubussen van elk type met zijde 100 mm. Doordat cellenglas zich bros gedraagt werden de buitenkanten van de kubussen bedekt met cementmortel om zo ongunstige invloeden van niet-uniforme lading te voorkomen. Het grote verschil met traditionele metselstenen, die een scheurpatroon vertonen in de vorm van een zandloper, was dat de stenen hier faalden ten gevolge van scheurvorming in het horizontaal vlak, parallel met het krachtoppervlak zoals te zien is in Figuur 12 . Hieruit volgt dat de vormfactor (gedefinieerd in EN 772-1) aangenomen mag worden als 1. De gemiddelde druksterkte was 2.1 en 3.6 N/mm² voor respectievelijk de S-stenen en de HL-stenen.



Figuur 12: Druktest op een kubus cellenglas (links) – Kracht-verplaatsing grafiek (rechts) [17]

Vervolgens werden er testen uitgevoerd op inhomogene metselwerkmuren. Deze testen werden uitgevoerd conform de EN 1052-1, zoals aangetoond in Figuur 13. Voor de muren werden 3 verschillende stenen gebruikt: volle calcium silicaat stenen, volle kleistenen en geperforeerde kleistenen.



Figuur 13: Proefopstelling drukproef op composiet muur met cellenglas en kleisteen [17]

De testresultaten werden weergegeven door gebruik te maken van de gegeven formules in EC6:

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{mean} \quad (12)$$

Voordat men deze formule kan gebruiken moet men eerst de parameters K, α en β bepalen op basis van de testresultaten. De resultaten van de proeven op inhomogene muren met de onderste laag vervaardigd uit cellenglas van het type HL worden weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18: Parameters voor de berekening van de druksterkte van een metselwerkmuur met een kimlaag van cellenglas HL, met een druksterkte van 3,1N/mm² [17]

Masonry units	f_b N/mm ²	General Purpose Mortar	f_m N/mm ²	f_k N/mm ²	K (N/mm ²) ^(1-α-β)	α -	β -
Solid Calcium Silicate block	12	M10	10	1,96	0,52	0,65	0,25
Solid Clay Block	15	M10	10	1,71	0,46	0,65	0,25
Perforated Clay block	17,5	M10	10	1,67	0,45	0,65	0,25

De cellenglasblokken bezitten een druksterkte van 2,1 N/mm². Wanneer men deze met mortel, druksterkte M10, combineert met bijvoorbeeld een geperforeerde kleiblok, die een individuele druksterkte bezit van 17,5 N/mm², verkrijgt men een muur die volgens de proeven een karakteristieke druksterkte bezit van 1,67 N/mm². Dit duidt dus op een aanzienlijke reductie van de druksterkte. Dit is te verklaren doordat bij een combinatie van 2 stenen met verschillende druksterkte, degene met de laagste druksterkte een negatieve invloed zal geven op de totale druksterkte. Ook de mortelvoegen vormen een zwakke schakel in het metselwerk, hierdoor zal er eveneens een reductie van de druksterkte plaatsvinden.

Met dit onderzoek heeft men een eerste stap gezet om het gat in de EC6 inzake inhomogene muren te dichten. Men hoopt met dit onderzoek een aanleiding te geven tot het opstellen van algemene formules voor het berekenen van de sterkte van heterogene muren. Het is volgens hen aanbevolen om de verschillende materialen die op de markt zijn te testen en dan hieruit een algemene procedure te ontwikkelen.

2.4.4 VERGELIJKEN RESULTATEN

De voorgaande paragrafen behandelden de reeds uitgevoerde proeven op verschillende soorten muren. Deze resultaten kunnen reeds globaal worden vergeleken, om ze een eerste voorspelling geven inzake muren met een kimlaag.

Muren die volledig bestaan uit kleiblokken of betonblokken kunnen makkelijk worden uitgerekend met behulp van de formules in EC6. Echter geven deze formules een onveilige benadering in geval van algemene mortel en een te veilige benadering in geval van lijm mortel. Eveneens is het normaliseren van de sterkte onafhankelijk van het percentage aan holtes wanneer dit 50% of hoger is. De EC6 voorspelt ook dat de druksterkte van een muur zal verminderen indien er halve metselwerkstenen worden gebruikt. Echter de EC houdt geen rekening met de vorm of de afmetingen van de metselstenen, enkel met de dikte van de mortel- of lijmvoegen. In dit geval is de benadering van de EC onveilig.

Muren bestaande uit cellenbetonblokken zijn in tegenstelling tot muren uit klei- of betonblokken niet direct te berekenen met de formules in de EC6. De experimentele proeven wezen uit dat de druksterkte van zulke muren aanzienlijk lager ligt dan die van klei- of betonblokken. Dit kan verklaard worden door de poreuze structuur van cellenbeton. Ook de gelijkde proefstukken leveren bruikbare resultaten

op, zo verloopt het scheurpatroon niet klassiek langs de voegen. De oorzaak hiervan is dat de druksterkte van gelijmd metselwerk hoger is dan die van conventioneel metselwerk.

Tot slot werden ook reeds heterogene muren besproken. Uit deze resultaten is af te leiden dat wanneer de muur bestaat uit 2 verschillende materialen, elk met een andere druksterkte, dit wel degelijk een invloed zal hebben op de totale druksterkte van de muur.

Echter de resultaten die reeds bekend zijn, zijn onvoldoende om een sluitende conclusie te kunnen trekken inzake de invloed die een kimlaag zal hebben op de stabiliteit van een metselwerkmuur. Er zijn reeds theoretische formules opgesteld om composiet muren te berekenen, deze zijn gebaseerd op de aanname dat de kimlaag ook effectief een metselwerk is. Deze berekeningsmethode zal in de volgende paragraaf besproken worden.

2.5 FORMULES VAN COMPOSIT MUREN

Wat betreft de theoretische berekening van composiet muren, zijn er reeds formules opgesteld in de STS 22. De STS documenten helpen de opdrachtgever bij het uitwerken van het lastenboek voor zijn project. De documenten houden eveneens rekening met de actuele stand van de normalisatie, de bouwpraktijk en de evolutie en ontwikkeling van nieuwe producten. In de STS 22 heeft men reeds een deel geschreven over de invloed van isolerende kimlagen. De regels gelden echter enkel voor metselstenen die behoren tot de productnormen van de NBN EN 771-1 tot 6. Men geeft hier wel aan dat voor de berekening van de stabiliteit van dragende muren met een kimlaag er momenteel, op dat moment 2014, nog geen algemeen aanvaarde berekeningsmethode bestond. De formules die men hier dus vermeldt, zijn enkel theoretische aannames en veronderstellingen [10]. Het feit waar men zich hierop heeft gebaseerd is dat de druksterkte van deze isolerende laag aanmerkelijk lager is dan de druksterkte van de metselstenen. De normaalkrachten N_{Rd} die een composiet muur met dikte t kan opnemen kan berekend worden aan de hand van onderstaande formules 13 en 14. N_{Rd} moet ten allen tijden groter zijn dan N_{Ed} .

$$N_{Rd} = \phi_1 \times t \times \mu \times f_{d1} \geq N_{Ed} \quad (\text{met } \phi_1 = 1)^1 \quad (13)$$

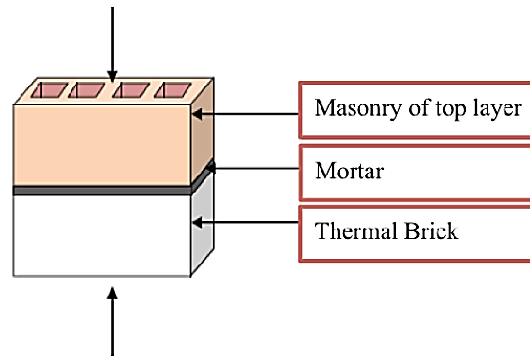
$$N_{Rd} = \phi_2 \times t \times \mu \times f_{d2} \geq N_{Ed} \quad (14)$$

Hierbij is

- $f_{d1} = f_k / \gamma_m$ de rekenwaarde van de druksterkte van het kimlaagmetselwerk
- f_{d2} = de rekenwaarde van de druksterkte van het bovenliggend metselwerk
- $\phi_{1,2}$ = reductiefactor tengevolge slankheid en excentriciteit,
 - Indien de isolerende steen een beduidend kleinere elasticiteitsmodulus heeft dan de bovenliggende muur ($< 0,5 \cdot E$ -modulus (van het bovenliggend metselwerk)). Bovenliggend metselwerk wordt rekening gehouden met een scharnierende muurbasis ($\rho_2 = 1.00$ dus geen reductie ter bepaling van de effectieve muurhoogte h_{ef})

Hierbij zal dus de laag met de laagste druksterkte, de kimlaag, bepalend zijn voor de sterkte van het volledige metselwerk. Men spreekt ook over het feit dat de druksterkte van het isolerend materiaal dat gebruikt wordt als kimlaag verminderd moet worden in functie van het holtebeeld van de gebruikte metselstenen van de tweede laag. Echter moet deze factor μ nog bepaald worden aan de hand van proeven, door bijvoorbeeld 2 op elkaar gemetselde stenen te onderwerpen aan drukproeven zoals getoond in Figuur 14.

¹ Aangezien de excentriciteit berekend wordt bovenaan de muur en in het midden van de muur, en aangezien de kimlaag zich in de voet van het gelijkvloersmetselwerk bevindt, mag men aannemen dat $\phi_1 = 1$



Figuur 14: Voorbeeld van proefopstelling voor drukproeven [2]

Een andere opmerking die over de reeds geformuleerde methode gegeven kan worden, is het feit dat de kimlaag slechts uit 1 laag metselwerk bestaat. Daarentegen luid de definitie van metselwerk als volgt: *Een samenstelling van metselstenen, gelegd in een bepaald patroon en samengevoegd met mortel*. De formules 13 en 14 die men gebruikt voor de berekening van de druksterkte van de kimlaag, zijn dezelfde die men gebruikt voor volledige metselwerkmuren. De aanname dat een kimlaag, die slechts uit 1 laag bestaat, kan worden beschouwd als metselwerk, is nog niet proefondervindelijk bewezen. Om na te gaan of deze formule dus zomaar gebruikt mag worden om de druksterkte van de kimlaag te berekenen, zullen er eerst proeven moeten plaatsvinden die dit kunnen bevestigen, of anderszids ontkrachten.

Anderzids kan de kimlaag ook beschouwd worden als enkelvoudige laag en niet als metselwerk. De formule blijft hierbij hetzelfde, echter verandert de manier waarop f_{d1} bepaald wordt. De rekenwaarde van de druksterkte van de kimlaagstenen kan nu worden berekend door:

- ofwel de karakteristieke drukweerstand van de kimlaagsteen met een betrouwbaarheid van 95% te delen door de veiligheidscoëfficiënt;
- ofwel de gemiddelde drukweerstand van de kimlaagsteen met een betrouwbaarheid van 95% te vermenigvuldigen met 0,8 en te delen door de veiligheidscoëfficiënt;
- Opmerking: het betreft de druksterkte van de gehele kimlaagsteen. Indien de druksterkte bepaald wordt op gezaagde kubussen, 100 x 100 x 100 dient deze druksterkte gedeeld te worden door de vormfactor, zoals weergegeven in het hoofdstuk materialen. (zie ook NBN EN 1996-1-1 + ANB).

Om deze formules te controleren wordt er een voorbeeld gegeven dat gebaseerd is op de testresultaten van het onderzoek op de composiet muren met de cellenglasblokken als kimlaag en de geperforeerde kleiblokken als bovenliggend metselwerk [17].

Het cellenglas had een $f_b = 1,8 \text{ N/mm}^2$ en de mortel die werd gebruikt had $f_m = 10 \text{ N/mm}^2$ [18]. De bovenliggende geperforeerde kleiblokken hadden een druksterkte van $17,5 \text{ N/mm}^2$. Wanneer nu de karakteristieke druksterkte van de kimlaag wordt berekend geeft dit het volgende resultaat:

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

De factoren worden gehaald uit Tabel 9. Dan wordt de volgende waarde verkregen voor de laag cellenglas:

$$f_k = 0,60 \times 1,8^{0,65} \times 10^{0,25} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

Voor het bovenliggend metselwerk bestaande uit kleiblokken:

$$f_k = 0,50 \times 17,5^{0,65} \times 10^{0,25} = 5,7 \text{ N/mm}^2$$

Bovenstaande karakteristieke waarden representeren de druksterkte van een metselwerkmuur bestaande uit enkel cellenglas of enkel kleiblokken. Deze resultaten kunnen vergeleken worden met de karakteristieke druksterkte van een composiet muur met een kimlaag van cellenglas en het bovenstaande metselwerk van geperforeerde kleiblokken. Deze bedroeg $1,67 \text{ N/mm}^2$. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een composiet metselwerkmuur een lagere druksterkte zal bezitten dan homogene muren.

Het invoegen van een kimlaag in een metselwerkmuur heeft dus een zekere invloed op de stabiliteit van een metselwerkmuur. De orde van grootte van deze invloed zal moeten worden bepaald aan de hand van voldoende proeven zodat deze statistisch representatief zijn. Het volgende hoofdstuk bestaat daarom uit een volledige uiteenzetting van de proeven en berekeningen die uitgevoerd zijn omtrent deze masterproef om zo de invloed van een kimlaag op de stabiliteit van een metselwerkmuur beter in kaart te brengen.

3. SCOPE EN OBJECTIEVEN

Het onderzoek zal zich vooral focussen op de meest gebruikte stenen in een composiet muur. Voor de kimlaag zelf wordt er gebruik gemaakt van een cellenbetonsteen met een genormaliseerde druksterkte van 4 N/mm^2 . Voor de bovenliggende stenen wordt er enerzijds gebruik gemaakt van 2 soorten kleistenen, een met druksterkte van 10 N/mm^2 en de ander met een druksterkte van 15 N/mm^2 . Anderzijds worden er ook betonblokken gebruikt met een karakteristieke druksterkte van 10 N/mm^2 . Met deze stenen worden dan homogene en composiet proefstukken opgebouwd. De composiet proefstukken bestaan uit 2 gestapelde stenen met een onderste laag uit cellenbeton. De proefstukken worden vervolgens onderworpen aan een verticale belasting. De objectieven van dit onderzoek zijn het beter begrijpen van het gedrag van composiet structuren met een thermisch isolerende steen om zo het faalmechanisme te kunnen bestuderen. De impact van de verschillende parameters op een composiet muur zullen ook worden vergeleken. Tot slot is het ook interessant om de conclusies die uit dit onderzoek worden verkregen verder uit te breiden naar een onderzoek op grotere schaal om zo het gedrag te bestuderen van volledige structurele elementen en daarmee het gat in de Eurocodes verder te dichten.

4. EXPERIMENTEEL PROGRAMMA

4.1 PROEFOPSTELLING

4.1.1 MORTEL EN LIJMMORTEL

De proeven op de mortel en lijmortel die werd gebruikt voor de opbouw van de muren werden uitgevoerd conform NBN EN 1015-11. De stalen werden afgenomen op het moment dat de gestapelde stenen gemetseld werden. De mortel of lijmortel werd dan in een speciale gietvorm geplaatst, zoals voorzien in de norm, en hierna op een schudtafel geplaatst om het te verdichten. Daarna werd minstens 28 dagen gewacht voordat de proefstukken uit de bekisting werden gehaald. Eenmaal uit de bekisting gehaald, werd het proefstuk eerst onderworpen aan een driepuntsbuigproef, waarna het proefstuk in 2 gebroken was. Hierna kon dan de drukproef op beide stukken worden uitgevoerd. De proefopstelling voor de drukproef is weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15: Proefopstelling drukproef mortel/lijmmortel

4.1.2 ENKELE STENEN

Voor de drukproeven op enkele stenen is gebruik gemaakt van de drukpers die aanwezig is in de afdeling Bouwkunde van het Technologiecentrum te Diepenbeek. Deze wordt voornamelijk gebruikt voor het testen van betonkubussen en bestaat uit standaard ronde drukplaten met een diameter van 28.5cm. Aangezien de te testen metselstenen grotere afmetingen hebben werden ze tussen 2 stalen platen met een dikte van 5cm geplaatst. Op deze manier werd verzekerd dat de aangebrachte belasting uniform is en werd voorkomen dat de testen vertekende resultaten weergaven.

Verder werd er bij de testen ook gebruik gemaakt van twee meetapparaten, een Linear Variable Differential Transformer (LVDT) en een Digital 3D Image Correlation – systeem (DIC). Een LVDT is een sensor die gebruikt wordt voor het meten van lineaire verplaatsingen. In onze proefopstelling werd zowel aan de voorzijde als aan de achterzijde van de stalen plaat één LVDT geplaatst zoals te zien is in Figuur 16. Op deze manier werd de verticale vervorming van de stenen tijdens de drukproef gemeten. Uit de maximaal optredende samendrukking kunnen vervolgens bepaalde fysische eigenschappen van de stenen, zoals de elasticiteitsmodulus, bepaald worden.

De tweede techniek, namelijk de DIC (Figuur 17), is een optisch meettoestel voor non-contact en driedimensionale metingen van de vervormingen, verplaatsingen en rekken van onderdelen en structuren uit vrijwel elk materiaal. Het is dus een systeem dat op een bepaalde frequentie, in dit geval 2 Hz, foto's neemt van het proefstuk en zo de optredende vervormingen bepaalt. Aan de hand van deze gegevens kan opnieuw de elasticiteitsmodulus van de stenen berekend worden.



Figuur 16: Proefopstelling enkele stenen met LVDT's



Figuur 17: Proefopstelling met DIC

4.1.3 GESTAPELDE STENEN

De proeven die werden uitgevoerd op gestapelde stenen konden niet worden uitgevoerd in dezelfde drukpers die reeds gebruikt werd voor de proeven op de enkele stenen. De hoogte van de gestapelde stenen zorgde ervoor, dat de proefstukken niet in de drukpers pasten. Het was dus noodzakelijk om een nieuwe proefopstelling te construeren. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de stalen profielen om hiertussen de opstelling te monteren. De opstelling zelf bestond uit een hydraulische drukpers die bevestigd werd aan de horizontale stalen ligger. Bij deze opstelling werd op de boven- en onderzijde van het proefstuk dezelfde stalen plaat gelegd die eveneens gebruikt werd bij de proeven op de enkele stenen zoals weergegeven in Figuur 18. Deze stalen platen zorgden ook hier ervoor dat de lading uniform verdeeld werd over het proefstuk.



Figuur 18: Proefopstelling gestapelde stenen met LVDT's en DIC

De metingen bij de proeven op dubbele stenen werden eveneens uitgevoerd met 2 systemen. Enerzijds de LVDT's, die nu aan de 4 hoekpunten van de stalen platen werden bevestigd om zo nauwkeurig de verticale vervorming van de proefstukken te kunnen meten. Anderzijds werd ook de DIC opgesteld om de optredende vervorming in kaart te brengen. De gestapelde stenen werden hier beschouwd als metselwerk en daarom werd de uitvoering van de proef gedaan conform EN 1052-1.

4.2 GETESTE MATERIALEN

De druktesten zijn uitgevoerd op betonsteen, cellenbeton en kleisteen, allen representatief voor de Belgische markt. Voor de kleistenen werd gekozen voor de Porotherm lijmsysteem stenen van de firma Wienerberger. Er werd geopteerd om 2 verschillende sterkteklassen te nemen om bij de composiet opstelling de invloed op de sterkte te kunnen vergelijken. De sterkteklassen zijn C10 en C15, beide stenen horen tot groep 2 volgens de EC6. De gedeclareerde gemiddelde druksterkte bedraagt respectievelijk 10 N/mm^2 en 15 N/mm^2 . De gefabriceerde afmetingen zijn $500 \times 138 \times 184 \text{ mm}^3$ ($L_u \times B_u \times H_u$). De stenen zijn ook geperforeerd en voorzien van 2 gripgaten om het plaatsen te vergemakkelijken zoals getoond in Figuur 19. Deze werden dan door midden gezaagd alvorens ze te metselen of te beproeven. De stenen bezitten eveneens een BENOR keurmerk [19]. Overige technische kenmerken kunnen worden teruggevonden op de technische fiche van kleistenen in Bijlage A en B.



Figuur 19: Porotherm kleisteen

Voor het type betonsteen werd gekozen voor de holle steen van groep 2 volgens EN 1996-1-1. Deze werd besteld bij de firma Paesen in Houthalen. De karakteristieke druksterkte van de stenen bedraagt $10,5 \text{ N/mm}^2$. De gemiddelde druksterkte bedraagt $12,4 \text{ N/mm}^2$ en de genormaliseerde druksterkte $15,0 \text{ N/mm}^2$. De afmetingen van de steen zijn $290 \times 140 \times 189 \text{ mm}^3$. De steen wordt weergegeven in Figuur 20. Ze beschikken eveneens over het BENOR keurmerk. Overige technische kenmerken van deze betonsteen kunnen worden gevonden in Bijlage C.



Figuur 20: Betonsteen

De cellenbetonblokken werden besteld bij Xella in Burcht. De stenen zijn van het gamma Ytong kimblokken en zijn dus speciaal ontwikkeld om dienst te doen als kimlaag. De gewichtsklasse van de steen is C4/500 HYDRO. Volgens EN 771-4 behoren ze tot categorie I en behoren ze tot groep 1 conform NBN EN 1996-1-1. De gemiddelde genormaliseerde druksterkte bedraagt $4,5 \text{ N/mm}^2$. De karakteristieke druksterkte van de eerste laag werd ook reeds berekend voor een gemetselde muur, deze bedraagt $3,0 \text{ N/mm}^2$. De elasticiteitscoëfficiënt bedraagt 3000 N/mm^2 . De afmetingen van de cellenbetonblok bedraagt $600 \times 150 \times 200 \text{ mm}^3$. De blokken beschikken eveneens over een BENOR keurmerk. Overige technische kenmerken kunnen worden teruggevonden op de technische fiche van cellenbeton in Bijlage D.

Om dan de combinaties van de verschillende stenen te realiseren werd gebruik gemaakt van mortel of lijm mortel. De mortel bestond uit een klassieke metselmortel Mur 12/4 van de sterkteklasse M10. Dit is een homogeen mengsel samengesteld uit zand, bindmiddelen, en hulpstoffen om de morteleigenschappen te verbeteren. Het is een voorgemengde metselmortel voor algemene toepassing (type G):

- Bindmiddelen: samengesteld Portlandcement volgens EN 197
- Granulaten: afgezeefd en hersamengesteld zand 0/4 volgens EN 13139
- Hulpstoffen: Specifieke toeslagstoffen om de verwerkbaarheid, waterretentie en de kleefeigenschappen te verbeteren.

Overige technische kenmerken kunnen worden teruggevonden op de technische fiche van de gebruikte mortel in Bijlage E.

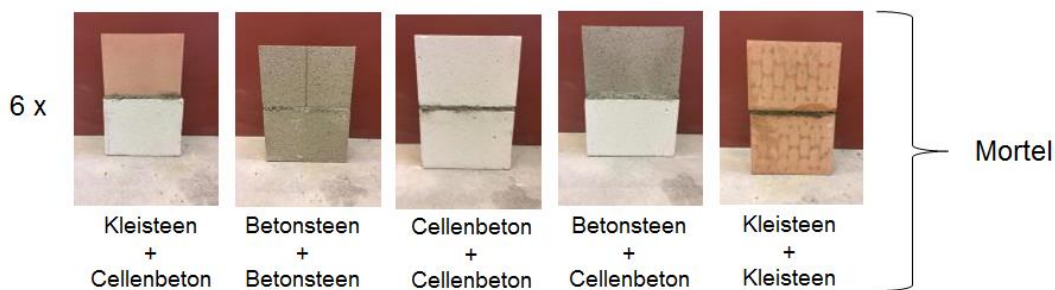
Een andere mogelijkheid om de metselstenen te verbinden was door gebruik te maken van lijm mortel. Deze lijm mortel werd speciaal ontwikkeld door de firma Wienerberger. Het bezit een druksterkte M15. Het lijmen zelf gebeurt niet op dezelfde manier als het aanbrengen van klassieke mortel. Wienerberger voorziet hiervoor een speciale rolbak om de lijm mortel makkelijk en gelijkmatig aan te brengen zoals reeds weergegeven in Figuur 3. Overige technische kenmerken kunnen worden teruggevonden op de technische fiche van de lijm mortel in Bijlage F.

4.3 VOORBEREIDING VAN DE PROEFSTUKKEN

De metselstenen zijn na aankomst in het technologiecentrum gestockeerd in overeenstemming met NBN EN 772-1. Dit wil zeggen dat ze in een luchtdroge conditie gestockeerd werden gedurende een minimum van 14 dagen bij een temperatuur van minstens $15 \text{ }^\circ\text{C}$ en een relatieve vochtigheid van maximum 65%. De kleistenen zijn in de week van 9 februari gearriveerd, de betonblokken en cellenbeton werden op 20 februari geleverd. Aangezien de drukproeven op de kleistenen gestart zijn op 6 maart is er dus ruimschoots voldaan aan de minimum conditioneringsperiode. Hierbij was een oppervlakte voorbereiding niet noodzakelijk vermits de stenen vlakgeslepen waren waardoor er geen oneffenheden voorkwamen.

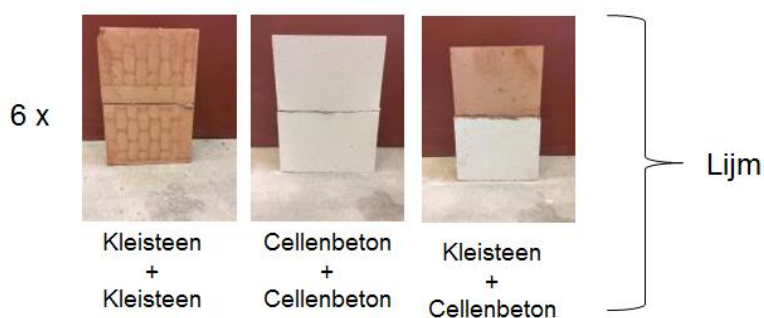
Een andere bewerking die moest worden toegepast op de stenen was het op maat zagen. Dit diende te gebeuren omdat de composiet opstellingen niet uit volledige stenen vervaardigd konden worden. De lengte van de kleisteen bedraagt 500 mm en van het cellenbeton 600 mm. Er werd geopteerd om proefstukken te zagen met een lengte van 300 mm.

In totaal werden 54 proefstukken vervaardigd van te testen combinaties, van iedere combinatie dienden 6 dezelfde getest te worden, om zo statistisch representatief te zijn. De verschillende combinaties met mortel worden weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21: Proefopstellingen met mortel

De proefstukken vervaardigd met lijm worden weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22: Proefopstellingen met lijm

Daarnaast dienden de proefstukken ook voorbereid te worden voor de DIC. Om goede resultaten te verkrijgen van de gehele steen is het namelijk noodzakelijk dat het systeem duidelijke punten waarneemt om te kunnen evalueren. Hiervoor werd op één zijde van de stenen, nl. de zijde die naar het systeem gericht werd, een witte verflaag gezet om zodoende een effen achtergrond te verkrijgen. Vervolgens werden op dit witte oppervlak zwarte verfstippeltjes aangebracht die de meetpunten vormden voor het systeem. Figuur 23 geeft kleistenen weer die volledig voorbereid waren en klaar om te beproeven.



Figuur 23: Voorbereiding stenen voor metingen DIC

4.4 PROEFPROCEDURE

4.4.1 MORTEL EN LIJMMORTEL

De mortel en de lijm mortel werd getest conform NBN EN 1015-11 zoals reeds beschreven in paragraaf 4.1.1.

4.4.2 ENKELE STENEN

Voor het plaatsen van een metselsteen in de drukpers is het belangrijk dat de draagvlakken van de machine, in dit geval de stalen platen, zorgvuldig worden schoongeveegd. Dit om te voorkomen dat stukken steen van de vorige proef voor een oneffenheid zorgen waardoor de resultaten beïnvloed kunnen worden. Vervolgens wordt het proefstuk in de drukpers geplaatst en uitgelijnd zodanig dat het zo goed als mogelijk in het midden onder de pers staat. Na het kalibreren van de DIC en de LVDT's wordt de lading aangebracht met een snelheid volgens NBN EN 772-1 zoals weergegeven in Tabel 19 [20]. Deze ladingsnelheid bedraagt voor de klei- en betonstenen $0.15(\text{N}/\text{mm}^2)/\text{s}$ en voor de cellenbetonstenen $0.05 (\text{N}/\text{mm}^2)/\text{s}$.

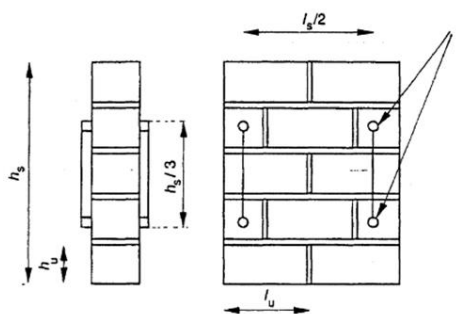
Tabel 19: Snelheid aanbrengen lading [20]

Expected compressive strength (N/mm^2)	Loading rate ($\text{N}/\text{mm}^2/\text{s}$)
< 10	0,05
11 to 20	0,15
21 to 40	0,3
41 to 80	0,6
> 80	1,0

4.4.3 GESTAPELDE STENEN

Het proefstuk moet centrish in de drukpers geplaatst worden en de stalen platen moeten volledig contact maken met het proefstuk. Wanneer het proefstuk correct op zijn plaats staat, kan de belasting gelijkmatig worden opgevoerd zodat er binnen een periode van 15 min tot 30 min een breuk in het proefstuk optreedt.

De norm omschrijft dat de bepaling van de elasticiteitsmodulus wordt gedaan aan de hand van de meetinstrumenten die geplaatst zijn volgens Figuur 24. Echter in dit geval kunnen de metingen van de LVDT's gebruikt worden om de elasticiteitsmodulus te bepalen.



Figuur 24: Meetpunten volgens NBN EN 1052-1 [12]

5 PROEFRESULTATEN EN ANALYSEREN DRUKSTERKTES

5.1 MORTEL

In Tabel 20 worden de resultaten van de drukproeven op de gebruikte mortel en lijm voor de twee gestapelde stenen weergegeven. De gedetailleerde resultaten zijn te vinden in Bijlage G. Als eerste kan er geconcludeerd worden dat de gemiddelde druksterkte van de mortel zeer hoog is. De gebruikte mortel is namelijk van het type M10, dat wil zeggen dat het een minimale druksterkte van 10 N/mm² haalt volgens de producent. De waarde van de proefstukken ligt gemiddeld echter boven het dubbele hiervan. Ook de lijm mortel van het type M15 behaalt druksterktes die boven de aangegeven sterkte van 15 N/mm² liggen. Een tweede conclusie die gemaakt kan worden is dat het verschil tussen de gemiddelde druksterkte van de lijm en mortel niet noemenswaardig groot is. De gemiddelde druksterkte van alle gebruikte mortels bedraagt namelijk 21.5 N/mm² terwijl deze van de lijm 19.8 N/mm² bedraagt.

Tabel 20: Resultaten drukproeven mortel en lijm mortel

Combinatie		Type voeg	Gemiddelde druksterkte f [N/mm ²]
Steen 1	Steen 2		
Betonsteen	Betonsteen	Mortel	19.6
Betonsteen	Cellenbeton	Mortel	19.6
Kleisteel	Cellenbeton	Mortel	24.6
Kleisteel	Kleisteel	Mortel	21.8
Cellenbeton	Cellenbeton	Mortel	21.8
Kleisteel	Kleisteel	Lijm	17.3
Kleisteel	Cellenbeton	Lijm	21.0
Cellenbeton	Cellenbeton	Lijm	21.0

5.2 ENKELE STENEN

Tabel 21 geeft een overzicht van de resultaten van de drukproeven op de verschillende soorten enkele metselstenen. Een meer gedetailleerde tabel met de meetresultaten van de maximale belastingen per proefstuk is te vinden in Bijlage H. Onderstaand wordt de berekening weergegeven voor de resultaten van kleisteel met een gedeclareerde gemiddelde druksterkte van 10 N/mm². De berekening voor de andere types metselsteen gebeuren analoog.

Als eerste dient de standaardafwijking van de meetresultaten als volgt berekend te worden;

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (15)$$

Met:

- σ de standaardafwijking
- n het aantal geteste proefstukken
- x_i de behaalde druksterkte van een proefstuk
- μ de gemiddelde druksterkte van de steekproef

Dit geeft voor kleistenen met een gedeclareerde gemiddelde druksterkte van 10 N/mm²:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{6-1} [(12.8 - 13.5)^2 + (15.1 - 13.5)^2 + (13.6 - 13.5)^2 + (12.4 - 13.5)^2 + (13.0 - 13.5)^2 + (14.4 - 13.5)^2]}$$

$$\sigma = 1.0 \text{ N/mm}^2$$

Vervolgens wordt de variatiecoëfficiënt, die de spreiding ten opzichte van het gemiddelde meet, berekend als de standaardafwijking over de gemiddelde druksterkte.

$$c_v = \frac{\sigma}{|\mu|} = \frac{1.0}{13.5} * 100 = 7.5 \% \quad (16)$$

Daarnaast wordt de genormaliseerde druksterkte f_b berekend volgens de methode uitgelegd in paragraaf 2.3.2. Volgens STS 22 wordt de vormfactor voor kleistenen van groep 2 en 3 niet in rekening gebracht en is de conditioneringsfactor gelijk aan één, dat geeft:

$$f_b = f_{mean} * \delta_c * \delta = 13.5 \frac{N}{mm^2} * 1.0 = 13.5 \frac{N}{mm^2}$$

Tabel 21: Resultaten drukproeven enkele stenen met f_{mean} de gemiddelde waarde en CV de variatiecoëfficiënt

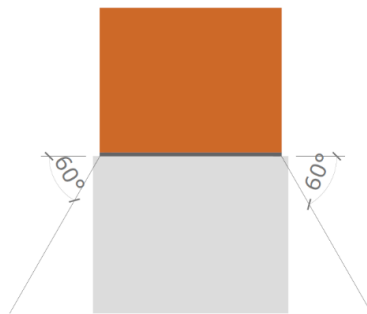
Metselsteen		Druksterkte		Conditioneringsfactor δ_c	Vormfactor δ	Genormaliseerde druksterkte f_b [N/mm ²]
Type	Groep	f_{mean} [N/mm ²]	CV [%]			
Klei 10	2	13.5	7.5	1.0	/	/
Klei 15	2	18.4	7.8	1.0	/	/
Beton	1	14.1	20.1	1.0	1.24	17.5
Cellenbeton	1	3.4	7.2	1.0	1.25	4.2

Voor de kleistenen met een gedeclareerde gemiddelde druksterkte van 10 N/mm² volgens de producent Wienerberger is er dus uit de testen een gemiddelde druksterkte van 13.5 N/mm² behaald. De voorgeschreven druksterkte van de producent is zo ruimschoots gehaald. De producent heeft daarnaast ook testen uitgevoerd op de productielijn van onze kleistenen. Zij behaalden een gemiddelde druksterkte van 14.1 N/mm² en komt dus dicht in de buurt van onze waarde. Verder liggen de maximaal behaalde spanningen voor de zes geteste metselstenen dicht bij elkaar waaruit een kleine variatiecoëfficiënt van 7.5 % volgt. Aangezien we de procedure van de STS-22 volgen wordt de vormfactor voor kleistenen van groep 2 verwaarloosd. Hierdoor is de genormaliseerde druksterkte f_b gelijk aan de gemiddelde druksterkte bekomen uit de proeven. Ook de kleistenen met een gedeclareerde gemiddelde druksterkte van 15 N/mm² behalen deze waarde aangezien de gemiddelde druksterkte uit de testen 18.4 N/mm² bedraagt. De producent bekwam een waarde van 19.0 N/mm² uit hun testen, opnieuw een minimaal verschil met onze waarde. Voor deze kleistenen met hogere sterkte werd eveneens een kleine variatiecoëfficiënt (7.8%) gehaald.

De druktesten op de betonstenen tonen zeer uiteenlopende resultaten. De bezwijkbelasting varieert hier van 369.5 kN tot 669.1 kN, een verschil van bijna 45%. De variatiecoëfficiënt is in dit geval dan ook 20.1 %. Aangezien er niets veranderd werd aan de proefopstelling en procedure is de reden voor deze inconsistente waarden te zoeken bij de producent en zijn productiemethode. De gemiddelde en genormaliseerde druksterkte aangegeven door de producent bedragen respectievelijk 12.4 N/mm² en 15.0 N/mm². Deze waarden zijn dus wel ruimschoots gehaald uit de testen. De cellenbetonstenen behaalden zeer consistente resultaten (variatiecoëfficiënt = 7.2%) en de genormaliseerde druksterkte ligt dicht in de buurt van de druksterkte die door de producent wordt aangegeven, namelijk 4.0 N/mm².

5.3 COMBINATIE VAN 2 METSELSTENEN

Tabel 22 en Tabel 23 geven een overzicht van de resultaten van respectievelijk drukproeven op homogene en hybride combinaties. Meer gedetailleerde resultaten zijn te vinden in Bijlage I. De gemiddelde druksterkte van de hybride combinaties is berekend op basis van de oppervlakte van de bovenste steen. De breedte en lengte van de verschillende types metselstenen waren namelijk niet hetzelfde waardoor er een verschil was in oppervlakte tussen de twee stenen. Dit verschil varieerde van 11 tot 17%. Indien de spreiding van de spanning over een hoek van 60 graden echter volledig binnen de onderste volle steen blijft, moet de spanning voor laatstgenoemde berekend worden op basis van zijn eigen oppervlakte. Dit werd gecontroleerd voor de combinatie cellenbeton – kleisteen waarbij het verschil in oppervlakte 17% bedraagt. Figuur 25 toont de twee stenen en de spreiding van de spanning, waarbij duidelijk te zien is dat deze zich niet in de onderste cellenbetonsteen bevindt. De invloed van het extra volume op de spanning in de steen mag dus verwaarloosd worden.



Figuur 25: Spreiding van de spanning bij 2 gestapelde stenen

Onderstaand wordt de berekening gegeven voor een hybride combinatie van kleisteen met een gedeclareerde gemiddelde druksterkte van 10 N/mm² en een kimlaag uit cellenbeton met een lijmvog. De berekeningen voor de overige combinaties gebeuren op een analoge manier.

Berekening karakteristieke druksterkte uit de meetresultaten

De karakteristieke druksterkte van de combinatie behaald uit de testen wordt berekend volgens EN 1052-1. Deze procedure zegt dat deze bepaald wordt uit de grootste waarde uit a) en b):

- a) De karakteristieke druksterkte is de minimale waarde uit de gemiddelde druksterkte over een factor 1.2 en de minimaal behaalde druksterkte uit de 6 meetresultaten. In dit geval geeft dit:

$$\left. \begin{aligned} f_k &= \frac{f}{1.2} = \frac{3.2 \text{ N/mm}^2}{1.2} = 2.7 \text{ N/mm}^2 \\ f_k &= f_{i,min} = 2.6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} f_k = 2.6 \text{ N/mm}^2$$

- b) Indien er 5 of meer proefstukken zijn, hetgeen in dit geval zo is, dient de 5% fractiefactor berekend te worden op basis van een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Dus de waarde waarvoor de kans dat ze niet gehaald wordt 5% bedraagt. De algemene formule luidt als volgt:

$$f_k = \mu - \alpha \times \sigma \tag{17}$$

Met:

- α de kritieke waarde
- σ de standaardafwijking
- μ de gemiddelde druksterkte van de steekproef

De standaardafwijking van de meetresultaten wordt berekend op een analoge manier als bij de enkele metselstenen:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{6-1} [(3.3 - 3.2)^2 + (3.2 - 3.2)^2 + (3.2 - 3.2)^2 + (3.5 - 3.2)^2 + (2.6 - 3.2)^2 + (3.3 - 3.2)^2]}$$

$$\sigma = 3.2 \text{ N/mm}^2$$

Voor de bepaling van de factor α gebruiken we de methode van Wienerberger. Hierbij wordt de factor α of kritieke waarde bepaald volgens een studentverdeling en aangepast zodat de invloed van het aantal proefstukken in rekening gebracht wordt. Deze waarde kan berekend worden in een spreadsheet van Office Excel op volgende wijze:

$$\alpha = TINV(kans; \text{aantal vrijheidsgraden}) \times \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (19)$$

$$\alpha = TINV(2 \times (1 - 0.95); (6 - 1)) \times \sqrt{1 + \frac{1}{6}}$$

$$\alpha = 2.18$$

Deze factor is dus afhankelijk van het aantal proefstukken en nadert tot een waarde van 1.65 indien het aantal proefstukken zeer groot wordt. Indien er slechts vijf proefstukken zijn bedraagt deze factor 2.34. De karakteristieke druksterkte volgens deze methode bedraagt zodus:

$$f_k = \mu - \alpha \times \sigma$$

$$f_k = 3.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - 2.18 \times 3.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_k = 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

De karakteristieke druksterkte van de combinatie is dus de grootste waarde uit a) en b) en bedraagt bijgevolg 2.6 N/mm²

Berekening karakteristieke druksterkte volgens formule voor metselwerk uit Eurocode 6

De formule uit Eurocode 6 kan in principe enkel toegepast worden op homogene metselwerkmuren. Aangezien er in dit geval een hybride combinatie is berekenen we de karakteristieke druksterkte zowel op basis van de druksterkte van de cellenbeton als op basis van de kleisteen. Deze waarden kunnen uiteindelijk dan vergeleken worden. Voor de gebruikte formule en de parameters wordt verwezen naar hoofdstuk 2.3.

Berekening op basis van de druksterkte van cellenbeton:

$$f_k = 0.8 \times f_b^{0.85} = 0.8 \times 4.2^{0.85} \frac{N}{mm^2} = 2.7 \frac{N}{mm^2}$$

Berekening op basis van de druksterkte van kleisteen:

$$f_k = 0.5 \times f_{mean}^{0.8} = 0.5 \times 13.5^{0.8} \frac{N}{mm^2} = 4.0 \frac{N}{mm^2}$$

Er dient wel vermeld te worden dat in dit geval de gemiddelde druksterkte van de kleisteen gebruikt wordt, aangezien de genormaliseerde druksterkte voor kleisteen van groep 2 en 3 niet gebruikt wordt. Voor betonsteen en cellenbeton dient dus wel de genormaliseerde druksterkte genomen te worden.

Tabel 22: Resultaten drukproeven op homogene combinatie van 2 stenen

Type metselstenen		Voeg		Druksterkte		Karakteristieke waarden	
Steen 1	Steen 2	Type	f_m [N/mm ²]	Gemiddelde waarde [N/mm ²]	Standaard-afwijking	Testen EN 1052-1	EC6
						f_k [N/mm ²]	f_k [N/mm ²]
Klei 10	Klei 10	Lijm	17.3	9.8	1.41	7.4	4.0
Klei 10	Klei 10	Mortel	21.8	5.5	1.75	2.8	5.9
Klei 15	Klei 15	Lijm	17.3	14.2	0.16	11.8	5.1
Cellenbeton	Cellenbeton	Lijm	21.0	2.7	0.18	2.3	2.7
Cellenbeton	Cellenbeton	Mortel	21.8	2.2	0.38	1.8	3.3
Beton	Beton	Mortel	19.6	13.3	1.32	10.9	6.8

Tabel 23: Resultaten drukproeven op composiet combinatie van 2 stenen

Type metselstenen		Voeg		Druksterkte		Karakteristieke waarden		
Steen 1	Steen 2	Type	f_m [N/mm ²]	Gemiddelde waarde [N/mm ²]	Standaard-afwijking	Testen EN 1052-1	EC6 (met f_b cellenbeton)	EC6 (met f_{mean} klei/ f_b beton)
						f_k [N/mm ²]	f_k [N/mm ²]	f_k [N/mm ²]
Klei 10	Cellenbeton	Lijm	21.0	3.2	0.31	2.6	2.7	4.0
Klei 10	Cellenbeton	Mortel	24.6	2.6	0.44	2.0	3.4	6.0
Klei 15	Cellenbeton	Lijm	21.0	3.5	0.28	2.9	2.7	5.1
Beton	Cellenbeton	Mortel	19.6	3.0	0.41	2.4	3.2	6.8

Een eerste algemene conclusie die uit de resultaten getrokken kan worden is, dat de combinaties met een mortelvoeg een lagere gemiddelde druksterkte halen in vergelijking met dezelfde combinaties met een lijmvoeg. Dit terwijl de gemiddelde druksterkte van de mortel telkens minstens 18% hoger ligt dan die van de lijm. De verklaring voor de betere resultaten bij de lijmvoeg is dat de dikte van de lijm slechts enkele millimeters bedraagt en op deze manier dus eigenlijk geen invloed heeft op de druksterkte. De voornaamste functie van de lijm is namelijk een goede hechting creëren tussen de

metselstenen en bijdragen tot de treksterkte van het geheel. De mortelvoeg daarentegen heeft een dikte van tien à vijftien millimeter en heeft dus wel een duidelijke invloed op de druksterkte. Uit de testen bleek namelijk dat de mortel in enkele gevallen het eerste element was dat faalde. Dit wordt uitgebreider besproken in het volgende hoofdstuk.

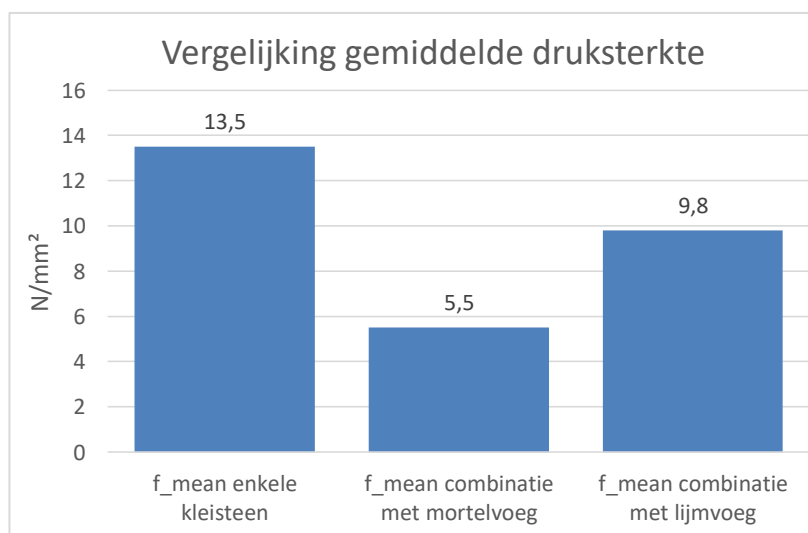
Daarnaast kan er ook opgemerkt worden dat de resultaten consistentere waren in geval van een lijmvoeg als met een mortelvoeg. Voornamelijk bij de combinaties van twee kleistenen met een gedeclareerde druksterkte van 10 N/mm² is er een grote variatie op te merken in de maximaal optredende spanningen. (variatiecoëfficiënt >14%). De reden hiervoor is onbekend aangezien de combinatie van twee kleistenen met hogere druksterkte wel consistente resultaten gaf (variatiecoëfficiënt <2%). Ook de combinatie van twee betonstenen gaf inconsistente resultaten. Dit is niet verassend aangezien ook bij de drukproeven op enkele betonstenen een grote variatie op te merken was. Er moet wel vermeld worden dat hier slechts vier drukproeven uitgevoerd zijn omdat de intensiteit van het falen schadelijke gevolgen zou kunnen hebben gehad voor de meetapparatuur en de persoon die de test uitvoerde.

5.4 VERGELIJKING ENKELE STENEN EN HOMOGENE COMBINATIES

5.4.1 KLEISTEEN C10 VS. COMBINATIE KLEISTEEN C10

In onderstaande figuren worden de resultaten van de proeven op kleisteen met gedeclareerde druksterkte 10 N/mm² weergegeven. Figuur 26 toont de gemiddelde druksterkte van de metselsteen en de twee gestapelde stenen met mortel- of lijmvoeg, Figuur 27 toont de karakteristieke druksterktes. Uit de grafiek kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde druksterkte van twee gestapelde kleistenen duidelijk lager ligt dan de druksterkte van een enkele kleisteen. Voor een combinatie met een lijmvoeg zien we een reductie van 27%, terwijl deze bij een mortelvoeg zelfs bijna 60% bedraagt. Deze reductie is te wijten aan verschillende factoren. Enerzijds is de mortelvoeg, zoals eerder aangehaald, een zwak element in de constructie die in dit geval als eerste faalde door perforatie door de kleistenen.

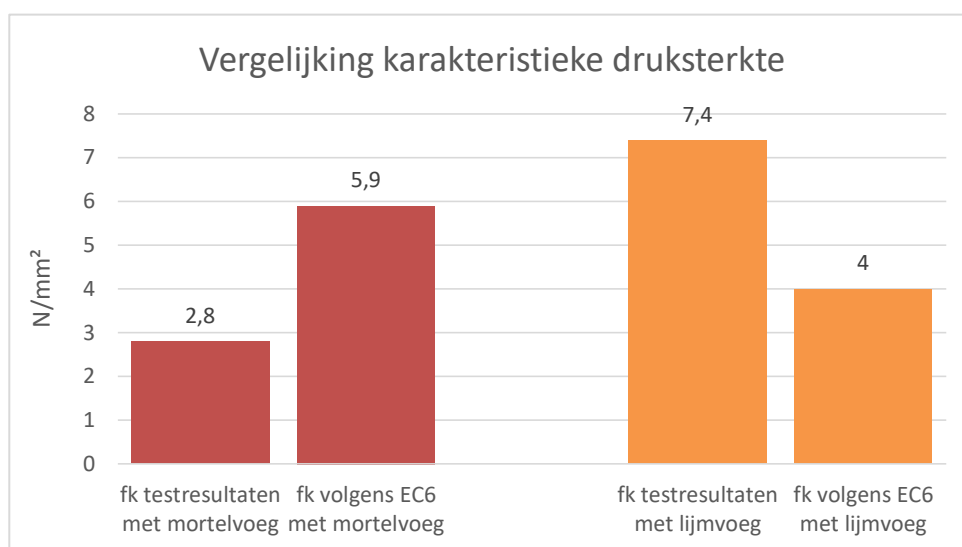
Overigens zijn de gebruikte kleistenen in feite speciaal ontworpen voor het gebruik van een lijmvoeg. Volgens de producent zou het echter ook mogelijk zijn om een mortelvoeg te gebruiken. Daarnaast is de mogelijkheid tot laterale verplaatsing/vervorming groter indien er meerdere metselstenen gestapeld worden, hetgeen gepaard gaat met een reductie van de druksterkte.



Figuur 26: Gemiddelde druksterkte kleisteen en combinaties kleisteen

Indien we de karakteristieke druksterkte uit de resultaten van de testen volgens EN 1052 vergelijken met de karakteristieke druksterkte bekomen met de formule uit Eurocode 6 zien we een beduidend verschil. In geval van een mortelvoeg is de druksterkte uit de testen slechts half zo groot als de sterkte die volgt uit de formule. Dit wil zeggen dat de formule dus een onveilige benadering geeft voor twee gestapelde stenen. Er moet wel opgemerkt worden dat de voorwaarde om als muur gedefinieerd te worden luidt dat de lengte van de muur minstens anderhalve steen moet bedragen. Aangezien hier slechts twee stenen opeen gestapeld zijn is het per definitie geen muur.

In het geval van een lijmvoeg is de karakteristieke druksterkte uit de testen wel hoger en geeft de formule dus een veilige benadering voor de sterkte. De reden voor dit verschil kan verklaard worden aan de hand van de toepassing van de formule uit Eurocode 6. Deze formule geldt namelijk voor metselwerkmuren, waarin dus zowel horizontale als verticale voegen zijn. In de praktijk wordt bij een lijmvoeg enkel de horizontale voeg gevuld en blijft de verticale voeg open. Indien er een axiale drukkracht wordt uitgeoefend op de muur resulteert dit bijgevolg in zijdelingse krachten loodrecht op de verticale voeg. Hierdoor ontstaat er ter hoogte van deze voeg een spanningsconcentratie in de onderliggende steen die aanleiding kan geven tot scheurvorming. Aangezien de testen zijn uitgevoerd op slechts twee gestapelde stenen zijn er geen verticale voegen en treedt dit fenomeen dus ook niet op. Dit verklaart waarom de karakteristieke druksterkte uit de testen een grotere waarde behaalt in vergelijking met de formule.



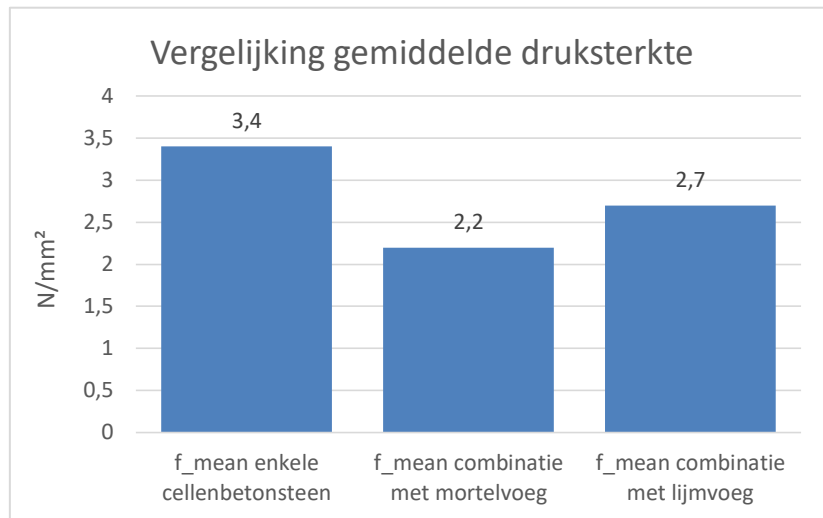
Figuur 27: Karakteristieke druksterkte combinatie kleisteen

5.4.2 CELLENBETONSTEEN VS. COMBINATIE CELLENBETONSTEEN

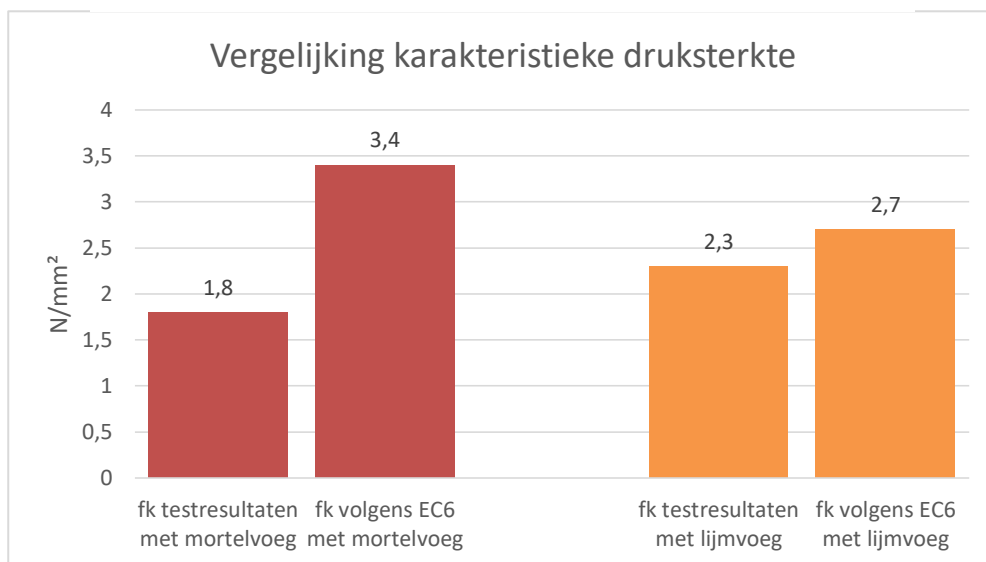
Figuur 28 en Figuur 29 geven de vergelijking weer tussen de druksterkte van een enkele cellenbetonsteen en die van 2 gestapelde cellenbetonstenen voorzien van een mortel- of lijmvoeg. Ten eerste kan afgeleid worden dat de gemiddelde druksterkte van de gestapelde stenen lager ligt dan deze van de enkele steen. De reductie van de sterkte bij een lijmvoeg bedraagt slechts 21 %. Dit is te verklaren doordat de lijmvoeg slechts enkele millimeters dik is en dus een geringe invloed heeft op de druksterkte. Dit in tegenstelling tot de mortelvoeg, die zorgt voor een reductie van 35%. De reden hiervoor is reeds uitgelegd in de combinatie van kleistenen.

Een tweede opmerkelijk verschil is waar te nemen tussen de karakteristieke druksterkte die EC6 voorspelt en de druksterkte die berekend is aan de hand van de proeven en de EN 1052. In het geval van de voeg met lijmmortel is er slechts een gering verschil van 15% en kan besloten worden dat de

benadering van de Eurocode vrijwel in de buurt komt van de testresultaten. Echter, de Eurocode maakt vooral een onveilige benadering in geval van de cellenbetonstenen die gehecht zijn met mortel. De karakteristieke druksterkte is volgens de eurocode bijna het dubbele van de druksterkte die in de praktijk is vastgesteld. Dit kan verklaard worden door het feit dat cellenbetonsteen een groot absorptievermogen bezit en hierdoor de uitharding van de mortel niet optimaal kan verlopen. In de praktijk wordt dan ook een toeslagstof aan de mortel toegevoegd om cellenbeton met mortel te kunnen verwerken [21].



Figuur 28: Gemiddelde druksterkte cellenbeton en combinaties cellenbeton

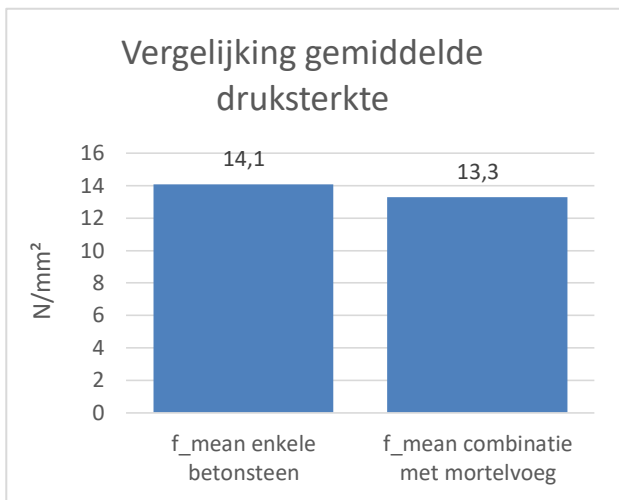


Figuur 29: Karakteristieke druksterkte combinatie cellenbeton

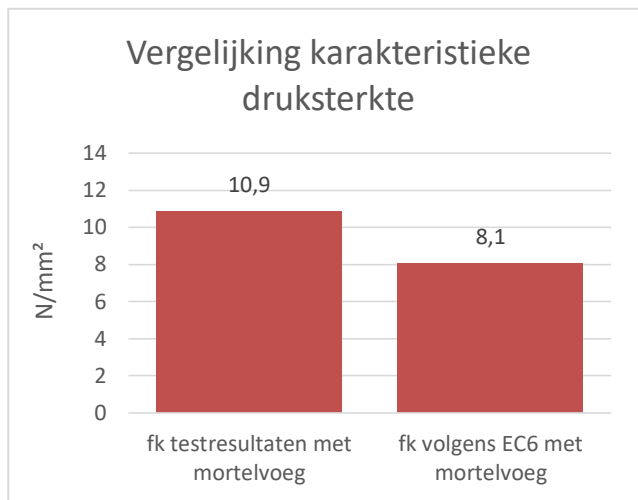
5.4.3 BETONSTEEN VS. COMBINATIE BETONSTEEN

Figuur 30 en Figuur 31 geven de vergelijking weer tussen de druksterkte van één betonsteen en 2 gestapelde betonstenen met een mortelvoeg. In vergelijking met voorgaande testresultaten is het opvallend dat de druksterkte van één betonsteen slechts 6% verschilt van de druksterkte van 2 gestapelde stenen met mortelvoeg. Zoals eerder al vermeld werd, zijn er echter slechts 4 proefstukken getest van gestapelde stenen en kan dit verschil zelfs kleiner zijn. De verklaring voor dit minieme verschil is dat de betonsteen een zeer stijf materiaal is dat een zeer kleine vervorming ondergaat bij het belasten. Het kleine verschil is dus te wijten aan de mortel die eerder faalt dan de betonsteen. Wanneer vervolgens de karakteristieke waarden worden vergeleken, blijkt dat de Eurocode een zeer veilige

benadering is. De karakteristieke druksterkte die wordt verkregen uit de proefresultaten bedraagt 10,9 N/mm² en dus 25% hoger ligt dan de waarde die men bekommt met de Eurocode.



Figuur 30: Gemiddelde druksterkte betonsteen en combinatie betonsteen

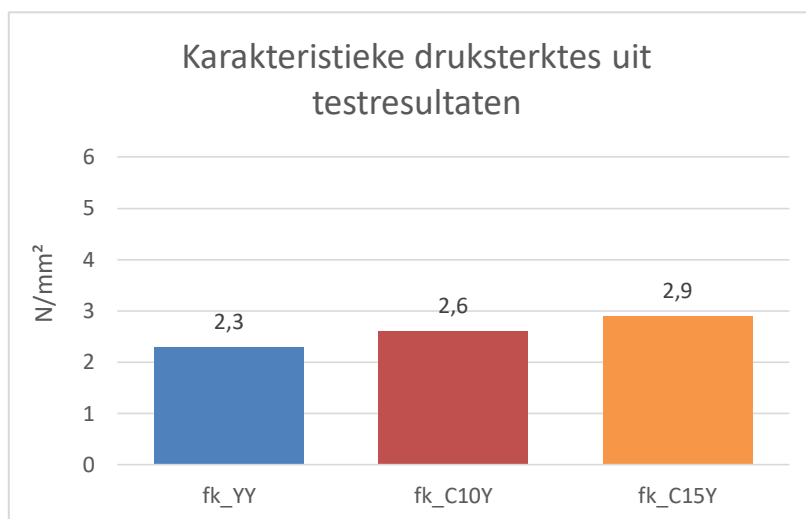


Figuur 31: Karakteristieke druksterkte combinatie betonsteen

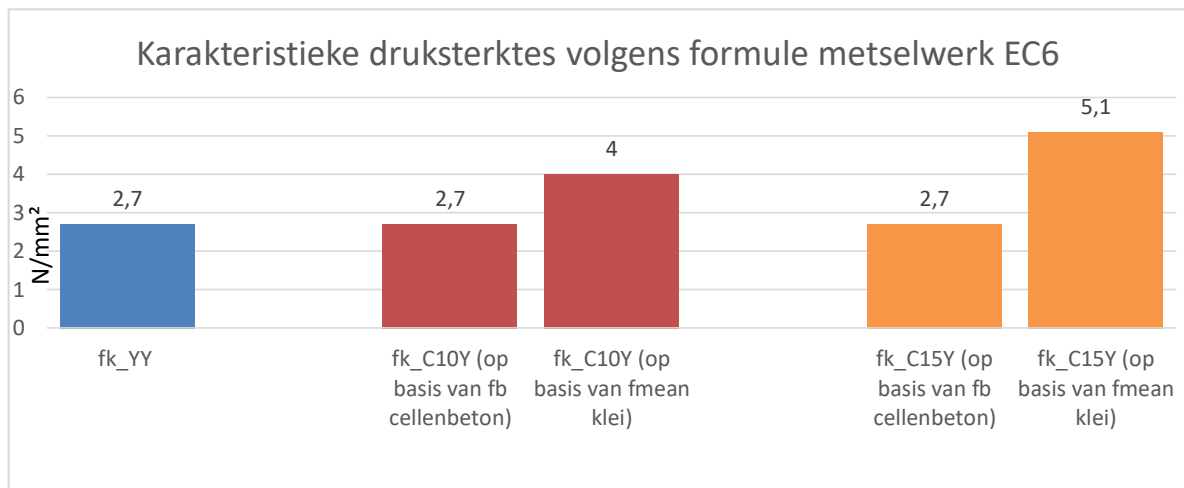
5.5 VERGELIJKING KARAKTERISTIEKE STERKTES UIT TESTRESULTATEN MET FORMULE VOOR METSELWERK UIT EUROCODE 6

5.5.1 COMBINATIE CELLENBETON, KLEI C10 EN KLEI C15 MET LIJMVOEG

Figuur 32 en Figuur 33 geven respectievelijk de karakteristieke druksterktes weer uit de testen en uit de formule van Eurocode 6 voor combinaties met een lijmvoeg van cellenbeton – cellenbeton (YY), cellenbeton - kleisteen C10 (C10Y) en cellenbeton – kleisteen C15 (C15Y). Een eerste conclusie die uit de grafieken getrokken kan worden is dat de druksterktes uit de testen en de formule zeer dicht bij elkaar liggen indien de formule gebaseerd wordt op de druksterkte van de kimlaag. In het geval van kleisteen C10 ligt de druksterkte uit de testen zelfs 0.1 N/mm² lager dan deze uit de formule. De formule geeft dus ook een onveilige benadering voor de sterkte. In geval van kleisteen C15 geldt juist het tegengestelde. Verder kan er uit de grafieken afgeleid worden dat de formule uit Eurocode 6 een zeer onveilige benadering geeft voor de karakteristieke druksterkte indien er wordt uitgegaan van de druksterkte van de kleisteen.



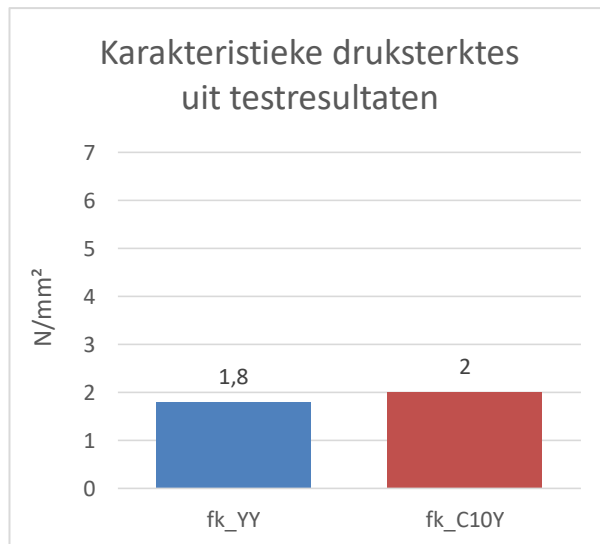
Figuur 32: Karakteristieke druksterktes uit testresultaten cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton gelijmd



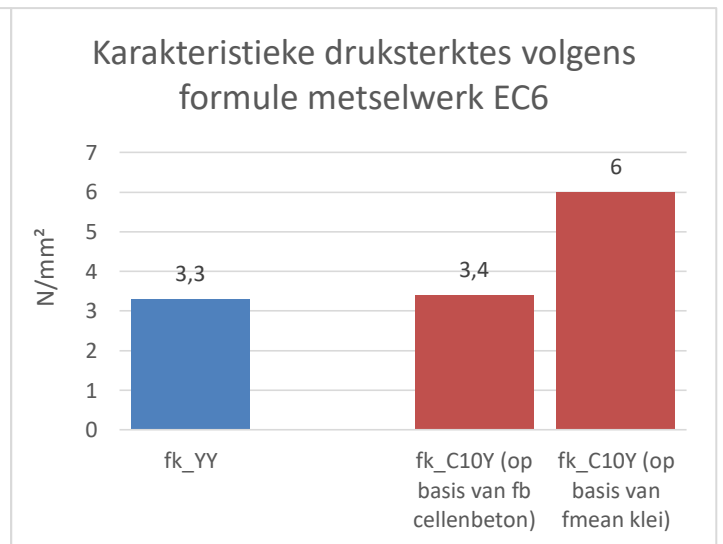
Figuur 33: Karakteristieke druksterkte metselwerk volgens EC6 cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton gelijmd

5.5.2 COMBINATIE CELLENBETON EN KLEI C10 MET MORTELVOEG

In Figuur 35 en Figuur 34 worden de karakteristieke druksterktes uit de testen en de formules voor combinaties met mortelvoeg cellenbeton – cellenbeton (YY) en cellenbeton – kleisteen C10 (C10Y) weergegeven. Net zoals bij een lijmvoeg zien we opnieuw een onveilige benadering van de formules uit Eurocode 6. In het geval van de hybride oplossing zelfs zowel voor de sterkte van cellenbeton als voor de sterkte van kleisteen.



Figuur 35: Karakteristieke druksterktes uit testresultaten cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton mortel

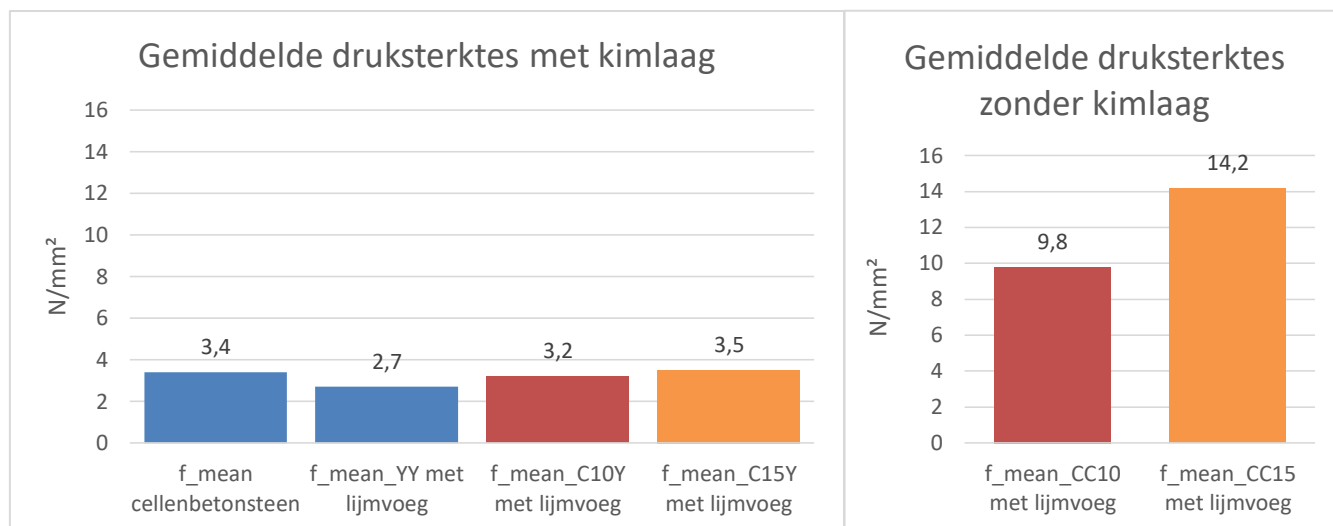


Figuur 34: Karakteristieke druksterkte metselwerk volgens EC6 cellenbeton vs. heterogene combinatie klei en cellenbeton mortel

5.6 VERGELIJKING GEMIDDELDE DRUKSTERKTES CELLENBETON EN HYBRIDE COMBINATIES

In Figuur 37 en Figuur 36 worden de gemiddelde druksterktes weergegeven van de combinaties met lijmvoeg met respectievelijk een kimlaag en zonder een kimlaag. Er kan geconstateerd worden dat cellenbetonsteen steeds de maatgevende factor is voor de druksterkte van de combinatie. De druksterkte van twee gestapelde cellenbetonstenen is daarnaast lager dan de druksterkte van een enkele cellenbetonsteen. Dit is te verklaren doordat de mogelijkheid tot laterale verplaatsing toeneemt. Verder liggen de druksterktes van de hybride oplossingen in dezelfde zone als een enkele cellenbetonsteen en is er slechts een kleine verandering in druksterkte indien de bovenste steen een grotere druksterkte heeft (C10Y en C15Y). De reden hiervoor ligt in het feit dat de kleistenen een grotere stijfheid bezitten dan de cellenbeton. Hierdoor gedraagt de kleisteen zich quasi hetzelfde als een stalen plaat waardoor het gedrag van de cellenbetonsteen gelijkaardig is als bij een druktest op een enkele steen.

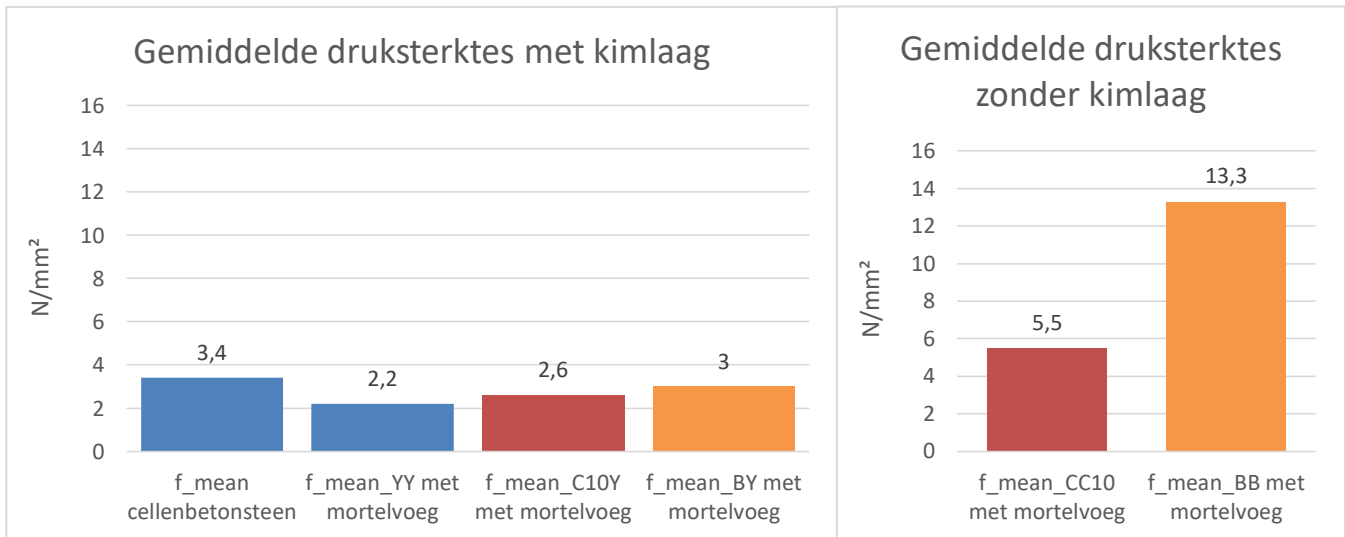
Indien de hybride combinaties vergeleken worden met de homogene combinaties valt er op te merken dat er een grote reductie in sterkte is in geval van een hybride combinatie. De reductie bedraagt 67% in geval van kleisteen C10 en 75% in geval van kleisteen C15. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de invloed van een kimlaag uit cellenbeton op de druksterkte van metselwerk zeker niet verwaarloosd mag worden. Om een meer sluitende conclusie te trekken is het echter noodzakelijk om ook proeven uit te voeren op volledige metselwerkmuren.



Figuur 37: Gemiddelde druksterkte met kimlaag combinatie met kleisteen gelijmd

Figuur 36: Gemiddelde druksterkte zonder kimlaag met lijmvoeg

In Figuur 39 en Figuur 38 worden de gemiddelde druksterktes weergegeven van de combinaties met mortelvoeg met respectievelijk een kimlaag en zonder een kimlaag. Er kunnen dezelfde conclusies getrokken worden als bij een lijmvoeg. Echter is het verschil in druksterkte tussen hybride combinaties en een enkele cellenbetonsteen groter in vergelijking tot een lijmvoeg. Dit is te wijten aan de mortelvoeg die ook een negatieve invloed heeft op de sterkte. Daarnaast kan er opnieuw opgemerkt worden dat er een grote reductie in sterkte is in vergelijking met de homogene combinaties.



Figuur 39: Gemiddelde druksterkte met kimlaag combinatie met kleisteen mortelvoeg

Figuur 38: Gemiddelde druksterkte zonder kimlaag met mortelvoeg

5.7 CONCLUSIE INVLOED VAN CELLENBETON OP DE DRUKSTERKTE

Uit de resultaten van drukproeven op enkele metselstenen en combinaties van dezelfde stenen kan geconcludeerd worden dat de druksterkte sterk afneemt in geval van een combinatie uit kleisteen of cellenbeton. Deze reductie is te wijten aan de mortel – of lijmvoeg en de toegenomen mogelijkheid tot laterale vervorming. Verder geeft de formule uit Eurocode 6 een onveilige benadering voor de druksterkte in geval van homogene combinaties van kleisteen en cellenbeton met een mortelvoeg. Hierbij moet nogmaals benadrukt worden dat de formule in principe bestemd is voor metselwerkmuren. In geval van een combinatie van betonsteen geeft de formule echter wel een veilige benadering en neemt de druksterkte ervan weinig af in vergelijking tot een enkele betonsteen. Dit kan verklaard worden door de hoge stijfheid van de betonsteen.

De testen op hybride combinaties met cellenbeton tonen aan dat er weinig invloed is op de druksterkte indien de bovenste steen een grotere druksterkte bezit (bv C10 en C15). Daarnaast is er wel een grote reductie te merken in sterkte indien er een kimlaag uit cellenbeton gebruikt wordt. Voor kleisteen werd namelijk een reductie van 75% waargenomen en voor betonsteen zelfs 78%. Daarnaast geeft de formule uit Eurocode 6 een onveilige benadering voor de druksterkte, zowel indien er gebaseerd wordt op de druksterkte van cellenbeton als op de sterkte van kleisteen of betonsteen. Een enige uitzondering hierop is de hybride combinatie met kleisteen C15 waarbij de sterkte uit de testen 0,2 N/mm² hoger ligt dan deze bepaald aan de hand van de formule met de sterkte van cellenbeton.

6. VERPLAATSING EN SCHEURVORMING

6.1 ALGEMENE RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van de proefstukken met betrekking tot vervorming en scheurvorming besproken. Aan de hand van de gegevens uit de LVDT's en het DIC –systeem kan de elasticiteitsmodulus van de verschillende metselstenen bepaald worden. Hoewel de resultaten niet zeer nauwkeurig zijn kan er toch een algemene vergelijking gemaakt worden tussen de verschillende types metselstenen en combinaties. De elasticiteitsmodulus E van een materiaal geeft de verhouding weer tussen de optredende spanning, veroorzaakt door de externe belasting, en de elastische vervorming die ontstaat ten gevolge van deze spanning. Het is dus een maat voor de stijfheid van een materiaal. Deze relatie tussen de spanning en elastische vervorming is bekend als de *Wet van Hooke*:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (19)$$

Met:

- E de elasticiteitsmodulus [N/mm²]
- σ de spanning [N/mm²]
- ε de elastische vervorming

Aangezien de elasticiteitsmodulus echter een kenmerk is van één materiaal spreken we voor de hybride combinaties met cellenbeton niet over de E -modulus maar over een globale vervorming van het geheel. Uit de DIC metingen kan bijkomend wel de bijdrage van de cellenbeton en klei – of betonsteen aan de globale vervorming bepaald worden. In Tabel 24, Tabel 25 en Tabel 26 worden de resultaten voor de enkele en dubbele stenen weergegeven.

Tabel 24: Resultaten LVDT's enkele stenen

Type steen	Gemiddelde verplaatsing [mm]	Gemiddelde rek	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]
Kleisteel C10	0.66	0.0036	3815.6
Kleisteel C15	0.63	0.0034	5412.8
Cellenbeton	0.81	0.0041	841.0
Betonsteen	0.42	0.0022	6427.9

Tabel 25: Resultaten LVDT's homogene combinaties

Homogene combinatie	Type voeg	Gemiddelde verplaatsing [mm]	Gemiddelde rek	Globale vervorming [N/mm ²]
Klei 10	Lijm	0.94	0.0025	3892.8
Klei 10	Mortel	0.74	0.0015	2347.6
Klei 15	Lijm	0.83	0.0022	6316.6
Cellen-beton	Lijm	1.03	0.0026	1053.9
Cellen-beton	Mortel	1.06	0.0026	866.4
Betonsteen	Mortel	0.57	0.0015	8787.2

Tabel 26: Resultaten LVDT's hybride combinaties

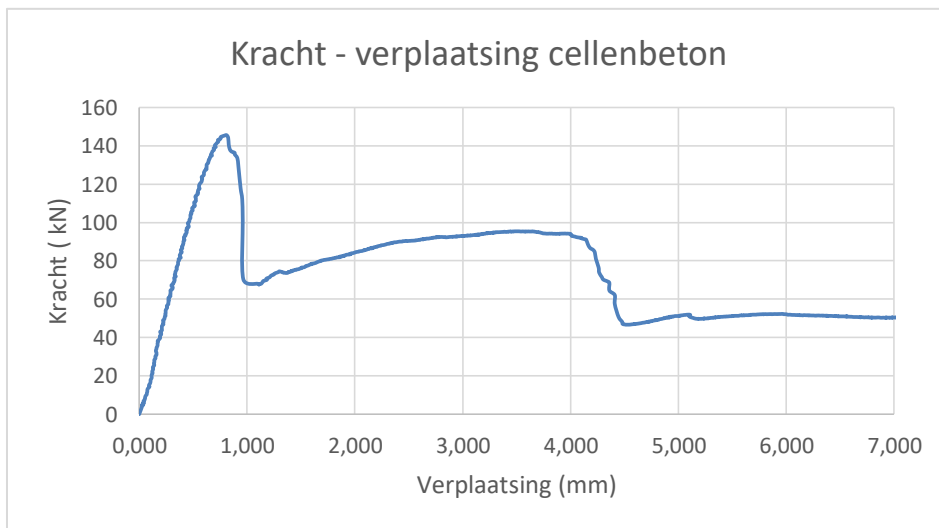
Hybride combinatie	Type voeg	Gemiddelde verplaatsing [mm]	Gemiddelde rek	Globale vervorming [N/mm ²]
Klei 10	Lijm	0.63	0.0016	1975.2
Klei 10	Mortel	0.61	0.0015	1745.2
Klei 15	Lijm	0.65	0.0017	2098.6
Betonsteen	Mortel	0.63	0.0016	1923.6

We schrijven de berekening van de elasticiteitsmodulus voor één proefstuk van cellenbeton uit. De berekeningen voor de overige proefstukken van de verschillende materialen verloopt analoog. Figuur 40 geeft de verticale verplaatsing weer in functie van de aangebracht belasting. Hierin is duidelijk te zien dat het elastisch gebied loopt tot een verplaatsing van ongeveer 0.81mm. Hierna begint het materiaal plastisch te vervormen. Vervolgens wordt de elastische vervorming of rek bepaald als de verhouding van de verticale verplaatsing tot de initiële hoogte van de steen. Dit geeft in dit geval:

$$\varepsilon = \frac{0.81}{200} = 0.0041$$

Tot slot wordt met de wet van Hooke de elasticiteitsmodulus berekend:

$$E = \frac{3.2N/mm^2}{0.0041} = 798.7 N/mm^2$$

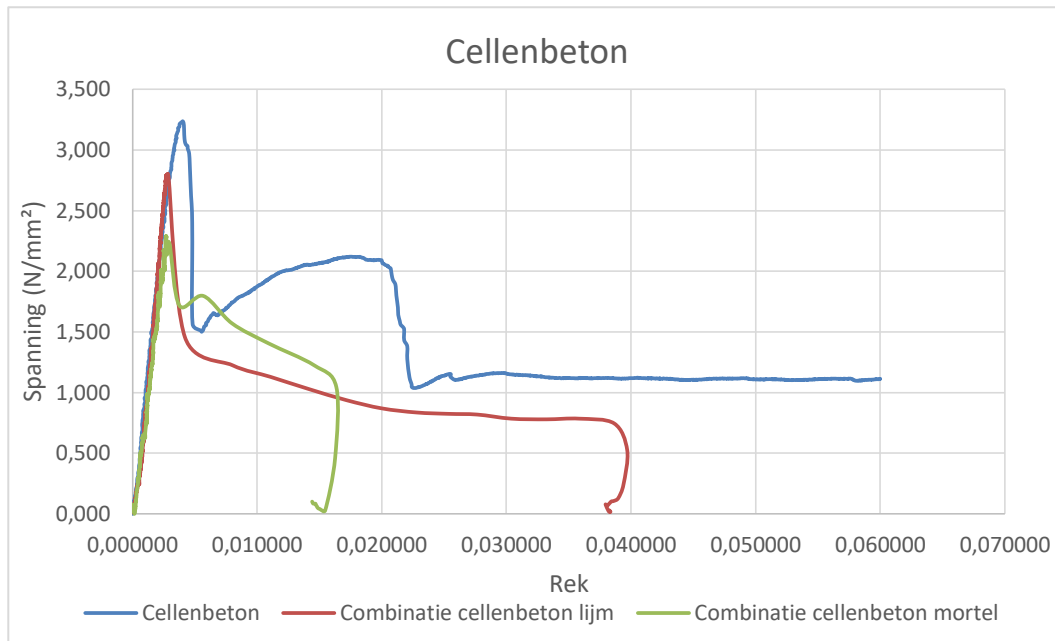


Figuur 40: Verticale verplaatsing in functie van de aangebracht belasting

6.2 CELLENBETON

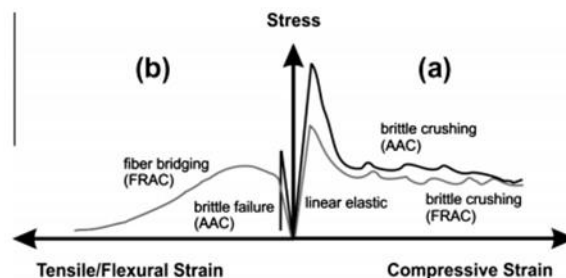
6.2.1 VERPLAATSINGEN

In Figuur 41 worden de spanning – rek diagrammen weergegeven voor cellenbeton en de homogene combinaties. Zoals te zien ondergaat cellenbeton eerst een lineair gedrag wanneer het onderworpen wordt aan een drukproef. Na het lineaire gedrag begint het samendrukken van de poriën, hetgeen weergegeven wordt in de grafiek door een oneffen plateau regio. Het verminderd draagvermogen na de piek kan verklaard worden doordat er reeds poriën zijn samengedrukt en er door de druk een



Figuur 41: Spanning-rek diagram cellenbeton

ineenstorting ontstaat van de celwanden . Eenmaal de ultieme druksterkte is bereikt, zal cellenbeton bros falen. De resultaten van de drukproeven op cellenbeton komen goed overeen met reeds verkregen resultaten weergegeven in Figuur 42.



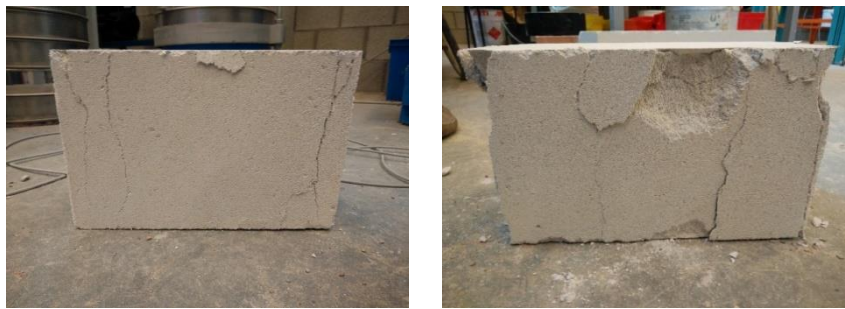
Figuur 42: Schematische weergaven van een spannings-rek diagram voor cellenbeton

Uit Figuur 41 kan geconcludeerd worden dat de rek op het moment van maximale belasting relatief weinig verschilt voor een enkele cellenbetonsteen en combinatie. Na de maximale belasting is de rek bij een enkele steen echter groter dan bij een combinatie. Een combinatie met mortelvoeg ondergaat op zijn beurt een nog kleinere rek in vergelijking met een lijmvoeg. Verder valt het ook op dat er bij de combinaties geen tweede belastingpiek volgt zoals bij een enkele steen en dat de spanningsafname meer geleidelijk gebeurt. Dit kan te wijten zijn aan de lijm- of mortelvoeg en de grotere mogelijkheid tot laterale vervorming. Als we de elasticiteitsmoduli uit Tabel 24 vergelijken, merken we dat er bijna

geen verschil is tussen een enkele cellenbetonsteen en een combinatie met mortel. Een combinatie met een lijmvoeg zorgt echter wel voor een geringe toename van 20%.

6.2.2 SCHEURVORMING

In Figuur 44 en Figuur 43 en worden de scheurpatronen weergegeven van respectievelijk een enkele cellenbetonsteen, een combinatie met lijm en een combinatie met mortel. Er is te zien dat in geval van een enkele steen de scheuren voornamelijk verticaal optreden langs de zijkanten die hierbij afbrokkelen. In geval van een combinatie verlopen de scheuren symmetrisch en schuiner langs de zijkanten van de stenen. Hierbij is weinig invloed te merken van de voegen. Dit is enerzijds te verklaren doordat de mortel en lijm een hogere druksterkte hebben dan de cellenbeton, waardoor de scheuren worden ingeleid in de steen. Anderzijds zijn de stenen volledig vol waardoor de voeg uniform belast wordt en geen afschuifspanningen ondervindt.



Figuur 44: Scheurpatroon na drukproef enkele cellenbetonsteen

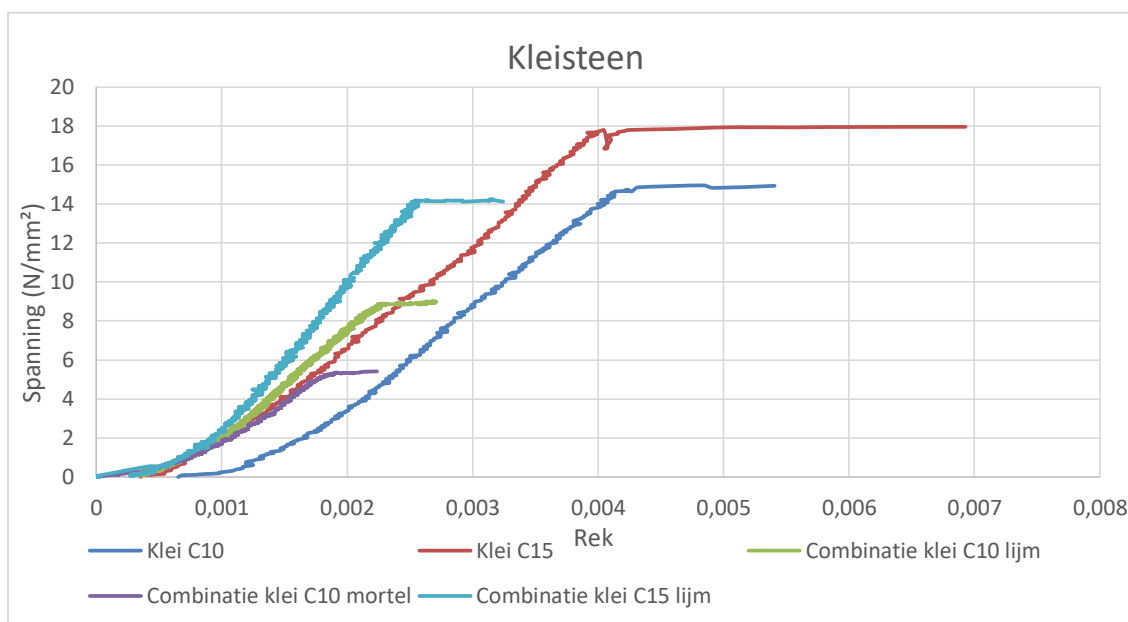


Figuur 43: Scheurpatroon na drukproef dubbel cellenbetonstenen (links: lijmmortel en rechts: mortel)

6.3 KLEISTEEN

6.3.1 VERPLAATSINGEN

Figuur 45 toont de verhouding van de optredende spanningen ten opzichte van de optredende rekken voor kleisteen en hun homogene combinaties. We zien voor alle gevallen een lineair verloop van de grafiek tot aan de bezwijkbelasting. Tot op dit punt is de vervorming elastisch waarna de steen breekt onder de aangebrachte belasting. Er is dus geen plastisch gebied, zoals het geval is bij ductiele materialen, dat betekent dat de uiterste sterkte gelijk is aan de breeksterkte. De typische vorm van de curve laat dan ook zien dat de kleisteen een bros materiaal is.

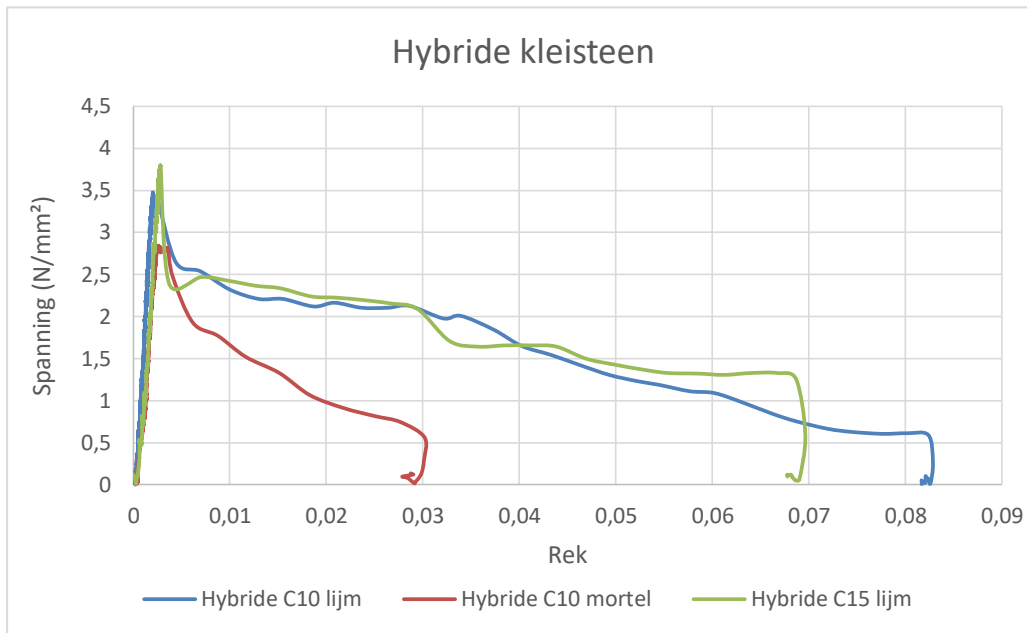


Figuur 45: Spannings-rek diagram enkele kleisteen en homogene combinaties

Een eerste conclusie die uit de grafiek getrokken kan worden is dat enkele kleistenen een grotere rek kunnen opnemen in vergelijking tot een combinatie van twee stenen. Daarnaast is de optredende rek in geval van een lijmvoeg ook groter dan bij een mortelvoeg. In de grafiek is ook duidelijk te zien dat de maximale spanning die opgenomen kan worden voor bezwijken groter is in geval van een enkele steen.

Indien we verder de elasticiteitsmoduli uit Tabel 24 van de verschillende gevallen bekijken zien we dat de elasticiteitsmodulus toeneemt met de druksterkte van de kleisteen. Tussen kleisteen C10 en C15 is namelijk een verschil van $\pm 30\%$. Opvallend is ook dat de elasticiteitsmodulus gering toeneemt indien er twee stenen gestapeld worden met een lijmvoeg. Voor C15 geeft dit zelfs een verhoging van 14%. In geval van een mortelvoeg neemt de modulus echter af.

In Figuur 46 worden de spanning – rek diagrammen van de hybride combinaties met cellenbeton weergegeven. Als we de optredende rekken op het punt van maximale belasting vergelijken met homogene combinaties van kleisteen zien we dat de rek in geval van een lijmvoeg afneemt. In geval van een mortelvoeg blijft de rek daarentegen constant. Na de maximale belasting neemt de vervorming echter zeer snel toe bij de hybride combinaties. Deze vervorming treedt voornamelijk op in de cellenbetonsteen. Verder kan er opgemerkt worden dat het gebruik van een kleisteen met grotere druksterkte weinig tot geen invloed heeft op de vervorming. Tot slot kunnen we ook besluiten dat de 'globale stijfheid' sterk afneemt in geval van een hybride combinatie. Deze reductie bedraagt 49% in geval van kleisteen C10 met lijmvoeg en 26% in geval van een mortelvoeg.



Figuur 46: Spanning – rek diagrammen van de hybride combinaties met cellenbeton

6.3.2 SCHEURVORMING

Figuur 47 en Figuur 48 geven de scheurpatronen weer van de kleistenen en homogene combinaties van kleistenen die belast werden tot aan de bezwijkbelasting. Er is duidelijk te zien dat na het ontstaan van verticale scheuren, de stenen versplinteren bij het falen. Dit is karakteristiek aan de brosse eigenschap van de stenen. In geval van twee gestapelde kleistenen met mortelvoeg was het eerste element dat faalde de mortel, waarbij het geperforeerd werd door de kleistenen. Dit geeft misschien nog eens aan dat de stenen in feite niet ontworpen zijn voor gebruik met een mortelvoeg. Daarnaast was er echter geen invloed van een lijmvoeg op het scheurpatroon. In dit geval versplinterden de zijkanten snel na het ontstaan van de eerste scheuren.



Figuur 47: Scheurpatroon enkele kleisteen



Figuur 48: Scheurpatroon gestapelde kleisteen (links: lijm en rechts: mortel)

In Figuur 49 zijn de scheurvormingen te zien voor hybride combinaties met kleisteen. Hierbij deden zich twee scheurpatronen voor. In enkele gevallen werd de mortel- of lijmvoeg namelijk geperforeerd door de kleisteen waarna deze in de cellenbetonsteen geperst werd zoals te zien in Figuur 49 links. In andere gevallen bleef de voeg intact en ontstonden er eerst verticale scheuren in de cellenbetonsteen, zie Figuur 49 rechts. Deze scheuren gaven vervolgens aanleiding tot scheuren in de kleisteen. Het schadepatroon van een kleisteen in een hybride combinatie is dus zeer verschillend met dat in een homogene combinatie. In het eerste geval treedt er namelijk enkel een verticale scheur op waarbij de versplintering beperkt blijft terwijl in het tweede geval de kleisteen volledig versplintert.

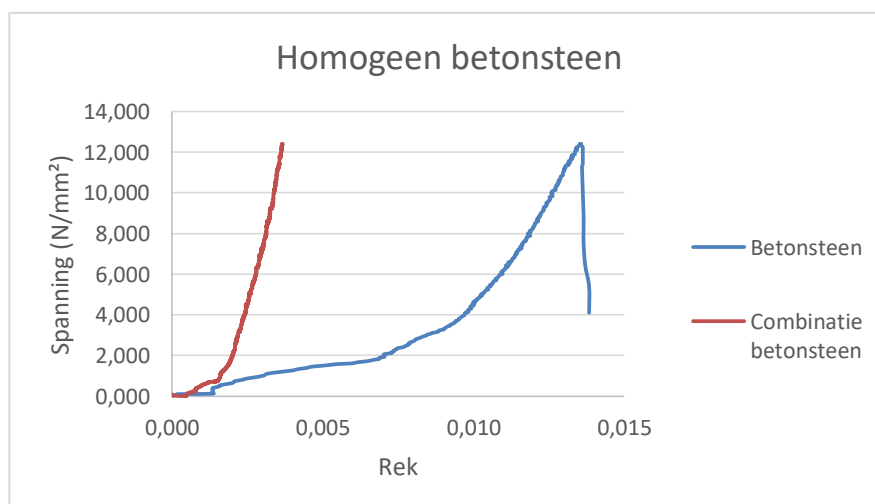


Figuur 49: Scheurpatroon composiet combinatie cellenbeton en klei (Links: lijm en rechts: mortel)

6.4 BETONSTEEN

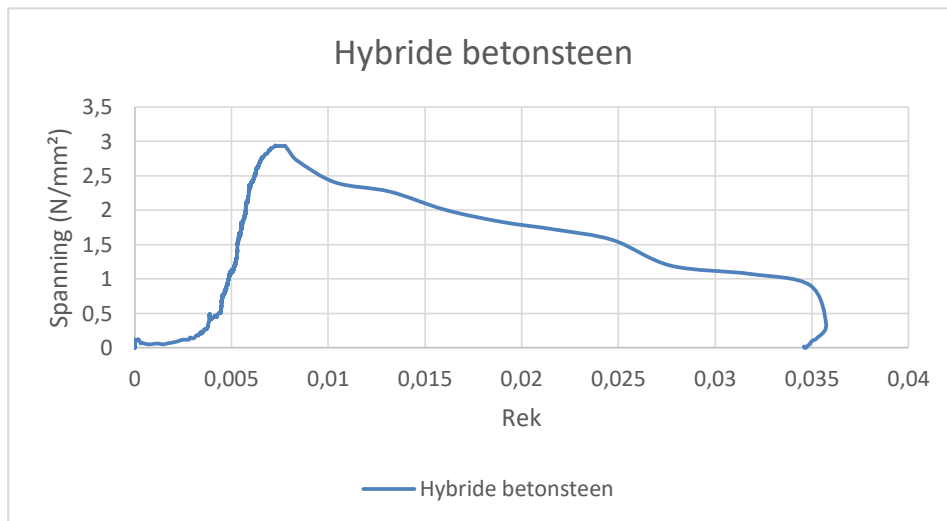
6.4.1 VERPLAATSINGEN

Figuur 50 geeft het spannings-rek diagram van een betonsteen weer. Dit vertoont duidelijke verschillen met dat van de kleiblokken, het is immers een volledig ander materiaal. In het begin neemt de verplaatsing sterk toe terwijl de spanning quasi constant blijft. Dit is te verklaren doordat in de beginfase van de drukproef de betonsteen een vrijwel oneffen oppervlak bezit door de uitstekende granulaten. Dit oppervlak wordt dus eerst platgedrukt totdat de stalen platen volledig in contact staan met de boven-en onderkant van de betonsteen. De grote verplaatsing in het begin van de curve is dus te wijten aan dit verschijnsel. Hierna verloopt de curve enigszins lineair tot de bezwijkbelasting bereikt is. Door deze beginfase is het echter moeilijk om de effectieve verplaatsing van de betonsteen te vergelijken.



Figuur 50: Spannings-rek diagram betonsteen

Figuur 51 toont het spanning – rek diagram voor een hybride combinatie met betonsteen. De vervorming die in dit geval optreedt is veel groter in vergelijking met een homogene combinatie van betonsteen.



Figuur 51: Spannings-rek diagram hybride combinatie betonsteen

6.4.2 SCHEURVORMING

Figuur 52, Figuur 54 en Figuur 53 geven de scheurpatronen en faalmechanismen weer van enkele betonstenen en gestapelde stenen. Bij de enkele steen treden er verticale scheuren op aan de zijkanten, waarna het materiaal bros bezweek. Bij een homogene combinatie trad er een schuine scheur op over de gehele hoogte met een afschuiving van de betonsteen tot gevolg. Dit was echter een uitzondering aangezien de overige proefstukken plots uiteensprongen in verschillende stukken zonder dat er vooraf een scheurpatroon op te merken was. Bij de hybride combinatie bleef de betonsteen echter intact en werd enkel de cellenbeton verbrijzeld na het ontstaan van symmetrisch verticale scheuren.



Figuur 52: Scheurpatroon enkele betonsteen



Figuur 54: Scheurpatroon hybride combinatie cellenbeton met betonsteen met mortelvoeg

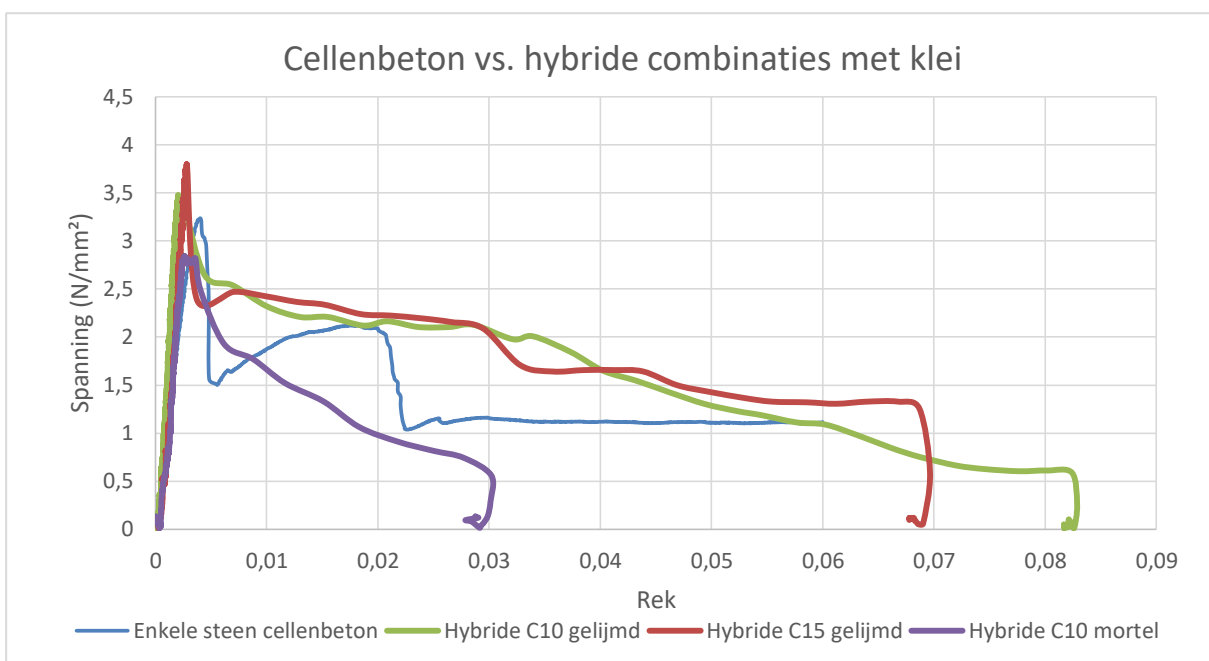


Figuur 53: Scheurpatroon homogene combinatie betonsteen met mortelvoeg

6.5 CELLENBETON VS. HYBRIDE COMBINATIES

6.5.1 CELLENBETON VS. HYBRIDE KLEI COMBINATIES

Uit de vergelijking tussen het spannings-rek diagram van een enkele cellenbetonsteen en dat van de gelijkde hybride combinaties, weergegeven in Figuur 55 kan ten eerste worden vastgesteld dat de rek bij maximale spanning van de hybride combinaties lager ligt dan bij de enkele steen. Dit is te verklaren door het feit dat de hybride combinaties een grotere globale stijfheid hebben. Verder heeft een verhoging in druksterkte van de kleisteen slechts een geringe invloed op de opneembare spanning. Zo zal het gebruik van een kleisteen met druksterkte 15N/mm^2 de opneembare spanning doen stijgen met slechts 14%. Doordat de opneembare spanning hoger is bij een lagere rek bij hybride samenstellingen, is de globale stijfheid van hybride combinaties dus groter dan die van een enkele cellenbetonsteen. De gestapelde stenen zijn dus stijver met als gevolg dat de cellenbetonsteen brosser faalt in vergelijking met een enkele cellenbetonsteen.

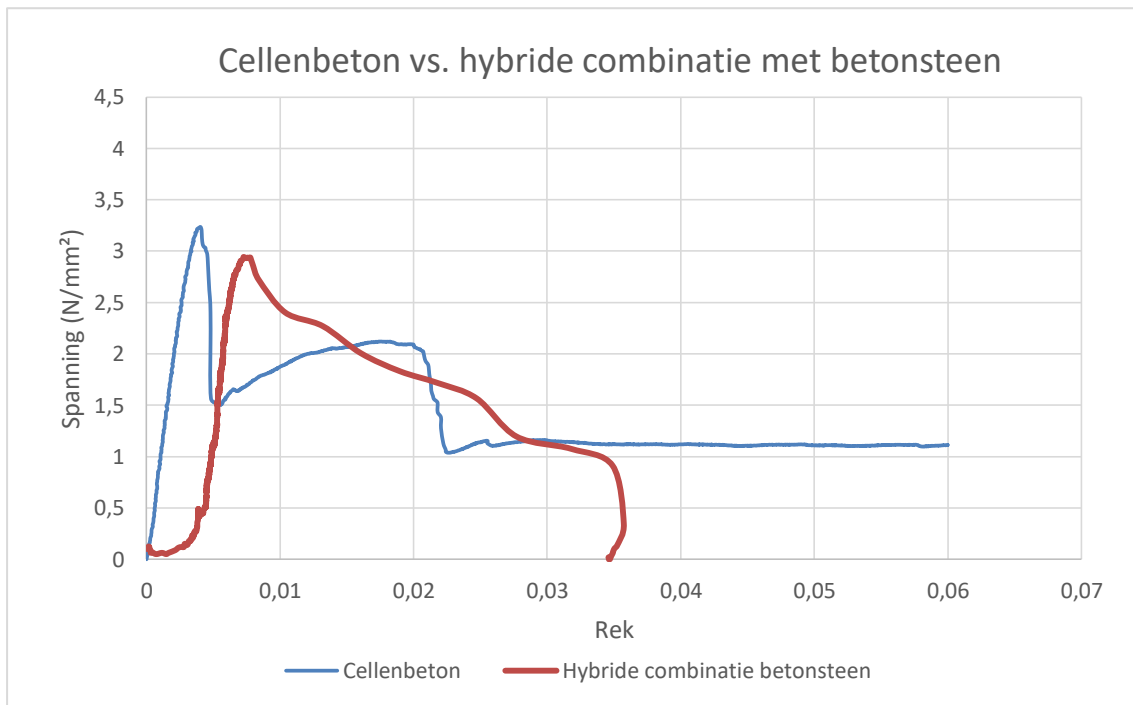


Figuur 55: Spannings-rek diagram cellenbeton en combinaties kleisteen

Verder valt op dat de combinatie van kleisteen met mortel een lagere spanning kan opnemen en een aanzienlijk lagere totale rek bezit dan de enkele cellenbetonsteen. De verlaging in rek is te verklaren doordat de globale stijfheid bij de combinatie met mortel eveneens verhoogt, hierdoor zal het faalmechanisme dus brosser zijn.

6.5.2 CELLENBETON VS. HYBRIDE COMBINATIES MET MORTEL

Figuur 56 toont de vergelijking tussen het spannings-rek diagram van de enkele cellenbetonsteen en de combinatie van cellenbeton en betonsteen met mortel. De verplaatsing van de hybride combinatie in het begin is te verklaren door de oneffenheden van het oppervlak van de betonsteen. Echter globaal gezien is de maximale spanning van de hybride combinatie lager dan die van een enkele cellenbetonsteen.



Figuur 56: Spannings-rek diagram cellenbeton en combinatie betonsteen

6.6 CONCLUSIE VERPLAATSINGEN EN VERVORMINGEN

Uit de resultaten blijkt dat cellenbeton een negatieve invloed heeft op de vervorming van metselwerk. In het geval van een kimlaag uit cellenbeton komt de grootste bijdrage aan de vervorming namelijk van de cellenbeton en is de vervorming van het bovenliggende metselwerk in vergelijking verwaarloosbaar. Daarnaast heeft een metselsteen met een grotere stijfheid ook geen invloed op de stijfheid van het geheel zoals blijkt uit de 'globale vervormbaarheid'. De vervorming is dus praktisch hetzelfde voor kleisteen C10, kleisteen C15 en betonsteen in combinatie met cellenbeton. Verder heeft een lijmvoeg een beperkte positieve invloed op de 'globale vervormbaarheid' in vergelijking met een mortelvoeg.

Wat betreft de scheurvorming heeft de cellenbeton ook een negatieve invloed. Voor alle hybride combinaties ontstaan de eerste scheuren namelijk in de kimlaag. In combinatie met kleisteen leidt dit zelfs tot scheuren in de kleisteen hoewel de maximale drukspanning hierin niet bereikt wordt. Daarnaast wordt de kleisteen in bepaalde gevallen zelfs in de cellenbeton gedrukt hetgeen voor grote verticale verplaatsingen zorgt. In het geval van een hybride combinatie met betonsteen treden echter enkel scheuren op in de cellenbeton en blijft de betonsteen volledig intact.

7 VOORSTEL OP BASIS VAN RESULTATEN

7.1 BEPALING VAN DE REDUCTIEFACTOR μ

Zoals reeds beschreven in paragraaf 2.5, worden er in de STS-22 twee methodes voorgesteld voor de controle van de sterkte van metselwerk met een kimlaag. Eén waarbij de kimlaag beschouwd wordt als metselwerk en één waarbij ze beschouwd wordt als enkelvoudige laag en niet als metselwerk.

Onderstaand wordt de formule voor de controle van de sterkte van de kimlaag nog eens weergegeven. Op basis van de verkregen proefresultaten kan nu een voorstel gegeven worden voor de reductiefactor μ in deze formule.

$$N_{Rd} = \phi_1 \times t \times \mu \times f_{d1} \geq N_{Ed}$$

De factor μ is een onbekende reductiefactor die rekening houdt met de configuratie en het holtebeeld van de metselstenen van het bovenliggend metselwerk. De STS-22 vermeldt dat deze factor bepaald kan worden aan de hand van proeven op twee op elkaar gemetste stenen. Deze proeven werden uitgevoerd in kader van deze masterproef. Door een vergelijking te maken tussen de experimentele karakteristieke druksterktes van de homogene cellenbetoncombinaties en de composietcombinaties kan deze factor bepaald worden. In Tabel 27 worden de berekende factoren weergegeven.

Tabel 27: Reductiefactor μ verkregen uit de experimentele karakteristieke druksterktes

Type composietcombinatie		$f_k [N/mm^2]$ (homogene combinatie)	$f_k [N/mm^2]$ (hybride combinatie)	Factor μ
Bovenliggende metselsteen	Type voeg			
Kleisteel C10	Mortel	1.8	2.0	1.11
Kleisteel C10	Lijm	2.3	2.6	1.13
Kleisteel C15	Lijm	2.3	2.9	1.26
Betonsteen	Mortel	1.8	2.4	1.33

Zoals uit de resultaten blijkt resulteert een tweede laag metselstenen, al dan niet met holten, niet in een vermindering van de druksterkte van de cellenbeton zoals werd aangenomen in de STS-22 maar zorgt de combinatie juist voor een verbetering van de druksterkte van het isolerend materiaal. Daarnaast is de factor niet afhankelijk van het type voeg maar blijkt ze naast het holtebeeld van de bovenliggende steen ook afhankelijk te zijn van de elasticiteitsmodulus van deze steen. Een hybride combinatie van kleisteel C15 resulteert namelijk in een toename van de factor in vergelijking met een combinatie van kleisteel C10.

7.2 CONTROLE BEREKENINGSMETHODES STS 22

Vervolgens kunnen de voorgestelde methodes in STS-22 gecontroleerd worden met de experimentele resultaten. Deze vergelijking wordt zowel gedaan voor de methode waarbij een kimlaag wordt beschouwd als metselwerk, als voor de methode waarbij kimlaag wordt beschouwd als enkelvoudige laag en niet als metselwerk. Onderstaand wordt de berekening volgens de twee methodes weergegeven voor een hybride combinatie van cellenbeton en kleisteel C10 met mortelvoeg. De overige berekeningen verlopen analoog, de resultaten worden getoond in Tabel 28.

Theoretische bepaling volgens STS22

Methode 1: Kimlaag wordt beschouwd als metselwerk

Controle van de druksterkte van de kimlaag (cellenbeton):

Voor de genormaliseerde druksterkte van de metselsteen en de gemiddelde druksterkte van de mortel worden de waarden gebruikt die behaald zijn uit de testen op enkele metselstenen en mortel. In de huidige STS22 staat bovendien beschreven dat de sterkte van de mortel beperkt moet worden tot twee keer de sterkte van de metselsteen of 20 N/mm².

$$f_b = 4.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_m = 8.4 \frac{N}{mm^2} \left(f_m \leq 2 * f_b \text{ of } 20 \frac{N}{mm^2} \right)$$

Vervolgens wordt de karakteristieke druksterkte f_k van het kimlaagmetselwerk berekend met de formule uit STS22 voor metselwerk met gewone cementmortel.

$$f_{k,1} = 0.6 * f_b^{0.65} * f_m^{0.25} = 0.6 * 4.2^{0.65} * 8.4^{0.25} = 2.6 \frac{N}{mm^2}$$

Tot slot worden de opneembare normaalkrachten N_{Rd} van het kimlaagmetselwerk bepaald. Aangezien de testen zijn uitgevoerd op slechts twee gestapelde stenen en de excentriciteit zeer beperkt was is de invloed van zowel slankheid als excentriciteit verwaarloosbaar en nemen we de reductiefactor ϕ_1 gelijk aan 1.

$$N_{Rd,1} = \phi_1 * t * \mu * f_{k1}$$

$$N_{Rd,1} = 1 * 134mm * 1.11 * 2.6 \frac{N}{mm^2} = 386.7 \frac{kN}{m}$$

Controle van de druksterkte van het bovenliggend metselwerk (kleisteen):

Voor de druksterktes van de kleisteen en mortel worden opnieuw de waarden uit de testen genomen:

$$f_{mean} = 13.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_m = 20 \frac{N}{mm^2} \left(f_m \leq 2 * f_b \text{ of } 20 \frac{N}{mm^2} \right)$$

Vervolgens wordt opnieuw de karakteristieke druksterkte berekend en de opneembare normaalkrachten van het bovenliggend metselwerk:

$$f_{k,2} = 0.5 * f_{mean}^{0.65} * f_m^{0.25} = 0.5 * 13.5^{0.65} * 20^{0.25} = 5.7 \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{Rd,2} = \phi_1 * t * f_{k,2}$$

$$N_{Rd,2} = 1 * 134mm * 5.7 \frac{N}{mm^2} = 763.8 \frac{kN}{m}$$

Methode 2: Kimlaag wordt beschouwd als enkelvoudige laag

Controle van de druksterkte van de kimlaag (cellenbeton):

Berekenen van de opneembare normaalkrachten van de kimlaagsteen:

$$f_{k,1} = 3.0 \frac{N}{mm^2}$$

$$N_{Rd,1} = 1 * 134mm * 1.11 * 3 \frac{N}{mm^2} = 446.22 \frac{kN}{m}$$

Controle van de druksterkte van het bovenliggend metselwerk (kleisteen):

De berekening is analoog als bij de 1^{ste} methode.

$$N_{Rd,2} = 763.8 \frac{kN}{m}$$

Experimentele bepaling

De opneembare normaalkrachten worden in dit geval bepaald uit de karakteristieke waarden die behaald zijn uit de drukproeven. Ook hier nemen we de reductiefactor voor slankheid en excentriciteit gelijk aan 1.

$$N_{Rd,exp} = \phi_1 * t * f_{k,test}$$

$$N_{Rd,exp} = 1 * 134mm * 2.0 \frac{N}{mm^2} = 268 \frac{kN}{m}$$

Tabel 28: Berekening volgens STS 22 met behulp van experimentele resultaten

Combinatie		Methode 1: Kimlaag als metselwerk		Methode 2: Kimlaag als enkelvoudige laag		Experi- menteel	Vershil methode 1	Vershil methode 2
Bovenste steen	Type voeg	$N_{Rd,1}$	$N_{Rd,2}$	$N_{Rd,1}$	$N_{Rd,2}$	$N_{Rd,exp}$		
Kleiste en C10	Mortel	386.7	763.8	446.2	763.8	268	0.69	0.60
Kleiste en C10	Lijm	408.8	536.0	454.3	536.0	348.4	0.85	0.77
Kleiste en C15	Lijm	455.9	683.4	506.5	683.4	388.6	0.85	0.77
Beton steen	Mortel	463.4	938.4	534.7	938.4	331.2	0.71	0.62

In Tabel 28 worden de resultaten weergegeven van de twee methodes volgens STS 22 en de experimenteel berekende sterktes. Het verschil geeft telkens de verhouding weer tussen de experimenteel opneembare normaalkracht en de theoretisch opneembare normaalkracht van de kimlaag ($N_{Rd,exp}/N_{Rd,1}$). Er kan geconcludeerd worden dat beide methodes een onveilige benadering geven voor de opneembare normaalkracht. Indien de kimlaag beschouwd wordt als metselwerk geeft het echter een iets veiligere benadering in vergelijking met een kimlaag beschouwd als enkelvoudige laag. Voor de theoretisch berekening is er evenwel geen veiligheidsfactor in rekening gebracht. Verder

valt het op dat de benadering veiliger is voor een lijmvoeg vergeleken met een mortelvoeg. Daarnaast is er quasi geen verschil te merken tussen combinaties met eenzelfde type voeg waarvan de bovenste metselsteen een verschillende E-modulus/druksterkte bezit. Op basis van deze gegevens kunnen de methodes in STS 22 geoptimaliseerd worden door bijvoorbeeld een verbeterde veiligheidsfactor in rekening te brengen. Om een nauwkeurig voorstel te geven is het echter noodzakelijk ook proeven uit te voeren op volledige metselwerkmuren.

8 BESLUIT

Uit de drukproeven op twee gestapelde stenen is gebleken dat een isolerende kimlaag, in dit geval cellenbeton, leidt tot een vermindering van de druksterkte van het metselwerk. Deze reductie kan zelfs oplopen tot 78% in vergelijking met een homogene metselwerkcombinatie. Indien de karakteristieke druksterkte uit de testen vergeleken wordt met de sterkte volgens de formule uit Eurocode 6 zijn er bijgevolg grote verschillen waar te nemen. Indien men zich voor deze druksterkte baseert op de genormaliseerde druksterkte van de bovenste steen, dus klei – of betonsteen, geeft dit waarden die tot drie keer hoger liggen dan de effectieve waarde. Indien men zich baseert op de genormaliseerde druksterkte van cellenbeton geeft dit ook resultaten die lager liggen dan de behaalde sterktes. Dit betekent dan ook dat de formule uit Eurocode 6 een onveilige benadering geeft voor de karakteristieke druksterkte van metselwerk met een isolerende kimlaag.

Uit de vergelijking tussen de experimentele karakteristieke druksterktes van homogenen en hybride combinaties is er bovendien gebleken dat een tweede laag metselstenen niet leidt tot een reductie van de sterkte van cellenbeton. Daarentegen leidt de combinatie juist tot een verbetering van de druksterkte van het isolerend materiaal afhankelijk van de elasticiteitsmodulus van de tweede laag stenen. Verder blijkt dat, bij toepassing van deze factor, de twee voorgestelde methodes in STS 22 voor de controle van de druksterkte van metselwerk met een kimlaag een onveilige benadering geven. De methode waarbij de kimlaag beschouwd wordt als metselwerk geeft hierbij echter een iets veilige benadering in vergelijking met een kimlaag beschouwd als enkelvoudige laag. Daarnaast resulteert een tweede laag metselsteen met een verschillende E-modulus/druksterkte niet tot een verschil indien het type voeg hetzelfde blijft. Om deze formules te optimaliseren is het echter noodzakelijk om drukproeven uit te voeren op werkelijke metselwerkmuren. Ook het toepassen van belastingen met excentriciteit kan meer inzichten en accuratere besluiten geven. Wegens tijdgebrek is het helaas niet mogelijk geweest om dit te onderzoeken in het kader van onze masterproef.

Tot slot is er uit de metingen van de verplaatsing-systemen gebleken dat cellenbeton een negatieve invloed heeft op de vervorming van het metselwerk. Hoewel de meetresultaten niet zeer nauwkeurig geïnterpreteerd konden worden, kunnen er toch enkele algemene conclusies genomen worden. Een eerste conclusie is dat indien het metselwerk bestaat uit een combinatie van cellenbeton met een ander type metselsteen, de grootste bijdrage aan de vervorming veroorzaakt wordt door de cellenbeton. Dit zowel voor de verticale als laterale verplaatsingen. Verder is er geen invloed te merken van een metselsteen met een hogere stijfheid op de globale vervorming indien deze gecombineerd wordt met een cellenbetonsteen. Wat betreft de scheurvorming geeft cellenbeton aanleiding tot scheuren in het bovenliggend metselwerk bestaande uit kleisteen terwijl de maximale drukspanning van dit materiaal niet bereikt is. Tot slot is er een verband op te merken tussen de globale stijfheid van het metselwerk en de druksterkte. Er kan namelijk geconcludeerd worden dat een hogere globale stijfheid gepaard gaat met een hogere druksterkte en omgekeerd.

9 GECITEERDE WERKEN

- [1] Leefmilieu Brussel, „Koudebruggen beperken,” Brussels instituut voor milieubeheer, Brussel, 2016.
- [2] M. Deyazada, B. Vandoren en H. Degee, „Experimental investigations on the influence of thermal elements on the structural stability of modern masonry walls,” Construction Engineering Research Group, Hasselt University, 2015.
- [3] Marmox, „Marmox thermo block,” 2015. [Online]. Available: http://www.marmox.co.uk/uploads/product_im.
- [4] J. Devree, „Fabricage baksteen,” 2005. [Online]. Available: <http://www.joostdevree.nl>. [Geopend 4 11 2016].
- [5] 2. Eurocode 6, „EN 1996-1-1,” Eurocode 6: Design of masonry structures. General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. , European Committee for Standardization, Brussel , 2005.
- [6] Wienerberger, „POROTHERM Lijm-Systeem: uw voorsprong op de werf,” Wienerberger, [Online]. Available: file:///C:/Users/Gebruiker/Downloads/Porotherm%20Lijm-Systeem_NL.pdf. [Geopend 16 11 2017].
- [7] Coeck, „Betonmetselstenen,” Coeck, 2012. [Online]. Available: <http://www.coeck.be>. [Geopend 18 11 2016].
- [8] J. Sizaire, „Handboek Cellenbeton FeBeCel,” FeBeCel, Brussel , 2007.
- [9] Probeton, „Technische voorschriften: Geautoclaveerde cellenbetonmetselstenen,” Probeton, Brussel, 2011.
- [10] K. M. e. E. FOD Economie, „STS 22: Metselwerk voor laagbouw,” .be, Brussel , 2009.
- [11] „NBN EN 1015-11/A1,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2007.
- [12] „NBN EN 1052-1,” Bureau voor Normalisatie , Brussel, 1998.
- [13] Y. Gregoire, „Compressive Strength of Masonry According to Eurocode 6: A Contribution to the Study of the Influence of Shape Factors,” BBRI, 2006.
- [14] D. Ferretti, E. Michellini en G. Rosati, „Mechanical characterization of autoclaved aerated concrete masonry subjected to in-plane loading: Experimental investigation and FE modeling,” University of Parma, Milaan, Italië, 2015.
- [15] F. d. Porto, „In plane cyclic behaviour of thin layer joint masonry,” University of Trento, Italië, 2005.
- [16] M. Dhanasekar en F. d. Porto, „Review of the progress in thin bed technology for masonry construction,” 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, 2009.
- [17] D. Martens, „Thermal Break with Cellular Glass Units in Load-Bearing Masonry Walls,” International Masonry Society , Guimaraes, 2014.
- [18] „Foamglas,” Pittsburgh Corning Europe NV, Lasne, 2012.
- [19] „Porotherm PLS 500 10N,” as Wienerberger NV, Kortrijk.
- [20] „NBN EN 772-1 + A1:2015 Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength,” Bureau for Standardisation , Brussel, 2015.
- [21] J. Fieuw en E. V. Overmeire, „Hoe kimblokken uit cellenbeton verwerken?,” Livios, 3 2 2013. [Online]. Available: <http://www.livios.be>. [Geopend 12 4 2017].

- [22] d.
- [23] B. Hemant, „Stress- Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression,” ASCE, 2007.
- [24] A. Bonakdar, F. Babbitt en B. Mobasher, „Physical and mechanical characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC),” Elsevier, Arizona, 2013.

10. BIJLAGELIJST

Bijlage A: Technische Fiche Porotherm PLS 500 10N	85
Bijlage B: Technische Fiche Porotherm PLS 500 15N	87
Bijlage C: Technische Fiche Betonsteen	89
Bijlage D: Technische Fiche Cellenbeton	90
Bijlage E: Technische Fiche Mortel.....	92
Bijlage F: Technische Fiche Lijmmortel	94
Bijlage G: Test-reports mortel/lijmmortel	95
Bijlage H: Test-reports enkele stenen.....	100
Bijlage I: Test-reports dubbele stenen.....	104

BIJLAGE A: TECHNISCHE FICHE POROTHERM



Binnenmuurstenen / Blocs pour murs intérieurs

POROTHERM PLS 500 10N

Rumst



Beschikbare afmetingen / Formats disponibles:

Fabricagematen L x B x H Mesures de fabrication L x l x H	Tolerantie/Spreiding Tolérance/Dispersion	Nettogewicht/st Poids net/pc	Lambda waarden [W/mK] Valeurs lambda [W/mK]			DoP nr.	Gem. bruto droge volumemassa Masse volumique sèche brute moy.	Categorie Catégorie
			$\lambda_{10,dy50/50}$	$\lambda_{10,dy30/50}$	λ_{u}			
500 x 100 x 134 mm*	T1+/R1+	5,7 kg	0,26	0,27	0,29	12593200-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 138 x 134 mm*	T1+/R1+	7,9 kg	0,23	0,24	0,26	12593300-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 188 x 134 mm*	T1+/R1+	10,7 kg	0,23	0,24	0,26	12593400-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 100 x 184 mm	T1+/R1+	7,8 kg	0,26	0,27	0,29	12593210-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 138 x 184 mm	T1+/R1+	10,8 kg	0,23	0,24	0,26	12593310-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 188 x 184 mm	T1+/R1+	14,7 kg	0,23	0,24	0,26	12593410-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 100 x 234 mm	T1+/R1+	9,9 kg	0,26	0,27	0,29	12593220-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 138 x 234 mm	T1+/R1+	13,7 kg	0,23	0,24	0,26	12593320-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 188 x 234 mm	T1+/R1+	18,7 kg	0,23	0,24	0,26	12593420-B1W1262	850 kg/m ³	D1

* Beschikbaarheid vooraf na te gaan bij de fabriek

* Disponibilité à vérifier préalablement à l'usine



De snelbouwstenen beschikken over een type I ecolabel (volgens ISO 14024), welke een LCA (life cycle analysis) inhoudt op meerdere attributen (impactcategorieën), en waarvan de gegevens werden geverifieerd door een geaccrediteerde derde partij. Binnen hetzelfde label werden de snelbouwstenen eveneens getest op problematische (gezondheids-) componenten en emissies.

Les blocs treillis disposent d'un ecolabel du type I (selon ISO 14024), lequel contient une ACV (l'analyse de cycle de vie) sur plusieurs attributs (catégories d'impact) et dont les données ont été vérifiées par une tierce partie accréditée. Dans ce même label, les blocs treillis ont également été testés sur les composants (de santé) problématiques et des émissions.



POROTHERM PLS 500 10N

Rumst

Gebruik:

Het dragend en niet-dragend, niet-decoratief opgaand metselwerk zal uitgevoerd worden in geperforeerde binnenmuurstenen gefabriceerd op basis van plastische klei met toevoeging van afmageringsmiddelen en oxiderend gebakken op minstens 990°C. De binnenmuurstenen beantwoorden voor wat betreft maattoleranties (T1+), vormeigenschappen, uitzichtkenmerken en perforaties aan de eisen van de norm EN 771-1 "Voorschriften voor metselstenen – Deel1: metselbakstenen". De binnenmuurstenen zijn conform volgens PTV 23-003. Vóór uitvoering zullen monsters door de aannemer op de werf neergelegd worden ter goedkeuring van de opdrachtgever.

Prestatiecriteria:

- **Druksterkte:**
 - Gedeclareerde gemiddelde druksterkte volgens NBN EN 771-1: $f_{mean} \geq 10 \text{ N/mm}^2$.
 - De genormaliseerde druksterkte (f_n) wordt berekend volgens NBN EN 1996-1-1-ANB uit de gedeclareerde gemiddelde druksterkte (f_{mean}), de vormfactor δ uit Tabel 3.9-ANB en δ_c ($\delta_c = 1$).
- **Vorstbestendigheid:** F0 – niet vorstbestand volgens NBN B 27-009
- **Initiële wateropzuiging:** IW3 volgens PTV 23-003
- **Hygrometrische krimp en opzwellings:** Volgens NBN B 24-208: $\leq 0,1 \text{ mm/m}$
- **Brandreactieklasse:** A1 volgens EN 13501-1
- **Metselbaksteengroep:** Groep 2 volgens Eurocode 6
- **Vlakheid & planparalleliteit:** 2 mm

Akoestische isolatie (testen WTCB, niet onder Benor):

R_w-waarde ontdubbelde ankerloze snelbouwwand $\geq 69 \text{ dB}$

Opbouw:

- 14 cm Porotherm lijmsysteem (1-zijdig gepleisterd)
- 4 cm minerale wol
- 14 cm Porotherm lijmsysteem (1-zijdig gepleisterd)

Met deze opbouw wordt ruimschoots voldaan aan de eisen voor zowel normaal als verhoogd akoestisch comfort (volgens NBN S01-400-1). Neem contact op met Wienerberger voor gedetailleerde informatie over alle akoestische oplossingen met keramische binnenmuurstenen.

Brandweerstand volgens NBN EN 1996-1-2 ANB:

Bij tand en groefstenen moeten de verticale voegen met (lijm)mortel gedicht worden om de vermelde REI-waardes te behalen.

De brandweerstand kan nog verhoogd worden door het aanbrengen van een tweezijdige bepleistering en dit volgens tabel N.B.1.2 uit NBN EN 1996-1-2 ANB.

Muurbreedte Épaisseur du mur	REI
10 cm	1 h
14 cm	2 h
19 cm	4 h

Bijkomende prestatiecriteria:

De fabrikant kan in het kader van de Europese Bouwproducten- verordening de prestatieverklaring (DoP) voorleggen. De prestatieverklaring van de essentiële kenmerken volgens NBN EN771-1 is conform de CPR. Wienerberger beschikt voor deze stenen over een BENOR-certificaat.

De volledige prestatieverklaring (DoP) is beschikbaar via <http://ce.wienerberger.com>

Januari 2017

- Dit document is niet contractueel en vernietigt alle voorgaande publicaties. De fabrikant behoudt zich het recht voor om het productengamma of de productkarakteristieken te wijzigen. De gebruiker dient zich ervan te vergewissen steeds te beschikken over de meest recente beschrijvende tekst.
- Er wordt geen garantie verleend op volledigheid. Daar wij het specifieke gebruik, het respect voor de regels der kunst, de verwerking, de hoedanigheid van de mortels en de weersomstandigheden niet kunnen beoordelen, kan hierbij geen aansprakelijkheid aanvaard worden op grond van deze beschrijvende tekst.
- Niets uit deze tekst mag zonder onze toestemming worden veranderd.

Critères de prestation complémentaires:

Le fabricant peut soumettre la déclaration de prestation (DoP) dans le cadre de la Réglementation Européenne des Produits de Construction.

La déclaration de prestation des principales caractéristiques selon NBN EN 771-1 est conforme avec le CPR. Wienerberger dispose d'un certificat de qualité BENOR pour ces briques.

La déclaration de prestation (DoP) complète est disponible sur <http://ce.wienerberger.com>

Janvier 2017

- Ce document n'est pas contractuel, il annule et remplace les publications précédentes. Le fabricant se réserve le droit de modifier la gamme de produits ou les caractéristiques des produits. L'utilisateur doit s'assurer d'être en possession de la dernière version du texte descriptif.
- On ne peut pas garantir l'intégralité de ce document, car il nous est impossible de juger de l'usage spécifique, du respect du savoir-faire, de la mise en œuvre, de la qualité du mortier utilisé et des conditions atmosphériques. C'est pourquoi nous ne pouvons être tenu responsable de l'utilisation sur base de ce texte descriptif.
- Aucune modification n'est tolérée sans notre autorisation préalable.

Usage:

La maçonnerie portante et non portante, non décorative sera réalisée en blocs pour mur intérieur perforés fabriqués à base d'argile plastique avec addition d'amaigrissants, cuits en oxydant à au moins 990°C.

Les blocs pour mur intérieur répondent, en ce qui concerne les tolérances de dimensions (T1+), les caractéristiques de forme, les caractéristiques d'aspect et les perforations, aux exigences de la norme EN 771-1 "Spécifications pour éléments de maçonnerie – Partie 1: Briques en terre cuite". Les blocs pour mur intérieur sont conformes suivant PTV 23-003.

Avant l'exécution des travaux, des échantillons seront déposés au chantier par l'entrepreneur pour approbation par le maître de l'ouvrage.

Critères de prestation:

- **Résistance à la compression:**
 - La résistance à la compression moyenne déclarée selon NBN EN 771-1: $f_{mean} \geq 10 \text{ N/mm}^2$.
 - La résistance à la compression normalisée (f_n) est calculée selon NBN EN 1996-1-1-ANB sur base de la résistance à la compression moyenne déclarée (f_{mean}), du coefficient de forme δ du tableau 3.9-ANB et δ_c ($\delta_c = 1$).
- **Résistance au gel:** F0 – non certifiée selon NBN B 27-009
- **Porosité initiale:** IW3 selon PTV 23-003
- **Retrait et dilatation hygrométrique:** Selon NBN B 24-208: $\leq 0,1 \text{ mm/m}$
- **Classe de réaction au feu:** A1 selon EN 13501-1
- **Groupe de briques de maçonnerie:** Groupe 2 selon Eurocode 6
- **Planéité:** 2 mm

Isolation acoustique (Tests du WTCB, pas selon Benor):

Valeur R_w mur en blocs treillis dédoublé sans crochets $\geq 69 \text{ dB}$

Composition:

- 14 cm de Porotherm système-collage (plâtré d'un côté)
- 4 cm de laine minérale
- 14 cm de Porotherm système-collage (plâtré d'un côté)

Cette composition permet largement de répondre aux exigences en matière de confort acoustique normal et supérieur (selon NBN S01-400-1).

Prenez contact avec Wienerberger pour des informations plus détaillées sur toutes les solutions acoustiques avec des blocs treillis céramiques.

Résistance au feu selon NBN EN 1996-1-2 ANB:

Pour les blocs avec tenons et mortaises les joints verticaux doivent être rendus étanches afin d'atteindre les valeurs REI mentionnées.

La résistance au feu peut être améliorée par un revêtement d'enduit des 2 côtés et selon tableaux N.B.1.2 du NBN EN 1996-1-2 ANB.



BIJLAGE B: TECHNISCHE FICHE POROTHERM



Binnenmuurstenen / Blocs pour murs intérieurs

POROTHERM PLS 500 15N

Rumst



Beschikbare afmetingen / Formats disponibles:

Fabricagematen L x B x H Mesures de fabrication L x l x H	Tolerantie/Spreiding Tolérance/Dispersion	Nettogewicht/st Poids net/pc	Lambda waarden [W/mK] Valeurs lambda [W/mK]			DoP nr.	Gem. bruto droge volumemassa Masse volumique sèche brute moy.	Categorie Catégorie
			$\lambda_{10, dry, 50/50}$	$\lambda_{10, dry, 20/50}$	λ_{ui}			
500 x 100 x 184 mm	T1+/R1+	7,8 kg	0,26	0,27	0,29	12594210-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 138 x 184 mm	T1+/R1+	10,8 kg	0,23	0,24	0,26	12594310-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 188 x 184 mm	T1+/R1+	14,7 kg	0,23	0,24	0,26	12594410-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 100 x 234 mm	T1+/R1+	9,9 kg	0,26	0,27	0,29	12594220-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 138 x 234 mm	T1+/R1+	13,7 kg	0,23	0,24	0,26	12594320-B1W1262	850 kg/m ³	D1
500 x 188 x 234 mm	T1+/R1+	18,7 kg	0,23	0,24	0,26	12594420-B1W1262	850 kg/m ³	D1



De snelbouwstenen beschikken over een type I ecolabel (volgens ISO 14024), welke een LCA (life cycle analysis) inhoudt op meerdere attributen (impactcategorieën), en waarvan de gegevens werden geverifieerd door een geaccrediteerde derde partij. Binnen hetzelfde label werden de snelbouwstenen eveneens getest op problematische (gezondheids-) componenten en emissies.

Les blocs treillis disposent d'un ecolabel du type I (selon ISO 14024), lequel contient une ACV (l'analyse de cycle de vie) sur plusieurs attributs (catégories d'impact) et dont les données ont été vérifiées par une tierce partie accréditée. Dans ce même label, les blocs treillis ont également été testés sur les composants (de santé) problématiques et des émissions.



POROTHERM PLS 500 15N

Rumst

Gebruik:

Het dragend en niet-dragend, niet-decoratief opgaand metselwerk zal uitgevoerd worden in geperforeerde binnenmuurstenen gefabriceerd op basis van plastische klei met toevoeging van afmageringsmiddelen en oxiderend gebakken op minstens 990°C. De binnenmuurstenen beantwoorden voor wat betreft maattoleranties (T1+), vormeigenschappen, uitzichtkenmerken en perforaties aan de eisen van de norm EN 771-1 "Voorschriften voor metselstenen – Deel1: metselbakstenen". De binnenmuurstenen zijn conform volgens PTV 23-003. Vóór uitvoering zullen monsters door de aannemer op de werf neergelegd worden ter goedkeuring van de opdrachtgever.

Prestatiecriteria:

- **Druksterkte:**
 - **Gedeclareerde gemiddelde druksterkte** volgens NBN EN 771-1: $f_{mean} \geq 15 \text{ N/mm}^2$.
 - De genormaliseerde druksterkte (f_d) wordt berekend volgens NBN EN 1996-1-1-ANB uit de gedeclareerde gemiddelde druksterkte (f_{mean}), de vormfactor δ uit Tabel 3.9-ANB en δ_c ($\delta_c = 1$).
- **Vorstbestendigheid:** F0 – niet vorstbestand volgens NBN B 27-009
- **Initiële wateropzuiging:** IW2 volgens PTV 23-003
- **Hygrometrische krimp en opzwellings:** Volgens NBN B 24-208: $\leq 0,1 \text{ mm/m}$
- **Brandreactieklasse:** A1 volgens EN 13501-1
- **Metselbaksteengroep:** Groep 2 volgens Eurocode 6
- **Vlakheid & planparalleliteit:** 2 mm

Akoestische isolatie (testen WTCB, niet onder Benor):

R_w -waarde ontdubbelde ankerloze snelbouwwand $\geq 69 \text{ dB}$

Opbouw:

- 14 cm Porotherm lijmsysteem (1-zijdig gepleisterd)
- 4 cm minerale wol
- 14 cm Porotherm lijmsysteem (1-zijdig gepleisterd)

Met deze opbouw wordt ruimschoots voldaan aan de eisen voor zowel normaal als verhoogd akoestisch comfort (volgens NBN S01-400-1).
Neem contact op met Wienerberger voor gedetailleerde informatie over alle akoestische oplossingen met keramische binnenmuurstenen.

Brandweerstand volgens NBN EN 1996-1-2 ANB:

Bij tand en groefstenen moeten de verticale voegen met (lijm)mortel gedicht worden om de vermelde REI-waardes te behalen.
De brandweerstand kan nog verhoogd worden door het aanbrengen van een tweezijdige bepleistering en dit volgens tabel N.B.1.2 uit NBN EN 1996-1-2 ANB.

Muurbreedte Epaisseur du mur	REI
10 cm	1 h
14 cm	2 h
19 cm	4 h

Bijkomende prestatiecriteria:

De fabrikant kan in het kader van de Europese Bouwproductenverordening de prestatieverklaring (DoP) voorleggen. De prestatieverklaring van de essentiële kenmerken volgens NBN EN771-1 is conform de CPR. Wienerberger beschikt voor deze stenen over een BENOR-certificaat.
De volledige prestatieverklaring (DoP) is beschikbaar via <http://ce.wienerberger.be>

Januari 2017

- Dit document is niet contractueel en vernietigt alle voorgaande publicaties. De fabrikant behoudt zich het recht voor om het productengamma of de productkarakteristieken te wijzigen. De gebruiker dient zich ervan te vergewissen steeds te beschikken over de meest recente beschrijvende tekst.
- Er wordt geen garantie verleend op volledigheid. Daar wij het specifieke gebruik, het respect voor de regels der kunst, de verwerking, de hoedanigheid van de mortels en de weersomstandigheden niet kunnen beoordelen, kan hierbij geen aansprakelijkheid aanvaard worden op grond van deze beschrijvende tekst.
- Niets uit deze tekst mag zonder onze toestemming worden veranderd.

Critères de prestation complémentaires:

Le fabricant peut soumettre la déclaration de prestation (DoP) dans le cadre de la Réglementation Européenne des Produits de Construction. La déclaration de prestation des principales caractéristiques selon NBN EN 771-1 est conforme avec le CPR. Wienerberger dispose d'un certificat de qualité BENOR pour ces briques.
La déclaration de prestation (DoP) complète est disponible sur <http://ce.wienerberger.be>

Janvier 2017

- Ce document n'est pas contractuel, il annule et remplace les publications précédentes. Le fabricant se réserve le droit de modifier la gamme de produits ou les caractéristiques des produits. L'utilisateur doit s'assurer d'être en possession de la dernière version du texte descriptif.
- On ne peut pas garantir l'intégralité de ce document, car il nous est impossible de juger de l'usage spécifique, du respect du savoir-faire, de la mise en œuvre, de la qualité du mortier utilisé et des conditions atmosphériques. C'est pourquoi nous ne pouvons être tenu responsable de l'utilisation sur base de ce texte descriptif.
- Aucune modification n'est tolérée sans notre autorisation préalable.

Usage:

La maçonnerie portante et non portante, non décorative sera réalisée en blocs pour mur intérieur perforés fabriqués à base d'argile plastique avec addition d'amaigrissants, cuits en oxydant à au moins 990°C.

Les blocs pour mur intérieur répondent, en ce qui concerne les tolérances de dimensions (T1+), les caractéristiques de forme, les caractéristiques d'aspect et les perforations, aux exigences de la norme EN 771-1 "Spécifications pour éléments de maçonnerie – Partie 1: Briques en terre cuite". Les blocs pour mur intérieur sont conformes suivant PTV 23-003.

Avant l'exécution des travaux, des échantillons seront déposés au chantier par l'entrepreneur pour approbation par le maître de l'ouvrage.

Critères de prestation:

- **Résistance à la compression:**
 - **La résistance à la compression moyenne déclarée** selon NBN EN 771-1: $f_{mean} \geq 15 \text{ N/mm}^2$.
 - La résistance à la compression normalisée (f_d) est calculée selon NBN EN 1996-1-1-ANB sur base de la résistance à la compression moyenne déclarée (f_{mean}), du coefficient de forme δ du tableau 3.9-ANB et δ_c ($\delta_c = 1$).
- **Résistance au gel:** F0 – non certifiée selon NBN B 27-009
- **Porosité initiale:** IW2 selon PTV 23-003
- **Retrait et dilatation hygrométrique:** Selon NBN B 24-208: $\leq 0,1 \text{ mm/m}$
- **Classe de réaction au feu:** A1 selon EN 13501-1
- **Groupe de briques de maçonnerie:** Groupe 2 selon Eurocode 6
- **Planéité:** 2 mm

Isolation acoustique (Tests du WTCB, pas selon Benor):

Valeur R_w mur en blocs treillis dédoublé sans crochets $\geq 69 \text{ dB}$

Composition:

- 14 cm de Porotherm système-collage (plâtre d'un côté)
- 4 cm de laine minérale
- 14 cm de Porotherm système-collage (plâtre d'un côté)

Cette composition permet largement de répondre aux exigences en matière de confort acoustique normal et supérieur (selon NBN S01-400-1).



Prenez contact avec Wienerberger pour des informations plus détaillées sur toutes les solutions acoustiques avec des blocs treillis céramiques.

Résistance au feu selon NBN EN 1996-1-2 ANB:

Pour les blocs avec tenons et mortaises les joints verticaux doivent être rendus étanches afin d'atteindre les valeurs REI mentionnées. La résistance au feu peut être améliorée par un revêtement d'enduit des 2 côtés et selon tableaux N.B.1.2 du NBN EN 1996-1-2 ANB.



BIJLAGE C: TECHNISCHE FICHE BETONSTEEN

	Paesen Betonfabriek NV Centrum-Zuid 2007, 3530 Houthalen		1176
	H.B. – 290x140x189 HOL		
DIM.-FAB.-MAAT : 290X140X189		EN 771-3	
Betonmetselstenen van Categorie I			
D.O.P. / Prestatieverklaring	PAES.H.B.30-5		
Vorm	Groep voor EN 1996-1-1		
Maatafwijking	D2		
Druksterkte			
- Karakteristieke	10,5 N/mm ²		
- Gemiddelde	12,4 N/mm ²		
- Genormaliseerde	15,0 N/mm ²		
Droge volumemassa	1500 kg/m ³		
Vochtgedrag	≤ 0,45 mm/m		
Afschuifhechtsterkte	0,15 (EN 998-2 annex C) N/mm ²		
Brandreactie	Klasse A1		
Wateropsorping	NPD (g/m ² s)		
Dampdoorlatendheid	5/15 (tabel A3 of A9 uit EN 1745)		
Thermische kenmerken	NPD		
Vorst-dooi bestandheid	VOLDOET		
Gevaarlijke bestanddelen	NPD		
	Productiedatum : 14/11/2016	+14 dagen	B2-C-D 15/1,6

BIJLAGE D: TECHNISCHE FICHE CELLENBETON



Pg 1/2

TECHNISCHE DATA YTONG

Gamma Ytong kimblokken (gehydrofobeerd#)

Gewichts-klasse	Formaat mm	Dikte mm	Aantal per palet	Aantal/m ²	Gewicht kg/blok **	Transportgewicht kg/palet *	Profilering ***
C4/500	600x150	90	156	11,1	6,08	967	G
	600x200	90	130	8,3	8,11	1072	G
	600x250	90	104	6,7	10,13	1072	G
	600x150	100	144	11,1	6,76	991	G
	600x200	100	120	8,3	9,03	1102	G
	600x150	140	96	11,1	9,46	926	G
	600x200	140	80	8,3	12,65	1030	G
	600x250	140	64	6,7	15,77	1027	G
	600x150	150	96	11,1	10,14	991	G
	600x200	150	80	8,3	13,55	1102	G
	600x250	150	64	6,7	14,62	1102	G
	600x300	150	48	5,5	20,33	994	G
	600x150	175	72	11,1	11,84	870	G
	600x200	175	60	8,3	15,79	965	G
	600x250	175	48	6,7	19,74	965	G
	600x200	190	60	8,3	17,12	1045	G
	600x250	190	48	6,7	21,40	1045	G
	600x200	200	60	8,3	18,07	1102	G
	600x300	200	40	5,5	27,10	1102	G
	600x150	215	60	11,1	14,55	891	G
600x200	215	50	8,3	19,40	988	G	
600x250	215	40	6,7	24,25	988	G	

G = glad

* inclusief houten palet (18 kg)

** exclusief houten palet

*** verlijming van de kopse voegen

Gehydrofobeerd = vermijdt te snelle opname van vocht tijdens de ruwbouwfase. Gebruik van een waterkerende laag blijft noodzakelijk. De kopse voegen moeten steeds verlijmd worden.

Xella BE nv/sa • Kruibeksesteenweg 24 • 2070 Burcht • België
Tel: +32 (0)3 250 47 00 • Fax: +32 (0)3 250 47 06 • ytong-be@xella.com

Met het oog op een constante verbetering kan het gamma te allen tijde aangepast worden zonder voorafgaande verwittiging.
Niets van deze publicatie mag overgenomen worden zonder schriftelijke toestemming van Xella.
Xella aanvaardt geen aansprakelijkheid in geval van eventuele schade opgelopen door informatie die in dit dossier staat, alhoewel deze zorgvuldig werd uitgewerkt.

TECHNISCHE DATA YTONG

Algemene technische gegevens Ytong kimblokken

	Eenheid	C4/500
Volumieke massa	Drooggewicht Rekengewicht	450 - 500 535
Gemiddelde genormaliseerde druksterkte f_b	N/mm ²	4,5
Karakteristieke druksterkte Ytong eerste laag f_k * (berekend voor gemetselde muur)	N/mm ²	3,0
Warmtegeleidingscoëfficiënt λ_{Uf}	W/mK	0,125
Soortelijke warmte c	J/kgK	1000
Diffusieweerstandgetal μ	-	5/10
Lineaire uitzettingscoëfficiënt α	m/mK	8×10^{-6}
Elasticiteitscoëfficiënt E	N/mm ²	3000

* Bepaling f_k volgens NBN EN 1996-1-1-ANB

γ_M (veiligheid materiaal Ytong) niet inbegrepen

Xella BE nv/sa • Kruibeeksesteenweg 24 • 2070 Burcht • België
Tel: +32 (0)3 250 47 00 • Fax: +32 (0)3 250 47 06 • ytong-be@xella.com

Met het oog op een constante verbetering kan het gamma te allen tijde aangepast worden zonder voorafgaande verwittiging.
Niets van deze publicatie mag overgenomen worden zonder schriftelijke toestemming van Xella.
Xella aanvaardt geen aansprakelijkheid in geval van eventuele schade opgelopen door informatie die in dit dossier staat, alhoewel deze zorgvuldig werd uitgewerkt.

BIJLAGE E: TECHNISCHE FICHE MORTEL

Technische fiche · Gecreëerd op: 10/2016



Mur 12/4

Metselmortel

(|BENOR|)

Toepassingsgebied

Mur 12/4 kan gebruikt worden voor ieder soort metselwerk in bakstenen, betonblokken, kalkzandsteen, zowel voor nieuwbouw als voor renovatie, binnen en buiten (toepassingstype A en B).

Samenstelling

Mur 12/4 is een homogeen mengsel samengesteld uit zand, bindmiddelen, en hulpstoffen om de morteleigenschappen te verbeteren.

- Bindmiddelen: samengesteld Portlandcement volgens EN 197-1.
- Granulaten: afgezeefd en hersamengesteld zand 0/4 volgens EN 13139.
- Hulpstoffen: specifieke toeslagstoffen om de verwerkbaarheid, de waterretentie en de kleeftkracht van de mortel te verbeteren.

Eigenschappen

Mur 12/4 is een droge voormengde metselmortel voor algemene toepassing (type G) geschikt voor alle types metselwerk.

Voorbereiding ondergrond

Te droge of te natte metselstenen kunnen leiden tot een slechte hechting. De hechting van de mortel aan de steen wordt gecontroleerd door na één minuut twee gemetselde stenen van elkaar te trekken. Bij goede hechting ligt het breukvlak in de mortellaag. De metselstenen mogen geenszins verzadigd zijn met water bij het verwerken. Er mag zich geen stof op het oppervlak bevinden. Voor een goede hechting, sterk zuigende metselstenen voorbevochtigen.

Verwerken

Mur 12/4 vermengen met ongeveer 13% zuiver water (ongeveer 3,25 L water per zak van 25 kg of 5,25 L water per zak van 40 kg). Bij voorkeur mechanisch mengen tot de geschikte consistentie is bekomen. De specie moet homogeen, smeuiig en klontervrij zijn. Na aanmaak van het mengsel dient de mortel verwerkt te worden binnen 2 uren. Na verstijving door een begin van binding mag de mortel niet meer hermengd of aangengeld worden.

De werken worden uitgevoerd volgens de regels van de kunst voor metselwerken en dienen te beantwoorden aan de voorschriften van het WTCB.

Nabehandeling

Het werk moet beschermd worden tegen koude, slagregen en wind. Tijdens het metselen en het verhardingsproces van de mortel mag de omgevingstemperatuur en de temperatuur van de drager niet lager zijn dan 5°C en niet hoger dan 30°C. Nooit werken op bevroren, ontdoende ondergrond of bij risico op vorst binnen de 24 uur.

Verbruik

Opbrengst Mur 12/4:

- 1 ton droge mortel: ± 625 L metselspecie,
- 40 kg droge mortel: ± 25 L metselspecie,
- 25 kg droge mortel: ± 15 L metselspecie.



Mur 12/4

Metselmortel

Technische kenmerken

Sterkteklasse	M 10
Druksterkte na 28 dagen	> 10,0 N/mm ²
Buigtreksterkte na 28 dagen	> 2,5 N/mm ²
Gem. hechtsterkte na 28 dagen	> 0,15 N/mm ²
Korrelgrootte	0/4 mm
Natte mortel consistentie	170 mm
Waterbehoefte	± 13 %
Luchtgehalte	± 16 %
Waterretentie	± 80 %
Debiet/opbrengst	± 625 L/ton
Volumemasse verharde mortel	± 1900 kg/m ³

Verpakking

Mur 12/4 is verpakt in zakken van 25 kg of 40 kg, gestapeld op europalletten (1200 kg of 1600 kg per palet) met een beschermhoes. De houdbaarheidsstermijn in de originele en gesloten verpakking, droog opgeslagen, bedraagt 12 maanden.

Classificatie

CE, EN 998-2. Certificaatnummer: 0965-CPR-MM 505/503.

Mur 12/4 is BENOR gecertificeerd.

BIJLAGE F: TECHNISCHE FICHE LIJMMORTEL



POROTHERM Lijm-Systeem / Système-Collage LIJMMORTEL / MORTIER-COLLE

Eigenschappen / Propriétés



Uitzicht / Aspect	roodbruin poeder / poudre rouge-brun
Druksterkte / Résistance à la compression	15 MPa (na / après 28 dagen / jrs)
Houdbaarheid in zak / Conservation en sac	12 maanden / mois
Hechtsterkte / Résistance de l'adhérence	0,6 N/mm ²
Densiteit poeder / Densité de la poudre	1,2 ± 0,2 kg / dm ³
Gewicht per zak / Poids par sac	25 kg
Pot life / Durée pot ouvert	3 ± 0,5 u / h (bij / à 20°C)
Aanpasbaarheid / Adaptabilité	2 min. (bij / à 20°C)
pH	13
Temperatuur / Température	5 – 35°C

Verwerking

Gezien de kleine benodigde hoeveelheid per m² metselwerk is het aangewezen de lijm mortel aan te maken in een emmer (of kleine mortelkuip). Dat beperkt het risico op uitdrogen en zo kan de lijm mortel makkelijker in de rolbak gegoten worden. Voeg het droge poeder altijd toe aan het water, niet omgekeerd.

Stappenplan voor het aanmaken van de lijm mortel:

1. Voeg 6,5 tot 7,5 liter water toe per 25 kg poeder.
De hoeveelheid aanmaakwater hangt onder meer af van de weersomstandigheden en de zuigkracht van de stenen (droog – bevochtigd).
2. Meng het water en het poeder gedurende 3 minuten met de mortelmixer tot een homogene, klontloze pasta.
3. Laat 2 minuten rusten.
4. Meng nogmaals kortstondig om een perfecte viscositeit te verkrijgen.
5. Spuit de rolbak (niet de rol) in met ontkistingsmiddel.
6. Giet de mortelsoort rechtstreeks in de rolbak.

Opmerkingen

- Roer de overblijvende lijm mortel in de emmer nog eens kort om vooraleer u de rolbak hervult.
- Eventuele mortelbaarden kunnen na het aantrekken van de lijm (+/- 60 minuten, afhankelijk van het weer) gemakkelijk afgestoken en afgeborsteld worden.
- Breng de lijm aan met de rolbak op een afgestofte ondergrond.
- Oververhitte of bevroren oppervlaktes mogen niet gelijmd worden.
- Bewaar de lijm in de ongeopende verpakking, beschermd tegen vorst, vocht en extreme temperaturen.

Voordelen

- Roodbruine kleur
- Stofarm (EPR-technologie)
- Lage-temperatuur-lijm mortel

Op aanvraag is er ook POROTHERM Lijm-Systeem lage-temperatuur-lijm mortel te verkrijgen, die u kunt verwerken bij temperaturen van 0° tot 12°C. De technische eigenschappen van deze lijm zijn wel enigszins verschillend.



Februari 2012.

- Dit document is niet contractueel en vernietigt alle voorgaande publicaties. De fabrikant behoudt zich het recht voor om het productengamma of de productkarakteristieken te wijzigen. De gebruiker dient zich ervan te vergewissen steeds te beschikken over de meest recente beschrijvende tekst.
- Er wordt geen garantie verleend op volledigheid. Daar wij het specifieke gebruik, het respect voor de regels der kunst, de verwerking, de hoedanigheid van de mortels en de weersomstandigheden niet kunnen beoordelen, kan hierbij geen aansprakelijkheid aanvaard worden op grond van deze beschrijvende tekst.
- Niets uit deze tekst mag zonder onze toestemming worden veranderd.

Mise en œuvre du mortier-colle

Compte tenu de la faible quantité nécessaire par m² de maçonnerie, il est recommandé de préparer le mortier-colle dans un seau (ou une petite cuvette à mortier). Vous limiterez ainsi les risques de dessiccation et faciliteriez le versement du mortier-colle dans le rouleau. Ajoutez toujours la poudre sèche à l'eau et non l'inverse.

Méthode de préparation du mortier-colle:

1. Prévoyez 6,5 à 7,5 litres d'eau pour 25 kg de poudre.
La quantité d'eau dépend notamment des conditions climatiques et du degré d'absorption des blocs (secs – humidifiés).
2. Mélangez la poudre et l'eau pendant 3 minutes à l'aide d'un malaxeur à mortier jusqu'à obtention d'une pâte homogène, sans grumeaux.
3. Laissez reposer 2 minutes.
4. Remélangez vigoureusement pour obtenir une viscosité parfaite.
5. Pulvérisez un agent de décoffrage dans le bac du rouleau (pas sur le rouleau enducteur).
6. Versez directement le mortier dans le rouleau.

Remarques

- Remélangez brièvement le mortier-colle restant dans le seau avant tout nouveau remplissage du rouleau.
- Les bavures de mortier éventuelles s'éliminent et se brossent facilement après tirage de la colle (environ 60 min, selon les conditions climatiques).
- Appliquez la colle avec le rouleau sur un support dépoussiéré.
- Les surfaces gelées ou surchauffées ne peuvent pas être collées.
- Conservez la colle dans son emballage non-ouvert, et protégez-le du gel, de l'humidité et des températures extrêmes.

Avantages

- Teinte rouge-brun
- Faible dégagement de poussière (technologie EPR)
- Mortier-colle basse température

Sur demande, il est également possible d'obtenir du mortier-colle basse température POROTHERM Système-Collage, qui peut être mis en œuvre à des températures comprises entre 0° et 12°C. Les propriétés techniques de cette colle sont toutefois légèrement différentes.





Février 2012.

- Ce document n'est pas contractuel, il annule et remplace les publications précédentes. Le fabricant se réserve le droit de modifier la gamme de produits ou les caractéristiques des produits. L'utilisateur doit s'assurer d'être en possession de la dernière version du texte descriptif.
- On ne peut pas garantir l'intégralité de ce document, car il nous est impossible de juger de l'usage spécifique, du respect du savoir-faire, de la mise en œuvre, de la qualité du mortier utilisé et des conditions atmosphériques. C'est pourquoi nous ne pouvons être tenus responsables de l'utilisation sur base de ce texte descriptif.
- Aucune modification n'est tolérée sans notre autorisation préalable.

sa Wienerberger nv - Kapel ter Bede 121 - BE 8500 Kortrijk
T +32 56 24 96 35 - F +32 56 22 87 11 - info@wienerberger.be - www.wienerberger.be



BIJLAGE G: TEST-REPORTS MORTEL/LIJMMORTEL

Organisatie: 	TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op verharde mortel/lijmmortel	Uitgavedatum NBN EN 1015-11 8/10/1999 Proef nr.: B Datum proef: 10/04/2017
Metselsteen karakteristieken		
Type:	<i>Mortel</i>	
Gebruikt voor proefopstelling:	Specimen (1 tem 5) van HCMn en HYMn-6	
Datum afname deelmonster:	3/03/2017	
Aard mortel/lijm:	Voorgemengde metselmortel voor algemene toepassing (type G): <ul style="list-style-type: none"> - Bindmiddelen: samengesteld Portlandcement volgens EN 197 - Granulaten: afgezeefd en hersamengesteld zand 0/4 volgens EN 13139 - -Hulpstoffen: Specifieke toeslagstoffen om de verwerkbaarheid, waterretentie en de kleefeigenschappen te verbeteren. 	
Aanduiding mortel/lijm:	Mur 12/4	
Aantal proefstuk:	3	
Ouderdom mortel/lijm op ogenblik proef:	38 dagen	
		
Testresultaten		
Naam	Bezwijkbelasting Buigproef [kN]	Druksterkte [N/mm ²]
M-BB-YB-1	1,87	22,06
		22,06
M-BB-YB-2	1,64	26,08
		25,31
M-BB-YB-3	1,84	18,45
		16,83
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		21,80
Variatiecoëfficiënt [%]		16,76
Opmerkingen:		
/		

Organisatie: 	TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op verharde mortel/lijmmortel	Uitgavedatum NBN EN 1015-11 8/10/1999 Proef nr.: B Datum proef: 29/03/2017
--	---	---

Metselsteen karakteristieken

Type:	<i>Mortel</i>
Gebruikt voor proefopstelling:	Alle specimen (1 tem 6) van HB en CB
Datum afname deelmonster:	24/02/2017
Aard mortel/lijm:	Voorgemengde metselmortel voor algemene toepassing (type G): <ul style="list-style-type: none"> - Bindmiddelen: samengesteld Portlandcement volgens EN 197 - Granulaten: afgezeefd en hersamengesteld zand 0/4 volgens EN 13139 - -Hulpstoffen: Specifieke toeslagstoffen om de verwerkbaarheid, waterretentie en de kleefeigenschappen te verbeteren.
Aanduiding mortel/lijm:	Mur 12/4
Aantal proefstuk:	3
Ouderdom mortel/lijm op ogenblik proef:	33 dagen







Testresultaten


Naam	Bezwijkbelasting Buigproef [kN]	Druksterkte [N/mm ²]
M-BB-YB-1	1,64	15,72
		20,12
M-BB-YB-2	1,17	18,71
		16,64
M-BB-YB-3	1,28	27,02
		Gefaald
Gemiddelde druksterkte [N/mm ²]		19,64
Variatiecoëfficiënt [%]		20,4

Opmerkingen:


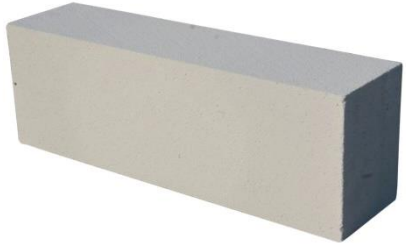
Deze mortel was niet verdicht. Hierdoor zijn de resultaten niet standvastig.





Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op verharde mortel/lijmmortel	Uitgavedatum NBN EN 1015-11 8/10/1999 Proef nr.: B Datum proef: 29/03/2017
Metselsteen karakteristieken			
Type:	<i>Mortel</i>		
Gebruikt voor proefopstelling:	Alle specimen (1 tem 6) van CYMn Specimen (1 tem 5) van HYMn en HCMn-6		
Datum afname deelmonster:	27/02/2017		
Aard mortel/lijm:	Voorgemengde metselmortel voor algemene toepassing (type G): - Bindmiddelen: samengesteld Portlandcement volgens EN 197 - Granulaten: afgezeefd en hersamengesteld zand 0/4 volgens EN 13139 - -Hulpstoffen: Specifieke toeslagstoffen om de verwerkbaarheid, waterretentie en de kleefeigenschappen te verbeteren.		
Aanduiding mortel/lijm:	Mur 12/4		
Aantal proefstuk:	3		
Ouderdom mortel/lijm op ogenblik proef:	30 dagen		
			
Testresultaten			
Naam	Bezwijkbelasting Buigproef [kN]	Druksterkte [N/mm²]	
M-BB-YB-1	1,43	26,95	
		26,86	
M-BB-YB-2	1,38	24,83	
		23,82	
M-BB-YB-3	1,32	24,09	
		21,19	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		24,62	
Variatiecoëfficiënt [%]		8,74	
Opmerkingen:			
/			





Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op verharde mortel/lijmmortel	Uitgavedatum NBN EN 1015-11 8/10/1999 Proef nr.: G1 Datum proef: 29/03/2017
Metselsteen karakteristieken			
Type:	<i>Lijmmortel</i>		
Gebruikt voor proefopstelling:	Alle specimen (1 tem 6) van HC_15_Mg, HCMg en HYMg		
Datum afname deelmonster:	24/02/2017		
Aard mortel/lijm:	Lijmmortel met hoge prestaties (T) om te gebruiken in buitenomstandigheden die onderworpen zijn aan structurele eisen:		
	Druksterkte:	Categorie M15	
	Initiële schuifweerstand:	0,3 N/mm ²	
Aanduiding mortel/lijm:	Porotherm lijmmortel		
Aantal proefstuk:	1		
Ouderdom mortel/lijm op ogenblik proef:	33 dagen		
			
Testresultaten			
Naam	Bezwijkbelasting Buigproef [kN]	Druksterkte [N/mm²]	
G1	1,1	17,7	
		16,9	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		17,3	
Variatiecoëfficiënt [%]		1,5	
Opmerkingen:			
/			





Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op verharde mortel/lijmmortel	Uitgavedatum NBN EN 1015-11 8/10/1999 Proef nr.: G1 Datum proef: 29/03/2017
Metselsteen karakteristieken			
Type:	<i>Lijmmortel</i>		
Gebruikt voor proefopstelling:	Alle specimen (1 tem 6) van CC_15_Mg en CCMg		
Datum afname deelmonster:	24/02/2017		
Aard mortel/lijm:	Lijmmortel met hoge prestaties (T) om te gebruiken in buitenomstandigheden die onderworpen zijn aan structurele eisen:		
	Druksterkte:	Categorie M15	
	Initiële schuifweerstand:	0,3 N/mm ²	
Aanduiding mortel/lijm:	Porotherm lijmmortel		
Aantal proefstuk:	1		
Ouderdom mortel/lijm op ogenblik proef:	33 dagen		
			
Testresultaten			
Naam	Bezwijkbelasting Buigproef [kN]	Druksterkte [N/mm²]	
G1	1,1	22,0	
		20,0	
Gemiddelde druksterkte [N/mm ²]		21,0	
Variatiecoëfficiënt [%]		2,9	
Opmerkingen:			
/			

BIJLAGE H: TEST-REPORTS ENKELE STENEN



Organisatie: 		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op individuele metselsteen			Uitgavedatum NBN EN 772-1: 24/07/2015 Proef nr.: Y Datum proef: 07/03/2017	
Metselsteen karakteristieken						
Type:		Cellenbetonsteen				
Afkomst:		YTONG				
Benaming:		Gamma Ytong kimblokken (gehydrofobeerd#)				
Aantal proefstuk:		6				
Datum ontvangst metselstenen in labo:		20/02/2017				
						
Fabricage-maten L x B x H	Volumieke massa [kg/m ³]		Lambda waarden [W/mK]	Gemiddelde druksterkte [N/mm ²]	Karakteristieke druksterkte Ytong eerste laag	Elasticiteitscoëfficiënt E [N/mm ²]
	Droog- gewicht	Reken- gewicht	λ_{ui}	f_b	f_k	
600 x 150 x 200 mm	450-500	535	0,125	4,5	3,0	3000
Methode van conditionering:			Conditie in droge lucht: a) De stenen waren voor minsten 14 dagen opgeslagen in het labo met: Temperatuur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ Relatieve vochtigheid $\leq 65\%$			
Methode voor oppervlakte voorbereiding:			Vlakgeslepen			
Testresultaten						
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Afmetingen [mm]			Druksterkte [N/mm ²]	E-modulus [N/mm ²]
		L	B	H		
Y1	145,6	298	150	200	3,2	798,7
Y2	141,6	300	150	200	3,1	822,4
Y3	165,1	302	150	200	3,6	899,3
Y4	161,3	301	150	200	3,5	689,0
Y5	141,3	301	150	200	3,1	882,2
Y6	162,1	300	150	200	3,6	954,4
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]					3,4	
Gemiddelde E-modulus [N/mm²]					841,0	
Variatie coëfficiënt [%]:					7,2	
Standaardafwijking:					0,2	
Genormaliseerde druksterkte [N/mm²]:					4,2	
Opmerkingen:						
/						

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op individuele metselsteen			Uitgavedatum NBN EN 772-1: 24/07/2015 Proef nr.: C10 Datum proef: 07/03/2017			
Metselsteen karakteristieken								
Type:		<i>Kleisteen C10</i>						
Afkomst:		Wienerberger						
Benaming:		POROTHERM PLS 500 10N						
Aantal proefstuk:		6						
Datum ontvangst metselstenen in labo:		20/02/2017						
								
Fabricage-maten L x B x H	Tolerantie /spreiding	Netto- gewicht	Lambda waarden [W/mK]			DoP nr.	Gem. bruto volume- massa	Cate- gorie
			$\lambda_{10,dry,50/50}$	$\lambda_{10,dry,90/90}$	λ_{ui}			
500 x 138 x 184 mm	T1+/R1+	10,8 kg	0,23	0,24	0,26	12593310- B1W1262	850 kg/m ³	D1
Methode van conditionering:			Conditie in droge lucht: a) De stenen waren voor minsten 14 dagen opgeslagen in het labo met: Temperatuur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ Relatieve vochtigheid $\leq 65\%$					
Methode voor oppervlakte voorbereiding:			Vlakgeslepen					
Testresultaten								
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Afmetingen [mm]			Druksterkte [N/mm ²]	E-modulus [N/mm ²]		
		L	B	H				
C10-1	430,1	250	184	134	12,8	3473,9		
C10-2	470,0	233	184	134	15,1	4073,2		
C10-3	424,3	233	184	134	13,6	4000,5		
C10-4	386,1	233	184	134	12,4	3273,7		
C10-5	435,6	250	184	134	13,0	4055,0		
C10-6	449,9	233	184	134	14,4	4017,0		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]					13,5			
Gemiddelde E-modulus [N/mm²]					3815,6			
Variatie coëfficiënt [%]:					7,5			
Standaardafwijking:					1,0			
Genormaliseerde druksterkte [N/mm²]:					13,5			
Opmerkingen:								
/								





Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op individuele metselsteen				Uitgavedatum NBN EN 772-1: 24/07/2015 Proef nr.: C15 Datum proef: 07/03/2017		
Metselsteen karakteristieken								
Type:			Kleisteel C15					
Afkomst:			Wienerberger					
Benaming:			POROTHERM PLS 500 15N					
Aantal proefstuk:			6					
Datum ontvangst metselstenen in labo:			20/02/2017					
								
Fabricage-maten L x B x H	Tolerantie /spreiding	Netto- gewicht	Lambda waarden [W/mK]			DoP nr.	Gem. bruto droge volume- massa	Cate- gorie
			$\lambda_{10,dry,50/50}$	$\lambda_{10,dry,90/90}$	λ_{ui}			
500 x 138 x 184 mm	T1+/R1+	10,8 kg	0,,23	0,24	0,26	12594310- B1W1262	850 kg/m ³	D1
Methode van conditionering:				Conditie in droge lucht: a) De stenen waren voor minsten 14 dagen opgeslagen in het labo met: Temperatuur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ Relatieve vochtigheid $\leq 65\%$				
Methode voor oppervlakte voorbereiding:				Vlakgeslepen				
Testresultaten								
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Afmetingen [mm]			Druksterkte [N/mm ²]	E-modulus [N/mm ²]		
		L	B	H				
C15-1	586,6	233	184	134	18,8	5761,6		
C15-2	645,7	250	184	134	19,3	6691,8		
C15-3	597,0	233	184	134	19,1	4786,6		
C15-4	601,5	250	184	134	18,0	5328,5		
C15-5	606,9	233	184	134	19,4	5338,6		
C15-6	524,2	250	184	134	15,6	4570,0		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]					18,4			
Gemiddelde E-modulus [N/mm²]					5412,8			
Variatie coëfficiënt [%]:					7,8			
Standaardafwijking:					1,4			
Genormaliseerde druksterkte [N/mm²]:					18,4			
Opmerkingen:								
/								

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op individuele metselsteen			Uitgavedatum NBN EN 772-1: 24/07/2015 Proef nr.: B Datum proef: 11/03/2017	
Metselsteen karakteristieken						
Type:			<i>Betonsteen</i>			
Afkomst:			Paesen betonfabriek NV			
Benaming:			H.B. – 290 x 140 x 190 HOL/CREUX Betonmetselstenen van Categorie I Groep 2 voor EN 1996-1-1			
Aantal proefstuk:			6			
Datum ontvangst metselstenen in labo:			20/02/2017			
						
Fabricage-maten L x B x H	Tolerantie /spreiding	Netto- gewicht	Druksterkte [N/mm²]			
			Karakteristiek	Gemiddelde	Genormaliseerde	
290 x 140 x 190	D2	1500 kg/m ³	10,5	12,4	15,0	
Methode van conditionering:			Conditie in droge lucht: a) De stenen waren voor minsten 14 dagen opgeslagen in het labo met: Temperatuur $\geq 15^{\circ}\text{C}$ Relatieve vochtigheid $\leq 65\%$			
Methode voor oppervlakte voorbereiding:			Vlakgeslepen			
Testresultaten						
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Afmetingen [mm]			Druksterkte [N/mm ²]	E-modulus [N/mm ²]
		L	B	H		
B1	669,1	290	140	190	16,8	/
B2	493,5	290	140	190	12,4	6645,3
B3	630,1	290	140	190	15,9	6210,6
B4	369,5	290	140	190	9,3	/
B5	573,5	290	140	190	14,4	/
B6	636,9	290	140	190	16,0	/
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]					14,1	
Gemiddelde E-modulus [N/mm²]					6427,9	
Variatie coëfficiënt [%]					20,2	
Standaardafwijking					2,9	
Genormaliseerde druksterkte [N/mm²]:					17,5	
Opmerkingen:						
Omwille van onnauwkeurige meetresultaten van de LVDT's kon de E-modulus niet exact bepaald worden.						





BIJLAGE I: TEST-REPORTS DUBBELE STENEN

Organisatie: 		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK <h2 style="text-align: center;">Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen</h2>		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: CB Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		<i>Betonsteen + cellenbeton met mortel</i>			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	48 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]²:</i>		288 x 138 x 402	
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>		2	
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:			Cellenbeton : 145 dagen Betonsteen : 151 dagen		
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteits-modulus [N/mm ²]	
CB-1	119,0	39744	3,0	2149,4	
CB-2	110,3	39744	2,8	1770,1	
CB-3	145,5	39744	3,7	1862,9	
CB-4	98,0	39744	2,5	1770,1	
CB-5	130,5	39744	3,3	1913,0	
CB-6	117,0	39744	2,9	2076,2	
Analyse resultaten					
		Stenen		Mortel	
		<i>Cellenbeton</i>	<i>Betonsteen</i>		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]:		3,4	14,1	19,6	
Variatie coëfficiënt [%]:		7,2	20,2	20,4	
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]:		3,0			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]:		2,4			
Gemiddelde E-modulus:		1923,6			
Standaardafwijking:		0,41			
α-factor :		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]:		2,1			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]:		3,2			
Opmerkingen:					
/					





² Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 12mm. De breedte en lengte van het proefstuk is deze van de bovenste steen. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: CC-15-Mg Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		Kleisteen C15 + Cellenbeton met lijm			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>		48 dagen	
		<i>Luchttemperatuur:</i>		≥ 15°C	
		<i>Luchtvochtigheid:</i>		≤ 65 %	
Aantal proefstukken:		3			
Beschrijving proefstukken					
		Afmetingen L x B x H [mm] ³ :		250 x 134 x 387	
		Aantal gemetselde lagen:		2	
		Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:				Cellenbeton: 145 dagen Kleisteen: 665 dagen	
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belaste oppervlak [mm²]	Druksterkte [N/mm²]	Elasticiteits-modulus [N/mm²]	
CC-15-Mg-1	109,3	33500	3,3	1798,3	
CC-15-Mg-2	127,3	33500	3,8	2036,4	
CC-15-Mg-3	105,5	31222	3,4	2461,0	
Analyse resultaten					
		Stenen		Lijm	
		Cellenbeton	Kleisteen		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,4	18,4	21,0	
Variatie coëfficiënt [%]		7,2	7,8	2,9	
Metselwerk					
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,5			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		2,9			
Gemiddelde E-modulus:		2098,6			
Standaardafwijking:		0,28			
α-factor		/			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		/			
		Cellenbeton		Kleisteen	
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		2,7		5,1	
Opmerkingen:					
/					





³Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 3mm. De breedte en lengte van het proefstuk is deze van de bovenste steen. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: CCMg Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		Kleisteen C10 + Cellenbeton met lijm			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	48 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		Afmetingen L x B x H [mm]⁴:		250 x 134 x 387	
		Aantal gemetselde lagen:		2	
		Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:		Cellenbeton: 145 dagen Kleisteen: 195 dagen			
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
CCMg-1	110,5	33500	3,3	2448,5	
CCMg-2	101,3	31222	3,2	1814,1	
CCMg-3	107,0	33500	3,2	1688,9	
CCMg-4	116,5	33500	3,5	1917,7	
CCMg-5	86,3	33500	2,6	1987,6	
CCMg-6	103,3	31222	3,3	1994,5	
Analyse resultaten					
		Stenen		Lijm	
		Cellenbeton	Kleisteen		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,4	13,5	21,0	
Variatie coëfficiënt [%]		7,2	7,5	2,9	
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,2			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		2,6			
Gemiddelde E-modulus:		1975,2			
Standaardafwijking:		0,31			
α-factor		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		2,5			
		Cellenbeton		Kleisteen	
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		2,7		4,0	
Opmerkingen:					
/					





⁴ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 3mm. De breedte en lengte van het proefstuk is deze van de bovenste steen. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: CCMn Datum proef: 14/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		Kleisteen C10 + Cellenbeton met mortel			
Datum bouw proefstukken:		27/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		Tijdsduur:	46 dagen		
		Luchttemperatuur:	≥ 15°C		
		Luchtvochtigheid:	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		Afmetingen L x B x H [mm]⁵:		250 x 134 x 396	
		Aantal gemetselde lagen:		2	
		Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:		Cellenbeton: 145 dagen Kleisteen: 196 dagen			
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
CCMn-1	108,3	33500	3,2	2063,9	
CCMn-2	88,8	31222	2,8	1758,8	
CCMn-3	80,0	31222	2,6	1237,4	
CCMn-4	78,5	33500	2,3	1784,5	
CCMn-5	93,8	33500	2,8	1847,0	
CCMn-6	66,3	33500	2,0	1779,9	
Analyse resultaten					
		Stenen		Mortel	
		Cellenbeton	Kleisteen		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,4	13,5	24,6	
Variatie coëfficiënt [%]		7,2	7,5	8,7	
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		2,6			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		2,0			
Gemiddelde E-modulus:		1745,2			
Standaardafwijking:		0,44			
α-factor		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		1,7			
		Cellenbeton			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		3,4			
Opmerkingen: /					





⁵ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 12mm. De breedte en lengte van het proefstuk is deze van de bovenste steen. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HB Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		<i>Betonsteen + Betonteen met mortel</i>			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	48 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]⁶:</i>	288 x 138 x 392		
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>	2		
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>	Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat		
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:		151 dagen			
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteits-modulus [N/mm ²]	
HB-1	493,5	39744	12,4	7850,7	
HB-2	484,3	39744	12,2	8529,0	
HB-3	546,5	39744	13,8	9981,8	
HB-4	597,3	39744	15,0	/	
HB-5*	/	/	/	/	
HB-6*	/	/	/	/	
Analyse resultaten					
		Stenen	Mortel		
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		14,1	19,6		
Variatie coëfficiënt [%]		20,2	20,4		
Metselwerk					
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		13,3			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		10,9			
Gemiddelde E-modulus		8787,2			
Standaardafwijking		1,32			
α-factor		/			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		/			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		8,1			
Opmerkingen:					
* Er moet wel vermeld worden dat er hier slechts vier drukproeven uitgevoerd zijn omdat de intensiteit van het falen gevolgen zou kunnen gehad hebben voor de meetapparatuur en de persoon die de test uitvoerde.					



⁶ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 12mm. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HC-15-Mg Datum proef: 14/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		Kleisteen C15 + Kleisteen C15 met lijm			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>		49 dagen	
		<i>Luchttemperatuur:</i>		≥ 15°C	
		<i>Luchtvochtigheid:</i>		≤ 65 %	
Aantal proefstukken:		3			
Beschrijving proefstukken					
		Afmetingen L x B x H [mm] ⁷ :		250 x 134 x 380	
		Aantal gemetselde lagen:		2	
		Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:			666 dagen		
Testresultaten					
Naam	Bezwijk-belasting [kN]	Belaste oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteits-modulus [N/mm ²]	
HC-15-Mg-1	444,3	31222	14,2	6420,3	
HC-15-Mg-2	468,5	33500	14,0	6087,6	
HC-15-Mg-3	445,8	31222	14,3	6442,0	
Analyse resultaten					
		Stenen		Mortel	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		18,4			
Variatie coëfficiënt [%]		7,8			
Metselwerk					
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		14,2			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		11,8			
Gemiddelde E-modulus:		6316,6			
Standaardafwijking		0,16			
α-factor		/			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		/			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		5,1			
Opmerkingen:					
/					





⁷ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 12 mm. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HCMg Datum proef: 14/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		<i>Kleisteen C10 + Kleisteen C10 met lijm</i>			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	49 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]⁸:</i>		250 x 134 x 371	
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>		2	
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
<i>Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:</i>			196 dagen		
Testresultaten					
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
HCMg-1	301,8	33500	9,0	3324,5	
HCMg-2	331,3	33500	9,9	3881,8	
HCMg-3	249,0	33500	7,4	3817,0	
HCMg-4	326,0	31222	10,4	4507,9	
HCMg-5	361,3	31222	11,6	4459,4	
HCMg-6	321,0	31222	10,3	3366,4	
Analyse resultaten					
		Stenen		Lijm	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		13,5		17,3	
Variatie coëfficiënt [%]		7,5		1,5	
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		9,8			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		7,4			
Gemiddelde E-modulus		3892,8			
Standaardafwijking		1,41			
α-factor		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		6,7			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		4,0			
Opmerkingen:					
/					





⁸ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 3mm. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie: 		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HCMn Datum proef: 14/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		<i>Kleisteel C10 + Kleisteel C10 met mortel</i>			
Datum bouw proefstukken:		03/03/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	42 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]⁹:</i>		250 x 134 x 280	
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>		2	
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:		196 dagen			
Testresultaten					
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
HCMn-1	Test gefaald	/	/	/	
HCMn-2	181,3	33500	5,4	2418,8	
HCMn-3	179,0	31222	5,7	2793,1	
HCMn-4	253,8	33500	7,6	/	
HCMn-5	87,3	31222	2,8	1830,9	
HCMn-6	208,3	33500	6,2	/	
Analyse resultaten					
		Stenen		Mortel	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		13,5		21,8	
Variatie coëfficiënt [%]		7,5		16,8	
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		5,5			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		2,8			
Gemiddelde E-modulus		2347,6			
Standaardafwijking		1,75			
α-factor		2,34			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		1,5			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		6,0			
Opmerkingen:					
/					

⁹ Dit is slechts een voorbeeld, de precies afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de kolom Belastoppervlak

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HYMg Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		Cellenbeton + Cellenbeton met lijm			
Datum bouw proefstukken:		24/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>	48 dagen		
		<i>Luchttemperatuur:</i>	≥ 15°C		
		<i>Luchtvochtigheid:</i>	≤ 65 %		
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]¹⁰:</i>		300 x 150 x 403	
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>		2	
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:			144 dagen		
Testresultaten					
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
HYMg-1	128,0	44775	2,9	1074,0	
HYMg-2	119,5	44400	2,7	1127,0	
HYMg-3	117,5	44250	2,7	1016,6	
HYMg-4	106,0	45000	2,4	1018,2	
HYMg-5	124,0	44250	2,8	1005,8	
HYMg-6	123,5	45000	2,7	1081,6	
Analyse resultaten					
		Stenen		Lijm	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]			3,4		17,3
Variatie coëfficiënt [%]			7,2		1,5
		Metselwerk			
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		2,7			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		2,3			
Gemiddelde E-modulus:		1053,9			
Standaardafwijking:		0,18			
α-factor		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		2,3			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		2,7			
Opmerkingen:					
/					

¹⁰ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 3mm. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Organisatie:   		TECHNOLOGIECENTRUM DIEPENBEEK Drukproeven op 2 gestapelde metselstenen		Uitgavedatum NBN EN 1052-1: 30/11/1998 Proef nr.: HYMn Datum proef: 13/04/2017	
Proefstuk karakteristieken					
Type:		<i>Cellenbeton + Cellenbeton met mortel</i>			
Datum bouw proefstukken:		27/02/2017			
Omstandigheden uitharding:		<i>Tijdsduur:</i>		45 dagen	
		<i>Luchttemperatuur:</i>		≥ 15°C	
		<i>Luchtvochtigheid:</i>		≤ 65 %	
Aantal proefstukken:		6			
Beschrijving proefstukken					
		<i>Afmetingen L x B x H [mm]¹¹:</i>		300 x 150 x 412	
		<i>Aantal gemetselde lagen:</i>		2	
		<i>Randcondities van het proefstuk in het beproevingsapparaat:</i>		Boven- en onderkant contact met vlakke stalen plaat	
<i>Voor verdere details van de gebruikte stenen en mortel/lijm, zie respectievelijk bijlage H en G.</i>					
Ouderdom stenen op tijdstip van beproeving:		144 dagen			
Testresultaten					
Naam	Bezwijkbelasting [kN]	Belast oppervlak [mm ²]	Druksterkte [N/mm ²]	Elasticiteitsmodulus [N/mm ²]	
HYMn-1	70,0	37050	1,9	784,1	
HYMn-2	101,3	44250	2,3	904,4	
HYMn-3	97,3	44700	2,2	792,0	
HYMn-4	79,8	44250	1,8	787,3	
HYMn-5	105,0	44700	2,3	955,7	
HYMn-6	129,0	45000	2,9	975,1	
Analyse resultaten					
		Stenen		Mortel	
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		3,4		21,8	
Variatie coëfficiënt [%]		7,2		16,8	
Metselwerk					
Gemiddelde druksterkte [N/mm²]		2,2			
Karakteristieke sterkte $f_{k,test}$ [N/mm²]		1,8			
Gemiddelde E-modulus		866,4			
Standaardafwijking		0,38			
α-factor		2,18			
$f_{k,95\%}$ [N/mm²]		1,4			
$f_{k,formule}$ [N/mm²]		3,4			
Opmerkingen:					
/					

¹¹ Voor de hoogte wordt hier uitgegaan van een voegdikte van 12mm. Deze dimensies zijn slechts een voorbeeld, de exacte afmetingen per proefstuk worden verder weergegeven in de tabel van de testresultaten.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Onderzoek naar de invloed van isolerende kimlagen op de stabiliteit van metselwerkmuren

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Jansen, Melissa

Verelst, Stef

Datum: **6/06/2017**