

GEWAPEND METSELWERK

De meeste eengezinswoningen worden in ons land met metselwerk gebouwd. Naargelang van de toepassing (metselwerk in contact met de grond, binnenmetselwerk, parementmetselwerk, ...) en de daarbij van belang zijnde presaties kan men kiezen uit (traditioneel of gelijmd) metselwerk van baksteen, betonblokken, cellenbeton, kalkzandsteen, natuursteen, ... Voortdurend wordt gewerkt aan nieuwe producten met betere eigenschappen. Op constructief vlak blijft de geringe treksterkte het zwakke punt, waardoor meestal een beroep gedaan wordt op andere materialen (bv. gewapend beton) voor lateien, ringbalken, verdeelbalken, ... Met gewapend metselwerk kan men dit probleem op een bijzonder elegante en efficiënte wijze oplossen. In een reeks van twee artikelen zullen we aantonen dat gewapend metselwerk nog andere voordelen biedt, zonder meerkost voor de ruwbouw. In dit eerste deel maken we duidelijk waarom metselwerk wordt gewapend. De verschillende vormen van gewapend metselwerk worden toegelicht. Het tweede deel zal dieper ingaan op de toepassingen en het ontwerp van gewapend metselwerk.

DEEL 1 : MATERIALEN EN UITVOERING

Steven Schaeerlaekens, ir., adjunct-hoofd laboratorium Structuren
 Johan Vyncke, ir., departementshoofd Structuren, Geotechniek en Uitvoeringstechnieken

1 WAAROM METSELWERK WAPENEN ?

1.1 METSELWERK WORDT STEEDS MEER OP TREK BELAST

In theorie is het mogelijk constructies zó te bouwen dat er (bijna) geen trekspanningen of buigspanningen ⁽¹⁾ optreden. De technieken daartoe waren reeds bij onze voorouders bekend (zij het op empirische basis) :

- ◆ massieve muren waarin de eventuele excentriciteit van de belasting beperkt blijft, zo-

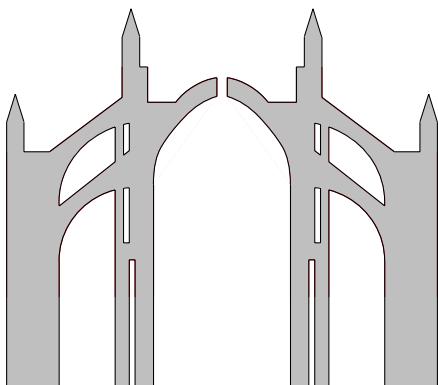
als bijvoorbeeld steunberen met zware pinakels

- ◆ grote lineaire overspanningen (balken) met boogconstructies en oppervlakte-overspanningen (vloeren, daken) met gewelven.

Het is duidelijk dat dergelijke constructies nu niet meer denkbaar zijn omwille van het inefficiënte plaats- en materiaalgebruik. De ontwikkeling van materialen die wel trek kunnen opnemen, zoals staal en gewapend of voorgespannen beton ⁽²⁾, heeft de bogen en gewelven dan ook grotendeels verdrongen.

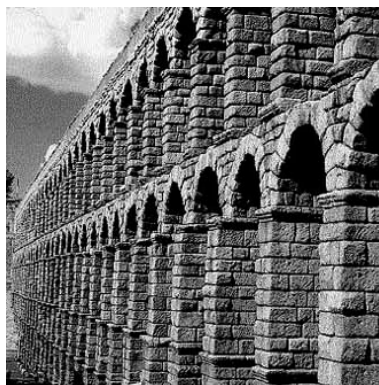
Afb. 1

Massieve muren.



Afb. 2

Boogconstructie.



⁽¹⁾ Aan de getrokken zijde zijn buigspanningen in feite ook trekspanningen.

⁽²⁾ Hout wordt eveneens sinds mensenheugenis gebruikt om vloeren en daken te bouwen. Voor grote overspanningen en/of grote belastingen werd het echter weinig gebruikt; ook de geringe brandweerstand speelde niet in het voordeel van dat materiaal. De eerder recente ontwikkelingen op het gebied van *engineered wood*, zoals gelamelleerd gelijmd hout, zullen hierin misschien een kentering brengen.

Wat de muren betreft, valt ook te noteren dat :

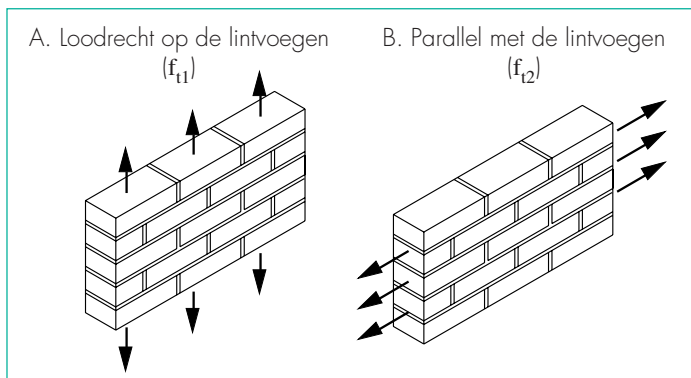
- ◆ ze *steeds slanker* geworden zijn door de afwezigheid van ‘spatkrachten’ afkomstig van de gewelven, de hogere kwaliteit van het metselwerk (oude kalkmortels zijn vervangen door veel sterkere cement- en bastaardmortels), het gebrek aan goedkope werkkrachten, ...
- ◆ ze *steeds meer geperforeerd* werden door de wens van de bouwheer om veel licht binnen te krijgen.

Dit heeft ertoe geleid dat de excentriciteit van de belasting op metselwerkwallen groter is geworden, waardoor ze meer onder ‘trek’ komen te staan (meestal via een buigende belasting). Uiteraard moet het metselwerk de diverse belastingen die erop aangrijpen, nog kunnen dragen zonder deels of volledig te bezwijken : men spreekt van de *bezwijkgrenstoestanden*.

De steeds slankere structuren, opgebouwd uit stijvere materialen, worden ook steeds “fragielier”, d.w.z. gevoeliger voor opgelegde of verhinderde vervormingen (bv. door zettingen van de funderingen of doorbuigingen van dragende balken, door temperatuureffecten, contacten met andere materialen, ...). Men spreekt in dat verband van *gebruiksgrenstoestanden*. Problemen van gebruiksgrenstoestanden in het algemeen en scheurvorming in het bijzonder krijgen hoe langer hoe meer aandacht. Hiervoor zijn verschillende redenen :

- ◆ de aanvaarding van scheurvorming in de gebruiksgrenstoestand door de bouwheer is de laatste jaren sterk achteruitgegaan
- ◆ scheurvorming kan soms nadelig zijn voor de duurzaamheid
- ◆ bij bepaalde metselwerkconstructies (bv. kelder metselwerk) is de vloeistofdichtheid een belangrijk prestatie criterium. Het spreekt voor zich dat scheurvorming in het metselwerk zich kan doorzetten in stijve, waterdichte, inwendige of uitwendige bekoupingen.

Afb. 3 Zuivere treksterkte van het metselwerk.



1.2 DE TREKSTERKTE VAN METSELWERK IS GERING

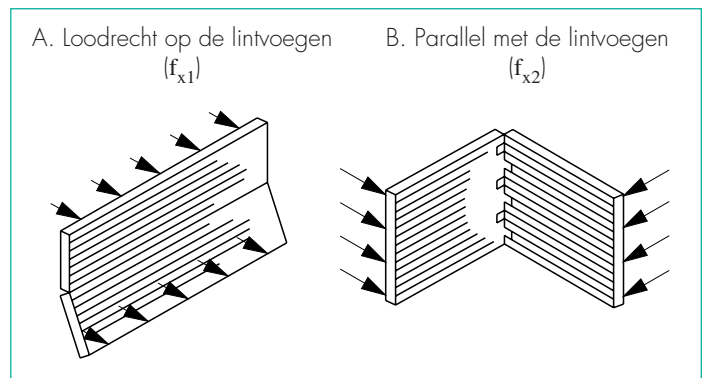
Ongewapend beton en metselwerk zijn steenachtige materialen. Net als andere steenachtige materialen (natuursteen, rots) en grond zijn dergelijke materialen goed in druk, maar een stuk minder goed in trek. Voor beton neemt men als gemiddelde waarde voor de treksterkte meestal 1/10 van de druksterkte. Bovendien is de treksterkte, wegens het heterogene karakter van beton op microschaal, een eigenschap met een grote spreiding.

Bij metselwerk is de waarde van 1/10 meestal zelfs een bovengrens. Door het heterogene karakter van metselwerk op macroschaal, met name de talrijke contactvlakken tussen steen en mortel, is de treksterkte over het algemeen een eigenschap met een zeer grote spreiding. Gezien de vele invloedsfactoren bij de aanhechting tussen steen en mortel – waarvan verschillende afhankelijk zijn van de uitvoering (bv. het vochtgehalte van steen) – geldt hier *a fortiori* dat de treksterkte allerminst een betrouwbare eigenschap is om mee te rekenen.

Men maakt een onderscheid tussen verschillende “soorten” treksterkte :

- ◆ de *zuivere treksterkte* van metselwerk, loodrecht op de lintvoegen, aangeduid als f_{t1} (afbeelding 3A), of parallel met de lintvoegen, aangeduid als f_{t2} (afbeelding 3B). Deze treksterkte is zeer laag en wordt in de praktijk weinig of niet gebruikt
- ◆ de *buigtreksterkte* (of buigsterkte) van metselwerk, loodrecht op de lintvoegen, d.w.z. met scheuren parallel met de lintvoegen, aangeduid als f_{x1} (afbeelding 4A), of parallel met de lintvoegen, d.w.z. met scheuren loodrecht op de lintvoegen, aangeduid als f_{x2} (afbeelding 4B). Deze karakteristieken worden wel bij het ontwerp gebruikt.

Afb. 4 Buigtreksterkte van het metselwerk.



De buigtreksterkte is van belang bij wanden zoals buitenmuren of keldermuren, die loodrecht op hun vlak belast worden, of bij wanden als lateien, die in hun vlak belast worden. Welke van beide sterkten f_{x1} of f_{x2} doorslaggevend is bij het berekenen van een wand, hangt af van de verbindingen met de andere elementen: deze bepalen immers de "richting" van de optredende buigspanningen. Hiervoor verwijzen we naar deel 2 van het artikel (later te verschijnen).

In tegenstelling tot de druksterkte wordt de (buig)treksterkte slechts zelden door de fabrikanten vermeld. Dit is begrijpelijk, omdat deze eigenschap niet enkel afhankelijk is van de sterkte van de stenen, maar ook van de mortel en de interactie tussen beide. De norm NBN ENV 1996-1-1 NAD [5] of Eurocode 6 ⁽³⁾ geeft indicatieve waarden voor de buigtreksterkte (karakteristieke waarde met index k), die in de berekeningen mogen gehanteerd worden, namelijk: $f_{xk1} = 0,25 \text{ N/mm}^2$ en $f_{xk2} = 0,50 \text{ N/mm}^2$. Indien betere proefresultaten voorhanden zijn, mogen die uiteraard gebruikt worden. De waarde f_{xk1} mag men wel enigszins verhogen, indien een zekere drukspanning in de wand heerst wegens permanente belastingen (zie deel 2).

1.3 OPLOSSING : HET METSELWERK WAPENEN

Bij beton zijn ze er al sinds het einde van de XIX^{de} eeuw uit geraakt. Iedereen kent de *success story* van het gewapend beton, en later van het voorgespannen beton. In navolging van deze materialen heeft zich vanaf de jaren 1950 ook het gewapend metselwerk (en nu de laatste jaren eveneens het voorgespannen metselwerk) ontwikkeld. Eurocode 6 onderscheidt een groot aantal mogelijke vormen (zie afbeelding 5).

Grosso modo kan men binnen het gewapende metselwerk twee "stromingen" onderscheiden.

□ In België en een aantal omringende landen heeft de ontwikkeling zich vooral toegespitst op het wapenen van de lintvoegen, voornamelijk onder impuls van de firma *Bekaert*. Ook het WTCB heeft zijn steentje bijgedragen in die beginjaren dankzij onderzoek en publicaties [9, 10]. Het spreekt voor zich dat er een

goede hechting moet zijn tussen de wapening en het metselwerk, anders kan zich geen kracht ontwikkelen in de wapening en dient ze voor niets. Het is echter bekend dat de aanhechting van (metsel)mortel met staal een stuk minder goed is dan de aanhechting van beton met staal. Dit probleem heeft men kunnen oplossen door middel van *geprefabriceerde wapeningselementen* ⁽⁴⁾, die dwarswapening bevatten.

□ Gezien de grote bekendheid en ruime verspreiding van dit soort wapening in ons land lijkt het alsof dit effectief de enige soort gewapend metselwerk is. In de Verenigde Staten maar ook in Europa, en dan vooral in de Angelsaksische landen, wordt nochtans gewapend metselwerk uitgevoerd op verschillende andere wijzen, die echter allemaal gemeen hebben dat een *lokaal betonelement* wordt gevormd. Meestal vormt het metselwerk, door de wijze waarop het gestapeld is of door de vorm van de holten, een (verloren) bekisting voor een kolom, een balk of een trekband, bestaande uit gewoon betonstaal omhuld met (micro)beton. De berekening van dergelijk metselwerk, dat in dit artikel niet aan bod komt, vertoont trouwens veel gelijkenis met die van beton.

VOOR- EN NADELEN VAN PREFAB LINTVOEGWAPENING

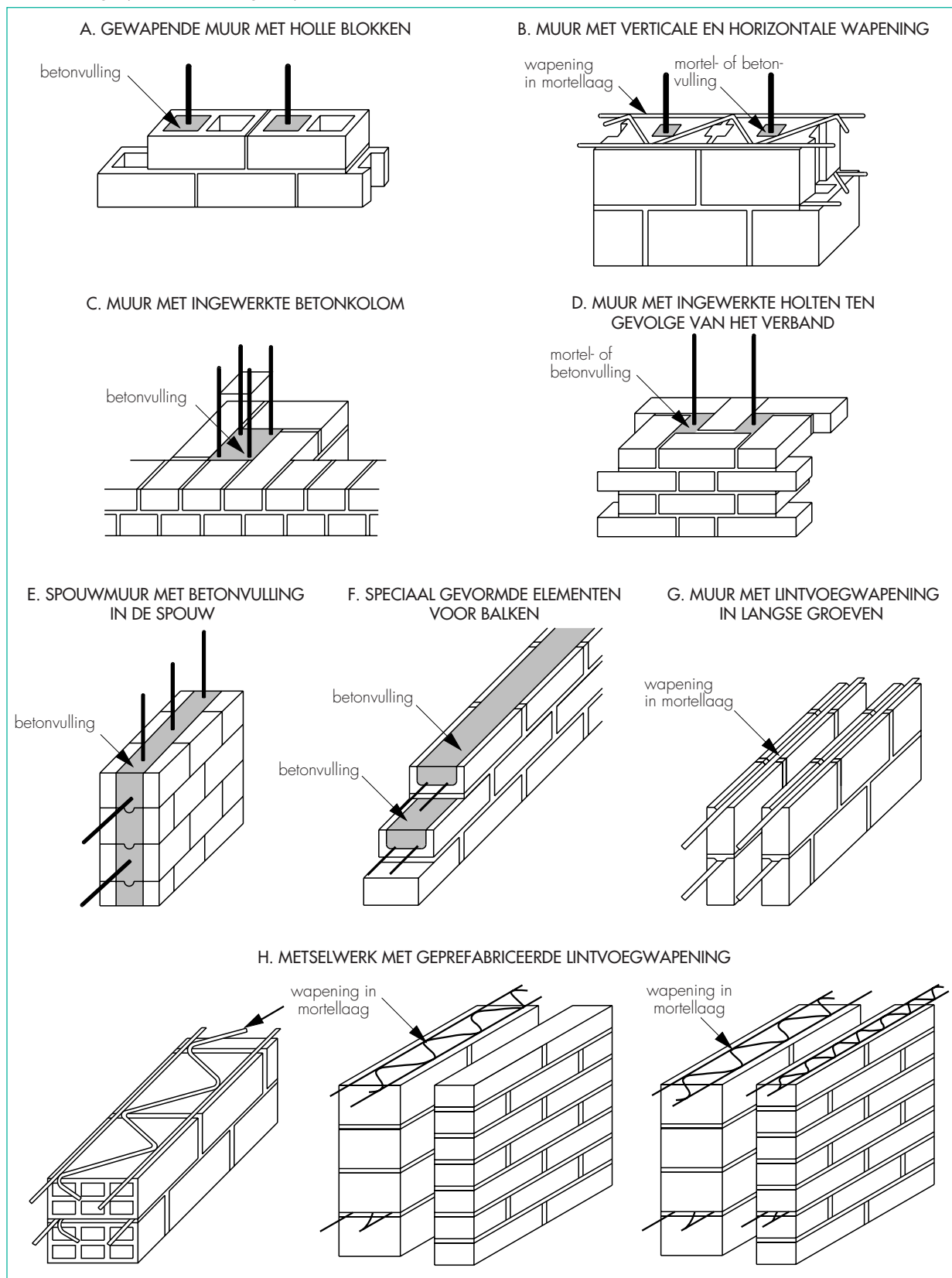
Beide delen van dit artikel handelen enkel over geprefabriceerde lintvoegwapening, hetgeen in België de meest voorkomende vorm van gewapend metselwerk is. De voordelen ervan ten opzichte van de andere vormen zijn talrijk:

- ◆ de elementen kunnen in de aanwezige voegen geplaatst worden. Het is dus helemaal niet nodig de vorm van de gebruikte stenen of blokken aan te passen, noch de manier waarop het metselwerk wordt uitgevoerd
- ◆ er is slechts een minimale extra arbeid vereist
- ◆ er moet geen (micro)beton of mortel apart worden aangemaakt
- ◆ bij toepassing als latei, dragende wand, ringbalk, ... kan in veel gevallen het gebruik van ter plaatse gestort beton vermeden worden. Betonelementen vormen in een dragende structuur van metselwerk immers meestal storende en tijdrovende activiteiten
- ◆ door een aangepaste keuze van de uitvoering is de duurzaamheid verzekerd.

⁽³⁾ De norm NBN ENV 1996-1-1 NAD vervangt de Belgische norm NBN B 24-301. Hij bundelt de Belgische omzetting van Eurocode 6 (ENV 1996-1-1) en het bijhorende NAD (nationaal aanwendingsdocument). Voor meer informatie over de Eurocodes in het algemeen en Eurocode 6 in het bijzonder verwijzen we naar deel 2 van dit artikel.

⁽⁴⁾ Ook geprefabriceerde lintvoegwapening genoemd (in het Engels: *prefabricated bed joint reinforcement*).

Afb. 5 Mogelijke vormen van gewapend metselwerk.

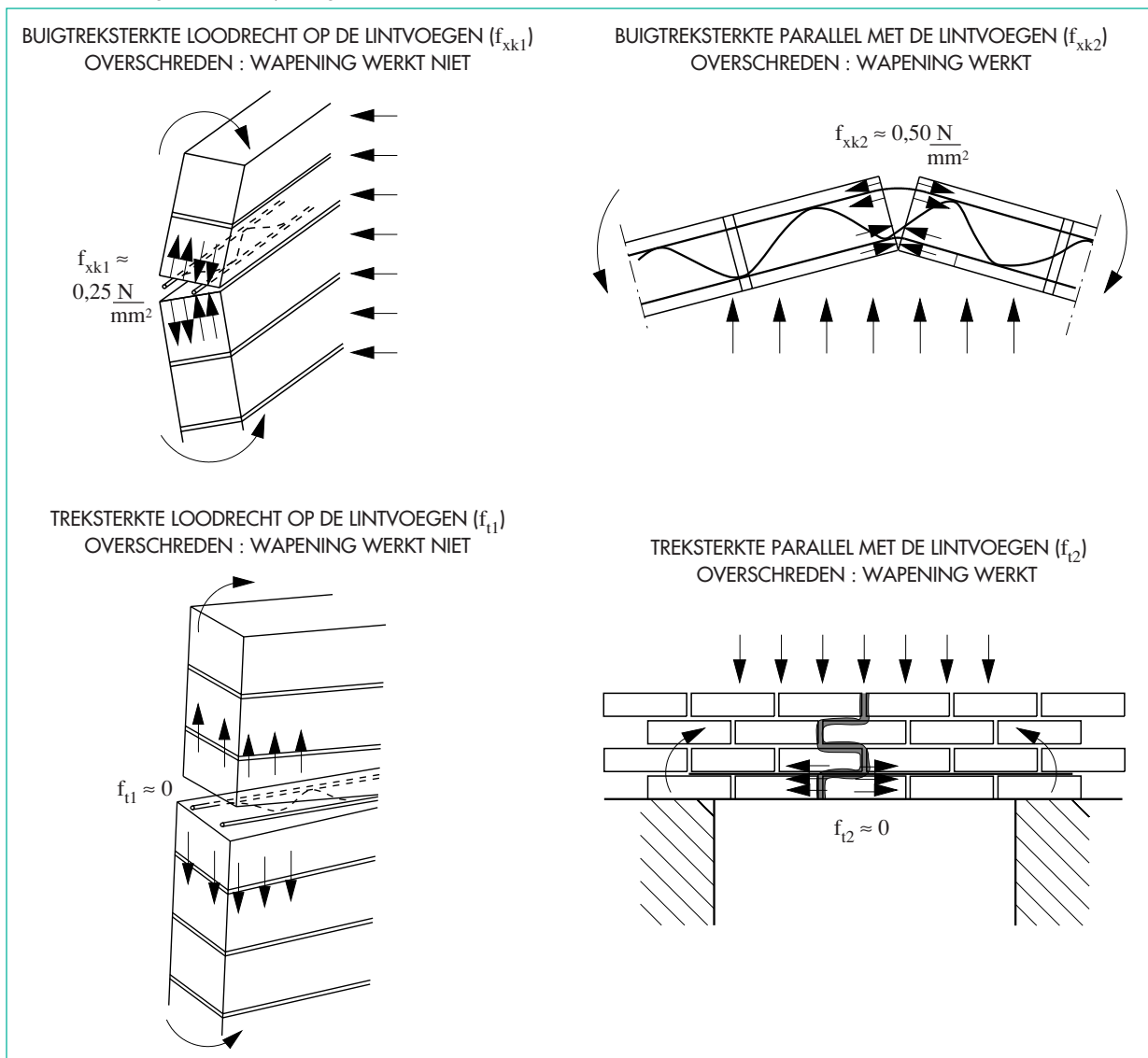


Ten opzichte van de andere types gewapend metselwerk zijn er vanzelfsprekend ook nadelen.

□ Elk element vereist steeds een vaste hoe-

veelheid wapening. Prefab wapeningselementen hebben immers een vaste diameter, en de tussenafstand wordt bepaald door de hoogte van de stenen of blokken. In de praktijk blijkt dit echter niet zo'n probleem te zijn : door de

Afb. 6 Werking van de wapening in metselwerk.



keuze van het totaal aantal wapeningselementen, van de tussenafstand van de te wapenen voegen, en eventueel door het plaatsen van twee elementen naast elkaar in dezelfde voeg, blijkt de regelmatigheid voldoende.

De wapening kan slechts in één richting aangebracht worden. In België is dat steeds horizontaal; de wapening werkt dan ook enkel in die richting. Dit is een groter probleem. In de praktijk zijn veel belastingen (of overspanningen) wel precies in de richting van de wapeningen gericht. Maar bepaalde constructies zoals tuinmuren, ongeschoorde kopgevels (vóór het plaatsen van het dakgebint), waar enkel spanningen loodrecht op de lintvoegen optreden, kunnen eigenlijk niet versterkt worden door lintvoegwapening. De wapening moet in feite de optredende scheur(en) overbruggen om effectief te zijn. Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 6.

De wapening dient beschermt te worden tegen corrosie, vermits de beschermende werking van mortel (bv. tegen carbonatatie) beperkt is.

2 OVERZICHT VAN DE PRODUCTEN

2.1 NORMALISATIE EN CERTIFICATIE

We beperken ons hier tot de normering van producten voor gewapend metselwerk door middel van geprefabriceerde wapening. De rekennormen zullen in Deel 2 besproken worden.

Er bestaat momenteel geen Belgische productnorm of vergelijkbaar document voor metselwerkwapening. Hierdoor kan de wapening

geen BENOR-merk dragen ⁽⁵⁾. In opdracht van de Europese Commissie wordt door het *Comité Européen de Normalisation* (CEN) de productnorm prEN 845-3 [6] uitgewerkt. Deze zal als basis dienen voor de Europese certificatie. Binnen enkele jaren zal metselwerkwapening dan ook verplicht het CE-merk dragen om (vrij) te kunnen verhandeld worden in de landen van de Europese Unie. Deze Europese ontwerp-norm bevat belangrijke eisen, waaraan wapeningselementen moeten voldoen.

□ Voor *langsdraden* moet de fabrikant de gewaarborgde karakteristieke vloeisterkte declareren. Die mag echter niet minder dan 500 N/mm² bedragen. Daarnaast dient de ductiliteitsklasse aangegeven te worden; afhankelijk van deze klasse zijn mechanische prestaties vereist (tabel 1).

Tabel 1 Mechanische prestaties van langsdraden.

DUCTILITEITS- KLASSE	BREUKREK (%)	VERHOUDING TREKSTERKTE/VLOEISTERKTE
Hoog	> 5	> 1,08
Normaal	> 2,5	> 1,05
Laag	geen eis (fabrikant declareert de waarde)	

□ Indien *dwarstaven* bijdragen tot de sterkte van de wapening, dient de fabrikant ook de gewaarborgde karakteristieke vloeisterkte te declareren. Opnieuw moet een waarde van minstens 500 N/mm² gehaald worden.

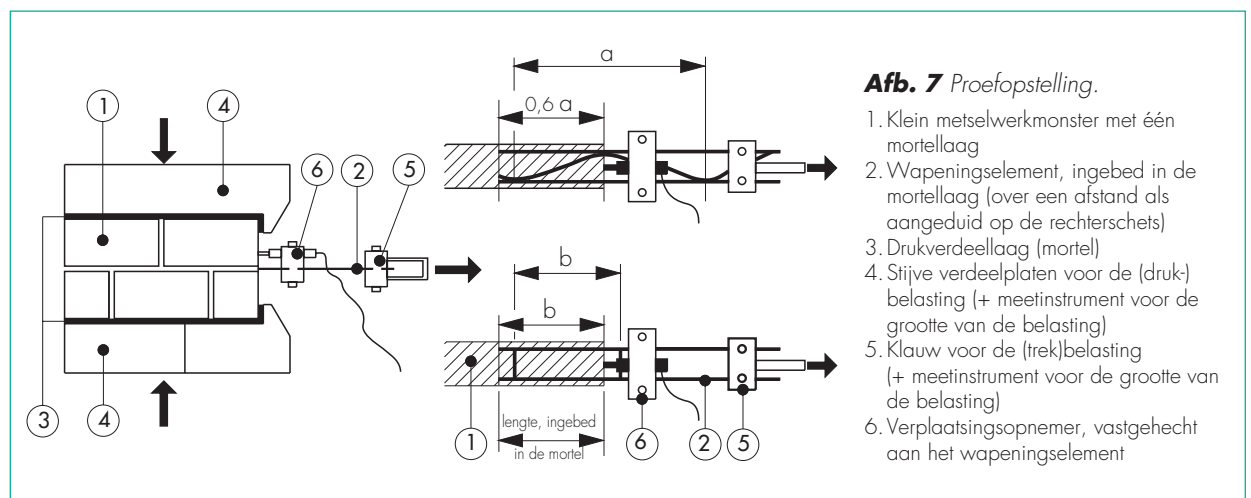
□ Indien de *afschuifsterkte van de lassen* belangrijk is voor de structurele prestatie van de wapening, dient de waarde ervan gedeclareerd

te worden, maar ze moet minimaal 1500 N bedragen. Beproeving geschiedt volgens de ontwerp-norm prEN 846-3 [8].

□ De *verankeringslengte* van de wapening dient ook door de fabrikant gedeclareerd te worden. Beproeving geschiedt volgens de ontwerp-norm prEN 846-2 [7] voor bepaalde combinaties van steen en mortel. De verankeringslengte en de overlappingslengte, die erop gebaseerd is, zijn bijzonder belangrijke eigenschappen van de lintvoegwapening. Het toevoegen van wapening in de mortel heeft immers enkel zin, indien een goede hechting tussen beide bestaat. Voor rechte staven zou men deze lengten in principe nog kunnen vastleggen door berekening. Vermits bij metselwerk de diagonaalwapening een belangrijke bijdrage levert aan het geheel, is de berekening niet meer mogelijk. De proefopstelling is voorgesteld in afbeelding 7.

Producten waarvoor geen technische specificatie bestaat, kunnen in België een technische goedkeuring ATG bekomen. Het verkrijgen van een ATG is vergelijkbaar met het verkrijgen van het BENOR-merk. Het is een kwaliteitslabel dat door de Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw (BUTgb) wordt toegekend aan bouwproducten die niet onder de BENOR-procedure vallen.

Een ATG biedt een grote zekerheid aan de voorschrijver (architect, bouwheer), omdat die slechts afgeleverd wordt na beoordeling van de geschiktheid van het product (via zogenaamde geschiktheidsproeven) en onder voorbehoud



Afb. 7 Proefopstelling.

1. Klein metselwerkmonster met één mortellaag
2. Wapeningselement, ingebed in de mortellaag (over een afstand als aangeduid op de rechterschets)
3. Drukverdeellaag (mortel)
4. Stijve verdeelplaten voor de (druk-)belasting (+ meetinstrument voor de grootte van de belasting)
5. Klauw voor de (trek)belasting (+ meetinstrument voor de grootte van de belasting)
6. Verplaatsingsopnemer, vastgehecht aan het wapeningselement

⁽⁵⁾ Het BENOR-merk duidt de overeenkomst aan van een bepaald product met een Belgische norm of met een normatief document erkend door het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN), zoals een PTV (*Prescriptions Techniques/Technische Voorschriften*) of een STS (*Spécifications Techniques/Technische Specificatie*), dat de rol van een technische specificatie overneemt voor een bepaalde categorie van producten.

van een positieve evaluatie van de industriële zelfcontrole van de productie door de fabrikant middels periodieke externe controles.

In dit overzicht worden slechts de systemen besproken die beschikken over een ATG op het ogenblik van deze publicatie [1, 2]. Het betreft twee systemen met stalen wapening.

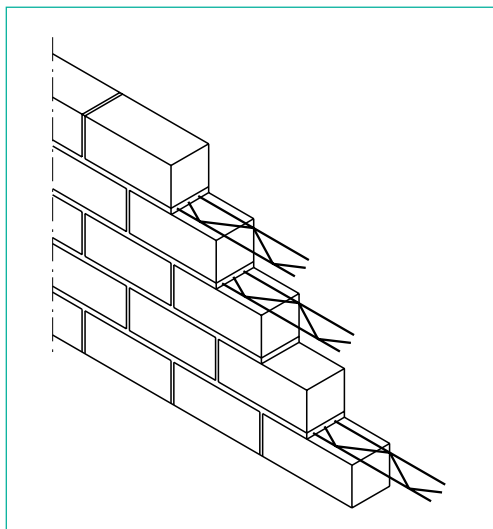
Er zijn ook kunststof wapeningssystemen op de markt (bv. aramidestrips met vierkante mazen), die op rollen worden geleverd, alsook wapeningen van koolstof- of glasvezels. Kunststof wapening biedt het grote voordeel dat er geen gevaar voor corrosie bestaat, hetgeen zeker in buitenspouwbladen van groot belang is. Aangezien noch de productnorm noch de rekennormen dit type wapening behandelen, dient het ons inziens in de eerste plaats beschouwd te worden als scheurbeheersend (gebruiksgrenstoestand) en niet als structureel zoals bv. in ringbalken of lateien (bezwijk-grenstoestand).

2.2 WAPENING VAN HET VAKWERKTYPE

Deze wapening is een vlak draadwerk bestaande uit twee evenwijdig lopende draden, die door lussen verbonden zijn met een doorlopende diagonaaldraad (zogenaamde *truss type* of vakwerktype volgens de ontwerpnorm prEN 845-3). Deze is zo gelast dat de totale dikte van het draadwerk niet meer bedraagt dan de diameter van de langsdraden. Om een goede aanhechting met de metselmortel te bekomen, zijn beide langsdraden gekarteld.

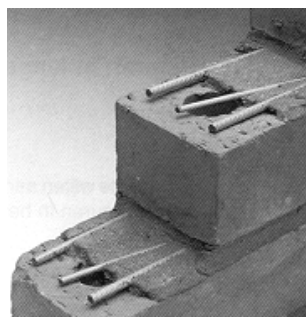
Het productgamma van dit soort wapening is zeer uitgebreid en omvat verschillende types, uitvoeringen en breedten.

Afb. 8 Vakwerkwapening.

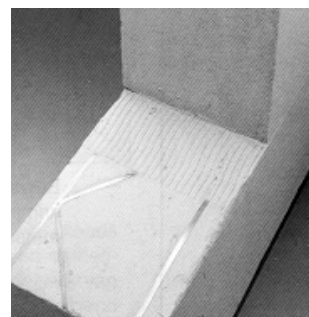


□ Types

Wapeningselementen met *ronde staven* (langstaven \varnothing 4 of 5 mm, 3 mm op aanvraag, zie afbeelding 9) worden gebruikt bij normale mortelvoegen met een dikte van 10 tot 12 mm. Bij metselwerk van baksteen en van betonblokken wordt bijna uitsluitend met normale voegen gewerkt. Bij gebruik van cellenbetonen kalkzandsteenelementen komen eveneens dikke voegen voor, maar minder; baksteen wordt ook meer en meer gelijmd. Bij deze laatste techniek gebruikt men lijmvoegen van slechts enkele mm dikte, waarvoor wapeningselementen met *platte staven* (doorsnede van de langstaven : $8 \times 1,5 \text{ mm}^2$, zie afbeelding 10) moeten toegepast worden.



Afb. 9 Ronde staven bij vakwerkwapening.



Afb. 10 Platte staven bij vakwerkwapening.

□ Uitvoeringen

De wapeningselementen bestaan in drie uitvoeringen :

- ◆ vuurverzinkt (*hot dip galvanized*) : minimum 60 g/m^2
- ◆ met epoxybedekking : minimum $70 \mu\text{m}$ bovenop de verzinkte draad
- ◆ met austenitisch roestvrij staal.

Deze uitvoeringen zijn gerangschikt volgens toenemende graad van bescherming. Voor metselwerk in een beschermde omgeving volstaat meestal de lichtste vorm van bescherming. Bij meer agressieve omgevingen is het nodig gebruik te maken van elementen met extra bescherming. Voor de keuze van de bescherming afhankelijk van de blootstelling verwijzen we naar § 3.3.

Platte staven voor gebruik in lijmvoegen kunnen enkel verkregen worden in vuurverzinkte (gegalvaniseerde) uitvoering. Vermits lijm-mortel een betere bescherming biedt dan gewone mortel, is deze uitvoering voor de meeste omstandigheden voldoende.

□ *Breedte*

- ◆ Voor *ronde staven* zijn de meest voorkomende maten 50, 100, 150 en 200 mm. Deze breedten zijn zo gekozen dat de elementen gebruikt kunnen worden bij de courante modulmaten van stenen en blokken, namelijk 90, 140, 190, 240 mm, en dat toch nog een dekking van 15 à 20 mm kan behouden blijven.
- ◆ Voor *platte staven* zijn de beschikbare maten 40, 90, 140 en 190 mm. Deze breedten zijn gekozen naargelang van de breedte van de stenen.

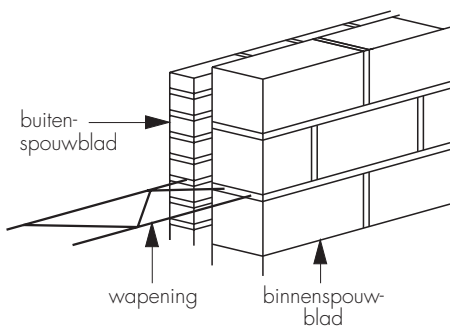
Eens het type van de wapening, de diameter van de langsstaven, de uitvoering en de breedte gekozen zijn, ligt automatisch de lengte van het element en de diameter van de dwarsstaven vast.

□ *Hulpstukken*

Er bestaan verschillende hulpstukken die de uitvoering vereenvoudigen, in het bijzonder ter plaatse van beëindigingen en verbindingen van wanden (zie § 3.2).

Om de twee bladen van een spouwmuur met elkaar te verbinden, kan een variant van deze wapening gebruikt worden (afbeelding 11). Net zoals spouwankers moet deze wapening druiplussen in de diagonaaldraad bevatten om te vermijden dat regenwater naar het binnenspouwblad doorslaat. Het is nog steeds mogelijk thermische isolatie in de spouw te voorzien. Deze bestaat dan bij voorkeur uit zachte of halfharde platen en wordt tussen de doorgaande wapeningsstaven geplaatst. Indien

Afb. 11 Variant van de wapening om twee spouwbladen met elkaar te verbinden.



mogelijk, plaatst men de wapeningselementen om de 60 cm, d.i. de hoogte van de meeste isolatiematerialen.

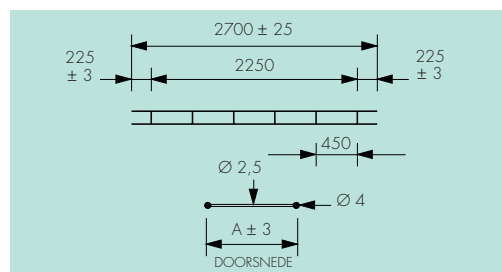
2.3 WAPENING VAN HET LADDERTYPE

Deze metselwerkwapening afkomstig uit Engeland is eerder recent op de Belgische markt. Het is een geprefabriceerde wapening bestaande uit twee evenwijdige draden die verbonden zijn door haaks gelaste dwarsdraden (laddertype volgens de ontwerpnorm prEN 845-3). Zowel langsdraden als dwarsdraden bestaan uit glad staal.

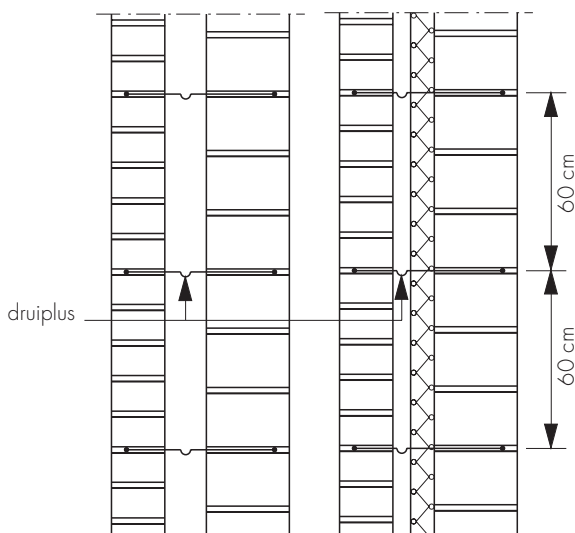
Het productgamma van deze soort wapening omvat eveneens verschillende types, uitvoeringen en breedten.

□ *Types*

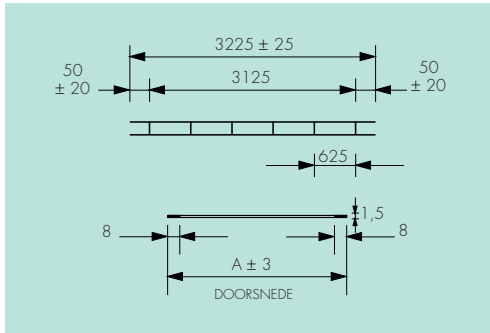
Wapeningselementen met ronde staven (langsstaven $\varnothing 4$ mm) zijn bestemd voor gebruik in normale mortelvoegen. De afstand tussen de dwarsstaven is gelijk aan 450 mm; de stek-einden (voor verankering en overlapping) bedragen 225 mm.



Afb. 12 Ronde staven bij wapening van het laddertype (maten in mm).



Afb. 13
Platte staven
bij wapening van
het laddertype
(maten in mm).



Wapeningselementen met platte staven (doorsnede van de langsstaven : $8 \times 1,5 \text{ mm}^2$) worden in lijmvogen gebruikt. De afstand tussen de dwarsstaven is gelijk aan 625 mm; de stek-einden bedragen 50 mm (bij overlappende staven moet men de eerste dwarsstaaf wegknippen).

□ Uitvoeringen

Deze wapening bestaat in twee uitvoeringen :

- ◆ verzinkt staal (minimum 265 g/m^2)
- ◆ austenitisch roestvrij staal.

□ Breedte

Zowel voor ronde als voor platte staven zijn de beschikbare breedten 50, 100, 150 en 200 mm. Deze zijn zo gekozen dat de elementen gebruikt kunnen worden bij de courante modulmaten 90, 140, 190, 240 mm, en dat toch nog een dekking van 15 à 20 mm kan behouden blijven.

Eens het type van de wapening, de uitvoering en de breedte gekozen zijn, liggen automatisch de lengte van het element en de diameters van langs- en dwarsstaven vast.

Ook hier bestaan verschillende hulpstukken die de uitvoering vereenvoudigen, in het bijzonder ter plaatse van beëindigingen en verbindingen van wanden (zie § 3.2).

3 UITVOERING VAN GEWAPEND METSELWERK

Een correcte uitvoering van gewapend metselwerk is natuurlijk van cruciaal belang, zowel voor berekende toepassingen als voor toepassingen op basis van ervaring (zie deel 2). Bij beide categorieën komt het erop aan dat de wapening exact wordt uitgevoerd, als op plan beschreven. Bij de be-

rekende toepassingen dient de ontwerper bovendien (zoals bij gewapend beton) de positie, de staalsectie en de verankering of overlapping te controleren.

3.1 ALGEMENE PLAATSINGSVOORSCHRIFTEN

Het plaatsen van lintvoegwapening in *mortelvoegen* is eenvoudig. De lintvoeg wordt eerst met mortel bedekt. Men drukt de wapening zachtjes in de mortel, zonder de onderliggende laag te raken. Het is niet nodig een tweede laag mortel te voorzien voor de nieuwe laag stenen. Door het aandrukken van de stenen wordt de wapening voldoende omhuld.

Stootvoegen verdienen wel een bijzondere aandacht : ze dienen goed gevuld te worden met mortel, zo niet gaat de dekking van de wapening verloren. Goed gevulde stootvoegen zijn trouwens ook een absolute noodzaak, wil men bij gewapend metselwerk eenzelfde brandweerstand bereiken als bij ongewapend metselwerk.

Het plaatsen van de lintvoegwapening in *lijmvogen* geschiedt als volgt :

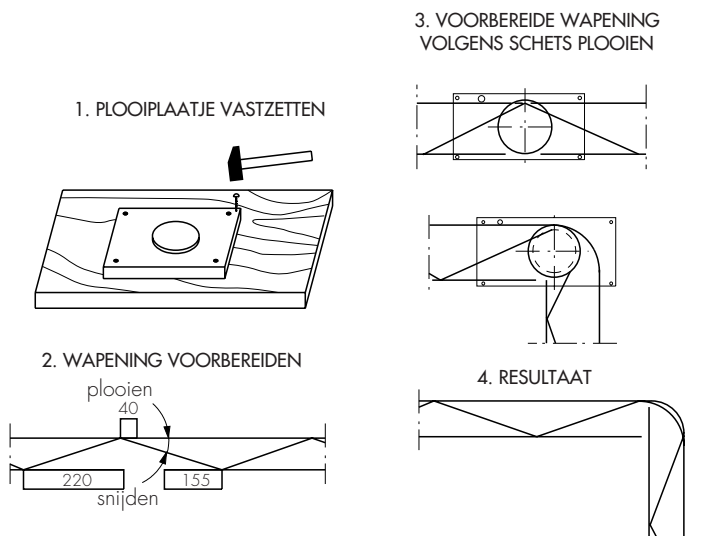
- ◆ de blokken worden over de lengte van de wapening met lijm bestreken
- ◆ de wapeningselementen worden erin geplaatst en goed aangedrukt
- ◆ voor het plaatsen van de volgende laag blokken wordt de wapening nogmaals met lijm overstreken, zodat een goede hechting met de blokken verzekerd wordt
- ◆ ook hier moeten de stootvoegen met lijm gevuld worden.

3.2 PLAATSINGSVOORSCHRIFTEN VOOR HOEKEN EN VERBINDINGEN

Het is mogelijk hoekstukken *op de bouwplaats* te vervaardigen. Daartoe volstaat het met een klein plooiplaatje (buigdoordiameter $\geq 10 \cdot \varnothing_{\text{langsstaaft}}$) de verschillende handelingen te verrichten, die voorgesteld zijn in afbeelding 14 (getekend voor het vakwerktype maar algemeen toepasbaar).

Het vergt een zekere oefening om ervoor te zorgen dat de hoek precies gevormd wordt op de gewenste plaats.

Meer en meer doet men een beroep op *geprefabriceerde hulpstukken* voor kruisende wan-



Afb. 14 Vervaardiging van hoekstukken op de bouwplaats.

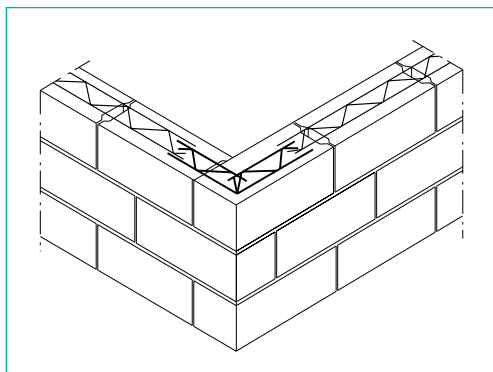
den, hoeken en T-verbindingen met dwarswanden. Het is aanbevolen dergelijke hulpstukken te gebruiken, omdat het risico op fouten daarmee een stuk kleiner is. Het is uiteraard belangrijk een voldoende overlappingslengte van het hulpstuk met de rechte stukken te voorzien (zie § 3.4) en ervoor te zorgen dat de dekking in de overlappingszone bewaard blijft (zie § 3.3).

□ Bij wapening van het vakwerktype

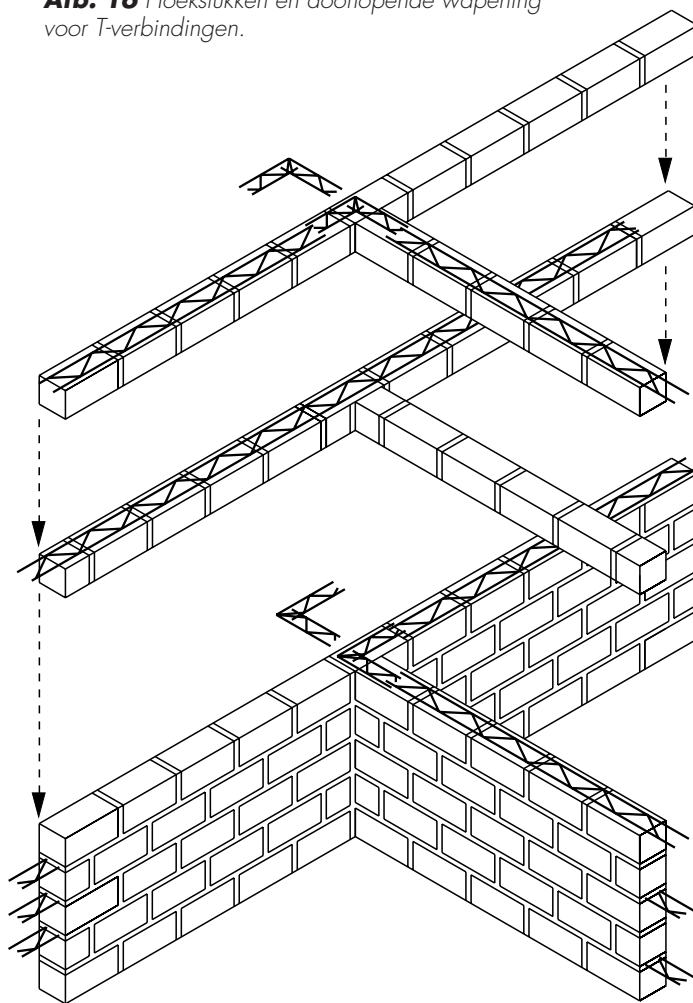
Voor geprefabriceerde lintvoegwapening van het vakwerktype maakt men gebruik van een speciaal hulpstuk in de hoeken (afbeelding 15).

Voor T-verbindingen worden deze hoekstukken om de twee lagen geplaatst, waarbij ze 90° gedraaid worden. In de tussenlagen voorziet men een doorlopende wapening (afbeelding 16). Bij kruisende wanden worden afwisselend wapeningen in beide wanden geplaatst (afbeelding 17).

Afb. 15
Hoekstuk voor wapening van het vakwerktype.



Afb. 16 Hoekstukken en doorlopende wapening voor T-verbindingen.



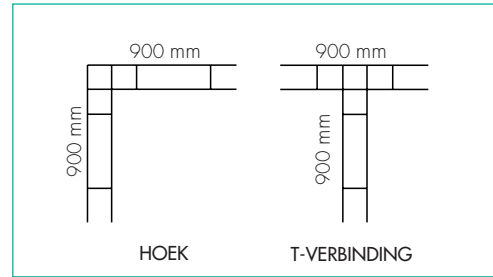
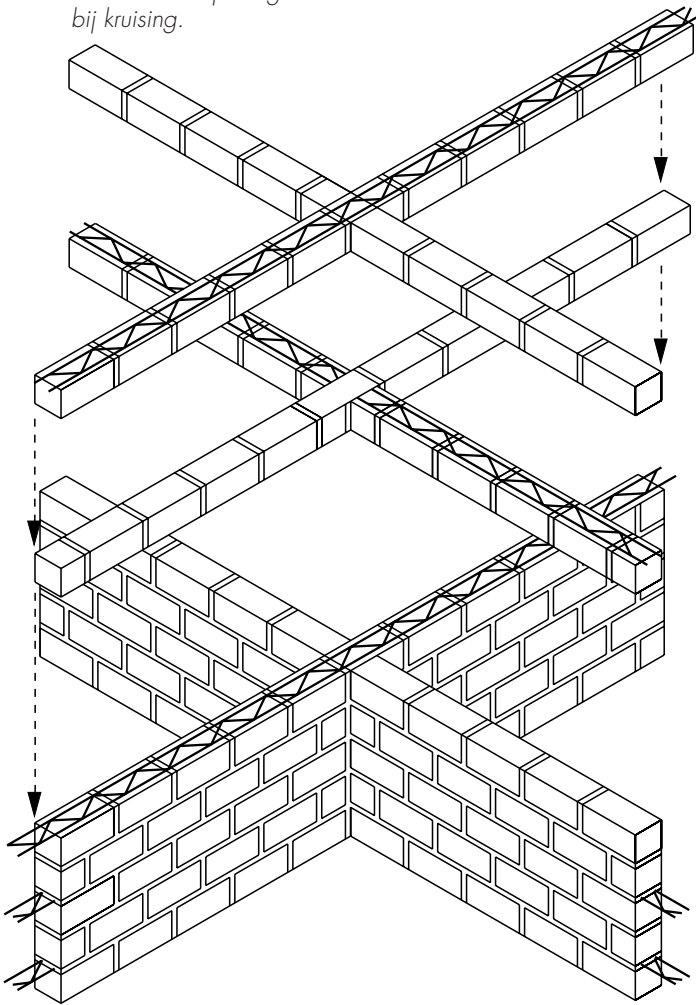
Heel recent zijn speciale hulpstukken ontwikkeld voor metselwerk waarin een hoekkolom of een tussenkolom wordt gerealiseerd (zie afbeelding 18). Dergelijke constructies worden vooral in Zuid-Europese landen gebruikt, waar een verhoogd aardbevingsrisico heerst. In België zijn ze voor dunne lijmvoggen te verkiezen boven de oplossing waarbij geplooiden staven naast de gewone elementen worden gelegd; voor gewone mortelvoegen zijn de hierboven voorgestelde oplossingen eenvoudiger.

□ Bij wapening van het laddertype

Bij geprefabriceerde lintvoegwapening van het laddertype bestaan eveneens hulpstukken voor hoeken en T-verbindingen (afbeelding 19). Voor kruisende wanden wordt dezelfde werkwijze voorgesteld als voor het vakwerktype (zie afbeelding 17).

Verder dient men tijdens de uitvoering en natuurlijk ook achteraf bij het maken van boor-

Afb. 17 Wapening afwisselend in beide wanden bij kruising.



Afb. 19 Hulpstukken voor hoeken en T-verbindingen bij wapening van het laddertype.

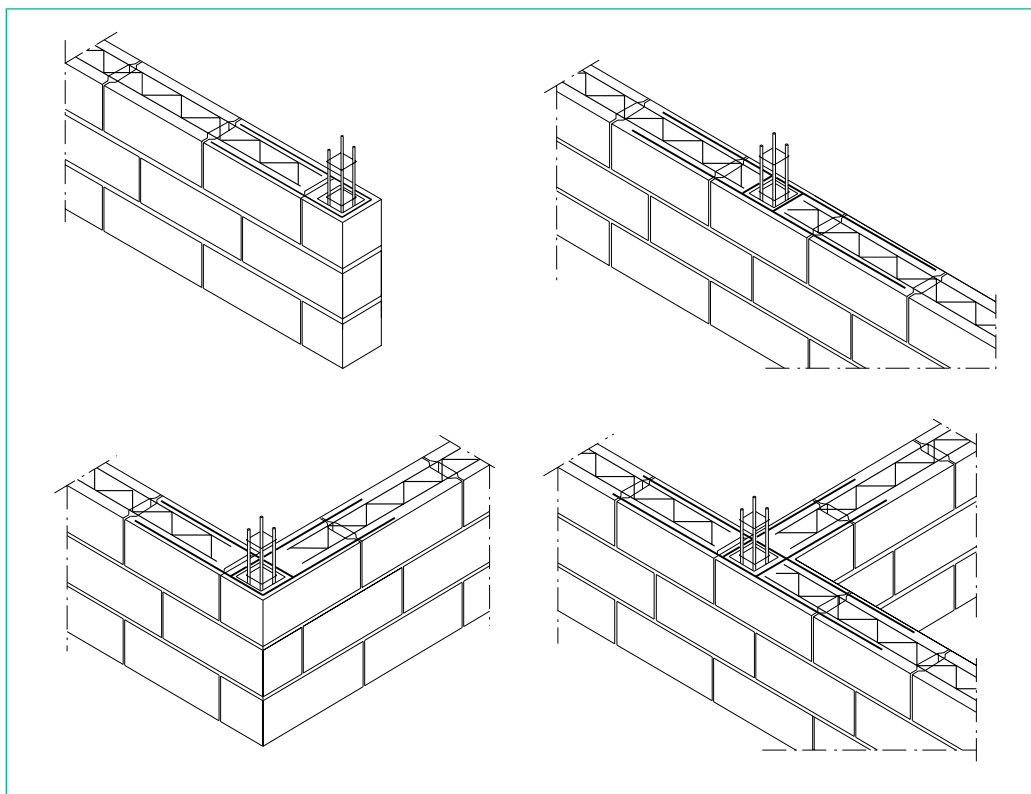
gaten, inkappingen of insnijdingen op te letten voor leidingen in muren : men mag de wapening niet raken en zeker niet doorsnijden.

3.3 BESCHERMING TEGEN CORROSIE

Het spreekt voor zich dat metalen hulpstukken in metselwerk, zoals spouwankers, wapening, lateien, ..., beschermd dienen te zijn tegen corrosie, daar deze tot scheurvorming in de constructie zou kunnen leiden en, in het slechtste geval, tot bezwijken van het gewapende element (wand, latei, ...).

Het concept van duurzaamheid bij gewapend metselwerk is enigszins anders dan bij gewapend beton. Bij dat laatste [3, 4] dient men (naast een minimale betonkwaliteit) een minimale betondekking in acht te nemen, samen met een maximale scheurwijdte.

Afb. 18 Speciale hulpstukken voor metselwerk met hoek- of tussenkolom.



Deze werkwijze is niet haalbaar bij gewapend metselwerk, althans bij gebruik van geprefabriceerde wapeningselementen ⁽⁶⁾, en wel om volgende redenen :

- ◆ de beschermende werking van metselmortel is wegens de grote permeabiliteit veel kleiner dan die van beton
- ◆ de toegepaste wapeningspercentages zijn over het algemeen klein, zodat het niet steeds mogelijk is de scheurwijdten nauwkeurig te beperken.

Bij gewapend metselwerk wordt de duurzaamheid verkregen door de combinatie van een minimum morteldekking en een aangepaste bescherming van het wapeningsstaal.

Ten aanzien van de minimum morteldekking gelden volgende eisen (zie afbeelding 20) :

- ◆ de minimum dekking op de wapening ten opzichte van het blootgestelde deel dient vlak gelijk te zijn aan 15 mm en liefst aan 20 mm; de beste uitvoering bestaat erin de voeg uit te krabben, deze vervolgens met een rijke mortel op te vullen en daarbij te zorgen voor een goede dichting van de stootvoegen
- ◆ de minimum dekking op de wapening ten opzichte van het metselwerk boven en onder dient gelijk te zijn aan 2 mm, behalve bij dunbedmortel en lijm mortel (1 mm)
- ◆ de gesneden einden moeten dezelfde bescherming hebben
- ◆ de dekking dient ook in de overlappingszones gewaarborgd te zijn.

Met geprefabriceerde wapeningselementen zijn deze eisen in de praktijk betrekkelijk eenvoudig na te leven. De courante breedten van wapeningselementen zijn immers telkens 40 mm kleiner dan de courante dikten van wanden. Gezien de beperkte diameter van de langsstaven kan men hiermee een dekking tussen 15 en 20 mm steeds bekomen, ook in de overlap-

pingszones (afbeelding 20). De overlapping dient wel zorgvuldig te geschieden (zie § 3.4).

Bij de keuze van de bescherming van het wapeningsstaal baseert men zich op de graad van agressie van de omgeving waarin het metselwerk-element zich zal bevinden. Deze wordt uitgedrukt door de *blootstellingsklasse*. Er worden vijf blootstellingsklassen gedefinieerd voor metselwerk : tabel 2 geeft een omschrijving ervan, alsook de beschermingsmogelijkheden voor geprefabriceerde lintvoegwapening, afhankelijk van de blootstellingsklasse [1, 2, 6].

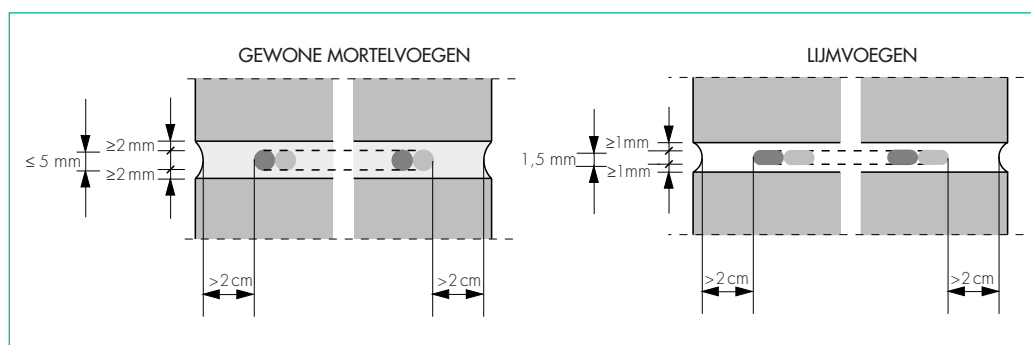
3.4 VERANKERING EN OVERLAPPING

De verankering en de overlapping spelen natuurlijk een belangrijke rol bij het ontwerp en de uitvoering van een gewapende structuur.

Bij gewapend metselwerk met gewoon betonstaal gaat men uit van de verankerings-theorie van het gewapend beton. De verankeringslengte van rechte staven hangt af van de gemiddelde aanhechtingssterkte, van de staafdiameter en van de spanning waarop het staal werkt (zelf afhankelijk van de rekenwaarde van de staalsterkte en de verhouding van de effectief geplaatste wapening tot de theoretisch berekende). De aanhechtingssterkte is afhankelijk van de kwaliteit van de metselmortel en kan uitgedrukt worden naargelang van de druksterkte ervan.

Voor geprefabriceerde lintvoegwapening gaat die theorie niet op. De berekende verankerings- en overlappingslengten zouden trouwens bijzonder groot uitvallen. De verankering wordt immers niet alleen verkregen uit de effectieve aanhechting tussen staal en mortel, maar ook (en zelfs meer) uit de weerstand die bij het uittrekken wordt ontwikkeld door de dwarswapening en de verbinding van de dwarswa-

Afb. 20
Minimum
morteldekking.



⁽⁶⁾ Indien de wapening met (micro)beton wordt omhuld, gelden wel de eisen van Eurocode 2 [3].

Tabel 2

Bescherming van geprefabriceerde lintvoegwapening afhankelijk van de blootstellingsklasse van het metselwerk.

KLASSE (*)	MOGELIJKE BESCHERMING
1. <i>Droog milieu</i> Bv. binnenwanden, binnenspouwblad boven het waterkerende scherm.	Eventueel onbeschermd staal (**) Licht gegalvaniseerd (***) staal (60 g/m ²) Austenitisch roestvrij staal
2. <i>Vochtig milieu, maar niet blootgesteld aan vorst</i> Bv. wanden in vochtige vertrekken, binnenspouwblad onder het waterkerende scherm.	Eventueel zwaar gegalvaniseerd (***) staal (265 g/m ²) Gegalvaniseerd (***) staal (60 g/m ²) met daarbovenop een bindende epoxycoating Austenitisch roestvrij staal
3. <i>Vochtig milieu met vorst</i> Bv. massieve buitenwanden, buitenspouwbladen.	Eventueel zwaar gegalvaniseerd (***) staal (265 g/m ²) Gegalvaniseerd (***) staal (60 g/m ²) met daarbovenop een bindende epoxycoating Austenitisch roestvrij staal
4. <i>Zeewatermilieu</i> Bv. metselwerk in contact met zeewater of met zout verzadigde lucht.	Roestvrij staal (****), enkel indien er geen rechtstreeks contact is met zeewater
5. <i>Agressief milieu</i> Bv. agressieve bodem.	Roestvrij staal (****)
(*) <i>Opletten</i> : indien het metselwerk tijdens de uitvoering blootgesteld wordt aan een milieu van een strengere klasse dan normaal voorzien, dan heeft deze laatste de overhand, tenzij passende voorzorgsmaatregelen worden getroffen. (**) Niet aangeraden. (***) De galvanisatielaag moet aangebracht worden nadat het staal in zijn juiste vorm is gebogen. (****) Er kunnen eventueel slechts bepaalde types roestvrij staal in aanmerking komen. De precieze bescherming dient bepaald te worden in overleg met de fabrikant.	

pening met de langsstaven. De benodigde verankeringslengte is dan ook niet zonder meer evenredig met de staalspanning.

De verankeringslengte wordt bepaald aan de hand van proeven overeenkomstig de ontwerp-norm prEN 846-2 [7]. Voor de hier besproken wapeningssystemen gebeuren dergelijke proeven in het kader van het ATG-geschiktheids-onderzoek. Bij vakwerkwapening [1] is een lengte van 250 mm vereist, zowel voor verankeringen als voor overlappingsen (de diagonaalstaaf moet in de overlappingszone weggeknipt worden). Voor de verbinding met hulpstukken volstaat een overlappingslengte van 125 mm. Bij wapening van het laddertype [2] is een lengte van 225 mm vereist, zowel voor verankeringen als voor overlappingsen (bij platte elementen moet de eerste dwarsverbinding worden weggeknipt).

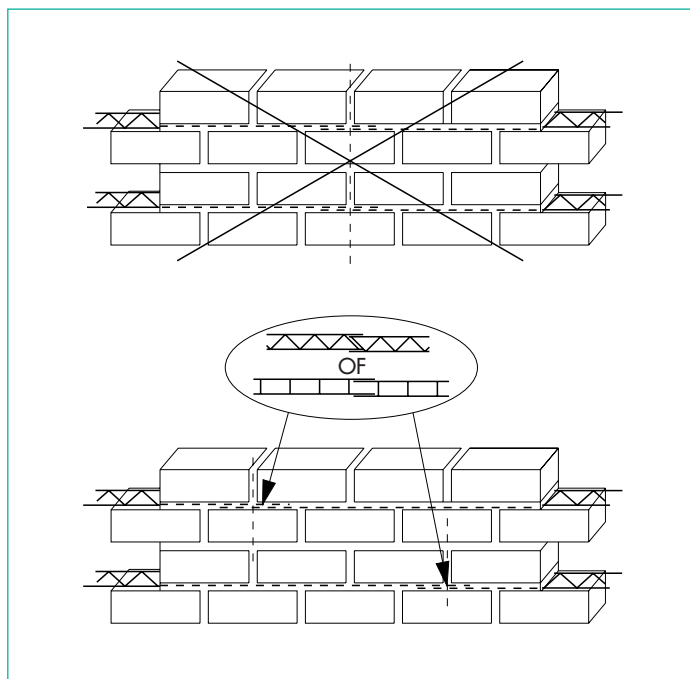
Bijkomende praktische wenken in dit verband zijn de volgende :

- ◆ de overlapping kan uitgevoerd worden door de elementen naast of op elkaar te leggen. Welke methode ook gekozen wordt, de dekking in verticale en horizontale richting dient

steeds gewaarborgd te blijven

- ◆ schranken kan reeds veel problemen vermijden (zie afbeelding 21).

Afb. 21 Schranken bij overlappende wapeningselementen.



4 KOSTPRIJS VAN GEWAPEND METSSELWERK

Volgens gegevens van de fabrikanten bedraagt de extra kost voor het wapenen van het metselwerk 2 à 3 % van de kostprijs van de volledige ruwbouw, plaatsing inbegrepen. Voor dit bedrag kunnen binnen- en buitenspouwbladen, funderingsmetselwerk, ringbalk, lateien ... volledig gewapend worden.

Deze meerprijs is ons inziens reeds gerechtvaardigd door de betere structurele kwaliteit en het verminderde risico op scheurvorming van het metselwerk, met name :

- ◆ stijvere constructie, vooral bij de aansluitingen van wanden
- ◆ verhoogde weerstand tegen differentiële zettingen
- ◆ verhoogde weerstand tegen horizontale belastingen vanuit de dakconstructie
- ◆ verhoogde weerstand tegen onvoorziene belastingen en onvoorziene scheurvorming door verhinderde vervorming.

Volgens de fabrikanten valt de balans echter ook door in het voordeel van gewapend metselwerk, louter om economische redenen. Bij een dergelijke vergelijking houdt men reke-

ning met de kostprijs, verbonden aan de elementen van gewapend beton die men uitspaart, met name :

- ◆ tijd nodig voor het bekisten van de betonelementen
- ◆ tijd nodig voor het bestellen, het aanmaken en het storten van de betonelementen
- ◆ tijdverlies door het afwisselen van metselwerk- en beton-activiteiten. ■

Dit artikel kwam tot stand in het kader van de actie "KMO Normen-Antenne Eurocodes". Deze Normen-Antenne is binnen het WTCB opgericht met de steun van het ministerie van Economische Zaken. Ze heeft tot doel informatie over de Eurocodes zo ruim mogelijk te verspreiden naar de betrokken sectoren toe en in het bijzonder naar de KMO.

Voor meer informatie met betrekking tot de Eurocodes kan u de literatuurlijst raadplegen [11, 12], ofwel rechtstreeks contact opnemen met het WTCB :

☎ 02/655.77.11
 📠 02/653.77.29
 ✉ info@bbri.be
 🖱 http://www.bbri.be/antenne_norm

LITERATUURLIJST

- 1** Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw
ATG 97/1973 Murfor-metselwerkwapening. Brussel, BUtgb, 1997.
- 2** Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw
ATG 99/2370 Brickforce-metselwerkwapening. Brussel, BUtgb, 1999.
- 3** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN B 15-002 Eurocode 2 Berekening van betonconstructies. Deel 1-1 : algemene regels en regels voor gebouwen. Brussel, BIN, 2de uitgave, 1999.
- 4** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN ENV 1991-2-4 + NAD Eurocode 1 Grondslag voor ontwerp en belasting op draag-systemen. Deel 2-4 : belasting op draagsystemen. Windbelasting. Brussel, BIN, 1995 (NAD in 1998).
- 5** Belgisch Instituut voor Normalisatie
NBN ENV 1996-1-1 NAD Eurocode 6 Ontwerp van metselwerk. Deel 1-1 : algemene regels voor gebouwen. Regels voor gewapend en ongewapend metselwerk. Brussel, BIN, 1998.
- 6** Comité Européen de Normalisation
prEN 845-3 Ancillary components for masonry. Part 3 : bed joint reinforcement of steel meshwork. Brussel, CEN, TC 125, april 2000.
- 7** Comité Européen de Normalisation
prEN 846-2 Methods of tests for ancillary components for masonry. Part 2 : determination of bond strength of bed joint reinforcement in mortar joints. Brussel, CEN, TC 125, augustus 1999.
- 8** Comité Européen de Normalisation
prEN 846-3 Methods of tests for ancillary components for masonry. Part 3 : determination of shear strength of welds of bed joint reinforcement. Brussel, CEN, TC 125, augustus 1999.
- 9** Pfeffermann O. & Baty P.
Gewapend metselwerk. Ontwikkeling, technologie, toepassingen, voorschriften, speurwerk. Brussel, WTCB-Tijdschrift, maart 1978.
- 10** Pfeffermann O. & Baty P.
Gewapend metselwerk. Speurwerk, berekening, uitvoering. Brussel, WTCB-Tijdschrift, september 1980.
- 11** Schaerlaekens S.
De Eurocodes. Alles wat u altijd had willen vragen. Brussel, WTCB-Tijdschrift, zomer 1999.
- 12** Schaerlaekens S.
Hoe en waarom ... de Eurocodes ? Brussel, Belgisch Instituut voor Normalisatie, BIN-Revue, nr. 6, juli-augustus 2000.