Dit artikel is het eerste in een korte reeks over het construeren met hogesterktestaal. Deze eerste aflevering gaat over ontwerpaspecten. Deel 2 zal ingaan op het rekenen aan en toetsen van constructies met hogesterktestaal. Het derde en laatste deel zal met een projectvoorbeeld meer praktische achtergronden geven.

Staal voor krachtpatsers

ir. H.A. Grüter en ir. H.J. Kuijer
Hendrik Grüter is adviseur bij ArcelorMittal Commercial Sections, producent van warmgewalste staalprofielen. Hilbert-Jan Kuijer is constructeur bij DHV in Den Haag.

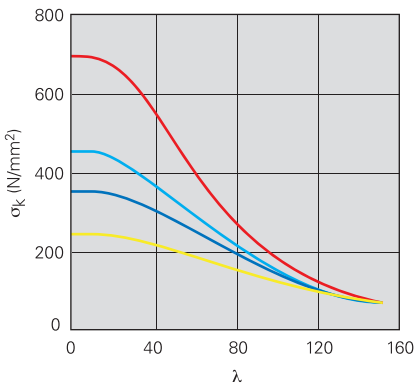
Hogesterktestaal mag in andere industrieën gemeengoed zijn, in de Nederlandse bouw wordt het materiaal zelden toegepast. Belangrijkste redenen zijn de onbekendheid van constructeurs en toetsingsinstanties met hogesterktestaal en misverstanden over bijvoorbeeld lasbaarheid. Met twee grote projecten in Rotterdam, die momenteel op stapel staan, kan daar iets van worden weggenomen. De ervaringen in deze projecten zijn waardevol voor de hele bouwpraktijk. Daarom besteedt *Bouwen met Staal* in een serie van drie artikelen aandacht aan verschillende aspecten van het construeren met hogesterktestaal. In dit eerste deel aandacht voor de ontwerpfase: waar biedt de toepassing van hogesterktestaal de meeste voordelen?

In Rotterdam wordt momenteel gebouwd aan de 158 m hoge woontoren New Orleans. Dit ontwerp van de Portugese architect Álvaro Siza , constructief ontwerp door DHV, is het eerste gebouw in Nederland waar HD400x1086-profielen (veertien kolommen) in hogesterktestaal (Histar 460) worden toegepast.

Lage slankheid

De toepassing van hogesterktestaal biedt de meeste winst bij op hoge druk belaste elementen met een lage slankheid. Voor deze elementen is instabiliteit, waarbij de stijfheid van het materiaal een grote rol speelt, van geringe invloed.
In de verdiepingsbouw waarbij grote belastingen optreden kan ten opzichte van S355 gemiddeld meer dan 20% materiaal worden bespaard. Op elementbasis is er een gewichtsbesparing van meer dan 30% mogelijk.

Knikkrommen voor staalsoorten met verschillende vloeigrens. De kolommen in New Orleans hebben een slankheid van λ = 33 en profiteren dus maximaal van de hogere vloeigrens (afbeelding uit VM 125 'Constructiestaalsoorten met hoge sterkte').



Een drukkolom (pendelstaaf) met 4400 kN kan bijvoorbeeld van een HEB 320 (S355) naar een HEA 300 (Histar460) met 32% gewichtsreductie. Hoe meer verdiepingen (belasting) hoe hoger de besparing. Bijkomend voordeel is het lage gewicht bij transport op de weg en het hijsen op de bouwplaats.
In het gebouw New Orleans is hogesterktestaal toegepast voor de kolommen in de onderbouw die op zeer hoge druk worden belast (maximaal 50.000 kN) met een lage relatieve slankheid (λ_{rel} = 0,5 en λ = 33).
Het gebouw New Orleans is voor het overgrote deel een betonconstructie met 300 mm dikke betonvloeren en -wanden. Ook de constructie onder de toren, met daarin commerciële ruimten en daaronder een tweelaagse parkeergarage, was aanvankelijk in beton ontworpen. Niet met dragende wanden maar met kolommen vanwege de gewenste flexibiliteit. In de constructieve uitwerking kwam dat neer op betonkolommen met flinke afmetingen (bxh = 1000x1000) waardoor veel parkeer- en winkelruimte verloren zou gaan. Bovendien was het – met de grote belastingen vanuit de toren – noodzakelijk om een fors staalprofiel in te storten, dan wel betonkwaliteit C90/105 toe te passen. Met HD400x1086-kolommen in hogesterktestaal kon op de begane grond commerciële ruimte worden gewonnen en kreeg de parkeergarage ook onder de toren het standaard parkeerstramien bestaande uit drie parkeervakken van 2,4 m met een maximale kolomafmeting van 0,6 m (3x2,4 + 0,6 = 7,8 m).

Uitkraging

In andere situaties kan met hogesterktestaal ook voordeel worden behaald ten opzichte van meer traditionele constructieve oplossingen. Het gebouw Hoog aan de Maas (momenteel nog in ontwerpfase bij 01-10 Architecten in Rotterdam, bijgestaan door de constructeurs van DHV) bestaat uit een grote uitkraging van 22 m boven het bestaande gebouw van De Nederlandsche Bank aan de Boompjes in Rotterdam. Voor deze uitkraging zijn drie grote stalen vakwerken ontworpen met diagonalen over vier verdiepingen.
Met hogesterktestaal kunnen de afmetingen van de diagonalen sterk worden gereduceerd. Hetzelfde geldt voor de op hoge druk belaste kolommen bij de oplegging van het vakwerk op de betonnen onderconstructie. Door de geringe kniklengte (namelijk de verdiepinghoogte van 3,6 m) wordt ook bij deze kolommen het voordeel van hogesterktestaal optimaal gebruikt.
Hogesterktestaal S460 leidde ertoe dat de trekelementen gemiddeld twee tot drie profielnummers lichter zijn geworden dan bij het reguliere S355. Voor de drukelementen gaat het gemiddeld om twee profielnummers.
Zowel de architect als de opdrachtgever kunnen hiermee hun voordeel doen, omdat

de afmetingen van de kolommen en schoren die in de verhuurbare ruimte komen te staan, kleiner worden.
Constructief is er een gewichtsbesparing in de staalconstructie mogelijk van ongeveer 25%. Uitvoeringstechnisch is er het bijkomende voordeel dat de hijsgewichten eveneens met 25% afnemen, waardoor grotere elementen kunnen worden gehesen. Omdat de uitkraging boven een bestaand gebouw gemaakt moet worden heeft het hijsen van zo groot mogelijke delen van de staalconstructie grote voordelen.

Belastinggeval brand

De E-modulus van hogesterktestaal is gelijk aan die van de conventionele staalsoorten (zie *kader 'Waarom hogesterktestaal?'*).
Dit zou betekenen dat de toepassing van hogesterktestaal geen zin heeft voor constructie-elementen die worden gedimensioneerd op stijfheid. Maar ook als stijfheid maatgevend is, zijn er situaties die het interessant maken om hogesterktestaal te gebruiken. Bij het belastinggeval 'brand' biedt hogesterktestaal de mogelijkheid om het voordeel van de hogere vloeigrens te benutten bij elementen die eigenlijk worden gedimensioneerd op stijfheid, zoals liggers met relatief grote overspanningen. De brandwerendheid van een onbeklede staalconstructie wordt mede bepaald door de belastinggraad. De ongeveer 30% hogere vloeigrens van S460 ten opzichte van S355 geeft een verlaging van de belastinggraad van maximaal 30%. Hierdoor neemt de kritieke staaltemperatuur en daarmee de brandwerendheid met ongeveer 8% toe.
Vaak kan door het 'overdimensioneren' met hogesterktestaal het verschil worden gemaakt tussen één, twee of drie benodigde lagen brandwerend coating.

Staal-betonconstructies

Bij een staal-betonligger is ook voor grotere overspanningen de sterkte vaak maatgevend.

Waarom hogesterktestaal?

Bij hogesterktestaal in de bouw gaat het meestal over staalkwaliteit S460.
In de offshore en kranenbouw zijn toepassingen van S690 en zelfs S960 te zien.
De vloeigrens van hogesterktestaal S460 ligt 30% hoger dan die van S355 en zelfs 95% hoger dan die van S235. Vanuit de ontwerpers ligt de reden om hogesterktestaal toe te passen dan ook voor de hand: slankere en daarmee lichtere constructies. Hogesterktestaal heeft ook een economisch voordeel, omdat er minder kilo's staal worden toegepast. De staalprijs van hogesterktestaal is weliswaar hoger dan die van conventioneel staal, het prijsverschil van het onbewerkte profiel ligt bij S460 echter rond de 5 cent per kilo hoger ten opzichte van S355 (prijs staalproducenten), terwijl de toename in sterkte (en daarmee de afname in toe te passen kilo's) ongeveer 30% bedraagt.
De E-modulus van hogesterktestaal is nog steeds 210.000 N/mm^2, waardoor de winst van hogesterktestaal voornamelijk tot uitdrukking komt in constructiedelen die op sterkte worden gedimensioneerd. Voor elementen waarvoor de stijfheid maatgevend is, heeft hogesterktestaal minder direct voordeel.
Veel winst boekt hogesterktestaal bij elementen die puur op trek worden belast. Instabiliteit is daarbij geen criterium en de hogere (trek)sterkte van het staal kan volledig worden benut.

Overgangsconstructie bij het project New Orleans in Rotterdam.

Toegepast hogesterktestaal

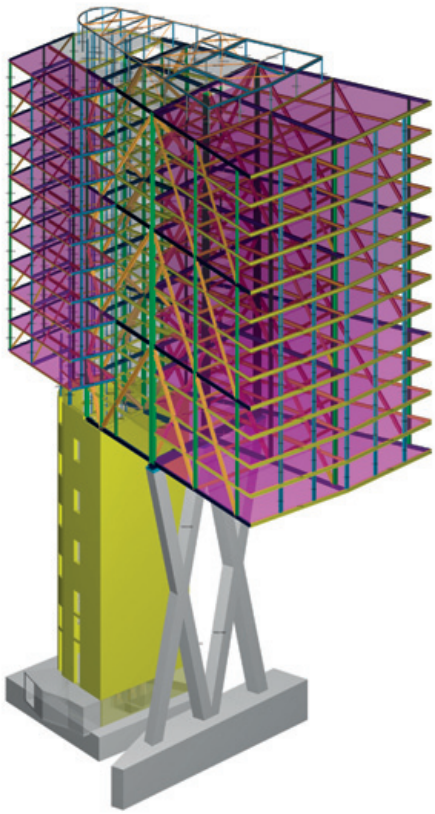
De toepassing van hogesterktestaal is in de kraanbouw, de offshore en de scheepsbouw al jaren gemeengoed. Sinds een aantal jaren wordt het ook steeds vaker toegepast voor civiele constructies. In de (utiliteits) bouw wordt hogesterktestaal in Nederland nog maar zelden toegepast. Terwijl er toch duidelijke voordelen zijn: slankere constructies, aanzienlijke gewichtsbesparingen en daarmee een duurzame oplossing. In de Verenigde Staten komt S460 (Grade 65) al op grote schaal voor in de bouw.

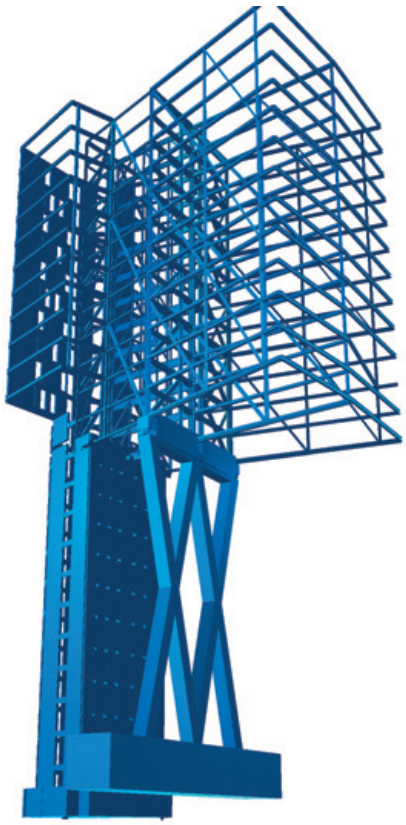
Onbekend

Een van de redenen voor het achterblijven van toepassingen van hogesterktestaal is de onbekendheid met het materiaal bij ontwerpende constructeurs en de toetsende instanties. Zo is de huidige NEN 6770 alleen toepasbaar tot en met S355. Voor het berekenen van hogesterktestaal moet Eurocode 3 worden toegepast. Tijdens het ontwerp van New Orleans bleek dat er bij Bouw- en woningtoezicht onbekendheid is met hogere staalkwaliteiten. In dat project is dit gebrek aan kennis ondervangen door een second opinion van de TU Delft.

Verkrijgbaarheid

Over de verkrijgbaarheid van hogesterktestaal bestaat een misverstand. Allereerst is er verschil tussen walsprofielen, die bij staalhandelaren in het algemeen in de opslag beschikbaar zijn en walsprofielen, die niet in de opslag beschikbaar zijn en sowieso direct uit de walsing van de staalproducenten moeten komen. De meeste staalhandelaren hebben walsprofielen tot en met HEB 320. Grote staalhandelaren hebben walsprofielen tot met HEB 600 beschikbaar. In het algemeen in de staalkwaliteiten tot met S275. Sommige staalhandelaren hebben ook S355. De staalkwaliteit S460 is vrijwel niet direct beschikbaar en moet dus altijd uit de walsing van de staalproducent komen. Staalprofielen tot en met HEB 600 met gewone staalkwaliteit zijn dus voor de staalbouwers theoretisch sneller beschikbaar dan een alternatief profiel in S460-kwaliteit. Verder moet bij S460 kwaliteiten ook met een minimale bestelhoeveelheid rekening gehouden worden. ArcelorMittal vraagt hier minimaal 40 ton per profiel. HEM of HD profielen of profielen groter dan HEB 600, moeten dus onafhankelijk van de staalkwaliteit in het algemeen uit de staalfabriek betrokken worden. Hier bestaat dus geen nadeel qua beschikbaarheid voor de S460-kwaliteit. Voorbeeld: een constructeur die met een groot woon- of kantoorgebouw bezig is, kan voor een pendelkolom HD400x421 in S460 kiezen in plaats van een HD400x592 in S355. Beide profielen worden, onafhankelijk van de staalkwaliteit, in het algemeen even vaak gewalst. In een overspannen markt zoals in 2008 waren het de gewone profielen waarop de staalhandelaren/staalbouwers wat langer moesten wachten en niet de grotere profielen die voor hoge kwaliteiten in aanmerking komen. Voor deze hadden de staalproducenten vaak nog wat ruimte over in hun walsprogramma's.





Visualisatie van de uitkraging van het project Hoog aan de Maas in Rotterdam.

Zo is het mogelijk om met een IPE 500 in S460 h.o.h. 5 m, met een staalplaatbetonvloer en een variabele belasting van 2.5 kN/m^2, tot 16 m vrije overspanning te halen. Worden voor deze overspanningen hoge comforteisen vanwege trillingen gevraagd, dan kunnen deze gehaald worden met hoge maar slanke raatliggers in hogesterktestaal. Installaties en leidingen kunnen door de sparingen in het lijf zodat geen bouwkundige hoogte verloren gaat.

Aansluiting van staal op beton

Ook voor het ontwerpen met hogesterktestaal geldt dat de voordelen van het materiaal op sommige specifieke plaatsen aandachtspunten heeft, vooral bij de aansluiting op een betonconstructie.
De hoge concentratie van krachten in de elementen betekent dat de belasting bij deze verbindingen – mede door de slanke profielen – zeer geconcentreerd wordt ingeleid. Het gevolg hiervan is dat controle van oplegdrukken en het splijten van beton extra aandacht vragen. Een voor de hand liggende oplossing hiervoor is om (lokaal) het betonnen zusje van hogesterktestaal toe te passen: hogesterktebeton (vanaf C53/65). Bij de woontoren New Orleans is dit gedaan door C90/105 toe te passen.

Lasbaarheid en kerfslagwaarde

Bij staalconstructies is het belangrijk dat naast de sterkte goed naar de andere benodigde eigenschappen van de staalconstructie wordt gekeken. De belangrijkste eigenschappen zijn hierbij de kerfslagwaarde (taaiheid) en de lasbaarheid. Spelen deze eigenschappen een rol, dan zal in het algemeen voor lasbaar fijnkorrelig constructiestaal conform EN 10025-4 of EN 10025-3 moeten worden gekozen. Zodra de profielen groter worden moet bij het lassen in het algemeen wel rekening gehouden worden met voorverwarmen. ArcelorMittal biedt hier de Histar 460 aan. Deze kwaliteit is gebaseerd op EN 10025-4 maar heeft een nog lager koolstofequivalent zodat zelfs de grootste balken (HD400x1086) in een gewone productieomgeving niet moeten worden voorverwarmd. Een belangrijk aspect voor het productieproces van de staalbouwers.

Warmvervormen

Uitsluitend staalkwaliteiten conform EN 10025-3 kunnen worden warmvervormd. Warmvervormen (opnieuw opwarmen op hoge temperaturen in verband met omvormingen) is in het algemeen in de bouw niet van toepassing en wordt vooral in andere industrieën zoals in de scheepsbouw gedaan. Bij staalkwaliteiten conform EN 10025-3 moet wel rekening gehouden worden met iets slechtere laseigenschappen en kerfslagwaardes. Verder moeten afhankelijk van de profieldikte met lagere vloeigrenzen rekening worden gehouden dan bij staalkwaliteiten conform EN 10025-4. •