

Deze serie artikelen wordt verzorgd door de Technische Commissie 1 (Duurzaamheid) van Bouwen met Staal. Doel is de raakvlakken tussen duurzaamheid en het constructeursvak zichtbaar te maken en praktische handvatten te bieden voor het formuleren van oplossingen. De TC1 bestaat uit: Bart van Leeuwen (voorzitter), Movares; Malcolm Aalstein, Ingenieursbureau Amsterdam; Elise Bilardie, IMd Raadgevende Ingenieurs; Rijk Blok, TU/e; Mark van der Heijde, Movares; Jan-Pieter den Hollander, Bouwen met Staal (secretaris); Stefan Greven, Ingenieursbureau Amsterdam; Thijs Huijsmans, Royal HaskoningDHV; Hilbert-Jan Kuijter, ABT; Joost van der Lans, Tata Steel; Bart Spaargaren, Grontmij; Sjoerd Tollenaar, Grontmij; Wouter Visser, Iv-Consult.

Waarom S235 achterhaald is

De roep om de staalsoort S235 te mijden en hoogwaardiger staalsoorten te nemen, voor materiaalbesparing en gunstiger carbon footprint, klinkt almaar luider. Om lichter en slanker te kunnen construeren breidde ThyssenKrupp Materials Nederland in augustus de voorraad constructiestaal in S355 uit en wijst Arcelor al langer de weg met Histar. In het hoofdprogramma van de Nationale Staalbouwdag 2013 verdedigt de auteur in een lezing de stelling 'S235 uit de schappen', waarvan hier de hoofdlijnen.

ir. S.X. Greven RC

Stefan Greven is constructeur bij Ingenieursbureau Amsterdam en lid van de Commissie TC1 (Duurzaamheid) van Bouwen met Staal.

Met de uitvinding van de hoogoven werd ruwijzer en vervolgens staal in grotere hoeveelheden geproduceerd. Dit proces van staal maken werd al 2500 jaar geleden in China toegepast. In Europa ontdekte men dit pas in de 15e eeuw, maar sindsdien verbeterden de Europeanen het productieproces aanzienlijk. Met bijvoorbeeld het Bessemer-procedé slaagde men erin het ijzer betrekkelijk gemakkelijk te zuiveren tot een zodanig laag koolstofgehalte (minder dan 2%) dat het ductiel genoeg was om te kunnen walsen. De mogelijkheid om op eenvoudige wijze kwalitatief hoogwaardig staal te produceren, deed het ijzerverbruik enorm stijgen. In veel ontwikkelde landen is het gebruik gestegen van 10 kilo staal per persoon in de 18e eeuw naar ongeveer 500 kilo staal per persoon per jaar in 2012^[1]. Het toepassen en produceren van staalsoort S235 in de bouw is achterhaald. De oude standaard moet worden verlaten omdat de potentie van staal an sich wordt ondermijnd door het gebruik van deze relatief lage staalsterkte. Constructiestaal in de soorten S235, S275, S355, S460 zijn alle opge-

bouwd uit dezelfde verhouding grondstoffen en legeringen, alleen de walsmethodiek en koeltechnieken maken het onderscheid. De kosten en het energie- en materiaalverbruik zijn per kilo voor alle soorten nagenoeg gelijk, de fysische eigenschappen van de verschillende staalsoorten daarentegen niet. De hogere staalsoort S460 presteert beter op vele vlakken. Als die staalsoort meer zou worden gebruikt, zouden meer goedkopere, duurzamere, slankere en lichtere constructies mogelijk zijn dan bij het gebruik van staalsoorten uit de lagere klassen. Vandaar de stelling 'S235 uit de schappen'. In dit artikel zal duidelijk worden waarom deze op het eerste gezicht boude uitspraak niet uit de lucht is gegrepen. Vergelijk het met de ontwikkeling in de betonstaalsoorten. Wapeningsstaal is in de loop der jaren geëvolueerd van QR/FeB 220 naar FeB 500. Niemand zal het nu nog in zijn hoofd halen FeB 220 in nieuwe betonconstructies toe te passen.

Techniek

De meest gebruikte staalsoorten in de huidige utilitaire bouwconstructies zijn S235, S355 en S460, die alle opgebouwd uit dezelfde verhouding grondstoffen en legeringen. Alleen de walsmethodiek en koeltechnieken verschillen. De genoemde staalsoorten zijn genormeerde thermomechanisch gewalste staalsoorten met een maximale rekgrens van 460 MPa. S355 en S460 worden vaak al als hogesterktestaal beschouwd, maar dat komt doordat onze standaard met staalsoort S235 is verouderd. De standaard omhoog brengen naar staalsoort S460, met als tussenstap S355, is de meest logische volgende stap. Voor de duidelijkheid: staal is pas hogesterktestaal van S690, zogeheten Quenched en Tempered staalsoorten. De meest toegepaste QT-staalsoorten die in de scheepsbouw, offshore en kraanbouw worden gebruikt zijn S690, S890, S960 en S1100. De soorten danken hun hoge treksterkte aan een hoger koolstofgehalte dan thermomechanische gewal-

te staalsoorten. Door kleine en/of zeer kleine toevoegingen van hetzij nikkel, chroom, koper, vanadium of andere metalen voldoen de hogesterktestalen aan de eisen van harden en kerftaaiheid. Het van QT-staalsoorten vraagt extra aandacht voor warmte-inbreng, lasvolgorde, voorverwarmen en afkoeltechnieken spelen een belangrijke rol^[2].

Minder materiaal

Dit artikel beperkt zich verder tot de staalsoorten S235 t/m S460.

Voordelen van staalsoorten met een hogere treksterkte zijn te vinden in het verminderde materiaalverbruik, dus het lagere gewicht van de constructie en daarmee lagere kosten voor het hele productie- en bouwproces. Doordat gewerkt kan worden met slankere profielen wordt de detaillering van verbindingen vaak minder zwaar en complex, en de lasvolumes kleiner. Daarnaast is de stabiliteit van de profieldoorsnede hoger (dit zien we terug in knik-kiptromme) en is het dynamisch gedrag (vermoeiingsberekeningen) soms gunstiger, doordat er dunnere platen kunnen worden toegepast.

Bij een vergelijking van twee geometrisch gelijke stalen bouwconstructies met zowel elementen op trek als op druk, wordt er een gewichtsreductie gehaald van 30 tot 45% bij de variant in S460 tegenover de variant in S235. Dit zien we direct terug in lagere bouwkosten en besparing in materialen en energie.

Voor een constructie in de ontwerpfase beschouwen we de sterkte, de stijfheid en de stabiliteit. Het gros van de staalconstructies worden opgebouwd uit de volgende elementen:

- kolommen (drukstaven);
- liggers (staven op buiging en stijfheid);
- vakwerken (trek- en drukstaven).

Je zou zeggen dat S235 prima volstaat voor geheel op stijfheid ontworpen constructies, maar er valt veel voor te zeggen om ook deze staalconstructies uit te voeren in S460. Voor een constructie waar alleen de stijfheid



Uyllanderbrug, Amsterdam (2013). De staalconstructie is in staalsoort S460 met de dwarsdrager in het dek van S355.

maatgevend is, kan het volgende worden gesteld: als deze wordt uitgevoerd in S460 kunnen, zoals al opgemerkt, de detaillering en opleggingen eenvoudiger worden uitgevoerd, terwijl ook minder laswerk nodig is. Ook is de in S460 ontworpen constructie op stijfheid robuuster dan diezelfde constructie in lagere staalsoorten. Bij wijzigingen gedurende de levensloop zijn aanpassingen zoals gatverzwakkingen (extra boutgaten) makkelijker realiseerbaar zonder extra voorzieningen, omdat het materiaal sterker is. Aandachtspunten bij het gebruik van de hogere sterkte staalsoorten zijn.

- Gecertificeerde lassers zijn nodig. Hoe hoger de staalsoort hoe specifieker de lasvoorschriften.
- Plooigedrag kan ontstaan door de (mogelijk) dünnere platen.
- Detaillering van knooppunten. Bij slanke profielen is minder materiaal voor verbindingen aanwezig wat vaak voordelig is maar bij momentverbindingen aandacht verdient.
- De herkomst, kwaliteit en staalsoort moeten traceerbaar zijn. Deze administratieve handelingen kosten geld. De registratie voor de traceerbaarheid bedraagt ongeveer 1% van de kostprijs. Dit punt verdient wel een nuancering. Vanwege de nieuwe NEN-EN 1090-norm, die volgend jaar van kracht wordt, moeten in de toekomst alle staalsoorten per partij geregistreerd worden en traceerbaar blijven. Dit nadelige punt van de relatief verhoogde kostprijs is dus van korte duur. Sterker nog, de traceerbaarheid van het staal wordt zelfs een voordeel. Traceerbaarheid is in het licht van duurzaamheid immers juist gunstig. Staalprofielen kunnen doordat ze geregistreerd zijn namelijk beter hergebruikt worden zodat ze minder snel omgesmolten worden.

Duurzaam staal

Staal maken kost veel energie en dit geeft veel CO₂-uitstoot. Ongeveer een kwart van de wereldstaalproductie is afkomstig van gerecycled schroot. Upcycling van S235 naar S460 kan goed met de juiste wals- en water-

koeltechnieken. Toevoegingen van materialen en energie zijn niet nodig. Het recyclen van staal S235 naar S235 is daarmee overbodig geworden. Schroot kan op verschillende manieren worden versmolten naar staal. Dit kan gebeuren in een converter van een hoogoven. Een andere mogelijkheid is de vlamboogovens, die uitsluitend schroot als grondstof gebruikt. Staalproducten kunnen als halffabricaten of eindfabricaten uit het productieproces komen. Een efficiënte methode voor het produceren van eindproducten is het continue gieten, het gietwalsproces. Na het gieten wordt de plak of balk door een oven geleid en direct gewalst. Dit levert een aanzienlijke energiebesparing op ten opzichte van half-fabricaten, omdat die eerst weer moeten worden opgewarmd alvorens gewalst te kunnen worden.

CO ₂ -uitstoot (ordegrootte) bij het vervaardigen van staal (MPRI-bladen)		
hoogovens	converter met ijzererts en schroot	1000 kg CO ₂ /ton staal (25% recycling)
vlamboogovens	elektrische smeltovens met schroot	500 kg CO ₂ /ton staal (100% recycling)

Minder zwaar

Bij het gebruik van S460 versus S235 staalsoorten zijn niet alleen de kosten van de gehele staalconstructie lager door minder materiaalverbruik in kilo's staal en lasvolumes. Ook de kosten van de assemblage, het staaltransport, de kraaninzet en de hulpconstructies zijn lager. Bijkomend effect is een minder zware belasting voor het milieu, wat dus duurzaam voordeel betekent. Dit betaalt zich niet alleen uit in de staalconstructie, maar ook in de fundering ervan. Daarmee worden ook op dit vlak kosten, materiaal en energie bespaard.

Een uit S460 opgetrokken (utiliteits)gebouw kan beter hergebruikt worden, op gebouwniveau (slankere profilering) zowel als op materiaalniveau (profiel), dan een vergelijkbaar gebouw opgetrokken uit staalsoort S235.

Ook toekomstbestendig gebruik van staal vraagt dus om hogesterktesoorten. S460 uit gedomonteerde bouwwerken zal bij hergebruik minder snel tot schroot worden gedgegradeerd. Reserve inbouwen voor flexibiliteit kan dan verder ook eenvoudiger. Ook dit draagt bij tot duurzaam bouwen. Moderne contractvormen zoals het leasen van stalen bouwelementen hebben tevens baat bij staalsoorten met een hogere treksterkte vanwege de brede toepasbaarheid.

tonnen staal per jaar geproduceerd ¹⁾	Arcelor-Mittal	Tata Steel IJmuiden	wereld
	110 miljoen	7 miljoen	900 miljoen

CO₂-uitstoot

Met betrekking tot een reductie van de CO₂-uitstoot, door het elimineren van S235 uit de bouwketen, kan het volgende plaatje worden geschetst. Uitgaande van 900 miljoen ton staalproductie per jaar en een (lage) aanname van 10% voor het aandeel S235, resulteert in 90 miljoen ton staal. Daarvan wordt de helft ingezet voor staalprofielen in vakwerken en kolommen. Hiervan kan dan een kiloreductie worden gehaald van 30% door inzet van S460. Dit komt dan neer op een reductie van 27 miljoen ton staal. Dit stemt overeen met 14 miljoen ton CO₂-uitstootreductie op jaarbasis voor alleen het staal. Deze reductie komt overeen met 9% van de totale CO₂-uitstoot van Nederland of 74 miljard gereden kilometers met een benzineauto. Steeds meer staalconstructies worden langzaam maar zeker uitgevoerd in hogere staalsoorten. Met name in de infra maar ook in de utiliteitsbouw begint het besef dat dit een grote verbetering is, door te dringen. •

Literatuur

1. Wikipedia.
2. E. Romeijn en Th. Luijendijk, 'Constructie hogesterkte staal stelt andere eisen aan het lassen', *Metaalmagazine* 9 (2009), p. 30-32.