

Aluminium en constructies

Citation for published version (APA):

Soetens, F. (2015). *Aluminium en constructies*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Published: 09/01/2015

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Afscheidscollege
prof.ir. Frans Soetens
9 januari 2015



/ Faculteit Bouwkunde

TU / **e**

Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Aluminium en constructies

Where innovation starts

Afscheidscollege prof.ir. Frans Soetens

Aluminium en constructies

Uitgesproken op 9 januari 2015
aan de Technische Universiteit Eindhoven

Inleiding

Mijnheer de Rector Magnificus, Dames en Heren,

Na negentien jaar de bijzondere leerstoel Aluminiumconstructies te hebben bekleed, sta ik vandaag op dit podium om een afscheidscollege te geven.

Toen ik in september 1995 begon bij de TU Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, is mij gevraagd om een intreerede te houden, wat gezien de bijzondere situatie – een nieuwe leerstoel, extern gefinancierd, ik kom daar straks in mijn dankwoord nog op terug – een begrijpelijk verzoek was, waar ik graag aan heb voldaan. Om dezelfde reden heb ik gemeend ook een afscheidscollege te moeten geven, hetgeen dan nu staat te gebeuren.

In mijn intreerede heb ik vanwege de onbekendheid met het materiaal aluminium voor constructieve toepassingen, en met name die voor bouwconstructies, aandacht besteed aan de ontstaansgeschiedenis van aluminium: het complexe productieproces van bauxiet tot zuiver aluminium, hetgeen pas eind 19e eeuw goed tot ontwikkeling is gekomen. Echter, zuiver aluminium is niet geschikt als constructiemateriaal en het heeft tot begin 20e eeuw geduurd om een aluminiumlegering te vervaardigen, waarmee de draagconstructie van de Hindenburg luchtschepen is gebouwd. Dat was het begin van de toepassing van aluminium in draagconstructies, maar de grootschalige toepassing van aluminium dateert van de periode na de Tweede Wereld oorlog, halverwege de vorige eeuw. Aluminium is dus een betrekkelijk jong constructiemateriaal, vergeleken met materialen zoals staal, hout, beton en metselwerk.

In de afgelopen decennia is er internationaal veel tot stand gebracht, waaraan ik vanaf 1975 bij TNO Bouw en in deeltijd vanaf 1995 bij de TU/e mijn steentje heb bijgedragen, zowel op het gebied van onderzoek als van toepassingen in bouwconstructies. In dit college zal ik proberen daar een kort overzicht met enkele hoogtepunten van te geven en uiteraard zal ik ook aandacht besteden aan de toekomst. Maar voordat ik dat doe, ga ik eerst nog even terug naar het materiaal aluminium en de redenen voor de toepassing.

Aluminium

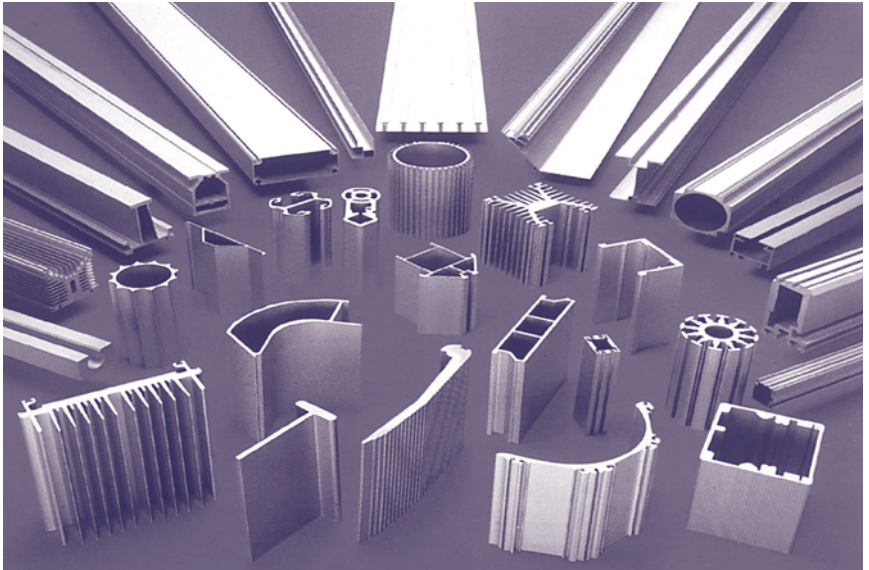
De toepassing van aluminium – meer precies aluminiumlegeringen, ik kom daar zo op terug – in de transportsector (met name in de lucht- en ruimtevaart, scheepvaart, rail en wegverkeer) is vooral gebaseerd op de gunstige sterkte/gewichtsverhouding. Hierdoor is het gebruik van aluminium zeer sterk toegenomen en neemt het nog steeds toe, hoewel andere constructiematerialen zoals vezelversterkte kunststoffen een steeds grotere concurrent worden.

Echter, terug naar bouwconstructies en de redenen voor toepassing van aluminium. Dit zijn:

- De tendens naar lichtere constructies. Een laag eigen gewicht betekent minder materiaalgebruik, een eenvoudiger assemblage, een makkelijker transport, een grotere nuttige belasting (denk aan renovatie van bijvoorbeeld bruggen) en minder energieverbruik (bij beweegbare constructies).
- Het streven naar duurzame constructies die weinig of geen onderhoud behoeven.
- Recycling, hergebruik van materialen.
- Het kennisniveau van aluminium, dat zich op hetzelfde niveau bevindt als van bekende bouwmaterialen zoals beton, staal, hout en metselwerk.
- Sinds 2010 zijn ontwerpregels beschikbaar in Eurocode 9 ‘Design of aluminium structures’.

Een aantal eigenschappen van aluminium en aluminiumlegeringen, zowel fysische als mechanisch, kan worden aangemerkt als gunstig voor de toepassing in bouwconstructies en sluit goed aan bij bovengenoemde redenen. Die gunstige eigenschappen zijn:

- Een laag eigen gewicht, ongeveer eenderde van staal.
- Goede sterkte- en taaiheidseigenschappen, zelfs bij zeer lage (cryogene) temperaturen.
- Grote variëteit in vormgeving van profielen door extrusie – persen van profielen door een matrijs – wat niet mogelijk is met staal.
- Hoge corrosievastheid door dichte, afsluitende oxidehuid die zeer hecht met het onderliggende metaal is verbonden. Veel toepassingen zijn mogelijk zonder oppervlaktebehandeling.
- Uitstekende recyclebaarheid met behoud van mechanische eigenschappen.



Figuur 1
Extrusieprofielen.

Uiteraard zijn er ook minder gunstige eigenschappen die niet onvermeld dienen te blijven, zoals:

- De relatief lage waarde van de elasticiteitsmodulus, eenderde van staal. Dat betekent een lagere stijfheid en dus grotere vervormingen van aluminiumconstructies in vergelijking met staalconstructies. Bovendien zijn aluminiumconstructies gevoeliger voor instabiliteit (knik/plooi) dan staalconstructies.
- In geval van wisselend belaste constructies treedt vermoeiing eerder op bij aluminiumconstructies in vergelijking met staalconstructies.
- Het lage smeltpunt van aluminium (circa 650°C) hetgeen een grote invloed heeft op de mechanische eigenschappen van aluminium boven 100°C , waardoor de brandwerendheid van een aluminiumconstructie kritischer is dan die van een staalconstructie.

Hoewel ik eerder diverse bouwmaterialen heb genoemd, is het in het geval van bouwconstructies vooral staal waarmee aluminium moet concurreren. Daarom ook de eerdergenoemde vergelijkingen met staalconstructies voor wat betreft voor- en nadelen.

Aluminium en aluminiumlegeringen

Ongelegeerd aluminium, i.e. aluminium met minimaal 99,5% zuiver aluminium als bestanddeel, dus geen toevoeging van vreemde legeringselementen, wordt in dragende constructies niet toegepast. Het is betrekkelijk zacht en wordt alleen gebruikt als er geen grote sterkte, hardheid of chemische bestendigheid worden vereist. Aluminium is echter zeer goed te legeren met andere elementen. Een kleine toevoeging (0,5 tot 3 %) van andere metalen zorgt voor een aanzienlijke verbetering van eigenschappen als sterkte, hardheid en corrosiebestendigheid. De belangrijkste legeringselementen zijn: koper (Cu), magnesium (Mg), mangaan (Mn), silicium (Si) en zink (Zn). Aluminiumlegeringen worden onderverdeeld in kneedlegeringen en gietlegeringen. Kneedlegeringen bevatten de minste hoeveelheid legeringselementen en worden na het legeren gegoten tot palen en walsblokken. Daarna vindt verdere verwerking plaats, i.e. vervaardiging van halffabrikaten, zoals platen, buizen en profielen. Gietlegeringen worden gegoten tot broodjes. Na omsmelten wordt met het vloeibare aluminium en een geschikt gietproces een gietproduct vervaardigd, dat zowel eenvoudig als zeer complex van vorm kan zijn, zoals een knooppunt in een ruimtelijk vakwerk.

Behalve door te legeren zijn die eigenschappen verder te verbeteren door in het productieproces een nabehandeling toe te passen. Hierdoor wordt een grote variëteit aan mechanische eigenschappen gerealiseerd. Een en ander heeft geleid tot enkele duizenden verschillende legeringen die internationaal zijn vastgelegd in normen. Daarbij wordt een achttal hoofdgroepen of series onderscheiden aan de hand van het belangrijkste element in de legering na aluminium. Belangrijke series voor dragende bouwconstructies zijn de 5xxx serie, de 6xxx serie en de 7xxx serie. In de 5xxx serie is magnesium het belangrijkste element na aluminium, terwijl in de 6xxx serie magnesium en silicium, en in de 7xxx serie zink en magnesium het meest belangrijk zijn na aluminium.

Bij het gebruik van aluminium voor bouwconstructies zijn vooral sterkte, stijfheid, breukrek en corrosiebestendigheid van belang. Deze eigenschappen zijn meestal bij een bepaalde legering niet tegelijk aanwezig. De stijfheid is bovendien afhankelijk van de vorm en grootte van de doorsnede en niet van de toegepaste legering. De meest toegepaste legeringen voor geëxtrudeerde profielen zijn: 6060,

6063, 6061, 6005A en 6082. Voor gewalste platen worden vaak 5083 en 5454 gebruikt. Een uitgebreider overzicht is in de volgende tabel gegeven.

Type	Mechanische eigenschappen				Levormen					
	Toe-stand	0,2% rek-grens	Trek-sterkte [N/mm ²]	Rek [%]	Brinell Hard-heid	Plaat	Pijp	Extru-sies	Ge-walste staaf	Ge-walste draad
1050A	O	30	70	43	19	X	X			
3103	O	40	110	30	28	X	X		X	X
5052	O	90	195	25	47	X	X		X	X
5083	O	145	290	20		X	X			
5086	O	115	260	22		X	X			
5251	O	60	205	20		X	X		X	
5454	O	115	250	22	62	X	X			
5754	O	80	210	20		X	X		X	X
6005A	T ₅ /T ₆	230	275	8	85		X	X		
6060	T ₅ /T ₆	160	200	14	60			X		
6061	T ₄	130	200	18	65	X	X	X	X	X
6063	T ₅ /T ₆	190	225	12	70		X	X		
6082	T ₄	110	205	14	75	X	X	X	X	
7020	T ₆	320	380	12	125	X	X	X	X	X

Figuur 2

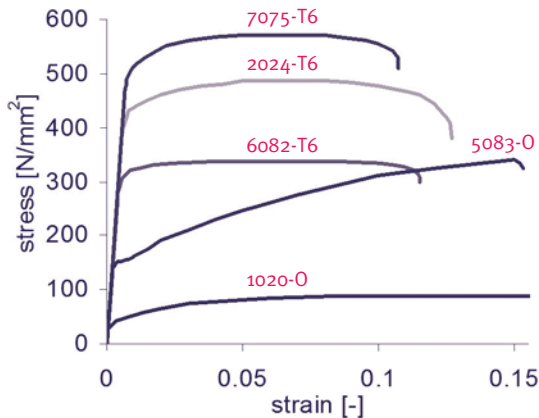
Overzicht van belangrijke mechanische eigenschappen van legeringen die veel in de bouw worden toegepast.

Mechanische Eigenschappen

In de voorgaande tabel staat een overzicht van belangrijke mechanische eigenschappen van legeringen die veel in de bouw worden toegepast. Legeringen uit de series 2xxx en 4xxx ontbreken in de tabel. De 2xxx serie heeft als kenmerk een relatief lage corrosiebestendigheid en een slechte lasbaarheid, waardoor toepassing als materiaal voor bouwconstructies niet gebruikelijk is in tegenstelling tot de lucht- en ruimtevaart. De 4xxx serie wordt uitsluitend als lastoevoegmetaal gebruikt. Enkele mechanische eigenschappen, die vooral van belang zijn voor het ontwerp en de dimensionering van bouwconstructies, worden hierna kort besproken aan de hand van het 'spanning-rek diagram', aan de hand van de invloed van de verschillende nabehandelingen op de mechanische eigenschappen en aan de hand van de elasticiteitsmodulus. De laatste is geen mechanische maar een fysische eigenschap en komt aan de orde vanwege de impact op het ontwerp en de dimensionering van bouwconstructies.

Spanning-rek diagram

In de onderstaande afbeelding zijn spanning-rek-relaties weergegeven voor verschillende aluminiumlegeringen. Zoals blijkt is bij aluminium, in tegenstelling tot constructiestaal, geen vloeitraject aanwezig. De treksterkte varieert van minder dan 100 N/mm^2 voor zuiver aluminium tot circa 500 N/mm^2 voor legering 7075-T6. Als grens voor elastische berekeningen wordt door het ontbreken van een vloeigrens de 0,2 % rekgrens aangehouden. Dit is de spanning waarbij na ontlasten een blijvende vervorming van 0,2% optreedt. De verhouding tussen de 0,2% rekgrens en de treksterkte varieert tussen 0,4 en 0,95 afhankelijk van de legering en de toegepaste nabehandeling.



Figuur 3

Spanning-rek diagram van aluminiumlegeringen.

Elasticiteitsmodulus

De elasticiteitsmodulus van aluminium is 70000 N/mm^2 , drie maal zo laag als die van staal. De variatie van deze waarde voor verschillende legeringen kan worden verwaarloosd bij berekeningen. Bij rekken in het elastisch gebied betekent dit dat de spanning in staal bij gelijke vervorming drie maal zo hoog is als bij aluminium. Maar omgekeerd, bij eenzelfde spanning in het elastisch gebied is de vervorming van aluminium drie maal zo hoog als bij staal.

Nabehandelingen

De mechanische eigenschappen van aluminiumlegeringen kunnen worden verbeterd door het toepassen van nabehandelingen in het productieproces, waarbij onderscheid wordt gemaakt in thermisch veredeldbare en thermisch niet veredeldbare legeringen. Het thermisch veredelen omvat drie behandelingen: oplossend

gloeien, afschrikken en verouderen (harden). Hiermee worden de 0,2% rekgrens en de treksterkte aanzienlijk verhoogd, maar de breukrek neemt in het algemeen af. Thermische veredeling is alleen mogelijk bij legeringen uit de 2xxx-, 6xxx-, en 7xxx-serie. In deze legeringen zijn namelijk bestanddelen aanwezig waarvan de oplosbaarheid bij hogere temperaturen groter is dan bij lagere temperaturen.

De mechanische eigenschappen van thermisch niet-veredelbare legeringen kunnen alleen worden verbeterd door koudvervorming, zoals eveneens bij staal wordt toegepast. Dit wordt daarom ook wel mechanische veredeling genoemd. Bij deze bewerking, door trekken, walsen of persen, worden de 0,2% rekgrens, de treksterkte en de hardheid verhoogd, maar neemt de breukrek aanzienlijk af. Dat laatste kan gedeeltelijk worden gecompenseerd door het materiaal te gloeien.

Ontwerpen en construeren

Ontwerpen en construeren is succesvol, indien de gunstige eigenschappen van aluminium goed worden benut en er voor de minder gunstige eigenschappen een adequate constructieve oplossing wordt geboden.

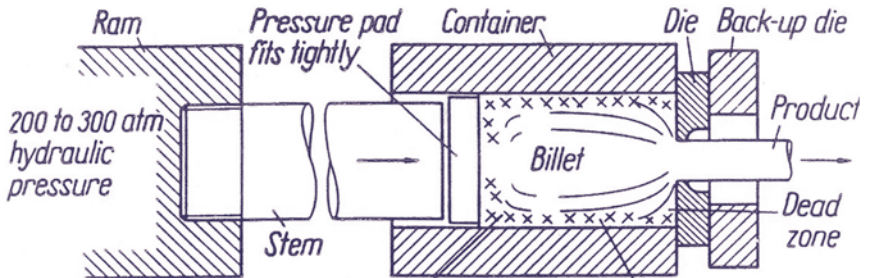
Bij de keuze voor aluminium spelen de volgende aspecten, zoals eerder vermeld, een belangrijke rol: een laag eigen gewicht, een grote bestendigheid tegen corrosie, de vrije vormgeving van profielen met name door extrusie en de economie van het eindproduct.

Het relatief lage eigen gewicht is van groot belang bij toepassing in bouwconstructies. Een lagere belasting door het eigen gewicht betekent dat grotere veranderlijke belastingen kunnen worden toegelaten, ofwel dat de constructie lichter kan worden uitgevoerd. Een lichtere draagconstructie betekent eveneens lagere transportkosten, lagere montagekosten, betere hanteerbaarheid en indien van toepassing geringere dimensies van de onderliggende constructie. Bij toepassing van dezelfde profielen zou het gewicht van een aluminium constructie slechts eenderde van een staalconstructie zijn. Echter, dikwijls is niet sterkte maar de stijfheid of de stabiliteit maatgevend en zal een hoger profiel dienen te worden toegepast in het geval van aluminium om dezelfde stijfheid als het staalprofiel te verkrijgen. Uiteindelijk resulteert dat in een gewichtsreductie van een aluminiumconstructie die ongeveer de helft bedraagt van een vergelijkbare staalconstructie.

Aluminium en aluminiumlegeringen zijn altijd met een dunne, afsluitende oxidehuid bedekt. Deze afsluitende laag, die zeer hecht met het onderliggende metaal is verbonden, belemmert in hoge mate het verder oxideren van het metaal. Zonder deze oxidehuid zou het onedele aluminium dan ook snel aangetast worden. In dit opzicht biedt aluminium een groot voordeel ten opzichte van staal, dat niet is beschermd door een afsluitende oxidehuid. Na een beschadiging van het oppervlak zal de aluminium oxidehuid zich ook weer snel herstellen. Echter, de natuurlijk aanwezige oxidehuid kan wel degelijk worden aangetast, zoals het geval is bij sterke logen en/of zuren (algemene corrosie) en bij contact met edeler metalen (galvanische corrosie). In die gevallen dient een beschermende coating of een isolatie te worden toegepast.

Aluminium constructiedelen kunnen worden onderverdeeld in platen, profielen en gegoten constructiedelen. Platen worden veelal toegepast in gevels en daken, terwijl profielen meestal voor een draagconstructie worden gebruikt, zoals voor liggers en kolommen. Gegoten constructiedelen hebben meestal betrekking op specifieke verbindingen, zoals knooppunten in ruimtelijke vakwerken. Platen worden vervaardigd met een walsproces, zowel vlakke als geprofileerde platen.

In tegenstelling tot platen worden profielen niet zoals bij staal gewalst, maar door extrusie vervaardigd. Bij dit proces wordt aluminium voorverwarmd tot ongeveer 450 tot 500°C en wordt vervolgens het zachte materiaal door een matrijs geperst. De profielen worden bij het uitlopen van de pers geforceerd gekoeld met lucht of afgeschrikt met water, daarna op een trekbank gestrekt en op de gewenste lengte afgezaagd. De mechanische eigenschappen kunnen verder worden verbeterd door het materiaal in een oven kunstmatig te verouderen. In tegenstelling tot walsen kunnen met extruderen de meest uiteenlopende profieldoorsneden vervaardigd worden, van simpele open tot complexe gesloten doorneden waaraan bovendien extra functies kunnen worden toegevoegd, zoals bijvoorbeeld details voor verbindingen.



Figuur 4

Extruderen van aluminium profielen.

Aluminium kan een goed alternatief zijn voor traditionele bouwmaterialen, zoals bijvoorbeeld bij grote overspanningen. Bij dit type constructies spelen het lage eigen gewicht in combinatie met de mogelijke vormgeving van geëxtrudeerde profielen een belangrijke rol bij de keuze voor aluminium. Aluminium is ook goed toepasbaar in constructies die gedurende de levensduur in contact blijven met de buitenlucht, zoals bruggen en verkeersportalen. In dat geval spelen de goede corrosieve eigenschappen, en daarmee samenhangend de lage onderhoudskosten, een belangrijke rol bij de keuze voor aluminium. Bij een kostenvergelijking tussen een aluminium- en een staalconstructie dienen de volgende factoren te worden meegenomen:

- materiaal-, fabricage-, transport- en montagekosten
- maken van verbindingen
- kosten van oppervlaktehandeling
- onderhoudskosten tijdens de levensduur
- recycling

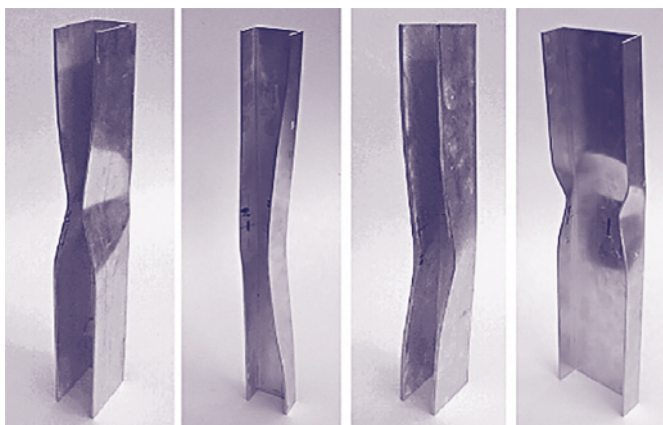
Hoewel de materiaalkosten voor aluminium duidelijk hoger zijn dan die van staal, zijn de overige genoemde factoren veelal in het voordeel van aluminium, waardoor de life cycle-kosten van een aluminiumconstructie meestal lager uitvallen in vergelijking met een staalconstructie.

Voor aluminium geldt daarom in het bijzonder: *Ontwerpen en construeren = Denken in aluminium*. Met andere woorden, de mogelijkheden van aluminium en vooral de vormgevingsmogelijkheden dienen vanaf het allereerste ontwerp centraal te staan.

Onderzoek

In de afgelopen decennia is veel onderzoek verricht. Zowel op het gebied van aluminiumtechnologie als op het gebied van constructief gedrag in Europa en elders, zoals in de USA en Canada. Dit heeft geresulteerd in nieuwe legeringen, verbetering van materiaaleigenschappen, combinatie van materialen, nieuwe verbindingsmethoden, verbeterde sterkte, stabiliteit en brandwerendheid. Vooral de onderwerpen die het gedrag van aluminiumconstructies betreffen, hebben mijn aandacht gehad. Dat onderzoek is veelal in collectief verband uitgevoerd door samenwerking van onderzoekscentra, zoals universiteiten, onderzoeksinstellingen zoals TNO en aluminiumverwerkende bedrijven.

Bij het opzetten van collectief onderzoek hebben onderzoekscommissies een belangrijke inbreng, zowel nationaal als internationaal. In Europa heeft vooral Technische Commissie 2 van de ECCS, European Convention for Constructional Steelwork, aan de basis gestaan van deze ontwikkeling. In de 70-er jaren van de vorige eeuw zijn onderzoeksprioriteiten gedefinieerd en zijn onderzoeksprojecten gestart in samenwerking met bedrijven. De eerste onderwerpen die zijn aangepakt, waren sterkte, plasticiteit en vervormingscapaciteit, om na te gaan of toepassing van de plasticiteitsleer, zoals inmiddels in gebruik voor staal, voor



Figuur 5

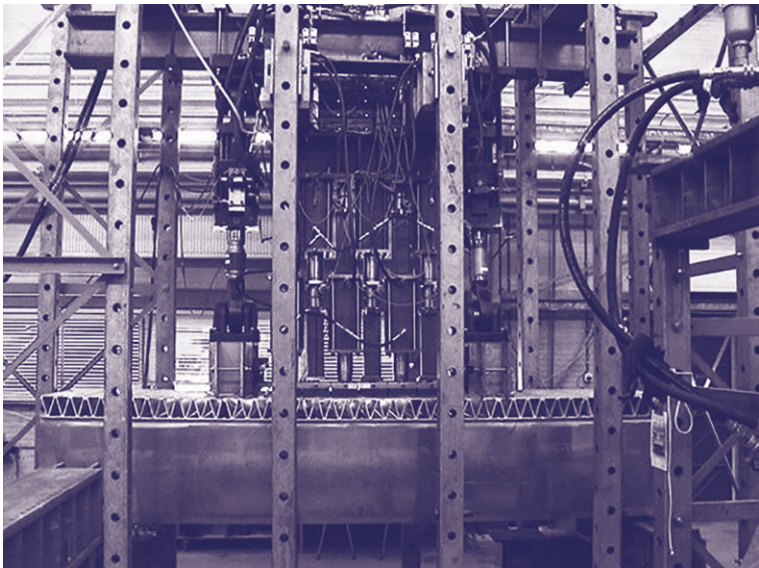
Plooiën van aluminium profielen.

aluminium mogelijk zou zijn. Ondanks het ontbreken van een vloetraject is een dergelijke aanpak onder bepaalde condities ook voor aluminium mogelijk gebleken.

Een tweede belangrijk onderwerp was (en is nog steeds) stabiliteit, zowel globale (knik) als lokale instabiliteit (plooien) van profielen. Voor wat betreft plooien heeft het promotie-onderzoek van Jeroen Mennink en van Natalia Kutanova aan de TU/e vanaf 1995 een belangrijke bijdrage geleverd. Met name het plooigedrag van slanke doorsneden van extrusieprofielen is onderzocht, hetgeen heeft geresulteerd in rekenmethoden voor dergelijke aluminium profielen.

Een derde onderwerp waar veel onderzoek aan is verricht, betreft vermoeiing van wisselend belaste aluminiumconstructies. In ECCS-verband, maar later ook in Eurocode-verband, is veel vermoeiingsonderzoek verricht, veelal in samenwerking met bedrijven. Ook in Nederland is daaraan bijgedragen en met name door het TNO-onderzoek naar vermoeiing van aluminium bruggen.

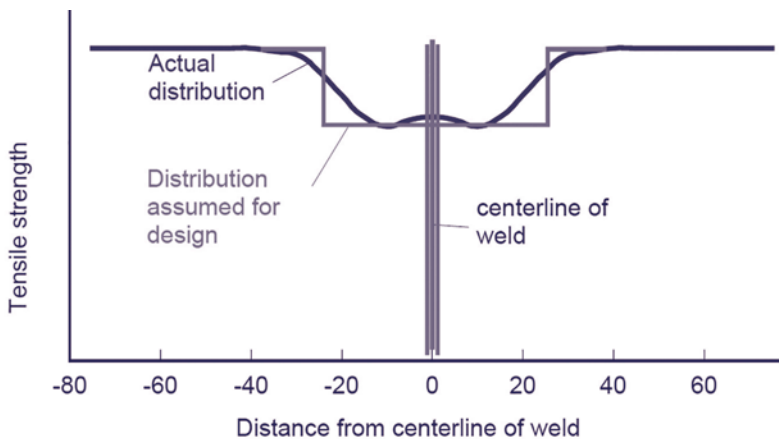
Dit onderzoek heeft geleid tot een aantal toepassingen van aluminium bruggen in Nederland, ik kom daar later nog op terug.



Figuur 6

Vermoeiingsonderzoek aluminium bruggen.

Een ander belangrijk onderwerp voor aluminiumconstructies betreft verbindingen; verbindingen met bouten, met lassen, maar ook gelijkde verbindingen. Uit onderzoek is gebleken dat verbindingen met bouten nagenoeg hetzelfde gedrag vertonen als bij staalconstructies. Echter, dat is niet het geval bij verbindingen met lassen. Door de warmte-inbreng van het lassen, ontstaat voor de meeste legeringen een zone naast de las, die qua sterkte een duidelijke achteruitgang te zien geeft in vergelijking met de sterkte van het uitgangsmateriaal. Ook de sterkte van het lasmetaal blijft in de meeste gevallen achter bij de sterkte van het uitgangsmateriaal. In de onderstaande afbeelding is dat kwalitatief weergegeven.

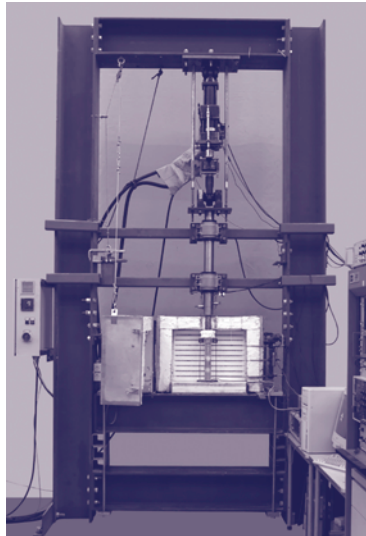


Figuur 7

Beïnvloeding sterkte door warmte-inbreng bij het lassen (afmeting zone in mm).

Onderzoek in Nederland in samenwerking met bedrijven heeft geleid tot rekenregels die eerst in de Nederlandse norm zijn opgenomen en later eveneens in Eurocode 9.

Voor wat betreft verbindingen dient ook het onderzoek aan gelijkde verbindingen niet onvermeld te blijven. Zowel TNO-onderzoek in samenwerking met bedrijven, als projectonderzoek aan de TU/e, master- en afstudeerprojecten, heeft geleid tot richtlijnen voor toepassing in bouwconstructies die zijn opgenomen in Eurocode 9. Een laatste belangrijk onderwerp van onderzoek dat vermeld dient te worden, is brandwerendheid van aluminiumconstructies. Omdat aluminiumlegeringen bij temperaturen boven 100°C zowel aan sterkte als aan stijfheid belangrijk teruggaan, is veel onderzoek verricht naar het constructief gedrag bij hogere temperaturen. Het promotie-onderzoek van Johan Maljaars heeft daar een belangrijke bijdrage aan geleverd.



Figuur 8

Onderzoek brandwerendheid aluminium profielen.

Hoewel reeds veel onderzoek is verricht, blijven er onderwerpen die nader onderzoek vereisen. Zoals:

- Optimalisatie van de draagkracht van aluminium profielen. Belangrijke aspecten daarbij zijn plooien en doorsnedevervorming (distortional buckling).
- Nieuwe verbindingmethoden, zoals verbindingen door wrijvingsroerlassen (Friction Stir Welding) en gelijkjnde verbindingen. Voor de laatste zijn betrouwbaarheid en lange-duurgedrag belangrijke aspecten.
- Nieuwe methoden om het vermoeiingsgedrag van aluminiumconstructies nauwkeuriger te voorspellen. Het lopende vermoeiingsonderzoek aan de TU/e van AIO Sarne Silitonga gebaseerd op ‘Continuum damage Mechanics’ levert daaraan een eerste bijdrage.
- Verder onderzoek aan brandwerendheid van aluminiumconstructies, waaraan het lopende onderzoek aan de TU/e van AIO Ronald van der Meulen een belangrijke bijdrage levert.

Toegepast onderzoek zoals hiervoor is belicht, resulteert in betere ontwerpregels, zoals het onderzoek dat in de afgelopen decennia is uitgevoerd en dat heeft geleid tot de in 2010 gepubliceerde Eurocode 9.

Ofschoon rekenregels in nationale normen in diverse landen in Europa eveneens een update hebben gehad, is Eurocode 9 verreweg de meest uitgebreide en up-to-date standaard voor het ontwerp en de berekening van aluminiumconstructies.

Ontwerpregels

Voor het ontwerp en de berekening van aluminiumconstructies is sinds 2010 Eurocode 9 beschikbaar, waar voorheen in Nederland sinds 1983 NEN 6710, TGB Aluminium van kracht was. De Europese norm maakt, net als voorheen de Nederlandse norm, deel uit van een stelsel van normen, waarin voor alle bouwmaterialen dezelfde ontwerpfilosofie wordt gehanteerd. Dat wil zeggen dat de veiligheid van de constructie op uniforme wijze is geregeld. De door de ontwerpbelasting (= maatgevende belastingcombinatie vermenigvuldigd met de van toepassing zijnde belastingfactoren) veroorzaakte krachten in de constructie die zijn bepaald met behulp van de toegepaste mechanica, mogen nergens de ontwerpsterkte (= de karakteristieke sterkte gedeeld door een materiaalfactor) overschrijden. Door het toepassen van genoemde factoren kan de gewenste veiligheid van een constructie – de kans op bezwijken – van tevoren worden bepaald.

De regels in Eurocode 9 zijn gebaseerd op de hiervoor genoemde ontwerpfilosofie, waarmee het draagvermogen van een aluminiumconstructie of constructiedeel kan worden getoetst. Eurocode 9 heeft zoveel mogelijk dezelfde opzet als voor staalconstructies in Eurocode 3 is gedaan, zodat de constructeur – in Nederland veelal een staalconstructeur – snel vertrouwd raakt met ontwerp en berekening van aluminiumconstructies.

Eurocode 9 is opgebouwd uit 5 delen:

- **Part 1-1 ‘General structural rules’, het belangrijkste deel waarin statisch belaste aluminiumconstructies worden behandeld.** Een belangrijk gegeven voor het draagvermogen is de doorsnedeklasse van een profiel, zowel voor de sterkte als voor de (plooi)stabiliteit. In dit deel zijn regels gegeven, waarmee de doorsnedeklasse eenvoudig kan worden bepaald. Naast plooi-stabiliteit wordt ook ruim aandacht besteed aan knik-, torsieknik- en kipstabiliteit. Ook voor staal gebeurt dat in Eurocode 3, maar zoals al eerder opgemerkt, is stabiliteit voor aluminium vaker maatgevend dan voor staal door de lage waarde van de elasticiteitsmodulus. Voor combinaties van krachten en momenten zijn interactieformules gegeven die een veilige benadering zijn van de werkelijke doorsnedecapaciteit. Behalve aan de sterkte wordt ook aandacht besteed aan de vervormingen. Er zijn

eisen geformuleerd om de vervormingen van constructies respectievelijk constructiedelen onder gebruiksomstandigheden te limiteren. Tenslotte, het laatste hoofdstuk betreft rekenregels voor verbindingen; regels voor bout- en klinknagelverbindingen, voor lasverbindingen en voor gelijmde verbindingen.

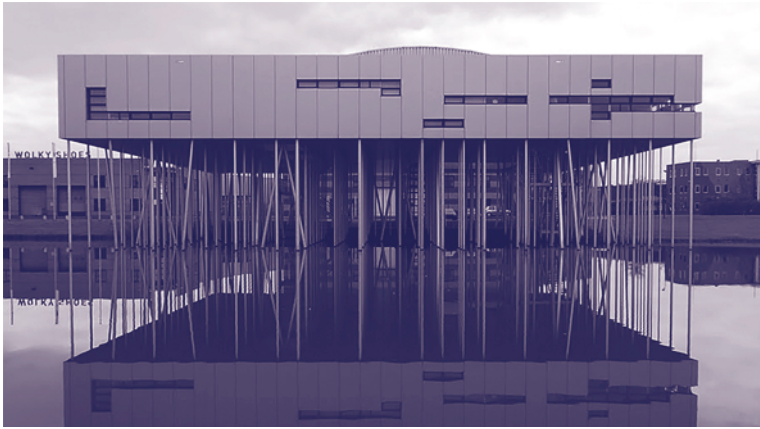
- **Part 1-2 ‘Fire design’, waarin rekenregels zijn gegeven waarmee het draagvermogen van aluminiumconstructies onder brandomstandigheden kan worden bepaald.** De huidige rekenregels zijn vanwege het ontbreken van voldoende onderzoeksresultaten, voornamelijk gebaseerd op de regels voor staalconstructies, waarbij wel de materiaalspecifieke eisen van aluminium zijn verdisconteerd. In een volgende editie van dit deel zullen nieuwe inzichten met betrekking tot het ontwerp en recent uitgevoerd onderzoek, zoals dat van Maljaars en Van der Meulen, een belangrijke verbetering van de rekenregels opleveren.
- **Part 1-3 ‘Fatigue design’, waarin rekenregels zijn gegeven voor op vermoeiing belaste aluminiumconstructies.** Door het lage eigen gewicht en de relatief lage waarde van de elasticiteitsmodulus is vermoeiing bij een aluminiumconstructie eerder maatgevend dan bij een vergelijkbare staalconstructie. Echter, door een goede detaillering bij het ontwerpen kan ook bij aluminium een lange levensduur worden bereikt. Ook voor dit deel geldt dat door recent onderzoek, zoals dat van Silitonga, een nog betere benadering van de levensduur van een aluminiumconstructie mogelijk is.
- **Part 1-4 ‘Cold-formed sheet’, waarin rekenregels zijn gegeven voor dunne, koudgewalste platen.** Ook voor deze regels is gebruikgemaakt van de regels voor staal, die vervolgens zijn aangepast voor aluminium. In een hoofdstuk over verbindingen zijn regels opgenomen voor verbindingsmiddelen in dunne plaat, zoals schroeven en popnagels.
- **Part 1-5 ‘Shell structures’, waarin rekenregels voor dunwandige opslagtanks zijn opgenomen.** Ook voor dit deel is gebruikgemaakt van gegevens zoals die voor staal beschikbaar waren. Voor deze slanke constructies wordt de draagkracht in belangrijke mate bepaald door de plooiestabiliteit van dunwandige plaatdelen.

Toepassingen

De meest belangrijke toepassingen van aluminium zijn te vinden in transport en in bouw c.q. civiele constructies. Hier zullen alleen bouw en civiele constructies worden behandeld. Een verder onderscheid kan daarbij worden gemaakt in offshore en onshore constructies. Offshore constructies zijn bijvoorbeeld helikopterdekken, woonverblijven, gangpaden, trappen, etc. Onshore constructies zijn bijvoorbeeld grote overspanningen, zoals bij ruimtelijke vakwerken, koepeldaken, bruggen, brugdekken, verkeersportalen en waterzuiveringsinstallaties. Enkele voorbeelden van recent in Nederland gerealiseerde aluminiumconstructies worden hierna belicht. Deze voorbeelden zijn veelal vanuit mijn werkzaamheden bij TNO en in samenwerking met bedrijven tot stand gekomen.

Aluminium kantoorgebouw

In opdracht van het Aluminium Centrum, de branche-organisatie van de aluminium industrie, is in 2000 in Houten een geheel uit aluminium vervaardigd kantoorgebouw gerealiseerd. Het concept van een geheel uit aluminium opgetrokken gebouw, ondersteund door honderden slanke aluminium kolommen, is ontworpen door architect Micha de Haas. Het was het winnende ontwerp in een wedstrijd en werd gekozen uit meer dan 60 inzendingen. De architect was geïnspireerd door de landelijke omgeving en noemde zijn ontwerp een 'hut in een aluminium bos'. Het is een uitzonderlijk ontwerp, een gebouw met één verdieping van 1000 m², ondersteund door 380 aluminium kolommen. Bovendien moest de stabiliteit van het systeem door de kolommen worden verzorgd; een additionele schoorconstructie werd niet toegestaan door de architect. De kolommen hadden een lengte van 6 meter en een diameter die varieerde van 90 tot 210 mm. Om de sterkte, de stabiliteit en de horizontale verplaatsingen van de constructie te bepalen zijn numerieke simulaties uitgevoerd. Met het definitieve ontwerp werd voldoende stijfheid (gereduceerde horizontale verplaatsingen en een eigenfrequentie boven de 1 Hz), sterkte en stabiliteit van het systeem verkregen door 80 grote kolommen onder een helling van 1 op 10 aan te brengen.



Figuur 9

Aluminium kantoorgebouw.

Aluminium bruggen

In Nederland is de eerste aluminium brug geïnstalleerd in Amsterdam in 1955, gevolgd door enkele andere bruggen en brugdekken in dezelfde periode op verschillende locaties. Behalve de gunstige eigenschappen van aluminium, zoals eerder vermeld, was in die periode het voorradig zijn van gerecycled aluminium na de Tweede Wereldoorlog een belangrijke reden voor deze toepassingen. Nadien zijn tussen 1960 en 1990 slechts weinig aluminium bruggen gebouwd, zowel in Europa als in Noord-Amerika. Echter vanaf 1990 is er een hernieuwde interesse ontstaan, die mede is geïnitieerd door het uitgevoerde onderzoek en de toegenomen kennis over het constructief gedrag van aluminium.

In Nederland werden vier interessante toepassingsgebieden gedefinieerd:

- beweegbare bruggen
- bruggen in nieuwbouwwijken: verkeers- en voetgangersbruggen
- uitbreiding van bestaande bruggen
- renovatie van brugdekken

Alle vier de toepassingsgebieden zijn onderzocht, maar de meeste aandacht is uitgegaan naar beweegbare bruggen: een specifiek type, een niet gebalanceerde, hydraulisch aangedreven aluminium brug. Door het lage eigen gewicht is met een geringe vijzelcapaciteit een snelle beweging van de brug mogelijk en is door de horizontale beweging van de vijzel geen diepe kelder nodig, zoals bij een gebalanceerde brug. In Amsterdam is een dergelijke verkeersbrug met een overspanning



Figuur 10

Hydraulisch aangedreven beweegbare brug in Amsterdam.

van 18 meter en een breedte van 12 meter gebouwd. Een zwaarbelaste brug, waarvoor een uitgebreide vermoeiingsanalyse is uitgevoerd.

In nieuwbouwwijken zijn diverse onder architectuur gebouwde, aluminium verkeersbruggen gerealiseerd, zoals in Raalte. Daarnaast zijn vele aluminium voetgangersbruggen gebouwd o.a. in Amsterdam; een hydraulisch aangedreven, beweegbare voetgangersbrug nabij het Centraal Station en in Purmerend een voetgangersbrug met een lengte van 160 meter.



Figuur 11

Aluminium uitbreiding van een bestaande stalen boogbrug.

Een voorbeeld van uitbreiding van een bestaande brug is een stalen boogbrug over het Amsterdam Rijnkanaal. Het oorspronkelijk betonnen voetgangerspad van 2,5 meter breedte is vervangen door een 4,5 meter breed aluminium fiets- en voetgangerspad, waarbij de bestaande stalen consoles intact zijn gebleven. De lichte, geprefabriceerde aluminium secties met een lengte van 16 meter, maakten het bovendien mogelijk dat ook lichte voertuigen zoals ambulances bij stremming van het verkeer op de hoofdrijbaan, van het fiets- en voetgangerspad gebruik kunnen maken.

Tenslotte kunnen een aantal brugdekken worden genoemd waarbij de bestaande dekconstructie (hout, staal, beton) is vervangen door een aluminium brugdek. Door het lage gewicht van de aluminium brugdekken was in een aantal gevallen een verhoging van de verkeersbelasting op de bestaande bruggen mogelijk. Succesvolle toepassingen in Nederland hebben tevens geleid tot de renovatie van twee stalen bruggen in Kentucky, USA, waarbij het betonnen brugdek is vervangen door geprefabriceerde aluminium panelen.

Een vermeldenswaardige toepassing in Nederland is de vervanging van het houten brugdek van het beweegbare gedeelte van de Haringvlietbrug (A29). Door de toepassing van geprefabriceerde aluminium panelen was een korte bouwtijd mogelijk bij de montage op de bestaande stalen draagconstructie. Met deze toepassing is een duurzame, onderhoudsvrije constructie gerealiseerd in vergelijking met de oorspronkelijke houten constructie. Voordat tot de bouw kon worden overgegaan



Figuur 12

Aluminium panelen ter vervanging van het houten brugdek in de Haringvlietbrug.

is het ontwerp van het aluminium brugdek uitgebreid getoetst op vermoeiing, aangezien het een brug betrof in de categorie van de zwaarste verkeersbelasting.

In geval van onderhoudswerkzaamheden aan een brug of aan een weg langs een kanaal kan een drijvende weg van pas komen. Daarvoor is een eenbaans, drijvende weg voor auto's ontworpen, waarop met een snelheid van 80 km/u gereden kan worden. Het ontwerp – uitgekozen door Rijkswaterstaat als winnaar van een ontwerpwedstrijd – is gebouwd en in de praktijk getest. De drijvende weg bestond uit een aantal modules, opgebouwd als een doosconstructie van gelaste extrusieprofielen, geëxtrudeerde rijdekprofielen, aluminium zijwanden en bodemplaten. De modules hadden als afmetingen 5,3 x 3,5 x 1,5 meter (lengte x breedte x hoogte). Ze waren gedeeltelijk gevuld met polystyreen, maar door perforaties in de bodem gedeeltelijk gevuld met water, voor een goede stabiliserende werking van de weg op het water. De gekozen afmetingen en het lage gewicht van de modules – ongeveer 2500 kilo – maakten zowel een gemakkelijk transport als een gemakkelijke montage en demontage mogelijk.

Om aan te tonen dat de drijvende weg qua comfort vergelijkbaar was met een conventionele weg, is een testtraject van 70 meter gebouwd en is met een volledig geïnstreunde auto met een snelheid van 80 km/u over de drijvende weg gereden, terwijl er gelijktijdig kunstmatig golven werden opgewekt door schepen van de genie. De testen wezen uit dat de drijvende weg een uitstekend alternatief voor een conventionele weg kan zijn.



Figuur 13

Praktijktest van een aluminium drijvende weg.

Onderwijs

Bestaande kennis, gebaseerd op onderzoek en ervaring met de toepassing van aluminium, heeft als basis gediend voor het onderwijsprogramma dat aan de studenten van de TU Eindhoven en de TU Delft is aangeboden. Een keuzecollege voor studenten in de Master bestaande uit hoorcolleges, een oefening om de stof in de praktijk te brengen en een schriftelijk tentamen. Daarnaast is alleen aan de TU/e ook in de Bachelor (beperkt) aandacht besteed aan het construeren met aluminium.

Het keuzecollege heeft door de jaren heen een groeiend aantal studenten te zien gegeven. De combinatie met een oefening, die in een later stadium is toegevoegd, is een waardevolle uitbreiding gebleken. Door studenten is herhaaldelijk opgemerkt, dat de stof van de colleges door de oefening veel meer tot de verbeelding is gaan spreken. Ook het projectonderwijs, zowel de masterprojecten als de afstudeerprojecten, draagt daartoe duidelijk bij. Het uitvoeren van een project, of het nu een ontwerpproject of een onderzoeksproject betreft, geeft de student aanzienlijk meer inzicht in de mogelijkheden van een bepaald materiaal om tot een zinvolle constructie te komen.

Tenslotte, in veel gevallen werd een afstudeerproject gecombineerd met een vraag uit het bedrijfsleven door de studenten als een waardevolle aanvulling aan hun afstuderen ervaren. Bij de afstudeerprojecten gericht op onderzoek, is in een aantal gevallen een combinatie met promotie-onderzoek uitgevoerd.

In het kader van de opleiding kunnen stages bij andere universiteiten een belangrijke rol spelen. Dat kunnen Nederlandse universiteiten zijn, maar zeker ook buitenlandse universiteiten. Gebeurde dat in het verleden op individuele basis, in de opzet voor het nieuwe masterprogramma zullen stages een verplicht onderdeel van het programma uitmaken. Hoe een en ander gefaciliteerd moet worden, zal nog wel wat hoofdbrekens kosten, maar het idee erachter is zeker positief te noemen. De stages kunnen gericht zijn op het verdiepen van kennis, dan wel op het uitvoeren van onderzoek of op het ontwerpen van een constructie. Voor beide partijen zal dit een positieve uitwerking hebben. Voor de student is het van belang

om te weten wat er elders speelt, terwijl het voor de universiteiten van belang is om kennis te nemen van elkaars opleidingen.

Voortdurend vragen we ons als onderwijsgeevenden af hoe we het onderwijs zo aantrekkelijk en efficiënt mogelijk kunnen maken, zodat in de beperkte tijd die ons gegeven is, de kennis overgedragen wordt. Maar is de student nog wel bereid voldoende tijd te besteden aan het bestuderen van de stof en het goed voorbereiden van een tentamen? Als de helft van de studenten die deelneemt aan een schriftelijk tentamen een onvoldoende haalt, mag de docent komen uitleggen wat daarvan de oorzaak is. Echter, bij het hertentamen twee maanden later blijkt diezelfde groep studenten die eerder een onvoldoende haalde, zich nu wel goed voorbereid te hebben en een voldoende te halen. Het lijkt erop dat een voldoende halen voor de meeste studenten belangrijker is dan een goed cijfer halen, het aantal scores hoger dan een zeven is bij de meeste tentamens op één hand te tellen.

Een van de oorzaken heb ik reeds genoemd, en is mijns inziens het te weinig uren besteden aan de studie. Een tweede oorzaak is wellicht het niveau van de studenten. Ons onderwijs is er vooral op gericht om zoveel mogelijk studenten ‘binnen te halen’, in plaats van juist de goede, gemotiveerde studenten voor onze opleidingen te interesseren. Een gedegen toets voor eerstejaars studenten en voor zij-instromers van het HBO, zou naar mijn mening een belangrijke verbetering zijn. Niet het niveau van de opleiding aanpassen aan de student, maar het niveau van de student aanpassen bij het niveau van de opleiding. Indien dit niet gebeurt, bestaat het gevaar van een continu afglijdende schaal.

Dit zijn boude uitspraken, dat realiseer ik me terdege. Maar als we de kwaliteit van ons onderwijs willen behouden, dienen er rigoureuze maatregelen genomen te worden. ‘Nederland kennisland’ dient geen loze kreet te zijn. Onderwijs kost geld, heel veel geld, maar de politiek heeft het te vaak over investeren in onderwijs, zonder daarbij voldoende middelen te verschaffen. Willen we de kennis van onze opleidingen op niveau houden, dan dient er voldoende geld te zijn om promotie-onderzoek uit te voeren. Echter, de budgetten voor eerstegeldstroomonderzoek zijn door de jaren heen alleen maar minder geworden. Momenteel is er bij onze unit niet één AIO meer die uit dat budget is gefinancierd. Ook promotie-onderzoek gefinancierd uit tweede- en derdegeldstroom wordt steeds moeilijker door een terugtrekkende overheid die zijn verantwoording niet neemt, maar dat overlaat aan derden. Onnodig te vermelden dat dit geen goede ontwikkeling is.

Na het voorgaande zult u misschien denken dat onderwijs geven mij geen plezier heeft gedaan. Dat is echter geenszins het geval. Toen ik in 1995 begon heb ik mij afgevraagd of ik onderwijs geven leuk zou vinden en of er voldoende studenten op het keuzecollege Aluminiumconstructies zouden afkomen. Het antwoord is volmondig ja! Ik heb het met plezier bijna twintig jaar gedaan en ik heb het aantal studenten alleen maar zien toenemen. Bij TNO is mij verschillende keren ‘verweten’ dat mijn hart bij de TU/e lag, terwijl TNO mijn werkgever was. Uiteraard heb ik altijd geprobeerd om mijn inzet zo goed mogelijk over beide partijen te verdelen, maar zo’n uitspraak is wel een illustratie van het plezier dat het werken met jonge mensen mij heeft gegeven.

Industrie en academia

Het initiatief vanuit de aluminium industrie, voor een bijzondere leerstoel Aluminiumconstructies, is destijds genomen om meer bekendheid te geven aan de mogelijkheden om aluminium als constructiemateriaal toe te passen. Met een leerstoel als boegbeeld zou het mogelijk moeten zijn om te penetreren in de relatief conservatieve bouwwereld die in Nederland vooral op de traditionele bouwmaterialen beton, staal, hout en metselwerk is geënt. Met de voorbeelden van toepassingen die ik u heb laten zien, meen ik te mogen zeggen dat aluminium in de praktijk inderdaad zijn plaats als constructiemateriaal heeft bewezen, alhoewel het in vergelijking met eerdergenoemde materialen een niche materiaal zal blijven.

Samenwerking van de industrie met onderzoeksinstituten, universiteiten maar zeker ook TNO, is zeer waardevol gebleken. De kennis die door fundamenteel onderzoek aan de universiteiten is ontwikkeld, heeft een grote bijdrage geleverd aan de toepassing van aluminium. Daarbij is in veel gevallen TNO als intermediair opgetreden om die kennis geschikt te maken voor toepassing in de praktijk. In de voorbeelden van toepassing van aluminium bij bruggen, en met name bij verkeersbruggen, is er heel wat aanvullend toegepast onderzoek door TNO op het gebied van vermoeiing nodig geweest om overheidsinstanties, zoals Rijkswaterstaat en gemeenten, te overtuigen van de keuze voor aluminium.

In mijn beginperiode bij TNO in de zeventiger jaren van de vorige eeuw was het kennisniveau op het gebied van construeren met aluminium in Nederland, maar ook internationaal, zeer gering. De initiatieven door de European Convention for Constructional Steelwork, Technical Committee 2 (ECCS-TC2) onder leiding van prof. Mazzolani van de TU Napels, hebben in 1978 geleid tot de eerste editie van European Recommendations. Het onderzoek dat in de daaropvolgende decennia is uitgevoerd, heeft uiteindelijk geresulteerd in de ontwerpregels van Eurocode 9 die ik eerder heb beschreven. Het in Nederland uitgevoerde onderzoek heeft daaraan een belangrijke bijdrage geleverd. Ook het onderzoek dat recent is uitgevoerd, dan wel momenteel wordt uitgevoerd, zal aan de herziene versie van Eurocode 9 die voor 2020 gepland staat, wederom een belangrijke bijdrage leveren. Met name het fundamenteel onderzoek aan de TU/e op het gebied van lokale instabiliteit, op

het gebied van brandwerendheid en op het gebied van vermoeding zal daarbij een belangrijke rol spelen.

Om die rol te kunnen blijven vervullen, is fundamenteel onderzoek nodig om ons kennisniveau op peil te houden. Echter, zoals eerder gememoreerd, eerstegeldstroomonderzoek op de universiteiten valt niet te verwachten, hetgeen tevens geldt voor subsidie van toegepast onderzoek bij TNO. De mogelijkheden voor financiering dienen vooral in Europees verband gezocht te worden. Deelname aan Europese netwerken zoals ECCS en Eurocode commissies, is in het verleden nuttig gebleken en is voor de toekomst misschien nog veel belangrijker. Het gezamenlijk formuleren van onderzoeksdoelstellingen lijkt meer dan ooit de enige weg om financiering uit de publieke sector te verwezenlijken.

Toekomst

Zoals ik in mijn intreerede reeds heb gesteld, zijn de perspectieven voor lichtgewicht constructies gunstig alsmede het aandeel van aluminium daarin. De functionele eisen die aan nieuwe constructies worden gesteld, bieden goede mogelijkheden voor de toepassing van aluminium. Met name de gunstige eigenschappen en de vormgevingsmogelijkheden door extrusie zullen aanleiding geven tot een sterke groei in het gebruik van aluminium. Die voorspelling uit 1995 is niet helemaal uitgekomen, hoewel ik in het voorgaande een aantal toepassingen heb laten zien die het resultaat zijn van een keuze voor aluminium vanwege genoemde eigenschappen.

Onnodig te vermelden dat ook het huidige tijdsgewricht niet bevorderlijk is voor een sterke groei in het gebruik van aluminium. Met name de bouw heeft een aantal moeilijke jaren achter de rug en ook de bezuinigingen van de overheid hebben hun weerslag niet gemist op het aantal toepassingen van aluminiumconstructies. Na een veelbelovend aantal renovaties van bruggen en brugdekken, waarbij met name de duurzaamheid van doorslaggevend belang was, zijn er de afgelopen jaren nauwelijks meer dergelijke projecten geweest. Echter, als we de voorspellingen mogen geloven, hebben we de moeilijkste periode achter de rug en zullen daarmee ook de investeringen in de bouw en in civiele constructies weer toenemen. En daarmee ook de kansen voor constructeurs om de draad weer op te pakken en de mogelijkheden van aluminium ten volle te benutten. Meer dan ooit spelen recycling, hergebruik van materiaal, en duurzaamheid daarbij een grote rol, hetgeen juist aspecten zijn die in het voordeel van aluminium spreken. Bij een optimaal ontworpen constructie verdienen de hogere aanschafkosten zich ruimschoots terug door geringere onderhoudskosten tijdens de levensduur.

Belangrijk is dus om te komen tot een optimaal ontworpen constructie en daarbij ben ik weer terug bij het onderwijs. Goed opgeleide constructeurs zijn van groot belang, nu en in de toekomst. De opleiding aan onze faculteit en met name aan onze sectie Constructief Ontwerpen heeft daarin een belangrijk aandeel, waaraan ik met plezier vele jaren een bijdrage heb mogen leveren.

Tot slot

Dames en heren, hierbij ben ik aan het einde gekomen van mijn afscheidscollege. Een afscheid is een goede aanleiding voor een terugblik. Daar wil ik echter op dit moment niet te lang bij stilstaan. In de afgelopen jaren heb ik met veel plezier met velen samengewerkt, daarbij veel inspiratie opgedaan en veel kennis opgestoken. Dat geldt voor mijn jaren bij TNO, waar ik als senior wetenschappelijk medewerker leiding heb gegeven aan vele nationale en internationale projecten, waarbij naast toegepast onderzoek ook een groot aantal toepassingen van aluminiumconstructies zijn gerealiseerd. Dat geldt ook voor mijn jaren bij de TU Eindhoven als deeltijd hoogleraar Aluminiumconstructies bij de sectie Constructief Ontwerpen van de Faculteit Bouwkunde.

Bij TNO Bouw heb ik vooral samengewerkt met collega's van de afdeling Constructies, een inspirerende werkomgeving die ook het goed functioneren aan de TU mogelijk heeft gemaakt. Zonder namen te noemen wil ik iedereen daarvoor hartelijk bedanken. Bij de TU Eindhoven heb ik vooral samengewerkt met de collega's van de sectie Constructief Ontwerpen. Naast de plezierige samenwerking met velen heb ik vooral ook de sfeer in de sectie als bijzonder prettig ervaren. Dit geldt ook voor de contacten met andere secties, met staforganen, en met het bestuur van de faculteit tijdens mijn voorzitterschap van de sectie. Ik wil iedereen daarvoor hartelijk bedanken en een paar mensen in het bijzonder, mijn aluminiumcollega Dianne van Hove en mijn staalcollega Bert Snijder.

De bijzondere leerstoel was niet mogelijk geweest zonder de steun van de vele bedrijven die daaraan hebben bijgedragen. Aan allen mijn hartelijke dank, in het bijzonder Paul Bruinsma die namens de aluminiumbranche aan de wieg heeft gestaan van de leerstoel en Dies Mackintosh als voorzitter van de leerstoeladviescommissie.

Wat ik op het professionele vlak heb gedaan, heb ik altijd kunnen doen vanuit een hechte thuissituatie. Aletta, Boudewijn, Anna en Moss, jullie hebben een groot aandeel in mijn wel en wee, zowel professioneel als privé, waarvoor ik jullie zeer erkentelijk ben.

Op dit moment neem ik nog geen volledig afscheid. Er zijn nog twee promovendi – Sarme Silitonga en Ronald van der Meulen – die hun proefschrift hopelijk op korte termijn zullen afronden met een promotie. Dat zal dan tevens mijn laatste formele rol als eerste promotor aan deze universiteit betekenen. Echter, met mijn opvolger Johan Maljaars zie ik een goede toekomst voor de leerstoel Aluminiumconstructies weggelegd.

Curriculum vitae

Prof. ir. Frans Soetens was sinds 1 juli 1995 deeltijd hoogleraar Aluminiumconstructies aan de Technische Universiteit Eindhoven, Department of the Built Environment. Op 1 mei 2014 ging hij met emeritaat.

Frans Soetens (1948) studeerde Weg- en Waterbouwkunde aan de Hogere Technische School in Dordrecht en aan de Technische Universiteit Delft. In 1975 trad hij in dienst bij TNO Bouw, waar hij als senior wetenschappelijk medewerker verantwoordelijk was voor het verrichten van onderzoek op het gebied van aluminium- en staalconstructies met als specialisme ontwerp en berekening van aluminiumconstructies. Tot aan zijn (pre-)pensionering op 1 september 2010 gaf hij leiding aan nationale en internationale onderzoeksprojecten op het gebied van aluminiumconstructies.

Hij was lid van nationale en internationale onderzoekscommissies en heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van Eurocode 9, Design of Aluminium Structures. Veel draagconstructies in nieuwbouw- en renovatieprojecten zijn gebaseerd op de rekenregels in Eurocode 9.

Sinds 2006 was hij de Europese vertegenwoordiger in het organisatiecomité van INALCO (International Aluminium Conferences) en heeft hij als chairman, samen met zijn Delftse collega prof. Katgerman, de INALCO-conferentie van 2010 in Eindhoven georganiseerd. De laatste INALCO-conferentie in Montreal, Canada, in oktober 2013 is geopend met een keynote lecture, waarin hij een review van zijn activiteiten op aluminiumgebied heeft gepresenteerd.

Colofon

Productie

Communicatie Expertise
Centrum TU/e

Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp

Grefo Prepress,
Eindhoven

Druk

Drukkerij Snep, Eindhoven

ISBN 978-90-386-3779-2
NUR 955

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/

Bezoekadres

Den Dolech 2
5612 AZ Eindhoven

Postadres

Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11
www.tue.nl/plattegrond



Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology