

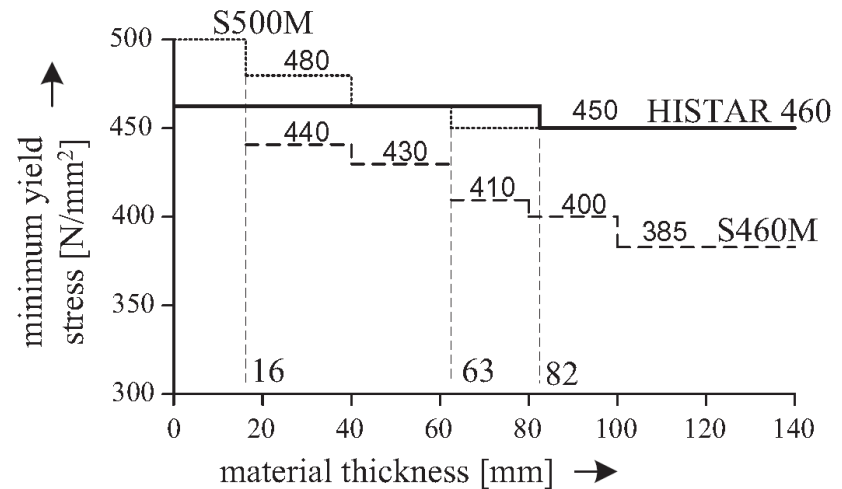
Inhoud

- **Materiaaleigenschappen**
- **Berekenen – Eurocode**
- **Verwerken, verbinden**
- **Kosten, verkrijgbaarheid**
- **Sterke en zwakke eigenschappen**
- **Samenwerking met andere materialen**
- **Nieuwe ontwikkelingen**



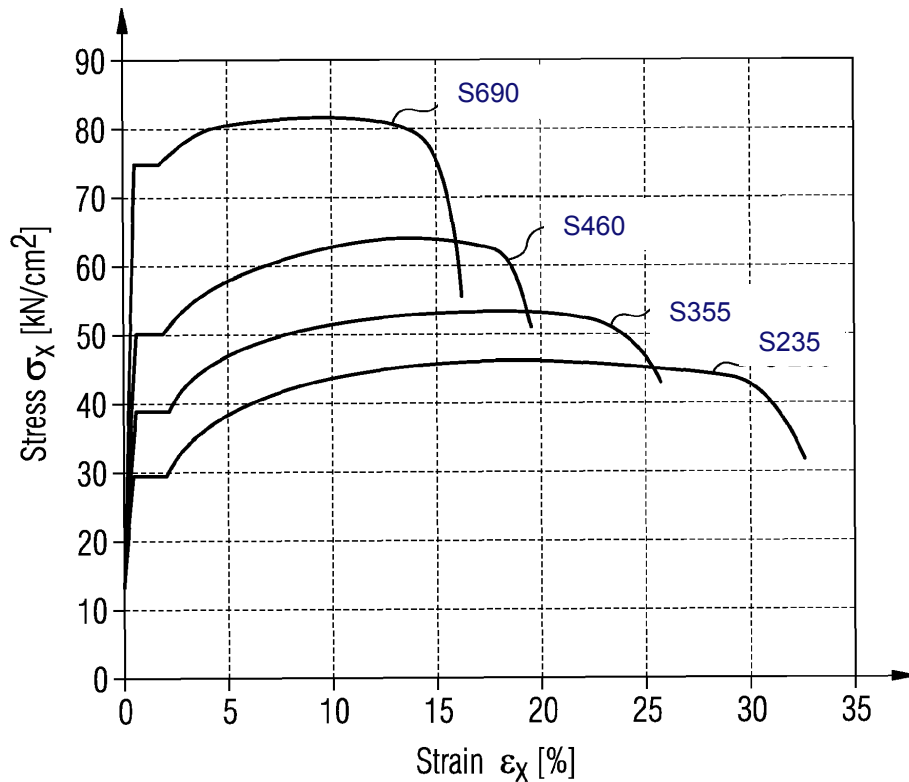
Materiaaleigenschappen

- Staal (S235) → S355 → S460 → S 690 →
- High-Strength Steel – **HSS** – Hoge-sterkte staal
- Stijfheid ‘gelijk’ $E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
- Taaiheid en lasbaarheid vragen aandacht
- High-Performance Steel – **HPS**
 - Kostenreductie
 - Kleinere afmetingen
 - Gewichtsbesparing
 - Minder laswerk



Materiaaleigenschappen

- **Spanning-rekdiagrammen van staalsoorten S235 – S690**

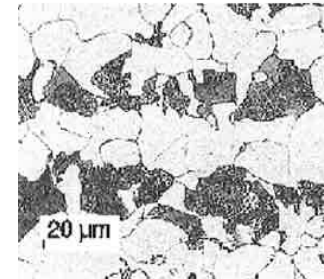


Sterkte f_y - vloeigrens
Stijfheid E - elasticiteitsmodulus
Taatheid ϵ_u - breukrek

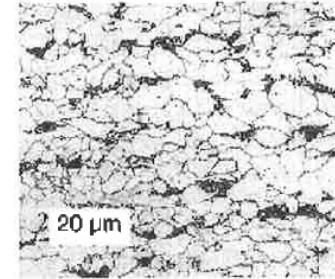
Minimum gegarandeerde vloeigrens

- **Thermomechanisch walsproces**
 - **Fijne microstructuur**
 - **Hogere sterkte**
 - **Betere lasbaarheid**
 - **Goede taaiheid**
- **Slanke lichtgewicht constructies voor bruggen en verdiepingbouw**

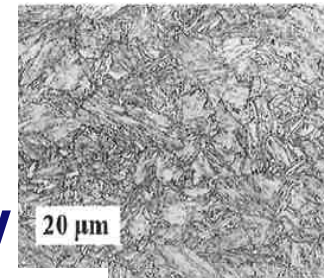
N - Normalizing



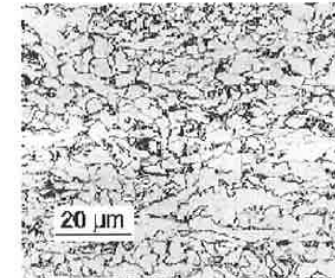
TM - air cooling



Q + T



TM - ACC



International Association for
Bridge and
Structural Engineering



Structural Engineering Document 8
Use and Application of High-Performance Steels for Steel
Structures

TU/e Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Berekenen - Eurocode

- **EC's worden gebruikt → ervaring**
- **Voorstellen voor verandering en verbetering**
- **Subcommissie CEN/TC250/SC3 voor Eurocode 3**
- **WG1 werkt aan deel EN 1993-1-1: ongeveer 20 leden**
- **Amendementen: 'bewaren in de mand'**
- **Project Team PT: schrijft nieuwe concept-versie**
- **Gebruikt amendementen**
- **WG1 monitort het werk van het PT**
- **PT moet klaar zijn juni 2018**
- **Nieuwe norm verwacht in 2019 op z'n vroegst**

Hoge-sterkte staal

- Deel EN 1993-1-12 wordt niet gehandhaafd
- Inhoud wordt verdeeld over de relevante delen van EC3
- Ook EN 1993-1-1 en EN 1993-1-8 'krijgen' toetsingsregels van EN 1993-1-12

• Art. 3.2.2, EN 1993-1-1

(1) For steels a minimum ductility is required that should be expressed in terms of limits for:

- the ratio f_u/f_y of the specified minimum ultimate tensile strength f_u to the specified minimum yield strength f_y ;
- the elongation at failure on a gauge length of $5.65\sqrt{A_o}$ (where A_o is the original cross-sectional area);
- the ultimate strain ε_u , where ε_u corresponds to the ultimate strength f_u .

NOTE The limiting values of the ratio f_u/f_y , the elongation at failure and the ultimate strain ε_u may be defined in the National Annex. The following values are recommended:

a) For plastic global analysis

- $f_u / f_y \geq 1,10$;
- elongation at failure not less than 15%;
- $\varepsilon_u \geq 15\varepsilon_y$, where ε_y is the yield strain ($\varepsilon_y = f_y / E$).

b) For elastic global analysis

- $f_u / f_y \geq 1.05$;
- elongation at failure not less than 10%;
- $\varepsilon_u \geq 15\varepsilon_y$.

(2) Steel conforming with one of the steel grades listed in Table 3.1 should be accepted as satisfying these requirements for plastic global analysis. Steels conforming with one of the steel grades listed in **Tables 3.2 and 3.3** should be accepted as satisfying the requirements for elastic global analysis.'

• Behalve staal van Tabel 3.1 nieuwe tabellen voor HSS:

‘Table 3.2: Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for hot rolled structural steel with grades higher than S460.

EN10025-6 Steel grade and qualities	Nominal thickness of the element t [mm]					
	$t \leq 50$ mm		$50 < t \leq 100$ mm		$100 < t \leq 150$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
S500Q/QL/QL1	500	590	480	590	440	540
S550Q/QL/QL1	550	640	530	640	490	590
S620Q/QL/QL1	620	700	580	700	560	650
S690Q/QL/QL1	690	770	650	760	630	710

Table 3.3: Nominal values of yield strength f_y and ultimate tensile strength f_u for hot rolled flat products.

EN 10149-2 ^{a)}	$t \leq 8$ mm		$8 < t \leq 16$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
S500MC	500	550	500	550
S550MC	550	600	550	600
S600MC	600	650	600	650
S650MC	650	700	630	700
S700MC	700	650	680	750

^{a)} Verification of the impact energy in accordance with EN10149-1 Clause 11, Option 5 should be specified

- **Art. 5.4.1, EN 1993-1-1: wijzigingen om elastische berekening af te dwingen voor HSS**
- **Art. 6.3, EN 1993-1-1: aan de selectietabellen voor knikkrommen wordt:**
 - **S450 toegevoegd aan de kolom voor S235, en**
 - **de kolom voor S460 wordt uitgebreid tot S700**

- **Art. 4.2(3), EN 1993-1-8: voor S460 t/m S700 mag het lastoevoegmateriaal een lagere sterkte hebben dan het moedermateriaal – ‘undermatched’**
- **Tabel 4.1, EN 1993-1-8: uitbreiding, correlatiefactoren β**

EN 10025	EN 10210-1	EN 10219-1	EN 10149-2	β_w
S420 N/NL S420 M/ML	S420 NH/NLH	S420 NH/NLH S420 MH/MLH		0.88
S450				1.05
S460 N/NL S460 M/ML S460 Q/QL/QL1	S460 NH/NLH	S460 NH/NLH S460 MH/MLH		0.85
S500 Q/QL/QL1			S500 MC	0.90
S550 Q/QL/QL1			S550 MC	0.95
S620 Q/QL/QL1			S600 MC	1.05
S690 Q/QL/QL1 S700 MC			S650 MC	1.10

- **Art. 4.5.3.2(8), EN 1993-1-8: hoeklassen in S460 t/m S700 met verschillende sterkte van lastoevoeg- en moedermateriaal – directionele methode**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{0.25 \cdot f_{u,BM} + 0.75 \cdot f_{u,FM}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (4.2)$$

where:

$f_{u,BM}$ nominal ultimate tensile strength of the base metal (weaker part joined)

$f_{u,FM}$ nominal ultimate tensile strength of the filler metals according to Table 4.2 and according to EN ISO 2560, EN ISO 16834 and EN 18276

β_w correlation factor β_w depending on the filler metal strength given in Table 4.2.

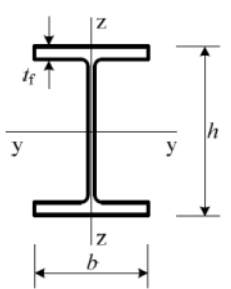
Table 4.2: Ultimate strength of filler metals $f_{u,FM}$ and modified correlation factors β_w

Filler metal strength class	42	46	69	89
Ultimate strength $f_{u,FM}$ [N/mm ²]	500	530	770	940
Correlation factor β_w [-]	0.89	0.85	1.09	1.19

Knikkrommen voor zware profielen - Art. 6.3, EN 1993-1-1

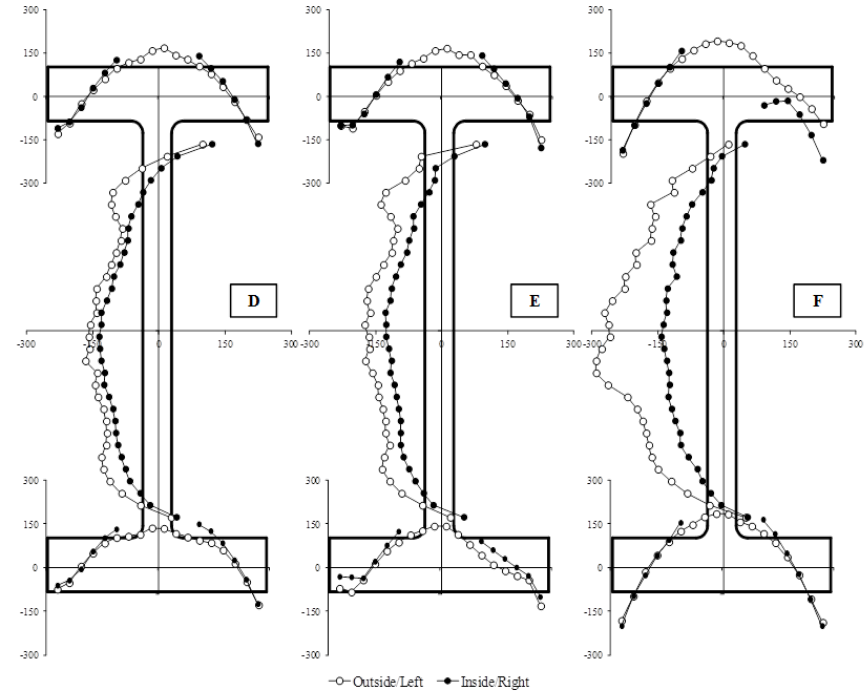
- Gewalste I- and H-profielen met $h/b > 1.2$ en $t_f > 100\text{mm}$ momenteel niet afgedekt: zware profielen

Table 5: Part of adjusted Table 6.2 of EN 1993-1-1 for the selection of a buckling curve for rolled sections.

Cross-section		Limits	Buckling about axis	Buckling curve		
				S235 S275 S355 S420	S460 S500	
Rolled sections		$h/b > 1.2$	$t_f \leq 40\text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀	
			$40 < t_f \leq 100\text{ mm}$	y-y z-z	b a	
			$t_f > 100\text{ mm}$	y-y z-z	b c	
		$h/b \leq 1.2$	$t_f \leq 100\text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
			$t_f > 100\text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c

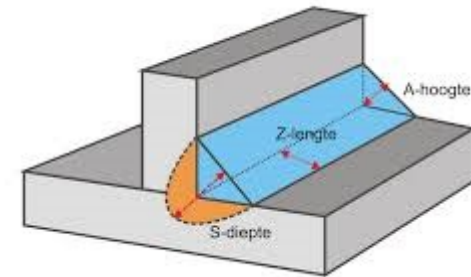
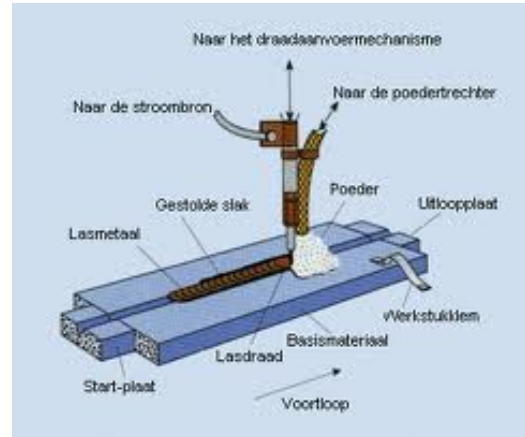
+ S450
t/m S700

- Gebaseerd op restspanningsmetingen, knikberekeningen en statistische analyses uitgevoerd bij TU/e



Verwerken en verbinden

- Lassen – boog, onder poederdek



- Aanbeveling voorwarmen

Steel grade	Maximum combined plate thickness, mm										
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
S460M, ML	Room temperature, RT							75°C			
S690Q, QL, QL1	RT		75°C			100°C		150°C			

Combined plate thickness is the sum of the thicknesses of the plates joined. Maximum hydrogen content of weld metal 5 mg/100 g. Heat input approximately 1.7 kJ/mm.

- **Laag gehalte legeringselementen, laag koolstofequivalent – speciaal bij TM**
- **Warmte-inbreng**
 - **S420M en S460M: tot 5,3 kJ/mm**
 - **S690Q: tot 3,5 kJ/mm**
 - **Minder bij diktes onder 60 tot 80 mm**
- **Kies lasmetaal**
 - **met laag waterstofgehalte: max 10ml/100g en bij S690 max 5ml/100g**
 - **S460M: Matching of overmatching**
 - **S690Q: Matching of undermatching**

- **Vlamrichten**
 - Is mogelijk met voorzorg
 - **S690Q: niet langer dan 10 min boven 600 graden verhitten**
 - **S460M: tot 950 graden**
- **Warm vervormen en warmtebehandeling: NIET**
- **Koud vervormen**

Grade	Thickness mm	Transverse R/t	Longitudinal R/t	Springback degrees
S420M, ML; S460M, ML		1.0	1.5	3-6
S690Q, QL, QL1	$t < 8$	1.5	2.0	6-10
	$8 \leq t < 20$	2.0	3.0	
	$t > 20$	3.0	4.0	
R denotes the punch radius and t the actual thickness				

Kosten en verkrijgbaarheid

- **Kosten**

- **Basis-profielstaal HE140 – HE 400: € 600,- / ton**
- **Voor de komende periode redelijk constant**
- **Kosten van HSS liggen hoger maar betalen zich terug door eerder genoemde voordelen**
- **Indicatieve verhoudingen:**

Staalsoort	Prijsverhouding	f_y -verhouding	Loonkosten
S235	1,00	1,00	1,00
S355	1,05	1,50	1,15
S460	1,30	1,95	1,50
S1200	2,00	5,00	?

- **Verkrijgbaarheid**
 - **I- en H-profielen:**
 - **S235 op voorraad bij handel**
 - **S355 redelijk verkrijgbaar voor profielen hoger dan 400 mm**
 - **Hogere staalsoorten, HD, HISTAR:**
 - **bestelling bij fabriek**
 - **6 tot 8 weken levertijd**
 - **minimale afname, b.v. 5 ton**
 - **Buizen en kokers:**
 - **Naadloos dikwandig is duur**
 - **Gelast dunwandig is goedkoop**



Sterke en zwakke eigenschappen

- **Er zijn ‘alleen maar’ sterke eigenschappen**
 - grote hoogte, grote overspanning, geringe kolomafmetingen, eenvoudig aanpasbaar, flexibel, industrialisatie en prefabricage, laag gewicht, leidingen integreerbaar...
- **Maar... HSS alleen effectief als hoge sterkte te benutten is**
- **HSS minder interessant als vermoeiing of stijfheid maatgevend zijn of bij heel slanke constructies (knik maatgevend)**

- **Stijfheid remedie: anders construeren, maak vakwerken**
 - **Bruggen**



Calandbrug

- **Gebouwen**



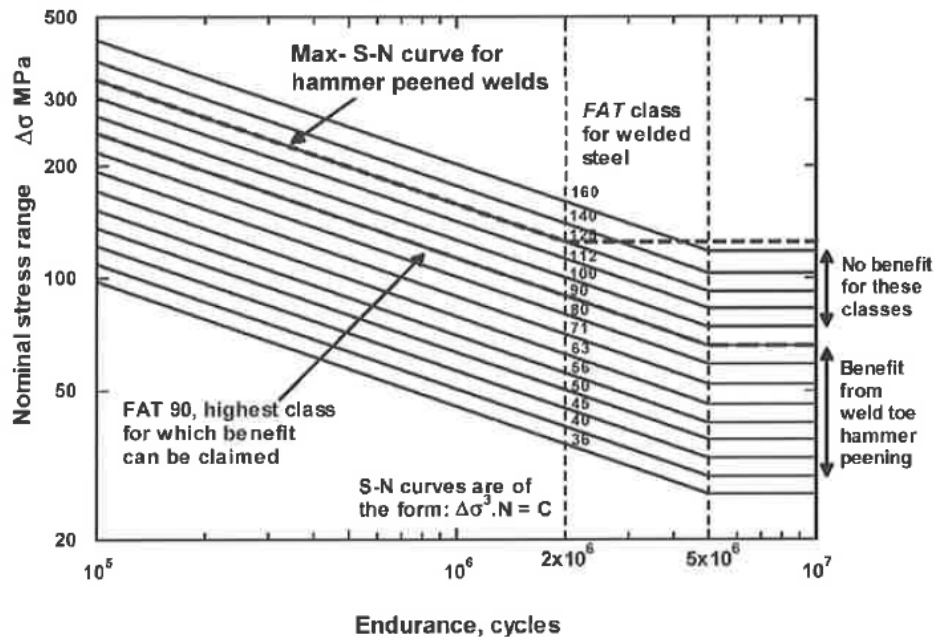
Hancock Building



National Militair Museum

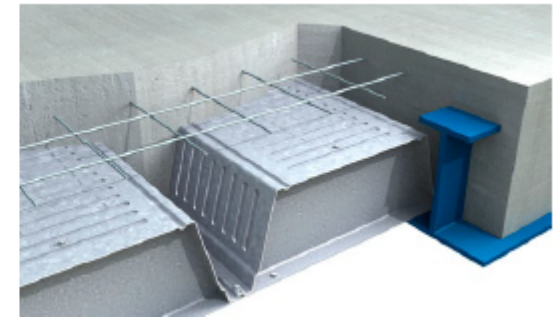
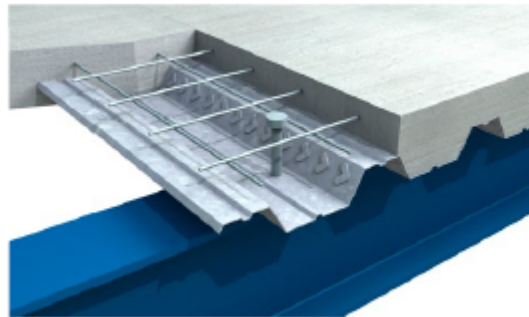
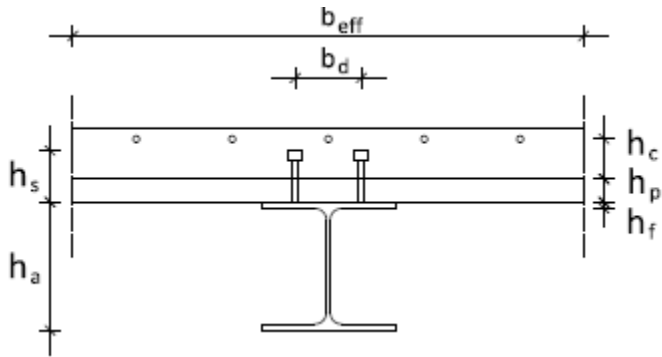
- **Vermoeiing remedie:**

- **Pas detaillering aan: geen spanningsconcentraties, geen hoeklassen, vermijd verstijvers, ...**
- **Lasverbetering: slijpen, TIG dressing, ‘shot’, ‘needle’ of ‘hammer peening’**



Samenwerking met andere materialen

- Met **beton**
 - ‘traditioneel’ in kolommen, liggers en vloeren: staal-beton



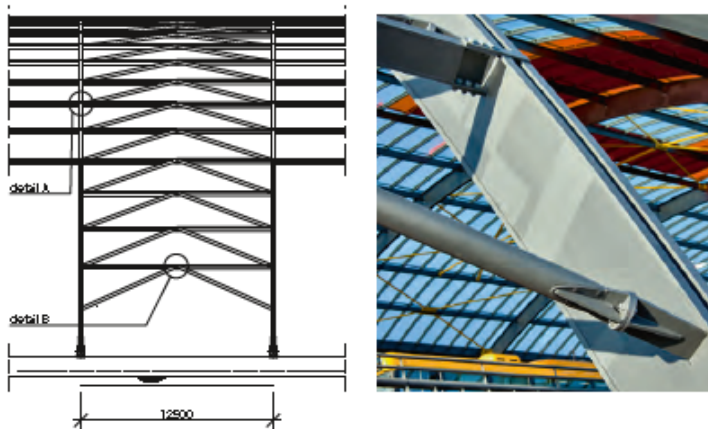
Dutch Engineering

- in wanden: infilled frames

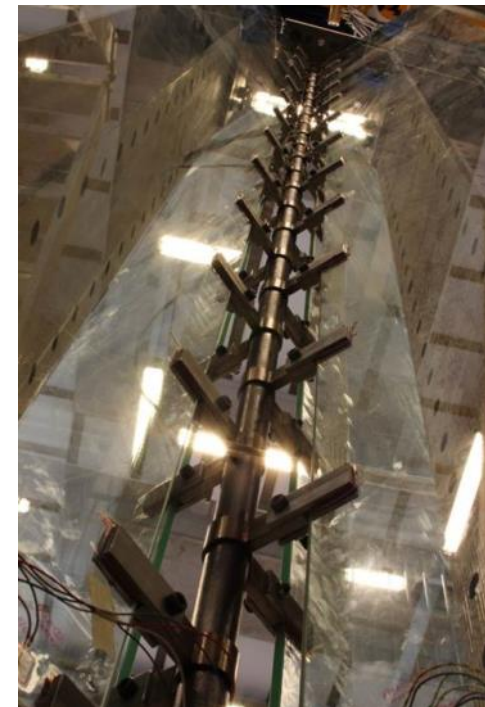
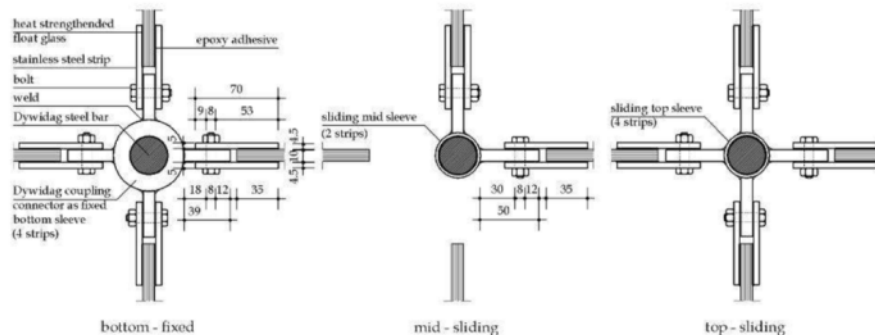


- **Met glas**

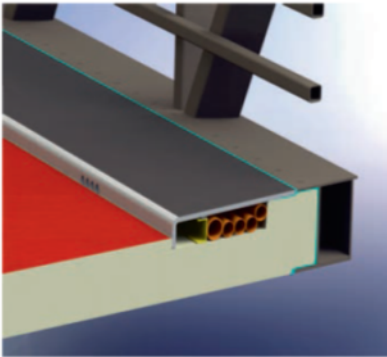
- in kappen: koudgebogen glas (Movares, László Vákár)



- in kolommen: glas als knikverkorter



- Met **VVK – vezelversterkte kunststof**
- in brugdekken (FibreCore, Martijn Veltkamp):



A27 Lunetten

Nieuwe ontwikkelingen

- **Meer toepassing van HSS**

- **in bruggen: Millau**

- koker in S460ML
- hogere belasting bij zelfde hoeveelheid staal
- goed lasbaar
- gewichtsbeperring bij transport



- **in gebouwen: Stadskantoor Utrecht**

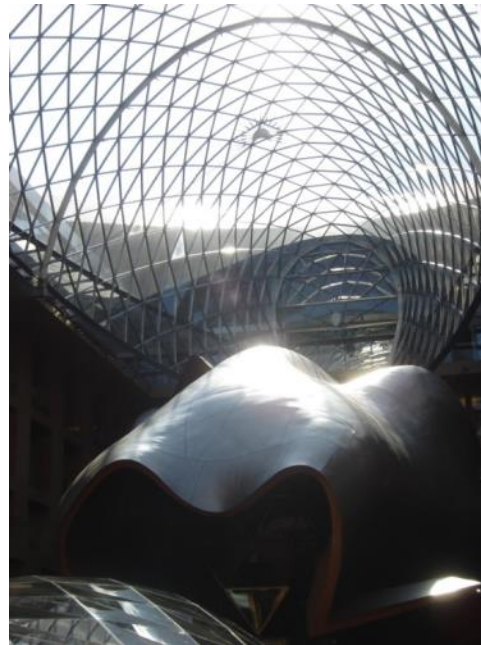


- zwaarst belaste kolommen in S460M: HD400x1086
- maatvoering
- lasbaarheid nabij knopen
- Histar: beperkte diktereductie van vloeigrens

- **Expressievere vormen**



Telefonica Building
Barcelona



DZ Bank
Berlijn



OV-terminal
Arnhem

- **Nieuwe typen bouwwerken**



Statief voor zonnepanelen
Barcelona

- **3D printen**
 - **Onderdelen (Arup)**



- **Brugconstructies (MX3D – Joris Laarmans)**



- Gewichtsbesparing
- Kosten
- Materiaalsoort en kwaliteit

- Vragen?

