

## BOUWEN MET STAAL TECHNISCHE COMMISSIE 3 FSE SEMINAR - 16 APRIL 2015 (TRONET) BRANDWERENDE COATING

Ir. T.G. van der Waart van Gulik  
tim.vanderwaart@effectis.com

- Onbeschermd staal
  - Profielfactor en opwarm snelheid
  - Benuttingsgraad en kritieke staaltemperatuur
  - brandwerendheid
- Brandwerende coating
  - Werking / samenstelling / belangrijke aspecten voor de kwaliteit
- Regelgeving m.b.t. beproeven en beoordelen van brandwerende verf in Nederland
  - NEN 6072 → NEN 7878 → EN 13381-8
  - KOMO certificaten en CE markering
- EN 13381-8:2013
  - Testpakketten en bijbehorend toepassingsgebied
  - Proefstukken
  - Assessment en ontwerptabellen
- Praktijkvoorbeelden
  - Knooppunten
  - Combinatie van materialen/systemen
  - Aansluitingen bij gevels
- Brandproef met stalen verbindingen (vanmiddag om 14:30 uur)
  - Doelstelling en testopstelling
  - Voorspelling

# ONBESCHERMD STAAL - TOETSEN CONSTRUCTIE

---

Het principe:

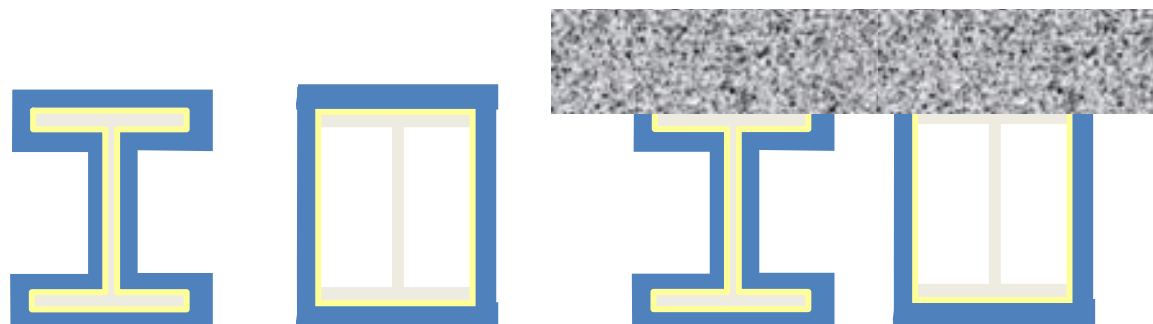
- Bepaling profielfactor en bijbehorende opwarmingsnelheid
- Bepaling benuttingsgraad en bijbehorende kritieke staaltemperatuur
- Bepaling van de feitelijk bereikte brandwerendheid
  
- Bepaling brandwerendheidseis
- voldoet de onbeschermd constructie of is er bescherming nodig?

De bijbehorende Europese norm: EN 1993-1-2



# ONBESCHERMD STAAL - PROFIELFACTOR

- De snelheid van opwarmen hangt af van
  - Het aan verhitting blootgestelde oppervlak (A)
  - De massa (het volume) van het staalprofiel (V)
- De verhouding tussen oppervlak (A) en volume (V) heet de profielfactor (A/V of Pi)
- Slanke profielen hebben een hoge profielfactor (200-300 m<sup>-1</sup>) en warmen snel op
- Zware profielen hebben een lage profielfactor (50-100 m<sup>-1</sup>) en warmen minder snel op

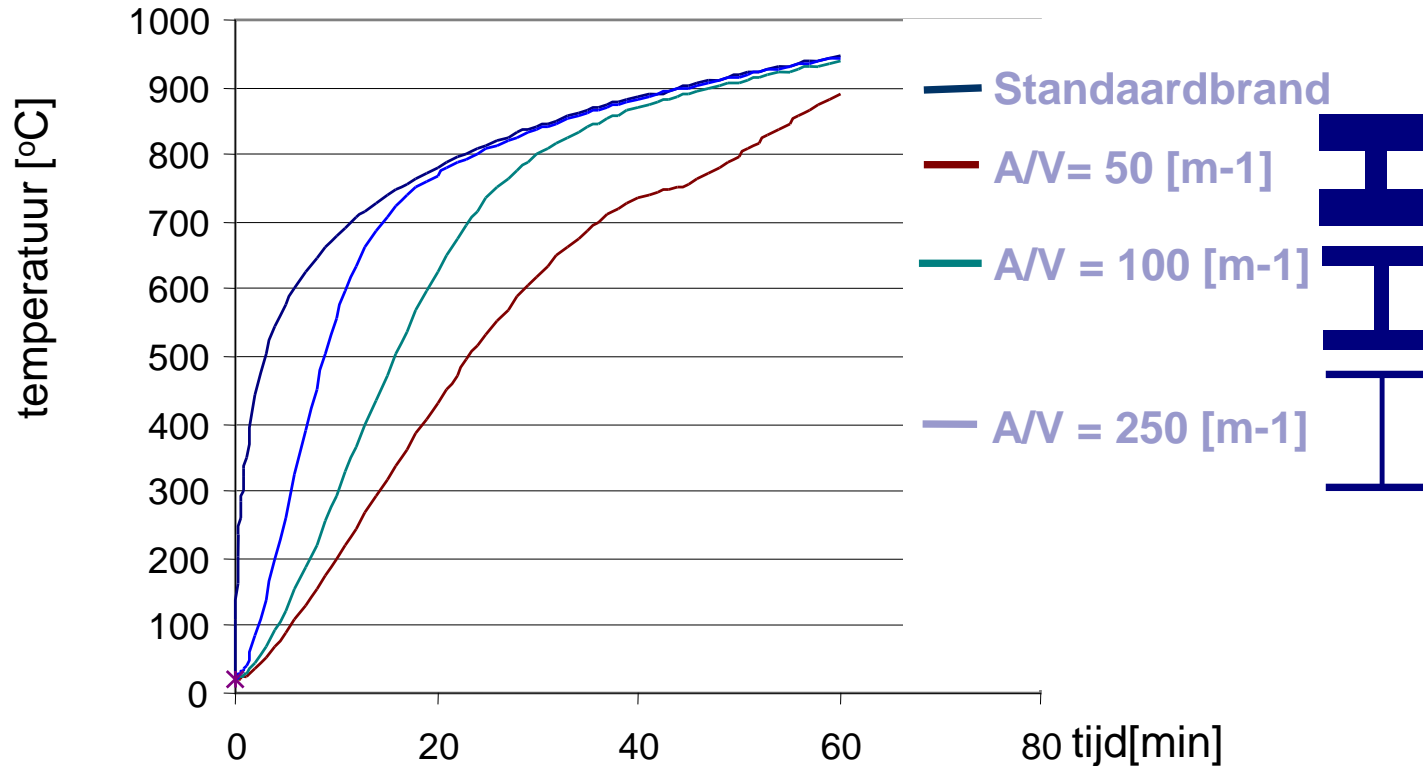


IPE100	387	300	334	247
HE280A	165	113	136	84
HE320B	110	77	91	58

NB: range:  $\approx 50-400$  [m<sup>-1</sup>]

# ONBESCHERMD STAAL - OPWARMING

- Invloed van profielfactor op opwarmingsnelheid

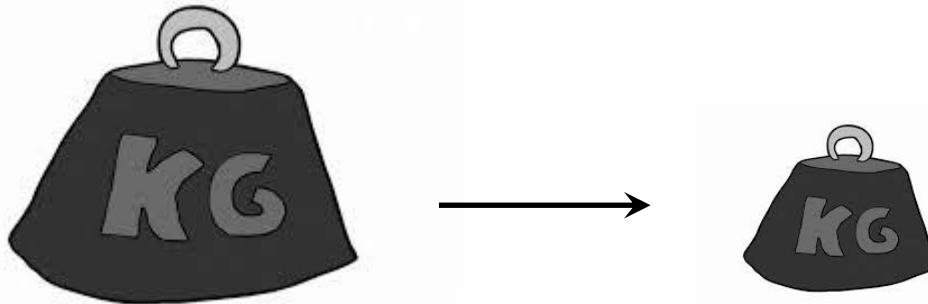


# ONBESCHERMD STAAL - BENUTTINGSGRAAD

---

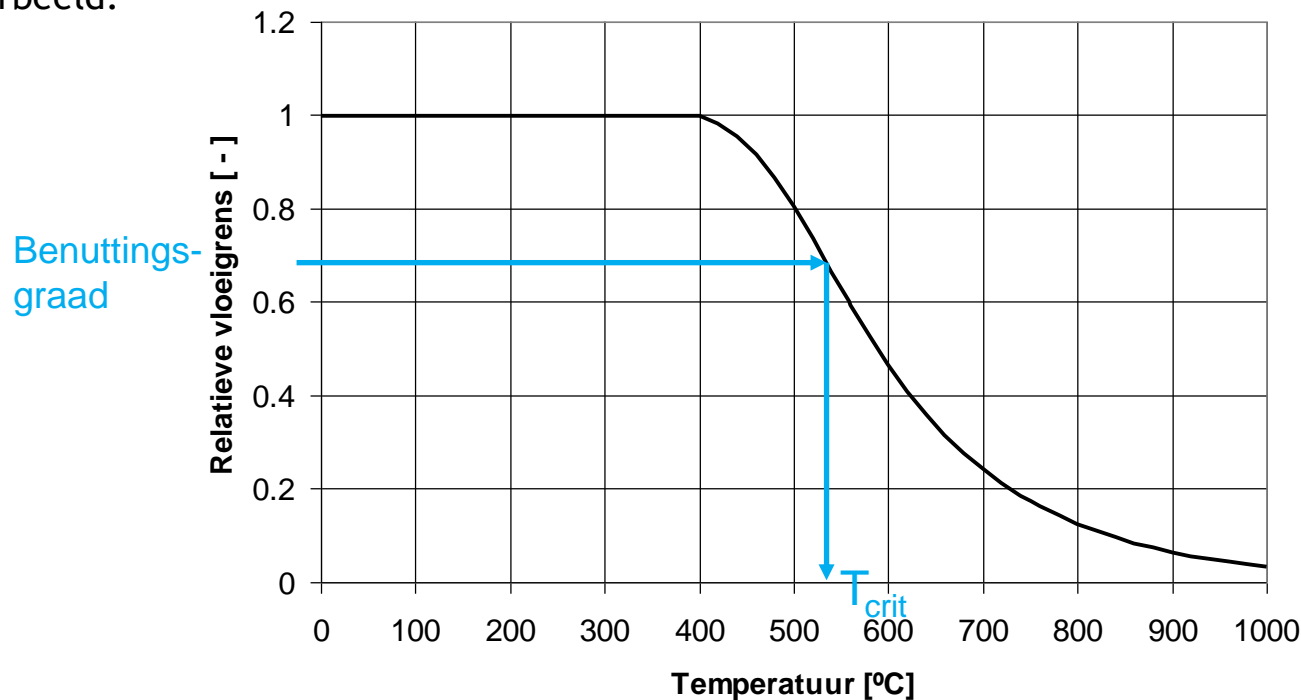


- Bij brand mag je uitgaan van een minder hoge mechanische belasting
- Ook veiligheidsfactoren op de belasting hoeven bij brand niet meegenomen te worden
- Variabele belasting mag zelfs nog verder worden gereduceerd door toepassen van zogenaamde momentaanfactor ( $\psi$ )
- De constructie is dus altijd overgedimensioneerd (te zwaar uitgevoerd), zeker in geval van de bijzondere belastingcombinatie brand
- De verhouding tussen de aanwezige belasting en de aanwezige sterkte of stijfheid is de benuttingsgraad



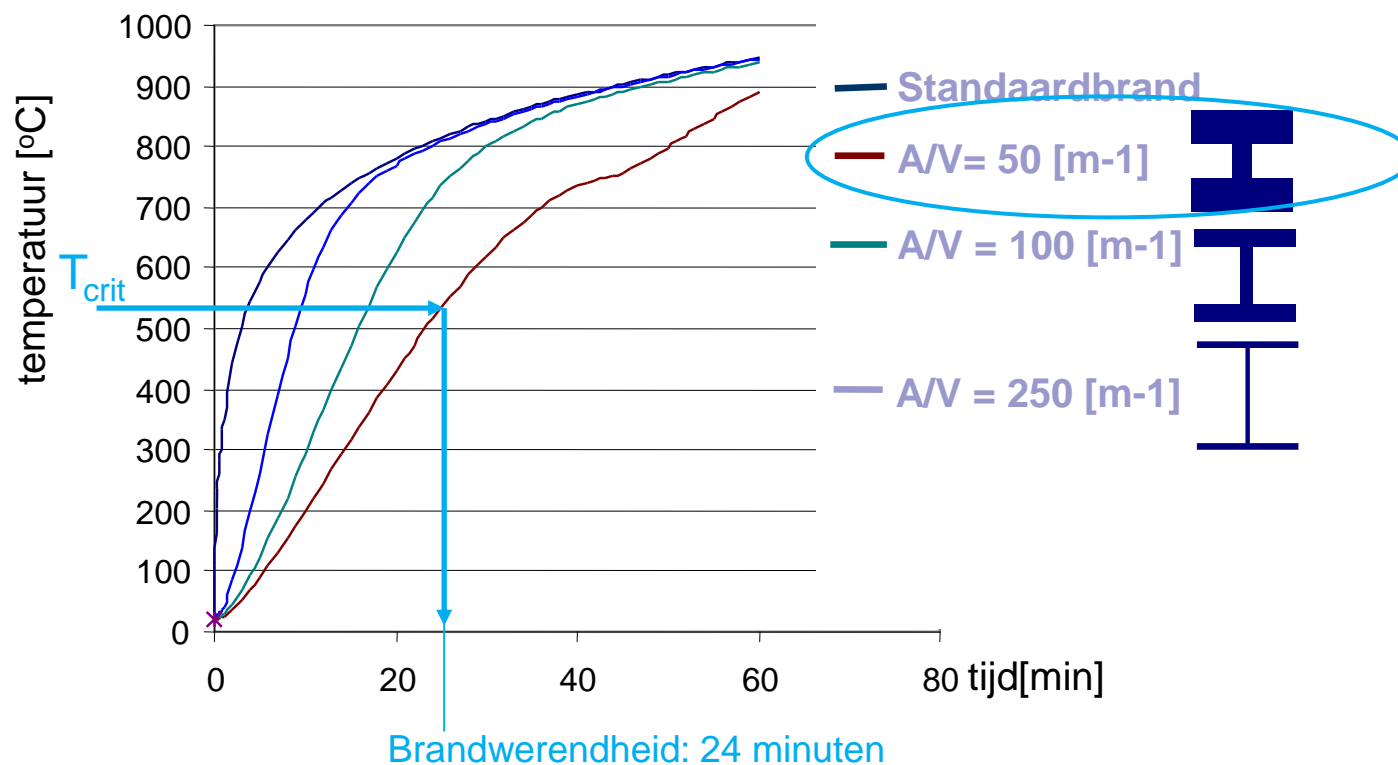
# ONBESCHERMD STAAL - KRITIEKE STAALTEMPERATUUR

- De kritieke staaltemperatuur is die staaltemperatuur waarbij het betreffende constructieonderdeel nog net in staat is de daarop werkende belasting te dragen
- Bij opwarming van het staal verliest het zijn sterkte en stijfheid
- De benuttingsgraad bepaald de mate waarin dit geaccepteerd is
- Voorbeeld:



# ONBESCHERMD STAAL - BRANDWERENDHEID

- Het moment waarop de optredende staaltemperatuur de kritieke staaltemperatuur bereikt, is de brandwerendheid in minuten





# BRANDWERENDE COATING

---

- Indien de onbeschermdde constructie niet voldoet, dan kan een bescherming worden aangebracht
- Er zijn drie soorten bescherming gangbaar
  - Brandwerende spuitmortel
  - Brandwerende beplating
  - **Brandwerende coating (= opschuimende coating)**

sputmortel



beplating



# BRANDWERENDE COATING - WERKING (1/4)

---

- Werking van opschuimende coating (chemische reactie bij hoge temperatuur)



## BRANDWERENDE COATING - WERKING (2/4)

---

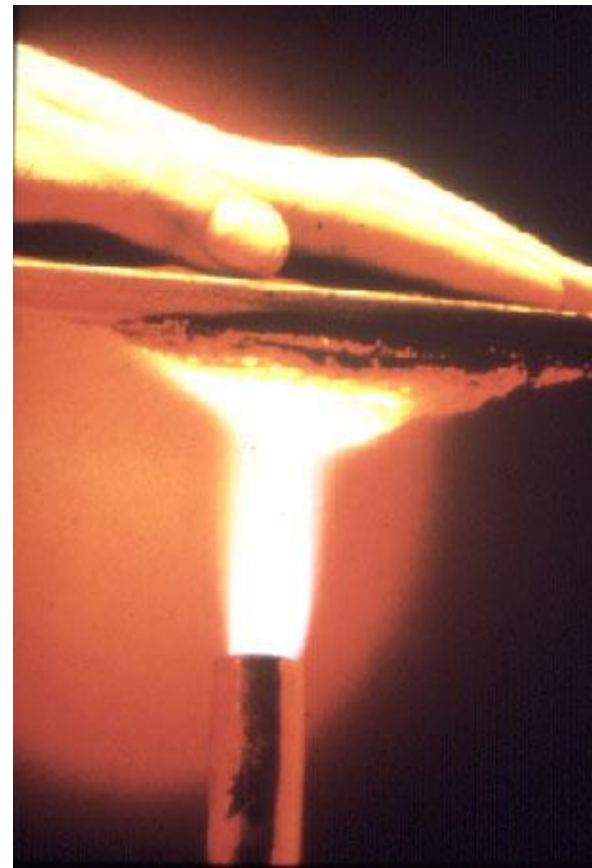
- Werking van opschuimende coating (chemische reactie bij hoge temperatuur)



## BRANDWERENDE COATING - WERKING (3/4)

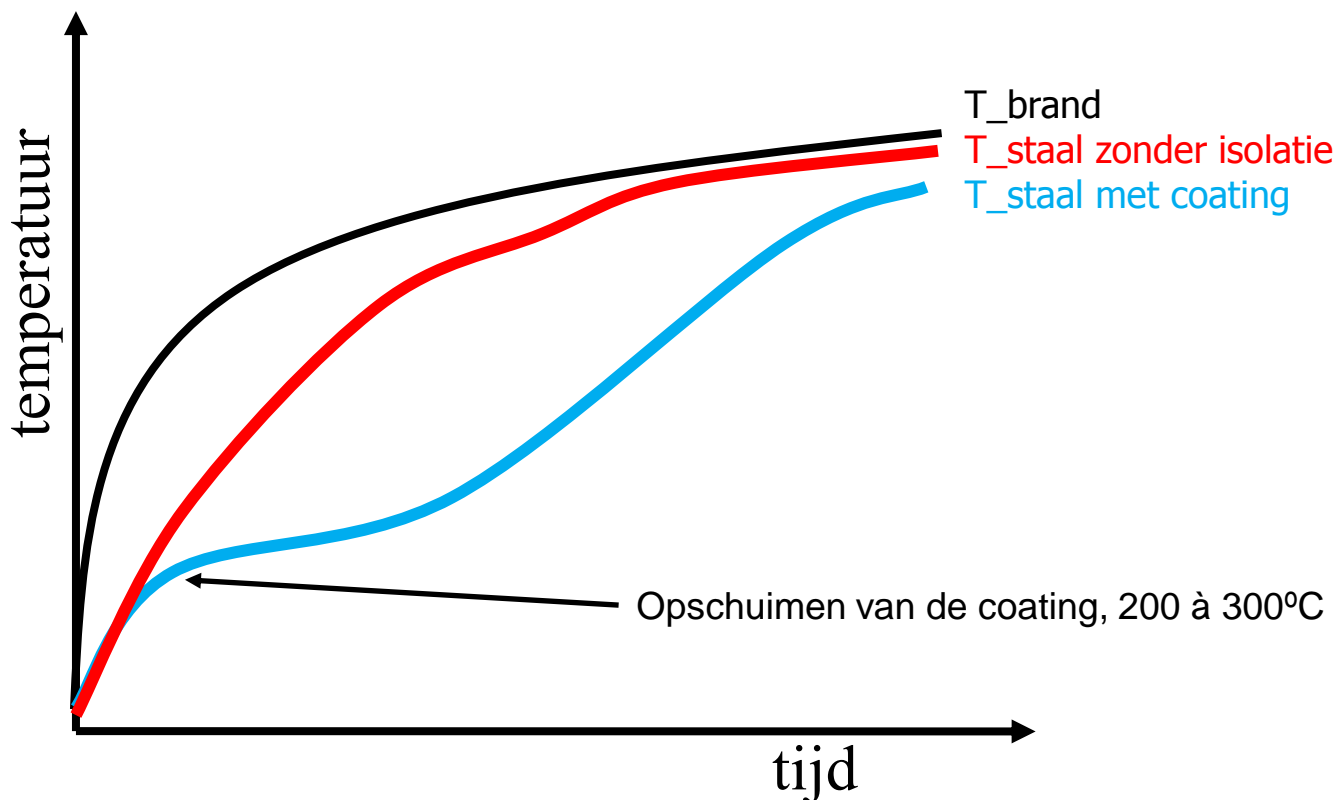
---

- De coating schuimt op wanneer het staal 200 à 300°C bereikt. Vanaf dan vormt het schuim een isolerende laag die het staal beschermt tegen de hitte
- Werking is afhankelijk van
  - Laagdikte
  - Isolatiewaarde/kwaliteit van het schuim
  - Hechting
  - Correcte applicatie
  - Brand / verhitting



## BRANDWERENDE COATING - WERKING (4/4)

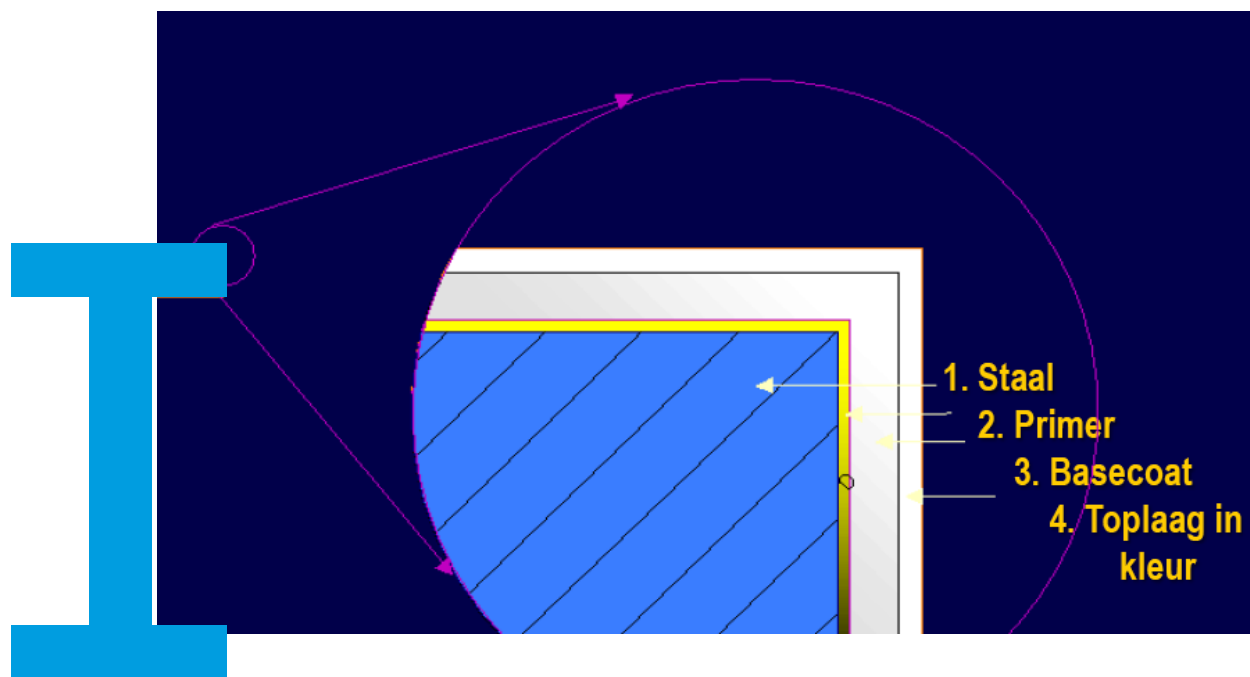
- Invloed van opschuimen op de staaltemperatuur



# BRANDWERENDE COATING - SAMENSTELLING

## ○ Laagopbouw brandwerende coatingsysteem

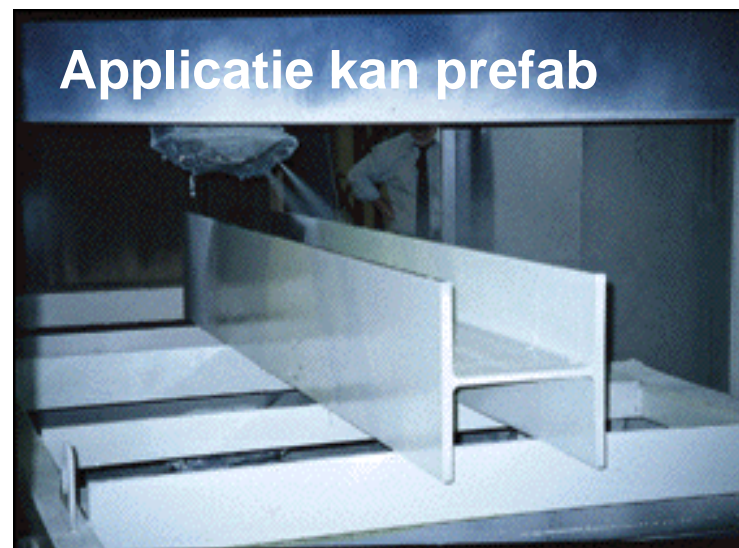
- Gestraald staal
- Primer (hechting)
- Opschuimende laag/lagen (altijd wit van kleur)
- Toplaag (eventueel i.v.m. corrosie en/of esthetica)



# BRANDWERENDE COATING - VOORBEELDEN

---

- In NL nog weinig prefab, in UK heeft dit een grote vlucht genomen
- Prefab: beschadigingen bijna onvermijdelijk en bouten worden regelmatig vergeten  
→ brandproef in de middag
- Oplosmiddel houdende coating mag alleen maar prefab worden aangebracht (behalve kleine reparaties en boutkoppen)



# REGELGEVING - TOEN

---

- Tot 1 april 2012 hadden we in Nederland formeel NEN 6072 voor het beproeven en beoordelen van brandwerende coating
- Initiatief uit de markt in 2008 (coatingindustrie verenigd in het Platform Brandwerende Coatings)
  - Knelpunten in bijlage A van NEN 6072 oplossen (door Efectis en adviesbureau IFC)
  - Gebruik de “Richtlijn voor de bepaling van de brandwerendheid van staalconstructies beschermd met opschuimende coating” (ref: 2008-Efectis-R0754) i.p.v. NEN 6072 zolang de definitieve versie van EN 13381-8 nog niet klaar is
  - Later ook bekend als NEN 7878
  - [www.coatingrichtlijn.nl](http://www.coatingrichtlijn.nl)
- Met de invoering van de Eurocodes op 1 april 2012 hadden we in Nederland formeel NVN-ENV 13381-4 voor het beproeven en beoordelen van brandwerende coating
  - Deze Nederlandse voornorm is ingetrokken op 22 mei 2013
  - Tot op heden echter nog steeds aangewezen via nationale bijlage van EN 1993-1-2







- Sinds mei 2013 is de definitieve versie van NEN-EN 13381-8 beschikbaar
  - Ook wel ‘part 8’ genoemd
  - Wordt de geldige test- en beoordelingsnorm binnen Bouwbesluit 2012
  - De NEN-EN 13381-8:2013 gaat worden aangewezen via nationale bijlage van EN 1993-1-2
    - (Tot op heden wordt dus nog steeds verwezen naar NVN-ENV 13381-4)
  - De “3D interpolatie methode” uit NEN 7878 heeft het Europees niet gered
  - Conflicterende nationale normen (NEN 6072 en NEN 7878), vrijwillige normen en conceptversies zijn sinds november 2013 niet meer geldig
  - Gesloten profielen (kokers en buizen) apart testen
  - De brandproeven en beoordelingen (assessments) moeten zijn uitgevoerd in een onafhankelijk brandlaboratorium, geaccrediteerd volgens ISO 17025 voor het uitvoeren van verrichtingen volgens EN 13381-8
  
- Testdata volgens ENV 13381-8 (“voluntary” norm) en prEN 13381-8 (“preliminary” norm) versies zijn nog wel bruikbaar voor een assessment volgens de EN 13381-8:2013 versie (definitieve norm)
  
- EN 13381-8:2013 testrapporten opgenomen op [www.brandveiligmetstaal.nl](http://www.brandveiligmetstaal.nl) (vervanger van [www.coatingrichtlijn.nl](http://www.coatingrichtlijn.nl))

# REGELGEVING - KOMO CERTIFICERING EN CE MARKERING

- KOMO certificaten (kwaliteitsverklaringen van onafhankelijke derde partij)
  - Worden toegekend door SKH
  - Kwaliteitsverklaringen, afgegeven op basis van BRL 2880 d.d. 15-03-2004 waren geldig tot 01-10-2013. Deze waren o.b.v. NEN 6072.
  - Sinds 01-01-2013 is er een wijzigingsblad
  - Vanaf 01-10-2013 zijn alleen de afgegeven kwaliteitsverklaringen op basis van dit wijzigingsblad nog maar geldig. Deze zijn o.b.v. NEN-EN 13381-8:2010.
  - ECHTER, ministerie van BZK heeft november vorig jaar verklaard dat KOMO-attesten/productcertificaten per 1 januari 2015 moeten zijn aangepast aan NEN-EN 13381-8 en/of ETAG 018.

→ Kortom, KOMO certificaten moeten nu echt o.b.v. EN 13381-8 testen zijn!
- CE markering
  - Voor veel bouwproducten sinds 1 juli 2013 verplicht (CPR)
  - Niet verplicht voor brandwerende verf omdat er geen geharmoniseerde Europese productnorm (hEN) is
  - CE markering op vrijwillige basis is wel mogelijk via Europees beoordelingsdocument (ETAG 018-2 voor brandwerende coating op staal)
  - Echter wordt er wel gewerkt aan een mandaat voor hEN → mogelijk wordt over een aantal jaar CE markering verplicht voor brandwerende coating



# EN 13381-8:2013 - ALGEMEEN

- Hoe wordt een brandwerende coating beoordeeld door het testinstituut?
  - Brandproeven
  - Rekenkundige beoordeling (assessment)
- Resultaat: ontwerptabellen (per brandwerendheid)
- EN 13381-8:2013 voorziet hierin: test- en beoordelingsnorm in één

Fire Resistance Period – 30 min								
Design Temperature °C	350	400	450	500	550	600	650	700
Section factor $m^{-1}$	Thickness of fire protection material to maintain steel temperature below design temperature							
40								
50								
60								
70								
80								
90								
100								
110								
120								
130								
140								
150								
160								
170								
180								
190								
200								
210								
220								
230								
240								
250								
260								
270								
280								
290								
300								

# EN 13381-8:2013 - BRANDPROEF - TESTPAKKETTEN

- Veel verschillende testpakketten mogelijk. Allemaal met een specifiek toepassingsgebied!
- Veelal wordt gekozen voor testpakket 3A:
  - 13 korte onbelaste H-vormige kolommen
  - 2 belaste liggers + 2 bijbehorende referentie liggers (2 liggerparen)
  - 1 lange onbelaste H-vormige kolom

- Beproeving van stalen elementen (kolommen en liggers) met de brandwerende coating →  
Meten van staaltemperaturen

Scope	Test Package	LBmin + LBmax	LCmin + LCmax	TCmax	LHB max	LHB min	LHC max	LHC min	RB	SIB	SIC	TCHS	TRHS	SHB	SHC	Total Short Sections	Correction Procedures from Annex D Table D1
I Beams	1	✓								13						13	a)
I Columns	2		✓								13					13	b)
I Beams + I Columns	3	✓		✓						13	13					26	a), c)
I Beams + I Columns	3A	✓		✓					2		13					15	d)
I Beams + I Columns + Hollow Columns	4	✓		✓			✓			13	13	✓	✓		6	32	a), c), e)
I Beams + I Columns + Hollow Columns	4A	✓		✓			✓		2		13	✓	✓		6	21	d), e)
I Beams + I Columns + Hollow Beams	5	✓		✓	✓					13	13			6		32	a), c), f)
I Beams + I Columns + Hollow Beams	5A	✓		✓	✓				2		13			6		21	d), f)
I Beams + I Columns + Hollow Beams + Hollow Columns	6	✓		✓	✓		✓			13	13	✓	✓	6	6	38	a), c), e), f)
I Beams + I Columns + Hollow Beams + Hollow Columns	6A	✓		✓	✓		✓		2		13	✓	✓	6	6	27	d), e), f)
I Beams + Hollow Beams + Hollow Columns	7	✓			✓		✓			13		✓	✓	6	6	25	a), e), f)
I Columns + Hollow Columns + Hollow Beams	8		✓		✓		✓				13	✓	✓	6	6	25	b), e), f)
Hollow Beams + Hollow Columns	9				✓	✓	✓	✓				✓	✓	6	6	12	g), h)
I Beams + Hollow Beams	10	✓			✓	✓				13				6		19	a), g)
I Columns + Hollow Columns	11		✓				✓	✓			13	✓	✓		6	19	b), h)
I Beams + Hollow Columns	12	✓					✓	✓		13		✓	✓		6	19	a), h)
I Columns + Hollow Beams	13		✓		✓	✓					13			6		19	b), g)
Hollow Beams	14				✓	✓								6		6	g)
Hollow Columns	15						✓	✓				✓	✓		6	6	h)

# EN 13381-8:2013 - BRANDPROEF - ISOLATIEWAARDE

- De isolatiewaarde van de brandwerende coating bepalen
  - In de ideale situatie: zonder vervorming van het staal
  - Minimaal 13 korte onbelaste kolommen van 1 m hoog
  - Allerlei combinaties van profielfactoren en laagdikten

Section Range Factor ( $K_s$ )	Thickness Range factor ( $K_d$ )			
	0,0 ( $d_{min}$ )	0,2 to 0,5	0,5 to 0,8	1,0 ( $d_{max}$ )
0,0 ( $S_{min}$ )	✓	✓	✓	
	✓ptp			
0,2 to 0,5	✓		✓	✓
	✓ptp			
	✓ptp	✓ptp		✓ptp
0,5 to 0,8	✓	✓	✓	✓
		✓ptp	✓ptp	✓ptp
		✓ptp	✓ptp	✓ptp
1,0 ( $S_{max}$ )		✓	✓	✓



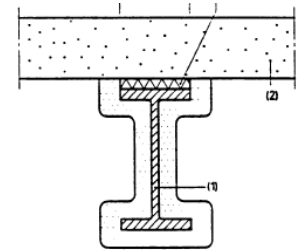
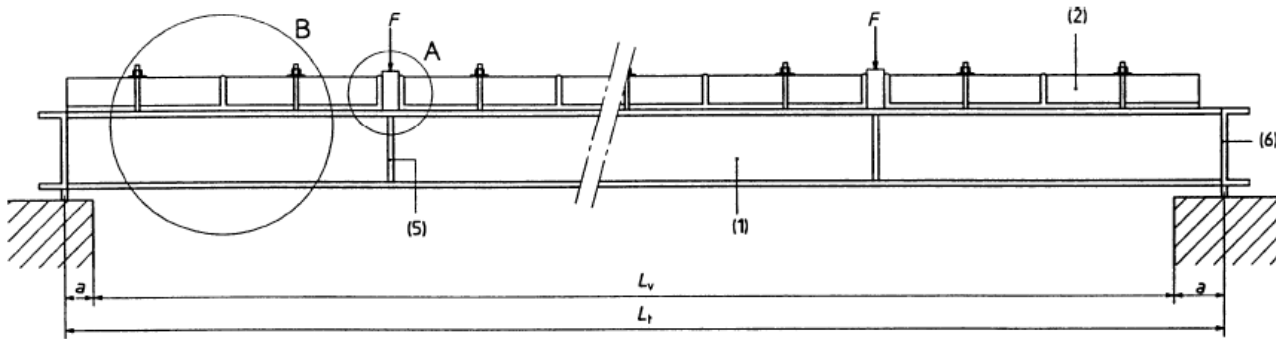
Voor o.a. testpakket 3A (maar niet speciaal voor het testen van gesloten profielen)

# EN 13381-8:2013 - BRANDPROEF - 'STICKABILITY' (1/2)

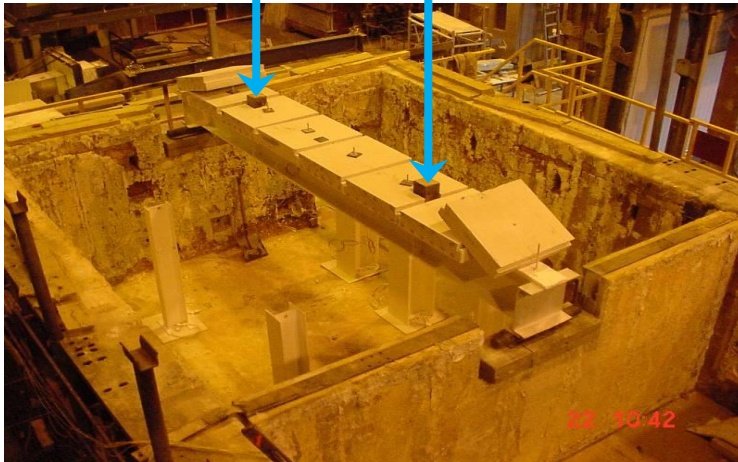
---

- De mechanische eigenschappen van brandwerende coating bepalen
- Als de ligger gaat doorbuigen als gevolg van belasting en eigengewicht, kunnen er scheuren of beschadigingen aan het coatingsysteem optreden
- Het ene systeem is hier gevoeliger voor dan het andere
- Wat is het effect van vervorming van de constructie op de isolatiewaarde van de brandwerende coating?
  - Belaste ligger + referentie ligger (beide met minimale laagdikte)
  - Belaste ligger + referentie ligger (beide met maximale laagdikte)
  - Onbelaste lange kolom + referentie kolom (beide met maximale laagdikte)
- *Stickability (correctiefactor): de mate waarin de brandwerende coating in staat is het als gevolg van de belasting vervormende staal te isoleren tov de isolatiewaarde van de brandwerende coating op niet vervormend staal.*

# EN 13381-8:2013 - BRANDPROEF - 'STICKABILITY' (2/2)



Vijzelbelasting



- De opwarming van de kolommen is een maat voor de isolatiewaarde
  
  - Deze wordt gecorrigeerd voor de invloed van vervorming ('stickability')
    - Door vergelijken van tijden tot het bereiken van een zekere temperatuur voor belaste ligger en onbelaste referentie ligger
  
  - Er zijn diverse rekenmethoden die deze resultaten kunnen omwerken tot ontwerptabellen
    - Constante lambda methode
    - Variabele lambda methode
    - Numerieke regressie methode
    - Grafische methode
- Resultaat: ontwerptabellen (per brandwerendheid)
- Toepassingsgebied
    - Profielfactor
    - Laagdikte
    - Staaltemperatuur
    - Brandkromme
    - Primer
    - Type profielen (H-vormig of gesloten, kolom of ligger)

(2) De figuren 1 tot en met 14 zijn slechts geldig in het volgende gebied:

$$40 \text{ m}^{-1} \leq P_i \leq 350 \text{ m}^{-1}$$

$$10 \text{ mm} \leq d_i \leq 80 \text{ mm}$$

$$350 \text{ °C} \leq \theta_a \leq 750 \text{ °C.}$$



# EN 13381-8:2013 - ONTWERPTABELLEN

- Voorbeeld bepaling laagdikte
  - Brandwerendheid 30 minuten
  - Profielfactor  $240 \text{ m}^{-1}$
  - Kritieke staaltemperatuur  $525 \text{ }^\circ\text{C}$

Laagdikte in mm, 30 min

Kritieke staaltemperatuur ( $^\circ\text{C}$ )

	350	400	450	500	550	600	650
..							
200	1.825	1.253	0.852	0.556	0.329	0.207	0.207
220	1.974	1.369	0.94	0.62	0.373	0.207	0.207
240	2.115	1.48	1.024	0.682	0.416	0.207	0.207
260	2.249	1.586	1.106	0.742	0.458	0.229	0.207
..							

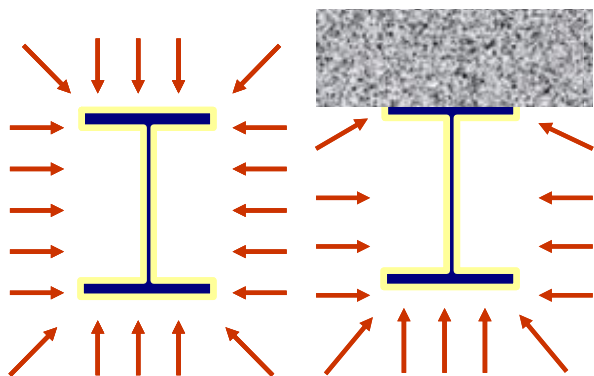
Profielfactor ( $\text{m}^{-1}$ )

→ 0.549mm

# PRAKTIJKVOORBEEDEN - COMPLEXE SITUATIES (1/5)

---

- Brandproef is ontworpen voor doorgaande liggers en kolommen, met 3- en 4-zijdige verhitting



- Praktijk is complexer
  - Aansluiting bij knooppunten
  - Aansluiting bij gevels
  - Staal deels tussen metselwerk of betimmering
  - Staal deels omgoten met beton
  - Afwijkende geometrie stalen delen
  - Combinaties van materialen / systemen
  - Etc.

# PRAKTIJKVOORBEELDEN - COMPLEXE SITUATIES (2/5)

## ○ Knooppunten



# PRAKTIJKVOORBEEDEN - COMPLEXE SITUATIES (3/5)

---

- Aansluiting bij knooppunten
  - Eventueel profielfactor van de knoop apart bepalen
  - Zijn alle hoekjes goed te bereiken?
    - Coating ook op lastige plekken in de juiste dikte?
    - Hechting / bevestiging deugdelijk?
  - Hoopt zich geen vuil of vocht op?
    - Mogelijke invloed op effectiviteit van de isolatie

# PRAKTIJKVOORBEEDEN - COMPLEXE SITUATIES (4/5)

---

- Aansluiting bij gevels, bemetseling, beton, en bij afwijkende geometrieën (1/2)
  - Eventueel profielfactor van een onderdeel apart bepalen, uitgaande van conservatieve aannames
    - Bijvoorbeeld alleen meetellen van de blootgestelde flens
  - Deugdelijke bevestiging?
    - Soms is het bijvoorbeeld niet mogelijk om (in het geval van een plaatmateriaal) klossen tussen de flenzen te zetten. Dan moet een alternatieve bevestigingsmethode worden ontworpen.

## PRAKTIJKVOORBEEDEN - COMPLEXE SITUATIES (5/5)

---

- Aansluiting bij gevels, bemetseling, beton, en bij afwijkende geometrieën (2/2)
  - Coating heeft voldoende ruimte?
    - Coating schuimt alleen op bij voldoende (enkele cm's) vrije ruimte
    - Daarom bijvoorbeeld niet een houten plaat direct over de coating heen monteren
    - Bij metselwerk bijvoorbeeld is dit niet zo'n probleem (het metselwerk zelf zal ook isoleren) maar dan moet het metselwerk wel ook de vereiste brandwerendheid hebben.
  - Verder ook dezelfde punten als bij knooppunten

# PRAKTIJKVOORBEEDEN - COMPLEXE SITUATIES - TEST

---

- Voorbeeld:
- Combinatie van 2 materialen rondom één profiel
- Twijfel over deugdelijke bevestiging bij combinatie van de 2 materialen
- Brandproef uitgevoerd ter verificatie



# VRAGEN?

---

## ○ Vragen over de presentatie?

- Dat kan nu
- Of stuur later een e-mail naar [tim.vanderwaart@effectis.com](mailto:tim.vanderwaart@effectis.com)

## ○ Vragen over brand in het algemeen?

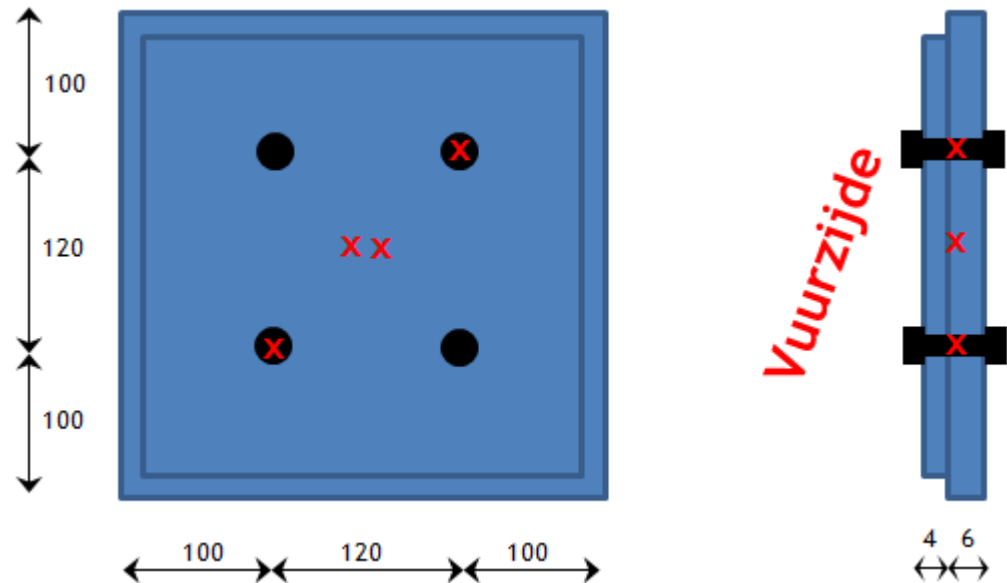
- Stuur een e-mail naar [nederland@effectis.com](mailto:nederland@effectis.com)
- Bezoek onze website [www.effectis.com](http://www.effectis.com)
- Of bestel ons boek 'Fire safety engineering - Handboek voor de bouw' voor slechts EUR 40,- per boek.





# BRANDPROEF IN MIDDAG - DOEL EN TESTOPSTELLING

- Thema van de dag: brandwerende coating op staal
- Prefab gecoate stalen bouwdelen: beschadigingen aan coating bijna onvermijdelijk en bouten worden regelmatig vergeten
- 
- Brandproef op verschillende boutverbindingen (puur thermisch):
  - Invloed van niet gecoate bouten op temperatuur van gecoat staal (bout zorgt voor warmtelek)
  - Invloed van boutdiameter op staaltemperatuur
- 4 proefstukken: 2 gecoate staalplaatjes (275  $\mu\text{m}$ ) verbonden d.m.v. 4 bouten
  - M16 gecoate bouten (boltcaps)
  - M16 onbeschermdde bouten
  - M24 gecoate bouten (boltcaps)
  - M24 onbeschermdde bouten
- 4 thermokoppels per proefstuk (x)
  - 2 staaltemperaturen
  - 2 bouttemperaturen
- Container met pallets (vuurlast)
  - Alle proefstukken tegelijk testen
  - $\pm 30$  cm van opening container
  - Halverwege hoogte container



# BRANDPROEF IN MIDDAG - VOORSPELLING (1/4)

---

## ○ Kwalitatief

- Niet gecoate bouten zorgen voor een warmtebrug (extra warmte toevoer naar staal)
- Grotere boutdiameters zorgen voor relatief meer onbeschermd oppervlak (extra warmte toevoer naar staal) maar ook voor een lagere profielfactor (tragere opwarming)
- Vermoedelijk van koudst naar warmst: M24 met coating, M16 met coating, M16 zonder coating, M24 zonder coating
- Bij de niet gecoate bouten gaat het om massiviteit versus warmtegeleiding

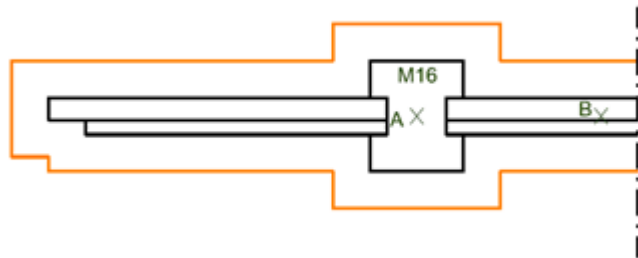
## ○ Kwantitatief (absolute temperaturen) is lastig door veel onzekerheden

- Thermische belasting
  - Type hout en vochtgehalte?
  - Windrichting en -sterkte?
  - Welk deel van het oppervlak van het proefstuk wordt daadwerkelijk verhit (convectie en straling)?
- Thermische eigenschappen coating?
- Welk deel van de onbeschermdde bouten blijft echt onbeschermd?

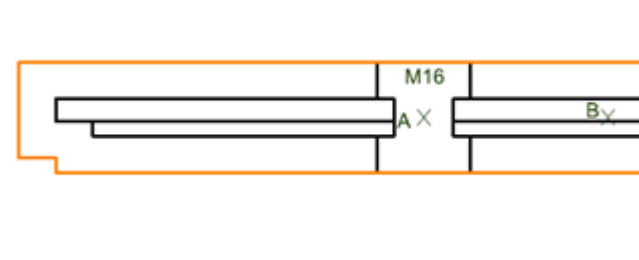
## ○ Kwantitatief (relatieve temperaturen) is mogelijk door aannames te doen voor alle onzekerheden → 3D thermische analyse m.b.v. FEM (software: DIANA 9.6)

# BRANDPROEF IN MIDDAG - VOORSPELLING (2/4)

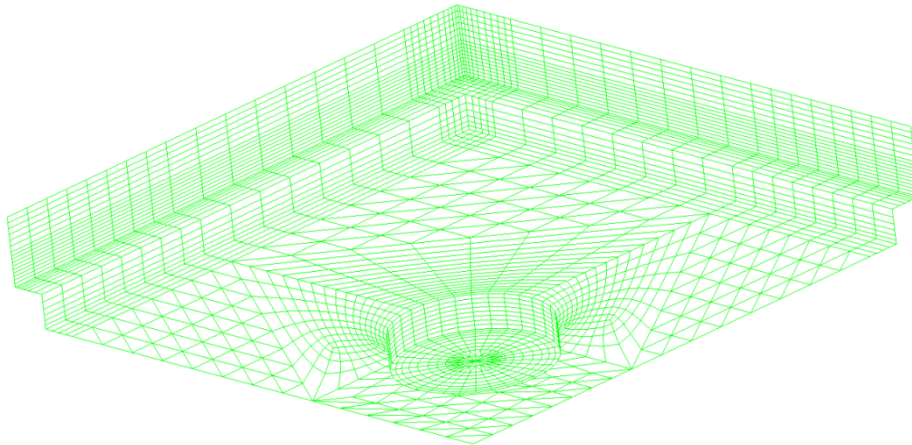
○ Model: Bout met coating



Bout zonder coating

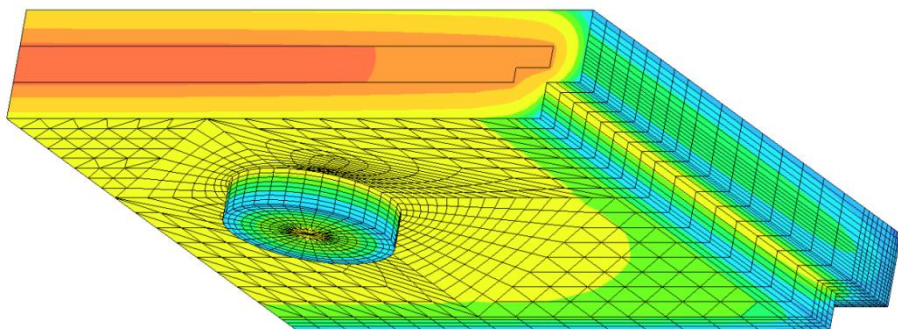


○ Elementrooster (bout met coating): kwart gemodelleerd i.v.m. symmetrie

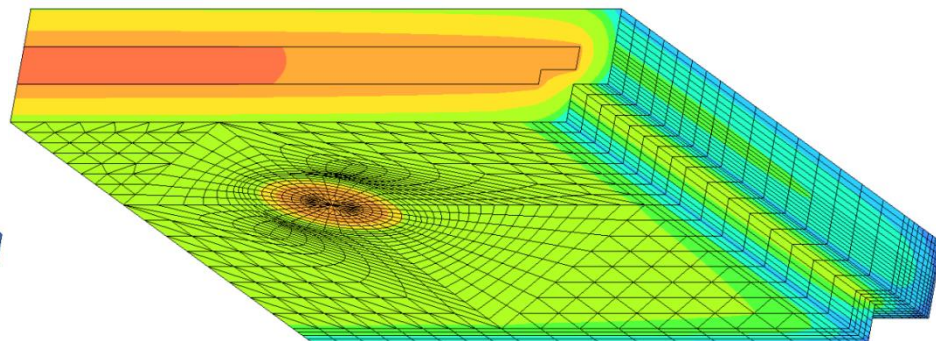


# BRANDPROEF IN MIDDAG - VOORSPELLING (3/4)

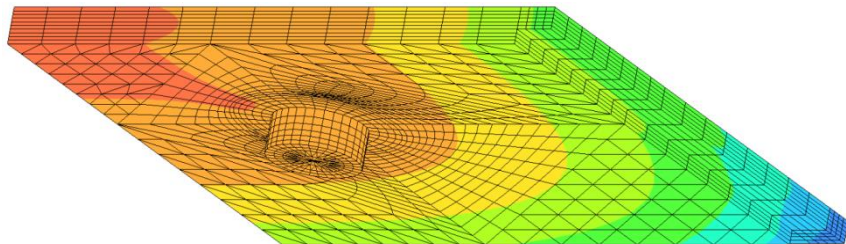
Bout met coating (alles)



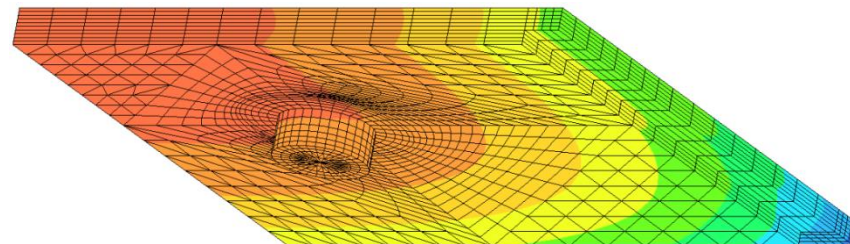
Bout zonder coating (alles)



Bout met coating (alleen staal)

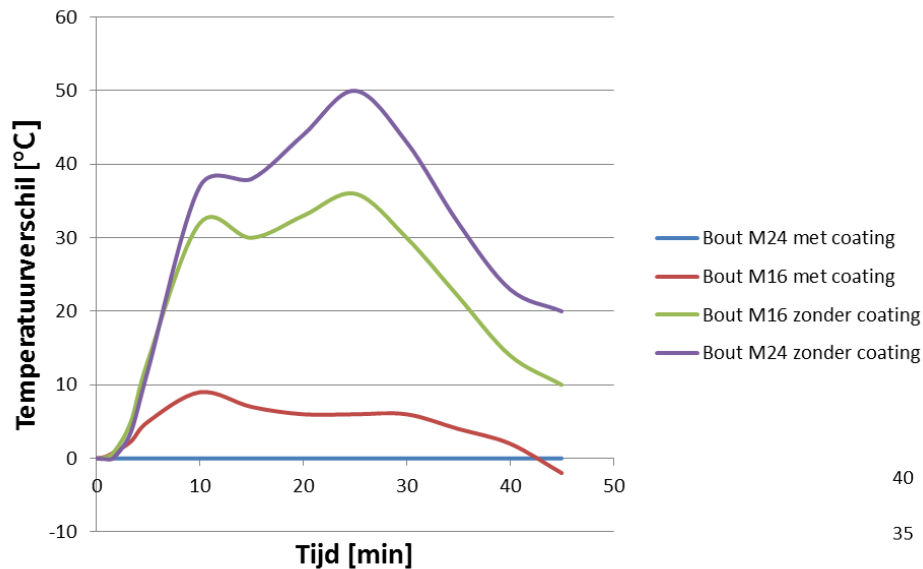


Bout zonder coating (alleen staal)



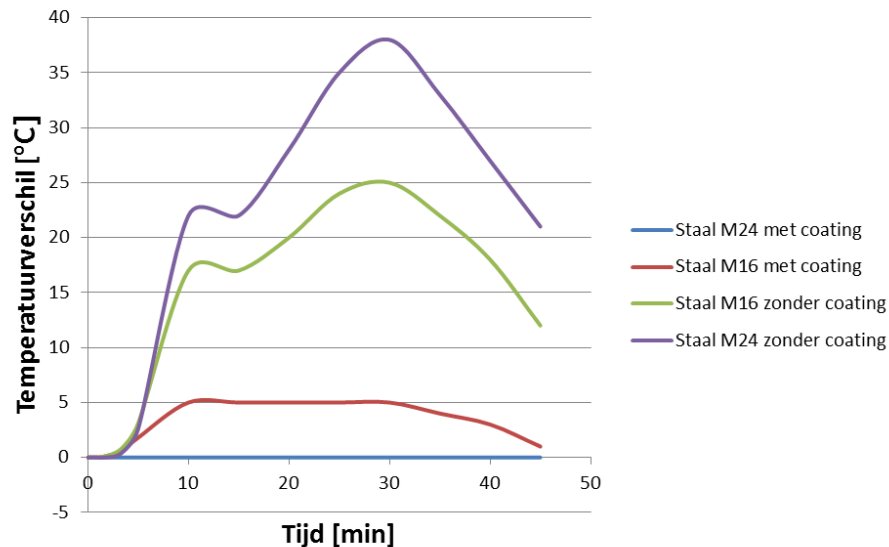
# BRANDPROEF IN MIDDAG - VOORSPELLING (4/4)

## Temperatuurverschil in bouten



- Aanwezigheid coating bepalender dan diameter van de bout
- Onbeschermd verhitte oppervlak bepalender dan profielfactor

## Temperatuurverschil in staalplaten



# VRAGEN?

---

○ Vragen over de proef en/of de rekenkundige voorspelling?

- Dat kan nu
- Of straks tijdens de proef
- Of stuur later een e-mail naar [tim.vanderwaart@effectis.com](mailto:tim.vanderwaart@effectis.com)

