



## Efectis Nederland-rapport

### 2008-Efectis-R0754

## Richtlijn voor de bepaling van de brandwerendheid van staalconstructies beschermd met opschuimende coating

Efectis Nederland BV  
Centrum voor Brandveiligheid  
Lange Kleiweg 5  
Postbus 1090  
2280 CB Rijswijk

[www.efectis.nl](http://www.efectis.nl)

T 015 276 34 80

F 015 276 30 25

E [nederland@efectis.com](mailto:nederland@efectis.com)



Datum	Oktober 2008
Auteur(s)	Ir. A.J. Breunese Dr. Ir. C. Both Ir. J.C.A. van de Weijgert (International Fire Consultants)
Aantal pagina's	17(inclusief bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	BBN Postbus 2600 3430 GA NIEUWEGEIN
Projectnaam	Richtlijn opschuimende coatings
Projectnummer	2008811

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van Efectis.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgevoerd, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het Efectis-rapport aan direct belang-hebbers is toegestaan.

© 2008 Efectis Nederland BV: een TNO bedrijf

Voor u ligt een rapport van Efectis Nederland BV (voorheen TNO Centrum voor Brandveiligheid). Efectis Nederland BV en het zusterbedrijf Efectis Frankrijk, zijn sinds 1 januari 2008 volle dochters van de Efectis Holding SAS, waarin TNO en het Franse CTICM, participeren. De activiteiten van het TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn sinds 1 juli 2006 ondergebracht in Efectis Nederland BV. Dit is ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen. Om de klantvragen nog beter te kunnen beantwoorden, en een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden, is de internationale samenwerking verder uitgebreid. Dit is gedaan met ervaren, en in de brandveiligheids sector bekende, partners in Noorwegen (Sintef-NBL), Spanje (Afiti-Licof), Duitsland (IFT), de Verenigde Staten (South West Research Institute) en China (TFRI). Nadere informatie hierover is te vinden op onze website.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inkadering van de richtlijn.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Aanwijzingen bij de beproevingsprocedure.....</b>	<b>6</b>
3.1	Meting van oventemperaturen.....	6
3.2	Selectie van kolommen .....	6
3.3	Opbouw coatingsysteem.....	6
3.4	Beproeving belaste en onbelaste ligger .....	7
3.5	Meting staaltemperaturen .....	7
3.6	Relatie testdata met Europese normen .....	11
<b>4</b>	<b>Aanwijzingen bij de assessment .....</b>	<b>12</b>
4.1	Weglaten van gegevens.....	12
4.2	Constante labda methode.....	12
4.3	3D interpolatie methode .....	12
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A 3D interpolatie methode	
	B Radiale checking procedure	
	C Ontwikkelingen Europese normering	

# 1 Inleiding

Voor de bepaling van de brandwerendheid van staalconstructies is in Nederland de norm NEN 6072<sup>1</sup> van toepassing. Voor de berekening van een staalconstructie waarop een brandwerende bescherming is aangebracht, dient het gedrag van het beschermingssysteem bekend te zijn. Dit gedrag wordt bepaald volgens bijlage A<sup>2</sup> van NEN 6072.

De in bijlage A van NEN 6072 beschreven procedure is tweeledig. Ten eerste wordt een aantal stalen proefstukken, beschermd met het te beoordelen beschermingssysteem, beproefd. Ten tweede wordt op basis van de proefresultaten een rekenkundige analyse (“assessment”) uitgevoerd, die uitmondt in ontwerpgrafieken waarin de staaltemperatuur wordt gerelateerd aan de verhittingsduur (brandwerendheid), de slankheid van het staal (profielfactor) en de laagdikte van het beschermingssysteem. Daardoor is het mogelijk om voor een gegeven constructie de benodigde laagdikte van een gekozen beschermingssysteem te bepalen.

De in bijlage A van NEN 6072 gegeven beschrijvingen van de beproevingsmethode en de assessment laten ruimte voor interpretatie over. Sommige zaken zijn niet afgedekt, en in enkele gevallen worden keuzes gemaakt die niet meer voldoen aan de huidige technische inzichten.

Vooraf bij een brandwerend beschermingssysteem op basis van een opschuimende coating (ook wel brandwerende verf genoemd) leidt deze interpretatievrijheid tot onduidelijkheid en tot significante verschillen in het beoordelingsresultaat afhankelijk van de keuzes die in de stappen van de beproeving en assessment worden gemaakt.

Op dit moment bestaat er naast NEN 6072 een voorlopige (tijdelijke) Europese norm zonder formele status, de NVN-ENV 13381-4:2003<sup>3</sup>, voor de beproeving van brandwerende beschermingssystemen voor staalconstructies. Beide normen zijn nauw aan elkaar verwant omdat de eerste versies beide begin jaren '90 tot stand kwamen. De Europese norm wordt momenteel herzien, hetgeen naar verwachting tot belangrijke wijzigingen zal leiden, uitmondend in de norm prEN 13381-8<sup>4</sup> voor opschuimende coatings. Binnen afzienbare tijd, waarschijnlijk in 2009 of 2010, zal NEN 6072 vervangen worden door de Europese norm(en). Voor de beproevingsmethode bij brand en de assessment van opschuimende coatings zal dit dus waarschijnlijk de norm prEN 13381-8 worden. Een aantal van de knelpunten uit NEN 6072 zullen hierin worden opgelost. Op dit moment is deze norm echter nog in ontwikkeling en NEN 6072 zal dus nog enige tijd van kracht blijven.

Daarom heeft de coatingindustrie, verenigd in het Platform Brandwerende Coatings, aan Efectis Nederland opdracht gegeven om in samenwerking met het Britse

---

<sup>1</sup> NEN 6072:2005 - Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdeelen (Staalconstructies)

<sup>2</sup> NEN 6072:2005, Bijlage A (Normatief) - Experimentele beoordeling van het mechanisch en thermisch gedrag van de bekleding

<sup>3</sup> NVN-ENV 13381-4:2003 – Beproevingmethoden voor de bepaling van de bijdrage aan brandwerendheid van draagconstructieonderdelen – Deel 4: Bescherming aangebracht op stalen constructiedelen

<sup>4</sup> De meest recente conceptversie van dit document is gehanteerd. Dit betreft DRAFT prEN 13381-8 - Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 8: Applied reactive protection to steel members, February 2008

adviesbureau International Fire Consultants (IFC) een richtlijn op te stellen waarin de belangrijkste knelpunten uit bijlage A van NEN 6072 worden opgelost voor opschuimende coatings. In enkele gevallen is ervoor gekozen om af te wijken van NEN 6072, om gebruik te kunnen maken van huidige technische inzichten en om beter aan te sluiten op de toekomstige Europese norm. Bij het opstellen van de richtlijn zijn Efectis en IFC ondersteund door Bouwen met Staal. De richtlijn is bindend voor de bij het Platform aangesloten industriepartijen en zal tevens worden aanbevolen aan toezichthoudende overheidsinstanties (VROM, Bouw- en Woningtoezichten, Brandweer).

Het voorliggende document kan worden gelezen als een aanvulling op bijlage A van NEN 6072. Voor zover delen van bijlage A van NEN 6072 komen te vervallen, omdat deze door de richtlijn op een andere wijze worden aangepakt, worden de vervallen artikelnummers vermeld.

Tevens is relevante technische achtergrondinformatie als bijlage bij deze richtlijn gevoegd.

## 2 Inkadering van de richtlijn

Omdat veel zaken reeds worden aangepakt bij het opstellen van de Europese norm, hebben de opstellers van deze richtlijn zich beperkt tot de meest urgente knelpunten in bijlage A van NEN 6072. Een aantal zaken wordt bewust buiten beschouwing gelaten.

Het thermisch gedrag van de opschuimende coating wordt uitsluitend bepaald op basis van beproeving van onbelaste kolommen. Beproeving van onbelaste liggers wordt dus niet beschouwd.

Het mechanisch gedrag (correctiefactor voor stickability<sup>5</sup>) van de opschuimende coating wordt uitsluitend bepaald op basis van beproeving van een belaste ligger en een onbelaste ligger. Beproeving van belaste kolommen wordt dus niet beschouwd.

De resultaten die zijn verkregen door middel van beproeving van open profielen (I- of H-vormig) zijn ook van toepassing op gesloten profielen (rechthoekige, vierkante of ronde buizen).

De correctie van het thermisch gedrag om het effect van mechanisch gedrag ("stickability") in rekening te brengen wordt gedaan met een factor die wordt bepaald in het temperatuursdomein.

In bijlage A van NEN 6072 wordt de op deze wijze gecorrigeerde temperatuur aangeduid als de "gemodificeerde staaltemperatuur". In deze richtlijn wordt in dit verband steeds gesproken over "correctie" in plaats van "modificatie", hetgeen aansluit bij de terminologie in Europese normen.

Voor de assessment van de beproevingsresultaten wordt in bijlage A van NEN 6072 de "constante labda methode" gehanteerd. Deze richtlijn geeft oplossingen voor enkele knelpunten in de beschrijving van die methode, maar biedt daarnaast een volledig alternatieve assessmentprocedure op basis van de "3D interpolatie methode". De constante labda methode heeft als voordeel dat een relatief beperkte set proefstukken voldoende is. Bij de 3D interpolatie methode zijn meer proefstukken nodig maar wordt een betere weergave van het proefresultaat verkregen waardoor in de praktijk meestal kleinere laagdiktes nodig zullen zijn.

---

<sup>5</sup> Met stickability wordt bedoeld de mate waarin de opschuimende coating bij vervorming van de stalen ligger effectief blijft als isolerende bekleding

## 3 Aanwijzingen bij de beproevingsprocedure

### 3.1 Meting van oventemperaturen

De oventemperaturen dienen te worden gemeten met behulp van plaatthermometers. De aantallen en posities van de plaatthermometers dienen te worden bepaald conform NVN-ENV 13381-4.

Plaatthermometers reageren traag op temperatuurverandering. Gedurende de eerste vijf minuten van de brandproef worden daarom geen eisen gesteld aan de afwijking van de gemeten temperaturen ten opzichte van de standaard brandkromme, en mogen andere meetmethoden worden gebruikt met als doel om erop aan te sturen dat vanaf vijf minuten de met de plaatthermometers gemeten temperatuur de standaard brandkromme volgt.

### 3.2 Selectie van kolommen

De onbelaste kolommen die worden beproefd ter bepaling van het thermisch gedrag van de opschuimende coating dienen het relevante gebied aan profielfactoren en droge laagdiktes af te dekken.

- Een kolommenset volgens bijlage A van NEN 6072 mag worden geanalyseerd met de constante  $\lambda$  methode uit bijlage A van NEN 6072, waarbij tevens de in bijlage A van NEN 6072 genoemde extrapolaties in termen van laagdikte en profielfactor zijn toegestaan.
- Een alternatieve kolommenset die bij de radiale check met radius 60 het beoogde toepassingsgebied *omsluit*, mag eveneens worden gebruikt als basis voor de constante  $\lambda$  methode conform bijlage A van NEN 6072, maar de in bijlage A van NEN 6072 genoemde extrapolatieregels (art. A.8.a en A.8.b) komen te vervallen. Er is dan geen extrapolatie toegestaan, het toepassingsgebied wordt begrensd door de veelhoek die in het laagdikte/profielfactordomein wordt gevormd door de buitenste proefstukken.
- Een alternatieve kolommenset die bij de radiale check met radius 50 het toepassingsgebied *afdekt*, mag worden gebruikt als basis voor de 3D interpolatiemethode. Hierbij is geen extrapolatie toegestaan, het toepassingsgebied wordt begrensd door de veelhoek die in het laagdikte/profielfactordomein wordt gevormd door de buitenste proefstukken.

De radiale checking procedure is toegelicht in bijlage B van deze richtlijn.

### 3.3 Opbouw coatingsysteem

De proefstukken worden bewerkt door op het schone, gestraalde staal eerst een primer aan te brengen en vervolgens een basecoat. Tenslotte kan een topcoat worden aangebracht. De primer dient voor de hechting, de basecoat bevat de opschuimende bestanddelen en de topcoat kan dienen voor kleur, duurzaamheid enz.

De geldigheid van het proefresultaat is beperkt tot praktijktoepassingen waarin eenzelfde laagopbouw wordt gehanteerd. Voor de primerdikte geldt dat deze gelijk moet zijn aan de dikte op de proefstukken. De benodigde minimale droge laagdikte van

de basecoat dient bepaald te worden m.b.v. de ontwerpgrafieken die volgen uit de assessment.

Het proefresultaat is ook geldig voor toepassingen met dezelfde basecoat (type en dikte), maar met een andere primer en/of topcoat mits aangetoond is dat deze verenigbaar is met de basecoat en derhalve tot vergelijkbare resultaten leidt.

### **3.4 Beproeving belaste en onbelaste ligger**

Beproeving van de belaste ligger en onbelaste ligger dient ter bepaling van de correctiefactor voor stickability, een maat voor het mechanisch gedrag van de opschuimende coating. Hiertoe worden de temperaturen van de belaste en de onbelaste ligger op ieder tijdstip op elkaar gedeeld.

De beide liggerproefstukken dienen tegelijkertijd te worden beproefd. Artikel A.6.3.4.2 in bijlage A van NEN 6072 vervalt.

De droge laagdikte op de belaste ligger en op de onbelaste ligger mag een willekeurige waarde zijn vanaf de minimale laagdikte tot en met de maximale laagdikte die met de kolommenset zijn beproefd. De opmerking over de bekledingsdikte in artikel A.5.2.1.1 van bijlage A van NEN 6072 vervalt. Wel blijft onverkort van kracht dat de droge laagdiktes op de belaste en onbelaste liggers ongeveer aan elkaar gelijk moeten zijn, zoals gespecificeerd in artikel A.5.2.1.2b van bijlage A van NEN 6072.

### **3.5 Meting staaltemperaturen**

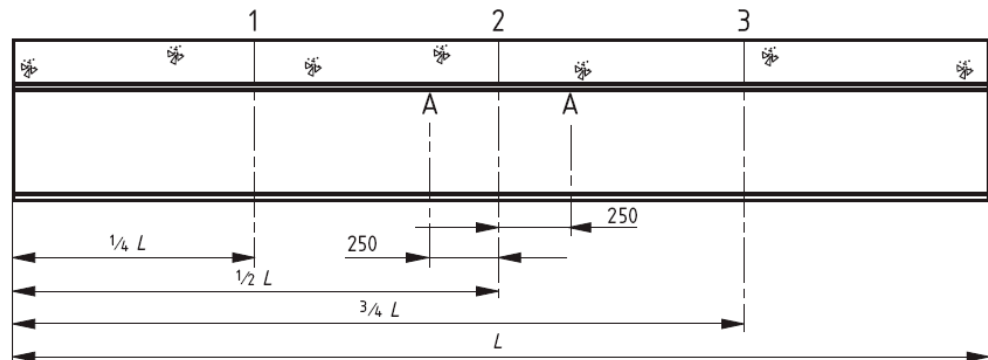
In NEN 6072 wordt gesteld dat op de belaste ligger 21 thermokoppels dienen te worden aangebracht, op de referentieligger 12 thermokoppels en op elk van de kolommen 6 thermokoppels. Vaak gaan tijdens een proef thermokoppels kapot. Daarom dient een minimum aantal correct functionerende thermokoppels te worden gespecificeerd.

Om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de toekomstige Europese regelgeving wordt in deze richtlijn uitgegaan van de aantallen en posities van thermokoppels zoals vermeld in prEN 13381-8:2008.

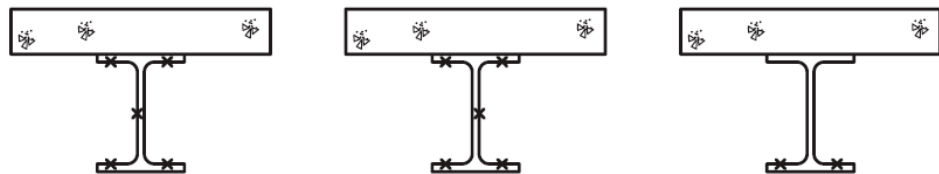
Ook proefresultaten conform NVN-ENV 13381-4:2003 of NEN 6072:2005 worden geaccepteerd indien de aantallen correct functionerende thermokoppels voldoen aan deze eisen en de oventemperatuur is gestuurd op basis van plaatthermometers.

Belaste ligger

Op de belaste ligger dienen 17 thermokoppels te zijn aangebracht zoals getoond in figuur 1.



Loaded beam side elevation



Positions 1 and 3

Position 2

Position A

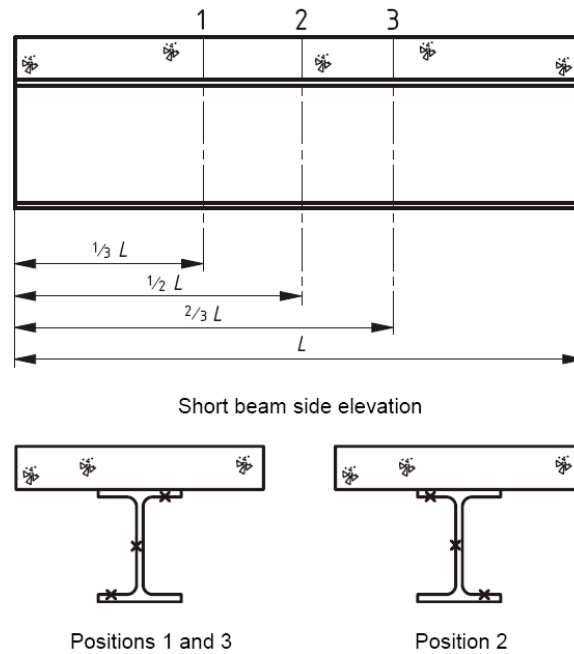
*Figuur 1: thermokoppelposities op de belaste ligger (maten in mm)*

- Van de 6 thermokoppels op de bovenflens dienen ten minste 4 stuks correct te functioneren;
- Van de 3 thermokoppels op het lijf dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren;
- Van de 8 thermokoppels op de onderflens dienen ten minste 6 stuks correct te functioneren.



### Referentieligger

Op de referentieligger dienen 9 thermokoppels te zijn aangebracht zoals getoond in figuur 2.

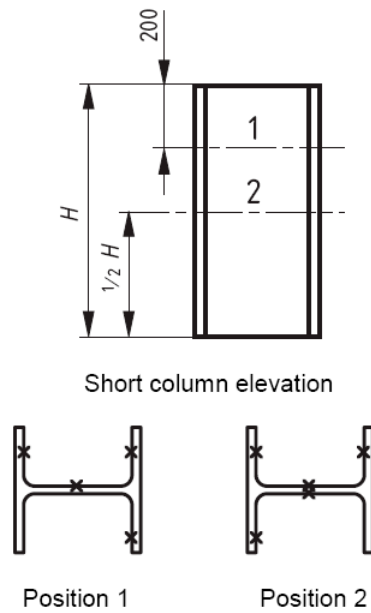


*Figuur 2: thermokoppelposities op de referentieligger*

- Van de 3 thermokoppels op de bovenflens dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren;
- Van de 3 thermokoppels op het lijf dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren;
- Van de 3 thermokoppels op de onderflens dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren.

Onbelaste korte kolommen

Op de kolom dienen 9 thermokoppels te zijn aangebracht zoals getoond in figuur 3.



*Figuur 3: thermokoppelposities op de kolom (maten in mm)*

- Van de 3 thermokoppels op de elke flens dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren;
- Van de 3 thermokoppels op het lijf dienen ten minste 2 stuks correct te functioneren.

### 3.6 Relatie testdata met Europese normen

In tabel 1 wordt toegelicht wat de implicaties zijn van de keuzes die in paragrafen 3.1 tot en met 3.5 gemaakt worden voor de toepasbaarheid van testresultaten bij beoordeling volgens Europese normen (NVN-ENV 13381-4:2003 en prEN 13381-8:2008). Tevens wordt aangegeven wat het verschil is met de bestaande methode zoals beschreven in NEN 6072:2005.

Tabel 1: overzicht van bruikbaarheid beproevingsgegevens volgens de verschillende normen

par.	Beproeving-procedure	NEN 6072:2005	NVN-ENV 13381-4:2003	BCN Richtlijn 2008	prEN 13381-8 (draft 2008)	Is test volgens BCN richtlijn bruikbaar voor prEN 13381-8?	opmerkingen
3.1	Methode temperatuurmeting oven					ja	
	Plaatt thermometer	Nee*	Verplicht	Verplicht	Verplicht	JA	* Sinds 2001 hanteert TNO/Efectis de plaatt thermometer bij brandproeven, vooruitlopend op de overgang naar Europese normen.
	Andere Thermokoppels	Ja	Alleen eerste 5 min toegestaan	Alleen eerste 5 min toegestaan	Alleen eerste 5 min toegestaan	n.v.t.	
3.2	Selectie proefstukken:						
	Aantal in dataset	Strikt voorgeschreven, 10 stuks. Zie de norm NEN 6072:2005.	Strikt voorgeschreven, in principe 10 stuks maar bij grafische beoordeling 18 stuks. Zie de norm NVN-ENV 13381-4:2003.	Zie radiale check. Meer vrije keuze	Voor thermisch gedrag van I- of H-vormige kolommen 9 stuks	Ja	
	Profielfactor en laagdikte	Strikt voorgeschreven. Zie de norm NEN 6072:2005.	Strikt voorgeschreven. Zie de norm NVN-ENV 13381-4:2003.	Vrije keuze mits aan radiale check of NEN 6072 specificatie voldaan is	Vrije keuze binnen zekere bandbreedtes	mogelijk	
	orientatie proefstukken	Enkel verticaal getest	Enkel verticaal getest	Enkel verticaal getest	aparte tests en beoordelingen voor kolommen en liggers	ja	
	Aantal zijden te verhitten voor bepalen thermisch gedrag	4 zijdig	4 zijdig	4 zijdig	4 zijdig (kolommen) en indien gewenst apart ook 3-zijdig (liggers)		Voor kolommen altijd 4 zijdig
3.3	opbouw coatingsysteem	Niet gedefinieerd	Beschreven	Beschreven	Beschreven	ja	
3.4	Belaste en onbelaste ligger						
	Laagdikte voor het liggerpaar	alleen minimum laagdikte	maximum laagdikte en minimum laagdikte	Vrij binnen toepassingsgebied	maximum laagdikte verplicht, minimum optioneel	mogelijk	
3.5	Aantal werkzame thermokoppels per korte kolom	-	6, met specificatie van verdeling	6, met specificatie van verdeling	6, met specificatie van verdeling	ja	
	belaste ligger	-	21, met specificatie van verdeling	12, met specificatie van verdeling	12, met specificatie van verdeling	ja	
	referentieligger	-	6, met specificatie van verdeling	6, met specificatie van verdeling	6, met specificatie van verdeling	ja	
	Beoordelingsmethode	1 methode: - constante labda	4 methodes: - numerieke regressie - constante labda - variabele labda - grafisch	2 methodes: - constante labda - 3D interpolatie	4 methodes: - numerieke regressie - constante labda - variabele labda - grafisch	n.v.t.	beoordelingsmethode heeft invloed op resultaat

## 4 Aanwijzingen bij de assessment

Bij het uitvoeren van een assessment kan gekozen worden tussen de constante labda methode en de 3D interpolatie methode, mits de beproefde kolomset voldoet voor de gekozen methode.

### 4.1 Weglaten van gegevens

Het is niet toegestaan om relevante beproevingsresultaten niet te gebruiken in de assessment, tenzij deze buiten het beoogde toepassingsgebied vallen. Alle onbelaste korte kolommen (met daarop hetzelfde type opschuimende coating) die tegelijkertijd beproefd zijn moeten worden gebruikt in de assessment.

### 4.2 Constante labda methode


De constante labda methode wordt uitgevoerd conform bijlage A van NEN 6072. Ongewijzigd wordt dus ook vastgehouden aan

- assessment vanaf 400°C in stappen van 50°C;
- correctiefactor voor stickability wordt bepaald in het temperatuursdomein;
- de materiaaleigenschappen dienen zodanig te zijn bepaald dat
  - o in het meest ongunstige geval de berekende tijd tot het bereiken van de kritieke staaltemperatuur nooit groter is dan 1,2 maal de gemeten tijd
  - o de berekende tijd tot het bereiken van de kritieke staaltemperatuur gemiddeld niet groter is dan 1,0 maal de gemeten tijd.

Extrapolatie van het toepassingsgebied in termen van droge laagdikte en profielfactor is uitsluitend toegestaan indien precies de kolomset uit NEN 6072 is beproefd.

### 4.3 3D interpolatie methode

De 3D interpolatie methode wordt uitgevoerd conform bijlage A van deze richtlijn.



Ir. A. Breunese



Dr. Ir. C. Both

Voor u ligt een rapport van Efectis Nederland BV (voorheen TNO Centrum voor Brandveiligheid). Efectis Nederland BV en het zusterbedrijf Efectis Frankrijk, zijn sinds 1 januari 2008 volle dochters van de Efectis Holding SAS, waarin TNO en het Franse CTICM, participeren. De activiteiten van het TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn sinds 1 juli 2006 ondergebracht in Efectis Nederland BV. Dit is ingegeven door de internationale marktontwikkelingen en klantvragen. Om de klantvragen nog beter te kunnen beantwoorden, en een breder pakket aan diensten en faciliteiten van een hoge kwaliteit aan te kunnen bieden, is de internationale samenwerking verder uitgebreid. Dit is gedaan met ervaren, en in de brandveiligheidssector bekende, partners in Noorwegen (Sintef-NBL), Spanje (Afiti-Licof), Duitsland (IFT), de Verenigde Staten (South West Research Institute) en China (TFRI). Nadere informatie hierover is te vinden op onze website.

## A 3D interpolatie methode

### A.1 Input data

Input data zoals aangegeven in Tabel A.1.

Profielfactor $P_i$	Laagdikte opschuimende coating DFT	Tijd voor het bereiken van een $T_{\text{mod}} = *** \text{ } ^\circ\text{C}$

Tabel A.1: Input data 3D Interpolatie methode

### A.2 Basisvergelijkingen

Vergelijking van een lijn:  $y = ax + b$

Vergelijking van een vlak:  $ax + by + cz + d = 0$

### A.3 Methodologie

De volgende stappen dienen te worden uitgevoerd:

- Gebruik de resultaten van de brandproeven
- Bepaal de driehoeken (domeinen)
- Stel de vergelijkingen op van de lijnen en de vlakken
- Bereken de prestatietijden als functie van de droge laagdikte van de opschuimende coating
- Bereken de prestatie-tijden als functie van de profielfactor
- Bereken de benodigde droge laagdikte van de opschuimende coating als functie van de profielfactor voor de gewenste prestatietijden voor elke ontwerp staaltemperatuur
- Presenteer de resultaten
- Rapporteer de resultaten

#### Stap 1

Bereken de gemodificeerde staaltemperatuur voor elke onbelaste korte kolom als functie van de verhittingsduur zoals aangegeven in Tabel 1.

#### Stap 2

Bepaal voor elke onbelaste korte kolom de tijd die benodigd is om een ontwerp staaltemperatuur te bereiken van 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C en 750°C (de staaltemperaturen waarin men geïnteresseerd is).

### Stap 3

Stel een orthogonaal  $xy$ -assenstelsel op, met de profielfactor  $P_i$  op de  $x$ -as en de droge laagdikte DFT op de  $y$ -as.

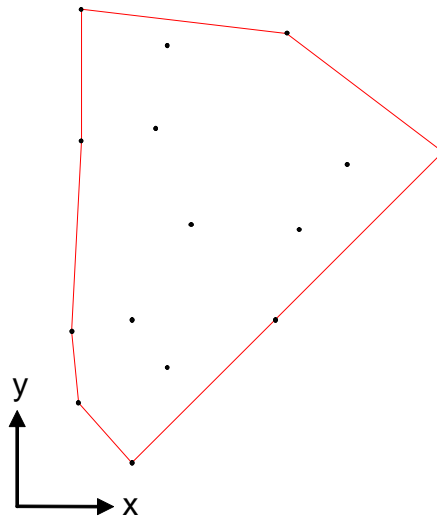
### Stap 4

Bepaal de positie van elk proefstuk en teken de coördinaten  $(x_i, y_i)$  in, waarbij  $x_i$  de profielfactor  $P_i$  is en  $y_i$  de droge laagdikte DFT, voor elk proefstuk  $i$ .

### Stap 5

Bepaal driehoekige domeinen in het  $xy$ -vlak, waarbij de punten  $(x_i, y_i)$  de hoekpunten vormen van de driehoeken, e.e.a. overeenkomstig de algoritmes van Voronoi en Delaunay<sup>6</sup>. De werkwijze wordt hieronder in enkele stappen kort beschreven.

1) Teken de omtrek van alle data-punten (omhullende van alle punten in het  $xy$ -vlak).

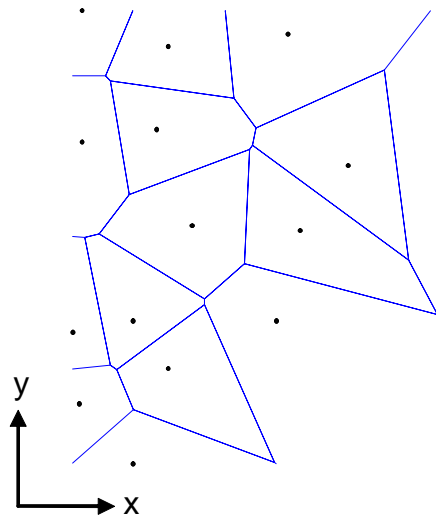


*Datapunten en omhullende in het  $x$ - $y$  vlak*

2) Teken tussen alle naast elkaar gelegen punten de middelloodlijnen. Trek de middelloodlijnen juist zover door totdat ze elkaar snijden en rondom elk datapunt een invloedsgebied omkaderd is (het "Voronoi-diagram"). Middelloodlijnen van twee te ver uiteen gelegen datapunten vallen daardoor automatisch af; zij vormen immers geen begrenzing van het invloedsgebied van deze punten.

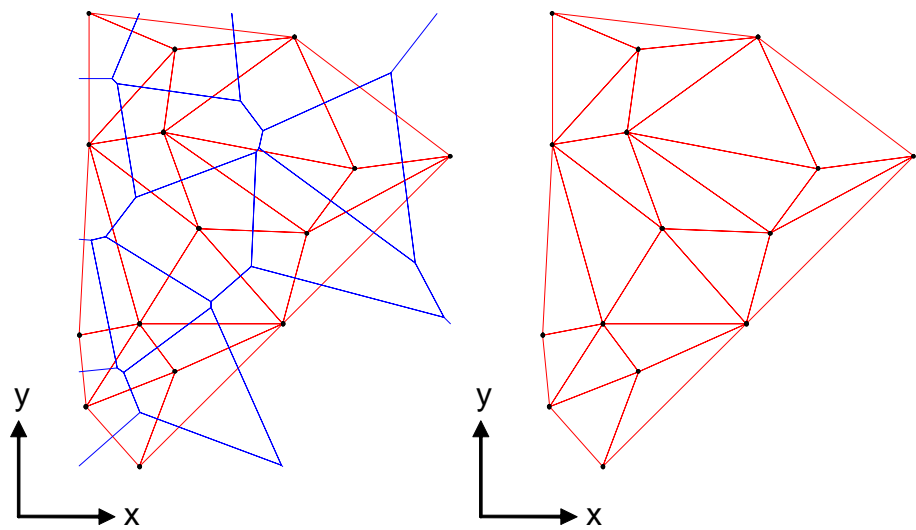
---

<sup>6</sup> Uitgebreide informatie over de achtergronden en werking van deze algoritmes kan worden gevonden op de Engelstalige Wikipedia: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).



*Voronoi-diagram*

3) Indien de middelloodlijn tussen twee datapunten onderdeel is van de begrenzing van het invloedsgebied, teken een lijn tussen deze twee datapunten. Op deze wijze zal een zo gelijkmatig mogelijk driehoekennet ontstaan (de “Delaunay triangulatie”).



*Van Voronoi-diagram naar Delaunay triangulatie*

4) Langs de randen van het toepassingsgebied kunnen scherpe driehoeken ontstaan. Verwijder de buitenrand van een dergelijke driehoek indien de scherpste hoek kleiner dan  $10^\circ$  is.

#### Stap 6

Identificeer elke driehoek met een referentie.

#### Stap 7

Bepaal de vergelijkingen van de lijnen die de driehoeken vormen.

De vergelijking van een lijn door twee punten heeft de algemene vorm:

$$y = ax + b.$$

### Stap 8

Voeg een z-as toe aan het orthogonale xy-assenstelsel, waarbij z de prestatietijd aangeeft.

Bepaal en teken de coördinaten  $(x_i, y_i, z_i)$  in voor elk proefstuk, waarbij:

$x_i$  is de profielfactor  $P_i$  voor onbelaste korte kolom i,

$y_i$  is de droge laagdikte DFT voor onbelaste korte kolom i,

$z_i$  is de prestatietijd, dit is de tijd die onbelaste korte kolom i nodig heeft gehad om de ontwerp staaltemperatuur te bereiken.

### Stap 9

Bepaal voor elke driehoek de vergelijking van het vlak dat door de hoekpunten gaat. De hoekpunten zijn  $(x_i, y_i, z_i)$ , waarin  $i = 1, 2, 3$ . De vergelijking van het vlak heeft de algemene vorm:  $ax + by + cz + d = 0$ .

Elk driehoekig domein heeft zijn eigen unieke vlakvergelijking.

### Stap 10

Bereken de prestatietijd t als functie van de droge laagdikte DFT. Doe dit door een verticale doorsnijding te maken door de verzameling van vlakken voor één bepaalde profielfactor  $P_i$ .

Doe dit voor alle profielfactoren  $P_i$  waarin men geïnteresseerd is.

Bepaal de prestatietijd t voor constante profielfactor  $P_i$  door een reeks van droge laagdikten in de vlakvergelijking in te voeren, dat wil zeggen bereken de z-waarde voor een reeks van y-waarden, waarbij x constant is. Gebruik binnen elk domein de unieke vlakvergelijking voor dat domein.

### Stap 11

Bereken de prestatietijd t als functie van de profielfactor  $P_i$ . Doe dit door een verticale doorsnijding te maken door de verzameling van vlakken voor één bepaalde droge laagdikte DFT.

Doe dit voor alle droge laagdikten DFT waarin men geïnteresseerd is.

Bepaal de prestatietijd t voor constante droge laagdikte DFT door een reeks van profielfactoren  $P_i$  in de vlakvergelijking in te voeren, dat wil zeggen bereken de z-waarde voor een reeks van x-waarden, waarbij y constant is. Gebruik binnen elk domein de unieke vlakvergelijking voor dat domein.

### Stap 12

Bereken de droge laagdikte DFT als functie van de profielfactor  $P_i$ , die nodig is om een zekere prestatietijd t te behalen. Doe dit door een horizontale doorsnijding te maken door de verzameling van vlakken voor één bepaalde prestatietijd t.

Doe dit voor alle prestatietijden waarin men geïnteresseerd is, bijvoorbeeld 30, 60, 90 en 120 minuten.

Bepaal de benodigde droge laagdikte DFT als functie van de profielfactor  $P_i$  voor een constante prestatietijd t door een reeks van profielfactoren  $P_i$  in te voeren in de vlakvergelijking, dat wil zeggen bereken de y-waarde voor een reeks van x-waarden, waarbij z constant is. Gebruik binnen elk domein de unieke vlakvergelijking voor dat domein.



### Stap 13

Herhaal de stappen 8 tot 12 voor elke temperatuur waarin men geïnteresseerd is. (voor elke ontwerp staaltemperatuur). Ontwerp staaltemperaturen kunnen vrij worden gekozen, bijvoorbeeld 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 620°C, 650°C, 700°C en 750°C.

### Stap 14

Het is mogelijk om, binnen de omtrekslijn van de data-set (de omhullende van alle punten van de data-set), de ontwikkeling van de staaltemperatuur te bepalen voor elke willekeurige combinatie van droge laagdikte DFT en profielfactor  $P_i$ . Deze procedure is een hulpmiddel om de staaltemperatuur te voorspellen als functie van de verhittingsduur, dat wil zeggen voor proefstukken die nog niet zijn getest in een brandproef.

Dit kan worden gedaan door de stappen 8 tot en met 12 te herhalen voor elke temperatuur  $T$  vanaf 20°C oplopend tot 750°C, met een temperatuurinterval van 1°C, bijvoorbeeld voor 20°C, 21°C, 22°C, 23°C ... 750°C.

Bereken de prestatietijd voor elke temperatuur door de droge laagdikte DFT en de profielfactor  $P_i$  in te voeren in de vlakvergelijking die behoort bij die temperatuur  $T$ .

De temperatuurontwikkeling in het staalprofiel als functie van de verhittingsduur wordt verkregen door de temperatuur die behoort bij de vlakvergelijking te koppelen aan de prestatietijd die door deze specifieke vlakvergelijking is berekend, bijvoorbeeld:

20°C = 0 min, 23 sec

21°C = 2 min, 44 sec

22°C = 6 min, 16 sec

23°C = 7 min, 34 sec

... etc.

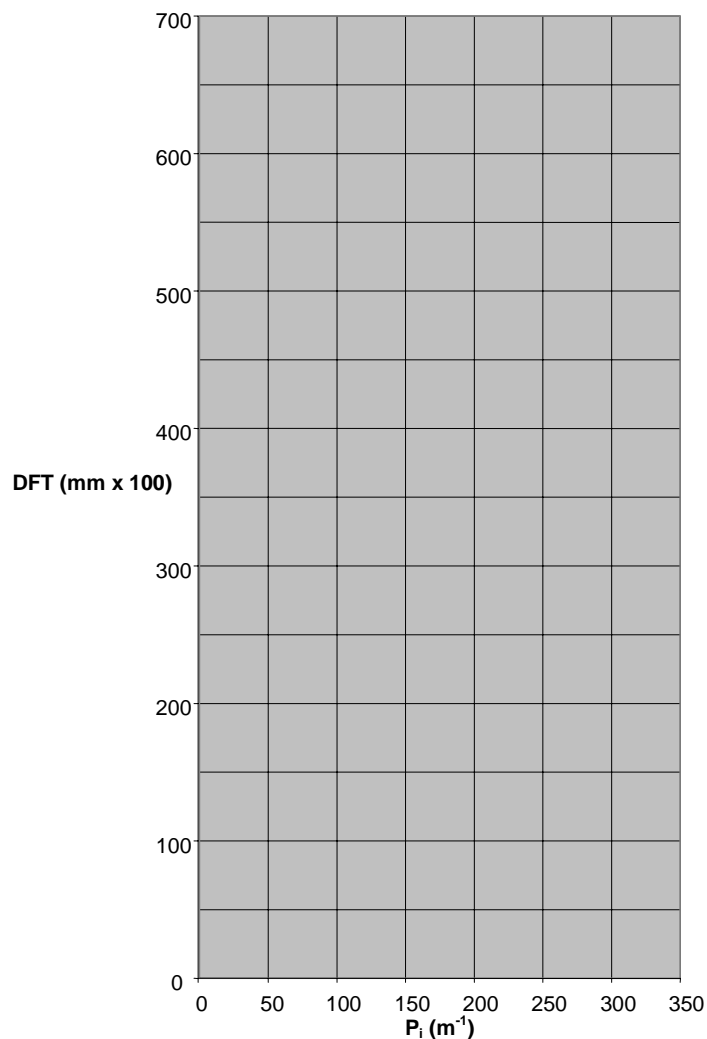
750°C = 113 min 12 sec

Presenteer de temperatuurdata en de verkregen prestatietijden in een scatter plot.

## B Radiale checking procedure

Nadat de data punten voor een nieuwe data set geselecteerd zijn of nadat data punten geïdentificeerd zijn uit een bestaande data set, dienen de coördinaten van elk proefstuk ( $x_i, y_i$ ) te worden vastgesteld en deze dienen getekend te worden in het xy-assenstelsel. Hierbij is  $x_i$  de profielfactor  $P_i$  en  $y_i$  de droge laagdikte DFT voor elk proefstuk  $i$ . De x-as (profielfactor  $P_i$ ) dient een schaal 1:1 te hebben in de range van 0 – 350 ( $m^{-1}$ ). De y-as (droge laagdikte DFT) dient een schaal 100:1 in de range van 0 – maximum DFT (mm x 100) te hebben. Dit is hieronder toegelicht:

Identificeer de maximum DFT voor elke data set, bijvoorbeeld 7mm; de y-as (DFT) dient dan een schaal te hebben van 100:1 in de range van 0 – 700 (mm x 100). De grafiek dient zo te worden getekend dat de lengte van de x-as ( $P_i$ ) proportioneel is met de lengte van de y-as (DFT), zie figuur 1. De verhouding van de lengte van de x-as ( $P_i$ ) en de lengte van de y-as (DFT) is dan 350:700.



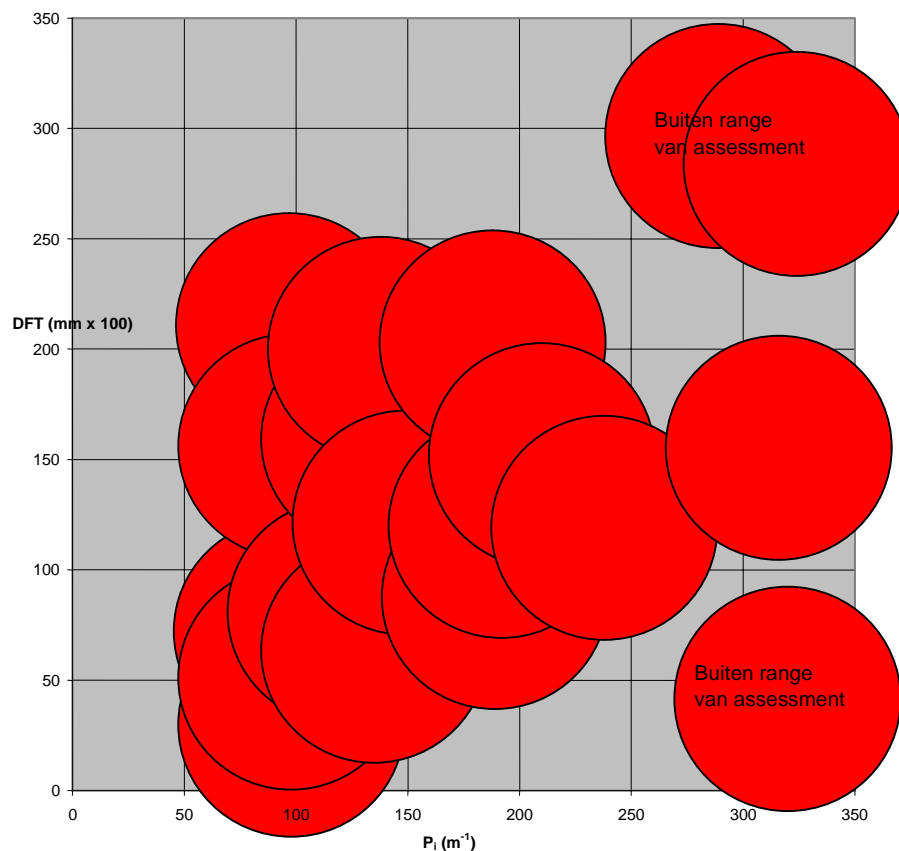
*Figuur 1: voorbeeld van een assenverdeling voor een opschuimende coating met een maximale laagdikte van 7 mm en een maximaal beproefde profielfactor van  $350 m^{-1}$*

Nadat de grafiek op schaal is getekend en nadat de data punten zijn ingetekend, dient een cirkel rond elk data punt te worden getrokken met het data punt als middelpunt. De straal van de cirkel dient in alle gevallen 50 (mm x 100 of  $m^{-1}$ ) te bedragen voor een assessment met de 3D interpolatie methode en 60 voor een assessment met de constante labda methode.

Het is een vereiste voor de 3D interpolatie methode dat de cirkels van ten minste 3 data punten elkaar gedeeltelijk overlappen, zonder dat er openingen tussen de cirkels ontstaan. De cirkels van data punten die niet met ten minste twee andere cirkels gedeeltelijk overlappen kunnen niet in het assessment worden betrokken. Zie Figuur 2.

Alle data punten die voldoen aan de Radiale Checking Procedure kunnen worden opgenomen in een assessment. Als er bijvoorbeeld twee data punten zijn die dicht bij elkaar liggen en die voldoen aan de Radiale Checking Procedure, dan mogen deze beide worden opgenomen in het assessment.

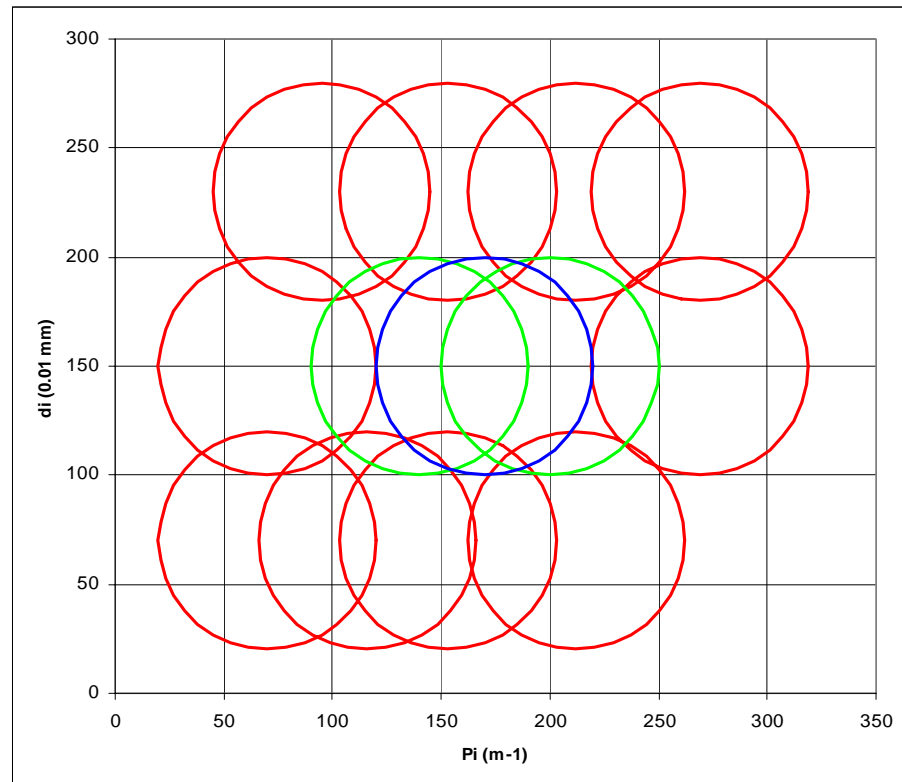
Voor een assessment met de constante labda methode is het bovendien toegestaan om een lege ruimte (zonder datapunten) in het midden van het toepassingsgebied te hebben, zolang de cirkels van de rondom gelegen punten dit blanco gebied maar volledig omsluiten, zie figuur 2.



*Figuur 2: voorbeeld van een dataset, waarbij de aaneengesloten cirkels het toepassingsgebied definiëren en de losliggende cirkels niet worden meegenomen in de assessment.*

**Voor de 3D methode:**

Een bestaande dataset op basis van de standaard kolomset zoals gedefinieerd in NEN 6072 en NVN-ENV 13381-4 is onvoldoende voor uitvoering van een assessment volgens de 3D interpolatie methode. Met enkele extra datapunten wordt een dergelijke assessment echter wel mogelijk.

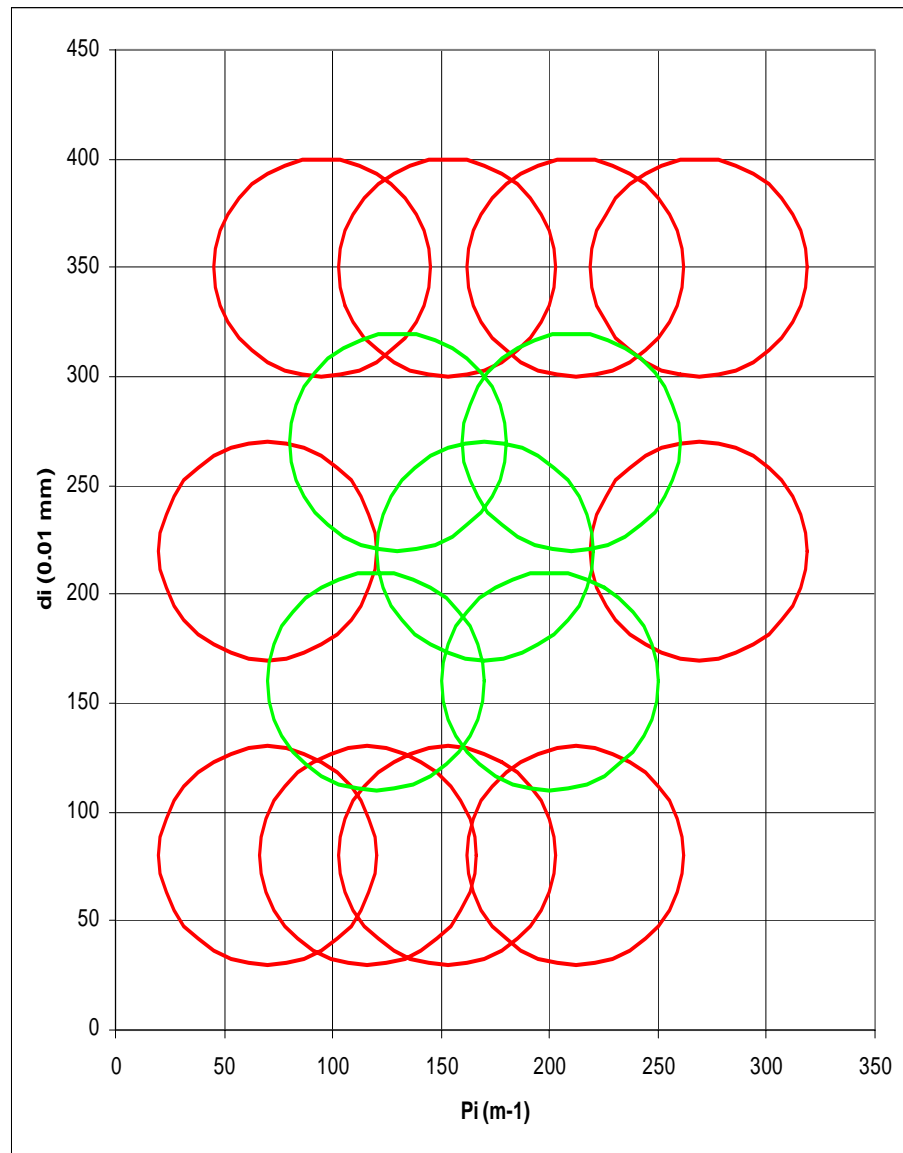


*Figuur 3: Radiale check met radius 50 bij de kolomset conform NEN 6072 in rode cirkels (aanname: dikterange 0.6-2.4 mm);*

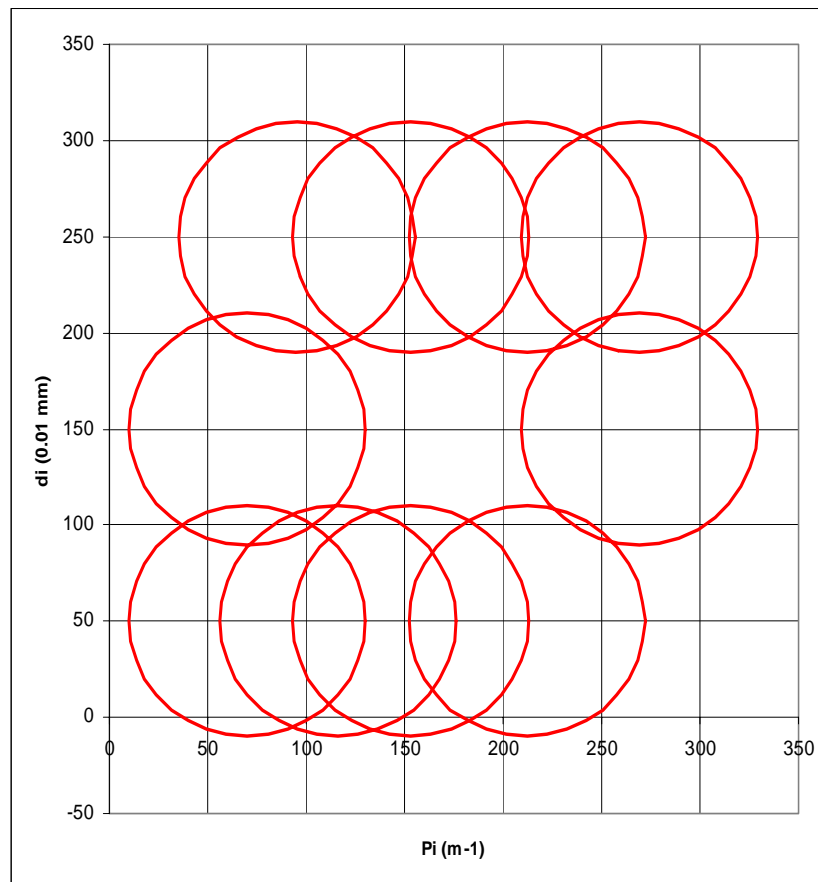
Bij toevoeging van de twee datapunten met groene cirkels in figuur 3 wordt het toepassingsgebied volledig afgedekt door de cirkels; er mag dus een 3D assessment worden gemaakt.

Bij toevoeging van alleen het datapunt met de blauwe cirkel (i.p.v. de twee punten met de groene cirkels) vallen er gaten en mag dus geen 3D assessment worden gemaakt. Dit is ook logisch want het ene blauwe datapunt zou sterk bepalend zijn voor grote delen van de ontwerpgrafieken.

Bij een groter verschil tussen de grootste en kleinste laagdikte zijn logischerwijs meer proefstukken nodig om deze variatie in diktes af te dekken, zie de extra groene cirkels in het voorbeeld in figuur 4.



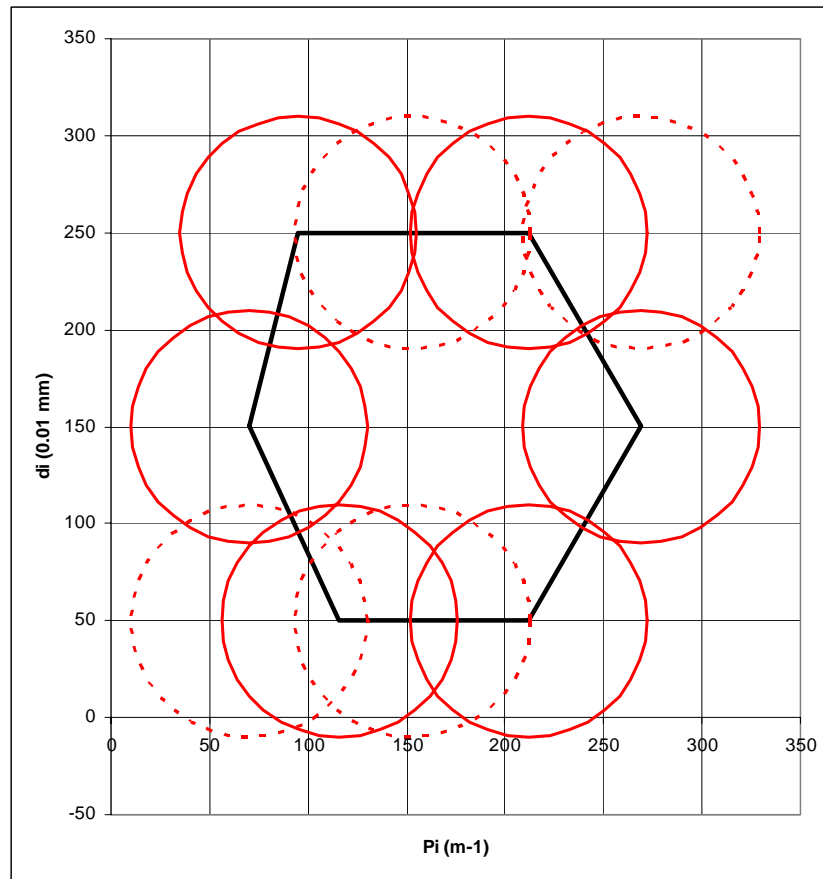
*Figuur 4: Radiale check met radius 50 bij de kolommenset conform NEN 6072 in rode cirkels (aanname: dikterange 0.8-3.5 mm)*

**Voor de constante labda methode:**

*Figuur 5: Radiale check op de standaard NEN 6072 dataset met radius 60 (aanname dikterange 0,5-2,5mm).*

De cirkels vormen een aaneengesloten omsluiting van het toepassingsgebied. Bij afwijkende kolommensets is de constante labda methode alleen toegestaan als de cirkels met radius 60 het gebied omsluiten. Bovendien mag bij afwijkende kolommensets niet geëxtrapoleerd worden.

Voor een constante labda assessment had men in het geval van figuur 5 ook voldoende gehad indien de in figuur 6 gestippelde datapunten niet beschikbaar waren geweest, zij het dat het toepassingsgebied dan beperkt zou worden tot de met een zwarte lijn aangegeven zeshoek.



Figuur 6: Voorbeeld van een beperkt toepassingsgebied op basis van zes kolommen.

## **C      Ontwikkelingen Europese normering**

In deze bijlage wordt enige achtergrondinformatie gegeven bij zaken die door het Platform Brandwerende Coatings buiten beschouwing zijn gelaten, maar die in Europees verband wel aandacht krijgen en in de uiteindelijk uit te brengen Europese norm prEN 13381-8 waarschijnlijk wel opgenomen zullen zijn. De verwachting is dat de prEN 13381-8 sterk zal afwijken van de bestaande Europese norm NVN-ENV 13381-4.

C1: open en gesloten profielen

C2: kolommen en liggers

C3: eisen aan spreiding in laagdiktes op proefstukken

C4: werkwijze correctie voor stickability



### **C1: Open en gesloten profielen**

Scheuren ontstaan in opgeschuimde coating doordat de omtrek van het profiel, waarop de coatinglaag is aangebracht, geringer is dan de buitenomtrek van de opschuimkorst.

Opschuimende coatings ondervinden bij het opschuimen invloed van de ondergrond. Indien de ondergrond scherpe hoeken bevat dan ontstaan ter plaatse van deze hoeken vaak scheuren in de opschuimlaag. Dit komt omdat ter plaatse van de scherpe hoek minder opschuimende coating aanwezig is dan in de naastgelegen vlakke delen. I-profielen bevatten scherpe hoeken. Bij laboratoriumproeven kan dit verschijnsel in brandovens waargenomen worden. Scheuren worden dus min of meer geforceerd ter plaatse van scherpe hoeken. Dit is geen probleem voor de weerstand tegen de warmtedoorgang omdat het staaloppervlak ter plaatse van de scherpe hoek zeer gering is. Er is dus weinig staaloppervlak waarlangs de warmte kan binnendringen. Bij I-profielen ontstaan er zeer weinig scheuren op de vlakke delen.

Bij gesloten profielen zijn geen scherpe hoeken aanwezig. De profielen zijn veelal afgerond ter plaatse van de hoeken. Scheuren die tijdens de verhitting in de opschuimkorst ontstaan, ontstaan daarom op willekeurige plaatsen. Scheurvorming vindt dus willekeurig plaats op vlakke delen.

Dit is wel een probleem voor de weerstand tegen de warmtedoorgang omdat het staaloppervlak ter plaatse van de scheuren relatief groot is en daar ter plaatse niet beschermd wordt door een schuimkorst. Warmte kan binnendringen over de volledige breedte van de scheur.

Om deze reden moet in het algemeen de droge verlaag voor gesloten profielen met een profielfactor  $P_1$  dikker zijn dan voor open profielen met dezelfde profielfactor  $P_1$ .

#### Nederlandse filosofie

In Nederland wordt op historische gronden geen onderscheid gemaakt tussen open en gesloten profielen. De benodigde droge laagdikte die wordt vastgesteld op basis van brandproeven op I-profielen, mag in Nederland tot nu toe ook worden toegepast op gesloten profielen. Dit zal waarschijnlijk veranderen na de totstandkoming van de Europese norm prEN 13381-8.

## C2: Kolommen en liggers

In sommige landen, waaronder Engeland, wordt verschil gemaakt in de beoordeling van kolommen en liggers, met andere woorden kolommen en liggers worden apart beoordeeld. Hiervoor zijn een aantal redenen aan te geven, maar de belangrijkste is dat men de indruk heeft dat een reactief systeem, lees opschuimende coating, op kolommen een ander gedrag kan vertonen dan indien aangebracht op liggers.

Er zijn een aantal redenen, zoals:

1. Kolommen worden vaak aan vierzijdige verhitting blootgesteld en liggers aan driezijdige verhitting.
2. Kolommen bezwijken doorgaans bij een lagere kritieke staaltemperatuur dan liggers. Dit komt door de invloed van laterale instabiliteit (knik) die bij kolommen een belangrijkere rol speelt dan bij liggers (kip).
3. De temperatuurverdeling in kolommen is vaak gelijkmatiger dan in liggers.
4. Het verticale oppervlak waarbij de opschuimende coating geen ondersteuning ondervindt van uitsteeksels aan het profiel (flenzen) is bij kolommen groter (lees: hoger) dan bij liggers.

Elk van de bovengenoemde redenen wordt in het onderstaande weerlegd en tevens wordt de in Nederland gevolgde filosofie uitgelegd:

### 1. 3-zijdige of 4-zijdige verhitting

Het aantal zijden dat is blootgesteld aan directe verhitting komt tot uiting in de profielfactor  $P_i$ . Een profiel dat aan 3 zijden is blootgesteld aan verhitting heeft een lagere profielfactor dan hetzelfde profiel dat aan 4 zijden is blootgesteld.

Het quotient van:

$$P_i = \text{de verhitte omtrek (m)} / \text{doorsnede-oppervlak (m}^2\text{)}$$

voor een 3-zijdig verhit profiel is lager dan dat van een 4-zijdig verhit profiel, omdat bij 3-zijdige verhitting de bovenflens van het profiel is afgedekt. Het verhitte oppervlak van een 3-zijdig verhit profiel is lager dan dat van eenzelfde 4-zijdig verhit profiel en daardoor is de profielfactor lager. Omdat het verschil tussen 3- en 4-zijdige verhitting is verdisconteerd in de profielfactor, die dus verschillend is voor liggers en kolommen van eenzelfde profiel, is het dus niet nodig om onderscheid te maken tussen liggers en kolommen. Het is dus mogelijk om liggers en kolommen te beoordelen op basis van één dataset. In NEN 6072 is hier destijds voor gekozen om de beproevingskosten te beperken.

### 2. Laterale instabiliteit

Laterale stabiliteit kan een belangrijke rol spelen bij het bezwijkmechanisme van een stalen bouwdeel. Stalen bouwdeelen, die snel last hebben van laterale instabiliteit, zoals bijvoorbeeld kolommen die kunnen uitknikken, bezwijken daardoor bij een lagere kritieke staaltemperatuur dan bouwdeelen die nauwelijks invloed ondervinden van laterale instabiliteit.

De thermische response geeft het gedrag aan van de opschuimende coating om als barrière te dienen tegen de hete (oven)gassen tijdens brandomstandigheden, met andere

woorden de weerstand die de opschuimende coating kan bieden tegen de warmtedoorgang. Bij de analyse van de weerstand die door de opschuimende coating tegen de warmtedoorgang wordt geboden zijn de profielfactor  $P_1$  en de droge laagdikte DFT van doorslaggevende betekenis. Het verband tussen profielfactor, droge laagdikte, staaltemperatuur en tijd kan door het onderzoek naar de thermische response éénduidig worden vastgelegd. Het is daarom mogelijk om na te gaan hoeveel droge laagdikte er nodig is op een profiel met een bepaalde profielfactor om een bepaalde kritieke staaltemperatuur niet te overschrijden alvorens de brandwerendheidsduur verstreken is. Om deze reden is het dus niet nodig om onderscheid te maken tussen kolommen (die meer invloed ondervinden van laterale instabiliteit) en liggers (die in veel gevallen nauwelijks invloed ondervinden van laterale instabiliteit). Dit is dus geen reden om liggers en kolommen als aparte data sets te beoordelen.

### 3. Temperatuurverdeling over het doorsnede-oppervlak van het staalprofiel

Liggers waarvan de bovenflens in direct contact is met een betonvloer, kunnen warmte overdragen aan de betonvloer. Hierdoor is in deze gevallen de bovenflens van de ligger lager in temperatuur dan de onderflens. De ligger, waarvan de bovenflens in direct contact is met een betonvloer, verliest, gemiddeld over het doorsnede-oppervlak, minder aan sterkte en stijfheid en de staaltemperatuur van de onderflens van dit soort liggers is daarom hoger dan die van liggers waarop geen betonvloer aanwezig is (stalen liggers onder een houten vloer) of kolommen. Om redenen zoals uiteengezet onder punt 2 is het mogelijk om na te gaan hoeveel droge laagdikte er nodig is op een profiel met een bepaalde profielfactor om een bepaalde kritieke staaltemperatuur niet te overschrijden alvorens de brandwerendheidsduur verstreken is. Om deze reden is het dus niet nodig om onderscheid te maken tussen kolommen (met een gelijkmatige temperatuurverdeling over het doorsnede-oppervlak) en liggers (met een ongelijkmatige temperatuurverdeling over het doorsnede-oppervlak). Dit is dus geen reden om liggers en kolommen als aparte data sets te beoordelen.

### 4. Het verticale oppervlak waarbij de opschuimende coating geen ondersteuning ondervindt

Kolommen hebben veelal hoge verticale oppervlakken waarop de opschuimende coating geen ondersteuning ondervindt van uitsteeksels aan het profiel. Dit kan tot gevolg hebben dat opschuimende coating eerder uitzakt indien aangebracht op kolommen dan op liggers. Bij liggers vormt de onderflens een uitsteeksel, waardoor de opschuimende coating aangebracht op het lijf wordt ondersteund. Deze ondersteuning draagt ertoe bij dat de opgeschuimde korst langer in tact blijft en langer op het lijf aanwezig blijft, zowel bij hoge temperaturen, als bij grote vervormingen. Uit de beproevingspraktijk blijkt dat vele reactieve systemen aangebracht op kolommen geen ander beeld te zien geven dan indien deze aangebracht zijn op liggers. Dit is daarom geen reden om kolommen en liggers separaat te analyseren, c.q. het is dus niet nodig om onderscheid te maken tussen kolommen (met een groot vertikaal oppervlak zonder ondersteuning) en liggers (met een relatief klein vertikaal oppervlak zonder ondersteuning). Dit is dus geen reden om liggers en kolommen als aparte data sets te beoordelen.

### Filosofie van de Nederlandse norm

Bij de Nederlandse methode voor het bepalen van de brandwerendheid van stalen bouwdeelen wordt onderscheid gemaakt tussen mechanische response en thermische respons.

De mechanische response geeft het gedrag met betrekking tot stickability, dat wil zeggen de wijze waarop de opschuimende coating onder hoge temperatuursomstandigheden en onder invloed van grote vervormingen in staat is om nog aan het stalen bouwdeel gehecht te blijven. De mechanische response wordt onderzocht door middel van een belaste en een onbelaste ligger. De doorbuiging van de belaste ligger veroorzaakt scheuren in de bekleding en daardoor is de warmtedoorgang door de bekleding op de belaste ligger veelal groter dan die door de bekleding op de onbelaste ligger. De stickability is gebaseerd op de verhouding van de temperaturen gemeten op de belaste en onbelaste ligger. Alle gemeten temperaturen van de serie onbelaste korte kolommen worden vermenigvuldigd met de straffactor voor stickability.

De thermische respons wordt bepaald aan de hand van een serie onbelaste korte kolommen met verschillende profielfactor en verschillende bekledingsdikten. De gemeten temperaturen op de proefstukken geven het verband aan tussen droge laagdikte DFT, profielfactor  $P_i$  en de tijd. Alle gemeten temperaturen van de serie onbelaste korte kolommen worden vermenigvuldigd met de straffactor voor stickability. Hierdoor zijn de temperaturen die voor de analyse van het product worden gebruikt hoger dan de gemeten temperaturen op de proefstukken. Dit draagt bij aan het veiligheidsniveau. Bovendien maakt deze benaderingswijze het mogelijk om de beproevingsresultaten zowel voor liggers als voor kolommen te gebruiken. De vervorming in een ligger is veel groter dan de vervorming in een kolom, voordat bezwijken optreedt. Daarom is bovenstaande benaderingswijze conservatief.

Indien bovenstaande benaderingswijze wordt gevolgd is het dus niet nodig om liggers en kolommen als aparte data sets te beoordelen.

Een aparte beoordeling, zoals in de toekomstige prEN 13381-8 waarschijnlijk mogelijk zal worden gemaakt, geeft de coatingfabrikant de mogelijkheid om zijn product te optimaliseren voor bepaalde toepassingen (bijv. alleen op kolommen) en specifiek voor het gewenste toepassingsgebied te beproeven, waardoor een meer op maat gesneden oplossing wordt gevonden.

### **C3: eisen aan spreiding in laagdiktes op proefstukken**

In NEN 6072 worden geen eisen gesteld aan de spreiding in laagdiktes over de verschillende meetpunten op elk van de proefstukken. De gerapporteerde laagdikte is het gemiddelde van een vast aantal metingen. In de Europese beproevingsnorm (NVN-ENV 13381-4:2003) worden echter wel eisen gesteld aan de spreiding in laagdiktes op proefstukken:

- minimaal 68% van de metingen dient te liggen binnen +/- 20% van het gemiddelde;
- minimaal 95% van de metingen dient te liggen binnen +/- 30% van het gemiddelde;
- alle metingen dienen te liggen binnen +/- 45% van het gemiddelde.

### **C4: werkwijze correctie voor stickability**

Zowel in NEN 6072:2005 als in NVN-EN 13381-4:2003 wordt de correctiefactor voor stickability bepaald door de karakteristieke temperaturen van een belast en een onbelast proefstuk op een gegeven tijdstip op elkaar te delen. Daardoor ontstaat een correctiefactor groter dan of gelijk aan 1, die varieert over het temperatuursdomein.

Bijvoorbeeld: een ongecorrigeerde staaltemperatuur van 400°C (op een gegeven tijdstip, dat in deze bepaling niet relevant is) bij een correctiefactor van  $k(400^\circ\text{C})=1,2$  leidt tot een gecorrigeerde staaltemperatuur van 480°C.

In Europees verband wordt momenteel gedacht aan een nieuwe wijze van bepaling van de correctiefactor. Hierbij wordt de correctiefactor bepaald door voor een gegeven temperatuur te kijken op welk tijdstip deze temperatuur optreedt op het belaste en het onbelaste proefstuk. Door deze tijdstippen op elkaar te delen ontstaat een correctiefactor kleiner dan of gelijk aan 1, die varieert over het tijdsdomein. Dit wordt voor alle temperaturen vanaf 500°C gedaan, waarbij de meest ongunstige correctiefactor maatgevend is voor de beoordeelde tijdsduur.

Bijvoorbeeld: een ongecorrigeerde tijdsduur van 80 minuten (tot het bereiken van een gegeven kritieke staaltemperatuur, die in deze bepaling niet relevant is) bij een correctiefactor van  $k(80\text{min.})=0,8$  leidt tot een gecorrigeerde tijdsduur van 64 minuten.

Tijdens de totstandkoming van deze richtlijn is nog niet bekend wat het effect is van een dergelijke wijziging van de methode voor correctie voor stickability.