

Opschuimende coating, van ideaal naar praktijk

Opschuimende coatings lijken de ideale bescherming van staalconstructies tegen brand. Maar is dat wel altijd zo? Er vindt veel (product)ontwikkeling plaats, waarvan ontwerpers en constructeurs niet altijd op de hoogte zijn. Het product vraagt een wezenlijk andere aanpak. Dit artikel belicht de belangrijkste aspecten voor ontwerp en toepassing in de praktijk. Vooral ontwerp en specificatie enerzijds en applicatie, inspectie en onderhoud anderzijds zijn cruciaal.

dr.ir. A.F. Hamerlinck, ing. R.J. Stark en ir. C. de Wolf

Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal, Zoetermeer, en directeur van Adviesbureau Hamerlinck, Roosendaal. Rob Stark is directeur bij IMd Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam en voorzitter van de Technische Commissie 3 Brandveiligheid van Staalconstructies van Bouwen met Staal. Christiaan de Wolf is projectarchitect bij architectenbureau cepezed in Delft.

De werking van opschuimende coating (brandwerende verf) berust op een chemische verandering bij hoge temperatuur, waardoor de dunne verflaag opschuimt tot een dikke isolerende laag. Onder de opschuimlaag wordt doorgaans een primer toegepast, die verenigbaar (en getest) moet zijn met de opschuimlaag. Een opschuimende coating is af te werken met een toplaag in een kleur naar keuze. In bijvoorbeeld vochtige ruimten en bij buiten-toepassingen is zo'n extra verflaag noodzakelijk. De toplaag beschermt de opschuimende coating tegen degradatie (door vocht en uv-straling). Ook voor de toplaag geldt, dat deze verenigbaar (en getest) moet zijn met de opschuimlaag.

Brandwerende verf is zowel in de fabriek als op locatie strak aan te brengen. Er worden verschillende typen onderscheiden: oplosmiddelhoudend of oplosmiddelvrij/watergedragen (ééncomponent) of oplosmiddelvrij (tweecomponenten). Toepassing is mogelijk in diverse klimaatcondities: binnen (droog); binnen (vochtig); binnen (semi-buiten) en buiten (in ETAG 018-2 aangeduid met klimaatcondities Z2, Z1, Y en X).

Regelgeving

Bouwbesluit 2012 schrijft voor de brandwerendheid van staalconstructies NEN-EN-1993-1-2 voor. Hierin wordt in de Nationale Bijlage voor opschuimende coating op staalconstructies verwezen naar NEN-EN 13381-8, die een eenduidige Europese testen- en beoordelingsmethode bevat. Aan de basis van de toepassing staan proeven, gedetailleerd omschreven naar belaste en onbelaste liggers en kolommen, en naar toepassingsgebied (I/H; kokers; buizen). Voor buis- en kokerprofielen geldt een aparte testserie. Dit was tot 2012 niet vereist in Nederland. De impact hiervan is bij veel ontwerpers nog onbekend, maar is groot. Bij gelijke brandwerendheid en profielfactor (staaldikte) zijn (soms fors) grotere verflaagdikten vereist dan bij I/H-profielen. Dit heeft te maken met de profielvorm en scheurvorming (op de hoeken) in de opgeschuimde coating. Deze scheurvorming heeft invloed op de opwarming van het staal.

Met opschuimende coating is het mogelijk staalconstructies uit I/H-profielen tot 90 en soms zelfs 120 minuten te beschermen. Bij kokers en buizen is 60 minuten goed haalbaar, maar bij specifieke ontwerpoplossingen is ook 90 of 120 minuten mogelijk. De oude

rapporten op basis van NEN 6072 en Ontw. NEN 7878 zijn vervallen en mogen niet meer worden gebruikt.

CE-markering is nog niet verplicht, al wordt hier in het kader van een CEN-mandaat wel aan gewerkt. Leveranciers kunnen wel kiezen voor vrijwillige CE-markering op basis van ETAG 018. Alle grote internationale leveranciers hebben hiervoor gekozen. In de beoordelingsrapporten op basis van NEN-EN 13381-8 en in de ETAG 018-rapporten, die de basis vormen voor de CE-markering (en waar in de bij het CE-merk verplichte prestatieverklaring naar verwezen wordt), zitten uitgebreide laagdiktetabellen waarmee de benodigde laagdikte kan worden bepaald als functie van de brandwerendheidseis, de kritieke staaltemperatuur en de profielfactor. In de meeste gemeenten is het gebruik van opschuimende coating geaccepteerd, vaak onder voorwaarde dat hierbij de Kwaliteitsrichtlijn Applicatie brandwerende coating wordt gehanteerd. Deze richtlijn wordt naar verluidt geïmplementeerd in een Europese 'Best Practice Guide' van CEPE (Europese branche-organisatie van coatingleveranciers), EAIPC (European Association of Industrial Painting Contractors) en EAPFP (European Association for Passive Fire Protection). KOMO-attesten/productcertificaten moeten per 1 januari 2015 zijn aangepast aan NEN-EN 13381-8 en/of ETAG 018. Wat de applicatie betreft is er een initiatief om te komen tot procescertificering. Hiermee zal het mogelijk worden om de eindkwaliteit van een met opschuimende coating beschermde staalconstructie (in de hele keten) aan te tonen en te borgen. Dit zal in het licht van de private kwaliteitsborging in de toekomst zeker aan belang winnen.

Ontwerpen en specificeren

Bij het ontwerpen van een brandwerend gecoate staalconstructie is het van belang rekening te houden met zowel de esthetische als technische aspecten.

Vooruitlopend op de beslissing om de staalconstructie al dan niet te voorzien van een opschuimende coating wordt de waarde van een goed doordacht en integraal brandveiligheidsconcept in de praktijk regelmatig onderschat. Een goede integrale samenwerking tussen architect, constructeur, brandveiligheidsadviseur en opdrachtgever kan van grote invloed zijn op de esthetische, functionele en technische kwaliteit van het ontwerp en daaruit voortvloeiende bouw- en investeringskosten. Er valt veel winst te halen door goed na te denken over brandscenario's, compartimenteren, vluchten en de voor- en nadelen van diverse gelijkwaardige oplossingen (fire safety engineering, sprinkler, rwa-installaties enzovoort).

Wanneer eenmaal vaststaat dat de staalconstructie brandwerend moet worden beschermd en er wordt uitgegaan van een staalconstructie in het zicht met esthetische kwaliteitseisen is het voor de architect van belang dat deze zich bewust is van de relevante ontwerpparameters. Los van het ontwerpen van de staalconstructie zelf wordt de uitstraling van de constructie met name bepaald door de kwaliteit van de topcoating en laagdikte van de onderliggende opschuimende coating. Over het algemeen is de esthetische kwaliteit van de opschuimende coating beter naarmate de laagdikte hiervan dunner is. De volgende parameters hebben een gunstige invloed op de laagdikte van de opschuimende coating.

1. Staalsoort. Hogesterktestaal heeft een gunstige invloed op de kritieke staaltemperatuur. S355 is al gangbaar in de bouw, maar S420 is ook in opmars bij kokers en buizen en S460 bij I/H-profielen.

2. Overdimensioneren door grotere profielen en/of wanddikten. Wanneer de staalconstructie niet volledig wordt uitgenut heeft deze overwaarde een gunstige invloed op de kritieke staaltemperatuur. Bij het toepassen van dikkere wanddiktes is het van belang om ook rekening te houden met de esthetische invloed van de standaardtoleranties van

de profielen, zoals bijvoorbeeld de hoekvorm aan de buitzijde van buisprofielen en het verschil daarbij tussen koud- en warmgevormde buisprofielen^[8, 9].

3. Het vullen van buisprofielen. Betongevulde kolommen hebben een hogere brandwerendheid dan onge vulde kolommen en zijn een alternatief voor bescherming met opschuimende coating. De combinatie van een betongevulde kolom en een brandwerende coating wordt in de praktijk niet veel toegepast omdat hiervoor nog geen goede testmethode beschikbaar is en het niet altijd zo is dat het opschuimgedrag van de coating goed tot ontwikkeling komt bij een profiel met grote thermische massa.

4. Fabrikaat en type coating. Er zijn verschillende fabrikaten en typen coatings die onderling qua vereiste laagdikte nogal kunnen verschillen. Het is voor de architect de moeite waard om dit samen met de constructeur, en in combinatie met de bovenstaande aspecten, goed uit te zoeken en referentiemonsters op te vragen. Een openbare database/tool is op dit moment nog niet beschikbaar.

Uitwerking

Minder van invloed op de laagdikte maar wel bepalend voor de esthetische eindkwaliteit is de wijze van applicatie (off-site/on-site) en het herstelplan van schades. Off-site zijn kwaliteit en laagdikte weliswaar beter te controleren, maar de kans op transport-, montage- en bouwschades groter en de verbindingen vragen aandacht na de staalmontage. Dit vereist een goed werkplan, herstelplan en bemonstering vooraf. Rekening houdend met al deze aspecten en aandachtspunten zijn er met opschuimende coatings goede staalconstructies te ontwerpen en te realiseren.

Bij de verdere technische uitwerking van het ontwerp en de specificatie in het bestek is het van belang om het volgende vast te leggen.

- Brandwerendheid. Welke eis is van toepassing volgens het Bouwbesluit (of hoger wanneer de opdrachtgever daartoe zou besluiten). Overweeg daarbij de 30-minuten-reductie mee te nemen die het Bouwbesluit toestaat in het geval van een lage permanente vuurbelasting ($\leq 500 \text{ MJ/m}^2$) van het

gebouw zelf, wat in veel van de projecten het geval is.

- Voor welke onderdelen deze eis geldt (de 'hoofd'-draagconstructie, van belang voor het in stand houden van andere brandcompartimenten) en voor welke onderdelen een lagere of geen eis geldt.
- Klimaatcondities waarin de constructie zich bevindt en type coating/applicatie. Bij aanbrengen in de constructiewerkplaats: oplosmiddelhoudend of oplosmiddelvrij (tweecomponenten); bij aanbrengen op de bouwplaats: watergedragen of oplosmiddelvrij.
- Het profieltype (I-H, buis; ligger/kolom).
- De kritieke staaltemperatuur (eventueel per cluster van onderdelen).

Kritieke staaltemperatuur

De brandwerendheid hangt af van het gekozen staalprofiel (profieltype en 'staaldikte' ofwel 'profielfactor') en de verflaagdikte. Door de profieldoorsnede slim te ontwerpen, is de benodigde laagdikte aanzienlijk te reduceren. Hierdoor blijven de kosten beperkt en is het aanzicht aantrekkelijker. De kritieke staaltemperatuur kan berekend worden aan de hand van het belastinggeval brand (bij brand gereduceerde belastingen volgens NEN-EN 1990 en de norm voor de brandwerendheid van staalconstructies NEN-EN 1993-1-2. Voor het ontwerp en de tenderfase is het mogelijk uit te gaan van conservatieve waarden die zijn opgenomen in het rapport 'Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur bij ontwerp en aanbesteding'.

Het is van groot belang dat de kritieke staaltemperatuur ook daadwerkelijk wordt gespecificeerd. Door de grote verschillen in brandwerendheid als functie van de combinatie laagdikte, profielfactor en kritieke staaltemperatuur is er voldoende aandacht in ontwerp, uitvoering en controle nodig om uiteindelijk een veilige oplossing te krijgen. Het is opmerkelijk dat de Nederlandse ontwerp- en uitvoeringspraktijk anno 2015 nog steeds worstelt met het belastinggeval 'brand'. Constructeurs willen dit belastinggeval nogal eens buiten hun hoofdberekeningen houden, terwijl toeleveranciers beschikken over onvoldoende constructieve kennis en zich bij het tenderen indekken via

de 'kleine lettertjes', onderwijl verschillende aangenomen kritieke staaltemperaturen aanhoudend met als gevolg relatief gunstige, concurrerendere laagdikten voor de brandwerende bekleding of brandwerende coating. Het gevolg is een niet optimale en soms zelfs onvoldoende veilige constructie. Het wordt hoog tijd dat staalconstruerend Nederland haar verantwoordelijkheid neemt en het belastinggeval brand mee gaat nemen. Door het eindproduct 'staal + opschuimende coating' integraal te beschouwen, kan een goed geborgde veiligheid tegen een acceptabel prijsniveau ontstaan.

Bij het integraal ontwerp speelt de profielkeuze een belangrijke rol. Deze is immers van invloed op de benodigde coatinglaagdikte om aan de brandwerendheidseis te voldoen. Kokers en buizen vereisen een hogere laagdikte, maar hebben anderzijds minder verfloppervlakte per m². Een dun profiel (wanddikte 6 mm) vergt vaak meer verf dan een dikker profiel (wanddikte 8 à 12 mm). Door een geschikte profilering te kiezen ligt vaak zonder of met beperkte toename van het staalgewicht een aanzienlijke besparing op de coating binnen handbereik en is een optimale, integrale oplossing mogelijk. Op www.brandveiligmetstaal.nl staan diverse tools voor de bepaling van de kritieke staaltemperatuur. Daarnaast hebben de meeste softwareleveranciers een brandmodule, gekoppeld aan hun raamwerkprogramma's, waarmee het belastinggeval brand gemakkelijk als extra belastinggeval (en zonder noemenswaardige moeite) doorgerekend kan worden en aanvullend de toetsing van de staven met als resultaat de berekende kritieke staaltemperatuur volgens de Eurocode Brand.

Voordelen hogesterktestaal

Toepassing van opschuimende coating bij hogesterktestaal kan leiden tot beperktere laagdikten (bij 30 minuten soms zelfs het kunnen laten vervallen van de brandwerende bescherming) in vergelijking met het gebruikelijke constructiestaal S235. Wanneer een in S235 ontworpen constructie in S355 wordt uitgevoerd (met dezelfde of vergelijkbare profieldimensies), is in wezen sprake van 'overdimensioneren'. Het gevolg is een aanzienlijk hogere kritieke staaltemperatuur,



Kokers met een grote staaldikte hebben grote afrondingsstralen. Dat kan zich aftekenen in het beeld.

waardoor met een (soms fors) dunnere coating kan worden volstaan. De besparingen die dit oplevert moeten worden afgewogen tegen de beperkte meerkosten van de hogere staalsoort (orde van grootte 5%). Wanneer bij het ontwerp met hogesterktestaal dezelfde unity check wordt nagestreefd, ontstaat er een slankere constructie die juist een hogere laagdikte nodig heeft. Ook hier is weer een optimum in te zoeken met integrale afweging van staal- versus coatingkosten.

Uitvoering/applicatie

De applicatie moet uitgevoerd worden onder de juiste, in de producthandleiding omschreven omstandigheden (temperatuur en vocht), op de juiste ondergrond (schoon, gestraald, een verenigbare primer van voldoende, maar zeker niet te grote laagdikte) en met voldoende, gemeten laagdikte van de opschuimende laag (in vergelijking met de gespecificeerde laagdikte). En zoals gespecificeerd in en gerapporteerd volgens de kwaliteitsrichtlijn^[7]. Het rapport kan door de applicateur worden opgesteld en voor akkoord worden voorgelegd aan de bouwdirectie of door een onafhankelijke derde partij. Het rapport is ook voor de controlerende instantie van belang.

Wat de aansluiting betreft van de gecoate constructie op wanden en plafonds moet er goed op worden gelet dat de coating tijdens



Een alternatief voor dikke profielen is de combinatie opschuimende coating en betonvulling.

brand zijn opschuimende effect kan krijgen. Wanneer bouwkundige elementen aan de staalconstructie vastgemaakt of er tegen aan gezet worden, is het mogelijk dat de coating niet kan opschuimen, bijvoorbeeld bij bouwkundige omtimmering te strak om een kolom (schieten, schroeven, lijmen, klossen veroorzaken mogelijk problemen als dit tegen de opschuimlaaglaag plaatsvindt). Sommige leveranciers hebben aanvullend testen gedaan op gecoat staal, in een metalstudwand bijvoorbeeld, waaruit blijkt dat de prestatie daardoor niet nadelig wordt beïnvloed. Maar dit zal per individueel product moeten worden beoordeeld.

Bij off-site applicatie in de werkplaats zijn de keuze van het coatingtype (tweecomponenten), de detaillering en wijze van transport belangrijk om beschadigingen te voorkomen die een uitgebreide hersteloperatie vergen (parallel uit te voeren met het coaten van de verbindingen of het plaatsen van zogenaamde 'cap bolts'). Bij applicatie op de bouwplaats spelen beschadigingen een minder dominante rol, maar is het ook van belang dat opvolgende disciplines (bouwkundige wanden, installaties, liftmontage, plafonds) oog hebben voor de kwetsbaarheid van de coating.

Oplevering

Bij oplevering is van belang het onderteken-

	ligger onder vloer/dak	trekstaaf	kolom
vloer (wonen)	565	535	520
vloer (kantoor)	575	550	530
vloer (bijeenkomst)	575	550	525
vloer (winkel)	570	540	505
vloer (opslag)	560	530	535
vloer (parkeren voertuigen tot 2,5 ton)	550	520	515
vloer (parkeren voertuigen tot 12 ton)	605	580	565
dak (zwaar)	535	-	-
dak (licht)	695	-	-

Tabel 1. Kritieke staaltemperatuur θ_{cr} (°C).

Dit zijn veilige waarden voor θ_{cr} die in het tenderstadium aangehouden kunnen worden en zorgen voor een eerlijke basis van vergelijking tussen offertes. De waarden zijn bepaald door de Technische Commissie TC3 Brandveiligheid van staalconstructies van Bouwen met Staal. De onderbouwing is te vinden in het rapport 'Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur bij ontwerp en aanbesteding'^[12].

Ontwerpvoorbeeld

In een schoolproject van drie bouwlagen wordt een staalconstructie toegepast met geïntegreerde stalen liggers en betonvloeren. De kolommen zijn kokerkolommen 250x250x8. De hoofdconstructeur specificeert '90 minuten brandwerend coaten'. Op verzoek van de coatingleverancier vraagt de aannemer aan de constructeur welke kritieke staaltemperatuur $\theta_{a,cr}$ aangehouden moet worden bij de tender. De constructeur heeft hier geen opdracht voor en daarom neemt de leverancier aan dat (veilig) van $\theta_{a,cr} = 500$ °C uitgegaan mag worden.

Uit tabel 2 (p. 50) volgt dat er bij een eis van 90 minuten en een $\theta_{a,cr} = 500$ °C voor een koker met wanddikte van 8 mm vier producten beschikbaar zijn en dat de minimale laagdikte 3,31 mm is. Een dikte waarbij de esthetische kwaliteit niet altijd strookt met de wensen van de architect. Hoe had hier een betere oplossing gevonden kunnen worden?

- Als de constructeur opdracht had gehad de kritieke staaltemperatuur voor dit specifieke project uit te rekenen, was hij waarschijnlijk voor deze kokers 250x250x8

tussen de $\theta_{a,cr} = 600$ °C (vijf producten en minimale laagdikte 2,48 mm) en

$\theta_{a,cr} = 700$ °C (negen producten en minimale laagdikte 1,68 mm) uitgekomen met al een forse besparing op de kosten voor de coating en een esthetisch fraaiere resultaat.

- Als de constructeur de gelegenheid had gehad een meer optimale, integrale oplossing te kiezen, dan was hij wellicht op een (iets zwaardere) 200x200x10 gekomen met lagere kosten voor de coating: voor $\theta_{a,cr} = 600$ °C negen producten met minimale laagdikte 1,93 mm en voor $\theta_{a,cr} = 700$ °C tien producten met minimale laagdikte 1,00 mm.
- Als in dit project gebruik gemaakt was van de mogelijkheid die het Bouwbesluit (art. 2.10) biedt om de eis met 30 minuten te reduceren (beperkte permanente vuurbelasting van het gebouw) was voor de kokers 250x250x8 een aantrekkelijke oplossing ontstaan: voor $\theta_{a,cr} = 600$ °C twaalf producten met minimale laagdikte 0,72 mm en voor $\theta_{a,cr} = 700$ °C twaalf producten met minimale laagdikte 0,54 mm.

Bij een juiste aanpak van het project en voldoende ruimte voor de constructeur is hier dus een oplossing mogelijk met slechts 20% van de hoeveelheid coating.

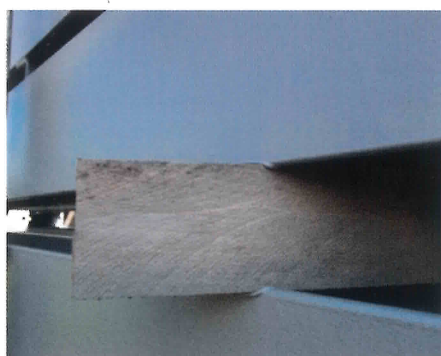
Schadevoorbeeld

Tijdens een rondgang door de brandweer blijkt de brandwerende coating op een kolom in een verzorgingstehuis fors beschadigd door een botsing met een linnenwagen. Op 0,5 m hoogte is de coating over ± 2% van het oppervlak weggeschaafd. De vraag is aan de orde of de veiligheid zodanig is aangetast dat het gebouw moet worden ontruimd. Hoewel de beschadiging zeker gerepareerd moet worden, blijkt het aan de hand van

een berekening met de BmS-tool^[13] toch niet nodig acuut maatregelen te treffen. Door de beschadiging van 2% stijgt de temperatuur na 60 minuten van 470 °C naar 530 °C, wat lager is dan de kritieke staaltemperatuur. Wanneer er enige marge is (grotere laagdikte aangebracht dan gespecificeerd of een hogere kritieke staaltemperatuur dan waarvan bij de specificatie van de laagdikte is uitgegaan), is er bij beperkte beschadiging dus geen acuut gevaar^[14].



Inslijding coating door oplegging stophout (1).



Inslijding coating door oplegging stophout (2).



Inslijding door oplegging juk bij spuiten (kantelen).



Overmaat coating door verschillende spuittrichtingen.



Beschadiging door kantelen tijdens spuiten.



Transport-/montageschade.

Tabel 2. Opschuimende coating op kokers/buizen volgens NEN-EN 13381-8 voor 60 en 90 minuten.

60 minuten brandwerendheid						
wanddikte	$\theta_{cr} = 500^\circ\text{C}$		$\theta_{cr} = 600^\circ\text{C}$		$\theta_{cr} = 700^\circ\text{C}$	
t (mm)	#	d _{min}	#	d _{min}	#	d _{min}
20	13	0,32	13	0,23	13	0,23
16	13	0,56	13	0,33	13	0,23
12,5	13	0,72	13	0,47	13	0,27
10	13	1,04	12	0,67	13	0,33
8	9	1,42	12	0,72	12	0,54
6	7	1,88	9	1,04	12	0,72
5	6	2,11	7	1,24	11	0,72

90 minuten brandwerendheid						
wanddikte	$\theta_{cr} = 500^\circ\text{C}$		$\theta_{cr} = 600^\circ\text{C}$		$\theta_{cr} = 700^\circ\text{C}$	
t (mm)	#	d _{min}	#	d _{min}	#	d _{min}
20	10	1,03	12	0,72	12	0,29
16	8	1,58	11	0,81	12	0,53
12,5	8	2,05	10	1,08	10	0,72
10	4	2,62	9	1,93	10	1,00
8	4	3,31	5	2,48	9	1,68
6	1	4,81	5	3,22	6	2,30
5	1	6,34	3	3,53	5	2,60

Per combinatie van wanddikte *t* (die de profielfactor en opwarmingssnelheid bepaalt) en kritieke staaltemperatuur is weergegeven hoeveel coatingproducten (#)^[15] hiervoor een oplossing bieden en wat van deze producten de minimale gemiddelde laagdiktes (*d_{min}*) in mm is en die een indicatie vormen voor de kosten.

de kwaliteitsrapport (waarin is vastgelegd dat met de coating aantoonbaar aan de prestatie-eis is voldaan en dat deze onder de juiste omstandigheden is aangebracht) en de garantieverklaring van de leverancier en applicateur beschikbaar zijn, waarmee de 'as built'-situatie is gedocumenteerd.

Inspectie en onderhoud

Na oplevering is, net als bij brandwerende beplating en spuitpleister, een inspectie- en onderhoudsplan van belang om alert te blijven op mechanische beschadigingen en blootstelling aan vocht en uv-licht. De inspectiefrequentie is afhankelijk van de klimaatcondities en dient in een onderhoudscontract te staan. Wanneer dit niet goed is geregeld en er pas gereageerd wordt als de schade zichtbaar is, is men feitelijk te laat en een dure hersteloperatie het resultaat. Helaas zijn er teveel slechte voorbeelden van dit soort schade in met name buitencondities (brugsparanten over wegen of als 'tafel' onder een gebouw) of semi-buiten (open parkeergarages).

Literatuur

1. ETAG 018-2 (Guideline for European Technical Approval of Fire Protective products, part 2), EOTA, Brussel 2006.
2. NEN-EN-1993-1-2 (Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2005 + C1, 2006 + C2, 2011.
3. NEN-EN 13381-8 (Beproevingsmethoden voor de bepaling van de bijdrage aan de brandwerendheid van constructie-onderdelen - Deel 8: Reagerende bescherming aangebracht op stalen constructiedelen), 2013.
4. NEN 6072 (Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdeelen - Staalconstructies), 1991 + A1, 1997 + C1, 2004 + A1, 2001 + C2, 2005
5. NEN 7878 (Beproevingsmethoden om de bijdrage van passieve en reactieve bescherming aan de brandwerendheid van staalconstructies te bepalen), 2011 (ontw.).
6. ETAG 018 (Guideline for European Technical Approval of Fire Protective products, part 4, Fire Protective Boards, Slab and Mat Products and Kits), EOTA, Brussel 2011.
7. A.F. Hamerlinck, *Kwaliteitsrichtlijn applicatie brandwerende coating*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2010 (2e druk), 16 p. (te downloaden van <http://publicaties.bouwenmetstaal.nl/1328/Brandwerende-coating,-kwaliteitsrichtlijn-applicatie-/>).

Webtool

De webtool^[13] geeft naast algemene informatie over opschuimende coating de mogelijkheid te zoeken welke producten aan de specifieke vraag beantwoorden om een staalconstructie te beschermen. Selectie van de producten vindt plaats door te kiezen voor het profieltype (I en H voor kolom, I en H voor ligger, buis of koker), de vereiste brandwerendheid (in minuten), de profielfactor (m^{-1}), de kritieke staaltemperatuur, het toepassingsgebied (binnen/buiten), samenstelling van de verf (oplosmiddelhoudend of watergedragen (één-component) of oplosmiddelvrij (twee-componenten)), leverancier en/of productnaam. De tool werkt als een reisgids op het internet. Hoe meer keuzeopties aangeklikt worden, des te gericht is het zoekresultaat. Elk zoekresultaat bestaat uit een korte omschrijving van het product en een link naar de website van de leverancier voor meer informatie. Bij sommige producten is gedetailleerde info gegeven: het door de leveranciers verstrekte test-/beoordelingsrapport, het CE-document en bijbehorende prestatieverklaring, aanvullende productinformatie, een leveranciersprofiel en/of downloadbare laagdiktetabellen.

teitsrichtlijn-applicatie/-).

8. NEN-EN 10219-2 (Koudvervaardigde gelaste buisprofielen voor constructiedoeleinden van ongelegeerde en fijnkorrelige staalsoorten - Deel 2: Toleranties, afmetingen en profieleigenschappen), 2006.
9. NEN-EN 10210-2 (Warmvervaardigde buisprofielen voor constructiedoeleinden van ongelegeerde en fijnkorrelige staalsoorten - Deel 2: Toleranties, afmetingen en profieleigenschappen), 2006.
10. NEN-EN 1990 (Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp), 2002 + A1, 2006 + A1/C2, 2011 + NB, 2011.
11. NEN-EN 1993-1-2 (Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2005 + C1, 2006 + C2, 2011 + NB, 2015.
12. A.F. Hamerlinck, *Veilige waarden voor de kritieke staaltemperatuur bij ontwerp en aanbesteding*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2015, 26 p.
13. <http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/971/pagina.html>.
14. A.F. Hamerlinck, B. Potjes en R.J. Stark, 'Brandtool voor gevelkolommen', *Bouwen met Staal* 242 (12 | 2014), p. 60-62.
15. http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/988/4d2_benoedigde_laagdikte_opschuimende_coating_op_koker-buiskolommen_tabel.html (tevens voor 120 minuten).