



RWS INFORMATIE

RTD 1030

Richtlijn Brandwerende Constructies

Standaard technisch kaderdocument

Versie	3.0
Datum vastgesteld	29 juni 2021
Status	Definitief
ID Werkwijzer AenO	6173

Colofon

Titel	RTD 1030
Beschrijving	Richtlijn Brandwerende Constructies
Verantwoordelijke afdeling	RWS GPO/TeNK
Proces / proceseigenaar	AenO / Jean Luc Beguin
Opsteller	Martijn Blom
Inhoudelijk Beheerder	Martijn Blom
Co-beheerder	Bart Hendrix
Informatie	ROK-info@rws.nl

Datum	29 juni 2021
Status	definitief
Versienummer	3.0
Vervangen versie	nvt
Datum vervangen versie	

WW RWS Nummer	6173
---------------	------

Inhoud

1	Inleiding 7
1.1	Aanleiding 7
1.2	Eenvoudige methode brandwerendheid 7
1.3	Uitgebreide methode brandwerendheid 7
2	Eenvoudige methode brandwerendheid 8
2.1	Beschrijving eenvoudige methode 8
3	Uitgebreide methode brandwerendheid 9
3.1	Beschrijving uitgebreide methode 9
3.2	Keuze brandwerende maatregelen 9
3.3	Opstellen betonbeheersplan 9
3.4	Vorbereiden brandproeven 10
3.5	Uitvoeren brandproeven en rapporteren 10
3.6	Borgen brandwerendheid in bouwproces 10
	Bijlage 1: Gedrag van beton bij brand 11
	Bijlage 2: factsheet eenvoudige methode brandwerendheid 12
	Bijlage 4: Vorbereiden brandproeven 17
	Bijlage 5: Uitvoeren van de brandproeven en rapporteren 18
	Bijlage 6: Controles op het betonmengsel tijdens uitvoering van het werk 19

1 Inleiding

Deze richtlijn beschrijft twee geaccepteerde methoden waarmee bij nieuwbouwprojecten de in het contract vereiste brandwerendheid kan worden geborgd. Uitgangspunt in deze richtlijn is dat de brandwerendheid van de constructie in de ontwerpfase wordt aangetoond door bewijsvoering op basis van uitgevoerde brandproeven. In het bouwproces wordt via controles aantoonbaar geborgd dat het in de bouw toegepaste brandwerende systeem overeenkomt met het in het laboratorium geteste brandwerende systeem.

De in deze richtlijn beschreven methoden betreffen een aanvulling op de brandwerendheidseisen die in de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) en de Efectis-R0695_2020 Fire testing procedure for concrete tunnel linings and other tunnel components (verder Efectis testprotocol) staan.

Deze richtlijn vervangt de "memo criteria brandproeven en tunnelbeton v3.2 van 10-04-2018"

1.1 Aanleiding

In de praktijk is gebleken dat de bestaande manier voor het beheersen van brandwerendheid op onderdelen ruimte laat om testen op verschillende manieren uit te voeren, te documenteren en de resultaten anders te interpreteren. Ook blijkt dat de bestaande manier van beheersen onvoldoende zekerheid geeft of de gerealiseerde brandwerendheid daadwerkelijk voldoet aan de gestelde eisen. In bijlage 1 is meer informatie opgenomen over het gedrag van beton bij brand.

Dit is aanleiding om de manier waarop de brandwerendheid van constructies beheerst wordt in te kaderen. De volgende twee paragrafen beschrijven twee geaccepteerde methoden om de brandwerend van constructies op een beheerste wijze aan te tonen en te realiseren.

1.2 Eenvoudige methode brandwerendheid

Met deze methode wordt aan de brandwerendheidseisen voldaan door het toepassen van hittewerende bekleding. De hittewerende bekleding is dusdanig dik gedimensioneerd dat deze ruim voldoende bescherming biedt bij brand. Ook het juist functioneren van de bevestiging van de hittewerende bekleding is van belang bij deze methode. Van het achterliggende beton worden bij deze methode slechts beperkte brandwerende eigenschappen gevraagd.

In hoofdstuk 2 wordt de eenvoudige methode brandwerendheid beschreven. In bijlage 2 is een overzicht weergegeven van de eisen die voor de eenvoudige methode gelden.

1.3 Uitgebreide methode brandwerendheid

Met deze methode voorziet het beton van de constructie volledig of voor een deel in de brandwerendheid van de constructie. Als het beton de gevraagde eigenschappen niet volledig kan leveren kan het toevoegen van hittewerende bekleding de brandwerende eigenschappen van de constructie verbeteren. Van het beton worden in deze methode dus brandwerende eigenschappen gevraagd. Daarom is bij deze methode het juist functioneren van beton, hittewerende bekleding en de bevestiging daarvan aan het beton van belang.

In hoofdstuk 3 wordt de uitgebreide methode brandwerendheid beschreven. In bijlage 3 is een overzicht weergegeven van de eisen die voor de uitgebreide methode gelden.

2 Eenvoudige methode brandwerendheid

2.1 Beschrijving eenvoudige methode

Deze methode maakt de constructie brandwerend door een hittewerende bekleding te kiezen die het beton beschermt tegen alle bekende bedreigingen die bij brand op kunnen treden. Zoals uit bijlage 1 blijkt ontstaan deze bedreigingen door oplopende temperaturen in het beton, beginnende rond de 100°C, het kookpunt van water. Als een beschermende hittewerende bekleding de temperatuur in het beton beneden of op het kookpunt van water houdt zullen bedreigingen als sterkteverlies en spatten niet optreden. Omdat deze methode de bedreiging voor de constructie uitsluit, is er ook minder noodzaak om controles in of aan het beton uit te voeren. Met andere woorden, zolang de beschermende hittewerende bekleding goed functioneert, zijn de temperaturen in het beton dusdanig laag dat het niet relevant is wat er tijdens de brand in het beton plaatsvindt. Het is daarom ook niet noodzakelijk om controles uit te voeren op de temperatuur van de wapening, het afspatgedrag of de precieze samenstelling van het beton.

De juistheid van het uitgangspunt dat beton geen afsputten vertoont voordat water verdampt is met brandproeven gevalideerd voor gebruikelijke grindbetonsoorten in de sterkteklassen tussen C25/30 en C35/45 waarbij geen vulstoffen zoals benoemd in NEN-EN-12620 zijn toegevoegd. Hoewel aannemelijk is dat ook andere betonsoorten niet bij deze temperatuur zullen afsputten, is dit niet aantoonbaar. Daarom geldt bij deze methode de voorwaarde dat het gebruikte beton zich in een sterkteklasse bevindt waarvan het gedrag bij brand in algemene zin bekend is, (C25/30 - C35/45), er dan nog een ruime marge is op de temperatuur waarbij afsputten plaatsvindt en er geen vulstoffen¹ toegevoegd worden.

Het goed functioneren van de hittewerende bekleding dient aangetoond te zijn met een brandproef die niet ouder is dan 3 jaar bij vaststelling van het definitief ontwerp. Met een brandproef dient aangetoond te worden dat de temperatuur achter de hittewerende bekleding niet verder oploopt dan het kookpunt van water. Geschikte testen om dit aan te tonen zijn de "spalling test" of "thermal insulation test" op grote schaal zoals beschreven in het Efectis testprotocol. Bij deze methode hoeft het achterliggende beton niet gelijk te zijn aan het beton van de tunnel. Er wordt bij deze methode alleen gekeken naar de interface temperatuur achter de hittewerende bekleding. Vanzelfsprekend dient de hittewerende bekleding op de constructie op eenzelfde manier aangebracht te zijn als is getest in de brandproef.

De eisen die gelden en de verificaties die uitgevoerd moeten worden bij de eenvoudige methode brandwerendheid zijn opgenomen in bijlage 2.

¹ Van vulstoffen is bekend dat ze het beton dichter maken en het afspatgedrag van beton negatief beïnvloeden.

3 Uitgebreide methode brandwerendheid

3.1 Beschrijving uitgebreide methode

Met deze methode wordt de constructie brandwerend gemaakt door optimaal gebruik te maken van de brandwerende eigenschappen die het gebruikte beton van zichzelf heeft. Omdat grindbeton uit zichzelf vaak niet voldoende brandwerende eigenschappen bezit, kunnen de brandwerende eigenschappen van beton verder verbeterd worden. Dit kan door voldoende PP-vezels toe te voegen, het beton te beschermen door een voldoende dikke laag hittewerende bekleding op het beton te monteren of zelfs beide maatregelen samen toe te passen.

Het goed functioneren van de hittewerende oplossing dient aangetoond te zijn met een brandproef die niet ouder is dan 3 jaar bij vaststelling van het definitief ontwerp. De geschikte test om dit aan te tonen is de "spalling test" op grote schaal zoals beschreven in het Efectis testprotocol. Bij deze methode dient het volledige brandwerende systeem getest te worden op een wijze die representatief is voor het systeem dat in de tunnel wordt aangebracht.

De eisen die gelden en de verificaties die uitgevoerd moeten worden bij de uitgebreide methode brandwerendheid zijn opgenomen in bijlagen 3 t/m 6.

Hieronder volgen een beschrijving van de verschillende processtappen behorende bij de uitgebreide methode brandwerendheid, op basis van het hieronder weergegeven processchema.

3.2 Keuze brandwerende maatregelen

Het beheersen van brandwerendheid start met de keuze voor de brandwerende maatregelen. Een constructie kan beschermd worden tegen brand door te kiezen voor PP-vezel beton of een laag hittewerende bekleding die samen met de achterliggende beton voldoende brandwerend is. Een combinatie van PP-vezel beton en hittewerende bekleding is ook mogelijk. Op basis van eerdere onderzoeken kan een inschatting gemaakt worden van de benodigde hoeveelheid vezels of de benodigde dikte van de hittewerende bekleding.

3.3 Opstellen betonbeheersplan

Tijdens de bouw moeten de brandwerende eigenschappen van het toegepaste beton (en hittewerende bekleding) constant gehouden worden. Producenten van hittewerende bekleding hebben hier een kwaliteitssysteem voor. Producenten van beton hebben dit alleen voor de constructieve eigenschappen van beton, maar niet voor de brandwerende eigenschappen. Er dienen daarom aanvullende afspraken met de betonproducent gemaakt te worden om de brandwerende eigenschappen van het geleverde beton constant te houden.

Door mengselonderzoek kunnen een of meerdere betonmengsels geselecteerd worden die stabiel zijn en het gewenste gedrag vertonen bij verschillende omgevingstemperaturen t.b.v. transport en storten. Hierdoor kan bij het ontwerp van het mengsel al voorkomen worden dat er een grote behoefte is om het mengsel tijdens het bouwproces regelmatig aan te passen.

Door te kiezen voor grondstoffen die algemeen voorradig zijn kan grotendeels voorkomen worden dat de levering van grondstoffen tijdens het bouwproces in gevaar komt. Het is echter altijd mogelijk dat door onvoorziene omstandigheden bepaalde grondstoffen tijdelijk toch niet verkrijgbaar zijn. In het betonbeheersplan wordt daarom vooraf vastgelegd hoe gehandeld wordt als dit voorkomt.

3.4 Voorbereiden brandproeven

Om representatieve resultaten van brandproeven te krijgen is het van belang dat brandproeven altijd op eenzelfde wijze worden uitgevoerd. Als basis worden brandproeven daarom uitgevoerd volgens het Efectis testprotocol. Aanvullend worden extra eisen gesteld aan het produceren en bewaren van de proefstukken. (zie bijlage 4).

Kenmerk van brandproeven is dat het altijd mogelijk is dat een brandproef niet slaagt. Hetzij door een technisch mankement bij het uitvoeren van de brandproef, hetzij doordat een hittewerende maatregel onvoldoende functioneert. Bij het voorbereiden van de brandproeven moet daarom altijd nagedacht worden over een back-up plan, wat ga je doen als de eerste serie testen niet slaagt. In verband met de lange voorbereidingstijd van brandproeven kan het noodzakelijk zijn om extra proefstukken of proefstukken met een ander betonmengsel te storten of meerdere diktes hittewerende bekleding op voorraad te hebben.

3.5 Uitvoeren brandproeven en rapporteren

Bij de uitgebreide methode zijn de uitgevoerde brandproeven altijd van het type "spalling test" conform het Efectis testprotocol. Om te borgen dat de relevante gegevens van de uitgevoerde proeven ook vastgelegd worden in het testrapport zijn eisen gesteld aan de inhoud van de testrapporten. (zie bijlage 5)

3.6 Borgen brandwerendheid in bouwproces

De brandwerende maatregelen die in de tunnel worden aangebracht moeten hetzelfde zijn als hetgeen getest is. Dit betreft de constructieve eigenschappen van de tunnel en de materiaaleigenschappen van de elementen die brandwerend moeten zijn. Wat "hetzelfde" is, is slechts beperkt vastgelegd. Om hier meer duidelijkheid in te verschaffen is in bijlage 6 aangegeven binnen welke marges de testresultaten en de uitgevoerde verificaties tijdens de bouw nog beschouwd kunnen worden als "hetzelfde".

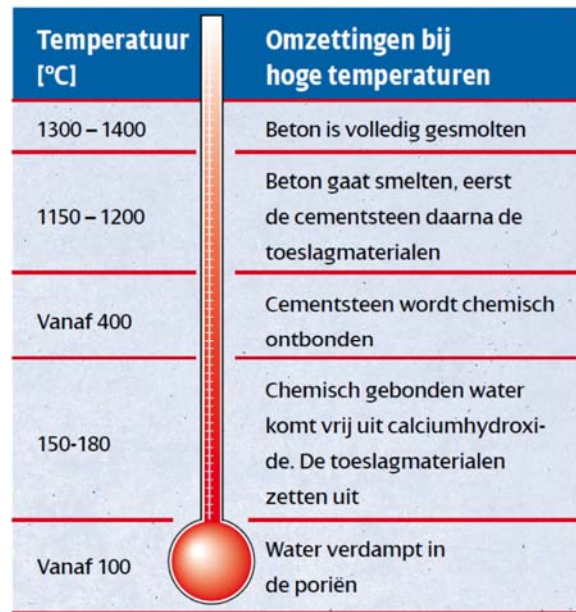
Bijlage 1: Gedrag van beton bij brand

Schade door te hoge temperatuur

Beton is een onbrandbaar bouw materiaal. Het draagt zelfs bij om een brand te beperken tot het brandcompartiment waarin de brand woedt. Toch reageert het beton wel op de hoge temperaturen waaraan het wordt blootgesteld bij brand. Bij 100°C begint het vrije water in de poriën van beton te verdampen. Vanaf 150 graden begint het chemisch gebonden water uit de calcium hydroxide vrij te komen. Tot een temperatuur van ca. 250°C is beton in staat weer vocht vanuit de omgeving op te nemen en zal het zijn oude structuur en vochtbalans na een brand herstellen. Als de temperatuur in beton tot boven de ca. 250°C oploopt zal het chemisch gebonden water in de microstructuur volledig verdampen. Doordat het vocht volledig verdwijnt uit het aan hoge temperatuur blootgestelde beton, verandert de structuur van de cementsteen. Het beton wordt hierdoor bros en poreus en sterkteverlies treedt op. Vanaf 400°C is het chemisch gebonden water volledig verdampt en wordt de cementsteen ontbonden. Silicium houdende toeslagmaterialen zetten uit en zorgen voor zichtbare schade aan het beton door middel van scheurvorming.

Schade door afspatten

Een andere bedreiging voor beton is afspatten. Vanaf 100°C zal het vocht in de poriën van het beton verdampen en vormt zich stoom. Door de uitzetting van het beton en de toenemende (stoom)druk neemt de krachtswerking in het beton toe. Als de interne krachten groter worden dan de trekspanning die het beton kan opnemen spat de buitenste laag van het beton af. Daarna zal de betonlaag die dieper in het beton ligt sneller opwarmen omdat deze nu aan hoge temperaturen wordt blootgesteld. Als de interne krachten te groot worden spat deze "nieuwe" buitenste laag beton ook af. Dit is een proces wat zichzelf zal herhalen totdat de constructie bezwijkt.



Figuur 2: Eigenschappen van beton bij hogere temperaturen.

Bron: Betoniek, uitgave juli 2008

Bijlage 2: factsheet eenvoudige methode brandwerendheid

Met deze methode wordt altijd voorzien in voldoende brandwerendheid door het aanbrengen van een laag hittewerende bekleding. Het juist functioneren van deze hittewerende bekleding en de bevestiging hiervan aan het beton dient aangetoond te zijn met een "spalling test" of "thermal insulation test" op grote schaal zoals beschreven in het Efectis testprotocol. Beide testen worden altijd in tweevoud uitgevoerd. De brandwerende eigenschappen van het beton hoeven niet aangetoond te zijn, zolang er gebruik wordt gemaakt van betonsoorten die vallen binnen de eisen aan constructief beton zoals hieronder beschreven.

Eisen aan hittewerende bekleding (HWB)

- Maximale temperatuur achter de HWB en achter de naden van de platen is 100°C met een marge van maximaal +10°C², gemeten volgens een recente "spalling test" of "thermal insulation test" op grote schaal conform het Efectis testprotocol (Efectis-R0695_2020).

Eisen aan bevestiging HWB

- De HWB wordt achteraf aan de constructie bevestigd met minimaal 5 RVS (A4) ankers per m²
- Het toe te passen ankertype en ankerpatroon is getest onder de geldende brandcurve
- Verankering van de HWB vindt in principe plaats in de dekking laag van het beton.

Eisen aan constructief beton

- Beton dient geleverd te worden volgens de eisen van de Beoordelingsrichtlijn 1801 (Betonmortel)
- Het beton maakt gebruik van het grove toeslagmateriaal grind.
- Het beton heeft een sterkteklasse tussen C25/30 en C35/45
- Het beton bevat geen vulstoffen zoals benoemd in NEN-EN-12620.

Functionele eisen brandwerendheid

- Maximale temperatuur achter de HWB en achter de naden: 110°C
- Maximale temperatuur van de wapening: Niet van toepassing
- Maximale afspatdiepte: Niet van toepassing

Verificaties Ontwerpfase:

verificaties op testgegevens "spalling test" of "thermal insulation test"

- Er is een testrapport dat voldoet aan het Efectis testprotocol beschikbaar, deze is maximaal 3 jaar oud bij vaststellen van het definitief ontwerp.
- Merk, type en dikte van de testplaten is vastgelegd
- Productspecificaties van de testplaten zijn vastgelegd
- Bevestigingssysteem tijdens test is vastgelegd
- Montage patroon van platen en ankers is vastgelegd.
- Temperatuurmeting op de interface HWB-beton is vastgelegd, minimaal 2 meetpunten achter een T- of kruisnaad. Minimaal 3 meetpunten achter een langsnaad en minimaal 3 meetpunten achter de plaat, gelijkmatig verdeeld over het proefoppervlak.
- Vochtgehalte van de platen tijdens test is vastgelegd.

verificaties op definitief constructief ontwerp

- Toegepast brandwerend beton valt in sterkteklassen C25/30 t/m C35/45.
- Mengsamenstelling van het beton is vastgelegd, betonmengsel bevat geen vulstoffen.
- Ontwerp hittewerende bekleding is bekend, is gelijk aan het testrapport (merk, type, dikte, montage patroon, bevestiging en ankerpatroon).
- Ontwerp van hittewerende oplossing van randen, naden, kabeldoorvoeren en brandwerende afwerking van vluchtdeuren, hulppostkasten en achter TT1's is bekend en maakt gebruik van geteste oplossingen.

² Water verdampt onder druk bij een hogere temperatuur dan 100°C. Uit de temperatuurmetingen van brandproeven blijkt dat tijdens de periode dat vocht uit de hittewerende bekleding verdampt maximaal 110°C op de interface tussen beton en hittewerende bekleding gemeten wordt, voordat de temperatuur op de interface weer verder oploopt.

Verificaties Uitvoeringsfase:

verificaties op aanbrengen hittewerende platen

- Het juiste merk, type en dikte plaat wordt aangebracht
- Platen worden aangebracht conform geteste patroon (afmetingen en T-naden of kruis naden).
- Bevestiging (type en aantal ankers, aanhechting beton) en ankerpatroon is juist, conform ontwerp.
- Afwerking van randen, naden, kabeldoorvoeren en brandwerende afwerking van vluchtdeuren, hulppostkasten en achter TTI's is conform ontwerp.
- Naden zijn maximaal 2 mm, of conform schriftelijke opgave fabrikant.

verificaties op levering van beton

- Druksterkte wordt op de betoncentrale gecontroleerd. 95% van de gemeten 28 daagse kubusdruksterkten hebben een sterkte lager dan de in het DO gehanteerde ontwerp karakteristieke kubusdruksterkte + 15 N/mm²
- Er is bekend welk beton aan het werk wordt geleverd. De aflever bon vermeldt mengselcode, mengselsamenstelling, sterkteklasse en laat zien dat geen vulstoffen zijn toegepast.

Bijlage 3: factsheet uitgebreide methode brandwerendheid

Met deze methode kan vrij gekozen worden hoe wordt voorzien in voldoende brandwerendheid. Gangbare methodes om aan de eisen voor brandwerendheid te voldoen zijn het vergroten van de betondekking op de wapening, het toevoegen van PP-vezels aan het beton of het beschermen van het beton door een laag hittewerende bekleding. Het goed functioneren van de hittewerende oplossing dient aangetoond te zijn met een brandproef die niet ouder is dan 3 jaar bij vaststelling van het definitief ontwerp. De geschikte test om dit aan te tonen is de "spalling test" op grote schaal zoals beschreven in het Efectis testprotocol. De "spalling test" wordt altijd in tweevoud uitgevoerd. Bij deze methode dient het volledige brandwerende systeem getest te worden op een wijze die representatief is voor het systeem dat in de tunnel wordt aangebracht.

Eisen aan de gehele brandwerende oplossing

- De toe te passen brandwerende oplossing is recent getest volgens een "spalling test" op grote schaal conform het Efectis testprotocol (Efectis-R0695_2020). In deze test is de hittewerende bekleding, de bevestigingsmethode en het achterliggende beton getest zoals deze in de constructie wordt toegepast.
- De geteste proefstukken zijn op gecontroleerde en reproduceerbare wijze geproduceerd, conform eisen bijlage 4.
- De gegevens van hittewerende bekleding, bevestiging en het beton van de geteste proefstukken zijn voldoende gedocumenteerd, conform eisen bijlage 5.

Eisen aan constructief beton

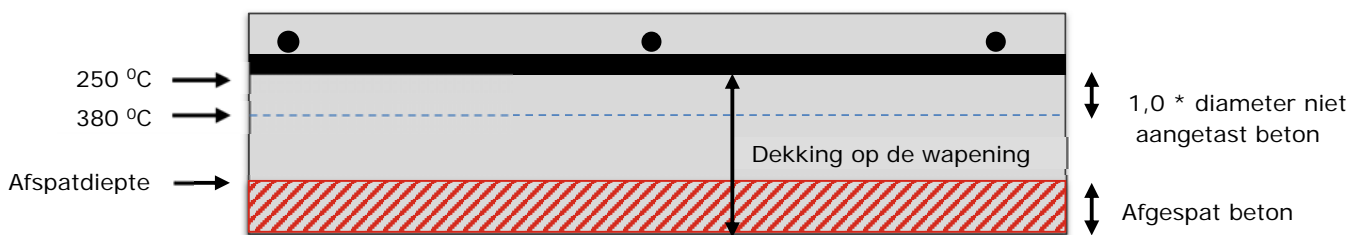
- Beton dient geleverd te worden volgens de eisen van de Beoordelingsrichtlijn 1801 (Betonmortel)

Eisen aan bevestiging HWB

- De HWB wordt achteraf aan de constructie bevestigd met minimaal 5 RVS (A4) ankers per m²
- Het toe te passen ankertype en ankerpatroon is getest onder de geldende brandcurve
- Verankering van de HWB vindt in principe plaats in de dekking laag van het beton.

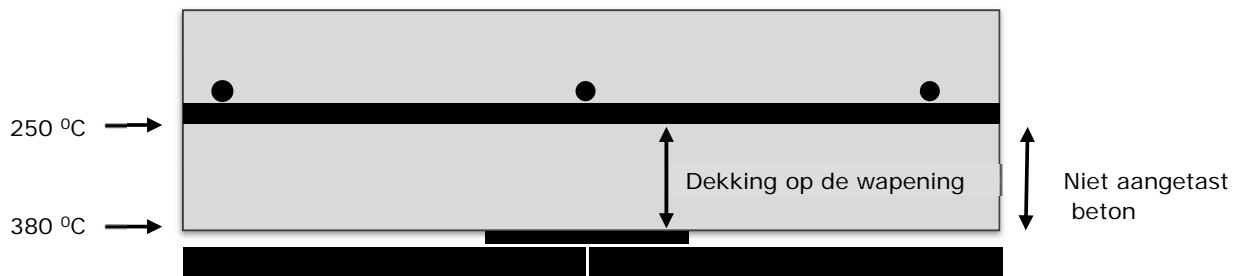
Functionele eisen brandwerendheid tunnels niet onder open water

- Maximale temperatuur van het beton: 380°C op 1,0 * diameter constructieve wapening
- Maximale temperatuur van de wapening: 250°C
- Maximale afspatdiepte: 95% oppervlakte minder dan 35mm



Functionele eisen brandwerendheid tunnels onder open water

- Maximale temperatuur van het beton: 380°C op interface beton – hittewerende bekleding
- Maximale temperatuur van de wapening: 250°C
- Maximale afspatdiepte: geen afspatten toegestaan

Verificaties Ontwerpfase:

- Eisen uit bijlage 4 en 5 zijn van toepassing.

verificaties op testgegevens "spalling test"

- Er is een testrapport dat voldoet aan het Efectis testprotocol beschikbaar, deze is maximaal 3 jaar oud bij vaststellen van het definitief ontwerp.
- Eigenschappen van het betonmengsel zijn vastgelegd.
- Merk, type of herkomst van de grondstoffen is vastgelegd
- Type of samenstelling van dekkingsblokjes is vastgelegd
- Wijze van vervaardigen proefplaat is vastgelegd
- Vochtgehalte proefplaat is vastgelegd.

Indien hittewerende bekleding is toegepast:

- Merk, type en dikte testplaten vastgelegd
- Merk, type en lengte bevestigingssysteem is vastgelegd
- Montage patroon van platen en ankers is vastgelegd.
- Geteste naadbreedte is vastgelegd (minimaal naadbreedte conform opgave fabrikant of breder indien gewenst)
- Temperatuurmeting op de interface vastgelegd, minimaal 2 meetpunten achter een T- of kruisnaad. Minimaal 3 meetpunten achter een langснаad en minimaal 3 meetpunten achter de plaat, gelijkmatig verdeeld over het proefoppervlak.
- Vochtgehalte van de platen tijdens test bekend.

verificaties op definitief constructief ontwerp

- Maximale drukspanning aan de brand belaste zijde in SLS of bij belastinggeval brand is bekend en is niet hoger dan de aangebrachte testspanning.
- Van de toegepaste brandwerende mengselsamenstellingen zijn de betoneigenschappen vastgelegd (samenstelling van het betonmengsel en merk, type of herkomst van de grondstoffen en dekkingsblokjes).
- Ontwerp hittewerende bekleding is bekend, is gelijk aan het testrapport (merk, type, dikte, montage patroon, bevestiging en ankerpatroon).
- Ontwerp van hittewerende oplossing van randen, dilatatievoegen, kabeldoorvoeren en brandwerende afwerking van vluchtdeuren, hulppostkasten en achter TTI's is bekend en maakt gebruik van geteste oplossingen of is rekenkundig lager dan de laagst gevonden afspattemperatuur.

Verificaties Uitvoeringsfase:

- Eisen uit bijlage 6 zijn van toepassing.

verificaties op aanbrengen hittewerende platen

- Het juiste merk, type en dikte plaat of bekleding wordt aangebracht
- Platen worden aangebracht conform geteste patroon (afmetingen en T-naden of kruis naden).
- Aangebrachte naden zijn niet breder dan de naadbreedte die is vastgelegd in het testrapport.
- Afwerking van randen, dilatatievoegen, kabeldoorvoeren en brandwerende afwerking van vluchtdeuren, hulppostkasten en achter TTI's is conform ontwerp, berekening en/of test.

Verificaties op bevestiging van hittewerende platen aan beton

- Bevestiging (type, aantal en lengte ankers, aanhechting beton), ankerpatroon en minimale afstanden tussen ankers zijn juist, conform ontwerp en/of test.

verificaties op levering van beton

- De Opdrachtnemer heeft een proces ingericht en voert controles uit die een aantoonbaar beheerst betonproductieproces borgen.
- De controles op betonmengsels met brandwerende eigenschappen voldoen aan tabel 1 in bijlage 6.
- De juiste dekkingsblokjes en de juiste dekking op de wapening worden toegapast.

Bijlage 4: Voorbereiden brandproeven

Om te borgen dat brandproeven op een voor de constructie representatieve wijze worden uitgevoerd moet nagedacht worden welke testen uitgevoerd moeten worden - en onder welke condities - om de brandwerendheid van de constructie voldoende in kaart te brengen. De brandproeven worden daarom uitgevoerd volgens het Efectis testprotocol.

Om testresultaten achteraf makkelijker te kunnen interpreteren en onderling beter vergelijkbaar te maken is het van belang dat het produceren van de proefstukken en de testen voor verschillende projecten zoveel mogelijk op gelijke wijze uitgevoerd worden en dat de gegevens van de gebruikte betonmengsels uniform worden vastgelegd.

Maken van de proefstukken

Om te borgen dat proefstukken voor brandproeven op gelijke wijze gemaakt en beproefd worden gelden de volgende aanvullingen op het Efectis testprotocol:

- Sensoren ten behoeve van temperatuurmeting worden geplaatst op 0mm diepte of op de interface tussen hittewerende bekleding-beton, op de diepte van de wapening en tussenliggend in stappen van 20-35 mm. (Dus bij een dekking van 50 mm sensoren bijvoorbeeld plaatsen op een diepte van 0, 25 en 50 mm, bij een dekkingsdikte van 100 mm bijvoorbeeld op een diepte van 0, 35, 70 en 100 mm). Achter de wapening worden de sensoren geplaatst in stappen van maximaal 100mm, tot een diepte van minimaal 200mm. De temperatuurindringing wordt op minimaal zes plaatsen gelijkmatig verdeeld over het oppervlak van het proefstuk gemeten.
- Bij een brandwerend systeem met hittewerende bekleding wordt geborgd dat de temperatuursensoren op de interface tussen beton en hittewerende bekleding de echte interfacetemperatuur meet (buitenzijde van het beton) en niet de temperatuur op enige diepte in het beton, danwel de temperatuur aan de achterzijde van de hittewerende bekleding. In dit geval moeten er voorafgaand aan het plaatsen van hittewerende bekleding aanvullende thermokoppels worden geplaatst op de interface tussen hittewerende bekleding en beton.
- Per betonmengsel worden 9 proefkubussen en een proefplaatje gestort ter bepaling van 28 daagse druk-/slijttreksterkte (2 x 3 stuks) , alsmede de druksterkte (1 x 3 stuks) en het vochtgehalte (proefplaatje) ten tijde van het uitvoeren van de brandproef.
- Proefkubussen worden onder water bewaard bij 20°C, het proefplaatje wordt geseald na het storten en bewaard bij de grote proefstukken.
Proefstukken worden geseald na het storten en tot een leeftijd van 28 dagen vorstvrij bewaard bij een omgevingstemperatuur tussen 5 en 25°C. Daarna moeten de proefstukken ongeseald, vorstvrij en uit direct zonlicht opgeslagen worden.

Vastleggen van de eigenschappen het betonmengsel van de proefstukken

Om zicht te krijgen op de samenstelling en eigenschappen van het betonmengsel waarvan de proefstukken gemaakt zijn worden de volgende gegevens vastgelegd:

- Zeefstaat van de korrelverdeling van het betonmengsel
- Weegstaat van de individuele bestanddelen van het betonmengsel.
- Merk, type en leverancier, van het cement.
- Herkomst en type van het gebruikte fijne toeslagmateriaal (winplaats/groeve).
- Herkomst en type van het gebruikte grove toeslagmateriaal (winplaats/groeve).
- Merk en type van de gebruikte hulpstoffen.
- Merk en type van de gebruikte bekistingsolie.
- Merk, type of herkomst van overige toegevoegde materialen (bijvoorbeeld vezels)
- Doseerstaten van alle toegevoegde hulpstoffen en materialen.
- Van het beton de 28 daagse, druk- en slijttreksterkte en de druksterkte en vochtgehalte ten tijde van de brandproef.

Van alle bestanddelen van het betonmengsel wordt een sample bewaard voor eventuele toekomstige analyse (uit te voeren op verzoek van opdrachtgever of opdrachtnemer)

Bijlage 5: Uitvoeren van de brandproeven en rapporteren

Brandproeven worden uitgevoerd door een daarvoor gequalificeerd laboratorium. De brandproef wordt uitgevoerd met de condities die in de eisen van het betreffende project beschreven staan. Indien onduidelijk is wat representatieve condities zijn worden deze in overleg met de opdrachtgever en deskundigen van het laboratorium vastgesteld.

Uitvoeren van de brandproeven

- Voor gesloten constructies dient een brand brand volgens de RWS-curve gesimuleerd te worden. Voor open constructies een brand volgens de HC-curve. Voor bepaling van de tijdsperiode van de brand dienen de wettelijke bepalingen en de eisen volgens het contract gehanteerd te worden, afhankelijk van welke maatgevend zijn.
- Er moet een drukspanning aangebracht worden op het proefstuk waarbij de drukspanning aan de brandbelaste zijde (tijdens de proef) overeenkomt met de maximaal optredende drukspanning in het brandbelaste deel van de constructie onder het belastinggeval 'brand'.
- Een moment in de constructie of een grote drukkracht mag op het proefstuk gesimuleerd worden door de belasting excentrisch aan te brengen.
- Een kracht op het proefstuk kan door een extern frame of door inwendige voorspanning worden aangebracht. Tijdens het uitvoeren van de brandproef verlengt het proefstuk door de opwarming. Bij inwendige voorspanning zorgt dit voor een extra kracht, wat meer overeenkomt met een verhinderde vervorming van de constructie. Bij een extern frame wordt de aangebrachte kracht op het proefstuk tijdens de brandproef gemeten en actief op de ingestelde waarde gehouden, wat meer overeen komt met een vrije vervorming van de constructie.
- Voor de maximale temperatuurcriteria dienen de in de ROK 2.0 beschreven waarden gehanteerd te worden.
- Voor de afspatcriteria dient het volgende gehanteerd te worden:

Voor tunnels niet onder open water:

95% van het brandbelaste oppervlak, volgens het meetraster zoals beschreven in het Efectis testprotocol, heeft een afspatdiepte kleiner of gelijk aan 35 mm.

Voor tunnels wel onder open water:

In verband met de repareerbaarheid is het toepassen van hittewerende bekleding verplicht en is geen afspatten toegestaan

Rapportage van de brandproeven

Om achteraf bij vragen duidelijk te hebben wat wel, danwel wat niet is getest is het belangrijk om de eigenschappen van het proefstuk en de uitgevoerde brandproef goed te documenteren. Hierin zijn de volgende zaken van belang:

- Locatie van sensoren.
- Wijze van maken van proefstukken, inclusief tijdspad, bewaarcondities en afmetingen van proefstuk en wapening.
- Gegevens van het geteste betonmengsel conform tabel 1 bijlage 6, inclusief rapportages van uitgevoerde testen (trek- en druksterkte en vochtgehalte).
- Gegevens van dekkingsblokjes, type of samenstelling.
- Gegevens van hittewerende bekleding, merk, type en dikte.
- Wijze van bevestiging van hittewerende bekleding (type, aantal en lengte ankers, aanhechting beton, ankerpatroon en minimale afstanden tussen ankers).
- Plaatconfiguratie en vermelding maximale naadbreedte en naadsoort (T-naad of kruisnaad)
- Gemeten vochtgehaltes van hittewerende bekleding.
- Aangebrachte drukspanning.
- Meetgegevens thermokoppels.
- Meting afspatdiepte in raster van 25x25cm, of vermelding "geen afspatten waargenomen", danwel "afspatdiepte niet gemeten" met vermelding van reden
- Fotodocumentatie van: het proefstuk voor en na de proef. En indien van toepassing van losgekomen hittewerende bekleding, alle vormen van afspatten, of van andere onregelmatigheden.
- Filmbestanden van de ovencamera veilig stellen.

Bijlage 6: Controles op het betonmengsel tijdens uitvoering van het werk

De laatste processtap betreft het via controles aantoonbaar borgen dat het in de bouw toegepaste brandwerende systeem overeenkomt met het in het laboratorium geteste brandwerende systeem. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende onderdelen van het brandwerende systeem:

- Brandwerende eigenschappen hittewerende bekleding
- Brandwerende eigenschappen bevestiging hittewerende bekleding aan beton
- Brandwerende eigenschappen beton.

Per onderdeel is het de vraag op welk detailniveau controles noodzakelijk zijn om de brandwerende eigenschappen in voldoende mate te borgen. Dit hangt samen met de mate waarin de leverancier zelf borgt dat de geleverde materialen de gewenste brandwerende eigenschappen bezitten en behouden.

Verificaties op het aanbrengen van hittewerende bekleding

Leveranciers van hittewerende bekleding hebben zelf een proces ingericht om de brandwerende eigenschappen van de door hen geproduceerde materialen te borgen. Dit proces omvat de controle van gebruikte grondstoffen, een gecontroleerd productieproces en het op regelmatige basis testen van producten. Controles op de brandwerende eigenschappen van de hittewerende bekleding zijn in deze fase dan ook niet noodzakelijk. Er dienen wel controles uitgevoerd te worden op het aanbrengen van de hittewerende bekleding op de constructie.

- Het juiste merk, type en dikte plaat of bekleding wordt aangebracht
- Platen worden aangebracht conform geteste patroon (afmetingen en T-naden of kruis naden).
- Afwerking van randen, dilatatievoegen, kabeldoorvoeren en brandwerende afwerking van vluchtdeuren, hulppostkasten en achter TTI's is conform ontwerp en/of test.
- Aangebrachte naden zijn niet breder dan de naadbreedte die is vastgelegd in het testrapport.

Verificaties op de bevestiging van hittewerende bekleding aan beton

Leveranciers van bevestigingsmaterialen hebben zelf een proces ingericht om de constructieve en materiaalkundige eigenschappen van de door hen geproduceerde materialen te borgen. Ze hebben geen proces ingericht om de brandwerende eigenschappen van de door hen geproduceerde materialen te borgen. Echter omdat de brandwerende eigenschappen van staal een directe relatie hebben met de constructieve en materiaalkundige eigenschappen is het acceptabel om te vertrouwen op de kwaliteitsborging van de leverancier. Controles op de brandwerende eigenschappen van de bevestigingsmiddelen zijn in deze fase dan ook niet noodzakelijk. Er dienen wel controles uitgevoerd te worden op het aanbrengen van de bevestigingsmiddelen.

- Bevestiging (type, aantal en lengte ankers, aanhechting beton), ankerpatroon en minimale afstanden tussen ankers zijn juist, conform ontwerp en/of test.

Verificaties op de levering van beton

Leveranciers van beton hebben zelf een proces ingericht om de constructieve eigenschappen van de door hen geproduceerde betonmengsels te borgen. Ze hebben geen proces ingericht om de brandwerende eigenschappen van de door hen geproduceerde materialen te borgen. Omdat er geen directe relatie bestaat tussen de constructieve en brandwerende eigenschappen van beton is het niet acceptabel om alleen te vertrouwen op de kwaliteitsborging van de leverancier. Om in voldoende mate te borgen dat het geleverde beton vergelijkbare brandwerende eigenschappen heeft als het in de brandproef geteste beton is het nodig aanvullende controles op de productie van beton uit te voeren. Uitgangspunt in de borging is dat de Opdrachtnemer een proces inricht en controles uitvoert die een aantoonbaar beheerst betonproductieproces borgen. Uitgangspunt hierbij is dat een beheerst betonproductieproces borgt dat de brandwerende eigenschappen van het in het werk gebruikte betonmengsel minimaal afwijken van de eerdere testresultaten. Hierbij wordt rekening gehouden met de bij betonproductie gangbare toleranties.

De samenstelling van de geleverde betonmengsels moeten periodiek gecontroleerd worden met ten minste de aangegeven frequentie. Opdrachtnemer neemt zelf maatregelen om afwijkingen in het geleverde betonmengsel zoveel als mogelijk te voorkomen. Bij afwijkingen die buiten de

toegestane tolerantie vallen neemt Opdrachtnemen direct maatregelen om verdere afwijkingen in de toekomst te voorkomen. Afwijkingen moeten uiterlijk binnen een week aan de opdrachtgever gemeld worden.

Bij een (tijdelijk) niet beheerst betonproductieproces is het mogelijk de gerealiseerde brandwerendheid achteraf te valideren door aanvullende analyses, aanvullende brandproeven of het aanbrengen van een aanvullende laag hittewerende bekleding van voldoende dikte.

Verificaties op de geleverde brandwerende betonmengsels worden ingepland volgens *tabel 1: Overzicht van controles op betonmengsels met brandwerende eigenschappen*

Tabel 1: Overzicht van controles op betonmengsels met brandwerende eigenschappen

Tijdstip en frequentie van meten	Onderdeel betonmengsel	Uit te voeren controle	Meting / controle door	Criteria	
Bij storten van de proefstukken	Betonmengsel	Korrelverdeling van het mengsel	betoncentrale	als referentie tussen test en praktijk	
		Weegstaat van het betonmengsel, incl. evt. vezels	betoncentrale	mengselcode en afgewogen hoeveelheden van alle componenten van het betonmengsel als referentie tussen test en praktijk	
	Cement	Merk, type en leverancier van het cement	betoncentrale	merk, type en leverancier is vastgelegd	
		Sample cement	betoncentrale / opdrachtnemer	sample cement is vorstvrij opgeslagen	
	Fijne toeslagmaterialen	Soort en herkomst van het gebruikte fijne toeslagmateriaal (wingebied/groeve)	betoncentrale	soort en herkomst is vastgelegd.	
		Sample fijne toeslagmaterialen	betoncentrale / opdrachtnemer	sample fijne toeslagmaterialen is opgeslagen	
	Grove toeslagmaterialen	Soort en herkomst van het gebruikte grove toeslagmateriaal (wingebied/groeve)	betoncentrale	soort en herkomst is vastgelegd	
		Sample grove toeslagmaterialen	betoncentrale / opdrachtnemer	sample grove toeslagmaterialen is opgeslagen	
	Hulpstoffen, incl eventuele vezels	Merk, type van de gebruikte hulpstoffen	betoncentrale	merk, type en leverancier is vastgelegd	
		Sample hulpstoffen	betoncentrale / opdrachtnemer	sample hulpstoffen is vorstvrij opgeslagen	
	Bekistingsolie	Merk, type van de gebruikte bekistingsolie	betoncentrale	merk, type en leverancier is vastgelegd	
		Sample bekistingsolie	betoncentrale / opdrachtnemer	sample bekistingsolie is vorstvrij opgeslagen	
	Enmalig, 28 dagen na storten proefstukken	Betonmengsel	Druk en splijtsterkte bepaling op beton van de proefstukken	betoncentrale	als referentie tussen test en praktijk
	Enmalig, na 91 dagen, of op de dag van de brandproef	Betonmengsel	Druksterkte bepaling op beton van de proefstukken	betoncentrale / opdrachtnemer	tbv. rapportage brandproeven

Tijdstip en frequentie van meten	Onderdeel betonmengsel	Uit te voeren controle	Meting / controle door	Criteria
Elke levering aan het werk	Betonmengsel	Weegstaat van het betonmengsel, incl. evt. vezels	betoncentrale	juiste mengselcode en minimale afwijking tussen mengsel ontwerp en geleverde mengsel conform eisen BRL1801
		Juiste beton geleverd	opdrachtnemer	juiste mengselcode, sterkteklasse en milieuklasse
Elke levering aan het werk, o.b.v. dagelijkse steekproef of voorafgaand aan start betonproductie	Cement	Merk, type en leverancier	betoncentrale	merk, type en leverancier vastgelegd en niet gewijzigd t.o.v. test.
		Afgewogen hoeveelheden cement	opdrachtnemer	afwijking tussen -5% en +2% op gewicht t.o.v. test
	Fijne toeslagmaterialen	Soort en herkomst van het gebruikte fijne toeslagmateriaal (wingebied/groeve)	betoncentrale	soort en herkomst is vastgelegd en niet gewijzigd t.o.v. test
	Grove toeslagmaterialen	Soort en herkomst van het gebruikte grove toeslagmateriaal (wingebied/groeve)	betoncentrale	soort en herkomst is vastgelegd en niet gewijzigd t.o.v. test
	Water bindmiddelfactor	Afgewogen hoeveelheden, incl. vochtigheid toeslagmaterialen	betoncentrale	afwijking <0,05 t.o.v. test
	Hulpstoffen, incl eventuele vezels	Merk, type van de gebruikte hulpstoffen	betoncentrale	merk, type en leverancier is vastgelegd en niet gewijzigd t.o.v. test
		Afgewogen hoeveelheden hulpstoffen	opdrachtnemer	afwijking tussen -10% en +3% op gewicht/volume t.o.v. test
Bekistingsolie	Merk, type van de gebruikte bekistingsolie	opdrachtnemer	merk, type en leverancier is vastgelegd en niet gewijzigd t.o.v. test	
28 dagen na elke levering op het werk	Betonmengsel	Druksterkte bepaling van het aan het werk geleverde beton	opdrachtnemer	gemeten waarde is niet hoger dan de ontwerp karakteristieke kubusdruksterkte +15 MPa
Incidenteel, bij veranderde eigenschappen beton of andere afwijkingen	Cement	Chemische fingerprint van het gebruikte cement t.o.v. sample	opdrachtnemer	t.b.v. onderzoek, als referentie tussen test en praktijk
	Fijne toeslagmaterialen	Mineralogische analyse van het fijne toeslagmateriaal t.o.v. sample	opdrachtnemer	t.b.v. onderzoek, als referentie tussen test en praktijk
	Grove toeslagmaterialen	Mineralogische analyse van het grove toeslagmateriaal t.o.v. sample	opdrachtnemer	t.b.v. onderzoek, als referentie tussen test en praktijk
	Hulpstoffen, incl eventuele vezels	Chemische fingerprint van de gebruikte hulpstoffen t.o.v. sample	opdrachtnemer	t.b.v. onderzoek, als referentie tussen test en praktijk
	Bekistingsolie	Chemische fingerprint van de gebruikte bekistingsolie t.o.v. sample	opdrachtnemer	t.b.v. onderzoek, als referentie tussen test en praktijk