

Vlaanderen
is veilig onderweg

Vlaamse Tunnelrichtlijn
B400 – Uitrustingen

AGENTSCHAP
WEGEN & VERKEER

COLOFON

Titel	Vlaamse Tunnelrichtlijn: B400 – Uitrustingen
Opgesteld door	Heidi Cuypers, studie-ingenieur tunnelveiligheid, AWV
Gereviseerd door	Commissie Tunnels, Projectgroep Tunnelrichtlijnen
Goedgekeurd door	Directieraad AWV
Goedgekeurd op	9 juli 2026
Versie	1.1

Vlaanderen
is veilig onderweg

Agentschap Wegen en Verkeer
Afdeling Expertisecentrum
https://wegenenverkeer.be/

DOCUMENTGESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Beschrijving
0.1	20.06.2025	Heidi Cuypers	Eerste sneuvelversie
0.2	30.09.2025	Heidi Cuypers	Aanpassingen na interne review team tunnelveiligheid
0.3	09.12.2025	Heidi Cuypers	Versie ingediend bij Projectgroep Tunnelrichtlijnen, na aanpassingen opmerkingen Commissie tunnels
0.4	17.02.2026	Heidi Cuypers	Aanpassingen opmerkingen Projectgroep Tunnelrichtlijnen
0.5	30.03.2026	Heidi Cuypers	Aanpassingen na overleg met commissie tunnels
0.6	25.06.2026	Heidi Cuypers	Versie ingediend bij Directieraad AWV
1.0	09.07.2026	Heidi Cuypers	Goedgekeurd door de Directieraad AWV
1.1	28.09.2026	Heidi Cuypers	Kleine aanpassingen aan lay-out en fouten in nummering eisen aangepast

INHOUDSOPGAVE

Colofon 2
Documentgeschiedenis 3
Inhoudsopgave 4
Afkortingen en begrippen 5
0 Inleiding 6
1 Nooduitgangen (B401) 7
1.1 Wettelijk kader 7
1.2 Omschrijving 7
1.3 Vluchtdeuren 7
1.3.1 Algemene eisen 7
1.3.2 Vluchtdeuren die uitgeven op een vluchtkoker 11
1.3.3 Vluchtdeuren die uitgeven op een dwarsverbinding 11
1.3.4 Vluchtdeuren die uitgeven op de ondersteunende koker 12
2 Kopdeuren (B412) 14
3 Dienstdeuren (B402) 15
4 Vluchtroutes (B403) 16
4.1 Algemeen 16
4.2 Vluchtkoker 17
4.3 Dwarsverbindingen 19
4.4 Ondersteunende koker als vluchtweg 20
4.5 Vluchtroute bij het verlaten van de tunnel en verzamelplaats 20
5 Brandwerende bekleding (B404) 23
5.1 Wettelijk kader 23
5.2 Algemeen 23
5.3 Brandwerende beplating 28
5.4 Brandwerende spuitmortel 28
5.5 Bescherming door combinatie van extra betondekking en polypropyleenvezels 29
6 Afschermende constructies (B407) 31
6.1 Afschermende constructie in de tunnel 31
6.2 Afschermende constructie bij het verlaten van de tunnel tot aan de verzamelplaats 33
6.2.1 Afscherming tunnelportalen 33
6.2.2 Vluchtpaden en verzamelplaatsen bij het verlaten van de tunnel 33
7 Verhardingen (B406), wegmarkeringen (B408) en dienstpaden (B409) 34
8 Verkeersborden (B410) 35
9 Hoogtebeperkingen (B414) 39
10 Brandcompartimenteringen (B415) 39
11 Leuningen (B416), Rijbanen (B418), Nissen (B419) en Toegangspoorten (B413) 40
12 Referenties 41
Annex A: brandkrommes 42
Annex B: Afwegingskader hoogtebeperkingen 44
B.1 Risicobepaling 44
B.2 Maatregelen bij verwaarloosbaar risico 45
B.3 Maatregelen bij gering risico 45
B.4 Maatregelen bij hoog risico 46

AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN

AFKORTING	VERDUIDELIJKING
HCM-brandkromme	Hydrocarbon Modified - brandkromme
RTD	Rijkswaterstaat Technisch Document
RWS	Rijkswaterstaat
VMS	Variable Message Sign
VWI	Vademecum Weginfrastructuur

0 INLEIDING

De Vlaamse Tunnelrichtlijn is een verzameling van documenten die ontwerpregels en -richtlijnen voor tunnels op Europese en Vlaamse hoofdwegen omschrijven. De samenstelling van de Vlaamse Tunnelrichtlijn is een *work in progress*. Stelselmatig zullen er documenten en hoofdstukken toegevoegd en geüpdatet worden.

Het hoofdstuk 'B400 – Uitrustingen' is een levend document en kan worden aangepast aan voortschrijdend inzicht. Het werd opgesteld door de Commissie Tunnels van het Agentschap Wegen en Verkeer en steunt op verschillende bestaande documenten, waaronder de Nederlandse Landelijke Tunnelstandaard, de Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken en Rijkswaterstaat Technische Documenten, aangevuld met conceptteksten die tussentijds in opdracht van het Agentschap Wegen en Verkeer zijn opgesteld. De richtlijnen in dit hoofdstuk detailleren de tunneltechnische bouwkundige uitrusting van standaardtunnels die onder één van de drie standaarduitrustingen vallen, zoals beschreven in het hoofdstuk *Standaarduitrustingen* van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

Dit document heeft als doel om de ontwerpregels en richtlijnen voor de veelheid aan subtopics te beschrijven die volgens de Tunnelboomstructuur onder 'B400 – Uitrustingen' vallen. De topics zijn gegroepeerd in verschillende hoofdstukken.

- **Hoofdstuk 1** gaat in op de eisen gesteld aan nooduitgangen (B401) en bevat zowel algemene eisen die voor alle nooduitgangen gelden als specifieke eisen voor nooduitgangen die toegang geven tot een vluchtkoker, dwarsverbindingen of een ondersteunende koker.
- **Hoofdstuk 2** bevat eisen aan kopdeuren (B412) voor het verlaten van een vluchtkoker.
- **Hoofdstuk 3** bevat de eisen aan dienstdeuren (B402) in de tunnel. Eisen aan dienstdeuren in het dienstgebouw en leidingkokers vallen niet binnen de scope van dit document.
- **Hoofdstuk 4** gaat nader in op de eisen gesteld aan vluchtroutes (B403), waarbij niet in detail wordt ingegaan op eisen aan overdrukinstallaties, communicatie en verlichting in de vluchtroutes, omdat deze tunneltechnische installaties deel uitmaken van andere hoofdstukken van de Vlaamse Tunnelrichtlijn. Wel worden de bouwkundige eisen vastgelegd die gelden voor de vluchtroute van de nooduitgang tot en met het bereiken van de verzamelplaats buiten de tunnel.
- **Hoofdstuk 5** gaat eerst generiek in op de eisen aan brandbescherming van de draagconstructie van de tunnel (B404) en daarna op de specifieke eisen aan verschillende mogelijke uitvoeringstechnieken.
- **Hoofdstuk 6** behandelt de eisen aan afschermende constructies en dit zowel in de tunnel als tussen de tunnel en de verzamelplaats (B407).
- **Hoofdstuk 7** geeft voornamelijk verwijzingen naar andere documenten betreffende de eisen aan verhardingen (B406), wegmarkeringen (B408) en dienstpaden (B409) in tunnels.
- **Hoofdstuk 8** behandelt de eisen aan verkeersborden (B410) die in en in de buurt van tunnels dienen te worden geplaatst.
- In principe zijn bij een nieuwbouwtunnel geen hoogtebeperkende maatregelen nodig. **Hoofdstuk 9** geeft aan wanneer hoogtebeperkingen (B414) toch aangewezen kunnen zijn.
- **Hoofdstuk 10** bevat eisen aan brandcompartimentering (B415) die geen deel uitmaken van reeds eerder gestelde eisen aan deuren.
- **Hoofdstuk 11** gaat kort in op de eisen voor leuningen (B416), rijbanen (B418) en nissen (B419).
- **Annex A** geeft een overzicht van de brandkrommes waarnaar verwezen wordt in de hierboven vermelde hoofdstukken.
- **Annex B** geeft een handleiding die gebruikt kan worden indien hoogtebeperkende maatregelen toch nodig zouden blijken.

Het is aangeraden om de hoofdstukken 'Omkadering' en 'Tunnelveiligheidsconcept' van de Vlaamse Tunnelrichtlijn te lezen om vertrouwd te raken met de gehanteerde definities en om een algemeen beeld te verkrijgen van een tunnelsysteem en de daarrond gedefinieerde rollen.

1 NOODUITGANGEN (B401)

1.1 WETTELIJK KADER

Het Koninklijk Besluit van 6 november 2007 betreffende de minimale technische veiligheidsnormen voor tunnels in het trans-Europese wegennet specificeert in artikel 6 de vereisten voor vluchtroutes en nooduitgangen als volgt:

> [...] Nooduitgangen maken het tunnelgebruikers mogelijk om bij ongeval of brand de tunnel zonder hun voertuig te verlaten en een veilige plaats te bereiken en bieden de hulpdiensten de mogelijkheid om de tunnel ook te voet te bereiken. Voorbeelden van deze nooduitgangen zijn :
>
> 1° Rechtstreekse uitgangen naar buiten;
> 2° dwarsverbindingen tussen tunnelkokers;
> 3° uitgangen naar een vluchtkoker;
> 4° schuilgelegenheden met een vluchtweg gescheiden van de tunnelkoker.
>
> Er worden geen schuilgelegenheden gebouwd zonder uitgang naar een vluchtweg naar buiten.
>
> Er worden nooduitgangen aangebracht indien uit analyse van de relevante risico's (rookontwikkeling en verspreidingssnelheid onder de heersende lokale omstandigheden) blijkt dat de ventilatie- en andere veiligheidsvoorzieningen niet volstaan om de veiligheid van de weggebruikers te verzekeren.
>
> Nieuwe tunnels worden in ieder geval voorzien van nooduitgangen indien de verkeersintensiteit meer dan 2 000 voertuigen per rijstrook en per dag bedraagt.
>
> In bestaande tunnels met een lengte van meer dan 1 000 meter en een verkeersintensiteit van meer dan 2 000 voertuigen per rijstrook en per dag, wordt nagegaan of het aanbrengen van nieuwe nooduitgangen haalbaar en doeltreffend is.
>
> Indien er nooduitgangen voorhanden zijn, bedraagt de afstand tussen twee nooduitgangen ten hoogste 500 meter.
>
> Met passende middelen, zoals deuren, wordt voorkomen dat rook en hitte de vluchtwegen achter de nooduitgangen binnendringen, zodat tunnelgebruikers veilig naar buiten kunnen en de hulpdiensten toegang tot de tunnel hebben.

1.2 OMSCHRIJVING

Een nooduitgang kan toegang geven tot:

- een vluchtkoker;
- een dwarsverbinding tussen 2 voertuigkokers;
- de ondersteunende koker (bijvoorbeeld voor standaarduitrusting C, zoals beschreven in het hoofdstuk *Standaarduitrustingen* van de Vlaamse Tunnelrichtlijn);
- een rechtstreekse uitgang naar de buitenomgeving.

Vluchtdeuren hebben een belangrijke rol te vervullen bij een snelle en veilige evacuatie. Zij dienen toegang te bieden tot een veilige vluchtroute en bieden ook toegang tot de incidentkoker voor de hulpdiensten. De vluchtdeuren dienen goed zichtbaar te zijn en worden daarom voorzien van contourverlichting, evacuatieverlichting en aanstraalverlichting.

1.3 VLUCHTDEUREN

1.3.1 ALGEMENE EISEN

Deze sectie beschrijft de eisen voor nooduitgangen in de voertuigkoker die toegang bieden tot een andere ruimte voor verdere evacuatie, of rechtstreeks naar de buitenomgeving. Onderstaande eisen gelden ongeacht het soort vluchtruimte waartoe de nooduitgang toegang verleent.

FE. B401-001	Een vluchtdeur in een voertuigkoker wordt uitgevoerd als een schuifdeur.

Een vluchtdeur wordt als schuifdeur uitgevoerd omdat zij meestal toegang geeft tot een ruimte die op overdruk staat. Bij draaideuren zou het in sommige omstandigheden moeilijk tot onmogelijk zijn om de deur tegen deze overdruk in te openen. Een draaideur die in de richting van de voertuigkoker opent, is evenmin wenselijk: de deur draait dan tegen de vluchtrichting in en kan door de overdruk ongecontroleerd openslaan. Indien de vluchtdeur toegang geeft tot een veilige ruimte zonder of met slechts beperkte overdruk, mag van deze eis worden afgeweken.

FE. B401-002	Vluchtdeuren in voertuigkokers dienen vanuit elke positie zelfsluitend te zijn onder de ventilatieomstandigheden die gelden in de vluchtweg en voertuigkokers bij calamiteit. De benodigde tijd voor het zelfsluiten is ten hoogste 15 seconden. De aanslag op de sluitkant dient gedempt plaats te vinden.

Om een vlotte evacuatie te verkrijgen is de vrije doorgang van een vluchtdeur ten minste 900 millimeter breed en 2100 millimeter hoog. 900 millimeter is ook de minimale breedte voorgeschreven in het 'Handboek toegankelijkheid publieke gebouwen Vlaanderen'.[1] Op deze manier kunnen rolstoelen (al dan niet met begeleider) gebruik maken van de vluchtdeuren.

FE. B401-003	De vrije doorgang van vluchtdeuren is ten minste 900 millimeter breed en 2100 millimeter hoog.

Vluchtdeuren hebben minstens een brandweerstandsklasse EI2 60 en EW 120, getest volgens de norm EN 1634-1. Hierbij dient aan de zijde van de voertuigkoker de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme te worden gehanteerd in plaats van de standaard brandkromme (ISO 834). De verschillende vernoemde brandkrommes zijn terug te vinden in Annex A.

Er is bewust gekozen voor een brandweerstandklasse EI2 in plaats van EI1. De vluchtdeuren worden geplaatst in de voertuigkoker of vluchtkoker, welke niet aanzien worden als een gebouw volgens het Koninklijk Besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen. Hierdoor dienen de vluchtdeuren niet te voldoen aan de brandweerstandsklasse EI1. Deze keuze is in overeenstemming met de gangbare praktijk in de meeste andere Europese landen, waar vluchtdeuren doorgaans enkel aan brandweerstandklasse EI2 voldoen. Dit vergroot de beschikbaarheid op de markt.

FE. B401-004	Vluchtdeuren hebben minstens een brandweerstandsklasse EI2 60 en EW 120, getest volgens EN 1634-1. Hierbij dient aan de zijde van de voertuigkoker de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme te worden gehanteerd in plaats van de standaardbrandkromme (ISO 834). Aan de zijde van een vluchtkoker, dwarsverbinding of buitenomgeving en in voertuigkokers met een vrachtwagenverbod mag een ISO 834-brandkromme aangehouden worden.

De onderlinge afstand tussen naast elkaar gelegen nooduitgangen mag niet groter zijn dan 100 m. Zo kunnen tunnelgebruikers snel evacueren en kunnen hulpdiensten vanuit een veilige vluchtkoker of ondersteunende koker tot dicht bij het incident komen. De bepaling van de projectspecifieke tussenafstand wordt ondersteund door evacuatieberekeningen. De tussenafstand mag groter zijn voor nooduitgangen die uitgeven op een dwarsverbinding in een boortunnel, maar mag in dat geval niet groter zijn dan 250 m. De reden om deze afwijking toe te laten is dat dwarsverbindingen met disproportioneel hoge kosten gepaard gaan.

[1] Vlaamse Overheid. (2009). *Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake toegankelijkheid van 5 juni 2009, artikel 22*

FE. B401-005	De onderlinge afstand tussen naast elkaar gelegen nooduitgangen mag niet groter zijn dan 100 m. Voor dwarsverbindingen mag de afstand groter zijn dan 100 m, maar niet groter dan 250 m. Hiervoor dient toestemming door de brandweer en het Agentschap Wegen en Verkeer gegeven te worden.

FE. B401-006	De vluchtdeuren dienen goed zichtbaar te zijn en worden daarom voorzien van contourverlichting, evacuatieverlichting en aanstraalverlichting. De tunnelgebruiker wordt naar de nooduitgang geleid door de geleidingsverlichting. De eisen die hieraan gesteld worden, zijn terug te vinden in het hoofdstuk 'C200 Verlichting' van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

FE. B401-007	Voor de openingskrachten van een niet vergrendelbare of ontgrendelde deur geldt: - de vluchtdeur wordt aan de zijde van de voertuigkoker met een neerwaarts bewegende handgreep geopend; - de daartoe noodzakelijke kracht is ten hoogste 120 N. Teneinde deze eis te kunnen respecteren dient bij de indienststelling de noodzakelijke kracht ten hoogste 100 N te zijn onder ventilatiecondities die gelijkaardig zijn aan deze bij een calamiteit; - er mag geen enkele vorm van elektromechanisch ondersteuning zijn, de deur dient volledig mechanisch geopend te worden; - in de voertuigkoker is de bovenzijde van elke handgreep op een hoogte tussen 0,7 en 1,0 meter boven de onderkant van de dagmaat geplaatst.

Onder ventilatiecondities gelijkaardig aan deze bij een calamiteit wordt verstaan dat zowel ventilatie van de incidentkoker als de vluchtkoker, dwarsverbinding of ondersteunende koker actief is.

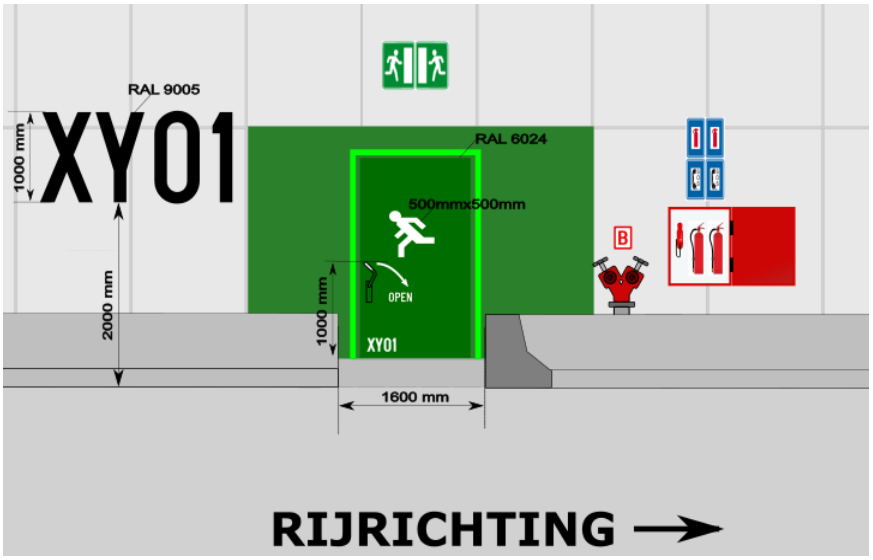
FE. B401-008	Elke nooduitgang uit de voertuigkoker dient een sensor (C609 deurcontact) te hebben om de al of niet gesloten stand te detecteren.

FE. B401-009	Het uitzicht van de nooduitgang dient aan de voertuigkokerzijde als volgt uitgevoerd te worden: - de deur en de omkasting in de kleur groen volgens RAL 6024; - op de deur komt een afbeelding van een vluchtend persoon volgens het pictogram F52. De hoogte van de vluchtende persoon is 500 millimeter; - op de deur wordt met een gekromde pijl de draairichting van de handgreep aangegeven; - de bovenste 200 millimeter van de handgreep is in wit uitgevoerd; - op de deur is de witte tekst 'OPEN' aangebracht onder de pijlpunt van de gekromde pijl met een letterhoogte van 100 mm; - de naamgeving van een vluchtdeur wordt op twee plaatsen aangegeven in de voertuigkoker ter hoogte van de nooduitgang: - ten behoeve van tunnelgebruikers bij pechongevallen: op 2 m hoogte naast de deur met zwarte letters van ongeveer 1 m hoogte. Deze nummers zijn in de kleur RAL 9005 en zijn bestand tegen een agressieve buitenomgeving.

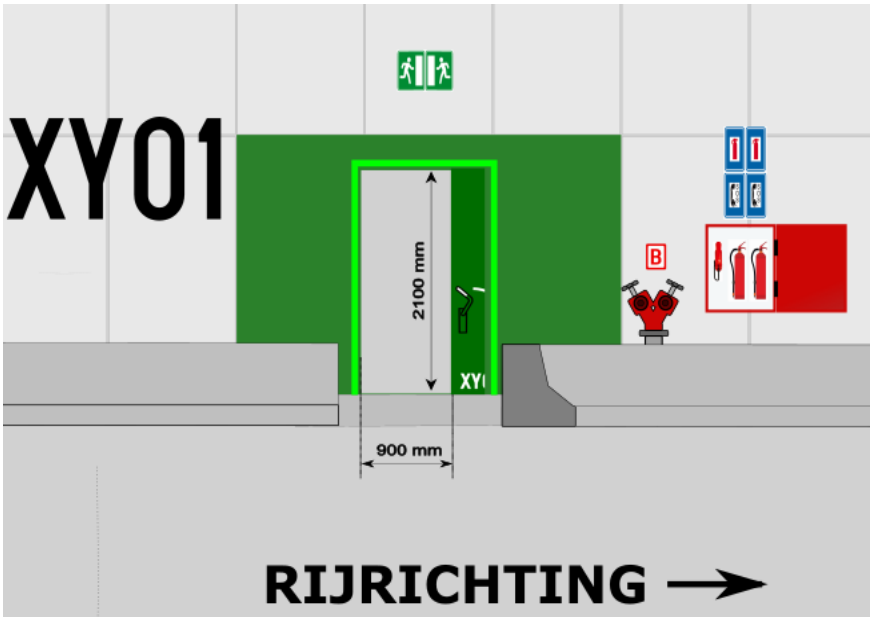
	- ten behoeve van de brandweer met retroreflecterende witte letter op het deurblad zelf met letters met een letterhoogte van 150 mm. Het gebruikte lettertype is SNV.

FE. B401-010	De naamgeving van vluchtdeuren gebeurt volgens een systeem van 2 letters en 2 cijfers. Hierbij duiden de letters de rijrichting (van->naar) van de voertuigkoker aan. Bij de nummering wordt ervoor gezorgd dat twee tegenoverliggende deuren in een vluchtkoker of dwarsverbinding steeds hetzelfde nummer hebben. Dit ten behoeve van de interventie van de brandweer.

Eisen FE. B401-001 tot en met FE. B401-010 zijn schematisch weergegeven in Figuur 1-1 en Figuur 1-2. De eisen aan de interne verlichte pictogrammen boven de deur staan in Hoofdstuk 7 Verkeersborden (B410).



Figuur 1-1: Schematische voorstelling nooduitgang in gesloten toestand met 1600 mm opening



Figuur 1-2: Schematische voorstelling nooduitgang in open toestand met 1600 mm opening

Ter hoogte van de vluchtdeuren en interventiedeuren wordt de afschermende constructie onderbroken volgens de hieronder beschreven voorschriften.

FE. B401-011	Ter hoogte van de vluchtdeuren dient het hoogteverschil tussen de voertuigkoker en vluchtkoker of dwarsverbinding voldoende klein te worden gehouden zodat bij voorkeur aan de richtlijnen voor *Het handboek toegankelijkheid publieke gebouwen* kan worden voldaan. Indien hier niet aan voldaan kan worden, mag de hoogte van een trede in ieder geval niet meer dan 300 mm zijn, en de aantrede (horizontale afstand) niet minder zijn dan 250 mm.

Om te kunnen verzekeren dat de vluchtkoker of dwarsverbindingen voldoende op overdruk kunnen gehouden worden ten opzichte van de voertuigkoker, mogen de lekverliezen over de gesloten nooduitgangen niet te hoog zijn.

FE. B401-012	Het lekverlies van een gesloten nooduitgang bij koude rook moet beperkt zijn. Hiervoor dient voldaan te worden aan het Sa criterium volgens EN 13501-2 getest volgens EN 1634-3.

1.3.2 VLUCHTDEUREN DIE UITGEVEN OP EEN VLUCHTKOKER

De ophanging van een vluchtdeur bevindt zich bij voorkeur aan de zijde waar de verwachte brandlast het kleinste is, en op een locatie die voor onderhoud eenvoudig bereikbaar is. Voor tunnels met een vluchtkoker worden de deuren daarom opgehangen in de vluchtkoker zelf.

FE. B401-013	De ophanging van een vluchtdeur die toegang geeft tot een vluchtkoker bevindt zich in de vluchtkoker.

Verder gelden nog volgende eisen:

FE. B401-014	Aan de zijde van de vluchtkoker dient de vluchtdeur met een losse handgreep geopend te kunnen worden door de hulpdiensten. De handgreep hangt voor elke vluchtdeur ten behoeve van de brandweer net naast de vluchtdeur. De handgrepen hangen op voldoende hoogte, niet in de weg voor vluchtenden en gefixeerd.

FE. B401-015	Aan de zijde van een vluchtkoker worden de deuren als volgt uitgevoerd: - in de kleur grijs volgens RAL 7035; - met een verbodsbord C1 erop met een diameter van 400 mm, met de onderzijde op 1500 mm van de vloer van de vluchtkoker; - de naamgeving van de vluchtdeur ten behoeve van de brandweer met retroreflecterende witte letter op het deurblad zelf met letters met een letterhoogte van 150 mm.

FE. B401-016	In tunnels met een vluchtkoker openen de vluchtdeuren vanuit de voertuigkoker met de ontwerprijrichting mee.

Hierbij is rekening gehouden met het feit dat een meerderheid van de bevolking (88-90%) rechtshandig is.

1.3.3 VLUCHTDEUREN DIE UITGEVEN OP EEN DWARSVERBINDING

In een tunnel met dwarsverbindingen is het niet altijd mogelijk om de ophanging in de dwarsverbinding te plaatsen. Hier dient de keuze van de plaats van de ophanging projectspecifiek gemaakt te worden.

FE. B401-017	Een vluchtdeur die toegang geeft tot een dwarsverbinding is vergrendelbaar vanop afstand en heeft een vaste handgreep aan beide zijden van de deur.

FE. B401-018	Een nooduitgang die toegang biedt tot een dwarsverbinding blijft in normale toestand ontgrendeld. In geval van een calamiteit wordt deze uitsluitend aan de zijde van de ondersteunende koker vergrendeld, totdat de ingestelde tijdsduur is verstreken of totdat de deuren door de verkeerscentrale worden ontgrendeld.

FE. B401-019	De resterende tijd voordat de deuren naar de ondersteunende koker ontgrendeld worden, wordt aangegeven door middel van een aftelklok.

FE. B401-020	De openingskracht van een vergrendelde deur ligt tussen 350N en 410N.

Bij een openingskracht van 350N moet de vluchtdeur gesloten blijven en bij een openingskracht van 410N moet de deur openen. Hierbij wordt rekening gehouden met de ventilatiecondities bij calamiteit.

FE. B401-021	In tunnels met een dwarsverbinding openen de vluchtdeuren vanuit de voertuigkoker met de ontwerprijrichting mee.

1.3.4 VLUCHTDEUREN DIE UITGEVEN OP DE ONDERSTEUNENDE KOKER

Tunnels met standaarduitrusting C geven geen toegang tot een vluchtkoker of dwarsverbinding, maar voorzien een veilige vluchtweg in de ondersteunende koker. Voor dit type tunnels gelden de onderstaande eisen.

FE. B401-022	Vluchtdeuren die uitgeven op de ondersteunende koker hebben een tweezijdige brandweerstandsklasse EI2 60 en EW 120, getest volgens EN 1634-1. Hierbij dient aan beide zijden de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme te worden gehanteerd in plaats van de standaardbrandkromme (ISO 834).

FE. B401-023	Een nooduitgang die toegang geeft tot de andere voertuigkoker heeft een vaste handgreep aan beide zijden van de deur.

FE. B401-024	In tunnels waar de nooduitgang rechtstreeks uitgeeft op de ondersteunende koker, opent de deur in de koker waar de deur ophangt tegen de rijrichting in, en in de andere koker met de rijrichting mee.

Deze keuze is gemaakt om de bediening van de deur in een beperkte ruimte, zoals een deurnis, zo gebruiksvriendelijk mogelijk te maken.

FE. B401-025	In tunnels waar de nooduitgang rechtstreeks uitgeeft op de ondersteunende koker, wordt een sticker voorzien die waarschuwt dat er mogelijk nog verkeer zou kunnen rijden bij het betreden van de ondersteunende koker. Deze sticker dient retroreflecterend en nalichtend te worden uitgevoerd.

Vermits er geen waarschuwingsbord in de ISO 7010 voorzien is voor deze specifieke situatie, wordt voorgesteld Figuur 1-3 volgens de algemene principes van deze standaard te gebruiken.



Figuur 1-3: Waarschuwingsbord mogelijk aanrijdingsgevaar

2 KOPDEUREN (B412)

De uitgang van de vluchtkoker naar de buitenomgeving wordt voorzien van een kopdeur. Via de kopdeur kunnen vluchtende tunnelgebruikers de tunnel verlaten en verder vluchten naar de verzamelplaats. Een kopdeur mag een draaideur zijn en dient naar buiten toe geopend te worden.

FE. B412-001	De doorgang van een kopdeur mag geen obstakel vormen in het vluchtproces en moet ten minste de breedte van de vluchtdeuren tussen voertuigkoker en vluchtkoker hebben.

Om aan bovenstaande eis te voldoen, kan het nodig zijn een evacuatieberekening uit te voeren.

FE. B412-002	Kopdeuren dienen van binnenuit te openen door middel van een paniekssluiting. Aan de buitenkant past de toegang tot de vluchtkoker in het vergrendelingsplan van de tunnel.

FE. B412-003	De binnenkant van een kopdeur dient de kleur groen volgens RAL 6024 te hebben.

FE. B412-004	De brandwerendheid van kopdeuren in de vluchtkoker dient te voldoen aan de brandweerstandsklasse EI60 en EW120. Hierbij dient in plaats van de standaard brandkromme de Hydrocarbonkromme te worden gehanteerd.

FE. B412-005	Een kopdeur dient zelfsluitend te zijn. De benodigde tijd voor het zelfsluiten van een kopdeur dient maximaal 15 seconden te bedragen. Deze eis geldt enkel onder normale condities en niet bij ventilatiecondities onder calamiteit.

FE. B412-006	Aan de buitenzijde van de kopdeur wordt het opschrift "nooddeur vrijhouden" of "nooduitgang" aangebracht.

3 DIENSTDEUREN (B402)

Dit hoofdstuk omvat de eisen aan dienstdeuren, die vanuit de voertuigkoker dienen als directe toegangsdeuren naar een leidingkoker of technisch lokaal. Toegangsdeuren in het dienstgebouw of vanuit de technische koker of vluchtkoker zullen besproken worden in de *Vlaamse Tunnelrichtlijn B300 Gebouwen*.

FE. B402-001	Toepassing van dienstdeuren die uitkomen in de voertuigkoker dient zoveel mogelijk te worden voorkomen.

FE. B402-002	Dienstdeuren die toegang geven tot de voertuigkoker hebben minstens een brandweerstandsklasse EI2 60 en EW 120, getest volgens EN 1634-1. Hierbij dient aan de zijde van de voertuigkoker de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme te worden gehanteerd in plaats van de standaard brandkromme (ISO 834). Aan andere zijde dient de aangehouden brandkromme bepaald te worden in functie van de brandlast.

FE. B402-003	Een dienstdeur dient te zijn voorzien van deurvergrendeling en dient te passen in het algemene vergrendelingsplan voor dienstdeuren in het dienstgebouw.

FE. B402-004	De vrije doorgang van dienstdeuren dient ten minste 900 x 2100 mm te zijn.

FE. B402-005	Een dienstdeur dient zelfsluitend te zijn. De sluitingstijd mag maximaal 15 seconden zijn.

FE. B402-006	Een dienstdeur dient aan beide zijden te worden uitgevoerd in de kleur grijs RAL 7035.

FE. B402-007	Dienstdeuren dienen aan de zijde die toegankelijk is voor weggebruikers te worden voorzien van een afbeelding van verkeersbord C1 met een diameter van 400 mm met de onderkant van de afbeelding op 1500 mm boven de vloer. De deur draait open in de richting van de vluchtroute.

FE. B402-008	Op de dienstdeuren wordt aangegeven welke persoonlijke beschermingsmiddelen verplicht zijn en welke gevaren er zich eventueel achter de deur bevinden, zodat hulpdiensten en onderhoudspersoneel direct geïnformeerd zijn, nog vóór het openen van de deur.

FE. B402-009	Dienstdeuren dienen gemakkelijk te openen te zijn door middel van een neerwaartse beweging van de handgreep. De daartoe noodzakelijke kracht mag niet meer dan 200 N bedragen.

4 VLUCHTROUTES (B403)

De vluchtroute is de verzameling van alle tunnelonderdelen, zoals wanden, deuren, pictogrammen, enzovoort, die samen de route bepalen die vluchtende mensen dienen te volgen om zich zo snel mogelijk in veiligheid te brengen in geval van een calamiteit. De aangegeven weg loopt van de incidentlocatie tot aan de verzamelplaats. Hoewel de overdrukinstallatie en verlichting ook deel uitmaken van de vluchtroute, worden deze uitgewerkt in aparte hoofdstukken, respectievelijk de hoofdstukken '*C300 – Ventilatie'* en '*C200 – Verlichting'* van de Vlaamse Tunnelrichtlijn. Dit onderdeel Vluchtroutes (B403) wordt best samen gelezen met het onderdeel Vluchtkokers (B102) in het hoofdstuk '*B100 – Tunnelkokers'*.[2]

De mogelijke vluchtroutes bij het verlaten van de incidentkoker lopen via:

- een vluchtkoker die via kopdeuren toegang geeft tot de buitenomgeving of;
- een dwarsverbinding tussen twee voertuigkokers die toegang geeft tot de ondersteunende koker of;
- een nooddeur die rechtstreeks toegang geeft tot het vluchtpad aan de linkerzijde van de ondersteunende koker, waarbij de snelheid in de ondersteunende koker niet hoger mag zijn dan 50 km/u (standaarduitrusting C).

4.1 ALGEMEEN

Onderstaande eisen gelden voor elk type vluchtroute.

FE. B403-001	De vluchtweg mag niet doodlopen. Doodlopende gangen of voor onbevoegden verboden gebieden die aansluiten op vluchtwegen dienen te zijn afgesloten.

FE. B403-002	Een vluchtroute moet obstakelvrij zijn. Er dient vermeden te worden dat vluchtende tunnelgebruikers zich aan uitstekende voorwerpen en/of constructie-onderdelen verwonden en daarmee het vluchtproces verstoren of zelfs belemmeren.

FE. B403-003	De vrije doorgangshoogte van de vluchtroute is ten minste 2,1 m.

FE. B403-004	De vluchtroute buiten de tunnel dient op een veilige manier tot een verzamelplaats te leiden. De vluchtroute dient tot de verzamelplaats verhard, egaal en obstakel- en drempelvrij te zijn. Hoogteverschillen dienen te worden overbrugd met hellingen.

Eens een minder mobiele persoon de nooduitgang passeert, staat deze in principe in een veilige ruimte (brandgecompartimenteerd). Toch is het aan te raden er voor te zorgen dat voor het ontwerp van de verdere vluchtweg naar de verzamelplaats ook rekening wordt gehouden met minder mobiele personen.

FE. B403-005	Vloeren, hellingbanen, etc. die deel uitmaken van een vluchtroute dienen voldoende te worden verlicht. De specifieke eisen staan vermeld in de *Vlaamse Tunnelrichtlijn C200 Verlichting*.

FE. B403-006	De vloer van een vluchtweg wordt minimaal gedimensioneerd op volgende nuttige belasting: - verdeelde belasting van 5 kN/m² op de volledige constructie;

[2] Het is mogelijk dat sommige hoofdstukken nog niet beschikbaar zijn.

- puntlast van 1,5 kN op een oppervlakte van 20 cm x 20 cm op de meest nadelige positie.

De doorbuiging wordt beperkt tot L/200.

4.2 VLUCHTKOKER

Onderstaande eisen gelden enkel voor een vluchtroute die via een vluchtkoker loopt.

FE. B403-007	In de voertuigkoker wordt tegenover elke vluchtdeur die uitgeeft op een vluchtkoker een bordje gehangen met 'Exit Overzijde.' De afmetingen van dit bord zijn 600 x 200 mm.



Figuur 4-1: Bord 'Exit Overzijde'

FE. B403-008	De vloer van de vluchtkoker dient gesloten te zijn, uitgevoerd met minimale vrije doorgangsbreedte van 1,2 m, onbrandbaar en stroef.

Deze doorgangsbreedte is een minimum. In functie van het aantal rijvakken en aan de hand van een evacuatieanalyse kan beslist worden om een grotere doorgangsbreedte te voorzien.

FE. B403-009	De vluchtuitgang van een vluchtkoker bestaat aan beide uiteinden uit een kopdeur. Een kopdeur geeft bij voorkeur toegang tot buitenomgeving, maar kan ook een veilige uitgang zijn die via het dienstgebouw loopt.

Andere uitvoeringen kunnen ook toegestaan worden, zolang ze toegang geven tot een veilige omgeving.

FE. B403-010	In de vluchtkoker komt boven de kopdeur een pictogram conform de reddingsborden in bijlage II van het Koninklijk Besluit van 17 juni 1997 betreffende de veiligheids- en gezondheidssignalering op het werk. De grootte van dit bord is minimaal 200 x 200 mm.



Figuur 4-2: Pictogram boven kopdeur

Indien er niet voldoende ruimte is boven de kopdeur om bovenstaand pictogram aan te brengen, mag dit ook op de zijwanden of op de deur zelf aangebracht worden.

FE. B403-011	De scheidende wanden tussen de vluchtkoker en de voertuigkoker, inclusief voegen, nissen, naden en kabeldoorvoeringen, dienen te voldoen aan de brandweerstandsklasse EI 120 onder RWS- of HCM-brandkromme aan de zijde van de voertuigkoker. Aan de zijde van de vluchtkoker mag een ISO 834-brandkromme aangehouden worden.

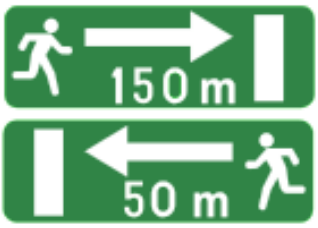
In de vluchtkoker wordt signalisatie voorzien om de vluchtende tunnelgebruikers naar een preferabele vluchtrichting te leiden.

In een tunnel met standaarduitrusting A wordt de rook door het aanwezige ventilatiesysteem in de incidentkoker met de ontwerprijrichting mee geblazen. Om te vermijden dat vluchtende tunnelgebruikers in dezelfde richting vluchten als de rook geblazen wordt, en hierdoor bij het verlaten van de vluchtkoker in de rook terechtkomen, worden zij in de vluchtkoker in tegenovergestelde richting naar buitenomgeving geleid. Vermits beide voertuigkokers een incidentkoker kunnen worden, kan er geen vaste vluchtroute gekozen worden die voor beide scenario's correct is. In een tunnel met standaarduitrusting A dient dus dynamische vluchtwegaanduiding voorzien te worden.

FE. B403-012	In een vluchtkoker in een tunnel met standaarduitrusting A wordt een vluchtrichting aangegeven door dynamische vluchtwegaanduiding, zodat de mensen tegen de richting van de rook in vluchten. De eisen aan de dynamische vluchtwegaanduiding staan beschreven in het hoofdstuk C200 Verlichting van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

In een tunnel met standaarduitrusting B wordt geen ventilatie in de voertuigkoker voorzien. Rook kan zich dus in beide richtingen verspreiden. Om te vermijden dat de vluchtende tunnelgebruikers bij het verlaten van de tunnel in de rook terecht komen, worden rookmuren voorzien. Voor tunnels met standaarduitrusting B wordt in de vluchtkoker passieve vluchtwegaanduiding met behulp van twee borden F52bis voorzien. Deze worden net naast de vluchtdeur geplaatst, waarbij op elk bord de afstand tot het tunnelportaal naar waar het naar wijst wordt aangegeven. Op deze manier zijn de borden meteen zichtbaar voor vluchtende tunnelgebruikers die vanuit de tegenoverliggende vluchtdeur de vluchtkoker bereiken. Deze borden worden op een hoogte van 1 tot 1,5 m boven vloerniveau op de tunnelwanden net naast de vluchtdeur gehangen.

FE. B403-013	In een vluchtkoker in een tunnel met standaarduitrusting B wordt in de vluchtkoker passieve vluchtwegaanduiding voorzien. Naast elke vluchtdeur worden twee borden F52bis geplaatst, waarbij op elk bord de afstand tot het tunnelportaal waar het naar wijst wordt aangegeven. Deze borden worden op een hoogte van 1 tot 1,5 m boven vloerniveau op de tunnelwanden net naast de vluchtdeur gehangen. De grootte van deze borden is 700 x 200 mm.



Figuur 4-3: Pictogram aanduiding vluchtweg F25bis

FE. B403-014	Bij gebruik van ventilatieroosters in de vloer tussen de dienstgang en de vluchtroute in de middenkoker mogen de roosters niet binnen 10 m vanaf de vluchtdeuren geplaatst worden.

In de voertuigkoker worden voor alle tunnels ook verkeersborden voorzien die naar de nooduitgangen wijzen. Deze eisen staan in Hoofdstuk 8 Verkeersborden.

4.3 DWARSVERBINDINGEN

Dwarsverbindingen worden gebruikt om in boortunnels veilig van de incidentkoker naar de ondersteunende koker te gaan en van daaruit naar de buitenomgeving te vluchten. Omdat vluchtende tunnelgebruikers na het passeren van de dwarsverbinding verder vluchten naar de ondersteunende koker, moet worden vermeden dat vluchtende personen en voertuigen zich op dezelfde plaats kunnen bevinden.

Onderstaande eisen gelden enkel voor een vluchtroute die via een dwarsverbinding loopt.

FE. B403-015	In de voertuigkoker wordt tegenover elke vluchtdeur die uitgeeft op een dwarsverbinding dynamische vluchtwegaanduiding voorzien. De eisen aan deze verlichting staan beschreven in het hoofdstuk C200 Verlichting van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

FE. B403-016	In een tunnel met een rij van dwarsverbindingen wordt in beide voertuigkokers een rij van vergrendelbare nooduitgangen voorzien, die toegang geven tot een dwarsverbinding. De maximaal toegestane afstand tussen deze nooduitgangen is 250m.

De oppervlakte van de dwarsverbinding dient voldoende groot te zijn om de vluchtende tunnelgebruikers een veilige en voldoende comfortabele wachtruimte te geven tot het openen van de vluchtdeuren naar de ondersteunende koker.

Het aantal personen dat in beschouwing genomen kan worden en de hoeveelheid ruimte die hiervoor ter beschikking gesteld moet worden, worden als volgt bepaald:

- bepaal de hoeveelheid personen die tijdens het vluchten gebruik zouden maken van de dwarsverbinding. Dit door rekening te houden met de verkeerssamenstelling in de tunnel en de personendichtheid in de file;
- overweeg om twee bussen (50 personen per bus) dicht bij elkaar te zetten en aan te vullen met andere voertuigen;
- voorzie voor het gekozen scenario de nodige oppervlakte. Hiervoor kan gerekend worden met 4 personen/m². Dit is behoorlijk krap op elkaar gepakt, maar aangezien dit al over een scenario gaat met file of twee bussen dicht op elkaar is dit meer dan het gemiddeld verwachte aantal personen.

FE. B403-017	De oppervlakte van de dwarsverbinding is voldoende groot om de vluchtende tunnelgebruikers een veilige en voldoende wachtruimte te geven tot het openen van de vluchtdeuren naar de ondersteunende koker.

FE. B403-018	De vluchtdeuren van een dwarsverbinding worden van een automatische elektromagnetische vergrendeling voorzien. In calamiteitenbedrijf wordt de vluchtdeur naar de ondersteunende koker automatisch vergrendeld tot deze vrij van verkeer is ter hoogte van deze deur. In normaal bedrijf zijn alle deuren ontgrendeld.

FE. B403-019	Wanneer de ondersteunende koker vrij is van verkeer wordt de toegang van de dwarsverbinding tot de ondersteunende koker ontgrendeld.

Eisen FE. B403-017 tot en met FE. B403-019 beschrijven de voorkeursoplossing. Indien het niet mogelijk blijkt om dwarsverbindingen met voldoende opvangcapaciteit te voorzien, kan een combinatie van dwarsverbindingen en een vluchtroute in de ondersteunende koker een alternatief zijn, op voorwaarde dat op die vluchtroute geen voertuigen zijn toegestaan.

FE. B403-020	De dwarsverbindingen worden voorzien van dynamische vluchtwegaanduiding om vluchtrichting aan te geven. De eisen aan deze vluchtwegverlichting zijn uitgewerkt in het hoofdstuk 'C200 Verlichting' van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

FE. B403-021	De dwarsverbindingen worden ter hoogte van elke deur voorzien van een teller. De teller die zich bevindt aan de zijde van de ondersteunende koker toont de tijd die het nog zal duren voordat deze deur ontgrendeld zal worden.

4.4 ONDERSTEUNENDE KOKER ALS VLUCHTWEG

Voor tunnels waarbij de ondersteunende koker als vluchtweg wordt voorzien (standaarduitrusting C), wordt voorrang gegeven aan de signalisatie die de mensen van de incidentkoker naar de nooddeuren leidt. Er wordt bewust geen signalisatie voorzien om de vluchtende tunnelgebruikers vanuit de ondersteunende koker naar de verzamelplaats te leiden, vermits deze verwarring zou kunnen stichten met de signalisatie die naar de vluchtdeuren leidt.

FE. B403-022	In elke voertuigkoker van een tunnel met standaarduitrusting C wordt tegenover elke vluchtdeur die uitgeeft op een vluchtkoker een bordje gehangen met 'Exit Overzijde.' De afmetingen van dit bord zijn 600 x 200 mm.



Figuur 4-4: Bord 'Exit Overzijde'

4.5 VLUCHTROUTE BIJ HET VERLATEN VAN DE TUNNEL EN VERZAMELPLAATS

Eens de vluchtende tunnelgebruiker de tunnel verlaten heeft, dient deze in het verdere vluchtproces naar de verzamelplaats geleid te worden. Dit gebeurt door het gebruik van pictogrammen.

FE. B403-023	Aan het eind van iedere vluchtroute dient een verzamelplaats te worden opgenomen.

FE. B403-024	De verzamelplaats wordt voorzien ter hoogte van het afsluitsysteem of - indien deze er niet is - op minstens 150 m van het tunnelportaal.

Alternatieve locaties voor een verzamelplaats zijn toegestaan, mits kan aangetoond worden dat deze rookvrij is en er geen extra slachtoffers kunnen vallen in geval van een explosie in de tunnel.

FE. B403-025	De vluchtroute buiten de tunnel dient op een veilige manier naar de verzamelplaats te leiden.

FE. B403-026	De looproute die buiten de tunnel naar de verzamelplaats leidt, dient elke 25 m bewegwijzerd te worden door een bord volgens NBN EN ISO 7010, type E007 (verzamelplaats), gecombineerd met een witte pijl op groene achtergrond in de richting van de verzamelplaats.

FE. B403-027	De vluchtroute is verhard, egaal en obstakel- en drempelvrij vanaf de kopdeur tot de uitstapvoorziening. Hoogteverschillen worden overbrugd met hellingen, ook bij de overgang van de vloer van de vluchtkoker naar het deel van de vluchtroute buiten de tunnel.

FE. B403-028	Op de verzamelplaats wordt een bord geplaatst volgens NBN EN ISO 7010, type E007 (verzamelplaats), dat aangeeft dat daar de verzamelplaats is. De minimale afmetingen van dit bord zijn 400 x 400 mm. De onderkant van dit bord wordt geplaatst op minimaal 2.5m van de bodem.



Figuur 4-5: Aanduiding verzamelplaats volgens NBN EN ISO 7010

Een tunnel met **standaarduitrusting A** beschikt over besturing, bewaking, bediening en een afsluitinstallatie. Tijdens een evacuatie wordt het verkeer in beide kokers tot stilstand gebracht. De verzamelplaats mag zich in dit geval op de rijweg ter hoogte van de slagboom van de incidentkoker bevinden en vluchtende tunnelgebruikers mogen zich tussen de stilstaande voertuigen begeven om de verzamelplaats te bereiken.
Het vluchtpad dient bij het verlaten van de tunnel langs weerszijden afgeschermd te worden over een lengte van minstens 80 m. Deze afscherming spoort vluchtende tunnelgebruikers aan om in de lengterichting van de tunnel door te lopen tot zij een afstand bereikt hebben waarbij er geen zware gevolgen meer te verwachten zijn bij een explosie, en dan veilig verder naar de verzamelplaats kunnen lopen. Aan het einde van het afgeschermde vluchtpad worden voorzieningen getroffen die enerzijds de vluchtende tunnelgebruikers in staat stellen de rijweg te bereiken en anderzijds voldoen aan de principes van vergevingsgezinde wegen voor gemotoriseerd verkeer. Dit kan bijvoorbeeld verwezenlijkt worden door een opening met overlappende geleideconstructies of treden in of op de geleideconstructie.

FE. B403-029	Het vluchtpad voor een tunnel met **standaarduitrusting A** dient bij het verlaten van de tunnel langs weerszijden afgeschermd te worden over een lengte van minstens 80 m. Deze afscherming spoort vluchtende tunnelgebruikers aan om in de lengterichting van de tunnel door te lopen naar de verzamelplaats. Aan het einde van het afgeschermde vluchtpad worden voorzieningen getroffen die enerzijds de vluchtende tunnelgebruikers in staat stellen de rijweg te bereiken en anderzijds voldoen aan de principes van vergevingsgezinde wegen voor gemotoriseerd verkeer.

Voor tunnels met **standaarduitrusting B** wordt de vluchtroute die in de tunnel is voorzien buiten de tunnel doorgetrokken tot aan de verzamelplaats. Omdat een tunnel met standaarduitrusting B niet beschikt over een afsluitinstallatie waarmee het verkeer snel genoeg tot stilstand kan worden gebracht, wordt het vluchtpad langs beide zijden afgeschermd tot aan de verzamelplaats op de middenberm.

FE. B403-030	Voor tunnels met **standaarduitrusting B** wordt de vluchtroute die in de tunnel is voorzien buiten de tunnel doorgetrokken tot aan de verzamelplaats. Omdat een tunnel met standaarduitrusting B niet beschikt over een afsluitinstallatie waarmee het verkeer snel

	genoeg tot stilstand kan worden gebracht, wordt het vluchtpad langs beide zijden afgeschermd tot aan de verzamelplaats op de middenberm.

Voor tunnels met **standaarduitrusting C** wordt in beide voertuigkokers 90 cm opstelruimte voorzien voor vluchtende tunnelgebruikers. De maximumsnelheid mag niet groter zijn dan 50 km/u. Bij het verlaten van de tunnel dienen de vluchtende tunnelgebruikers een verzamelplaats te kunnen bereiken. De inrichting hiervan wordt tunnelspecifiek uitgewerkt.

5 BRANDWERENDE BEKLEDING (B404)

5.1 WETTELIJK KADER

Het Koninklijk Besluit van 6 november 2007 betreffende de minimale technische veiligheidsnormen voor tunnels in het trans-Europese wegennet, specificeert in artikel 10 de vereisten voor brandbescherming als volgt:

> *"De hoofdconstructie van alle tunnels waar een plaatselijke instorting van de constructie catastrofale gevolgen kan hebben, bijvoorbeeld afgezonken tunnels of tunnels die de instorting van belangrijke aangrenzende constructies kunnen veroorzaken, voorziet in een voldoende hoog niveau van brandbestendigheid."*

De wetgeving specificeert geen specifieke eisen betreffende brandlast en duur en gaat niet in op de economische afwegingen om al dan niet brandbescherming te voorzien.

5.2 ALGEMEEN

De Vlaamse Tunnelrichtlijn bevat eisen die verder gaan dan de strikt wettelijke bepalingen. De eisen die dit document oplegt aan tunnels zijn grotendeels afgeleid van de *RTD-1001 (Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken)* en de *RTD-1030 (Richtlijn Brandwerende Constructies)*. *Eurocode 1 deel 1-2 Algemene belastingen - belasting bij brand* beschrijft de berekeningsmethodiek voor kunstwerken onder brandbelasting. Een deel van deze Eurocode, met name de tabellen en grafieken, is echter gebaseerd op kennis en gegevens uit proeven met standaardbrandkrommes voor uiteenlopende kunstwerken. De brandomstandigheden in een tunnel kunnen daarvan sterk afwijken, waardoor een constructie zich bij brand ook anders kan gedragen dan bij een standaardbrand. Daarom stelt dit hoofdstuk van de Vlaamse Tunnelrichtlijn, naar analogie met de RTD-1001 en de RTD-1030, aanvullende eisen aan de belasting bij brand. Deze eisen zijn niet letterlijk overgenomen uit de RTD-1001 en de RTD-1030, maar sluiten er inhoudelijk wel bij aan.

Verschillende manieren van brandbescherming kunnen toegepast worden, zoals:

- brandwerende beplating;
- brandwerende spuitmortel;
- overdikte van de betondekking in combinatie met polypropyleenvezels.

In deze paragraaf worden de eisen opgesteld die gelden voor alle mogelijke manieren om de draagconstructie van de tunnel te beschermen, ongeacht de manier van uitvoering. De verschillende vernoemde brandkrommes zijn in meer detail beschreven in Annex A.

FE. B404-001	Voor tunnels geldt dat de brandbescherming in de voertuigkokers moet gedimensioneerd worden op een brand volgens de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme. Voor niet volledig omsloten constructies is de koolwaterstofkromme (Hydrocarbon) van toepassing. Voor de compartimenten waar zich doorgaans geen voertuigen bevinden (technische ruimtes, vluchtkokers, etc) of voertuigkokers met een vrachtwagenverbod, mag gedimensioneerd worden op een standaardbrandkromme (ISO 834). Natuurlijke brandmodellen mogen niet worden gehanteerd, onafhankelijk van de aanwezigheid van een automatisch repressief systeem.

Voor de juiste definitie van het volledig omsloten gedeelte van een tunnel wordt verwezen naar *de Vlaamse Tunnelrichtlijn: Classificatie, ADR-tunnelcategorisering en kritikaliteit.*

FE. B404-002	Brandwerendheid moet zijn getoetst aan tijd én sterkte én temperatuur. De weerstand tegen brand moet minstens 120 minuten gegarandeerd worden.

Beton is een onbrandbaar bouwmateriaal, maar reageert 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°C begint het chemisch gebonden water uit de calcium hydroxide vrij te komen. Tot een temperatuur van ca. 250°C zal het beton in staat zijn om na de brand weer vocht vanuit de omgeving op te nemen en zal het zijn oude structuur en vochtbalans 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. Siliciumhoudende toeslagmaterialen zetten uit en zorgen voor zichtbare schade aan het beton door middel van scheurvorming.

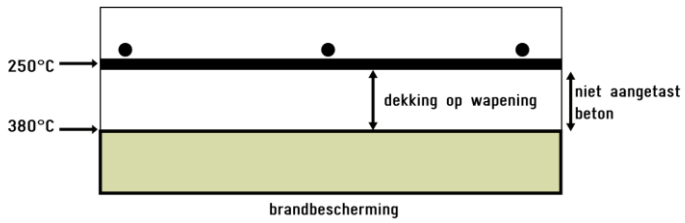
De navolgende eisen zijn erop gericht dat de constructie na een grote brand relatief snel weer opengesteld kan worden voor verkeer en dat de inspanning benodigd voor reparatie na de brand tot een minimum beperkt blijft.

Er zijn andere temperatuureisen gesteld aan het beton en het wapeningsstaal in tunnels onder open water die geen boortunnels zijn. De reden hiervoor is dat de bovenste hoeken van onderwatertunnels die geen boortunnels zijn als een inklemming zijn uitgevoerd en dat dit tot scheurvorming aan de buitenzijde van deze inklemmingen zou kunnen leiden bij brand[3]. Dit is een type van schade - in tegenstelling tot schade aan de binnenkant van de tunnel - die niet eenvoudig te repareren is. De verschillende eisen worden hieronder toegelicht.

FE. B404-003 De functionele eisen, gesteld aan brandwerendheid van onderwatertunnels die geen boortunnels zijn, zijn:

- maximale temperatuur beton:
  - het beton aan de onderzijde van het gehele dak en de bovenste meter van de wanden mag geen hogere temperatuur bereiken dan 380 °C;
  - voor de delen van de wanden, die permanent in de betondrukzone liggen - met uitzondering van de bovenste meter - moet in de berekeningen de doorsnede worden verminderd met het gedeelte van het beton dat een hogere temperatuur dan 380 °C bereikt;
- maximale temperatuur van de wapening: 250°C;
  - voor koud vervormd voorspanstaal geldt een eis van 150 °C;
  - voor veredeld voorspanstaal geldt een eis van 75 °C;
- maximale afspat diepte: geen afspatten toegestaan.

Deze eisen worden in Figuur 5-1 schematisch weergegeven.



Figuur 5-1: Schematische voorstelling eisen aan brandwerendheid aan het plafond van onderwatertunnels

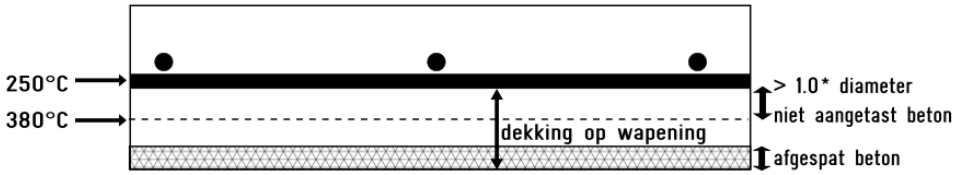
Van bovenstaande eis mag afgeweken worden als rekentechnisch kan aangetoond worden dat de vervormingen van de tunnel bij een 2u durende RWS of HCM brand niet zal leiden tot onherstelbare schade aan de buitenzijde

[3] Breunese, A.J., Both, C., Scholten, G. R. (2009). 2009-Efectis-R0358: Investigation of concrete cracking due to fire in scaled immersed tunnel elements: analysis of test results. Efectis

van de tunnel die de levensduur van de tunnel zal verkorten. In dit geval dient aan eis FE. B404-004 te worden voldaan.

FE. B404-004	De functionele eisen gesteld aan brandwerendheid van tunnels die niet onder open water liggen en ook geen boortunnel zonder constructieve wapening zijn, zijn:
	- maximale temperatuur van het beton:
	  - het beton aan de binnenzijde van een buigtrekzone op een afstand van één keer de diameter van de constructieve wapening tot de wapening mag geen hogere temperatuur bereiken dan 380 °C;
	  - in de berekeningen van de betondrukzone moet de doorsnede worden verminderd met het gedeelte van het beton dat een hogere temperatuur dan 380 °C bereikt;
	- maximale temperatuur van de wapening: 250 °C;
	  - voor koud vervormd voorspanstaal geldt een eis van 150 °C;
	  - Voor veredeld voorspanstaal geldt een eis van 75 °C;
	- maximale afspatdiepte: deze is minder dan 35 mm voor 95% van het oppervlak.

Deze eisen worden in Figuur 5-2 schematisch weergegeven.



Figuur 5-2: Schematische voorstelling eisen aan brandwerendheid aan het plafond van tunnels die niet onder water liggen en boortunnels met constructieve wapening

FE. B404-005	Voor boortunnels met een permanente betondrukzone en zonder constructieve wapening geldt de volgende temperatuurseis: - in de berekeningen moet de constructiehoogte worden verminderd met het gedeelte van het beton dat een hogere temperatuur dan 380 °C bereikt.

FE. B404-006	Bij de toepassing van blijvende stalen damwanden moet aangetoond worden dat na het optreden van de brand, volgens de voorgeschreven brandkromme, de constructie constructief veilig blijft en als geheel repareerbaar is. Voor stalen damwanden wordt aan deze eis geacht te zijn voldaan als is aangetoond, rekenkundig of met behulp van proeven, dat de temperatuur in de damwand lager dan 250 °C blijft. Indien aangetoond wordt dat de blijvende extra vervormingen als gevolg van temperatuurverhogingen geen nadelige invloed hebben op het esthetisch aanzicht (onder andere vlakheid), de bruikbaarheid en de veiligheid van de constructie en de omgeving na de brand, dan is een maximale temperatuur van 400 °C toelaatbaar. Een eventueel koelend effect van grondwater achter de damwand mag niet in rekening gebracht worden, tenzij dit open water betreft.

FE. B404-007	Bij de toepassing van rubber afdichtingsprofielen moet aangetoond worden dat na het optreden van de brand, volgens de voorgeschreven brandkromme, de constructie water- en gronddicht blijft en als geheel repareerbaar is. Voor rubber afdichtingsprofielen wordt aan

	deze eis geacht te zijn voldaan als is aangetoond, rekenkundig of met behulp van proeven, dat de temperatuur in het rubber afdichtingsprofiel lager dan 80 °C blijft.

Eisen B404-003 tot en met B404-007 zijn samengevat in Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Maximaal toegestane temperatuur bij verschillende materialen

Materiaal	Maximaal geaccepteerde temperatuur bij brand
Beton	380°C
Damwandstaal (met blijvende vervorming)	400°C
Damwandstaal (zonder blijvende vervorming)	250°C
Wapeningsstaal	250°C
koud vervormd voorspanstaal	150°C
Veredeld, gehard of ontlaten voorspanstaal	75°C
Waterkerende profielen van rubber	80°C

FE. B404-008	Voor constructiedelen die de constructieve integriteit waarborgen en waarvan de werking verloren kan gaan bij temperatuurbelasting, zoals stempels in toeritten (knik, pons, etc.) of beton in druk waarvan de temperatuur hoger kan oplopen dan 380°C, is het noodzakelijk om de gevolgen van brand op de constructie in rekening te brengen. De temperatuurindringing in de constructie moet als volgt worden bepaald: - door het uitvoeren van brandproeven, of - door middel van met behulp van daadwerkelijke brandproeven gevalideerde software.

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 krachtwerking 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. Voor het inschatten van het risico op afspatten van beton zijn er geen voorspellende rekenmethodieken voorhanden en het borgen van het vermijden of beperken van dit afspatten dient dus altijd door middel van voldoende representatieve brandproeven te worden aangetoond.

FE. B404-009	Voor het fenomeen afspatten van beton zijn er geen voorspellende rekenmethodieken. Het bestand zijn van een betonconstructie tegen afspatten moet worden aangetoond met een brandproef die niet ouder is dan 3 jaar bij vaststelling van het definitief ontwerp.

Gangbare methodes om aan de eisen voor brandwerendheid te voldoen zijn het vergroten van de betondekking op de wapening, het toevoegen van polypropyleenvezels (PP-vezels) aan het beton of het beschermen van het beton door een laag hittewerende bekleding. Door het uitvoeren van brandproeven moet de gevoeligheid tegen

afspatten onder gebruiksomstandigheden worden aangetoond. Daarnaast moet het bouwproces voldoende beheerst plaatsvinden om te borgen dat de mengselsamenstelling in de tijd niet significant verandert.

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 beschreven methoden zijn gestoeld op verschillende Nederlandse richtlijnen, waaronder de RTD-1001 v2.0 (Richtlijn Ontwerp Kunstwerken), de Efectis-R0695_2020 Fire testing procedure for concrete tunnel linings and other tunnel components en het RTD-1030[4] (Rijkswaterstaat Technisch Document) 1030 Richtlijn Brandwerende Constructies, RWS, 29 juni 2021.

FE. B404-010	Het correct functioneren van beschermende lagen (hittewerende bekleding) moet aangetoond zijn met een beproeving conform *Efectis-R0695:2020 Fire testing procedure for concrete tunnel linings.* 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. Het beton in de test set-up dient representatief te zijn voor het beton gebruikt in de tunnel of het tunneldeel waarvoor het afspatten wordt getest. De resultaten van de afspattingstest zijn enkel bruikbaar voor het geteste betonmengsel en mogen niet voor andere mengsels gebruikt worden.

Indien er ankers worden voorzien met een diameter van meer dan 8 mm, worden deze best meteen mee getest aangezien ze door hun goede geleidbaarheid lokaal de temperatuur in het beton sterk zullen verhogen en ongewenste lokale effecten kunnen veroorzaken.

De resultaten van de afspattingstest volgens B404-010 kunnen ook gebruikt worden om de temperatuurcriteria van eisen B404-003 tot B404-007 te evalueren.

FE. B404-011	Bijzondere aandacht dient besteed te worden aan doorvoeringen, voegen en de plaatsing van hulpposten. Hiervoor worden hoofdstukken 6.3 (doorvoeringen), 6.5 (joints) en 6.6 (hulppostkasten) uit *Efectis-R0695:2020 Fire testing procedure for concrete tunnel linings and other tunnel components* als richtlijn gebruikt.

Om het toekomstig onderhoud te vergemakkelijken, dient aan volgende eisen voldaan te worden:

FE. B404-012	Het oppervlak van brandwerende wandbekleding leent zich tot eenvoudige reinigingsmethoden die het oppervlak niet aantasten. De wandbekleding dient bestand te zijn tegen agressieve reinigingsmiddelen en de mechanische werking van ruwe borstels.

FE. B404-013	De keuze van het type brandwerende bescherming en van de afwerking van deze bescherming heeft een grote invloed op de verlichtingsstudie, alsook op de slijtage en vervuiling. Hier dient rekening mee gehouden te worden in het ontwerp.

[4] De 'eenvoudige methode' beschreven in de RTD-1030 wordt niet in de Vlaamse Tunnelrichtlijn overgenomen, daar het beperken van de temperatuur van het beton tot 100°C weliswaar zeker tot een veilig ontwerp zal leiden, maar tot een zeer conservatief zwaar overgedimensioneerd ontwerp zal leiden. Deze methode mag toegepast worden, maar wordt hier niet in detail beschreven.

5.3 BRANDWERENDE BEPLATING

De eisen die in deze specifieke paragraaf zijn opgesteld, gelden voor bekleding die gebruik maakt van brandwerende beplating die ofwel rechtstreeks tegen een (betonnen) wand of plafond wordt geplaatst of als brandwerende beplating op een zelfdragend systeem wordt uitgevoerd.

Aangezien wegtunnels quasi altijd worden gebouwd op wegen met economisch belang en het eventueel vervangen van de beplating daardoor grote impact heeft, wordt voor de toe te passen materialen een hoge minimale levensduur (30 jaar) geëist. Deze levensduur moet worden gerealiseerd binnen de omgevingscondities (temperatuur, vochtigheid, strooizout, stof e.d.) van het gangbare tunnelklimaat.

Hoewel voor het ophangframe in eerste instantie uitvoering in roestvast staal (RVS) is gewenst, blijkt uit de praktijk dat de gegalvaniseerde stalen uitvoering ook aan de levensduureisen voldoen. Gelet op het kostenvoordeel dat hierbij ontstaat, is voor het ophangframe daarom minimaal een gegalvaniseerd stalen uitvoering vereist. De bevestigingsmiddelen worden wel in RVS uitgevoerd. Daarbij is aandacht vereist om het ontstaan van contactcorrosie te voorkomen.

FE. B404-014	De draagstructuur van een brandwerende voorzetwand of verlaagd plafond bestaat uit gegalvaniseerd staal of RVS. De bevestigingsmiddelen dienen in RVS AISI 316 te worden uitgevoerd. De nodige maatregelen om contactcorrosie te voorkomen worden genomen.

Het systeem van de wandbeplating wordt, naast het eigen gewicht van de beplating en de draagstructuur, ook belast door stuwdruk en zuiging van het voorbijrijdende verkeer. Door de snelheid waarmee verkeer langs de platen rijdt, zal hierdoor stuwdruk en zuiging optreden op de plaat.

FE. B404-015	De totale wandbekleding van een brandwerende voorzetwand of verlaagd plafond (draagstructuur + bekleding + bevestigingen) moet weerstaan aan de dynamische belasting van het verkeer gedurende de levensduur van de voorzetwand. Hiervoor dient een rekennota en testrapport voorgelegd te worden.

Indien een tunnel een pechstrook bevat, mag een conservatieve waarde van wisselende belastingen tussen +2 kPa en -2 kPa gedurende 20.000 cycli aangehouden worden.

Wat betreft reflectie en glans, dient aan volgende voorwaarden voldaan te worden:

FE. B404-016	Brandwerende beplating die gebruikt wordt ter bescherming van een wand in de voertuigkoker dient gedurende de levensduur een reflectiecoëfficiënt hoger dan 0,6 te hebben, goed reinigbaar te zijn, machinaal afwasbaar met roterende borstels en niet spiegelend.

5.4 BRANDWERENDE SPUITMORTEL

Aangezien wegtunnels quasi altijd worden gebouwd op wegen met economisch belang en het eventueel vervangen van de bespuiting daardoor grote impact heeft, wordt voor de toe te passen materialen een hoge minimale levensduur (30 jaar) geëist. Deze levensduur moet worden gerealiseerd binnen de omgevingscondities (temperatuur, vochtigheid, strooizout, stof e.d.) van het gangbare tunnelklimaat.

Indien brandwerende spuitmortel gebruikt wordt, dient voldoende aandacht besteed te worden aan de toleranties op dikte en hechting op het beton.

FE. B404-017	De dikte van brandwerende spuitmortel dient minstens volgens een raster met afmetingen 3 x 3 m gemeten te worden. De toegestane afwijking op de minimale vereiste dikte is 0 tot

	+5 mm. Zones waar de dikte minder is dan de minimale vereiste dikte dienen geïdentificeerd te worden en op deze locaties dient extra materiaal aangebracht te worden.

FE. B404-018	Indien de plafondbekleding in brandwerende spuitmortel wordt uitgevoerd, dient deze te zijn voorzien van een RVS net ter verankering. Dit net wordt door middel van RVS bevestigingsmiddelen bevestigd aan de hoofddraagconstructie.

Dit betekent niet dat er geen aandacht besteed moet worden aan de aanhechting van de nieuwe gespoten hittewerende bekleding. Het mechanische verankeringssysteem dient als vangnet, voor als lokaal de aanhechting onvoldoende is of in de loop der tijd achteruit zou gaan.

FE. B404-019	De hechting van de spuitmortel op het beton moet voldoen aan een zuigkracht tegenover rijdende vrachtwagens. Weerstand tegen druk-zuig belasting dient +/- 60 dagen na aanbrengen van de mortel aangetoond te worden door middel van een statische trekproef uitgevoerd door een onafhankelijk controleorganisme 0,15 N/mm².

FE. B404-020	De hechting van de brandwerende spuitmortel op beton wordt getest volgens de norm *ASTM E736 Standard Test Method for Cohesion/Adhesion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members* of volgens *NBN B14-210 Proeven op buiten- en binnenpleisters – Hechtsterkte door trekproef (in situ)*.

Er dienen voldoende hechtingstesten gedaan te worden per tunnel. Indien verschillende betonmengsels en/of oppervlakte ruwheid in één tunnel voorkomen - bijvoorbeeld wanneer een deel van de tunnel cut-and-cover en een deel verzonken is - worden per specifiek mengsel of oppervlakteruwheid voldoende hechtingstesten uitgevoerd.

Andere aandachtspunten voor het gebruik van brandwerende spuitmortel zijn:

- voor de bevestiging van de tunneltechnische installaties geldt dat deze niet mogen afsteunen op brandwerende spuitmortel. Er is onvoldoende garantie op de toe te laten druksterkte voor de gespoten bekleding;
- ankers voor de TTI dienen bepaald te worden op het aanbrengen in de hoofddraagconstructie. Het toekennen van ophangcapaciteit aan de plafondbekleding is niet toegestaan. Er is onvoldoende garantie op de toe te laten sterkte-eigenschappen voor de gespoten bekleding;
- voor bevestigingsmiddelen van tunneltechnische installaties met een diameter kleiner dan 8 mm geldt dat zij een verwaarloosbaar effect op de brandwerende eigenschappen van de plafondbekleding hebben. Bij toepassing van grotere diameters dient een aanvullende voorziening te worden getroffen om de aantasting van de brandwerende eigenschappen van de brandwerende bespuiting te herstellen;
- bij het aanbrengen van spuitmortel als wandbekleding worden niet dezelfde eisen gesteld aan reflectie en afwasbaarheid als voor beplating. Hier dient rekening mee gehouden te worden bij de lichtstudie.

5.5 BESCHERMING DOOR COMBINATIE VAN EXTRA BETONDEKKING EN POLYPROPYLEENVEZELS

De combinatie van extra betondekking en polypropyleenvezels (PP-vezels) is toegestaan, maar vereist bijzondere aandacht voor de kwaliteitscontrole tijdens de uitvoering. Afspatten kan worden beperkt door vezels in het betonmengsel op te nemen, op voorwaarde dat hun uniforme verdeling tijdens het mengen en storten gegarandeerd is. Indien de uitvoering onvoldoende kwaliteitsgaranties biedt, is de conformiteit van de betonbescherming achteraf moeilijk aan te tonen. Daarnaast moeten ook voegconstructies voldoende

brandwerend worden uitgevoerd. Dit kan plaatselijk gebeuren met brandwerende spuitmortel of beplating. PP-vezels kunnen afspatten tegengaan, maar verhogen de isolatiewaarde van het beton niet. Daarom moet nog steeds worden nagegaan of de maximaal toegelaten temperaturen worden overschreden en of aanvullende maatregelen nodig zijn.

Het bepalen van de juiste dosering van de PP-vezels is een moeilijke evenwichtsoefening. Een te hoge dosering maakt het lastig het betonmengsel door de dichte wapeningsnetten heen te krijgen. Een te lichte dosering biedt te weinig bescherming. *Eurocode 2* geeft als richtwaarde 2 kg/m³ aan. De optimale dosering dient bepaald te worden door middel van een combinatie van verwerkbaarheidstesten en brandproeven om het risico op afspatten uit te sluiten.

De uniforme verdeling van de vezels in het beton dient aangetoond te worden door op verschillende plaatsen in de tunnel boorkernen te nemen. Vanuit deze boorkernen kan het gehalte aan PP-vezels bepaald worden door middel van mechanische of fysische extractie (oplossen van de cementmatrix), thermogravimetrische analyse (TGA) of microscopische beeldanalyse.

FE. B404-021	De optimale dosering van polypropyleenvezels dient bepaald te worden door middel van een combinatie van verwerkbaarheidstesten en brandproeven om het risico op afspatten uit te sluiten of voldoende te beperken.

FE. B404-022	De uniforme verdeling van de polypropyleenvezels in het uitgehard beton in de tunnel dient aangetoond te worden door op verschillende plaatsen in de tunnel boorkernen te nemen. Vanuit deze boorkernen kan het gehalte aan PP-vezels bepaald worden door middel van mechanische of fysische extractie (oplossen van de cementmatrix), thermogravimetrische analyse (TGA), microscopische beeldanalyse of de smelt-/verbrandingsanalyse.

6 AFSCHERMENDE CONSTRUCTIES (B407)

Dit hoofdstuk omvat de eisen aan afschermende constructies in en rond tunnels, die de volgende zaken omvatten:

- de afschermende constructies in de tunnel;
- de openingen ter hoogte van vluchtdeuren;
- de beginconstructies;
- de overgangconstructies;
- de calamiteitendoorsteken.

De eisen aan de calamiteitendoorsteken worden behandeld in het deel 'C406 Calamiteitendoorsteken' in het hoofdstuk 'C400 – Verkeer'[5] van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

6.1 AFSCHERMENDE CONSTRUCTIE IN DE TUNNEL

De afschermende constructie in een tunnel heeft als doel om de verwachte gevolgen door een aanrijding te beperken door - in volgorde van belangrijkheid:

- het aanrijdend voertuig zo beheerst mogelijk terug te geleiden naar de rijbaan. Hierdoor worden zowel de inzittenden als overige weggebruikers beter beschermd;
- het beperken van de schok voor de inzittenden van een aanrijdend voertuig;
- de tunnelwand of andere structuren achter de afschermende constructie te beschermen tegen schade.

Hiervoor dient aan volgende eisen voldaan te worden:

FE. B407-001	De minimum klasse voor het kerend vermogen van de afschermende constructie is H2. De schokindex mag maximaal klasse B zijn.

Om de breedte, en dus ook de bouwkost, van een verkeerstunnel te beperken, wordt doorgaans gekozen voor een afschermende constructie met een zo beperkt mogelijke werkingsbreedte. Bovendien gaat in een tunnel de voorkeur naar afschermende constructies die als onderhoudsvriendelijk kunnen gezien worden (constructies die niet na elke aanrijding herstelling nodig hebben). Deze eigenschappen vindt men terug bij betonnen afschermende constructies.

FE. B407-002	Obstakels moeten buiten de werkingsbreedte van de afschermende constructie staan. Om de afschermende constructie direct tegen een obstakel te mogen plaatsen, moet ze een dynamische deflectie van 0,0 m hebben.

De eis van dynamische deflectie 0,0 m houdt in dat de afschermende constructie niet mag achteruitwijken bij aanrijding waardoor de werkingsbreedte gelijk is aan de breedte van de afschermende constructie zelf.

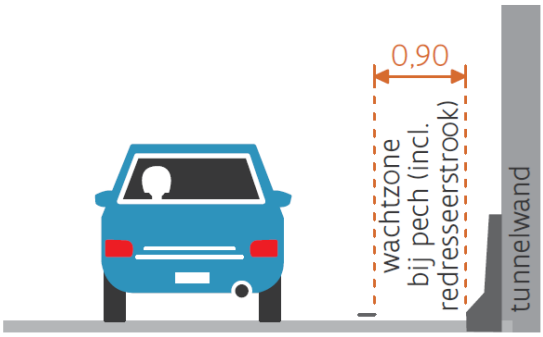
Ter hoogte van de vluchtdeuren en interventiedeuren wordt de afschermende constructie onderbroken volgens de hieronder beschreven voorschriften.

FE. B407-003	Ter hoogte van de vluchtdeuren dient de afschermende constructie onderbroken te worden. Indien het hoogteverschil tussen de voertuigkoker en vluchtkoker of dwarsverbinding voldoende klein is zodat aan de richtlijnen voor *Het handboek toegankelijkheid publieke gebouwen* kan worden voldaan, wordt een onderbreking voorzien over een lengte van 900 mm. Indien er een grotere opstap voorzien dient te worden, dient

[5] Op het moment van schrijven was dit hoofdstuk nog niet beschikbaar.

	de afschermende constructie onderbroken te worden over een lengte van 1600 mm, zodat niet-zelfredzame mensen geholpen kunnen worden door omstaanders.

De afschermende constructie dient in standaardsituaties tegen de tunnelwand aangebracht te worden conform het *VWI: deel Europese hoofdwegen*. De meest plaatsbesparende oplossing maakt gebruik van het profiel van een 'halve' betonnen afschermende constructie tegen de wand.



Figuur 6-1: Voorbeeld van gebruik van 'halve' betonnen afschermende constructie tegen de wand

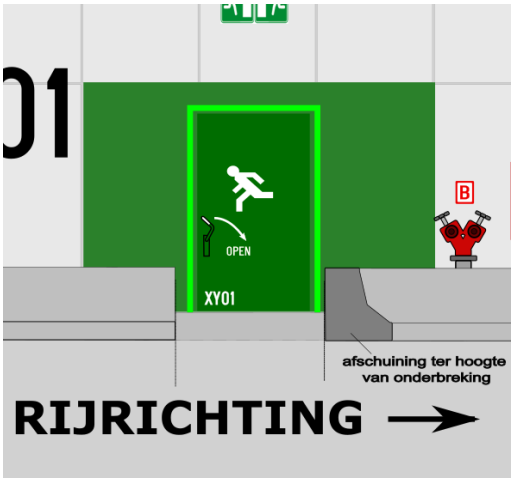
De voorkeur gaat naar een CE-gecertificeerde afschermende constructie die succesvol gecrashtest werd bij plaatsing tegen een wand. Wanneer de plaatsing van een succesvol getest systeem omwille van technische redenen niet haalbaar is, wordt toegelaten om gebruik te maken van het voorprofiel van een BENOR-gecertificeerde, ter plaatse gestorte afschermende constructie met dynamische deflectie van 0,0 m.

De ruimte boven de gehele breedte van een afschermende constructie wordt gebruikt om voertuigen te laten overhellen bij een aanrijding. Hier moet rekening mee gehouden worden bij de plaatsing van tunneltechnische installaties, borden en brandwerende bekleding.

Bij een aanrijding van de afschermende constructie die direct tegen de tunnelwand wordt geplaatst, dient vermeden te worden dat een voertuig haaks tegen de onderbreking botst.

FE. B407-004	Ter hoogte van de onderbreking van de afschermende constructie direct tegen de tunnelwand aan de vluchtdeur wordt in de rijrichting mee een afschuining richting de tunnelwand voorzien ten behoeve van de beperking van de gevolgen bij aanrijding door voertuigen.

Dit wordt uitzonderlijk toegelaten omdat een geteste beginconstructie niet mogelijk is op deze locaties. Bovenstaande eisen worden geïllustreerd in Figuur 6-2.



Figuur 6-2: Afschuining onderbreking van de afschermende constructie ter hoogte van nooduitgang

6.2 AFSCHERMENDE CONSTRUCTIE BIJ HET VERLATEN VAN DE TUNNEL TOT AAN DE VERZAMELPLAATS

6.2.1 AFSCHERMING TUNNELPORTALEN

Naast de afscherming van de tunnelwand dienen ook de tunnelportalen beschermd te worden tegen aanrijdingen. De afschermende constructie in de tunnel wordt hiervoor via een overgangsconstructie verbonden met de afschermende constructie vóór de tunnel. Overgangsconstructies voldoen aan de eisen uit het Standaardbestek 250, hoofdstuk 18-2.2.4.

Indien de afschermende constructie geen tunnelwand of verhoogd pad nodig heeft om te functioneren, dan kan deze afschermende constructie eenvoudig doorlopen tot op voldoende afstand voor en na de tunnel. Wanneer voor of na de tunnel een ander type afschermende constructie noodzakelijk is dan in de tunnel zelf, dan worden de afschermende constructies verbonden via een overgangsconstructie. Het principe van een overlapping kan afhankelijk van de situatie ook toegepast worden. Deze basisprincipes zijn uitgewerkt in het *Vademecum vergevingsgezinde wegen, deel gemotoriseerd verkeer.*

Indien een halve betonnen afschermende constructie tegen de tunnelwand wordt geplaatst, heeft deze de tunnelwand nodig om te functioneren. De wand zorgt mee voor een star geheel. Bij het verdwijnen van de tunnelwand moet de afschermende constructie in de tunnel onmiddellijk via een overgangsconstructie verbonden worden met de afschermende constructies voor en na de tunnel.

6.2.2 VLUCHTPADEN EN VERZAMELPLAATSEN BIJ HET VERLATEN VAN DE TUNNEL

FE. B407-005	De afschermende constructies die vluchtende tunnelgebruikers leiden van de tunnelmond naar de verzamelplaats hebben een minimale klasse van kerend vermogen H2. De schokindex mag maximaal klasse B zijn. De maximaal toegelaten werkingsbreedte wordt zodanig gekozen dat na een aanrijding van een van de constructies steeds een vrije breedte van minstens 1,20 m voor het vluchtpad beschikbaar blijft.

Een hoger niveau van kerend vermogen kan ook gewenst zijn. Bijvoorbeeld:

- men wil de tunnelmond beschermen tegen aanrijding met vrachtwagens;
- er zijn obstakels met hoge risico's aanwezig voor of na de tunnel (bv. seinbrug);
- de middenberm buiten de tunnel is uitgerust met een afschermende constructie met H4b kerend vermogen.

7 VERHARDINGEN (B406), WEGMARKERINGEN (B408) EN DIENSTPADEN (B409)

Tunnelspecifieke eisen aan de verharding en wegmarkering zijn terug te vinden in het hoofdstuk *'B500 & C350 Vloeistofopvang en -afvoer'* van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

Dienstpaden in de voertuigkoker zijn niet verplicht in tunnels.

8 VERKEERSBORDEN (B410)

De eisen gesteld aan verkeersborden in en in de buurt van een tunnel zijn wettelijk voorgeschreven in het Koninklijk Besluit van 6 november 2007 betreffende de minimale technische veiligheidsnormen voor tunnels in het trans-Europese wegennet. De borden voldoen aan het Koninklijk Besluit van 1 december 1975 houdende algemeen reglement op de politie van het wegverkeer en van het gebruik van de openbare weg. Daarnaast kunnen ook andere verkeersborden in de tunnel toegepast worden. Bij bepaalde voorzieningen worden soms pictogrammen of borden gebruikt. Deze worden in die specifieke hoofdstukken besproken. Voor de plaatsingsvoorwaarden en afmetingen wordt verwezen naar het Ministerieel Besluit van 11 oktober 1976 houdende de minimumafmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens.

FE. B410-001	Om aan te geven dat er een tunnel aankomt die langer is dan 500 m wordt verkeersbord F8 aan de ingang van de tunnel geplaatst. De lengte wordt vermeld in het onderste deel van het paneel of op een extra paneel. Voor tunnels met een lengte van meer dan 3000 m wordt de resterende lengte van de tunnel om de 1000 m aangegeven. De naam van de tunnel kan optioneel ook worden weergegeven.



Figuur 8-1: Verkeersbord F8

FE. B410-002	Boven de hulpposten worden informatieve borden (F56 en F62) geplaatst, die aangeven dat op die locaties brandblusmiddelen en een noodtelefoon te vinden zijn. De borden, beide met afmetingen 300 x 450 mm, worden op een opbouw draagconstructie geplaatst. De F56 (brandblusser) komt boven de F62 (noodtelefoon). De borden zijn nalichtend/fotoluminescerend met een minimale fotoluminescentiedichtheid van 30 mcd/m² na 60 minuten op basis van volledige oplading. De borden worden zo dicht mogelijk boven de hulppost geplaatst, waarbij de onderzijde van het onderste pictogram minstens op een hoogte van 2 m boven het wegdek uitkomt voor een goede zichtbaarheid boven personenwagens.

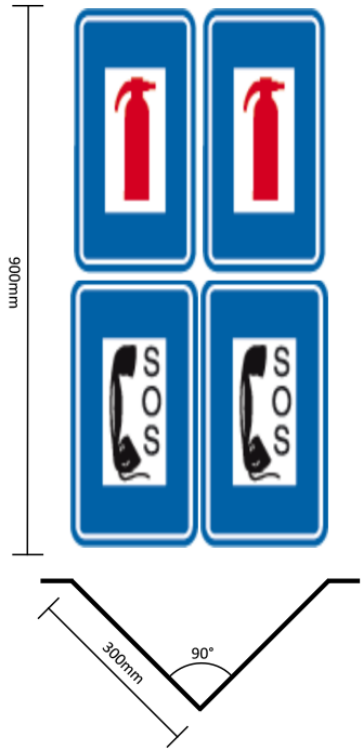


Figuur 8-2: Verkeersbord F56



Figuur 8-3: Verkeersbord F62

De opbouw van de draagconstructie voor de F56 en F62 wordt weergegeven in Figuur 8-4.



Figuur 8-4: Opbouw draagconstructie voor gecombineerde signalisatie F56 en F62

FE. B410-003	De vluchtroute wordt aangegeven door nalichtende borden F52b. Deze verkeersborden worden per twee aan beide zijden van de weg geplaatst op de tunnelwanden, met tussenafstanden van maximaal 25 meter en op een hoogte van 1 tot 1,5 m boven het wegdek. Ze vermelden de afstanden tot aan de dichtstbijzijnde nooduitgangen. Deze nalichtende borden hebben een minimale fotoluminescentiedichtheid van 30 mcd/m² na 60 minuten op basis van volledige oplading. De grootte van deze borden is 700 x 200 mm.



Figuur 8-5: Verkeersbord F52b

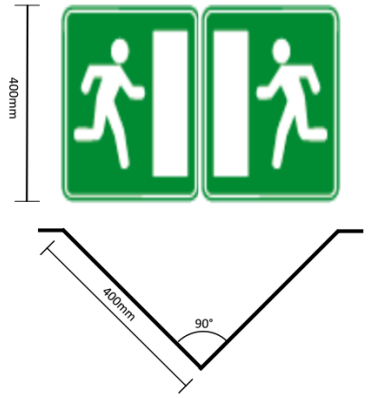
Voor vluchtroute-indicatie boven nooduitgangen gelden de volgende eisen:

FE. B410-004	Boven de nooduitgangen wordt een inwendig verlicht pictogram voorzien conform pictogram F52. Deze pictogrammen worden in een V-vormige opstelling geplaatst en worden uitgevoerd als opbouwarmaturen:

	- signaalgroen RAL 6024; - vluchtpictogram: F52; - de afmetingen van het vluchtpictogram zijn 400 x 400mm. De pictogrammen dienen op een hoogte van 3,20 m ten opzichte van het wegdek te worden aangebracht (gemeten van bovenkant wegdek tot onderzijde pictogram).



Figuur 8-6: Verkeersbord F52



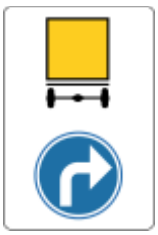
Figuur 8-7: Opbouw armatuur voor signalisatie nooduitgangen (F52).

FE. B410-005	Het verbieden van de toegang voor bestuurders van voertuigen die de gevaarlijke goederen, bepaald door de voor vervoer van gevaarlijke goederen bevoegde Ministers, vervoeren door een tunnel wordt aangegeven door verkeersbord C24a met het gepaste onderbord.



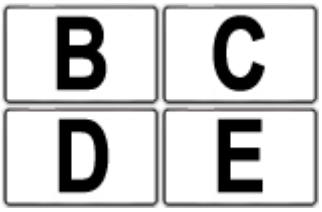
Figuur 8-8: Verkeersbord C24a voor aangeven van ADR verbod

FE. B410-006	De omleidingsroute voor voertuigen die gevaarlijke goederen vervoeren waarvoor de toegang tot wegtunnels van categorie B, C, D of E verboden is, wordt aangegeven door verkeersbord D4 met het gepaste onderbord. De plaatsgesteldheid bepaalt de stand van de pijl.



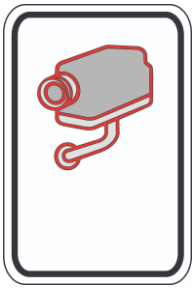
Figuur 8-9: Verkeersbord D4 voor de omleiding van vervoer van gevaarlijke goederen die niet door de tunnel mogen.

Een onderbord met vermelding van de letter B, C, D of E duidt aan dat het verbod geldt voor alle voertuigen die gevaarlijke goederen vervoeren waarvoor de toegang tot wegtunnels van respectievelijk categorie B, C, D of E verboden is, zoals deze categorieën voorzien zijn in artikel 1.9.5.2 van bijlage A van het Europees verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg (ADR), ondertekend te Genève op 30 september 1957. De onderborden bij de verkeersborden C24a en D4 dragen de letters B, C, D of E in zwart opschrift op een witte ondergrond en zien eruit als in Figuur 8-10.



Figuur 8-10: Onderborden voor verkeersborden C24a en D4.

Indien camera’s in de voertuigkoker en vluchtkoker enkel gebruikt worden in het kader van de verkeers- en tunnelveiligheid om de noodzakelijk veiligheidsmaatregelen te kunnen nemen, dient de aanwezigheid van deze camera's niet aan de hand van borden kenbaar gemaakt te worden. Indien het doel van de camera's is om misdrijven vast te stellen is de camerawet van toepassing. Het betreden van een plaats waar een pictogram aangeeft dat er camerabewaking plaatsvindt, geldt dan als voorafgaande toestemming van de gefilmde personen. De afmetingen van het pictogram zijn 0,60m x 0,40 m. Onderaan het pictogram dienen de wettelijk verplichte meldingen aangebracht te worden zoals beschreven door De Algemene Directie Veiligheid & Preventie van de FOD Binnenlandse Zaken.



Figuur 8-11: Verkeersbord aangeven aanwezigheid camera’s

9 HOOGTEBEPERKINGEN (B414)

Wettelijk gezien moet het verkeersbord C29 volgens het Ministerieel Besluit van 11 oktober 1976 houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens enkel voorzien worden als de doorrijhoogte minder bedraagt dan 4,30 m. Het *VWI: deel Europese hoofdwegen* en het *VWI: deel Vlaamse hoofdwegen* leggen stringentere eisen op aan de doorrijhoogte voor nieuwbouwtunnels. In principe dienen dus geen hoogtebeperkende maatregelen voorzien te worden voor nieuwbouwtunnels. Als blijkt dat er bij een bestaande tunnel toch regelmatig aanrijdingen plaatsvinden door menselijke fouten (lading te hoog, kraanarm niet naar beneden gehaald, …) en dit leidt tot zware schade met een grote impact, kunnen voor tunnels extra maatregelen getroffen worden. Een afwegingskader is hiervoor terug te vinden in bijlage B.

10 BRANDCOMPARTIMENTERINGEN (B415)

De algemene eisen aan brandcompartimentering worden gesteld volgens de EI of EW classificatie. Voor deuren kunnen bijkomende eisen aan het S criterium gesteld worden. Hierbij is:

- de **vlamdichtheid** (criterium 'E') is het vermogen van een scheidend bouwelement dat aan één zijde blootgesteld is aan een brand om geen vlammen en hete gassen door te laten en te vermijden dat er vlammen zouden ontstaan aan de niet-blootgestelde zijde;
- de **thermische isolatie** (criterium 'I') is het vermogen van een scheidend element om de doorgang van warmte tegen te houden. De overdracht dient zodanig beperkt te zijn dat de niet-blootgestelde zijde niet kan ontvlammen, noch enig ander element in de onmiddellijke omgeving van deze zijde. Het element dient eveneens voldoende thermisch geïsoleerd te zijn om personen die zich in de buurt bevinden te beschermen;
- het **stralingscriterium** (criterium 'W') beperkt de straling aan de niet-brandzijde van het compartimenterende deel. Dit criterium dient vooral om na te gaan of de niet-blootgestelde zijde niet kan ontvlammen, noch enig ander element in de onmiddellijke omgeving van deze zijde. Dit criterium garandeert niet dat personen die zich in de buurt bevinden beschermd zijn;
- de **rookdichtheid** (criterium 'S') bepaalt de weerstand tegen rookdoorgang tussen ruimten. Hierbij wordt uitgegaan van de criteria Sa (bij 'koude' rook van 20 °C; a = ambient) en S200 (bij 'warme' rook van 200 °C).

Onderstaande eisen geven de eisen specifiek aan wanden en plafonds. De eisen aan deuren zijn reeds opgesteld in de betreffende paragrafen.

FE. B415-001	De brandwerendheid van scheidende wanden tussen een voertuigkoker enerzijds en een vluchtkoker, dwarsverbinding of technische ruimte anderzijds dient - inclusief voegen, naden en doorvoeringen - te voldoen aan de brandweerstandsklasse EI voor 120 minuten conform NBN-EN 13501-2. Hierbij dient als maatgevende brandkromme in plaats van de standaard brandkromme de RWS-brandkromme of de HCM-brandkromme te worden gehanteerd aan de zijde van de voertuigkoker. Aan de andere zijde mag een ISO-834 kromme toegepast worden. Indien de andere zijde een technisch lokaal betreft, dient de aangehouden brandkromme bepaald te worden in functie van de brandlast.

Eisen aan compartimentering in het dienstgebouw zijn terug te vinden in het hoofdstuk '*B300 – Gebouwen*' van de Vlaamse Tunnelrichtlijn.

11 LEUNINGEN (B416), RIJBANEN (B418), NISSEN (B419) EN TOEGANGSPOORTEN (B413)

Leuningen worden niet in tunnels toegepast.

De eisen die gesteld worden aan rijbanen in tunnels zijn gelijk aan de eisen die gesteld worden in open lucht (buiten de tunnel). Eisen aan het dwarsprofiel zijn terug te vinden in de betreffende VWI's (Vademecums weginfrastructuur).

FE. B419-001	De brandwerendheid van scheidende wanden of van betonbescherming moet ter hoogte van een nis aan dezelfde eisen voldoen als de wand waarin deze nis voorzien is.

Toegangspoorten kunnen gebruikt worden om het onderhoud en vervangen van installaties zoals pompen, overdrukventilatoren, etc. mogelijk te maken. Deze kunnen in het dienstgebouw staan, maar kunnen eventueel ook in de buurt van een tunnel in verdiepte ligging geplaatst worden. Toegangspoorten tot technische ruimten in de tunnel worden vermeden. Een toegangspoort tot een tunneltechnische installatie dient brandwerend te zijn.

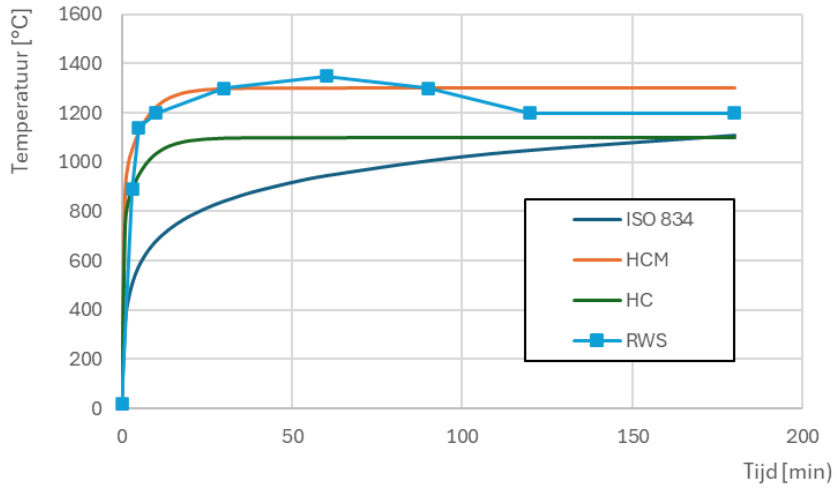
FE. B413-001	Toegangspoorten tot technische ruimten ter hoogte van de toeritten dienen brandwerend te zijn. Hierbij wordt minimaal EI2 60 gevraagd onder een ISO-834 brand.

12 REFERENTIES

- Breunese, A.J., Both, C., Scholten, G. R. (2009). 2009-Efectis-R0358: *Investigation of concrete cracking due to fire in scaled immersed tunnel elements: analysis of test results. Efectis*
- Centre d'Études des Tunnels. (2020). Note d'information n°18: *Prise en compte des véhicules hors gabarit aux abords des tunnels routiers*
- Europese Unie. (2004). *Richtlijn 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet*
- Rijkswaterstaat. *Landelijke Tunnelstandaard release 1.2 Service pack 2, 27 januari 2023*
- Rijkswaterstaat. RTD-1030 (Rijkswaterstaat Technisch Document). (2021) *Richtlijn Brandwerende Constructies*
- Rijkswaterstaat. RTD-1001 (Rijkswaterstaat Technisch Document). (2021) *Richtlijn Brandwerende Constructies (ROK)*
- Vlaamse overheid. Agentschap Wegen en Verkeer. (2023). *Vademecum weginfrastructuur (VWI): deel Europese hoofdwegen*. https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/vwi_deel_europese_hoofdwegen_0_0.pdf
- Vlaamse overheid. Agentschap Wegen en Verkeer. (2024). *Vademecum weginfrastructuur (VWI): deel Vlaamse hoofdwegen*. https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/VWI_deel_Vlaamse_Hoofdwegen_240508_hoge%20resolutie_0.pdf
- Vlaamse overheid. *Ministerieel besluit van 11 oktober 1976 houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens*

ANNEX A: BRANDKROMMES

Brandkrommes zijn gestandaardiseerde temperatuurcurves die de brandontwikkeling in functie van de tijd weergeven. In tunnels kunnen de temperaturen hoger oplopen dan in een gebouw. Om die reden worden in tunnels zwaardere brandkrommes opgelegd om eisen te stellen aan compartimentering en brandbescherming. De verschillende brandkrommes die in dit document worden gebruikt, worden hieronder kort toegelicht, en weergegeven in Figuur A-1.



Figuur A-1: Vergelijkende grafiek brandkrommes

De **ISO 834** brandkromme is de standaard brandkromme die gebruikt wordt in gebouwen (uitgezonderd industriegebouwen met hogere brandlasten) en wordt beschreven met onderstaande formule:

$$T = 20 + 345 * log(8t + 1)$$

waarbij:

t = tijd in minuten
T = temperatuur in °C

De **HCM (hydrocarbon modified)** brandkromme stelt een brand voor in een tunnel die zich veel sneller en heviger ontwikkelt dan een ISO 834 brand. Deze wordt binnen Frankrijk gehanteerd, maar ook internationaal gebruikt als een typische brandkromme om compartimentering en brandwerende bescherming te evalueren in tunnels. De temperatuur loopt redelijk snel op tot 1300°C. De formule voor deze brandkromme is:

$$T = 20 + 1280 * (1 - 0{,}325\, e^{-0{,}167t} - 0{,}675\, e^{-2{,}5t})$$

waarbij:

t = tijd in minuten
T = temperatuur in °C

De **RWS (Rijkswaterstaat)** brandkromme wordt door Rijkswaterstaat opgelegd voor tunnels in Nederland, maar wordt net als de HCM-brandkromme uit Frankrijk internationaal gebruikt als brandkromme in tunnels. Deze brandkromme wordt opgebouwd aan de hand van een tabel. De temperatuur stijgt eerst relatief snel naar 1350°C om dan geleidelijk af te zwakken naar 1200°C en daar te blijven hangen. De tabel die deze brandkromme definieert is weergegeven in Tabel A-1.

Tabel A-1: Temperatuurverloop van de RWS-brandkromme

Tijd (min)	Temperatuur (°C)
0	20
3	890
5	1140
10	1200
30	1300
60	1350
90	1300
120	1200
180	1200

De **HC (hydrocarbon)** brandkromme wordt gebruikt om plasbranden te modelleren, waarbij uitgegaan wordt van de hypothese dat deze zich niet zullen ontwikkelen tot een volledige RWS of HCM brand. Deze brandkromme kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor de temperatuurontwikkeling van een plasbrand in de buurt van een tunnelportaal of gedeeltelijk gesloten constructies.

$$T = 20 + 1080 * (1 - 0{,}325\, e^{-0{,}167t} - 0{,}675\, e^{-2{,}5t})$$

waarbij:

t = tijd in minuten
T = temperatuur in °C

ANNEX B: AFWEGINGSKADER HOOGTEBEPERKINGEN

In deze annex worden hoogtebeperkingen besproken die de doorgang beperken van voertuigen die de maximale toegelaten doorrijhoogte overschrijden.

Wettelijk gezien moet het verkeersbord C29 volgens het Ministerieel besluit van 11 oktober 1976 houdende de minimum afmetingen en de bijzondere plaatsingsvoorwaarden van de verkeerstekens enkel voorzien worden als de doorrijhoogte minder bedraagt dan 4,30 m. Het *VWI: deel Europese hoofdwegen* en het *VWI: deel Vlaamse hoofdwegen* leggen stringentere eisen op aan de doorrijhoogte voor nieuwbouwtunnels.

In tunnels met veel vrachtverkeer komen aanrijdingen van het plafond of de technische installaties regelmatig voor door menselijke fouten bij de voertuigconfiguratie, zoals het onvoldoende zekeren van lading of het rijden met een verhoogde laadbak of kraan. De afweging, beschreven in dit hoofdstuk, ligt grotendeels in lijn met de aanbevelingen uit de *Note d'information n° 18 (CETU - mise à jour 2020) Prise en compte des véhicules hors gabarit aux abords des tunnels routiers*[6].

In deze annex worden eerst handvatten meegegeven om de risico's te bepalen en de afweging uit te voeren. Het risico kan ingeschat worden als verwaarloosbaar, gering of hoog. Voor elk risiconiveau worden de te nemen maatregelen opgegeven.

B.1 RISICOBEPALING

De afweging om al dan niet maatregelen voor hoogtebeperkingen door te voeren, gebeurt in het kader van een risicoanalyse rond *asset protection*. Maatregelen kunnen toegepast worden naar aanleiding van regelmatige aanrijdingen door onoplettende bestuurders (reactieve toepassing), of indien er voor een nieuwbouwproject een verhoogde kans wordt ingeschat op aanrijdingen door onoplettende bestuurders (proactieve toepassing). Hierbij wordt niet enkel gekeken naar de kans op aanrijden, maar ook naar de gevolgen. Het aanrijden van ventilatoren kan bijvoorbeeld als gevolg hebben dat, door het overschrijden van de faaldefinities, de tunnel voor lange tijd gesloten dient te worden.

Om de ontwerper handleiding te geven welke maatregelen best in een specifieke tunnel worden genomen, worden drie risiconiveaus gedefinieerd, namelijk:

- verwaarloosbaar risico;
- gering risico;
- hoog risico.

In tunnels waarbij hoge voertuigen zich niet tot in de tunnel kunnen begeven, door andere hoogtebeperkingen op het traject waar de tunnel deel van uitmaakt, wordt het risico ingeschat als verwaarloosbaar. Tunnels met een minimale vrije hoogte van 5,1 m of hoger krijgen normaal ook deze risicoinschatting. Indien bij een tunnel in gebruik blijkt dat de tunnel toch meermaals aangereden wordt, kunnen de maatregelen bij gering risico toegepast worden.

Tunnels op hoofdwegen die een vrije hoogte hebben lager dan 5,1 m, maar nog steeds hoger dan 4,3 m worden ingeschat als een gering risico op een aanrijding. Tunnels die niet op een hoofdweg gelegen zijn, kennen typisch een lagere toegelaten snelheid, en een lager aantal vrachtwagens. Voor deze tunnel is het vaak voldoende om bij een hoogte tussen 4,3 m en 5,1 m de maatregelen bij verwaarloosbaar risico toe te passen.

Alle tunnels die lager zijn dan 4,3 m worden standaard ingeschat als minstens een gering risico.

[6] Centre d'Études des Tunnels. (2020). *Note d'information n°18: Prise en compte des véhicules hors gabarit aux abords des tunnels routiers*

Bovenstaande risicobepaling kan gebruikt worden als leidraad. Voor elke tunnel kan de specifieke situatie vragen voor een hogere of lagere risico inschatting.

B.2 MAATREGELEN BIJ VERWAARLOOSBAAR RISICO

Voor tunnels waar het risico als verwaarloosbaar wordt ingeschat en een sporadische aanrijding aanvaard wordt, worden geen maatregelen genomen.

Indien langsventilatoren toegepast worden in de tunnel die aanrijdbaar zijn, is het toegestaan om voor de ventilatoren een opofferingsconstructie te voorzien. De stijfheid van deze constructie is vergelijkbaar met die van de ventilatoren, zodat een aanrijding hiermee voor de bestuurder weinig tot geen risicoverhoging met zich meebrengt t.o.v. een aanrijding met de ventilatoren. De opofferingsconstructie zal een te hoog voertuig normaal tot stilstand brengen voor het de ventilator raakt. Dit beperkt de reparatiekosten en onbeschikbaarheid van de tunnel. Deze maatregel kan ook bij hogere inschatting van risico voorzien worden.

B.3 MAATREGELEN BIJ GERING RISICO

Om aanrijdingen te vermijden in tunnels waar een gering risico op aanrijding bestaat of verwacht wordt, wordt een systeem van meten en waarschuwen voorzien voor het beslissingspunt, waar het voor de chauffeur nog mogelijk is de weg te verlaten en een omrijroute te nemen.

De detectie van voertuigen net voor het beslissingspunt berust op systemen die gebruik maken van uiteenlopende technologieën, die hier niet exhaustief worden beschreven. Enkele voorbeelden van toegepaste technologieën zijn:

- optische sensoren;
- 3D-sensoren met geavanceerde functies zoals silhouetherkenning en voertuigclassificatie;
- ultrasoon- en radarsensoren;
- videoanalysecamera's van het type AID (automatische incidentdetectie);
- magnetische lussen, automatische nummerplaatherkenning (ANPR), enzovoort — doorgaans ingezet als aanvulling op de hierboven vermelde systemen.

Het combineren van meerdere technologieën kan overwogen worden om de prestaties van het detectiesysteem te verbeteren. Zo kan het koppelen van een optische sensor aan een logische "EN"-functie bijdragen tot het onderscheiden van rijrichtingen en het beperken van foutieve alarmen (bijvoorbeeld door sneeuwval).

Ongeacht de gekozen technologie, wordt aanbevolen om:

- te zorgen voor een stabiele bevestiging van de sensoren, bij voorkeur op een bestaand portiek of op een stevig verankerde drager;
- technische voorzieningen te kiezen die het risico op willekeurige activatie (valse alarmen) beperken;
- apparatuur te gebruiken die niet afhankelijk is van weersomstandigheden, of deze te beschermen (bijvoorbeeld met een afdak);
- sensoren te kiezen die eenvoudig te onderhouden zijn.

Net na het beslissingspunt, maar nog voor het inrijden van de tunnel (of het bereiken van het laagste punt in de tunnel), kan een fysiek aanrijdbare (opofferings)constructie voorzien worden. De onderzijde van de fysiek aanrijdbare constructie bevindt zich onder het effectieve laagste punt (van de installaties) in de tunnel. Deze constructie wordt zodanig uitgevoerd dat ze voldoet aan de principes van vergevingsgezinde (botsvriendelijke) constructies. Voorbeelden hiervan zijn rubberen flappen, kettingen, enzovoort.

Tabel B-1: Sequentiële verloop van detectie- en beschermingsmaatregelen voor de hoogtebeperking van een tunnel bij gering aanrijdingsrisico

	Zone voor het beslissingspunt	Zone voor het ingangsportaal
Fase	Detectie	Fysiek aanrijdbare constructie
Doelstelling	Detectie en informatie omrijroute	Vermijden impact op tunneluitrusting

B.4 MAATREGELEN BIJ HOOG RISICO

Indien voor een tunnel een hoog risico op aanrijdingen wordt verwacht, of indien na toepassing van de maatregelen bij gering risico blijkt dat de fysiek aanrijdbare constructie te vaak wordt aangereden, kan de tunnelbeheerder aanvullende voorzieningen treffen om bestuurders sterker aan te zetten tot stoppen vóór zij de tunnel inrijden. Tussen het beslissingspunt, waar bestuurders nog kunnen omrijden, en de fysieke barrière wordt dan een tweede meting met een (R)VMS-bord voorzien. Zo wordt de bestuurder nogmaals gewaarschuwd voordat hij de fysiek aanrijdbare constructie bereikt. Tabel B-2 geeft het sequentiële verloop van de detectie- en beschermingsmaatregelen op het traject naar de tunnel weer.

Tabel B-2: Sequentiële verloop van detectie- en beschermingsmaatregelen voor de hoogtebeperking van een tunnel bij hoog aanrijdingsrisico

	Zone voor het beslissingspunt	Zone tussen het beslissingspunt en het portaal	Zone voor het ingangsportaal
Fase	Eerste detectie	Tweede detectie	Fysiek aanrijdbare constructie
Doelstelling	Detectie en informatie omrijroute	Detectie en voertuig laten stoppen	Vermijden impact op tunneluitrusting