



<i>datum</i>	21 juli 2020	<i>project</i>	Het nieuwe Feyenoord stadion
<i>vestiging</i>	Den Haag	<i>betreft</i>	Uitgangspuntendocument RSET-ASET-analyse treinbrand onder spooroverkluizing
<i>uw kenmerk</i>	-	<i>versie</i>	2
<i>ons kenmerk</i>	B.2018.0550.14.N002	<i>auteur</i>	
<i>2e lezer/secr.</i>	MHA	<i>contactpersoon</i>	
		<i>e-mail/telefoon</i>	

Uitgangspuntendocument RSET-ASET-analyse treinbrand onder spooroverkluizing

In deze notitie zetten we de uitgangspunten uiteen voor het onderzoek naar veilig vluchten van treinpassagiers in geval van een treinbrand in de overkluizing bij het nieuwe Feyenoord stadion. Om het veiligheidsniveau van het vluchten inzichtelijk te maken voert DGMR een ASET/RSET-analyse uit, waarbij de ASET wordt bepaald op basis van een CFD-studie die diverse scenario's met een treinbrand omvat. In deze notitie behandelen we zowel de uitgangspunten van de ASET- als de RSET-bepaling

Het doel van het onderzoek is: aantonen dat de spooroverkluizing voldoende veilig is voor passagiers in geval van brand. Voor een bouwwerk geen gebouw zijnde zijn in het Bouwbesluit geen grenswaarden gespecificeerd, en moet worden aangetoond dat aan de functionele eis wordt voldaan: Een te bouwen bouwwerk heeft zodanige vluchtroutes dat bij brand een veilige plaats kan worden bereikt. Het aantonen gebeurt door het volgen van een richtlijn van ProRail.

De aanleiding van het onderzoek is het verslag van de scenario-analyse die ProRail samen met DGMR heeft uitgevoerd voor incidenten onder de overkluizing. In het door ProRail opgestelde verslag van 30 maart 2020 staat dat het veilig vluchten bij brand moet worden verantwoord met een ASET-RSET analyse waarbij de ASET moet worden bepaald met een specifieke CFD simulatie, alles op basis van standaard uitgangspunten van ProRail.

1. Uitgangspunten

1.1 Toetsingskader

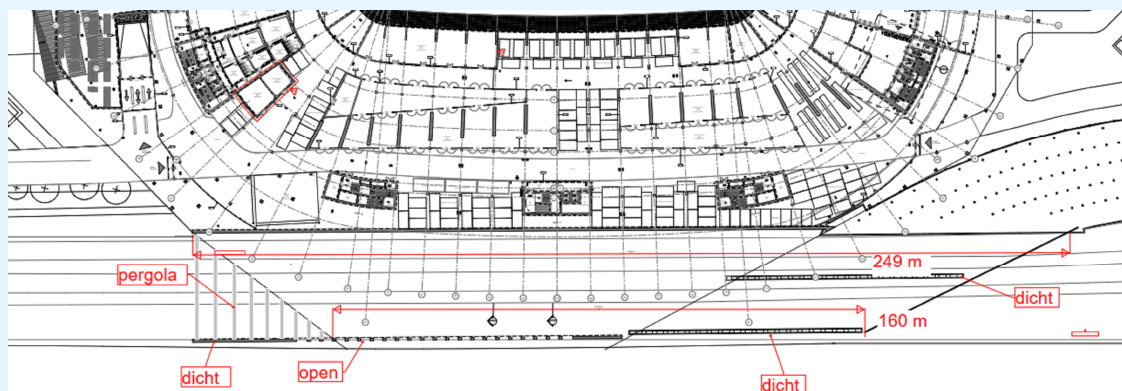
Wij baseren de analyse op het document "Beoordeling veilig vluchten bij brand in een spoortunnel - Uitgangspunten voor CFD- en ontruimingsberekeningen" van 23 oktober 2018 [1]. Eventuele afwijkingen of aanvullingen worden in dit document opgegeven.

1.2 Situatie

Het gesloten dek van de nieuwe spooroverkluizing sluit aan op het bestaande wegviaduct waardoor in de nieuwe situatie (nieuwe spooroverkluizing en bestaand viaduct) het spoor overdekt is over een lengte tussen:

- 249 meter aan de zijde van het voetbalstadion
- 160 meter aan de zijde van de Collosseumweg

In onderstaande figuur zijn de afmetingen van de overkluizing in een plattegrond weergegeven.



figuur 1: Afmetingen overkluizing.



figuur 2: Met een rood kruis is de ligging van de overkluizing gemarkeerd

2. ASET-RSET analyse

2.1 Plan van aanpak

In het plan van aanpak voor de analyse is de eerste stap het afstemmen van de uitgangspunten voor de berekeningen, voor zowel ASET als RSET, met ProRail en de brandpreventiecommissie Rotterdam. Beide partijen moeten de opzet goed keuren om zinvol door te kunnen gaan met het uitvoeren van de ASET-RSET analyse zelf. Het bevoegd gezag moet het resultaat immers accepteren dat invulling is gegeven aan de functionele eis voor veilig vluchten.

Voor de bepaling van ASET bepalen we als eerste de invloed van de wind op de condities onder de spooroverkluizing bij een mogelijke treinbrand, maar dan zonder de invloed van de brand mee te

nemen. In deze analyse nemen we de nabije omgeving binnen een straal van 300 meter mee. Uit de resultaten zal naar voren komen welke windrichting maatgevend is (d.w.z. de ongunstigste condities oplevert) op basis van de grootste luchtsnelheden/debietten in de dwarsrichting van de overkluizing. Gezien de complexiteit van de omgeving is dit moeilijk op voorhand in te schatten. Conform [1] hanteren wij als uitgangspunt de windsnelheid die 20% van de tijd overschreden wordt. Wij bepalen deze windsnelheid met de windstatistiek beschreven in de NPR 6097.¹ Vervolgens zullen wij de maatgevende brandlocatie bepalen aan de hand van deze berekeningen en voor akkoord met ProRail communiceren, alvorens over te gaan tot de brandsimulaties. De toetsing van de brandsimulaties aan de criteria in [1] levert op elke locatie onder de overkluizing de ASET.

De ontruimingsanalyse levert de RSET, die voor iedere locatie onder de spooroverkluizing aangeeft tot welk tijdstip nog reizigers over die locatie vluchten. Als op elke locatie de marge tussen ASET en RSET groot genoeg is, is de situatie veilig genoeg. Hieronder zijn nog even in tabelvorm de stappen opgesomd.

tabel 1: Plan van aanpak

Onderdeel	Terugkoppeling ProRail
Uitgangspuntendocument CFD-analyse en ASET/RSET analyse	Ja en ter akkoord
Windinvloed berekenen	Nee, maakt onderdeel uit van analyse DGMR
Worst-case brandlocatie bepalen	
Brandsimulaties	Ja na onderdeel 6 rapportage en conclusies
ASET-RSET analyse	
Integrale bevindingen en uitwerken rapport	

In deze stappen zullen we de brandweer meenemen.

2.2 Veiligheidsmarge

De benodigde veiligheidsmarge tussen ASET en RSET hangt, behalve van het gewenste veiligheidsniveau, af van de conservativiteit en de onzekerheid in de diverse onderdelen van ASET en RSET zelf.

- De mate waarin de gekozen scenario’s inclusief randvoorwaarden conservatief (aan de veilige kant) zijn gekozen.
- De modelonzekerheid, en de vraag of de vereenvoudigingen van de gekozen modellering de resultaten ‘neutraal’ beïnvloeden, conservatief zijn, of juist een te positief beeld geven.
- De onzekerheid in de invoerparameters.

DGMR zal, conform de richtlijn van ProRail, in de ASET-RSET voor de scenario’s met combinatie van ‘maatgevende’ parameters een marge van 1 minuut hanteren tussen ASET en RSET.

Bij de bespreking van de resultaten zal DGMR de waarde van de veiligheidsmarge onderbouwen via een analyse aan de hand van de hierboven genoemde factoren.

3. Bepaling van ASET

3.1 Keuze van model

Voor het vaststellen van de omstandigheden in de overkluizing in geval van een grote treinbrand is Computational Fluid Dynamics (CFD) een geschikte bepalingsmethode.

¹ De NPR 6097 maakt gebruik van 40 jaar KNMI-metgegevens van 51 KNMI-metstations. Met behulp van deze meetgegevens is een dataset gemaakt waarmee voor iedere locatie in Nederland de windstatistiek op 60 m hoogte bepaald kan worden. De statistiek wordt daarbij gecorrigeerd voor ruwheden in het landschap.

De beperkingen van een praktisch ontwerptraject stellen grenzen aan de tijd en middelen die beschikbaar zijn voor het analyseren met CFD van de grootschalige en complexe situatie die zich voordoet bij brand onder een overkluizing.

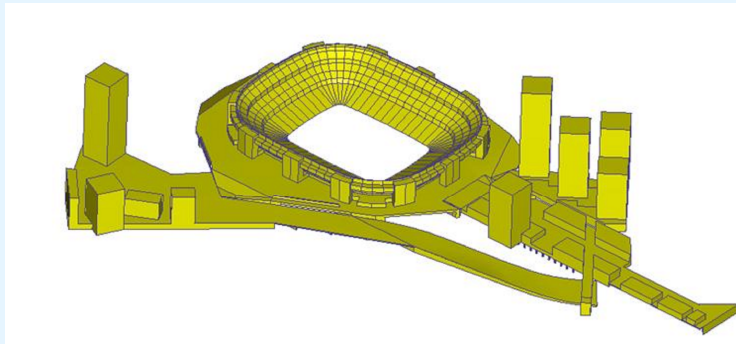
ProRail geeft in [1] aanwijzingen voor de praktische invulling van de CFD studie. Die maken het mogelijk om binnen een redelijke termijn resultaten te bereiken die voldoende betrouwbaar zijn voor een ASET-RSET analyse. Het is daarbij van belang te beseffen dat hierbij een aantal vereenvoudigingen is gehanteerd. Daardoor is de nauwkeurigheid van de resultaten beperkt, wat erop neerkomt dat we de onzekerheid in het resultaat hoog inschatten. Met dat gegeven houden we rekening door invoerparameters die niet in de richtlijn van ProRail zijn vastgelegd conservatief (aan de veilige kant) te kiezen.

3.2 CFD-onderzoek

Wij baseren de CFD analyses op de richtlijn van ProRail [1]. In dit hoofdstuk worden aanvullingen en eventuele afwijkingen aangegeven.

3.3 Modellen

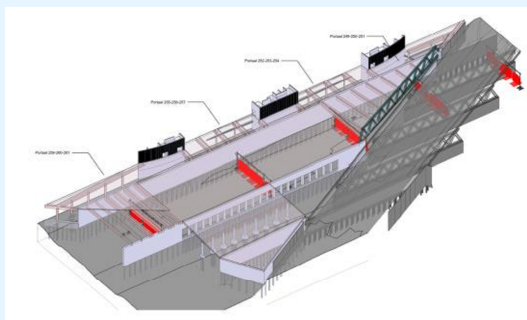
Voor de invloed van de wind is het van belang dat we een de omgeving van de overkluizing meenemen die overeenkomt met de stedenbouwkundige plannen en het project Feyenoord City, met minimaal een straal van 300 meter in het midden van de overkluizing. Aangezien de stedenbouwkundige plannen nog niet vastliggen en wellicht nog meerdere keren wijzigen in de toekomst stellen wij de volgende aanpak voor. Om de impact van een treinbrand te kunnen simuleren gaan wij voor de nabije omgeving uit van het model dat door RHDHV is gebruikt voor de beschouwing van een toxische wolk in Feyenoord City (referentie BE3499-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001) en het windonderzoek voor Feyenoord City. Het model hiervan is van 6 juni 2019.



figuur 3: Model van 6 juni 2019 van Feyenoord City

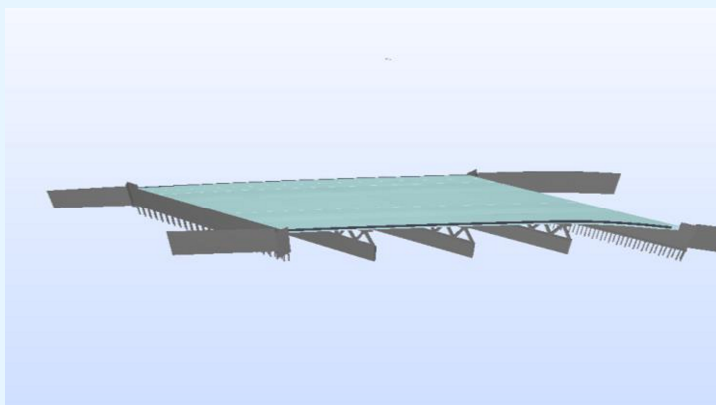
Wij stellen verder voor de uiteindelijke uitwerking van het gebied opnieuw te beoordelen. Bij grote afwijkingen van het uiteindelijke ontwerp van de nabije omgeving en twijfel over de impact op de simulaties op een treinbrand onder de overkluizing stellen wij dan eerst voor om de luchtsnelheden en debieten inzichtelijk te maken onder de overkluizing. Op basis daarvan en de resultaten van de brandscenario's kunnen wij dan inschatten of er verder onderzoek noodzakelijk is. Zolang er op of in dichtere nabijheid van de overkluizing geen *aanvullende* hoogbouw wordt ontwikkeld dan in bovenstaand model, verwachten wij dat met dit model een goed beeld kan worden verkregen van de impact van een treinbrand in relatie tot veilig vluchten.

Voor de overkluizing is het belangrijk dat de openingen, de vrije hoogten van de tunnel, constructie elementen aan het plafond, de openingen van de spoorzijde naar de Colosseumweg en de positie van de trein goed overeenkomt. Hieronder zien wij het constructiemodel dat wij aanhouden voor het opstellen van het CFD-model.



figuur 4: Constructiemodel van de spooroverkluizing (RHDHV)

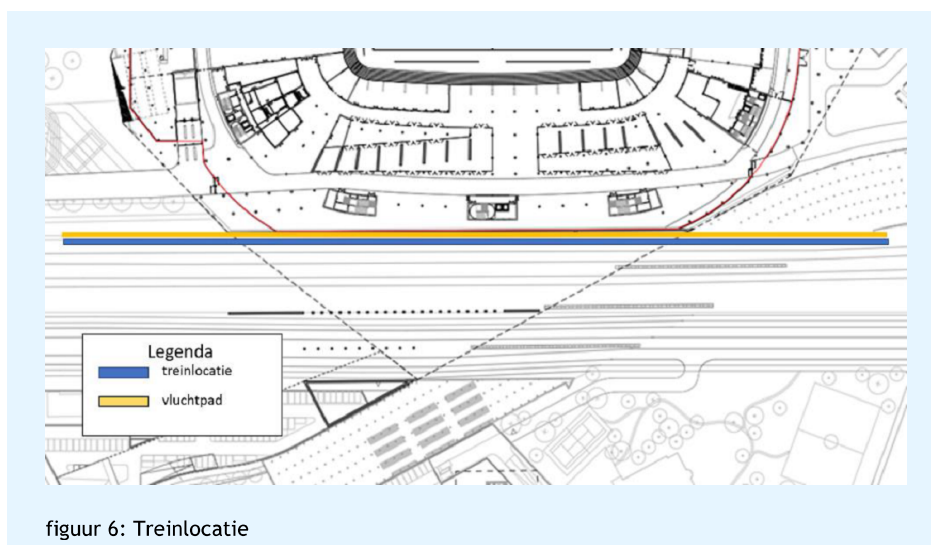
Tevens wordt het model van het viaduct van Feyenoord City gebruikt voor het modeleren van het viaduct in het model.



figuur 5: Constructiemodel van het viaduct

3.4 Treinlocatie

Voor de treinlocatie stellen wij voor de trein op het dichtstbijzijnde spoor te plaatsen van de lange zijde van de overkluizing (zijde stadion). Wij voorzien voor de ontvluchting hier de meest lastige situatie ten tijde van een brand. Enerzijds vanwege de beslotenheid van het pad tussen de trein en de wand tussen het spoor en stadion, en anderzijds vanwege de meeste kans op opmenging van de rook door de wind en daardoor beperkt zicht. Mogelijk dat de windberekeningen hier nog een ander zicht op geven, waardoor de treinlocatie moet worden aangepast.



3.5 Brandlocatie

De brandlocatie wordt bepaald aan de hand van de berekeningen van de windinvloed onder de overkluizing. Op voorhand is dit moeilijk te voorspellen.

3.6 Brandverloop in de tijd

Een belangrijk uitgangspunt opgegeven door ProRail is een tweetal brandcurven die het verloop van het vrijkomend vermogen als functie van de tijd vastleggen: De maatgevende curve met 'medium' groeisnelheid, en de maximale curve met 'fast' groeisnelheid, beide begrensd op 40 MW.

Op het moment dat het vermogen begint te groeien ($t = -90$ s)² staat de trein stil onder de overkluizing, en is er geen invloed (meer) van de rijwind ten gevolge van de bewegende trein. De twee vermogenscurven betreffen volgens ProRail 'paraplucurves' en omvatten meerdere brandscenario's (brand in rijtuig, brand in motorwagen, enzovoorts).

DGMR zal de ASET analyse baseren op de opgegeven vermogenscurven, maar tekent daarbij als aandachtspunt aan dat kwadratische groei past bij een groeiende plaatselijke brand; een dergelijke ontwikkeling in de besloten omgeving van een treinrijtuig is maar over een beperkte tijd goed voorstelbaar, omdat in een besloten rijtuig bij een vermogen tussen 5 en 10 MW flashover zal ontstaan, waarna het vermogen zich stabiliseert op de maximale waarde bepaald door aard en oppervlakte van brandbare objecten en van de afmetingen en plaats van openingen in de omhulling van het rijtuig. DGMR zal het effect hiervan meenemen in de gevoeligheidsanalyse.

DGMR zal in de verdere uitwerking een tijdslijn opstellen die past bij de door ProRail voorgestelde brandcurven, waarbij eerst alleen de deuren open staan en op enig moment daarna alle ramen bezwijken. Zie ook figuur 7.

² Op verzoek van de Veiligheidsregio Rotterdam hanteren we $t = 0$ als start ontruiming. Dit is het moment dat in het rijtuig waar de brand is begonnen de reizigers starten met de ontruiming. Volgens het standaardscenario van ProRail zit er 90 seconden tussen dit moment en het begin van de kwadratische curve.

Het via de geselecteerde curve opgelegde vermogen als functie van de tijd wordt in het model opgelegd door ter plaatse van de deur- en raamopeningen in het brandende rijtuig hete lucht de overkluizing in te laten stromen waarvan de luchtsnelheid en de temperatuur zo gekozen zijn dat ze samen het gewenste vermogen opleveren.

In eerste instantie worden de ramen dicht verondersteld, het vermogen wordt in die fase uitsluitend via de deuropeningen ingebracht. Als het vermogen groter wordt, zal door de hoge temperatuur de beglazing wegvallen, en zal het vermogen ook via de ramen vrijkomen. Wij gebruiken onze expertise en ervaring voor het bepalen van de juiste snelheid en temperatuur in de openingen.

3.7 Overige randvoorwaarden

De roetproductie is een onzekere factor die in de gevoeligheidsanalyse gevarieerd kan worden. Om onnodig extra scenario's door te rekenen stellen we voor om een roetproductie aan te houden die twee keer zo groot is als de in [1] voorgeschreven roetproductie.

3.8 Submodellen CFD

Voor de rookmodellering gaan wij uit van de definitie als rookgassen met ingemengde lucht. De rookproductie is een vaste fractie van de snelheid van massaverlies aan brandstof. De verspreiding van rook zal worden gemodelleerd met een extra transportvergelijking voor de massafractie rook. Er wordt geen verbrandingsmodel gebruikt.

De stralingsflux wordt bepaald met het stralingsmodel “discrete transfer” (“grijze” straling). Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van het SST- ω turbulentiemodel. De CFD-analyse wordt uitgevoerd met het software pakket CFX van Ansys (versie 19.1).

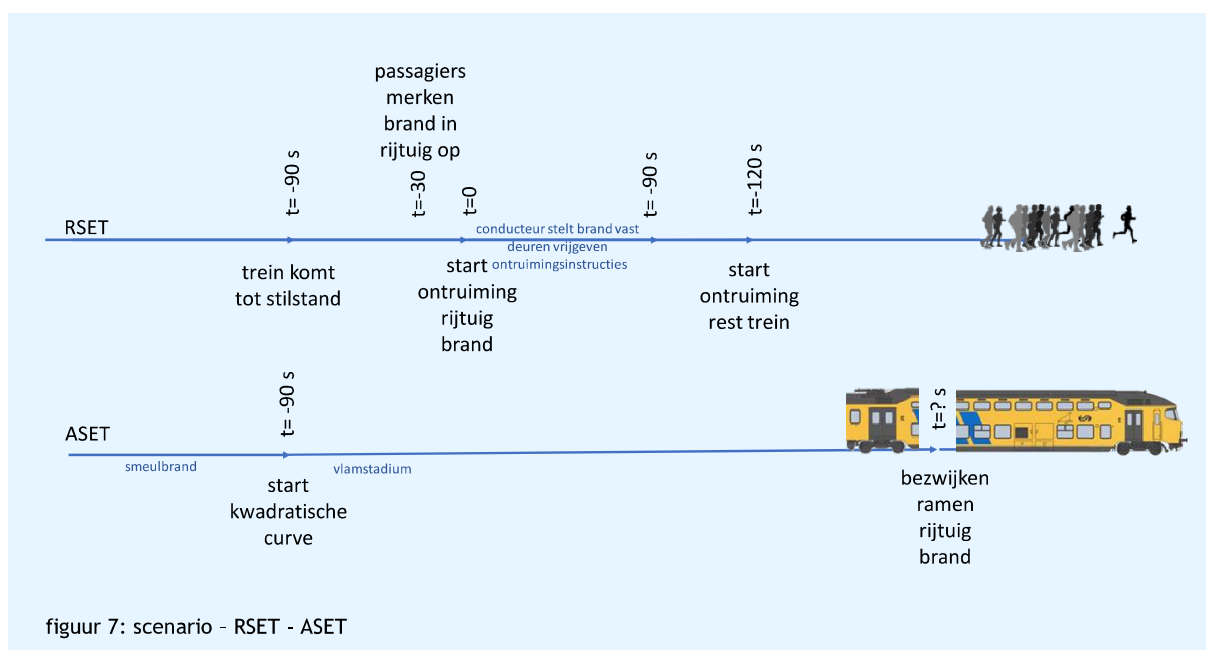
4. RSET analyse

4.1 Scenario

Het vluchten start één minuut nadat de brand het vlamstadium bereikt en de kwadratische groei van het vermogen begint. Dit is te verklaren via onderstaande chronologische opeenvolging van gebeurtenissen als hieronder beschreven.

- De ontsteking vindt plaats ergens vóór de trein de overkluizing in rijdt.
- De ontsteking leidt in eerste instantie tot een smeulende brand, waaruit veel rook vrijkomt, maar vrijwel geen vermogen.
- De brand gaat over van het smeulstadium naar het vlamstadium, de kwadratische vermogenscurve start. Dit is het tijdstip $t = -90$ s.
- De trein komt onvrijwillig tot stilstand³.
- Reizigers in het brandende rijtuig merken de brand op, $t = -30$ s. Reizigers in het brandende rijtuig verlaten de trein via de deuren op de balkons van het eigen rijtuig, $t = 0$ s.
- De conducteur checkt of er inderdaad brand is, en meldt dit aan de bestuurder.
- De bestuurder geeft de deuren vrij aan de zijde van het stadion, personeel geeft ontruimingsinstructie, $t = 0 - 90$ s.
- De reizigers in de rest van de trein verlaten de trein, $t = 120$ s.

³ Als de trein stopt als gevolg van het trekken aan de handrem is er door de machinist afgeweken van de procedures en is de noodrem niet overbrugd en gestopt onder de overkluizing. Dit maakt ook dat de waarschijnlijkheid dat het incident zich daadwerkelijk ontvouwt als buitengewoon laag moet worden ingeschat.



4.2 Vluchtconcept

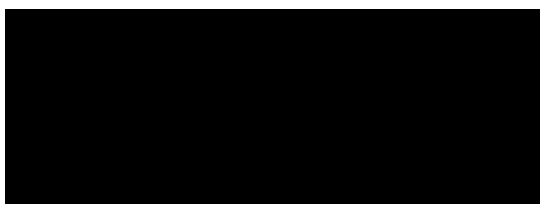
Belangrijke uitgangspunten voor de berekening van RSET zijn de volgende:

- De trein komt tot stilstand onder de overkluizing, op het eerste spoor naast de dichte wand van het stadion.
- De brand bevindt zich in het eerste rijtuig achter de bestuurder. De trein rijdt in westelijke richting en stopt op een zodanige plet dat de bestuurder net onder de overkluizing uit is. Het brandende rijtuig bevindt zich net nog in de overkluizing, de overkluizing wordt gevuld met overige rijtuigen.
- Het aantal reizigers wordt bepaald aan de hand van de volgende kentallen:
 - De trein bestaat uit 12 bakken van 27 m lang (er staan er 8 onder de overkluizing, de rest in de open lucht en worden niet gehinderd door de zijwand van de overkluizing).
 - Elke bak bevat 92 zitplaatsen. De trein heeft dus 1104 zitplaatsen.
 - De maatgevende treinbezetting komt overeen met 100% van alle zitplaatsen bezet (1104 personen)
 - De worst case bezetting komt overeen met 150% van het aantal zitplaatsen (1656 personen, waarvan 1104 onder de overkluizing)

Het ontruimingsverloop van beide bezettingen wordt in kaart gebracht en geanalyseerd.

- De reizigers vluchten na uitstappen zo snel mogelijk naar het looppad aan de uitstapzijde van de trein. Van daaraf vluchten ze in de richting van het brandende rijtuig af.
 - Noot: in eerste instantie zal alleen koude, later steeds warmere rook via de deuropeningen het brandende rijtuig verlaten. Zolang de temperatuur en de rookdichtheid laag genoeg zijn kunnen reizigers nog via die deuren vluchten.
 - Na 'lokale flashover' zullen vlammen uit het rijtuig slaan via de deuropeningen en de raamopeningen waaruit inmiddels de beglazing is weggevalen of -gebroken. Vanaf dat moment vormen ook de uitslaande vlammen een bedreiging voor het vluchten in de overkluizing.

- De snelheid waarmee reizigers de rijtuigen verlaten, wordt sterk geremd door het hoogteverschil tussen het balkon en het ballastbed van het spoor. Hoe lang een reiziger daarvoor nodig heeft hangt af van zijn/haar lichamelijke gesteldheid en van de hulp die medereizigers betonen.
- Voor de berekeningen baseren we ons in de eerste plaats op gegevens van een studie van Norén en Winér uit 2003 [2] over de doorstroomsnelheid bij het uitstappen van treinen bij klein en groot te overbruggen hoogteverschil, en over de loopsnelheid over een evacuatiepad. Een gemiddelde doorstroomsnelheid van 0,25 p/s per uitgang, ongeacht de deurbreedte, lijkt een redelijke (conservatieve) keuze bij een verticale afstand van 0,8 m en een reizigerspopulatie met een representatieve samenstelling van leeftijden en mobiliteit. Voor de 'ongehinderde loopsnelheid' over een effen looppad is 1,2 - 1,6 m/s gemeten. ProRail houdt hiervoor 1 m/s aan. We gaan conform de richtlijn van ProRail uit van een doorstroming die bij lage personendichtheid wordt beperkt door een **maximale loopsnelheid van 1 m/s**; bij hoge dichtheid wordt de doorstroming beperkt door een **doorstroomcapaciteit van 1,5 p/s/m** vrije breedte van het looppad. Bij een bezetting van 4 personen/m² komt dit laatste erop neer dat de loopsnelheid wordt beperkt tot 0,37 m/s (onderbouwing volgt in eindrapport)
- Voor de maximale loopsnelheid over een ballastbed zijn vooralsnog geen bruikbare gegevens gevonden. We houden daarvoor 0,5 m/s aan.



DGMR Bouw B.V.

-

Bijlage 1 - Referentielijst

Referentielijst

[1] ProRail, “Beoordeling veilig vluchten bij brand in een spoortunnel- Uitgangspunten voor CFD- en ontruimingsberekeningen”, T20150154-726056614-786, 2018.

[2] Anders Norén Joel Winér , “Modelling Crowd Evacuation from Road and Train Tunnels - Data and design for faster Evacuations, Report 5127, Lund, 2003