

## ABSTRACT (EN)

Fires in tunnels can have severe consequences. Examples are the BAKU metro tunnel fire of 1995 (289 fatalities and 265 injuries), the Mont Blanc road tunnel fire of 1999 (all 39 occupants died) and the Daegu subway tunnel fire of 2003 (over 192 fatalities) [1]. Life safety is not naturally guaranteed in tunnels, neither is structural stability or traffic continuation. Therefore, a comprehensive risk assessment of existing and new designs is indispensable. Such a risk assessment requires a reasonably fast and accurate smoke behaviour model. One-dimensional, one-layer models provide fast simulations but are not able to predict stratification or back-layering phenomena.

A model is developed in Python 3.9. It considers the separation of a hot smoke layer and a cold fresh air layer. Analogue to the two-zone models for enclosures, it employs a plume correlation. In addition, a velocity correlation is used to simplify the fluid dynamics. Unlike simple empirical correlations, the model is not only able to predict the back-layering length, but also the temperature, velocity, and thickness profiles of the smoke layer. The model considers the tunnel's geometry, applied ventilation strategies and fire parameters. Moreover, it can be elaborated to consider changing cross-sections, slopes, thermal material properties, entrainment... Unlike complex three-dimensional CFD calculations, the results are obtained almost instantaneously.

The outcome of the simulations (critical velocity, temperature profiles and back-layering length) is compared to simple (semi-) empirical correlations and to small-scale and large-scale experimental data. In general, a satisfactory agreement is found. For high heat release rates, causing temperature rises above 1350 K, the model loses accuracy and requires further research. The effect of the deflected back-layering flow on the flow, downstream of the fire, also necessitates additional investigation.

Keywords: Tunnel fire safety • Smoke behaviour • Stratification • Back-layering • Critical velocity • Longitudinal ventilation • One-dimensional model • two-layer model

## ABSTRACT (NL)

Branden in tunnels kunnen ernstige gevolgen hebben. Voorbeelden zijn de brand in de metrotunnel van Baku in 1995 (289 doden en 265 gewonden), de brand in de Mont Blanc-tunnel van 1999 (alle 39 aanwezigen stierven) en de brand in de metrotunnel van Daegu in 2003 (meer dan 192 doden) [1]. In tunnels is de levensveiligheid tijdens brand niet vanzelfsprekend en evenmin is de structurele stabiliteit of de verkeerscontinuïteit. Bijgevolg is een uitgebreide risicobeoordeling van bestaande en nieuwe ontwerpen onmisbaar. Een alomvattende risicobeoordeling vereist een schappelijk snel en nauwkeurig rookmodel. Eendimensionale modellen die één laag veronderstellen, verschaffen snelle simulaties maar zijn niet in staat om stratificatie of *backlayering* te voorspellen.

In dit rapport wordt een model voorgesteld (geschreven in Python 3.9) dat rekening houdt met de scheiding van een warme rooklaag en een koude luchtlaag. Analoog aan het twee-zones-model voor omsloten ruimtes, hanteert het model een rookpluim correlatie. Bovendien wordt een correlatie gebruikt voor de snelheid van de rooklaag om zo de berekeningen te vereenvoudigen. In tegenstelling tot eenvoudige empirische correlaties, kan het model niet alleen de lengte van de rooklaag voorspellen, maar ook het temperatuur-, snelheid- en hoogteprofiel van de rooklaag. Het model houdt rekening met de geometrie van de tunnel, toegepaste ventilatiestrategieën en brandparameters. Bovendien kan het worden uitgebreid om rekening te houden met wisselende dwarsdoorsneden, hellingen, thermische materiaaleigenschappen, vermenging... Anders dan de complexe driedimensionale CFD-berekeningen, worden de resultaten bijna ogenblikkelijk verkregen.

De uitkomst van de simulaties (kritische snelheid, temperatuurprofielen en de *backlayering* lengte) wordt vergeleken met eenvoudige (semi-) empirische correlaties en met data van kleinschalige en grootschalige experimenten. Over het algemeen wordt een bevredigende overeenkomst gevonden. Bij hoge warmteafgiftesnelheden, met temperatuurstijgingen van meer dan 1350 K, is het model minder nauwkeurig en vereist het verder onderzoek. Het effect van de terugkerende *backlayering* laag op de rooklaag stroomafwaards van de brand, behoeft ook nog bijkomend onderzoek.

Slutelwoorden: Tunnelbrandveiligheid • rookgedrag • stratificatie • *backlayering* • Kritische snelheid • Longitudinale ventilatie • eendimensionaal model • tweelagenmodel