

Vpliv vetra na požarno varnost predora

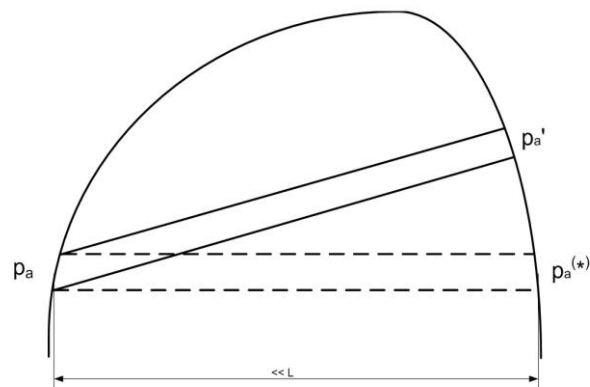
dr. Aleš Suban

Morda ne pomislimo, da lahko meteorološki dejavniki vplivajo na varnost v cestnem predoru, saj so predori podzemni objekti. Ker portali predorov mejijo na atmosfersko okolico Zemljinega površja, nanje vplivajo atmosferski tlak, temperatura okolice ter veter. Našteto vpliva na prezračevanje predora, ki je ključni segment varnosti ob požaru. Zračni tlak in temperatura zraka imata pri mehansko prezračevanih predorih manjši vpliv. Večjega pa imajo vetrovi, če so le-ti višjih hitrosti in pihajo v smeri portalov. Pri večini predorov v Sloveniji in tudi drugje po svetu, so navedeni vplivi minimalni. Odvisni so predvsem od lege predora, njegove dolžine in višinske razlike med portali. Pri predorih, kateri so pod večjim vplivom meteoroloških dejavnikov, morajo le-tej biti upoštevani pri projektiranju prezračevanja predora in njegovem kasnejšem upravljanju. V primeru požara v predoru, mora prezračevanje imeti zadostno zmogljivost, da lahko opravi svojo nalogo kljub vplivu zunanjih dejavnikov.

Zračni tlak in temperatura

Zračni tlak p_a je tlak nad katerokoli površino v Zemljinem ozračju, povzročča ga teža zraka. Če je nad določenim krajem zaradi razvoja in gibanj vremenskih tvorb več zraka, kot na nekem drugem kraju z enako nadmorsko višino, je tam teža stolpca zraka večja, posledica česar je tudi višji zračni tlak. Z višanjem nadmorske višine se eksponentno zmanjšuje število molekul zraka, zaradi tega se zračni tlak z naraščanjem višine znižuje. V primerjavi z vertikalnimi spremembami zračnega tlaka so horizontalne spremembe majhne, vendar pomembne, saj so vzrok za nastanek vetrov.

V primeru zelo dolgih predorov, pri katerih pride zaradi naklona predora do večje višinske razlike med portali, se pojavlja razlika tlakov v atmosferi (slika 1). Na sliki vidimo, da je na levem portalu atmosferski tlak p_a , ki se razlikuje od višje ležečega desnega portala predora z atmosferskim tlakom p_a' . Razlika je lahko tudi nekaj deset paskalov na razdalji nekaj kilometrov. To vpliva na stanje v predoru, predvsem na gibanje zraka. Pri zelo dolgih predorih, kateri prečijo velika gorata območja, se lahko pojavi tudi razlika v atmosferskem tlaku zaradi razdalje brez spremembe višine. Tako je atmosferski tlak p_a različen od atmosferskega tlaka $p_a^{(*)}$ na drugi strani, kljub enaki višinski razliki. Razlika je lahko v nekaj 10 paskalov.



Slika 1

Tekočine in plini pri razliki tlakov tečejo od višjega tlaka proti nižjemu. Ta zakon splošno velja, zato lahko razlika zračnega tlaka na portalih povzroči gibanje zraka v predoru. Če je razlika tlakov velika, lahko vpliva tudi na mehansko prezračevanje. V nekaterih primerih zelo dolgih predorov (npr. pet in več kilometrov), ki povezujejo različna območja, je lahko v istem času razlika v zračnem tlaku tudi

tolikšna, da je treba uporabiti mehansko prezračevanje predora za ustvarjanje ustrezne atmosfere v predoru. Vpliv teh dejavnikov je treba predvideti že v projektu predora. Pogosteje se to dogaja na hribovitih območjih, ki so fizično ločena s hribom in med njima ne prihaja do izenačitve tlakov po drugih poteh. Večinoma pa so te razlike majhne, še posebno pri krajših predorih.

Na gibanje zraka v predoru lahko vpliva tudi temperatura zraka na portalih. Plin (zrak) ima pri določeni temperaturi določeno gostoto. Tako velja, da se s spremembo temperature spremeni tudi gostota. V naravi nestabilni sistem ne more obstati, zato prihaja pri dveh različnih gostotah plinov na povezani lokaciji do mešanja, oziroma do vzpostavitve ravnotežja na način, da snov z večjo gostoto izpodrine snov z nižjo gostoto. Tako je lahko razlog gibanja zraka v cevi tudi primer različnih gostot zraka na eni in drugi strani predora. Ta pojav je izrazitejši ob požaru v predoru z naklonom, ko se vroč dim giba po principu efekta dimnika proti višje ležečemu portalu predora.

Vetrovi

Vpliv vetra mora biti upoštevan pri projektiranju prezračevanja in tudi pri njegovi kasnejši uporabi. Za primer lahko vzamemo predor Kastelec, kjer piha močan veter, imenovan burja. Burja piha proti izstopnemu portalu v smeri Ljubljane, kar pomeni v nasprotni smeri vožnje. Predor Kastelec ima sistem vzdolžnega prezračevanja o katerem je bilo govora v predhodnem članku. Kadar deluje veter v nasprotni smeri vzdolžnega prezračevanja, nasprotuje potisku ventilatorjev in lahko povzroči probleme pri odvajanju dima in toplote ob požaru. Poleg same varnosti za gasilce in udeležence, je vprašljiva tudi možnost uspešnega posredovanja. Sam razvoj požara je lahko drugačen od predvidenega in širitev požara je lahko hitrejša.

Pri vetrovih s konstantno hitrostjo je razmere v predoru lažje predvideti in jih lažje obvladovati. Vetrovi brez sunkov ustvarijo določen tlak na portalih in mehansko prezračevanje mora ta tlak premagati, da lahko odvajanje dima in toplote ob požaru poteka nemoteno. Tak primer je južni veter na območju predora Kastelec. Iz severovzhoda pa v smeri portalov predora Kastelec piha veter burja. V cevi Ljubljana–Koper je smer burje enaka smeri prometa in tako pomaga mehanskemu prezračevanju in zato ne predstavlja bistvenega problema. Večji problem pa predstavlja v cevi Koper–Ljubljana, saj deluje točno v nasprotni smeri predvidenega prezračevanja. Pri sunkovitih vetrovih, kot je burja, je določitev vpliva na prezračevanje predora kompleksnejša.

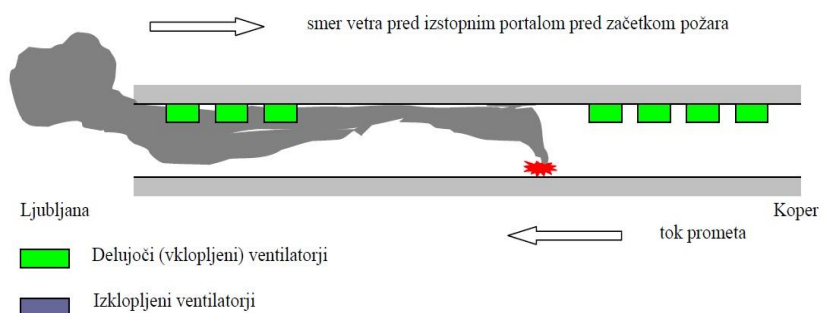
Sunek vetra je opredeljen kot hiter, velik in nenaden porast hitrosti vetra za krajše časovno obdobje, po katerem pogosto sledi stanje brezvetrja. Sunki so po večini kratkotrajni in trajajo 20-50 sekund. Pri uporabi povprečne hitrosti sunkovitega vetra, kot je burja, je zato treba biti pazljiv. Zaradi brezvetrja med sunki je povprečna hitrost nizka. Večinoma se povprečne hitrosti burje na površini gibljejo od 10 do 15 m/s. Sunki pa so lahko tudi 3- ali 4-krat močnejši od povprečne hitrosti in tako lahko na nekaterih lokacijah dosežejo tudi nad 50 m/s.

Kot že omenjeno, je pri vetrovnem vplivu pomembna lega predora. Če portali ne ležijo v smeri vetra, ta nanje posebno ne vpliva. Tak primer so predori na območju Rebrnic, kjer burja dosega visoke hitrosti, ne deluje pa v smeri portalov. V svetovnem merilu je tako malo predorov, ki so podvrženi vetrovnemu vplivu, še posebno močnemu sunkovitemu vetru kot je burja. Zato so slovenski AC predori Markovec, Dekani in Kastelec v tem pogledu posebnost.

Vpliv vetra na požarno varnost

Slovenski AC predori imajo izveden sistem vzdolžnega prezračevanja predora. Prezračevanje mora zagotoviti ustrezen odvod dima in toplote ob požaru, da omogoči varno evakuacijo ter uspešno posredovanje gasilcev. Hitrost prezračevanja predora, mora biti višja od kritične hitrosti za določeno jakost požara. Če je hitrost prezračevanja v cevi višja od kritične, potem ventilacija uspešno odvaža dim in toploto v smeri vožnje in do povratnega toka dima ne prihaja. Veter, ki deluje v nasprotni smeri prezračevanja, le-tega zavira. Hitrost vetra povzroči določen tlak na portalu predora. Na drugi strani pa imamo tlak, ki ga ustvarja mehansko prezračevanje v predorski cevi. Če je razlika tlakov v korist ventilacije prenizka, hitrost prezračevanja v predorski cevi ne dosega kritične hitrosti. Tako varnost v predoru ni ustrezna, saj bi ob požaru prihajalo do povratnega toka dima. V primeru, da bi veter za daljše obdobje povzročil višji tlak od mehanskega prezračevanja, pa bi se smer gibanja dima v cevi celo obrnila.

V predoru Kastelec, cev v smeri KP-LJ, je nameščeno večje število ventilatorjev, da lahko uspešno premagujejo vpliv burje (slika 2). V cevi je nameščenih 14 ventilatorjev, kateri naj bi premagovali vetrovni vpliv do hitrosti burje 25 m/s. Zadnje



Slika 2 (vir Petelin S. et. al. [1])

raziskave pa so pokazale, da bi bil odvod dima v času požara ustrezen tudi pri hitrosti sunkov burje do 30 m/s. V času, ko burja ne piha, zadostuje, da deluje le manjše število ventilatorjev za ustrezno odvajanje dima ob požaru. V primeru burje pa operater v Darsovem nadzornem centru v Kozini vklopi potrebno število ventilatorjev, da se premaguje vetrovni vpliv. Meritve hitrosti burje se izvajajo na viaduktu Smelavc, v neposredni bližini vzhodnih portalov predora. Nekaj krat letno, ko hitrost burje preseže 25 m/s, pa operater po protokolu zaustavi promet v predorski cevi KP-LJ ter predor zapre (slika 3). To je preventivni ukrep, saj v primeru nesreče in požara, ventilacija ne bi mogla zagotavljati ustrezne hitrosti prezračevanja za odvod dima in toplote. Ko hitrost burje upade, se predor ponovno odpre za promet.



Slika 3 (vir preberi.si)

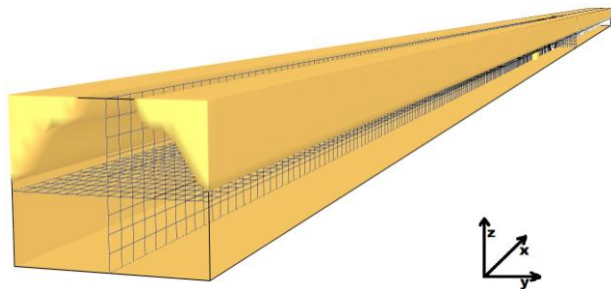
Zastavlja pa se vprašanje, zakaj predor Kastelec nima vgrajenih še dodatnih ventilatorjev, ki bi izničili vpliv burje nad 25 m/s in predora ne bi bilo potrebno zapirati? Vgrajeni ventilatorji so moči 30 kW. Strošek vgradnje dodatnih parov ventilatorjev ter električnega napajanja zanje bi bil izredno velik. Glede na 10 letno povprečje burje na tem območju, burja manj kot 8 % dni na leto piha s hitrostjo nad 25 m/s. Razmerje med širšim ekonomskim stroškom redkega zapiranja predora in stroškovno velike

investicije vgradnje dodatnih ventilatorjev je tako preveliko. Zato se pri vetrovnih vplivih vedno išče optimalno rešitev glede števila ventilatorjev, ki zagotavljajo ustrezno varnost. S podobnimi problemi se srečujeta tudi predor Dekani in Markovec. Ker pa sta zaradi lege in reliefa nekoliko manj izpostavljena burji, je število ventilatorjev v ceveh nekoliko manjše in zapiranje predora redkejše.

Raziskovanje in analiziranje

Trend raziskovanja in analiziranja različnih problemov se vse bolj nagiba k uporabi računalniških simulacij. Obstaja veliko programov, s katerimi se lahko opravlja numerične izračune dinamike tekočin. Nekateri modeli omogočajo tudi simulacijo celovitega požara (razvoj, širjenje, prenos toplote, pretvorba reaktantov v produkte z nastajanjem dima itd.). Hiter razvoj računalniških tehnologij omogoča reševanje kompleksnejših problemov tudi v velikih okoljih, kot je npr. predorska cev. Najpogosteje se uporabljajo 3D modeli računske dinamike tekočin oz. CFD (ang. computational fluid dynamics).

Programi, ki omogočajo simulacijo dinamike tekočin in celovitega požara so primerni za raziskovanje in izdelavo analiz na področju obravnavane problematike tega članka. Za izdelavo analiz je potrebno sestaviti vhodni model za program. Izriše oz. definira se geometrija predora v treh dimenzijah z računsko mrežo (slika 4), določijo se robni pogoji (odprtine na portalih in stene) ter definira se požar z lokacijo. Pri definiranju požara imamo možnost določiti količino in vrsto snovi ali pa njegovo jakost. To je odvisno, kaj želimo raziskovati. Če raziskujemo njegov razvoj, moramo določiti količino in vrsto snovi. Če pa razvoj požara ni pomemben in želimo analizirati druge dogodke, pol natančen opis gorljivih snovi ni potreben, ampak določimo samo jakost požara. Zavedati se je treba, da vsi dodatni parametri (kot je npr. računanje pirolize) podaljšujejo računski čas simulacije, ki se lahko hitro podaljša za nekaj ur.

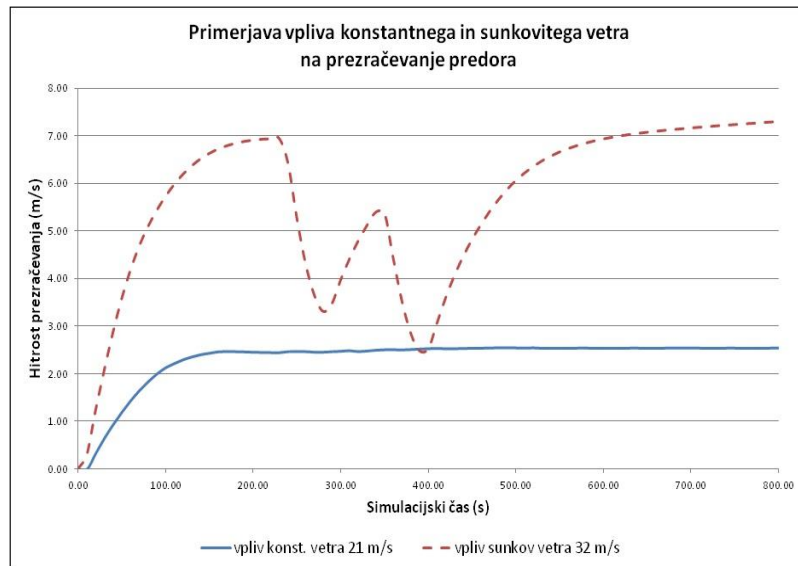


Slika 4

Prezračevanje se predpiše z definiranjem ventilatorjev, razliko tlakov na portalih ali hitrostjo zraka v cevi. Če želimo dodati še vpliv vetra, je najbolje določiti tlak na portalih predora (robne pogoje), in sicer na eni strani tlak, ki ga zagotavlja mehansko prezračevanje in na drugi strani pa tlak zaradi hitrosti vetra. Pri vetru, kot je burja, ki piha v izrazitih sunkih, se tlak na portalu z vetrom s časom zelo spreminja. Tako mora program omogočati definiranje dinamičnih robnih pogojev tlaka. V vhodnem oz. začetnem modelu simulacije se definira krivuljo, po kateri se tlak v času spreminja zaradi sunka vetra. Po zaključeni simulaciji iz rezultatov analiziramo, kako določeni sunki vetra vplivajo na hitrost prezračevanja v predoru. Na podlagi teh rezultatov se tudi lahko definira hitrosti vetra, do katere mehansko prezračevanje zagotavlja varne razmere v predoru v primeru požara.

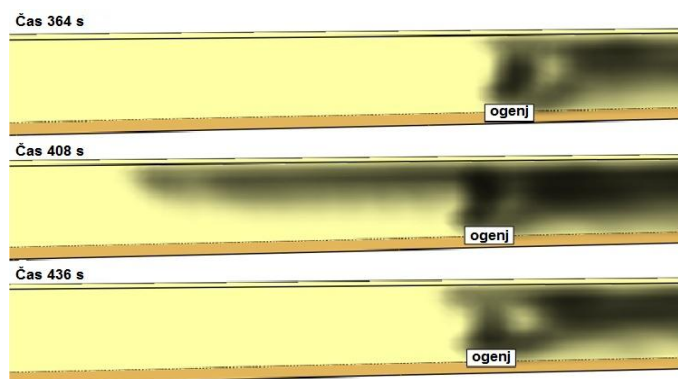
Kot primer naj na kratko predstavim raziskave iz predora Kastelec. Vhodni modeli so bili sestavljeni po karakteristikah predora (geometrija), karakteristikah mehanskega prezračevanja (št. ventilatorjev in njihova moč) ter karakteristikah burje (jakost, trajanje in periodika sunkov). Požar je bil definiran kot konstanten izvor toplote določene jakosti, saj so se opazovali pojavi pri polno razvitem požaru, ko nastaja največ dima in se sprošča največ toplote. Raziskanih je bilo več različnih scenarijev, za predstavu pa vzemimo primerjavo med vplivom konstantnega in sunkovitega vetra. Iz grafa na sliki 5

lahko vidimo razliko vpliva vpliva vetra na hitrosti prezračevanja v predorski cevi med konstantnim in sunkovitim vetrom, ko delujejo vsi ventilatorji. Pri sunkovitem vetru, ki deluje v krajših impulzih, inercija mehanskega prezračevanje lahko zadrži ustrezno hitrost prezračevanja v predoru. Tudi hitrost sunkov je lahko kar občutno višja, kot hitrost konstantnega vetra, a je prezračevanje v predoru še vedno lahko ustrezno. V scenariju konstantnega vetra je uporabljena hitrost vetra 21 m/s (~75 km/h), ki deluje na portal predora in nasprotuje polni moči ventilatorjev. Uporabljena hitrost sunkov pa je 32 m/s (~115 km/h), kar je občutna razlika napram konstantnemu vetru. Rezultati grafa na sliki 5 prikazujejo, da je vpliv sunkov vetra kljub občutni razliki v hitrosti, manjši od vpliva konstantnega vetra.



Slika 5

Zaradi kratkotrajnega delovanja sunka se pojavi še dodatna ugotovitev. Zelo izraziti sunki, kot jih ima burja, lahko pri svoji najvišji hitrosti povzročijo zadosten tlak, da hitrost prezračevanja v predoru pade pod kritično hitrost. Posledično začne prihajati do povratnega toka dima. Ker pa najvišja hitrost sunka deluje zelo kratkotrajno, je tudi povratni tok kratkotrajen, saj ventilacija deluje konstantno s polno močjo. Čim hitrost



Slika 6

sunka nekoliko upade, mehansko prezračevanje ponovno odvede ves dim in toploto v ustrezni smeri. Opisan pojav lahko vidimo na sliki 6, kjer je navedeno tudi časovno obdobje, ko nastane povratni tok dima v času delovanja sunka. Povratni tok pri raziskanem problemu na sliki 6 traja približno 72 sekund. Več o raziskavah in vplivu vetrov si lahko preberete v navedenih virih.

Določanje varnosti v cestnih predorih je kompleksna zadeva. Upoštevati je treba veliko faktorjev, med katerimi so tudi meteorološki vplivi. Z razvojem tehnologij se izboljšuje tudi varnost. Simulacije omogočajo definiranje in analize problemov že v projektih fazah objektov. Smiselno pa se jih lahko poslužujejo tudi razne službe za področje izobraževanja in usposabljanja.

Viri:

1. Petelin, S., et. al. (2005). Raziskovalna razvojna naloga s področja požarne varnosti: Uspešnost intervencije v predorih. Ljubljana: MO RS, URSZR.
2. Suban, A. (2015). Vpliv vetra na varnost v cestnem predoru. Portorož: UL FPP.
3. Suban, A., et. al. (2015). Effect of Gusty Wind on Road Tunnel Safety. Ljubljana: SV - JME 61(2015)7-8.