

## RAČUNALNI PROGRAM ZA KONTROLU STRUJANJA ZRAKA U TUNELIMA

Multidisciplinarna istraživačka skupina stručnjaka *Brodarskog instituta d.o.o.*, pod vodstvom dr. sc. Miodraga Drakulića, u proteklih je godinu dana razvila kompleksni računalni program za kontrolu uzdužnog strujanja zraka s primjenom u cestovnim tunnelima s uzdužnim sustavom ventilacije. Razvoj tog računalnog programa stručno je i financijski poduprla tvrtka *Hrvatske autoceste d.o.o.* realizacijom komercijalnog ugovora potpisanog 22. rujna 2005.

dima i tako ostvaruju najpovoljniji uvjeti i za evakuaciju putnika u inicijalnoj fazi požara i za intervenciju vatrogasnih i spasilačkih službi. Aktiviranjem ovog računalnoga programa, operateri u centru za kontrolu prometa ujedno se rastećuju potrebe da ručno upravljaju složenim sustavom ventilacije u ionako stresnim uvjetima koje karakterizira pojava požara u tunelu. Prvi domaći tunel u kojem je primijenjen navedeni program u postojeći

ceste A1 Zagreb-Split. Trenutačno su u fazi završna primopredajna ispitivanja programa kojima se verificira njegova učinkovitost u realnim uvjetima eksploatacije, a koja završavaju posebnim požarnim testom u tunelu koji je obavljen u noći s 23. na 24. listopada 2006.

Početak redovne operativne primjene navedenoga računalnog programa, koja će uslijediti neposredno nakon provedene analize provedenih ispitivanja, dodatno će se unaprijediti već postojeća visoka razina zaštite od požara na našem najdužem tunelu, potvrđena i od strane neovisnih vanjskih ocjenjivača (ADAC), te ostvariti osnovni uvjeti za primjenu ovog programa i na ostalim dugim tunnelima u Hrvatskoj.

Primjenom novorazvijenoga programa Hrvatska ulazi u uzak krug europskih zemalja koje rade na razvoju ove vrste računalnih programa.

Na slikama je prikazan požarni test u tunelu Sveti Rok ( $L = 5.670$  m), desna cijev:  $Q = 3,5$  MW (16.12.2003., izvor *Brodarski institut d.o.o.*).

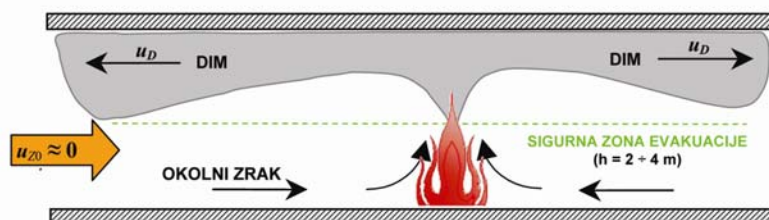
U početnoj fazi požara, pri izraženoj stratifikaciji dima, koju je moguće održavati samo pri malim uzdužnim brzinama zraka, dim i okolni zrak ponašaju se kao dvije odvojene plinske faze koje se ne miješaju, što omogućava putnicima da koristeći se ne-



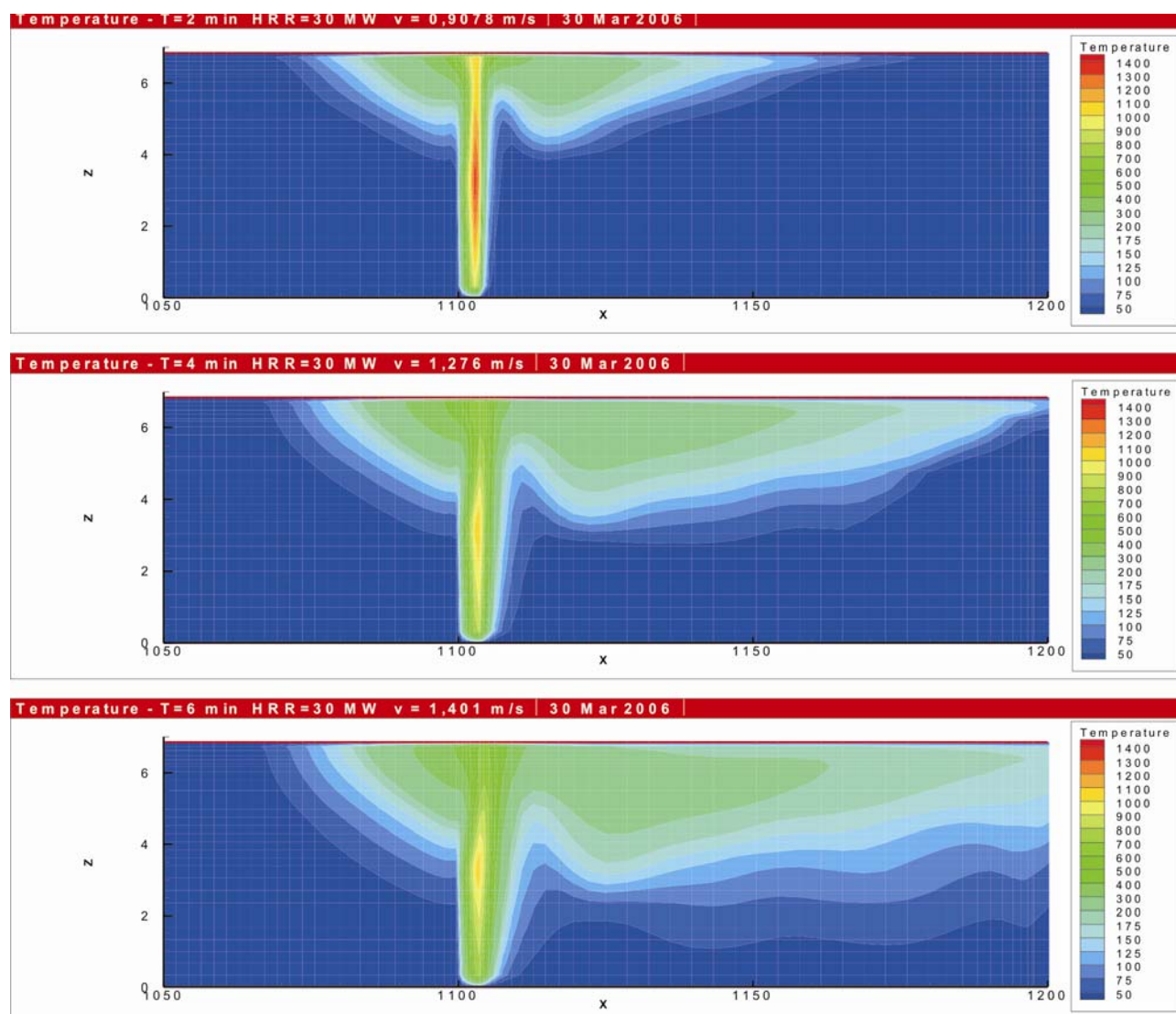
Stratifikacija (slojevito širenje dima u gornjoj zoni) u početnoj fazi požarnoga testa, pri kontroliranom održavanju uzdužne brzine zraka u intervalu od 1,0 do 1,5 m/s

Računalni je program sastavni dio nove operativne strategije upravljanja sustavom uzdužne ventilacije u uvjetima požara, koja između ostalog podrazumijeva automatsku kontrolu uzdužnog strujanja zraka i dima u svim fazama požarnog akcidenta. Pouzdano i efikasno upravljanje dimom unutar tunnelske cijevi od presudne je važnosti za uspješnost evakuacije putnika i sigurnost vatrogasnih službi na terenu. Primjenom novorazvijenoga programa u kritičnim se trenucima požarnog akcidenta upravlja smjerom i brzinom širenja

sustav daljinskog upravljanja jest Mala Kapela, najduži tunel u Hrvatskoj i ujedno najznačajniji objekt u sektoru Bosiljevo-Sveti Rok, auto-



Stratifikacija dima i simetrična raspodjela u početnoj fazi požara (idealizirani uvjeti)



Prikaz numeričkih rezultata

zadimljenim prostorom u donjem dijelu tunela neometano napuste požarom ugroženu tunelsku cijev.

### Numeričko modeliranje raspodjele dima

Kao važna faza u razvoju računalnoga programa provedeno je numeričko modeliranje raspodjele dima unutar tunelske cijevi, za različite vrijednosti toplinskih snaga požara te raz-

ličite moguće scenarije upravljanja dimom.

Na grafičkim se prikazima (slika 3.) koji su rezultat numeričkoga modeliranja u specijaliziranom CFD programskom alatu "SOLVENT", vidi kako se uzduž tunelske cijevi razvija dimna fronta u 2., 4. i 6. minuti od početka požara, dimenzionirana na toplinsku snagu od 30 MW, za slučaj kada se smjer i brzina širenja dima kontroliraju.

Ograničavajući brzinu širenja dima u intervalu od otprilike 1,0 do 1,5 m/s, što je rezultat djelovanja novo-razvijenoga računalnog programa *CONVEL AIR*, nezadimljena zona predviđena za sigurnu evakuaciju putnika (tamnije nijanse plave boje) egzistira i nakon 6 minuta od pojave požara do visine od otprilike 2,5 metra od kolnika.

Dr. sc. Miodrag Drakulić

## ZAŠTITA OD POŽARA U CESTOVNIM TUNELIMA

Međunarodna radionica o suvremenim dostignućima zaštite od požara u cestovnim tunelima održana je 8. i 9. veljače 2007. u organizaciji Brodarskog instituta, Instituta građevinarstva Hrvatske i Građevinskog fakulteta u Zagrebu. Radionica se održavala na Građevinskom fakultetu, a na njoj je bilo više od 180 sudionika iz 15 zemalja (Austrija, Belgija, Bosna i Hercegovina, Crna Gora, Finska, Francuska, Mađarska, Nizozemska, Njemačka, SAD, Slovenija, Švedska, Švicarska, Velika Britanija i Hrvatska).

Cilj radionice bio je razmjena informacija i iskustava stručnjaka koje se odnose na nove pristupe projektiranju, operativne strategije, suvremene tehničke sustave i primjenu novih, poboljšanih materijala koji mogu unaprijediti sigurnost od požara u postojećim i u planiranim cestovnim tunelima. Naime, nedavni katastrofalni požari u europskim tunelima (Mont Blanc, Tauern i Gotthard), kao i veliki porast cestovnoga prometa općenito, stavljaju pitanje požarne sigurnosti u središte javnoga i strukovnoga interesa.

Statistički gledajući, tuneli pripadaju sigurnijim dijelovima prometnice. Tunel je osvijetljen dio prometnice, što znači da ima bolju vidljivost. Kiša, snijeg, poledica kao mogući uzroci prometne nezgode u tunelu ne postoje. Ali požar u tunelu može izazvati znatno veće posljedice nego li požar nastao na otvorenom dijelu prometnice.

U svijetu postoji više udruga koje se bave problematikom tunela. Najznačajnije su *International Tunneling Association - ITA* te *World Road Association - PIARC*.

Dok se *ITA* prvenstveno bavi građevinskim aspektima tunelogradnje, *PIARC* se (udruga koja postoji već sto godina, a prvi je kongres održan

1908. u Parizu) bavi sigurnosnim aspektima toka prometa u tunelima.

*PIARC* proučava problematiku toka prometa u cestovnim tunelima već dugi niz godina.

Razvojem tehnologije mijenjaju se i postavke i kriteriji. Tako na primjer dok su prije petnaest godina automobili svojim sagorijevanjem i ispuštanjem CO<sub>2</sub> bili jedan od glavnih zagađivača u tunelu, usavršavanjem automobilskih motora, pa i goriva, to danas nije glavni problem.

*PIARC* je tijekom svih tih godina izučavao problematiku sigurnosti toka prometa u cestovnim tunelima s različitih gledišta, te kao rezultat rada eksperata iz cijelog svijeta izdao niz preporuka. Izdanja tih preporuka vrlo su tražena.

Hrvatska je član *PIARC*-a od 1993. i praktički se od prvog trenutka uključila u rad komiteta koji su obrađivali problematiku sigurnosti u cestovnim tunelima.

Na održanoj radionici razmijenjena su znanja, informacije i iskustva stručnjaka iz cijelog svijeta i regije, vezanih za nove pristupe projektiranju, opremanju i upravljanju cestov-

nim tunelima te upotrebu novih sredstava i materijala koji mogu unaprijediti sigurnost i u postojećim i u budućim cestovnim tunelima.

Teme radionice bile su:

- **Vrijedeći propisi, norme i smjernice**, s predavačima iz Sjedinjenih Američkih Država, Belgije, Njemačke, Austrije i Hrvatske. U radovima su prikazane najnovije smjernice *PIARC*-a za sigurnost cestovnih tunela, zatim EU Direktiva 2004/54/ koja obrađuje sigurnost u tunelu, europski istraživački projekti, propisi Američkog udruženja za zaštitu od požara u tunelima na mostovima i autocestama, austrijske smjernice za zaštitu od požara te postojeći propisi u Hrvatskoj na području zaštite od požara cestovnih tunela.
- **Prikaze postojećih i budućih projekata** dali su predavači iz Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Velike Britanije i Hrvatske pri čemu su predstavili buduće projekte izgradnje gradskih tunela u Zagrebu, zatim projekte izgradnje autocesta u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori te projekt revitalizacije tunela Holmesdale u Velikoj Britaniji.



S otvaranja radionice u velikoj dvorani AGG fakulteta u Zagrebu

- Projektna požarna opterećenja s predavačima iz Belgije, Švedske i Velike Britanije; posebno je prikazan utjecaj cestovnoga kolnika na požare u tunelima.
- Upravljanje ventilacijom u uvjetima požara, predavači iz Austrije, Slovenije, Velike Britanije i Hrvatske, gdje su prikazane operativne strategije te trendovi upravljanja ventilacijom tunela u raznim prilikama, uključivši i aktivnu kontrolu uzdužne brzine zraka u cestovnim tunelima u uvjetima požara te ventilaciju tunela u uvjetima olujnog vjetra.
- Stabilni sustavi **zaštite od požara**, predavači iz Nizozemske, Sjedinjenih Američkih Država, Njemačke i Hrvatske, gdje su prikazana nova ispitivanja stabilnih sustava zaštite od požara, njihova ocjena, zatim međunarodni istraživački program detekcije od požara u tunelima, učinkovitost sustava vatrodjave i stabilnih sustava za gašenje od požara u cestovnim tunelima i na kraju primopredajna ispitivanja fibrooptičkoga sustava vatrodjave.
- **Ostali aspekti sigurnosti od požara** s predavačima iz Nizozemske, Njemačke, Austrije, Hrvatske i Slovenije s temama: utjecaj ljudskih faktora na zaštitu od po-

žara u tunelima, otpornost tunela na požar, rezultati istraživačkog projekta EUREKA, primjene analize rizika i formiranje matrice rizika na temelju CFD modeliranja cestovnih tunela, organizacijski aspekti zaštite od požara pri faznoj izgradnji cestovnih tunela.

Republika Hrvatska u opsežnom projektu cestogradnje u proteklih je nekoliko godina izgradila ukupno 55 tunela u ukupnoj duljini od 86 km te dalje nastavlja s intenzivnom izgradnjom. Nedavno dobivene europske ocjene za opremljenost i sigurnost tunela na glavnim cestovnim koridorima svrstavaju Hrvatsku u skupinu vodećih zemalja u području sigurnosti i zaštite od požara u cestovnim tunelima.

Postojeće nacionalne strategije zaštite od požara u cestovnim tunelima rezultat su karakterističnoga pristupa svake zemlje u rješavanju ovog problema, a uvjetovane su različitim faktorima (npr. stupnjem prometne povezanosti zemlje s međunarodnom mrežom prometnica, tradicijom u tunelogradnji, brojem izgrađenih tunela i njihovim građevinskim karakteristikama, ekonomskom razvijenosti i razinom tehničke kulture, postojanjem domaće proizvodnje tunnelske opreme i dr.).

Međutim, održivi razvoj europskoga prometnog prostora, integralni dio

kojega je Hrvatska već sada, moguće je samo pod pretpostavkom efikasnosti i sigurnoga kretanja ljudi i dobara, s posebnim naglaskom na sigurnost svih sudionika u procesu transporta. U tom je smislu 2004. Europska komisija donijela svoju poznatu Direktivu br. 2004/54/EC, kojom se nastoje harmonizirati različite sigurnosne politike europskih zemalja u integralnom prometnom prostoru Europe. Naravno, problem harmonizacije različitih sigurnosnih politika može se primijeniti i na globalnu razinu prometnica.

U sklopu radionice 7. su veljače, *Hrvatske autoceste* ugostile sudionike radionice u *Centru za održavanje i kontrolu prometa* tunela Mala Kapela.

Na kraju dvodnevna druženja u ime organizatora dr. sc. Miodrag Drakulić, dipl. ing. izjavio je kako organizatori izražavaju zadovoljstvo što je rad međunarodne radionice protekao u dvosmjernoj komunikaciji, koja je obilježena razmjenom iskustava i dostignuća između predavača iz renomiranih međunarodnih asocijacija i predavača iz zemalja regije.

Pripremila T. Vrančić  
koristeći se izlaganjima A. Duška i  
M. Drakulića na radionici

## POŽARNO SIGURNA GRADNJA STAMBENIH KUĆA

Protupožarni zahvati pri gradnji stambenih kuća određeni su općenitim načelima: zaštitom života i imovine. Ovdje su sažeti zahtjevi s obzirom na požarnu otpornost konstrukcija stambenih kuća, požarne karakteristike ugrađenih materijala, uređivanje putova za evakuaciju, dopušteni najmanji odmaci od granice zemljišta s obzirom na susjednu zgradu i postupci za sprječavanje nastanka požara koje

treba poštovati pri izvedbi instalacija, ložišta, dimnjaka itd.

Kako bi se potonje odredili zahtjevi za protupožarno planiranje, gradnju i uporabu stambenih kuća treba osigurati:

1. uvjete za sigurno sklanjanje (evakuaciju) ljudi, životinja i imovine
2. potrebne razmake između građevina i potrebno požarno odvajanje

3. prometne i radne površine za intervencijska vozila
4. izvore za dostatnu opskrbu vode za gašenje.

Vanjsko uređenje okoliša stambene građevine moralo bi vatrogasnom vozilu omogućavati dostup do ulaza, a stanovi bi morali biti odvojeni jedni od drugih tako da je osigurana zamjena požarna zaštita te sigurnost imovine.



Posljedice požara na obiteljskoj kući

### Smjernice za požarno sigurno projektiranje, gradnju i uporabu stambenih kuća

Pri projektiranju stambenih kuća treba poštovati spoznaje o protupožarnoj struci, zapisane u literaturi i strukovnim smjernicama (uporaba određenih građevnih materijala i konstrukcija te pravilna izvedba i sigurno iskorištava stambenih kuća).

Pri oblikovanju zahtjeva za protupožarno sigurno projektiranje, gradnju i iskorištava stambenih kuća moraju se poštovati sljedeći parametri:

1. dva stupnja požara u građevinama: početni požar gdje su važne požarne karakteristike materijala i sasvim razvijeni požar gdje je važna požarna otpornost konstrukcije,
2. utjecaj opterećenja na požarnu otpornost konstrukcije,
3. važnost izvedbe detalja: izvedba konstrukcija uz ložišta i drugih izvora povišene temperature, po-

žarne zapore kod spojenih (sastavljenih) konstrukcija, izvedba prozračivanja konstrukcija, požarno odvajanje između pojedinih stambenih jedinica,

4. predviđeno (može biti i dopušteno) požarno opterećenje i faktor otvora (proporcija između površina otvora i površine vanjske stijene) za računanje potrebne požarne otpornosti konstrukcije,
5. sigurnost evakuacijskih putova, uporaba materijala s određenim požarnim karakteristikama na evakuacijskim putovima – hodnicima i stubištima,
6. utjecaj pojedinih elemenata konstrukcije na njezinu požarnu otpornost,
7. požarne karakteristike obložnih materijala i pokrova:
  - zidnih, podnih i stropnih obloga: negorivost, vrijeme zapaljivosti, širenje plamena, oslobađanje dima i topline

- vanjskih obloga - pročelja: negorivost, vrijeme zapaljivosti, širenje plamena
- krovni pokrovi: otpornost na tzv. leteću vatru

8. utjecaj ugrađenih sustava automatskog javljanja i alarmiranja te gašenja požara,
9. pravilna izvedba ugrađenih instalacija, prije svega električnih i plinskih
10. dopuštena veličina zgrade (površina i broj katova) s obzirom na požarne karakteristike konstrukcija i materijala,
11. razmaci između zgrada zbog sprječavanja prijenosa požara,
12. raspoloživost vatrogasnih jedinica, kolni putovi i postava površina za vatrogasna vozila, dostupni za vatrogasce.

### Požarna otpornost konstrukcija

Konstrukcije između pojedinih stambenih jedinica moraju biti požarno otporne, isto kao i konstrukcije između obiteljskih kuća u nizu. Te granične konstrukcije trebale bi dosegati požarnu otpornost 90 minuta. Vrata u pojedine stanove trebala bi imati požarnu otpornost 30 minuta. Pridržavanje dodatnih protupožarnih rješenja uvelike može povećati protupožarnu otpornost.

Od ostalih prostora požarno moraju biti odvojeni i servisni prostori, kotlovnice, podrumi stanara, podzemne garaže.



Primjer zaštite od požara električnih instalacija koje za požara moraju funkcionirati

S obzirom na požarnu sigurnost važne su prije svega požarne karakteristike obložnih materijala na evakuacijskim putovima i pročelja. Ugodniji je izbor negorivih obložnih materijala – gips-kartonskih ploča i klasično žbukanih pročelja.

Negoriva površina pročelja bitna je pri određivanju najmanjega dopuštenog razmaka između susjednih zgrada.

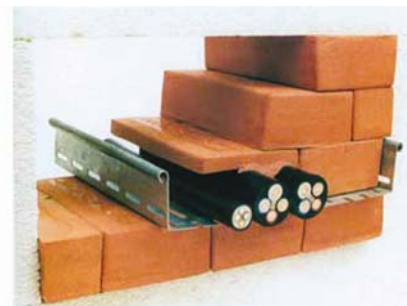
### Pravilna izvedba evakuacijskih putova

Izvedba putova za evakuaciju iz zgrade vrlo je važna, pogotovo u višestambenim zgradama. U SAD-u vrijedi logično pravilo da svaki stan mora imati osigurana dva puta za evakuaciju. To je idealno rješenje koje se u Hrvatskoj vjerojatno još dugo neće zahtijevati.

Pri projektiranju treba poštovati sljedeće ključne elemente evakuacijskih putova: vrata u stan, hodnik do evakuacijskoga stubišta, evakuacijsko stubište i izlaz na otvorenu površinu. Evo nekoliko pravila projektiranja sigurnosnih evakuacijskih putova:

- Ako je zgrada viša od 5 katova, stubište mora biti požarno odvojeno od hodnika pojedinih katova.
- Dužina slijepog hodnika ne smije prelaziti 7 m.
- Obloge na hodnicima i stubištima ne smiju biti od lakozapaljivih materijala.
- Vrata na evakuacijskim putovima ne smiju se zaključavati u smjeru izlaza iz zgrade. Vrata se moraju u tom smjeru otvoriti bez ključa.
- Kanal dizala, instalacijski i drugi vertikalni kanali moraju požarno biti odvojeni od stubišta i drugih evakuacijskih putova. Dizala nisu namijenjena evakuaciji ljudi!
- Hodnici i stubišta moraju biti osvijetljeni prirodnom svjetlošću, iako mora biti ugrađena i prisilna rasvjeta.

- Stubišta moraju imati u gornjem dijelu otvore kroz koje se može odvoditi dim. Stubišta moraju biti požarno odvojena od podrumskih prostora.



Brtvljenje i provođenje električne instalacije kroz granice požarnih zona

Ovo naravno nisu sve upute po kojima bi se planirali evakuacijski putovi u novim višestambenim zgradama, iako upozoravaju na najčešće pogreške u planiranju koje dovode do ljudskih žrtava i štete na imovini.

### Pravilna izvedba i održavanje električnih instalacija, ložišta i drugih mogućih izvora paljenja

Pri planiranju i gradnji stambene kuće zbog sprječavanja nastanka požara valja paziti na pravilnu izvedbu električnih instalacija, ložišta, dimovoda i drugih mogućih izvora požara.

Električne instalacije moraju biti dimenzionirane tako da se pri očekivanim opterećenjima ne pregrijavaju, svjetleća i grijaća tijela moraju biti postavljena tako da ne isijavaju toplinu na materijale u svojoj blizini. Kod zgrada od gorivih materijala, kao što su primjerice drvene montažne kuće, to treba posebno naglasiti.

U obiteljskim kućama najčešći su požari koji se šire iz ložišta i dimnjaka, stoga posebnu pozornost treba posvetiti planiranju i izvedbi ložišta i dimnjaka. Peći, kamini i slična ložišta moraju biti odmaknuti od zida od gorivoga materijala, kako ne bi došlo do prevelike akumulacije topline u konstrukciji. Između zatvore-

nih ložišta i konstrukcije obično se postavljaju zasloni od negorivoga materijala, međuprostor mora biti zračen. Potrebni razmaci ovise o peći, iako je neko uobičajeno pravi-

lo da taj razmak mora biti dvadesetak centimetara.

Dimovodi moraju biti primjereni tipu ložišta i goriva, čiji prolaz kroz konstrukcije od gorivih materijala moraju biti zaštićeni negorivim materijalima. Uobičajeno je dovoljno brtvljenje dimovodne cijevi mineralnom vunom, šamotnom cijevi i obzidom od negorivih materijala u promjeru najmanje 25 cm od vanjske stijenke dimovodne cijevi.

Kod prolaza dimnjaka kroz krovnu konstrukciju drveni dijelovi moraju biti od dimnjaka udaljeni bar 10 cm.

### Dopušteni najmanji razmaci između susjednih kuća

Pri prostornom planiranju treba poštovati potrebne razmake između kuća čime se sprječava prijenos požara s goreće na susjedne kuće. Određivanje najmanjih razmaka temelji se na proračunu toplinskoga zračenja iz goreće zgrade na susjedne.

Na primjer: do paljenja drva dolazi ako je ono 20 minuta izloženo toplinskom zračenju  $33,5 \text{ kW/m}^2$ . Ako je prisutan i otvoreni plamen, do paljenja drva dolazi već pri toplinskom zračenju od  $12,6 \text{ kW/m}^2$ .

### Prometne radne površine za intervencijska vozila i izvori vode za gašenje požara

Osim dovoljnih razmaka između kuća, za brzu i učinkovitu intervenciju pri nastalom požaru važno je i prometno uređenje koje vatrogascima omogućava dostup do kuće (zgrade) te dostatna količina vode za gašenje požara.

Za obiteljske kuće preporučljivo je da postavljena površina za vatrogasna vozila bude udaljena od najudaljenije točke u prizemne obiteljske kuće najviše 46 m.

U uređenim urbanim naseljima otkrivanje požara je uobičajeno brzo, isto je tako moguć prijenos obavijesti o požaru vatrogasnim jedinicama i brza intervencija. Treba pravilno planirati i izvesti vanjsku i unutarnju hidrantnu mrežu dimenzioniranje koje ovisi o kriteriju najmanje potreb-

ne količine za gašenje požara. Za gašenje požara obiteljske kuće uglavnom je dovoljno 10 l/s vode za gašenje požara pod pritiskom od 5 bara. Ako je do hidranta, predviđenoga za gašenje požara u određenoj zgradi, uređen dostup za vatrogasno vozilo – crpku, pritisak može biti i manji.

### Druga rješenja za sprječavanje širenja požara

Osim nabrojanih rješenja za sprječavanje širenja požara, koja urbanisti moraju poštovati pri planiranju naselja, a pri gradnji stambenih kuća projektanti, postoje i druga rješenja za sprječavanje širenja požara koje se mogu predložiti stanarima. To su rješenja aktivne požarne zaštite. Među njih se ubraja i zakonski obvezatna priprema požarnog reda i požarni nacrt. U požarnom redu određena susva potrebna požarno sigurnosna rješenja. U izvodu iz požarnog reda,

koji mora biti postavljen na vidljivu mjestu u zgradi nalaze se i upute za ponašanje u slučaju požara. Požarni nacrt namijenjen je vatrogascima. Pregledna shema zgrade sa svim požarno opasnim mjestima, tlocrtom tipičnog kata, položajem hidranata i drugim važnim podacima, vatrogascima omogućava bržu i učinkovitiju intervenciju.

Među rješenja aktivne požarne zaštite ubraja se i automatsko otkrivanje i javljanje požara te automatsko gašenje požara. Oni još nisu zakonski određeni i dovoljno stimulirani od osiguravajućih kuća, iako su tehnički sve jednostavniji za izvedbu i sve jeftiniji.

T. Vrančić

### IZVOR

PROMAT – priručnik građevinske i tehničke protupožarne zaštite