

Republika Slovenija
Ministrstvo za obrambo

Smernica

Uporaba računalniških modelov na področju varstva pred požarom

XXX:2007

0. Uvod

0.1 Zakonska podlaga za izdajo smernice

Izdaja smernice temelji na 8. členu Pravilnika o požarni varnosti v stavbah. Omenjeni pravilnik v prvem odstavku navaja, da se smejo pri projektiranju in gradnji stavb namesto ukrepov, navedenih v tehničnih smernicah iz prejšnjega člena, uporabiti ukrepi iz drugih standardov, tehničnih smernic, tehničnih specifikacij, kodeksov uveljavljenega ravnanja ali drugih dokumentov, ki določajo požarnovarnostne ukrepe v smislu tega pravilnika ali ukrepi, ki temeljijo na izračunih v okviru metod požarnega inženirstva. V nadaljevanju Pravilnik o požarni varnosti v stavbah v 13. členu navaja zahteve za vsebino dokumentacije za soglasodajalca, po katerem je treba, kadar se v projektu uporabijo ukrepi, ki temeljijo na izračunih v okviru metod požarnega inženirstva, v idejni zasnovi natančno opisati vse bistvene predpostavke, na podlagi katerih je projektant prišel do predlaganih rešitev.

0.2 Namen in strokovna podlaga za izdajo smernice

0.2.1 Namen smernice

Smernica predstavlja podlago za uporabo računalniških modelov na področju požarne varnosti, ki so hkrati eno od orodij za načrtovanje požarne varnosti z metodami požarnega inženirstva.

Smernica podaja priporočila za izbor požarnih modelov za projektante požarne varnosti, projektante sistemov aktivne požarne zaščite, inšpekcijske službe in intervencijske skupine (v nadaljevanju uporabniki). Za pregled področja uporabe računalniških modelov za posamezne ciljne skupine glej Prilogo I.

Smernica podaja navodila za oceno postopkov uporabe računalniških modelov, oceno rezultatov in ovrednotenje poročil, ki so nastala s pomočjo uporabe računalniških modelov.

Smernica zajema napotke za pripravo poročil, kjer so v okviru metod požarnega inženirstva bili uporabljeni računalniški modeli.

0.2.2 Strokovna podlaga za izdajo smernice

Požarno inženirstvo predstavlja poseben izziv pri reševanju problemov na področju požarne varnosti v objektih. Do sedaj uporabljan

t.i.predpisni¹ sistem načrtovanja požarne varnosti pogosto ne more dovolj dobro rešiti nekaterih problemov zagotavljanja požarne varnosti. Pomanjkljivosti se bolj izrazito pokažejo pri gradnji kompleksnih in nestandardnih objektov. Med te objekte spadajo objekti, kjer lahko že manjši požar predstavlja veliko tveganje. Rešitve, ki jih projektantu in uporabniku nudi predpisujoč sistem, so pri gradnji objektov, ki predstavljajo visoko stopnjo tveganja, pogostokrat vprašljive in neustrezne. Predpisujoči način projektiranja požarne varnosti ne zajema različnih požarnih scenarijev, do katerih bi lahko prišlo v objektu v primeru požara. Načrtovanje požarne varnosti z uporabo inženirskih metod po drugi strani pomeni drugačen pristop, ki se zadnje čase uveljavlja po svetu. To ti. performančno projektiranje pomeni istočasno uporabo inženirskih metod ter znanstveni pristop k reševanju problemov požarne varnosti in ima predvsem dva glavna cilja: izboljšati stopnjo požarne varnosti oz. zagotavljati enako stopnjo požarne varnosti, kot bi jo z uporabo predpisnih metod, a z nižjimi stroški. Nanaša se na varovanje ljudi, premoženja in okolja. Ta način projektiranja predstavlja alternativni način projektiranja požarne varnosti v objektih.

¹ Predpisujoč ali predpisni sistem se v terminologiji požarne varnosti pogosto imenuje tudi preskriptiven sistem.

0.3 Referenčni dokumenti

0.3.1 Predpisi

- 0.3.1.1. Zakon o graditvi objektov (Ur.l. RS, št. 110/2002, 97/2003 Odl.US: U-I-152/00-23, 41/2004-ZVO-1, 45/2004, 47/2004, 62/2004 Odl.US: U-I-1/03-15, 92/2005-ZJC-B, 93/2005-ZVMS, 111/2005 Odl.US: U-I-150-04-19, 120/2006 Odl.US: U-I-286/04-46)
- 0.3.1.2. Zakon o varstvu pred požarom (Ur.l. RS, št. 71/1993, 87/2001, 110/2002-ZGO-1, 105/2006)
- 0.3.1.3. Pravilnik o požarni varnosti v stavbah Ur.l. RS, št. 31/2004, 10/2005, 83/2005)
- 0.3.1.4. Pravilnik o študiji požarne varnosti Ur.l. RS, št. 28/2005, 66/2006 Odl.US: U-I-202/05-11, 132/2006)

0.3.2 Standardi

- 0.3.2.1. ASTM E 1355-05a Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models
- 0.3.2.2. ASTM E 1472 Guide for Documenting Computer Software for Fire Models
- 0.3.2.3. ASTM E1591 Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models
- 0.3.2.4. ASTM E176 Terminology of Fire Standards
- 0.3.2.5. ASTM E1895 Guide for Determining Uses and Limitations of Deterministic Fire Models

0.3.3 Smernice in drugi dokumenti

- 0.3.3.1. Fire Engineering Guidelines, Version 7.0, Sydney, 1995
- 0.3.3.2. DD 240 Part1: 1997, Fire Safety Engineering in Buildings - Guide, BSI, London, 1997
- 0.3.3.3. Performance-Based Primer, Codes and Standards Preparation, Revision 1.0, NFPA, Boston January, 2000
- 0.3.3.4. A Guide to the Fire-safety Approved Documents of the New Zealand Building Code - Draft 1991
- 0.3.3.5. NFPA 286 »Standard Method of Fire Tests for Evaluating Contribution of Wall and Ceiling Interior Finish to Room Fire Growth« National Fire Protection Association, 2000
- 0.3.3.6. Babrauskas, Vytenis, Fire modeling: An introduction for attorneys, http://www.doctorfire.com/mod_test.html, april 2007

- 0.3.3.7. Phillips W., Computer Simulation for Fire Protection Engineering, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.8. Janssens M, Calorimetry, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.9. Babrauskas V., The Cone Calorimeter, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.10. Stroup, David W., Using Field Modeling to Simulate Enclosure Fires, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.11. Walton, William D., Zone Computer Fire Models for Enclosures, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.12. Ramachandran, G, Stochastic Models of Fire Growth, SFPE Handbook, 2nd Edition 1995
- 0.3.3.13. Karlsson B., Quintiere J., Enclosure Fire Dynamics« CRC Press, 2000
- 0.3.3.14. Friedman R., International Survey of Computer Models for Fire and Smoke, Combustion Science and Engineering, 2002
- 0.3.3.15. Quintiere James G., Principles of Fire Behaviour, Delmar Publishers, 1998

0.3.4 Spletne povezave

- 0.3.4.1. www.firemodelsurvey.com/index.htm
- 0.3.4.2. www.doctorfire.com/mod_test.html
- 0.3.4.3. www.bfrl.nist.gov

0.4 *Pomen izrazov in kratic*

EGOLF – European Group of Organisations for Fire Testing, Certification and Inspection – Združenje evropskih požarih laboratorijev

FM – Factory Mutual - preizkusni laboratorij iz ZDA

Izvorna koda – skupina navodil, napisanih v programskem jeziku

Knjižnica podatkov – zbirka shranjenih delovnih podatkov, ki jih uporabljajo podsistemi modela

Modeli con - Pri modelih con se požarno okolje izračunava z razdelitvijo vsakega požarnega sektorja na dve homogeni coni. Prva cona je zgornja cona vročega dima, ki vsebuje produkte zgorevanja. Druga cona je spodnja cona, kjer ni dima in je hladnejša kot vroča cona.

Modeli polja - Pri modelih polja sloni napoved požarnega okolja v prostoru na numeričnem reševanju enačb za prenos snovi, gibalne količine in energije. Matematična rešitev diskretiziranega sistema prenosnih enačb je ponavadi izvedena z metodo končnih razlik, končnih volumnov, končnih elementov ali pa z metodo robnih elementov

Odprta koda – brezplačno programje (tudi freeware), ki ga lahko najdemo na internetu ali zgoščenkah

Požarni scenarij - Požarni scenarij predstavlja opis poteka požara od vžiga do polno razvitega požara. Zajema tako značilnosti objekta, uporabnikov, okolice kot tudi načrtovane požarnovarnostne ukrepe in morebitno škodo, ki jo lahko požar povzroči.

Računalniški model – simulacija procesa (ov), ki je lahko tudi virtualna

UL – Underwriters Laboratories inc. – preizkusni laboratorij iz ZDA

Verificiranje – pregled pravilnosti delovanja računalniškega modela

1. Splošne zahteve za izbor računalniškega modela

Uporaba modela mora temeljiti na požarnem scenariju.

Požarni scenarij opisuje kritične dejavnike, ki pripomorejo k nastanku ali širitvi požara. Med te dejavnike prištevamo možne vire vžiga, vrste, lastnosti in količine potencialnih goriv, vrsto tehnološkega procesa ter opremo, značilnosti in število ljudi, način gradnje in načrtovane ukrepe aktivne in pasivne požarne zaščite v objektu. Požarni scenarij opisuje dejavnike, ki vplivajo na požarno varnost objekta, uporabnikov objekta in vsebine objekta. S požarnim scenarijem lahko uporabnik postavi osnutke za uporabo požarnega modela in tako z modelom načrtuje požarnovarnostne ukrepe v objektu (projektant požarne varnosti), preveri ustreznost izvedenih ukrepov varstva pred požarom v načrtovanem ali obstoječem objektu (inšpekcijske službe) oz. na podlagi namišljenega ali dejanskega objekta pripravlja animacijo razvoja požara, gibanja zgorevalnih produktov in rezultate kasneje uporablja za taktično usposabljanje gasilcev (intervencijske skupine).

Ob izboru računalniškega modela in primernosti le tega za načrtovanje ukrepov požarne varnosti mora uporabnik zagotoviti, da:

- je model primeren za obravnavani problem (npr. požarni scenarij),
- model izpolnjuje v scenariju podane zahteve in
- je bil izbran računalniški modeli ustrezno ocenjen in verificiran.

Ob uporabi računalniškega modela za intervencijske skupine je treba pred izborom modela, če se bo le ta uporabljal za usposabljanje gasilcev, zagotoviti, da model omogoča izdelavo grafičnih animacij.

Uporabnik mora ob opredelitvi požarnega scenarija posebno pozornost nameniti naslednjim dejavnikom:

- virom vžiga,
- vrsti in količini goriva, ki se bo prvo vžgalo,
- mestu požara,
- vplivu geometrije in velikosti prostora na širjenje požara,
- položaju vrat in oken ob požaru,
- času nastanka požara (ponoči, podnevi, letni čas),
- vrsti prezračevanja v objektu (naravno ali mehansko),
- vrsti konstrukcije (jeklena, armirano betonska, lesena),

- obložnim materialom (gorljivi, negorljivi, hitro goreči, počasi goreči, kapljajo ob gorenju),
- možnosti reševanja in gašenja (značilnosti uporabnikov objekta, kategorija najbližje gasilske enote, oddaljenost, oprema).

Podrobnejši seznam in opis računalniških modelov na področju varstva pred požarom je podan v Prilogi II.

2. Izbor računalniškega modela

Glede na uporabo delimo računalniške modele na področju varstva pred požarom na^{0.3.3.14.}:

- modele za sektorsko simuliranje požarov,
- modele gašenja in javljanja požarov,
- modele za načrtovanje umika,
- modele za gibanje dima,
- modele za odziv konstrukcije na ogenj in
- kombinirane modele.

Pred uporabo modela je treba definirati namen in cilj uporabe računalniškega modela.

Uporabnik računalniškega modela mora:

- oceniti požarno nevarnost in požarno tveganje,
- opredeliti ali je uporaba računalniškega modela glede na namen in cilj ter oceno požarne nevarnosti primerna,
- navesti kateri modeli so primerni za reševanje problema.

Med izborom ustreznega modela si lahko uporabnik pomaga z opisom modelov v Prilogi II in referenčnim dokumentom 0.3.4.1.

Uporabnik mora navesti podatke o izbranem modelu in pojasniti razloge za odločitev.

Pred dokončno izbiro modela, mora uporabnik odgovoriti na vprašanja iz Priloge III.

Negativno odgovorjeno vprašanje št. 13 predstavlja za uporabnika zahtevo po uporabi modelov polja oz. zahtevo po podrobni utemeljitvi vseh odločitev in korakov v modelu con.

Negativno odgovorjeno vprašanje št. 15 predstavlja za uporabnika zahtevo po podrobni utemeljitvi vseh odločitev in korakov v uporabljenem modelu.

Izbrani model mora izpolnjevati zahteve, zajete z vprašalnikom v Prilogi III. Uporabniku mora biti ob uporabi računalniškega modela na voljo podroben opis modela in navodila za uporabo.

Med podroben opis modela spadajo podatki o:

- vrsti modela,
- matematičnih osnovah, na temelju katerih model deluje,
- knjižnicah s podatki (npr. podatki o požarnih lastnostih materialov, toplotnih lastnostih predelnih elementov ipd),
- programskem jeziku, v katerem je računalniški model napisan,
- vrsti izvorne kode (odprta brezplačno dostopna, plačljiva).

Navodila za uporabo morajo zajemati:

- opis programa,
- zahteve glede računalniške opreme za namestitvev in zagon modela,
- navodila za namestitvev programa,
- navodila za izdelavo oz. vstavljanje geometrije prostora ali prostorov,
- navodila za vnos vstopnih parametrov preko menijev oz. drugih zunanjih dokumentov,
- navodila o povezljivosti z drugo programsko opremo,
- navodila za zagon računalniškega modela,
- navodila za shranjevanje in prikaz izračunov (grafičen, tabelaričen, vnos podatkov v druge datoteke).

3. Izvorna koda računalniškega modela

V kolikor model ali deli modela glede na namen in cilj uporabe niso ustrezni, lahko uporabnik prilagodi izvorno kodo. V tem primeru mora s spremembo soglašati avtor izvorne kode. Vse spremembe izvorne kode morajo biti dokumentirane^{0.3.2.1.}.

Model s spremenjeno izvorno kodo mora biti pred uporabo preizkušen. Dobljeni rezultati morajo biti preverjeni^{0.3.3.12.}.

4. Uporaba računalniškega modela in dokumentiranje rezultatov

Po izboru ustreznega modela mora uporabnik^{0.3.2.2.}:

- opredeliti in dokumentirati vse predpostavke,
- opredeliti in dokumentirati spremenljivke, ki jih je vnesel v model,
- opredeliti in dokumentirati vse vhodne podatke, ki jih je vnesel v model. Ob navedbi vhodnih podatkov je treba navesti vir podatkov, standardne metode, ki so bile uporabljene za pridobivanje podatkov in oceno zanesljivosti podatkov.

- ovrednotiti rezultate in jih v kolikor je to mogoče primerjati z rezultati požarnih preizkusov ali rezultati pridobljenimi s podobnim modelom. V kolikor podatkov za primerjavo ni, je treba na pridobljenih podatkih opraviti analizo občutljivosti.

Analiza občutljivosti modela predstavlja proučevanje vplivov sprememb vhodnih parametrov modela na rezultate, ki jih daje model.

Analiza občutljivosti se uporablja za^{0.3.3.7.}:

- identifikacijo dominantnih spremenljivk v modelih,
- določanje sprejemljivega razpona vrednosti vsake vhodne spremenljivke,
- dokazovanje občutljivosti izhodnih spremenljivk na spreminjanje vhodnih podatkov,
- informiranje in opomin možnim uporabnikom o stopnji previdnosti, potrebni pri izbiri vhodnih podatkov in uporabi modela,
- vpogled, katere parametre je treba spremljati pri požarnih preskusih.

5. Priprava poročila

Uporabnik računalniških modelov na področju požarne varnosti mora o uporabi modela pripraviti pisno poročilo, ki obsega^{0.3.2.2.}:

- informacije o programu:
 - polno in skrajšano ime programa,
 - podatke o avtorju oz. izdajatelju programa,
 - podatke o nosilcu licence oz. omejitvah uporabe programa,
 - osnovni tehnični opis programa,
 - minimalne zahteve za strojno opremo,
 - podatke o nadgradnjah osnovnega programa.
- informacije o uporabniku programa:
 - priimek in ime,
 - registracija pri IZS ali ustanovi, ki jo določi pristojno ministrstvo,
 - podatki o osnovni izobrazbi,
 - podatki o usposabljanjih povezanih z uporabo računalniškega modela na področju požarne varnosti,
 - referenčna lista o predhodnih uporabah računalniškega modela.
- vhodne podatke, uporabljene v modelu:
 - podrobne informacije o virih za pridobivanje vhodnih podatkov,
 - predpostavke, ki morajo biti utemeljene,

- podroben opis računskih metod ali drugih modelov, ki služijo za pridobivanje oz. izračun vhodnih podatkov.

- rezultate:

- prikaz rezultatov v numerični in grafični obliki,
- kratko oceno rezultatov glede na vhodne podatke,
- primerjavo rezultatov s požarnimi preizkusi ali z izračuni s podobnimi modeli.

6. Pridobivanje ustreznih podatkov za uporabo računalniškega modela

Uporabnik mora pred zagonom računalniškega modela zagotoviti verodostojne vstopne podatke^{0.3.2.3., 0.3.3.8., 0.3.3.9.}. Običajno sta uporabniku na voljo dve poti, po katerih lahko pride do podatkov:

- podatki so shranjeni v knjižnicah, ki jih uporablja računalniški model,
- podatke je treba pridobiti s pomočjo literature ali praktično v požarnem laboratoriju.

Ob uporabi podatkov, ki so zajeti v knjižnici podatkov mora uporabnik zagotoviti, da so ti podatki odraz zadnjega stanja tehnike oz. da je računalniški model nadgrajen z najnovejšo razpoložljivo knjižnico podatkov^{0.3.3.8.}.

Pridobivanje podatkov s pomočjo literature predstavlja uporabo knjig, priročnikov, člankov in spletnih virov. V kolikor se za pridobivanje podatkov izvaja preizkus v požarnem laboratoriju (ali se uporablja rezultate požarnega preizkusa), mora le ta biti registriran oz. priznan s strani EGOLF, FM, UL oz. druge mednarodno priznane ustanove.

7. Preverjanje rezultatov

Uporaba računalniškega modela zahteva preverjanje postopkov dela, rezultatov in zaključkov^{0.3.3.7.}. Kljub ustrezno izbranemu, nastavljenemu in ovrednotenemu modelu se v modelu lahko pojavijo napake.

Metode za odkrivanje napak v modelu se lahko razvrstijo na naslednji način^{0.3.3.14.}:

- pregled teoretičnih osnov modela,
- primerjava med modeli,
- empirična potrditev,
- preverjanje računalniškega programa,
- preverjanje numerične natančnosti,

- analiza občutljivosti.

Pregled teoretičnih osnov modela

Pri kompleksnih modelih mora teoretične osnove pregledati eden ali več strokovnjakov, ki poznajo kemijske in fizikalne osnove nastanka in razvoja požara in niso sodelovali pri pripravi modela. V pregledu je treba oceniti popolnost dokumentacije predvsem v pogledu predpostavk in približkov^{0.3.4.}.

Na tej stopnji je treba presoditi, ali je v dostopni literaturi dovolj znanstvenih dokazov, ki upravičujejo izbrani način in predpostavke. Prav tako je treba glede natančnosti in uporabnosti v kontekstu modela oceniti podatke za konstante in izbrane vrednosti.

Primerjava z drugimi programi

Napovedi modela, ki se preverja, se primerjajo z napovedmi drugih modelov pri enakih podatkih. Če so šli ti drugi programi skozi proces potrditve, se z njimi lahko presoja program, ki se preverja. Če se primerjave med modeli uporabljajo previdno in preudarno, lahko odkrijejo področja, na katerih programi niso primerni.

Empirična verifikacija

Primerjava napovedi modela z eksperimentalnimi podatki je postopek, s katerim uporabnik lahko zanesljivost uporabljenega modela^{0.3.3.8.}. To je predvsem pomembno pri ocenjevanju kompleksnih modelov.

Z empiričnim preverjanjem se lahko preskusi, ali je predstavitev pojava, ki se slabo razume ali ne razume popolnoma (npr. gibanje dima in čas aktiviranja javljalnika ali sistema za gašenje v visokih atrijih), v modelu (programu) primerna za uporabo v programu.

Požarni preskusi, namenjeni primerjavi z matematičnimi modeli požara, morajo biti skrbno načrtovani, izpeljani in dokumentirani.

Uporabniki modelov se morajo glede podrobnih informacij o preskusnih postopkih in natančnosti uporabljenih naprav sklicevati na dokumentacijo preskusnega laboratorija. Podatki, pridobljeni iz požarnih preskusov se shranjujejo in so dostopni za uporabo v računalniških modelih, programih za risanje in za pisanje poročil.

Preverjanje programov

Pri odkrivanju nepravilnosti in nedoslednosti se struktura programa lahko preverja ročno z enostavnimi enačbami ali z uporabo programov za preverjanje. Nekatere pomembne teoretske osnove za izbor in uporabo računalniških modelov za projektiranje požarne varnosti in uporabo modelov s strani intervencijskih skupin so podane v Prilogi IV.

Zaupanje v zanesljivost programa se poveča, če so metode in postopki, uporabljeni pri preverjanju programa skupaj z odkritimi pomanjkljivostmi, jasno identificirane in navedene.

Numerična natančnost

Matematični modeli so običajno izraženi v obliki diferencialnih in integralnih enačb. Pri preverjanju kompleksnih modelov je analitične rešitve težko ali nemogoče dobiti. Za približne rešitve so potrebne numerične metode. Uporabljene algoritme je treba preveriti, saj lahko uporabnik le tako zagotovi, da vedno z zadostno natančnostjo in stabilnostjo konvergirajo k realni rešitvi.

Pri tem se lahko pojavijo problemi, če je velikostni red spremenljivk zelo različen. Pri dobrih algoritmih so spremenljivke določene tako, da so po možnosti istega velikostnega reda.

Preverjanje stopnje konvergence s ponavljanjem računov pri različnih korakih diskretizacije lahko poveča zaupanje v numerično metodo. Če se napake z zmanjševanjem koraka zmanjšujejo, je metoda konsistentna.

Večina kompleksnih programskih paketov vsebuje diagnostične informacije o naraščanju zaostalih napak pri vsaki rešeni enačbi. Te informacije naj uporabniku služijo za sprotno preverjanje delovanja modela. Med diagnostične informacije o naraščanju napak štejejo npr. podatki o:

- celotnemu ravnotežju mase in energije, ki mora biti v celotnem področju računanja v sprejemljivih mejah,
- izstopni masni tok iz požarnega sektorja, ki mora biti v ravnotežju z vstopnim masnim tokom,
- toplota, ki je prešla v konstrukcijo, skupaj s toploto, izgubljeno iz požarnega sektorja oz. računskega območja skozi njegove

odprtine, ki mora biti v ravnotežju s toploto, ki je nastala v požaru.

Pomembno je doseči, da se rešitev »lepo obnaša«. Zagotoviti je na primer treba, da ne vsebuje lažnih oscilacij, da so lastnosti vira požara, posebno njegov vzgonski tok in dolžina plamenov, pravilno simulirane in da so napovedane temperature pri oddaljevanju od kemijske reakcije nižje kot pri izvoru požara. Če se pojavijo problemi take narave, mora uporabnik premisliti o zmanjšanju mrežnih razdalj in/ali časovnega intervala.

Ob uporabi računalniških modelov se lahko pojavijo primeri, ko računalniška simulacija z modeli polja kaže na nepričakovano obnašanje. Če je le mogoče, je zato nujno preveriti numerično rešitev z znanimi preprostimi numeričnimi metodami.

Analiza občutljivosti

Analiza občutljivosti modela je skrbno proučevanje, kako spremembe parametrov modela vplivajo na rezultate, ki jih daje model.

Napovedi modelov so lahko občutljive na nezanesljivost vhodnih podatkov, na raven strogosti pri modeliranju ustreznih fizikalnih ali kemijskih pojavov in na uporabo neustreznih numeričnih postopkov.

Dobro načrtovana in izpeljana analiza občutljivosti se uporablja za:

- identifikacijo dominantnih spremenljivk v modelih,
- določanje sprejemljivega razpona vrednosti vsake vhodne spremenljivke,
- dokazovanje občutljivosti izhodnih spremenljivk na spreminjanje vhodnih podatkov,
- informiranje in opomin možnim uporabnikom o stopnji previdnosti, potrebni pri izbiri vhodnih podatkov in uporabi modela,
- vpogled, katere parametre je treba spremljati pri požarnih preskusih v velikem merilu.

Razlikovati je treba tudi med notranjimi in zunanji parametri modela. Iz prvih je razvidno, kako dobro fizikalne in matematične zakonitosti, uporabljene v modelu, odražajo dejansko obnašanje požara, zato jih je treba preveriti.

Obseg preverjanja

Obseg, do katerega uporabnik in tretje osebe preverjajo model, je odvisen od kompleksnosti modela in obsega vseh predpostavk in algoritmov.

Obseg preverjanja je lahko odvisen tudi od posledic napak. Pri nekaterih konceptih so pripadajoči varnostni faktorji taki, da napake pri modeliranju niso pomembne. V drugih primerih je lahko prav nasprotno.

Na splošno imajo majhne spremembe v začetnih predpostavkah (npr. v hitrosti naraščanja požara) veliko večji vpliv kot napake in nezanesljivost dobro zasnovanega modela.

V tabeli P V.1. je prikazana idealna raven ocenjevanja in preverjanja modelov za različne vrste računalniških modelov, kjer ločimo preproste, srednje in kompleksne modele. Med preproste modele model prištevamo večino modelov gašenja in javljanja požarov ter nekatere modele za načrtovanje umika.

Med srednje modele sodijo modeli za načrtovanje umika, večina modelov za odziv konstrukcije na ogenj in conski modeli za simuliranje požarov.

Med kompleksne modele sodijo modeli za sektorsko simuliranje požarov, ki so zasnovani na temelju modelov polja in modeli za gibanje dima.

Poleg opredelitve preverjanja modela glede na zahtevnost modelov je lahko preverjanje tudi *osnovno*, ki obsega splošne podatke o modelu in uporabi modela in *splošno*, ki je prilagojeno specifični vrsti modela.

Vprašalnik za preverjanje modela je podan v Prilogi V.

8. Pogoji, ki jih morajo izpolnjevati uporabniki računalniških modelov

Uporabnik, ki uporablja računalniške modele na področju požarne varnosti mora:

- imeti ustrezno predznanje na področju požarne varnosti in informatike,
- biti usposobljen in izkušen v ocenjevanju tveganj, ki nastajajo v objektu zaradi posledic požara,
- razumeti nevarnosti in z njimi povezano tveganje,

- razumeti in biti seznanjen z osnovami aktivne in pasivne požarne varnosti in ukrepov v objektu,
- poznati vpliv požara na objekt, delovne in tehnološke procese ter uporabnike objekta.

Za izpolnjevanje zgoraj navedenih zahtev morajo:

- projektanti požarne varnosti, ki projektirajo požarno varnost z uporabo metod požarnovarnostnega inženirstva,
- inšpektorji, ki izdajajo soglasja za stavbe projektirane z uporabo metod požarnovarnostnega inženirstva in
- druge osebe, ki uporabljajo računalniške modele na področju varstva pred požarom

izpolnjevati naslednje minimalne pogoje:

- končana univerzitetna izobrazba tehnične smeri,
- 10 letne delovne izkušnje na področju požarne varnosti,
- opravljen seminar za projektiranje požarne varnosti z inženirskimi metodami.

Priloga I

Pregled področja uporabe modelov za posamezne ciljne skupine

Tabela P I.1.: Priporočene ravni ocenjevanja in preverjanja računalniških modelov

Ciljna skupina	Področje uporabe modelov
projektanti požarne varnosti	<ul style="list-style-type: none"> - podlaga za uporabo in vrednotenje inženirskih metod, - podlaga za izdelavo študij požarne varnosti, - podlaga za izdelavo ocen požarne nevarnosti, - podlaga za izdelavo ocen požarnega tveganja, - podlaga za statistične analize.
projektanti sistemov aktivne požarne varnosti	- podlaga za načrtovanje sistemov aktivne požarne varnosti (sistemi za odkrivanje, javljanje in alarmiranje ter sistemi za gašenje)
inšpekcijske službe	<ul style="list-style-type: none"> - ocenjevanje študij požarne varnosti, ter ocenjevanje uporabljenih metod požarnega inženirstva, - podlaga za izdelavo ocen požarne nevarnosti, - podlaga za izdelavo ocen požarnega tveganja, - podlaga za statistične analize.
intervencijske skupine, kamor spadajo gasilci in drugi reševalci	<ul style="list-style-type: none"> - podlaga za odločanje v kriznih razmerah, - podlaga za razumevanje in izdelavo ocen požarne nevarnosti, - podlaga za razumevanje in izdelavo ocen požarnega tveganja, - podlaga za statistične analize, - učni pripomoček za taktično urjenje gasilcev.
centri za obveščanje	<ul style="list-style-type: none"> - podlaga za odločanje v kriznih razmerah, - podlaga za izdelavo ocen požarne nevarnosti, - podlaga za izdelavo ocen požarnega tveganja, - podlaga za statistične analize.

Priloga II

Delitev in opis računalniških modelov

Modeli za sektorsko simuliranje požarov**Modeli con**

Nazivi modelov con, uporabnih na področju požarne varnosti so navedeni v tabeli 1. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.1: Seznam modelov con

ARGOS	ASET
ASET-B	BRANZFIRE
BRI-2	CALTECH
CCFM.VENTS	CFAST/FAST
CFIRE-X	CiFi-2002
CISNV	COMPBRN-III
COMPBRN-III	COMP2
DACFIR-3	DSLAYV
FASTlite	FFM
FIGARO-II	FIRAC
FireMD	Firepro
FIREWIND	FIRIN
FIRM-2002	FIRST
FLAMME-S	FMD
HarvardMarkVI	HEMFAST
HYSLAV	IMFE
MAGIC	MRFC
NAT-2002	NBS
NRCC1	NRCC2
OSU	Ozone
POGAR	RADISM
RFIRES	R-VENT
SFIRE-4	SICOM
SMKFLW	Smokepro
SP	WPI-2
WPIFIRE	ZMFE

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

ASET – program je namenjen izračunu temperature in položaja vroče zgornje ravni dima v sobi ob zaprtih vratih in oknih. ASET lahko služi za opredelitev kritičnega časa, ko postane prostor za uporabnike in lastnino nevaren. Vhodni parametri programa so podatki o toplotnih izgubah, višina goriva nad tlemi, merila za stopnjo tveganja in odkrivanje požara, višina stropa, talna površina in toplota, ki se sprošča pri gorenju. Izhodni (izračunani) parametri programa so: temperatura, gostota in (opcija) koncentracija produktov gorenja v dimni ravni glede na čas ter kritični časa, ko postane prostor za uporabnike in lastnino nevaren.

ASET – B – program je skržena verzija ASET programa. Namenjen je uporabi na osebnih računalnikih. Vhodni parametri programa so podatki o toplotnih izgubah, višina plamena, višina stropa, talna površina, čas trajanja simulacije in toplota, ki se sprošča pri gorenju. Izhodni (izračunani) parametri programa so: temperatura, gostota v zgornji vroči plasti. Program je napisan v programskem jeziku BASIC.

CFAST – CFAST je tipičen primer modela con. Služi za napoved parametrov okolja v primeru objekta z več oddelki. Napovedi vsebujejo razvoj požara in širjenje dima. Uporabnik programa mora vnesti podatke o tlorskih površinah in prezračevalnih odprtinah. Program omogoča izračun ocene širjenja dima v objektu z do 18 prostori, 18 prezračevalnimi jaški in 5 ventilatorji. Program omogoča hkratno uporabo več virov požara. Za pomoč uporabniku so programu dodane nekatere termofizikalne lastnosti gradbenih in zaključnih materialov v gradbeništvu. Uporabnik lahko izbira temperaturo, tlak in hitrost pretoka zraka v prostoru. Vhodni podatki programa so: geometrija prostora, termofizikalne lastnosti stropa, sten in tal,

značilna izguba mase pri gorenju začetnega požara ter količina produktov zgorevanja na časovno enoto.

Program računa temperaturo v zgornji in spodnji ravnini, višino vroče (zgornje) ravnine, količino toplote, ki se sprošča ob požaru, sevalno toploto, ki jo zgornja raven oddaja na tla, količino toksičnih in korozivnih produktov gorenja ter možnost vžiga ciljnega (v požarnem scenariju izbranega) predmeta. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN in je brezplačen.

COMPBRN III – program je v glavnem namenjen uporabi v povezavi z verjetnostnimi modeli ter služi za oceno tveganja v nuklearnih elektrarnah. Model temelji na predpostavki o nastanku razmeroma majhnega požara v velikem prostoru ali obstoju velikih požarnih obremenitev v fazi nastanka in razvoja požara. Program temelji na termodinamičnih lastnostih elementov v prostoru in podatkih o temperaturah za vžig. Izhodni (izračunani) parametri programa so: količina toplote, ki se sprošča pri gorenju, temperatura in debelina zgornje vroče plasti, hitrost odgorevanja mase za posamezna goriva in toplotni tok na mestih, ki jih določi uporabnik.

COMPF 2 – program služi za izračun značilnih parametrov faze požara po požarnem preskoku. Prilagojen je za en objekt, predpostavlja pa z razvojem požara pogojeno prezračevanje skozi ena vrata ali okno. Program je namenjen za dimenzioniranje načrtovanega požara in analiziranje požarnih preizkusov. Izhodni (izračunani) parametri programa so temperature plinov ter toplotnih pretokov. S programom so lahko ovrednoteni les, termoplastični materiali in tekoče gorljive snovi. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN.

FIRST – program napove razvoj požara in razmere ob požaru v prostoru. Uporabnik izbere vrsto požara in način vžiga. Program izračuna hitrost ogrevanja in možnost za vžig na največ treh izbranih »tarčah«. Vhodni podatki so: geometrija prostora in odprtih, termofizikalne lastnosti stropa, sten, izbranega goriva in tarč. Opredeljena mora biti raven nastajanja saj in ostalih produktov gorenja. Moč požara je lahko opisana s hitrostjo odgorevanja mase ali osnovnimi podatki o gorivu. Izhodni (izračunani) parametri so: temperatura, debelina in gostota vroče in hladne plasti v prostoru. Program podaja tudi temperature na površini izbranih predmetov ali sten, tal oz. stropa. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN.

WPI/FIRE – program izhaja iz programov HARVARD V in FIRST in vsebuje nekaj prvin obeh. Program obravnava pretoke skozi stropne prezračevalne odprtine, aktiviranje šprinklerja ali javljalnika z dvema modeloma plamenov pod stropom, vsiljeno prezračevanje skozi prezračevalne odprtine na stropu in tleh in vmesnik za izračun izoterm in vročih mest. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN.

Modeli polja

Izbor modelov polja je podan v tabeli 2. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.2: Seznam modelov polja

ALOFT-FT	ANSYS CFX
FDS	FIRE
FLOTRAN	FLUENT
JASMINE	KAMELEON FireEx
KOBRA-3D	MEFE
PHOENICS	RMFIRE
SMARTFIRE	SOFIE
SOLVENT	SPLASH
STAR-CD	STREAM
UNSAFE	VESTA

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

ANSYS CFX – je eden od splošnih programskih paketov za simulacijo obnašanja tekočin in toplotnih problemov v tekočinah in trdninah, ki temeljijo na opisu fizikalnih polj. Uporabniku ponuja veliko funkcionalnosti za načrtovanje pasivne in aktivne požarne zaščite in za analizo različnih požarnih scenarijev (Tabela 1). Programski paket tako omogoča simulacijo gorenja različnih plinskih, tekočih in trdnih goriv. Poleg konvekcijskega in difuzijskega prenosa toplote je na voljo tudi več modelov za simulacijo toplotnega sevanja. Programski paket prav tako vključuje modele za simulacijo generacije in transporta saj in dima. Mogoče so tudi simulacije gašenja s plini, tekočinami (npr. šprinklerji) in z gasilnimi praški. Program se še posebej odlikuje v hitrosti paralelnega računanja. V povezavi z ostalimi ANSYS-ovimi paketi nudi vezane simulacije dinamike tekočin in obnašanja trdnih konstrukcij pod vplivom toplote.

FDS – je specializiran programski paket za simulacijo dinamike požara v prostoru. Programski paket rešuje sistem Navier Sotkesovih enačb, ima pravokotno mrežo in zgorevalni model mešalnih razmerij (mixture fraction). Model vsebuje osnovno bazo gorljivih snovi ter podatke o glavnih konstrukcijskih elementih v objektu. Program omogoča izračun napovedi odkrivanja požara s toplotnim javljalnikom in šprinklersko šobo. Programu je dodan tudi paket za grafičen prikaz rezultatov, imenovan Smokeview.

FLUENT – je vodilni splošni programski paket za simulacijo mehanike tekočin in toplotnih problemov. Ta programski paket je splošno razširjen v večini industrijskih sektorjev, požarnemu inženirju pa ponuja večino potrebne funkcionalnosti. Prav tako je mogoča povezava s programskim paketom ABAQUS za simulacijo trdnostnih in toplotnih problemov v konstrukcijskih strukturah. Osnova programskega programa FLUENT temelji na dveh ločenih jedrih, ki sta namenjena izračunom podzvočnih in nadzvočnih tokov. Zaradi te ločenosti, so izračuni deflagracij in detonacijskih problemov težavni. Sama učinkovitost simulacij statičnih tokovnih polj prav tako zaostaja npr. za programskim paketom ANSYS CFX.

JASMINE – uporabniku prijazen program, nastal v Fire Research Station v Veliki Britaniji. Model služi za analizo gibanja dima. Namestitev programa je možna na računalniku VAX. Program je drag, dodatne informacije so na voljo na spletni strani: www.bre.co.uk/frs/frs2_1.html.

KAMELEON FIRE Ex – tridimenzionalni model polja za analizo »razlitega« požara. Program je napisan v programskem jeziku FORTRAN, namestitev je možna na osebem računalniku preko DOS-a ali UNIX-a. Program je na voljo pri načrtovalcu SINTEF.

KAMELEON II – tridimenzionalni model za izračun gibanja dima in toksičnih plinov v kompleksnih prostorih (več prostorov, odprti prostori). Namestitev programa je možna na osebem računalniku preko DOS-a ali UNIX-a. Program je na voljo pri načrtovalcu SINTEF.

KOBRA – 3D – tridimenzionalni model za izračun hidrodinamičnih tokov v prostoru. Namestitev programa je možna na osebem računalniku. Program je na voljo pri načrtovalcu Intellex GmbH.

SMARTFIRE – CFD model, razvit na univerzi v Greenwichu. Program je uporabniku prijazen, njegova uporaba pa zahteva nekaj osnovnih znanj o CFD modelih. Dodatne informacije o programu so na voljo na spletni strani: fseg.gre.ac.uk/fire/lsmrt.html

SOFIE (Simulation of Fires in Enclosures) – program, ki je nastal na univerzi v Cranfieldu vsebuje množico aplikacij, uporabnih na področju požarne varnosti. SOFIE je model polja s $k-\epsilon$ turbulentnim modelom. Temelji na izračuni Navier Stokesovih enačb z upoštevanjem Reynoldsovega povprečja. V model so vključeni popravki, potrebni zaradi vzgona.

STAR-CD – je splošni programski paket za simulacijo mehanike tekočin in toplotnih problemov. Še posebej je razširjen v Evropi. Po funkcionalnosti zaostaja za ostalima dvema paketoma (ANSYS CFX in FLUENT). Program ima že vključene osnovne modele obnašanja trdne strukture, vendar pa se le omejeno navezuje na druge pakete za simulacijo strukturne mehanike. Podjetje, ki je izdelalo program (Adapco) prav tako razvija simulacijska orodja, ki

omogočajo numerične simulacije preko internetnega vmesnika, kar zmanjšuje potrebno začetno investicijo v strojno in programsko opremo.

Tabela P II.3: Pregledna tabela algoritmov in funkcij nekaterih CFD modelov

Računski paket¹	ANSYS CFX	FLUENT	FDS/Smokeview	SMARTFIRE	SOFIE	STAR-CD
Trenutna verzija						
	5.7.1	6.2	4.0.5	4.0	3.0	V3.200
Numerična mreža						
	strukturirana nestrukturirana	strukturirana nestrukturirana	strukturirana	strukturirana	strukturirana	nestrukturirana
Statični/tranzientni model						
	statični tranzientni	statični tranzientni	tranzientni	statični tranzientni	statični tranzientni	statični tranzientni
Model toka tekočin						
	nestisljiv stisljiv		stisljiv		stisljiv	nestisljiv stisljiv
Model prenos toplote						
	v plinih v tekočinah v trdninah	v plinih v tekočinah v trdninah	v plinih	v plinih	v plinih v trdninah	v v plinih v tekočinah v trdninah
Modeli turbulence						
	Zero equation k-ε RNG k-ε k-ω SST RS DES LES Smagorinsky	k-ε k-ω RS DES LES Smagorinsky	LES Smagorinsky	k-ε	k-ε RNG k-ε k-ω	k-omega SST V2f DES LES Smagorinsky

Toplotno sevanje						
	Rosseland P1 Discrete transfer Monte Carlo	Rosseland P1 View factor based Discrete ordinate	FVM (Discrete ordinate)	Multi-ray Six-flux Radiosity	Discrete transfer	Discrete ordinate
Modeli zgorevanja						
	Eddy dissipation Stiff finite rate Kombinirani Flamelet Flamelet PDF	Eddy dissipation Stiff finite rate Equil. mix. fraction Flamelet PDF transport	Mixture fraction Stiff finite rate	Eddy break-up Eddy dissipation Mixture fract. PDF	Eddy break-up Laminar flamelet	Stiff finite rate Kombinirani Weller 3-equation
Generacija saj						
	Magnussen	x	x	x	Magnussen (Tesner) Moss	knjižnice
Širjenje dima						
	transport pasivnega skalarja	transport pasivnega skalarja	transport pasivnega skalarja	transport pasivnega skalarja	transport pasivnega skalarja	transport pasivnega skalarja
Generacija CO						
	✓	x	x	x	✓	✓
Generacija NO_x						
	✓	✓	x	x	x	✓
Možnost določitve dodatne reakcije						
	✓	x	x	x	x	x

Model gašenja (večkomponentni tok)						
	Eulerjev-Eulerjev Eulerjev-Lagrangev	Eulerjev-Eulerjev Eulerjev-Lagrangev	Eulerjev-Lagrangev	x	x	Eulerjev-Eulerjev Eulerjev-Lagrangev
Širjenje delcev						
	✓	✓	x	x	x	✓
Določitev gostote toplotnega toka na stenah						
	✓	✓	✓	✓	✓	x
Meritvene točke						
	✓	x	x	✓	x	x
Toplotne in mehanske obremenitve struktur²						
	enosmerna dvosmerna	x	x	x	x	omejen model direktno vključen v programski paket
Model evakuacije						
	x	x	x	✓	x	x
Grafični procesor rezultatov						
	✓	✓	✓	✓	x	✓

(1) Paketi v tabeli so razvrščeni po abecednem redu.

(2) Povezava z računskim paketom za strukturno mehaniko (enosmerna- le izvoz veličin iz paketa za mehaniko tekočin v paket za strukturno mehaniko, dvosmerna - omogoča tudi izvoz veličin iz paketa za strukturno mehaniko v paket za mehaniko tekočin)

Modeli odkrivanja požara in gašenja

Izbor modelov odkrivanja požara in gašenja je podan v tabeli 4. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.4: Modeli za odkrivanje požara in gašenja

DETECT QS	HDA
DETECT T2	SPRINK
G JET	LAVENT
PALDET	TDISX
JET	

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

DETECT QS - program je namenjen izračunu časa aktiviranja toplotnega člena (toplotni javljalnik, šprinkler) nameščenega na stropu prostora. Program predvideva, da je toplotni člen nameščen v relativno velikem prostoru, vir ogrevanja toplotnega člena pa je plamen pod stropom. Zahtevani vstopni parametri za izračun so višina stropa nad gorljivo snovjo, oddaljenost toplotnega člena od središča požara, aktivacijska temperatura toplotnega člena, RTI indeks in količina toplote, ki se sprošča ob gorenju. Na podlagi vstopnih podatkov program izračuna temperaturo vročih plinov pod stropom in temperaturo toplotnega člena v odvisnosti od časa.

LAVENT – program je namenjen za oceno odzivnosti šprinklerjev in ventilatorjev, ki jih aktivira taljivi člen, v prostoru. program izračunava hitrost ogrevanja prožilnih členov ob prisotnosti plamena pod stropom. Vhodni parametri programa so: geometrija prostora, termofizikalne lastnosti stropa, višina plamenov, časovno odvisna toplota, ki se sprošča pri gorenju, premer požara ali toplota ki se sprošča pri gorenju na površinsko enoto, površina prezračevalnih odprtin na stropu, odzivni čas taljivih članov, indeks odzivnega časa ter temperatura aktiviranja in namestitev pod stropom. Program omejuje maksimalno število prezračevalnih odprtin na stropu (5) in število taljivih členov (10) v prostoru. Izhodni (izračunani) parametri so: temperatura in višina vročega pasu, temperature na posameznih taljivih členih, temperatura plamena pod stropom, radialna porazdelitev temperature na stropu in aktivacijski čas taljivih členov. LAVENT je napisan v programskem jeziku FORTRAN.

Modeli za načrtovanje umika

Izbor modelov za načrtovanje umika je podan v tabeli 5. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.5: Modeli za načrtovanje umika

Allsafe	ASERI
BFIRE II	BGRAF
buildingEXODUS	EESCAPE
EGRESS	EgressPro
ELVAC	ERM
E-SCAPE	EVACNET 4
EVACS	EXIT89
EXITT	MAGNETIC SIMULATION
PATHFINDER	PEDROUTE
SEVE_P	Simulex
STEPS	TAKAHASHI's FLUID MODEL
VEGAS	WAYOUT

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

EXITT - je predstavnik modelov za načrtovanje umika. Program je del paketa HAZARD 1. Posebnost programa je, da upošteva vedenjske lastnosti uporabnikov objekta, ki so bili pridobljene s pomočjo anket. Program loči posameznike, skupine, družine in druge skupine ter opredeli njihov način obnašanja ob umiku iz objekta v primeru požara. V programu je upoštevana gostota dima in s tem povezana hitrost oseb ob umiku iz objekta.

SIMULEX - program s pomočjo tridimenzionalne grafike omogoča vpogled v pomikanje oseb ali skupin iz objekta. S programom je omogočen izračun dolžine poti umika in časa potrebnega za umik in objekta. Program omogoča uporabniku, da le ta gibanje oseb po objektu opazuje v realnem času, saj je minimalni korak v predvajanju animacije le 0,1 sekunda. Podobno kot pri programu EXITT je tudi pri SIMULEX-u upoštevan realen pomik ljudi po objektu. To pomeni, da so upoštewane hitrosti pomikanja skupin, posameznikov, družin, zajeta so ozka grla, prehodi, stopnice ipd.

Modeli za gibanje dima

Modeli za izračun gibanja dima so najpogosteje del drugih računalniških paketov - modelov, kot so npr. modeli polja, modeli con ali kombinirani modeli. Predstavniki modelov za napoved gibanja dima so podani v tabeli 6.

Tabela P II.6: Modeli za napoved gibanja dima

ASCOS	CFAST
ASMET	FDS

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

ASCOS - (Analysis of Smoke Control Systems) - program je namenjen analizi gibanja dima po objektu med požarom. Program upošteva vpliv prezračevanja (umetnega in naravnega). Vstopni parametri programa so notranja in zunanja temperatura objekta in podatki o odprtinah ter pretokih ventilatorjev po objektu.

Modeli za odziv konstrukcije na ogenj

Izbor modelov za odziv konstrukcije na ogenj je podan v tabeli 7. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.7: Modeli za odziv konstrukcije na ogenj

ABAQUS	ALGOR
ANSYS	CEFICOSS
CIRCON	CMPST
COFIL	COMPST
COSMOS/M	FASBUS
FIRES-T3	HSLAB
INSTAI	INSTCO
LENAS-2002	LUSAS
NASTRAN	RCCON
RECTST	SAFIR
SAWTEF	SISMEF
SQCON	STA
TAS	TASEF
TCSLBM	THELMA
TR8	VULCAN

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

SAFIR - program je namenjen analizam toplotnih in mehanskih obremenitev gradbenih elementov. Omogoča izračune temperaturne porazdelitve skozi jeklo, beton, mavec in izolativne materiale. Program vsebuje tudi algoritem za izračun po zahtevah Eurocode.

Kombinirani modeli

Izbor kombiniranih modelov je podan v tabeli 8. Nekaj bolj znanih in med stroko sprejetih modelov je v nadaljevanju tudi podrobneje opisanih.

Tabela P II.8: Kombinirani modeli

ALARM	ASCOS
ASMET	BREAK1
Brilliant	COFRA
CONTAMW	CRISP
DOW Indices	FIERAsystem
FireCad	FIRECAM
FIRESYS	FireWalk
FIREX	FIVE
FPETOOL	FRAME
FREM	FriskMD
HAZARD I	MFIRE
RadPro	Risiko
RISK-COST	RiskPro
SMACS	SMOKEVIEW
SPREAD	UFSG
WALLEX	

Vir: 0.3.3.14., 0.3.4.

FPETool – program vsebuje izbor preprostih inženirskih enačb in modelov, uporabnih za oceno požarne varnosti v objektu. Program zajema razvoj požara v objektu, posledice požara in odziv sistemov za zagotavljanje požarne varnosti. Algoritmi v FPEToolu obravnavajo širjenje dima po prostoru, aktiviranje šprinklerja, širjenje dima skozi majhne odprtine, temperature in tlake v požaru, napoved verjetnosti za nastanek požarnega preskoka, širjenje požara ter enostavno simulacijo evakuacije.

Glavni del programa je conski model, imenovan FIRE SIMULATOR. Model služi za oceno pogojev v fazah razvoja požara pred in po požarnem preskokom. Vhodni podatki programa so: geometrija prostora in materiali v prostoru, opis začetnega požara ter osnovni parametri šprinklerjev in javljalnikov požara. Izhodni (izračunani) parametri so: temperatura in volumen vroče plasti, širjenje (pretok) dima preko odprtih v prostoru, čas aktiviranja šprinklerjev in javljalnikov, koncentracije kisika, ogljikovega monoksida in ogljikovega dioksida v dimu in vpliv prisotnosti kisika na gorenje. FPETool je napisan v programskem jeziku BASIC.

HAZARD 1 – program je bil razvit v laboratorijih zveznega inštituta za standarde in tehnologijo v ZDA (National Institute for Standards and Technology – NIST). Program vsebuje več podprogramov, ki omogočajo ovrednotenje nevarnosti, ki so jim zaradi vplivov požara izpostavljeni uporabniki objekta. Model temelji na strokovnih presojah ter izračunih, ki predvidevajo posledice pri izbranem požarnem scenariju (uporabljen je CFAST). Model omogoča več hkratnih virov požara. Cena modela je nizka.

Priloga III

Vprašalnik – podlaga za izbor in uporabo računalniških modelov

Tabela P III.1: Vprašalnik za uporabo in izbor računalniškega modela

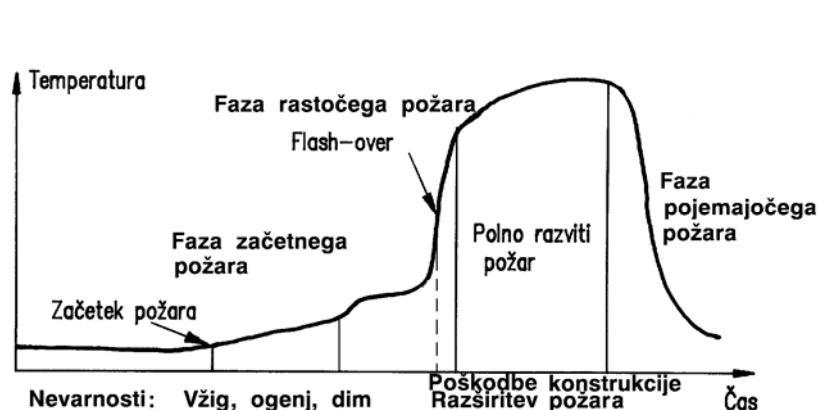
Zap. št.	Vprašanje	Odgovor(i)
1	Koliko prostorov je lahko v geometriji modela?	1 prostor <input type="checkbox"/> 2 prostora <input type="checkbox"/> 3 prostori <input type="checkbox"/> več kot trije prostori <input type="checkbox"/>
2	Ali lahko model upošteva več kot le en vir vžiga?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
3	Ali lahko z modelom analiziramo fazo začetnega požara?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
4	Ali lahko z modelom analiziramo fazo pojemajočega požara?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
5	Kaj je rezultat modela in kako rezultat izpolnjuje zahteve uporabnika?	
6	Kateri so vstopni parametri za izračun?	
7	Ali so vsi vstopni parametri poznani?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
8	Ali lahko z modelom analiziramo nastanek in gibanje dima?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
9	Ali so višina, površina in lega odprtin v modelu omejeni?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
10	Ali je v modelu zajet korekcijski faktor zaradi povečanega toplotnega sevanja, ki ga oddaja plamen?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
11	Ali model upošteva toplotne lastnosti sten, tal in stropa?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
12	Ali model upošteva vstop svežega zraka zaradi odprtih v geometriji prostora ali objekta?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
13	Ali so predpostavke, ki jih upošteva model con, primerne za reševanje problema?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
14	Nastanek katerih zgorevalnih produktov lahko analiziramo z modelom?	
15	Ali model opozori uporabnika, če le ta vnese nerealne vhodne parametre?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
16	Ali uporabnik v modelu lahko spreminja časovni korak s katerim spremlja razvoj požara?	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>

Priloga IV

Teoretske osnove za izbor in uporabo računalniških modelov
za projektiranje požarne varnosti

IV.1. Temperatura plinov v prostoru

Podatek o temperaturi plinov v prostoru je ključnega pomena za razvoj požara v prostoru. Za vsak prostor je moč načrtovati krivulje odvisnosti temperature od časa. Takšne krivulje so uporabno orodje za projektiranje požarne varnosti v objektu. Slika IV.1 prikazuje tipično krivuljo odvisnosti temperature od časa pri »tipičnem« požaru.



Slika IV.1: Časovni potek tipičnega požara v objektu

V fazi začetnega požara se toplota, ki nastaja pri gorenju akumulira v prostoru. Predmeti se segrevajo in nekateri gorljivi predmeti se lahko segrejejo tudi do temperature vžiga. Temperatura plinov v prostoru hitro narašča in hitro pripelje do požarnega preskoka, če seveda požar ni prej pogašen.

S požarnim preskokom preide požar v fazo polno razvitega požara. V fazi pred požarnim preskokom je temperatura v prostoru relativno nizka in njen vpliv na požarno varnost gradbenih elementov s tem zanemarljiv. Za gradbene in stavbne elemente predstavlja glavno tveganje polno razvit požar. Temperatura v prostoru lahko v tej fazi preseže 1000°C.

Časovno odvisnost temperature so z analizo toplotnega ravnovesja prvi obravnavali Kawagoe, Sekine in Odeon^{0.3.3.13}. Toplota, nastala v požaru se izgublja:

- na stenah in predmetih v prostoru,
- s ogrevanjem zračnih mas,
- s toplotnim sevanjem in konvekcijo skozi okna in vrata.

Za izračun temperaturne krivulje je potrebno poznati hitrost sproščanja toplote in toplotne izgube v okolico. Stroka pozna več značilnih temperaturnih ali požarnih krivulj.

IV.1.1. Temperatura v prostoru nastanka požara pred požarnim preskokom

Metode za izračun temperature v prostoru pred požarnim preskokom temeljijo na modelu polja, ki je razdeljen na dve plasti, t.i. hladno spodnjo plast in vročo zgornjo plast^{0.3.3.13}. Model predpostavlja enakomerno temperaturo in tlak bodisi v hladni ali vroči plasti. Izračun temperature temelji na eksperimentalnih podatkih za prostore visoke od 0,3m do 2,7m s talno površino od 0,14m² do 12m². Predpostavka v izračunu je, da temperatura v vroči plasti ne bo presegla 600°C. Porast temperature je definiran z enačbo:

$$\Delta T_c = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_v h_v^{1/2} h_k A_t} \right)^{1/3} \quad (1)$$

kjer so:

ΔT_c = porast temperature v vroči plasti (°C)

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v kW

A_v = površina odprtih za dovod in odvod zraka (m²)

h_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka (m)
 h_k = koeficient toplotne prevodnosti ($\text{kW/m}^2\text{K}$)

V enačbi (1) je koeficient toplotne prevodnosti odvisen od časa izpostavljenosti požaru. V primeru, ko je čas prehoda toplote t_p skozi stene, tla in strop prostora večji, kot čas izpostavljenosti požaru je koeficient toplotne prevodnosti izražen kot^{0.3.3.13}:

$$h_k = \left(\frac{k_s \rho c_p}{t_p} \right)^{1/2} \quad (2)$$

kjer so:

k_s = toplotna prevodnost ($\text{kW/m}^0\text{K}$)
 ρ = gostota sten, tal ali stropa (kg/m^3)
 c_p = specifična toplota sten, tal ali stropa ($\text{kJ/kg}^0\text{K}$)

V primeru, ko je čas prehoda toplote t_p skozi stene, tla in strop prostora izrazito manjši, kot čas izpostavljenosti požaru je koeficient toplotne prevodnosti izražen kot:

$$h_k = \frac{k_s}{\delta} \quad (3)$$

kjer je:

δ = debelina sten, tal ali stropa (m)

IV.1.2. Požarni preskok

Temperatura v zgornji vroči plasti znaša ob požarnem preskoku okoli 600°C . Ob tej temperaturi znaša toplotno sevanje plamenov pod stropom na tla približno 20kW/m^2 , kar je enostavno izračunati ob uporabi Stefanovega zakona:

$$\dot{Q} = \sigma T^4 \quad (4)$$

kjer so:

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v kW
 σ = Stefan-Boltzmanova konstanta ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
 T = temperatura v vroči plasti ($^\circ\text{K}$)

Uporaba enačbe (4) predstavlja naslednji izračun:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot (773\text{K})^4 \\ \dot{Q} &= 20,2\text{kW/m}^2 \end{aligned} \quad (4a)$$

Toploto, ki se sprošča pri gorenju, potrebno za doseg požarnega preskoka izraža eksperimentalna enačba:

$$\dot{Q} = 7,8A_t + 378A_v h_v^{1/2} \quad (5)$$

kjer so:

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v kW
 A_t = talna površina prostora (m^2)
 A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka (m^2)
 h_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka (m)

Če so pri izračunu količine toplote, ki se sprošča pri gorenju in pri kateri pride do požarnega preskoka na voljo tudi podatki o toplotnih prevodnostih obložnih materialov v prostoru velja naslednja enačba:

$$\dot{Q} = 750(h_k A_t A_v h_v^{1/2})^{1/2} \quad (6)$$

kjer je:

h_k = koeficient toplotne prevodnosti (kW/m²K)

Produkt $A_v \sqrt{h_v}$ predstavlja t.i. faktor prezračevanja, od katerega je odvisna hitrost izgube mase pri gorenju v prostoru.

IV.1.3. Polno razviti požar

Gorenje je v fazi polno razvitega požara enakomerno. Toploto, ki se sprošča pri gorenju ponazarja enačba:

$$\dot{Q} = \dot{m} \Delta h_c \quad (7)$$

kjer so:

\dot{Q} = količina toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju (kW)

\dot{m} = izguba mase (kg/m²s)

Δh_c = zgorevalna toplota (J/kg)

Izguba mase v časovni enoti je za polno razviti požar eksperimentalno določena na osnovi poskusnega gorenja lesa ob zadostni količini okoliškega zraka ter definirana z enačbo^{0.3.3.13}:

$$\dot{m} = 0,02 \sqrt{A_T \frac{b_c}{d_c} A_v h_v^{1/2}} \quad (8)$$

kjer so:

\dot{m} = izguba mase (kg/s)

$A_T = A_r A_v$, A_r = tlorisna površina prostora (m²)

b_c = širina stene, kjer je odprtina za dovod in odvod zraka (m)

d_c = širina sobe (m)

A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka (m²)

h_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka (m)

Izgubo mase definira tudi enačba:

$$\dot{m} = 0,09 A_v h_v^{1/2} \quad (9)$$

kjer so:

\dot{m} = izguba mase (kg/s)

A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka (m²)

h_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka (m)

Za pravilno uporabo enačbe mora veljati pogoj:

$$\frac{\rho_0 g^{1/2} A_v h_v^{1/2}}{A_t} < 0,24 \quad (10)$$

kjer so:

ρ = gostota okoliškega zraka (kg/m³)

g = pospešek (m/s²)

A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka (m²)

h_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka (m)

A_t = tlorisna površina prostora (m²)

Pri požarih, ki si bili opisani do sedaj je bilo gorenje odvisno od faktorja prezračevanja^{0.3.3.15}. Požari, kjer narekuje hitrost gorenja količina goriva narekujejo drugačen računski pristop. V primeru, kjer gorenje ni odvisno od količine zraka (predpostavimo da je zraka za gorenje dovolj) definira izgubo mase enačba:

$$\dot{m}_{PE} = \frac{L}{\Delta t_p} \quad (11)$$

kjer so:

\dot{m}_{PE} = izguba mase v ekvivalentni vrednosti lesa (kg/s)

L = količina goriva v ekvivalentni vrednosti lesa (kg)

Δt_p = trajanje požara (s)

Ob pomanjkljivih podatkih je primerna vrednost za $\Delta t_p=1200s$. Požarni preizkusi so pokazali, da standardna skladvonica lesa pogori v približno 20 min. Izraz (11) je uporaben za analizo požarov pohištva, pri večjih količinah lesa pa ni zanesljiv.

5.1.4. Faza pojemajočega požara

Faza pojemajočega požara je najmanj raziskano časovno obdobje v razvoju požara. Preizkusi kažejo, da požar, ki raste in se razvija hitro tudi pojema hitro, kar velja tudi za požare, ki se razvijajo počasi. Faza pojemajočega požara se začne, ko je preostalo približno 20% nezgorelega goriva. Nekateri znanstveniki navajajo tudi podatek, da se faza pojemajočega požara začne, ko temperatura v prostoru pade na 200°C. Izračun temperaturnega profila pojemajočega požara je odvisen od trajanja polno razvitega požara in enakomernega gorenja. Ko traja enakomerno gorenje med 30min in 180min velja naslednja povezava za izračun temperature:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{600}{\tau} \quad (12)$$

kjer so:

dT/dt = stopnja spremembe temperature (°C/s)

τ = kvocient $\frac{L}{\dot{m}}$

L = količina goriva v ekvivalentni vrednosti lesa (kg)

\dot{m} = izguba mase (kg/s)

IV.2. Količina toplotnega toka, ki se sprošča med gorenjem

Količino toplotnega toka, ki nastaja med gorenjem delimo na del požara, ko je stopnja zgorevanja konstantna (polno razviti požar) in del, ko stopnja zgorevanja narašča s časom (časovno odvisni požar).

IV.2.1. Enakomeren polno razviti požar

Lastnost enakomernega požara je konstantna in časovno neodvisna hitrost sproščanja toplote. Primer takšne vrste požara je požar razlite gorljive tekočine, ki gori na okrogli površini s fiksnim premerom. Količina toplotne energije, ki se sprosti pri zgorevanju je odvisna od goreče površine in lastnosti zgorevanja goriva. Hitrost sproščanja toplote, ki nastaja pri gorenju ponazarja enačba:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}\Delta h_c\chi\pi D^2}{4} \quad (13)$$

kjer so:

\dot{Q} = količina toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju (kW)

\dot{m} = izguba mase (kg/m²s)

Δh_c = zgorevalna toplota (J/kg)

χ = učinkovitost gorenja

D = premer požara

Učinkovitost gorenja χ je značilna lastnost gorljivih tekočin in je za nekatere osnovne tekočine podana v tabeli P IV.1.

Tabela P IV.1: Učinkovitost gorenja za nekatere osnovne tekočine

Gorljiva snov	Učinkovitost gorenja χ
Aceton	0,97
Benzen	0,69
n-Butan	0,95
Etanol	0,97
Bencin	0,92
Heptan	0,92
Heksan	0,92
Metanol	0,95
Transformatorsko olje	0,84

Za trdne snovi je moč je količina toplotne energije, ki se sprosti pri zgorevanju definirana z enačbo:

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h_c \quad (14)$$

kjer so:

\dot{Q} = količina toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju (kW)

\dot{m} = izguba mase (kg/m²s)

Δh_c = zgorevalna toplota (J/kg)

IV.2.2. Časovno odvisen požar

V primerjavi z enakomernim požarom, kjer se predpostavlja konstantno hitrost sproščanja toplote med gorenjem, je pri časovno odvisnem požaru hitrost sproščanja toplote odvisna od časa^{0.3.3.15}. Predpostavka je smiselna pri vrstah požarov, ki nastanejo v relativno majhnem prostoru in kjer se požar razvija počasi. V velikih industrijskih objektih, kjer je pričakovati, da bodo vroči plini, ki nastajajo pri gorenju dosegli strop kasneje kot v 10 sekundah predpostavke o časovni odvisnosti požara niso najbolj primerne.

Hitrost sproščanja toplote pri časovno odvisnem požaru definira enačba^{0.3.3.13}:

$$\dot{Q} = \alpha(t - t_i)^n \quad (15)$$

kjer so:

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v fazi razvoja požara v kW

t = čas v sekundah

t_i = čas vžiga v sekundah (v tem primeru 0)

α = parameter razvoja požara v kJ/sⁿ⁻¹.

Požarni preizkusi na predvsem lesenih preizkušancih so pokazali, da je razvoj požara premo sorazmeren s kvadratom časa, merjenega od trenutka vžiga. Takšne požare imenujemo t-kvadrat požar. Parameter razvoja požara je odvisen od vrste gorljive snovi in oblike prostora. Praksa loči štiri krivulje razvoja požara, ločijo se po hitrosti širjenja požara, parameter razvoja požara zanje pa je podan v tabeli P IV.2.

Tabela P IV.2: Parametri razvoja požara

Stopnja širjenja požara	Parameter razvoja požara	Čas za doseg Q ₀ =1000kW
Počasno	0,0029	600
Srednje	0,012	300

Hitro	0,047	150
Izredno hitro	0,188	75

Stopnja širjenja požara je za posamezne načrtovane požare različna. Tabela P IV.3 prikazuje izbor stopnje širjenja požara glede na namembnost prostora in s tem tudi pričakovano gorljivo snovjo.

Tabela P IV.3: Izbor stopnje širjenja požara glede na načrtovani požar

Namembnost objekta	Stopnja širjena požara
Stanovanjski objekt	Srednje
Pisarne	Srednje
Trgovina	Hitro
Hotelska recepcija	Srednje
Hotelska soba	Srednje
Galerija	Počasno
Industrijsko skladišče ali delavnica	Izredno hitro

Količino toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju lahko uporabnik oceni s pomočjo gornjih tabel (tabeli IV.2 in IV.3), lahko pa jo izračuna s pomočjo površine, za katero pričakuje, da jo bo zajel požar. Izračun poteka ob uporabi enačbe:

$$\dot{Q} = \dot{Q}'' \times A_{\text{požar}} \quad (16)$$

kjer so:

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v kW

\dot{Q}'' = hitrost sproščanja toplote na površinsko enoto v kW/m²

$A_{\text{požar}}$ = površina, zajeta v požaru v m².

Za požare, predvidene v požarnih scenarijih obstajajo predlagane količine toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju na površinsko enoto, kot jih prikazuje tabela P IV.4.

Tabela P IV.4: Hitrost sproščanja toplote na površinsko enoto

Namembnost objekta	Hitrost sproščanja toplote v kW/m ²
Trgovine	500
Pisarne	250

Toplota, sproščena pri gorenju deluje na okolico v obliki toplotnega sevanja, konvekcije in kondukcije. Celotna količina toplote, ki se sprosti pri gorenju je tako definirana z enačbo:

$$\dot{Q} = \dot{q}_{\text{sev}} + \dot{q}_{\text{konv}} + \dot{q}_{\text{kond}} \quad (17)$$

kjer so:

\dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru v kW

\dot{q}_{sev} = toplotno sevanje v kW

\dot{q}_{konv} = toplotna konvekcija v kW

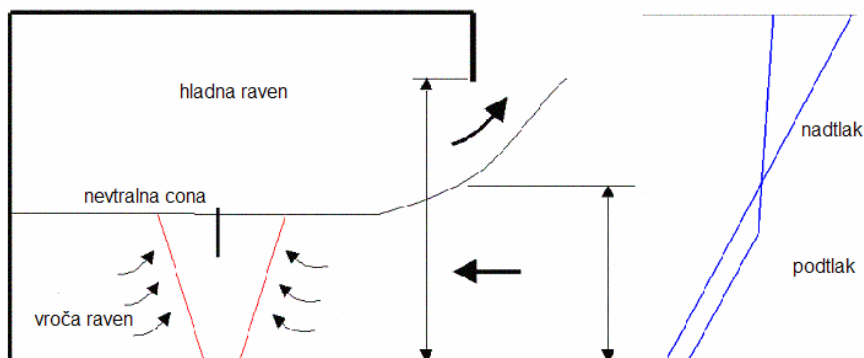
\dot{q}_{kond} = toplotna kondukcija v kW.

IV.3. Tlak v prostoru med požarom

Podatki o ravnem tlaku v prostoru v času požara so pomembni predvsem zaradi količine kisika, potrebnega za gorenje.

Vstopanje čistega ter s kisikom bogatega zraka v prostor dodatno spodbuja podtlak, ki nastaja v spodnjem delu v požar zajetega prostora. Podtlak vpliva, da skozi odprtine v prostor vstopa okoliški zrak, kar omogoča nadaljevanje in spodbujanje oksidacije. Podtlak nastaja v območju pod ti. nevtralno cono, ki razmejuje hladno in vroče območje v prostoru (slika IV.2). Nad nevtralno cono se

pojavlja nadtlak, ki poriva zgorevalne produkte iz prostora in tako vpliva na širjenje produktov zgorevanja po objektu.



Slika IV.2: Delitev con v prostoru

Tlak v prostoru je pomemben tudi za izvajanje gasilskih operacij, saj je eden od pogojev varnega dela v objektu zadostna vidljivost, kar je odvisno od tlakov v prostoru.

IV.4. Temperatura gradbenih elementov in učinkovitost elementov pasivne požarne zaščite

Strukturni elementi v objektu morajo biti načrtovani tako, da zagotavljajo stabilnost objektu v primeru požara. Načrtovanje mora biti prilagojeno statični obremenitvi objekta, času izpostavljenosti požaru ter vplivom deformacije.

Če vgrajena stabilnost ter požarna odpornost strukturnih elementov ni ustrezna za je potrebno te elemente dodatno izolirati s požarnimi pregradami, ki bodo onemogočale v primeru požara vpliv toplote na element.

Uporabniku je na voljo več računalniških in računskih modelov. Oboji omogočajo približen izračun časovne odzivnosti strukturnih elementov glede na toplotni tok, ki so mu izpostavljeni. Na voljo so tudi standardne krivulje odzivnosti posameznih materialov, izpostavljenih viru toplote.

Preizkus večine materialov gre običajno po standardni požarni krivulji, ki je opredeljena v standardu ISO 834 in je definirana z enačbo:

$$T - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (18)$$

kjer so:

t = čas (min)

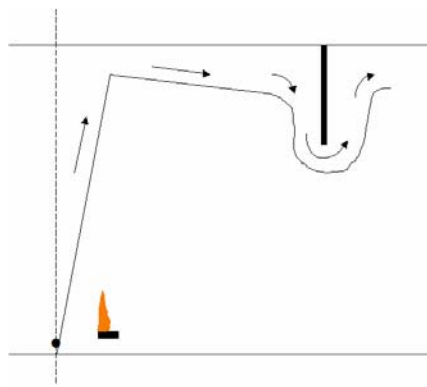
T = temperatura v požaru ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = začetna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Standardna požarna krivulja je uporabna predvsem takrat, ko so podatki o pričakovanem požaru pomanjkljivi.

IV.5. Pretok po prostoru in skozi odprtine

Gorenje v prostoru spremlja gibanje produktov zgorevanja, kamor spadajo zračne mase iz hladne in vroče ravni, aerosoli in trdni delci, kot produkti zgorevanja ter gasila (voda, plini in praški). Intenzivnost gibanja produktov zgorevanja je odvisna od stopnje prezračevanja v prostoru, razlik temperatur po prostoru ter stopnje razvoja gorenja oz. aktiviranja gašenja. Na gibanje zgorevalnih produktov vplivajo tudi konfiguracija prostorov, prepreke po prostoru, delovanja odvoda dima in toplote itd. Spuščen del stropa (slika IV.3) lahko vpliva na aktiviranje toplotnega člana požarnega javljalnika ali sprinklerske šobe oz. ima lahko pomemben vpliv na gibanje produktov zgorevanja po prostoru.



Slika IV.3: Ovira pod stropom

Na pretoke produktov zgorevanja po prostoru vplivajo tudi elementi aktivne požarne zaščite. Tako lahko tok zgorevalnih produktov povsem spremeni delovanje sprinklerja oz. gašenja z vodo ali delovanje drugih gasil, ki bodo v prostor ob požaru prihajali preko naprav aktivne požarne zaščite. Pretok produktov zgorevanja po prostoru je pomemben tudi za izračun gasilne učinkovitosti posameznih vrst gasil.

IV.6. Časovne odvisnosti višin dimnih ravni in čas do zapolnitve prostora

Pri gorenju se zaradi reakcije med gorljivimi materiali in kisikom sprošča **toplota ter: plinski produkti gorenja**, kot so ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, voda ter drugi negorljivi ali neizgoreti plini oz. hlapne spojine in delno zgoreli ali neizgoreli deli gorljivih materialov v trdni in tekoči obliki, kot so **saje, kapljice, pepel**.

Dim po definiciji predstavlja vročo zmes:

- plinskih produktov gorenja (plinski produkti popolnega sežiga gorljivih materialov, neizgoreti in negorljivi plinski/hlapni produkti pirolize)
- neizgoreti razpadnih in kondenzacijskih produktov v trdnem in/ali tekočem stanju
- ter okoliškega zraka.

Dim se v stavbah lahko širi pod vplivom tlačnih razlik, ki so lahko posledica:

- temperaturnih razlik med vročim dimom in okolico zaradi sproščene požarne toplote,
- vzgona - pozimi se bo dim iz požara pod nevtralno ravnino razširil z zračnim tokom v zgornji del stavbe (nezaželen učinek).

Pri požaru nad nevtralno ravnino bo normalni vzgon lokaliziral dim in ga potiskal iz prostora požara iz stavbe (zaželen učinek).

Do širjenja dima lahko pride v primeru požara zaradi nastanka nadtlakov, ki so posledica:

1. povečanja tlaka v prostoru v primeru požara
2. povečanja prostornine dima
3. temperaturnih razlik med notranjostjo in zunanjo atmosfero
4. vpliva ogrevalnega in prezračevalnega sistema
5. vpliva vertikalnih povezav v stavbi
6. vpliva vetra

Nadtlak, ki nastane v prostoru zaradi požara

Izkušnje s požarnimi preskusi v stavbah so pokazale, da lahko pričakujemo nadtlake do 37,5 Pa. Bolj pogosto so ti nadtlaki v območju od 15 do 25 Pa pri majhnih do srednjih požarnih obremenitvah.

Povečanja prostornine dima

Tudi sama ekspanzija dima zaradi segrevanja lahko prav tako prispeva k širjenju dima.

Vpliv vzgona

Vzgon ima lahko pomemben vpliv na širjenje dima v visokih stavbah. Tlačne razlike zaradi vzgona lahko znašajo do 125 ali 250 Pa ali več, glede na lokacijo nevtralne tlačne ravnine, višino stavbe in zunanje temperature.

Ogrevanje in prezračevanje

Sistemi za klimatizacijo (ogrevanje in prezračevanje) lahko povzročajo tlačne razlike vse od 10 Pa do 75 Pa. Zaradi tega je treba te sisteme ponavadi v primeru odkritja požara avtomatično izklopiti ali preklopiti v »kontrolni režim« ali »režim odvoda doma/odzračevanja«.

Vpliv vetra

Tlačna razlika, ki je odvisna od hitrosti vetra, znaša 120 Pa, če je hitrost vetra 11,2 m/s, in je razlika merjena med zavetrno in privetrno fasado. Tlak pri tem narašča s kvadratom hitrosti vetra.

Vpliv sprinklerskega sistema na širjenje dima

Vpliv sprinklerskega sistema na nevarnost dima je dvojen. Prvi in najpomembnejši je ta, da sprinkler zavira gorenje in s tem omejuje širjenje požara in s tem nastajanje dima. Drugi je ta, da sprinkler hladi dim in s tem zmanjšuje njegovo vzgonsko silo. Ohlajeni dim lahko vpliva na vidljivost. V stavbah s sprinklerskim sistemom maksimalne tlačne razlike ne presegajo 12,5 Pa.

Pretok dima skozi reže v dimnih pregradah

Poznavanje pričakovanega pretoka zraka/dima skozi reže v dimnih pregradah je pomembno, ker nam dovoljuje oceno vpliva tesnjenja teh rež, oziroma njihovega prispevka h količini dima, ki se je razširil skozi reže. Pri tlačni razliki 75 Pa dobimo pretok 7,2 m/s na enoto površine reže m², pri 12,5 Pa pa samo 3,2 m/s (sprinkler).

IV.7. Verjetnosti za nastanek požarnega preskoka in povratnega udara ter ukrepanje za preprečevanje teh pojavov

Požarni preskok (flashover) je pojav, ki predstavlja prehod med fazo začetnega požara in polno razvitega požara. Pri gorenju v prostoru nastane pod stropom sloj vročih plinov, ki so segreti na okoli 600°C. Vroči plini sevajo toploto na gorljive snovi v prostoru. Pojav pospeši fizikalno-kemijske procese gorenja in lahko pripelje do požarnega preskoka. Toplotno sevanje iz stropa na tla znaša v času požarnega preskoka okoli 15 do 20kW/m².

V fazi pred požarnim preskokom je temperatura v prostoru relativno nizka in njen vpliv na požarno varnost gradbenih elementov s tem zanemarljiv^{0.3.3.15}. Za gradbene in stavbne elemente predstavlja glavno tveganje polno razvit požar. Temperatura v prostoru lahko v tej fazi preseže 1000°C.

Povratni udar (backdraft) je pojav, do katerega lahko pride ob razvoju požara v zaprtem prostoru. Proces oksidacije teče običajno pri zadostni količini kisika (21 vol %), ki se nahaja v zraku. Znano je, da poteka oksidacija pri gorenju pri deležu kisika v ozračju do 17 vol % v obliki zgorevanja s plamenom. Pri koncentracijah kisika, ki so nižje ob 17 vol % poteka oksidacija v obliki tlenja. Proces oksidacije teče lahko tudi ob zelo nizkih deležih kisika v zraku. Zgorevanje je ob tako majhnih koncentracijah kisika nepopolno, kot stranski produkt oksidacije nastaja poleg vode in ogljikovega dioksida tudi ogljikov monoksid.

Priloga V

Vprašalnik za preverjanje računalniških modelov

Tabela P V.1.: Priporočene ravni ocenjevanja in preverjanja računalniških modelov

Postopek preverjanja	Preprost	Srednji	Kompleksen
Pregled teoretičnih osnov	N	N/T	T
Primerjava z drugimi programi	-	N	T
Preverjanje računalniškega programa	N	T	T
Empirična verifikacija	-	-	T
Numerična natančnost	N	N/T	T
Analiza občutljivosti	-	-	T
T izbor/preverjanje opravi neodvisna tretja oseba			
N izbor/preverjanje in ocenjevanje opravi notranja kontrola			
- preverjanje je zaželeno, vendar ne nujno			

Preverjanje računalniških modelov se vrši na treh stopnjah:

1. Osnovno preverjanje
2. Splošno preverjanje modelov polja ali modelov con
3. Preverjanje posameznega modela glede na zahteve izdajatelja/avtorja modela.

Osnovno preverjanje uporabe požarnega modela

Preverjanje se sestoji iz skupine vprašanj v tabeli P V.2.

Tabela P V.2.: Vprašanja za osnovno preverjanje uporabe požarnega modela

Vprašanje	Opomba
Je model uporabljala strokovno usposobljena oseba?	Model lahko uporablja le strokovno usposobljena oseba, ki izpolnjuje pogoje, opredeljene v točki 8 te smernice.
Je v dokumentaciji navedeno ime modela, serijska številka in verzija?	Zaradi lažje sledljivosti modela, avtorja in njegovih referenc ter iskanja dodatnih informacij mora poročilo zajemati podatke o modelu.
Je bil model uporabljen v skladu z zahtevami avtorja modela?	Avtor modela v začetku opredeli scenarije, kjer je model lahko uporaben. Uporabnik modela mora te scenarije slediti.
Je pri modelu na voljo izvorna koda?	Izvorna koda je sestavina modela. Izpis izvorne kode daje vedeti o poreklu izvorne kode in dokazuje, da na kodi ni bilo sprememb, ki bi lahko vplivale na izračun.
Koliko izračunov je narejenih?	Zaradi občutljivosti in zanesljivosti modela je treba glede na zahtevnost požarnega scenarija izvesti nekaj izračunov enakimi nastavitvami na modelu.
Je bil za izračun uporabljen ustrezni požarni scenarij?	Izbor požarnega scenarija je izredno pomemben, saj odseva realno stanje oz. najslabše možne pogoje. Prav ti morajo biti tudi izračunani.
So v poročilu na voljo vsi za izračun potrebni podatki?	Za preverjanje modela so potrebni podatki kot npr. dimenzija prostora, položaj požara, stopnja zgorevanja, položaj in dimenzija odprtín, število celic, atmosferski pogoji, robni pogoji itd.
So podatki skladni s požarnim scenarijem?	Podatki se morajo skladati z zahtevami, podanimi v požarnem scenariju.
Je napoved/izračun količine dima ustrezna?	Stopnja nastanka dima mora biti prilagojena ustreznem požarnem scenariju. Modeli izračunavajo količino dima med zgorevanjem različno zanesljivo.
Je napoved/izračun količine zgorevalnih	Stopnja nastanka zgorevalnih produktov mora

produktov ustrezen?	biti prilagojena ustreznem požarnem scenariju. Modeli izračunavajo količino zgorevalnih produktov med zgorevanjem različno zanesljivo.
Je napoved razmer v sosednjem prostoru ustrezna?	Poleg sobe, kjer je požar nastal nas zanimajo tudi razmere v sosednjih prostorih. Ob uporabi conskega modela lahko pričakujemo le dve ravni.
Je ocena požarne varnosti ustrezna?	Pravilna uporaba modela mora omogočiti napoved parametrov, ki vplivajo na požarno varnost.

Splošno preverjanje modelov con

Preverjanje se sestoji iz vprašanja v tabeli P V.3.

Tabela P V.3.: Vprašanja za osnovno preverjanje uporabe modelov con

Vprašanje	Opomba
So predpostavke o položaju con (nevtralne cone) ustrezne?	Uporabnik modela in preglednik rezultatov morata biti pozorna na rezultate položaja nevtralne cone v objektih z višjimi atriji in visokimi stropi, saj tam okoliška temperatura sama po sebi vpliva na gibanje zraka in posledično tudi produkte zgorevanja ob požaru.

Splošno preverjanje modelov polja

Preverjanje se sestoji iz vprašanja v tabeli P V.4.

Tabela P V.4.: Vprašanja za osnovno preverjanje uporabe modelov polja

Vprašanje	Opomba
Kakšna je mreža v modelu?	Kvaliteta rezultata je pri modelu polja v veliki meri odvisna gostote mreže. Preredka mreža rezultate popači in v veliki meri vpliva na dinamiko požara v prostoru.
Koliko celic je bilo uporabljenih za izračun?	Kvaliteta rezultata je pri modelu polja v veliki meri odvisna gostote mreže. Preredka mreža rezultate popači in v veliki meri vpliva na dinamiko požara v prostoru.
Je izračun konvergirал?	Rešitev modela - rešitev enačb pomeni, da je model konvergirал. Zaradi velikega števila celic v modelu, teče izračun sedaj na več računalnikih. Iteracij je veliko in model se mora z izračunom v končni fazi približati realni vrednosti.