

UDK 624.9.001.1:614.84+69.009.182

Prимljeno 23. 2. 2006.

Suvremeni pristup dokazu požarne otpornosti konstrukcija

Boris Androić, Darko Dujmović, Ivica Džeba

Ključne riječi

konstrukcija, vatrootpornost konstrukcije, zaštita od požara, norme, propisi, smjernice

Key words

structure, fire resistance of structures, protection against fire, standards, regulations, guidelines

Mots clés

structure, résistance des structures au feu, protection contre le feu, normes, règlements, directives

Ключевые слова

конструкция, огнестойкость конструкции, защита от пожара, нормы, правила, директивы

Schlüsselworte

Konstruktion, Feuerbeständigkeit der Konstruktion, Brandschutz, Normen, Vorschriften, Richtlinien

B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba

Stručni rad

Suvremeni pristup dokazu požarne otpornosti konstrukcija

Prikazana je praksa i pristup zaštiti konstrukcija od požara u Hrvatskoj. Opisane su mjere zaštite od požara koje se predviđaju glavnim projektom. Iz toga se opisa vidi nesređenost stanja u pogledu primjene inozemnih i domaćih propisa i smjernica. Dane su temeljne postavke Eurokoda o pristupu problemu požara. Na primjeru je pokazana mogućnost dobivanja optimalnih rješenja adekvatnim proračunom. Autori preporučuju hitnu promjenu prakse vezane uz zaštitu konstrukcija od požara.

B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba

Professional paper

A modern approach to proving fire resistance of structures

Current practices and approaches to the protection of structures against fire hazard in Croatia are presented. Fire protection measures that are usually specified in detailed design documents are described. This description reveals that the current situation regarding application of foreign and national regulations and guidelines is quite disorderly. Principal Eurocode directives related to the fire protection issue are presented. An example is used to illustrate the way in which optimum analytical solutions can be found. The authors recommend urgent change of current practices regarding protection of structures against fire hazard.

B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba

Ouvrage professionnel

Une approche moderne à la vérification de la résistance des structures au feu

Pratiques et approches couramment utilisées pour la protection des structures contre l'action du feu en Croatie sont présentées. Les mesures de protection contre incendie, normalement utilisées dans les projets détaillés, sont décrites. Cette description montre que la situation courante dans le domaine de l'application des règlements et des recommandations est tout à fait désordonnée et cela tant au niveau national que international. Les directives principales de l'Eurocode relatives à la protection contre le feu sont présentées. Un exemple est utilisé afin d'illustrer la manière dans laquelle les solutions analytiques optimales peuvent être trouvées. Les auteurs proposent un changement urgent des pratiques courantes relatives à la protection des structures contre les risques de feu.

B. Андроић, Д. Дујмовић, И. Дџеба

Отраслевая работа

Современный подход к доказательству огнестойкости конструкций

В работе показана практика и подход к защите конструкций от пожара в Хорватии. Описаны меры защиты от пожара, предусмотренные главным проектом. Из того описания видна неупорядоченность состояния в отношении применения иностранных и отечественных правил и директив. Даны основные исходные предпосылки Еврокода о подходе к проблеме пожара. На примере показана возможность получения оптимальных решений адекватным расчётом. Авторы рекомендуют срочное изменение практики, связанной с защитой конструкций от пожара.

B. Androić, D. Dujmović, I. Džeba

Fachbericht

Zeitgemässer Zutritt zum Nachweis der Feuerbeständigkeit von Konstruktionen

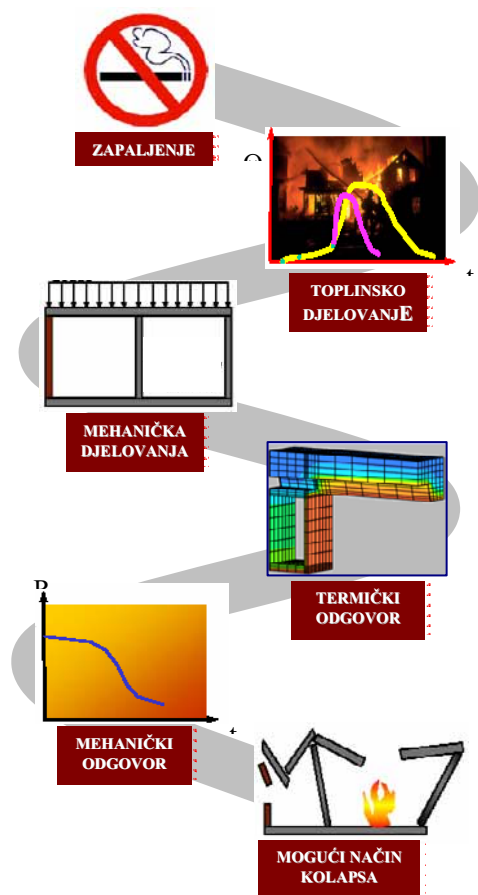
Dargestellt sind Praxis und Zutritt zum Brandschutz von Konstruktionen in Kroatien. Beschrieben sind die Brandschutzmassnahmen die im Hauptentwurf vorgesehen werden. Aus dieser Beschreibung ersieht man die Konfusion bei der Anwendung der aus- und inländischen Vorschriften und Richtlinien. Vorgelegt sind die Grundrichtlinien des Eurocode über den Zutritt zum Problem des Brandes. Am Beispiel zeigt man die Möglichkeit optimale Lösungen durch adequate Berechnung zu erreichen. Die Verfasser empfehlen eine eilige Änderung der Praxis betreffend den Brandschutz von Konstruktionen.

Autori: Prof. dr. sc. **Boris Androić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Darko Dujmović**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Ivica Džeba**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb

1 Uvod

U posljednjih deset godina u svijetu, a posebno u Europi, dovršeni su istraživački projekti u vezi s ponašanjem konstrukcija pri požaru i njihovom zaštitom. To se posebno odnosi na istraživanje u području čeličnih konstrukcija koje je financirao ECSC (*European Community for Steel and Coal*). Glavni je zaključak ovih istraživanja bio da požar u budućnosti neće biti zapreka primjeni čelika u nosivim konstrukcijama. Naravno, osim čeličnih konstrukcija, za koje se smatralo da su posebno ugrožene u slučaju požara, dobiveni su se rezultati također odnosili i na konstrukcije izgrađene od ostalih materijala.

Općenito se može reći da je skup znanja o požaru postao vrlo opsežan i da je na taj način praktično prerastao u jednu novu inženjersku disciplinu pod nazivom Požarno inženjerstvo. Kao izravna posljedica navedenih istraživanja u europske se norme ugrađuju osnovni koncepti i pravila potrebni za opis toplinskog i mehaničkog djelovanja na konstrukcije izložene požaru (EN 1991-1-2).



Slika 1. Požarna otpornost - slijed događanja

Za razumijevanje mehaničkog ponašanja konstrukcije pri požaru potrebno je dobro poznavanje svih situacija prikazanih na slici 1. Specifičnosti vezane uz primijenjeni materijal od kojeg je konstrukcija izgrađena, kao što su

npr. toplinska provodljivost, promjena mehaničkih karakteristika u odnosu na promjenu temperature te konačno mogući načini otkazivanja, obuhvaćeni su odgovarajućim dijelom europske norme za svaki materijal posebno. U slučaju čeličnih konstrukcija, ovo područje obuhvaća EN 1993-1-2.

Na takav način, kad je poznato toplinsko djelovanje te očekivano mehaničko djelovanje u slučaju požara, omogućeno je dimenzioniranje čeličnih konstrukcija s obzirom na požarno djelovanje [2].

2 Pregled načina zaštite od požara

Tradicionalni pristup zaštiti od požara čeličnih konstrukcija temelji se na oblaganju konstrukcijskih elemenata izolacijskim materijalom. Moguća je primjena sljedećih tipova zaštite:

- pločastim oblogama
- prskanjem
- premazima.

Navedeni tipovi zaštite od požara primjenjuju se na gradilištu pošto se montiraju glavni konstrukcijski elementi. Takav način izvedbe zaštite od požara može uzrokovati prekoračenje rokova izgradnje, a time i povećanje troškova. Na primjer, u jednoj višekatnoj čeličnoj zgradi zaštita od požara iznosi otprilike 18% od ukupne cijene koštanja. Izuzetak koji se odnosi na prekoračenje rokova izgradnje može biti samo u slučaju primjene premaza, budući da se ovaj način može izvoditi u radionici. Međutim, kod takvih se sustava zahtijeva znatno povećana otpornost na udarce i abraziju.

Navedeni tipovi zaštite od požara omogućavaju odgovarajući stupanj zaštite čeličnih konstrukcija od toplinskog djelovanja i mogu se primijeniti kao sastavni dio požarnog inženjerstva. Međutim, tradicionalne debljine zaštitnih slojeva temelje se na podacima proizvođača. One su zasnovane na odveć pojednostavljenom kriteriju ograničavanja temperature čelika na temperaturu manju od 550 °C za zahtijevano vrijeme požarne otpornosti normiranog požara prema ISO 834. Materijali zaštite od požara rutinski se ispituju u ispitnim pećima prema ISO 834 na svojstvo toplinske izolacije, cjelovitosti i nosivosti. Svojstva materijala, od kojih se izvodi zaštita od požara, određuju se iz dobivenih rezultata poluempirijskim metodama.

Suvremene norme snažno naglašavaju činjenicu da požarna otpornost konstrukcijskih elemenata uvelike ovisi o razini (intenzitetu) opterećenja pri požaru. Također se ističe da opterećenje u požarnoj situaciji ima vrlo veliku vjerojatnost da bude manje od proračunskih opterećenja na koje je inače konstrukcija dimenzionirana. S druge strane, elementi koji imaju rezervu nosivosti s obzirom na dokaz pouzdanosti proveden pri sobnoj temperaturi,

moгу postići povećano vrijeme požarne otpornosti. Posljedica toga jest primjena nezaštićenih ili djelomično zaštićenih konstrukcijskih elemenata.

Očita je tendencija da se projektant-konstruktor podstiče na primjenu naprednih proračunskih modela globalnog ponašanja konstrukcije ili njezinih dijelova, što se predlaže u eurokodu. Dakle, ideja se sastoji u procjeni cjelokupne požarne otpornosti, predviđajući alternativni kontinuitet prijenosa opterećenja kada elementi u požarnome odjeljku izgube učinkovitu nosivost. Ovo je temeljna razlika u odnosu na tradicionalni postupak, koji se temelji na ispitivanju požarne otpornosti pri normiranome požaru svake komponente. Također, EN 1993-1-2 potiče integriranu strategiju požarne zaštite, uključujući kombiniranje aktivne i pasivne zaštite, kako se navodi u točki 4.

3 Koncept zaštite od požara u eurokodu

Semprobabilistički koncept dokaza pouzdanosti, koji je obrađen u europskoj normi EN 1990, daje osnovne podloge za određivanje proračunskih vrijednosti djelovanja i svojstava materijala. Taj se koncept može proširiti te primijeniti i na dokaz pouzdanosti konstrukcija koje su izložene požaru.

Ako se promatra dokaz pouzdanosti na razini 'hladne' konstrukcije, tj. da ne postoji vjerojatnost nastanka požara, vrijedi izraz:

$$p_f \leq p_t \quad (1)$$

gdje je:

p_f - vjerojatnost otkazivanja

p_t - normirana vjerojatnost otkazivanja.

Normirana je vjerojatnost otkazivanja p_t u vijeku uporabe konstrukcije $7,25 \cdot 10^{-5}$, ($1,3 \cdot 10^{-6}$ za jednu godinu) što i odgovara indeksu pouzdanosti za granično stanje nosivosti $\beta = 3,8$. Međutim, u slučaju nastanka požara, prevladavajuće djelovanje na konstrukciju postaje požarno opterećenje izraženo u kilogramima drva ili u MJ (megadžul). U tom slučaju može se napisati izraz za vjerojatnost pojave snažnog požara svedeno na jednu godinu, koji će ugroziti mehaničku stabilnost konstrukcije:

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot A_{fi} \quad (2)$$

gdje je:

p_1 - vjerojatnost nastanka snažnog požara uključujući učinke intervencija korisnika i vatrogasne brigade (za 1 m^2 tlocrta konstrukcije i za jednu godinu)

p_2 - faktor redukcije ovisan o tipu vatrogasne službe i vremenu koje protekne od početka alarma do dolaska vatrogasaca

p_3 - faktor redukcije za slučaj automatske dojava požara (pojavom dima ili topline)

p_4 - vjerojatnost otkazivanja sprinklera (ako postoje)

A_{fi} - ploština požarnog sektora.

U slučaju vjerojatnosti nastanka požara kao izvanrednog djelovanja, izraz (1) može se napisati na sljedeći način:

$$p_{f,fi} \cdot p_{fi} \leq p_t \quad (3)$$

gdje je:

$p_{f,fi}$ - vjerojatnost otkazivanja u slučaju požara

p_{fi} - vjerojatnost nastanka požara

p_t - normirana vjerojatnost otkazivanja.

U sredneme obliku izraz (3) se može napisati kako slijedi:

$$p_{f,fi} \leq \left(\frac{p_t}{p_{fi}} \right) \quad (4)$$

Izraz (4) može se, dakle, objasniti na sljedeći način. U slučaju požara normirani indeks pouzdanosti β nije više 3,8, nego je promjenjiv i ovisi o različitim varijablama koje utječu na vjerojatnost nastanka požara p_{fi} , što se može vidjeti iz izraza (2). U ovome slučaju taj promjenjivi indeks pouzdanosti označava sa β_{fi} jer ovisi o p_{fi} . U skladu s teorijom iz inženjerstva pouzdanosti, za indeks pouzdanosti β_{fi} vrijedi izraz:

$$\beta_{fi} = \Phi^{-1} \left(\frac{p_t}{p_{fi}} \right) = \Phi^{-1} \left(\frac{7,25 \cdot 10^{-5}}{p_{fi}} \right) \quad (5)$$

U izrazu (5), Φ je standardna normalna razdioba. Dakle, u slučaju vjerojatnosti nastanka požara zahtijeva se različita veličina indeksa pouzdanosti u odnosu na vjerojatnost otkazivanja nego u slučaju kada ne postoji mogućnost nastanka požara. Normirana vjerojatnost p_t (jedna godina) trebala bi se prema nekim prijedlozima razlikovati u ovisnosti o mogućnostima evakuacije ljudi, te se navodi:

$$p_t = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ za uobičajenu evakuaciju,}$$

$$p_t = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ za otežanu evakuaciju,}$$

$$p_t = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ nemogućnost evakuacije.}$$

Nadalje se može, na temelju proračunskih metoda inženjerstva pouzdanosti, odrediti globalni faktor γ_{qf} za požarno opterećenje q_f . Ako se globalni faktor γ_{qf} prikaže s odgovarajućim faktorima, proračunsko požarno opterećenje $q_{f,d}$ može se napisati prema EN 1991-1-2 u obliku:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \quad (6)$$

gdje je:

$q_{f,k}$ - karakteristična gustoća požarnog opterećenja za jedinicu ploštine (MJ/m^2)

m - faktor izgaranja

- δ_{q1} - faktor koji uzima u obzir rizik nastanka požara zbog veličine požarnog odjeljka
- δ_{q2} - faktor koji uzima u obzir rizik nastanka požara u građevinama različitih namjena
- $\Pi\delta_{ni}$ - faktor koji uzima u obzir različite mjere aktivne zaštite od požara.

Na temelju navedenog i uzimajući u obzir osnovne principe iz europske norme EN 1990, požar se tretira prevladavajuće djelovanje u kombinaciji djelovanja za izvanrednu proračunsku situaciju u graničnom stanju nosivosti.

Proračun prema normi EN 1991-1-2, koja daje koncept i pravila za opis toplinskog i mehaničkog djelovanja na konstrukcije, operativno se može provesti u različitim područjima:

- vremena: $t_{fi,d} \geq t_{fi,zah}$, (7)
- čvrstoće: $R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$, (8)
- temperature: $\Theta_d \leq \Theta_{cr,d}$. (9)

Oznake u gornjim izrazima imaju sljedeće značenje:

- $t_{fi,d}$ - proračunska vrijednost otpornosti na požar izražena vremenski
- $t_{fi,zah}$ - zahtijevano vrijeme otpornosti na požar
- $R_{fi,d,t}$ - proračunska vrijednost otpornosti konstrukcijskog elementa u požarnoj situaciji u vremenu t
- $E_{fi,d,t}$ - proračunska vrijednost mjerodavnog učinka djelovanja u požarnoj situaciji u vremenu t
- Θ^d - proračunska vrijednost temperature materijala
- $\Theta^{cr,d}$ - proračunska vrijednost kritične temperature materijala.

Za procjenu mehaničkog ponašanja konstrukcije u slučaju požara, potrebno je u suštini poznavati četiri kategorije problema:

- određivanje mehaničkog opterećenja koje djeluje na konstrukciju u slučaju nastanka požara
- definiranje karakteristika materijala pri povišenim temperaturama (σ - ϵ , f_y , Θ , E , Θ)
- poznavanje različitih metoda dimenzioniranja, te određivanje područja primjene jednostavnih i složenijih postupaka proračuna
- poznavanje posebnih problema, koji su vrlo bitni za ponašanje konstrukcija izloženih požaru, a nisu izravno navedeni u pravilima dimenzioniranja u slučaju požara (npr. priključci, posebni konstrukcijski detalji itd.).

U slučaju nastanka požara odgovarajuća kombinacija djelovanja može se odrediti prema EN 1990, izraz (6.11b), kako slijedi:

$$\sum_{j \geq 1} "G_{k,j}" + (\psi_{1,1} ili \psi_{2,1}) "Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} "Q_{k,i}" \quad (10)$$

gdje je:

- $G^{k,i}$ - karakteristična vrijednost stalnog djelovanja
- $Q^{k,1}$ - karakteristična vrijednost prevladavajućega promjenjivog djelovanja
- $Q^{k,i}$ - karakteristične vrijednosti pratećih promjenjivih djelovanja
- ψ^1, i - faktor za učestalost vrijednosti promjenjivog djelovanja
- ψ^2, i - faktori za kvazistalne vrijednosti promjenjivih djelovanja.

Općeniti dokaz za ponašanje čeličnih konstrukcija pri požaru provodi se prema EN 1993-1-2 i glasi:

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} \quad (11)$$

U izrazu (11) oznake odgovaraju već objašnjenim uz izraz (8). Izraz (11) jest općeniti dokaz koji se može odnositi na proračun konstrukcijskog elementa, dijela konstrukcije ili na globalni proračun konstrukcije.

U slučaju pojednostavnjenog dokaza na razini konstrukcijskog elementa, za učinak djelovanja $E_{d,fi}$ u normi je dano:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (12)$$

gdje je:

E^d - proračunska vrijednost odgovarajuće unutarnje sile ili momenta za proračun konstrukcije pri uobičajenim temperaturama i to za osnovnu kombinaciju djelovanja prema EN 1990

η^i - faktor redukcije za razinu proračunskog opterećenja za požarnu situaciju.

Faktor η_{fi} naziva se još i faktorom redukcije za kombinaciju opterećenja u slučaju požara i glasi:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (13)$$

U izrazu (13) vrijede sljedeće oznake:

- G^k - karakteristična vrijednost stalnog djelovanja
- $Q^{k,1}$ - karakteristična vrijednost prevladavajućega promjenjivog djelovanja

- γ_G - parcijalni faktor stalnog djelovanja
- $\gamma_{Q,1}$ - parcijalni faktor prevladavajućega promjenjivog djelovanja
- ψ_{fi} - faktor redukcije koji može biti $\psi_{1,1}$ ili $\psi_{2,1}$.

4 Praksa zaštite od požara u Republici Hrvatskoj

Sadašnja praksa u Republici Hrvatskoj u vezi s rješavanjem problema koji se odnose na zaštitu građevina, odnosno konstrukcija, od požara je sljedeća:

- A) Odjel za prostorno uređenje i graditeljstvo upućuje zahtjev za izdavanje posebnih uvjeta građenja iz područja zaštite od požara za pojedinu građevinu. Zahtjevu se prilaže idejni projekt.
- B) Zahtjev se upućuje na *Inspektorat unutarnjih poslova* koji se nalazi unutar *Ministarstva unutarnjih poslova, Policijske uprave, Sektor upravnih, inspeksijskih i poslova civilne zaštite*.
- C) *Inspektorat unutarnjih poslova* daje posebne uvjete građenja prema *Zakonu o zaštiti od požara* (Narodne novine br. 58/93 i 33/05). Ako je građevina takve namjene da se sastoji od uredskih prostorija i dijela za garaže, posebni bi uvjeti građenja bili:
- (1) Predvidjeti u građevini unutarnju hidrantsku mrežu koja treba biti projektirana u skladu s odredbama *Pravilnika o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara* (Službeni list br. 30/91) preuzetog člana 53. *Zakona o normizaciji* (Narodne novine br. 55/96).
 - (2) Uredski dio građevine treba projektirati sukladno odredbama američkih smjernica NFPA 101 (izdanje 2003.) ili odredbama austrijskih smjernica TRVB N 115 (izdanje 2000.).
 - (3) Garažni dio treba projektirati sukladno odredbama američkih smjernica NFPA 88A (izdanje 2002. god.) ili odredbama austrijskih smjernica TRVB N 106 (izdanje 1990.).
 - (4) Ostale mjere zaštite od požara treba projektirati prema vrijedećim hrvatskim propisima i normama koje reguliraju zaštitu građevina od požara.
 - (5) Zahtijeva se prikaz predviđenih mjera zaštite od požara u glavnom projektu i za svaku primijenjenu mjeru treba navesti primijenjeni propis i normu.
 - (6) Potrebno je ishoditi potvrdu *Policijske uprave* kojom se potvrđuje da su u glavnom projektu predviđene propisane i posebnim uvjetima građenja tražene mjere zaštite od požara.

- D) Nakon definiranja *Posebnih uvjeta građenja* daje se *Obrazloženje* koje obuhvaća uvjete već navedene u točki C).
- E) Ovlašteni projektant treba u okviru glavnog projekta na temelju *Zakona o zaštiti od požara*, članak 14. izraditi prikaz mjera zaštite od požara.
- F) Posljednji je korak dobivanje potvrde na glavni projekt koju daje *Policijska uprava* na temelju *Zakona o gradnji* (Narodne novine br. 175/03 i 100/04), članak 82.

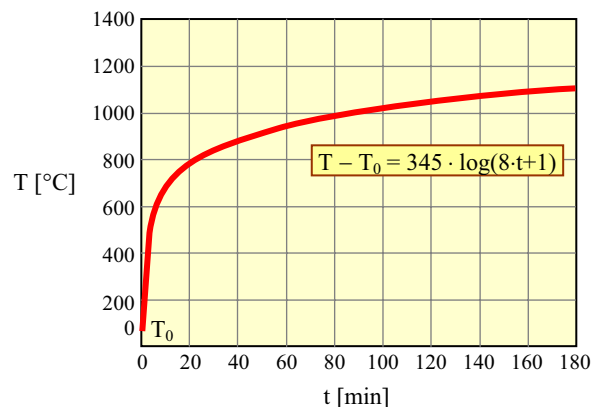
U skladu s posebnim uvjetima građenja i obrazloženja, prethodno već navedenih, tipičan primjer prikaza mjera zaštite od požara kao sastavnog dijela glavnog projekta sadržavao bi sljedeće:

- a) Primijenjeni propisi: *Navode se zakoni, pravilnici, norme i smjernice vezane uz zaštitu od požara. Oni su objavljeni u Narodnim novinama, Službenim listovima, američkim smjernicama NFPA, austrijskim smjernicama TRVB, te norme grupe HRN DIN 4102 i HRN U.J1.*
- b) Osnovni podaci: *Navode se podaci o namjeni, smještaju, tlocrtu i visini građevine, rasporedu prostorija te vertikalna i horizontalna komunikacija unutar građevine. Zatim, se daju podaci o pristupu građevini i o parkiralištu. Prema TRVB određuje se požarno opterećenje koje se pak prema HRN svrstava u odgovarajuću skupinu požarnog opterećenja.*
- c) Lokacija i vatrogasni pristup: *Vatrogasni pristup i površine za operativni rad vatrogasnih vozila prikazuju se grafički na nacrtu u odgovarajućem mjerilu.*
- d) *Otpornost na požar nosive konstrukcije:* *U ovisnosti o materijalu od kojega je konstrukcija izgrađena, prema smjernicama TRVB ili NFPA određuje se otpornost na požar nosive konstrukcije izražena kao vrijeme u kojem se mora sačuvati mehanička stabilnost konstrukcije odnosno elemenata, npr. F 90, što znači da element mora 90 minuta očuvati mehaničku stabilnost.*
- e) Požarni sektori: *Radi sprječavanja širenja dima i vatre, građevina se dijeli u požarne sektore koji se prikazuju u nacrtima. Definiiraju se ploštine pojedinih sektora, pripadajuće razine požarnog opterećenja i aktivna sredstva za gašenje požara.*
- f) Prodori na granici požarnih sektora: *Propisuje se otpornost na požar pojedinih prodora kroz zidove i stropove na granici požarnog sektora.*
- g) cjevovoda i kanala: *Propisuje se primjena materijala s obzirom na njihovu gorivost i brzinu širenja plamena.*

- Definira se klasa vrata s obzirom na otpornost na požar. Također se definira program rada dizala tj. u slučaju vatrodajave dizalo se spušta na kat evakuacije i isključuje se iz uporabe.
- h) Vatrootporna vrata i dizala:
- Definiraju se putovi za spašavanje ljudi u koje mora biti uključeno i stubište. Valja obraditi mogućnost evakuacije preko staklenih pročelja, a potrebno je i razraditi sustav odimljavanja stubišta.
- i) Sigurnosno stubište i mogućnost evakuacije:
- Potrebno je predvidjeti instalacije za gašenje požara. Primjenjuju se vanjska hidrantska mreža, unutarnja hidrantska mreža, vatrodajava te vatrogasni aparati.
- j) Gašenje požara:
- Mjere zaštite instalacijskih, ventilacijskih, klimatizacijskih kanala:
- k) Predviđa se način brtvljenja prolaza kanala instalacija (električne, gromobranske itd.) kroz granice požarnih sektora.
- l) Vatrodojava: Razmatra se mogućnost i način izvedbe sustava automatske dojava požara.
- Mjere zaštite od požara u kotlovnici na plin: Ako postoji kotlovnica, potrebno je izraditi i mjere zaštite od požara.
- m) Dokaz kvalitete ugrađenih materijala: Za potrebe tehničkog pregleda valja pribaviti valjane hrvatske certifikate i isprave.

5 Rasprava

Koncept koji se temelji na primjeni modela normiranog požara normom definira normirani požar. Standardni je požar definiran krivuljom koja daje ovisnost porasta temperature i vremena (slika 2.). Ova se krivulja rabi u ispitnim pećima za određivanje razreda otpornosti konstrukcijskih elemenata s obzirom na požar. Pojedini detalji svrstavaju se u skupine normiranih detalja što se ne tiče otpornosti na požar. Takav je koncept, koji se i danas primjenjuje u Republici Hrvatskoj, zastario i nije prihvatljiv, jer onemogućuje realne inženjerske analize i s današnjeg gledišta razvoja požarnog inženjerstva administrativan je i potpuno neadekvatan deterministički pristup. Međutim, bez obzira na tehničku zastarjelost ovog koncepta, smjernice u hrvatskim normama, koje se temelje na skupini HRN U.JI, neusklađene su što se tiče razreda otpornosti pojedinih dijelova konstrukcijskih elemenata unutar građevine. Također, uočava se apsurdnost u inženjerskom smislu jer ako otkáže međukatna konstrukcija, propisivanje zaštite ostalih konstrukcijskih



Slika 2. Krivulja normiranog požara prema ISO

elemenata nema smisla. Potom, zahtijeva se određena otpornost konstrukcijskog elementa na požar bez obzira na namjenu građevine, odnosno stvarno požarno opterećenje unutar promatrane građevine.

Niz nelogičnosti i nedosljednosti i onemogućavanje inženjera-konstruktoru da provode proračune bili su razlogom da je ECSC financirao i organizirao istraživački projekt *Competitive Steel Buildings through Natural Fire Safety Concept*. Iz ovoga projekta i ostalih istraživačkih radova proizašao je potpuno drugačiji koncept u odnosu na prethodno naveden. Taj se koncept naziva *Natural Fire Safety Concept*, prema kojemu se primjenom proračunskih modela na temelju realnoga požarnog opterećenja provodi proračun konstrukcije izložene požaru. Taj se proračun provodi prema eurokodu i provodi se dokazom u tri područja: vrijeme, čvrstoća i temperatura. Metodologija u tom konceptu obuhvaća statističke analize, dopušta u nekim slučajevima deterministički pristup, ali isto tako daje mogućnost primjene suvremenih probablističkih metoda. Može se zaključiti da je ovaj pristup potpuno inženjerski jer dopušta da se pristup zaštiti konstrukcija od požara proračunski optimira. Takav se pristup vidi u numeričkom primjeru (točka 6.).

6 Numerički primjer zaštite od požara prema eurokodu

6.1 Općenito

Numeričkim primjerom ilustrirat će se dimenzioniranje stupa jednog kata građevine namijenjene za skladište, s obzirom na otpornost pri požaru. Stup je dio poduprtog okvira i izveden je kontinuirano po visini građevine. Visina stupa iznosi 3,00 m, tj. $L = 3,00$ m. Duljina izvijačnja stupa izloženog požaru prikazana je na slici 3. Stup je centrično opterećen. Izložen je požaru sa sve četiri strane. Kao zaštita od požara predviđeno je oblaganje gipsanim pločama. Zahtijevani razred otpornosti na požar jest R 90.

Svojstva materijala

Stup

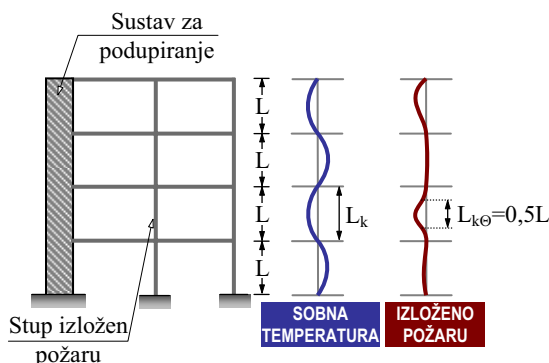
Profil: HE 300 B vruće valjani

Čelik: S 235

Razred presjeka: 1

Granica popuštanja: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Ploština presjeka: $A_d = 149 \text{ cm}^2$



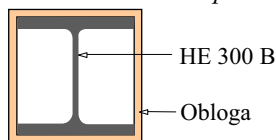
Slika 3. Duljina izvijanja stupa

Obloga

Materijal: Promatect-H

Debljina: $d_p = 1,5 \text{ cm}$

Toplinska provodljivost: $\lambda_p = 0,175 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Slika 4. Poprečni presjek stupa

Opterećenja

Stalno: $G_k = 1040 \text{ kN}$

Promjenjivo: $Q_k = 600 \text{ kN}$

6.2 Otpornost stupa pri uobičajenim temperaturama

6.2.1 Kombinacija djelovanja za granično stanje nosivosti

Primjenjuje se osnovna situacija za kombinaciju mehaničkih djelovanja:

$$E_d = E(\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1})$$

$$N_{E,d} = 1,35 \cdot 1040 + 1,5 \cdot 600 = 2304 \text{ kN}$$

6.2.2 Dokaz pouzdanosti (EN 1993-1-1)

$$\frac{N_{E,d}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1.$$

Otpornost elementa na izvijanje oko slabije osi dobije se iz [5]:

$$N_{b,z,Rd} = 3104 \text{ kN}.$$

Dokaz pouzdanosti glasi:

$$\frac{2304}{3104} = 0,74 < 1.$$

6.3 Otpornost stupa pri požaru

6.3.1 Mehanička djelovanja tijekom izloženosti požaru (EN 1991-1-2)

Primjenjuje se izvanredna situacija za kombinaciju mehaničkih djelovanja tijekom izloženosti požaru:

$$E_{dA} = E(G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}).$$

Faktor kombinacije građevine skladišta jest $\psi_{2,1} = 0,6$ te se može odrediti uzdužna sila u stupu:

$$N_{fi,d} = 1040 + 0,6 \cdot 600 = 1400 \text{ kN}.$$

6.3.2 Proračun najveće temperature čelika (EN 1993-1-2)

Proračun prema EN 1993-1-2 primjenjuje se za proračunavanje temperature potpuno obloženoga čeličnoga profila stupa. Faktor poprečnog presjeka potpuno obloženoga čeličnoga profila stupa proračunava se prema sljedećem:

$$A_p / V = 2 \cdot (b + h) / A_a = 2 \cdot (30 + 30) \cdot 10^2 / 149 = 81 \text{ m}^{-1}.$$

Primjenom nomograma iz publikacije ECCS br. 89 [4], najveća temperatura $\Theta_{a,\max,90}$ čeličnog elementa je:

$$\begin{aligned} (A_p / V) \cdot (\lambda_p / d_p) &= 81 \cdot 0,175 / 0,015 = \\ &= 945 \text{ W / m}^3 \text{ K} \Rightarrow \Theta_{a,\max,90} \approx 590^\circ \text{ C}. \end{aligned}$$

6.3.3 Provjera u području temperature

Prema EN 1993-1-2 provjera stupa u domeni temperature nije dopuštena za konstrukcijske elemente kod kojih se treba uzeti u obzir stabilnost.

6.3.4 Provjera u području čvrstoće

Provjera u području čvrstoće tijekom izloženosti požaru provodi se prema izrazu (11):

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}.$$

U ovom slučaju provjera se provodi samo s uzdužnim silama, tj. prema izrazu:

$$N_{fi,d} \leq N_{b,fi,t,Rd}.$$

Proračunska otpornost u uvjetima visoke temperature određuje se prema izrazu:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A_a \cdot k_{y,\Theta,max} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

U ovisnosti od $\Theta_{a,max,90}$, dani su u [2] u tablici 1. faktori redukcije k_y, Θ i $k_{E,\Theta}$. Za međuvrijednosti temperature čelika može se primijeniti linearna interpolacija, pa se dobivaju sljedeće vrijednosti:

$$\Rightarrow k_{y,590^\circ C} = 0,50$$

$$\Rightarrow k_{E,590^\circ C} = 0,20.$$

Bezdimenzijska vitkost stupa tijekom izloženosti požaru jest:

$$\bar{\lambda}_\Theta = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{k_{y,\Theta} / k_{E,\Theta}} = 0,21 \cdot \sqrt{0,50 / 0,20} = 0,33.$$

U gornjem je izrazu:

$$\bar{\lambda} = L_{Kz} / (i_z \cdot \lambda_a) = (0,5 \cdot 300) / (7,58 \cdot 93,9) = 0,21.$$

Faktor redukcije za izvijanje savijanjem glasi:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\Theta + \sqrt{\varphi_\Theta^2 - \bar{\lambda}_\Theta^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,33^2}} = 0,81.$$

U gornjem izrazu je:

$$\begin{aligned} \varphi_\Theta &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_\Theta + \bar{\lambda}_\Theta^2 \right] = \\ &= 0,5 \cdot \left[1 + 0,65 \cdot 0,33 + 0,33^2 \right] = 0,66 \end{aligned}$$

i

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235 / f_y} = 0,65 \cdot \sqrt{235 / 235} = 0,65.$$

Proračunska otpornost iznosi:

$$\begin{aligned} N_{b,fi,t,Rd} &= \chi_{fi} \cdot A_a \cdot k_{y,\Theta,max} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} = \\ &= 0,81 \cdot 149 \cdot 0,50 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1418 \text{ kN} \end{aligned}$$

Mora biti zadovoljen uvjet:

LITERATURA

- [1] Eurocode 1, *Actions on Structures, Part 1-2: General Actions on Structures exposed to Fire*, European Prestandard prEN 1991-1-2, Brussels: CEN, 2001.
- [2] Eurocode 3, *Design of Steel Structures, Part 1-2: General Rules – Structural Fire Design*, European Prestandard prEN 1993-1-2, Final Draft, Brussels: CEN, 2003.
- [3] Boko, I.: *Određivanje stupnja sigurnosti nosivih čeličnih konstrukcija izloženih djelovanju požara*, disertacija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 2005.

$$N_{fi,d} / N_{b,fi,t,Rd} = 1400 / 1418 = 0,99 < 1.$$

Ovaj primjer pokazuje način na koji je požar tretiran u europskoj normi kao izvanredno djelovanje. Osnovna je poruka ovog primjera da danas inženjeri konstruktori mogu i trebaju posjedovati aktivan pristup problemu zaštite od požara, tj. da moraju imati mogućnost proračuna otpornosti elemenata konstrukcije izloženih visokim temperaturama. Ovaj se pristup suštinski razlikuje od dosadašnjeg pasivnoga, zastarjeloga i administrativnog. Očito je da se pri zaštiti analiziranog stupa mogu mijenjati debljine zaštitnih ploča, analizirati primjene materijala različitih karakteristika, a da se pritom zadrži unaprijed zadana pouzdanost konstrukcije.

Ako se za ovaj obrađeni primjer stupa određuje debljina zaštitne obloge, ona bi trebala iznositi 25 mm kako bi zadovoljila uvjete prema HRN DIN-u. Ako se primijeni ovaj novi, aktivan inženjerski pristup problemu zaštite od požara vidi se da je dovoljna i debljina obloge od 15 mm, čime se dobiva znatna ušteda u dijelu troškova koji se odnosi na požarnu otpornost

7 Zaključak

Na temelju izloženog zaključuje se da zaštitu konstrukcije od požara u Republici Hrvatskoj određuju državne institucije putem normiranih požarnih otpornosti izražene preko vremenskih komponenata. S druge strane, suvremeni trendovi u prihvaćanju novog koncepta izraženog u europskim normama ne primjenjuje se u Republici Hrvatskoj. Ovu praksu treba hitno promijeniti jer požar, koji predstavlja izvanredno djelovanje na konstrukcije, može biti realno i objektivno razmatran samo u području realnog požara preko metoda proračuna prema novom konceptu tj. eurokodu.

Iz svega navedenog proizlazi da otpornost konstrukcija na požar moraju analizirati građevinari koji su ovladali metodama proračuna konstrukcija. Također, treba napomenuti da bi problematika zaštite od požara morala biti zastupljenija pri edukaciji studenata na građevinskim fakultetima u Republici Hrvatskoj, povezujući znanja inženjstva, pouzdanosti i požarnog inženjstva.

- [4] *Explanatory Document for ECCS N°89 - "Euro-Nomogram" Fire Resistance of Steel Structures*, ECCS - Technical Committee 3 - Fire Safety of Steel Structures, Brussels, 1996
- [5] Androić, B.; Džeba, I.; Dujmović, D.: *International Structural Steel Sections, Design Tables According to Eurocode 3*, Ernst&Sohn - A Wiley Company, Berlin, 2000.