

КРИТИЧНА ТЕМПЕРАТУРА СПРЕГНУТОГ СТУБА У ЗАВИСНОСТИ ОД ЊЕГОВЕ ВИТКОСТИ

Миливоје Милановић¹
Мери Цветковска²
Раденко Пејовић³
Петар Кнежевић⁴

УДК: 624.042.5.074.6

DOI: 10.14415/zbornikGFS27.07

Резиме: Стабилност стуба, у условима пожара, зависи од више параметара: типа и димензија пресека, висине стуба, величине оптерећења, својстава елемената у пресеку, услова придржаја крајева стуба и.т.д. За нормалне услове експлоатације, релативно једноставно се може прорачунати критична сила извијања стуба. Повећањем температуре мењају се механичке карактеристике материјала са чиме долази до смањења носивости стуба. Такође, при загревању, долази до појаве експанзије стуба у свим правцима. Ова термичка појава ће изазвати додатна напрезања у стубу, у зависности од степена придржаности крајева стуба (издужење и ротација крајева стуба). У раду је анализиран утицај температуре на појаву критичних сила извијања стуба. Познавање критичне температуре извијања помаже у правилном пројектовању спрегнутих стубова, односно њихове стабилности на извијање при загревању. Како су експерименти овог типа врло скупи, у свету се данас све више користе верификоване нумеричке методе за решавање проблема. У тексту је презентован пример одређивања критичне температуре и граничне силе извијања за спрегнути стуб са делимично убетонираним челичним профилем, помоћу софтвера САФИР.

Кључне речи: Спрегнути стуб, пожар, критична температура, извијање

1. УВОД

Прорачун и димензионисање спрегнутих стубова, у објектима високоградње, у условима нормалних температура (20°C), углавном се своди на одређивање носивости пресека и корекције те носивости у односу на виткост стуба. Помоћу многих софтвера или М-*N* дијаграма, можемо врло брзо димензионирати стубове на основу утицаја којима су исти изложени.

¹ Assist. PhD, Грађевински факултет, Државни универз. у Новом Пазару, Србија, milanovicnp@gmail.com

² Prof. PhD, Грађевински факултет, Универзитет „Њирило и Методије“ у Скопљу, Македонија
cvetkovska@gf.ukim.edu.mk

³ Prof. PhD, Грађевински факултет, Универзитет У подгорици, Црна Гора, radenko@ac.me

⁴ Assist. PhD, Грађевински факултет, Државни универзитет у Новом Пазару, Србија,
petar.knezevic.dunp@gmail.com

Међутим, димензионирање спрегнутих стубова изложених температурним дејствима, знатно је комплексније. Разлог томе је пад носивих карактеристика материјала у пресеку спрегнутог стуба при порасту температуре. Такође, упоредо са смањењем носивости пресека стуба, уколико је дилатација стуба дуж осе спречена, јавиће се додатне деформације и напрезања у стубу. Ови термички утицаји (са утицајима од спољашњег оптерећења) могу довести до нарушавања носивости и стабилности конструкције објекта. Постоји велики број фактора који утичу на понашање спрегнутог стуба у условима пожара. Неки од њих су следећи:

- Димензије попречног пресека стуба (битно утичу на продор температуре),
- Врсте материјала који преовладавају у пресеку (више челика или бетона),
- Распоред челичних елемената у бетонском делу стуба, компактност бетона,
- Висина стуба (дужина извијања) и услови ослањања крајева стуба,
- Аксијална крутост стуба (EI/h),
- Пожарна сценарија и изложеност стуба (цели обим, делимично и др.),
- Врсте и величине оптерећења на стубу (N, M, T , комбинације истих и др.),

Правилно пројектовање подразумева да се, поред носивости пресека спрегнутог стуба, пажња мора обавезно обратити на опасност од извијања стуба. Прописима је дефинисан поступак прорачуна за обезбеђивање стабилности стуба на извијање.

При димензионирању спрегнутих стубова изложених загревању, где опадају носиве карактеристике материјала у пресеку стуба, логично је да ће доћи до смањења вредности критичних сила извијања. Треба одредити критичну температуру, тачније критично време загревања, када ће се јавити критична сила извијања стуба. Задатак се може решити на два начина:

- Први начин је експериментални, на реалним моделима спрегнутих стубова.
- Други начин је нумеричка анализа проблема, коришћењем верификованих софтвера за термичку и механичку анализу елемената и конструкција.

Код првог начина (експериментална анализа) проблем је у вло скупим експериментима са немогућношћу обухвата свих потребних варијација оптерећења, типа пресека, димензија стуба и т.д. Такође се показало да експерименти на појединачним изолованим елементима не дају задовољавајуће резултате.

Нумеричка анализа, као нов приступ у испитивању дејства температуре на конструкција, све више преузима примат у односу на експерименте. Савремени модули, засновани на принципима термодинамике и статике конструкција, све реалније мењају скупе експерименте. Софтвери се верификују на подацима многобројних експеримената и на тај начин дају сигурност у прихватању сопствених резултата.

На примеру једног спрегнутог стуба, у раду је приказана могућност прорачуна критичне температуре и критичне силе извијања у току изложености стуба пожарном дејству. Усвојени пожарни сценарио је стандардни пожар.

2. КРИТИЧНА ТЕМПЕРАТУРА ИЗВИЈАЊА СПРЕГНУТОГ СТУБА

Да би се објаснио сам поступак одређивања критичне силе извијања стуба, за одређену критичну температуру, објаснићемо неке основне односе који регулишу

понашање елемената при дејству температуре. Укупна деформација носача при дејству температуре износи:

$$\epsilon_{\text{tot}} = \epsilon_{\text{term}} + \epsilon_{\text{meh}} \quad (1)$$

где је :

ϵ_{ter} - термичка деформација изазвана температуром;

ϵ_{meh} - механичка деформација изазвана оптерећењем и условима ослањања.

Са спречавањем померања и ротације крајева стуба јавиће се додатне деформације и напрезања. Смер пружања термичке и механичке деформације је различит. Температура изазива издужење, а спољашњо оптерећење тежи да скрати дужину стуба. Управо ова чињеница указује на комплексност одређивања критичне температуре извијања стуба. Различите вредности спољашњих утицаја, различите температуре загревања, различите висине (виткост стуба), утичу на појаву различитих критичних температура и критичних сила извијања стуба. Познато је да загревање једног елемента константном температуром изазива термичку дилатацију која се дефинише са:

$$\epsilon_{\text{ter}} = \Delta T \cdot \alpha \quad (2)$$

где је:

ΔT - прираст температуре,

α - коефицијент линеарног ширења материјала.

Код стуба на слици 1а, са ограниченим дилатирањем крајева, важи релација:

$$P = E \cdot A \cdot \epsilon_{\text{ter}} \quad \text{односно} \quad P = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (3)$$

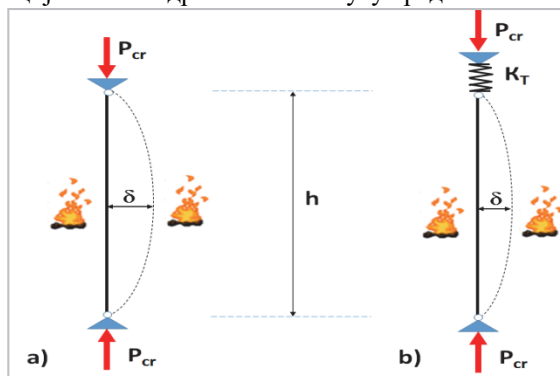
где су :

E –модул еластичности материјала,

A –површина попречног пресека стуба.

Ако температура расте, могућа су два одговора стуба у зависности од његове виткости - λ :

- да је стуб сасвим крут (здепаст), тако да неће моћи да се деси извијање осе стуба. Тада ће се стуб супроставити термичкој дилатацији својом чврстоћом, напон ће расти све до тренутка искоришћења те носивости. Појавом пластификације напон задржава постигнуту вредност.



Слика 1. Крутост ослонца у правцу осе стуба: а) потпуно крут, б) са крутошћу K_T

- ако је стуб витак онда ће исти доживети извијање при Ојлеровој критичној

сили извијања на критичној температури:

$$P_{cr} = (\pi^2 * E I_{eff}) / h^2 \quad (4)$$

Изједначавањем критичне силе извијања са силом ограничења издужења добићемо:

$$(\pi^2 * E I_{eff}) / h^2 = E * A * \alpha * \Delta T \quad (5)$$

Сређивањем се добија критична температура извијања:

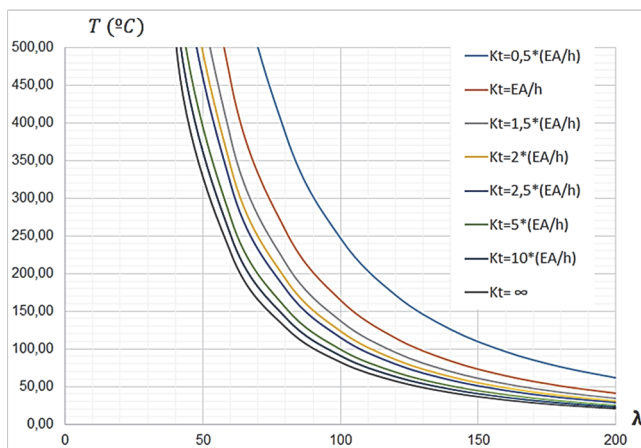
$$\Delta T_{cr} = \pi^2 / (\alpha * \lambda^2) \quad (6)$$

Једначина је теоретски врло једноставна и практична. Може се израчунати критична температура извијања стуба за познату виткост и коефицијент линеарног ширења. Међутим, треба знати да се ово разматрање односи на идеалне термодеградационе карактеристике материјала и на идеално круте везе стуба на крајевима, што у пракси није могуће реализовати. На слици 16 приказан је стуб који на једном крају има подужну крутост ослонца K_T . Тада је напон који се јавља од ограничења трансаторног издужења једнак:

$$\sigma = (E * \alpha * \Delta T) / (1 + (E * A) / (K_T * h)) \quad (7)$$

односно критична температура, после сређивања, је:

$$\Delta T_{cr} = \pi^2 / (\alpha * \lambda^2) * (1 + (E * A) / (K_T * h)) \quad (8)$$



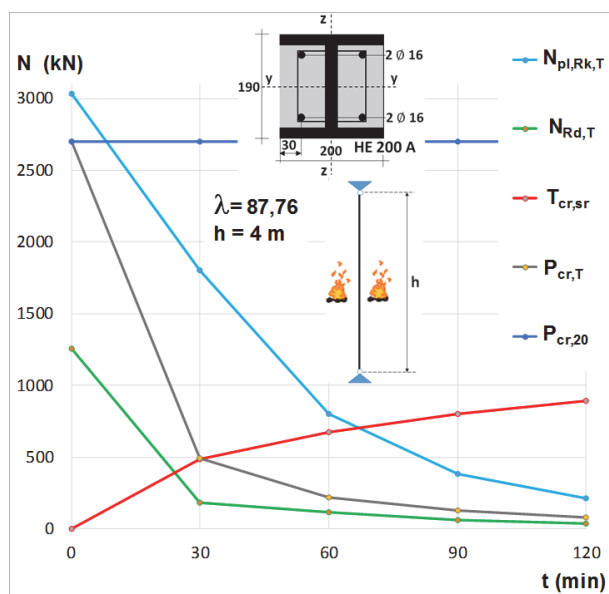
Слика 2. Критичне температуре за различите виткости стуба и аксијалну крутост ослонца K_T

Ако се коефицијент аксијалне крутости ослонца постави у функцији аксијалне крутости стуба, $K_T = X * (EA/l)$, критичне температуре извијања (равенка 8), у зависности од виткости стуба, дате су на слици 2. Са слике 2 може се уочити следеће:

За веома витке стубове, при дејству температуре, ефекат и вредност крутости ослонца стуба не утиче значајно на промену критичне температуре извијања. Како се смањује виткост стуба, аксијална крутост ослонца игра битну улогу, па за виткост $\lambda=70$ разлика у критичним температурама извијања је преко 340 °C .

Ограничења издужења и ротације стуба при загревању, у реалним објектима, су везе стуба са осталим елементима конструкције и нападни утицаји у стубу од спољашњих оптерећења. Они се супростављају термичким издужењима и ротацијама стубова на крајевима. Поставља се питање, када очекивана сила у врху стуба, на

основу које је исти димензионисан у нормалним условима експлоатације, постаје подужно ограничење које изазива извијање стуба на критичној температури. Подужна крутост ослонца K_T варира од реалне до бесконачне вредности. Одговор се добија излагањем спрегнутог стуба, усвојеног попречног пресека, дејству стандардном пожару. Усвојени стуб је приказан на слици 3. Разматран је утицај аксијалне силе у стубу (карактеристика средњих стубова рама).



Слика 3. Критичне температуре и критичне силе извијања за усвојени спрегнути стуб дужине 4м и виткости $\lambda = 87.76$, у току загревања

Висина стуба је 4м, виткост је $\lambda=87.76$, а стуб је изложен пожарном дејству по целом обиму пресека. Дијаграм на слици 3 приказује вредности носивости стуба у току времена загревања од 30, 60, 90 и 120 мин. Како расте средња критична температура пресека спрегнутог стуба, $T_{cr,sr}$, тако се уједначавају носивост стуба, $N_{Rd,T}$, носивост пресека стуба, $N_{pl,Rk,T}$ и критична сила извијања стуба, $P_{cr,T}$.

3. ЗАКЉУЧАК

Одређивање средње критичне температуре спрегнутог пресека стуба и критичне силе извијања помаже да се сагледа однос максималне носивости стуба, $N_{Rd,T}$, према критичној сили извијања, $P_{cr,T}$, за одређено време пожарног дејства. Може се закључити (са дијаграма) да је тај однос највећи у првих пола сата дејства температуре, а даљим загревањем он се врло мало мења.

Критична сила извијања спрегнутог стуба при загревању нагло опада у првих пола сата пожарног дејства (за 80%), да би се касније смањило тренд пада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1994-1-1: Design of composite steel and concrete structures. part 1-1: General rules and rules for buildings”. *European Committee for Standardization*, 2005.
- [2] EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures. part 1-2: General rules – structural fire design”. *European Committee for Standardization*, 2005.
- [3] Knobloch, M., Fontana, M. and Frangi, A., “On the interaction of global and local buckling of square hollow sections in fire”, Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures CIMS 2008, Sydney, Australia, pp. 587-594.
- [4] Rodrigues J.P.C., Neves I.C., Valente J.C., “Experimental research on the critical temperature of compressed steel elements with restrained thermal elongation”. *Fire Safety Journal*, **35**, 77-98, 2000.
- [5] Talamona, D., Franssen, J.M., Schleich, J.B. and Kruppa, J., “Stability of steel columns in case of fire: Numerical modeling”, *Journal of Structural Engineering*, **123**(6), 713-720, 1997

COMPOSITE COLUMN CRITICAL TEMPERATURE DEPENDING ON ITS SLENDERNESS

Summary: *Stability of column, in fire conditions, depends on several parameters: type and dimensions of the section, height of the column, load intensity, material properties of constitutive elements, support conditions at the ends of the column, and so on. In normal exploitation conditions, it's relatively easy to calculate the critical buckling force of the column. With the increase in temperature, the mechanical characteristics of materials start to change, resulting in decreased bearing capacity of the column. Also, when the fire starts to spread, dilatations caused by the axial force and the temperature are in different directions. This thermal phenomenon will cause additional stresses in the column, depending on the degree of restrains at the ends of the column (elongation and rotation at the ends of the column). This paper analyzes the effect of temperature on the occurrence of critical buckling force of the columns. Knowing the critical buckling temperature helps in the proper design of composite columns, respectively, of their stability on buckling when the fire starts to spread. Nowadays, as the experiments of this type are very expensive, verified numerical methods for analysis of fire exposed structures are used. An example of calculating the critical temperature and critical buckling force of composite column with partially encased steel section, using the software SAFIR, is presented in this paper.*

Keywords: *Composite columns, fire, critical temperature, buckling;*