

VLIV REDISTRIBUCE OHYBOVÝCH MOMENTŮ BĚHEM POŽÁRU NA POŽÁRNÍ ODOLNOST OHÝBANÝCH ŽELEZOBETONOVÝCH PRVKŮ

THE EFFECT OF REDISTRIBUTION OF BENDING MOMENTS ON FIRE RESISTANCE OF BENDING STRUCTURE IN CASE OF FIRE

ZOJA BEDNAREK,
ISABELA BRADÁČOVÁ

Jsou prezentovány výsledky testů u oceli St3, 18G2 a 34GS za teplotních podmínek normového požáru s výpočtem změn napětí ve vzorcích oceli nosné výztuže blízcím se změnám napětí způsobených redistribucí ohybových momentů. Cílem testů bylo zjistit, zda by bylo možné provést výpočet redistribuce ohybových momentů působící změnu hladiny napětí ve výztuži železobetonových prvků metodou autorky pro stanovení kritické teploty a doby selhání výztuže za teplotních podmínek normového požáru.

There are present the results of tests on the St3, 18G2 and 34GS steel grades under thermal conditions of the standard fire with an account of the change in stresses in steel samples, similar to the changes in stress in the reinforcement, resulting from redistribution of bending moments. The major purpose of the tests was to find out whether it could be possible to account for the redistribution of bending moments, thus also for the variations in the stress level in the reinforcement in tension of reinforced-concrete members, in the method developed by author for the determination of critical temperature and of the time till failure of the reinforcement under thermal conditions of the standard fire.

Redistribuce ohybových momentů během požáru není obvykle zohledněna při určování požární odolnosti ohýbaných prvků. Také v metodě vypracované jednou z autorek pro stanovení požární odolnosti a publikované v článku [1] nebylo k tomuto jevu přihlédnuto.

K redistribuci vnitřních sil při zvýšených a vysokých teplotách dochází obecně v příčích rámcích, u spojitých nosníků atd. Dokonce u nosníků a desek prostě uložených dochází po vyčerpání možnosti vol-

ného přetvoření během požáru ke změně statického schématu a následně k redistribuci ohybových momentů [2]. Zkoušek prováděných za účelem zjištění hodnot redistribuce ohybových momentů je jen málo a všechny vykazují dosti podstatné snížení hodnoty těchto momentů uprostřed rozpětí přičle a zvětšení hodnoty momentů nad podporami během prvních 10 až 15 minut trvání požáru a následně částečné zastavení tohoto procesu. V důsledku toho hodnoty ohybových momentů uvažované při výpočtu požární odolnosti jsou vyšší než ve skutečnosti. Je to patrné na příkladu spojitých nosníků (obr. 1), [5].

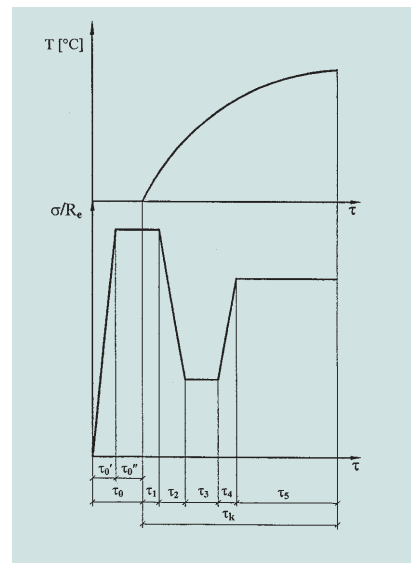
Předložený článek uvádí výsledky zkoušek výztužných ocelí jakostí St3 (třída I), 18G2 (třída II), 34GS (třída III) v podmínkách normového požáru se zohledněním změn napětí ve vzorcích ocelí blízcím se změnám napětí nosné výztuže ohýbaných železobetonových prvků způsobených redistribucí ohybových momentů. Zkoušky byly prováděny v laboratoři pevnosti materiálů Vysoké školy požární ochrany ve Varšavě pod vedením Prof. Z. Bednarkové.

ZKOUŠKY

Hlavním cílem zkoušek bylo prokázání možnosti zohlednit redistribuci ohybových momentů působící změnu hladiny napětí tažené výztuže ohýbaných prvků, a to v metodě určení T_{kr} i τ_{kr} podle [1].

PŘEDPOKLADY ZKOUŠEK

Před započítáním zkoušek bylo dohodnuto, že pro určení kritické teploty výztuže T_{kr}



Obr. 1 Redistribuce ohybových momentů v průběhu normového požáru [5]

Fig. 1 Redistribution of bending moments as a result of fire [5]

a kritické doby selhání vzorků τ_{kr} se použije metoda a vztahy publikované v článku [1]:

$$T_{kr} = B(\sigma/R_e)^{-0.2} \quad (1)$$

$$\tau_{kr} = A(\sigma/R_e)^{-0.5} \quad (2)$$

kde σ/R_e je hladina napětí vzorku před vzrůstem teploty

A, B jsou součinitele materiálu získané při zkouškách za stálého napětí odpovídající experimentálně určeným parametrům

U desek se doba selhání vzorku τ_{kr} rovná požární odolnosti desky.

Je zaveden předpoklad, že místo stálé

Tab. 1 Redistribuce ohybových momentů při požáru

Tab. 1 Redistribution of bending moments as a result of fire

Doba trvání normového požáru [min]	Ohybový moment v poli [%]	Ohybový moment v podpoře [%]
0	100	100
15	35	220
160	79	130

hladiny napětí bude ve vztazích (1) a (2) zavedena průměrná hodnota $(\sigma/R_e)_{stř.}$.

Změna hladiny napětí v průběhu zkoušky byla určena na základě měření redistribuce ohybových momentů spojitých nosníků a je uvedena v tab. 1. Velikost ohybových momentů před ohřevem je považována za 100 %.

V souvislosti s tím, že nárůst teploty při požáru probíhá od spodního líce konstrukce stropu a má za následek vzrůst teploty dolní tažené výztuže, předpokládá se, že změna úrovně napětí σ/R_e ve vztazích v průběhu zkoušky bude dvojnásobná shodně s redistribucí ohybových momentů v poli a bude činit postupně 100 %, 35 %, 79 %.

METODIKA ZKOUŠEK

Teplotní podmínky

Pro zkoušky byla zvolena závislost „teplota – čas“ odpovídající průběhu teploty v betonu v hloubce 25 mm od ohřívání povrchu při normovém požáru získaná analyticky řešením Fourierovy rovnice vedení tepla [1].

Zatížení vzorků v průběhu zkoušek

Během zkoušek byly použity dvě varianty zatížení – stálé a nahodilé.

Při stálé výši napětí $\sigma/R_e = \text{konst.}$ byly určeny stálé součinitele materiálu A a B a byly získány hodnoty parametrů T_{kr} i τ_{kr} pro srovnávací analýzu uvedenou ve výsledcích zkoušek.

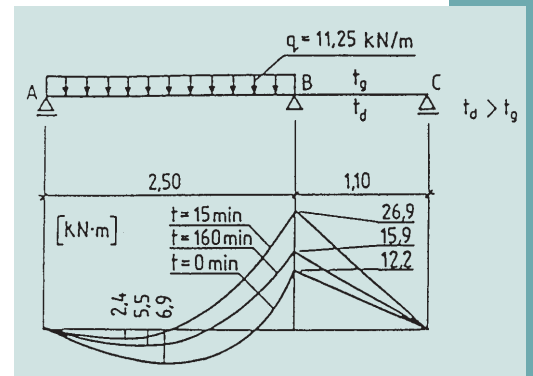
Hlavní zkoušky byly provedeny při proměnné hodnotě σ/R_e . Změna hladiny byla stanovena na základě analýzy redistribuce ohybových momentů hodnotami 100 %, 35 % a 79 %. Bylo určeno, že počáteční hladina bude činit $\sigma/R_e = 0,67$, po 15 minutách poklesne na hodnotu $\sigma/R_e = 0,23$ a v závěru vzroste na $\sigma/R_e = 0,53$. Bylo zjištěno, že rychlost snížení hodnoty σ/R_e a jejího opětovného zvýšení bude rovna rychlosti relaxace zkoumaného druhu oceli získané ze zkoušky.

PRŮBĚH ZKOUŠEK

Zkoušky při stálé úrovni napětí byly provedeny shodně se zásadami popsanými v článku [1]. chéma průběhu hlavních zkoušek je uvedeno na obr. 2. Zatěžování vzorku tahovou silou úměrnou hladině napětí $\sigma/R_e = 0,67$ bylo provedeno před započítáním ohřevu a udržováno po dobu 5 minut po dosažení teploty 50 °C na rozmístěných termočláncích. Následně bylo

Obr. 2 Schéma průběhu zkoušek, t_0 – doba dosažení zvoleného zatížení a teploty 50 °C v minutách, τ_k – doba trvání zkoušky v minutách

Fig. 2 Diagram of the testing procedure, t_0 – the time after which the assumed load and temperature 50 °C are attained in minutes, τ_k – test duration time in minutes



odblokováno zařízení pro udržení stálé tahové síly. V důsledku relaxace způsobené vzrůstem teploty došlo k poklesu síly na hodnotu odpovídající $\sigma/R_e = 0,23$, poté byla opětovně vnesena tahová síla a udržována na stálé hodnotě po dobu 10 minut.

Znovu byla zvýšena tahová síla na hodnotu odpovídající $\sigma/R_e = 0,53$. Nutná rychlost zvyšování síly byla rovna rychlosti její relaxace v období poklesu na hodnotu $\sigma/R_e = 0,23$. Závěrem byla síla udržována na stálé hodnotě až do přetržení vzorku. Na obr. 3a a 3b jsou znázorněny zjištěné změny hodnot σ/R_e vzorků během zkoušek, sloužící pro určení průměrných hladin napětí.

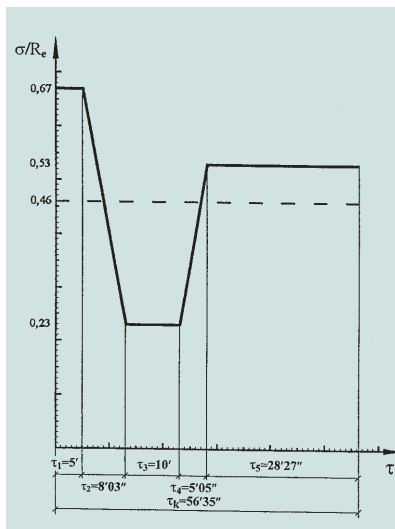
VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Výsledky zkoušek při stálých hladinách napětí $\sigma/R_e = 0,67; 0,53; 0,23$ byly využity pro určení součinitelů materiálu A a B .

Pro každou hodnotu σ/R_e bylo provedeno pět zkoušek. Na základě těchto zkoušek byly určeny parametry T_{kr} i τ_{kr} .

Obr. 3a) Určení průměrné hodnoty napětí pro ocel St3 a 34GS

Fig. 3a) Determination of the weighted-average stress level for St3 a 34GS steel grades



Součinitele materiálu pro každou hladinu napětí byly zjištěny dosazením do vztahů (3) a (4).

$$A_i = \tau_{kr} (\sigma/R_e)^{0,5} \quad (3)$$

$$B_i = T_{kr} (\sigma/R_e)^{0,2} \quad (4)$$

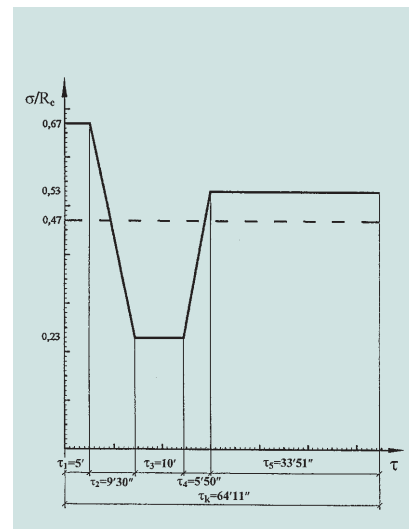
kde $i = 1$ až 3.

Součinitele A a B jsou určeny aritmetickým průměrem $A = (A_1 + A_2 + A_3)/3$, $B = (B_1 + B_2 + B_3)/3$. Získané výsledky jsou shrnuty v tab. 2 a jsou užity pro výpočet parametrů T_{kr} i τ_{kr} pro vyhodnocení hlavních zkoušek.

Na základě grafů zobrazených v obr. 3a a 3b byla vypočítána průměrná hodnota σ/R_e zkoumaných vzorků. Hodnoty činí: u oceli St3 a 34GS – 0,46; u oceli 18G2 – 0,47. Byl proveden soubor zkoušek při stálých průměrných hodnotách hladin napětí a určeny parametry T_{kr} i τ_{kr} .

Obr. 3b) Určení průměrné hodnoty napětí pro ocel 18G2

Fig. 3b) Determination of the weighted-average stress level for 18G2 steel grade



Druh oceli	σ/R_e	Součinitel materiálu		Počet zkoušek
		A [min]	B [°C]	
St3	0,67	37,24	492,48	15
	0,23			
	0,53			
18G2	0,67	43,87	517,29	15
	0,23			
	0,53			
34GS	0,67	44,39	534,91	15
	0,23			
	0,53			

Tab. 2 Výsledky zkoušek při konstantní hladině napětí

Fig. 2 Results of tests in case of constant stress level

Druh oceli	σ/R_e	Čas selhání τ_{kr} [min]	Kritická teplota T_{kr} [°C]	Poznámka
St3	0,67	46,00	530	zkouška
	0,46	53,85	573	zkouška
	0,46	54,90	575	výpočet
	proměnné	55,17	575	zkouška
18G2	0,67	53,90	553	zkouška
	0,47	64,81	603	zkouška
	0,47	63,98	602	výpočet
	proměnné	63,67	603	zkouška
34GS	0,67	54,10	581	zkouška
	0,46	65,30	620	zkouška
	0,46	65,20	622	výpočet
	proměnné	65,50	623	zkouška

Tab. 3 Přehled parametrů získaných zkouškami a výpočtem

Tab. 3 Comparison of parameters obtained as the results of test or calculations

za účelem porovnání s výsledky získanými výpočtem těchto parametrů.

Výsledky hlavních zkoušek s proměnnou hladinou napětí byly zpracovány obdobným postupem jako výsledky zkoušek se stálými hladinami napětí – popsány v článku [1]. Parametry T_{kr} a τ_{kr} byly získány z grafů závislosti „T – τ “ (teplota – čas) a „ ε – τ “ (deformace – čas). Parametry jsou uvedeny v tab. 3. V téže tabulce jsou uvedeny i parametry T_{kr} i τ_{kr} získané ze zkoušek při stálé průměrné hodnotě hladiny napětí: $\sigma/R_e = 0,46$ pro ocel St3 a 34GS a $\sigma/R_e = 0,47$ pro ocel 18G2.

V tab. 3 jsou uvedeny i parametry T_{kr} i τ_{kr} určené výpočtem podle vztahů (5) a (6):

$$T_{kr} = B(\sigma/R_e)_{str.w}^{-0,2} \quad (5)$$

$$\tau_{kr} = A(\sigma/R_e)_{str.w}^{-0,5} \quad (6)$$

kde A a B jsou součinitele materiálu určené při zkouškách za stálé hladiny napětí (tab. 2).

ocel St3: $\tau_{kr} = 37,42 \cdot (0,46)^{-0,5}$
= 54,90 min

$$T_{kr} = 492,48 \cdot (0,46)^{-0,2} = 602 \text{ °C}$$

$$\text{ocel 18G2: } \tau_{kr} = 43,87 \cdot (0,47)^{-0,5}$$

$$= 63,98 \text{ min}$$

$$T_{kr} = 517,29 \cdot (0,47)^{-0,2} = 602 \text{ °C}$$

$$\text{ocel 34GS: } \tau_{kr} = 44,39 \cdot (0,46)^{-0,5}$$

$$= 65,20 \text{ min}$$

$$T_{kr} = 534,91 \cdot (0,46)^{-0,2} = 622 \text{ °C}$$

ZÁVĚR

Redistribuce ohybových momentů při požáru má průběh obdobný tomu, který byl uvažován při zkouškách popsáných v tomto článku a je charakteristický značným poklesem ohybového momentu poli během počátečních 10 až 15 minut požáru a následným zvýšením tohoto momentu, avšak po hodnotu nižší než počáteční. Vezmeme-li v úvahu, že intenzivní ohřev prvků stropů začíná zdola, dochází ke snížení momentů uprostřed pole a ve stejném čase dochází ke snížení napětí hlavní tahové výtuzi, jde o jev, který je příznivý z hlediska únosnosti konstrukce v podmínkách požáru, a tím se prodlužuje čas do porušení konstrukcí, tj. roste její požární odolnost.

Z výsledků analýzy, které jsou uvedeny v tab. 1, lze odvodit následující závěry:

Kritická teplota T_{kr} a čas do selhání výtuzi τ_{kr} zjištěné výpočtem nebo zkouškou při zohlednění hladiny napětí σ/R_e před požárem jsou nižší než tytéž parametry zjištěné pro zvolené změny hladiny napětí během požáru. Je možno konstatovat, že nevyčíslená redistribuce ohybových momentů ohýbaných konstrukcí za požáru může být zanedbána ve prospěch požární odolnosti konstrukce.

Existuje možnost zohlednění redistribuce vnitřních sil při výpočtu teplotních a časových parametrů výtuzných ocelí metodou vypracovanou a publikovanou Z. Bednarkovou, přičemž do vztahů (1) až (4) se místo konstantní hodnoty σ/R_e dosazuje redukovaná průměrná hodnota.

Srovnání výsledků zkoušek a výpočtů uvedených v tab. 3 ukazuje použitelnost a přesnost metody Z. Bednarkové pro určení kritické teploty T_{kr} a času do selhání výtuzi τ_{kr} v podmínkách normového požáru.

Literatura

- [1] Bednarek Z.: Výpočtový model požární odolnosti stavebních konstrukcí, Beton a ždvo, 2/1999
- [2] Bednarek Z.: Wybrane zagadnienia wytrzymałości konstrukcji żelbetowych i betonowych w podwyższonych temperaturach, Zeszyty Naukowe SGSP, 2, 1978
- [3] Bednarek Z.: Badanie wpływu naprężeń w zbrojeniu rozciągany na odporność ogniową elementów zginanych, Inżynieria i Budownictwo, 3, 1993
- [4] Bednarek Z.: Wpływ warunków termicznych na parametry wytrzymałościowe stali zbrojeniowej w czasie pożaru, Inżynieria i Budownictwo, 12, 1993
- [5] Ödeen K.: Spännbeton under brandangrep, Brandförsvar 2, 1965, Stockholm, Sweden

Prof. Dr Eng. Zoja Bednarek

Applied Mechanics Dept,

Main School of FS in Warsaw

52/54 Słowacki St., 00-967 Warsaw, Poland

Ing. Isabela Bradáčová, CSc.

Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB – TU

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba

tel.: 597 322 818, fax: 597 322 980

e-mail: isabela.bradacova@vsb.cz