

PRAKTICKÁ POUŽITELNOST METOD NAVRHOVÁNÍ ŽELEZO-BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ NA ÚČINKY POŽÁRU V KONTEXTU KONSTRUKCE BUDOVY A DŮSLEDKY VLIVU TEORIE II. ŘÁDU U SLOUPŮ ■ METHODS OF DESIGNING REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS AGAINST FIRE: PRACTICAL USE IN CONTEXT OF THE BUILDING CONSTRUCTION AND IMPACTS OF THE 2ND ORDER THEORY IN COLUMNS

Libor Švejda

Racionální tlak investorů a uživatelů budov na maximální využitelnost a variabilitu obestavěného prostoru vedou na realizace skeletových monolitických, či prefabrikovaných nosných konstrukcí tvořených ze statického hlediska systémem vodorovných a svislých dílců o velkých štíhlostech. Nenosné stavební systémy vnějšího opláštění a komplexní, volně stojící nebo zavěšované moduly vnitřní výbavy často v koncepci budovy zcela eliminují dříve obvyklé nosné stěnové prvky a ztužující jádra. Horizontální tuhost objektů pak vymezuje – v lepším případě zavětřovaný – systém sloupů, ztužený pouze na diskretních hladinách jednotlivých podlaží. Návrhu těchto vysoce zatěžovaných, tlačných dílců je proto nutné věnovat značnou pozornost, neboť stabilní kolaps jediného sloupu by vedl ke zhroucení celé nosné konstrukce. S ohledem na tyto praktické trendy obsahují evropské normy přísnější metodiku návrhu a posuzování štíhlých železobetonových sloupů i pro mimořádné návrhové situace typu požáru. Kromě základního přehledu vlastností a daných omezení postupů dle normy EN 1992-1-2 článek ukazuje aplikaci zónové metody B2 na konkrétním návrhu železobetonového sloupu s uvážením tří možných variant dělení stavebního objektu na požární úseky. Článek volně navazuje na dříve publikovaný text autora [1], kde se podrobněji popisuje aplikovaná teorie a chování relevantních materiálů za vysokých teplot. ■ Rational requirements of investors and users of buildings on maximum useful space and maximum variability of the space lead to realization of skeleton monolithic or precast structural elements. These construction systems are – from the statics point of view – created by a system of very thin horizontal and vertical elements. Non-load-bearing construction systems of the external cladding and complex, free-standing or suspension modules of inner walling very often eliminate the formerly common load bearing functions of walls and stiffening cores. The horizontal stiffness is thus limited to – in better cases braced – system of columns, stiffened only at the discreet levels of individual floors. It is therefore necessary to pay utmost attention to design of these highly loaded, pressed elements, as collapse of any single one of these columns would lead to

collapse of the entire structure. With regard to these practical trends, the European standards contain stricter rules for the design methodology and assessment of thin reinforced concrete columns and for special design situations as e.g. fire. Beside the basic list of features and set limitations to technologies acc. to the EN 1992-1-2, this article shows application of a B2 zone method on specific design of a reinforced concrete column when taking into account three possible varieties of dividing the building into fire segments. The article is connected to a formerly published text of this same author [1], where this applied theory and material behaviour in high temperatures is explained in detail.

ZÁKLADNÍ USTANOVENÍ, POŽADAVKY A KRITÉRIA NORMY EN 1992-1-2

Na rozdíl od dřívějších zvyklostí a norem je třeba akceptovat, že norma EN 1992-1-2, jako součást souboru norem EN na navrhování železobetonových konstrukcí, jednoznačně přiřazuje zodpovědnost za dodržení požadavků na pasivní požární odolnost objektu jejímu stavebnímu projektantovi, resp. statikovi. To vyplývá mj. z čl. 2.1.1 (1) normy: „*Pokud je požadována mechanická odolnost konstrukce v případě požáru, pak musí být její nosné železobetonové konstrukce navrženy tak, aby zaručovaly po požadovaném čase potřebnou únosnost.*“

Základním účelem návrhu konstrukce pro teploty odlišné od běžných přitom je:

- zamezení předčasného kolapsu,
- omezení šíření požáru.

V případech normového požáru je pro posouzení požární odolnosti (dále jen PO) celé konstrukce dostačující posouzení PO jednotlivých dílců, což pro projekční praxi představuje významné ulehčení pracovních postupů spočívající v metodě rozkladu a posuzování po konstrukčních dílcích. Současně však musí konstrukční uspořádání objektu splňovat předpoklad, že po dobu požadované PO je zabezpečeno spolupůsobení konstrukčních dílců, tj.

časová stálost okrajových podmínek s přihlédnutím k probíhajícím termickým přetvořením a deformacím.

Pokud se navíc uvažuje dělení na tzv. požární úseky, pak musí být dílce ohraničující požární úsek navrženy tak, aby po požadovaný čas plnily svoji funkci prostorové uzávěry požárního úseku.

Při posuzování konstrukcí norma obecně definuje tři, resp. čtyři kritéria hodnocení požární odolnosti:

- kritérium E – funkce prostorové uzávěry požárního úseku,
- kritérium I – funkce teplotní izolace,
- kritérium R – funkce únosnosti, tj. dostačující mechanické odolnosti,
- resp. kritérium M – odolnost svislých dílců uzavírajících požární úsek vůči nárazu (dle postupů EN 1363-2).

Obecná návrhová podmínka (2.3) je definována jako:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (2.3)$$

kde $E_{d,fi}$ je návrhová hodnota vnitřních účinků při požáru (určených dle EN 1991-1-2) se zohledněním teplotních roztažností a deformací a $R_{d,t,fi}$ je návrhová odolnost pro případ požáru.

ZATÍŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE PŘI POŽÁRU

Podmínky normového požáru a jeho účinky na konstrukci a materiály definuje norma EN 1991-1-2. Podrobněji toto pojednává rovněž [1].

V případě požáru se jedná ve smyslu normy EN 1990 o mimořádnou návrhovou situaci $E_{d,fi}$, z čehož vyplývají hodnoty součinitelů spolehlivosti 1,0 na straně materiálů.

Vnější účinky se při normovém požáru dle čl. 2.4.2 (1) uvažují pro čas $t = 0$, tedy bez časových vlivů dotvarování, smršťování a relaxace. Jako rozhodující hodnotu proměnných zatížení Q_1 určuje čl. 4.3.1(1) jejich kvazistálou hodnotu $\psi_{2,1} Q_1$, resp. u halových objektů dle českého čl. NA 2.10 pro sniž a vítr jejich častou hodnotu $\psi_{1,1} Q_1$.

Zjednodušeně pak EN 1991-1-2 umožňuje rovněž uvažovat s návrhovým po-



Software na statiku železobetonových a předpjatých konstrukcí monolitických a prefabrikovaných staveb

Reagujte na aktuální požadavky a navrhujte ekonomická a spolehlivá řešení:

- ŽB a předpjaté skeletové konstrukce,
- štíhlé ŽB sloupy včetně teorie II. řádu a požární odolnosti,
- trámy, žebra, vazníky, vaznice, stěny, desky, polostropy a filigrány,
- ŽB základové patky, kalichy, botky a pasy,
- opěrné stěny, gabiony, stabilizace základů okolních budov,
- ŽB a protlačovaná potrubí.

Více o softwaru RIB na statiku stavebních konstrukcí se dozvíte na www.rib.cz | email: info@rib.cz | telefon: +420 241 442 078

žárním zatížením $E_{d,fi}$ odvozeným ze snížené úrovně Základní kombinace $\eta_{,fi} * E_d$, kde je obvykle redukční součinitel $\eta_{,fi} = 0,7$, resp. lze jeho hodnotu určit výpočtem z kombinačních součinitelů dle příslušného NA. Tento typ vnějšího zatížení při požáru předpokládají všechny tabelární metody návrhu.

PŘEHLED METOD NAVRHOVÁNÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ NA ÚČINKY POŽÁRU

Norma EN 1992-1-2 rozlišuje tři skupiny výpočetních metod návrhu a posuzování konstrukcí na účinky požáru.

- Provedení konstrukce na základě ověřených návrhových výsledků, tj. tzv. tabelární metody.
- Zjednodušené výpočetní metody pro určité typy dílců.
- Obecné, komplexní výpočetní metody a simulace.

Jako alternativu k posouzení výpočtem lze využít i zkoušku, resp. zkoušku kombinovanou s výpočtem.

TABELÁRNÍ METODY

Jednoznačnou výhodou tabelárních metod je jejich poměrně snadná apli-

kovatelnost v projekční praxi. Obsahově vycházejí ze zkoušek, zkušeností a teoretických vyhodnocení zkoušek. Tabelární metody zpravidla definují minimální požadavky na velikost betonového průřezu a krytí výztuže a dávají ve většině případů, ve srovnání s ostatními metodami, značně konzervativnější výsledky.

Podle typu konstrukčního dílce tabelární metody definují jednotlivé specifické postupy a tabulky pro

- 1 – staticky určité, resp. neurčité nosníky,
- 2 – staticky určité, resp. neurčité desky (ploché a žebrované),
- 3 – nenosné dělicí izolační stěny a nosné stěny,
- 4 – tažené dílce (táhla),
- 5 – tlačené dílce (sloupy).

Dle NA 2.10 se v ČR používá třída průřezů WA.

Při použití tabelárních metod odpadá nutnost dalších posouzení týkajících se smykové a torzní únosnosti a kotevních délek, je však s ohledem na možné odprýskávání betonu nutné posoudit a navrhnout povrchovou výztuž. Krytí vrstev měkké a předpjaté výztuže v jednom betonovém průřezu se musí z důvodu jejich navzájem odlišných kritických teplot posuzovat zvlášť. Mož-

ným zdrojem závažných chyb při používání tabelárních metod může být nerespektování omezujících podmínek jejich platnosti. Vysokopevnostní betony lze navrhovat na PO jen pomocí zjednodušených a obecných metod.

Konstrukční dílce typu 1 až 4 se posuzují na úrovni kritického průřezu a žádným zásadním způsobem neomezují absolutní rozměry a okrajové podmínky dílce. **Toto neplatí pro tlačené dílce – sloupy.** Důvodem je zvýšené riziko jejich ohrožení ztrátou stability na vzpěr. Při požáru totiž dochází k poškození povrchových vrstev a současně s rostoucí teplotou klesá modul pružnosti, což v celkovém součtu znamená významný pokles celkové tuhosti dílce. Vlivy teorie II. řádu, které mohly být u dílce za běžné teploty považovány za zanedbatelné, se tak v případě požáru mohou stát zcela dominantní.

Tabulka 5.2a normy EN 1992-1-2 je platná pouze pro:

- **ztužené sloupy**, tj. pro sloupy budov se ztužujícím systémem nosných stěn,
- do max. efektivní výšky podlaží **3 m** v případě čtvercového průřezu; analogicky sloup s kruhovým průřezem např. $D = 300$ mm má cca 86 % tu-

Innovative Solutions – Benefiting Society

12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONCRETE ROADS 2014
September 23–26, 2014 | Prague, Czech Republic



12TH ISCR
PRAGUE
CZECH REPUBLIC

Právě teď nastal čas plánování na rok 2014, využijte proto možnost prezentovat Vaši firmu na této mezinárodní konferenci – více informací naleznete na www.concreteroads2014.org.

hosti čtvercového sloupu o straně průřezu $b = 300$ mm, z čehož pak vyplývá výškové omezení platnosti tabulek pro **kruhové sloupy** do max. efektivní **výšky podlaží** cca **2,6 m** ,

• do max. **excentricity** svislých zatížení **0,15 h** ,

• do max. stupně vyztužení 4 %.

Tabulka 5.2b normy **EN 1992-1-2** je **platná** pouze pro:

• **ztužené sloupy** , tj. pro sloupy budov se ztužujícím systémem nosných stěn,

• do max. **štíhlosti v okamžiku požáru** $\lambda_{fi} \leq 30$,

• do max. **excentricity svislých zatížení** **0,25 h** , resp. max. 100 mm.

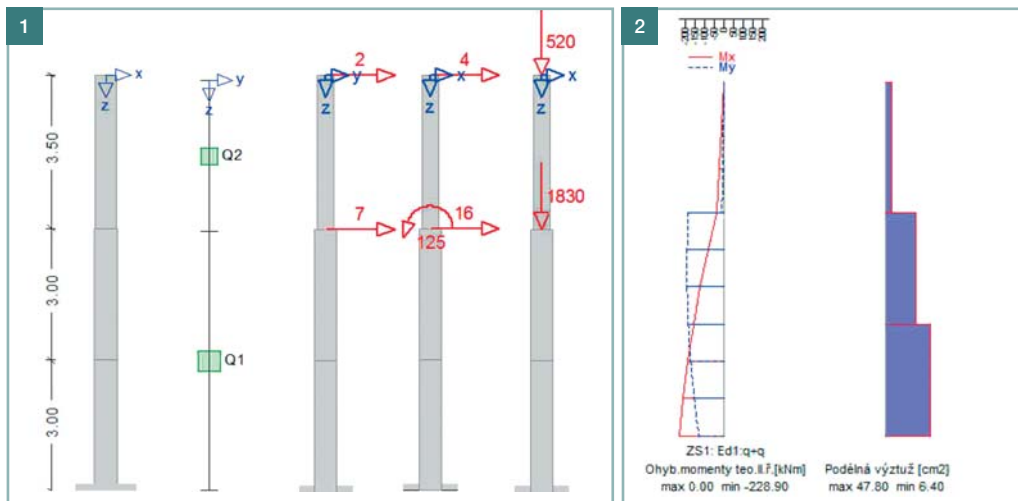
Souhrnně lze konstatovat, že zatímco v případě nosníků, stěn a desek je použitelnost tabelárních metod v projekční praxi vhodná a poměrně snadná, je použití tabelárních metod při navrhování železobetonových sloupů za současných požadavků investorů na prostorné a účelově variabilní stavby prakticky nemožné. Návrh železobetonových sloupů na PO je tak velmi často nutné řešit alespoň pomocí některé z tzv. zjednodušených výpočetních metod.

ZJEDNODUŠENÉ VÝPOČETNÍ METODY

Norma EN 1992-1-2 uvádí tři zjednodušené výpočetní metody dílců namáhaných na kombinaci ohybu s normálovou silou se současným vlivem teorie II. řádu:

• Metoda izoterm B1: **platí až od min. tloušťky dílce** , redukuje účinný betonový průřez na oblast s teplotou < 500 °C, snižuje pevnost výztuže dle její teploty a z takto upravených parametrů stanovuje mezní únosnost průřezu při požáru.

• Zónová metoda B2: **neomezuje žádným způsobem rozměry a podmín-**



ky statického uložení a zatížení dílce , rozděluje průřez na teplotní zóny, kde podle její teploty snižuje pevnost betonu a výztuže, z tuhosti průřezu vylučuje poškozenou povrchovou vrstvu a z takto upravených parametrů stanovuje mezní únosnost průřezu při požáru. Zónová metoda je pracnější (výpočetně náročnější) než metoda izoterm, avšak poskytuje přesnější výsledky a je zvláště vhodná pro sloupy. Podrobnější popis pracovních kroků zónové metody obsahuje [1].

• Metoda B3 založená na odhadu křivosti byla vyvinuta pro sloupy s významným vlivem teorie II. řádu. Předpokládá však dle čl. B.3.2 (1) existenci jiných, ztužujících dílců v nosném systému, čímž s ohledem na již výše uvedené postrádá poněkud na atraktivitě. Podle této metody jsou v příloze C normy EN 1992-1-2 sestaveny tabulky C.1 až C.9, které za daných omezujících podmínek umožňují návrh **opět pouze ztužených** – obdélníkových / kruhových – sloupů, s max. hranou / průměrem 600 mm a štíhlostí $\lambda_{fi} \leq 80$, při max. excentricitě svislých zatížení až 0,5 h, resp. max. 200 mm.

OBECNÉ, KOMPLEXNÍ VÝPOČETNÍ METODY A SIMULACE

Tyto výpočetní metody aplikují současně mechanickou a termodynamickou analýzu, popř. s předcházejícím měřením potřebných parametrů materiálů a prostředí. Svým rozsahem a náročností přesahují možnosti běžné projekční praxe a zůstávají tak spíše doménou specializovaných pracovišť a výzkumných ústavů.

NÁVRH PO NEZTUŽENÉHO ŽELEZOBETONOVÉHO SLOUPU V RŮZNÝCH VARIANTÁCH POŽÁRNÍCH ÚSEKŮ

Na následujícím reálném případě použití zónové metody B2 při návrhu neztuženého, dvoupodlažního vnitřního ŽB sloupu na PO třídy R60 je demonstrován dominantní vliv uspořádání požárních úseků na spotřebu staticky nutné ohybové výztuže sloupu, a tím i na hospodárnost návrhu.

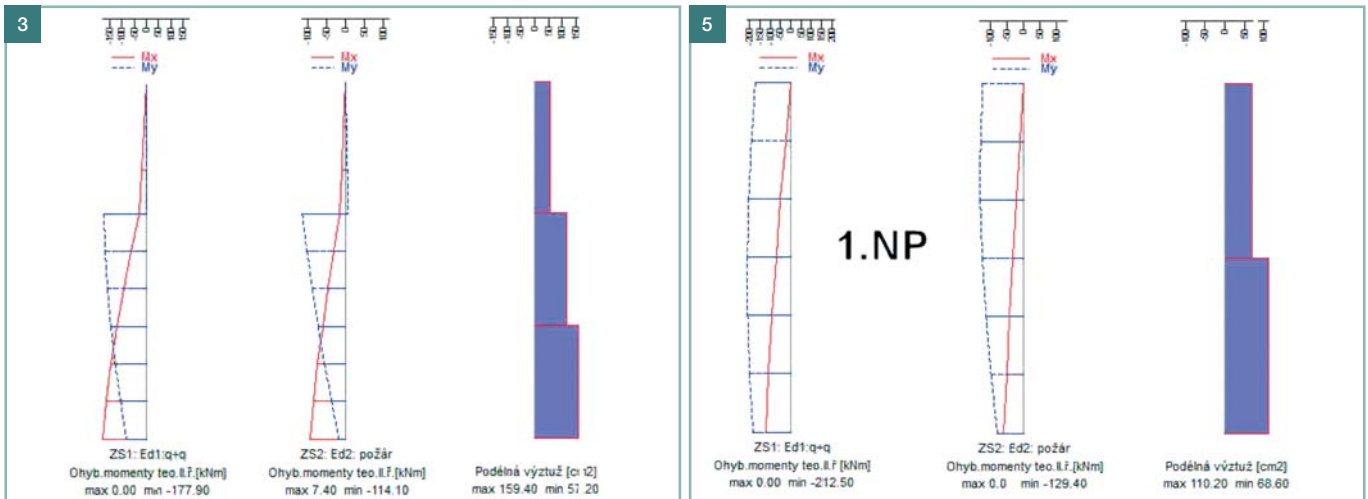
Základní parametry sloupu

Statické schéma řešeného sloupu viz obr. 1.

Tab. 1 Přehled výsledků čtyř variant návrhů neztuženého železobetonového dvoupodlažního sloupu na PO třídy R60 pro tři varianty požárních úseků ■

Tab. 1 Summary of results – designs of non-reinforced two-storey reinforced concrete column on fire resistance class R60 for three types of fire sections

varinata	požární úsek	teplota betonu	teplota výztuže	degradovaná vrstva	základní kombinace $E_{d,design}$			mimořádná kombinace $E_{d,fire}$			max. nutná výztuž	stupeň vyztužení	celková podélná výztuž	max. využití průřezu	kóta max. využití průřezu	rozhoduje
		T_c	T_s	a_z	max. N_{Ed}	max. $M_{Ed,x-II}$	max. $M_{Ed,y-II}$	max. N_{Ed}	max. $M_{Ed,x-II}$	max. $M_{Ed,y-II}$	max. A_s	max. μ	$\sum A_s$	h	v	
		[°C]	[°C]	[mm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[cm ²]	[%]	[kg]	[%]	[m]	
0	běžná teplota	20	20	0	-3 323	-229	-130				47,8	1,91	206	60	3	běžná teplota
1	požár v celém objektu	215	349	30	-3 323	-178	-81	-2 348	-93	-18	159,4	6,37	807	38	3	požár
2a	požár jen v 1. NP	188	349	30	-3 304	-119	-184	-2 334	-59	-78	110,2	4,41	439	48	3	požár
2b	požár jen v 2. NP	215	349	29,7	-745	-18	32	-518	-12	27	6,4	0,4		23	6	krytí + konstrukční zásady
3	požár jen v části 1. NP	188	349	30	-3 304	0	122	-2 334	0	93	6,4	0,4	65	60	6	krytí + běžná teplota



- Celková výška sloupu 9,5 m s úrovní 2. NP na kótě 6 m.
- Čtvercový průřez sloupu o straně 500 mm (1. NP), resp. 400 mm (2. NP).
- Beton C40/50, rohová výztuž B500B s osovým krytím 50 mm.
- Charakteristická zatížení:
 - vlastní tíha sloupu + stálá:
 - úroveň hlavy sloupu: $P_z = 360$ kN, $P_x = 4$ kN,
 - úroveň 2. NP: $P_z = 1\,450$ kN, $P_x = 16$ kN, $P_y = 4$ kN, $M_y = 90$ kNm.
 - proměnné zatížení kategorie C:
 - úroveň hlavy sloupu: $P_z = 160$ kN, $P_y = 2$ kN,
 - úroveň 2.NP: $P_z = 380$ kN, $P_y = 3$ kN, $M_y = 35$ kNm.
- Imperfekce dle normy, tj. $1/300$ výšky sloupu = cca 310 mm ve směru max. ohybového momentu.
- PO: R60, 4stranné ohoření, vápenité kamenivo, výztuž tvářená za tepla. Požadavku na PO R60 odpovídá normová teplotní křivka (NTK) 60° s max. teplotou 945 °C.

Návrh sloupu za běžných teplot, varianta 0

Na návrh staticky nutné výztuže byl po-

užit software RIBtec BEST s iterativním nelineárním algoritmem zohledňující jak vlivy teorie II. řádu včetně imperfekcí, tak i vznik trhlin v tažené části průřezu po výšce sloupu. Tento způsob návrhu je pro štíhlé sloupy od výšky 3 m a vyšší až o 30 % hospodárnější než konzervativní metodika pracující se součinitelemi vzpěrné délky.

Výsledky výpočtů a návrhů všech řešených variant jsou shrnuty v tab. 1. Celková teoretická spotřeba ohybové výztuže ve variantě 0 je 206 kg. Max. ploše výztuže ve vetknutí 47,8 cm² odpovídá max. stupeň vyztužení průřezu 1,91 % (obr. 2). Rozhodující návrhovou kombinací je jediná existující, tj. Základní kombinace.

Návrh sloupu na PO R60, varianta 1 – bez dělení na požární úseky

U této varianty návrhu sloupu se neuvažuje s dělením objektu na požární úseky. Normový požár tak probíhá současně v celém objektu, tj. v obou podlažích. Tento typ požáru se v praxi obvykle neuvažuje, neboť se předpokládá, že stropní desky současně plní funkci požární

Obr. 1 Základní statické schéma řešeného sloupu ■ Fig. 1 Basic static scheme of the particular column

Obr. 2 Výsledky varianty 0, ohybové momenty a nutná podélná výztuž ■ Fig. 2 Results of the option 0, bending moments and necessary longitudinal reinforcement

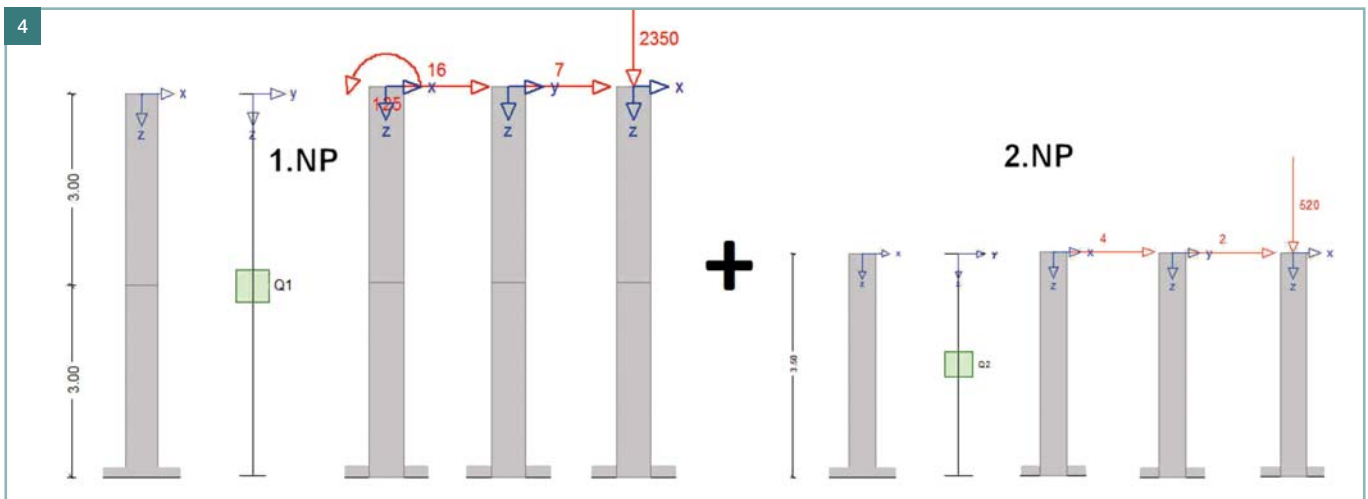
Obr. 3 Výsledky varianty 1, ohybové momenty a nutná podélná výztuž ■ Fig. 3 Results of option 1, bending moments and necessary longitudinal reinforcement

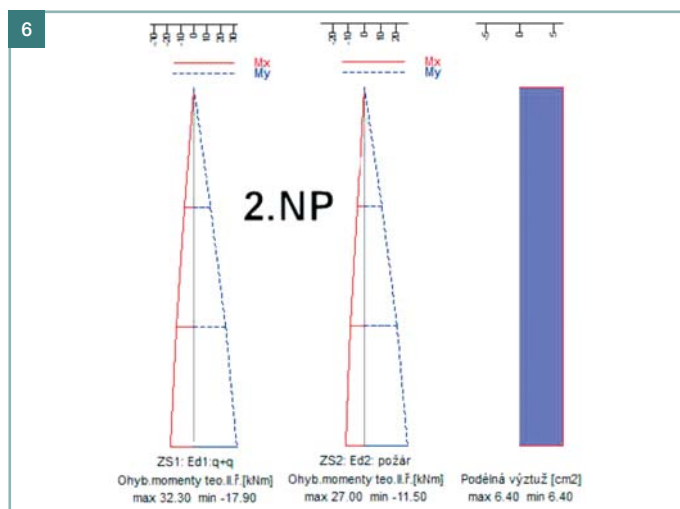
Obr. 4 Základní statická schémata při řešení varianty 2 ■ Fig. 4 Basic static schemes when solving option 2

Obr. 5 Výsledky varianty 2 pro 1. NP, ohybové momenty a nutná podélná výztuž ■ Fig. 5 Results of option 2 for the ground floor, bending moments and necessary longitudinal reinforcement

uzávěry. Pro účely porovnání výsledků je však tato nerealistická varianta 1 přesto zajímavá.

Použití tabelární metody není možné – jedná se o neztužený sloup, navíc s výškou podlaží > 3 m. Na návrh PO R60 se v softwaru RIBtec BEST proto použije zónová metoda B2.





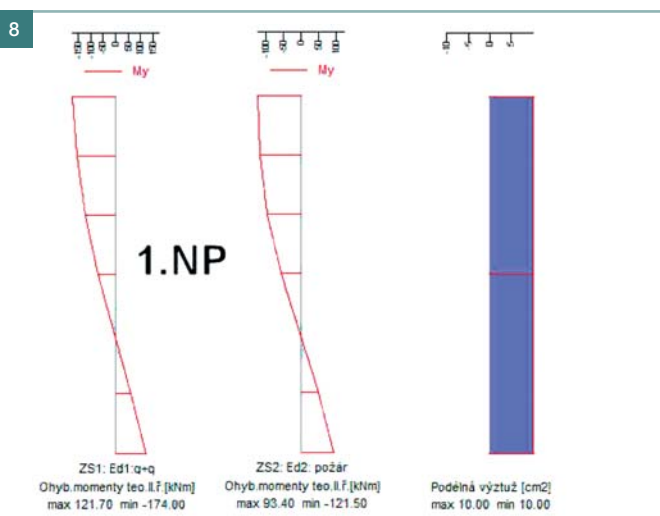
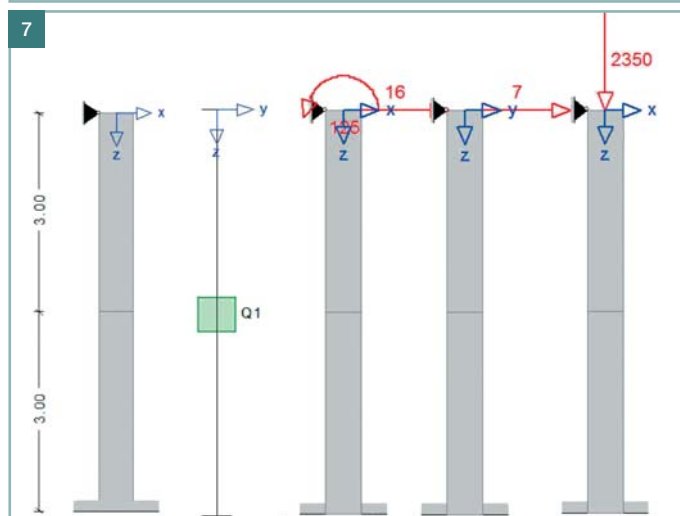
Obr. 6 Výsledky varianty 2 pro 2. NP, ohybové momenty a nutná podélná výztuž ■ Fig. 6 Results of option 2 for the 1st floor, bending moments and necessary longitudinal reinforcement

Obr. 7 Základní statická schémata při řešení varianty 3 ■ Fig. 7 Basic static schemes when solving option 3

Obr. 8 Výsledky varianty 3 pro 1. NP, ohybové momenty a nutná podélná výztuž ■ Fig. 8 Results of option 3 for the ground floor, bending moments and necessary longitudinal reinforcement

Obr. 9 Výřez výkresu výztuže sloupu ■ Fig. 9 Section of drawing of the column reinforcement

Obr. 10 Prefabrikovaný skelet nosné konstrukce, foto zhotovitele PSG, a. s., Otrokovice ■ Fig. 10 Precast frame of the load-bearing structure, picture courtesy of PSG a.s., Otrokovice



Celková teoretická spotřeba ohybové výztuže je 807 kg. Max. ploše výztuže ve vetknutí 159,4 cm² odpovídá max. stupeň vyztužení průřezu 6,37 % (obr. 3). Je zřejmé, že rozhodující návrhovou kombinací již není Základní kombinace jako u varianty 0, ale Mimořádná kombinace pro případ požáru.

Z praktického hlediska by byl takto navržený sloup neproveditelný.

Návrh sloupu na PO R60, varianta 2 – požární úsek 1. NP

Jedná se o prakticky proveditelnou variantu řešení, při které se předpokládá funkčnost stropní desky jako požární uzávěry. Návrh PO sloupu tak lze řešit odděleně po podlažích, čímž dochází ke změně statických schémat (obr. 4). (Účinek vlastní tíhy části sloupu 2. NP na 1. NP byl v tomto případě zanedbán.)

Celková teoretická spotřeba ohybové výztuže je po podlažích 421 kg + 18 kg = 439 kg. Max. ploše výztuže ve vetknutí v 1. NP 110,2 cm² odpovídá max. stupeň vyztužení průřezu 4,41 %. Ve 2. NP je při daném krytí dostatečný již min. konstruktivní výztuž 0,4 %, tj.

6,4 cm² (obr. 5 a 6). Rozhodující návrhovou kombinací je Mimořádná kombinace pro případ požáru.

Návrh sloupu na PO R60, varianta 3 – dílčí požární úseky v rámci 1. NP

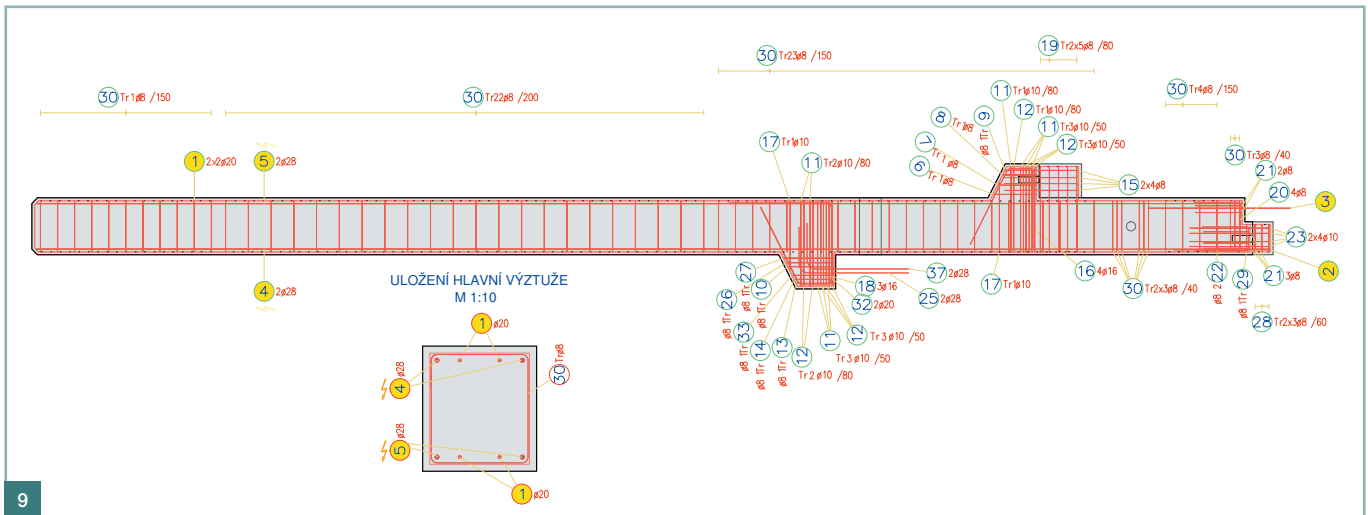
Snaha o hospodárný návrh a možnosti vnitřního členění objektu nás dovádí k další praktické variantě, kdy jsou v rámci 1. NP realizovány dílčí požární úseky. V tomto případě lze předpokládat, že okolní řady sloupů v oblastech bez požáru poskytují v průběhu trvání požáru v jednom z dílčích úseků dostatečnou horizontální tuhost. Horní uložení sloupu ve stropní desce nad 1. NP pak lze pro účely návrhu PO pokládat za neposuvné, čímž dochází k další změně statického schématu pro část sloupu 1. NP (obr. 7). Druhá část „součtového schématu“ sloupu ve 2. NP zůstává jako ve variantě 2.

Spočtená celková teoretická spotřeba ohybové výztuže je po podlažích 47 kg + 18 kg = 65 kg! Jedná se jak v 1. NP (obr. 8), tak i 2. NP (obr. 6) vlastně pouze o min. konstruktivní výztuž 0,4 %, tj. 10 a 6,4 cm².

Hodnota pouhých 10 cm² ohybové výztuže v 1. NP pochopitelně není realistická a vyztužení sloupu musí být provedeno alespoň dle výsledků výpočtu celého sloupu ve variantě 0. Výpočetní varianta 3 – se sníženou výškou sloupu a jinými okrajovými podmínkami – je totiž pouze jednoúčelový, modelový případ sloužící k ověření požadované požární odolnosti.

SKUTEČNÉ PŘEVEDENÍ SLOUPU

Na základě celkové dispozice objektu a zjištěných výsledků statického výpočtu a potvrzené vyhovující požární odolnosti výpočtem dle varianty 4, byl na stavbě realizován sloup s upraveným obdélníkovým průřezem 600 x 500 mm, resp. 500 x 400 mm, s analogickou výztuží dle varianty 0, tj. jako za běžných teplot (obr. 9). Hlavní podélnou výztuž tak tvoří čtyři průběžné rohové pruty Ø28 mm s min. krycí vrstvou betonu 35 mm, doplněné o 2 x Ø20 mm podél silněji ohýbaných hran, což odpovídá celkové ploše výztuže 37,2 cm², resp. reálné spotřebě hlavní výztuže 314 kg/sloup. Zbývající hmotnost výztuže jednoho sloupu do



9



10

Literatura:

- [1] Marek P., Švejda L.: Požární odolnost ŽB konstrukcí a zónová metoda při navrhování sloupů, Beton TKS 05/2008, str. 62–66
- [2] ČSN EN 1991-1-2, ČSN EN 1992-1-2 a další související soubor betonářských norem řady ČSN EN
- [3] Teoretická příručka RIBtec BEST / BEST expert, RIB 2013

celkových 476 kg připadá na tříminky, konzoly, stykování aj. (obr. 9). Pokročilý stav montáže prefabrikovaného skeletu nosné konstrukce haly, realizované společností PSG a. s. v roce 2012, je zřejmý z obr. 10.

ZÁVĚR

Čtyři uvedené varianty výpočtu a statického návrhu neztuženého železobetonového dvoupodlažního sloupu na PO třídy R60 ukázaly značné rozdíly ve výsledcích pro různá uspořádání požárních úseků ve vyhodnocovaném objektu. Předpis a skutečné provedení požárních úseků tak má zásadní vliv na konstrukční provedení sloupů a jejich hospodárnost.

Pomocí zónové metody B2 se podařilo výpočetně prokázat, že pro daný sloup, jeho zatížení a uspořádání požárních úseků dle varianty 3 je výztuž navržena nelineárním iterativním výpočtem s teorií II. řádu za běžných teplot současně již dostačující pro požadavek požární odolnosti třídy R60. Přes tuto „šťastnou“ a ekonomicky jistě výhodnou okolnost se rozhodně nejedná o pravidlo, a proto nezbyvá než kaž-

dou konstrukci a její dílce posuzovat dle konkrétních podmínek zvlášť.

Kromě návrhu hlavní výztuže jsou při návrhu na požární odolnost obvykle nutná další opatření a popř. technologická opatření s ohledem na smyk, kroucení, kotvení výztuže a odprýskávání – zejména u vysokopevnostních betonů. U požárních úseků je třeba zajistit jejich funkčnost s ohledem na kritéria E a I, a to včetně případných dilatačních spár.

Autor článku děkuje společnosti STTAB, spol. s r. o., Praha, za inspiraci, podnětné připomínky a poskytnutí podkladů.

Ing. Libor Švejda
RIB stavební software, s. r. o.
Zelený pruh 1560/99
140 00 Praha 4
tel.: 241 442 078, 608 953 721
e-mail: sv@rib.cz



Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
jedna z největších zkušebních a certifikačních organizací v České republice slaví 60 let od svého založení.



Pro vaši důvěryhodnost.

TZÚS Praha, s.p.
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha-Prosek
info@tzus.cz, www.tzus.eu