

OBSAH

BEST 21.0, návrh a posouzení požární odolnosti	1
Metody požárního návrhu železobetonových sloupů	1
Tabelární metoda	1
Zjednodušené metody	2
Rozšířená zónová metoda dle autora Zilch (BEST 20.0).....	2
Rozšířená zónová metoda dle autorů Cyllok/Achenbach (BEST 21.0)	2
Obecná metoda	2
Rozdíly ve výsledcích návrhu nutných ploch výztuže.....	3
Termická analýza	3
Imperfekce	3
Tabelární posudky vs. jiné metody.....	4
Varianty RZM v BEST 20.0 (a starších) vs. BEST 21.0	4
Doporučení	4
Literatura.....	5

BEST 21.0, návrh a posouzení požární odolnosti

Program BEST obdržel od verze 21.0 zcela nově vyvinuté výpočetní a návrhové jádro. Současně s touto zásadní změnou byly nově vyvinuty návrhy a posouzení požární odolnosti tabelární metodou a rozšířenou zónovou metodou (RZM).

Metody požárního návrhu železobetonových sloupů

Principiálně vychází Eurocode 2 v části 1-2, Všeobecná pravidla – Navrhování nosných konstrukcí pro případ požáru [1] ze 3 úrovní metod posouzení. V programu BEST jsou zastoupeny úrovně jedna a dvě.

Tabelární metoda

Nejjednodušší metoda posouzení první úrovně vychází z uznávaných výsledků návrhů. V případě ŽB sloupů se jedná o metodu A dle kap. 5.3.2, která tabelárně předepisuje minimální rozměry průřezu a minimální osově krytí hlavní výztuže v závislosti na stupni využití prvku při požáru. Ekvivalentem k tabulce (5.2a) je empirická rovnice 5.7, ze které lze přímo stanovit možný čas požární odolnosti.

Metoda A je založena na vyhodnocení cca 80 požárních zkoušek. V souladu se způsobem provádění praktických zkoušek byly současně stanoveny aplikační meze této metody. Tato metoda je tudíž přípustná pouze pro podlažní sloupy v horizontálně ztužených objektech, pro sloupy s obdélníkovým průřezem do max. výšky 6 m, resp. s kruhovým průřezem do max. výšky 5 m. Další výchozí předpoklady a omezení použitelnosti této metody jsou uvedeny v normě.

V nové implementaci této metody v BEST 21.0 se kontroluje dodržení aplikačních kritérií a protokoluje jejich případné porušení. Ve stupni využití se zohledňuje menší ze zjištěných hodnot únosnosti průřezů a systémové únosnosti jako návrhová únosnost sloupu za běžné teploty N_{Rd} .

Zjednodušené metody

Zónová metoda je představitelem druhé úrovně požárního návrhu. (Dle německé národní přílohy DIN EN 1992-1-2/NA [2] je tato metoda přípustná pouze za splnění dalších předpokladů.)

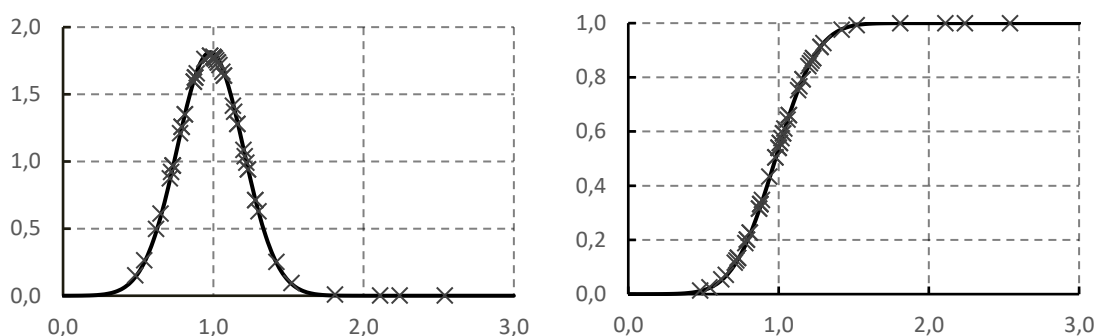
Rozšířená zónová metoda dle autora Zilch (BEST 20.0)

Program BEST aplikoval až do verze 20.0 včetně rozšířenou zónovou metodu dle autora Zilch [3]. Nejpodstatnější rozdíl oproti dále vyvinuté variantě dle autorů Cyllok/Achenbach [4] v BEST 21.0 spočívá v modifikaci pracovního diagramu napětí–přetvoření o složku termických přetvoření.

Rozšířená zónová metoda dle autorů Cyllok/Achenbach (BEST 21.0)

Od verze 21.0 aplikuje program BEST variantu RZM dle autorů Cyllok/Achenbach [4]. Tato metoda byla dále rozpracována autorem Achenbach [5] a verifikována přepočtem reálných požárních zkoušek. Na rozdíl od RZM dle Zilcha se teplotní přetvoření nezohledňují, redukuje se však tlaková pevnost výztuže. Při vývoji nového výpočetního jádra BEST se tato varianta RZM ukázala jako numericky stabilnější.

Implementace této varianty RZM v programu BEST 21.0 byla podrobně verifikována. Statistické vyhodnocení této verifikace ukazuje v průměru vynikající shodu numerické simulace, tj. přepočtu reálných zkoušek, resp. mírně konzervativnější výsledky. Střední hodnota poměru spočtených a reálně změřených časů požární odolnosti 56 laboratorních zkoušek je, po eliminaci extrémů, 0,98 při směrodatné odchylce 0,22.



Statistické rozdělení $\varphi(\eta = t_{cal}/t_{exp})$ a funkce rozptylu $\Phi(\eta = t_{cal}/t_{exp})$ přepočtu požárních zkoušek v BEST 21.0

Obecná metoda

Třetí úroveň návrhu reprezentují všeobecné výpočetní metody simulace chování konstrukčních prvků, částí nosných konstrukcí a celých objektů při požáru. Tato komplexní a zároveň výpočetně velmi náročná metoda však nedává vždy příliš hospodárné výsledky. Tuto metodu v současnosti program BEST nepoužívá.

Rozdíly ve výsledcích návrhu nutných ploch výztuže

Při porovnání výsledků návrhů z těchto uvedených, různých metod a programových verzí se mohou vyskytnout významnější rozdíly, které objasňuje následující výklad.

Termická analýza

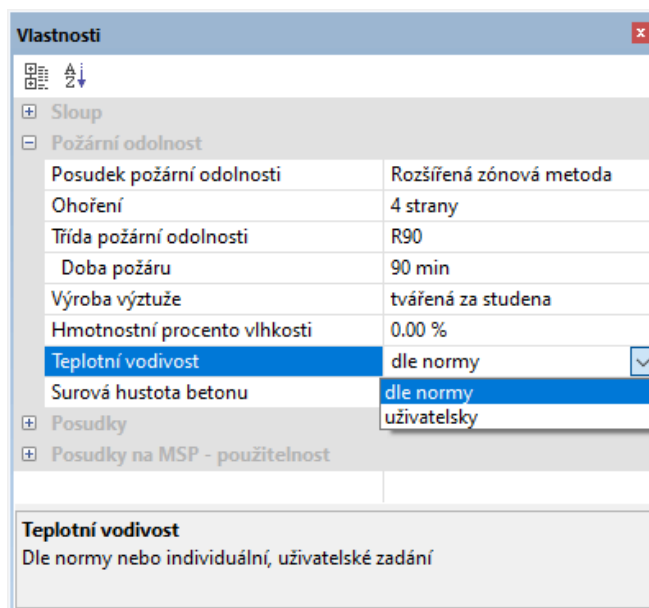
Německá národní příloha [2], na rozdíl od obecného Eurocodu, resp. české a slovenské národní přílohy, předepisuje pro výpočet termické analýzy použití horní meze teplotní vodivosti. Na druhé straně však mohou být uvažovány teplotní profily dle přílohy 1 základní normy [1] pro zjednodušené metody. Zde se vyskytuje následující poznámka:

Dolní mez teplotní vodivosti byla stanovena z teplotních měření při požárních zkouškách na různých betonových průřezích. Tato dolní mez vede na realističtější teploty betonu než horní mez, která byla stanovena z měření na spřažených průřezích.

V tomto smyslu se jedná o principiální konflikt v německém NA: Ze zveřejněných grafických teplotních profilů vyplývají nižší a realističtější teploty betonu, ze spočtených teplotních profilů však vyplývají vyšší teploty, což dokládají i výzkumné práce autorů Tautz a Fingerloos [7]. Teplotní analýza dle německé NA, tedy pro horní mez teplotní vodivosti, vede obecně na vyšší teploty průřezu, a tudíž i ke konzervativnějšímu návrhu nutných ploch výztuže.



BEST 21.0 uvažuje příslušnou horní nebo dolní mez teplotní vodivosti v souladu se zvolenou návrhovou normou automaticky, resp. lze tento parametr uživatelsky cíleně přepínat:



Vlastnosti	
Posudek požární odolnosti	Rozšířená zónová metoda
Ohoření	4 strany
Třída požární odolnosti	R90
Doba požáru	90 min
Výroba výztuže	tvářená za studena
Hmotnostní procento vlhkosti	0.00 %
Teplotní vodivost	dle normy
Surová hustota betonu	dle normy
Posudky	uživatelsky
Posudky na MSP - použitelnost	

Teplotní vodivost
Dle normy nebo individuální, uživatelské zadání

Imperfekce

Dle pravidel pro zohlednění imperfekcí na mezním stavu únosnosti, kap. 5.2 (2)P EN 1992-1-1, se mají tyto aplikovat i v mimořádných návrhových situacích (požár). Práce autorů Richter a Zehfuß [8] zkoumá a vyhodnocuje pravděpodobnostní citlivostní analýzou vliv imperfekcí na spolehlivost požárního návrhu. Tito autoři dospívají k závěru, že tento vliv je zanedbatelný a navrhuje pro centricky zatěžované sloupy aplikovat redukovanou hodnotu imperfekce. V aktuálním návrhu budoucí generace Eurocodu 2, část 1-2 [9] je tato redukovaná imperfekce centricky zatěžovaných sloupů již zahrnuta.

Tabelární posudky vs. jiné metody

Vzhledem k tomu, že tabelární posudky jsou odvozeny přímo z výsledků experimentů, lze je považovat za blízké realitě. Zónové a obecné metody uvažují bezpečnost návrhu (zejména při aplikaci sporného ustanovení německé NA stran použití horní meze teplotní vodivosti) a neredukované imperfekci principiálně konzervativněji. V mnoha případech tak nelze požadovanou dobu požární odolnosti pro minimální rozměry dle tabulky 5.2a jejím přepočtem obecnějšími metodami vůbec prokázat [10]. Toto rovněž potvrzují naše vlastní rozsáhlé přepočty tabulky 5.2a programem RIB BEST 21.0 s implementovanou variantou RZM.

Varianty RZM v BEST 20.0 (a starších) vs. BEST 21.0

Rozdíly ve výsledcích mezi staršími a novou verzí programu BEST spočívají v odlišných variantách RZM.

RZM ve starších verzích BEST byla vyvinuta před delší dobou (cca rok 2008) a její verifikace byla tehdy možná na značně omezeném množství dostupných, kalibračních příkladů. Shoda tehdejších výpočtů byla velmi dobrá, přičemž se uvažovaly teploty referenčních řešení dle grafických teplotních profilů uveřejněných v normě. Pro menší rozměry průřezů podlažních sloupů je její implementace mírně nekonzervativní, výsledky však leží v rámci tabelárních posudků.

Srovnávací výpočty ukazují, že nová implementace RZM v BEST 21.0 je s ohledem na teplotní analýzu poněkud konzervativnější. BEST 21.0 mj. uvažuje u každého jednotlivého profilu výztuže, v závislosti na jeho konkrétné poloze v teplotním poli průřezu, teplotně závislý pracovní diagram napětí–přetvoření.

Doporučení

Pokud jsou splněny normové aplikační podmínky, pak doporučujeme u podlažních sloupů používat tabelární posudky, neboť tyto vedou z výše uvedených důvodů na hospodárnější výsledky požárního návrhu.

V obecných případech porovnávání výsledků z rozdílných variant RZM ve starší a nové verzi BEST je zásadním kritériem spočtená teplota výztuže a betonového průřezu. Od kritické teploty 500°C dochází k rychlému poklesu pevnosti výztuže. Vyšší teplota má dramatický vliv na mechanickou analýzu a vede na podstatně vyšší množství nutné výztuže. Zónová metoda je klasifikována jako „zjednodušená“ metoda. Toto by mělo být vždy na paměti při interpretaci výsledků.

Literatura

- [1] EN 1992-1-2: 2010-12
- [2] DIN EN 1992-1-2/NA: 2010-12
- [3] ZILCH, K.; MÜLLER, A.; REITMAYER, C.: *Erweiterte Zonenmethode zur brand-schutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen*, Bauingenieur Band 85, Juni 2010, S. 282-287.
- [4] CYLLOK, M.; ACHENBACH, M.: *Anwendung der Zonenmethode zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen*. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 12, S. 813-822.
- [5] ACHENBACH, M.: Weiterentwicklung der Zonenmethode für den Nachweis der Feuerwiderstandsdauer von rechteckigen Stahlbetondruckgliedern. Dissertation. 2018
- [6] EN 1992-1-1: 2011-01
- [7] TAUTZ, R.; FINGERLOOS, F.: Ermittlung der Temperaturverteilung im Betonquerschnitt unter Einheitstemperaturbrandkurve (ETK) nach DIN EN 1992-1-2, DBV-Rundschreiben 266, November 2020, S. 19-24.
- [8] RICHTER, E.; ZEHFUß, J.: Müssen Imperfektionen bei der Bemessung von brandbeanspruchten Stahlbetonstützen berücksichtigt werden? Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019), Heft 8, S. 584-594
- [9] prEN 1992-1-2:2021
- [10] PAULI, W.: Erfahrungen aus der Praxis zur Heißbemessung nach dem allgemeinen Rechenverfahren gemäß DIN EN 1992-1-2 im Vergleich zum vereinfachten Verfahren nach Methode A. In: Workshop Heißbemessung 2015, Braunschweig.