

OBSAH

Novinky BEST 23.0	1
Zlepšení konvergenčních vlastností.....	1
Teplotní analýza výpočtem FEM.....	1
Teorie	2
Požární návrh železobetonových sloupů po úsecích	2
Postup	2
Příklad	2
Požární návrh sloupu s kruhovým průřezem.....	3
Zohlednění imperfekcí	3
Dle 1. vlastního tvaru	3
Affině ke vzpěru.....	3
Co dále připravujeme?	3
Literatura	3

Novinky BEST 23.0

Od verze 21.0 obsahuje program BEST nové výpočetní a návrhové jádro, využívající moderní nelineární algoritmy FEM. Tyto programové algoritmy byly v aktuální verzi 23.0 podstatněji optimalizovány, a to zejména co do numerické stability a spolehlivosti výpočtů. Na tomto perspektivním základu byly implementovány další novinky a rozšíření.

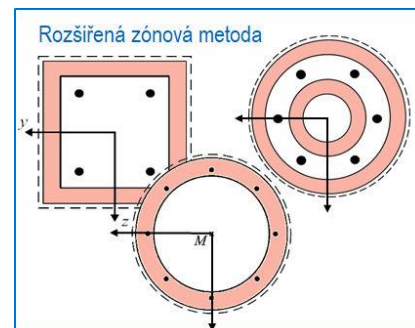
Zlepšení konvergenčních vlastností

U numericky citlivých sloupů se ve specifických případech vyskytovaly obtíže při iterativním zjišťování únosného zatížení, což mohlo vést až k havárii programu. Popřípadě příliš konzervativně stanovené, nízké únosné zatížení mohlo vést ke zbytečnému navýšení nutného množství výztuže. Úpravami nelineárního řešiče bylo ve většině případů dosaženo zlepšení konvergence nelineárního algoritmu výpočtu únosného zatížení, což přispívá k celkové numerické stabilitě řešení a vede na příznivější výsledky.

Teplotní analýza výpočtem FEM

Určení teplotního pole v průřezech sloupu je nutným předpokladem požárního návrhu rozšířenou zónovou metodou nebo všeobecnými metodami. Z těchto výsledků plynou teploty určující příslušný pracovní diagram napětí-přetvoření jednotlivých profilů výztuže a betonu.

V rozšířené zónové metodě, kterou aplikuje program BEST, se z teplotního pole stanovuje tloušťka „degradované“ zóny. Výsledkem jsou redukované průřezy sloupu s ekvivalentními tuhostmi pro požární návrh.



Teorie

Nestacionární vedení tepla lze analyticky řešit jen u malého množství speciálních případů. Obvyklým přístupem je výpočet s využitím vhodné numerické metody. Doposud používaná metoda konečných diferencí byla nahrazena metodou konečných prvků.

Průběh teploty horkých plynů se modeluje časovou normovou teplotní křivkou. Na stranách sloupu vystavených účinkům požáru se uvažuje s vedením tepla konvekcí a zářením. Strany nevystavené požáru se modelují konzervativně, tj. adiabaticky.

Obdélníkové průřezy se diskretizují obdélníkovými konečnými prvky, kruhové průřezy a mezikruží se diskretizují trojúhelníkovými konečnými prvky. V obou případech se jedná o prvky s lineární tvarovou funkcí.

S tímto novým algoritmem bylo provedeno velké množství srovnávacích výpočtů. Kvalita tohoto řešení byla mj. potvrzena přepočtem příkladu > [EvaDAT 32](#), který byl vytvořen v rámci pracovní skupiny DIN DBV „Software pro statiku staveb“. Nové řešení BEST vykazuje vynikající soulad s tímto referenčním výsledkem. Ve srovnání se starší metodou výpočtu teplotního pole jsou zjištěné teploty zpravidla nižší, což má kladný dopad na hospodárnost požárního návrhu.

Požární návrh železobetonových sloupů po úsecích

Program BEST umožňuje navrhování i vícepodlažních sloupů. U požárního návrhu se doposud předpokládalo, že je sloup vystaven účinkům požáru po celé výšce. S odpovídajícím funkčním, resp. licenčním rozšířením (BEST MSP+MAT) lze uvažovat účinky požáru pouze ve vybraných úsecích sloupu, což může korespondovat s reálným scénářem požáru např. pouze v jednom podlaží nebo části výrobní haly.

Obdobně lze vyloučit z účinků požáru např. štíhlý úsek vrcholu sloupu, který se nachází nad úrovní střešní konstrukce v oblasti atiky.

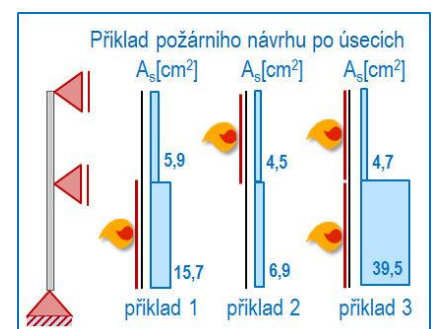
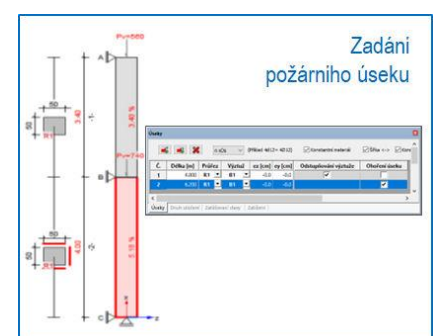
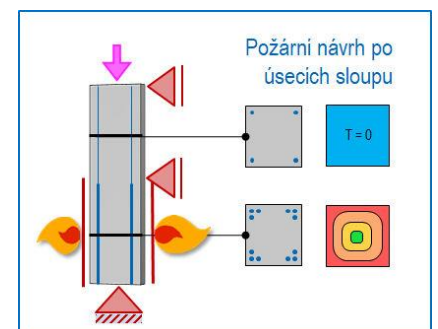
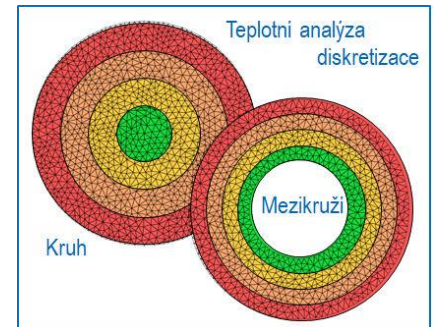
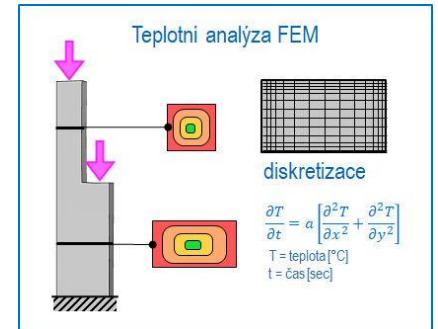
Postup

Při aktivaci požárního návrhu sloupu rozšířenou zónovou metodou v podokně „Vlastnosti“ se následně v oblasti tabulek, na záložce „Úseky“ nabízí sloupeček „Ohoření úseku“ (předpokladem jsou licenční rozšíření BEST požár a MSP+MAT), ve kterém lze vybrat jednotlivé úseky sloupu, vystavené účinkům požáru. V grafickém okně se pak u těchto úseků červeně zobrazují ohořené hrany jejich průřezů.

Příklad

Na příkladu dvojpodlažního sloupu lze demonstrovat vliv různých scénářů na požární návrh sloupu. V tomto příkladu je záměrně z demonstračních důvodů rozhodující požární návrh tak, aby se projevil jeho vliv při uvažování požáru po úsecích a potlačil vliv návrhu za běžných provozních teplot.

Z výsledku je zřejmé, že různé scénáře požáru mají zásadní vliv na návrh. Návrh celého sloupu na účinky požáru je v tomto příkladu, ve srovnání s požárními návrhy po podlažích sloupu, značně nevhodný.

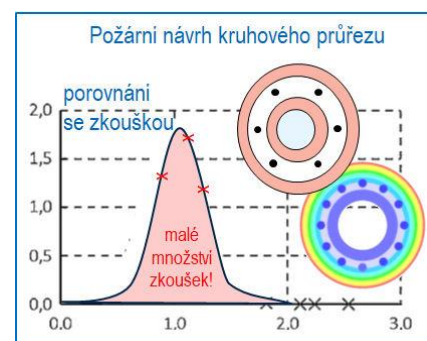


Lze očekávat, že tento realistický přístup lépe a v souladu s praxí modeluje únosnost sloupů při požáru.

Požární návrh sloupů s kruhovým průřezem

Princip rozšířené zónové metody, při které se průřezy vystavené požáru nahrazují redukovanými ekvivalentními tuhosti a teplotně závislými vlastnostmi lze modifikovat pro další tvary průřezu [1].

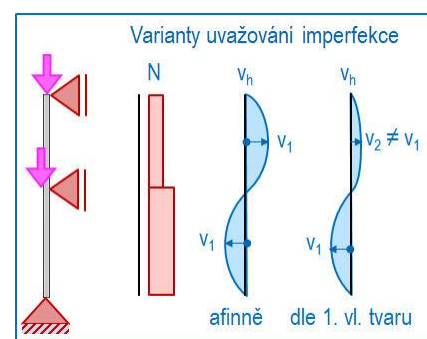
Odpovídající odvození byla sestavena pro kruhové průřezy. Verifikace tohoto řešení velmi ztěžuje jen malé množství veřejně dostupných, fundovaných výsledků reálných zkoušek sloupů s kruhovým nebo trubkovým průřezem. Četnými srovnávacími výpočty provedenými všeobecnou návrhovou metodou však bylo potvrzeno, že toto nové řešení rozšířenou zónovou metodou poskytuje velmi solidní výsledky.



Zohlednění imperfekcí

Původní metoda „dle 1. vlastního tvaru“

Doposud používaným, výchozím podkladem pro zohlednění imperfektního tvaru sloupů byla lineární analýza vlastních čísel. Spočtené vlastní číslo odpovídá součiniteli vzpěru a ze stanoveného vlastního tvaru se odvozoval průběh imperfektního tvaru. Vzhledem k závislosti geometrické tuhosti na normálové síle je důsledkem tohoto přístupu u vícepodlažních sloupů poloha maximální vodorovné výchylky sloupů v nejnižším podlaží a její postupně zmenšující se hodnota směrem k vyšším podlažím.



Nová metoda „affině ke vzpěru“

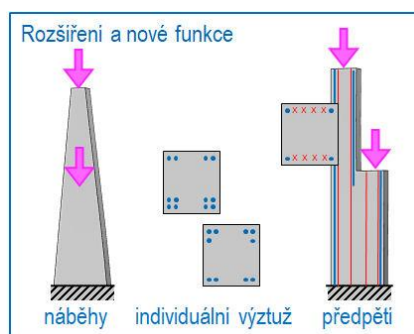
Tato nová, volitelná metoda zohlednění imperfektního tvaru vychází z průběhu ohybové křivky. Výpočetně se uvažují fiktivní podpory s vynucenou vodorovnou výchylkou ve středu výšky jednotlivých podlaží. Tímto se stanoví rovnoměrný průběh imperfektního tvaru po celé výšce sloupů. Tento přístup rovněž umožňuje individuální zadání velikosti, směru a výšky maximální imperfekce.

Co dále připravujeme?

V další připravované programové verzi BEST plánujeme realizaci některých funkcionalit korespondujících se starším programem BEST expert:

- tvary sloupů s po výšce lineárně proměnným průběhem průřezů (náběhy)
- individuální zadání poloh profilů výztuže v průřezích sloupů
- zohlednění předpětí

Současně u těchto připravovaných, funkčních rozšíření bude umožněn i požární návrh rozšířenou zónovou metodou.



Literatura

[1] Krybus, D., Achenbach, M., Prifti, L., 2023: Extension of the zone method for the design of circular and tubular concrete columns subjected to a standard fire, Journal of Structural Fire Engineering, accepted on 18.07.2023.