

# Nové programy pro navrhování betonových a zděných konstrukcí

Dvojice nově vytvořených programů Receptura 1.0 a Výstřednost EC6 1.0., která vznikla na katedře betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT, usnadňuje navrhování betonových a zděných konstrukcí. Autoři programů se věnují přípravě výpočetních pomůcek pro usnadnění návrhu betonových a zděných konstrukcí dlouhodobě. Tyto pomůcky přehledně ilustrují postup výpočtu, a umožňují tak studentům jeho snadnější pochopení, z ohlasů projektantů však autoři vědí, že jejich práce nachází využití i při reálném navrhování staveb, především u menších firem, které nedisponují drahými systémy pro statickou analýzu konstrukcí. Proto chceme představit tyto výpočetní pomůcky i v Materiálech pro stavbu.

Výpočetní pomůcky jsou volně dostupné na webových stránkách autorů a mají primárně výukový charakter. Prvotním cílem je umožnit studentům Fakulty stavební ČVUT lépe pochopit princip a postup výpočtů, jakož i citlivost výsledků na změnu jednotlivých vstupních parametrů. Oba programy jsou však přínosné i pro stavební praxi, kde je mohou využít projektanti nebo technologové betonu. Příspěvek se zabývá vysvětlením dané problematiky a představením funkcí obou programů, což zjednoduší jejich používání.

## Program Receptura 1.0

Program Receptura 1.0 byl vytvořen v programovacím jazyce MATLAB. Automatizuje návrh složení betonové směsi pomocí Kennedyho metody, která je popsána např. v [1]. Na základě požadované třídy betonu a parametrů vstupních materiálů (třída cementu, granulometrie kameniva, kvalitativní charakteristiky kameniva aj.) sestavuje výsledné složení receptury betonu. Program rovněž umožňuje vykreslení čáry zrnitosti zadaného kameniva.

Program Receptura 1.0 sestavuje recepturu běžně používaných betonů v pevnostních třídách C 16/20 až C 100/115. Vygenerovaná receptura nezahrnuje vliv plastifikátoru. Pokud je třeba upravit zpracovatelnost čerstvého betonu, je vždy nutné zohlednit konkrétní typ plastifikátoru a následně redukovat množství záměsové vody. Program není vhodný pro sestavení receptury vláknobetonu, protože v dnešní době jsou na trhu dostupná vlákna z různých materiálů, materiálových vlastností a tvarů, což znemožňuje obecné určení jejich množství.

## Program Výstřednost EC6 v1.0

Druhá výpočetní pomůcka pracuje pod programem Microsoft Excel a doplňuje stávající řadu nástrojů pro výpočet zděných konstrukcí podle Eurokódu 6, jejichž tvorbě se autoři dlouhodobě věnují. Je určena k výpočtu ohybových momentů ve styčnicku zděné stěny a železobetonové stropní konstrukce. Umožňuje přitom zvolit postup výpočtu podle tuhosti spoje. V zásadě je vycházeno z metody uvedené v příloze C normy ČSN EN 1996-1-1, ovšem v některých místech jsou provedeny korekce nebo poskytnuta doporučení vycházející z výsledků konečněprvkové analýzy typického detailu styku stěny se stropem, kterou autoři provedli.

Ačkoliv postup stanovení výstřednosti zatížení a ohybových momentů ve styku zděné stěny a železobetonového stropu podle Eurokódu 6 není nijak zvlášť složitý, vyskytují se v něm rozsáhlé

Návrh receptury betonu  
návrhová Kennedyho metoda

Pevnostní třída betonu: C 30/37

Pevnostní třída cementu: CEM I 32,5

Kvalita kameniva: lepší

Tvar zrna kameniva: běžný

Sypná hmotnost kameniva v setřeseném stavu: 1800 kg/m<sup>3</sup>

Objemová hmotnost kameniva: 2600 kg/m<sup>3</sup>

Nápověda

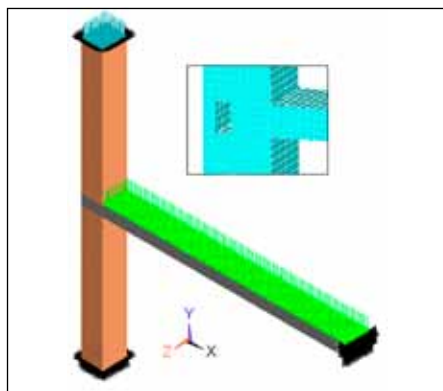
O programu    Další >>    Konec

Výsledná receptura

|          | na 1m <sup>3</sup> | na objem         |
|----------|--------------------|------------------|
|          |                    | 3 m <sup>3</sup> |
| Cement   | 467.0 kg           | 1401.0 kg        |
| Voda     | 194.8 l            | 584.4 l          |
| víc      | 0.4                | 0.4              |
| Kamenivo |                    |                  |
| 8/16     | 6.3 kg             | 18.9 kg          |
| 4/8      | 56.4 kg            | 169.1 kg         |
| 0/4      | 1632.8 kg          | 4898.3 kg        |

<< Zpět    Export dat    Konec

Obr. 1: Ukázka z programu Receptura 1.0



Obr. 2: Model konstrukce v programu ANSYS. Ve výřezu je detail styku s částečným uložením stropu po aplikaci sítě konečných prvků

zvorce, jejichž vyčíslování může být dosti zdlouhavé, především v případě, kdy je potřeba provádět výpočet v rámci optimalizace návrhu opakovaně. Software Výstřednost EC6 v1.0 má za cíl proces výpočtu výstředností co nejvíce usnadnit. Díky zpracování v programu Microsoft Excel je výpočetní postup zcela transparentní, což je vhodné pro potřeby výuky studentů na Fakultě stavební ČVUT.

Postup výpočtu je dán zejména přílohou C Eurokódu 6 [2], navíc byly zakomponovány některé závěry vyplývající z analýzy napjatosti ve styku zděné stěny a železobetonového stropu, která byla provedena v programu ANSYS v práci [4]. Byly zkoumány velikosti ohybových momentů ve styku ŽB stropu a zděné stěny při proměnné velikosti svislého přitížení styku a různé délce uložení stropu na zdivo – pro tloušťku stěny 440 mm bylo uvažováno plné uložení a uložení délky 260 mm.

Rozborem bylo zjištěno, že norma poměrně dobře postihuje chování styčnicků s celoplošným uložením stropní desky na zdivo, při částečném uložení však existuje riziko podhodnocení velikosti ohybových momentů na svislých prvcích. Primárním důvodem je skutečnost, že normový střednicový model není schopen dostatečně přesně postihnout princip vzniku ohybového momentu ve zděných stěnách, dále se projevuje fakt, že norma nezohledňuje velikost svislého přitížení styčnicku z horních podlaží a výsledky získané z modelu uvažujícího vznik trhlin naznačují, že rovněž změny ohybové tuhosti průřezů v důsledku tahových poruch ve stropní konstrukci vedou k nárůstu ohybového momentu v hlavě dolní stěny.

Srovnání ohybových momentů stanovených pomocí metody konečných prvků a postupem uvedeným v příloze C Eurokódu 6 je uvedeno v tabulce 1.

Tyto výsledky byly zohledněny při tvorbě programu Výstřednost EC6 v1.0. V případě styčnicků s částečným podepřením je nutno souhlasit s výsledky práce [3] a nedoporučit použití alternativního postupu pro výpočet momentů podle vztahů C.3 a C.4 v normě [2]. Je vhodnější i pro

Tabulka 1: Srovnání ohybových momentů stanovených pomocí metody konečných prvků a postupem uvedeným v příloze C Eurokódu 6

| Uložení [mm]   | Přetížení [kN/m] | Poměr momentů ANSYS:Eurokód |             |       |
|----------------|------------------|-----------------------------|-------------|-------|
|                |                  | Dolní stěna                 | Horní stěna | Strop |
| 440 (plné)     | 0                | 0,901                       | –           | –     |
|                | 32               | 1,079                       | 0,688       | 0,662 |
|                | 76               | 1,130                       | 0,854       | 0,845 |
|                | 120              | 1,067                       | 0,934       | 0,898 |
| 260 (částečné) | 0                | 0,845                       | –           | –     |
|                | 32               | 1,365                       | 1,211       | 0,421 |
|                | 76               | 1,239                       | 1,829       | 0,645 |
|                | 120              | 1,266                       | 1,715       | 0,769 |

7.2. Výstřednosti zatížení (znaménka odpovídají znaménkové konvenci pro momenty na stěnách)

- **Výstřednost v hlavě stěny 1**
  - Stanovit podle normy ze vztahu  $e_1 = M_1/N_{B,1} \leq 0,5t_1$
  - Stanovit bezpečně s použitím charakteristické hodnoty normálové síly v hlavě stěny <sup>2)</sup> ze vztahu  $e_1 = M_1/N_{B,1} \leq 0,5t_1$ 
    - Charakteristická hodnota normálové síly v hlavě dolní stěny  $N_{B,1} = 125,000 \text{ kN}$
    - => **Výstřednost v hlavě stěny 1**  $e_1 = 90,504 \text{ mm}$
- **Výstřednost v patě stěny 2** podle vztahu  $e_2 = M_{2d}/N_{2d} \leq 0,5t_2$   $e_2 = 84,426 \text{ mm}$

2) Porovnání výsledků normy s numerickým modelem ukázalo, že momenty v hlavě dolní stěny u okrajových styčnicků běžných podlaží mohou být při výpočtu podle základního normového postupu podhodnoceny až o zhruba 30 %. Použitím charakteristické hodnoty normálové síly se zveřejní výstřednost o 35–50 %, což by mělo tento problém odstranit.

Obr. 3: Ukázka z programu Výstřednost EC6 v1.0. Uživatel má možnost zvolit způsob výpočtu excentricity zatížení v hlavě dolní stěny.

částečné uložení využívat pouze základní postup podle vztahů C.1 a C.2, čímž se bezpečně vyřeší problém s momenty v patě horní stěny.

Pro momenty v hlavě dolní stěny je možno navrhnout několik různých opatření (podrobněji viz [4]), z nichž jako nejschůdnější se jeví úprava výpočtu excentricity. Podle normy [2] je excentricita počítána jako poměr návrhového momentu a návrhové normálové síly. Použijeme-li pro výpočet charakteristickou hodnotu normálové síly, vyjde výstřednost závislosti na poměru stálého a užitného zatížení 1,35- až 1,5krát větší, což by pro výše prezentované styčnický bylo plně vyhovující. Zmíněná úprava má svou logiku, uvědomíme-li si, že normálová síla je v daném případě zatížením působícím ve prospěch bezpečnosti konstrukce, kdežto její návrhová hodnota je stanovena s použitím součinitelů pro zatížení působící v neprospěch bezpečnosti.

## Závěr

Prezentované výpočetní programy Receptura 1.0 a Výstřednost EC6 v 1.0 jsou volně k dispozici ke stažení na adrese [concrete.fsv.cvut.cz/~bily/vyzkum.htm](http://concrete.fsv.cvut.cz/~bily/vyzkum.htm). Autoři doufají, že naleznou kladnou odezvu u studentů i projektantů. Autoři děkují za finanční podporu programu Studentské grantové soutěže SGS13/120/OH-K1/2T/11 Cementové kompozity v extrémních podmínkách

PETR BÍLÝ, JOSEF FLÁDR

## Literatura:

- 1) Pytlík, P.: Technologie betonu. VUTIUM, Brno 2000.
- 2) ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. ČNI, Praha 2007.
- 3) Baier, G.: Modellierung des Wand-Decken-Knotens. In Jäger, Wolfram: Mauerwerk-Kalender 2007. Ernst & Sohn, Berlin 2007, s. 621–689.
- 4) Bílý, P.: Studie statického řešení styku železobetonového stropu se zděnou stěnou. Diplomová práce, 2011.

Ing. Petr Bílý (\*1984)

absolvoval Fakultu stavební ČVUT v Praze (2011), kde nyní pracuje jako výzkumný pracovník na katedře betonových a zděných konstrukcí. Specializuje se na problematiku návrhu zděných konstrukcí a numerické modelování betonových a zděných konstrukcí.

Ing. Josef Fládr (\*1984)

absolvoval Fakultu stavební ČVUT v Praze (2010) a v současnosti zde pracuje jako výzkumný pracovník na katedře betonových a zděných konstrukcí. Specializuje se na technologii výroby vláknobetonu a vysokopevnostních betonů.