

TVORBA A APLIKACE VÝPOČETNÍ POMŮCKY PRO STANOVENÍ VNITŘNÍCH SIL NA DESKÁCH

Aneta Bulíčková, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
aneta.bulickova@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Tento příspěvek je založen na již realizovaných výstupech autorky z její bakalářské práce, v rámci které byla vytvořena výpočetní pomůcka stanovující momenty na železobetonových deskách po obvodě podepřených. Vytvořený program umožňuje snadné zadání parametrů desky a po provedení výpočtu přehledné zobrazení výsledků v grafické nebo numerické podobě. Praktické využití umožňuje druhá část programu, která se zabývá návrhem výztuže. Dále je popsán algoritmus výpočtu, ověřena a porovnána správnost výsledků s existujícími způsoby řešení. Pro účely užívání byla vytvořena uživatelská příručka, která uživateli popisuje správné používání programu. Vytvořený program je volně ke stažení na stránce <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/slafor/slafor.cz.html>.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výpočetní pomůcka • Železobeton • Deska • Momenty • Vyztužení

ABSTRACT

This paper is based on the already realized outputs of the author from her bachelor's thesis, within which a calculation tool for calculating moments in reinforced concrete two way slabs was developed. The tool provides a simple graphical user interface for entering inputs. After calculation, results can be displayed both in graphical and numerical form. The practical use provides the second part of the tool, which deals with the reinforcement design. Furthermore, algorithm used for the calculation is shown, as well as the verification with the existing ways of solution. This thesis includes user-oriented manual, guiding the correct usage of this tool. Developed tool is free to download on page <http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/software/slafor/slafor.cz.html>.

KEYWORDS

Calculation tool • Reinforced concrete • Slab • Moments • Reinforcement

1. ÚVOD

V tomto článku je popsána vytvořená výpočetní pomůcka, která je určená pro výpočet momentů na železobetonových deskách. Druhá část programu se zabývá aplikací výpočtů na návrh výztuže dle ČSN EN 1992-1-1. Program byl vytvořen v prostředí MATLAB. Vytvořená výpočetní pomůcka je vhodná pro edukativní účely.

2. POUŽITÉ METODY

Práce se opírá o teorii železobetonových desek, jejich rozdělení a způsob výpočtu vnitřních sil (konkrétně momentů). Pro stanovení momentů je vycházeno z teorie lineární pružnosti, která se vymezuje na tenké desky podle Kirchhoffovy teorie. Byla použita klasifikace desek dle různých parametrů a vymezení desek řešených navrženou výpočetní pomůckou SlaFoR. Dále jsou využity vztahy pro výpočet momentů. Pro řešení úloh teorie desek se využívá desková rovnice, která vyjadřuje vztah mezi vnějším zatížením p a průhybem desky $w(x; y)$ na diferenciálním elementu desky:

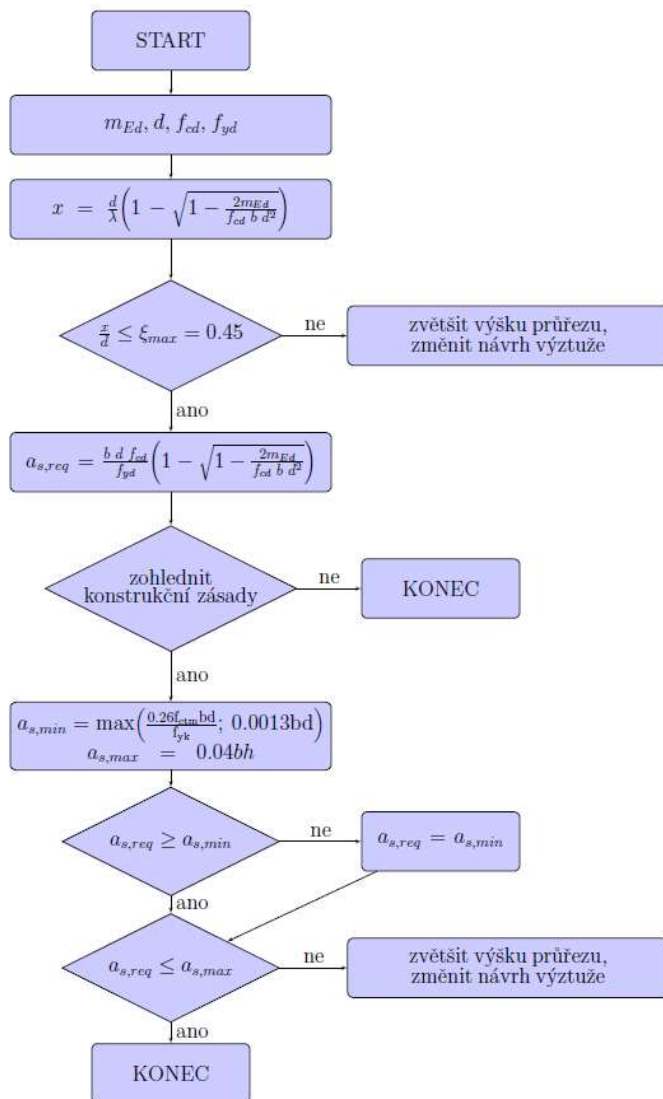
$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D}$$

Řídící funkci v teorii ohybu desek je funkce průhybu w , která vyhovuje výše uvedené diferenciální rovnici a předepsaným okrajovým podmínkám. Řešení deskové rovnice zpravidla není možné získat v uzavřeném tvaru, a proto je třeba zvolit některou z přibližných metod známých z teorie parciálních diferenciálních rovnic. Nejužívanější jsou tzv. přímé metody, které převádějí okrajovou úlohu pro diferenciální rovnici na konečné systémy algebraických rovnic. Program SlaFoR k řešení využívá metodu sítí.

Návrh výztuže ve vytvořeném programu je proveden přímým výpočtem dle vztahu z ČSN EN 1992-1-1. Tento vztah vychází z rovnosti sil v betonu a ve výztuži. Na následujícím obrázku je vyjádřen postup výpočtu potřebné plochy výztuže programem SlaFoR. Kromě počátečního ověření podmínky poměrné výšky tlačené oblasti mohou být ve výpočtu zohledněny konstrukční zásady.

Vývojový diagram návrhu výztuže je zobrazen na Obrázku 1.

* Školitel: Ing. Radek Štefan, Ph.D.



Obrázek 1: Vývojový diagram návrhu výztuže

3. IMPLEMENTACE

Výpočetní pomůcka SlaFoR umožňuje zatížit desku rovnoměrným zatížením, osamělými silami na libovolných místech desky nebo kombinací obojího. Podepření okraje desky může být kloub nebo vetknutí. Při zadávání si uživatel volí hustotu sítě.

Vytvořená výpočetní pomůcka SlaFoR byla implementována v prostředí MATLAB. Pro přehlednost a snadnost zadávání vstupních parametrů bylo vytvořeno uživatelské rozhraní, které uživateli umožňuje rychlý průchod programem a přehledné zobrazení výsledků. Pro výše specifikovanou desku zprostředkovává rychlejší a snadnější zadávání oproti komerčně využívaným komplexním programům. Výpočetní pomůcka dále umožňuje analyzovat desku v celku, v řezech i v konkrétních bodech. Poskytuje názorné zobrazení výsledků ve formě 3D a 2D vykreslení nebo jako konkrétní numerické hodnoty. Stávající implementovaný algoritmus je zobrazen na Obrázku 2.

Algoritmus 1 Postup výpočtu momentů

- 1: sestavení matice geometrie desky D
 - 2: vytvoření matice diferenčního schématu C
 - 3: **for** $i = 1$ až $(n_1 - 1) \cdot (n_2 - 1)$
 - 4: vytvoření pomocné matice T_i
 - 5: roznásobení prvků matic $T_i \cdot D = S_i$
 - 6: vytvoření matice A_i a její načtení do matice A
 - 7: **end**
 - 8: sestavení vektoru zatížení b
 - 9: vyřešení soustavy rovnic $A \cdot W = b$, výpočet vektoru redukovaných průhybů W , výpočet vektoru skutečných průhybů w
 - 10: sestavení matice Z
 - 11: **for** $i = 1$ až $(n_1 + 1) \cdot (n_2 + 1)$
 - 12: výpočet matic m_{xi} , m_{yi} , m_{xyi} a jejich načtení do matic momentů m_x , m_y , m_{xy}
 - 13: **end**
-

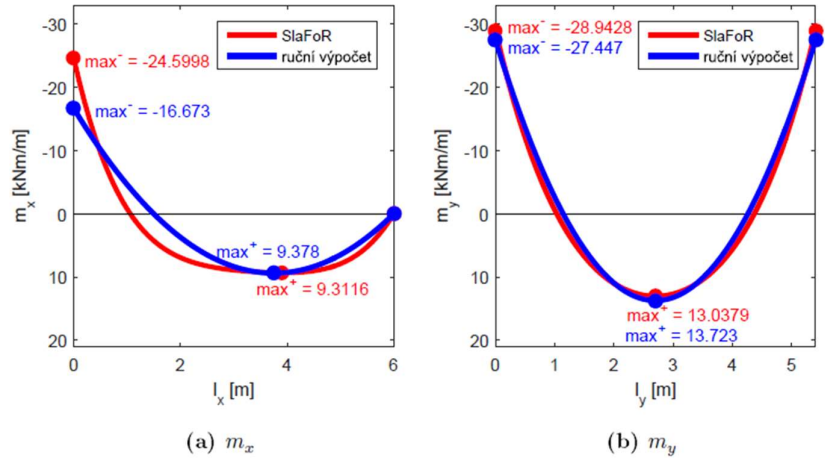
Obrázek 2: Algoritmus výpočtu momentů

4. VERIFIKACE A VALIDACE

Správnost výpočtu byla ověřena porovnáním se zjednodušeným ručním výpočtem, který byl proveden s použitím přibližných vztahů a tabulek dvěma přístupy:

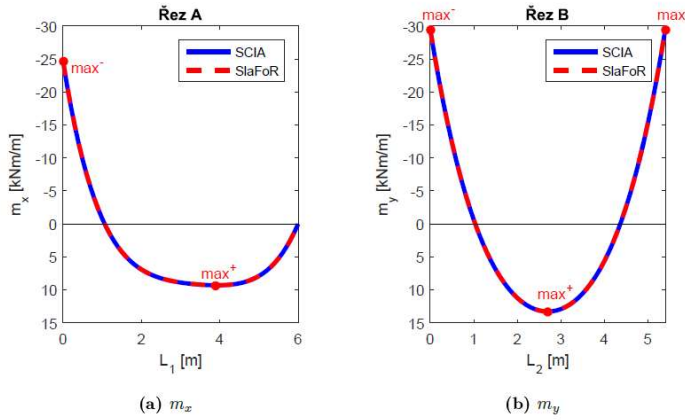
- Lineární analýzou dle statických tabulek,
- Lineární analýzou dle tabulek zohledňujících vliv m_{xy} .

Porovnání výpočtu momentů na stejné desce ručním výpočtem a programem SlaFoR je zobrazeno na Obrázku 3. Ručním výpočtem byly zjištěny tři extrémní hodnoty na řezu, které jsou proloženy křivkou druhého stupně. Hodnoty maximálních momentů v poli se téměř shodují. Hodnoty extrémů v podporách jsou pro případ vetknutí-vetknutí velmi podobné. Pro případ vetknutí-klobouk se výsledky liší. Ručním výpočtem dostaneme pouze přibližné řešení.

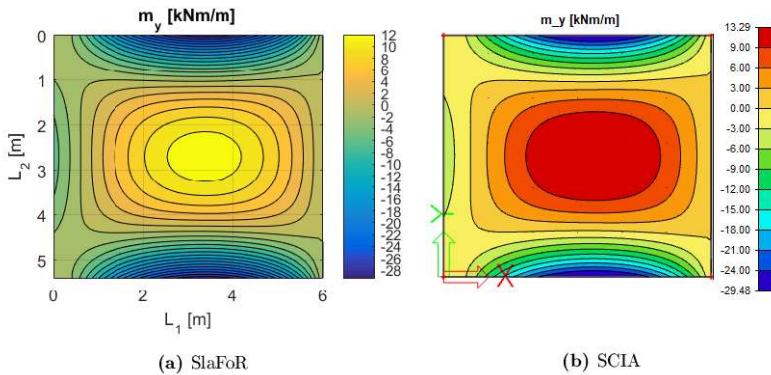


Obrázek 3: Porovnání s ručním výpočtem

Další srovnání bylo provedeno s komerčním softwarem SCIA Engineer, který provádí výpočet metodou konečných prvků. Z Obrázků 4 a 5 je patrné, že výsledek momenty získané z obou programů jsou viditelně shodné.



Obrázek 4: Porovnání se softwarem SCIA Engineer - řezy



Obrázek 5: Porovnání se softwarem SCIA Engineer - izolinie

5. ZÁVĚR

Deska řešená programem SlaFoR 1.0 musí splňovat určitá kritéria, která se týkají rozměrů, způsobu podepření a zatížení.

- 1) Vytvořený program řeší po obvodě podepřené desky, které mají obdélníkový půdorys.
- 2) Musí být splněna podmínka vymezení tloušťky desky, aby bylo možné řešit desku dle Kirchhoffovy teorie.
- 3) Okraje desky musí být kloubově uloženy nebo vetknuté.
- 4) Rovnoměrné zatížení musí působit po celé ploše desky.

Z důvodů jistých omezení se zde nachází možnost program SlaFoR dále rozšířit. V budoucnu by mohlo být umožněno řešit desky libovolných půdorysných tvarů. Dalším námětem by mohla být možnost zadání desky s volným okrajem.

Reference

Buličková, Aneta. *Tvorba a aplikace výpočetní pomůcky pro stanovení vnitřních sil na deskách*. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum., 2018.

ČSN EN 1992-1-1: *Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*.

R. Bareš. *Tabulky pro výpočet desek a stěn*. 2. vyd. Praha: SNTL, (s 624), 1979.

P. Konvalinka. *Analýza stavebních konstrukcí, Příklady*. Vydavatelství ČVUT, 2009.

