

# Uživatelská příručka k programu SlaFoR verze 1.0

Toto je manuál k programu *SlaFoR 1.0* (Slab Forces & Reinforcement), který byl vytvořen v rámci bakalářské práce na katedře betonových a zděných konstrukcí pod vedením Ing. Radka Štefana Ph.D. Program *SlaFoR 1.0* slouží k výpočtu momentů po obvodě podepřených desek obdélníkového půdorysu, které lze definovat jako tenké podle Kirchhoffovy teorie. Desky mohou být zatíženy rovnoměrným zatížením, osamělými silami nebo kombinací obojího. Druhá část programu umožňuje návrh výztuže.

Pro spuštění programu je potřeba mít nainstalované prostředí MATLAB nebo jeho knihovny MATLAB Compiler Runtime 9.0 (R2015b).

## 0.1 Systémové informace

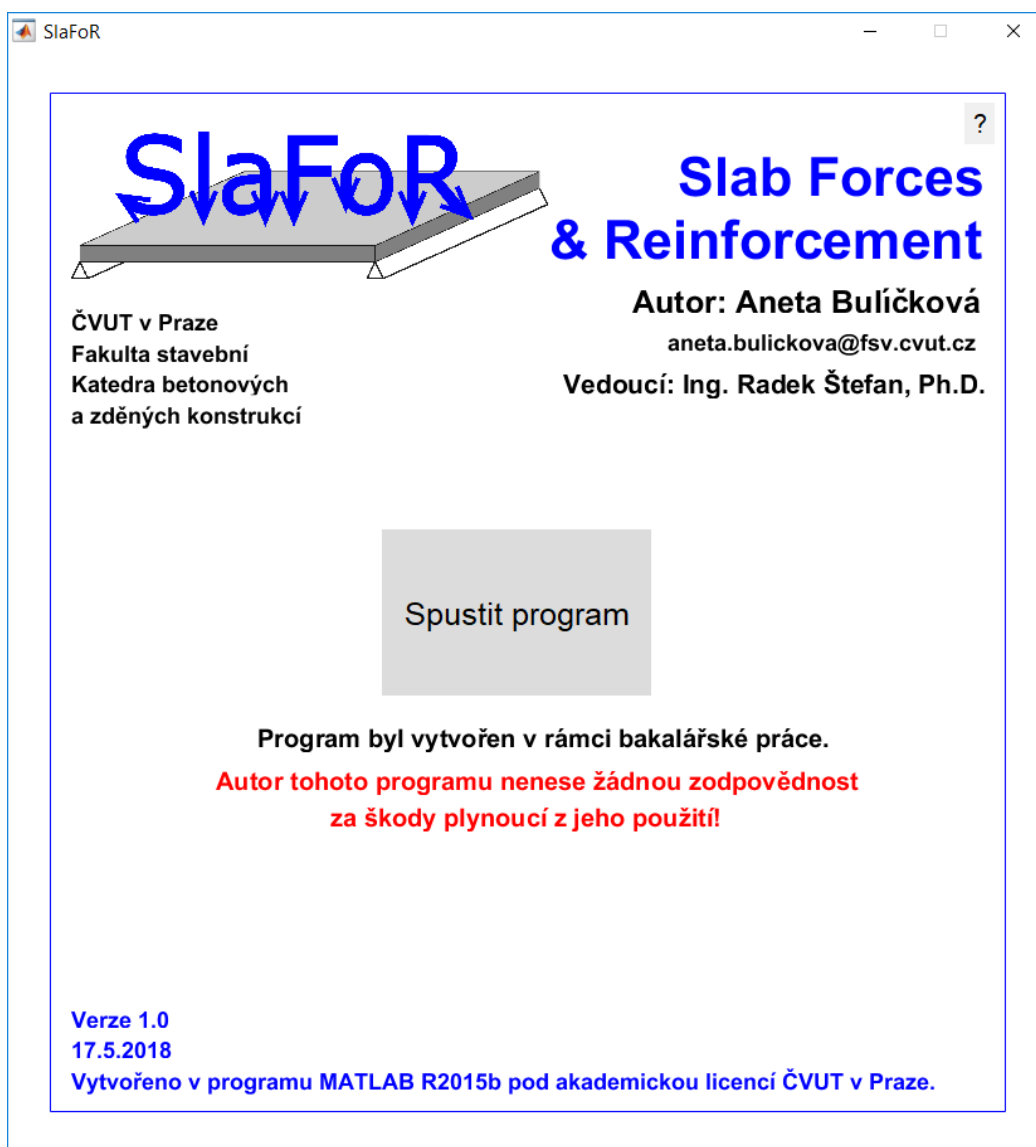
Program *SlaFoR 1.0* byl vytvořen, odzkoušen a zkompilován v prostředí MATLAB R2015b verze 8.6.0.267246 pod akademickou licencí ČVUT v Praze.

Program byl vytvořen na počítači HP ProBook 430 G2 s operačním systémem Windows 10 Home 64-bit, procesorem Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20 GHz a 4 GB RAM. Poslední odzkoušení na tomto zařízení proběhlo 17.5.2018.

Program byl dále odzkoušen na počítači HP ProBook 430 G1 s operačním systémem Windows 7 Professional 64bit, procesorem Intel(R) Core(TM) i7-4702MQ CPU @ 2.20 GHz a 8 GB RAM. Na tomto počítači byla zkompilována finální verze programu dne 17.5.2018.

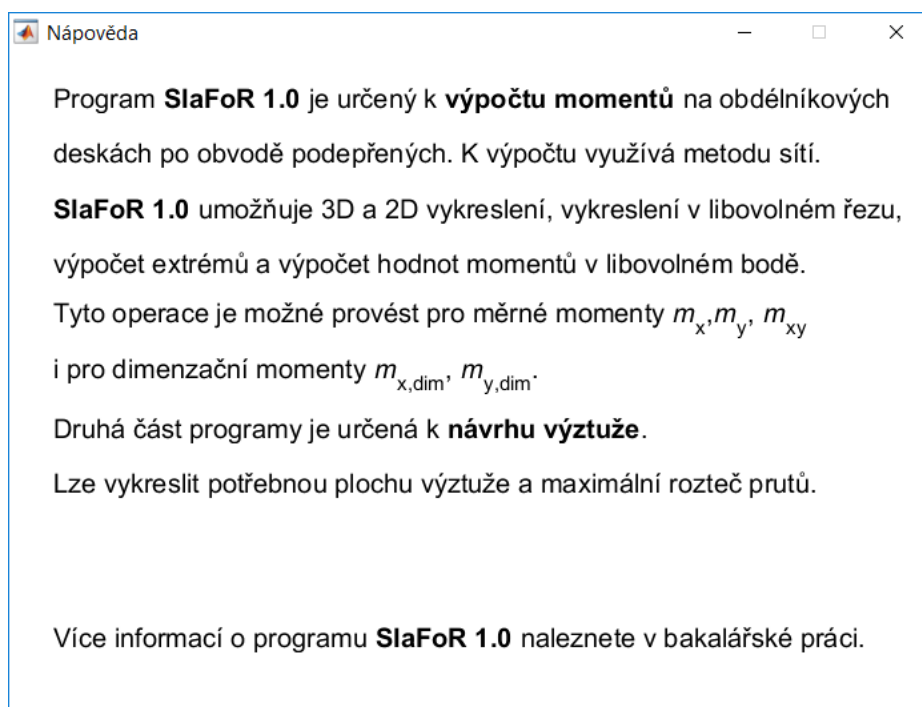
## 0.2 Spuštění programu

Program *SlaFoR 1.0* se spustí otevřením souboru SlaFoR.exe přiloženém na CD-ROMu. Po spuštění se načte úvodní obrazovka (Obrázek 1), která obsahuje základní informace o programu (název, verze, jméno autora a vedoucího práce, kontaktní údaje).



Obrázek 1: Úvodní obrazovka

Stručný popis programu (Obrázek 2) najde uživatel po kliknutí na tlačítko se symbolem "?", které označuje nápovědu i v dalších fázích postupu programem.



Obrázek 2: Stručný popis programu

Po kliknutí na tlačítko *Spustit program* se načte další okno programu, ve kterém se zadávají vstupní hodnoty.

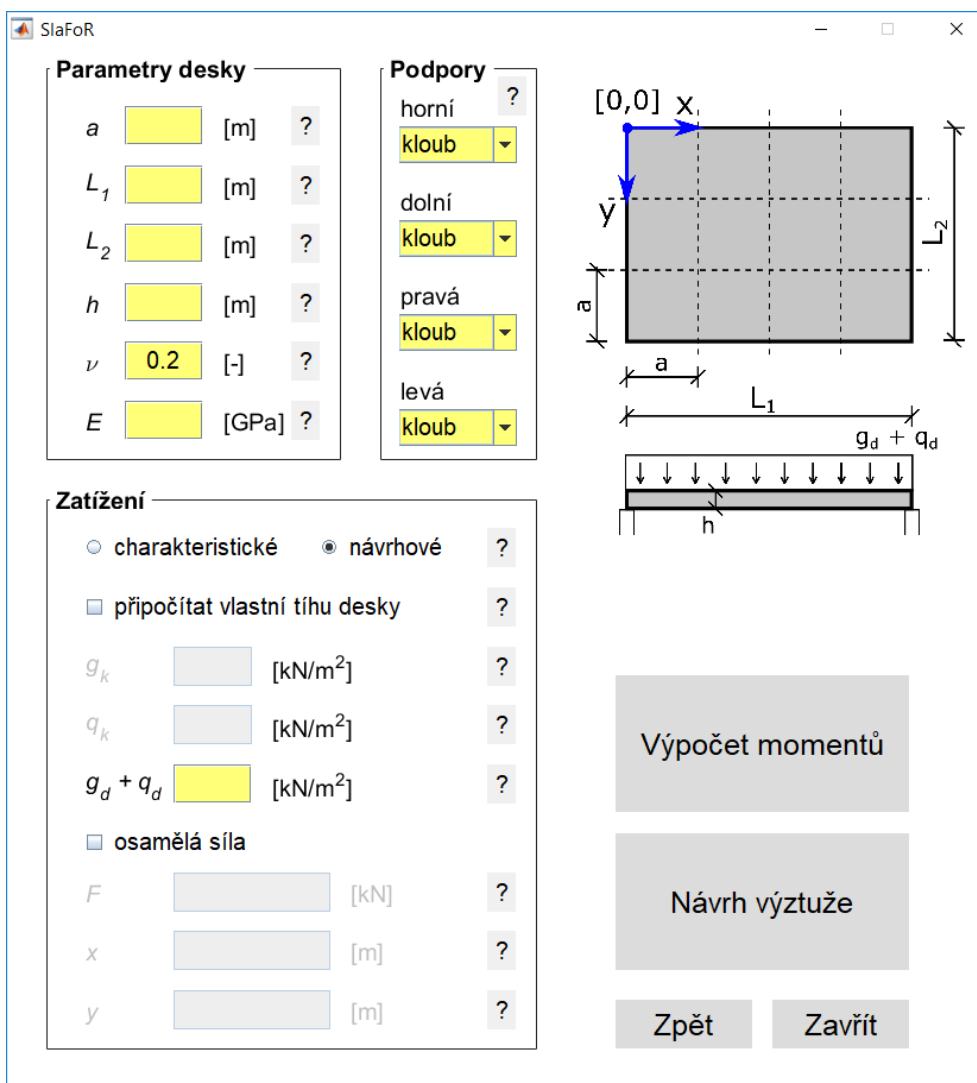
### 0.3 Vstupní hodnoty

Okno pro zadání vstupních hodnot (Obrázek 3) je rozděleno na tři zadávací části: *Parametry desky*, *Podpory* a *Zatížení*. Schéma napravo v okně graficky vysvětluje některé veličiny. Zároveň určuje počátek souřadného systému a směry os  $x$  a  $y$ .

V části *Parametry desky* se do editovacích políček zadají vlastnosti desky. Jednotlivé veličiny jsou popsány označením veličiny (např.  $a$ ) a jednotkou (např. [m]), ve které je třeba danou veličinu zadat. Desetinná místa v číselném zadání hodnoty se oddělují tečkou.

Hlubší vysvětlení veličin a způsobu zadávání je umožněno po stisknutí tlačítka nápovědy označeného symbolem "?". Napravo od hlavního okna se objeví okno nápovědy (Obrázek 4). Zde je daná veličina popsána a zároveň mohou být červeně stanoveny podmínky a meze určující velikost zadávané hodnoty.

V části *Podpory* se v rolovací nabídce zvolí podepření jednotlivých okrajů. Okraj desky může být vetknutý nebo kloubově uložený.

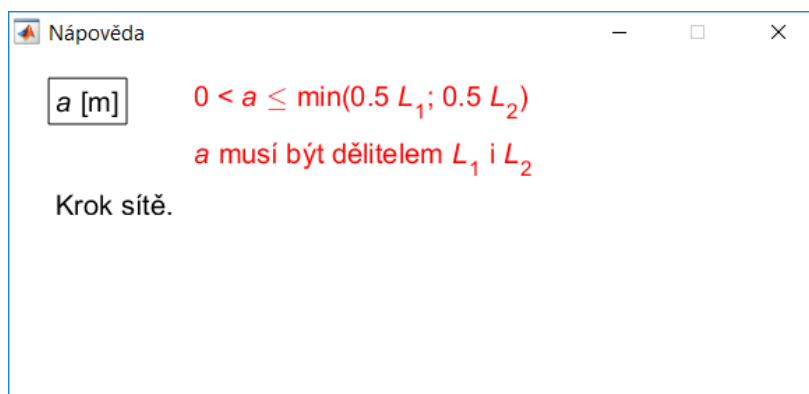


Obrázek 3: Vstupní parametry

V části *Zatížení* se nejprve zvolí, zda se zatížení bude zadávat v **charakteristických** nebo v **návrhových** hodnotách. Výpočet bude vždy proveden s návrhovými hodnotami, které se buď zadají přímo (při zaškrtnutí přepínače *návrhové*) nebo se vypočítají z charakteristických hodnot. Při zaškrtnutí přepínače *charakteristické* se aktivují editovací pole pro rovnoměrné zatížení  $g_k$  a  $q_k$ . Stálé zatížení  $g_k$  bude před výpočtem momentů vynásobeno dílčím součinitelem  $\gamma_G = 1.35$ . Proměnné zatížení  $q_k$  bude přenásobeno dílčím součinitelem  $\gamma_Q = 1.5$ .

Vlastní tíhu desky lze k zatížení připočítat po zaškrtnutí zaškrťovacího pole *připočítat vlastní tíhu desky*. Vlastní tíha desky se vypočítá jako objemová hmotnost betonu přenásobená tloušťkou desky a dílčím součinitelem  $\gamma_G$ , uvažujeme  $25 \cdot h \cdot 1.35$ .

Desku lze kromě rovnoměrného zatížení zatížit i osamělou silou. Zadávání se aktivuje po zaškrtnutí zaškrťovacího pole *osamělá síla*. Síla se definuje velikostí a polohou na desce



Obrázek 4: Okno nápovědy

dle souřadného systému. Pokud je aktivován přepínač *charakteristické* zatížení, bude velikost síly přenásobena dílčím součinitelem  $\gamma_G = 1.35$ . Při zadání v *návrhových* hodnotách se velikost nezmění. Více osamělých sil se odděluje středníkem ";". Příklad zadání je vidět na obrázku 5. Na desku v tomto případě působí síly  $F_1 = 10$  kN na souřadnicích  $[1, 1]$ ,  $F_2 = 25.5$  kN na souřadnicích  $[2, 0.5]$  a  $F_3 = 12$  kN na souřadnicích  $[3.5, 1]$ .

osamělá síla

$F$	10; 25.5; 12	[kN]	?
$x$	1; 2; 3.5	[m]	?
$y$	1; 0.5; 1	[m]	?

Obrázek 5: Příklad správného zadání osamělé síly

Tlačítkem *Zpět* se lze vrátit na úvodní obrazovku. Tlačítkem *Zavřít* se program ukončí.

Pokud jsou zadány všechny aktivované hodnoty a zároveň splňují potřebné podmínky<sup>1</sup>, lze pokračovat do dalšího okna kliknutím na tlačítko *Výpočet momentů* nebo *Návrh výztuže*. Pokud je některá z hodnot zadána chybně, program nepokračuje na další okno. Nesprávně zadané hodnoty zčervenají (Obrázek 6). Uživatel nemůže pokračovat dál na výpočet, dokud nejsou všechny veličiny zadány správně.

<sup>1</sup>Pro efektivitu výpočtu se nedoporučuje zadávat velikost kroku sítě  $a$  menší než 0.1 m. Pro takto malý krok je přesnost výpočtu dostatečně velká. Zadání ještě menšího kroku vede k zdlouhávým výpočtům, které výsledné hodnoty téměř nezmění. Může být také vyčerpána paměť počítače a výpočet se neprovede.

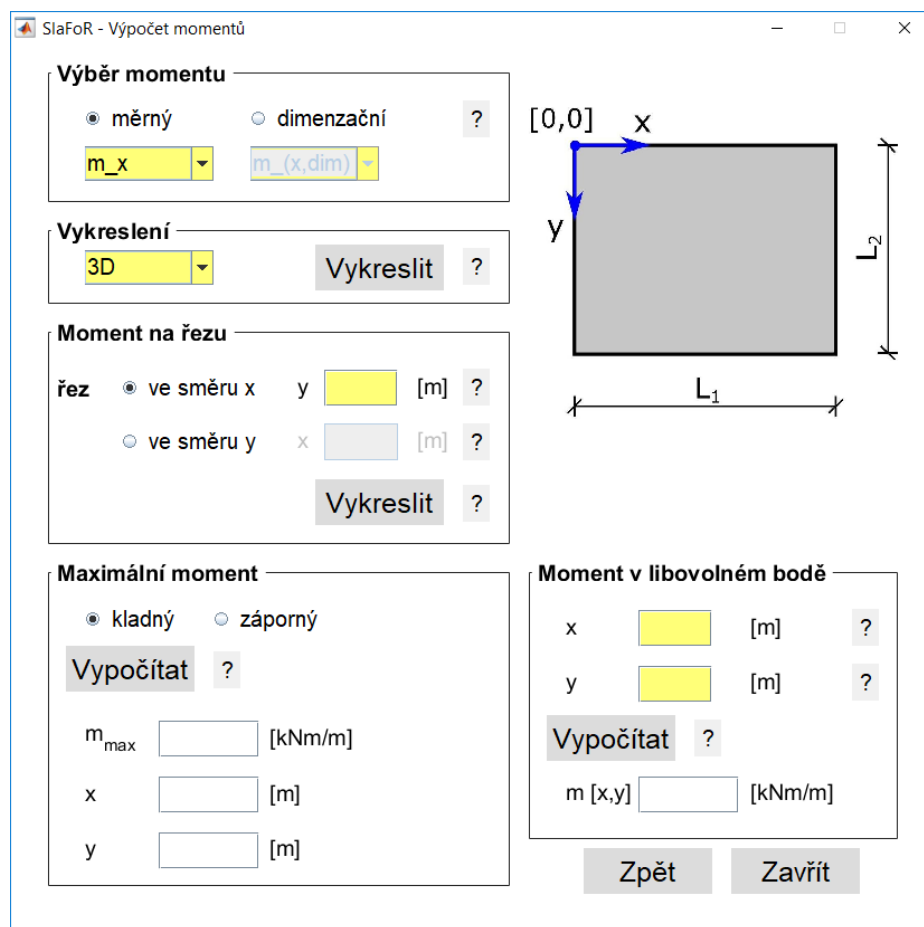
Obrázek 6: Příklad chybného zadání

## 0.4 Výpočet momentů

Jsou-li všechny hodnoty zadány správně, program může pokračovat. Po kliknutí na tlačítko *Výpočet momentů* se otevře nové okno (Obrázek 7), které je rozděleno do pěti funkčních částí. Obrázek napravo určuje počátek souřadného systému a směry os  $x$  a  $y$ .

V části *Výběr momentu* se přepínačem a v rolovací nabídce vybere požadovaný moment, se kterým se bude počítat:

- měrný - moment od působícího návrhového zatížení  $m_x$ ,  $m_y$  (ohybové momenty),  $m_{xy}$  (kroučící moment);
- dimenzační - ohybový moment zahrnující účinek kroucení  $m_{x,dim}$ ,  $m_{y,dim}$ .

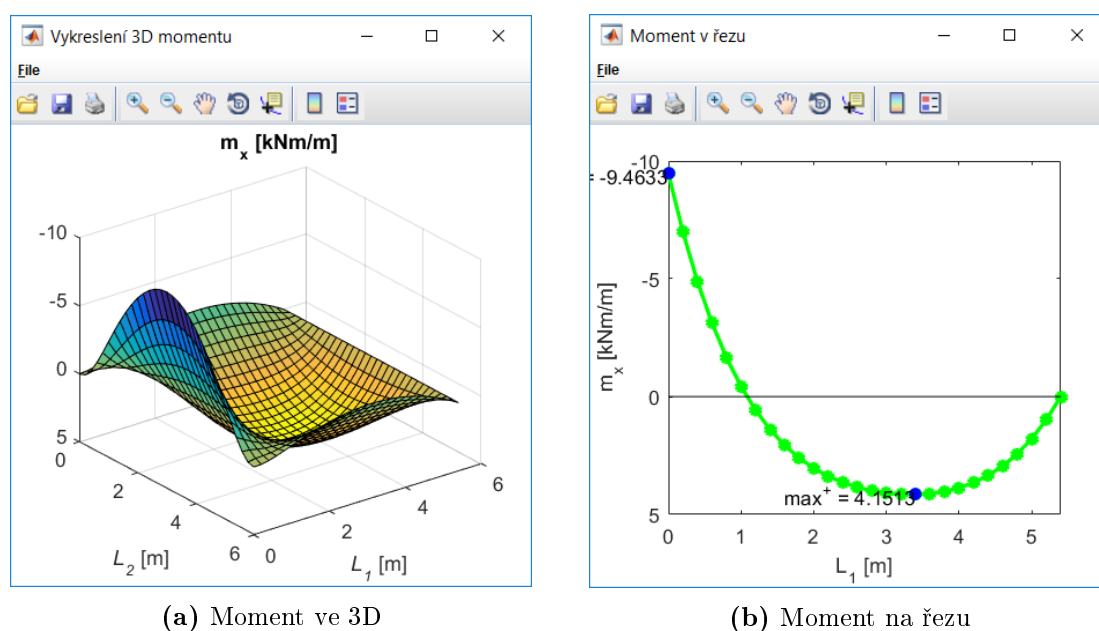


Obrázek 7: Okno pro výpočet momentů

Další čtyři části okna pracují se zadanými vstupy a poskytují grafický nebo číselný výstup zvoleného momentu.

1. **Vykreslení** - Vykreslí průběh zvoleného momentu ve 3D (Obrázek 8a) nebo ve 2D.
2. **Moment na řezu** - Přepínačem se zvolí směr řezu. Po zadání požadované souřadnice se vykreslí průběh momentu v řezu deskou s hodnotami extrémů (Obrázek 8b).
3. **Maximální moment** - Přepínačem se zvolí znaménko momentu. Vypočítá kladný nebo záporný extrém a jeho souřadnice na desce (Obrázek 9a).
4. **Moment v libovolném bodě** - Po zadání souřadnic vypočítá hodnotu zvoleného momentu v zadaném bodě (Obrázek 9b).

Tlačítkem *Zpět* se lze vrátit na zadávání vstupních hodnot. Tlačítkem *Zavřít* se program ukončí.



(a) Moment ve 3D

(b) Moment na řezu

Obrázek 8: Ukázka vykreslení průběhu momentu

**Maximální moment**

kladný    záporný

Vypočítat ?

$m_{max}$   [kNm/m]

x  [m]

y  [m]

**Moment v libovolném bodě**

x  [m] ?

y  [m] ?

Vypočítat ?

m [x,y]  [kNm/m]

(a) Maximální hodnota momentu

(b) Hodnota v libovolném bodě

Obrázek 9: Ukázka vypočítání hodnoty momentu

## 0.5 Návrh výztuže

Program *SlaFoR 1.0* umožňuje kromě výpočtu momentů také návrh výztuže. Po správném zadání vstupních parametrů (Obrázek 3) lze pokračovat kliknutím na tlačítko *Návrh výztuže*. Potřebná výztuž bude vypočítána na pokrytí dimenzačních momentů  $m_{x,dim}$  a  $m_{y,dim}$ , které lze vykreslit nebo vypočítat v okně popsáném v sekci 0.4.

Zobrazí se okno (Obrázek 10), které je rozdělené na dvě části - *Vstupní hodnoty* pro návrh výztuže a volba požadovaného *Vykreslení*.

V části *Vstupní hodnoty* se zadají vstupy pro návrh. Více informací o jednotlivých parametrech lze zjistit kliknutím na tlačítko se symbolem "?". Třída betonu se zadává v rolovací nabídce. Vlastnosti pro jednotlivé třídy jsou vidět na obrázku 1. Pro výpočet je důležitá



Obrázek 10: Okno pro návrh výztuže

charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku  $f_{ck}$ . Pevnost betonu v tahu  $f_{ctm}$  je potřebná pro zohlednění konstrukčních zásad. Modul pružnosti  $E$  je uživatelem zadán v předchozím okně (Obrázek 3) a v případě potřeby je nutné ho změnit manuálně.

Typ betonářské výztuže se volí v rolovací nabídce a liší se mezí kluzu  $f_{yk}$  podle tabulky na obrázku 2.

Průměr zrna kameniva  $D_{max}$  je důležitý pro výpočet konstrukčních zásad, které mohou být ve výpočtu zohledněny.

Vlastnost betonu		Třída betonu								
		C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
pevnost v tlaku	$f_{ck}$ [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	$f_{cm}$ [MPa]	20	24	28	33	38	43	48	53	58
pevnost v tahu	$f_{ctm}$ [MPa]	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
	$f_{ctk,0.05}$ [MPa]	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,2	2,5	2,7	2,9
	$f_{ctk,0.95}$ [MPa]	2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
$E_{cm}$ [GPa]		26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37
mezí přetvoření	$\epsilon_{cu} \cdot 10^{-4} \sigma_{oo}^{1/}$	-3,6	-3,5	-3,4	-3,3	-3,2	-3,1	-3,0	-2,9	-2,8
	$\epsilon_{cu} \cdot 10^{-4} \sigma_{oo}^{2/}$	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
<sup>1/</sup> pro výpočet únosnosti										
<sup>2/</sup> pro výpočet účinků zatížení										

Tabulka 1: Třídy betonu [?]

Při návrhu výztuže musí být splněna podmínka poměrné výšky tlačené oblasti, která je dána vztahem

$$\xi = \frac{x}{d} \leq \xi_{max} = 0.45. \quad (1)$$

Pokud tato podmínka není splněna, zobrazí se varovná hláška (Obrázek 11b) a návrh desky je třeba změnit.

Označení dle EN	Označení dle národních norem	Norma	Min. mez kluzu $f_{yk}$ [MPa]	Min. pevnost v tahu $f_{tk}$ [MPa]	Třída tažnosti
<b>B 420B</b>	A 400 NR	LNEC E 449	400	460	B
<b>B 500B</b>	10 505.9	ČSN 42 0139	500	550	B
	A 500 NR	LNEC E 450	500	550	B
	B500B	ZAG STS-07/014	500 - 650	550 (540)	B
	BSt 500 S	DIN 488	500	550	B
	BSt 500 WR		500	550	B
<b>B 550B</b>	BSt 550	ÖNORM B 4200	550	620	B

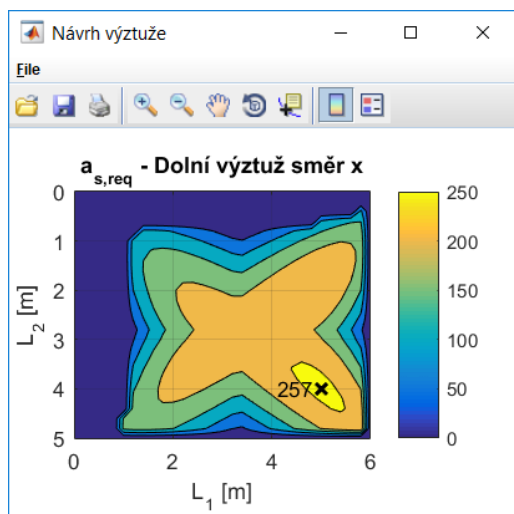
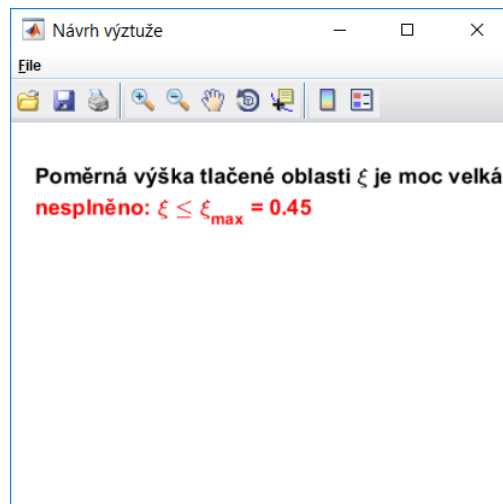
Tabulka 2: Typy betonářské výztuže [?]

Při zadávání hodnot lze v návrhu zohlednit konstrukční zásady, kterými jsou minimální a maximální plocha výztuže, maximální rozteč prutů, minimální světlá vzdálenost prutů. To se provede zaškrtnutím políčka *zohlednit konstrukční zásady*. Konstrukční zásady jsou vypočítány dle ČSN EN 1992-1-1 [?]. Musí být splněny nerovnice (2). Pokud některé hodnoty nesplňují minimální plochu nebo rozteč výztuže, upraví se tak, aby se rovnaly právě minimu (Obrázek 12b). Při nesplnění maximální plochy nebo rozteče výztuže se objeví varovná hláška. Pokud chceme vykreslit pouze staticky nutnou výztuž, políčko necháme nezaškrtnuté (Obrázky 11a a 12a). Vztahy pro výpočet konstrukčních zásad jsou:

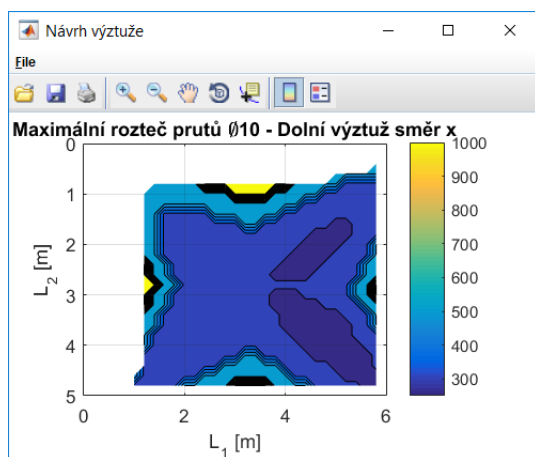
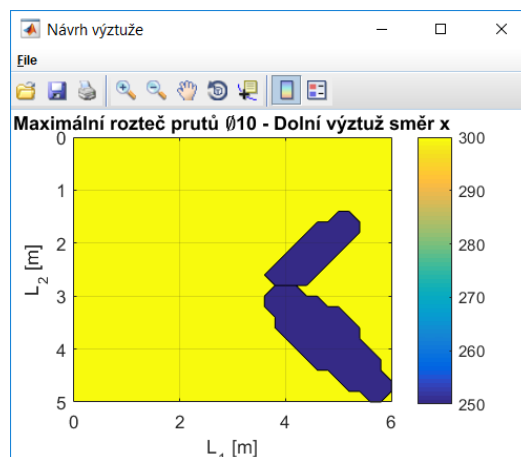
$$\begin{aligned}
 a_s &\geq a_{s,min} = \max\left(\frac{0.26f_{ctm}bd}{f_{yk}}; 0.0013bd\right), \\
 a_s &\leq a_{s,max} = 0.04bh, \\
 s_{max} &\leq \min(2h; 300\text{mm}), \\
 s_{l,min} &\geq \max(1, 2\varnothing; D_{max} + 5\text{mm}; 20\text{mm}).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Jakmile jsou zadány všechny potřebné vstupy, je možné pokračovat dál. V části *Vykreslení* se přepínacím tlačítkem zaškrtnou požadovaný povrch desky (horní nebo dolní) a směr výztuže ( $x$  nebo  $y$ ). Dále se v rolovací nabídce zvolí způsob vykreslení výztuže.

1.  $a_{s,rqd}$  [ $\text{mm}^2/\text{m}$ ] - Vykreslí potřebnou plochu výztuže. Křížkem je označena maximální hodnota (Obrázek 11). Izolinie jsou kresleny po  $50 \text{ mm}^2$ .
2.  $s_{max}$  [ $\text{mm}/\text{m}$ ] - Vykreslí maximální rozteč prutů v závislosti na zvoleném profilu (Obrázek 12). Izolinie jsou kresleny po 50 mm.

(a)  $a_{s,rqd}$  (bez konstrukčních zásad)(b)  $a_{s,rqd}$  (nesplnění podmínky  $\xi \leq \xi_{max}$ )

Obrázek 11: Ukázka vykreslení návrhu výztuže

(a)  $s_{max}$  (bez konstrukčních zásad)(b)  $s_{max}$  (včetně konstrukčních zásad)

Obrázek 12: Ukázka vykreslení návrhu výztuže