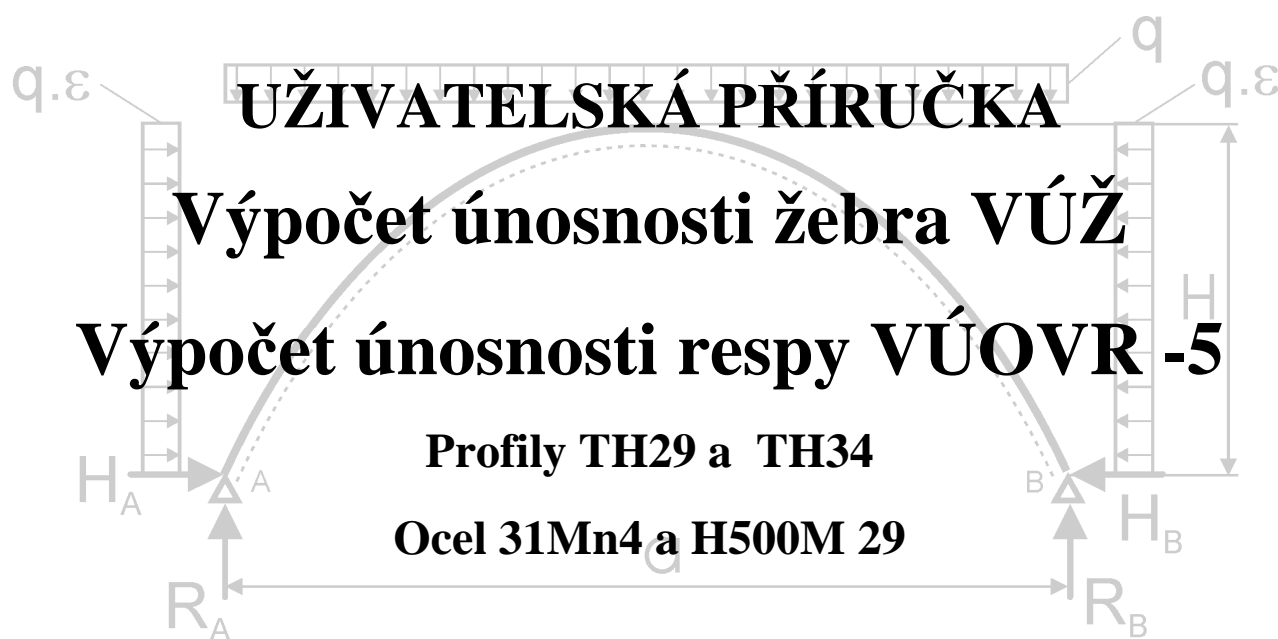


**Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Ostrava**

Fakulta stavební

Katedra stavební mechaniky



Zpracoval: Doc. Ing. Petr Janas, CSc.

Spolupracoval: Ing. Karel Janas

Vedoucí katedry: Doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.

Děkan: Prof. Ing. Radim Čajka, Ph.D.

Ostrava, květen 2014

Obsah

1. Úvod	3
2. Statické řešení ocelové obloukové výztuže dle teorie 1. řádu	4
2.1 Geometrická analýza konstrukce	4
2.2 Žebro a jeho geometrie	7
2.3 Respa a její geometrie	8
2.4 Statické řešení respy a žebra	9
2.5 Výpočet složek vnitřních sil, únosnosti a přetvoření konstrukce	15
2.6 Mezní hodnoty momentů a normálových sil	18
3. Program Výpočet únosnosti žebra –VÚŽ, pracovní verze	21
3.1 Zadávání vstupních dat	21
3.2 Výsledky výpočtu	22
3.3 Využití archivovaných dat	28
4. Program Výpočet únosnosti ocelové výztuže respy –VÚOVR-5	30
4.1 Zadávání vstupních dat	30
4.2 Výsledky výpočtu	32
5. Závěr	36
Literatura	37

1. Úvod

Předkládaná příručka je určena pro uživatele programů *Výpočet únosnosti žebra VUŽ* a *Výpočet únosnosti ocelové výztuže respy VÚOVR-5* z profilů TH29 a TH34 a z oceli 31Mn4 a H500M.

Programy jsou určeny pro výpočet únosnosti speciálních výztužních prvků **žeber a resp** aplikovaných při stavbě odboček z dlouhých důlních děl vyztužených ocelovou obloukovou výztuží. Tyto výztužní prvky mohou být z profilů TH29 a TH34 a z oceli 31Mn4 případně z oceli H500M. Výpočty platí pro teorii 1. řádu za předpokladu, že výztužní prvky jsou dvojklobově uloženy (u žeber s podporami v různé výšce u resp s podporami ve stejné výšce) a jsou zatíženy aktivním spojitým zatížením působícím shora a z boků důlního díla. Poměr bočního a svislého zatížení lze měnit. Výztuž může být tvořena 3 až 9 díly o různých délkách a o různém poloměru zakřivení. Odpor proti prokluzu spojovaných dílů je uvažován od 100 do 350 kN s krokem 50 kN.

Výztuž může být kromě toho (pro simulování zatížení od závěsné drážky) zatížena kombinovaně jednou silou působící ve zvoleném místě v rovině výztuže a aktivním spojitým zatížením působícím shora a z boků důlního díla.

Uživatelská příručka je rozdělena na dvě části. V první části jsou uvedeny teoretické analýzy, ze kterých vyplývalo vlastní zpracování programu. Pro možnost uživatelského komfortu byla značná pozornost věnována geometrické analýze problému. Snahou bylo přitom zajistit velmi jednoduché zadávání různých tvarů žeber, které se v zásadě liší počtem, délkou a poloměrem zakřivení jednotlivých dílů. Totéž platí pro respy. Vlastní statické řešení vychází z klasické silové metody, ve které jsou potřebné integrace řešeny numericky. Složky výslednice vnitřních sil, vypočtené pro zadané zatížení, umožňují určit místa limitující únosnost výztuže při dosažení mezních hodnot normálových sil a plastických ohybových momentů, které byly určeny pro profily TH29 a TH34 z uvažovaných ocelí. Vycházelo se přitom z průřezových charakteristik těchto profilů a dále z poznatků o mechanických vlastnostech aplikované oceli, z realizovaných a dostupných poznatků o ohybových zkouškách a v neposlední řadě z modelování profilu TH29. Nepostupovalo se striktně podle norem pro navrhování ocelových konstrukcí pozemních staveb. Tento postup by totiž, dle našich dlouhodobých zkušeností, vedl zejména v důlních podmínkách k nevhodným návrhům.

Předpokládá se, že žebro i respa se mohou chovat nepoddajně i poddajně. Toto chování je dáno zejména geometrií těchto uvažovaných výztužních prvků (charakterizovaných zpravidla velkým rozpětím) a způsobem zatížení, také ale hmotnostním stupněm (profilem), kvalitou oceli, řešením a kvalitou spojovacích prvků a jejich dotažením a aplikací středních podpor. V předloženém řešení se předpokládá znalost odporu proti prokluzu spojovaných dílů výztuží, která by se měla opírat o prokluzové zkoušky na rovných případně i na oblých tyčích.

První, teoretická část příručky, vychází z uživatelské příručky zpracované pro SW *Výpočet únosnosti ocelových obloukových výztuží VÚOOVCH* a z uživatelské příručky *Výpočet únosnosti ocelových výztuží prorážek VÚOVP-5* a dále je rozpracovává pro specifika charakteristická pro žebra a respy.

Druhá část příručky je vlastním návodem práce se SW zpracovanými v prostředí Microsoft Excel pomocí programovacího jazyka Visual Basic. Má opět dvě části, první se týká SW *Výpočet únosnosti žebra – VUŽ*, druhá SW *Výpočet únosnosti ocelové výztuže respy VÚOVR-5*. Pozornost je věnována zadávání vstupních dat, získávání a využívání výsledků řešení i ukázkám některých příkladů řešení.

2. Statické řešení ocelové obloukové výztuže dle teorie 1. řádu

Ocelová oblouková výztuž se vyrábí z různých hmotnostních profilů. Je zpravidla tvořena třemi a více kruhovými nebo i rovnými díly, které se vzájemně spojují šroubovými nebo třmenovými spoji. Konstrukce běžně dodávaných ocelových obloukových výztuží jsou v prospektech výrobců. Často se však pro konkrétní situace volí konstrukce atypické. Pro všechny je většinou nutno určit únosnost výztuže a to často operativně pro různá zatížení. Každý kruhový díl je určen svou délkou, poloměrem zakřivení a profilem průřezu, který je pro všechny díly obloukové výztuže zpravidla stejný. V některých případech má díl výztuže dva poloměry zakřivení. Často je dokonce část dílu výztuže rovná. Rovný díl je určen svou délkou, jeho poloměr zakřivení je teoreticky nekonečně velký, prakticky pak tak velký, aby chyba z jeho zakřivení byla ve výpočtu zcela nepodstatná.

Výpočet předpokládá spojitě, v této kapitole rovnoměrné svislé a vodorovné zatížení a dvojkolbové uložení ocelového oblouku. Poměr vodorovného a svislého zatížení ε může být v závislosti na podmínkách velmi různý. Lze jej proto volit parametricky v rozmezí od $\varepsilon = 0$ do $\varepsilon = \infty$, přičemž $\varepsilon = 0$ odpovídá situaci, kdy výztuž je zatížena pouze svislým spojitým zatížením, $\varepsilon = \infty$ pak odpovídá situaci, kdy výztuž je zatížena pouze z obou boků horizontálním spojitým zatížením.

Výpočet umožňuje současně volit zatížení ocelové obloukovou výztuže svislou silou působící v zadaném místě v rovině oblouku učeném vzdáleností od levé podpory (tj. hodnotou souřadnice x) – viz obr.7.

Výpočet má několik částí a to

- zpracování geometrie ocelové obloukové výztuže,
- numerické řešení staticky neurčité konstrukce silovou metodou pro zadaná zatížení,
- výpočet složek vnitřních sil, únosnosti výztuže a složek přetvoření.

2.1 Geometrická analýza konstrukce

Kvalitní geometrická analýza tvoří základ celého řešení a uživatelského komfortu. Kruhový díl j nechť má délku L_j , poloměr r_j a je překryt s následujícím dílem $j+1$ v délce d_j . Pro popis geometrie konstrukce oblouku je potřebné zvolit vhodný souřadný systém. Předpokládáme-li, že kloubové podpory obloukové výztuže **A** a **B** jsou ve stejné výši, pak je vhodné zvolit počátek kartézského souřadného systému do levé podpory **A** tak, aby osa x procházela oběma kloubovými podporami a osa y byla svislá. Je-li konstrukce definována počtem kruhových dílů, délkou a poloměrem zakřivení každého z nich a délkou překrytí sousedních dílů, pak spojnice bodů **A** **B** není definována přímo, lze ji však ze zadaných hodnot jednoznačně určit.

Zvolíme-li např. nejdříve souřadný systém x', y' tak, že jeho počátek bude ležet v bodě **A**, tj. v levé podpoře výztuže a směr osy x' bude rovnoběžný s osou 1. oblouku x'' (viz obr. 1), má střed S_1 kružnice prvního kruhového dílu souřadnice

$$x_1' = r_1 \cdot \cos \frac{\varphi_1}{2} = r_1 \cdot \cos \Phi_1 \quad (2.1)$$

$$y_1' = r_1 \cdot \sin \frac{\varphi_1}{2} = r_1 \cdot \sin \Phi_1 \quad (2.2)$$

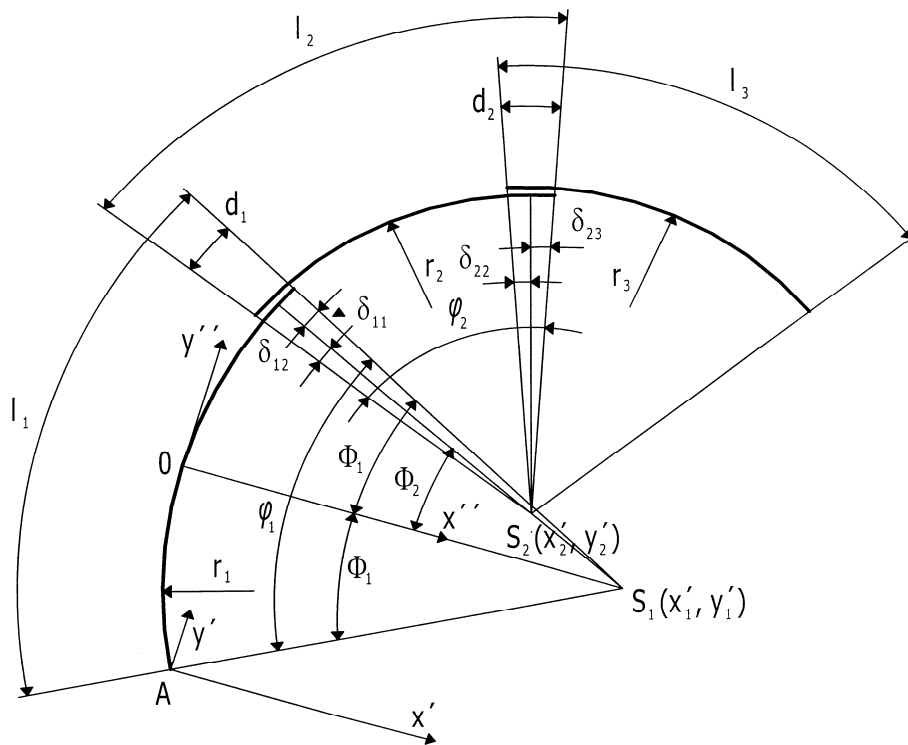
kde $\varphi_1 = l_1 / r_1$ a $\Phi_1 = \varphi_1 / 2$

Střed S_2 kružnice 2. dílu má (viz obr. 1) v souřadném systému x', y' souřadnice:

$$x_2' = x_1' + (r_2 - r_1) \cdot \cos \Phi_{21} \quad (2.3)$$

$$y_2' = y_1' - (r_2 - r_1) \cdot \sin \Phi_{21} \quad (2.4)$$

kde $\Phi_2 = \Phi_1 - \delta_{1,1}$ a $\delta_{1,1} = d_1 / (2 * r_1)$



Obr. 1 Souřadnice 1. a 2. dílu oblouku v souřadném systému x', y' .

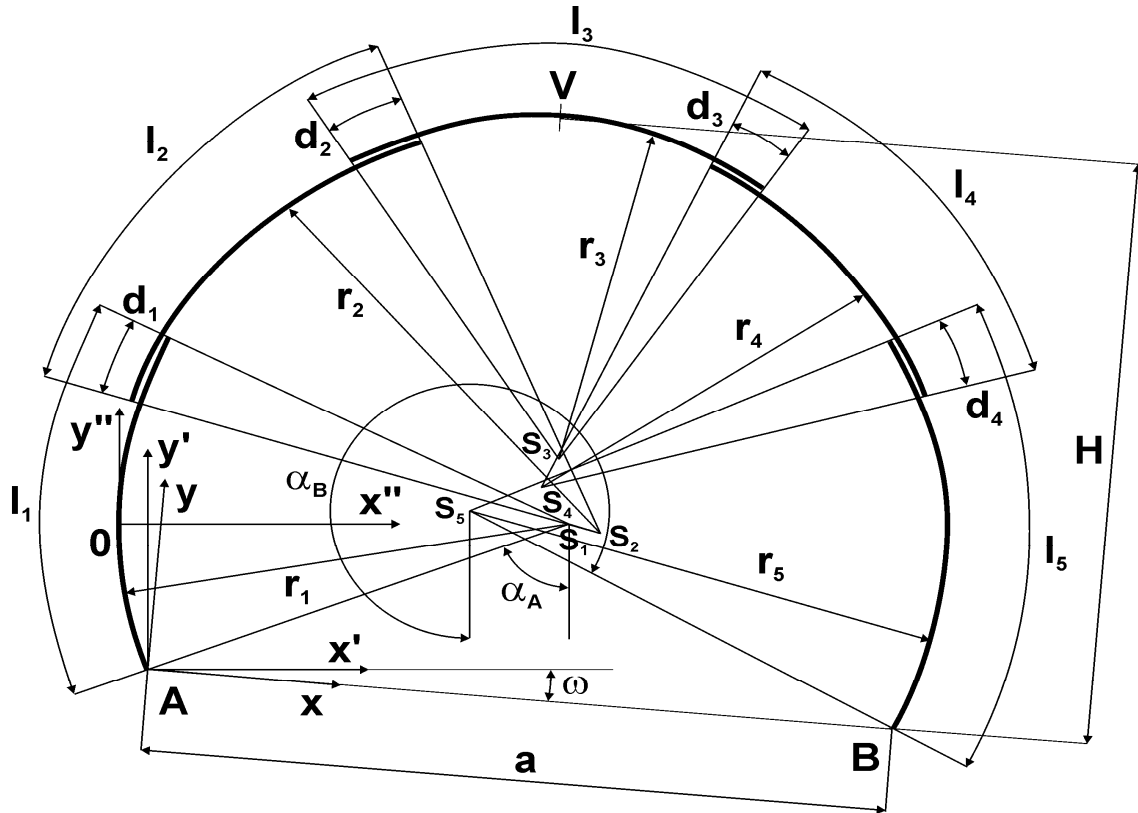
Obecně pro střed kružnice **j-tého** dílu (pro $j > 2$) v souřadném systému x', y' platí:

$$x_j' = x_{j-1}' + (r_{j+1} - r_j) \cdot \cos \Phi_j \quad (2.5)$$

$$y_j' = y_{j-1}' - (r_{j+1} - r_j) \cdot \sin \Phi_j \quad (2.6)$$

kde, $\Phi_j = \Phi_{j-1} + \varphi_{j-1} - (\delta_{j-2,j-1} + \delta_{j-1,j-1}),$

$$\delta_{j-2,j-1} = d_{j-2} / (2 * r_{j-1}), \quad \delta_{j-1,j-1} = d_{j-1} / (2 * r_{j-1}), \quad \varphi_{j-1} = l_{j-1} / r_{j-1}.$$



Obr.2 Geometrické schéma soustavy kruhových oblouků.

Souřadnice x_B' a y_B' bodu **B**, tj. druhé kloubové podpory výztuže (viz obr.2) jsou:

$$x_B' = x_m' - r_m \cdot \sin \alpha_B \quad (2.7)$$

$$y_B' = y_m' - r_m \cdot \cos \alpha_B, \quad (2.8)$$

kde $\alpha_B = \Phi_n + \varphi_n - \delta_{n-1,n} + \pi/2$, přičemž m je celkový počet kruhových dílů výztuže (na obr. 2 je $m = 5$).

Zvolíme-li souřadný systém tak, aby osa x ležela na spojnici bodů A a B a osa y byla na tuto osu kolmá (obr. 2), pak souřadné systémy x', y' a x, y jsou vzájemně natočeny o úhel ω , jehož hodnota vyplývá ze vztahu

$$\omega = \arctg \frac{y_B'}{x_B'} \quad (2.9)$$

Transformace souřadnic středů kružnic S_j jednotlivých kruhových dílů obloukové výztuže do souřadného systému x, y lze pak provést pomocí známých vztahů :

$$x_j = x_j' \cdot \cos \omega + y_j' \cdot \sin \omega \quad (2.10)$$

$$y_j = y_j' \cdot \cos \omega - x_j' \cdot \sin \omega \quad (2.11)$$

Znalost souřadnic středů kružnic jednotlivých dílů obloukové výztuže umožňuje jednoznačně popsat geometrii konstrukce, což je nezbytný podklad pro vlastní statické řešení.

Vstupními hodnotami pro zpracování geometrie oblouku složeného z několika kruhových dílů je, jak vyplývá z výše uvedeného, počet dílů m a u každého dílu j pak jeho délka l_j , poloměr zakřivení r_j a délka překrytí sousedních dílů d_j . Z podmínky, že podpory jsou ve stejné výši, je pak geometrie oblouku jednoznačně definována.

Takto se postupuje při geometrické analýze obloukové výztuže a obecně každé výztuže, která má podpory ve stejné výšce. Platí to i pro respu, která je tvořena bočními oblouky a zpravidla rovnou stropní částí. Ta se modeluje dostatečně velkým poloměrem zakřivení.

2.2 Žebro a jeho geometrie

Žebro je speciální výztužní prvek, který se aplikuje zejména při vyztužování odboček. Má jednu podporu na počvě, druhou pak tvoří zpravidla respa. Podpory jsou tedy v různých výškových úrovních. Geometrie žebra je zřejmé z obr. 3. Při zadávání žebra obdobně jako obloukové výztuže, budou podpory **A** a **B** ve stejné výši. Rovná část žebra se přitom zadává svou délkou a dostatečně velkým poloměrem zakřivení, např. 2500000 mm, tj. $2,5 \cdot 10^6$ mm. V tomto případě budou podpora **A** (levý počáteční bod žebra) a podpora **B** (pravý koncový bod žebra) ležet ve stejné výši, budou mít souřadnice $y_A = y_B = 0$, přičemž souřadnice x_B bude odpovídat vzdálenosti bodů **A-B**. Rovná část žebra bude mít úhel α_i ve všech bodech shodný (s malou nepřesností). Pro zajištění horizontální úrovně rovné části žebra, musí být souřadný systém zvolen tak, aby v rovné části bylo $\alpha_B = \pi$. Souřadný systém se tedy musí otočit o hodnotu ω , jehož hodnota vyplývá ze vztahu:

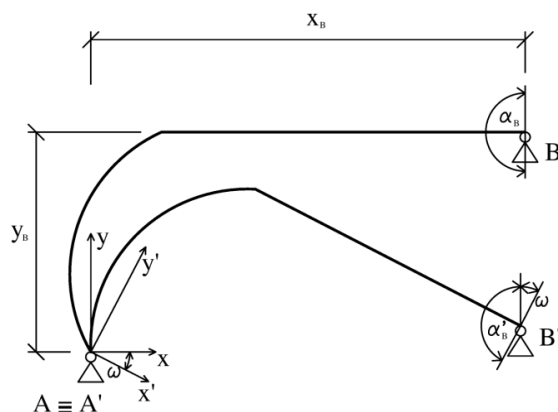
$$\pi = \alpha'_B + \omega \Rightarrow \omega = \pi - \alpha'_B \quad (2.12)$$

α'_B je hodnota směrnice rovné části žebra v bodě **B** před otočením souřadného systému. Počítá se stejně jako pro obloukovou výztuž, tj.:

$$\alpha'_B = \Phi_n + \varphi_n - \delta_{n-1,n} + \frac{\pi}{2} \quad (2.13)$$

O hodnotu ω se pootočí osy x' i y' do polohy os x , y , V takto transformovaném souřadném systému bude výška žebra odpovídat $H = y_B$, přičemž bude současně platit $y_A = 0$. Transformační vzorce jsou:

$$\begin{aligned} x_j &= x'_j \cos \omega + y'_j \sin \omega \\ y_j &= y'_j \cos \omega - x'_j \sin \omega \end{aligned} \quad (2.14)$$



Obr.3 Schéma transformace žebra

2.3 Respa a její geometrie

Respa je speciální výztužní prvek, který se aplikuje zejména při vyztužování odboček. Tvoří jednu z podpor žebor, která ji zatěžují. Mají zpravidla přímou stropní část, zatímco boční díly jsou tvořeny oblouky. Stropní část se pro zvýšení únosnosti často zdvojuje. Pro dosažení potřebné únosnosti respy se stropní část podepírá často středními stojkami případně dlouhými kotvami, obecně středními podporami. Geometrii lze řešit stejně jako u obloukové výztuže s tím, že přímá část respy se řeší opět volbou dostatečně velkého poloměru zakřivení. Respy mají často krátké prodloužené přímé části, které tvoří krakorce. Ty tvoří podporu jednoho až dvou žebor. Pro respektování vlivu zatíženého krakorce na únosnost celé respy je nutno znát délku krakorce, která je dále označena k a místo na levé a na pravé straně respy, kde tento krakorec se napojuje na přímou stropní část respy. Tyto body lze označit souřadnicí x . Na levé straně respy pak x_l na pravé straně respy pak x_p .

Předpokládá se, že výztuž je symetrická. Délka krakorce na levé a na pravé straně respy je pak stejná. Souřadnici x_l lze zadat nepřímou. Stačí označit díl, na jehož konci je uvedena souřadnice. Bude to ten díl, jehož směřnice na konci bude odpovídat rovné části respy. Všechny díly výztuže (viz níže) se rozdělují na dílky. Každý dílek má své pořadové číslo i . Hodnotu x_l lze pak vypočítat tak, že se hledá odpovídající pořadové číslo i dílku, na jehož konci souřadnici x_l hledáme. Pro součet všech dílků 1 až i platí:

$$\sum_1^i \Delta s_i = L_1 + L_2 + \dots + L_{OZN} - D_1 - D_2 - \dots - D_{OZN-1} \quad (2.15)$$

L_1, L_2, \dots, L_{OZN} jsou délky jednotlivých dílků, včetně označeného dílu L_{OZN} .

$D_1, D_2, \dots, D_{OZN-1}$ jsou délky překrytí sousedních dílků, včetně překrytí předposledního dílu D_{OZN-1} .

Souřadnici x_l lze pak určit dle vztahu (2.16), v němž i je pořadové číslo dílku, které zajišťuje splnění podmínky (2.15), x_l je souřadnice středu tohoto dílku a Δs_i jeho délka:

$$x_l = x_i + \frac{\Delta s_i}{2} \quad (2.16)$$

Pro pravou část výztuže bude délka krakorce stejná a souřadnice x_p pro symetrickou respu vyplývá z dále uvedené podmínky (2.17), přičemž x_B je x -ová souřadnice podpory B , když počátek souřadného systému je v podpoře A :

$$x_p = x_B - x_l \quad (2.17)$$

2.4 Statické řešení respy a žebra

Statické řešení respy a žebra je obdobné jako u ocelové obloukové výztuže [11]. V daném případě se volila opět klasická silová metoda zejména pro uvažovaný nízký stupeň statické neurčitosti a jednoduchost výpočtu pro daný případ. Případný uživatel nemusí mít navíc k dispozici žádný nákladně pořízený SW. Stačí tabulkový procesor EXCEL, kterým je vybaven dnes každý stolní počítač.

Při výpočtu staticky neurčité veličiny, kterou může být při dvojkolbovém uložení např. některá z horizontálních reakcí v místě uvolněné kloubové podpory, je vhodné výpočet přetvoření provést numerickou integrací po rozdělení každého kruhového dílu včetně vzájemně se překrývajících dílů na dostatečně malé dílky. Každý dílek má svou délku, může mít i různé statické i fyzikální parametry. Má také svou geometrickou polohu definovanou v každém dílku souřadnicemi svého středu x_i , y_i a směrnicí tečny ke střednici A_i . Souřadnice středu každého dílku i v souřadném systému x , y lze vypočítat po rozdělení každého dílu výztuže a překrytí na volený počet dílků, když známe souřadnice středu každého kruhového dílu oblouku a délku dílku Δs_i . Totéž platí o směrnicí střednice v tomto bodě.

Po výpočtu přetvoření s využitím principu virtuálních prací, lze staticky neurčitou sílu $X_1 = H_B$ určit z výrazu

$$X_1 = - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_{0i} * M_{1i} * \Delta s_i}{E * J_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{0i} * N_{1i} * \Delta s_i}{E * A_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{M_{1i} * M_{1i} * \Delta s_i}{E * J_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{1i} * N_{1i} * \Delta s_i}{E * A_i}} \quad (2.18)$$

- kde
- n** je počet všech dílků ocelové obloukové výztuže,
 - J_i** je moment setrvačnosti **i-tého** dílku výztuže,
 - A_i** je plocha průřezu **i-tého** dílku výztuže,
 - E** je modul pružnosti výztuže,
 - M_{0i}** je ohybový moment v bodě **i** způsobený daným zatížením základní staticky určité sestavy výztuže,
 - N_{0i}** je normálová síla v bodě **i** způsobená daným zatížením základní staticky určité sestavy výztuže,
 - M_{1i}** je ohybový moment v bodě **i** způsobený jednotkovou silou $X_1=1$ základní staticky určité sestavy výztuže,
 - N_{1i}** je normálová síla v bodě **i** způsobená jednotkovou silou $X_1=1$ základní staticky určité sestavy výztuže,
 - Δs_i** je délka **i-tého** dílku výztuže.

Schéma rozdělení výztuže respy na dílky je zřejmé z obr. 4, schéma rozdělení žebra na dílky je zřejmé z obr. 5. Počet dílků **n** by měl být v zásadě takový, aby jeho zvětšování prakticky neovlivňovalo výsledek. Takto je dále volen. Pro střed každého dílku jsou vypočteny ohybové momenty a normálové síly potřebné pro výpočet staticky neurčité síly X_1 při zvoleném zatížení $q = 1$.

$$\begin{aligned}
\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \delta_{14} \cdot X_4 + \delta_{15} \cdot X_5 + \delta_{16} \cdot X_6 &= -\delta_{10} \\
\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \delta_{24} \cdot X_4 + \delta_{25} \cdot X_5 + \delta_{26} \cdot X_6 &= -\delta_{20} \\
\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \delta_{34} \cdot X_4 + \delta_{35} \cdot X_5 + \delta_{36} \cdot X_6 &= -\delta_{30} \\
\delta_{41} \cdot X_1 + \delta_{42} \cdot X_2 + \delta_{43} \cdot X_3 + \delta_{44} \cdot X_4 + \delta_{45} \cdot X_5 + \delta_{46} \cdot X_6 &= -\delta_{40}, \quad (2.19) \\
\delta_{51} \cdot X_1 + \delta_{52} \cdot X_2 + \delta_{53} \cdot X_3 + \delta_{54} \cdot X_4 + \delta_{55} \cdot X_5 + \delta_{56} \cdot X_6 &= -\delta_{50} \\
\delta_{61} \cdot X_1 + \delta_{62} \cdot X_2 + \delta_{63} \cdot X_3 + \delta_{64} \cdot X_4 + \delta_{65} \cdot X_5 + \delta_{66} \cdot X_6 &= -\delta_{60}
\end{aligned}$$

ve kterých jsou deformační koeficienty dány vztahy (2.20), přičemž platí $\delta_{jk} = \delta_{kj}$ a indexy j a k nabývají hodnot od 1 do 6:

$$\begin{aligned}
\delta_{11} &= \int \frac{M_1 \cdot M_1}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{1i} \cdot M_{1i}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i \\
\delta_{12} &= \int \frac{M_1 \cdot M_2}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{1i} \cdot M_{2i}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i
\end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\delta_{jk} = \int \frac{M_j \cdot M_k}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ji} \cdot M_{ki}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i$$

Pro zatěžovací členy pak platí obdobně:

$$\begin{aligned}
\delta_{10} &= \int \frac{M_1 \cdot M_0}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{1i} \cdot M_{0i}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i \\
\delta_{20} &= \int \frac{M_2 \cdot M_0}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{2i} \cdot M_{0i}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i
\end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\delta_{60} = \int \frac{M_6 \cdot M_0}{EI} ds = \sum_{i=1}^n \frac{M_{6i} \cdot M_{0i}}{(E \cdot I)_i} \cdot \Delta s_i$$

Ve výše uvedených vztazích je \mathbf{M}_{2i} , (\mathbf{M}_{3i} , \mathbf{M}_{4i} , \mathbf{M}_{5i} a \mathbf{M}_{6i}) ohybový moment v bodě i způsobený jednotkovou silou $\mathbf{X}_2(\mathbf{X}_3, \mathbf{X}_4, \mathbf{X}_5, \mathbf{X}_6)=1$ základní staticky určité sestavy výztuže působící v místě \mathbf{x}_{P1} (\mathbf{x}_{P2} , \mathbf{x}_{P3} , \mathbf{x}_{P4} a \mathbf{x}_{P5}), kde je umístěna střední podpora \mathbf{P}_1 (\mathbf{P}_2 , \mathbf{P}_3 , \mathbf{P}_4 , a \mathbf{P}_5).

Zatížení konstrukce může být jistě velmi různé. V dalším vycházíme z předpokladu, že na výztuž působí ve svislém směru spojitě zatížení \mathbf{q} , v horizontálním směru pak spojitě zatížení $\mathbf{q}_h = \varepsilon \cdot \mathbf{q}$, dle obr. 6, respektive obr.7. Poměr bočního a svislého zatížení lze měnit v širokých mezích a lze tak volit velmi různá schémata zatížení.

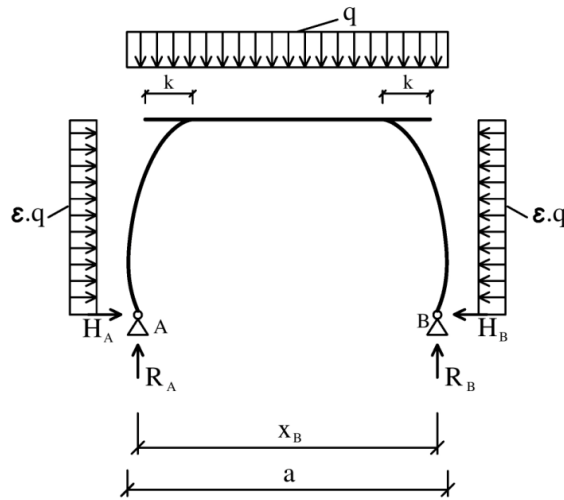
Poznámka:

U respý, na rozdíl od žebra, se předpokládá, že aktivní svislé zatížení působí pouze na rovnou stropní část respý včetně krakorců. Nepůsobí zde tedy na boční zpravidla zakřivené boční podpory.

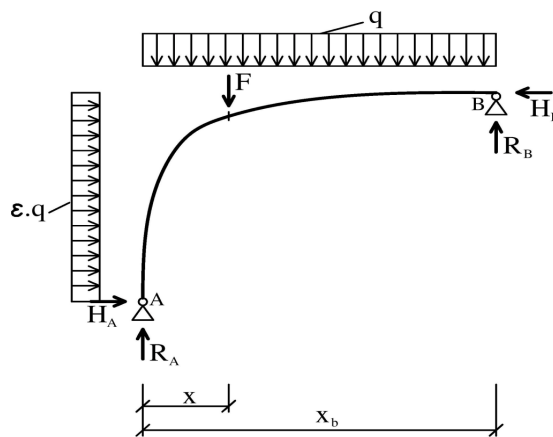
V tomto SW jsou zatížení pouze aktivní, což umožňuje výztuž řešit pouze jako 1x staticky neurčitou (nejsou-li aplikovány střední podpory), přičemž za neznámou

staticky neurčitou veličinu lze výhodně volit horizontální reakci v podpoře **B** – $X_1 = H_B$. Zbývající reakce R_A , R_B a H_A , lze pak snadno určit např. z podmínek rovnováhy. U respý se předpokládá, že její rovné části mohou být na obou stranách prodlouženy. Tvoří tak krakorce, které mají svou délku a jsou spojeny s boční částí respý v místě x_l , s pravou částí v místě x_p .

Z obr. 7 vyplývá, že výztuž je zatížena rovněž silou **F**. Ta působí na žebro v jeho rovině svisle ve vzdálenosti **x** od podpory **A**. Síla **F** může působit ve vzdálenosti **x** od podpory **A** i na respě.



Obr.6 Zatěžovací schéma respý.



Obr.7 Zatěžovací schéma žebra.

V případě že je aplikováno 5 středních podpor, pak reakce R_{Aq} , R_{Bq} a H_{Aq} pro svislé zatížení **q** jsou dáno vztahy (2.22):

$$\begin{aligned}
 R_{Aq} &= R_{A0} + R_{A1} \cdot X_{1q} + R_{AP1} \cdot X_{2q} + R_{AP2} \cdot X_{3q} + R_{AP3} \cdot X_{4q} + R_{AP4} \cdot X_{5q} + R_{AP5} \cdot X_{6q} \\
 R_{Bq} &= R_{B0} + R_{B1} \cdot X_{1q} + R_{BP1} \cdot X_{2q} + R_{BP2} \cdot X_{3q} + R_{BP3} \cdot X_{4q} + R_{BP4} \cdot X_{5q} + R_{BP5} \cdot X_{6q} \\
 H_{Aq} &= H_{Bq} = X_{1q}
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

Zde jsou X_{1q} až X_{6q} staticky neurčené síly při svislém zatížení výztuže q , R_{A0} (R_{B0}) svislé reakce v podporách **A** a **B** na základní staticky určité konstrukci při svislém zatížení q , R_{A1} (R_{B1}) svislé reakce v podporách **A** a **B** při působení jednotkové síly $X_1=1$, R_{AP1} až R_{AP5} (R_{BP1} až R_{BP5}) svislé reakce v podpoře **A** (**B**) při působení jednotkové síly v místě umístění středních podpor X_{P1} (X_{P2} , X_{P3} , X_{P4} a X_{P5}). Svislé reakce R_{A0} a R_{B0} v podporách **A** a **B** základní staticky určité konstrukce lze pro $q=1$ u žebra určit ze vztahů (2.22a):

$$R_{A0} = \frac{a^2}{2 \cdot x_B} \quad R_{B0} = \frac{a \cdot (2 \cdot x_B - a)}{2 \cdot x_B} \quad (2.22a)$$

$$\text{kde } a = x_B - x_{\min}$$

Pro respu s krakorci o délce k pak je:

$$R_{A0} = \frac{a^2}{2 \cdot x_B} + k \quad R_{B0} = \frac{a \cdot (2 \cdot x_B - a)}{2 \cdot l} + k \quad (2.22b)$$

$$\text{kde } a = x_{\max} - x_{\min}$$

Pro ostatní svislé reakce při působení odpovídajících jednotkových sil pak platí (2.22c):

$$\begin{aligned} R_{A1} &= \frac{y_{\max}}{l} & R_{B1} &= -\frac{y_{\max}}{l} \\ R_{AP1} &= \frac{S_1}{l} - 1 & R_{BP1} &= -\frac{S_1}{l} \\ R_{AP2} &= \frac{S_2}{l} - 1 & R_{BP2} &= -\frac{S_2}{l} \\ R_{APi} &= \frac{S_i}{l} - 1 & R_{BPi} &= -\frac{S_i}{l} \\ R_{AP5} &= \frac{S_5}{l} - 1 & R_{BP5} &= \frac{S_5}{l} \end{aligned} \quad (2.22c)$$

Při zatížení pouze horizontálním zatížením $q_h=1$ lze obdobně odvodit pro reakce R_{Aqh} a R_{Bqh} vztahy (2.23) a při zatížení silou F pak reakce R_{AF} a R_{BF} (2.24).

$$\begin{aligned} R_{Aqh} &= R_{A0qh} + R_{A1} \cdot X_{1qh} + R_{AP1} \cdot X_{2qh} + R_{AP2} \cdot X_{3qh} + R_{AP3} \cdot X_{4qh} + R_{AP4} \cdot X_{5qh} + R_{AP5} \cdot X_{6qh} \\ R_{Bqh} &= R_{B0qh} + R_{B1} \cdot X_{1qh} + R_{BP1} \cdot X_{2qh} + R_{BP2} \cdot X_{3qh} + R_{BP3} \cdot X_{4qh} + R_{BP4} \cdot X_{5qh} + R_{BP5} \cdot X_{6qh} \\ H_{Aqh} &= H_{A0qh} + H_{A1} \cdot X_{1qh} \\ H_{Bqh} &= H_{B0qh} + H_{B1} \cdot X_{1qh} = H_{B0qh} + H_{B1} \cdot X_{1qh} \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned}
R_{AF} &= R_{A0F} + R_{A1} \cdot X_{1F} + R_{AP1} \cdot X_{2F} + R_{AP2} \cdot X_{3F} + R_{AP3} \cdot X_{4F} + R_{AP4} \cdot X_{5F} + R_{AP5} \cdot X_{6F} \\
R_{BF} &= R_{B0F} + R_{B1} \cdot X_{1F} + R_{BP1} \cdot X_{2F} + R_{BP2} \cdot X_{3F} + R_{BP3} \cdot X_{4F} + R_{BP4} \cdot X_{5F} + R_{BP5} \cdot X_{6F} \\
H_{Aq} &= H_{Bq} = X_{1F}
\end{aligned} \tag{2.24}$$

Ve výše uvedených rovnicích (2.23) jsou R_{A0qh} a R_{B0qh} svislé reakce v podporách **A** a **B** vyvolané pouze bočním zatížením $q_h=1$ základní staticky určité konstrukce, H_{A0qh} a H_{B0qh} jsou horizontální reakce při stejném zatížení. Jejich hodnota pro žebra vyplývá ze vztahů (2.23a) a pro respy z (2.23b):

$$R_{A0qh} = R_{B0qh} = 0 \quad H_{A0qh} = q_h \cdot y_{\max} = y_{\max} \quad H_{B0qh} = 0 \tag{2.23a}$$

$$R_{A0qh} = R_{B0qh} = 0 \quad H_{A0qh} = H_{B0qh} = 0 \tag{2.23b}$$

V rovnicích (2.24) jsou obdobně R_{A0F} a R_{B0F} svislé reakce v podporách **A** a **B** vyvolané pouze zatížením silou **F** základní staticky určité konstrukce působící v bodě výztuže se souřadnicí x_F . Jejich hodnota vyplývá z (2.24a):

$$R_{A0F} = F \cdot \frac{x_b - x_F}{x_b} \quad R_{B0F} = F \cdot \frac{x_F}{x_b} \quad H_{A0Fh} = H_{B0Fh} = 0 \tag{2.24a}$$

Je pochopitelné, že výše uvedené vztahy se budou modifikovat dle počtu středních podpor. Nejsou-li vůbec střední podpory, pak $X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = X_6 = 0$ a to pro zatížení svislé, horizontální i silou **F**. Vztahy (2.22) pak např. nabývají tvar (2.25):

$$R_{Aq} = R_{A0} + R_{A1} \cdot X_{1q} \quad R_{Bq} = R_{B0} + R_{B1} \cdot X_{1q} \quad H_{Aq} = H_{Bq} = X_{1q} \tag{2.25}$$

2.5 Výpočet složek vnitřních sil, únosnosti a přetvoření konstrukce

Složky vnitřních sil i přetvoření při zvoleném zatížení jsou dále počítány pro středy jednotlivých dílků. Výpočet složek vnitřních sil v bodech **i** (M_{1i} , N_{1i} , V_{1i}) způsobených pouze svislým zatížením $q_1 = 1$, pouze vodorovným zatížením $q_{h1} = 1$ (M_{2i} , N_{2i} , V_{2i}) případně pouze silou **F** (M_{Fi} , N_{Fi} , V_{Fi}) ve staticky neurčitém dvojklobovém oblouku lze snadno numericky realizovat běžnými postupy známými ze statiky. Pro dané ε , jsou pak složky vnitřních sil dány superpozicí:

$$\begin{aligned}
M_{ci} &= M_{Fi} + \kappa \cdot (M_{1i} + \varepsilon \cdot M_{2i}) = M_{Fi} + \kappa \cdot M_i \\
N_{ci} &= N_{Fi} + \kappa \cdot (N_{1i} + \varepsilon \cdot N_{2i}) = N_{Fi} + \kappa \cdot N_i \\
V_{ci} &= V_{Fi} + \kappa \cdot (V_{1i} + \varepsilon \cdot V_{2i}) = V_{Fi} + \kappa \cdot V_i
\end{aligned} \tag{2.26}$$

Výše uvedené řešení vychází ze základních předpokladů platných pro pružnostní řešení, tj. :

- geometrická linearita, kdy se počítá pouze s návrhovou geometrií konstrukce a pro přetvoření se předpokládá, že jsou natolik malá, že neovlivňují velikost vnitřních sil a momentů v ocelové obloukové výztuži,
- fyzikální linearita, kdy se předpokládá lineární závislost mezi napětím a přetvořením.

Pokud se týká výpočtu únosnosti výztuže, pak lze aplikovat klasické pružné řešení, dle kterého musí být splněna v každém uvažovaném bodu ocelové výztuže podmínka:

$$\frac{|N_{ci}| \cdot \gamma_{M0}}{A \cdot f_y} + \frac{|M_{ci}| \cdot \gamma_{M0}}{W_x \cdot f_y} \leq 1 \quad (2.27)$$

kde

- N_{ci}** je normálová síla v posuzovaném průřezu **i** od zatížení ve svislém směru **F** a **$q = \kappa \cdot q_1$** a ve vodorovném směru **$q_{h1} = \varepsilon \cdot q = \varepsilon \cdot \kappa \cdot q_1$** ,
- M_{ci}** je ohybový moment v posuzovaném průřezu **i** od zatížení ve svislém směru **F** a **$q = \kappa \cdot q_1$** a ve vodorovném směru **$q_{h1} = \varepsilon \cdot q = \varepsilon \cdot \kappa \cdot q_1$** ,
- $\varepsilon = q_{h1} / q_1$** , je součinitel vyjadřující poměr horizontálního a svislého zatížení,
- κ** je součinitel vyjadřující poměr svislého zatížení charakterizující únosnost **q** a zvoleného zatížení **$q_1 = 1$** , platí tedy **$q = \kappa \cdot q_1$**
- A** je plocha průřezu,
- W_x** je průřezový modul
- f_y** je mez kluzu oceli,
- γ_{M0}** je dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy, $\gamma_{M0}=1$ dle čl.1 ČSN EN 1993-1-1.

Při takovémto postupu by byla únosnost výztuže velmi malá, výztuž by byla navrhována velmi neekonomicky, a proto je v dalším postupováno při využití dlouhodobých zkušeností jinak.

Vztah (2.27) se nicméně používá pro posouzení zatížení výztuže silou **F** při jinak nulovém zatížení výztuže. Vychází se přitom z podmínky, že výztuž musí přenést tuto sílu, i kdyby nebyla jinak zatížená. K tomuto stavu může dojít v podmínkách, kdy výztuž není zatížená horninovým masivem ani aktivně, ani pasivně. (Pasivní i aktivní zatížení zejména z boků díla totiž výztuže stabilizují.) Nepřipouští se přitom současně, aby síla **F** vyvolala ve výztuži trvalé deformace. Pokud tedy není podmínka (2.27) se zatížením silou **F** při nulovém spojitým zatížení **q** a **q_h** splněna, pak se musí zvážít snížení zatížení silou **F**, změna místa zatížení **x**, volba jiné výztuže či zesílení výztuže. V úvahu přichází rovněž vytvoření podmínek, které zabezpečí stabilnější podmínky pro výztuž. Tento postup však vyžaduje individuální posouzení daných podmínek a jejich ověření.

Při posuzování únosnosti ocelové obloukové výztuže důlních a podzemních děl lze do značné míry vycházet z ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1:Obecná pravidla pro pozemní stavby.

Pro posuzování únosnosti výztuže dle této normy je důležité zatřídění profilu TH29 a profilu TH34 z ocelí 31Mn4 a H500M. Dle výsledků řešení projektu TA ČR TA01010838 lze uvedené profily z obou ocelí zatřídít do 1 třídy, protože umožňují vytvořit plastické klouby s rotační kapacitou požadovanou při plasticitám výpočtu, bez redukce jejich únosnosti [7], [8].

Podmínku spolehlivosti pro průřezy namáhané momenty, posouvajícími silami a tahem nebo tlakem lze v daném případě v souladu ČSN EN 1993-1-1 aplikovat ve tvaru:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}\right)^2 + \frac{M_{N,Rd}}{M_{pl,Rd}} \leq 1 \quad (2.28)$$

ve kterém je

$N_{pl,Rd}$ je návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu v tahu,
 $M_{pl,Rd}$ je návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu,
 N_{Ed} je návrhová hodnota osové síly, v dalším $N_{Ed} = N_{ic}$,
 $M_{N,Rd}$ je redukovaná návrhová hodnota únosnosti v ohybu v důsledku osových sil, v dalším $M_{NRd} = M_{ic}$.

Je přitom nezbytné, aby hodnota návrhové smykové síly V_{Ed} dle čl. 6.2.10 citované normy byla menší než 50% návrhové plastické smykové únosnosti $V_{pl,Rd}$, což je, jak ukazují parametrické výpočty, při dále uvažovaných zatíženích prakticky vždy splněno. Do rovnice (2.28) lze dosadit:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = W_{pl} \cdot f_y$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = A \cdot f_y \quad (2.28a)$$

Ve výrazech (2.28a) je kromě výše uvedeného:

W_{pl} plastický modul průřezu.

Nerovnost (2.28) lze dále upravit na tvar:

$$\left(\frac{\kappa_i \cdot N_i + N_{Fi}}{N_{pl,Rd}}\right)^2 + \frac{\kappa_i \cdot M_{ci} + M_{Fi}}{M_{pl,Rd}} \leq 1 \quad (2.29)$$

respektive:

$$a_i \cdot \kappa_i^2 + b_i \cdot \kappa_i + c_i \leq 0 \quad (2.30)$$

kde je

$$a_i = N_i^2 \cdot M_{pl,Rd}$$

$$b_i = 2 \cdot N_i \cdot N_{Fi} \cdot M_{pl,Rd} + M_i \cdot N_{pl,Rd}^2$$

$$c_i = N_{Fi}^2 \cdot M_{pl,Rd} + N_{pl,Rd}^2 (M_{Fi} - M_{pl,Rd})$$

Z (2.30) lze explicitně přímo určit hodnotu κ_i , charakterizující dosažení mezního stavu výztuže v dílku i .

Mezní stav z hlediska únosnosti se hodnotí ve všech průřezech i posuzovaného výztužního prvku a hodnota κ je minimální hodnotou ze souboru všech hodnot κ_i v hodnocených průřezích. Únosnost výztuže pak je:

$$q = \kappa \cdot q_1 = \kappa \quad (2.31)$$

Takto stanovená únosnost q platí pro nepoddajné žebro (respu) zatížené dle obr.6 (7) při dané hodnotě ε .

Únosnosti q odpovídají složky vnitřních sil v bodě i ocelového oblouku (2.32):

$$\begin{aligned} M_i &= \kappa \cdot (M_{1i} + \varepsilon \cdot M_{2i}) \\ N_i &= \kappa \cdot (N_{1i} + \varepsilon \cdot N_{2i}) \\ V_i &= \kappa \cdot (V_{1i} + \varepsilon \cdot V_{2i}) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Pro únosnost ocelové výztuže lze zjistit následně přetvoření nejlépe při využití principu virtuálních prací (metoda jednotkových sil), když do každého místa výztuže i klademe postupně jednotkovou sílu v daném směru určovaného posunu nebo jednotkový moment pro určení pootočení. Výztuž je přitom zatěžována jako staticky určitá s reakcemi odpovídajícími stanovené únosnosti výztuže.

Posunutí u_k v bodě k ve směru osy x je dáno vztahem:

$$u_k = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ci} \cdot M_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot J_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{ci} \cdot N_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot A_i} \quad (2.33)$$

kde M_{ki} je ohybový moment v místě i , vyvolaný jednotkovou virtuální silou $F_{xk} = 1$ působící ve směru osy x v bodě k ,

N_{ki} je normálová síla v místě i , vyvolaná jednotkovou virtuální silou $F_{xk} = 1$ působící ve směru osy x v bodě k .

Obdobně lze vypočítat posunutí v_k v bodě k ve směru osy y , které je dáno vztahem:

$$v_k = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ci} \cdot M_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot J_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{ci} \cdot N_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot A_i} \quad (2.34)$$

kde v daném případě:

M_{ki} je ohybový moment v místě i , vyvolaný jednotkovou virtuální silou $F_{yk} = 1$ působící ve směru osy y v bodě k ,

N_{ki} je normálová síla v místě i , vyvolaná jednotkovou virtuální silou $F_{yk} = 1$ působící ve směru osy y v bodě k .

Celkové posunutí δ_k v bodě k je dáno vztahem:

$$\delta_k = \sqrt{(u_k^2 + v_k^2)} \quad (2.35)$$

Pootočení φ_k v bodě k lze určit ze vztahu (2.36)

$$\varphi_k = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ci} \cdot M_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot J_i} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{ci} \cdot N_{ki} \cdot \Delta s_i}{E \cdot A_i} \quad (2.36)$$

kde je M_{ki} je ohybový moment v místě i , vyvolaný zatěžujícím virtuálním momentem $M_k = 1$ působícím v bodě k ,
 N_{ki} je normálová síla v místě i , vyvolaná zatěžujícím virtuálním momentem $M_k = 1$ působícím v bodě k .

Takto stanovená přetvoření platí pro hodnotu odpovídající únosnosti výztuže.

2.6 Mezní hodnoty momentů a normálových sil

Profily TH29 a TH34 v ArcelorMittal, a.s. Ostrava vyrábějí z oceli 31Mn4 dle DIN 21544 a nově z oceli H500M, která je výsledkem řešení projektu TAČR TA01010838 [9].

Základní statické parametry těchto profilů jsou uvedeny v tabulce č.2. Hodnoty byly převzaty z podkladů výrobce, hodnoty plastického průřezového modulu W_{xpl} řady TH byly vypočteny. Pro zdvojené profily byly všechny hodnoty vypočteny. Základní mechanické vlastnosti oceli 31Mn4 a oceli H500M jsou v tabulce č.1.

Zn. oceli	ČSN	DIN	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A_5
31Mn4		21544	min. 350	min.550	18
H500M			min. 480	min.650	18

Tabulka č. 1 (R_e mez kluzu, R_m mez pevnosti v tahu, A_5 tažnost).

Označení	A [cm ²]	G [kg/m]	W_x [cm ³]	W_y [cm ³]	I_x [cm ⁴]	I_y [cm ⁴]	W_{xpl} [cm ³]
TH- 29	37,00	29,00	94,00 _{93,61}	103,00	616,00	775,00	132,38
TH - 34	43,10	33,90	128,00	141,00	892,00	1205,00	177,83
2 x TH - 29	74,00	58,00	172,67	206,00	1382,26	1598,00	272,56
2 x TH - 34	86,20	67,60	233,52	282,00	1977,95	2410,00	361,32

Tabulka č. 2

Určení únosnosti průřezu v tlaku nebo plastického momentu únosnosti průřezu nutných pro výpočet dle (2.28a) vyplývá ze vztahů:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = A \cdot f_y \quad M_{pl,Rd} = \frac{W_{xpl} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = W_{xpl} \cdot f_y \quad (2.28a)$$

Uvedeným profilům a příslušné jakosti oceli pak odpovídají hodnoty v tabulce č. 3:

Profil	f_y [MPa]	A [cm ²]	W_{xpl} [cm ³]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]
TH29/31Mn4	350	37,00	132,38	1295,0	46,33
TH34/31Mn4	350	43,10	177,83	1508,5	62,24
TH29/H500M	480	37,00	132,38	1776,0	63,54
TH34/H500M	480	43,10	177,83	2068,8	85,36

Tabulka č.3

Tyto hodnoty jsou podstatně nižší, než byly uvažovány ve výpočtech dle [2], kde se mezní hodnoty pro ohybové momenty M_{pl} určovaly poněkud jiným způsobem.

Vycházely v zásadě z normy ČSN 44 4410-1 Zkoušení důlní ocelové výztuže, Část 1: Zkoušení tvarových tyčí. V této normě jsou uvedeny hodnoty minimální zatěžovací síly pro tvarové tyče K21, K24 a P28 z oceli 11500 při ohybové zkoušce na rovných tyčích při vzdálenosti podpor 1 m zatěžovaných uprostřed rozpětí a to jednak na vnitřní stranu kořene příčného řezu, jednak na vnější stranu kořene příčného řezu. Hodnoty převzaté z uvedené normy pro profily K21, K24 a P28 musel výrobce zaručovat a byly podkladem pro stanovení mezních momentů. Únosnost v tlaku byla pak určena ze zaručené meze kluzu oceli a plochy průřezu příslušného profilu dle vztahu $N_{pl} = A \cdot f_y$. Tento postup byl aplikován řadu let v OKD a lze říci, že se osvědčil. Respektuje skutečnost, že únosnost otevřených profilů používaných k vyztužování zejména dlouhých důlních děl je rozdílná dle směru zatěžování, což normy zpravidla nepostihují.

Pro profily řady TH z oceli 31Mn4 nejsou hodnoty minimálních zatěžovacích sil nikde uvedeny. Totéž platí pro profil TH29 z nově vyvinuté oceli H500M. Jejich hodnoty byly odvozeny teoreticky z průřezových charakteristik profilů, vlastností ocelí a z ohybových zkoušek, z nichž byly profily řady TH vyrobeny v posledních letech [5]. Totéž platí o profilech TH29 a TH34 z nově vyvíjené oceli. Zde se vycházelo také z modelování vlastností profilu TH29 z vyvíjené oceli a z ohybových zkoušek rovných tyčí z profilů TH29 a TH34 a z výsledků matematického modelování a z ohybových zkoušek [8], [9], které byly realizovány v rámci řešení projektu TA ČR TA01010838.

Dle ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, jsou hodnoty $M_{pl,Rd}$, návrhové únosnosti v ohybu k hlavní ose průřezu při obou směrech zatěžování shodné (viz tabulka č.3).

Z ohybových zkoušek i z citované normy ČSN 44 4410-1 Zkoušení důlní ocelové výztuže vyplývá, že otevřené profily řady K nebo TH mají rozdílnou únosnost pro zatížení „dovnitř profilu“ a na „kořen profilu“. Je to dáno především různou stabilitou profilu při těchto způsobech zatěžování.

Hodnoty momentů M_{pl1} a M_{pl2} pro všechny uvažované profily a odpovídající vlastnosti oceli stanovené popsáním postupem jsou uvedeny v tabulce č. 4. Hodnoty a únosnosti v tlaku N_{pl} jsou uvedeny v tabulce č.3.

Profil	M_{pl1} [kNm]	M_{pl2} [kNm]
TH29/31Mn4	50,85	-64,73
TH34/31Mn4	68,47	-87,13
TH29/H500M	63,54	-76,25
TH34/H500M	85,36	-102,43

Tabulka č. 4

Pro zdvojené profily, uvažované v dále uvedených SW, jsou pak uvažovány dvojnásobné hodnoty uvedené v tabulce 4, případně 3 pro jednoduché profily.

U poddajné ocelové výztuže je únosnosti dosaženo, je-li odpor proti prokluzu v místech překrytých dílů menší než normálová síla, která je zde vyvolána vnějším zatížením. Únosnost žebra a resp. může být v tomto případě vedle dosažení mezního stavu limitován odporem proti prokluzu.

Určení odporu proti prokluzu teoreticky je nejen obtížné, ale také nepřesné. Je totiž závislé na celé řadě faktorů, které lze jen velmi obtížně nejen modelovat, ale často i zjistit. Odpor proti prokluzu je dán zejména:

- 1) konstrukčním řešením spojovacích elementů,
- 2) počtem spojovacích elementů,
- 3) dotažením šroubů spojovacích elementů, případně třmenů,

- 4) kvalitou oceli spojovacích elementů,
- 5) konstrukčním řešením spojovaných profilových tyčí,
- 6) kvalitou oceli spojovaných profilových tyčí,
- 7) nepřesnostmi spojovaných profilových tyčí,
- 8) kontaktem spojovaných profilových tyčí a samotnými spoji s pažením, rozpínkami případně i s horninou.

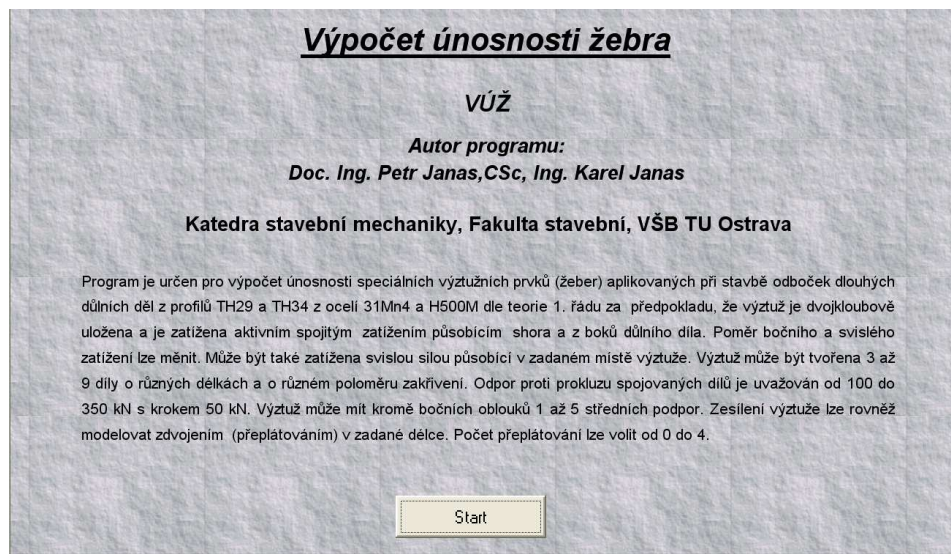
Nejvhodnější je proto určovat odpor proti prokluzu experimentálně. V dalším je proto únosnost poddajné výztuže vztažena na konkrétní hodnoty odporu proti prokluzu, které jsou uváděny od 100 kN do 350 kN s krokem 50 kN.

3. Program *Výpočet únosnosti žebra –VÚŽ*

Z výše uvedených teoretických základů byl zpracován program v prostředí Microsoft Excelu pomocí programovacího jazyka Visual Basic. Titulní stránka programu je na obr. 8.

Program je určen pro výpočet únosnosti žebra v nepoddajném a poddajném provedení. Žebro může být z profilů TH29 a TH34 a z oceli 31Mn4 případně z nové oceli H500M. Výpočet platí pro teorii 1. řádu za předpokladu, že žebro je dvojklobově uloženo a je zatíženo aktivním spojitým zatížením působícím shora a boků důlního díla a jednou osovou silou působící shora v rovině výztuže. Poměr bočního a svislého zatížení lze libovolně měnit.

Výztuž může být tvořena 3 až 9 kruhovými díly o různých délkách a různém poloměru zakřivení. Volbou dostatečně velkého poloměru zakřivení lze simulovat rovné díly žebra.



Obr. č. 8 Titulní stránka s charakteristikou programu VÚŽ.

3.1 Zadávání vstupních dat

Po kliknutí na tlačítko **Start** na titulní stránce programu se objeví vstupní formulář, viz obr. 9. Před zadáváním vstupních dat se klikne na tlačítko **Další výpočet** (je na místě tlačítka, které se později změní na **Výpočet**) a následně na tlačítko **Poslední vstup** a

na monitoru se uvedou vstupní data posledního výpočtu. Ta lze pochopitelně změnit. Pro výpočet se zadávají následující vstupní údaje (viz. obr. 9):

- Počet kruhových oblouků, ze kterých je ocelová oblouková výztuž tvořena. Alternativně lze volit 3 až 9 kruhových dílů (rovný díl žebra je simulován kruhovým obloukem s dostatečně velkým poloměrem zakřivení).
- Délka L_j každého kruhového dílu, jeho poloměr zakřivení R_j a délka přeplátování (překrytí) s následujícím dílem. Tyto hodnoty se zadávají v [mm].
- Profil, ze kterého je ocelová oblouková výztuž složena. Alternativně může být volen profil TH29, nebo TH34 a ocel (viz okénko norma oceli) H500M nebo 31Mn4. (Výpočet únosnosti probíhá s využitím hodnot mezních momentů uvedených v tabulce č.4 a mezní normálové síly uvedené v tabulce č. 3).
- Síla F [kN] působící v rovině výztuže a vzdálenost x [m] (měří se horizontální vzdálenost od podpory A dle obr. 7).
- Poměr ϵ vodorovného a svislého spojitého zatížení. Lze jej volit od 0,0 prakticky bez omezení shora.
- Výpočet lze realizovat pro žebro bez středních podpor, nebo pro 1 až 5 středních podpor. Pro každou střední podporu musí být zadána vzdálenost x od podpory **A**. Ta se zadává v [m].
- Žebro může být také v některých místech zdvojeno. Počet zdvojení lze volit 0, 1, 2, 3 a 4. Pro každé zdvojení musí být uvedena hodnota x , od které zdvojení začíná a hodnota x , kde zdvojení končí. Hodnota x je horizontální vzdálenost od podpory A.
- Do poznámky lze zadat potřebný text.
- Pro případnou archivaci lze zadat také číslo výpočtu a poznámku. Datum výpočtu se zadává automaticky.
- Vstupní data lze také vyvolat z archivu, jsou-li v něm uložená, kliknutím na tlačítko **Archiv**. Následně je lze pak upřesnit.

Výpočet číslo: Žebro 1 **Počet oblouků:** 6 **Profil:** TH-29 **Norma oceli:** 31Mn4

Osová síla
F 40 [kN]
X 1,84 [m]

Délka oblouku [mm]	Poloměr oblouku [mm]	Přeplátování [mm]
L1: 1408	R1: 2500000	P 1-2: 0
L2: 2892	R2: 3650	P 2-3: 500
L3: 650	R3: 2500000	P 3-4: 0
L4: 335	R4: 300	P 4-5: 0
L5: 450	R5: 2500000	P 5-6: 425
L6: 6200	R6: 2500000	

ε: 0,5

Podpory
Počet: 1
Vzdál. 1. podpory: 3,14 [m]
Vzdál. 2. podpory: 5,5 [m]
Vzdál. 3. podpory: 8 [m]
Vzdál. 4. podpory: 9,5 [m]
Vzdál. 5. podpory: 11 [m]

Zdvojení
Počet: 1
Od [mm]: Do [mm]:
D1: 820 6321
D2: 1,5 2,2
D3: 3,1 3,8
D4:

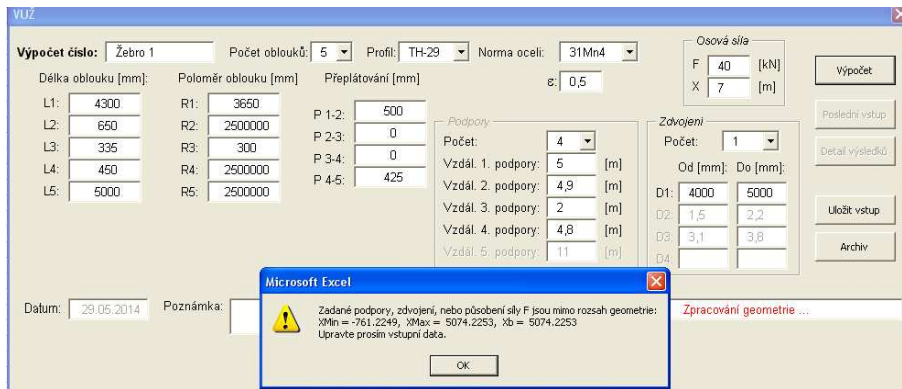
Datum: **Poznámka:** Zdvojená stropní část, 1 stř. podpora, F=40 kN

Buttons: Výpočet, Poslední vstup, Detail výsledků, Uložit vstup, Archiv

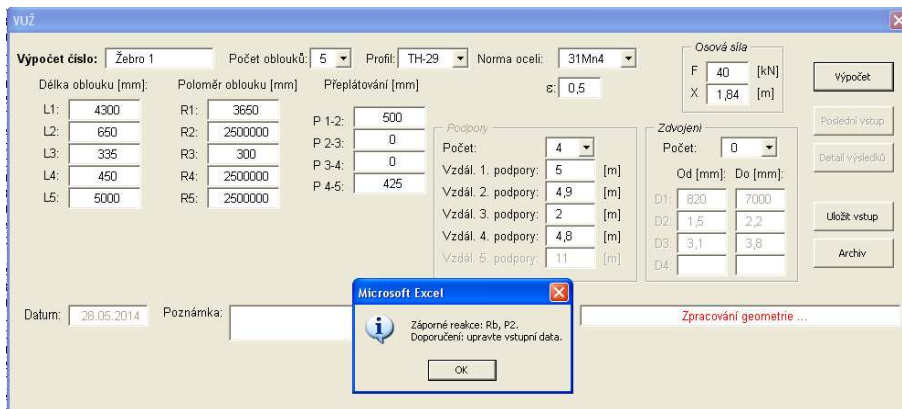
Obr. č.9 Vstupní formulář pro výpočet únosnosti žebra.

Výpočet se spustí po označení pole **Výpočet**.

Jsou-li vstupní data o umístění podpor, místa působení síly F nebo délce zdvojení zadány mimo geometrický rozsah žebra, objeví se pro uživatele upozornění dle obr. 10. Po označení **OK** výpočet nebude bez opravy dat pokračovat. Data se musí opravit a výpočet opětovně spustit.



Obr. č.10 Vstupní formulář pro výpočet únosnosti žebra s chybnými daty.



Obr. č.11 Vstupní formulář s informací o záporných svislých reakcích.

V některých případech mohou být vstupní data zadána tak, že svislé reakce jsou v některé z podpor záporné (vzniká v nich tah), což je většinou nereálné. Po spuštění výpočtu se v tomto případě objeví informace dle obr. 11. Po označení OK výpočet v daném případě pokračuje. Uživatel by měl zpravidla doporučení respektovat, neboť svislé podpory většinou nemohou přenášet tahové síly. Výjimkou může být v některých případech respa. Záporná podpora R_b žebra v tomto případě může působit jako podpora respy.

3.2 Výsledky výpočtu

Po ukončení výpočtu se vstupní formulář změní o výsledky. Na obr.12 jsou výsledky výpočtu únosnosti Žebro1 z profilu TH29, který obsahuje následující hodnoty:

- Šířku a odpovídající rozpětí žebra. Je promítnuté do směru osy x . Platí: $a = x_b - x_{min}$, kde x_b je vzdálenost podpor A-B. Pro $x_a = x_{min}$ je $a = x_b$. V daném případě je $a = 7,304$ m, $x_b = 6,521$ m, tzn., že rozpětí žebra je větší než vzdálenost podpor promítnutá do směru osy x .
- Výšku H , pro kterou platí $H = y_b$. V daném případě $H = 4,467$ m. Poznámka: Uvedené délky se vztahují ke střednici žebra.
- Tabulku s výsledky únosnosti výztuže q , celkového svislého zatížení Q , velikosti horizontálních reakcí H_a , H_b a svislých reakcí R_a a R_b pro zadanou hodnotu ϵ a zatížení respektive reakce středních podpor (v daném případě P_1).
- Hodnotu T_{min} , představující hodnotu minimálního odporu proti prokluzu v místě překrytí dílů výztuže, při které se ocelová výztuž chová nepoddajně. Hodnoty q , Q , H_a , H_b , R_a a R_b jsou pro nepoddajnou výztuž uvedeny ve sloupci pod T_{min} . Je-li odpor proti prokluzu menší než tato hodnota, pak únosnost žebra limituje odpor

proti prokluzu. Je-li naopak odpor proti prokluzu větší než hodnota T_{min} , pak se žebro chová nepoddajně a jeho únosnost limituje dosažení mezního stavu dle vztahu (2.25). Pro hodnoty odporu proti prokluzu $T = 100 \text{ kN}$, 150 kN , 200 kN , 250 kN , 300 kN a 350 kN jsou s uvedeným odporem proti prokluzu v příslušném sloupci vždy uvedeny hodnoty únosnosti žebra a reakce. Poddajnost žebra je dána zpravidla prokluzem bočního oblouku. V daném případě (obr. 10) je $T_{min}=195,41 \text{ kN}$ a žebro se bude chovat poddajně, pokud hodnota odporu proti prokluzu bude menší než T_{min} . Při uvažovaných hodnotách tomu bude při odporu proti prokluzu $T=100 \text{ kN}$ a $T=150 \text{ kN}$. Těmto hodnotám odporu proti prokluzu budou odpovídat v tabulce uvedené hodnoty únosnosti a všech uvedených reakcí včetně středních podpor. V případě, že odpor proti prokluzu bude větší než T_{min} , bude se výtuž chovat nepoddajně. Zajištění uvedených reakcí je podmínkou, že žebro má skutečně vypočtenou únosnost.

Výpočet číslo: Žebro 1 **Počet oblouků:** 6 **Profil:** TH-29 **Norma oceli:** 31Mn4

Délka oblouku [mm]: L1: 1408, L2: 2892, L3: 650, L4: 335, L5: 450, L6: 6200

Poloměr oblouku [mm]: R1: 2500000, R2: 3650, R3: 2500000, R4: 300, R5: 2500000, R6: 2500000

Přepřátování [mm]: P 1-2: 0, P 2-3: 500, P 3-4: 0, P 4-5: 0, P 5-6: 425

ε: 0,5

Osová síla: F: 40 [kN], X: 1,84 [m]

Podpory: Počet: 1, Vzdál. 1. podpory: 3,14 [m], Vzdál. 2. podpory: 5,5 [m], Vzdál. 3. podpory: 8 [m], Vzdál. 4. podpory: 9,5 [m], Vzdál. 5. podpory: 11 [m]

Zdvojení: Počet: 1, Od [mm]: D1: 820, D2: 1,5, D3: 3,1, D4: , Do [mm]: 6321, 2,2, 3,8

Datum: 05.03.2014 **Poznámka:** Zdvojená stropní část, 1 stř. podpora, F=40 kN **Průběh:** *** Konec výpočtu *** [6 sec.]

Výsledky

	$T_{min} = 195,41 \text{ kN}$	$T = 100 \text{ kN}$	$T = 150 \text{ kN}$	$T = 200 \text{ kN}$	$T = 250 \text{ kN}$	$T = 300 \text{ kN}$	$T = 350 \text{ kN}$
q [kN/m]	101,96	49,28	76,887	101,96	101,96	101,96	101,96
Q [kN]	717,223	346,653	540,85	717,223	717,223	717,223	717,223
Ha [kN]	-104,483	-50,645	-78,859	-104,483	-104,483	-104,483	-104,483
Hb [kN]	123,247	59,423	92,87	123,247	123,247	123,247	123,247
Ra [kN]	204,047	104,682	156,754	204,047	204,047	204,047	204,047
Rb [kN]	132,796	62,058	99,128	132,796	132,796	132,796	132,796
P1 [kN]	420,381	219,912	324,967	420,381	420,381	420,381	420,381

Legenda:
T ... odpor proti prokluzu
 T_{min} ... minimální únosnost nepoddajného spoje

Průběh: a: 7.034366 [m], H: 4.467058 [m], Xb: 6.520759 [m]

Tisk výsledků

Start / GrafNCI / Graf MCI / Graf VCI / Graf tvaru / Graf OblNCI / Graf OblMI / Graf OblVCI / Graf OblPohyb / **Výsledná data** /

Obr. č. 12 Výstupní formulář pro výpočet únosnosti Žebra 1 z profilu TH29 a z oceli H500M s výsledky a s lištou.

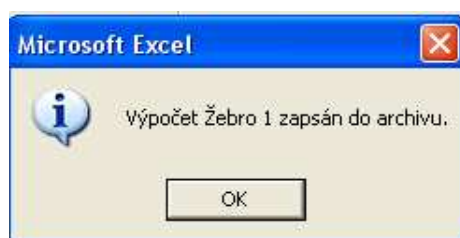
Hodnoty v tabulce výstupního formuláře se týkají vždy žebra se zadanou geometrií, profilem a jakostí oceli (v daném případě TH29 a ocel 31Mn4), při zadaném zdvojení profilu, pro zadaný poměr horizontálního a svislého zatížení ε , (v daném případě $\varepsilon = 0,5$), při působící síle F ($F=40 \text{ kN}$ ve vzdálenosti $x=4,25 \text{ m}$) a při aplikaci 1 střední podpory (uložené ve vzdálenosti $x=1,84 \text{ m}$ od podpory A), které byly pro výpočet zadány, viz obr. 9 a 12.

Z formuláře lze na konci výpočtu také číst informaci, že výpočet byl ukončen a o době výpočtu **Průběh: "Konec výpočtu" [6 sec.]**.

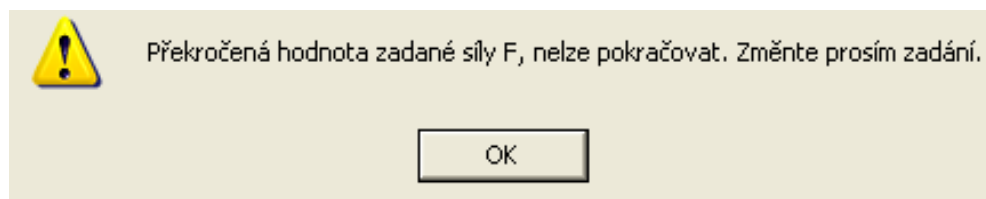
Na formuláři lze označit tlačítko **Uložit vstup** a následně stvrdit dle obr. 13. Vstupní data, včetně data výpočtu a případné poznámky se pak uloží do archivu, který lze otevřít označením tlačítka **Archiv**.

Po označení tlačítka **Další výpočet** lze přistoupit k novému výpočtu. Před zadáváním nových nebo pozměněných vstupů je nutno ale označit tlačítko **Poslední vstup**. Pokud se vstupy upřesňují před označením tlačítek **Další výpočet** a **Poslední vstup**, pak při volbě **Další výpočet** se počítá s původními vstupy. Po označení tlačítka **Tisk výsledků** lze vytisknout formulář s daty uvedenými na výstupním formuláři.

V případě, že zadaná síla **F** překračuje mezní hodnotu ve výztuži, objeví se na výstupním formuláři informace na obr. 14. V daném případě se výpočet zastaví. Nelze tedy určit únosnost výztuže odpovídající spojitému zatížení ze stropu a z boku díla. V tomto případě se musí změnit zadání po kliknutí **OK**. V úvahu přichází změna síly **F**, místo **x** kde tato síla působí, změna geometrie výztuže, zadání zdvojení profilu (pokud je možné), změna hmotnostního stupně profilu výztuže případně její jakost.



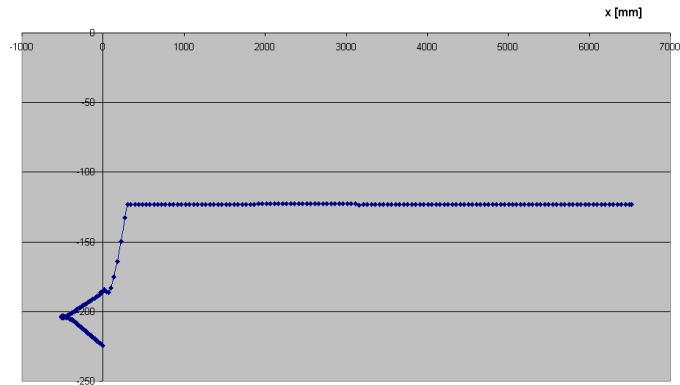
Obr.č.13 Potvrzení zápisu do archivu



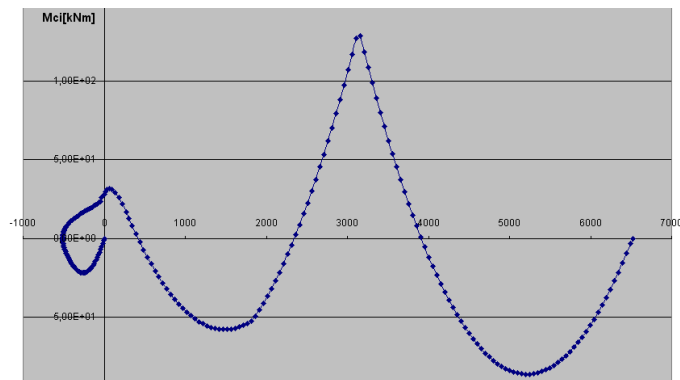
Obr. č. 14 Informace o překročení zadané síly F.

Po kliknutí na tlačítko **Detail výsledků**, lze dle možností uvedených na liště pod výstupním formulářem (viz obr. 12) vyvolat:

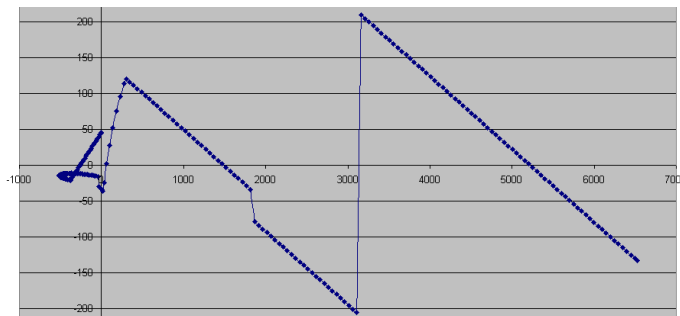
- **Start** Titulní stránku s charakteristikou programu a s tlačítkem **Start**, které po kliknutí zajistí návrat na vstupní formulář s posledními vstupy (obr. 9).
- **Graf NCi** Průběh normálové síly podél střednice oblouku promítnutý na osu **x**, která má počátek v bodě A žebra, viz obr. 15. Z obr. je zřejmé, že ve stropní (přímé) části žebra vzniká normálová síla, jejíž hodnota odpovídá velikosti reakce $H_B=123,3$ kN. Na obr. má záporné znaménko, neboť se jedná o tlak. V oblé části žebra je hodnota normálové síly větší. Překračuje-li hodnotu odporu proti prokluzu, nastává prokluz výztuže a tato se chová poddajně.
- **GrafMCi** Průběh ohybového momentu podél střednice oblouku promítnutý na osu **x**, viz obr. 16. Největší záporný ohybový moment vzniká v rovné části žebra v místě střední podpory ($-129,2$ kNm), největší kladný ohybový moment mezi střední podporou a podporou B (pro $x=5,5$ m je $M_x=86,5$ kNm). Mezní únosnost nosníku limituje v daném případě hodnoty vnitřních sil (zejména ohybového momentu) nad střední podporou.
- **Graf VCi** Průběh posouvající síly podél střednice žebra promítnutý na osu **x**, viz obr. 17. Z obrázku je patrný vliv střední podpory a síly **F** na průběh posouvající síly.



Obr. č.15 Průběh normálové síly N_{ci} [kN] podél střednice žebra promítнутý na osu x.

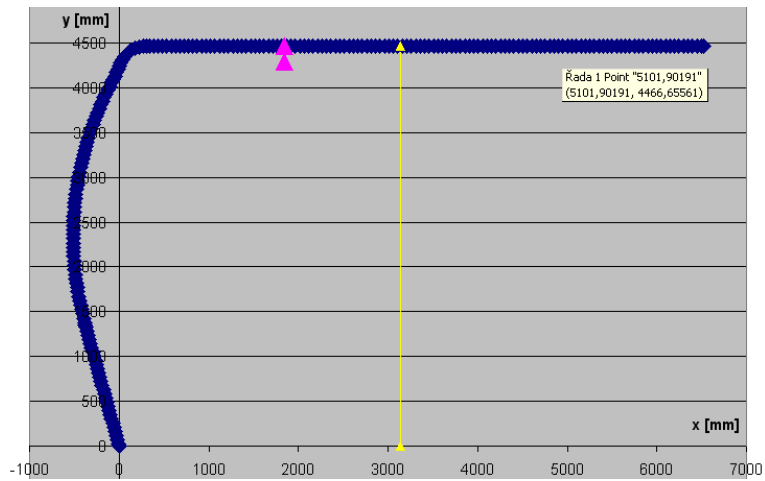


Obr. č.16 Průběh ohybového momentu M_{ci} [kNm] podél střednice žebra promítнутý na osu x.

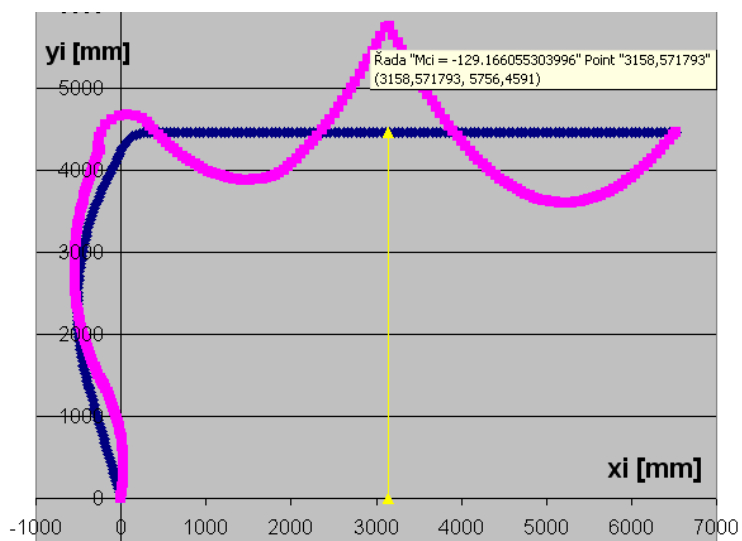


Obr. č.17 Průběh posouvající síly V_{ci} [kN] podél střednice žebra promítнутý na osu x.

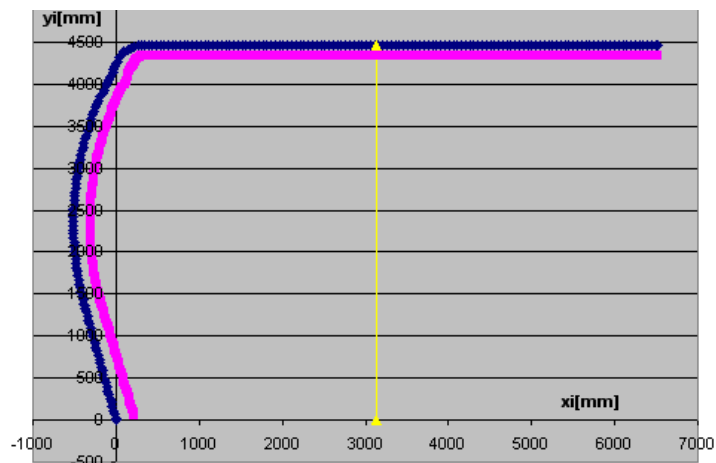
- **Graf tvaru** Viz schéma tvaru výztuže na obr.18 s vyznačením místa, kde působí síla F a kde je umístěna střední podpora. Při označení libovolného bodu na střednici oblouku lze odečíst jeho souřadnice x a případně i y v mm, viz obr. 18.
- **Graf ObIMi** Průběh ohybového momentu podél střednice oblouku, viz obr. 19.
- **Graf ObINci** Průběh normálové síly podél střednice oblouku, viz obr.20 s vyznačením velikosti normálové síly v daném místě.
- **Graf ObIVci** Průběh posouvající síly podél střednice oblouku, viz obr. 21
- **Graf ObIPohyb** Schéma průběhu posunutí střednice oblouku δ , viz obr. 22. Pokud myší označíme bod na střednici oblouku, lze odečíst hodnotu posunutí v mm. Posunutí je vypočteno pro hodnotu daného zatížení odpovídající únosnosti výztuže. Obdobně lze odečíst příslušnou hodnotu i u jiných grafů.



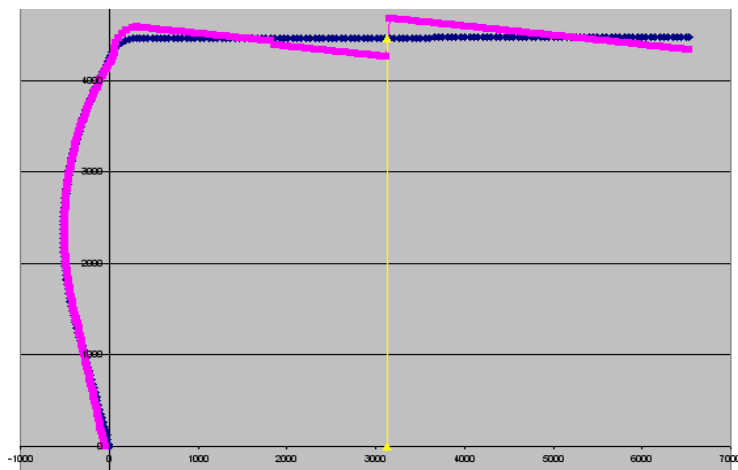
Obr. č. 18 Schéma tvaru žebra s místem, kde působí síla F a střední podpora.



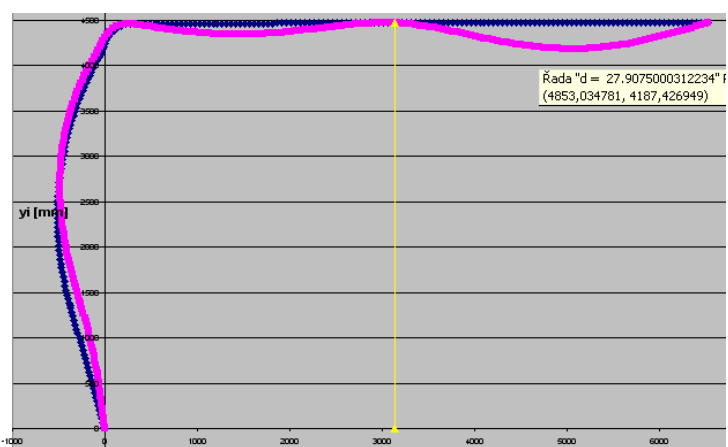
Obr. č.19 Průběh ohybového momentu M_{ci} [kNm] podél střednice žebra.



Obr.20 Průběh normálové síly N_{ci} [kN] podél střednice žebra.



Obr.21 Průběh posouvající síly V_{ci} [kN] podél střednice žebra.

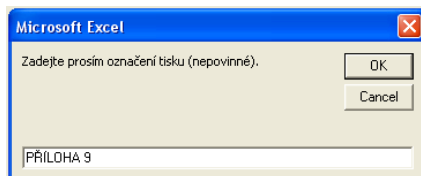


Obr.č.22 Schéma průběhu posunutí δ [mm] střednice žebra.

- **Výsledná data** Tabulka s dílčími výsledky postupu výpočtu.

Výše uvedené výsledky vyvolané po označení lišty se vztahují (kromě tvaru výztuže) na zadaný profil pro zatížení odpovídající únosnosti výztuže při zadané konkrétní hodnotě poměru bočního a svislého zatížení ε . (Podrobnější popis, viz další kapitola).

Při označení **Tisk výsledků** se objeví tabulka se žádostí o označení tisku, viz obr. 23. Zde lze zapsat libovolný text. Po označení OK se objeví data daného zadání a vypočtených výsledků včetně zvoleného označení tisku, v daném případě PŘÍLOHA 9, viz. obr. č. 24.



Obr. č. 23 Žádost o označení tisku

Výpočet únosnosti žebra

Výpočet: Žebro 1

Datum zpracování: 5.3.2014

Vstupní hodnoty:

Počet oblouků: 6 Profil: TH-29 Norma oceli: 31Mn4 Epsilon: 0,5

Osová síla [kN]: 40 X [m]: 1,84 Počet podpor: 1 Počet zdvojení: 1

Délky [mm]

L1: 1408 L2: 2892 L3: 650 L4: 335 L5: 450 L6: 6200

R1: 2500000 R2: 3650 R3: 2500000 R4: 300 R5: 2500000 R6: 2500000

P1-2: 0 P2-3: 500 P3-4: 0 P4-5: 0 P5-6: 425

Zdvojení: D1=820 - 6321

Podpory [m]: P1=3,14

Výsledky:

a = 7.034366 [m] H = 4.467058 [m] Xb = 6.520759 [m]

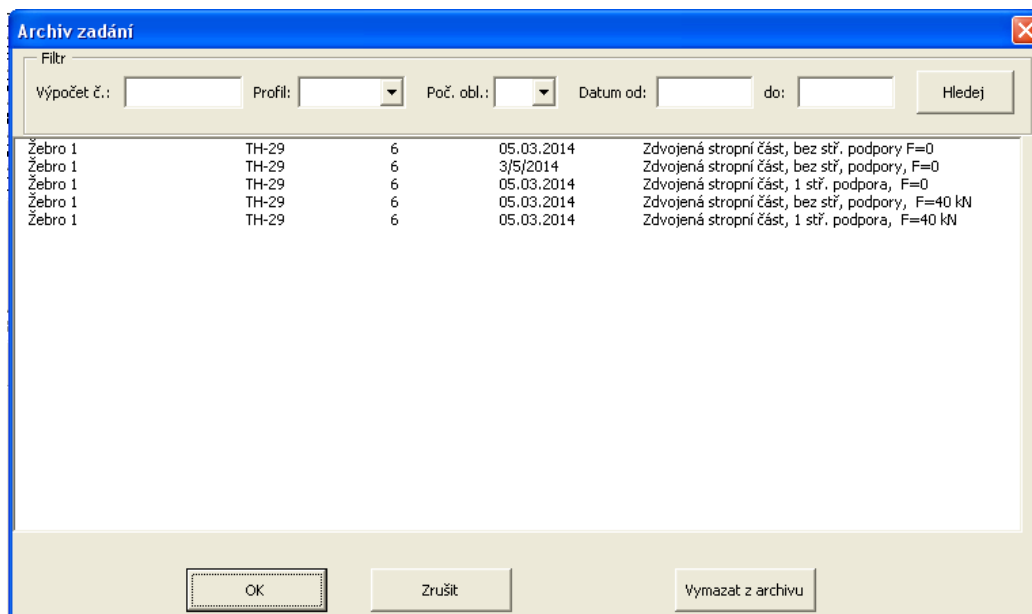
	Tmin = 195.41 kN	T = 100 kN	T = 150 kN	T = 200 kN	T = 250 kN	T = 300 kN	T = 350 kN
q [kN/m]	101,96	49,28	76,887	101,96	101,96	101,96	101,96
Q [kN]	717,223	346,653	540,85	717,223	717,223	717,223	717,223
Ha [kN]	-104,483	-50,645	-78,859	-104,483	-104,483	-104,483	-104,483
Hb [kN]	123,247	59,423	92,87	123,247	123,247	123,247	123,247
Ra [kN]	204,047	104,682	156,754	204,047	204,047	204,047	204,047
Rb [kN]	132,796	62,058	99,128	132,796	132,796	132,796	132,796
P1 [kN]	420,381	219,912	324,967	420,381	420,381	420,381	420,381

Poznámka: Zdvojená stropní část, 1 stř. podpora, F=40 kN

Obr. č. 24 Tisk výsledků.

3.3 Využití archivovaných dat

Výpočty únosnosti ocelových výztuží probíhají poměrně velmi rychle a je proto prakticky zbytečné archivovat poměrně rozsáhlé soubory výpočtů s výsledky. Podstatně operativnější je ukládat vstupní data, která nás dovedou, pokud neděláme nepřípustné zásahy do programu, vždy ke stejným výsledkům. Archivace vstupních dat je jednoduchá a byla již objasněna. Jejich vyvolání je možné tlačítkem **Archiv** na vstupním případně i na výstupním formuláři.



Obr. č.25 Vyhledávání vstupních dat v archivu.

Chceme-li výpočet s uloženými vstupními daty opakovat, pak je nezbytné nejdříve kliknout myší na tlačítko **Další výpočet**. Následně vyvoláme uložená vstupní data tlačítkem **Archiv**. Potřebné hodnoty lze vyhledat pomocí několika klíčů a to:

- číslo výpočtu
- profil
- počet oblouků (dílů)
- datum realizace od – do

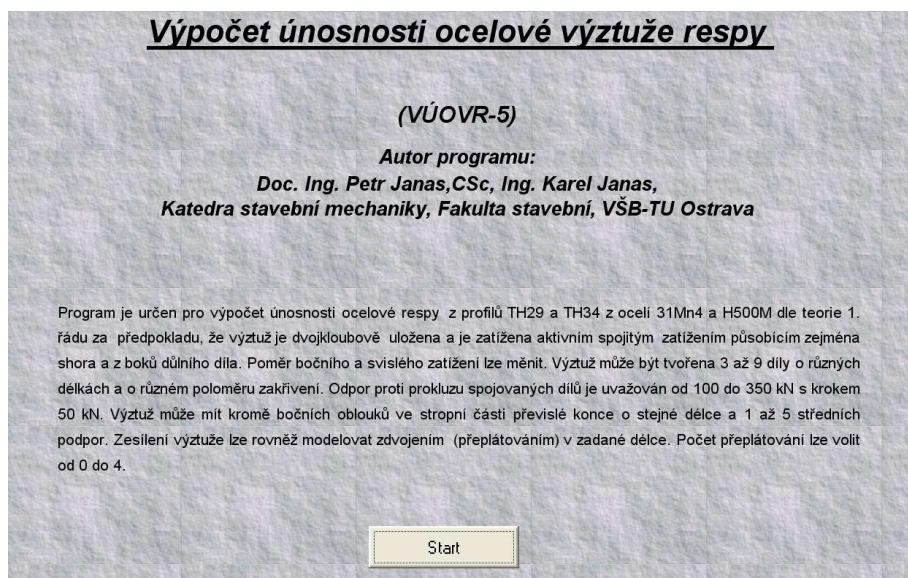
po kliknutí na tlačítko **Hledej**. Vstupní data, která chceme zadávat se takto na seznamu podstatně omezí. Vstup, jehož výpočet chceme opakovaně realizovat, se označí myší.

Vstupní data, která chceme zadávat se takto na seznamu podstatně omezí. Vstup, jehož výpočet chceme opakovaně realizovat, se označí myší (viz obr.25) a po zmáčknutí tlačítka **OK** se načtou hodnoty pro opakovaný výpočet. Následně se pokračuje jako obvykle, tj. zmáčkne se tlačítko **Výpočet**.

Po kliknutí na tlačítko **Zrušit** se dostaneme zpět na vstupní či výstupní formulář. Označená data v archivu lze vymazat po kliknutí na tlačítko **Vymazat z archivu**.

4. Program *Výpočet únosnosti ocelové výztuže respý – VÚOVR-5*

Ocelová respa je základní nosná konstrukce tvořící oporu žeber v místě odbočení chodby nebo prorážky ze základního důlního díla. Její zatížení je indukováno zatížením žeber. Ocelové respý mohou mít ve své přímé části krátké krakorce, které tvoří také oporu jednoho případně dvou žeber na každé straně respý. Požadavky na únosnost respý mohou být zejména při velké šířce odbočujícího díla velké. Respa je proto často tvořena i několika vedle sebe těsně postavenými jednoduchými respami.



Obr. č.26 Titulní stránka s charakteristikou programu VÚOVR-5.

Z teoretických základů uvedených ve 2. kapitole byl zpracován program VÚOVR-5 v prostředí Microsoft Excelu pomocí programovacího jazyka Visual Basic. Program vnikl modifikací programu Výpočet únosností ocelové výztuže prorážek VÚOVP-5. Je určen pro výpočet únosnosti ocelové výztuže jednoduché respý, která může být v nepoddajném a poddajném provedení. Odpor proti prokluzu spojovaných dílů je předpokládán 100 až 350 kN s krokem 50 kN. Výpočet platí pro teorii 1. řádu za

předpokladu, že respa je dvojklobově uloženo a je zatížena aktivním spojitým zatížením působícím shora na rovnou stropní část respy a z boků důlního díla. Může být navíc zatížena jednou osovou silou působící shora v rovině výztuže. Poměr bočního a svislého zatížení lze libovolně měnit.

Jednoduchá respa může být tvořena 3 až 9 kruhovými díly o různých délkách a různém poloměru zakřivení. Volbou dostatečně velkého poloměru zakřivení lze simulovat rovné díly respy. Kromě bočních podpor může mít respa 0 až 5 středních podpor, kterými mohou být stojky nebo dlouhé kotvy s dostatečnou únosností. Části respy mohou pro zvýšení únosnosti a tuhosti zdvojení.

4.1 Zadávání vstupních dat

Po kliknutí na tlačítko **Start** na titulní stránce programu se objeví vstupní formulář, viz obr. 27. Před zadáváním vstupních dat se klikne na tlačítko **Další výpočet** (je na místě tlačítka, které se později změní na **Výpočet**) a následně na tlačítko **Poslední vstup** a na monitoru se uvedou vstupní data posledního výpočtu. Ta lze pochopitelně změnit. Pro výpočet se zadávají následující vstupní údaje (viz. obr. 27):

The screenshot shows the 'VÚOVR-5' software interface. At the top, there are input fields for 'Výpočet číslo: RespaL3', 'Počet oblouků: 9', 'Profil: TH-34', 'ε: 0,5', and 'Norma oceli: H500M'. Below this are several tables and groups of input fields:

- Délka oblouku [mm]:** L1: 4300, L2: 650, L3: 335, L4: 450, L5: 10500, L6: 450, L7: 335, L8: 650, L9: 4300.
- Poloměr oblouku:** R1: 3650, R2: 2500000, R3: 300, R4: 2500000, R5: 2500000, R6: 2500000, R7: 300, R8: 2500000, R9: 3650.
- Přeplátování [mm]:** P 1-2: 500, P 2-3: 0, P 3-4: 0, P 4-5: 425, P 5-6: 425, P 6-7: 0, P 7-8: 0, P 8-9: 500.
- Osová síla:** F: 0 [kN], X: 4,5 [m].
- Délka K [mm]:** 1000.
- Působení K:** L3.
- Podpory:** Počet: 3. Distances: 1. podpora: 3 [m], 2. podpora: 5,5 [m], 3. podpora: 8 [m], 4. podpora: 3,5 [m], 5. podpora: 4,2 [m].
- Zdvojení:** Počet: 1. Dimensions: D1: 50, D2: (empty), D3: 7600, D4: (empty). Do [mm]: 9050, 9100.

At the bottom, there are fields for 'Datum:' and 'Poznámka:'. On the right side, there are buttons: 'Výpočet', 'Poslední vstup', 'Detail výsledků', 'Uložit vstup', and 'Archiv'.

Obr. č.27 Vstupní formulář pro výpočet jednoduché respy.

- Počet kruhových oblouků, ze kterých je ocelová oblouková výztuž tvořena. Alternativně lze volit 3 až 9 kruhových dílů (rovný díl respy je simulován kruhovým obloukem s dostatečně velkým poloměrem zakřivení).
- Délka L_j každého kruhového dílu, jeho poloměr zakřivení R_j a $P_{j,j+1}$ délka přeplátování (překrytí) s následujícím dílem. Tyto hodnoty se zadávají v [mm].
- Profil, ze kterého je ocelová oblouková výztuž složena. Alternativně může být volen profil TH29, nebo TH34 a ocel (viz okénko norma oceli) H500M nebo 31Mn4. (Výpočet únosnosti probíhá s využitím hodnot mezních momentů uvedených v tabulce č.4 a mezní normálové síly uvedené v tabulce č. 3).
- Síla F [kN] působící v rovině výztuže a vzdálenost x [m] (měří se horizontální vzdálenost od podpory A).
- Poměr ϵ vodorovného a svislého spojitého zatížení. Lze jej volit od 0,0 prakticky bez omezení shora.
- Délka krakorce K [mm], která je na obou bocích respy stejná a označení dílu L respy, na jehož konci je na levé straně respy krakorec připojen.

- Výpočet lze realizovat pro respu bez středních podpor, nebo pro 1 až 5 středních podpor. Pro každou střední podporu musí být zadána vzdálenost x od podpory **A**. Ta se zadává v [m].
- Respa může být také v některých místech zdvojena. Počet zdvojení lze volit 0, 1, 2, 3 a 4. Pro každé zdvojení D_k musí být uvedena hodnota x , od které zdvojení začíná a hodnota x , kde zdvojení končí. Hodnota x je horizontální vzdálenost od podpory **A**.
- Do poznámky lze zadat potřebný text.
- Pro případnou archivaci lze zadat také číslo výpočtu a poznámku. Datum výpočtu se zadává automaticky.
- Vstupní data lze také vyvolat z archivu, jsou-li v něm uložená, kliknutím na tlačítko **Archiv**. Následně je lze pak upřesnit.

Výpočet se spustí po označení pole **Výpočet**.

4.2 Výsledky výpočtu

Po ukončení výpočtu se vstupní formulář změní o výsledky. Na obr.28 jsou výsledky výpočtu únosnosti Respa1 z profilu TH34 a z oceli H500M, který obsahuje následující hodnoty:

- Šířku a odpovídající maximálnímu rozpětí respy. Je dána vztahem $a=x_{max}-x_{min}$. V daném případě je $a=12,17$ m. Znamená to, že maximální rozpětí respy je větší než vzdálenost podpor $x_b=10,65$ m.
- Výšku H respy. V daném případě je $H=4,36$ m. Odpovídá svislé vzdálenosti rovné části střednice respy od spojnice podpor AB.
Poznámka: Uvedené délky se vztahují ke střednici žebra.
- Tabulku s výsledky únosnosti výztuže q , celkového svislého zatížení Q , velikosti horizontálních reakcí H_a , H_b a svislých reakcí R_a a R_b pro zadanou hodnotu ϵ a zatížení respektive reakce středních podpor (v daném případě P_1 , P_2 , a P_3).
- Hodnotu T_{min} , představující hodnotu minimálního odporu proti prokluzu v místě překrytí dílů výztuže, při které se ocelová výztuž chová nepoddajně. Hodnoty q , Q , H_a , H_b , R_a a R_b a dále P_1 , P_2 , a P_3 platí pro nepoddajnou výztuž a jsou uvedeny ve sloupci pod T_{min} . Je-li odpor proti prokluzu menší než tato hodnota, pak únosnost žebra limituje odpor proti prokluzu. Je-li naopak odpor proti prokluzu větší než hodnota T_{min} , pak se žebro chová nepoddajně a jeho únosnost limituje dosažení mezního stavu dle vztahu (2.28). Pro hodnoty odporu proti prokluzu $T = 100$ kN, 150 kN, 200 kN, 250 kN, 300 kN a 350 kN jsou v příslušném sloupci vždy uvedeny hodnoty únosnosti žebra a reakce a odpovídající zatížení středních podpor. Poddajnost žebra je dána zpravidla prokluzem bočních oblouků. V daném případě (obr. 28) je $T_{min}=304,06$ kN a žebro se bude chovat poddajně, pokud hodnota odporu proti prokluzu bude menší než T_{min} . Při uvažovaných hodnotách tomu bude při odporu proti prokluzu až $T=300$ kN. Uvedeným hodnotám odporu proti prokluzu budou odpovídat v tabulce hodnoty únosnosti a všech uvedených reakcí včetně středních podpor. V případě, že odpor proti prokluzu bude větší než T_{min} , bude se výztuž chovat nepoddajně. Zajištění uvedených reakcí je podmínkou, že žebro má skutečně vypočtenou únosnost.

Hodnoty uvedené v tabulce výstupního formuláře se týkají vždy žebra se zadanou geometrií, profilem a s jakostí oceli uvedenou na formuláři (v daném případě TH34 a ocel H500M), při zadaném zdvojení profilu, pro zadaný poměr horizontálního a

svislého zatížení ε , (v daném případě $\varepsilon = 0,5$), při působící síle F ($F=0$ kN) a při aplikaci 3 středních podpor (uložené ve vzdálenosti $x=3,0$ m, $5,5$ m a $8,0$ m od podpory A), které byly pro výpočet zadány, viz obr. 27 a 28.

Z formuláře lze na konci výpočtu také odečíst, že výpočet byl ukončen a dobu výpočtu **Průběh: "Konec výpočtu" [19 sec.]**.

Na formuláři lze označit tlačítko **Uložit vstup** a následně stvrdit dle obr. 11. Vstupní data, včetně data výpočtu a případné poznámky se pak uloží do archivu, který lze otevřít označením tlačítka **Archiv**.

Po označení tlačítka **Další výpočet** lze přistoupit k novému výpočtu. Před zadáváním nových nebo pozměněných vstupů je nutno ale označit tlačítko **Poslední vstup**. Pokud se vstupy upřesňují před označením tlačítek **Další výpočet** a **Poslední vstup**, pak při volbě **Další výpočet** se počítá s původními vstupy. Po označení tlačítka **Tisk výsledků** lze vytisknout formulář s daty uvedenými na výstupním formuláři.

VÝOVR-5

Výpočet číslo: RespaL3 Počet oblouků: 9 Profil: TH-34 ε : 0,5 Norma oceli: H500M

Délka oblouku [mm]: Poloměr oblouku Přepřátování [mm] Osová síla

L1: 4300	R1: 3650	P 1-2: 500	F 0 [kN]	Délka K [mm] 1000
L2: 650	R2: 2500000	P 2-3: 0	X 4,5 [m]	Působení K: L3
L3: 335	R3: 300	P 3-4: 0		
L4: 450	R4: 2500000	P 4-5: 425		
L5: 10500	R5: 2500000	P 5-6: 425		
L6: 450	R6: 2500000	P 6-7: 0		
L7: 335	R7: 300	P 7-8: 0		
L8: 650	R8: 2500000	P 8-9: 500		
L9: 4300	R9: 3650			

Podpory: Počet: 3 Vzdál. 1. podpory: 3 [m] Vzdál. 2. podpory: 5,5 [m] Vzdál. 3. podpory: 8 [m] Vzdál. 4. podpory: 3,5 [m] Vzdál. 5. podpory: 4,2 [m]

Zdvojení: Počet: 1 Od [mm]: Do [mm]: D1: 50 9050 D2: D3: 7600 9100 D4:

Datum: 29.05.2014 Poznámka: Průběh: *** Konec výpočtu *** [20 sec.]

Výsledky

	Tmin = 440,66 kN	T = 100 kN	T = 150 kN	T = 200 kN	T = 250 kN	T = 300 kN	T = 350 kN	
q [kN/m]	194,642	44,17	66,255	88,339	110,424	132,509	154,594	a: 12,17047 [m]
Q [kN]	2442,742	554,327	831,49	1108,654	1385,817	1662,981	1940,144	H: 4,359426 [m]
Ha = Hb [kN]	-228,268	-51,8	-77,7	-103,601	-129,501	-155,401	-181,301	Xb: 10,6476 [m]
Ra [kN]	413,71	93,882	140,824	187,765	234,706	281,647	328,588	Xl: 48,8207 [mm]
Rb [kN]	379,437	86,105	129,157	172,21	215,262	258,315	301,367	Xp: 10598,7581 [mm]
P1 [kN]	660,312	149,843	224,765	299,687	374,609	449,53	524,452	
P2 [kN]	372,257	84,476	126,713	168,951	211,189	253,427	295,664	
P3 [kN]	617,026	140,021	210,031	280,041	350,052	420,062	490,072	

Legenda:
T ... odpor proti prokluzu
Tmin ... minimální únosnost nepoddajného spoje

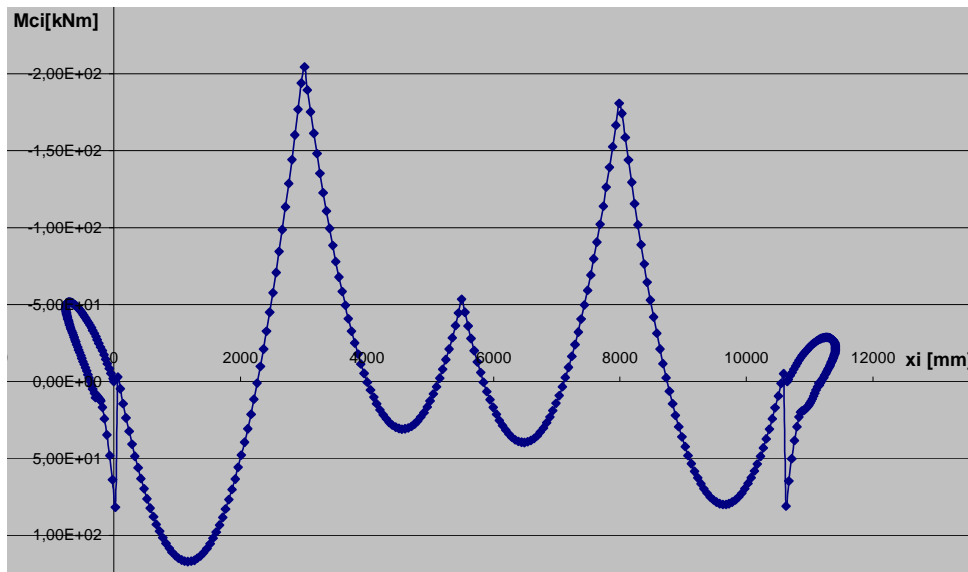
Tisk výsledků

Start GrafNCI Graf MCI Graf VCI Graf tvaru Graf OblNCI Graf OblMI Graf OblVCI Graf OblPohyb **Výsledná data**

Obr. č. 28 Výstupní formulář pro výpočet únosnosti Respa 1 z profilu TH34 a z oceli H500M s výsledky a s lištou.

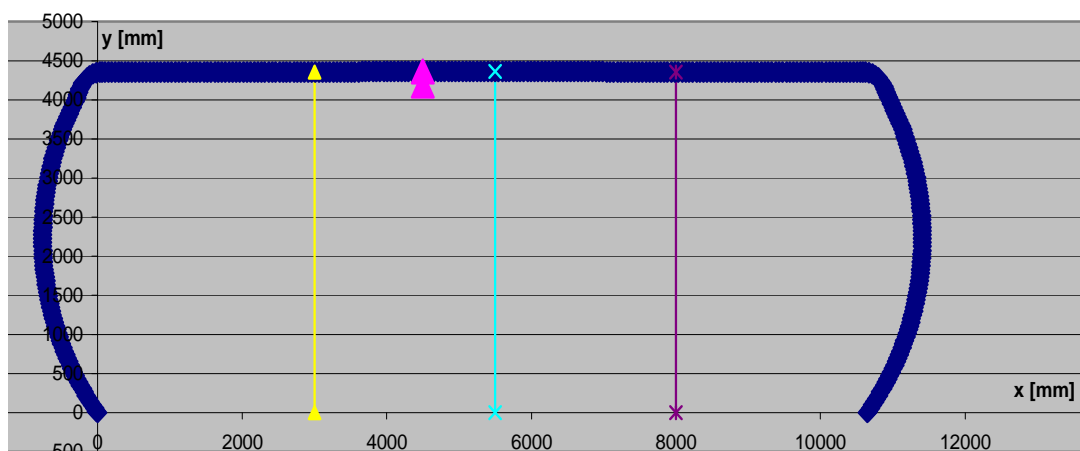
Po kliknutí na tlačítko **Detail výsledků**, lze dle možností uvedených na liště pod výstupním formulářem (viz obr. 28) vyvolat:

- **Start** Titulní stránku s charakteristikou programu a s tlačítkem **Start**, které po kliknutí zajistí návrat na vstupní formulář s posledními vstupy (obr. 27).

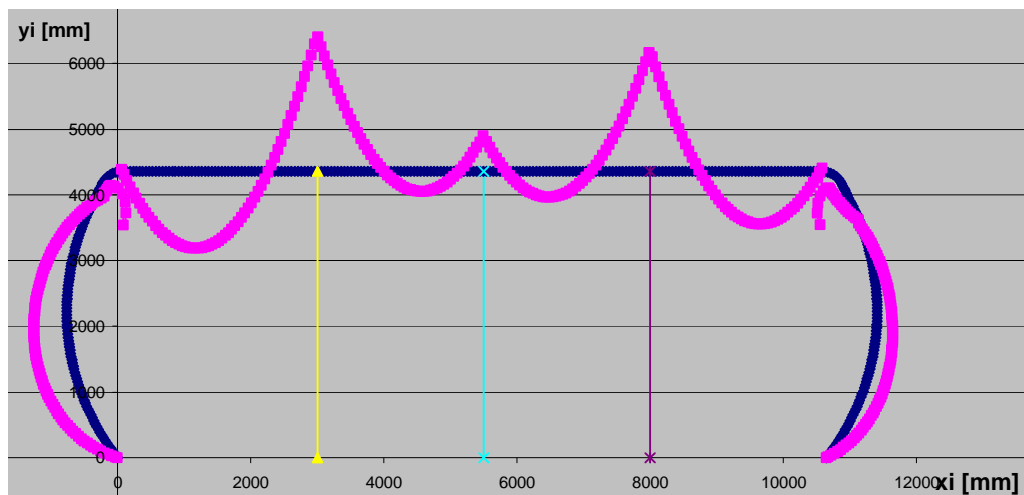


Obr. č.29 Průběh ohybového momentu M_{ci} [kNm] podél střednice respý promítnutý na osu x .

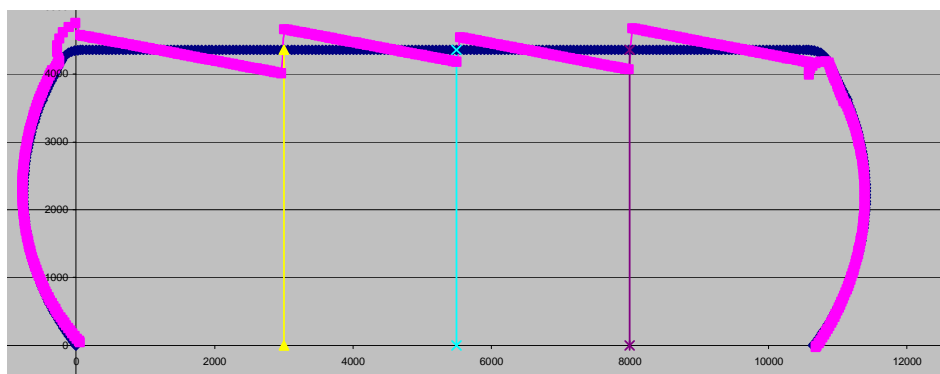
- **Graf NC_i** Průběh normálové síly podél střednice respý promítnutý na osu x , která má počátek v bodě A žebra
- **Graf MC_i** Průběh ohybového momentu podél střednice oblouku promítnutý na osu x , viz obr. 29. Největší záporný ohybový moment vzniká v rovné části žebra v místě 1. střední podpory (-204,4 kNm). Tento moment limituje v daném případě únosnost respý, je-li odpor proti prokluzu $T > 441$ kN.
- **Graf VC_i** Průběh posouvající síly podél střednice žebra promítnutý na osu x .
- **Graf tvaru** Viz schéma tvaru výztuže na obr.30 s vyznačením místa, kde působí síla F a kde jsou umístěny střední podpory.
- **Graf $ObIM_i$** Průběh ohybového momentu podél střednice oblouku, viz obr. 31.
- **Graf $ObIN_c_i$** Průběh normálové síly podél střednice oblouku
- **Graf $ObIV_c_i$** Průběh posouvající síly podél střednice oblouku, viz obr. 32
- **Graf $ObIPohyb$** Schéma průběhu posunutí střednice oblouku δ , viz obr. 33. Posunutí je vypočteno pro hodnotu zatížení odpovídající únosnosti výztuže.



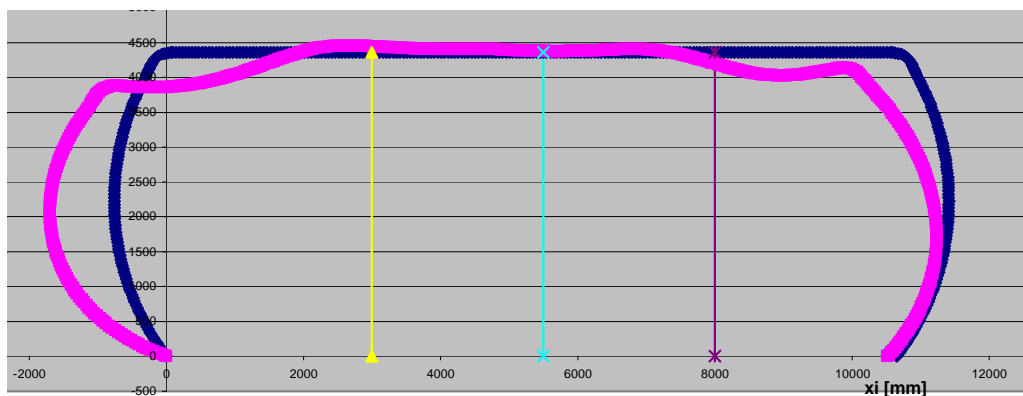
Obr. č. 30 Schéma tvaru respý s místy, kde působí síla F a střední podpory.



Obr. č. 31 Průběh ohybového momentu podél střednice oblouku.



Obr. č. 32 Průběh posouvající síly podél střednice oblouku.



Obr. č. 33 Průběh posunutí podél střednice oblouku.

- **Výsledná data** Tabulka s dílčími výsledky postupu výpočtu. Uvedené výsledky vyvolané po označení lišty se vztahují (kromě tvaru výztuže) na zadaný profil pro zatížení odpovídající únosnosti výztuže při zadané konkrétní hodnotě poměru bočního a svislého zatížení ϵ .

5. Závěr

Programy **Výpočet únosnosti žebra –VÚŽ** a **Výpočet únosnosti ocelové výztuže respy– VÚOVR-5** jsou určeny pro stanovení únosnosti speciálních ocelových konstrukcí, které se v hornictví aplikují na odbočkách z dlouhých důlních děl. Odbočujícím důlním dílem může být chodba různých rozměrů nebo také prorážka budoucího porubu. Žebra jsou zpravidla vícedílná a mají rovnou stropní část, což je výhodné zejména z hlediska technologického, nevýhodné z hlediska statického. Únosnost žebra mnohdy s relativně dlouhou stropní částí klesá za jinak stejných podmínek přibližně nepřímo úměrně druhé mocnině jeho délky. Obdobné platí také pro respy. Únosnost těchto důlních stavebních prvků lze zvyšovat volbou hmotnostního stupně, jakostí oceli a zdvojením zejména rovné části. Účinným nástrojem pro zvyšování únosnosti žebra a respy je aplikace středních podpor o potřebné únosnosti. Mohou jimi být stojky, které ovšem omezují manipulační prostor v prostoru odbočky, nebo dlouhé kotvy, které tuto nevýhodu nemají. Jak stojky tak dlouhé kotvy musí mít ale únosnost vyplývající z výpočtu. Pokud tuto únosnost nemají, pak únosnost žebra neodpovídá vypočtené hodnotě. Pro jeho únosnost lze v tomto případě přibližně předpokládat, že odpovídá své vypočtené hodnotě násobené poměrem skutečné a požadované únosnosti střední podpory. Při aplikaci většího počtu středních podpor se pak redukuje vypočtená únosnost žebra a případně respy poměrem skutečné a požadované únosnosti střední podpory, která je u všech podpor nejnižší.

Předložené verze programů navazují na pracovní verze aplikované v cca dvouměsíčním zkušebním ověřování na důlních podnicích OKR. Během této doby došlo po některých námětech k upřesnění výpočetních programů. Týkaly se zejména kontroly zadávání některých vstupních dat (polohy podpor, zdvojení jednotlivých dílů a místa působení síly F), některých výstupů a upřesnění svislého zatížení resp. Možnost využívání programů není časově omezená. Pokud se při jejich aplikacích objeví nějaké skryté nedostatky informujte, prosím, autory uvedených softwarů. Budou rovněž vděční za poznatky, zkušenosti a náměty, které uživatele programu při jeho aplikacích získají. Zasahovat do programů bez souhlasu autorů je ovšem nepřípustné.

Programy **Výpočet únosnosti žebra – VÚŽ** a **Výpočet únosnosti ocelové výztuže respy– VÚOVR-5** jsou určeny pro potřeby OKD, a.s. a nesmí být bez souhlasu zhotovitele předány nebo užívány pro potřeby třetích osob.

Literatura

1. Janas,P., Bláha, F., Dimenzování ocelové výztuže dlouhých důlních děl, křížů a odboček v podmínkách ostravsko.karvinského revíru, *časopis Uhlí*, roč. 35/1987, č.9,s.402-409.
2. Janas,P., Bláha, F., Metodika stanovení výpočtového zatížení a dimenzování výztuže odboček a křížů v podmínkách OKD, Vzdělávací středisko OKD, Ostrava, 1981.
3. Janas,P. a kol., Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl, závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/01/0783, FAST VŠB TU Ostrava, leden 2004.
4. VVUÚ Ostrava-Radvanice: Odborné posudky a zkušební protokoly.
5. Zkušební protokoly INH Ostrava, 2001, 2002, 2003, 2004.
6. Janas,P. a kol., Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl při rázovém zatížení, závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/04/0458, FAST VŠB TU Ostrava, leden 2007.
7. Janas, P., Kološ, I., Fojtík, R., Zatřídění profilů ocelové důlní výztuže podle klasifikace EC3, Structural and Physical Aspects of Civil Engineering, Stavebná fakulta TU v Košicích 2013.
8. Janas,P., Koubová,L. Modelové a experimentální ověřování vlastností a únosnosti ocelové obloukové výztuže, 11. mezinárodní konference Modelování v mechanice 2013,FAST VŠB TU Ostrava, sborník str.27-28, plné znění CD-ROM (ISBN 978-80-248-2985-2).
9. Vašek, Z., Janas,P., Ocelové výrobky pro použití v pozemním a důlním stavitelství, 10. mezinárodní konference Modelování v mechanice 2012, FAST VŠB TU Ostrava, sborník str.10-11, plné znění CD-ROM (ISBN 978-80-248-2994-3).
10. ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 (731401). Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
11. Janas,P., Výpočet únosnosti ocelových obloukových výztuží chodeb z profilů TH29 a TH34 z oceli H500M (31Mn4) VÚOOVCH, uživatelská příručka SW zpracovaného v rámci řešení projektu TA01010838, FAST VŠB TU Ostrava, prosinec 2013.