

Ocelová oblouková výztuž v dlouhých důlních dílech, současné možnosti jejího posuzování a dimenzování

P. JANAS

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky

Abstract

Steel arch supports rank among elements that are used most frequently to support long mining workings. Typically, it consists of at least three circular or straight segments that are connected with each other with bolt or U-bolt joints. When designing the steel arch supports in various conditions, the load-carrying capacity of the arch supports needs to be determined on an operative basis. In past, the designing was based on results of laboratory tests carried out in testing equipment that had been used for a long time in VVUÚ (Scientific-Research Coal Institute). The equipment made it possible to check correctness of numerical calculations the results of which were introduced in practice when preparing designs in mining businesses. The testing equipment is not available in the Czech Republic anymore. Comparing with the past, considerably more methods can be used now to evaluate properties of the steel arch supports in standard information systems without using expensive SW based typically on the Finite Element Method.

Original analyses were used to develop a special computational application in Microsoft Excel. The application that runs on a standard PC is able to determine the deformation work, load-carrying capacity and forces influencing the support for a specific rolled section, specific loads, and certain parameters of contracts between the rock mass and support (in case of supports consisting of 3-5 sections). The calculations are based on the 1st order and 2nd order theories where interactions between the steel arch-support and rock mass exist. Analyses and calculations for big deformations of long mining workings are being developed now. Such deformations occur in case of extraordinary loads and in cases when the physical and geometric behaviour of the steel arch support is non-linear. Thanks to the developed software and available results, possible structures of the steel arch supports can be confronted now in various mining-geological conditions, and modifications, if any, can be proposed.

Úvod

Ocelová oblouková výztuž je nejpoužívanějším prvkem při vyztužování dlouhých důlních děl v hornictví. Je zpravidla tvořena třemi a více kruhovými nebo i rovnými díly, které se vzájemně spojují šroubovými nebo třmenovými spoji. Pro její navrhování v nejrůznějších podmínkách je nezbytné operativně určovat její únosnost. V minulosti se k tomuto účelu využívalo výsledků laboratorních zkoušek na zkušebním zařízení, které dlouhá léta sloužila ve VVUÚ. Toto zařízení umožňovalo rovněž testovat správnost numerických výpočtů, jejichž výsledky se aplikovaly v projekční praxi na

důlních podnicích. Uvedené zkušební zařízení již k dispozici v České republice není. Ve srovnání s minulostí se však podstatně rozšířily možnosti posuzování vlastností ocelových obloukových výztuží s využitím běžně dostupné výpočetní techniky a to bez nákladných SW, které dnes zpravidla využívají metodu konečných prvků.

S využitím originálních analýz byly zpracovány v prostředí Microsoft Excel původní výpočetní programy umožňující na běžně dostupné výpočetní technice pro zvolený válcovaný profil, při různých zatíženích, se zadanou kvalitou kontaktu mezi horninou a výztuží pro 3 až 5 dílnou výztuž určovat deformační práci, únosnost a případně síly působící na výztuž. Výpočty lze realizovat dle teorie I. řádu, II. řádu a při interakci výztuže s horninovým masivem. Pracuje se na analýzách a výpočtech při velkých deformacích dlouhých důlních děl, ke kterým dochází při mimořádných zatíženích, a kdy se ocelová oblouková výztuž chová fyzikálně a geometricky nelineárně. Dosažené výsledky a vyvinuté programy umožňují vzájemně porovnávat v úvahu přicházející konstrukce ocelových obloukových výztuží v různých důlně geologických podmínkách a navrhnout jejich případné úpravy.

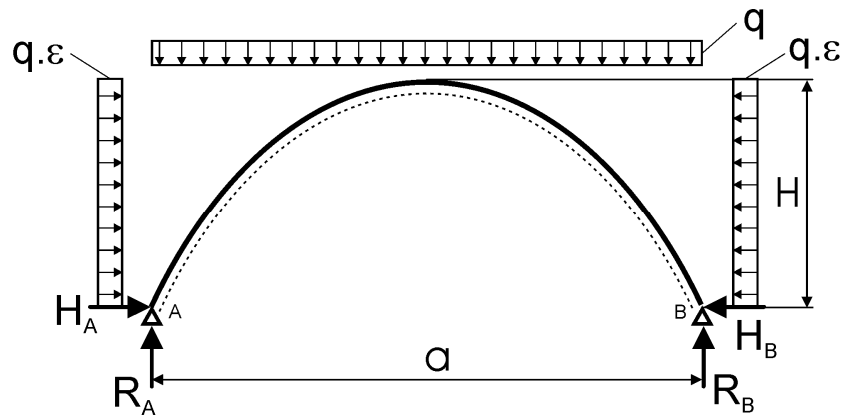
Statické řešení ocelové obloukové výztuže dle teorie I. řádu je výsledkem projektu GA ČR 105/01/0783. Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl, který byl ukončen v roce 2003 (JANAS ET AL., 2003). Výsledkem řešení bylo mimo jiné zpracování SW pomocí programovacího jazyka Visual Basic, který pro zvolená zatížení umožňuje určení únosnosti ocelové obloukové výztuže a přetvoření na běžně dostupné výpočetní technice v prostředí Microsoft Excel. Algoritmus přitom využívá klasickou silovou metodu. Uvedený program byl následně rozšířen (JANAS ET AL., 2007) pod názvem Výpočet únosnosti a pružné deformační energie ocelové obloukové výztuže tak, aby bylo možno také určit energii kumulovanou v ocelové obloukové výztuži, pokud je nepoddajná nebo se z různých důvodů chová nepoddajně, případně analyzovat chování poddajné výztuže z hlediska uvolňování pružné deformační energie. Výpočtem lze také určit reakce, přetvoření střednice a průběhy složek vnitřních sil. Lze přitom volit běžně používané hmotnostní stupně s příslušnou kvalitou oceli. V roce 2008 bylo zahájeno řešení projektu GA ČR Ocelová výztuž dlouhých důlních a podzemních děl při mimořádných zatíženích.

Statické řešení ocelové obloukové výztuže dle teorie I. řádu

Při aplikaci teorie I. řádu se předpokládá, fyzikální a geometrická linearita, tj., že materiál výztuž se chová dle Hookova zákona, a že deformace jsou při zatížení natolik malé, že chování konstrukce lze analyzovat na nepřetvořené konstrukci. Tento postup se zpravidla běžně aplikuje při posuzování stavebních konstrukcí a používá se rovněž při určování únosnosti ocelové obloukové výztuže, i když pro její únosnost se nevyklučuje lokální překročení meze kluzu materiálu (JANAS ET AL., 2003).

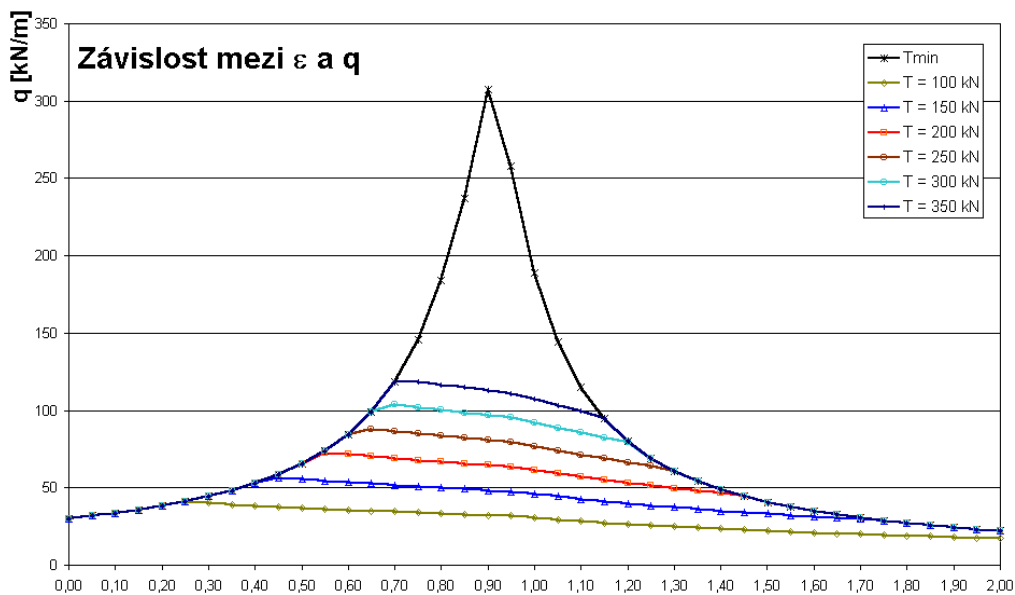
Ocelová oblouková výztuž se vyrábí z různých hmotnostních profilů. Je zpravidla tvořena třemi a více kruhovými nebo i rovnými díly, které se vzájemně spojují šroubovými nebo třmenovými spoji. Konstrukce běžně dodávaných ocelových obloukových výztuží jsou v prospektech dodávaných výrobců. Často se však pro konkrétní situace volí konstrukce atypické. 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. V uvedeném SW může být výztužní oblouk tvořen

3 až 5 díly o různých délkách a různém poloměru zakřivení. Předpokládá spojitě rovnoměrné svislé a vodorovné zatížení a dvojkolbové uložení ocelového oblouku v souladu s obr. 1. 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.



Obr. 1. Zatěžovací schéma obloukové výztuže.
Fig. 1. Scheme of computational model of arc support.

Na obr. 2 je uveden graf únosnosti ocelové obloukové výztuže 00-0-19 z profilu P28 a z oceli 11 500 dodávanou výrobcem ArcelorMittal Steel Ostrava a.s. vypočtený výše



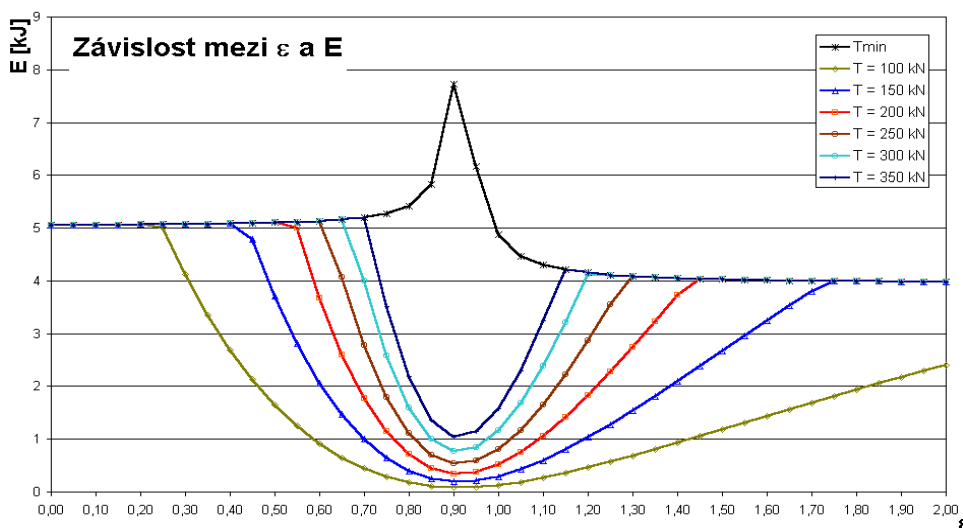
Obr. 2. Graf únosnosti výztuže ve svislém směru $q=f(\varepsilon)$ pro profil 00-0-19/P28 z oceli 11 500.
Fig. 2. Bearing capacity of support for 00-0-19/P28 cross-section form steel 11 500.

uvedeným SW. Je zřejmé, že únosnost dané výztuže se pohybuje ve velmi širokých mezích daných jak hodnotou poměru bočního a svislého zatížení ε , tak také odporem

proti prokluzu. Odpor proti prokluzu omezuje oblast zatížení, pro kterou se jedna a tatáž výztuž chová poddajně a oblast zatížení, pro kterou se chová nepoddajně. Pro poměr bočního a svislého zatížení $\varepsilon = 0,9$ je na obrázku únosnost výztuže pro nepoddajnou výztuž nejvyšší. Podmínkou je, aby odpor proti prokluzu T byl větší než T_{\min} , tj. $T > T_{\min}$. V daném případě je $T_{\min} = 953,64$ kN.

Pro $T < T_{\min}$ se ocelová oblouková výztuž může chovat poddajně. Prokluz nastává, dosahuje-li velikost normálové síly v místě s přeplátovanými díly hodnoty odporu proti prokluzu. Únosnost výztuže je pak dána hodnotou zatížení, při kterém prokluz nastává. Pro hodnoty odporu proti prokluzu $T = 100$ kN až 350 kN jsou hodnoty únosnosti výztuže zřejmé z obr. 2. Odpor proti prokluzu omezuje oblast zatížení, pro kterou se jedna a tatáž výztuž chová poddajně a oblast zatížení, pro kterou se chová nepoddajně.

Rovněž velikost pružné deformační energie, která může být kumulovaná v ocelové obloukové výztuži, je do značné míry závislá na odporu proti prokluzu. Je to zřejmé z obr. 3, kde je pro stejnou výztuž 00-0-19, pro různé hodnoty ε a pro uvedené hodnoty odporu výztuže proti prokluzu na svislé ose příslušná hodnota pružné deformační energie E . Z obr. 3 je patrné, že velikost pružné deformační energie pro nepoddajnou výztuž při dosažení únosnosti se pro různé poměry bočního a svislého zatížení ε pohybuje v rozmezí od 4 do téměř 8 kJ, přičemž



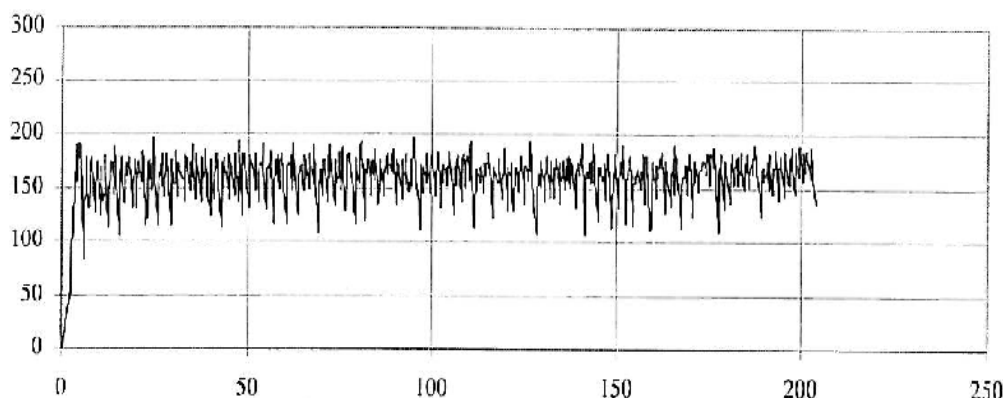
Obr. 3. Pružná deformační energie ve výztuži 00-0-19 pro různé hodnoty ε .
Fig. 3. Elastic deformational energy in the 00-0-19 support for different ε values.

nejvyšších hodnot dosahuje (obdobně jako únosnost) v případě, kdy ve výztuži vznikají pouze malé ohybové momenty. Po dosažení těchto hodnot únosnosti by se měla výztuž při dalším zatížení trvale deformovat. I ocelová výztuž konstruovaná jako poddajná se chová nepoddajně, je-li zatěžována tak, že v ní nebudou při daném zatížení normálové síly v místech přeplátovaných dílů dosahující hodnot odporu výztuže proti prokluzu. Vyplývá to ostatně z výše uvedených obrázků.

Pokud se výztuž bude chovat jako poddajná, pak velikost pružné deformační energie v obloukové výztuži se pohybuje v podstatně širších mezích. Pro danou velikost a tvar ocelové obloukové výztuže je zde důležitý jednak odpor proti prokluzu, jednak

charakter zatížení. S odporem proti prokluzu hodnota pružné deformační energie při zatížení stoupá. Obecně je přitom nejmenší v případech, kdy ve výztuži vznikají minimální ohybové momenty. Prokluzu v místech spojů omezují růst a kumulaci pružné deformační energie ve výztuži. Tím výztuž chrání před trvalými deformacemi. Deformace se při prokluzech projevují zvětšováním délky vzájemně překrytých dílů při změně geometrie výztuže.

Délka prokluzu je závislá na energii, která se při něm uvolní. Z prokluzových laboratorních zkoušek na rovných nebo oblých tyčích je známo, že závislost mezi zatěžující silou a deformací má charakter pilového grafu (viz obr.4). Prokluz začíná, jestliže normálová síla v místech překlátovaných dílů dosahuje odporu proti prokluzu a končí, je-li normálová síla menší než odpor proti prokluzu. Tření v klidu (před začátkem prokluzu) a v pohybu (při ukončení prokluzu) přitom zřejmě sehrává významnou roli. Důležitá je přitom celá řada dalších faktorů, jejichž specifikace přesahuje rozsah příspěvku. Při prokluzu se uvolňuje z výztuže pružná deformační energie a přeměňuje se zejména v teplo vznikající třením prokluzujících dílů.



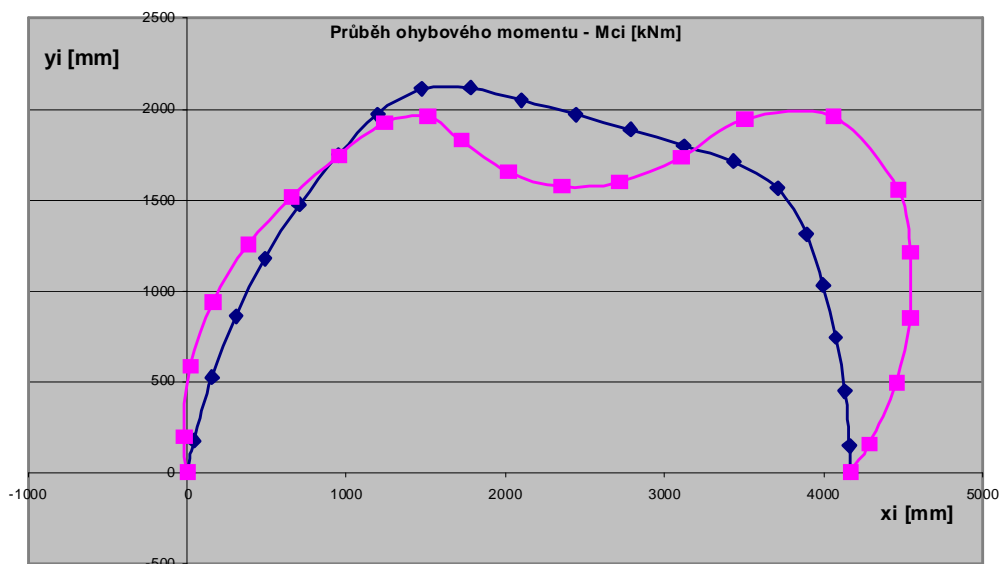
Obr. 4. Záznam prokluzové zkoušky na rovných tyčích.
Fig. 4. Slip test record for straight bars.

Ukazuje se, že prokluzu lze přeměnit i značné množství pružné deformační energie na teplo. Velikost této energie je dána celkovou délkou prokluzu a odporem výztuže proti prokluzu. Celková práce může být při tom řádově větší než pružná energie kumulovaná ve výztuži. Je-li např. délka všech prokluzů u výztuže 00-0-19/P28 ve všech spojích $d = 0,8$ m a průměrný odpor proti prokluzu 150 kN, pak se při prokluzu vykonala práce 120 kJ, což je cca 24 násobek pružné deformační energie, která ve výztuži může být při dosažení únosnosti bez prokluzu pro $\epsilon \leq 0,8$ (viz obr. 3).

Při prokluzech se ovšem může podstatně měnit tvar výztuže, což neodpovídá předpokladům teorie 1. řádu. Výpočet únosnosti lze ovšem operativně opakovat při změněné délce překlátování vzájemně spojených dílů výztuže a určovat únosnost výztuže při takto změněném tvaru. Zanedbává se přitom ovšem přetvoření mimo prokluzu.

Uvedený program umožňuje určovat i únosnost zcela atypické výztuže. Předpokládá se přitom, že podpory jsou ve stejné výškové úrovni. Tvar výztuže je pak jednoznačně zadán, je-li určena délka vzájemně se překrývajících dílů.

Na obr. 5. je tvar atypické výztuže generované výpočtem po zadání délek pěti dílů s příslušným poloměrem zakřivení a s délkou překrytí sousedních dílů. Délky jednotlivých dílů jsou různé. Ve stropní části jsou rovné díly výztuže simulovány kruhovými díly s dostatečně velkými poloměry zakřivení. Obdobně, jak je na obr. znázorněn průběh ohybového momentu, lze s využitím uvedeného SW snadno graficky znázornit průběh normálových a posouvajících sil a dle potřeby případně v odpovídajících místech provést zesílení výztuže.



Obr. 5. Příklad asymetrické výztuže s rovnou stropní částí a s průběhem ohybového momentu.
Fig. 5. Example of asymmetrical arc support with plain roof – bending moment is shown.

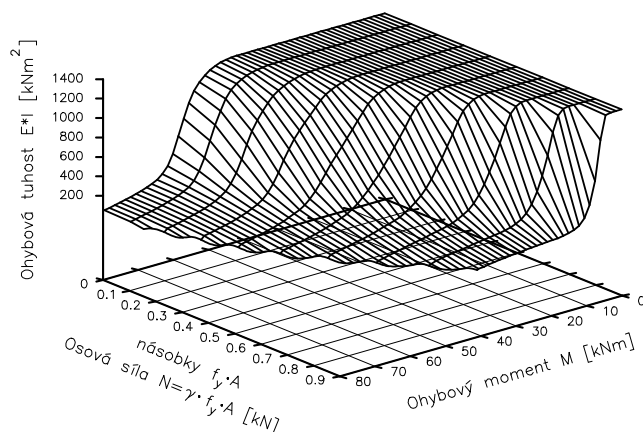
Statické řešení ocelové obloukové výztuže dle teorie II. řádu

Jestliže při řešení dle teorie I. řádu se řešení formuluje na nepřetvořené konstrukci, pak při řešení dle teorie II. řádu se sice stále předpokládají malé deformace, do výpočtu se však již zahrnuje změna geometrie konstrukce. Výpočet přitom probíhá iteračně s tím, že se určí hodnoty posunutí a natočení jednotlivých bodů výztuže, vypočtené nejdříve dle teorie I. řádu a následně se upravují souřadnice střednice nedeformovaného oblouku. Výztuž je pak zatěžována v deformovaném stavu. Výpočet dále probíhá iteračně vždy na již deformované konstrukci stejně jako dle teorie I. řádu. Výsledkem je opět únosnost výztuže, složky vnitřních sil a přetvoření. Počet iterací lze předepsat, je však ukončen, když relativní rozdíl únosnosti ve dvou po sobě následujících iteracích je menší než zadaná přesnost:

$$\xi \geq |(q_k - q_{k-1}) / q_k|,$$

kde q_k je únosnost v k -té iteraci.

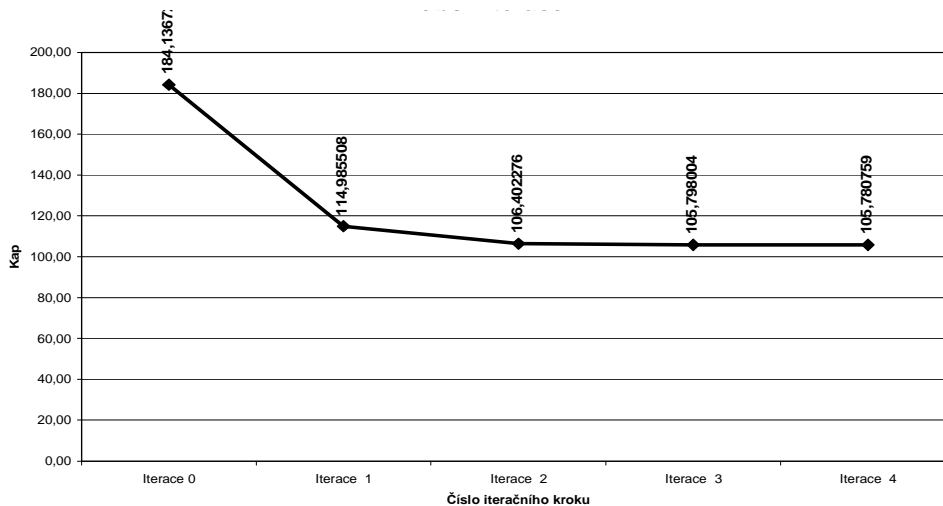
Při uvažování fyzikální nelinearity se jednotlivým dílkům výztuže přiřazují postupně náhradní ohybové tuhosti (E^*I_i), odpovídající vnitřním silám, tj. ohybovému momentu a



Obr. 6. Plocha tuhosti profilu K24.
Fig. 6. Surface of stiffness for K24 cross-section.

normálovým silám vypočteným nejdříve dle teorie I. řádu (v 0. iteraci) a následně se změněnými ohybovými tuhostmi dílků výztuže a upřesněnými souřadnicemi deformovaného oblouku (JANAS ET AL., 2004). Počet iterací lze opět limitovat, pokud iterační proces není ukončen po dosažení předepsané přesnosti. Pro určování náhradních ohybových tuhostí byly konstruovány plochy tuhosti používaných profilů ocelové obloukové výztuže pro skutečné přetvárné vlastnosti aplikovaných ocelí. Příkladem je na obr. 6 plocha tuhosti pro profil K24 z oceli 11 500. Byla konstruována (KOLOŠ 2005) za předpokladu, že se tvar profilu při zatěžování oblouku nemění.

Příklad výpočtu únosnosti nepoddajné ocelové obloukové výztuže 00-0-16 dle teorie II. řádu z profilu P28 pro $\varepsilon = 0,8$ je na obr.7. Je z něj zřejmé, že uvážení geometrické a fyzikální nelinearity se projeví poklesem únosnosti nepoddajné výztuže proti klasickému řešení dle teorie I. řádu. Neovlivňuje se tím ovšem únosnost poddajné výztuže, pokud je limitovaná odporem proti prokluzu.



Obr. 7. Iterace při výpočtu únosnosti nepoddajné výztuže 00-0-19/P28, teorie II. řádu, $\varepsilon = 0,8$.
Fig. 7. Iterations during computation of unyielding support 0-0-19/P28, IInd order theory, $\varepsilon = 0,8$.

Statické řešení ocelové obloukové výztuže při velkých deformacích

Ocelová oblouková výztuž je v důlních podmínkách nezhledka vystavena značným deformačním změnám (viz obr. 8). Mění se přitom podstatně geometrie konstrukce, vztah mezi napětím a deformací v oceli není jen lineární a mnohdy dochází také ke změně tvaru průřezu aplikovaného válcovaného profilu a průřezových charakteristik. Předpokládá-li se o výztuži, že je dvojklobově uložená, je jedenkrát staticky neurčitá. Má však celou řadu zpravidla jednostranných vazeb na horninu, přenášejících převážně tlak (nikdy ne tah). Při aktivním silovém nebo deformačním zatížení se výztuž deformuje a opírá se spojitě či bodově o horninu nebo jiné materiály, které se stlačují a indukují pasivní síly působící na výztuž. Aktivní zatížení výztuže tedy indukuje pasivní zatížení působící jednostranně. Pasivní síly mají velmi příznivý vliv na únosnost a deformaci ocelové obloukové výztuže.

Statické řešení ocelové obloukové výztuže při velkých deformacích předpokládá zvládnutí následujících problémů:

- geometrickou nelinearitu tvaru výztuže,
- fyzikální nelinearitu materiálu,
- změnu tvaru profilu (geometrickou nelinearitu tvaru profilu),
- interakci výztuže s horninou,
- deformační zatížení výztuže.

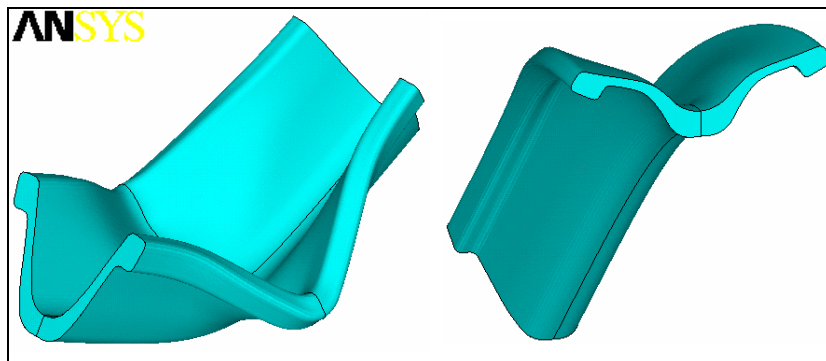


Obr. 8. Detail deformace výztuže.

Fig. 8. Deformation of arc support.

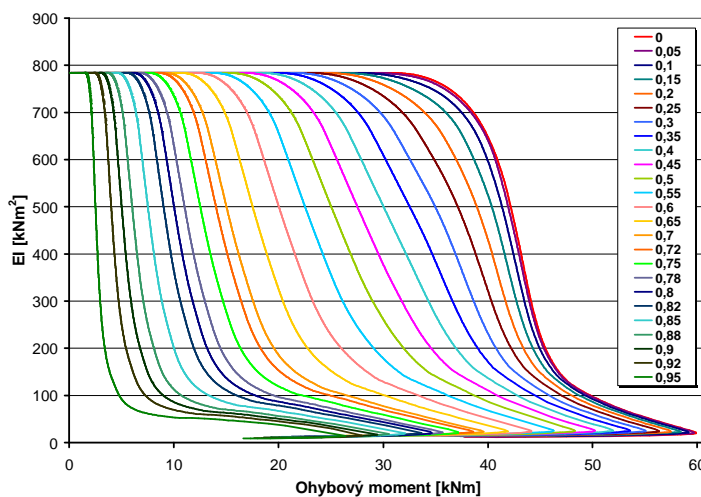
Pro řešení geometrické nelinearity tvaru výztuže se rozpracovala metoda jednotkových momentů, umožňující korektně řešit i přetvoření srovnatelná s rozměry konstrukce (RANDÝSKOVÁ & JANAS 2006). Fyzikální nelinearitu materiálu lze řešit s využitím křivek náhradní ohybové tuhosti. Předpoklad o neměnnosti průřezu není však zejména při větších hodnotách ohybových momentů a normálových sil zcela korektní, a proto se při aplikaci metody konečných prvků (PODEŠVA 2007) a při využití výsledků ohybových zkoušek (JANAS ET AL., 2007) odvodila plocha tuhosti profilu K24

při respektování deformace profilu. I zde je náhradní ohybová tuhost funkcí ohybových momentů a normálových sil. Vychází se přitom z analytického řešení, z modelování ohybu části profilu K24 zatěžovaného ohybovým momentem a normálovou silou metodou konečných prvků (JANAS ET AL., 2007), viz. obr.9 (PODEŠVA 2007), a z analýz ohybových zkoušek zahrnující i změnu tvaru profilu v procesu zatěžování



Obr. 9. Modelování deformace profilu K24 metodou konečných prvků.
Fig. 9. Finite element modelling of deformations of the K24 cross-section.

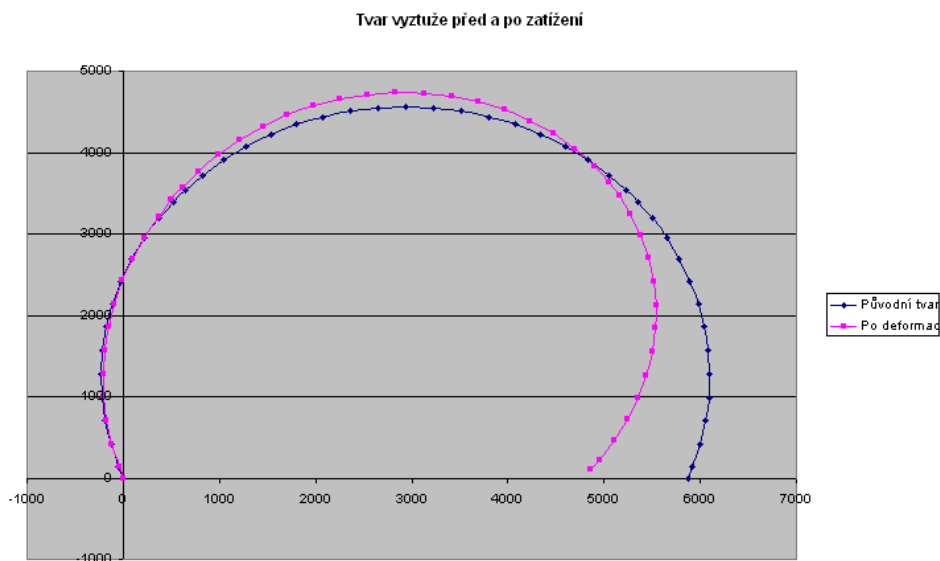
Změna ohybové tuhosti je funkcí složek vnitřních sil (ohybového momentu a normálové síly). Na obr. 10 jsou idealizované křivky náhradní ohybové tuhosti pro otevřený profil K24. Při interakci výztuže s horninou je aplikován Winklerův model, umožňující do značné míry studovat součinnost výztuže s horninovým masivem při silovém i při deformačním zatížení. Podrobné řešení včetně dosažených výsledků přesahuje rozsah příspěvku a je uvedeno včetně příkladů v (JANAS ET AL. 2007).



Obr. 10. Idealizované křivky ohybové tuhosti pro profil K 24 pro různé relativní normálové síly N/N_m .
Fig. 10. Idealized bending stiffness curves for the K24 cross-section for various normal forces N/N_m .

V současné době je problematika velkých deformací zvládnuta pouze částečně. Obtížné je zejména modelování ocelové obloukové výztuže v situaci, kdy ohybová tuhost (obr. 10) klesá s hodnotou ohybového momentu. S těmito situacemi se však lze

v dlouhých důlních dílech setkat. Jednodušší je, pokud ohybová tuhost klesá s ještě rostoucím ohybovým momentem.



Obr. 11. Změna tvaru výztuže při posunutí pravé podpory o 1 m.
Fig. 11. Shape change after 1 m displacement of right support point.

Ukazuje se, že poměrně značné deformace ocelové obloukové výztuže mohou nastat i bez velké energetické náročnosti (ve srovnání s energií uvolňovanou při prokluzu). Na obr. 11 je ocelová oblouková výztuž zatížená deformačně posunutím pravé podpory o 1 m. Při použití profilu K-24 z oceli 11500 vykonala výztuž práci pouze 4,4 kJ, při použití profilu TH29 z oceli 31Mn4 pak 8,2 kJ. Výztuž se posunula do prostoru, v němž je malý odpor bránící deformaci, tj. částečně do stropu. Pokud se v takovýchto případech aplikují střední stojky, pak nemají při daném deformačním zatížení žádnou funkci. Mohou se uvolnit a vypadnout. Jejich funkce může být ovšem obnovena při dalším aktivním svislém zatěžování, je-li zamezeno jejich vyřazení z funkce.

Závěr

S využitím originálních analýz byly zpracovány v prostředí Microsoft Excel původní výpočetní programy umožňující na běžně dostupné výpočetní technice pro zvolený válcovaný profil, při různých zatíženích, se zadanou kvalitou kontaktu mezi horninou a výztuží pro 3 až 5 dílnou výztuž určovat deformační práci, únosnost a případně síly působící na výztuž. Dosažené výsledky a vyvinuté programy umožňují vzájemně porovnávat v úvahu přicházející konstrukce ocelových obloukových výztuží v různých důlně geologických podmínkách a navrhnout jejich případné úpravy. Ukazuje se však, že v problematice „velkých deformací“ je stále velmi široká oblast pro řešení obtížných a zatím nevyřešených úloh.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu 105/08/1562, realizovaného za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím GA ČR.

Literatura

- JANAS, P. & KOL. (2003): Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl, závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/01/0783, FAST VŠB TU Ostrava, leden 2003.
- JANAS, P.(2004): Statické řešení ocelové obloukové výztuže při existenci pasivních sil, 9.ročník mezinárodní konference „Geotechnika – Geotechnics“, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry, Slovenská republika, 22. až 24. září 2004, str. 369-374, , ISBN 80-8073-151-9.
- JANAS, P. (2007): Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl při rázovém zatížení, závěrečná zpráva grantového projektu 105/04/0458, Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava, leden 2007.
- JANAS, P., KREJSA, M., KOLOŠ, I. & JANAS, K. (2004): Výpočet únosnosti ocelové obloukové výztuže, III. mezinárodní konferencia „Nové trendy v statice a dynamice stavebních konstrukcí“, 21.-22. októbra 2004, Stavebná fakulta STU v Bratislave, str. 267-274, ISBN 80-227-2116-6 , GAČR 105 04 0458.
- KOLOŠ, I. (2005): Staticky neurčité prutové konstrukce v pružnoplastickém stavu, doktorská disertační práce, FAST VŠB TU Ostrava, březen 2005.
- JANAS, P. & KOLOŠ I. (2007): Modelování ohybové zkoušky průřezu K 24, Sborník konference Modelování v mechanice, FAST VŠB TU Ostrava, 14. a 15. 2. 2007.
- PODEŠVA, J. (2007): Charakteristika nelineárního ohybu nosníku, Sborník konference Modelování v mechanice, FAST VŠB TU Ostrava, 14. a 15. 2. 2007.
- RANDÝSKOVÁ, L. & JANAS, P. (2006): Využití principu virtuálních prací (jednotkových momentů) pro výpočet konečných deformací. In Staticko-konstrukční a stavebno-fyzikální problémy stavebních konstrukcí 2006. Sborník příspěvků VIII. konference se zahraniční účastí, Štrbské Pleso, Vysoké Tatry 29.11-1.12.2006. pp.107-108. ISBN 80-8073-677-4 a text CD, ISBN0-8073-678-2.

Odborné posouzení Doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc.