

**Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava**

číslo 2, rok 2012, ročník XII, řada stavební

článek č. 47

**Zdeněk VAŠEK<sup>1</sup>, Petr JANAS<sup>2</sup>****OCELOVÉ VÝROBKY PRO POUŽITÍ V PODZEMNÍM A DŮLNÍM STAVITELSTVÍ****STEEL PRODUCTS IN CIVIL ENGINEERING AND MINES****Abstrakt**

Skupina ArcelorMittal vyrábí velmi široký sortiment ocelových profilů. Součástí této skupiny je i *Výzkum a vývoj*, který je zaměřen hlavně na automobilový průmysl, energetiku a konstrukce. ArcelorMittal Ostrava a.s. patří mezi společnosti skupiny ArcelorMittal disponující kompletním uzavřeným hutním cyklem výroby oceli a její sortiment představují ploché výrobky, profilové tyče, tyče jednoduchého průřezu a drát. Jedním ze speciálních výrobků jsou důlní ocelové výztuže, jejichž vývoji je v poslední době věnována zvýšená pozornost. Ve spolupráci s Fakultou stavební VŠB-TU Ostrava jsou práce soustředěny především na hodnocení únosnosti výztuží, vyráběných z nových vysokopevných ocelí.

**Klíčová slova**

Důlní ocelová výztuž, profilové tyče, ohybové zkoušky, únosnost.

**Abstract**

Product mix of ArcelorMittal group includes very wide numbers of steel products. Research and Development focused on automotive, energy and construction is one of the main part of group. ArcelorMittal Ostrava is a member of the company with full metallurgical cycle and its products represent flat products, sections, merchant bars and wire. Steel mine supports are the special profiles that are developed very hard last time. The works are focussed to evaluation of the mine support carrying capacity made of high strength steel in collaboration with Faculty of Civil Engineering of VŠB-TU Ostrava.

**Keywords**

Steel mine support, sections, bending test, carrying capacity.

**1 ÚVOD**

ArcelorMittal je předním světovým výrobcem ocelových výrobků. Výrobní jednotky lze nalézt ve více než 27 zemích světa. Celková roční produkce ocelových výrobků dosáhla v roce 2011 85,8 miliónů tun oceli, z toho v Evropě bylo vyrobeno 27,1 mil t v segmentu plochých výrobků a 12,5 mil t v segmentu dlouhých výrobků [1]. ArcelorMittal disponuje celkovou výrobní kapacitou 125 mil t surové oceli a soustřeďuje se na výrobu plochých, dlouhých výrobků a trubek. V segmentu dlouhých výrobků je výroba soustředěna na betonářské oceli, profily a ocelové nosníky různých rozměrů [2] a jakostí. Je jedním z největších výrobců vysokopevných ocelí pro větrné elektrárny a pilotní společností ve výrobě štetovnic. Mezi speciální výrobky se pak řadí i důlní ocelové výztuže, vyráběné rovněž v ArcelorMittal Ostrava.

<sup>1</sup> Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D., ArcelorMittal Ostrava a.s., Vratimovská 689, 707 02 Ostrava – Kunčice, tel.: (+420) 595 687 787, e-mail: [zdenek.vasek@arcelormittal.com](mailto:zdenek.vasek@arcelormittal.com)

<sup>2</sup> doc. Ing. Petr Janas, CSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 308, e-mail: [petr.janas@vsb.cz](mailto:petr.janas@vsb.cz)

## 2 PROFILY PRO DŮLNÍ A PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ A JEJICH VÝROBA

Jednou z oblastí rozvoje v posledních letech je i výroba nových typů důlních výztuží. Problematika technologie výroby důlních ocelových výztuží byla v ArcelorMittal Ostrava a.s. zahájena již v 60. letech a intenzivně rozvíjena v 80. letech minulého století [3]. Během této periody byla provedena v souvislosti s inovací německých standardů a měnících se podmínek dobývání uhlí řada úprav při výrobě ocelových výztuží, a to jak metalurgických, tak i rozměrových. Rozměrové řady výztuží jsou dnes směřovány k vyšším hmotnostním stupňům a, zejména v současné době aktuální, unifikaci typu profilů. Vyráběný sortiment důlních ocelových výztuží zahrnuje v současné době profily typu K, P, ale především TH, válcované v rozměrových řadách, uvedených v tab. 1.

Tab. 1 Profily válcované na válcovací trati HCC

| Typ profilu | G [kg/m] | S [cm <sup>2</sup> ] | J <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ] | J <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ] | W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ] | W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ] |
|-------------|----------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| P28         | 27,94    | 35,6                 | 596                               | 698                               | 92                                | 94                                |
| K21         | 20,74    | 26,4                 | 319                               | 356                               | 61                                | 58                                |
| K24         | 23,67    | 30,2                 | 372                               | 404                               | 69                                | 65                                |
| TH16,5      | 16,70    | 21,3                 | 173                               | 227                               | 38                                | 43                                |
| TH21        | 20,92    | 26,7                 | 324                               | 410                               | 60                                | 64                                |
| TH29        | 29,00    | 37,0                 | 616                               | 775                               | 94                                | 103                               |
| TH34        | 33,90    | 43,1                 | 892                               | 1205                              | 128                               | 141                               |
| TH36        | 35,90    | 45,7                 | 969                               | 1265                              | 136                               | 148                               |

Z pohledu rozměrového sortimentu došlo od roku 2007 k odklonu od původně českých profilů P28 ve prospěch německých profilů TH, hlavně o metrové hmotnosti 29 kg. Dalším trendem je nárůst výroby a aplikace nejtěžšího vyráběného profilu TH36, respektive TH34.

V důsledku používání progresivních technologií a mechanizace při hlubinném dobývání dochází k postupnému zvětšování světlých průřezů důlních děl, což vede i k modifikaci tvaru ocelových oblouků, jejich konstrukce a materiálového řešení. Poddajná ocelová výztuž je určena k vyztužování důlních děl, kde je vystavena statickým a dynamickým účinkům horninového masivu. Důležitým parametrem je tedy únosnost celého kompletu, která je kvalifikována ohybovou únosností profilu a odporem proti prokluzu. Odolnost proti ohybu je dána zejména ohybovým momentem odporu profilu a mezí kluzu respektive pevností použitého materiálu a odpor proti prokluzu tvarem profilu, kvalitou povrchu, konstrukcí spojovacích prvků a jejich dotažením. Při pohybech horniny v porubních chodbách by měly být tlakové účinky do značné míry eliminovány prokluzem ocelové výztuže a jejich "uvolněním". Poddajná ocelová výztuž má mít při překročení mezního zatížení schopnost prokluzu bez vzniku plastické deformace. Pro zachování světlosti chodby je však naopak vhodné, aby k prokluzu došlo co nejpozději. Únosnost kompletu je tedy výsledkem celé řady jeho vlastností, ale i vlastností okolní horniny a způsobu zabudování důlní výztuže.

Profily P28, K21 a K24 jsou válcovány podle norem KN 41 5642, resp. KN 41 5641, zatímco profily TH16,5 – TH36 jsou definovány normou DIN 21530. Jako vstupní materiál je pro výrobu používán plynule litý předlitek o rozměrech 180x180 mm, čímž je při válcování dosahováno celkového prodloužení v rozsahu násobku 7,1 – 15,2. Celkový stupeň deformace při tváření v kombinaci s chemickým složením a teplotním profilem válcování pak zabezpečuje požadované mechanické vlastnosti.

Vyválcované rovné tyče důlních ocelových výztuží se rovnají na dvou samostatných devítiválcových rovnačkách SIMAC. Tyče profilů pro důlní výztuž jsou rovnány po ochlazení na teplotu max. 150 °C rychlostí do 3 m/s. Během procesu rovnání dochází k plastickým deformacím rovnacího profilu a to v závislosti na kalibraci válců a velikosti rovnacích sil. Způsob rovnání tak ovlivňuje i výsledné vlastnosti důlní ocelové výztuže jejím deformačním zpevněním. Z výsledků [4]

Ize usuzovat na výrazné deformační zpevnění oceli 31Mn4 po rovnání v oblasti kořene profilu, které se projevuje zejména zvýšením meze kluzu a to až o 31%.

### 3 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY DŮLNÍCH OCELOVÝCH VÝZTUŽÍ Z PROFILU TH29

Důlní výztuž se musí vyznačovat nejen řadou materiálových charakteristik, ale i optimálními funkčními a prokluzovými vlastnostmi poddajných spojů. Ocelová oblouková výztuž je tvořena zpravidla třemi a více zkrúženými nebo i rovnými díly, které se vzájemně spojují šroubovými nebo třmenovými spoji. Při jejím navrhování je nutné určovat její únosnost, což se může provádět buď simulačními programy, nebo laboratorními zkouškami. Ohybové zkoušky a zkoušky spojů (prokluzové zkoušky) jsou základními dílčími zkouškami, které ověřují odolnost výztuže při prostém ohybu, charakterizované ohybovými momenty podle způsobu zatěžování a zkoušky spojů (prokluzové zkoušky), umožňující stanovit střední nosnost spoje při poddajném provedení spoje výztuží.

Odpor proti prokluzu vymezuje oblast zatížení, kdy se výztuž chová poddajně a oblast zatížení, pro kterou se chová nepoddajně. Prokluz nastává, dosahuje-li velikost normálové síly v místě s přepřátovanými (spojovanými) díly hodnoty odporu proti prokluzu a únosnost výztuže je pak dána hodnotou zatížení, při kterém prokluz nastává [5]. Prokluzu v místech spojů omezují trvalý růst a kumulaci pružné deformační energie ve výztuži a tím chrání výztuž před trvalými deformacemi. Při prokluzu se uvolňuje z výztuže pružná deformační energie a přeměňuje se zejména v teplo, vznikající třením prokluzujících dílů.

S ohledem na snahu o zvýšení únosnosti ocelových oblouků byl zahájen vývoj nové důlní ocelové výztuže s vyššími pevnostními parametry, Snaha o výrobu důlní ocelové výztuže z kvalitnější oceli je opodstatněná. Dobývací práce největších potenciálních odběratelů důlní výztuže postupují do stále větších hloubek a zvětšují se také profily vyztužovaných důlních děl. V podzemí se ve velké míře používá doprava na tzv. závěsné drážce, kdy je důlní výztuž zatížena nemalými bodovými silami. Rostou proto požadavky na hmotnější výztuže a současně snahy o alespoň částečnou eliminaci růstu hmotnosti využitím výztuží z kvalitnější oceli. S tímto záměrem byl koncipován projekt TA01010838 TAČR Výzkum a vývoj technologie výroby důlních ocelových výztuží vyráběných řízeným válcováním.

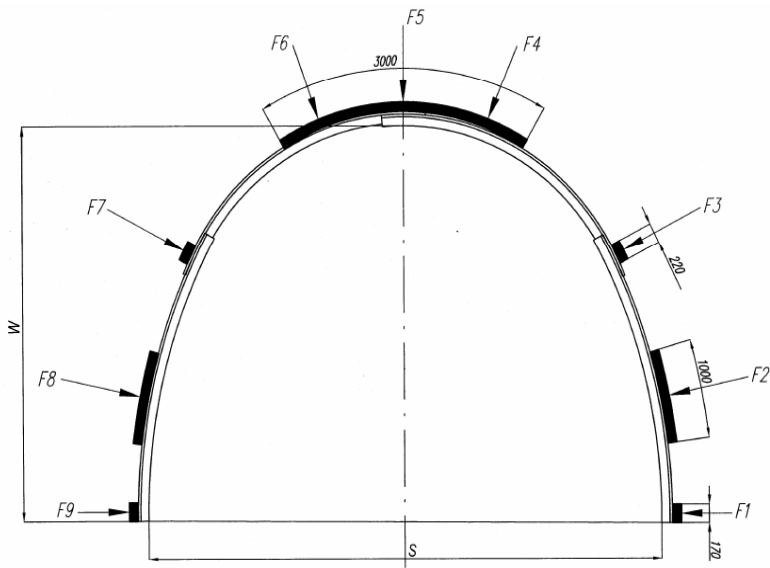
Základní mechanické vlastnosti používaných ocelí včetně přepokládaných vlastností nově vyvíjené oceli jsou v tabulce č. 2.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocelí

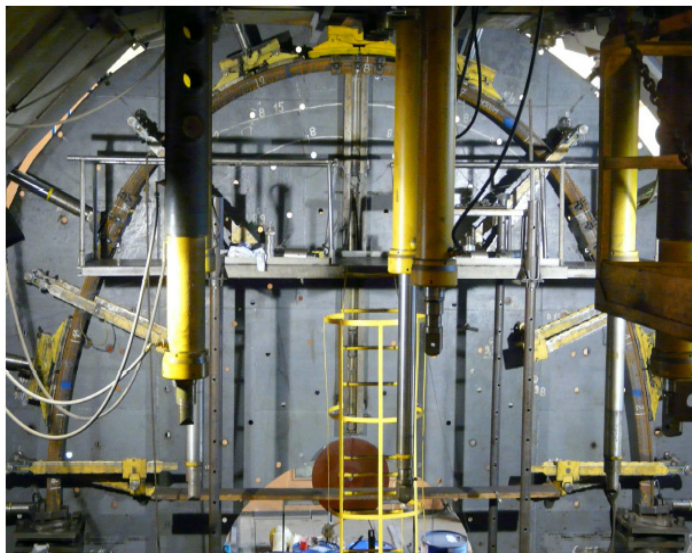
| ČSN          | DIN   | Re<br>[MPa] | Rm<br>[MPa] | A5<br>[%] |
|--------------|-------|-------------|-------------|-----------|
| 11500 (E295) |       | min. 295    | min. 470    | 20        |
|              | 31Mn4 | min. 350    | min. 550    | 15-18     |
| Nová ocel    |       | min. 480    | min. 650    | 18        |
| KN 412130    |       | min. 510    | min. 690    | 15        |

Důlní ocelové výztuže z nově vyvíjené oceli jsou testovány metalograficky, ocel je analyzována z hlediska mechanických vlastností a vyválcované profily této oceli jsou analyzovány i experimentálně. Jsou prováděny první ověřovací ohybové zkoušky na rovných tyčích a prokluzové zkoušky. Byla provedena i první zkouška zatížení celého oblouku v laboratorních podmínkách. Smyslem těchto prací je ověřit vlastnosti vyvíjeného materiálu, prvků důlní výztuže a nakonec celých výztužních kompletů. Získané výsledky se srovnávaly s výsledky dosažené s běžně používanou výztuží z oceli 31Mn4.

Zkoušky celých výztužních oblouků simulují zatížení výztuže v důlních podmínkách při zvoleném zatížení [7]. Realizují se dle metodiky PN-92 G-1500/05, kdy je výztužní oblouk nejdříve zatěžován v nepoddajném provedení. Na výztuž působí aktivní síly, vyvolávané silami  $F_4$ ,  $F_5$  a  $F_6$  a pasivní síly  $F_1$ ,  $F_2$  a  $F_3$  respektive  $F_7$ ,  $F_8$ , a  $F_9$  (obr. 1, 2). Při této zkoušce se měří zejména celková aktivní síla působící na výztuž a zmenšení výšky výztuže (viz obr. 3).



Obr. 1: Schéma zatížení obloukové výztuže ( $F_4$ ,  $F_5$  a  $F_6$  – aktivní síly,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_7$ ,  $F_8$  a  $F_9$  – pasivní síly)

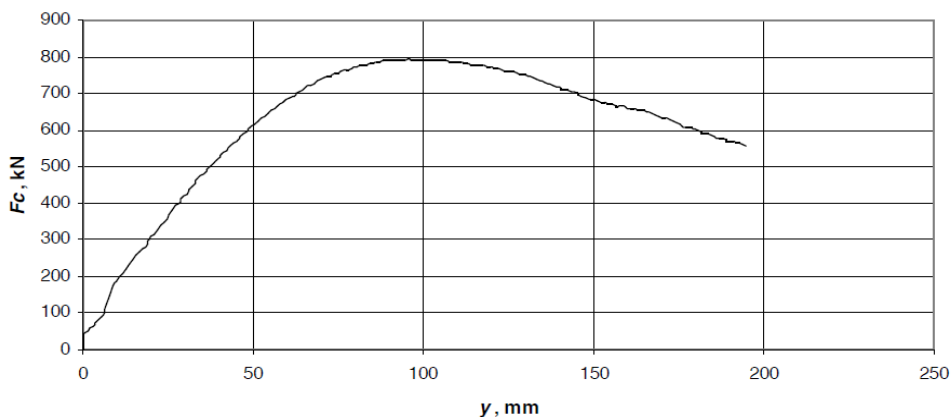


Obr. 2: Výztuž SP 16/4 před zkouškou

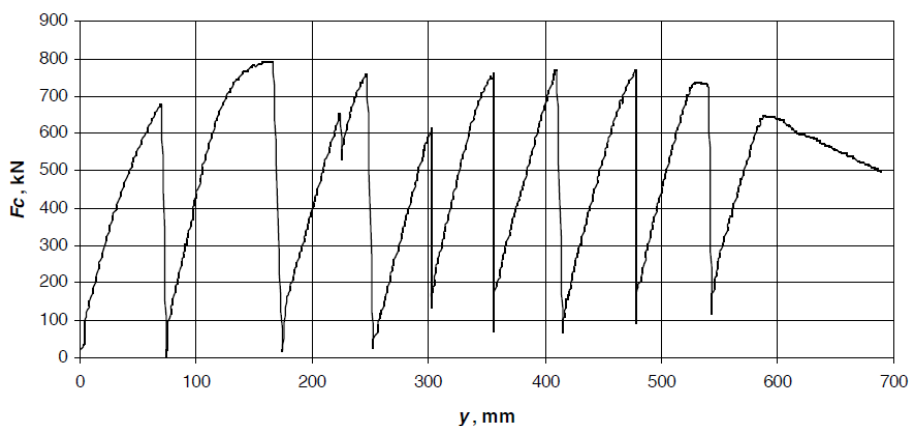
Obdobně se postupuje u zkoušek výztuží v poddajném provedení. Při dosažení hodnot normálových sil  $N$  v místech kluzných poddajných spojů odpovídajících odporu proti prokluzu  $T$  pak dochází k prokluzu výztuže ve spojích. Současně nastává odlehčení výztuže, jak je patrné z obr. 4 a 5.

Velikost aktivních sil působících na poddajnou výztuž je přitom poněkud nižší než u nepoddajné výztuže, výztuž však umožňuje podstatně větší deformace bez vzniku trvalých deformací profilu výztuže. Odpor výztuže proti prokluzu je ovlivněn celou řadou faktorů. Patří k nim také normálová síla působící mezi spojenými profily. Ta je ovlivněna dotažením šroubových spojů. Pro ověření se proto u zkoušek dle obr 4 a obr. 5 volil jiný utahovací moment šroubů spojů (400 a 450Nm). Ve dvou provedených zkouškách, jejichž výsledky nelze zobecňovat, se projevil poněkud vyšší utahovací moment na únosnosti výztuže u nově vyvíjené oceli, ne pak na celkové hodnotě snížení celkové výšky profilu. U zkoušky kde byl vyšší utahovací moment, došlo k výraznějšímu snížení.

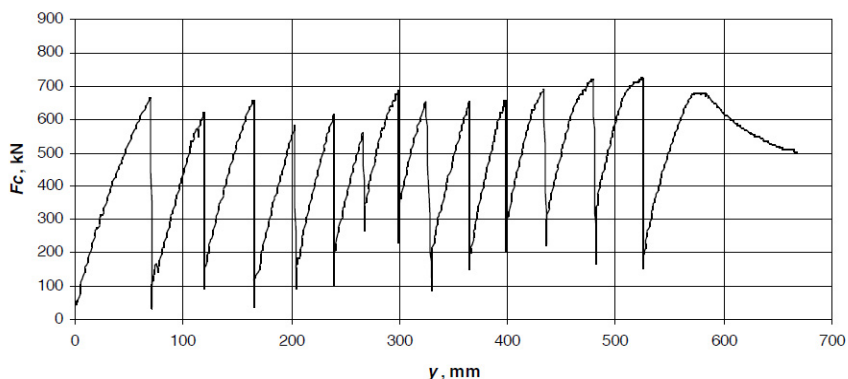
Stejně zkoušky byly provedeny i s výztuží SP16/4 z profilu TH 29 a z oceli 31Mn4, která se dnes běžně používá. Srovnání získaných výsledků vyplývá z tabulky č. 3.



Obr. 3: Průběh zatížení a posunutí vrcholu oblouku nepoddajné výztuže SP16/4 z profilu TH 29 a z vyvíjené oceli



Obr. 4 Průběh aktivního zatížení a posunutí vrcholu oblouku poddajné výztuže SP16/4 z profilu TH 29 a z vyvíjené oceli (zkouška 12-50-1) při dotažení spojů kroutícím momentem 450Nm



Obr. 5 Průběh aktivního zatížení a posunutí vrcholu oblouku poddajné výztuže SP16/4 z profilu TH 29 a z vyvíjené oceli (zkouška 12-50-3) při dotažení spojů krouticím momentem 400Nm

Tab. 3 Srovnání výsledků zkoušky oblouku SP 16/4, TH29

| zkouška    | 12-50-2        | 12-50-2      | 12-50-1              | 12-50-1              | 12-50-3              | 12-50-3              |
|------------|----------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| charakter. | nepoddajná     | nepoddajná   | poddajná<br>Mk 450Nm | poddajná<br>Mk 450Nm | poddajná<br>Mk 400Nm | poddajná<br>Mk 400Nm |
|            | $F_{max}$ [kN] | $y$ [mm]     | $F_c$ [kN]           | $y_c$ [mm]           | $F_{max}$ [kN]       | $y_c$ [mm]           |
| Nová ocel  | 793            | 95           | 727                  | 544                  | 658                  | 524                  |
| 31Mn4      | 652            | 90           | 544                  | 283                  | 516                  | 553                  |
| srovnání   | <b>1,216</b>   | <b>1,056</b> | <b>1,336</b>         | <b>1,922</b>         | <b>1,275</b>         | <b>0,948</b>         |

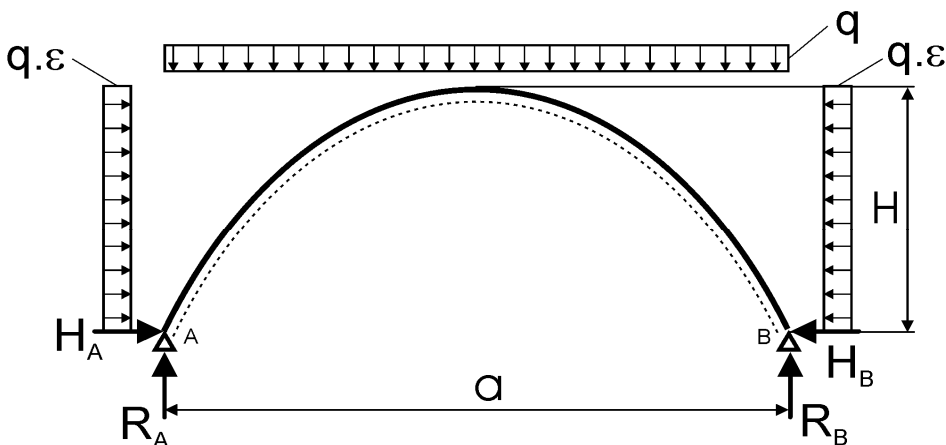
Z tabulky vyplývá, že únosnost výztuže v nepoddajném i v poddajném provedení z nové výztuže je ve všech srovnávaných případech vyšší. Ve většině případů byla vyšší i deformace profilu při dosažení únosnosti, po které nastává trvalá deformace profilu výztuže. V jednom případě tomu bylo jinak (zkouška 12-50-3) a příčinu lze zde hledat zejména ve funkci spojů.

#### 4 SROVNÁVACÍ VÝPOČTY ÚNOSNOSTI OCELOVÝCH OBLOUKOVÝCH VÝZTUŽÍ Z RŮZNÝCH OCELÍ

Experimentální hodnocení a srovnávání výztuží na zkušebním zařízení je užitečné, avšak ekonomicky náročné. Skutečné důlní podmínky mohou být často velmi různé. Projektant musí přitom výztuže důlních děl navrhovat velmi operativně. Zejména z těchto důvodů byl v minulosti vyvinut software, který je k tomuto účelu operativně využitelný. Výpočtové programy jsou ovšem aplikovatelné rovněž pro srovnávání důležitých vlastností poddajné a nepoddajné výztuže stejné konstrukce lišící se vlastnostmi použitelné výztuže. K tomuto účelu byl využit modifikovaný výpočetní program [6], který je nově přepracováván podle aktuálních požadavků vývoje používaných profilů a jakostí.

##### 4.1 Výpočet únosnosti výztuží 00-0-16 z profilu TH29 a z nově vyvíjené oceli a z oceli 31Mn4

Uvedená výztuž je používána v podmínkách OKD a.s. Geometrické rozměry výztuže odpovídají podkladům dodávaným výrobcem. V modelovém výpočtu se předpokládá, že výztuž je dvojkloubově uložena a zatížená dle obr. 6



Obr. 6 Zatěžovací schéma obloukové výztuže.

Výpočet číslo: 00-016/TH29 Počet oblouků: 4 Profil: TH - 29  $\varepsilon$ : 0,4  Graf  $\varepsilon$  /  $q$

|                        |      |                  |      |                        |     |
|------------------------|------|------------------|------|------------------------|-----|
| Délka oblouku L1 [mm]: | 3650 | Poloměr R1 [mm]: | 3150 | Přeplátování 1-2 [mm]: | 400 |
| Délka oblouku L2 [mm]: | 2650 | Poloměr R2 [mm]: | 2780 | Přeplátování 2-3 [mm]: | 400 |
| Délka oblouku L3 [mm]: | 2650 | Poloměr R3 [mm]: | 2780 | Přeplátování 3-4 [mm]: | 400 |
| Délka oblouku L4 [mm]: | 3650 | Poloměr R4 [mm]: | 3150 |                        |     |

Pro profily  
 K - 24  
 P - 28  
 TH - 29

Průběh: \*\*\* Konec výpočtu \*\*\*

**Výsledky**

a: 5.757342 [m] H: 4.065524 [m]

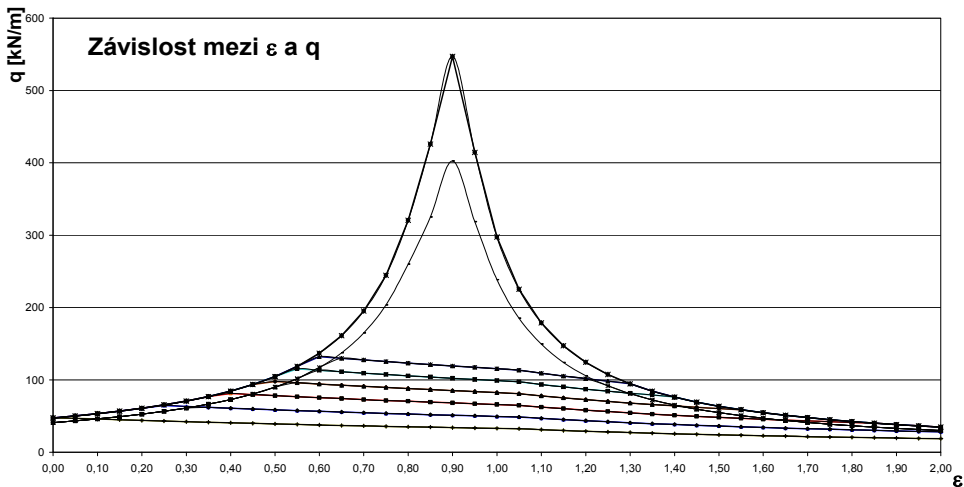
|              | Tmin = 197.38 kN | T = 100 kN | T = 150 kN | T = 200 kN | T = 250 kN | T = 300 kN | T = 350 kN |
|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| q [kN/m]     | 84.50373         | 42.81082   | 64.21623   | 84.50373   | 84.50373   | 84.50373   | 84.50373   |
| Q [kN]       | 486.5168         | 246.4765   | 369.7148   | 486.5168   | 486.5168   | 486.5168   | 486.5168   |
| Ha = Hb [kN] | -6.560279        | -3.323533  | -4.985299  | -6.560279  | -6.560279  | -6.560279  | -6.560279  |
| Ra [kN]      | 243.2584         | 123.2382   | 184.8574   | 243.2584   | 243.2584   | 243.2584   | 243.2584   |
| Rb [kN]      | 243.2584         | 123.2382   | 184.8574   | 243.2584   | 243.2584   | 243.2584   | 243.2584   |

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

Obr. 7 Zadávací a výstupní formulář výpočtu únosnosti výztuže 00-0-16/TH-29 z nově vyvíjené oceli

Únosnost výztuže se počítala pro profil TH29 z nově vyvíjené oceli a z oceli 31Mn4. Ve výpočtech se měnil poměr bočního a svislého zatížení  $\varepsilon$ . Zadávací formulář výpočtů je na obr. 7. Na tomto formuláři jsou také výsledky výpočtu pro  $\varepsilon=0,4$  a to jak pro nepoddajnou výztuž, tak také pro výztuž v poddajném provedení.

Graficky jsou hodnoty únosností pro oba typy výztuží uvedeny na obr. 8. Únosnost výztuže z mikrolegované oceli je vyšší zejména v nepoddajném provedení. Projevují se tady vyšší hodnoty meze kluzu i meze pevnosti materiálů. V poddajném provedení únosnost výztuže limituje do značné míry odpor proti prokluzu. Pro oba uvažované materiály jsou uvažovány hodnoty odporu proti prokluzu ve výši  $T = 100, 150, 200, 250, 300$  a  $350$  kN. Únosnost výztuží z různých materiálů může být pro stejný odpor proti prokluzu stejná. U kvalitnější oceli se však rozšiřuje pásmo zatížení, při kterém se ocelová oblouková výztuž chová poddajně.



Obr. 8 Únosnost výztuže 00-0-16/TH-29 z oceli 31Mn4 a z nově vyvíjené oceli s odporem proti prokluzu  $T = 100, 150, 200, 250, 300$  a  $350$  kN

## 4.2 Výpočet únosnosti upravené výztuže MP2 z profilu TH29 a z nově vyvíjené oceli a z profilu K24 a oceli 12130

Výztuž MP2 je sedmidílná uzavřená výztuž používaná na dole Velenje ve Slovinsku. Provedený výpočet předpokládá, že výztuž je pouze čtyřdílná, otevřená a dvojklobouvě uložená. Jedná se tedy o upravenou výztuž, jejíž geometrické parametry jsou převzaty z geometrických parametrů originální výztuže. Takto upravená výztuž byla analyzována z hlediska únosnosti pro profil K24 z oceli 12130 a pro profil TH29 z nově vyvíjené oceli. Zadávací formulář včetně výsledků únosnosti pro  $\epsilon = 0,4$  je na obr. 9.

**Výpočet číslo:** MP2, upr./TH29    Počet oblouků: 4    Profil: TH - 29     $\epsilon$  : 0,4     Graf  $\epsilon$  / q

Délka oblouku L1 [mm]: 2650    Poloměr R1 [mm]: 2450    Přeplátování 1-2 [mm]: 450  
Délka oblouku L2 [mm]: 2650    Poloměr R2 [mm]: 2450    Přeplátování 2-3 [mm]: 450  
Délka oblouku L3 [mm]: 2650    Poloměr R3 [mm]: 2450    Přeplátování 3-4 [mm]: 450  
Délka oblouku L4 [mm]: 2650    Poloměr R4 [mm]: 2450

Pro profily  
 K - 24  
 P - 28  
 TH - 29

           **Průběh :** \*\*\* Konec výpočtu \*\*\*

**Výsledky**

a: 4.891988 [m]    H: 3.211029 [m]

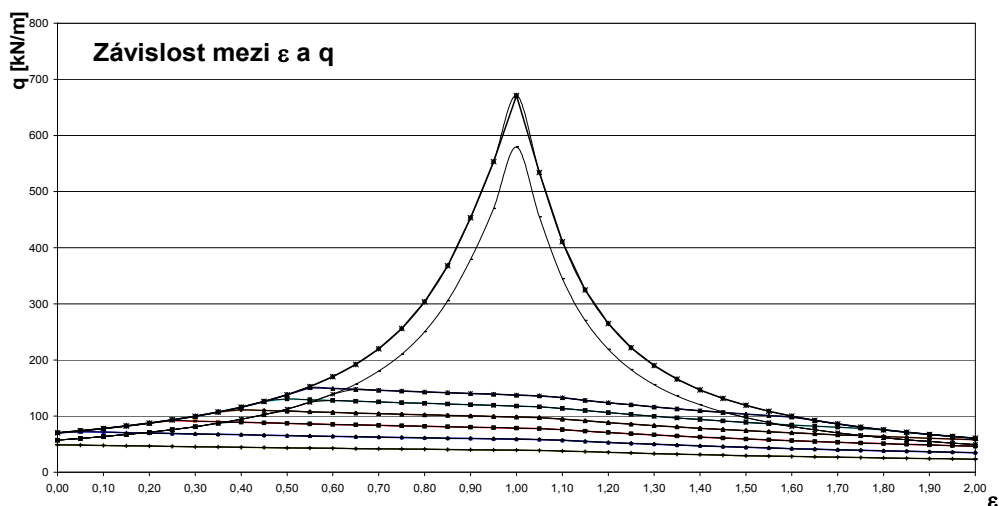
|              | Tmin = 249.54 kN | T = 100 kN | T = 150 kN | T = 200 kN | T = 250 kN | T = 300 kN | T = 350 kN |
|--------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| q [kN/m]     | 115.9717         | 46.47356   | 69.71034   | 92.94713   | 115.9717   | 115.9717   | 115.9717   |
| Q [kN]       | 567.3326         | 227.3481   | 341.0222   | 454.6963   | 567.3326   | 567.3326   | 567.3326   |
| Ha = Hb [kN] | 5.631520         | 2.256728   | 3.385093   | 4.513457   | 5.631520   | 5.631520   | 5.631520   |
| Ra [kN]      | 283.6663         | 113.6740   | 170.5111   | 227.3481   | 283.6663   | 283.6663   | 283.6663   |
| Rb [kN]      | 283.6663         | 113.6740   | 170.5111   | 227.3481   | 283.6663   | 283.6663   | 283.6663   |

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

Obr. 9 Zadávací a výstupní formulář výpočtu únosnosti výztuže MP2upravené/TH-29 z z nově vyvíjené oceli



Na obr. 10 je pak únosnost pro oba uvažované typy výztuží znázorněna graficky. Je zřejmé, že únosnost výztuže TH29 z nově vyvíjené oceli je vyšší a to opět zejména v nepoddajném provedení.



Obr. 10 Únosnost výztuže MP2 upravené/TH-29 z nově vyvíjené oceli a výztuže MP2 upravené/K24 z oceli 12130 s odporem proti prokluzu  $T = 100, 150, 200, 250, 300$  a  $350$  kN

Projevují se zde zejména vyšší hodnoty průřezových charakteristik profilu TH29 ve srovnání s profilem K24, i když mechanické vlastnosti oceli 12130 jsou vyšší než u nově vyvíjené oceli. V poddajném provedení únosnost výztuže opět limituje do značné míry odpor proti prokluzu. U hmotnější výztuže TH29 se však opět rozšiřuje pásmo zatížení, při kterém se ocelová oblouková výztuž chová poddajně. Z provedených výpočtů jednoznačně vyplývá, že výztuž z profilu TH29 z nově vyvíjené oceli může přinejmenším nahradit stejnou výztuž z profilu K24 a z oceli 12130 v podmínkách Dolu Velenje. Důležité je ovšem ověření chování této výztuže v podmínkách in situ, a to i s ohledem na skutečné odpory proti prokluzu a interakci výztuže s okolním prostředím.

## 5 ZÁVĚR

ArcelorMittal Ostrava a.s. je součástí skupiny ArcelorMittal, jejímž hlavním výrobním programem jsou profilové a obchodní tyče, ploché výrobky a drát. Mezi speciální vyráběné profily pak patří i důlní výztuže. Za účelem zvýšení únosnosti důlních ocelových výztuží je řešen ve spolupráci s Fakultou stavební VŠB-TUO projekt, zabývající se vývojem nové jakosti oceli pro jejich výrobu.

Výsledky teoretických rozborů profilů K24, TH29 a TH34 z oceli 31Mn4, 12130 a nově vyvíjené oceli ukazují, že nově vyvíjená ocel se na kvalitě výztuže příznivě projevuje. Profil TH29 z této oceli by mohl vhodně nahradit v podmínkách Dolu Velenje výztuž o menší hmotnosti K24/12130, i když je kvalita výztuže z tohoto profilu vyrobená velmi vysoká. Profil TH29 z vyvíjené oceli by mohl v budoucnu nahradit ocel 31Mn4 v podmínkách OKD, a.s. Tato výztuž vykazuje vyšší únosnost a umožní rozšířit své použití i v podmínkách, kde by se jinak musel volit větší hmotnostní stupeň, i když výztuž TH29 z vyvíjené oceli zcela nenahradí profil TH34 ze stávající vyráběné oceli. V budoucnu bude účelné z vyvíjené oceli vyrábět důlní výztuž i v profilu TH34. Podle prvních výpočtů by bylo využití výztuže TH29 z nové oceli velmi efektivní i v některých podmínkách HBP. Toto musí ovšem prokázat experimentální ověření v důlních podmínkách, což ostatně platí pro všechny lokality, kde aplikace výztuže z vyvíjené výztuže přichází v úvahu.

Teoretické hodnoty únosnosti výztuže z nově vyvíjené oceli jsou vysoké a jsou, jak ukazují ohybové zkoušky, zajištěné. Tyto zkoušky však současně signalizují, že rezerva meze kluzu je u profilu TH29 z nově vyvíjené oceli menší, než u doposud vyráběné oceli. Z tohoto hlediska bude účelné věnovat další úsilí dosažení vyšších rezerv pevnostních vlastností vyráběné výztuže. Řádné využití vlastností nově vyvíjené výztuže vyžaduje rovněž řešení únosnosti důlních výztuží ve spojích.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl realizován v rámci projektu TA01010838 (Technologická agentura České Republiky).

## LITERATURA

- [1] ArcelorMittal, Roční zpráva 2011, <http://www.arcelormittal.com/corp/news-and-media/publications-and-reports/annual-reports>
- [2] TradeARBED, Praha s.r.o., 2000, str. 2-11
- [3] TICHÝ, J., RŮŽIČKA, B., PĚTVALDSKÝ, L.: Technologie výroby a vlastnosti profilů pro důlní výztuže z oceli 38Mn4 – 11670.0, *Hutník*. č. 1, 1990, str. 19 - 25
- [4] VAŠEK, Z., DUDEŠEK, P.: Válcování důlních ocelových výztuží. *Hutnické Listy*. Ocelot s.r.o., 2011, roč. 64, č. 4, s. 26 – 29, ISSN 0018-8069
- [5] JANAS, P.: Ocelová oblouková výztuž v dlouhých důlních dílech, současné možnosti jejího posuzování a dimenzování, *Sborník příspěvků 2. tradičního geomechanického a geofyzikálního kolokvia*, Ostravice 22. - 23. 5. 2008, str.79-89, ISBN 978-80-86407-36-4.
- [6] JANAS, P., JANAS, K.: Výpočet únosnosti ocelových obloukových výztuží (VÚOOV 03), SW modifikován 2011.
- [7] Zkoušky na zkušebním pracovišti dveřeji výztuže SP16/4 z profilu TH29 (ocel H500M), Głowny Instytut Górnictwa (GIG), Katowice , březen 2012

## Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jiří Ptáček, Ph.D., Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Ostrava.

Ing. Jan Suchánek, OKD, a.s., Ostrava.