

Degradace stavu kulové dráhy zakladače ZP 6600

Ing. Petr Klouda

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; klouda@vuhu.cz

Přijato: 1. 12. 2014, recenzováno: 5. a 12. 2. 2015

Abstrakt

Příspěvek pojednává o šetření stavu kulové dráhy velkstroje ZP6600/Z79. Uvádí výsledky materiálových zkoušek, provedených na odebraných vzorcích a popisuje postup a výsledky numerického výpočtu stavu napjatosti metodou konečných prvků u spodního dílu kulové dráhy při jejím kontaktu s koulí.

Ball track degradation of the spreader ZP 6600

The contribution deals with the investigation of the ball track state of the spreader ZP6600/Z79. It presents the results of the tests carried out on the collected samples and describes the procedure and results of numerical calculation of the stress state using the finite element method for the lower part of the ball track where it is in contact with the ball.

Untersuchung des Verschleißes der Kugelbahn des Absetzers ZP 6600

Der Beitrag behandelt die Untersuchung des Zustandes der Kugelbahn des Großgerätes ZP6600/Z79. Er führt Ergebnisse der Materialversuche an, die an den abgenommenen Proben vorgenommen wurden, und beschreibt den Vorgang und Ergebnisse der numerischen Berechnung des Spannungszustandes durch die Methode endElement bei dem unteren Teil der Kugelbahn bei derer Kontakt mit der Kugel.

Klíčová slova: kulová dráha, materiálová zkouška, kontaktní napětí.

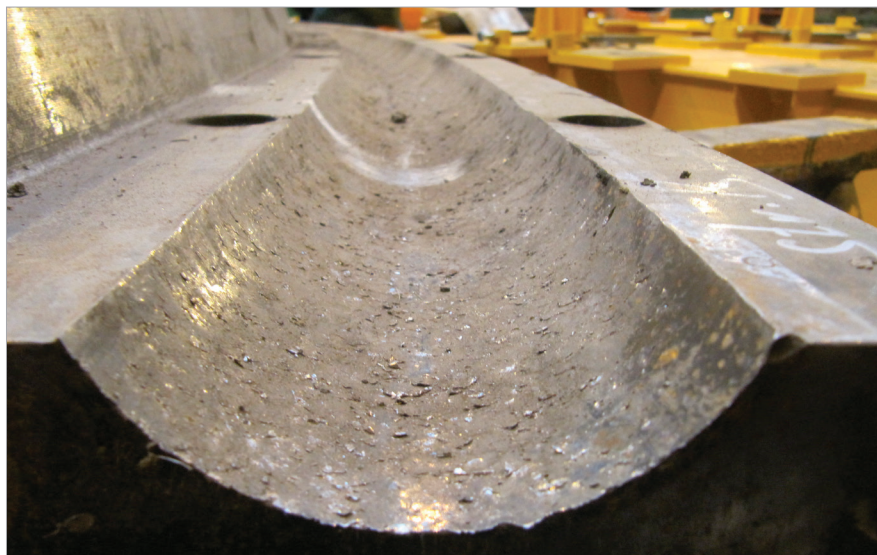
Keywords: ball track, material test, the contact stress.

1 Úvod

V rámci úsporných opatření na SD a.s. - Doly Bílina vznikla myšlenka náhrady kulové dráhy zakladače ZP 5500.5 kulovou dráhou ze zakladače ZP6600/Z79. Ta však byla již také opotřebená. Poloměr žlábků spodních segmentů dráhy a poloměr koulí byly prakticky totožné. Docházelo ke zvýšenému tření a vytrhávání materiálu dráhy. Rozhodnutí o renovaci zmíněné dráhy záviselo mimo jiné na zjištění hloubky degradace materiálu žlábků uvedených kulových dráh. Zjištění hloubky degradace materiálu žlábků segmentů uvažované kulové dráhy provedli pracovníci SD a.s. - Doly Bílina ve spolupráci s pracovníky Výzkumného

ústavu pro hnědé uhlí a.s. Most (VÚHU a.s.). Byly provedeny materiálové zkoušky na odebraných vzorcích spodního dílu kulové dráhy velkstroje a numerická simulace stavu napjatosti v oblasti kontaktu koule a spodního dílu kulové dráhy. Výsledky byly podkladem k rozhodnutí o hloubce odsoustružené vrstvy materiálu k vytvoření nového žlábků spodního dílu kulové dráhy.

Materiálové zkoušky byly realizovány v externí kooperaci se společností UNIPETROL RPA, s.r.o., zkušební laboratoř č. 1050 akreditovaná ČIA. Numerická simulace napjatosti byla provedena ve VÚHU a.s. na 3D modelu kontaktu metodou konečných prvků.



Obr. 1: Žlábek segmentu dráhy.



Obr. 2: Pohled na odebrané vzorky.

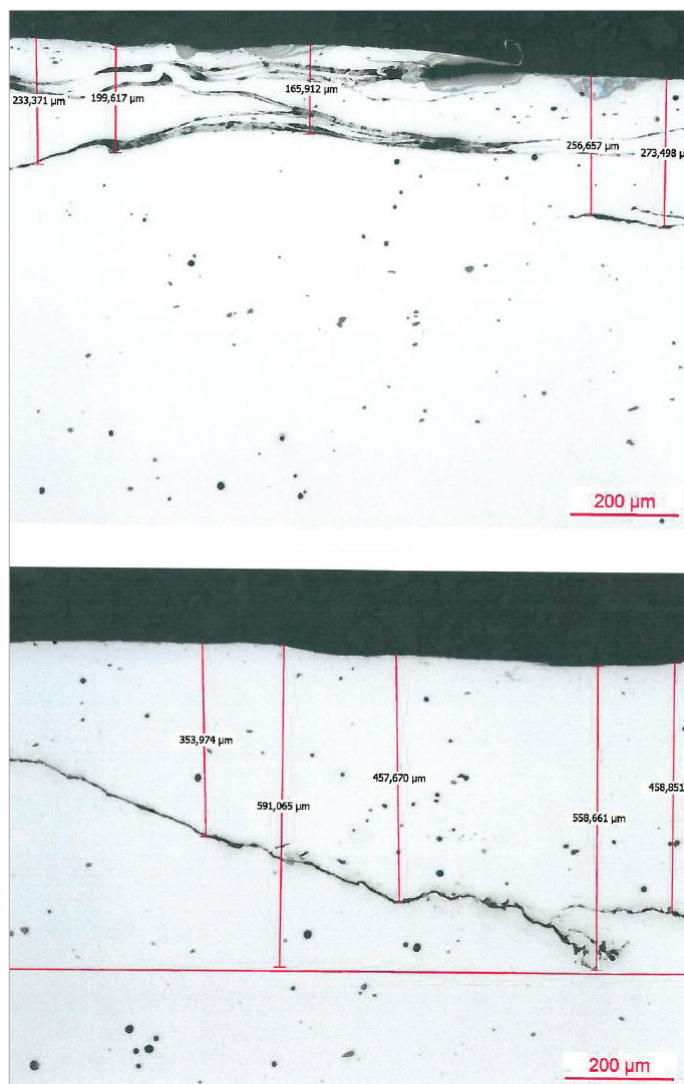
Zadávací parametry:

- průměr dráhy je 12 000 mm; 301 kusů koulí o průměru 100 mm;
- spodní díl dráhy bude přesoustružen a je zhotoven z oceli 15 341.9 zušlechťené na mez pevnosti $R_m = 880 \div 1050$ MPa;
- horní díl dráhy bude vyroben nový z oceli 16 540.8;
- koule jsou zhotoveny z oceli GCr15SiMn (G20Mn5; AISI 5210; DIN 100Cr6);
- celková hmotnost otočného svršku zakladače činí 1 580 t.

Na obrázku č. 1 je možno vidět povrchový stav žlábků spodního segmentu dráhy.

2 Materiálové zkoušky

Po konzultaci s materiálovou laboratoří byl proveden odběr vzorků z maximálně zatíženého spodního dílu kulové dráhy (na dílně označen Stv A). Byly odebrány tři dvojice vzorků označené 2s, 4s a 7s. V každé dvojici byl jeden vzorek (kratší – označený A) z nejnižšího bodu kulové dráhy a jeden vzorek z neexponované části spodního dílu vedle vlastní dráhy (delší – označený B). Vlastní odběr byl proveden odvrtáním korunkovým



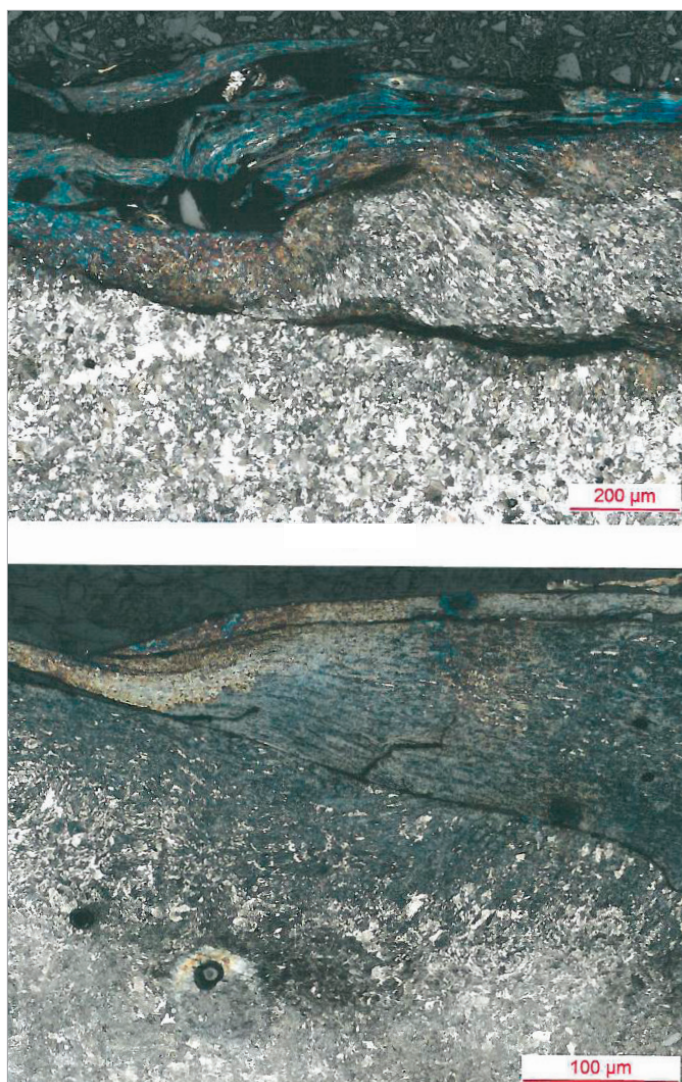
Obr. 3: Hloubka trhlin zobrazených na obrázku č. 4.

vrtákem za pomalého posuvu a vydatného chlazení. Pohled na odebrané vzorky viz obrázek č. 2.

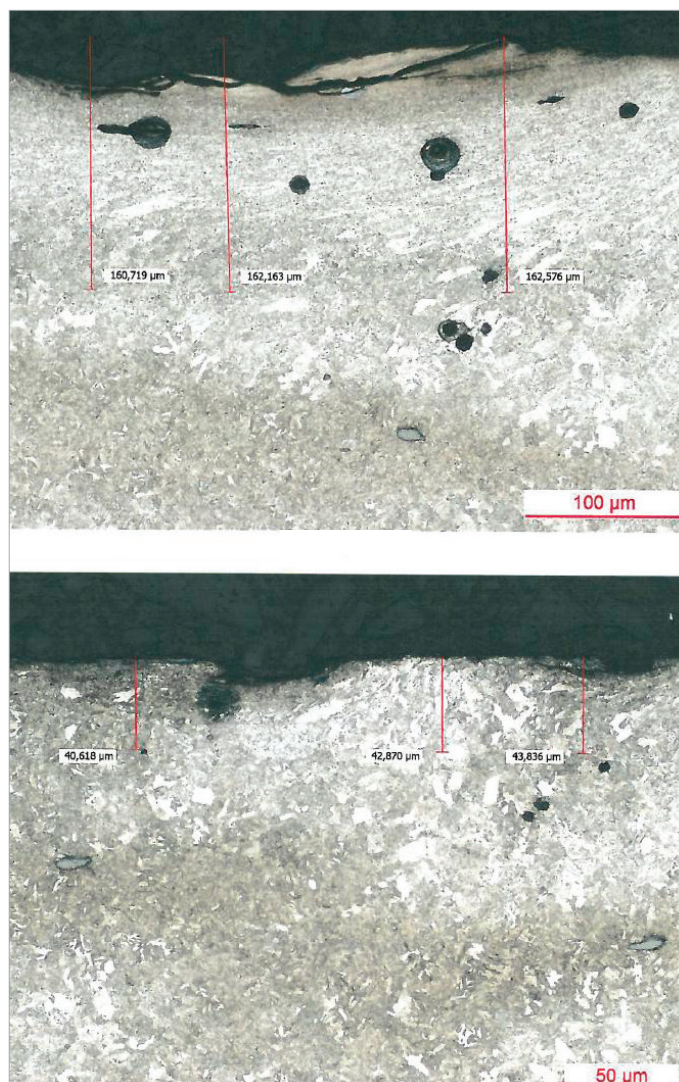
Tab. 1: Průběh tvrdosti.

Hloubka [mm]	Tvrdost v dráze (HV10)			Tvrdost mimo dráhu (HV10)
	Vzorek 2s-2A	Vzorek 4s-4A	Vzorek 7s-7A	Vzorek 2s-2B
2	280	265	267	270
4		276		
6	289	269	259	290
8		263		
10	279	264	260	272
12		246		
14	299	249	267	277
16		259		
18		248		279
20	286	257	260	274

Pozn.: Statistické charakteristiky měření nejsou k dispozici. Je zřejmé, že tvrdost materiálu není provozem dráhy výrazně ovlivněna.



Obr. 4: Trhliny v materiálu vzorků, odebraných ze spodní části žlábků dráhy.



Obr. 5: Deformace v materiálu vzorků, odebraných mimo žlábek dráhy.

Skladba zkoušek byla následující:

- chemické složení materiálu,
- tvrdost v závislosti na hloubce dráhy,
- metalografický rozbor.

Výsledky zkoušek jsou uvedeny v protokolu č. 399/13.

• Chemické složení

Odpovídá uváděné oceli 15 341. Pouze obsah uhlíku je vyšší – 0,48 %. Dle ČSN je max. obsah uhlíku $0,43 \pm 0,02$ %.

• Tvrdost

Výsledky lze shrnout do tabulky průběhu tvrdosti (tab. č. 1).

• Metalografie

Detailní výsledky provedených metalografických zkoušek jsou v protokolu č. 399/13 laboratoře. Zde je uvedeno pouze shrnutí výsledků protokolu.

Mikroskopicky byly na vzorcích A ze spodního místa kulové dráhy (styku koule se žlábkem dráhy) zjištěny trhliny a deformace struktury, které dosahují do hloubky maximálně 0,6 mm. Na vzorcích B z neexponované (nepracovní) plochy spodního dílu dráhy byly místy zjištěny deformace struktury, které dosahují do hloubky maximálně 0,16 mm.

Dle zjištěných skutečností je struktura žlábků dráhy ovlivněna provozem dráhy do hloubky max. 0,6 mm. Materiál dráhy není zcela homogenní.

Výběr z protokolu lze vidět na obrázcích č. 3, 4 a 5.

3 Simulace stavu napjatosti v kontaktu koule se žlábkem

Pro stanovení vnitřních a zejména kontaktních sil v kouli a spodním dílu kulové dráhy bylo použito softwarové vybavení COSMOS/DesignStar ver. 6.0 společnosti Structural Research and Analysis Corporation. Uvedený software používá deformační variantu metody konečných prvků.

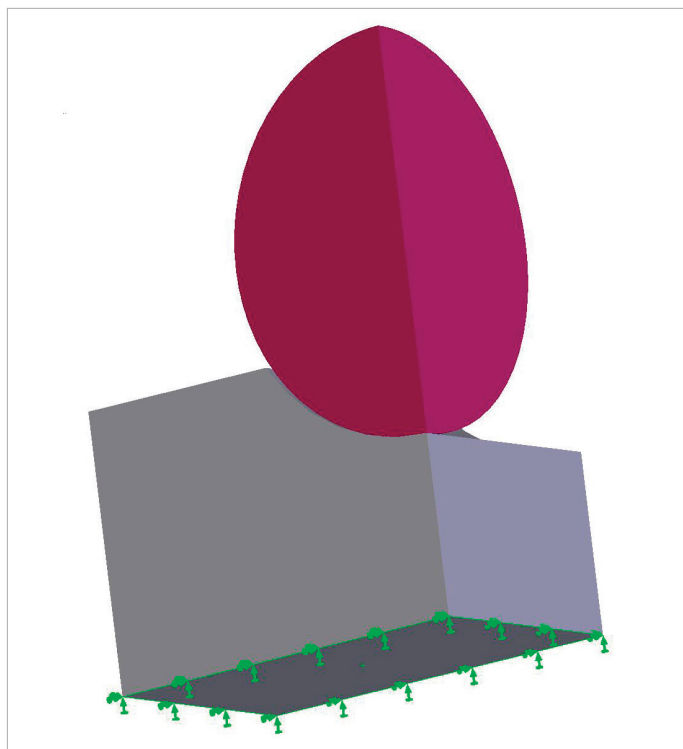
Charakteristické hodnoty materiálu z materiálových listů a předpisu výrobce pro obnovu dráhy:

Spodní díl

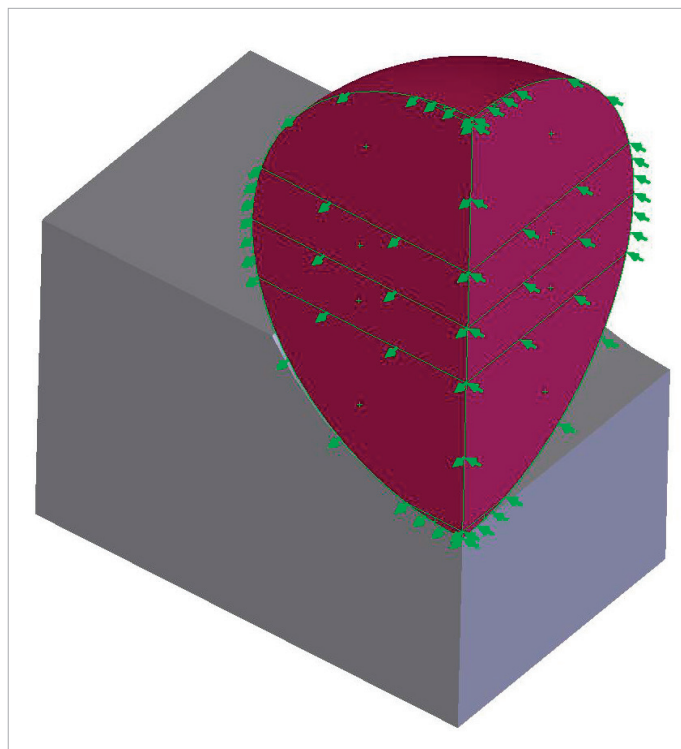
- ocel 15 341.9; mez pevnosti $880 \div 1050$ MPa; mez kluzu 475 MPa, souč. kontrakce 0,3; tažnost 14 %; měrná hmotnost $7\,800 \text{ kg.m}^{-3}$

Koule

- ocel GCr15SiMn (AISI 5210); mez pevnosti 900 MPa; mez kluzu 500 MPa; tažnost 5 %; měrná hmotnost $7\,500 \text{ kg.m}^{-3}$



Obr. 6: Model kontaktu koule se žlábkem uložení v segmentu.

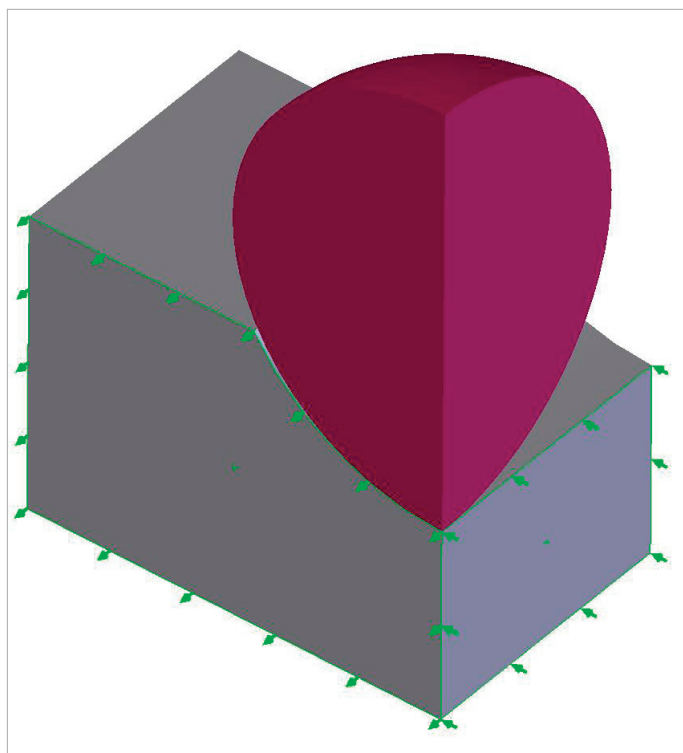


Obr. 7: Symetrické uložení koule.

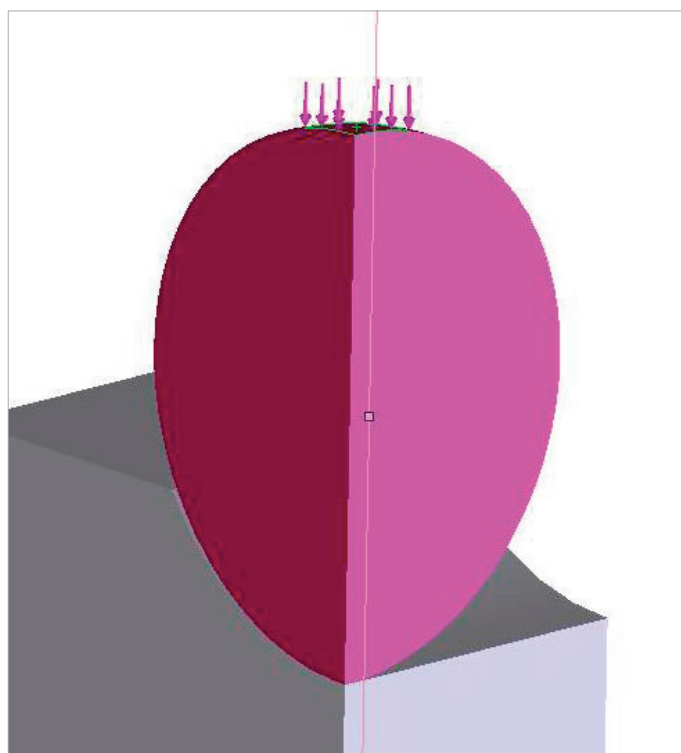
Geometrie a okrajové podmínky

Rozměry a tvar výpočetního 3D modelu byly převzaty z výkresu č. V004693 „Obnova kulové dráhy zakladače ZP6600.10“. Byl vytvořen model sestávající z koule a spodního dílu dráhy (viz obrázek č. 6). Rozměry obou entit byly provedeny tak, aby odpovídaly rozteči mezi koulemi. Spodní díl dráhy je spodní plochou uložen na fixní podpoře. Svislé plochy spodního dílu, společně s chybějící symetrickou částí, mají tzv. symetrické

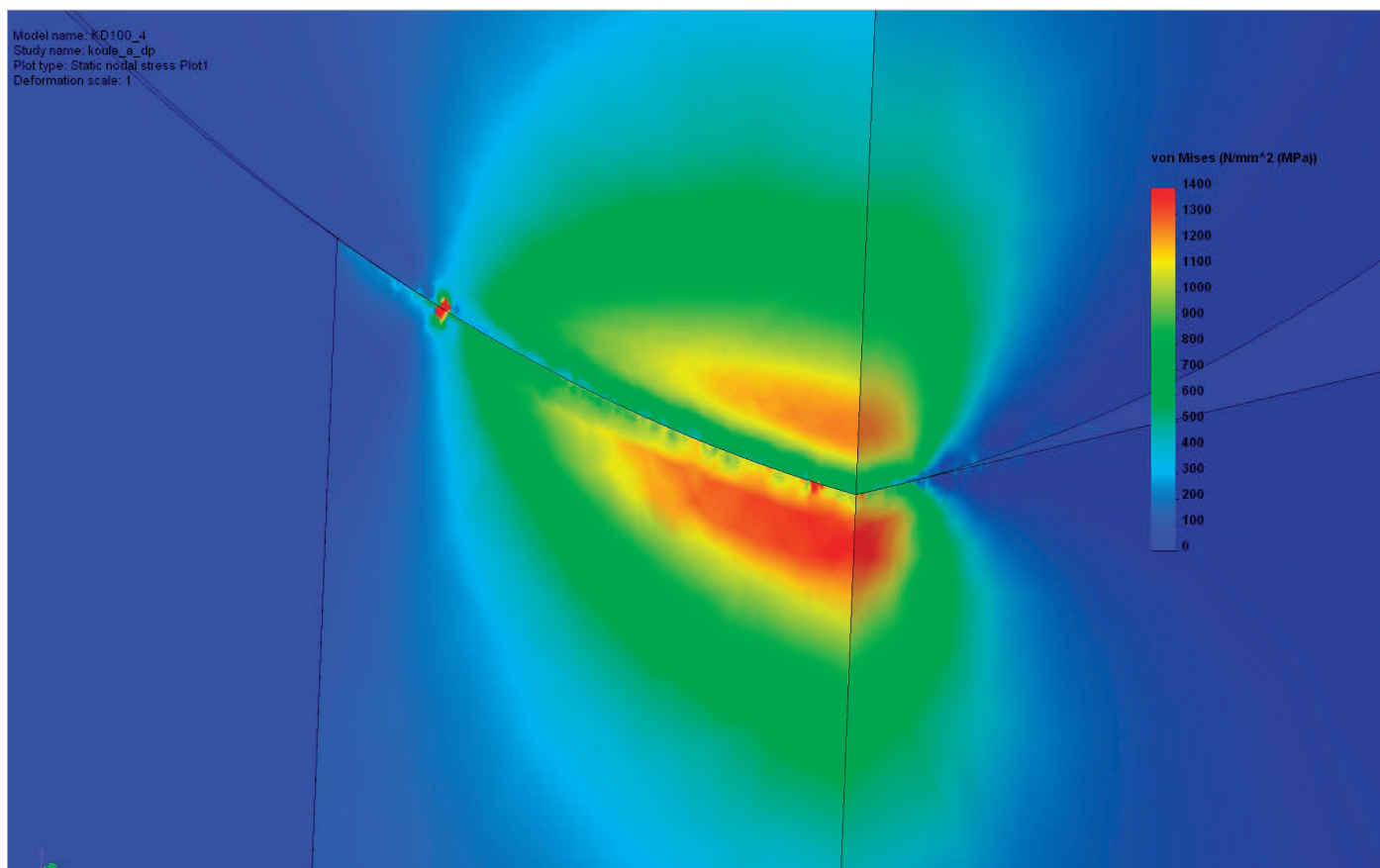
uložení, tj. uložení, které simuluje vnitřní síly ve společné ploše modelu a chybějící části. Obdobné symetrické uložení bylo aplikováno na příslušné plochy $\frac{1}{4}$ modelu koule (viz obrázky č. 6, 7 a 8). Na modelu byla vytvořena síť konečných objemových prvků typu TETRA10 o nominální velikosti 6,095 mm s lokálním zjemněním sítě ve stykových plochách koule se spodním dílem až na velikost prvku 0,2 mm.



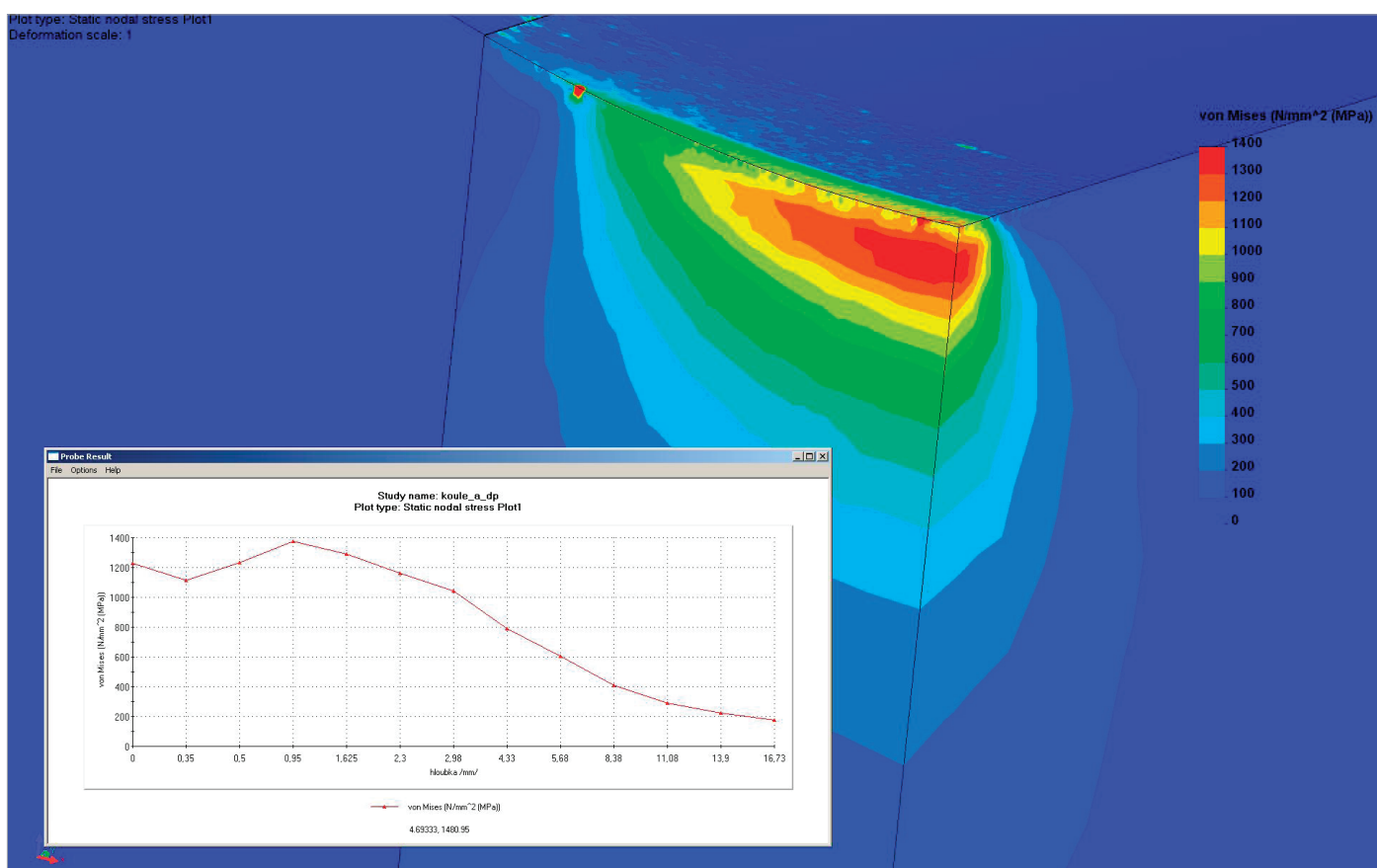
Obr. 8: Symetrické uložení segmentu.



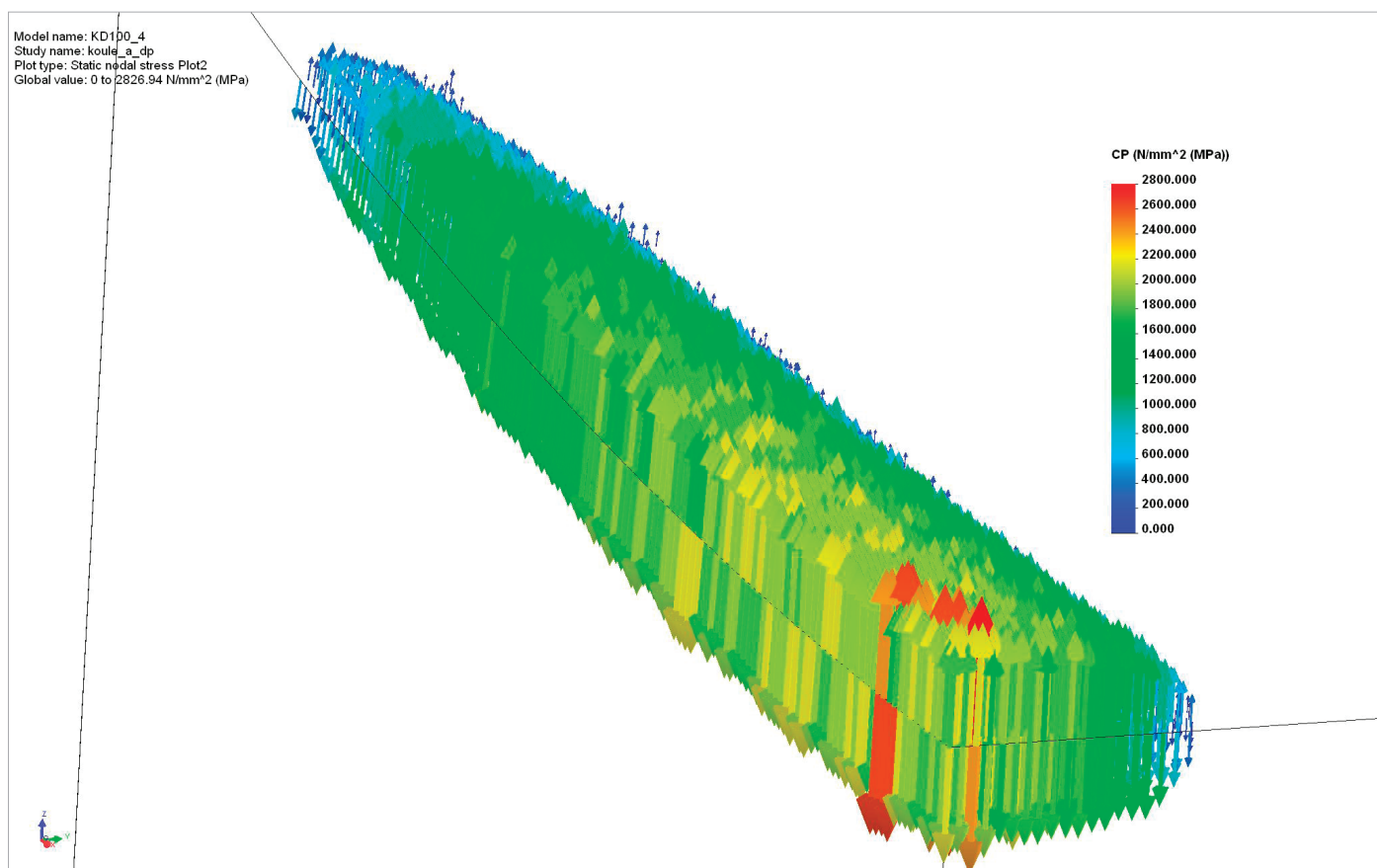
Obr. 9: Zatížení modelu.



Obr. 10: Efektivní napětí pro zatížení 105 kN.



Obr. 11: Žlábek - efektivní napětí pro zatížení 105 kN v závislosti na vzdálenosti od středu kontaktu.



Obr. 12: ¼ elipsoidu kontaktních tlaků.

Zatížení

Na kulovou dráhu velkostroje působí následující zatížení:

Zatížení stálé:

- vlastní tíha kulové dráhy,
- vlastní tíha otočného svršku velkostroje.

Zatížení nahodilé:

- zatížení třením při valení koulí,
- zatížení od větru na velkostroj,
- zatížení od náklonu velkostroje,
- zatížení od vlastní hmoty materiálu na dopravních pásech.

Vlastní tíha kulové dráhy

- Zatížení vlastní hmotou modelu generuje program automaticky pro tíhové zrychlení $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Vlastní tíha otočného svršku

- Hmotnost otočného svršku 1 580 t působí na kulovou dráhu tíhovou silou $Q = 15\,800 \text{ kN}$. Ta se rozdělí na $N = 301$ koulí o vzájemné rozteči $s = 125 \text{ mm}$. Při maximální přípustné excentricitě zatížení $e = 3\,000 \text{ mm}$ je hodnota maximální tíhové síly F , působící na jednu kouli, $F_{\max} = 105 \text{ kN}$. To je dvojnásobek hodnoty zatížení koule při rovnoměrném rozdělení síly Q ($e = 0 \text{ mm}$).

Zatížení třením při valení koulí

- Odpory při valení činí cca 1 % svislého zatížení koule. Zatížení se zanedbává.

Zatížení od větru na velkostroj

- Je obsaženo v odhadu vlastní tíhy otočného svršku (excentricita).

Zatížení od náklonu velkostroje

- Je obsaženo v odhadu vlastní tíhy otočného svršku (excentricita).

Zatížení od vlastní hmoty materiálu na dopravních pásech

- Předpokládaná hmotnost materiálu na dopravních pásech stroje činí 20 t, tj. 1,27 % z celkové hmotnosti otočného svršku velkostroje. Zatížení lze zanedbat. Jeho vliv na excentricitu výsledné hmotnosti otočného svršku je již zohledněn v odhadu vlastní tíhy otočného svršku. Zatížení modelu viz obrázek č. 9.

Efektivní napětí

- Výpočet byl proveden lineární statikou pro 2 zatěžovací stavy. Pro zatížení koule jmenovitou silou $F_{jm} = 52,5 \text{ kN}$ a pro zatížení koule maximální silou $F_{\max} = 105 \text{ kN}$. Kontakt obou těles byl ošetřen vazební podmínkou „žádná penetrace“.
- Na obrázcích č. 10 a 11 jsou uvedeny grafickou formou výsledky pro efektivní napětí podle teorie Von Mises v hlavních rovinách příslušného elipsoidu.

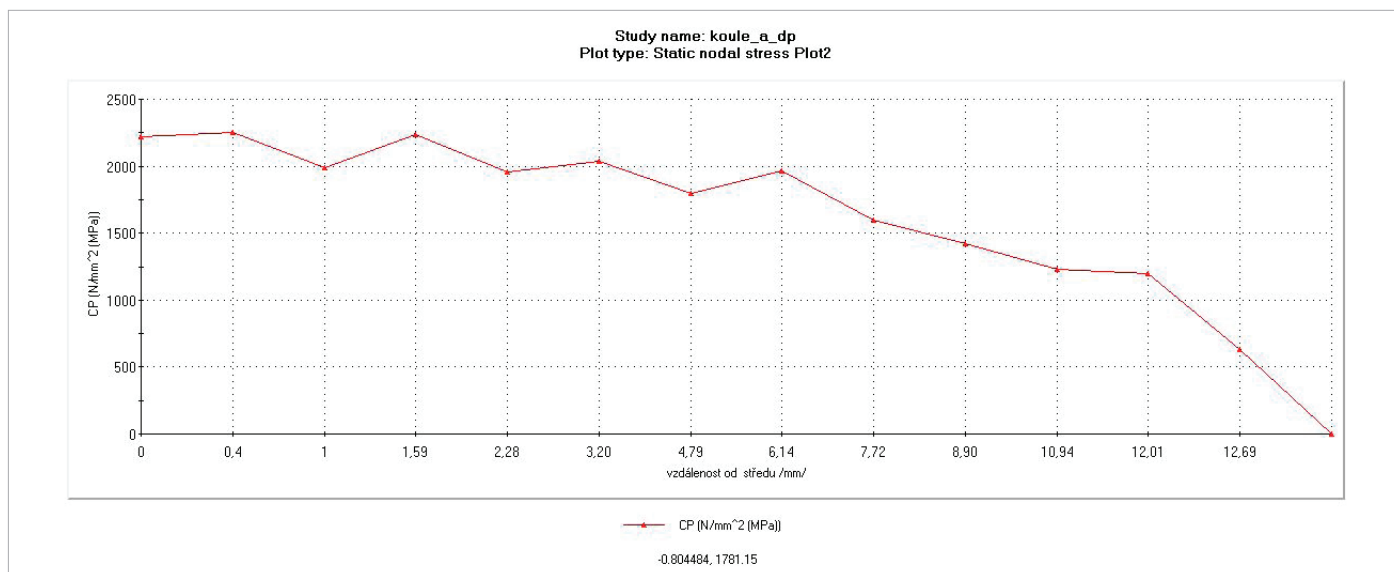
Kontaktní tlaky

- Na obrázcích č. 12 až 14 jsou uvedeny grafickou formou výsledky pro kontaktní tlaky v hlavních rovinách příslušného elipsoidu. Delší osa elipsoidu leží v rovině průřezu žlábků dráhy, kratší osa je ve směru tečny ke dráze koulí.

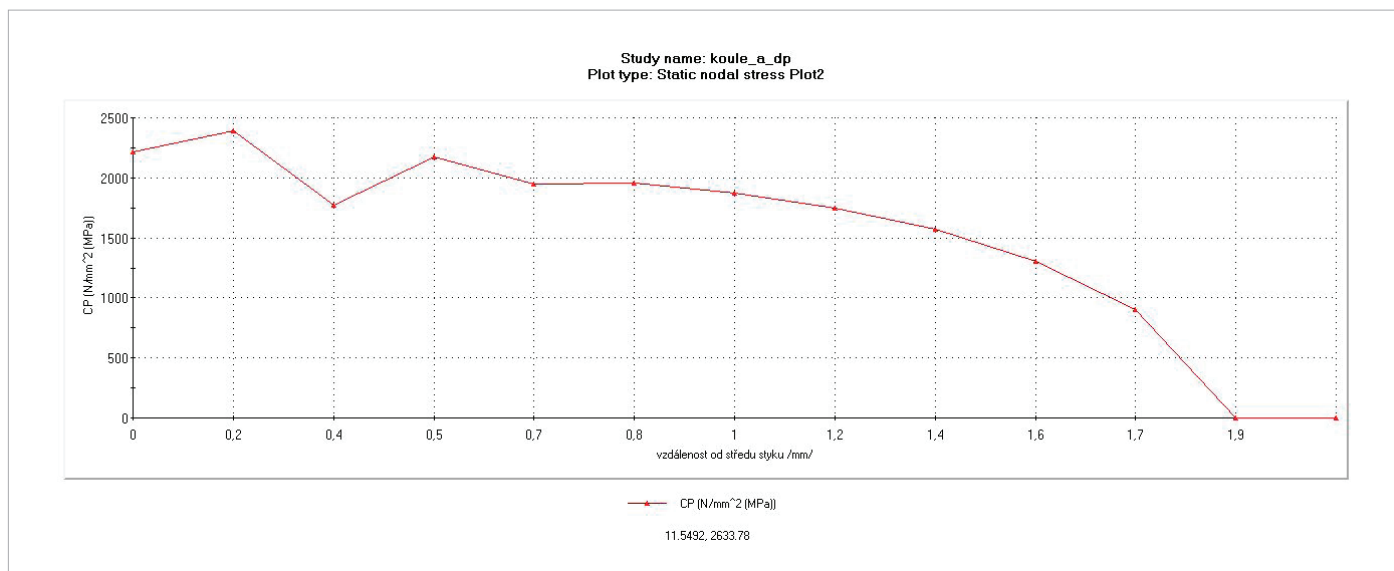
4 Závěr

Získané výsledky lze stručně zopakovat a shrnout následovně:

1. Chemické složení odpovídá udávané oceli, obsah uhlíku však mírně překračuje normu – 0,48 % místo max. 0,45 %.



Obr. 13: Kontaktní tlaky ve styku koule se spodním dílem pro zatížení 105 kN, delší osa elipsoidu; v závislosti na vzdálenosti od středu styku.



Obr. 14: Kontaktní tlaky ve styku koule se spodním dílem pro zatížení 105 kN, kratší osa elipsoidu; v závislosti na vzdálenosti od středu styku.

2. Tvrdost materiálu vzrůstá od povrchu do hloubky 4÷6 mm, potom klesá. Hodnoty tvrdosti leží v rozsahu 246÷299 HV10. Na vzorcích z drážky je tvrdost nižší o cca 7 % oproti vzorkům odebraným mimo drážku. Na jednotlivých vzorcích změna tvrdosti s hloubkou nepřesahuje 10 %.

3. Metalografický rozbor ukázal u vzorků z drážky trhliny a změnu struktury do hloubky 0,6 mm. Změna struktury spočívá především v nehomogenitě materiálu a výskytu dutin. U vzorků mimo drážku nejsou trhliny a nehomogenita je značně menší.

4. Kontaktní tlaky byly spočteny pro jmenovité a maximální zatížení koule. Maximální zatížení 105 kN odpovídá dvojnásobku jmenovitého zatížení a na stroji nebude nikdy překročeno. Vypočtené průběhy kontaktních tlaků mají tvar elipsoidu se středem v místě styku obou těles, hlavní osou vodorovnou a ležící v rovině průřezu drážky, vedlejší osou vodorovnou a ležící v rovině tečny ke dráze koulí. Kontaktní tlaky dosahují maxi-

mální hodnoty 2 250 MPa ve středu styku těles. Podle zákona elipsoidu klesají k nule. V hlavní ose ve vzdálenosti cca 12 mm. Ve vedlejší ose ve vzdálenosti cca 1,9 mm. Pro jmenovité zatížení koule (52,5 kN) kontaktní tlaky dosahují maximální hodnoty 1 600 MPa ve středu styku těles.

5. Maximální deformace obou těles v místě kontaktu činí 0,06 mm.

6. Maximální efektivní napětí je ve středu kontaktu obou těles. Vzrůstá od povrchu do hloubky cca 1 mm (1 400 MPa) a potom klesá. V hloubce 3,6 mm je již pod hranici pevnosti materiálu 880 MPa. Průběh efektivního napětí může být v dobrém souladu s laboratorními nálezy ve smyslu plastizace materiálu v místech nehomogenit materiálu do hloubky cca 0,6÷1 mm.

7. Z výše uvedeného lze odvodit, že materiál spodního dílu kulové dráhy je provozem dráhy ovlivněn do hloubky cca 3,6 mm (trhliny, změna struktury, přechování, úroveň napjatosti).

Před dalším použitím spodního dílu kulové dráhy se doporučuje odstranit vrchní vrstvu materiálu v drážce do hloubky 3,6 mm.

Poděkování

Problém byl řešen a článek vznikl ve spolupráci se společnostmi SD a. s. – Doly Bílina a UNIPETROL RPA, s.r.o. Autor děkuje za spolupráci jejich pracovníkům, kteří se na řešení podíleli.

Literatura

- [1] ŠIMŮNEK, J.: *Části strojů pro povrchovou těžbu – kolesová rýpadla*, Ostrava 1985.
- [2] HOJDAR, HELEBRANT, GONDEK: *Povrchové dobývací stroje I*, Ostrava 1991.

- [3] SKF: *Mechanismus poškození*, Evolution 4/12.
- [4] KLOUDA, P.: *Měření stavu kulové dráhy ZP6600/Z79 na DB*, Zpráva VÚHU a.s., č. TPD-002/14.
- [5] SR&AC, Manuál programu COSMOS/DesignStar6.0.
- [6] UNIPETROL RPA s.r.o., zkušební laboratoř č. 1050 akreditovaná ČIA, Protokol č. 399/13.