

ASOCIACE STROJNÍCH INŽENÝRŮ



Bulletin Asociace strojních inženýrů vydává pro své členy
Adresa: ASI, Technická 4, 166 07, Praha 6
www.asicr.cz



Rypadlo SchRS 1550-4x30

"Civilizace musí se rozvíjet bez zbytečných rizik. Tvořit nová díla, která obohacují náš svět a zlepšují náš život je nutné, ale musí se také dít jen s uplatněním vědy, která je profesionálním základem každé tvůrčí činnosti."

Prof. J. Němec

OBSAH

<i>Ing. Josef Vondráček</i> Úvodem	4
<i>Ing. Petr Svoboda, CSc.</i> Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.	5
<i>Ing. Petr KLOUDA, Ing. Vlastimil MONI</i> Degradace stavu kulové dráhy zakladače ZP 6600	8
<i>Ing. Jaromír Täuber, Ing. Jaroslav Svoboda, František Holý</i> Odprášení přesypů pásové dopravy	13
<i>Ing. Petr KLOUDA, Ing. Vlastimil MONI</i> Měření krouticích momentů pohonu kola	21
SPOLEČENSKÁ KRONIKA ČLENŮ ASI	
Vzpomínka na inženýrku Ubrou	28

Úvodem

Nové číslo bulletinu vydává A.S.I. Klub Most při VÚHU v čele s předsedou klubu Ing. Petrem Kloudou a vedoucím odboru strojařů ve VÚ Ing. Vlastimilem Moni. Za dosavadní činnost, kterou konají vedle svých náročných profesí jim patří naše poděkování. A patří všem, kteří klubu pomáhají nebo pomáhali. Klub vznikl v roce 1993 zásluhou ředitele Ing. Oldřicha Klimeckého (jak se to v té době praktikovalo) a již tehdy byl členem výboru Petr Klouda. Viz náš bulletin

č. 2/1993 a č. 4/1994. Dalšími významnými členy byli předsedové Ing. Pavel Dolanský a Ing. Karel Strakoš a ředitelka Ing. Helena Veverková aj. Inženýři Dolanský, Veverková a Klouda byli také oceněni k 20. výročí založení Asociace našim nejvyšším vyznamenáním - medailí L. da Vinci.

U založení klubu byl také náš přední vědec a strojař prof. Jaroslav Němec, který v Mostě na akci klubu, v roce 1993 přednášel. V roce 1994 klub vydal vynikající skriptum prof. Němce „Prodlužování životností konstrukcí ... „

Klub Most, tak jako ostatní naše kluby je zapsán ve Spolkovém rejstříku dle NOZ a to u Městského soudu v Praze u zřizovatele A.S.I. ČR, má vlastní stanovy a může prakticky pracovat zcela samostatně.

Do příštích let také počítáme s další podporou nového ředitele VÚHU ing. Petra Svobody a nové technické náměstkyně Ing. Renáty Zárubové.

V části bulletinu za spolek – ústředí zveřejňujeme vzpomínku na zesnulou kolegyni, dlouholetou členku hlavního výboru doktorku inženýrku Olgu Ubrou a dále pozvánku na konferenci Turbostroje 2017 v Praze, kde jsme spoluorganizátoři.

Ing. Josef Vondráček, tajemník A.S.I.

Redakční rada

Ing. Petr Klouda, Ing. Vlastimil Moni Ph.D., Ing. Josef Vondráček, Ing. Ernest Istvánfy, MBA.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.

Ing. Petr Svoboda, CSc.

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí byl založen v Mostě v roce 1953 jako účelová organizace dolů v Severočeské hnědouhelné pánvi pro řešení komplexní problematiky rozvoje zejména lomového dobývání hnědého uhlí. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s. (dále VÚHU a.s.) vznikl v rámci transformace z bývalého stejnojmenného státního podniku. Hlavními akcionáři jsou dvě nejvýznamnější hnědouhelné společnosti - Vršanská uhelná a.s. (44,580%) a Severočeské doly a.s. (44,582%). K 1. 5. 1992 byl ústav zapsán v obchodním rejstříku jako akciová společnost.

Výsledky výzkumu a vývoje ústavu se opírají o mezinárodní vědeckotechnickou spolupráci a kontakty s vysokými školami, výzkumnými ústavu řešícími obdobnou problematiku a s vývojovými pracovišti dodavatelských organizací. Dlouholeté zkušenosti zdejších odborníků a vybavení špičkovou laboratorní technikou umožňuje ve všech oborech činnosti VÚHU a.s. rozsáhlou výzkumnou, poradenskou, zakázkovou a servisní činnost, zaměřenou na problematiku hornictví, ale i na řešení aktuálních problémů v ekologii, stavebnictví, zemědělství i v ostatních průmyslových oborech.

V současnosti se VÚHU a.s. podílí na řešení 4 mezinárodních projektů podporovaných Fondem pro uhlí a ocel EU (Research Fund for Coal and Steel) a také projektů podporovaných z veřejných zdrojů ČR – Technologická agentura ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu, Ministerstvo zemědělství.



Hlavní činnosti společnosti jsou zaměřeny na následující obory:

- báňská technologie lomového a hlubinného dobývání nerostů včetně jejich úpravy a užití;
- prognózy vývoje těžby hnědého uhlí jako součást výhledových palivoenergetických koncepcí;
- geologie, hydrogeologie, geotechnika, geomechanika a geofyzika pro hornictví a zakládání liniových a soustředěných staveb;
- konzultační a projekční činnost v oblasti rekultivace, revitalizace a resocializace území uvolněných z důlní činnosti;
- ekonomické oceňování báňských podniků a ložisek nerostů;
- výzkum a vývoj v oblasti paliv;
- ochrana a monitorování životního prostředí;
- konzultační a posudková činnost v oblasti odstraňování odpadů a při výstavbě skládek odpadů včetně testování minerálního těsnění;
- poradenství v oblasti malého a středního teplaření;
- projekční a konstrukční činnosti strojní a elektro;
- termovizní a tenzometrická měření;
- měření elektrických veličin, harmonická analýza pomocí analyzátoru sítí BK 550 a ENA 500.

V působnosti VÚHU a.s. je rovněž akreditovaná zkušební laboratoř č. 1078 s činností v následujících oborech:

- rozbory paliv, vod a odpadů;
- měření imisí a hluku;
- testování hornin, produktů po spalování a odsíření;
- měření a diagnostika strojů.

Akreditovaná zkušební laboratoř poskytuje své služby také České obchodní inspekci jako jedna z laboratoř při řešení reklamací a stížností.

Odborný útvar Technologické procesy a diagnostika provádí zpracování dokumentací pro územní rozhodnutí a pro stavební povolení, zpracování studií proveditelnosti, zpracování projektových a provozních dokumentací. Dále provádí inženýring staveb, dodávky technologických celků, konzultační a poradenskou činnost. Uvedenou problematikou se zabývá již řadu let a disponuje specialisty z dané oblasti a nejmodernější měřicí technikou. Při své činnosti se věnuje studiím a navrhuje technická řešení směřující ke snížení prašnosti, včetně následných realizací odprášení. Řešení v oblasti redukce prašnosti těžebních technologií a skládkování tuhých paliv je široce využíváno jak akcionáři společnosti, tak i dalšími společnostmi podnikajícími v energetickém sektoru.

Laboratoř technické diagnostiky se zabývá měřením elektrických, výkonových a technických parametrů těžební technologie používané při lomovém dobývání (rýpadla, dopravní linky, zakládače). Laboratoř také provádí bezdemontažní diagnostiku, termovizní a tenzometrická měření, vibrodiagnostiku. Zaměřuje se také na výpočty, vstupní kontroly a revize ocelových konstrukcí, měření EMC, současně až 4 systémů napájecích sítí nm, vn, vvn (harmonická analýza). Laboratoř dále provádí měření hluku v pracovním prostředí, ve stavbách pro bydlení, ve stavbách občanského vybavení a ve venkovním prostoru a určení hladin akustického tlaku strojů a zařízení.

Odborný útvar Geotechnika a hydrogeologie poskytuje komplexní a široké spektrum služeb. V rámci geotechniky a inženýrské geologie tvoří významný podíl činnosti řešení stabilitních problémů na svazích (zejména lomových a výsypkových) i ve skalních zářezích a výcho-

zech. Specialisté VÚHU a.s., útvaru Geotechniky a hydrogeologie zajišťují komplexní řešení této problematiky od inženýrskogeologického průzkumu, přes stabilitní analýzy, návrh geotechnického zajištění až po realizační projekt sanačních prací. Nabízíme odbornou způsobilost projektovat nebo navrhovat objekty a zařízení, které jsou součástí hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem, vypracovávat plány a dokumentaci, týkající se hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem.

Odborný útvar Autorizovaná osoba a Certifikační orgán provádí činnosti spojené s posuzováním shody a certifikací stanovených a nestanovených stavebních výrobků z technologicky upravených produktů po spalování a produktů z variantních odsířovacích procesů energetických a teplárenských zdrojů v České republice.

VÚHU a.s. dále poskytuje vědeckotechnické a ekonomické informace, překladatelské, tlumočnické a reprografické služby.

Spektrum činností v sektoru strojírenství a technické diagnostiky dokládají další příspěvky uveřejněné v tomto čísle Bulletinu.



dovolujeme si Vás pozvat na XXIII. ročník konference

PROBLÉMY PROVOZU, ÚDRŽBY A OPRAV STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ, POUŽÍVANÉHO PŘI POVRCHOVÉM DOBÝVÁNÍ

pořádané ve dnech 21. – 22. září 2017 ve Sloupu v Čechách, v areálu penzionu Doly Bílina.

Konferenci organizuje
Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most
pod záštitou

generálních ředitelů
Severočeských dolů a.s., Chomutov Ing. Ivo Pěgřímka, Ph.D.,
Vršanské uhelné a.s. a Severní energetické a.s.
Ing. Vladimíra Roučka

a

VŠB-TU Ostrava, Fakulty strojní, katedry výrobních strojů a konstruování
Asociace strojních inženýrů, klub Most, p.s.



Srdečně Vás zveme k účasti a těšíme se na setkání!

Organizační výbor konference
e-mail: mileticova@vuhu.cz
tel. 606 881 843

Degradace stavu kulové dráhy zakladače ZP 6600

Ing. Petr KLOUDA, Ing. Vlastimil MONI,
VÚHU a. s. Most

Abstrakt:

V příspěvku je komentován odběr vzorků ze spodního dílu kulové dráhy velkstroje ZP6600/Z79 a následně výsledky materiálových zkoušek, provedených na odebraných vzorcích. Dále je uveden postup a výsledky výpočtu stavu napjatosti metodou konečných prvků spodního dílu kulové dráhy při jejím kontaktu s koulí.

Klíčová slova:

zakladač, kulová dráha, vzorek, metalografický rozbor, stav napjatosti, kontaktní napětí.

ÚVOD

Na SD a. s. – Doly Bílina vznikla myšlenka nahradit značně opotřeбенou kulovou dráhou velkstroje ZP 5500.5 kulovou dráhou odstaveného velkstroje ZP6600/Z79. Rádus drážky segmentů spodní části dráhy byl totožný s poloměrem koulí. Tření bylo zvýšené a části materiálu dráhy byly vytrhány. Objednatel požadoval provedení určených materiálových zkoušek na dodaných vzorcích spodního dílu kulové dráhy velkstroje – zakladače – ZP6600/Z79 s cílem zjistit stupeň degradace vlastností materiálu již používané kulové dráhy. Dále požadoval numerickou simulaci stavu napjatosti v oblasti kontaktu koule a spodního dílu kulové dráhy s cílem zjistit hloubku, do které může být materiál spodního dílu kulové dráhy ovlivněn dotýkající se koulí.

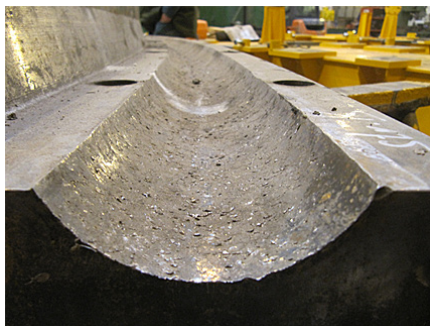
Materiálové zkoušky byly realizovány v externí kooperaci se společností UNIPETROL RPA s.r.o., zkušební laboratoř č. 1050 akreditovaná ČIA. Numerická simulace napjatosti byla provedena ve VÚHU a. s. na 3D modelu kontaktu metodou konečných prvků.

Pro vypracování díla objednatel dodal výkres č. V004693 „Obnova kulové dráhy zakladače ZP6600.10“ a dále uvedl:

- spodní díl dráhy je zhotoven z oceli 15 341.9 zušlechtněné na mez pevnosti $R_m = 880 \div 1050$ MPa

- horní díl dráhy je zhotoven z oceli 16 540.8
- koule jsou zhotoveny z oceli GCr15SiMn.
- celková hmotnost otočného svršku zakladače činí 1580t.

Obr. 1 ukazuje stav plochy drážky spodní části dráhy.



Obr. 1 Drážka spodní části

MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY

Po konzultaci s materiálovou laboratoří byl proveden odběr vzorků z maximálně zatíženého spodního dílu kulové dráhy (vzorek A). Byly odebrány tři dvojice vzorků označené 2s, 4s a 7s.. V každé dvojici byl jeden vzorek (kratší) z nejnižšího bodu kulové dráhy a jeden vzorek z neexponované části spodního dílu vedle vlastní dráhy (vzorek B). Vlastní odběr byl proveden odvrtáním korunkovým vrtákem za pomalého posuvu a vydatného chlazení.

Skladba materiálových zkoušek byla následující:

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

Chemické složení

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

Tvrdość a pevnost

Přizázení pevnosti bylo provedeno podle tvrdosti změřené na jednotlivých vzorcích dle převodní tabulky materiálů společnosti Taegu-Tec a z výsledků zkoušek vyplývá, že pevnost materiálu není provozem dráhy výrazně ovlivněna.

METALOGRAFIE

Mikroskopicky byly na vzorcích A ze spodního místa kulové dráhy (styku koulí 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.

SIMULACE NAPĚTOVÉHO STAVU V KONTAKTU KOULE S DRÁŽKOU

Cílem pevnostního výpočtu napjatosti v oblasti kontaktu koule a spodního dílu kulové dráhy je zjistit hloubku, do které může být materiál spodního dílu kulové dráhy ovlivněn dotýkající se koulí.

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 metodu konečných prvků.

Spodní část ocel 15 341.9

$f_u = R_m =$	880 + 1050 MPa
$f_y = R_k =$	min 475 MPa
sum of contraction	$\nu = 0,3$
tensibility	14%
measured weight	7800 kg.m ⁻³

Koule ocel GCr15SiMn (AISI 5210)

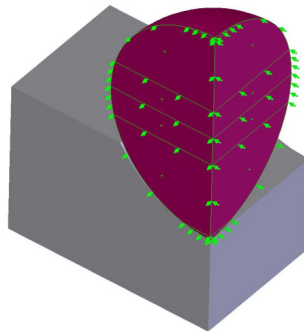
$f_u = R_m =$	min 900 MPa
$f_y = R_k =$	min 500 MPa
tensibility	5 %
measured weight	7500 kg.m ⁻³

Geometrie

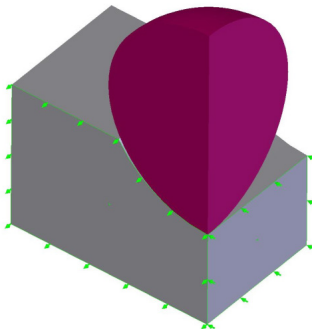
Rozměry a tvar výpočetního 3D modelu byly převzaty z výkresu č. V004693 „Obnova kulové dráhy zakladače ZP6600.10“. V první fázi prací na výpočtu byl vytvořen model sestávající z koule, spodního a horního dílu dráhy a klece. Rozměry obou dílů dráhy byly provedeny v rozměrech, které odpovídaly rozteči mezi koulemi. Po potížích s výpočetní kapacitou a stabilizací modelu byl tento zredukován na ¼ a bez horního dílu a bez klece.

Podpěření – okrajové podmínky

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 ¼ modelu koule. Viz Obr. 2 a 3.



Obr. 2 Symetrické uložení koule



Obr. 3 Symetrické uložení spodního segmentu

Model

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.

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 1580 t působí na kulovou dráhu tíhovou silou $Q= 15800 \text{ kN}$. Ta se rozdělí na $N = 301$ koulí o vzájemné rozteči $s = 125 \text{ mm}$. Při maximální přípustné excentricitě zatížení $e = 3000 \text{ mm}$ je hodnota maximální tíhové síly F , působící na jednu kouli, $F_{\max} = 2Q/N = 31600/301 = 105 \text{ kN}$. Tedy dvojnásobek hodnoty při rovnoměrném rozdělení zatížení ($e = 0 \text{ mm}$). Hodnota jmenovitého zatížení kolu $F_{\text{jm}} = 52,5 \text{ kN}$. Hodnota F_{\max} v sobě zohledňuje působení větru na velkostroj a jeho náklon.

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.

Zatížení od náklonu velkostroje

Je obsaženo v odhadu vlastní tíhy otočného svršku.

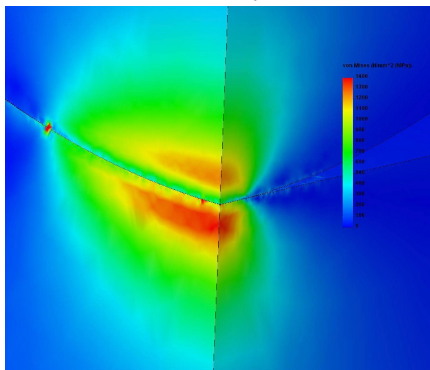
Zatížení od vlastní hmoty materiálu na dopravních pásech

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.

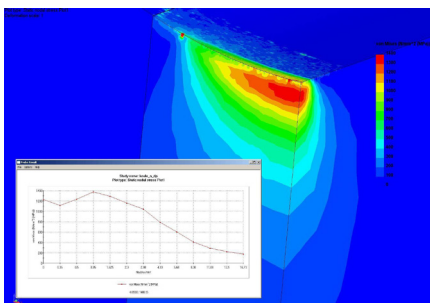
EFEKTIVNÍ NAPJATOST

Výpočet byl proveden lineární statikou pro 2 zatěžovací stavy. Pro zatížení koule jmenovitou silou $F_{\text{jm}} = 52,5 \text{ kN}$ a pro zatížení koule maximální silou $F_{\max} = 105 \text{ kN}$. Kontakt obou těles byl ošetřen vazební podmínkou „žádná penetrace“.

Následující Obr. 4 a 5 ukazují grafické výsledky efektivního napětí podle teorie Von Mises v hlavních osách elipsoidu.



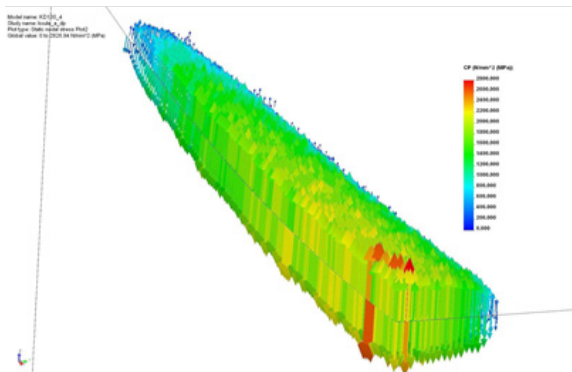
Obr. 4 Efektivní napětí pro zatížení 105 kN



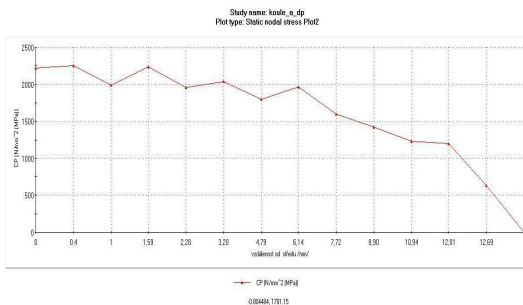
Obr. 5 Drážka – efektivní napětí pro zatížení 105 kN v závislosti na vzdálenosti od středu kontaktu

KONTAKTNÍ TLAKY

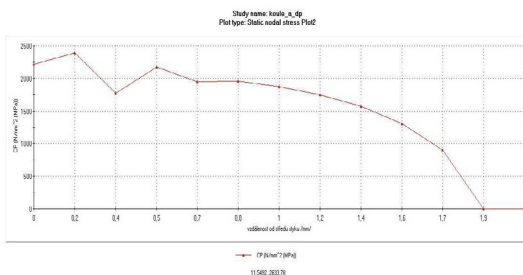
Na následujících obrázcích č. 6 až 8 jsou znázorněny výsledky pro kontaktní tlaky v hlavních rovinách příslušného elipsoidu. Delší osa elipsoidu leží v rovině průřezu žlábků dráhy, kratší osa je ve směru tečny ke dráze koulí.



Obr. 6 $\frac{1}{4}$ elipsoidu kontaktních tlaků



Obr. 7 Tlaky v místě kontaktu koule se spodním segmentem dráhy při zatížení 105 kN
Delší osa elipsoidu; v závislosti na vzdálenosti od středu kontaktu



Obr. 8 Tlaky v místě kontaktu koule se spodním segmentem dráhy při zatížení 105 kN
Kratší osa elipsoidu; v závislosti na vzdálenosti od středu kontaktu

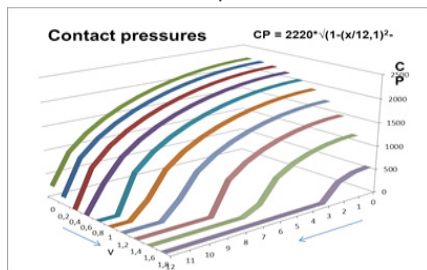
ZÁVĚR

Získané výsledky lze stručně shrnout následovně:

- Chemické složení odpovídá udávané oceli. Obsah uhlíku však mírně překračuje normu – 0,48% místo max. 0,45%.
- 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 %.
- 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.
- Kontaktní tlaky byly spočteny pro jmenovité a maximální zatížení koule. Maximální zatížení odpovídá dvojnásobku jmenovitého zatížení a na stroji nebude nikdy překročeno. Maximální zatížení koule bylo stanoveno na hodnotu 105 kN. 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 tečně ke dráze koulí. Průběhy kontaktních tlaků v těchto osách jsou pro maximální zatížení uvedeny v grafech na obrázcích č. 7 a 8. Kontaktní tlaky dosahují maximální hodnoty 2250 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 1600 MPa ve středu styku těles.
- Maximální deformace obou těles v místě kontaktu činí 0,06 mm.
- Maximální efektivní napětí je ve středu kontaktu obou těles. Vyrůstá od povrchu do hloubky cca 1 mm (1400 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.

- Průběh kontaktních tlaků CP lze znázornit následujícím grafem, kde je rovněž specifikována rovnice elipsoidu. Viz Obr. 9.



Obr. 9 Kontaktní tlaky

- Z výše uvedeného lze odvodit, že materiál spodního dílu kulové dráhy je provozem dráhy ovlivněn do hloubky cca 3,6 mm (trhliny, změna struktury, pěchování, 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 ve spolupráci se společnostmi SD a. s. – Doly Bílina a UNIPETROL RPA s.r.o.

LITERATURA

1. Hojdar, J., Helebrant, F., Gondek, H., Povrchové dobývací stroje I, Ostrava 1991
2. Klouda, P., Měření stavu kulové dráhy ZP6600/Z79 na DB, VÚHU a.s., č.T-PD-002/14
3. SKF, Mechanismus poškození, Evolution 4/12
4. Šimůnek, J., Části strojů pro povrchovou těžbu – kolesová rypadla, Ostrava 1985

Odprašení přesypů pásové dopravy

Ing. Jaromír Täuber, Ing. Jaroslav Svoboda, František Holý
VÚHU a.s.,

Abstrakt

Článek popisuje jeden ze způsobů odprašení přesypů pásové dopravy. V článku jsou uvedeny základní principy odprašení, popis jednotlivých realizovaných staveb na Vršanské uhelné a. s., výsledky měření, získané poznatky a porovnání suchého a mokrého způsobu odprašení.

Klíčová slova:

Emise tuhých znečišťujících látek, přesyp pásové dopravy, odprašení, uhlí, kryt přesypu, ventilátor.

Úvod

Těžební a dopravní procesy při těžbě a úpravě nerostných surovin jsou takovými procesy, u nichž se nedá předejít vzniku prachových částic, které negativně ovlivňují jak životní, tak pracovní prostředí. Převaha sypaných i kusovitých materiálů otevřenou liniovou dopravou je výrazným zdrojem emisí tuhých znečišťujících látek (dále jen TZL). Emisemi se v tomto případě rozumí vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí. Tyto látky mohou pocházet z přírodních zdrojů nebo vznikat lidskou činností. Článek popisuje cestu VÚHU a. s. při vývoji suchého odprašení přesypů pásové dopravy.

Dosavadní stav techniky

Hlavním zdrojem fugitivních emisí TZL při přepravě sypaných materiálů i kusovitých materiálů jsou přesypy otevřené liniové dopravy. Pod pojmem otevřené liniové dopravy zde rozumíme dopravu:

- Pásovými dopravníky
- Vibračními dopravníky
- Deskovými dopravníky
- Hřeblovými dopravníky
- Redlerovými dopravníky

V přesypech otevřené liniové dopravy dochází k přesypání dopravovaného materiálu z jednoho dopravníku na následný dopravník.

Dopravníky mají rychlost i několik m.s⁻¹. Přepravovaný materiál v přesypu dopadá na následný dopravník z výšky až 3 m. Mnohdy je v přesypu umístěn usměrňovací štít, který usměrňuje tok přepravovaného materiálu na následný dopravník. Výše popsanými jevy dochází ke značnému úniku TZL do okolí.

V současné době se používá ke snížení fugitivních emisí TZL z přesypů otevřené liniové dopravy řada technických řešení, které mají společnou část, a to zakrytí přesypů různě tvarovanými kryty s plentami na výstupu z dopadové násypky a různé typy dopadových loží, které umožňují efektivní použití svislých bočních těsnění.

Dnes se používají v podstatě dvě technická řešení k zabránění úniku TZL z přesypů liniové dopravy do ovzduší:

- Mokrá cesta.
- Suchá cesta, reprezentovaná především odsáváním prachu a odstraněním prachu z odsáté vzdušiny ve filtračních zařízeních ať jsou to cyklony nebo filtry různých provedení.

Mokrá cesta likvidace prašnosti

Mokrou cestu likvidace prašnosti můžeme opět rozdělit do několika skupin:

- Prosté zvlhčení dopravovaného materiálu a tím omezení vývinu prašnosti při pádu materiálu z výšky v přesypech.
- Mlžení prostor s vývinem prašnosti jako jsou syčky kolesových rýpadel a přesypy pásových dopravníků apod.

Pro rozmlžování se používají tyto principy:

- Jednofázové rozprašování (tzv. hydraulické) - rozmlžování vody pomocí tlaku.
- Dvoufázové rozprašování (tzv. vzduchové) - rozmlžování vody pomocí tlakového vzduchu.
- Ultrazvukové rozprašování - rozmlžování vody pomocí chvění piezokeramického prvku.

- Rozprašování rotačními atomizéry - rozmlžování vody pomocí odstředivé síly rotačního zařízení.

S prvními dvěma způsoby se na povrchových lomech a úpravách setkáváme poměrně často. Reprezentují jej především Minijety se všemi jejich výhodami i nedostatky, mezi které především patří požadavek na velmi nízký obsah nerozpuštěných látek (NL) v použité vodě (v podstatě kvalita pitné vody), vyšší spotřeba vody a vliv biologie na zarůstání trysek.

Tyto nevýhody zcela eliminuje vytváření vodní mlhy pomocí rotačních atomizérů.

Při běžné technické praxi, při instalaci protiprašných opatření ve formě skrápěcích systémů, se pak běžně používají následující názvoslovné pojmy:

Skrápění – je namáčení prašného materiálu vodou za účelem snížení úletu a tvorby prachových částic. Při skrápění (dříve také sprchování) prochází voda nebo penetrační látka postřikovou tryskou popř. křepítkem. Voda je v malé míře tříštěna na menší části (kapky, kapičky). Na účinnost sprchování má pak největší vliv, zda jsou volná prachová zrna daného materiálu smáčivá, popřípadě je nutno použít smáčedla. Většinou se používá sprchování v aplikacích, kde není důležitá změna původní velikosti materiálu, protože spotřeba vody je daleko vyšší než při mlžení. Tlak vody, který se u těchto zařízení používá je cca 0,2 – 0,1 MPa, což je běžný tlak vodovodního řádu. Pro zvýšení účinnosti skrápění je možné použít speciálních přísad, např. na bázi potravinářských polymerů či vinylakrylové, které způsobí zpevnění prašné vrstvy materiálu a kterých se používá pro potlačení prašnosti vznikající na otevřených skládkách sypkých materiálů, na nebezpečných komunikacích s přejezdy těžkých nákladních aut či na příjezdové komunikace v lomech, kamenolomech, vápenkách a podobně. Vlastní účinnost přísad není snižována deštěm, sněhem ani UV zářením, přičemž typická aplikace produktu vydrží kdekoliv 2 - 3 měsíce, i déle.

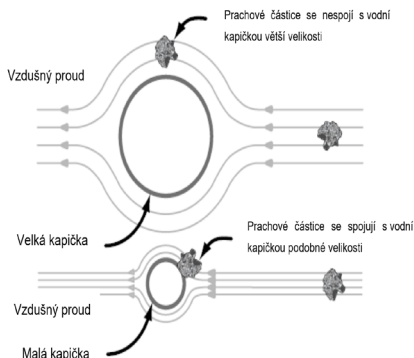
Mlžení – je snížení prašnosti pomocí vody, která prochází pod vysokým tlakem speciálními tryskami (rozprašovači). Trysky vodu tříští (rozprašují) na jemnou mlhovinu (aerosol), která má tu vlastnost, že na sebe váže zvlhčený prach. Vlivem gravitační síly prachové částice se změnou hmotností (stanou se mnohonásobně těžšími) a zároveň ve většině případů také

chladnější než okolí rychle sedimentují. Tlak vody, který se u těchto zařízení běžně používá je cca 2,0 – 8,0 MPa, ve výjimečných případech až desítky MPa.

Pro vznik mlhoviny (aerosolu) je nejdůležitější tvar trysky (prvku, na kterém dochází k tříštění vody na menší části). Dále záleží na tlaku vody, obecně platí čím vyšší tlak, tím se dosáhne vyšší roztržitosti vodních částic. Při mlžení je pak spotřeba vody oproti skrápění několikanásobně menší. V určitých aplikacích se rovněž používá přísadek smáčedla při nesmáčivosti povrchu zrn prachu.

Účinnost skrápěcích technologií

Dlouholeté výzkumy účinnosti skrápěcích technologií jednoznačně definují, že nejúčinnější jsou systémy, kdy vytvořený vodní aerosol se průměry vodních kapek nejvíce blíží velikosti samotných prašných zrn [1]. Účinnost vazby vodní kapky aerosolu na prašné zmo (převzato z [1]) ukazuje Obrázek 1.



Obrázek 1 Účinnost vazby vodní kapky aerosolu na prašné zmo

Z uvedeného zdroje tedy vyplývá, že ideální by bylo docílit velikost vodní kapky pod 10 μm .

Pracovníci Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí a. s. souběžně vyvíjeli a realizovali na různých lomových pracovištích obě metody odprašení. Velmi dobrých výsledků bylo dosaženo při použití rotačních mlžících jednotek na skládkových strojích Vršanské uhelné a. s., na

zakladači ZPD 8000 na Severočeských dolech a. s., nebo instalací mlžící stěny (6 sloupů s rotačním mlžícími jednotkami) na provozním depu Vršanské uhelné a. s. Při použití rotačních mlžících jednotek na přesypech pásové dopravy již nejsou výsledky tak jednoznačné, s ohledem na vynaložené finanční prostředky a udržitelnost v provozu, v porovnání se suchou cestou odprášení přesypu liniové dopravy.

Suchá cesta likvidace prašnosti

Základem úspěšného řešení problému je vždy poznání vlastního děje řešeného problému. Nejinak tomu je i v případě likvidace prašnosti suchou cestou. Pokud zakryjeme a utěsníme přesyp liniové dopravy, ještě tím nezamezíme emisí TZL do okolí. Ve vzniklém prostoru vzniká přetlak vzdušiny vstupem přepravovaného materiálu, který sebou do přesypu strhává vzduch. Vzduch je obsažen i v sybkém přepravovaném materiálu a při pádu na následný dopravník dochází k jeho uvolnění z přepravovaného materiálu. Proudění vzduchu je totožné se směrem toku materiálu. Pokud proud vzduchu narazí v dopadové násypce následného dopravníku na těsnící plentu umístěnou nad dopravníkem, dojde k hromadění vzduchu před plentou. Další vstupující vzduch do přesypu spolu s přepravovaným materiálem vytvoří pře-

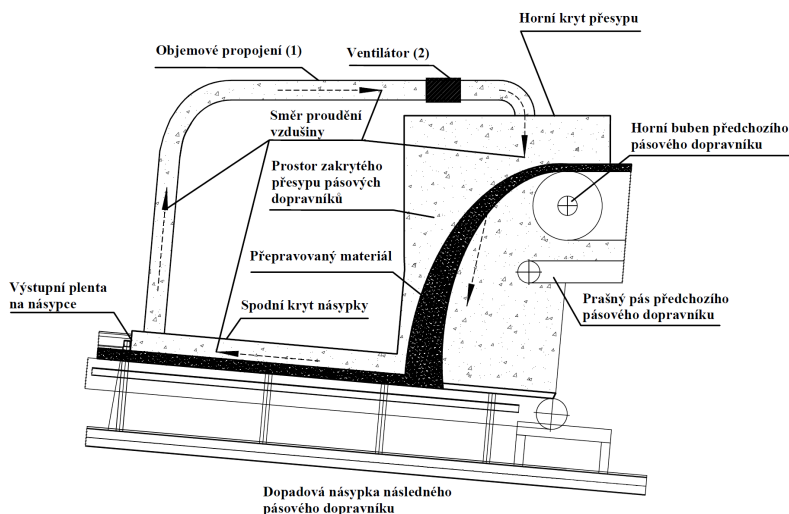
tlak. Vlivem přetlaku dochází k emisí vzdušiny s TZL z přepravovaného materiálu netěsnostmi v zakrytování přesypu do okolí. Pokud zakrytý přesyp není vybaven těsnící výstupní plentou, dochází k masivní emisí TZL do okolí.

Snížení přetlaku je docíleno objemovým propojením dvou částí krytu přesypu liniových dopravníků – horního krytu se spodním krytem. Při objemovém propojení dvou částí přesypu nedojde ke vzniku přetlaku. Proud vzdušiny v zakrytém přesypu narazí na výstupní těsnící plentu na násypce, nevznikne však přetlak, ale vzdušina s TZL je odváděna objemovým propojením do horní části krytu přesypu, kde je strhávána zpět do prostoru přesypu.

K objemovému propojení obou částí krytu je využito vzduchotechnického potrubí, nebo může být využito i hadicového propojení. V potrubí může být využit pro posílení proudění vzdušiny ventilátor, který odsává vzduch z prostoru dopadové násypky následného dopravníku a vhání ho do prostoru krytu horní části předchozího dopravníku.

Kryt horní části vstupního pásového dopravníku může být osazen vstupní těsnící plentou nad dopravníkem.

Princip suchého odprášení zachycuje Obrázek 2 na příkladu pásových dopravníků.



Obrázek 2 Princip suchého odprášení přesypů pásové dopravy

Analyza dopravovaného materiálu.

Pro potřebu poznání procesu emise TZL z přesypu pásové dopravy byly odebrány vzorky přepravovaného materiálu z pásového dopravníku VH 163 na Vršanské uhelné a. s. Jedná se o podrcené hnědé uhlí zrnitosti 0-40 mm. K drce- ní dochází v kladivových drtičích, přepravovaný objem uhlí je až 1800 t.hod⁻¹. Část podrceného uhlí prochází přes 2 provozní skládky.

Byly odebrány 3 vzorky, ze kterých byl proveden síťovací rozbor dle ČSN ISO/TS 17892 – 4. Výsledky zachycuje Tabulka 1.

Tabulka 1 Výsledky granulometrického rozboru vzorku uhlí z Vršanské uhelné a. s.

Ze zrnitostního rozboru vyplývá, že přepravované uhlí obsahuje cca 16,4 % zrn pod 0,5 mm tj. zrn, která jsou velmi náchylná ke vznosu a k emitování do okolního prostředí.

Realizované odprášení přesypů na Vršanské uhelné a. s.

VÚHU a. s. rozvíjí ve spolupráci s Vršanskou uhelnou a. s. princip suchého odprášení přesypů pásové dopravy od roku 2013. Od tohoto roku bylo do roku 2016 realizováno celkem 7 odprášení přesypů na uhelných dopravních linkách. Jak už bylo napsáno výše, princip suchého odprášení přesypů se rozvíjí a jednotlivé aplikace se od sebe liší. Jednotlivé odlišnosti vycházejí z provozních zkušeností z již realizovaných akcí. Předmětem článku

NAVÁŽKA: 14203,7 [g]				
Rozměr ok sít	Nadsitné		Podsité	
[mm]	[g]	[%]	[g]	[%]
80	0,00	0,0	14203,70	100,0
40	163,90	1,2	14039,80	98,8
25	864,10	7,2	13175,70	92,8
20	527,40	11,0	12648,30	89,0
16	654,70	15,6	11993,60	84,4
8	2276,10	31,6	9717,50	68,4
4	2731,1	50,8	6986,40	49,2
2	1940,6	64,5	5045,80	35,5
1	1767,2	76,9	3278,60	23,1
0,5	949,61	83,6	2328,99	16,4
0,25	849,74	89,6	1479,25	10,4
0,125	602,54	93,8	876,71	6,2
0,063	399,1	96,6	477,61	3,4
Zbytek	377,70			

není technické řešení utěsnění přesypu, zde se předpokládá horní kryt přesypu, dopadové lože následného dopravníku vhodné pro nasazení bočního těsnění dopravního pásu a krytá výstupní násypka s výstupní plentou.

Odprášení přesypu PD 147→PD 148

Uvedeno do provozu v září 2013. Jedná se o první využití na Vršanské uhelné a. s. Pro snížení přetlaku v přesypu, a tím snížení emise uhelného prachu do okolního prostředí, je instalováno potrubí s radiálním ventilátorem. Ventilátor s výkonem cca $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ odsává vzdušinu z konce násypky PD 148 a vede vzduch zpět do horní části přesypu. Ventilátor je zapojen do automatického režimu tzn., spustí se v okamžiku dosažení 100% rychlosti dopravního pásma, vypíná se cca po 60 s od zastavení PD. Ventilátor je v provedení EX, pro napětí 400 V. Od uvedení do provozu, nebyly na odprášení zaznamenány poruchy.

Odprášení přesypu PD 157→PD 158, PD 156→PD 157

Uvedeno do provozu na podzim 2014. Oproti předcházejícímu řešení na přesypu PD 147→PD 148 je použit axiální potrubní ventilátor s el. motorem 0,12 kW pro napájecí napětí $3 \times 500 \text{ V}/50 \text{ Hz}$, umístěným vně potrubí, jehož maximální vzduchový výkon je $3140 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ při protitlaku 0 Pa.

Při provozu odprášení na přesypech PD 157→PD 158, PD 156→PD 157 došlo k poruše motorů ventilátorů. Protože vyřízení reklamace trvalo řadu týdnů (španělský výrobce) probíhala cirkulace vzdušiny v přesypu samovolně bez posílení tahu ventilátorem. V prosinci 2015 bylo demontováno vodorovné potrubí na přesypu PD 156→PD 157. Potrubí bylo zcela naplněno usazeným uhelným prachem, viz Obrázek 33. Tato událost, byť nepříjemná, potvrdila teoretické předpoklady zvoleného principu suchého odprášení. Při této příležitosti bylo rovněž zjištěno, že zvolený výkon motoru je nedostatečný a motor výkonu 120 W byl nahrazen motorem výkonu 600 W.



Obrázek 3 Ucpané potrubí na přesypu PD 156→PD 157 na straně výduchu

Odprášení přesypu VH 163→PD 156, PD 146

Jedná se specifický přesyp, který byl odprášen na podzim 2014. Jde o výsuvovou hlavu, která přejíždí na dopravník PD 146 a PD 156 přičemž osová vzdálenost dopravníku je cca 10 m. Bylo zvoleno řešení, kdy nad zakrytými násypkami dopravníku 156 a 146 byly vztyčeny komíny zakončené deskou. Z krytu výsypného bubnu je vedeno potrubí $\varnothing 350 \text{ mm}$ ukotvené k pojízdné hlavě s převislým koncem zakončeným zvonovitě rozšířeným dílem s těsnícími kartáči. Nad krytem je osazen axiální potrubní ventilátor s el motorem 0,12 kW pro napájecí napětí $3 \times 500 \text{ V}/50 \text{ Hz}$, umístěným vně potrubí, jehož maximální vzduchový výkon je $3140 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ při protitlaku 0 Pa. I u tohoto ventilátoru jsou diagnostikované potíže s malým výkonem motoru, které vyústily k odstavení ventilátoru. Při opravě bylo zjištěno, stejně jako v případě přesypu PD 156→PD 157, potrubí zaplněné uhelných prachem.

Odprášení přesypu PD 160→PD 161, PD 161→PD 162

Toto odprášení bylo realizováno v roce 2015. Bylo využito zkušeností z předcházejících akcí a použit jiný, silnější ventilátor. Ventilátor je výklopný. Provedení zachycuje Obrázek 4.



Obrázek 4 Odprášení přesypu PD 161→PD 162

Odprášení přesypu PD 160→PD 161, PD 161→PD 162

Odprášení realizováno v květnu 2016. Zde již byly aplikovány všechny zkušenosti s provozem již realizovaných odprášení s cílem odstranit nežádoucí jevy. Zcela bylo odstraněno vodorovné potrubí proto, aby bylo zabráněno usazování uhlénoho prachu v potrubí v případě poruchy ventilátoru. Nad násypkou byla do svislé části potrubí instalována klapka se

servopohonem, která uzavírá potrubí v případě, kdy ventilátor je mimo provoz a brání tak zanášení potrubí i vlastního ventilátoru. Průměr potrubí byl snížen na 250 mm, proto aby byla zvýšena rychlost vzdušiny v potrubí a omezeno usazování prachu.

Účinnost suchého odprášení

Na přesypu PD 162→PD 163 byla měřena účinnost instalované technologie odprášení. Měření prašného spadu prováděli pracovníci akreditované laboratoře VÚHU a.s. z laboratoře imisních měření při třech provozních stavech:

- Za provozu před instalací odprášení
- Mimo provoz před instalací odprášení
- Za provozu po instalaci odprášení

Měřicí sondy byly umístěny cca 2,5 m od osy pásového dopravníku 163 u dopadové násypky. Výsledky shrnuje Tabulka 2.

Tabulka 2 Výsledky měření prašného spadu

Při provozu			Bez provozu			Při provozu		
Před instalací odprášení						S odprášením		
objem [m ³]	hmotnost [g]	koncentrace [mg.m ⁻³]	objem [m ³]	hmotnost [g]	koncentrace [mg.m ⁻³]	objem [m ³]	hmotnost [g]	koncentrace [mg.m ⁻³]
0,378	0,02120	56,08	0,563	0,00051	0,91	0,115	0,00033	2,87
0,387	0,04107	106,12	0,563	0,00081	1,44	0,120	0,00024	2,00
0,370	0,01043	28,19	0,564	0,00127	2,25	0,098	0,00131	13,37
0,270	0,00314	11,63				0,098	0,00007	0,71
0,270	0,00460	17,04						
Průměr prostoru								
1,675	0,08044	48,02	0,564	0,00127	2,25	0,316	0,00162	5,13
Účinnost odprášení v %						89,32		

Dosažené výsledky odprášení přesypu jsou velmi dobré a odpovídají očekávaným výsledkům.

Porovnání investiční náročnosti

Základem odprášení jakoukoliv metodou je důsledné zakrytování přesypu a utěsnění dopadové násypky proti dopravnímu pásmu. Horní kryt přesypu, kryt dopadové násypky následného pásového dopravníku a těsnění dopadové násypky proti dopravnímu pásmu jsou pro všechny metody odprášení společné. V případě utěsnění dopadové násypky proti dopravnímu pásmu může být použita celá řada technických řešení dopadových loží a bočních těsnění. Na Vršanské uhelné a. s. bylo standardně použito těžké boční těsnění firmy M-Technik, viz Obrázek 5.



Obrázek 5 Těžké boční těsnění

Na prvních odprášených přesypech bylo použito dopadové lože VÚHU tvořené odpruženou konstrukcí s kluznými dopadovými deskami. Toto řešení bylo postupně obměňováno na základě provozních zkušeností až k poslednímu použitému na přesypu PD 162→PD 163 v podobě zahuštěných bočních tratových válečků. Toto řešení vyhovuje charakteru přepravovaného materiálu, tzn. podrcenému uhlí na velikost 0-40 mm. V podstatě lze nalézt vyhovující řešení pro všechny druhy sypkých přepravovaných materiálů. Např. pro nepodrcené těžké uhlí nedoporučujeme použít těžké boční těsnění, ale tradiční pryžové plenty zavěšené na stěnách násypky.

Je-li tedy zakrytování a utěsnění přesypu společné pro 2 základní metody odprášení a to mokrou a suchou cestu, můžeme vybrat položky obou metod odprášení, které jsou rozdílné a specifikovat pořizovací náklady:

Mokrý cesta

- Zdroj vodní mlhoviny

Vysokotlaké zdroje – např. MiniJety.

Náklady na pořízení vysokotlakého zdroje jsou řádově milióny Kč. Mohou sloužit jako zdroj pro několik přesypů, což mnohdy vyžaduje dlouhé rozvody tlakové vody a tím i zvýšení pořizovacích nákladů. Tyto zdroje vyžadují upravenou vodu (obsah NL a biologie) a tím se opět zvyšují pořizovací i provozní náklady. Při dostatečné údržbě dosahují vysoké účinnosti.

Středotlaké zdroje – klasický rozvod vody

a skrápěcí rampy. Nejnižší pořizovací náklady dosahují řádově prvních desítek tisíc Kč. Ovšem jejich účinnost je minimální. V přesypech dochází spíše k smáčení přepravovaného materiálu a nikoliv ke snížení prašnosti.

Nízkotlaké zdroje – např. rotační mlžící

jednotky VÚHU. Náklady na pořízení nízkotlakého zdroje vodní mlhoviny dosahují řádově prvních set tisíc Kč. Nevyžadují předem upravenou vodu, účinnost vzhledem k malé velikosti vytvořené vodní kapky <math>< 50 \mu\text{m}</math> je vysoká. Na odprášení přesypu se používají dvě rotační mlžící jednotky.

Suchá cesta

- Objemové propojení – vzduchotechnické propojení obou částí přesypu \varnothing 250 mm délky do 10 m. Pořizovací náklady do 20 tisíc Kč.
- Potrubní ventilátor Náklady na pořízení potrubního ventilátoru potřebného výkonu představují rovněž částku do 50 tisíc Kč.

Porovnání účinnosti a pořizovacích nákladů obou zvažovaných metod odprášení přesypů pásové dopravy shrnuje Tabulka 3

Tabulka 3 Porovnání způsobů odprášení

	Mokrý způsob		Suchý způsob		Δ suchá - mokrá	
	mil Kč	účinnost	mil Kč	účinnost	mil Kč	%
Vysokotlaký zdroj	5	vysoká	0,1	vysoká	-4,90	2,00
Středotlaký zdroj	0,01	nízká			0,09	1000,00
Nízkotlaký zdroj	0,45	vysoká			-0,35	22,22

Z porovnání vyplývá jednoznačná výhodnost suchého odprášení přesypů pásové dopravy oproti mokré cestě při zachování vysoké účinnosti odprášení.

Závěr

Provedené realizace suchého odprášení přesypů pásové dopravy ukazují jednu z možných cest odprášení přesypů. V porovnání s mokrým způsobem odprášení přináší řadu výhod. Nejedná se přitom pouze o výši vynaložených investičních prostředků, ale především v údržbě technologie suchého odprášení, která nepřináší žádné zvýšené nároky na pracovníky údržby pásové dopravy. Nezanedbatelná je i výrazná úspora provozních nákladů (voda, elektřina). Vysoká účinnost suchého odprášení spolu s nízkými investičními a provozními náklady předurčuje tuto metodu k rozšíření jak na provozy těžící uhlí, tak i na jiné společnosti zabývající se těžbou a úpravou nerostných surovin, či přepravou sypkých materiálů liniovou dopravou.

Literatura

- [1] R. Todd Swinderman, P. E. Larry J. Goldbeck, Andrew D. Marti, The Practical Resource for Total Dust & Material Control, Martin Engineering, Neponset, Illinois U. S.

Měření krouticích momentů pohonu kola

Ing. Petr KLOUDA, Ing. Vlastimil MONI
Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a. s.

Anotace

Příspěvek pojednává o měření krouticích momentů na vstupech převodovky pohonu kola rýpadla řady KU800 s pohonem UNEX. Uvádí principy a výsledky měření.

Klíčová slova

Koleso, pohon, krouticí moment, tenzometrický snímač, spojka, spojka, brzdový kotouč, režim řízení.

1. Úvod

Útvar technologické procesy a diagnostika provedl přímé měření krouticího momentu na náboji brzdového kotouče na hřídelích vstupních pastorků převodovky pohonu kola rýpadla KU 800. Měření bylo provedeno ve spolupráci s technickými pracovníky objednatele a dále za technické podpory pracovníka společnosti SIPOR s. r. o., který zajišťoval změnu řízení pohonu.

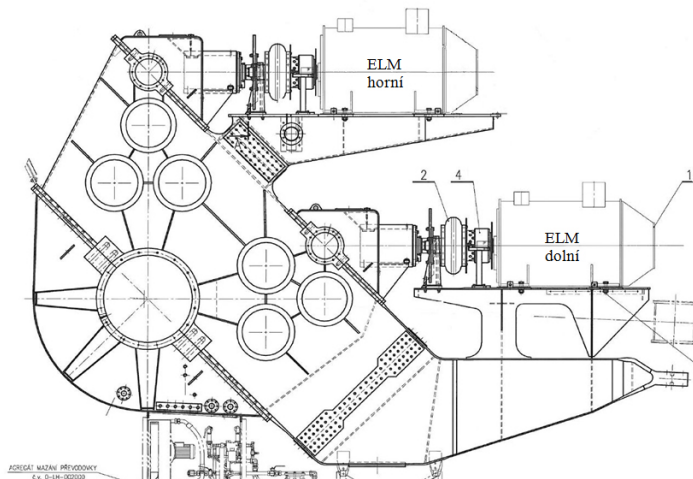
Byla provedena dvě měření s cílem porovnat vstupní zatížení převodovky pohonu při dvou rozdílných způsobech řízení pohonu. Při prvním měření byly otáčky pohonu řízeny s tzv. momentovou korekcí ve zpětné vazbě. Při druhém měření řízení probíhalo s tzv. technologickým regulátorem ve zpětné vazbě.

Převodovka pohonu má dva vstupy. Můžeme je identifikovat termíny „horní“ a „dolní“. Viz následující Obr 1.

Hlavním cílem měření bylo porovnat oba způsoby řízení pohonu z hlediska:

- Synchronizace tahu obou pohonů.
- Velikosti amplitud zatížení
- Dynamického charakteru zatížení

Při měření byla snaha vyloučit vliv elektrických parametrů pohonu na výsledek, tedy zjistit přímo mechanické krouticí momenty na vstupních pastorcích převodovky.



Obr 1 - schéma pohonu

2. Teoretická část

Přímé měření krouticího momentu

kolesa bylo realizováno tenzometrickým snímáním krutové deformace té části hřídele vstupního kola převodovky pohonu, jež přenáší točivý účinek ze spojky na převodovku pohonu. Signál ze snímače této deformace – tenzometru – byl zpracován mikroelektronickými obvody, digitalizován a ukládán do záznamového zařízení. Odtud byl přenesen do PC a tam dále zpracován.

Z teorie pružnosti a pevnosti lze dokázat, že platí

$$\tau = 2G^* \varepsilon_{45}$$

kde

τ smykové napětí [N.mm⁻²]

Gmodul pružnosti ve smyku [N.mm⁻²], pro ocel G = 80000 N.mm⁻²

ε_{45} krouťová deformace - poměrné prodloužení vlákna pod úhlem 45° [m.m⁻¹]

Zatížení hřídele - působící krouťovací moment (moment torze) lze potom stanovit ze vztahu

$$M_t = 2G^* \varepsilon_{45}^* W_t^* 10^{-12} = 0,22086^* \varepsilon_{45}$$

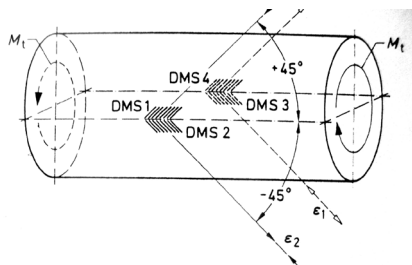
kde

M_t krouťovací moment [kNm]

W_t modul odporu v krutu [mm³]; $W_t = 13,672 \cdot 10^5$

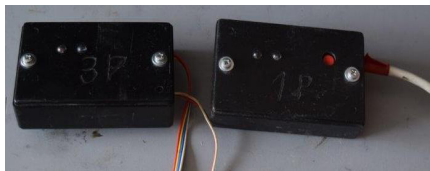
ε_{45} poměrné prodloužení vlákna [mm.m⁻¹]

Tenzometry byly instalovány na hřídele podle obrázku 2.



Obr 2 – schema instalace snímačů na hřídeli

Tenzometrický zesilovač a přijímací jednotka s bezdrátovým přenosem dat



Obr 3 - tenzometrický zesilovač s vysílačem a přijímací jednotka

Přenos dat se realizuje ve frekvenčním pásmu 2,4GHz, je to obdoba Bluetooth zařízení.

3. Realizace

Následující tabulka uvádí parametry pohonů – horního, dolního

Elektromotor výrobce	typ	výkon [kW]	otáčky [min-1]	napětí [V]	prond [A]	cos(φ) [-]
Siemens	ARNR 560 d-6	8-800	99-993	69-690	314-820	0,27-0,85
Převodovka výrobce	typ	výkon [kW]	otáčky [min-1]	převod [-]		
UNEX	KV 3045/K1M	2x800	992	180		
Spojka periflex výrobce	typ					
REXNORD	OMEGA 140					
Brzda výrobce	typ	tlak [MPa]	clamping force [N]			
SVEND BORG	ASFT 212-MS30R-101		1200			
Frekv. měnič výrobce	typ	funkce	Brzdá odpor	brzdná jednotka		
Siemens	6SE7141-1HB62-3BA0-Z	master, slave	4,45Ω-200kW	6SE7032-1HB87-2DAO		

Měřicí řetězec na pohonu kola s rýpadla je tvořen:

- snímači - tenzometry
- stíněnými kabely
- měřicím tenzometrickým zesilovačem s vysílačem bezdrátového přenosu dat
- přijímací jednotkou pro bezdrátový přenos dat
- měřicí jednotkou, vybavenou vnitřní pamětí a odolnou proti ořesům
- osobním počítačem – notebookem ASUS 6Jc.

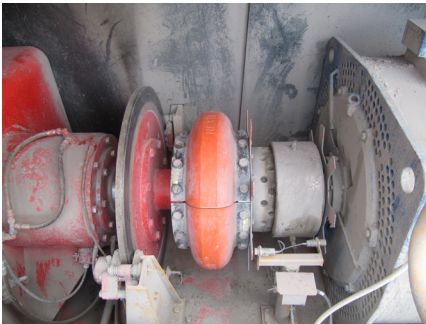
Instalace snímačů a měřicí jednotky

Konstrukce přenosu krouťovacího momentu z elektromotoru do převodovky je velmi kompaktní a důsledkem toho je, že pro instalaci tenzometrických snímačů zbývá pouze plocha náboje mezi spojivým a brzdovým kotoučem. Viz obr 4. Tam také byly nalepeny potřebné tenzometry na průměru 200 mm.

V tomto místě by po zabrzdění pohonu mělo dojít k odlehčení kroutivého namáhání hřídele téměř na nulovou hodnotu. A to po vyrovnání třecích odporů na lamelové spoje, ložiskách elektromotoru a vlivu nevyváženosti rotoru motoru.

Pro instalaci měřící jednotky bylo zvoleno místo na stěně brzdového kotouče mezi odlehčovacími otvory.

Lepení tenzometrických snímačů bylo provedeno během preventivní odstávky rýpadla obvyklým postupem.



Obr 4 – místo pro instalaci snímačů a vysílacího modulu

Byla provedena dvě měření za následujících podmínek

Rýpadlo pracovalo na 4. skryvkovém řezu, na 2. lávce ve výšce 10 m od paty řezu. Osazeno bylo korečky s rohovými břity.

Během navařování korečků proběhla instalace měřící aparatury a současně byla provedena změna režimu řízení na řízení otáčkové s korekcí momentu ve zpětné vazbě. Potom bylo provedeno první měření.

Současně s tím bylo rovněž zahájeno snímání elektrického momentu pohonu kola s účelem porovnání a diskuse výsledků měření kroutivého momentu.

1. měření – parametry

Koleso..... 86 % otáček; (853 min⁻¹)
 Hloubka třísky..... 0,4 m
 Výška lávky..... 5,0 m
 Výsuv K.V..... 1,8 m
 Zdvih K.V..... 10 m
 Rychlost otoče..... 40 %
 Výkonnost cca..... 55 %.

Měřeny 2 třísky, první při otáčení HS rýpadla vlevo, druhá při otáčení HS rýpadla vpravo.

Následovaly výjezd vpravo z figury a změna režimu řízení na řízení s technologickým regulátorem ve zpětné vazbě.

2. měření – parametry

Koleso..... 86 % otáček; (853 min⁻¹)
 Hloubka třísky..... 0,4 m
 Výška lávky..... 5,0 m
 Výsuv K.V..... 3,0 m
 Zdvih K.V..... 10 m
 Rychlost otoče..... 40 %
 Výkonnost cca..... 50 %.

Měřeny 2 třísky, první při otáčení HS rýpadla vlevo, druhá při otáčení HS rýpadla vpravo.

Následovaly výjezd vpravo z figury, ukončení měření a demontáž měřící aparatury.

4. Výsledky

1) **Při rozběhu s momentovou korekcí** ve zpětné vazbě je dolní pohon opožděn za horním pohonem o $\Delta t = 200$ ms. Motory během 6 sekund změni prioritu. Dolní táhne víc než horní. Viz Obr 6.

2) **Při rozběhu s technologickým regulátorem** ve zpětné vazbě je dolní pohon před horním pohonem o $\Delta t = 20$ ms. Motory se střídají v tahu. Dolní pohon má menší rozkmit. Viz Obr 7.

3) **Při běhu naprázdno s momentovou korekcí** ve zpětné vazbě:

- $M_h = 0,82 M_d$
- Hodnoty momentů kolísají od maxima do minima s periodou 12,6 s (odpovídá otáčkové frekvenci kola – mírná nevyváženost)
- S periodou 1,47 s (0,68 Hz) na okamžik platí $M_h > M_d$

4) **Při běhu s technologickým regulátorem** ve zpětné vazbě je střídání pohonů v tahu více periodické a s menšími rozdíly v amplitudě.

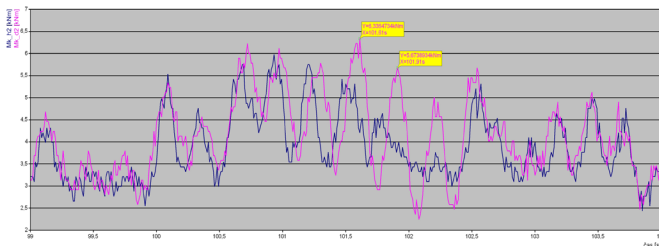
5) **Kvalitu řízení** podle ploch nad a pod čarou nulového rozdílu momentů $M_h - M_d$ ukazuje následující

	plocha nad 0	plocha pod 0	délka záznamu	podíl ploch	součet ploch
Mom korekce	3,04 kNm.s	15,44	160s	0,197	18,48
Technol reg	6,48	6,72	160s	0,964	13,20

Podíl ploch = plocha nad 0/plocha pod 0

6) **Při těžbě s momentovou korekcí** ve zpětné vazbě se motory periodicky střídají v tahu. Dolní pohon se rozchází s horním pohonem až o $\Delta t \approx 150$ ms (perioda střídání v tahu) a pracuje s větším rozkmitem amplitudy momentu. Detail viz Obr 5.

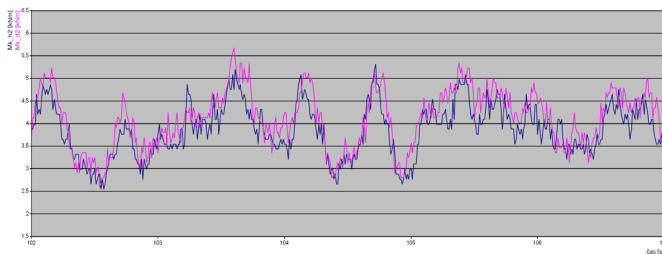
Krouticí momenty na hřídelích vstupních pastorků PSK - rýpadlo K99
Záznam VUHU a. s. dne 22. 1. 2016 - regulace s momentovou vazbou - otoč vlevo - detail



Obr 5 – těžba, otoč HS vlevo; řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě

7) **Při běhu s technologickým regulátorem** dolní pohon se rozchází s horním pohonem až o $\Delta t \approx 20$ ms. Průběhy momentů se k sobě mnohem více přibližují. Horní pohon lépe kopíruje (se zpožděním 20 ms) pohon dolní. Rozkmit amplitud momentů je menší než u řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě. Detail viz Obr 6.

Krouticí momenty na hřídelích vstupních pastorků PSK - rýpadlo K99
Záznam VUHU a. s. dne 22. 1. 2016 - technologické řízení pohonu - otoč vlevo při běžbě - detail



Obr 6 – těžba, otoč HS vlevo; řízení s technologickým regulátorem ve zpětné vazbě

Kvalitu řízení podle ploch nad a pod čarou nulového rozdílu momentů M_h - M_d ukazuje následující tabulka běhu při těžbě, otoč HS vlevo

	Plocha nad 0	plocha pod 0	délka záznamu	podíl ploch	součet ploch
Mom korekce	3,98	44,16	160s	0,090	48,14 kNm.s
Technol reg	2,37	32,07	160s	0,074	34,44 kNm.s

Podíl ploch = plocha nad 0/plocha pod 0

Statistické hodnoty krouticího momentu [kNm], vyjadřující jeho dynamiku, v jednotlivých režimech práce rýpadla ukazuje následující tabulka.– střední hodnoty, rozptylu a dynamického koeficientu.

Režim práce	Střední	Rozptyl	Max/stř	Střední	Rozptyl	Max/stř
<i>Moment korekce</i>	<i>Pohon horní</i>			<i>Pohon dolní</i>		
Vlevo naprázdno	0,329	0,104	2,468	0,407	0,074	1,757
Průměr při těžbě	3,522	0,568	1,589	3,740	0,603	1,544
<i>Technologická regulace</i>	<i>Pohon dolní</i>			<i>Pohon dolní</i>		
Vlevo naprázdno	0,403	0,103	1,993	0,413	0,073	1,613
Průměr při těžbě	3,595	0,593	1,668	3,790	0,650	1,600

5. Závěr

Získané výsledky lze stručně zopakovat a shrnout následovně:

Rozběh pohonu:

- V režimu řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě dolní pohon opožděn za horním pohonem o $\Delta t = 200$ ms.
- V režimu řízení s technologickým regulátorem ve zpětné vazbě dolní pohon předchází horní pohon o $\Delta t = 20$ ms.

Běh naprázdno:

- V režimu řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě $M_h = 0,82 M_d$ a na okamžik platí $M_h > M_d$ s frekvencí 0,68 Hz.
- V režimu řízení s technologickým regulátorem je střídání pohonů více periodické momenty kmitají s menší amplitudou než u řízení s momentovou korekcí. $M_h = 0,98 M_d$.
- Ve spektrech se projevují frekvence 0,68 Hz (více na horním pohonu) a otáčková 14,33 Hz (více na dolním pohonu).
- Kvalita řízení podle ploch nad a pod čarou nulového rozdílu momentů M_h - M_d

	délka záznamu	podíl ploch	součet ploch
Korekce momentu	160s	0,197	18,48 kNm.s
Technolog. regulace	160s	0,964	13,20 kNm.s

Podíl ploch = plocha nad 0/plocha pod 0. Kvalita řízení je tím lepší, čím více se podíl ploch blíží 1 a čím menší je součet ploch.

Běh pod zatížením - těžba:

- V režimu řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě se motory periodicky střídají v tahu. Dolní pohon se rozchází s horním pohonem až o $\Delta t \approx 150$ ms (perioda střídání v tahu). Rozkmit amplitudy momentu je menší při otoči HS vpravo než při otoči vlevo. Při otoči HS vlevo je rozkmit amplitudy momentu větší u dolního pohonu.
- V režimu řízení s technologickým regulátorem ve zpětné vazbě dolní pohon se rozchází s horním pohonem až o $\Delta t \approx 20$ ms. Horní pohon kopíruje (se zpožděním 20 ms) pohon dolní. Rozkmit amplitud momentů je menší než u řízení s momentovou korekcí ve zpětné vazbě.
- Ve spektrech se projevují frekvence 0,16 Hz; 0,24 Hz; 0,55 Hz; 1,15 Hz a 1,88 Hz.
- Kvalita řízení podle ploch nad a pod čarou nulového rozdílu momentů Mh-Md.

	délka záznamu	podíl ploch	součet ploch
Korekce momentu	160s	0,130	46,36 kNm.s
Technolog. regulace	160s	0,068	36,55 kNm.s

Statistické dynamické hodnoty krouticího momentu

Režim řízení	Střední hodnota	Rozptyl	Max/stř
<i>Momentová korekce</i>	3,63	0,59	1,57
<i>Technologický regulátor</i>	3,69	0,62	1,63

Charakteristika momentů získaných z řídicího systému pohonů:

- Zpoždění masteru za slavem je $\max \Delta t = 8$ ms.
- Odlišný charakter rozběhu ve srovnání s měřením na pastorcích pohonu. Po počátečním skoku následuje postupný nárůst momentu až do ukončení fáze rozběhu. Na pastorcích po počátečním skoku následuje postupný pokles momentu na hodnotu běhu naprázdno. Tedy opačný charakter.
- Motory se střídají v tahu s frekvencí 4 Hz.
- Rozkmit amplitud momentů je menší než na pastorcích.

Poděkování

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

Literatura:

- [1] Klouda, P. Měření krouticích momentů na vstupech převodovky pohonu kola; zpráva VÚHU a.s. č.TPD-014/16
- [2] Němec, J. Odporové tenzometry v praxi; SNTL 1967
- [3] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH „Dehnungsmeßstreifen und Zubehör“; HBM
- [4] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH „Kritéria pro výběr tenzometrů“; HBM
- [5] Tůma, J. Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT; Sdělovací technika Praha 1997
- [6] Miláček, S. Měření a vyhodnocování mechanických veličin; ČVUT Praha 2001



SPOLEČENSKÁ KRONIKA ČLENŮ ASI

Vzpomínka na inženýrku Ubrou

V březnu t.r., 31.3. po krátké a těžké nemoci a před nedožitými 81 lety, nás náhle opustila paní Ing. Olga Ubrá, DrSc., dlouholetá aktivní členka hlavního výboru ASI a vynikající odbornice v oblasti energetických zařízení.

Inženýrka Ubrá se narodila 15.4.1936. Svě mládí prožila na Mělnicku, kde v roce 1954 maturovala na gymnáziu. V roce 1959 dokončila studium na Strojní fakultě ČVUT v Praze, v oboru stavba energetických zařízení. Už dnes nevíme, kdo nebo co ji pro tento náročný obor získal. Již tehdy a potom i později jako odborný pracovník na Katedře kotlů a turbín na FS a ještě později jako vedoucí pracovník při uvádění JETE do provozu, vzbuzovala pozornost a obdiv, že se jako jedna z mála žen v tomto oboru prosadila. Při zpětném pohledu vidíme, že pro svou profesi měla dobré praktické základy a že se na ni důkladně připravovala. Svoji praxi v průmyslu začala v roce 1959 v závodě ZPA Praha jako projektant měření a regulace energetických provozů (projekt M a R elektrárny v Rumunsku). V roce 1966 nastoupila do Energoprojektu Praha (projekt automatizace tepelné elektrárny Tušimice).

Na strojní fakultě pracovala jako výzkumný a vědecký pracovník v letech 1969 – 1992. Zpočátku se zabývala provozní spolehlivostí energetických výroben. Tato činnost byla základem kandidátské disertační práce, kterou obhájila v roce 1971. Mezitím absolvovala postgraduální studium na FEL ČVUT (1967, automatické řízení). Později, v roce 1976 absolvovala postgraduální studium na FJFI ČVUT (jaderná energetika). Svoje znalosti z oboru jaderné energetiky si doplňovala na stážích na Cambridge University v Anglii a na Massachusetts Institute of Technology v USA. V roce 1988 obhájila na FS ČVUT vědeckou hodnost DrSc. (Matematicko-fyzikální analýza nestacionárních tepelných a hydrodynamických procesů v JE.)

V roce 1994 Ing. Ubrá přešla do Škoda Praha, a.s., jako specialista pro jadernou elektrárnu Temelín. Škoda Praha byla generálním

dodavatelem technologie JETE. V té době se dokončovaly práce na projektu záměny řídicího a regulačního systému elektrárny. Provádělo se počítačové modelování systému a připravovaly zkoušky funkčních systémů i jednotlivých zařízení ve fázi vlastního zkoušení bloku. Všechny dílčí a postupné zkoušky bylo třeba naplánovat do jednoho souhrnného programu zkoušek, tzv. Programu E001. Program vypracovala právě naše milá kolegyně, paní Ing. Ubrá, DrSc. Svým rozsahem to bylo obrovské několik set stránkové dílo, s požadavkem bezchybnosti programu. První blok začal najíždět v roce 2000, zkoušky se prováděly nepřetržitě prakticky celý rok. Pro doktorku Ubrou to znamenalo obrovské množství odpracovaných nočních směn, po nich pak často ráno zhodnocení zkoušky a návrhy na dílčí zlepšení. Po najetí prvního bloku do zkušební provozu, přišel na řadu druhý blok. Znovu se zpracovaly programy zkoušek, vč. E001. Druhý blok JETE najel do zkušební provozu v červnu 2003. Elektrárna byla úspěšně najeta a začala dodávat proud do elektrizační soustavy. Velikou zásluhu na tom měla doktorka Ubrá, se svým vysokým pracovním nasazením a znalostí systému celé elektrárny. A údajně v té době nebyl na elektrárně nikdo jiný, kdo by něco takového zvládl.

Od roku 2006 byla Ing. Ubrá zaměstnána v ÚJV Řež, jako externí pracovník výzkumu a vývoje v oblasti jaderné i klasické energetiky. Zabývala se mj. Separací a ukládáním oxidu uhličitého u klasických elektráren. V roce 2012 pomohla v ÚJV rozjet výzkum vodíkových technologií. Snažila se být mladším kolegům vzorem, a to pracovně, s důstojností, ale také s nadhledem a humorem. Ráda se setkávala s odborníky z oboru, svými kolegy a přáteli, a to formálně i neformálně. Ráda cestovala po Evropě a ve světě (Jižní Amerika). Věnovala se své chatě a zahradě, byla členkou Sokola.

Ing. Olga Ubrá, DrSc. svou vitalitou, vrozenou pracovitostí a svým nadšením pro poznávání nového v oboru, dávala příklad svým studentům, doktorandům a spolupracovníkům i kolegům z výboru ASI.

V článku jsme použili vzpomínky spolupracovníků a přátel, Ing. L. Krajíce, Ing. J. Smutné, M. Tumpachové, Ing. P. Hejzlara. Mimo rozsah této vzpomínky leží její bohatá publikační činnost (v rozsahu několika set prací) i výčet zásluh pro naši Asociaci.

V osobě paní inženýrky a doktorky Olgy Ubré odešla vzácná osobnost a přítelkyně, za kterou nemáme náhradu a na kterou budeme vzpomínat s úctou.

D. Hanus, J. Vondráček



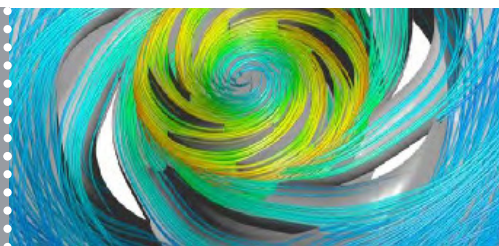
TURBOSTROJE 2017

Současné trendy při návrhu, výpočtu a zkoušení turbostrojů

HLAVNÍ TÉMATA:



Výskyt vírových struktur a jejich identifikace
Nestabilní pracovní režimy
CFD a FEA výpočty a experiment
Současné trendy vývoje



ÚVODNÍ PŘEDNÁŠKA:



Historie a současnost Howden ČKD Compressors - **Ulrich Frickmann** / Site Director

HLAVNÍ PŘEDNÁŠEJÍCÍ:



prof. Ing. Václav Cyrus, DrSc., AHT Energetika
Ing. Jan Lepičovský, DrSc., Ústav termomechaniky AV ČR, dříve NASA
prof. Ing. František Pochylý, CSc., VUT v Brně
doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D., VUT v Brně
Dr. Ing. Jaroslav Synáč, ZČU v Plzni, Doosan Škoda Power
prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc., ČVUT v Praze
prof. Ing. Václav Uruba, CSc., Ústav termomechaniky AV ČR, ZČU v Plzni



www.techsoft-eng.cz/turbostroje2017



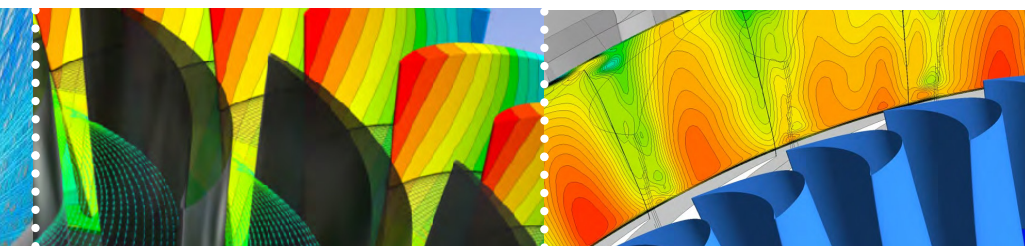
+420 255 775 000

19. - 21. 9. 2017

Howden ČKD Compressors
Lisabonská 4, Praha 9



TECHSOFT
ENGINEERING



REGISTRACE

Na konferenci se **registrujte přes formulář** umístěný na stránkách společnosti TechSoft Engineering:

www.techsoft-eng.cz/turbostroje2017.

Účastnický poplatek/vstupné je 3.000,-Kč (vč. DPH) a je v něm zahrnuto vstupné na celý program, sborník a občerstvení.

PŘÍSPĚVKY

Příspěvky lze přihlásit přes přihlašovací formulář při registraci. Anotaci příspěvku zašlete do 28. července. Plný text příspěvu do 4. září.

MÍSTO KONÁNÍ:

Letošní ročník konference proběhne v prostorách společnosti Howden ČKD Compressors (vchod z ulice Lisabonská 4).

Společenský večer:

ÚTERÝ 19. 9.: Welcome zahradní slavnost (TechSoft Engineering, Na Pankráci 26, Praha 4)

STŘEDA 20. 9.: Společenský večer (Hotel Pivovar Vysočany, Freyova 1/12, Praha 9)

UBYTOVÁNÍ:

Ubytování Vám můžeme po předchozí domluvě zajistit v Hotelu Pivovar Vysočany. Cena 1 dvoulůžkového pokoje (1-2 osoby): 1.800,- Kč / noc / se snídaní.

 office@techsoft-eng.cz

 [Sledujte nás na Facebook stránkách](#)

