

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní, Katedra konstruování



PREZENTACE

DOKTORANDŮ KATEDRY 340/2023

KOLEKTIV AUTORŮ

SBORNÍK PREZENTACÍ
SEMINÁŘE DOKTORANDŮ KATEDRY



Horní Lomná, 2023

ISBN 978-80-248-4689-7

OBSAH

1. BARÁTH Martin : TRIBOLOGICKÉ VLASTNOSTI POLYMÉRNÝCH A KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV SPRACOVANÝCH ADITÍVNÝMI TECHNOLÓGIAMI.....	3
2. BOSZORÁDOVÁ Lucia : ZVÝŠENIE ODOLNOSTI POVRCHOVÝCH VRSTIEV PROTI OPOTREBENIU.....	11
3. GŁUSZEK Grzegorz : OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE NAPĘDU ORGANU ROBOCZEGO STACJONARNEJ KRUSZARKI KĘSÓW	20
4. HIRMAN David : OPTIMALIZACE PROCESŮ ÚPRAVY ELEKTRÁRENSKÉHO POPÍLKU	32
5. HRABOVSKÝ Leopold, PRAVDA Štěpán, NOVÁKOVÁ Eliška, KURAČ Daniel : DETEKCE VIBRACÍ ROTUJÍCÍHO PLÁŠTĚ DOPRAVNÍHO VÁLEČKU NA LABORATORNÍM STROJI.....	40
6. CHALÁNEK Ladislav : LOŽISKA, JEJICH MAZÁNÍ A DIGITALIZACE	46
7. KURAČ Daniel : NÁVRH HOSPODÁRNÉHO ZPŮSOBU SEPARACE A RECYKLACE MATERIÁLŮ IZOLOVANÝCH POTRUBNÍCH ROZVODŮ	58
8. KUTIOVÁ JUŘÍKOVÁ Kristýna : VIBRODIAGNOSTIKA ČERPADEL JAKO OVĚŘENÍ MOŽNOSTI METODY REENGINEERINGU PRO OFSETOVÉ TISKOVÉ STROJE	62
9. MACHÁLEK Tomáš : ENERGETICKÁ NÁROČNOST TĚŽBY STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ.....	67
10. PRAVDA Štěpán : TRIBOMETRIE A PŘÍSADY PRO SNIŽOVÁNÍ TŘENÍ U MODERNÍCH MOTOROVÝCH OLEJŮ	71

TRIBOLOGICKÉ VLASTNOSTI POLYMÉRNÝCH A KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV SPRACOVANÝCH ADITÍVNÝMI TECHNOLOGIAMI

Martin BARÁTH, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre ¹

Poznámka: Príspevek spracovaný na základe dodanej PowerPointovej prezentácie.

1 Úvod

Aditívne technológie definujeme ako automatizovaný proces výroby 3-dimenzionálnych fyzických objektov priamo z dát vytvorených v CAD systémov bez potreby obrábacieho stroja.

Pojem polymérne materiály označuje makromolekulu zloženú z viac molekúl a to jedného (alebo pokojne aj viac) typov atómov (alebo rovno skupín atómov).

Kompozitný materiál je materiál zložený z dvoch alebo viacerých fyzikálne a chemicky odlišných materiálov (napr.: kov - polymér, keramika - sklo).

Relatívna vlhkosť prostredia ovplyvňuje tribologické a mechanické vlastnosti polymérnych a kompozitných materiálov.

2 Cieľ práce

Hypotéza 1:

Vystavením dielov vyrobených zo skúmaných materiálov prostrediu so zvýšenou relatívnou vlhkosťou sa menia ich tribologické a mechanické vlastnosti.

Hypotéza 2:

Pomocou tepelného spracovania je možné dodatočne zlepšiť tribologické a mechanické vlastnosti dielov ktoré sú vyrobené zo skúmaných materiálov použitím aditívnych technológií.

Hypotéza 3:

Vhodnou orientáciou jednotlivých vrstiev počas procesu aditívnej výroby dielov je možné dosiahnuť vyššiu odolnosť materiálu voči opotrebeniu.

3 Metodika práce

- **Spectrum PA6 Low Warp** materiál na báze polyamidu 6 s obsahom aditív obmedzujúcimi vysoké zmršťovanie počas tlače. Má vysokú mechanickú a tepelnú odolnosť, ako aj odolnosť voči opotrebeniu.

¹ Ing. Martin Baráth, PhD.

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta
Ústav konštruovania a strojárskych technológií
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra

Teplota trysky	260 °C
Teplota podložky	90°C
Výška vrstvy	0,2mm
Priemer trysky	0,4mm
Výplň	plná
Počet perimetrov	2

- **Markforged Onyx** je polyamid 6 s plnivom z nasekaných uhlíkových mikrovlákien s obsahom 15 %.

Teplota trysky	275 °C
Výška vrstvy	0,2mm
Priemer trysky	0,4mm
Výplň	plná
Počet perimetrov	2

- **BASF Ultrafuse PA6 GF30** je polyamid 6, vystužený 30 % obsahom sklenných vlákien. Vlákna dodávajú materiálu vysokú tuhosť a pevnosť, materiál je takisto odolný voči opotrebeniu.

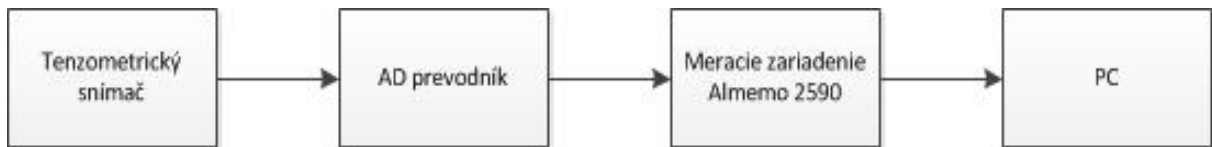
Teplota trysky	270 °C
Teplota podložky	100°C
Výška vrstvy	0,2mm
Priemer trysky	0,4mm
Výplň	plná
Počet perimetrov	2

- **3D tlačiareň Prusa MK3S+**: Tlačiareň určená pre FDM technológiu tlače. Je kompatibilná s väčšinou materiálov určených pre FDM technológiu. Tlačiareň disponuje vyhrievanou podložkou čo obmedzuje deformáciu výtlačkov. Automatická kalibrácia prvej vrstvy zabezpečuje dokonalú prvú vrstvu, ktorá je základom k dokonalej príľnavosti výtlačku o podložku.

Technológia	plasty vystužené spojitým vláknom (FFF + CFF)
Tlačový objem	320 × 132 × 154 mm
Tlačová podložka	kompozitný Dlaminát – rovinnosť do 160 µm
Laserové meranie	nie
Výška vrstvy	100 µm, maximálna 200 µm
Podporované plastové materiály	Onyx, Biely nylon
Podporovaná vystužujúca vlákna	karbonové, sklené či kevlarové, vysokopevnostné/vysokoteplotné sklené vlákno
Typ výplne	uzatvorené bunky, viac dostupných geometrií
Software	Eiger Cloud
Zabezpečenie	dvojfázové prihlásenie, centrálny administratívny prístup, jednotné prihlasovanie
Napájanie	100–240 V (striedavý), 150 W (2 A špička)
Rozmery zariadenia	584 × 330 × 355 mm
Hmotnosť zariadenia	16 kg



- **skúšobné zariadenie pre skúšky opotrebenia viazaným abrazívom:** Zariadenie využíva geometriu skúšky Pin On Disc. Testovaná vzorka je pritláčaná normálovou silou na rotujúci kotúč na ktorom je upevnené viazané abrazívum. Kotúč má priemer 490 mm a jeho rýchlosť je 0,5 m.s⁻¹, vzorka prejde počas testu dráhu 50 m. Posuv vzorky od stredu kotúča k jeho okraju je počas testu zabezpečovaný automatickým posuvom. Skúška sa automaticky ukončí hneď ako vzorka prejde definovanú dráhu. Normálová sila je vytváraná pomocou vymeniteľných závaží s presnou hmotnosťou. Do hmotnosti závažia sa započítava aj hmotnosť držiaku vzoriek. Pri testoch používame tri úrovne hmotností závaží a to: 970 g, 2 540 g, 4 080 g. Abrazívum je tvorené brúsnym plátnom Germaflex X so zrnitosťou P120, so zrnom z korundu.



Priemerná rýchlosť	0,5 m.s ⁻¹
Priečny posuv na otáčku	3 mm
Priemer trecej dráhy	480 mm
Merný tlak	0,12 - 0,51 N.mm ⁻²
Dĺžka skúšanej vzorky	60 mm
Priemer skúšanej vzorky	10 mm
Zrinitosť brúsneho plátna	P120



- **zariadenie na skúšky pevnosti v ťahu Testometric X350-10:** Stolný, dvoj stĺpový, počítačom riadený univerzálny skúšobný stroj na skúšky materiálov v ťahu, tlaku, ohybe, cyklickom namáhaní, lipnutí, adhézii, strihu, tvrdosti a skúšaní pružín.

Maximálna sila	10 kN
Dĺžka chodu priechnika	1100 mm
Výška stĺpov	1275 mm
Rozlíšenie chodu	0,000001 mm
Minimálna rýchlosť	0,0001 mm.min ⁻¹
Maximálna rýchlosť	2000 mm.min ⁻¹
Hmotnosť	110 kg



- **tvrdomer Insize Shore pre použitie na tvrdé plasty a gumy s presnosťou +/- 1 HD.**

Rozsah	0-100 HD
Rozlíšenie	0,1 HD
Normy	ISO 868, ISO 7619, ASTM D 2240
Presnosť	+/- 1 HD



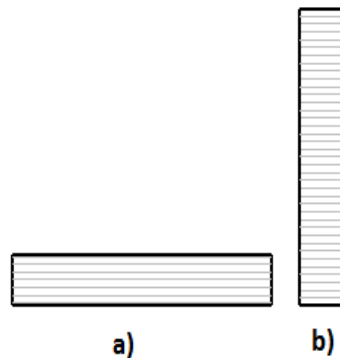
- **laboratórna váha Precisa 205A.**

Max. váživosť	250 g
Rozlíšenie	0,0001 g
Reprodukovateľnosť	0,0001 g
Linearita	0,0002 g
Čas váženia	5 s
Priemer misky	80 mm

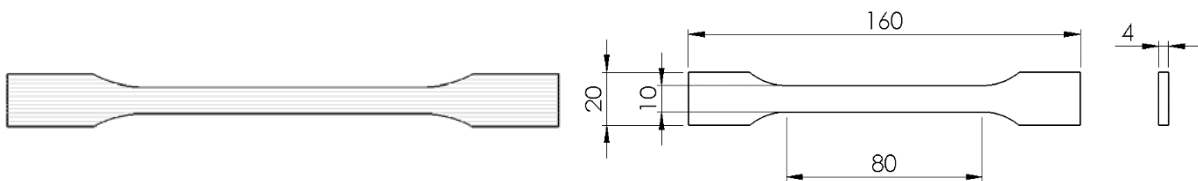


- **vzorky pre skúšky odolnosti voči opotrebeniu budú vyrobené technológiou 3D tlače, budú mať tvar valca s priemerom 10 mm a dĺžkou 60 mm. Budú pou-**

žité dva uhly orientácie jednotlivých vrstiev tlače a to: kolmo voči povrchu abrazíva (90°) a súbežne s povrchom abrazíva (0°). Vzorky pre skúmanie vplyvu relatívnej vlhkosti prostredia budú kondicionované v exikátoroch. Relatívna vlhkosť prostredia v exikátoroch bude vytvorená pomocou roztokov nasýtených solí, v štyroch úrovniach: 33 %, 65 %, 85 %, 97 %. Vzorky pre skúmanie vplyvu procesu tepelného budú spracované pri troch teplotách: 155°C , 175°C a 195°C .

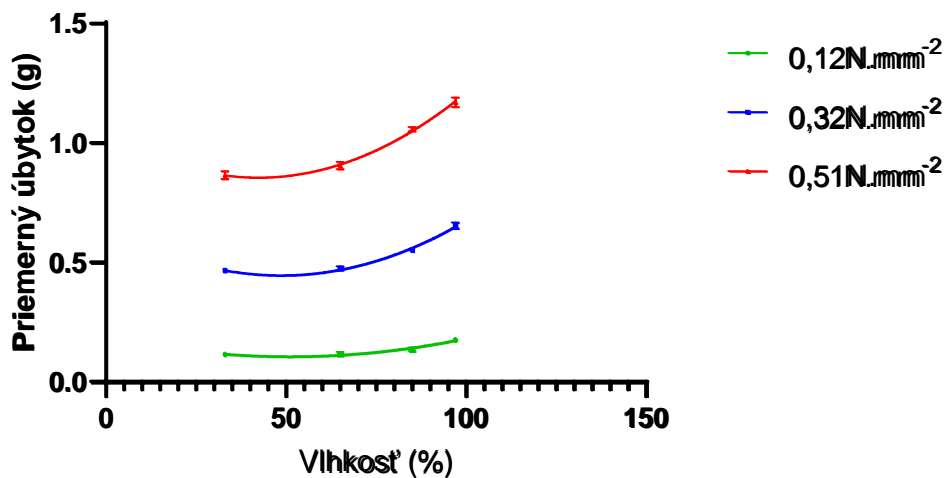


- **vzorky pre statické skúšky ťahom** budú vyrobené technológiou 3D tlače, rozmery a tvar vzoriek je daný normou ISO 527. Parametre tlače vzoriek, kondicionovanie a tepelné úpravy budú zhodné ako pri vzorkách pre skúšky odolnosti voči opotrebeniu.

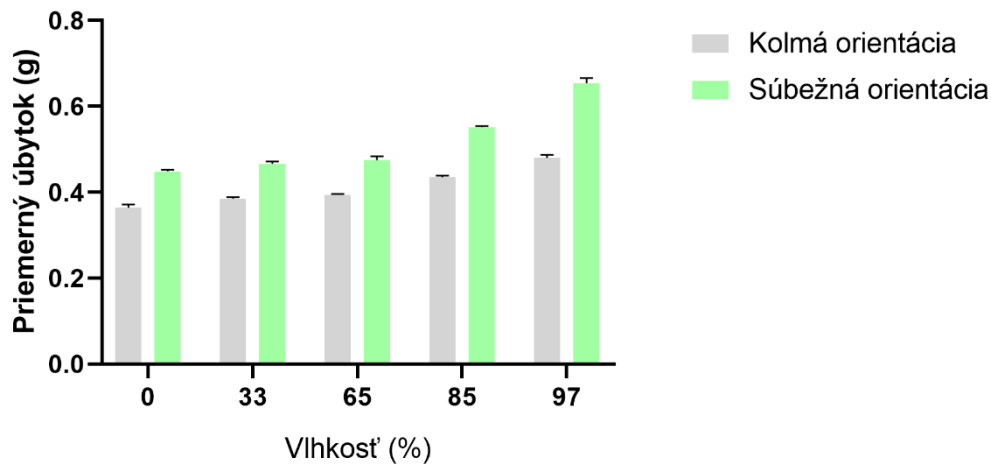


4 Výsledky práce

- Závislosť priemerného hmotnostného úbytku vzorky z materiálu Onyx so súbežnou orientáciou vrstiev od vlhkosti pri rôznych merných tlakoch.



- Závislosť priemerného hmotnostného úbytku od orientácie vrstiev vzorky z materiálu Onyx pri mernom tlaku $0,32 \text{ N.mm}^{-2}$.



5 Návrh na využitie výsledkov

Praktická oblasť: výsledky možno využiť už v prvotnej fáze výberu materiálu, kedy dotvárajú obraz o správaní daných materiálov pri ich nasadení do konkrétneho prostredia. Takisto ich možno využiť vo fáze samotného návrhu súčastí strojov, kedy vzhľadom na znalosť zmeny vlastností materiálu vplyvom prostredia je možné tieto zmeny zahrnúť do návrhu a predísť tak nečakaným možno i fatálnym zlyhaniam súčastí strojov v prevádzke.

Vzdelávacia oblasť: publikované poznatky možno využiť aj pri procese vzdelávania študentov v oblasti vlastností materiálov a ich zmeny vplyvom rôznych činiteľov.

Vedecká oblasť: rozptýlenosť hodnôt získaných z laboratórnych skúšok vzoriek ovplyvnených procesom tepelného spracovania nabáda k ďalšiemu výskumu samotného procesu tepelného ovplyvnenia, ako aj k optimalizácii parametrov aditívnych technológií vzhľadom na homogenitu výsledkov a tým opakovateľnosť vlastností dielov vyrobených aditívnymi technológiami.

6 Záver

Vplyv relatívnej vlhkosti prostredia na tribologické a mechanické vlastnosti: výsledky práce ukazujú jasné závislosti medzi relatívnou vlhkosťou prostredia a vlastnosťami materiálov. Kedy zvyšovaním relatívnej vlhkosti prostredia klesá odolnosť skúmaných materiálov voči opotrebeniu a takisto klesá ich pevnosť v ťahu.

Vplyv teploty procesu tepelného spracovania na tribologické a mechanické vlastnosti: v prípade tribologických vlastností nedošlo k ich výraznej zmene, ale v prípade mechanických vlastností sme zaznamenali ich zhoršenie.

Vplyv orientácie jednotlivých vrstiev na tribologické vlastnosti: pri ovplyvnení vzoriek materiálu relatívnou vlhkosťou prostredia prišlo k zlepšeniu odolnosti materiálu voči opotrebeniu iba v prípade pôsobenia vyšších merných tlakov. Pri najmenšom mernom tlaku bol pozorovaný rozdiel iba pri niektorých vlhkostiach. Pri ovplyvnení vzoriek materiálu procesom tepelného spracovania nebol vôbec zaznamenaný významný vplyv orientácie vrstiev.

Literatura

- [1] Arifvianto, B., Prayoga, B., Suyitno, D., Mahardika, M., Dharmastiti, R. and U. Salim. 2019. Sliding wear characteristics of FDM-processed polylactic-acid in bovine blood serum. *In Mechanical Engineering and Sciences (Online)*. Pahang: Universiti Malaysia Pahang, pp 5848-5861. ISSN 2231-8380. Dostupné na: 10.15282/jmes.13.4.2019.10.0466
- [2] Běhálek, L. 2016. *Polymery*. Liberec: Code Creator, s.r.o. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné na: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [3] Deleanu, L., Botan, M. and C. Georgescu. 2020. Tribological Behavior of Polymers and Polymer Composites, *In Patniak, Amar. Singh, Tej. Kukshal, Vikas. Tribology in Materials and Manufacturing*. London: Intech Open, pp.1-35. ISBN 978-1-83880-575-3.
- [4] Hirani, H. 2016. *Fundamentals of Engineering Tribology with Applications*. Cambridge : Cambridge University Press, 2016. 433 s. ISBN 978-1-107-06387-7.
- [5] Jadhav, A. and V.S. Jadhav. 2022. A review on 3D printing: An additive manufacturing technology. *In Materials Today: Proceedings (Online)*. London: Materials Today, pp 2094-2099. ISSN 2214-7853. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.558>.
- [6] Kannan, S., Ramamoorth, M., Sudhagar, E. and B. Gunji. 2020. Mechanical characterization and vibrational analysis of 3D printed PETG and PETG reinforced with short carbon fiber. *In AIP Conference Proceedings (Online)*. Coimbatore: AIP, pp 1-6. Dostupné na: <https://doi.org/10.1063/5.0019362>.
- [7] Mohamed, O., Masood, H. and J. Bhowmik. 2018. Analysis of wear behavior of additively manufactured PC-ABS parts. *In Materials Letters (Online)*. London: Materials Today, pp 261-265. ISSN 0167-577X. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.07.139>
- [8] Umesh, G.L., Rudresh, B.M., Krishnaprasad, N.J. and D. Madhu. 2022. Micro fillers effect on two body abrasive wear behavior of Polyamide 66, Polyamide 6 blend based composites. *In Materials Today: Proceedings (Online)*. London: Materials Today, pp 217-222. ISSN 2214-7853 Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.296>.

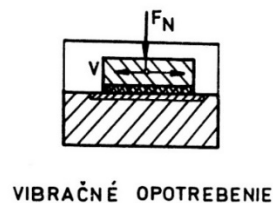
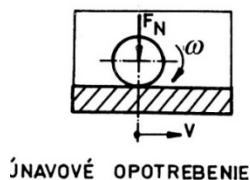
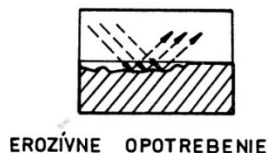
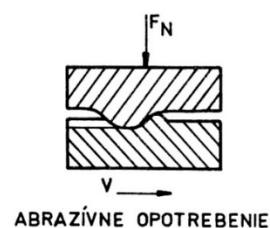
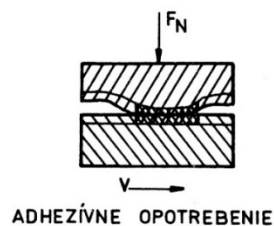
ZVÝŠENIE ODOLNOSTI POVRCHOVÝCH VRSTIEV PROTI OPOTREBENIU

Lucia BOSZORÁDOVÁ, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre ²

Poznámka: Príspevek zpracovaný na základe dodanej PowerPointovej prezentácie.

1 Opotrebenie

- **Opotrebenie** - nežiaduca **zmena povrchu (rozmerov)** tuhých telies, spôsobených buď vzájomným pôsobením funkčných povrchov, alebo funkčného povrchu a média pri ich vzájomnom relatívnom pohybe.
- **Prejav** → odstraňovanie - premiestňovanie častíc z funkčného povrchu mechanickými účinkami, resp. inými vplyvmi (chemickými, elektrochemickými, chemickými).
- **Mechanizmus** závisí od topografie povrchu, kontaktných podmienok a prostredia, pričom pri analýze rozlišujeme **tieto tri javy**:
 1. vzájomné pôsobenie povrchov pri trení,
 2. zmeny, ktoré prebiehajú v povrchovej vrstve elementov trecej dvojice,
 3. porušenie povrchov.



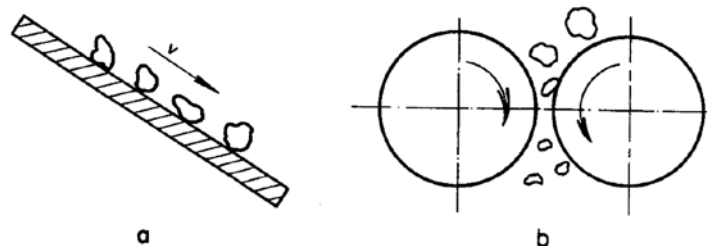
² Ing. Lucia Boszorádová
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta
Ústav konštruovania a strojárskych technológií
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra
tel.: +421 37 641 5688, e-mail: xboszoradova@uniag.sk

2 Abrazívne opotrebenie

- Charakterizuje oddeľovanie častíc materiálu z funkčného povrchu účinkom tvrdšieho a drsného povrchu iného telesa alebo účinkom abrazívnych častíc.
- Podľa charakteru vzájomných interakcií pri abrazívnom opotrebení rozlišujeme dva základné modely:
 - a) abrázia dvoch telies - napr. opotrebenie lemešov, radličiek kultivátorov, a pod.
 - b) abrázia za účinku troch telies - napr. opotrebenie uložení za prítomnosti tvrdých častíc nečistôt, ako opotrebenie čapu a oka článku pásového podvozku a pod.

Formy prejavu abrazívnych procesov, rozlišujúcich sa charakterom vzájomného pôsobenia častíc a povrchu kovu:

- s prevládajúcim **mechanickým** rozrušovaním povrchových vrstiev kovu,
- s prevažujúcim **mechanicko-chemickým** rozrušovaním (plastická deformácia povrchových mikro-objemov, tvorba chemických zlúčenín a nasledujúce porušenie vznikajúcich sa vrstvičiek).



3 Renovácia a opravy

- Opravy opotrebovaných súčiastok je možné obecné z technického hľadiska vykonať **dvoma základnými spôsobmi**:
 - obnovením pôvodných rozmerov a geometrického tvaru funkčných plôch súčiastok,
 - obnovením dobrých funkčných vlastností zmenou rozmerov funkčných plôch, tzv. opravy súčiastok na opravné rozmery.
- Pri **výbere najvhodnejšej metódy** renovácie sa vychádza:
 - rozbor renovovaných súčiastok z hľadiska konštrukčného a technologického prevedenia a rozbor ich pracovných podmienok,
 - veľkosť opotrebenia jednotlivých súčiastok,
 - ovplyvňovanie geometrického tvaru a kvality povrchu súčiastky v priebehu renovácie,
 - prevádzková spoľahlivosť a životnosť renovovaných súčiastok,
 - porovnanie nákladov na renováciu rôznymi metódami.

- **Naváranie** patrí medzi najrozšírenejšiu metódu renovácie. Pre kvalitný stav navareného kovu je potrebné posúdiť vhodnosť materiálov na naváranie a spôsob navárania.

4 Naváranie

Pod navarením sa chápe nanášanie prídavného materiálu na povrch základného materiálu súčiastky pomocou vhodného energického zdroja s cieľom renovovať pôvodné rozmery funkčnej plochy súčiastky, alebo dosiahnuť potrebné vlastnosti povrchu, ako je tvrdosť, oteruvzdornosť, koróziivzdornosť, žiaruvzdornosť, odolnosť proti chemickým agresívnym látkam a odolnosť proti ostatným druhom opotrebenia.

Výhody:

- možnosť nanosenia materiálov s rôznym chemickým zložením,
- vysoká produktivita navárania,
- možnosť získať veľmi hrubé návary (0,2 až 100 mm),
- jednoduchosť naváracích zariadení,
- možnosť mechanizácie, automatizácie a robotizácie technológií navárania.

Nevýhody:

- premiešavaním návarového kovu so základným materiálom sa zhoršia vlastnosti návaru,
- deformácia navarenej súčiastky vplyvom vysokej pomernej energie navárania,
- heterogenita návaru, a tým aj jeho vlastností,
- pri legovaných návaroch a základných materiáloch sa vyžaduje pred ohrev a špeciálne teplotné režimy navárania a tepelného spracovania po navarení,
- a zložitosť mechanického opracovania tvrdých návarov.

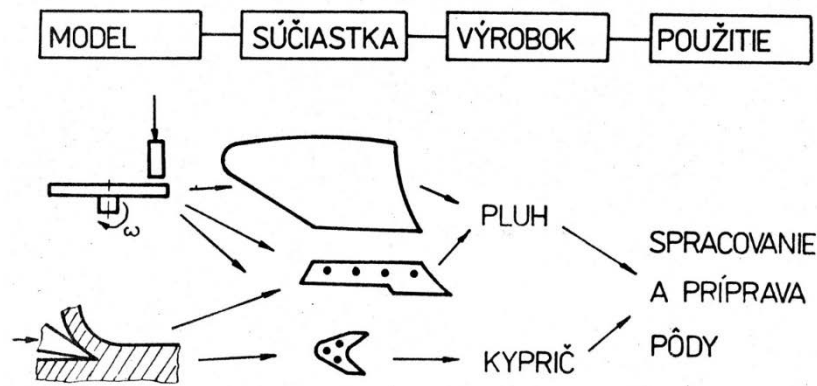
5 Cieľ práce

- V prevádzke nástrojov pracujúcich s abrazívnymi materiálmi dochádza k opotrebeniu ich funkčného povrchu.
- Z tohto dôvodu sa v práci budeme zaoberať zvýšením odolnosti a životnosti nástrojov vytváraním povrchových oteruvzdorných vrstiev.
- Hlavnou hypotézou ktorou sa počas riešenia práce budeme zaoberať:
 - Povrchové vrstvy vytvorené technológiou plazmového navárania majú vyššiu odolnosť voči opotrebeniu ako vrstvy vytvorené technológiami MIG a TIG.
 - Metódou DOE naplánujeme návrh experimentov potrebných k overeniu danej hypotézy.
 - Na realizáciu experimentov vytvoríme vzorky s nanesenými povrchovými vrstvami pomocou technológií plazmového navárania, TIG a MIG.
- V rámci **laboratórnych** skúšok podrobíme vzorky testom s viazaným a voľným abrazívom. Pri skúškach budeme vyhodnocovať koeficient trenia, teplota trecieho uzla, hmotnostný a rozmerový úbytok materiálu. Vzorky podrobíme optickej mikroskopii, meraniu mikrotvrdosti, SEM-EDS analýze.

- V rámci **prevádzkových** skúšok budú povrchové vrstvy vytvorené na nástrojoch pracujúcich s abrazívnym materiálom ako sú: radličky a lemeše poľnohospodárskych strojov, lyžice nakladačov a zuby rýpadiel, drviče kameňov.

6 Materiál a metódy

- Voľba prídavných materiálov:
 - materiály s prídavkom karbidotvorných prvkov, využitím prvkov Cr, W, Mo, V, Ti,
 - húževnaté zliatiny, mangánové, martenzitické a vysokolegované (kaliteľné),
 - vo forme elektródy, drôtu, či prášku - aplikovanie udané výrobcom.
- Voľba technológií navárania:
 - vytvorenie oteruvzdornej vrstvy odolnej proti nárazom a abrázii,
 - eliminovať množstvo premiešania prídavného so základným materiálom,
 - naváranie elektrickým oblúkom, MIG/MAG, TIG, plazmové naváranie PTA.



Metódy hodnotenia opotrebenia

- modelové skúšky na laboratórnych zariadeniach,
- skúšky na simuláciu opotrebenia,
- prevádzkové skúšky.

7 Laboratórne skúšky

Napr. ČSN 015084 - Stanovenie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom platne

Skúšobná vzorka:

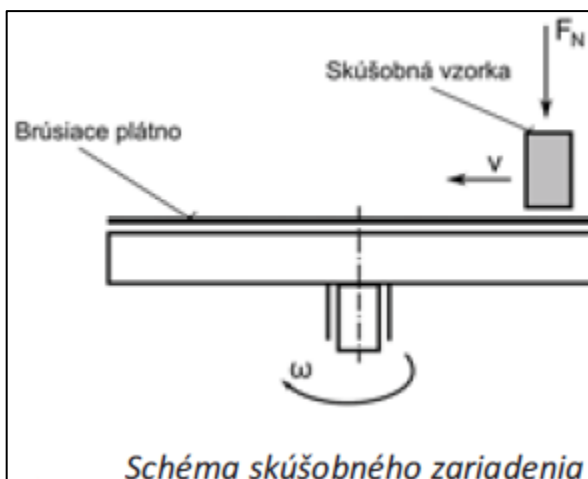
- o priemere \varnothing 10 mm o dĺžke 30÷70 mm
s rozsahom merných tlakov = $0,02 \div 0,50 \text{ N.mm}^{-2}$
- o priemere \varnothing 6 mm o dĺžke 30÷70 mm
s rozsahom merných tlakov = $0,06 \div 1,50 \text{ N.mm}^{-2}$

Pracovná čelná plocha skúšobných vzoriek sa brúsi na drsnosť povrchu $R_a=0,4\mu\text{m}$, ostatné plochy na $R_a=1,6\mu\text{m}$.

Hrany skúšobných vzoriek musia byť zaoblené na polomer asi 0,2mm.

Nastavené parametre skúšobného zariadenia:

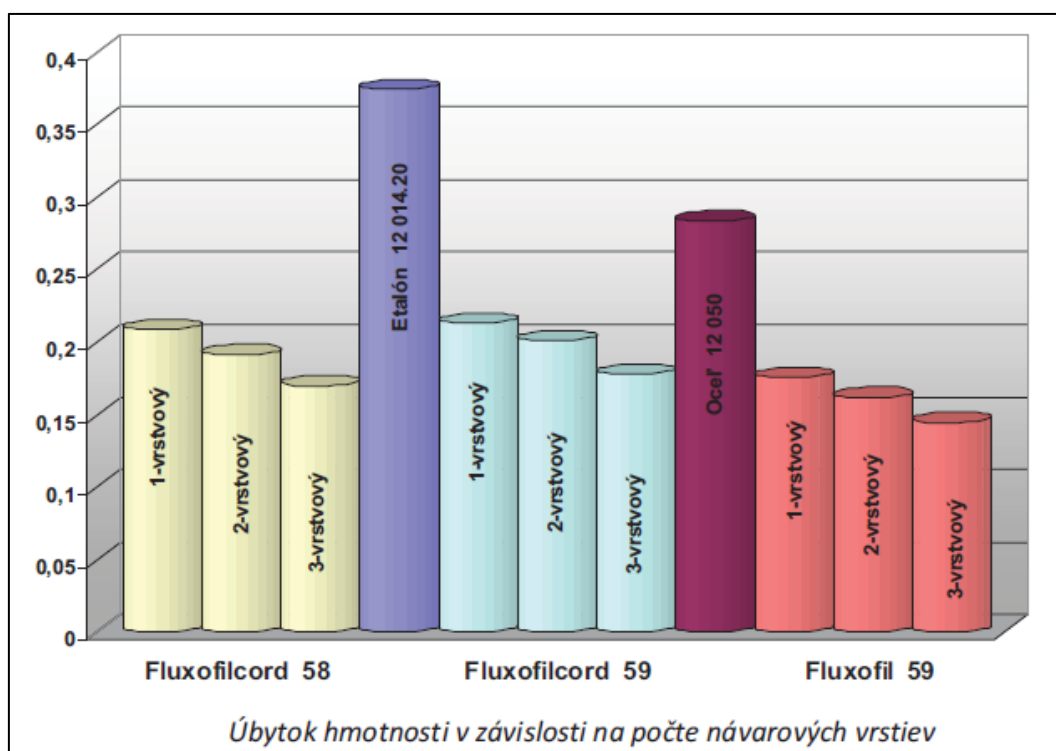
- trecia rýchlosť - max. 0,5 m.s⁻¹
- priečný posuv na otáčku - 3 mm
- priemer trecej dráhy - 480 mm
- dĺžka trecej dráhy - 50 m
- veľkosť prítlačného tlaku - 0,32 MPa
- brúsne plátno - Globus 100 (120)
- dĺžka vzorky - 50 mm
- priemer vzorky - ø 10 mm

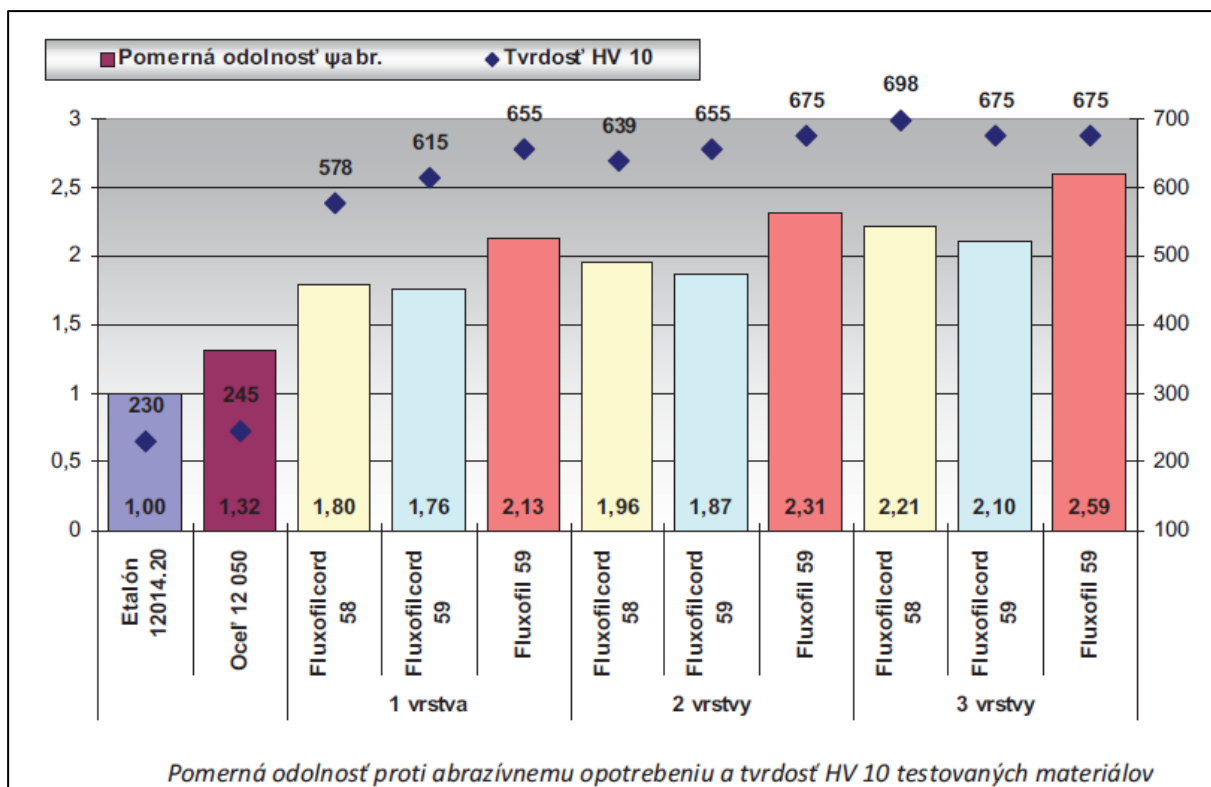


Pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu:

$$\psi_{abr.} = \frac{W_{oE}}{W_o} = \frac{W_{hE}}{W_h} \cdot \frac{\rho}{\rho_E}$$

kde: W_{oE} – priemerný objemový úbytok etalónových telies, mm³
 W_o – priemerný objemový úbytok skúšobných telies, mm³
 W_{hE} – priemerný hmotnostný úbytok etalónových telies, g
 W_h – priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies, g
 ρ_E – merná hmotnosť etalónového materiálu, g.cm⁻³
 ρ – merná hmotnosť skúšaného materiálu, g.cm⁻³





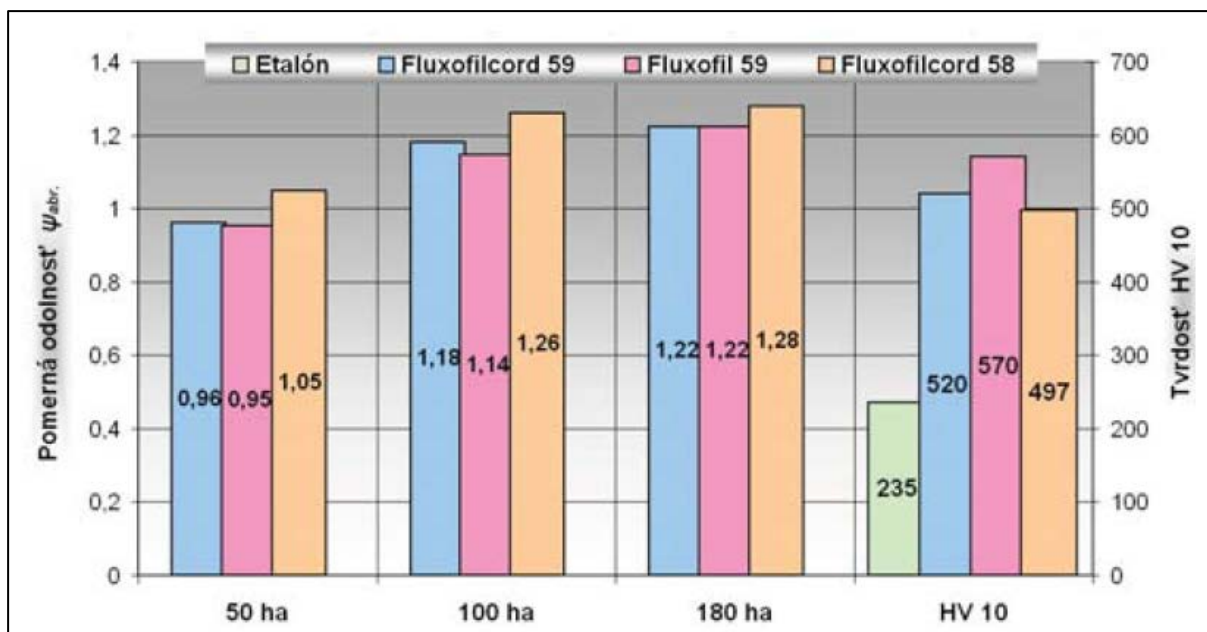
8 Prevádzkové skúšky

Napr. lemeš pluhu / Vysokoškolský poľnohospodársky podnik Kolíňany

V prevádzke sa použil **obojsmerný 4-radličný nesený pluh EurOpal 6** s dvojitou strižnou poistkou.

Základný materiál tvorí oceľ triedy 12 050 (**lemeš pluhu**), definovaná normou STN 41 2050, ktorá patrí medzi ušľachtilé - uhlíkové - konštrukčné ocele. Na naváranie použijeme prídavný materiál: Fluxofilcord 58, Fluxofil 59 a Fluxofilcord 59 s priemerom drôtu $\varnothing 1,6$ mm.

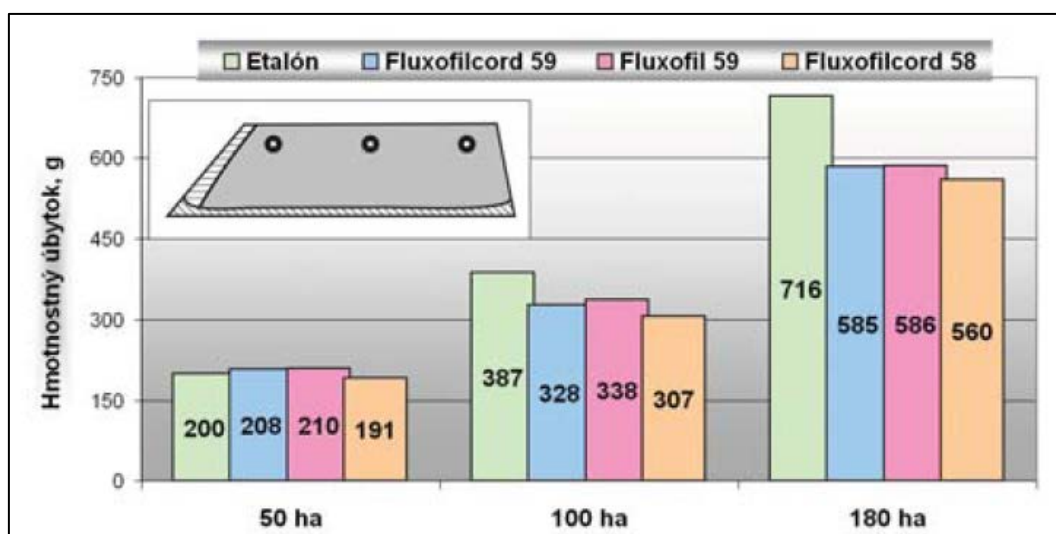
Drôty **Fluxofilcord 58, 59** patria medzi rúrkové drôty s bázickou náplňou vhodne do prostredia, kde je potrebná vysoká odolnosť proti opotrebeniu, nárazom, teplu a na naváranie namáhaných častí ako sú okovy a zuby rýpadiel. Drôt **Fluxofil 59** je stredne legovaný rúrkový drôt s bázickou náplňou. Svojím zložením umožňuje vyhotovenie pevných, oteruvzdorných vrstiev. Návarová vrstva je schopná odolávať rázovému namáhaniu a odoláva aj silnému abrazívnemu opotrebeniu.



$$\psi_{abr.} = \frac{W_{hE}}{W_h}$$

kde: W_{hE} – priemerný hmotnostný úbytok etalónových skúšobných telies, g

W_h – priemerný hmotnostný úbytok skúšobných telies zo skúšaného materiálu, g



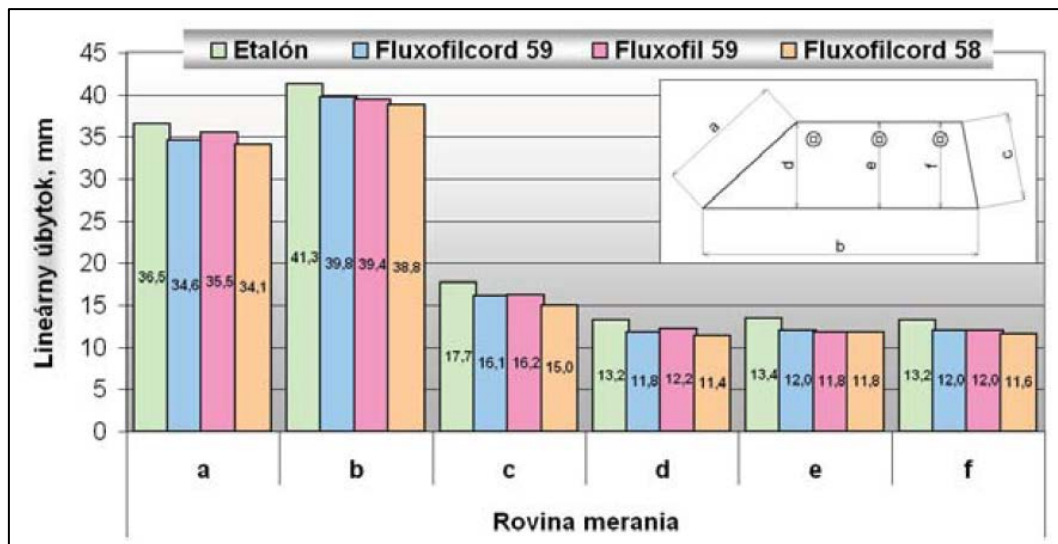
Z hľadiska charakteristiky pôdných druhov na základe Novákovej klasifikačnej stupnice zrnitosti pôdy podľa frakcie zŕn menších ako 0,01 mm patria dané parcely do skupiny **stredne ťažkých pôd**:

- **piesočnato-hlinité** – obsah zŕn menších ako 0,01 mm 35÷40 %

– obsah zŕn 0,01÷0,05 mm = 36÷42 %

- **hlinité** – obsah zŕn menších ako 0,01 mm = 25÷30 %

– obsah zŕn 0,01÷0,05 mm = 40÷45 %



9 Rámcová metodika - vyhodnotenie výsledkov

- Určenie mechanických vlastností:
 - meranie tvrdosti podľa Vickersa HV a Rockwella HRC,
 - určenie pevnosti návarov na základe statickej skúšky ťahom,
 - určenie húževnatosti materiálov na základe skúšky rázom v ohybe.
- Stanovenie makroštruktúry návarov:
 - + kontrola vonkajších a vnútorných chýb materiálov vizuálne a ultrazvukom.
- Stanovenie mikroštruktúry materiálov:
 - + meranie mikrotvrdosti HV návaru / tepelne ovplyvnená oblasť / základný materiál.
- Materiálová analýza návarov a nástrojov:
 - určenie chemického zloženia pomocou spektrometra.
- Určenie veľkosti opotrebenia:
 - zmenou hmotnosti,
 - zmenou lineárnych rozmerov,
 - meranie profilu otupenia ostria,
 - 3D skenovanie celého nástroja.

10 Predpokladaný prínos

- Očakávaný prínos dizertačnej práce, bude zvýšenie odolnosti voči opotrebeniu nástrojov, skrátenie času potrebného na údržbu a opravy strojov a zníženie prevádzkových nákladov.
- Ďalším predpokladaným prínosom bude, získanie hlbších informácií o mechanických vlastnostiach skúmaných materiálov, ktoré získame z laboratórnych a prevádzkových skúšok.
- Taktiež očakávame získanie informácií o štruktúre, chemickom zložení pri kombinácii základných a prídavných materiálov.

- Nemennej dôležite budú zistenia v oblasti výberu vhodnej technológie navárania ako aj pri výbere vhodného prídavného materiálu.
- Na základe znižujúceho sa nerastného bohatstva, zvyšujúcich sa nákladov na materiály a suroviny, treba hľadať nové a ekonomicky a ekologicky vhodné spôsoby renovácie materiálov.
- Správnou aplikáciou a voľbou vhodnej metódy navárania možno v tejto oblasti dosiahnuť čo najlepšie zvýšenie životnosti nástrojov pracujúcich s abrazívnymi materiálmi.

Literatura

- [1] Balla, J. *Tribológia a tribotechnika*. Nitra : VŠP, 1989. 134 s. ISBN 80-85175-25-8.
- [2] Balog, J. a P. Čičo. *Spoľahlivosť strojov 1, 2*. 2002, Vyd.: SPU v Nitre 2005. 3010 s. ISBN 80-8069-562-8
- [3] Blaškovič, P., Balla J. a M. Dzimko. *Tribológia*. Bratislava : Alfa, 1990. 360 s. ISBN 80-05-00633-0.
- [4] ČSN 01 5084. *Stanovenie odolnosti kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na brúsnom plátne*.
- [5] Hazlinger, M. et al. *Degradačné procesy a predikcia životnosti materiálov*. Bratislava : STU, 2010. 223 s. ISBN 978-80-2273-334-2.
- [6] Helebrant, F., Ziegler, J. a D. Marasová. *Technická diagnostika a spoľahlivosti I. Tribodiagnostika*. VŠB - TU Ostrava, Fakulta strojní, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [7] Janovec, J. et al. *Progresívne materiály a technológie*. Bratislava : STU, 2012. ISBN 978-80-2273-648-0.
- [8] Kotus, M. a Ľ. Gyurica. *Stanovenie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu v prevádzkových podmienkach*. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov 2010*. Nitra : SPU, 2010. ISBN 97880-552-0390-4.
- [9] Kotus, M. a Š. Drahoš. *Stanovenie odolnosti proti abrazívnemu opotrebeniu v laboratórnych podmienkach*. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov 2010*. Nitra : SPU, 2010. ISBN 97880-552-0390-4.
- [10] Peťková, V. et al. *Tribotechnika v teórii a praxi*. Košice : VIENALA s.r.o., 2012. 366s. ISBN 978-80-8126-057-5.
- [11] *STN 01 5050. Opotrebenie. Názvoslovie*.
- [12] <https://www.engineering.sk/strojarstvo-extra>
- [13] <https://www.vuz.sk/technologie>.
- [14] <http://www.zvaranie.eu/metoda-zvarania-plazma/>

OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE NAPĘDU ORGANU ROBOCZEGO STACJONARNEJ KRUSZARKI KĘSÓW

Grzegorz GŁUSZEK, Instytut Mechanizacji Górnictwa ³

Anotacje

W ścianowych kompleksach zmechanizowanych, zwłaszcza do ścian wysokich, coraz częściej stosowane są ścianowe kruszarki kęsów. Kruszarka ta ma za zadanie nie dopuścić do zatorów powstających na przesypie przenośnika ścianowego przez ponadwymiarowe bryły urobku. W referacie przedstawiono dedykowaną aparaturę pomiarowo-rejestrującą wykorzystaną w trakcie badań doświadczalnych ścianowej kruszarki kęsów KS4. Zaprezentowano wybrane wyniki badań eksploatacyjnych ścianowej kruszarki kęsów, które umożliwiły wyznaczenie rzeczywistych obciążeń dynamicznych napędu bębna kruszącego w trakcie realizacji procesu rozdrabniania urobku transportowanego przenośnikiem ścianowym.

1 Wprowadzenie

Ze względu na możliwości transportowe urządzeń odstawy urobku w kopalniach podziemnych – od przodku wydobywczego do szybu – wymagana jest określona granulacja urobku. Zbyt duże kęsy zakłócają bowiem ciągłość odstawy oraz niszczą trasę przenośników taśmowych. Stąd, w ciągach odstawy urobku stosowane są dynamiczne kruszarki urobku [9]. W zależności od miejsca instalowane są różnego typu kruszarki kęsów.

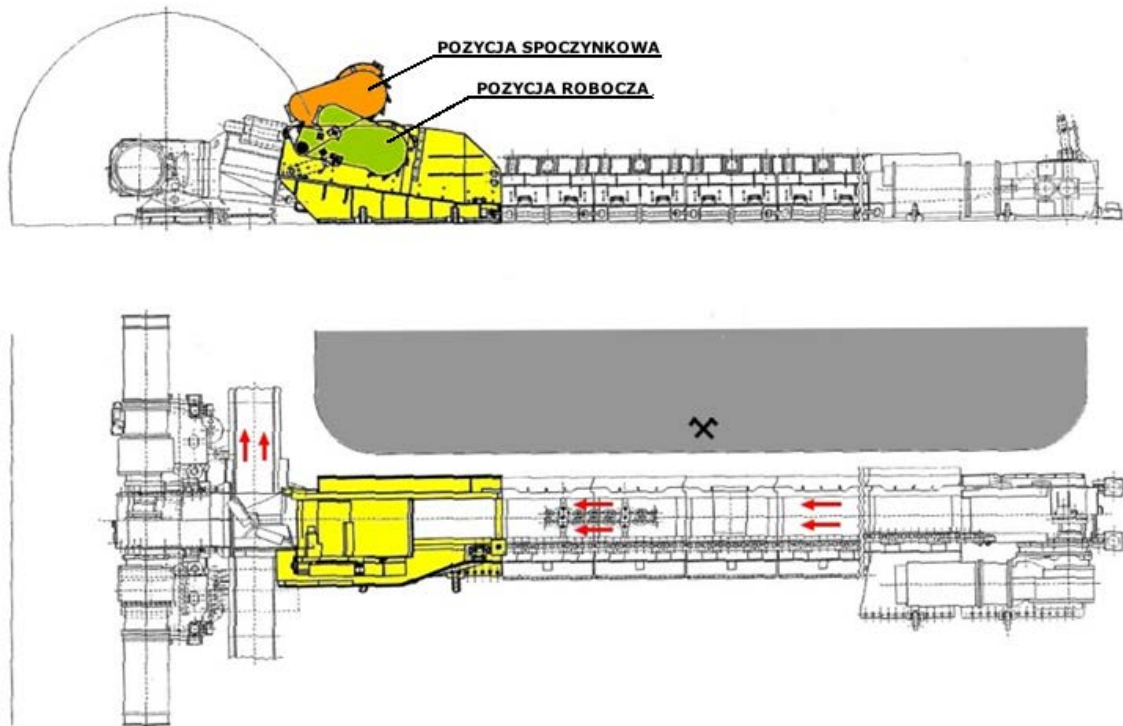
Kruszarki ścianowe przeznaczone są do kruszenia dużych brył urobku transportowanych przenośnikiem ścianowym ze ściany do strefy wysypu, których przekazanie na przenośnik podścianowy byłoby bardzo utrudnione lub niemożliwe [4]. Kruszarka ścianowa jest klasycznym obiektem dynamicznym, w którym układ napędowy narażony jest na duże obciążenia dynamiczne wynikające z przebiegu procesu kruszenia [2,6,10]. W procesie rozdrabniania urobku w kruszarkach ścianowych największy udział w nadawie ma węgiel kamienny. Ze względu jednak na przybierkę skał stopowych i spągowych kombajnem, występowanie przerostów w pokładzie węgla oraz samoistny opad skał stropowych na przenośnika ścianowy może ona zawierać również dużą ilość skały płonnej. W efekcie, układ napędowy kruszarki pracuje w trudnych warunkach, podlegając działaniu zmiennych obciążeń wynikających z własności mechanicznych rozdrabnianych skał, udziału skał twardych w nadawie oraz jej składu ziarnowego [5,8,7,11,].

Badania doświadczalne w warunkach eksploatacyjnych ścianowej kruszarki kęsów, z wykorzystaniem dedykowanej aparatury pomiarowo-rejestrującej, umożliwiają określenie wielkości i charakteru rzeczywistego obciążenia dynamicznego układu napędowego oraz identyfikację zjawisk dynamicznych towarzyszących jej

³ Mgr inż. Grzegorz Głuszek
Instytut Mechanizacji Górnictwa, Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail : grzegorz.gluszek@polsl.pl

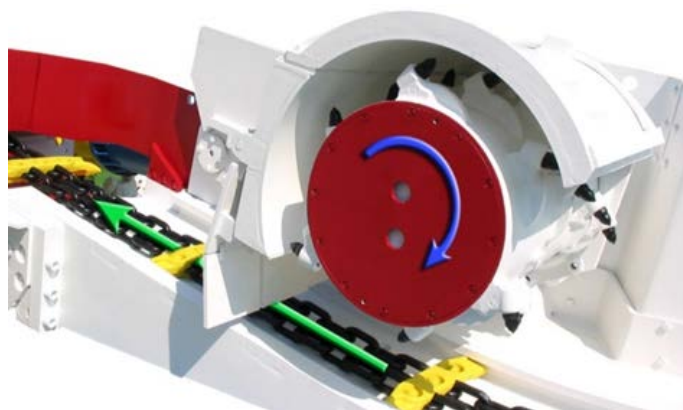
2 Ścianowa kruszarka kęsów jako obiekt pomiarowy

Obiektem badań była kruszarka KS4. Umiejscowiona jest ona w wyrobisku ścianowym na końcu ścianowego przenośnika zgrzeblowego, tuż przed przesypem (rys.1). Kadłub kruszarki mocowany jest do członu dołączonego przenośnika zgrzeblowego za pomocą wspornika. Dzięki przegubowemu zamocowaniu kadłuba kruszarki do rynny dołącznej przenośnika istnieje możliwość regulacji wysokości ustawienia bębna kruszącego nad płytą ślizgową przenośnika. Realizowane jest przez wychylenie kadłuba kruszarki za pomocą siłownika hydraulicznego.

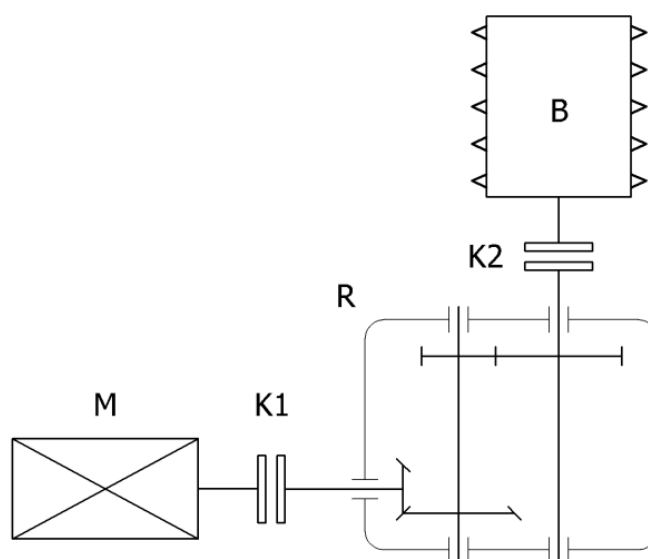


Rys.1 Ścianowa kruszarka kęsów KS4 zabudowana na przenośniku ścianowym
(źródło: [1])

W trakcie transportu urobku przenośnikiem ścianowym, ponadgabarytowe bryły urobku, których wymiary uniemożliwiają dalszą odstawę na przenośnik zgrzeblowy podścianowy, przechodzą przez strefę kruszenia, a więc miejsce, w którym noże osadzone na bębnie kruszącym rozdrabniają zbyt duże bryły urobku. W efekcie, duże bryły urobku rozdrobnione są na mniejsze ziarna, o wymiarach nie przekraczających wysokości szczeliny ustawionej pomiędzy bębniem kruszącym i płytą ślizgową przenośnika. Kierunek obrotu bębna kruszącego jest zgodny ze zwrotem odstawy przenośnika ścianowego (rys.2).



Rys.2 Stacjonarna ścianowa kruszarka węglowa KS4 (źródło: oprac. własne [2])



Rys.3 Schemat kinematyczny napędu ścianowej stacjonarnej kruszarki kęsów wykorzystanej do badań doświadczalnych (źródło: [3]): M - silnik napędowy, K1 i K2 - sprzęgła, R - przekładnia zębata, B - bęben kruszący

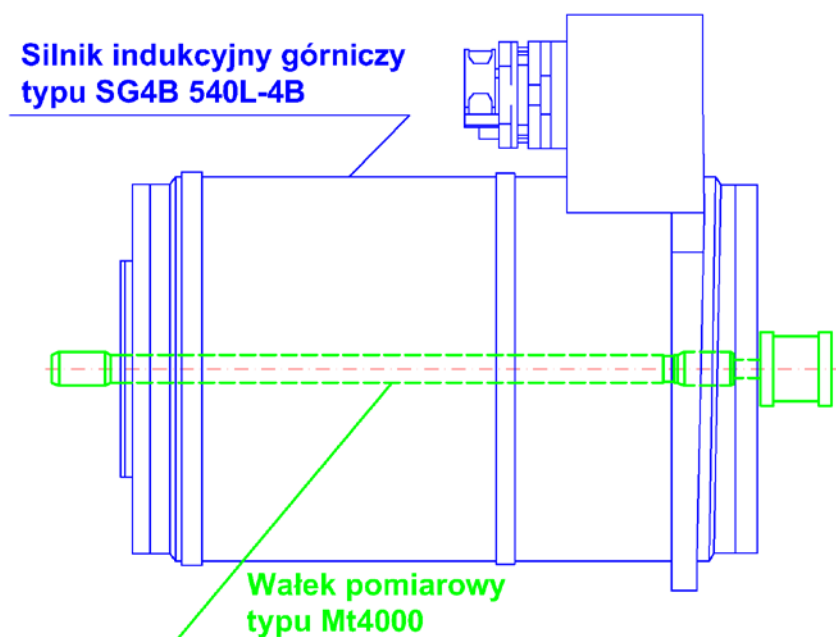
Układ napędowy ścianowej kruszarki kęsów składa się z (rys.3): silnika elektrycznego (M) wyposażony w wałek bezpieczeństwa, sprzęgła łączącego silnik z reduktorem (K1), reduktora (R), sprzęgła przeciążeniowego (K2) i bębna kruszącego (B). W układzie napędowym kruszarki KS4 zastosowano asynchroniczny silnik elektryczny o mocy nominalnej 200 kW [1]. Dalszą część napędu stanowi dwustopniowa przekładnia zębata stożkowo-walcowa. Zastosowanie stopnia stożkowego wynika z prostopadłego ustawieniem bębna kruszącego w stosunku do silnika napędowego w celu zminimalizowania miejsca zajmowanego przez napęd kruszarki. Bęben kruszący wykonany jest w formie walca o średnicy 660 mm [1], na którego pobocznicę umieszczone są odpowiednio usytuowane 24 noże kruszące. Ze względu na konstrukcję kruszarki, jej usytuowanie w wyrobisku ścianowym w rejonie skrzyżowania z chodnikiem podścianowym oraz warunki pracy, możliwości wykorzystania typowych

urządzeń pomiarowych i rejestrujących dla potrzeb badawczych są bardzo ograniczone. Z tego względu, dla potrzeb badań eksploatacyjnych kruszarki ścianowej KS4 opracowano dedykowaną aparaturę pomiarowo-rejestrującą, która zainstalowana została w kruszarce pracującej w ścianie jednej z kopalń węgla kamiennego.

3 Dedykowana aparatura pomiarowo-rejestrująca

Opracowany układ pomiarowy służy do pomiaru momentu obrotowego i prędkości obrotowej na wale silnika napędowego oraz monitorowania temperatury pracy układu pomiarowego. Ze względu na charakterystykę mechaniczną zastosowanego w badanej kruszarce silnika asynchronicznego, zakres pomiarowy momentu obrotowego wynosił 4000 Nm, a zakres pomiarowy prędkości obrotowej wynosił 2000 obr/min.

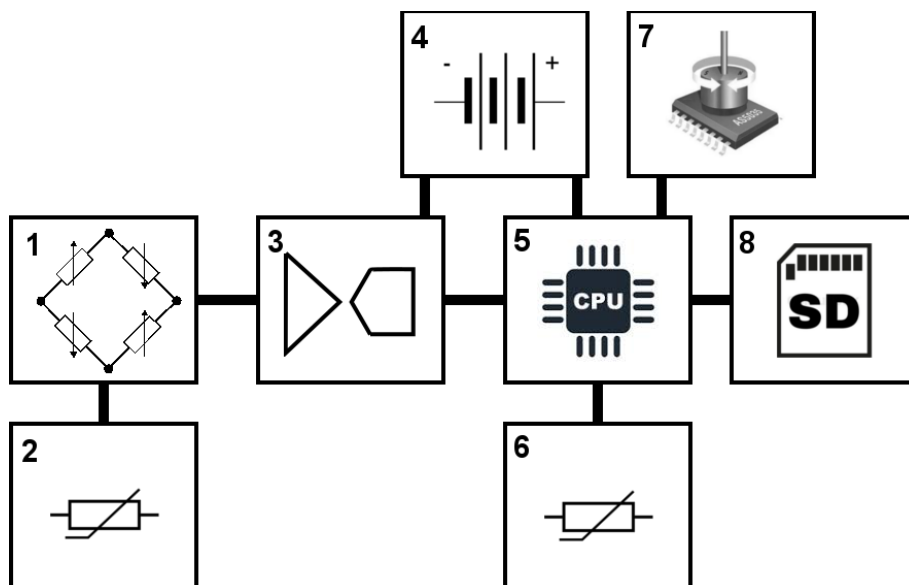
Ze względu na ograniczoną przestrzeń do zabudowy elementów układu pomiarowego w napędzie kruszarki, do pomiaru obciążenia dynamicznego kruszarki wykorzystano momentomierz zbudowany na bazie odpowiednio zmodyfikowanego wałka bezpieczeństwa stanowiącego integralną część silnika elektrycznego (rys.4).



Rys.4 Schemat miejsca montażu aparatury pomiarowo-rejestrującej
(źródło: opracowanie własne)

Strukturę układu pomiarowo-rejestrującego przedstawiono na rysunku 5. Pomiar momentu obrotowego odbywa się poprzez pomiar odkształceń skrętnych wału za pomocą mostka tensometrycznego (1). Sygnał elektryczny mostka tensometrycznego wzmacniany jest przez wzmacniacz pomiarowy i zamieniany na sygnał cyfrowy przez przetwornik ADC (3). Sygnał w postaci cyfrowej przekazywany jest dalej do jednostki centralnej (5), która przelicza odkształcenie na moment obrotowy. Prędkość obrotowa wału mierzona jest przez czujnik magnetyczny (7), który podaje informację do jednostki centralnej (5) o aktualnym położeniu wału, a jednostka centralna (5), wyznacza na tej

podstawie prędkość obrotową wału. Wartość momentu obrotowego i prędkości obrotowej zapisywana jest do pliku na kartę pamięci SD (8). Dodatkowo, układ umożliwia pomiar temperatury w miejscu mocowania mostka tensometrycznego (2) i samego układu pomiarowego (6). Układ pomiarowo-rejestrujący zasilany jest z wewnętrznego wymiennego źródła bateryjnego (4). Zaletą tego rozwiązania jest autonomiczność (brak konieczności prowadzenia okablowania oraz korzystania z zewnętrznych źródeł zasilania), łatwość transportu i montażu. Ma to istotne znaczenie w przypadku pomiarów maszyn przodkowych realizowanych w podziemnych wyrobiskach górniczych. Istotną cechą jest również brak potrzeby jakiegokolwiek adaptacji obiektu badań dla potrzeb realizacji pomiarów.



Rys.5 Schemat układu pomiarowo-rejestrującego (źródło: opracowanie własne):
 1 - mostek tensometryczny, 2 - czujnik temperatury wałka pomiarowego,
 3 - wzmacniacz i przetwornik ADC, 4 - bateryjne źródło zasilania, 5 - jednostka centralna (mikrokontroler), 6 - czujnik temperatury we wnętrzu elektroniki, 7 - enkoder magnetyczny, 8 - wymienna karta pamięci SD

Ze względu na trudne warunki pracy układu pomiarowo-rejestrującego, układy elektroniczne i źródło zasilania zostały szczelnie zamknięte w specjalnej metalowej obudowie (rys.6). Kompletny układ pomiarowo-rejestrujący gotowy do transportu do miejsca prowadzenia badań pokazano na rysunku 7.



Rys.6 Momentomierz zabudowany w silniku napędowym kruszarki ścianowej KS4 w trakcie testów w hali montażowej (źródło: opracowanie własne)



Rys.7 Momentomierz Mt4000 z układem rejestrującym (źródło: oprac. własne)

4 Badania dołowe ścianowej kruszarki kęsów

Badania przeprowadzone zostały w jednej z kopalń węgla kamiennego w ścianie o wysokości od 3,80 m do 4,40 m i długość 90 m. Ściana wydobywcza prowadzona była w systemie z zawalem stropu. Pokład wybierany był przez kombajn ścianowy KSW1140, zaś transport urobku ze ściany odbywał się przenośnikiem Rybnik1100. Ze względu na dużą miąższość eksploatowanego pokładu, kompleks ścianowy wyposażony był w kruszarkę kęsów KS4. Na rysunku 8 i 9 pokazano kruszarkę KS4 eksploatowaną w ścianie, w której prowadzone były badania. Na zdjęciach widoczny jest bęben kruszący wyposażony w noże stożkowe, zabudowany wewnątrz osłony, na której rozmieszczona jest bateria dysz zraszających (rys.8) oraz osłonę części elektronicznej momentomierza wystającą z pokrywy tylnej silnika napędowego (rys.9).



Rys.8 Ścianowa kruszarka KS4 w wyrobisku ścianowym [źródło: oprac. własne]

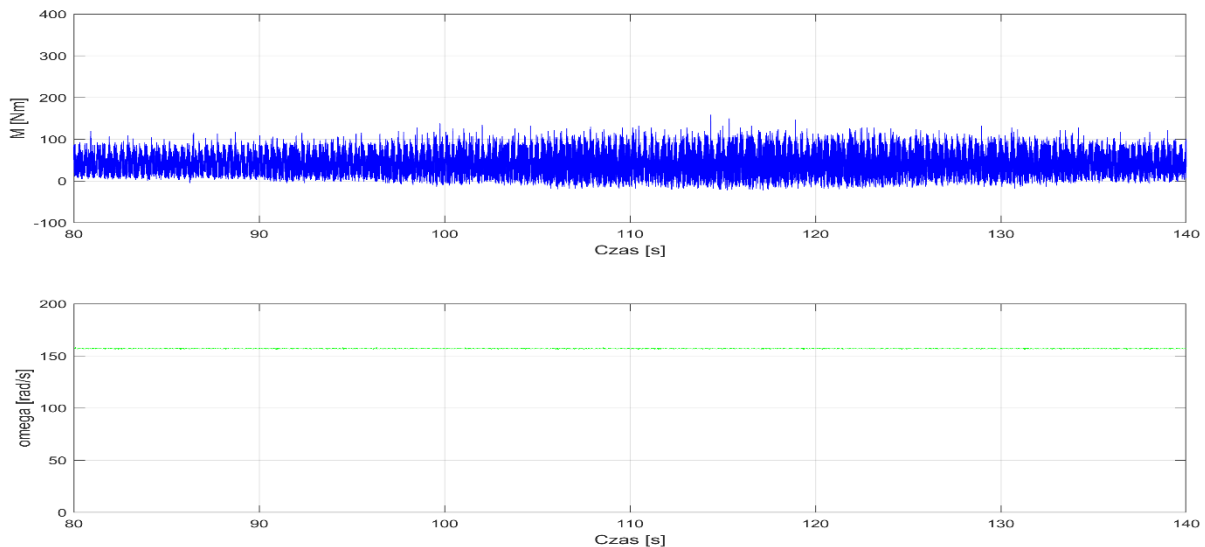


Rys.9 Układ pomiarowo-rejestrujący zabudowany w kruszarce KS4 w wyrobisku ścianowym (źródło: opracowanie własne)

5 Przykładowe wyniki pomiarów eksploatacyjnych ścianowej kruszarki kęsów KS4

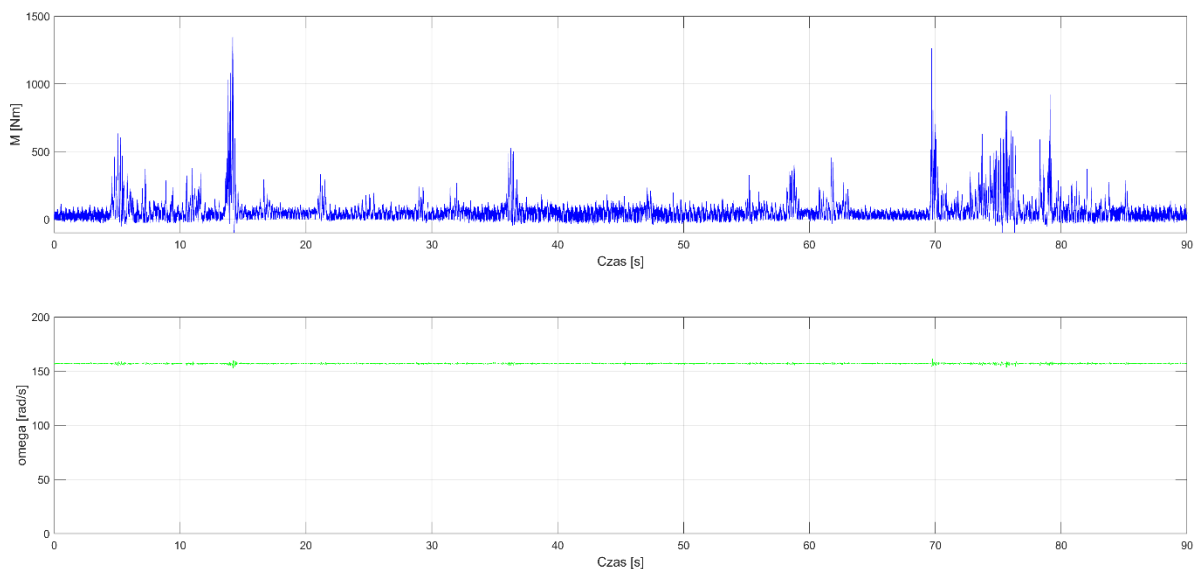
Badania doświadczalne prowadzone były w trakcie trwania zmiany wydobywczej przy normalnym biegu ściany. Aparatura rejestrowała przebieg obciążenia dynamicznego napędu kruszarki kęsów w sposób ciągły przez okres jednej zmiany wydobywczej.

Na wykresach przedstawionych na rysunku 10 pokazano fragment danych z pomiarów przedstawiających przebieg momentu obrotowego (kolor niebieski) i prędkości kątowej (kolor zielony) w trakcie pracy kruszarki na biegu jałowym. Przebieg momentu obrotowego na biegu luzem charakteryzował się zakresem zmienności od wartości - 22 do 159 Nm - średnie obciążenie momentem na wale silnika napędowego kruszarki wynosiło 42 Nm. Prędkość kątowa wału silnika napędowego dla biegu jałowego wyniosła 157 rad/s. Zarejestrowany przebieg obciążenia jest odwzorowaniem oporów własnych układu napędowego.



Rys.10 Fragment przebiegu momentu i prędkości kątowej na biegu jałowym kruszarki

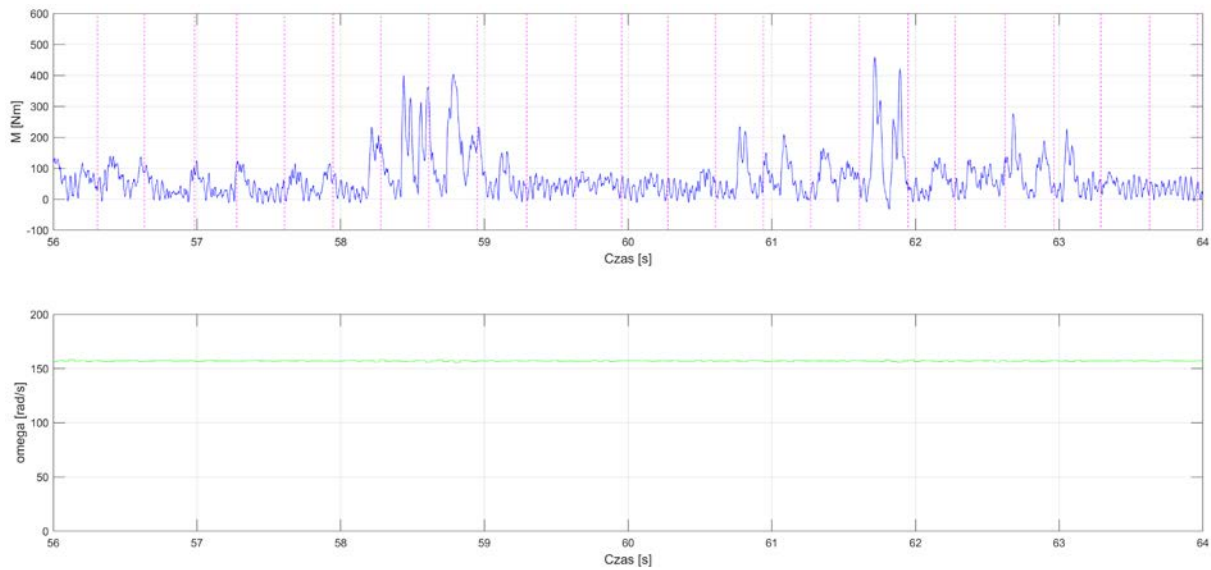
Rysunek 11 przedstawia 90 sekundowy fragment przebiegu momentu i prędkości kątowej w trakcie pracy kruszarki. W przebiegu momentu obrotowego na wale silnika w napędzie kruszarki widoczne są wyraźnie przedziały czasowe, w których realizowany był proces kruszenia. Rozdrabnianiu urobku towarzyszył bowiem niejednokrotnie silny wzrost obciążenia dynamicznego, ponad wartość odpowiadającą biegowi jałowemu kruszarki. Doraźny charakter pracy kruszarki wynika z ustawienia określonej wysokości bębna kruszącego od trasy przenośnika ścianowego takiej, aby kruszone były jedynie duże bryły urobku, które mogłyby powodować zatory na przesypie przenośnika.



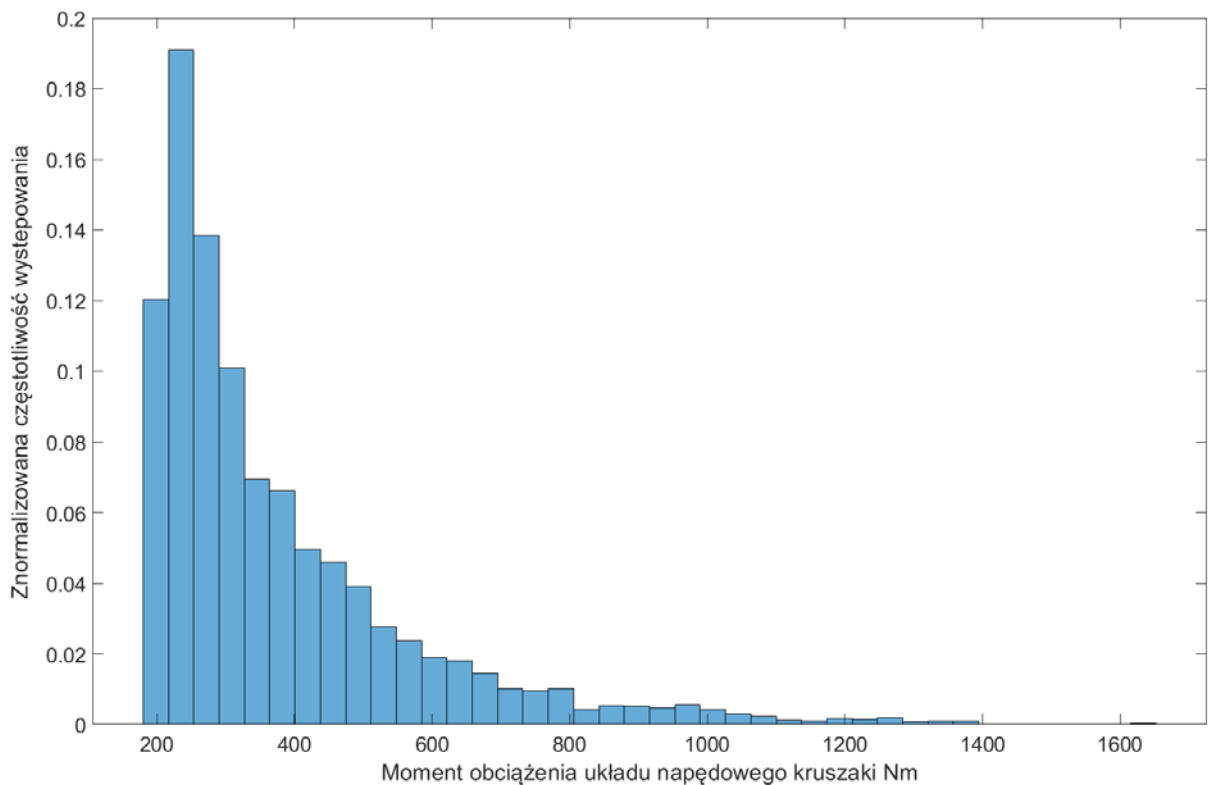
Rys.11 Fragment przebiegu momentu i prędkości kątowej w trakcie 90 s pomiaru

W analizowanym 90 s fragmencie przebiegu, obciążenie dynamiczne w takcie kruszenia dochodziło niekiedy do 1400 Nm, (nie przekraczało zatem wartości nominalnej silnika zainstalowanego w badanej kruszarce). Wynikało to z tego, iż nadaw składała się zasadniczo z brył węgla o relatywnie małej wytrzymałości na ściskanie, nie przekraczającej 15 MPa). Zmianom obciążenia na wale silnika w trakcie realizacji procesu kruszenia towarzyszyły zmiany jego prędkości kątowej (rys.11 - linia w kolorze zielonym). Prędkość kątowa zmieniała się jednak w nieznacznym stopniu, co świadczy z jednej strony o dość niskim (jak na możliwości badanego napędu) stopniu obciążenia. Z drugiej strony, wynika to z dużej bezwładności napędu, co przeciwdziała gwałtownym zmianom prędkości pod wpływem krótkotrwałego wzrostu obciążenia. Prędkość kątowa wału silnika kształtuje się zasadniczo na poziomie prędkości nominalnej wynoszącej 157 rad/s.

Układ pomiarowy aparatury rejestrującej posiadał w swej konstrukcji czujnik do pomiaru prędkości kątowej, który miał dodaną funkcjonalność do rejestrowania kolejnych obrotów wału silnika. Na rysunku 12 przedstawiono powiększony fragment przebiegu z rysunku 11, gdzie pokazano 8 sekundowy przebieg momentu i prędkości kątowej wraz z naniesionymi pionowymi znacznikami obrazującymi kolejne obroty bębna kruszarki wyliczane ze znaczników obrotów na wale silnika napędowego.



Rys.12 Fragment przebiegu momentu i prędkości kątowej w trakcie 8 s pomiaru



Rys.13 Histogram momentu obciążenia z pomiarów eksploatacyjnych

Na rysunku 13 pokazano histogram momentu obciążenia napędu kruszarki z pomiarów eksploatacyjnych. Histogram ten został przygotowany z przebiegu pomiarowego momentu obrotowego przedstawionego na rysunku 11. Z histogramu odczytać można, iż obciążenie napędu kruszarki w dużej części znajdują się w przedziale obciążeń od 200 do 400 Nm – stanowi to około 70% przypadków. Duże wartości obciążeń sięgające nominalnej wartości momentu dla silnika napędowego wynoszącej

1400 Nm występują sporadycznie. Przewidywany rozkład obciążeń w większości wynika z charakteru nadawy poddanej procesowi kruszenia, którą był węgiel o reatywnie małej wytrzymałości na ściskanie.

6 Wnioski

Badania doświadczalne realizowane w warunkach eksploatacyjnych w kopalniach podziemnych wymagają stosowania aparatury pomiarowo-rejestrującej o specjalnej konstrukcji, odpornej na warunki środowiskowe panujące w wyrobiskach górniczych oraz spełniającej wymagane normy bezpieczeństwa. Oznacza to, iż w wielu wypadkach wykorzystanie standardowych przyrządów pomiarowych jest mocno ograniczone, lub wręcz niemożliwe. W trakcie projektowania aparatury pomiarowej dla wyżej wymienionych zastosowań należy brać pod uwagę również ograniczoną przestrzeń dla jej zabudowy, wynikającą z konstrukcji badanej maszyny oraz miejsca jej pracy. Ze względów praktycznych wskazane jest ograniczenie do minimum konieczności adaptacji badanego obiektu do badań, a zastosowana aparatura pomiarowa powinna być łatwa do transportu dołowego i montażu. Powinna być także autonomiczna, co oznacza brak konieczności prowadzenia przewodów zasilających i sygnałowych poza badaną maszynę. Cechy te spełnia opracowany w Katedrze Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej układ do pomiaru obciążeń dynamicznych w kruszarce ścianowej.

Badania eksploatacyjne maszyn górniczych, tak trudne do realizacji ze względów technicznych oraz organizacyjnych, są niezwykle cenne, gdyż dostarczają wiedzę o rzeczywistym stanie obciążania danej maszyny, jej podzespołów oraz napędów w trakcie realizacji procesu roboczego. Stanowią one ważne źródło informacji dla konstruktorów oraz badaczy zajmujących się doskonaleniem konstrukcji maszyn górniczych.

Zaprezentowane w niniejszym referacie badania doświadczalne ścianowej kruszarki KS4 i uzyskane w trakcie ich realizacji charakterystyki dynamiczne jej napędu wskazują na skomplikowany charakter przebiegu procesu kruszenia urobku oraz silnie dynamiczny jego charakter. Stanowią one niezbędny etap w analizie skomplikowanych zjawisk dynamicznych towarzyszących pracy tak z pozoru prostego urządzenia!

Literatura

- [1] Dokumentacja techniczno-ruchowa ścianowej kruszarki kęsów KS-4. 3
- [2] Dolipski M. a G. Głuszek. Komputerowe wyznaczenie przebiegu prędkości kątowej w układzie napędowym kruszarki urobku. *In Technicka Diagnostika, No. 1, Czechy 2010.*
- [3] Dolipski M. a G. Głuszek. Procesy i zjawiska zachodzące podczas kruszenia w stacjonarnej kruszarce kęsów. *In Technicka Diagnostika, No. 1, Czechy 2011.*
- [4] Feliks. J. a A. Filipowicz. Ścianowa kruszarka urobku. *In Inżynieria I Aparatura Chemiczna, 48, nr 4, 2009.*
- [5] Feliks. J. a A. Filipowicz. Zastosowanie teorii rozdrabniania do doboru mocy w kruszarce węgla. *In Inżynieria I Aparatura Chemiczna, 48, nr 4, 2009.*

- [6] Gawenda T. Kruszarki wirnikowe udarowe w produkcji kruszyw mineralnych. *In Surowce i Maszyny Budowlane*, nr 4, 2010.
- [7] Ikebudu Kingsley .O, Chinwuko E. C, and D. Jude Ezechi. Measurement of Crushing Strength of Coal Agglomerates. *In Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol III, 2011.*
- [8] Mirosznichenko D. V.: Crushing Properties of Coal. *In Coke and Chemistry, Vol. 56, No. 12, 2013.*
- [9] Sidor, J. Feliks, J. a M. Mazur. Kruszarki do rozdrabniania węgla w warunkach kopalń podziemnych. *In Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 3, 2013.*
- [10] Sidor, J. a A. Klich. *Współczesne maszyny do rozdrabniania - kruszarki i młyny.* ITG Komag, Gliwice 2018.
- [11] ZHANG Li-song, YAN Xiang-zhen, YANG Xiu-juan, TIAN Zhong-lan and Heng-lin YANG. Failure probability analysis of coal crushing induced by uncertainty of influential parameters under condition of in-situ reservoir. *In Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol. 21, 2014.*

OPTIMALIZACE PROCESŮ ÚPRAVY ELEKTRÁRENSKÉHO POPÍLKU

David HIRMAN, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most ⁴

Anotace

Popílek, vznikající jako odpad při spalování uhlí v elektrárně, může být zhodnocen přimícháním do směsí pro výrobu betonu, jestliže má určité chemické a fyzikální vlastnosti, předepsané normou ČSN EN 450-1 [1]. K jejich dosažení se popílek v případě nutnosti upravuje, např. mletím, mícháním atd.

Modernizované odlučovače popílku produkuje ve srovnání s původním zařízením popílek s odlišnými vlastnostmi. Proto je nutné následně modifikovat i technologii úpravy popílku. Modifikacemi provozní jednotky elektrárny pro úpravy popílku, jeho skladování a expedici, se zabývá tato disertační práce.

Annotation

Fly ash, produced as waste during the combustion of coal in a power plant, can be evaluated by adding into mixtures for the production of concrete, if it has certain chemical and physical properties, prescribed by the ČSN EN 450-1 standard. To achieve them, the fly ash is modified if necessary, e.g. by grinding, mixing, etc.

Modernized ash separators produce ash with different properties compared to the original equipment. Therefore, it is necessary to subsequently modify the ash treatment technology. Modifications of the operational unit of the power plant for ash treatment, its storage and dispatch are dealt with in this dissertation.

1 Úvod

Při výrobě elektrické energie v uhelných elektrárnách vzniká značné množství odpadních produktů, jako je např. popílek. Již dlouho se proto objevují snahy popílek dále využít a pokud možno ekonomicky zhodnotit.

Jednou z variant je použití popílku při výrobě betonu. Popílek nahrazuje v betonu část portlandského cementu, což přináší výhody ekonomické i ekologické (je možné ušetřit část portlandského cementu, vyznačujícího se energeticky náročnou výrobou).

Různé typy uhlí a různé druhy kotlů používané při spalovacím procesu produkuje různé popílky, z nichž pouze některé mají vhodné vlastnosti pro použití do betonu.

Aby popílek vyhovoval normě, může se před použitím upravovat například tříděním, proséváním, sušením, smícháváním, mletím nebo snižováním obsahu uhlíku k docílení optimální jemnosti, snížení obsahu nutné vody nebo zlepšení jiných vlastností.

⁴ Ing. David Hirman
Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s.
tř. Budovatelů 2830/3, 434 01 Most
tel.: +420 724 115 255, e-mail: hirman@vuhu.cz

2 Základní údaje

2.1 Požadavky na popílek

Norma ČSN EN 450-1 [1] Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody, vydaná v únoru 2013, stanovuje požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti popílku: Základní vlastností je pro nás tzv. jemnost popílku. Musí být vyjádřena v % zůstatku popílku při prosévání na síť 0,045 mm. Nesmí přesáhnout 40 % hmotnosti a nesmí kolísat o více než ± 10 % deklarované hodnoty.

2.2 Příklad současného stavu řešené problematiky

Elektrárna Tušimice produkuje asi 1,5 milionu tun popílku za rok. Její součástí je provozní jednotka nazývaná „Distribuční centrum“ pro využití popílku. Obsahuje zařízení pro skladování, míchání a expedici, navazující na dopravu popílku z odlučovačů.

2.2.1 Původní stav technologie

Spaliny z kotle putovaly do elektroodlučovačů (EO), produkujících tři frakce zrnitosti popílku, které se mohly v DC míchat na popílek s potřebnými vlastnostmi, tudíž mohla být část produkce prodávána zákazníkům jako příměs do betonu.

2.2.2 Současný stav technologie

Jelikož došlo ke zpřísnění emisních limitů, elektroodlučovače musely být nahrazeny látkovými filtry. Látkové filtry produkují pouze jednu frakci, ta ale svými vlastnostmi nevyhovuje normě, především je nedostatečná fyzikální vlastnost jemnost popílku. Všechny popílek je tedy v současnosti méně výhodně používán pouze pro výrobu Deponátu a kameniva do betonu.

3 Cesta spalin a popílku

V této kapitole je stručně popsána technologie uhelné elektrárny Tušimice a možnosti jejích úprav. Elektrárna má 4 bloky, označované jako A, B, C, D. Každý z nich je tvořen zejména kotlem s příslušenstvím a turbogenerátorem s kondenzátorem.

Následuje kanál odvodu spalin, který se u každého bloku rozděluje a prochází následujícími zařízeními:

- rotační přehříváč spalovacího vzduchu Ljungström,
- látkový (textilní) odlučovač pevných částic,
- odsiřovací zařízení,
- chladič věž ve funkci komína.

V kouřových kanálech rotačního přehříváče spalovacího vzduchu Ljungström dochází vlivem setrvačnosti a gravitace k mechanickému odlučování nejhrubší frakce popílku, který je ve spodní části jímán a pneumaticky dopravován do betonových sil.

Zde se nabízí možnost zvýšit účinnost odlučování popílku vhodnou úpravou tvaru kouřových kanálů. Jelikož je ale primární funkcí jmenovaného zařízení přehřev spalovacího vzduchu, což je pro ekonomiku provozu elektrárny značně důležité, nejeví

se možnost úprav zde jako velmi reálná, provozovatel nebude chtít připustit jakékoliv riziko ohledně činnosti tohoto výměníku tepla.

Látkový odlučovač pevných částic, viz obrázek 1, je vyroben jako vzduchotěsná skříň, s půdorysnými rozměry asi 15 x 15 m a s podobnou výškou, rozdělená horizontální přepážkou, v níž jsou upevněny textilní rukávce, visící dolů, plnící roli vlastních filtrů. Na jejich vnějším povrchu se hromadí popílek, který je v případě potřeby sklepáván krátkými pulsy stlačeného vzduchu shora (regenerace filtrů).



Obr.1 Objekt látkových filtrů bloku B

Horní částí skříně jsou pak odváděny spaliny již zbavené naprosté většiny tuhých znečišťujících látek.

Před vstupem spalin do textilních filtračních rukávců se ve spodní části skříně využívá princip gravitačního a setrvačnostního předodlučovače. Rozvedením proudu plynu do celého průřezu skříně dojde vlivem snížení rychlosti a změny směru proudění s odloučením hrubších částic popílku. Dno spodní části skříně, kam klesá odseparovaný popílek, je opatřeno devíti výsypkami, pod nimiž se nachází tzv. depaky, viz obr.2, tedy zařízení pro shromažďování popílku a jeho dopravu do betonových sil. Především tato část technologie bude nadále objektem naší pozornosti.

Depak je ocelová nádoba o objemu asi 400 l, umístěná pod kuzelem výsypky. Je vybaven uzavíracími armaturami, měřením výšky hladiny popílku, přívodem tlakového vzduchu a výstupním potrubím pneumatické dopravy popílku. Také je zde možné odebírat vzorky popílku.

Potrubí pneumatické dopravy směřuje do betonových sil, viz obr.3, s odbočkou do distribučního centra. V distribučním centru je trvale v provozu vzorkovací stanice, kde jsou denně získávány vzorky popílku.



Obr.2 Nulté podlaží objektu látkových filtrů s tzv. depaky



Obr.3 Odbočka pseudopravy popílku před betonovými sily do Distribučního centra

4 Návrh možných cest

Při řešení problematiky je snahou v maximální míře využít stávajícího zařízení a minimalizovat riziko narušení chodu spolehlivě fungujících technologií. Depaky a potrubí pneudopravy do betonových sil nabízejí takovou možnost.

Především bude prozkoumáno, jakým způsobem se odlučuje popílek v jednotlivých částech látkového odlučovače. Vzhledem ke složitému pohybu proudu spalin ve spodní části skříně existuje předpoklad, že odlučování pevných částic může být v různých částech látkového odlučovače rozdílné. Bude tedy sledováno množství popílku v každém z devíti depaků jednoho z objektů látkových filtrů. Rovněž budou z každého z devíti depaků odebírány vzorky popílku a posílány k analýze. To vše se bude dít při různých výkonech elektrárenského bloku a při různých kvalitách spalovaného uhlí. Jestliže se potvrdí tento předpoklad, došlo by k přepojení pneumatické dopravy a tak k oddělenému transportu jemnější frakce popílku do distribučního centra.

Jako další možnost, případně v kombinaci s možností předchozí, je zvažováno vsazení jednoduchého mechanického odlučovače, pravděpodobně cyklonu, do některého z potrubí pneudopravy z depaků do betonových sil. Je proto hledán vhodný typ takového odlučovače.

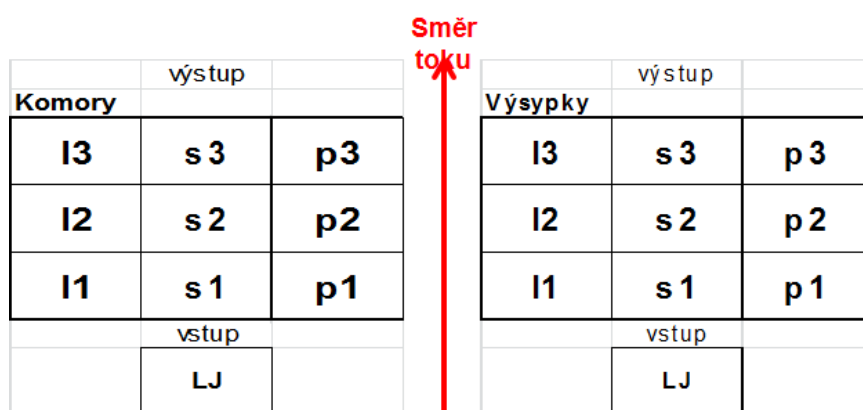
Oběma postupy by bylo možné získat relativně s nízkými náklady jemnější frakci popílku.

Další původně zvažované možnosti, jako zvýšení separace v ljungrömech, úpravy tvaru spodní části skříně látkových filtrů, instalace sít nebo mlýnu do potrubí pneumatické dopravy popílku, jsou v tomto okamžiku vzhledem k nejistým výhledům provozu elektrárny považovány za méně reálné.

5 Výsledky měření a jejich předběžný rozbor

5.1 Rozložení popílku do jednotlivých depaků

Bylo zjišťováno rozložení popílku do jednotlivých výsypek, resp. depaků, v obou částech látkového filtru bloku B elektrárny Tušimice. Dále je uvedeno půdorysné schéma, obr.4, a získané hodnoty, tabulka 1.



Obr.4 Půdorysné schéma rozložení výsypek popílku pod dvojicí objektů látkových filtrů. Stejně uspořádání existuje pro každý elektrárenský blok. (LJ - ljungröm; l, s, p 1÷3 - jednotlivé výsyvky popílku s depaky na dolním konci)

Tab.1 Rozložení popílku (TZL) do jednotlivých výsypek látkových filtrů (LF) při plném výkonu bloku elektrárny a palivu s garančním průměrem

Levý LF - Maximální výkon						Pravý LF - Maximální výkon					
VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]	VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]	VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]	VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]	VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]	VÝSYPKA	Tok TZL [t/h]
L3	3,7	S3	0,7	P1	4,0	L3	4,0	S3	0,7	P1	3,7
L2	4,3	S2	3,1	P2	4,2	L2	4,2	S2	3,1	P2	4,3
L1	3,1	S1	1,5	P3	3,9	L1	3,9	S1	1,5	P3	3,1

Ze zjištěných výsledků plyne, že popílek se v různých částech látkových filtrů odlučuje nesteromně, a že tato nesteromnost se nemění ani při různých výkonech elektrárny a různých kvalitách spalovaného uhlí (kteráto měření rovněž byla provedena). Z toho se dá předběžně usuzovat, že i jemnost odloučeného popílku je v jednotlivých částech látkového filtru rozdílná.

5.2 Jemnost popílku v distribučním centru

Ze vzorkovacích stanic v distribučním centru jsou pravidelně získávány denní sesypové vzorky popílku a posílány do laboratoře. Následují měsíční průměry z let 2022 až 2023, tedy s elektrofiltry i s látkovými filtry. Byla zjišťována jemnost popílku (nadsítné 0,045 mm, požaduje se nejvýše 40 %), tabulka 2, dále rovněž měsíční průměry rozložení jednotlivých frakcí jemnosti ve směsi popílku, tabulka 3.

Tab.2 Jemnost popílku (nadsítné 0,045 mm, požaduje se nejvýše 40 %), vzorky odebírány na linkách (L) 1 a 2 Distribučního centra. Období látkových filtrů od 20. 5. 2022.

Datum	L1 nadsítné 0,045 mm [%]	L2 nadsítné 0,045 mm [%]
01.01.2022	34,03	32,71
01.02.2022	33,11	31,28
01.03.2022	32,86	29,69
01.04.2022	28,69	26,24
01.05.2022	41,32	42,48
01.06.2022	49,26	
01.10.2022	42,87	
01.11.2022	42,08	
01.12.2022	50,53	
01.01.2023	47,13	
01.02.2023	45,16	
01.03.2023	34,70	
01.04.2023	45,16	
01.05.2023	45,63	
01.06.2023	48,14	
01.07.2023	48,00	

Tab.3 Rozložení jemnosti jednotlivých frakcí popílku ve směsi, vzorky odebírány na lince 1 (L1) a v síle Distribučního centra.

Datum	L1 - podsítné 2,00 mm [hm.%]	L1 - podsítné 0,125 mm [hm.%]	L1 - podsítné 0,063 mm [hm.%]	Silo - podsítné 2,00 mm [hm.%]	Silo - podsítné 0,125 mm [hm.%]	Silo - podsítné 0,063 mm [hm.%]
01.01.2022				99,59	84,67	58,20
01.02.2022				99,48	85,16	60,97
01.03.2022				99,42	84,62	58,50
01.04.2022				99,35	84,25	58,83
01.05.2022	99,72	82,74	54,34	99,78	83,14	55,11
01.06.2022	99,56	84,25	55,92	99,50	86,70	62,73
01.07.2022	99,39	84,75	58,65	99,55	83,33	43,40
01.08.2022	99,45	84,08	56,68	99,60	84,25	54,58
01.09.2022	99,48	84,51	59,06			
01.10.2022	99,65	84,08	53,90			
01.11.2022	99,35	84,73	59,33	99,40	79,40	50,10
01.12.2022	99,38	82,08	55,50			
01.01.2023	99,57	85,23	59,67			
01.02.2023	99,53	84,35	57,90			
01.03.2023	99,58	93,08	70,90			
01.04.2023	99,53	84,55	59,48			
01.05.2023	99,66	87,90	62,48			
01.06.2023	99,50	85,10	58,88			
01.07.2023	99,50	83,90	58,43			

Výsledky demonstrují, že v dobách provozu elektrostatických filtrů dosahovala jemnost popílku normou předepsaných hodnot a že od zavedení látkových filtrů není tento požadavek plněn.

Také je zde vidět podíl hrubých frakcí, tedy těch, kterých se zavedením příslušných opatření chceme zbavit.

5.3 Jemnost popílku z jednotlivých depaků látkových filtrů

Jelikož první výsledky měření ukazují na možnost, že v různých částech látkových filtrů skutečně dochází k separaci popílku o rozdílné jemnosti, bylo přikročeno k odebírání vzorků popílku z jednotlivých depaků. Tyto vzorky jsou v současné době analyzovány v laboratoři a výsledky budou známy asi ve druhé polovině měsíce září roku 2023.

6 Naznačení provozně - ekonomických aspektů

V prvním pololetí roku 2023 byla nízká poptávka po elektřině z elektrárny Tušimice. Elektrárna tak několik měsíců pracovala na poloviční výkon, nebo byla odstavena (to také zdrželo postup odebírání vzorků). V současnosti je naopak poptávka po

elektríně z elektrárny Tušimice vysoká s pozitivním výhledem nejméně do konce letošního roku. Nedá se říct, čím jsou tyto výkyvy způsobeny. Takto se pravděpodobně bude „trh“ chovat až do plánovaného uzavření uhelných elektráren.

Naproti tomu poptávka po popílku přidávaného do betonu má rostoucí trend.

Své zákazníky si oproti původnímu očekávání nachází i současný produkt s hrubšími frakcemi popílku, zde je problémem nižší cena za výrobek. Pokud by došlo k rozhodnutí neobnovovat produkci popílku do betonu, bylo by navíc nutné distribuční centrum rekonstruovat, jelikož v současnosti obsahuje řadu dále již nepotřebných prvků pro míchání jednotlivých frakcí popílku, prodávajících provoz i údržbu.

3 Závěr

Popílek, vznikající jako odpad při spalování hnědého uhlí v elektrárnách, je možné zhodnotit jeho přimícháním do betonu. Úpravy popílku na požadované vlastnosti stanovené normou, jeho skladování a distribuci, zajišťuje zvláštní provozní jednotka elektrárny, Distribuční centrum.

Modernizace odlučování pevných částic v elektrárně vedla ke změně vlastností popílku a ty již nesplňují předepsané nároky normy. Jelikož na trhu je o popílek do betonu neutuchající zájem za výhodné ceny, je zvažováno, jakým způsobem obnovit jeho produkci. Vzhledem k předpokládané krátké zbývající době provozu uhelných elektráren musejí být navržena opatření pokud možno nenákladná a jednoduchá.

Jako nejvhodnější opatření pro opětovné dosažení předepsaných vlastností popílku se v současnosti jeví oddělené získávání frakcí popílku s rozdílnou jemností v různých částech látkových filtrů. Tato možnost je prověřována.

Jako druhá, popř. doplňková možnost, se posuzuje vsazení jednoduchého mechanického odlučovače do vybraného potrubí pneumatické dopravy popílku od látkových odlučovačů do skladovacích sil.

Tak se z odpadu znovu stane cenná a potřebná surovina.

Literatura

- [1] ČSN EN 450-1, *Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*. Třídící znak: 722064, vydána 02/2013, Český normalizační institut, Praha

DETEKCE VIBRACÍ ROTUJÍCÍHO PLÁŠTĚ DOPRAVNÍHO VÁLEČKU NA LABORATORNÍM STROJI

Leopold HRABOVSKÝ, VŠB-TU Ostrava ⁵

Štěpán PRAVDA, VŠB-TU Ostrava ⁶

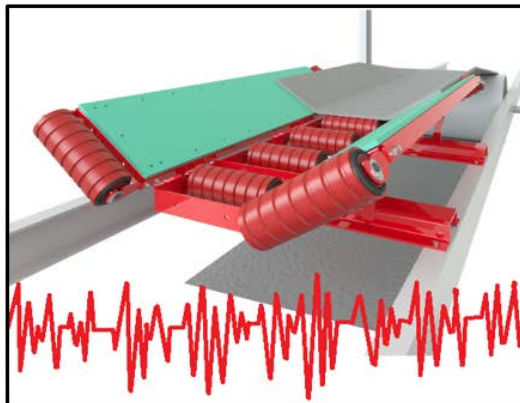
Eliška NOVÁKOVÁ, VŠB-TU Ostrava ⁷

Daniel KURAČ, VŠB-TU Ostrava ⁸

Poznámka: Příspěvek zpracován na základě dodané PowerPointové prezentace.

1 Ekologie x ekonomika

- Vibrace
- Hluk
- Prašnost



Rotující části dopravníku



Dálková pásová doprava na povrchovém dole



0 decibelů:
neslyšíme

70 decibelů:
bezpečná hladina hluku

140 decibelů:
ztráta sluchu

⁵ doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FS, Katedra konstruování
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba

tel.: +420 596 994 524, +420 596 993 185, e-mail: leopold.hrabovsky@vsb.cz

⁶ Ing. Štěpán Pravda

tel.: +420 597 324 452, mobil: +420 702 072 408, e-mail: stepan.pravda.st@vsb.cz

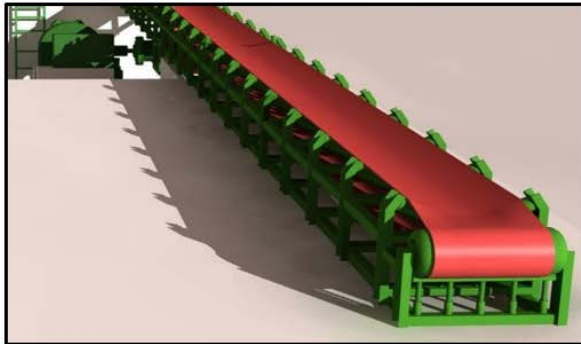
⁷ Ing. Eliška Nováková

tel.: +420 597 324 452, e-mail: eliska.novakova.st1@vsb.cz

⁸ Ing. Daniel Kurač

tel.: +420 597 324 452, e-mail: daniel.kurac.st@vsb.cz

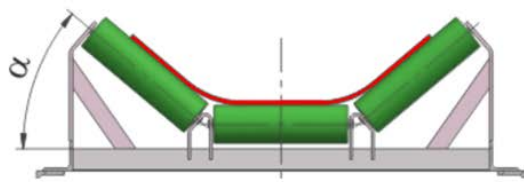
2 Pásový dopravník



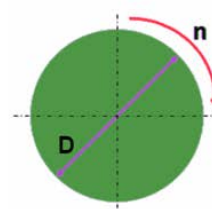
Konstrukční řešení pásového dopravníku



Pásový dopravník zrnitého materiálu



Girlanda pásového dopravníku

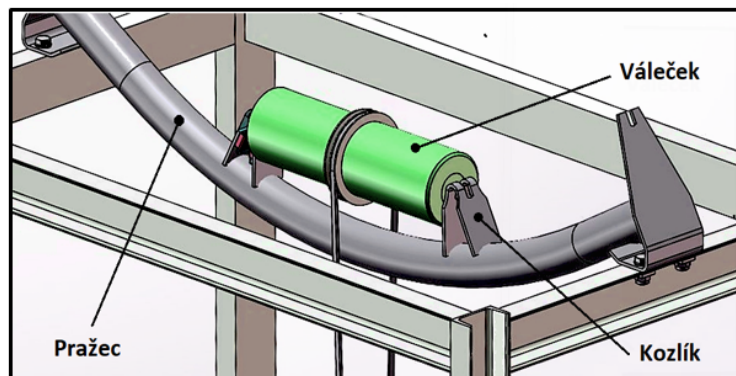


Obvodová rychlost:

$$v = \pi \cdot D \cdot n \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1} \text{]}$$

3 Vibrace a hluk

- uložení válečku v konstrukci
- materiál válečku
- pracovní prostředí dopravníku
- konstrukční chyba



Uložení válečku



Materiál válečků



Ocelový kozlík

- a) uložení válečku v konstrukci
- b) materiál válečku
- c) pracovní prostředí dopravníku
- d) konstrukční chyba

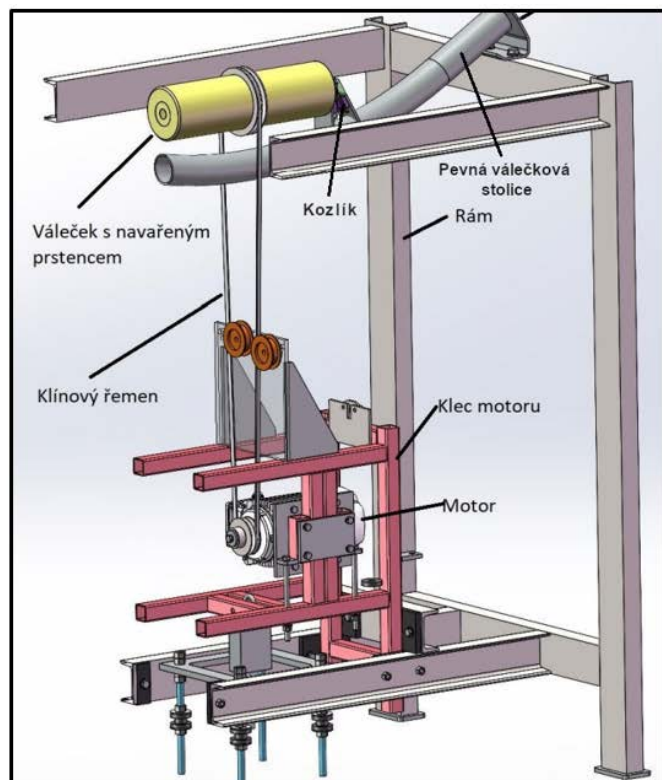


Stěrač pásového dopravníku

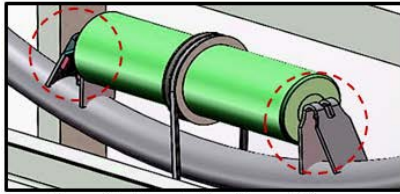


Vrstva nečistot válečků dopravníku

4 Popis částí



5 Varianty uložení

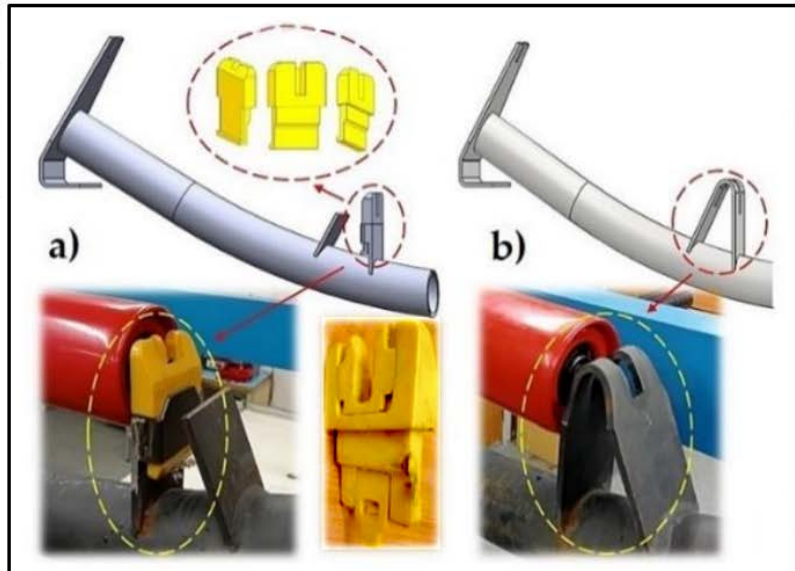


Osa válečku uložena ve výřezu kozlíku

a) Plastové

- plastová zasouvací kazeta
- konstrukčně upravený kozlík

a) Ocelové



Dvě varianty uložení

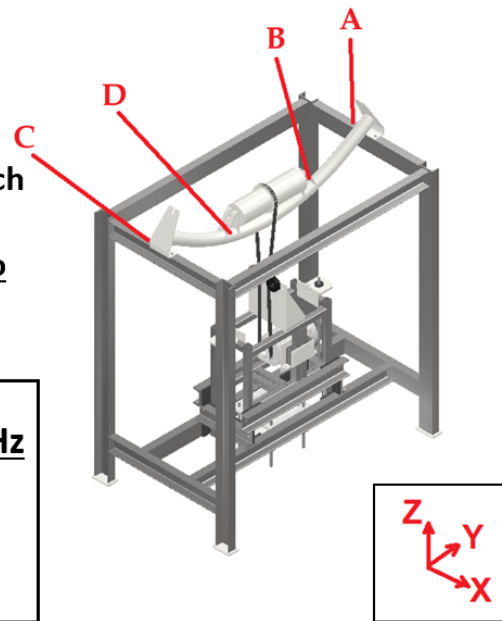
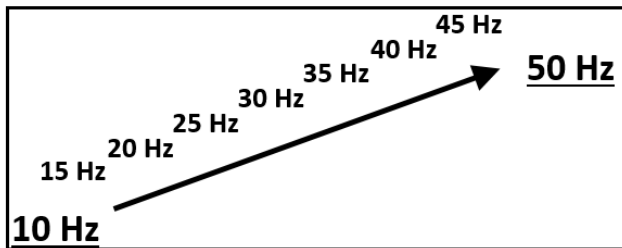
6 Měřicí aparatura

- DAQ systém Dewesoft Sirius, 6xACC, 2xACC+
- Triaxiální akcelerometr ICP® PCE KS903.10
- Laserový snímač otáček DS-TACHO 3



7 Postup měření

- Dvojice triaxiálních akcelerometrů byla umístěna na rám zařízení.
- Měření vibrací probíhalo ve dvou krocích (měřící body A,B,C,D) při stupňovitém zvyšování provozních otáček válečku po 5 Hz; od minimálních po maximální otáčky.



8 Metodika a porovnání vlivu tlumení vibrací

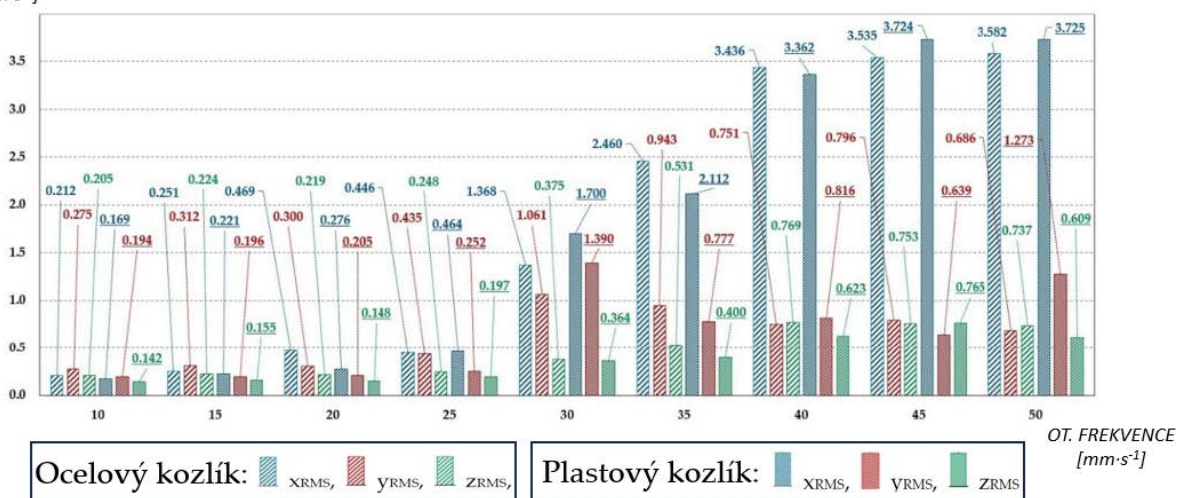
- Měření probíhalo podle normy ISO 20816-1 – Měření a hodnocení vibrací strojů.
- RMS/efektivní rychlost vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$].

Srovnání hodnot efektivní rychlosti vibrací mezi plastovými kozlíky (materiál ELASTON–ELTEC FS 700) a kovovými kozlíky.

9 Porovnání vlivu tlumení vibrací (reprezentativní výsledky)

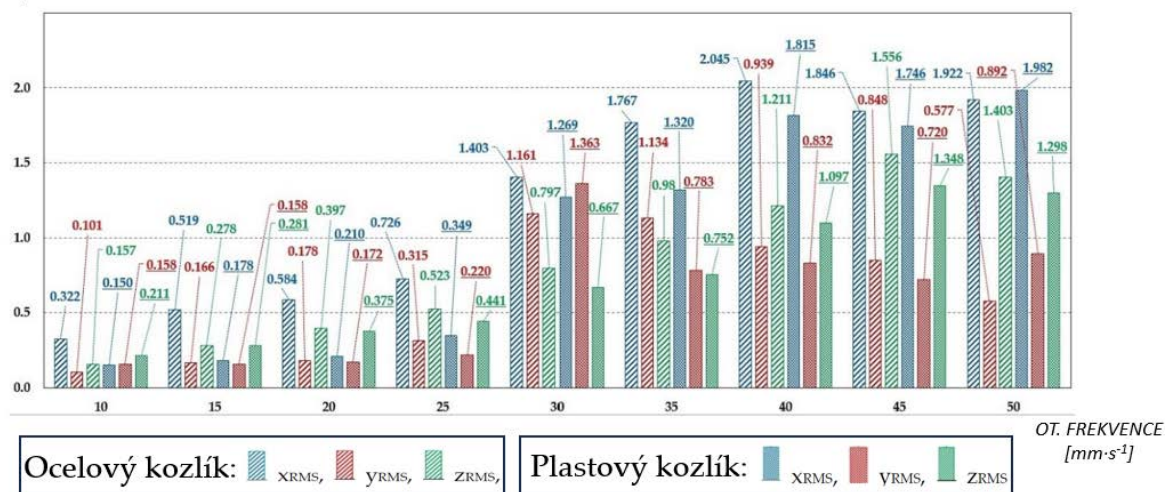
VIBRACE
[$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]

RÁM ZAŘÍZENÍ – BOD A



VIBRACE
[mm·s⁻¹]

RÁM ZAŘÍZENÍ – BOD C



Literatura

- [1] Hrabovský L., Pravda Š., Šebesta R., Nováková E. a D. Kurač. (2023). *Detection of a Rotating Conveyor Roller Casing Vibrations on a Laboratory Machine*. Preprints.org, DOI: 10.20944/preprints202307.1180.v1

LOŽISKA, JEJICH MAZÁNÍ A DIGITALIZACE

Ladislav CHALÁNEK, SKF CZ, a.s., Ostrava ⁹

1 Úvod - Valivá ložiska

Ložiska patří k nejdůležitějším součástem většiny strojů a navíc musí splňovat vysoké nároky na únosnost a spolehlivost. Z toho důvodu byl valivým ložiskům zcela právem přiznán jejich význam a v průběhu let se staly předmětem rozsáhlých výzkumů. Vznikl samostatný vědní obor zaměřený na valivá ložiska. Jedním z výsledků tohoto výzkumu je možnost vypočítat trvanlivost s poměrně vysokou přesností, což umožňuje přizpůsobit trvanlivost ložiska životnosti stroje.

Mají-li valivá ložiska fungovat spolehlivě, musí být adekvátně mazána, aby se zabránilo styku kovů s kovem mezi valivými prvky, dráhami a kleci. Separace povrchů ložiska je primární funkcí maziva, které musí také inhibovat opotřebení a chránit ložiskové plochy před korozí. V některých aplikacích se mazivo používá k přenášení tepla. Proto je důležitá volba vhodného maziva a způsobu mazání pro každé jednotlivé použití ložiska, stejně jako správná údržba.

Skutečná volba maziva závisí především na provozních podmínkách, tj. na teplotním rozsahu, rychlostech a vlivu okolí. Nejvýhodnější provozní teploty bude dosaženo, když minimální množství maziva potřebné pro spolehlivé mazání ložisek je zajištěno. Má-li však mazivo dodatečné funkce, jako je utěsnění nebo odstranění tepla, může být požadováno dodatečné množství maziva.

1.1 Valivý pohyb a valivá ložiska

Vynález valivého ložiska sahá před tisíci lety, kdy si uvědomili, že klouzavý pohyb je mnohem jednodušší a rychlejší než klouzavý pohyb.



⁹ Ing. Ladislav Chalánek
SKF CZ, a.s.
Technologická 374/6, 708 00 Ostrava-Pustkovec
mobil: +420 603 489 261, e-mail: ladislav.chalaneck@skf.com

ISO definuje valivé ložisko jako ložisko pracující s valivým pohybem mezi částmi nosného zatížení a pohybující se ve vztahu k sobě.

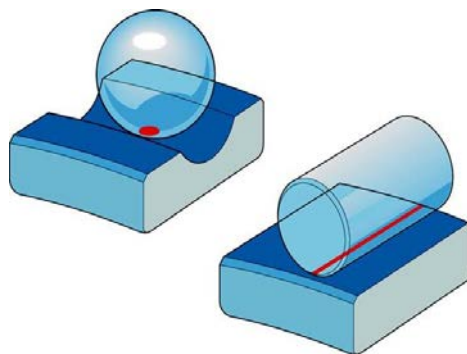
Valivé ložisko se obvykle skládá z vnitřního a vnějšího kroužku, které jsou odděleny valivými elementy; a obvykle i klecí, která udržuje stejný rozestup valivých elementů; a někdy štítem, nebo těsněním pro ochranu ložisek.

1.2 Kuličková a válečková ložiska

Valivá ložiska jsou rozdělena do dvou hlavních kategorií: kuličková a válečková ložiska.

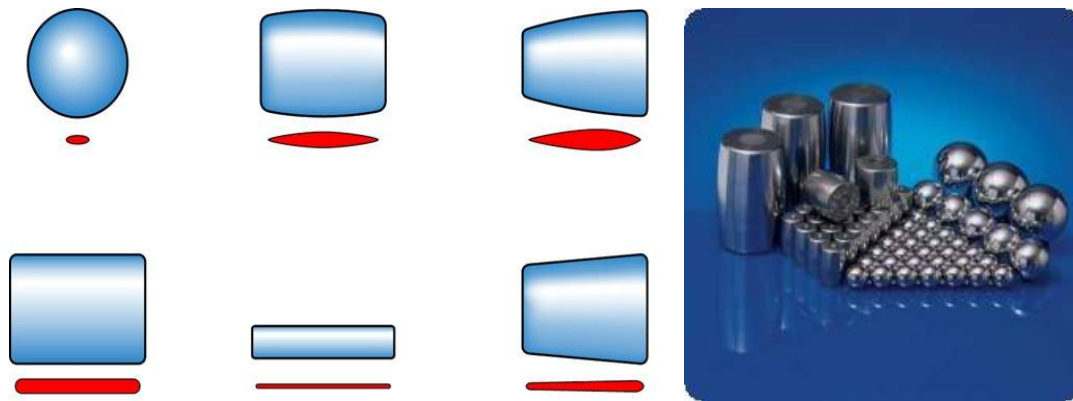


Rozdělení vychází z geometrického tvaru valivých elementů, který je obecně buď kuličkou, nebo jakýmsi válcem. V kuličkovém ložisku, kontakt mezi kuličkou a oběžnou dráhou je omezen na relativně malou elipsu (bodový kontakt), zatímco ve válečkovém ložisku kontakt je větší (čárový kontakt). Při nízkém kontaktu, jako je kulička / oběžná dráha, je tření nízké, a proto by rychlost mohla být vysoká. Na druhé straně, v kombinaci váleček/oběžná dráha, rychlost není tak vysoká kvůli vyššímu kontaktu a většímu tření, ale takové ložisko snese větší zatížení.



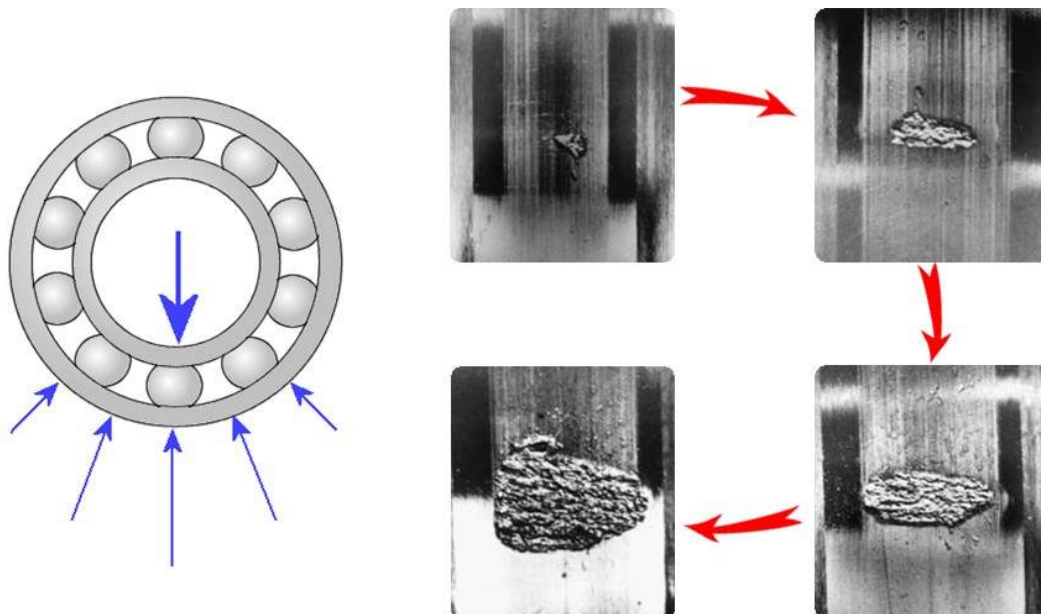
1.3 Valivé elementy ložiska

Kromě dělení valivých elementů na dva hlavní typy (kuličky a válečky) mají válečky řadu tvarů, jako jsou válečkové, jehlové, kuželíkové nebo soudečkové tvary. Tvar valivého elementu určuje různé vlastnosti ložisek, např. při soudečkovém tvaru elementů umožňují samo-vyrovnání, kuželíkový tvar umožňuje zachytávat radiální a axiální zatížení.



1.4 Životnost / trvanlivost ložiska

Valivé ložisko nemůže v zásadě pracovat věčně. Pokud nejsou ideální provozní podmínky a v případě, že je dosaženo mezního únavového zatížení, se dříve nebo později projeví únava materiálu. Doba, která uplyne, než se projeví první příznaky únavy materiálu, závisí na počtu otáček ložiska a velikosti zatížení. Únava materiálu je výsledkem působení smykových napětí, která opakovaně vznikají těsně pod zatěženým povrchem. Po určité době vyvolá napětí trhlinky, které se postupně šíří směrem k povrchu. Při odvalování valivých těles přes trhlinky se odlamují částice materiálu. Tento jev se nazývá odlupování. Poškozená plocha se progresivně zvětšuje a nakonec je ložisko poškozeno v takovém rozsahu, že je nepoužitelné.



Trvanlivost ložiska je definována jako počet otáček, které ložisko dokončí, než dojde k odlupování materiálu. To však neznamená, že ložisko už nemůže být používáno. Odlupování je poměrně dlouhý proces, který se projevuje vzrůstající hlučností a vibracemi ložiska. Provozovatel má tedy zpravidla dostatek času, aby se mohl připravit na výměnu ložiska.

Provozní trvanlivost, což je skutečná trvanlivost ložiska v reálných provozních podmínkách do doby selhání ložiska (nebo kdy není schopno provozu), závisí na mnoha faktorech, jakými např. jsou mazání, míra znečištění prostředí ložiska, nesouosost, správná montáž, a dále záleží na provozních podmínkách jako zatížení, teplota a úroveň vibrací. SKF důrazně doporučuje brát tyto faktory do úvahy a provádět výpočty trvanlivosti podle SKF, nikoli pouze základní výpočtové trvanlivosti. Mazivo má zásadní vliv na provozní trvanlivost ložisek prakticky v každé aplikaci. Maziva by proto měla odpovídat provozním podmínkám dané aplikace. Ať je k mazání ložiska použito plastické mazivo nebo olej, jejich účinnost se v čase zhoršuje v důsledku mechanické práce, stárnutí, hromadění nečistot, které je výsledkem opotřebování součástek a/nebo vnikání nečistot.

2 Včasná detekce problému valivých ložisek, indikace stavu mazání

Obecně je přijímáno, že měření a analýza vibrací je nejvhodnější metodou monitorování a hodnocení technického stavu rotačních strojů. Vibrace jsou v tomto případě symptomem (tj. nosičem informací) technického stavu, a ne problémem samotným, jak je často uvažováno z hlediska provozní praxe. Zvýšení vibrací znamená, že ve stroji se vyskytuje problém a analýzou signálu vibrací lze získat užitečné informace pro zjištění kořenové příčiny problému. Pokud známe příčinu problému lze navrhnout optimální řešení problému stroje, jakož i navrhnout nápravné akce.

Ložiska jsou zpravidla nejdůležitější částí všech typů rotačních zařízení. V této souvislosti je vhodné poznamenat, že i když monitorování stavu valivých ložisek je založeno na měření vibrací, diagnostika jejich technického stavu vyžaduje použití speciálních metod úpravy vibračního.

Pro diagnostiku problémů valivých ložisek se používají dva typy zpracování signálu:

- **metody využívající rezonance snímače**, kdy nepatrný signál od poškození ložiska je zesílen rezonanční oblastí snímače; výsledkem jsou skalární hodnoty stavu ložiska.
- **demodulační techniky zpracování signálu** neboli “obálkování” signálu zrychlení, jsou základní techniky sledování stavu valivých ložisek.

Včasně zjištění problémových podmínek, které vedou k prvotnímu zhoršení stavu ložiska - jako je v první řadě neadekvátní mazání - umožňuje provozovateli stroje aplikovat proaktivní nápravná opatření pro prodloužení trvanlivosti ložiska. Další výhodou velmi včasného varování problému ložiska je možnost provedení opravy ložiska (repase), která je stále častěji používána pro ložiska větších rozměrů (a tím i vyšší ceně).

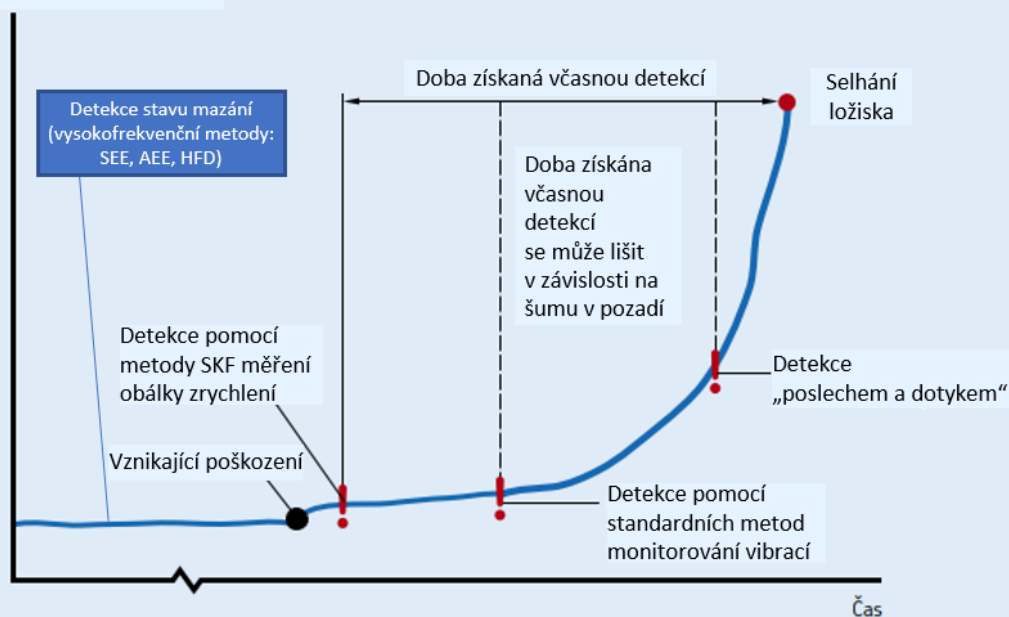
Pro velmi včasnou detekci problémů ložisek i pro indikaci stavu mazání ložiska jsou vhodné vysokofrekvenční metody, jako jsou:

- **SEE (Spectral Emitted Energy** - spektrálně emitovaná energie), kdy pomocí demodulace signálu je analyzován signál v oblasti 150 až 350 kHz;
- **AEE (Acoustic Emission Enveloping** - akustická emise), demodulace signálu v rozsahu 100 ÷ 500 kHz;
- **HFD (High Frequency Detection** - vysokofrekvenční detekce) pro rozsah 10 ÷ 60 kHz.

Uvedené vysokofrekvenční metody reagují nejen na příznaky prvotního poškození ložiska (vznik mikrotrhlin), ale jsou nimi rovněž detekovány okolnosti, které v případě neřešení vedou k poškození ložiska. Jedná se hlavně o neadekvátní mazání, nečistoty v mazivu, přerušení mazivového filmu (odezva EHDL), ...

Moderní metody sledování stavu strojů (ložisek)

Úroveň vibrací nebo hluku

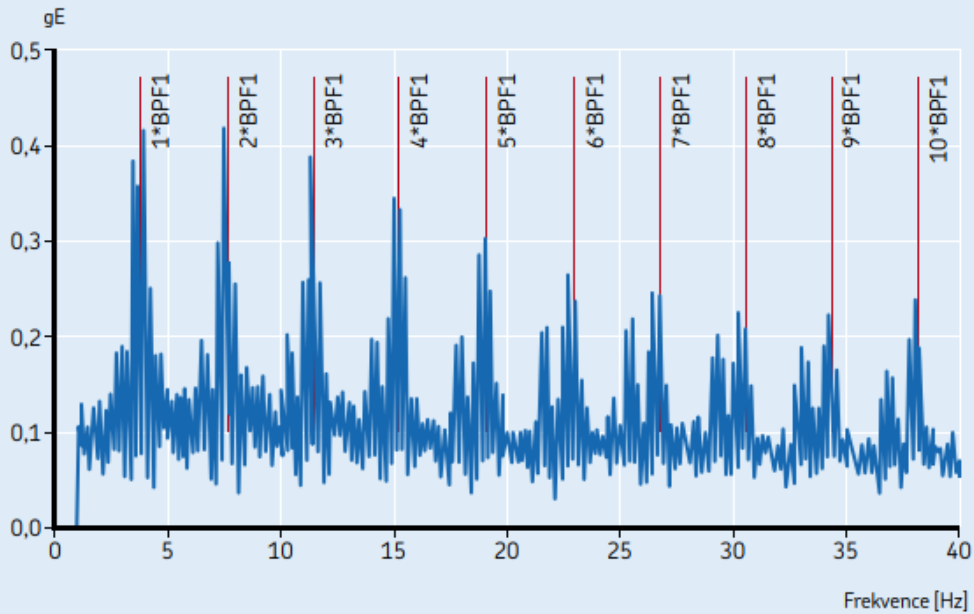


2.1 Frekvenční analýza defektu valivého ložiska

Každé ložisko vydává nízkofrekvenční signál. Frekvence signálu závisí na počtu a velikosti valivých těles, stykovém úhlu ložiska a na roztečném průměru valivých těles. Pokaždé, když se valivá tělesa převalí přes vadu, vzniká vysokofrekvenční signál a amplituda signálu dosahuje špičky (maxima). Míra výskytu těchto špiček závisí na rychlosti otáčení, místě defektu v ložisku i na vnitřní geometrii ložiska.

Ke sledování stavu ložiska se používá metoda nazvaná obálka zrychlení. Obálka zrychlení odděluje vysokofrekvenční signál vydávaný vadou od jiných rotačních či konstrukčních frekvencí přirozeně vznikajících uvnitř stroje (diagram 3).

Analýza obálky zrychlení



3 Plastická maziva a mazání

3.1 Předčasné selhání ložisek

Pro maximalizaci výkonnosti a dosažení co nejdelší životnosti každého ložiska je nutností dbát na správné mazání. V provozní praxi dle odhadů selhává v důsledku špatného mazání nebo kontaminace maziva dle odhadů SKF 50% ložisek viz obr.1. Následně z 34% je příčina selhávání vlivem únavového poškození a 16% zastupuje špatná montáž ložiska.



Obr.1 Příčiny selhávání ložisek dle odhadů SKF

Nepřiměřené mazání je příčinou přibližně 36% selhání všech ložisek. Toto číslo zahrnuje selhání z následujících důvodů:

- nesprávně zvolené mazivo,
- nedostatečné množství maziva,
- nadbytečné množství maziva,
- nevhodné intervaly domazávání,
- v důsledku špatné montáže se mazivo nedostává mezi kontaktní plochy.

Pokud k tomuto číslu přidáme i 14% kontaminace, která je způsobena dodáváním znečištěného maziva do ložiska, tak se celkově tedy jedná o 50% předčasně selhávajících ložisek.

3.2 Co je to plastické mazivo a z čeho se skládá ?

Plastické mazivo jde nazvat „zahuštěný olej“. Jak tedy název napovídá, tak se mazivo skládá z olejové složky, zpevňovadla a aditiv.

Olejová složka - činí 70 ÷ 95% objemu plastického maziva. Základové oleje mohou být tohoto původu:

- minerální,
- syntetické,
- přírodní.

Každá z těchto složek se liší použitím v různých pracovních podmínkách. Obecně jde říci, že minerální oleje jsou nejpoužívanější a vyhovují celé řadě aplikací. Syntetické se používají ve speciálních případech pro vysoké či nízké tlaky a teploty. Přírodní, například na bázi řepkového oleje nacházejí využití například v lesnictví apod.

Zpevňovadla (zahušťovadla) - tvoří 5 ÷ 30% plastického maziva. Nejběžnější maziva obsahují kovová mýdla (Li, Ca, Na a další). Nejpoužívanějším zpevňovadlem je Lithium (Li).

Klíčová vlastnost pro základové oleje a zpevňovadla je kompatibilita. Pokud smícháme v ložisku dvě maziva s rozdílnou kompatibilitou, tak dojde k porušení vlastností maziva jako celku a ložisko může brzy havarovat.

Aditiva - jsou chemické látky, které zlepšují vlastnosti plastických maziv. Jejich přehled je na obrázku 2.

Aditiva plastických maziv	
Aditivum	Funkce
Protikorozi	Zlepšuje ochranu povrchů ložiska poskytovanou plastickým mazivem
Antioxidační	Prodlužuje životnost plastického maziva, neboť při vysokých teplotách zpomaluje rozklad základní olejové složky
EP	Snižuje škodlivé účinky kontaktu kovu na kov
AW	Vytváří ochrannou vrstvu, čímž zabraňuje kontaktu kovu na kov
Tuhé aditivum	Zajišťuje mazání ve chvíli, kdy základní olejová složka ztrácí účinnost

Obr.2 Aditiva a jejich vlastnosti

3.3 Jak vybrat správné plastické mazivo ?

SKF nabízí pro své zákazníky nástroj pro výběr plastického maziva. Tento nástroj se jmenuje SKF LubeSelect a je dostupný na webových stránkách SKF. V pracovním prostředí toho nástroje si uživatel zvolí parametry jako například:

- typ ložiska,
- vnější a vnitřní průměr a následně délku nebo šířku ložiska,
- zatížení dle poměru (C/P),
- teplotní podmínky,
- výběr speciálních vlastností (např. zvýšená odolnost proti vodě).

Výsledkem je tabulka zobrazující maziva, která vyhovují zvoleným parametrům viz obr.3.

Rating	Grease	Supplier	Kappa	Relubrication interval	Poor performance on
***	LGHP2	SKF	>4	4500	-
****	LGLT2	SKF	1.4	3400	LongLife
**	LGMT3	SKF	>4	2500	Speed, LongLife

Obr.3 Výsledná tabulka návrhu maziva dle LubeSelect

3.4 Jaké nástroje využít pro domazávání ložisek ?

Jak už bylo zmíněno, tak špatné domazání resp. přemazání nebo nedostatečné mazání jsou následkem 36% selhání ložisek. Otázka tedy zůstává vyslovená, jak si pomoci s nastavením ideálních domazávacích intervalů?

Řešením může být tzv. Systém 24. Jedná se o jednobodovou maznici, která automaticky dodává mazivo do ložiska. Rozeznáváme dvojí konstrukční provedení, a to Systém 24 řady LAGD viz obr.4 a LAGE viz obr.5.



Obr.4 Systém 24 LAGD



Obr.5 Systém 24 LAGE

Řada LAGD pracuje na principu elektrochemického článku, který vyrábí plyn.

Naopak řada LAGE využívá elektromechanický systém. Nastavování intervalu domazávání (vyprázdnění maznice) se provádí nastavením na danou číslici. Pomocí nastavení je možné hledat v aplikaci, která je dostupná na webu, nebo pro telefony či tablety a jmenuje se SKF DialSet 24. Maznice System 24 jsou vhodné do široké škály průmyslových odvětví.

Bateriový mazací lis je nástroj pro údržbu, který pomáhá k přesnému dávkování maziva za pomoci numerického číselníku. Díky tomu pracovník údržby má přehled o tom, kolik maziva se do ložiska dostalo.



Obr.6 SKF bateriový lis

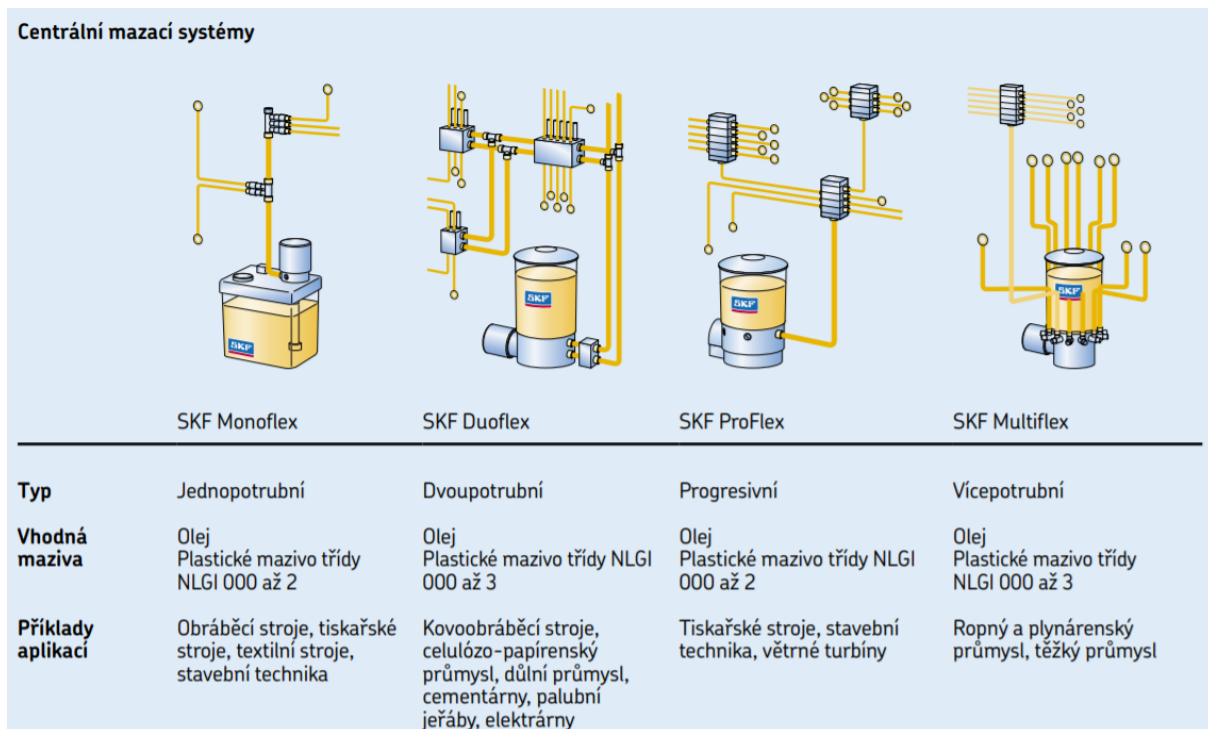
4 Centrální mazací systémy

Centrální mazací systémy dodávají mazivo z centrálního zásobníku do těch míst strojního zařízení, ve kterých dochází ke tření. Mazivo je dodáváno v optimálním množství, kdykoli je potřeba. Zpravidla se používají oleje a plastická maziva třídy konzistence NLGI maximálně 2. Jelikož čerpatelnost je jedním z rozhodujících faktorů, jsou nejčastěji používána plastická maziva s nízkou třídou konzistence NLGI.

Z technického hlediska se centrální mazací systémy rozdělují na ztrátové mazací systémy a oběhové mazací systémy podle toho, zda je mazivo opětovně používáno, či není.

Volba vhodného systému závisí na:

- provozních podmínkách, např. na provozní teplotě, viskozitě, přítomnosti soli v ovzduší,
- požadavcích na přesnost množství maziva,
- uspořádání a velikost mazacího systému,
- požadavcích na monitorování procesu mazání.



Obr.7 Příklad centrální mazacích systémů

5 Závěr

Jestliže selže mazání, selže i ložisko. Důležitost mazání je všeobecně uznávaná. Jak bylo popsáno, tak 50% ložisek havaruje z důvodů problémů s mazáním.

Optimalizací výběru správného maziva, domazávacích intervalů a nástrojové techniky můžeme předcházet předčasnému selhání ložisek.

Digitalizace procesů mazání pomáhá zvyšovat informovanost o mazaných ložiskách. Dostupná zařízení, jako například Systém 24 Online je schopen předávat informace údržbě o aktuálním stavu mazací jednobodové hlavice, množství dodávaného maziva, typ dodávaného maziva a zbývající množství, které ještě v maznici zbývá. Všechny tyto informace jsou dostupné v přehledné webové aplikaci.

Snahou o maximalizaci životnosti ložiska je kombinace multiparametrického monitorování. Tedy kombinace vibrační diagnostiky a online správy mazání. Právě tato kombinace dokáže využít informací o vznikajícím poškození ložiska, které je odhalené vibrační diagnostikou a následně zapomocí mazacího systému je optimalizovaný domazávací interval. SKF využívá pro vzdálenou diagnostiku, monitoring a vyhodnocování dat z celé České republiky a východní Evropy RDC centrum, které sídlí v Ostravě.

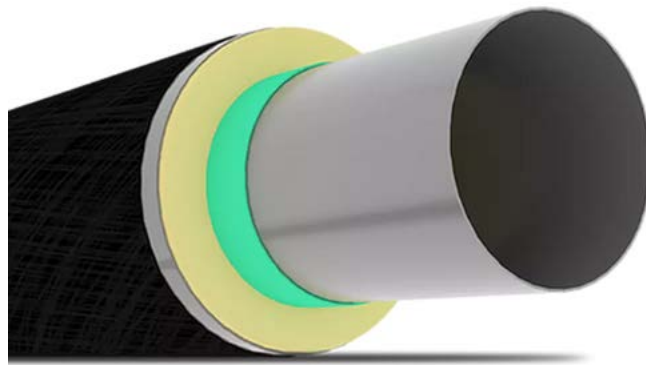
NÁVRH HOSPODÁRNÉHO ZPŮSOBU SEPARACE A RECYKLACE MATERIÁLŮ IZOLOVANÝCH POTRUBNÍCH ROZVODŮ

Daniel KURAČ, VŠB-TU Ostrava ¹⁰

Poznámka: Příspěvek zpracován na základě dodané PowerPointové prezentace.

1 Úvod

- Plyn, ropa, chemikálie, voda
- Nad zemí, pod zemí nebo pod vodou
- Několik vrstev
- Opuštění nebo recyklace



2 Trubka

2.1 Materiál

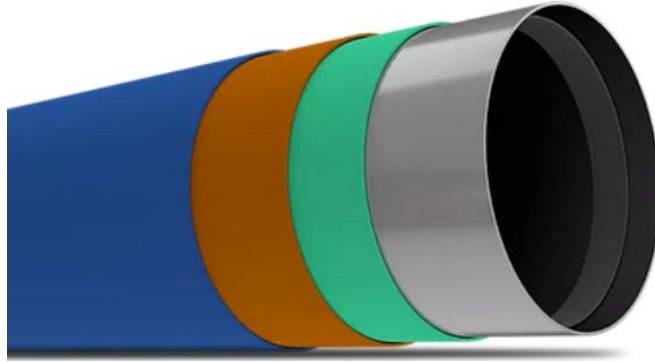
- Ocel, železo, měď
- HDPE, sklolaminát, beton

2.2 Povlak

- Vnitřní a vnější
- Antikorozní, mechanická ochrana
- Zlepšení průtoku
- PP, PE, epoxidová pryskyřice, lepidla
- Jedno nebo více vrstev

¹⁰ Ing. Daniel Kurač

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FS, Katedra konstruování
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba
tel.: +420 597 324 452, e-mail: daniel.kurac.st@vsb.cz



2.3 Izolace

- Tepelná izolace
- Podle potřeby
- PUR, sklolaminát, minerální vata

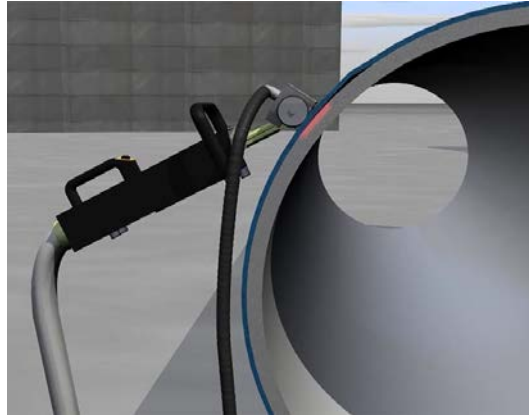


2.4 Pokrytí

- Ochrana potrubí
- HDPE, PVC, PP, TPE, beton, plech

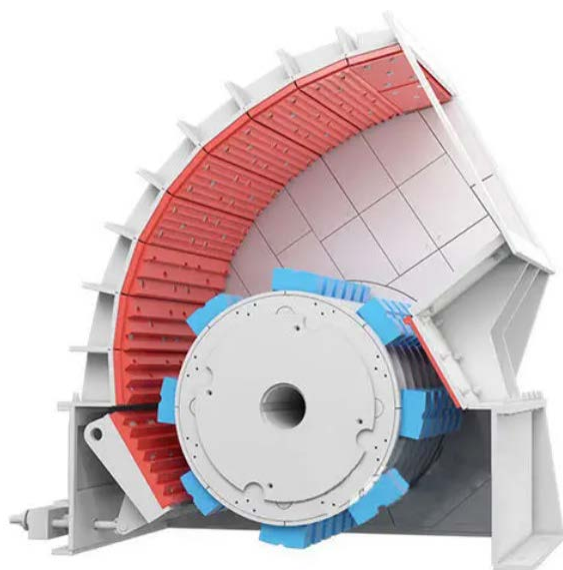
3 Odstranění povlaku

- Vodní paprsek
- Tepelné seškrabání
- Odřezání
- Obrábění



4 Separace

- Fyzická
- Chemická
- Tepelná



5 Recyklace

- Mechanické zpracování
- Tepelné zpracování
- Opětovné využití
- Upcyklace
- Skládka

6 Cíl práce

- Rozsáhlejší řešerše
- Nejekologičtější ekonomický návrh

Literatura (zdroje obrázků)

- [1] www.bayoucompanies.com
- [2] www.purios.com
- [3] www.rprtech.com
- [4] www.decomengineering.co.uk
- [5] www.directindustry.com

VIBRODIAGNOSTIKA ČERPADEL JAKO OVĚŘENÍ MOŽNOSTI METODY REENGINEERINGU PRO OFSETOVÉ TISKOVÉ STROJE

Kristýna JUŘÍKOVÁ KUTIOVÁ, VŠB-TU Ostrava ¹¹

Poznámka: Příspěvek zpracován na základě dodané PowerPointové prezentace.

1 Ofsetový tiskový stroj

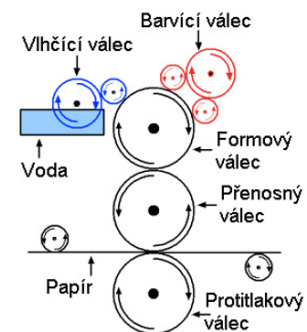
- slouží k nepřímé tiskové metodě
- možnost tisku i na kartony a méně kvalitní papíry
- využívané k tisku cenin, časopisů a knih, kalendářů, krabic a kartonů,...
- princip tisku je založen na vzájemné odpudivosti vody a barvy



tiskový stroj Heidelberg CX104 ->

2 Tisk ofsetového stroje

- Tisková forma je natažena na formovém válci, je hliníková, na ní jsou naneseny 2 vrstvy s rozdílnými vlastnostmi
- barva je hydrofobní (nemísí se s barvou ani alkoholy) -> 1. vrstva, je nenarušená a přijímá mastnou barvu. Při nanášení tiskového vzoru se v místech, kde se nebude tisknout, poovrch naruší -> 2. vrstva, je hydrofobní, nepřijímá barvu
- narušení povrchu se provádí laserovým vypalováním nebo vysvěcováním z filmů
- forma se napne na tiskový válec, barevníkové válce na ni nanášejí barvu, tištěný vzor se obtiskává na pryžový přenosový válec a z něj se tiskne na papír (či jiný povrch).



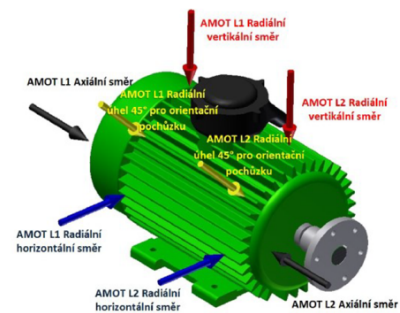
¹¹ Ing. Kristýna Juříková Kutiová
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FS, Katedra konstruování
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba
e-mail: kristyna.kutiova@vsb.cz

3 Ofsetový tiskový stroj a čerpadla

- odstředivá čerpadla jsou používána pro dopravu vlhčícího roztoku na tiskovou formu
- vlhčící roztok se skládá z vody a alkoholu roztok je pak čerpán do nádrží věží, kde se vlhčí tisková forma a dochází k chemické reakci
- možné poruchy čerpadel jsou:
 - prasklá spirálová komora = kapalina pění = dochází k ovlivnění ph roztoku vody a alkoholu. Nevhodné ph = nekvalitní tisk
 - nevyvážené hřídele motoru
 - vady na ložiscích

4 Měření čerpadel

- měření bylo provedeno pomocí analyzátoru A440 – VA4 od firmy ADASH ve firmě Tepelná a chladicí technika – stejný princip využívají také ofsetové tiskové stroje
- měření proběhlo vždy nejméně 2x s odstupem alespoň 3 měsíců
- celkem proběhlo měření na 8 motorech
- při opakovaném měření bylo na 6 měřených motorech obě měření z hlediska hodnot v pořádku
- měření probíhalo tříosým snímačem vibrací v místech L1, L2 a L3



4.1 Čerpadlo 1

elektromotor	
název	KSB Aktiengesellschaft
výkon	15 kW
otáčky	2940 min ⁻¹
hmotnost	84 kg

čerpadlo	
chybějící parametry – nečitelný štítek čerpadla	

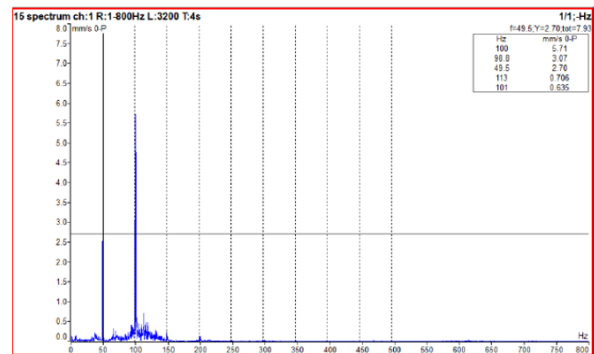
<- parametry elektromotoru



<- rozmístění snímačů

- z měření vyplývá, že dle normy ČSN ISO 10 316, v měřicím místě L1 ve vertikálním směru je zvýšená hodnota vibrací, která leží v pásmu C (vibrace jsou neuspokojivé pro dlouhodobý provoz). Ostatní naměřené hodnoty jsou vyhovující -> netřeba výměna ložisek.
- na otáčkové frekvenci 49,5 Hz je vysoký peak => nevyvaha, kt. může způsobit poškození ložisek, vedlejším projevem je nadměrný hluk. Peak 5,71 mm/s na dvojnásobku síťové fce ukazuje na nesymetrii elektromagnetického pole

tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 - 1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 - 25600 Hz (a_{RMS})							
veličina	směr	MĚŘENÍ 1			MĚŘENÍ 2		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3
v_{RMS}	horizontální	2,7	2,13	2,7	5	3	3,1
	vertikální	5,4	3,1	3	4,4	2,5	2,7
	axiální	3	0,72	0,9	5,1	3,1	3,2
a_{RMS}	horizontální	0,31	0,28	0,44	0,02	0,08	0,28
	vertikální	0,13	0,29	0,43	0,04	0,08	0,24
	axiální	0,37	0,53	0,97	0,03	0,08	0,28



- druhé měření proběhlo po 3 měsících s cílem zjistit zda se hodnoty nedostaly do pásma D a nepřenesly se i do ostatních míst. Zvýšené hodnoty byly naměřeny ve všech směrech, v pásmu C.
- Hodnoty zrychlení vibrací zůstaly nízké = netřeba výměny ložisek.
- Peak na otáčkové frekvenci 49,5 Hz a na druhém násobku síťové frekvence 100 Hz = nevyvaha a nesymetrie elektromagnetického pole.
- Doporučení: při odstávce prozkoumat vinutí elektromotoru.

4.2 Čerpadlo 2

elektromotor	
název	SIEMENS
výkon	15 kW
otáčky	2940 min-1
hmotnost	85 kg
čerpadlo	
název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
průtok	75 m3/h
dopravní výška	42 m
jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

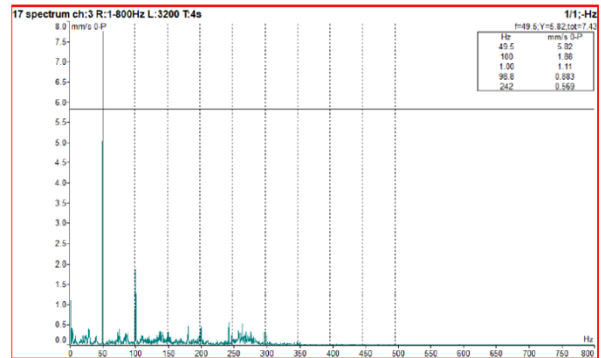
<- parametry elektromotoru



<- rozmístění snímačů

- z měření vyplývá, že dle normy ČSN ISO 10 316, v měřicím místě L1 ve všech směrech je zvýšená hodnota vibrací, která leží v pásmu C (vibrace jsou neuspokojivé pro dlouhodobý provoz). Ostatní naměřené hodnoty jsou vyhovující - > netřeba výměna ložisek.
- na otáčkové frekvenci 49,5 Hz je vysoký peak => nevyváha, kt. může způsobit poškození ložisek, vedlejším projevem je nadměrný hluk. Peak 1,88 mm/s na dvojnásobku síťové fce ukazuje na nesymetrii elektromagnetického pole

tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 - 1000 Hz (vRMS) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 - 25600 Hz (aRMS)							
veličina	směr	MĚŘENÍ 1			MĚŘENÍ 2		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3
v _{RMS}	horizontální	2,3	1,8	1,4	5,7	3	2,1
	vertikální	3,6	2,4	1,7	4,9	2,6	1,8
	axiální	2,4	1,3	1,1	5,9	3,1	2,2
a _{RMS}	horizontální	0,28	0,19	0,1	0,02	0,05	0,08
	vertikální	0,2	0,14	0,18	0,05	0,06	0,1
	axiální	0,5	0,34	0,36	0,02	0,05	0,08



- druhé měření proběhlo po 3 měsících s cílem zjistit zda se hodnoty nezhoršily a jak je vidět, všechny tři se ocitly v pásmu C.
- Hodnoty zrychlení vibrací zůstaly nízké = netřeba výměny ložisek.
- Peak na otáčkové frekvenci 49,5 Hz a na druhém násobku síťové frekvence 100 Hz = nevyváha a nesymetrie elektromagnetického pole.
- Doporučení: při odstávce prozkoumat vinutí elektromotoru, dále sledovat vibrace a zjistit co je způsobuje.

5 Závěr

- Měření proběhlo na 8 elektromotorech vždy po 3 měsících. Na 6 z nich byly všechny naměřené hodnoty v pořádku, na dvou z nich se projevily hodnoty v pásmu C. Mírně zhoršený stav je doporučeno sledovat a při plánované odstávce rozebrat a zkontrolovat rotor.
- Ofsetové tiskárny používají stejný typ čerpadel pro dopravu vlhčícího roztoku vody a alkoholu do tiskových věží a tak se tato metoda jeví jako vhodná pro reengineering údržby.
- Tato metoda může vést k vysokým úsporám, je však potřeba zvolit vhodná místa pro tuto metodu měření.
- Vibrodiagnostiku je možné použít pro kontrolu nejen čerpadel a elektromotorů, ale je možné ji použít také pro kontrolu ložisek, kterých má v sobě tak komplexní stroj, jako je ofsetová tiskárna, velmi mnoho. Z hlediska možnosti měření pomocí snímačů se metoda jeví jako vhodná hlavně pro měření stavu ložisek na navalovacích válcích, formovém válci a ofsetovém válci.

Literatura

- [1] Kutiová, Kristýna. *Téze disertační práce: Výzkum možnosti nasazení nedestruktivní diagnostiky za účelem reengineeringu systému údržby ofsetového tiskového stroje*. Ostrava, 2021.
- [2] Blata, Jan a Janusz Juraszek. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 134 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [3] ČSN ISO 10816-1. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*. 1998. 24 s. ISSN 011412.
- [4] ČSN ISO 10816-7. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 7: Odstředivá čerpadla pro průmyslová použití včetně měření na rotujících hřídelích*. 2010. 24 s.
- [5] ČSN ISO 10816-3. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ*. 2010. 20 s.
- [6] Helebrant, František a Jiří Ziegler. *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 2004. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [7] Blata, Jan. *Manuál pro výuku: Vibrodiagnostika strojních zařízení*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 24 s.
- [8] Pospíšil, Vojtěch. *Aplikace metod vibrodiagnostiky na klíčových zařízeních*. Ostrava, 2018. Bakalářská. VŠB - Technická Univerzita Ostrava.

ENERGETICKÁ NÁROČNOST TĚŽBY STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Tomáš MACHÁLEK, VŠB-TU Ostrava ¹²

Anotace

Tato práce demonstruje, důležitost výrobních indikátorů, které je potřeba nastavit v oblasti těžby kamene, aby byl technologický proces optimalizovaný. Na základě energetické efektivity jsou zde rozebrány provozovny společnosti Českomoravský štěrk, a.s. rozříděny do dvou skupin na kamenolomy a štěrkopískovny. Z dostupných dat jsou vygenerovány grafy, které reprezentují energetickou efektivitu jednotlivých provozoven při výrobě stavebních materiálů.

1 Úvod

Pro optimalizaci procesu zpracování kameniva je potřeba nastavit klíčové ukazatele výkonosti. Tento proces není snadný, jelikož jsou mezi sebou porovnávány kamenolomy a štěrkopískovny. Dle zpracovávaného typu materiálu je rozdílná konfigurace technologické linky a v návaznosti i jiné energetické nároky na provoz, či rozdílné roční období kdy může být linka provozována. Proto je důležité při interpretaci dat mít povědomí o jaký závod se jedná.

2 Klíčové ukazatele výkonnosti (KPI - Key Performance Indicator)

Slouží k monitorování a optimalizaci výrobního procesu v technologické lince. Sledované parametry bývají nastavovány individuálně dle pohledu managementu na výrobní cyklus. Ve skupině HeidelbergMaterials jsou pro monitoring nastaveny tyto čtyři základní hodnoty:

- **Dostupnost % (Availability)** vychází přímo z normy ISO 20815 a je definována jako poměr výroby k maximální dostupnosti technického zařízení.
- **Koeficient procesu % (Process coefficient)** se obecně vztahuje k určitému procesu a slouží k vyjádření poměru mezi určitými veličinami nebo jevy v tomto procesu. V tomto případě to určuje procentuální poměr mezi dostupností a skutečnou produkcí.
- **Produktivita tun/mužo-hodinu** - vyjadřuje výrobu v tunách za jednu hodinu na počet zaměstnanců ve výrobě.
- **Energetická efektivita t/GJ** vyjadřuje výrobu kameniva v tunách při spotřebě jednoho giga joulů. Z toho to parametru se dá dále zjistit jaké množství CO₂ vznikne při výrobě jedné tuny kameniva.

¹² Ing. Tomáš Machálek

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FS, Katedra konstruování
17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba
mobil: +420 702 070 207, e-mail: tomas.machalek.st@vsb.cz

3 Data energetické efektivity

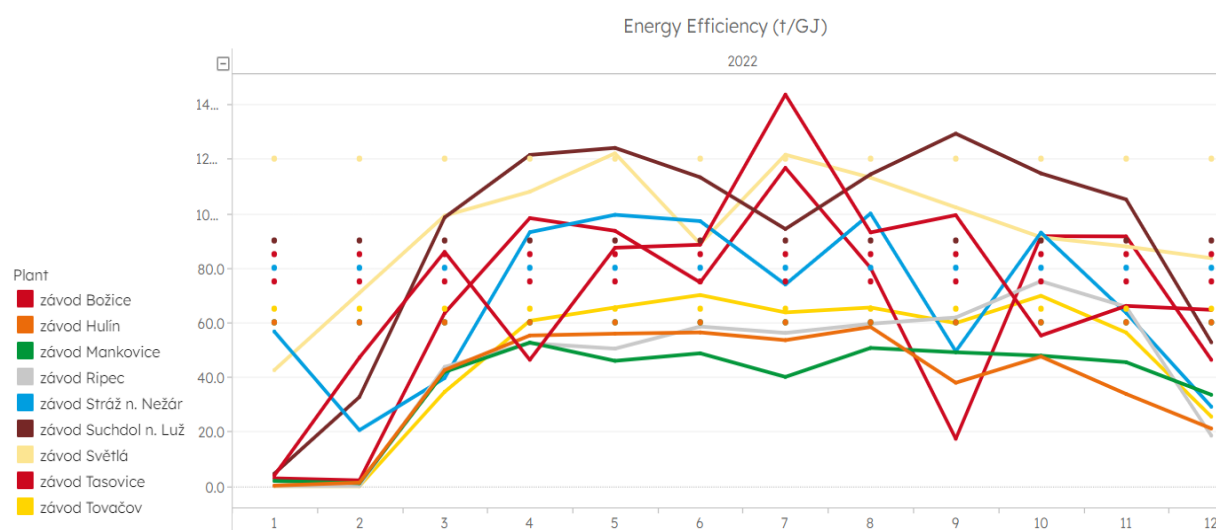
Štěrkopískovny firmy Českomoravský štěrk

V prvním kroku jsou v excelovém formátu zobrazeny jednotlivé štěrkopískovny společnosti Českomoravský štěrk, a.s. Z dat lze vždy vyčíst energetickou náročnost na zpracování štěrku v jednotlivých měsících. Pro lepší názornost a interpretaci výsledků měření jsou hodnoty znázorněny v grafu.

Plant		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
závod Řípec	Energy Efficiency (t/GJ)	0,0	0,0	43,6	52,4	50,4	58,5	56,1	59,5	61,8	75,1	65,7	18,5	45,1
závod Stráž n. Nežár	Energy Efficiency (t/GJ)	56,6	20,5	39,6	93,0	99,4	97,1	73,9	99,9	49,4	92,9	63,5	29,0	67,9
závod Suchdol n. Luž	Energy Efficiency (t/GJ)	4,5	32,6	98,4	121,4	123,9	113,2	94,2	114,3	129,2	114,6	105,1	52,7	92,0
závod Mankovice	Energy Efficiency (t/GJ)	1,9	1,0	41,8	52,6	45,9	48,6	40,0	50,6	49,0	47,8	45,4	33,4	38,2
závod Světlá	Energy Efficiency (t/GJ)	42,5	70,8	99,1	107,9	122,0	88,8	121,5	113,1	102,1	91,2	87,8	83,5	94,2
závod Božice	Energy Efficiency (t/GJ)	3,8	47,1	85,9	46,2	87,3	88,5	143,5	93,0	99,3	55,2	66,0	64,6	73,4
závod Hulín	Energy Efficiency (t/GJ)	0,1	1,2	42,5	55,2	55,8	56,3	53,5	58,3	37,8	47,4	33,7	21,1	38,6
závod Tasovice	Energy Efficiency (t/GJ)	2,8	2,1	63,4	98,2	93,5	74,6	116,7	79,9	17,3	91,6	91,5	46,2	64,8
závod Tovačov	Energy Efficiency (t/GJ)	0,0	0,0	34,5	60,6	65,4	70,0	63,6	65,4	59,7	69,7	56,3	25,4	47,6

Obr.1 Seznam štěrkopískoven s energetickou náročností

Při vložení dat do grafu můžeme pozorovat, že v prvních dvou až třech měsících mají provozovny odstávku. To z toho důvodu, protože se většinou jedná o mokrý provoz. Výrobu na technologických linkách s mokrým provozem ohrožují teploty již okolo bodu mrazu. Stejný problém nastává ke konci listopadu. Ustálená data, která reflektují skutečný stav začínají v druhé půlce března.



Graf 1 Energetická efektivita štěrkopískoven v čase

Vypočtený roční průměr energetické efektivity v štěrkopískovnách je 61,5 t/GJ.

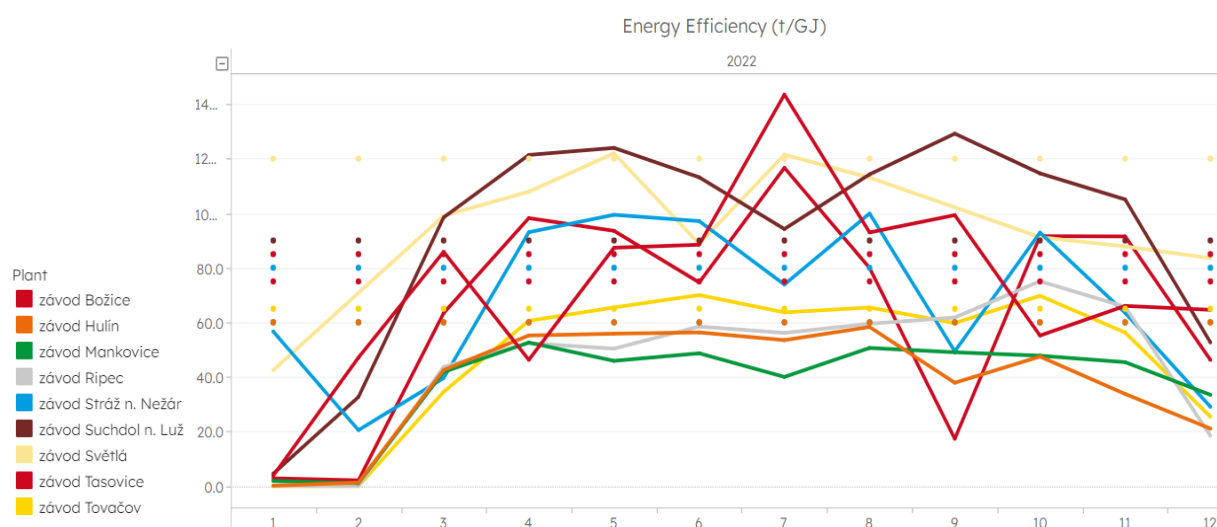
Kamenolomy firmy Českomoravský štěrk

Seznam kamenolomů společnosti Českomoravský štěrk, a.s. spolu s energetickou náročností.

Plant		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Total
závod Bílý Kámen	Energy Efficiency (t/GJ)	2,8	13,8	32,2	36,7	41,5	38,1	37,1	38,1	34,6	39,1	39,0	25,0	31,5
závod Líbodičice	Energy Efficiency (t/GJ)	52,4	49,8	46,9	49,8	45,1	30,0	41,4	53,8	51,1	48,9	51,9	19,7	45,1
závod Nemojov	Energy Efficiency (t/GJ)	0,0	3,5	35,0	35,1	38,0	40,4	40,1	37,9	24,0	31,2	30,4	23,9	28,3
závod Pohled	Energy Efficiency (t/GJ)	0,6	0,1	43,3	45,7	47,1	49,7	58,5	42,1	43,8	41,9	53,8	49,1	39,6
závod Slapy u Tábora	Energy Efficiency (t/GJ)	59,1	61,3	57,3	44,4	56,2	48,4	48,7	51,5	43,7	43,4	43,0	40,2	49,8
závod Branžov	Energy Efficiency (t/GJ)	63,4	61,6	62,3	60,7	58,5	57,0	64,9	58,0	59,7	53,1	57,6	53,9	59,2
závod Stříbrná Skali	Energy Efficiency (t/GJ)	16,5	34,6	36,6	38,5	27,7	39,1	37,2	36,8	28,3	42,7	40,9	17,7	33,1
závod Bělkovice	Energy Efficiency (t/GJ)	0,1	71,4	55,2	53,2	58,6	62,1	48,7	51,4	53,0	43,6	51,3	41,8	49,2
závod Hrabůvka	Energy Efficiency (t/GJ)	16,9	86,7	68,1	71,1	62,0	67,4	65,7	65,0	62,6	58,0	46,2	17,6	57,3
závod Jablonné	Energy Efficiency (t/GJ)	36,1	43,1	46,6	34,7	53,2	50,7	41,3	50,9	52,7	45,8	44,7	48,6	45,7
závod Nová Ves	Energy Efficiency (t/GJ)	37,3	35,8	51,2	46,7	46,4	47,8	57,6	50,4	61,8	50,1	48,5	35,2	47,4
závod Výkleky	Energy Efficiency (t/GJ)	62,5	61,7	68,9	0,8	68,8	68,9	69,3	69,0	81,8	67,3	69,3	56,0	62,0
závod Luleč, Olšany	Energy Efficiency (t/GJ)	31,8	46,9	42,3	55,5	49,5	47,9	47,8	46,9	46,1	45,5	50,5	45,3	46,4
závod Olbramovice	Energy Efficiency (t/GJ)	47,7	45,6	46,8	44,2	52,0	46,0	35,8	52,7	48,2	54,2	46,4	51,4	47,6
závod Opatovice	Energy Efficiency (t/GJ)	49,1	30,9	27,2	54,6	59,8	64,6	46,8	57,2	53,4	53,0	48,5	38,0	48,6

Obr.2 Seznam kamenolomů s energetickou náročností

Po promítnutí dat do grafu je vidět nižší volatilita hodnot z důvodu podobného konceptu technologických linek. V kamenolomech se využívají téměř vždy 2 ÷ 3 stupně drcení a portfolio výrobků je velice podobné. Oproti štěrkopískovnám jsou kamenolomy provozovány celoročně s plánovanou 14 denní údržbou.



Graf 2 Energetická efektivita kamenolomů v čase

Průměrná roční efektivita ve všech 15 kamenolomech je 46,2 t/GJ.

3 Závěr

V práci jsem se věnoval efektivitě využití energie při zpracování stavebního materiálu, a to v kamenolomech a štěrkopískovnách. Pro zasazení tématu do kontextu bylo vysvětleno, které hlavní technické ukazatele se z hlediska produktivity sledují a jak se s nimi pracuje.

Hlavní částí této práce bylo porovnání energetické náročnosti v kamenolomech a štěrkovnách. Pro co nejspolehlivější výsledek byly využity data z celého roku 2022. Data jsou rozděleny na těžbu v kamenolomech a pískovnách. Zde se porovnávalo, který proces využívá energii efektivněji.

Dospěl jsme k závěru, že štěrkopískovny využívají energii hospodárněji. Z 1 GJ jsou schopni vyrobit 61,5 t oproti kamenolomům, kde je technologický proces energeticky náročnější a výsledek činní pouze 42,2 t/GJ. Rozdíl je dán kvůli instalaci většího příkonu energie v kamenolomech než ve štěrkopískovnách.

Literatura

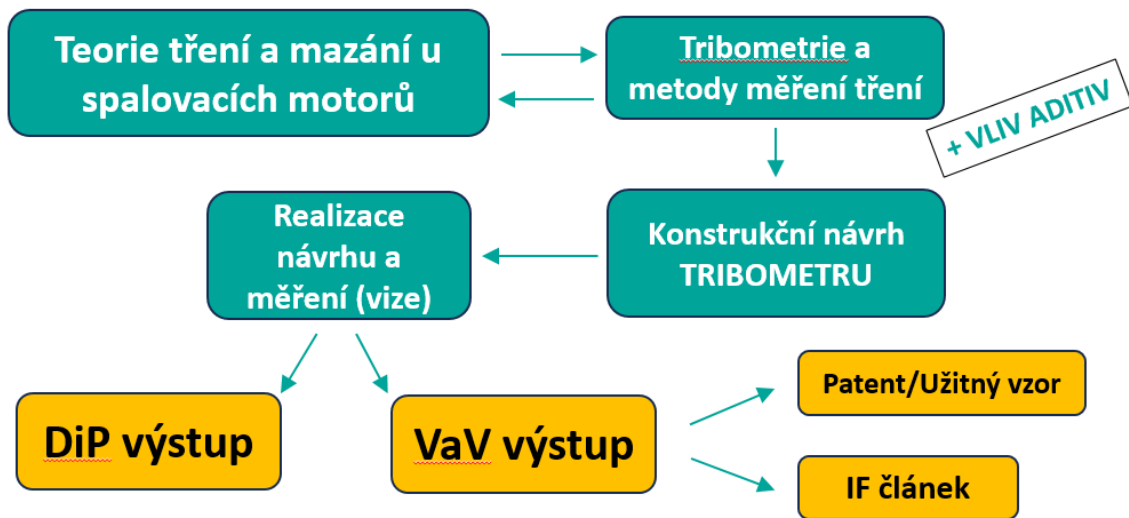
- [1] *HeidelbergMaterials AG*. Energetická náročnost provozoven 2019", Heidelberg 2023, [cit. 2023-06-19] Interní databáze firmy HeidelbergMaterials AG

TRIBOMETRIE A PŘÍSDADY PRO SNIŽOVÁNÍ TŘENÍ U MODERNÍCH MOTOROVÝCH OLEJŮ

Štěpán PRAVDA, VŠB-TU Ostrava ¹³

Poznámka: Příspěvek zpracován na základě dodané PowerPointové prezentace.

1 Úvod - propojení DiP a VaV výstupů



2 Tření a režimy mazání

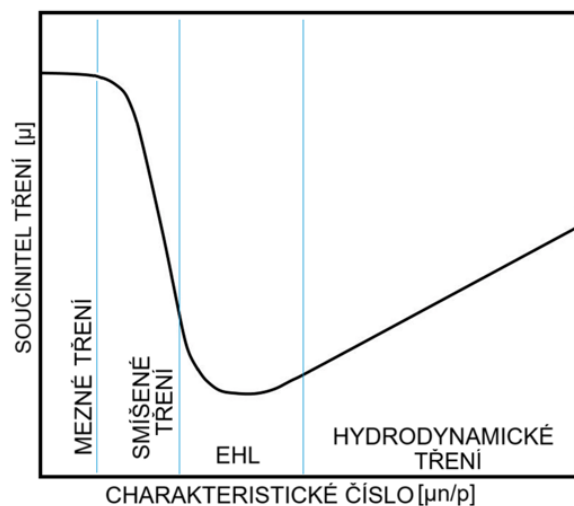
„Třecí síla je disipativní tečná síla, která vzniká ve styčné ploše mezi dvěma tělesy při jejich vzájemném pohybu, nebo při pokusu o vzájemný pohyb.“

Smykové tření:

$$F_T = \mu \cdot F_N \text{ [N]}$$

Čepové tření:

$$M_T = F \cdot r \cdot \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} \text{ [N} \cdot \text{m]}$$



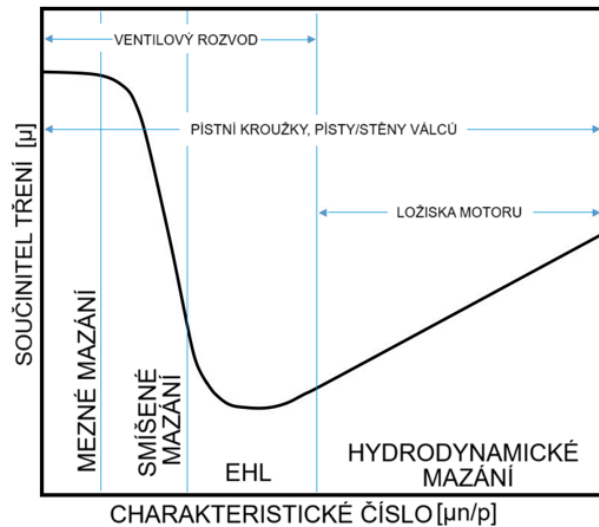
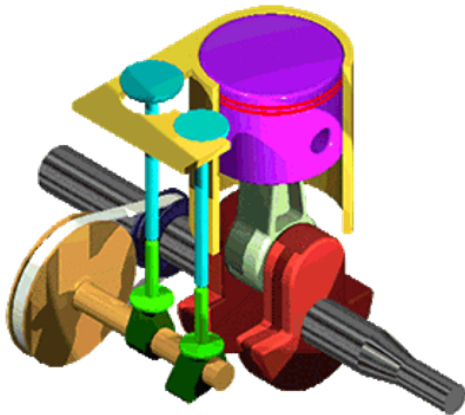
¹³ Ing. Štěpán Pravda

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FS, Katedra konstruování

17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba

tel.: +420 597 324 452, mobil: +420 702 072 408, e-mail: stepan.pravda.st@vsb.cz

3 Vznik tření v motoru s vnitřním spalováním



4 Třecí moment a třecí ztráty v motoru

Třecí moment motoru (M_{Tm}) = popisuje veškeré ztráty vzniklé vlivem tření mezi jednotlivými komponenty spalovacího motoru.

Způsoby stanovení M_{Tm} :

- Měření na aktivním motorovém dynamometru (motorové zkušebně) experimentálně přímo u konkrétního motoru.
- Matematickým výpočtem.
- Numerická simulace.

VLIV MAZIVA A JEHO VIZKOZITY!

5 Mazací olej a přísady pro snižování tření

Funkce mazacího oleje ve spalovacím motoru:

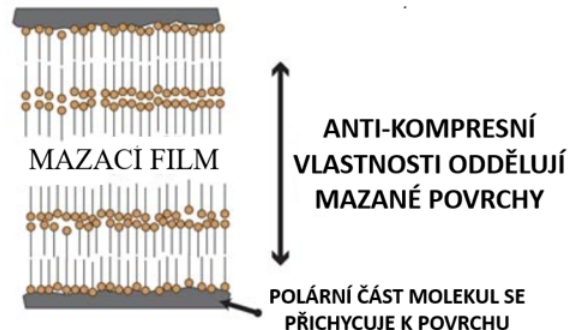
- Mazání komponent a snižování tření = hlavní a nejdůležitější funkce!
- Chlazení.
- Těsnící funkce.
- Čistící funkce.
- Konzervace a ochrana proti korozi.
- Snižování provozního hluku.
- Snižování spotřeby paliva a emisí výfukových plynů.



Vlastnosti moderních motorových olejů jsou zlepšovány přidáváním přísad, neboli ADITIV.

Aditiva pro snižování tření (modifikátory):

- Nano-aditiva/grafen,
- MoS₂,
- Cu_xO_x (částice oxidů mědi),
- ZDDP (zinkové přísady),
- IF-WS₂ (disulfid wolframu).
- Kombinace (např. TEFLON + částice hBN).



6 Tribometrie

Tribometrie je vědecký obor, který se zabývá měřením tření a opotřebení, zkoušením maziv a hodnocení tribotechnických prvků strojů.

Nejčastěji sledované tribometrické parametry:

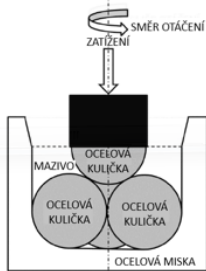
- Velikost třecí síly/součinitele tření.
- Kvantifikování opotřebení (změna hmotnosti, objemu, rozměrů etc.)

Experimentální přístroj pro měření tribometrických parametrů nazýváme TRIBOMETR.

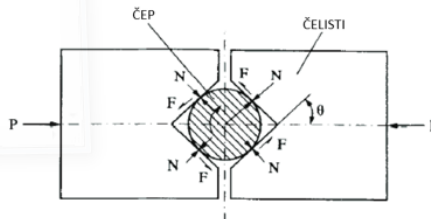
7 Přehled tribometrů

Jednotlivé tribometry se liší zejména konstrukcí a aplikací. Jedná se převážně o jednoúčelové přístroje, které zajišťují experimentální měření vybraných mazacích parametrů (tření, opotřebení, či tloušťka mazacího filmu).

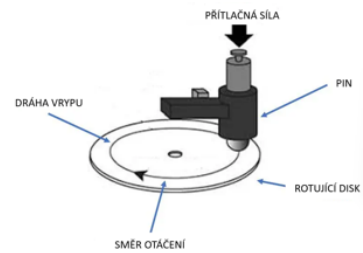
ČTYŘKULIČKOVÝ TRIBOMETR



FALEX TESTER

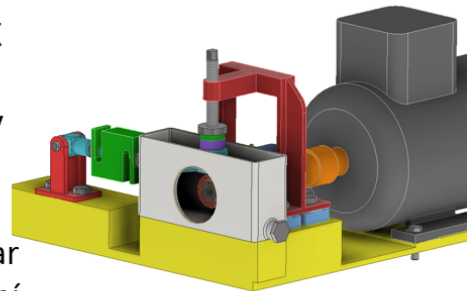


PIN ON DISC TESTER

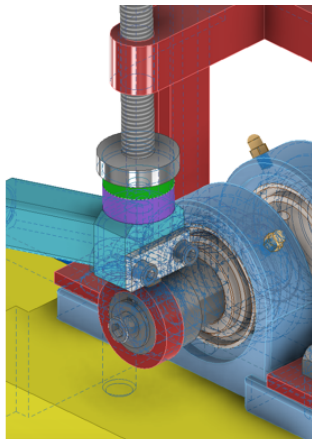


8 Konstrukční návrh BLOCK ON RING TRIBOMETRU

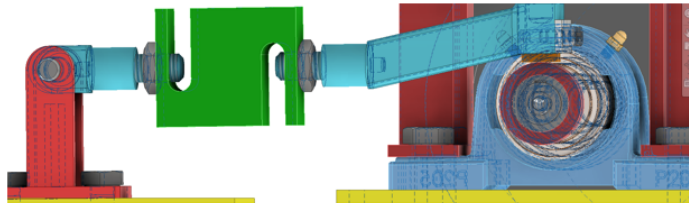
- Pro účely měření mazacích parametrů motorových olejů v mé DiP jsem provedl návrh tribometru typu **BLOCK ON RING**.
- Při návrhu jsem postupoval dle normy **ASTM G77-17** (Standard Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test), která popisuje konstrukci zařízení i postup měření na něm.



8.1 Realizace návrhu



- **Optimalizace tribometru;** FEM pevnostní analýza = cílem je co nejnižší elastická deformace ramene.
- **Výroba dílčích prvků.**
- **Kompletace, seřízení a kalibrace tribometru.**
- Dle normy ASTM G77-17 **výroba přesných broušených zkušebních prvků (pin + ring).**



9 Měření - propojení výstupů VaV a DiP

9.1 Aplikace v mé disertační práci:

- **Realizace měření podle ASTM G77-17. Testování vybraných tribologických parametrů motorových olejů;** testování aditiv (modifikátory tření) - DiP.

9.2 Možné výstupy v oblasti VaV:

- **Samotné zařízení představuje potenciál v oblasti transferu technologií** (cenově dostupný tribometr); užitný vzor, funkční vzorek etc.
- **Měření na zařízení = potenciál pro publikační činnost** (tribologické časopisy: MDPI Lubricants, Lubrication Science etc.)

Literatura

- [1] Delprete, C. and A. Razavykia. Piston dynamics, lubrication and tribological performance evaluation: A review. *International Journal of Engine Research* [online]. 2020, 21(5), 725-741 [cit. 2023-08]. ISSN 1468-0874. Dostupné z: doi:10.1177/1468087418787610
- [2] Chua Abdullah, M.I.H., Abdollah, M.F., Amiruddin, H., Tamaldin, N. and N.R. Mat Nuri. Effect of hBN/Al₂O₃ Nanoparticle Additives on the Tribological Performance of Engine Oil. *In Jurnal Teknologi* [online]. 2014, 2014-03-02, 66(3) [cit. 2023-08]. ISSN 2180-3722. Dostupné z: doi:10.11113/jt.v66.2685
- [3] *Engine Motors* [online]. [cit. 2023-08]. Dostupné z: <https://bestanimations.com/gifs/Engine-Motors.html>
- [4] *Nalévání oleje* [online]. [cit. 2023-08]. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/cs/fotografie/nal%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD-oleje-gm153517859-17399141>
- [5] *When and How to Use Friction Modifiers* [online]. [cit. 2023-08]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30336/friction-modifiers-use>

Autor:	Kolektiv autorů
Katedra, institut:	340 - Katedra konstruování
Název:	PREZENTACE DOKTORANDŮ KATEDRY 340/2023 sborník prezentací semináře doktorandů katedry
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2023, 1. vydání
Počet stran:	76
Vydala:	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava 17. listopadu 2172/15 708 00 Ostrava - Poruba
Tisk:	online Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Náklad:	-
	Neprodejné
	ISBN 978-80-248-4689-7 (on-line)