



## ANALÝZA OPOTREBENIA ZÁVITOVKOVÝCH SÚKOLESÍ THE ANALYSIS OF WORM GEAR WEAR

Anna ŠMERINGAIOVÁ – Hekmat Al HAKIM – Imrich VOJTKO  
Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach

**Summary:** The paper describes monitoring process of friction regime and wear level of worm gear that was carried out during experimental tests of worm gears. The measuring stand for dynamic load of worm gear boxes can simulate various extreme transient operation regimes. The size of wear was evaluated on the basis of the results of collected gear oil samples by the means of tribotechnical diagnostics methods.

### ÚVOD

Opotrebením v tribológii rozumieme odstraňovanie materiálu z povrchu funkčných plôch v ich priamom kontakte počas vzájomného pohybu, resp. pri kontakte s prúdiacim médiom. V prípade závitovkových súkolesí je opotrebenie kontaktných plôch závitovky a závitovkového kolesa dôležitým faktorom ovplyvňujúcim predovšetkým životnosť a spoľahlivosť závitovkového reduktora. Z hľadiska prevencie je preto potrebné sledovať viaceré činitele, ktoré majú na veľkosť opotrebenia závitovkových súkolesí zásadný vplyv.

Na KNTZ FVT TU v Prešove bola v rámci riešenia vedeckých projektov VEGA 1/3175/06 a VEGA 1/0292/08 vypracovaná metodika experimentálnej analýzy opotrebenia závitovkových reduktorov v rôznych prevádzkových režimoch. Pre tento účel bola v laboratóriu KNTZ postavená skúšobná stanica [2] určená pre vykonávanie komparatívnych skúšok rôznych typov prevodoviek. Na tejto skúšobnej stanici je možné realizovať rovnako krátkodobé, ako aj dlhodobé skúšky prevodoviek za účelom zlepšovania ich parametrov a zvyšovania ich životnosti. V článku sú popísané čiastkové výsledky prvej etapy skúšobných testov vybraných typov závitovkových reduktorov, ktorej cieľom bolo predovšetkým overiť vhodnosť skúšobnej stanice na objektívne určenie ich technického stavu.

### METÓDY URČOVANIA OPOTREBENIA

Pre určenie veľkosti opotrebenia bola zvolená metóda komplexného prístupu k získavaniu významných prevádzkových hodnôt a ich rozborov. V súvislosti s určením opotrebenia v kontaktných miestach bokov zubov boli použité rôzne diagnostické metódy:

- meranie ultrazvukovej emisie, nízkofrekvenčných a vysokofrekvenčných vibrácií,
- meranie teploty oleja a skrine prevodovky,
- meranie hrúbky zubov závitovkového kolesa v konštantnej výške,
- vizuálne posúdenie povrchu bokov zubov,
- rozbor prevodového oleja.

### CHARAKTERISTIKA PREVÁDZKOVÉHO REŽIMU ZÁVITOVKOVÝCH PREVODOVIEK

Počas experimentálnej prevádzky bol technický stav závitovkových prevodoviek monitorovaný v 2 rôznych pracovných režimoch. Prevádzkové podmienky *Pracovného režimu 1* boli zámerne navrhnuté tak, aby sme dosiahli 70 ÷ 80 % nominálneho výkonu prevodovky garantovaného výrobcou a ustálenie teploty oleja pod limitovanou hranicou.



V prípade *Pracovného režimu 2* bolo zaťaženie prevodovky menšie. Podrobné údaje v [1]. V oboch prípadoch fungovali testované prevodovky v nepretržovanom pracovnom režime cca 3 hodiny. Ďalej sú uvedené výsledky analýzy prevodového oleja. Vzorky oleja boli odobrané po ukončení skúšobnej prevádzky v *pracovnom režime 1 a 2*.

## URČENIE ŽIVOTNOSTI OLEJA

V prvej etape laboratórnych skúšok bol na mazanie závitovkovej prevodovky použitý prevodový olej Paramo CLP 220, vyrobený z vysoko rafinovaných základových olejov s prísadou modifikátora trenia, vysokotlakými prísadami, antioxidantami a prísadami proti korózii. Vzorky oleja boli odobrané podľa stanoveného plánu laboratórnych skúšok a analyzované v spolupráci s firmou Triboservis, s r.o. Prešov.

- Vzorky boli ohriate na teplotu prostredia a analyzované pomocou prístroja **CCT Infra** (Prístroj na určenie životnosti mazív). Po ponorení sondy do homogenizovaných vzoriek oleja boli hodnoty CN odčítané na displeji prístroja. Obsah vody bol určený audiovizuálnym pozorovaním správania sa oleja pri zohriatí. Namerané hodnoty a ich vyhodnotenie sú uvedené v **Tab. 1**.

**Tab. 1** Výsledky merania CN a obsahu vody v oleji  
Results of CN and water content measurement in oil

Typ oleja			Viskozita oleja		
PARAMO CLP 220			220		
Prac. cyklus	CN	Hodnotenie	Obsah vody	Hodnotenie	
1	1,82 %	Prevodový olej	0 %	Žiadne viditeľné zmeny	Žiadne sluchové vnemy
2	1,79 %	Prevodový olej	0 %	Žiadne viditeľné zmeny	Žiadne sluchové vnemy

## URČENIE REŽIMU TRENIA A HLADINY OPOTREBOVANIA FUNKČNÝCH ČASTÍ ZÁVITOVKOVÉHO PREVODU

- Odobraté vzorky oleja ohriate na teplotu prostredia boli analyzované pomocou prístroja **PMA** (Priamo čítajúci magnetický analyzátor). Koncentrácia nerozpustných častíc ( $D_L$  – veľké častice, tzn. > ako 15  $\mu\text{m}$ ,  $D_S$  – malé častice, tzn. > ako 2  $\mu\text{m}$ ) bola odčítaná na displeji prístroja. Hodnota konštanty  $k$  bola určená podľa [3]. Hladina opotrebovania  $WPC$  bola z nameraných hodnôt vypočítaná podľa vzťahu:

$$WPC = \frac{D_L + D_S}{1800} \cdot 100$$

(1)

Intenzita opotrebovania  $PLP$  bola z nameraných hodnôt vypočítaná podľa vzťahu:

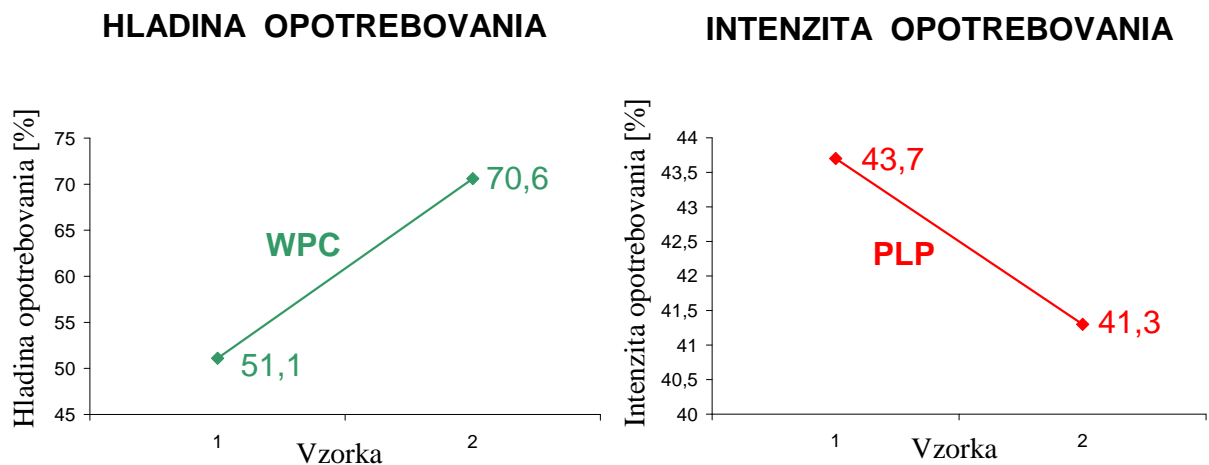
$$PLP = \frac{D_L \cdot k}{D_L + D_S} \cdot 100$$

(2)

**Tab. 2** Výsledky merania hladiny a intenzity opotrebovania  
Results of level and intensity of wear measurement

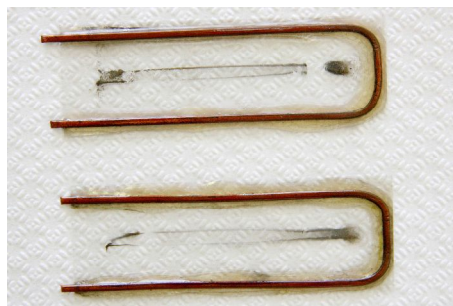
Typ oleja			Viskozita oleja		
PARAMO CLP 220			220		
Prac. cyklus	$D_L$	$D_S$	$k$	WPC	PLP
1	670	250	0,6	51,1 %	43,7 %
2	750	520	0,7	70,6 %	41,3 %

Namerané a vypočítané hodnoty jednotlivých meraní sú uvedené v Tab. 2 a ich grafické zobrazenie na Obr. 1.



**Obr. 1** Graf zmeny hladiny a intenzity opotrebovania  
**Fig.1** Diagram of level and intensity of wear changes

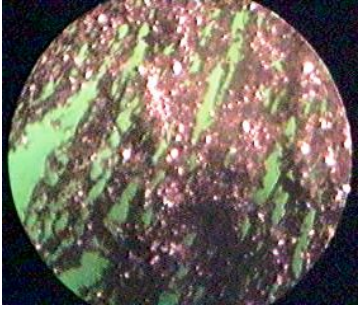
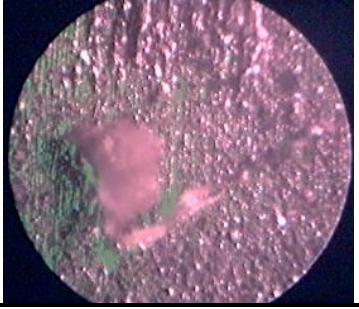
- Odobraté vzorky oleja boli analyzované pomocou **Ferografickej súpravy (Ferograf a bichromatický mikroskop)**. Feromagnetické sklíčko s vytvorenou ferografickou stopou (**Obr. 2**) bolo umiestnené na posuvnom stolčeku mikroskopu.



**Obr. 2** Feromagnetické sklíčko s vytvorenou ferografickou stopou  
**Fig. 2** Ferromagnetic glass with created ferrographic track

Ferografická stopa bola pozorovaná pri zvolenom zväčšení. Koncentrácia, veľkosť, tvar a pôvod častíc boli na stope identifikované v mieste vtoku oleja. Výsledky identifikácie a sú uvedené v Tab. 3.

**Tab. 3** Identifikácia častíc  
Identification of particles

Typ oleja		Viskozita oleja
PARAMO CLP 220		220
Prac. cyklus	Obraz stopy	Identifikácia častíc
1		<p><b>Adhézne</b> – mikrošupinky usporiadané v smere siločiar – normálne opotrebenie</p> <p><b>Neželezné</b> – ležia mimo siločiar magnetu, bronzovo žiariace – opotrebenie kontaktných plôch bokov zubov závitovkového kolesa</p>
2		<p><b>Adhézne</b> – mikrošupinky usporiadané v smere siločiar – normálne opotrebenie</p> <p><b>Neželezné</b> – ležia mimo siločiar magnetu, bronzovo žiariace – opotrebenie kontaktných plôch bokov zubov závitovkového kolesa</p>

## HODNOTENIE MONITORINGU REŽIMU TREZIA A PRIEBEHU OPOTREBENIA

Na základe vyššie uvedených meraní je možné v súvislosti s režimom trenia v kontaktných plochách závitovkového súkolesia konštatovať:

- Životnosť oleja bola posúdená určením celkových nečistôt a obsahu vody v oleji. Namerané hodnoty CN sú tesne pod doporučenou hodnotou nevyhovujúceho stavu (CN 2).
- V obraze stôp oboch posudzovaných vzoriek oleja sú jasne viditeľné častice zliatín Cu a Sn (bronzovo žiariace častice). V závitovkovej prevodovke je z bronzu vyrobené jediné závitovkové koleso. Rozsah prítomnosti častíc zliatín Cu a Sn preto potvrdzuje značné opotrebenie kontaktných povrchov bokov zubov závitovkového kolesa.
- Na základe porovnania hustoty výskytu a veľkosti častíc prítomných v oboch vzorkách oleja je možné konštatovať, že po narušení povrchovej vrstvy bokov zubov počas *Pracovného režimu 1* prevodovky sa hladina opotrebovania v procese *Pracovného režimu 2* zvýšila.
- Stúpajúca tendencia hladiny opotrebovania WPC tiež potvrdzuje, že aj napriek nižšiemu zaťaženiu zo strany hnaného stroja, opotrebenie bokov zubov sa s predlžujúcou sa dobou prevádzky prevodovky zväčšuje.



- Intenzita opotrebenia PLP mierne klesá, ale pretože vedľa malých častíc sa s predlžujúcou sa dobou prevádzky prevodovky z povrchu bokov zubov uvoľňujú aj častice väčších rozmerov, celkové opotrebenie sa prejavuje v stále väčšej miere.
- Hodnoty WPC a PLP prekračujú doporučené limity nevyhovujúceho stavu: WPC – nad 70%, PLP – nad 35%. Olej je potrebné vymeniť.

K rovnakým záverom poukazujúcim na rýchle opotrebenie značného rozsahu sme dospeli aj meraním a porovnaním hodnôt hrúbky zubov a šírky zubových medzier závitkového kolesa, na základe vizuálneho posúdenia povrchu bokov zubov závitkového kolesa a spracovaním dát meraných dynamických veličín (vibrácie, ultrazvuk) frekvenčnou analýzou.

## ZÁVER

Výsledky prvej etapy laboratórnych skúšok závitkových prevodov potvrdili vhodnosť využitia meracej stanice postavenej na KNTZ FVT Prešov na testovanie dynamických účinkov a životnosti závitkových prevodoviek. Konštrukčné riešenie a systém programového ovládania chodu skúšobnej stanice umožňuje simuláciu rôznych prevádzkových podmienok. Moderné diagnostické metódy (vibrodiagnostika, spektrálna diagnostika, ultrazvuková diagnostika, tribodiagnostika, meranie teploty) a doplnkové merania opotrebenia, ktorých metodika bola vypracovaná na KNTZ poskytnú výrobcovi dostatok objektívnych informácií o technickom stave prevodoviek, na základe ktorých je možné optimalizovať technológiu výroby, konštrukčné riešenie, overiť údaje o výkonových parametroch a výbere odporúčaných olejov, resp. spôsobu mastenia prevodovky s možnosťou doplnenia mazacích mechanizmov o rôzne plnivá znižujúce kontaktné namáhania bokov zubov v extrémnych režimoch prevádzky.

Z hľadiska zabezpečenia akceptovateľných výsledkov meraní testovaných prevodoviek je nutná optimalizácia konštrukcie nosného rámu. Týmto opatrením by sa malo zabrániť výskytu nepriaznivých rezonančných dejov a vzniku vysokých mechanických vibrácií vnútri mechanickej sústavy (skúšobného zariadenia), ktorých prítomnosť v prvej etape mala zásadný vplyv na rýchle poškodenie kontaktných plôch členov závitkového súkolesia.

*Tento článok bol vypracovaný v súvislosti s riešením grantových projektov VEGA:1/3175/06 „Výskum vplyvu technologických parametrov výroby ozubených prevodov na ich dynamiku“*

*VEGA1/0292/08 „Výskum v oblasti virtuálnej diagnostiky výrobných strojov a zariadení“.*

## LITERATÚRA

1. ŠMERINGAIOVÁ, A.: Príspevok k analýze a optimalizácii vplyvu technologických parametrov na dynamické zaťaženie závitkových súkolesí. Dizertačná práca, s.115. Prešov: 2008.
2. BLAGODARNY, V. - PAVLENKO, S. – HALKO, J.: Stanica pre dynamické skúšky závitkových prevodov. In: *Medzinárodné vedecké sympóziu „Kvalita a spoľahlivosť strojov“*. s. 299 – 300
3. AL HAKIM. H. - MIHALČOVÁ. J.: Cvičenia z Tribológie Prešov, 2008. 69 s., ISBN 978-80-8073-982-9