



# VÝVOJ NOVÉ GENERACE ZAŘÍZENÍ S POKROČILOU DIAGNOSTIKOU PRO STANOVENÍ KONTAKTNÍ DEGRADACE

Jiří Dvořáček

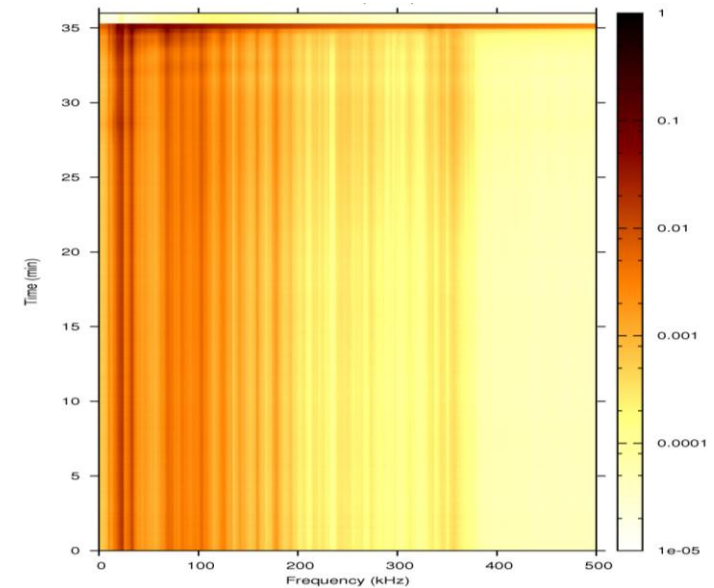
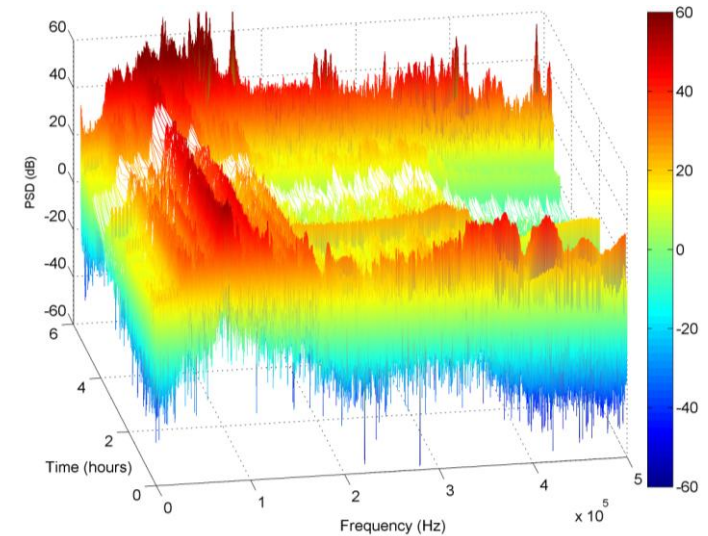
 ústav  
konstruování

**Prezentace k obhajobě doktorské  
dizertační práce**

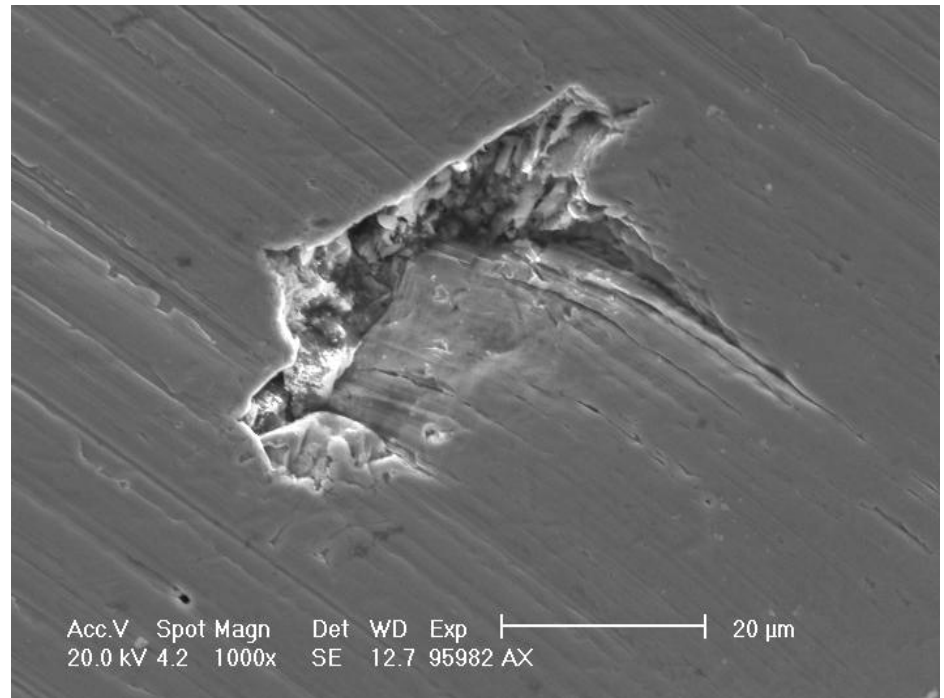
Institute of Machine and Industrial Design  
Faculty of Mechanical Engineering  
Brno University of Technology

**18.3.2014**

- Motivace
- Akustická emise
- Poznatky a jejich zhodnocení
- Formulace problému a cíl dizertační práce
- Metodika identifikace vzniku poškození
- Experimentální zkoušky
- Závěr
- Publikační výstupy



Výzkumná skupina „Únavové vlastnosti“ se dlouhodobě zabývá únavovými zkouškami a vznikla potřeba získat nové možnosti pro analýzu výsledků z testování axiálně namáhaných součástí s využitím moderních diagnostických metod



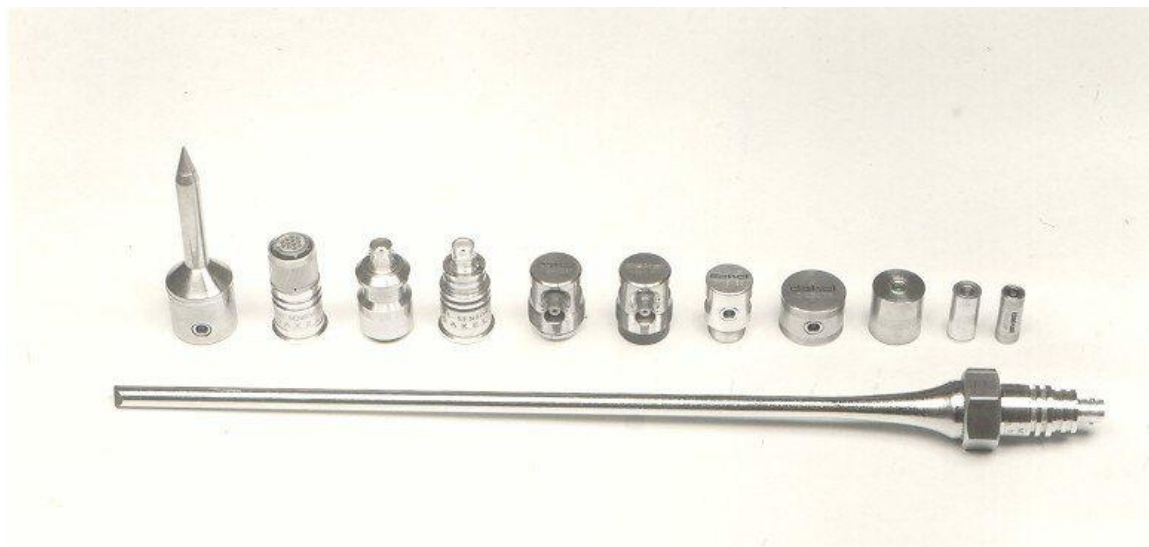
## Metody hodnocení kontaktní únavy:

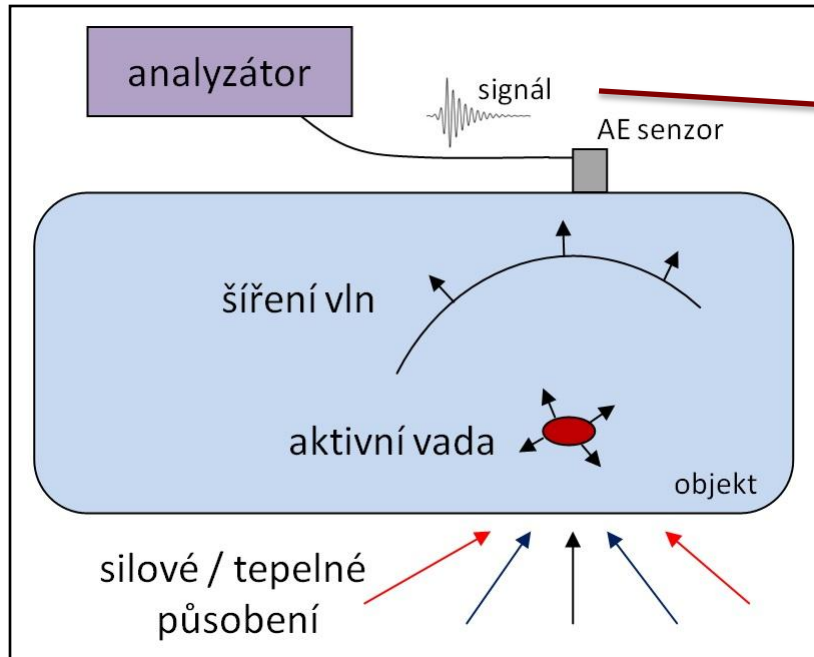
Měření vibrací:

- Vibrodiagnostika, SPM - měřený rozsah 0 - 20 kHz
- Ultrazvuk - měřený rozsah 500 kHz – 5 MHz
- Laserový vibrometr - měřený rozsah 10 Hz - 3 MHz
- Akustická emise - měřený rozsah 100 kHz - 4 MHz

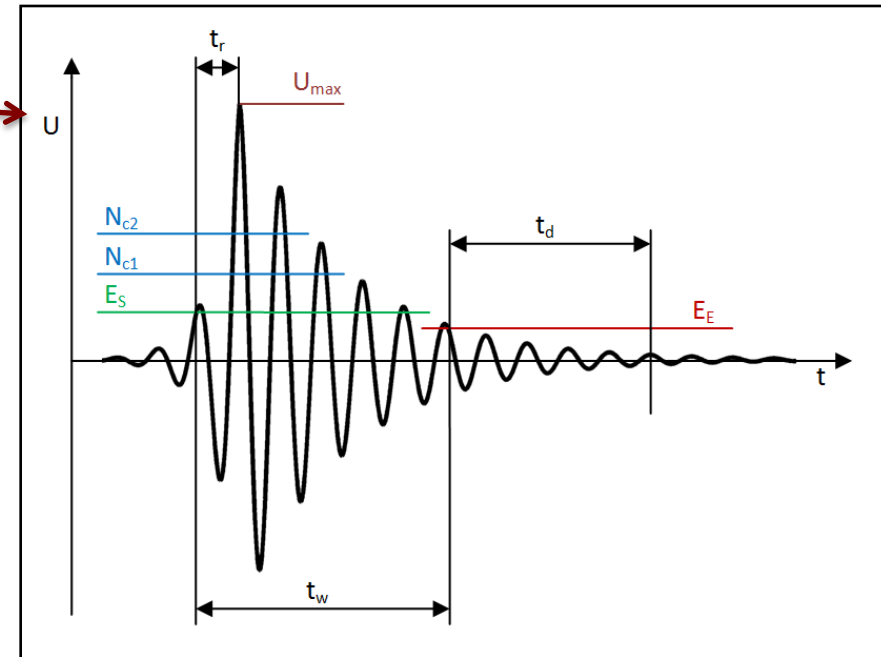
Další metody:

- Poslechová metoda
- Měření teploty





Zjednodušené schéma vzniku a detekce elastických vln v materiálu



Ukázka události AE

Parametry AE:

Počet překmitů (counts):

$$\dot{N}_c = \frac{dN_c}{dt}$$

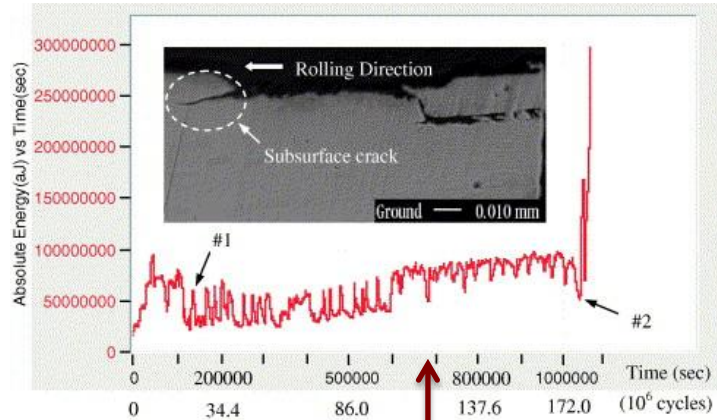
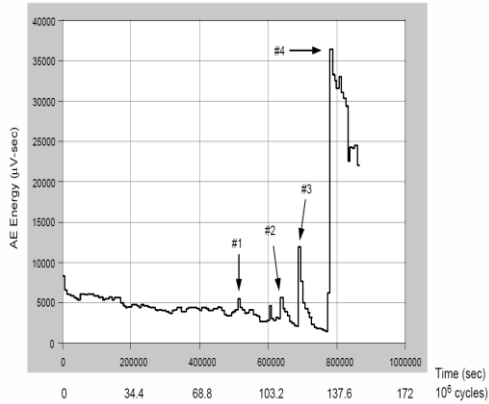
Energie signálu

$$E = \frac{1}{R} \int_{t=0}^{t^*} A(t)^2 dt$$

Efektivní hodnota signálu

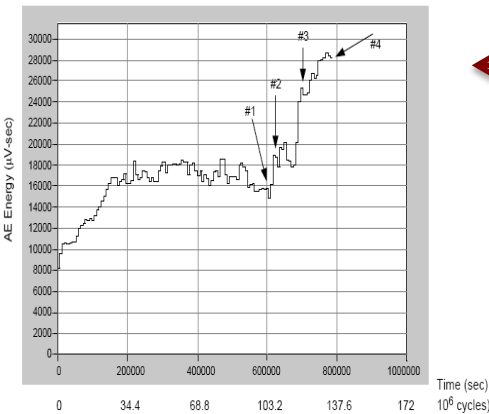
$$RMS = \sqrt{\frac{E}{\Delta t}}$$

# Poznatky a jejich zhodnocení

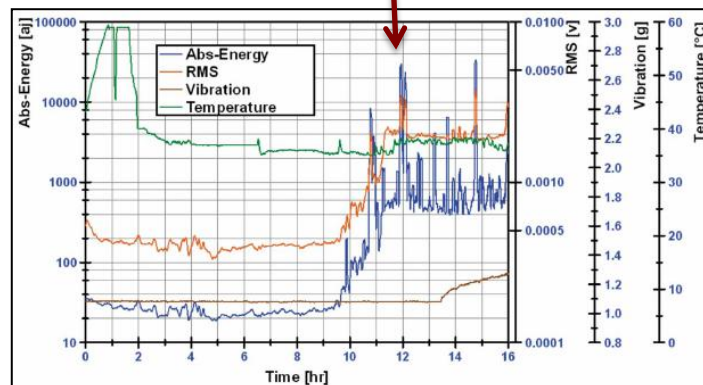


A.W. Warren , a další

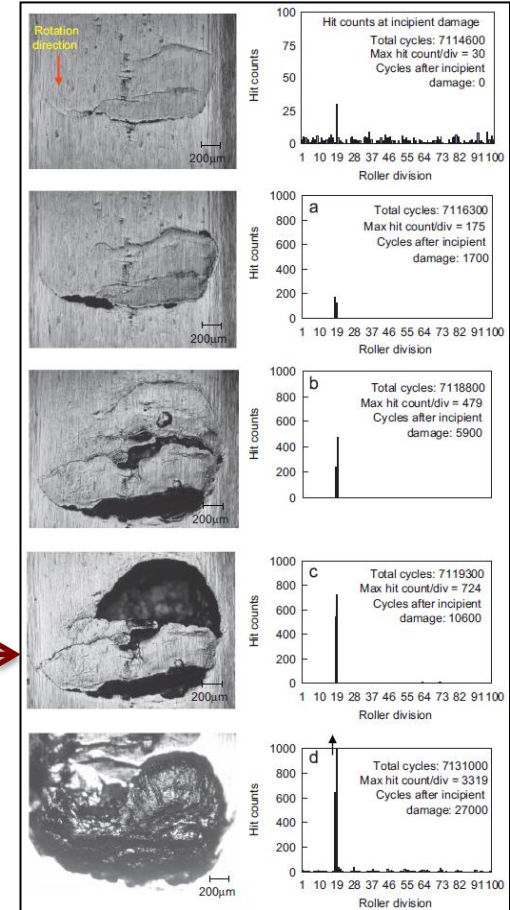
← **Porovnání parametrů signálu AE – counts, RMS, absolutní energie**  
**Kvalitativní hodnocení poškození**  
**Srovnání diagnostických metod** →



Y.B. Guo, Dale, W. Schwach



Elforjani, M.; Mba, D



Rahman Z, a další

Dizertační práce řeší metodický přístup k využití AE jako nástroje pro identifikaci počátku a rozvoje kontaktního poškození materiálů využívaných nejen v ložiskovém průmyslu.



## Hlavní cíl

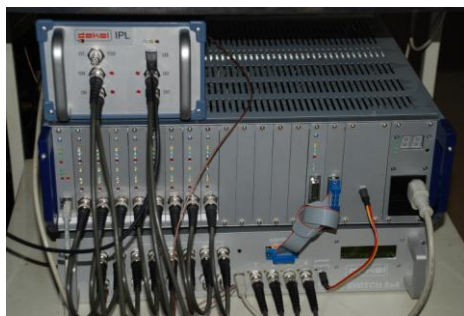
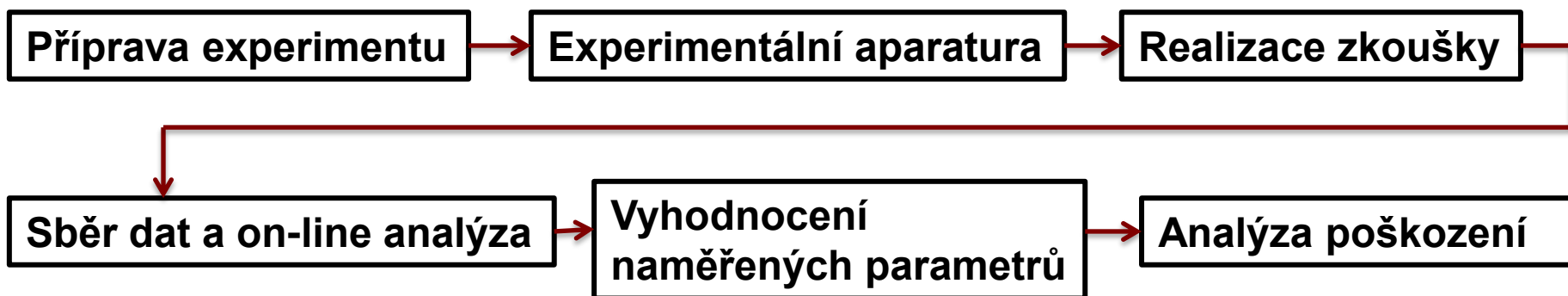
Cílem disertační práce je sestavit metodiku pro identifikaci počátečních stádií kontaktní únavy s využitím akustické emise.

## Dílčí cíle

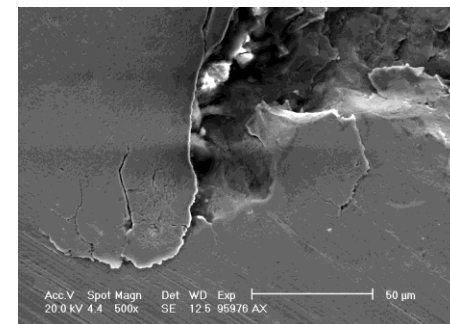
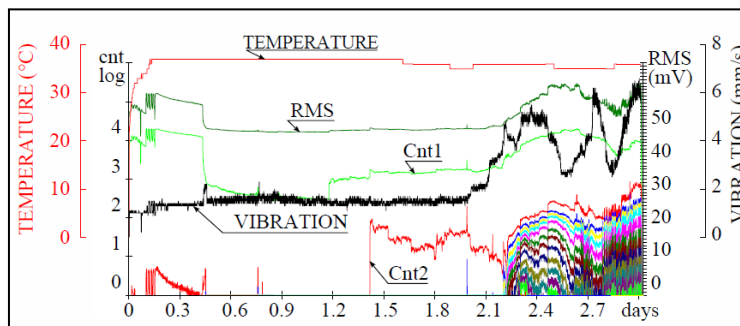
- Návrh komplexního experimentálního nástroje včetně metody zkoušení
- Provedení série experimentálních zkoušek pro ověření funkčnosti zařízení a navržené metodiky na kruhových zkušebních vzorcích a na axiálních ložiscích.
- Vypracování nové metodiky identifikace počátečních stádií kontaktní únavy s využitím kombinace diagnostických metod.

## Návrh metodiky pro identifikaci poškození axiálních ložisek s využitím metody akustické emise

dle normy ČSN EN 13554 (Nedestruktivní zkoušení – Akustická emise – Všeobecné zásady)

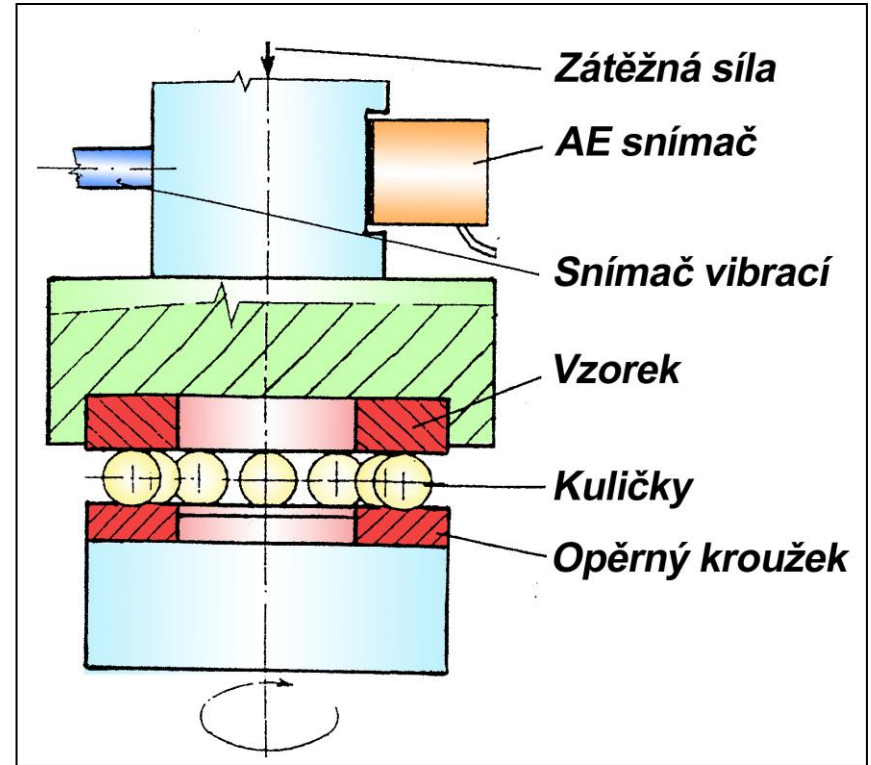


XEDO + IPL + AESWITCH





**Axmat**

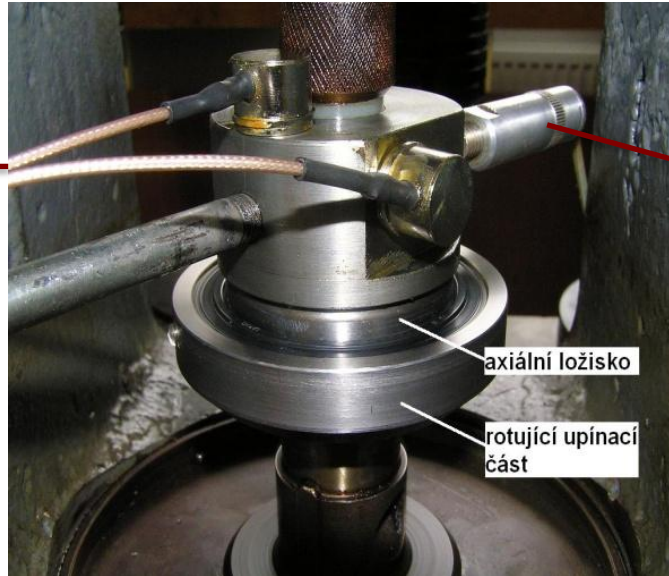


**Zkušební uzel**

# Měřicí řetězec



Jednotka DakeI IPL  
záznam signálu AE  
progresivní  $f_{vz}$

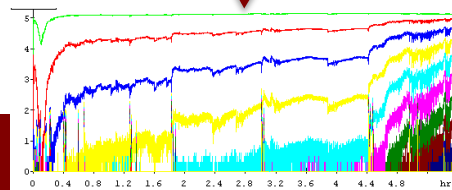


Analyzátor VDT 2000  
záznam vibrací  
záznam teploty

USB – stažení  
datových souborů



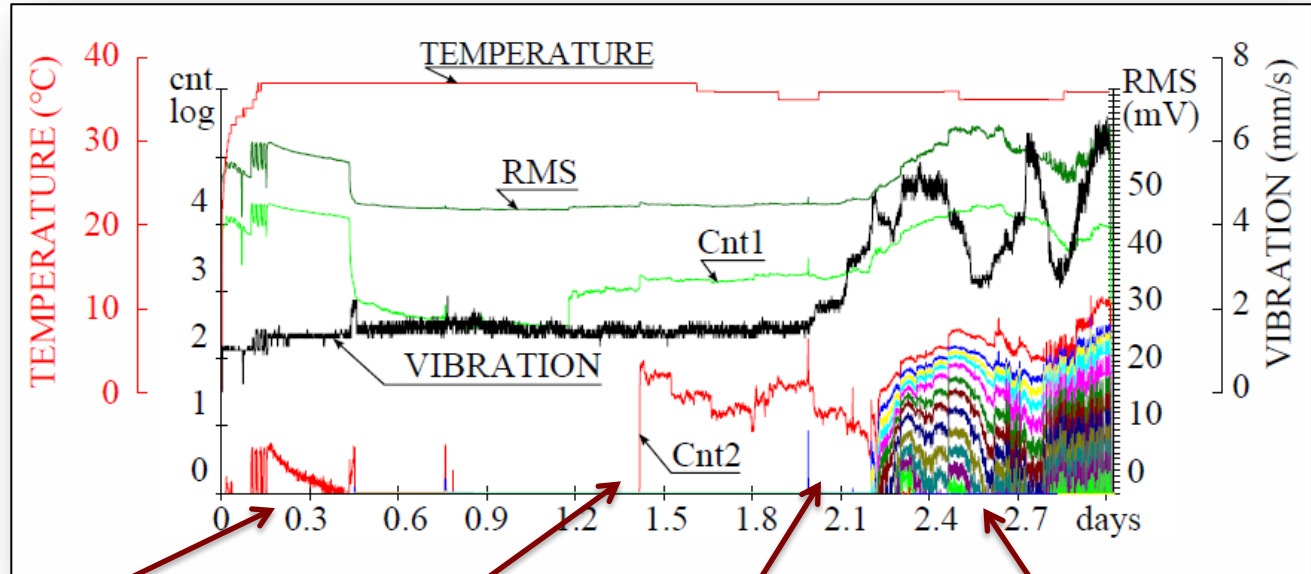
LAN – online  
sledování



PC – postprocessing, analýza  
dat, prezentace dat

## Únavová zkouška ložiskového materiálu – statické zatížení

**Parametry zkoušky:**  
vzorek 100Cr6  
 $\sigma_{hertz} = 5000\text{MPa}$   
mazivo – Mogul LV2-3

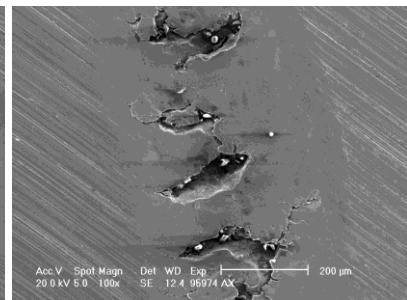
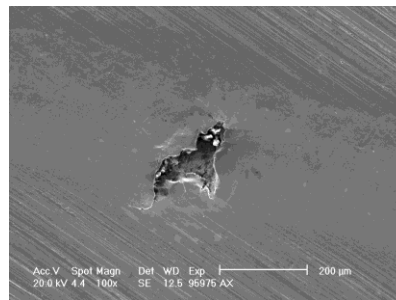
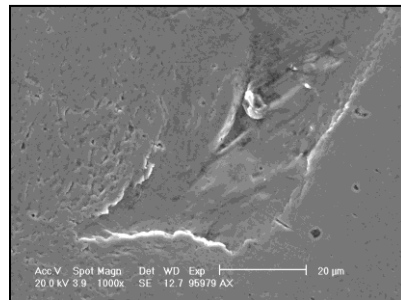


Záběh

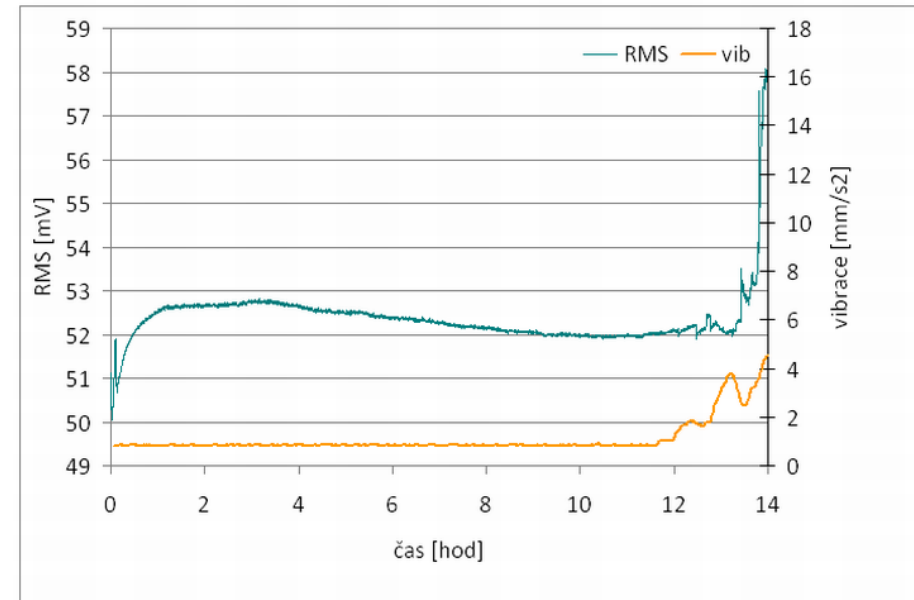
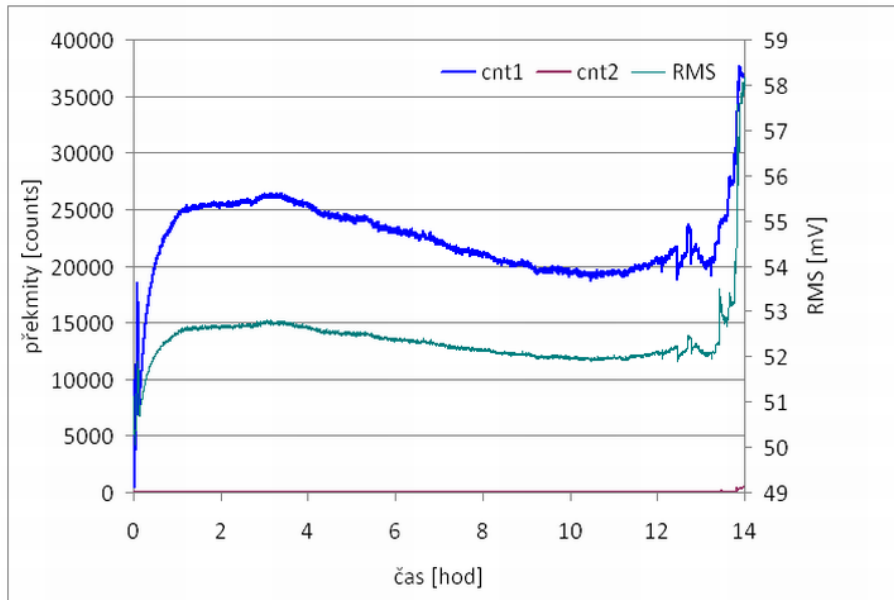
Iniciace pittingu

Prvotní pitting

Spalling

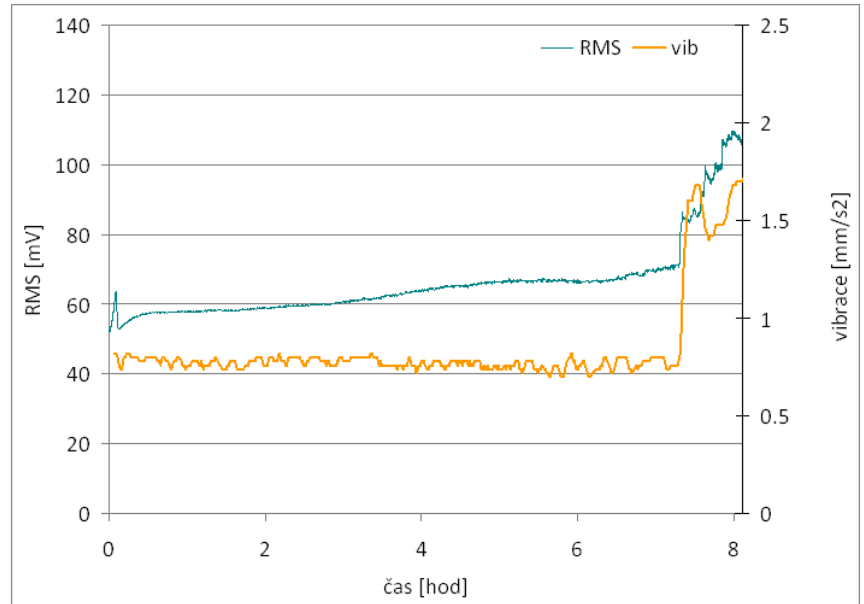
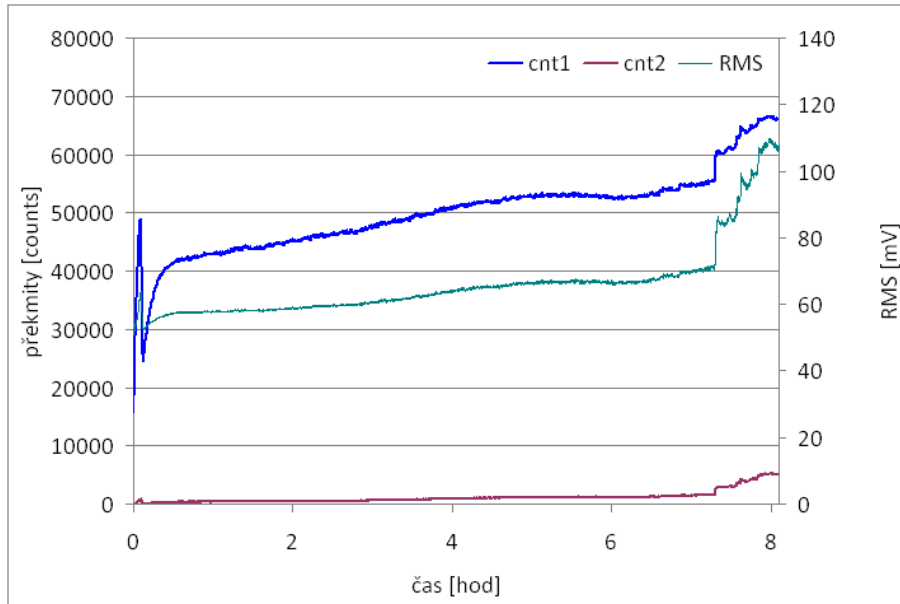


## Únavová zkouška ložiskového materiálu – snížené zatížení



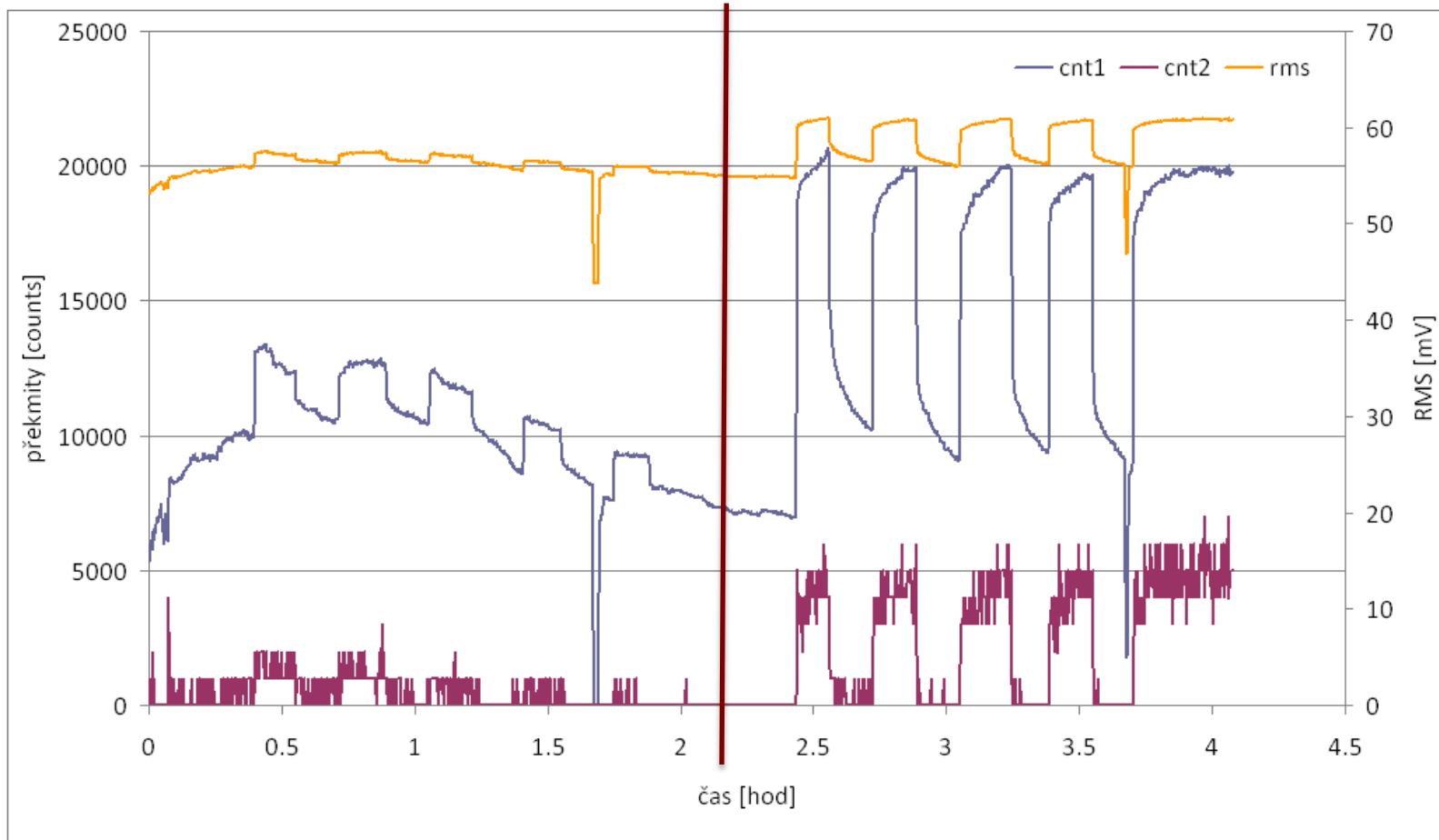
100Cr6 bez úpravy  
 $\sigma_{Hertz} = 4000MPa$

## Únavová zkouška ložiskového materiálu – bez maziva



100Cr6, bez úpravy  
 $\sigma_{Hertz} = 5000MPa$

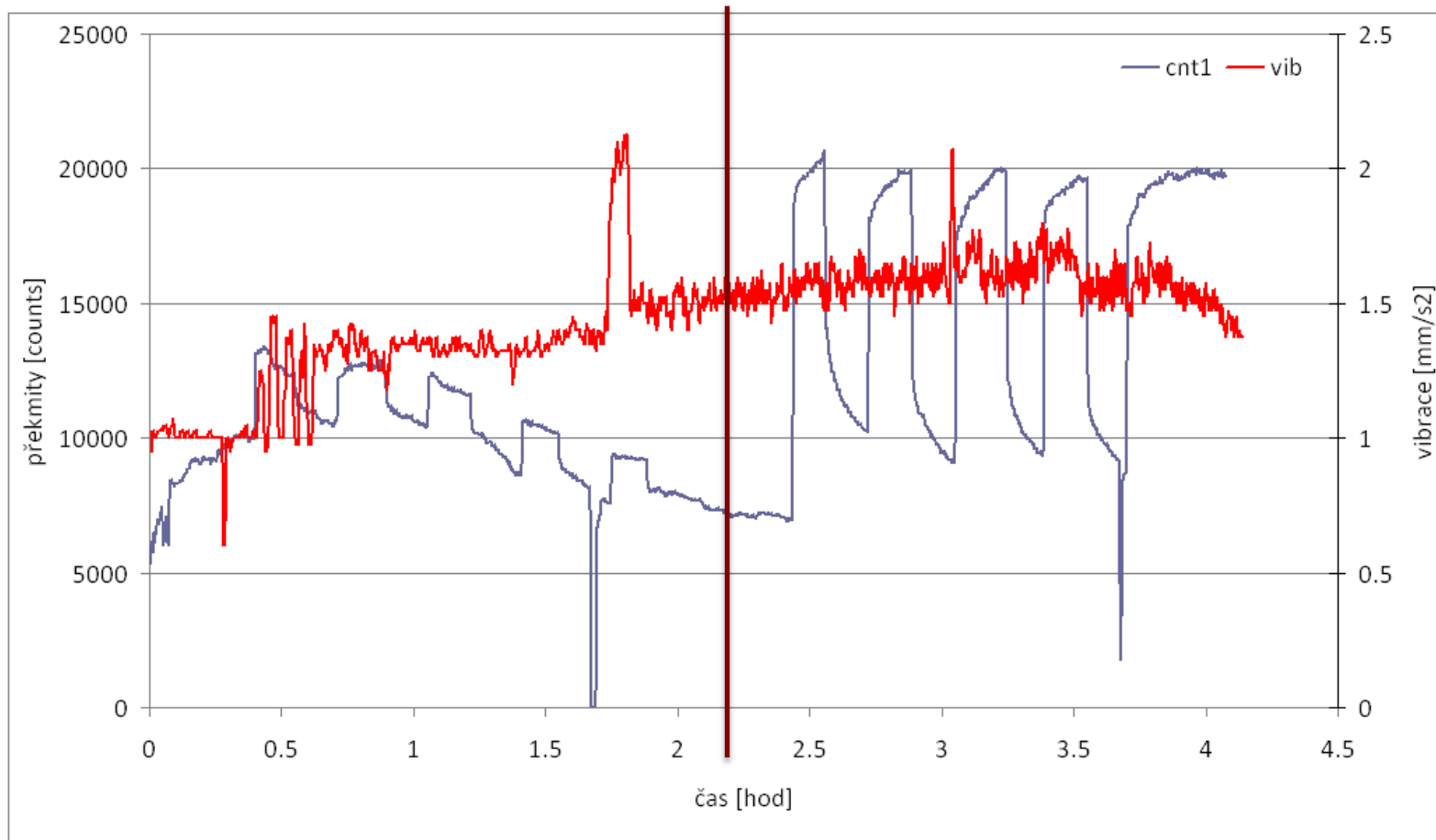
## Únavová zkouška ložiskového materiálu – dynamické zatížení



$\sigma_{Hertz} = 4500/4000 \text{ Mpa}$   
po 10 min

$\sigma_{Hertz} = 5000/4000 \text{ Mpa}$   
po 10 min

## Únavová zkouška ložiskového materiálu – dynamické zatížení



$$\sigma_{Hertz} = 4500/4000 \text{ Mpa}$$

po 10 min

$$\sigma_{Hertz} = 5000/4000 \text{ Mpa}$$

po 10 min

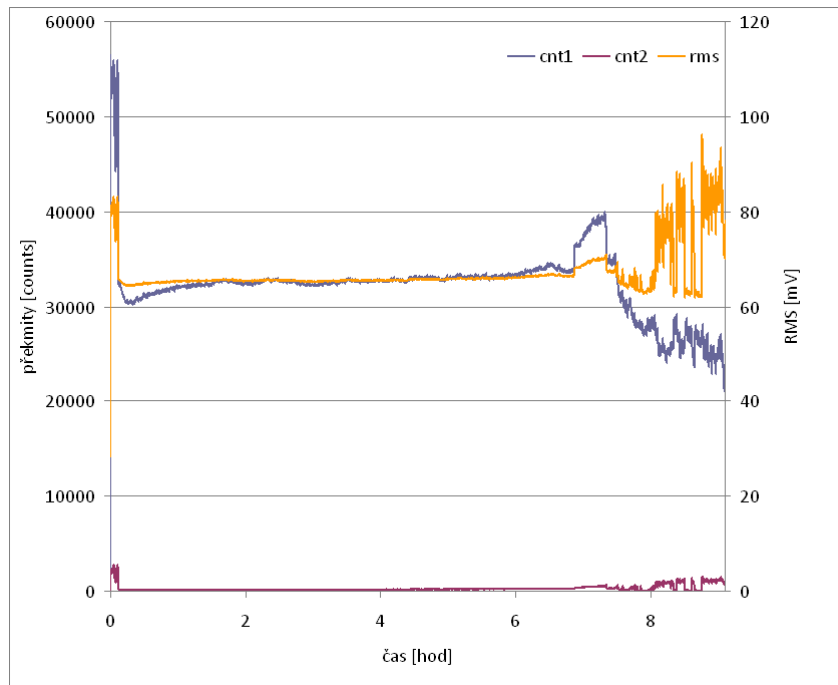
## Únavová zkouška ložiskového materiálu – vliv aditiv v mazivu

### Parametry zkoušky:

vzorek St50-2

$\sigma_{Hertz} = 3000\text{MPa}$

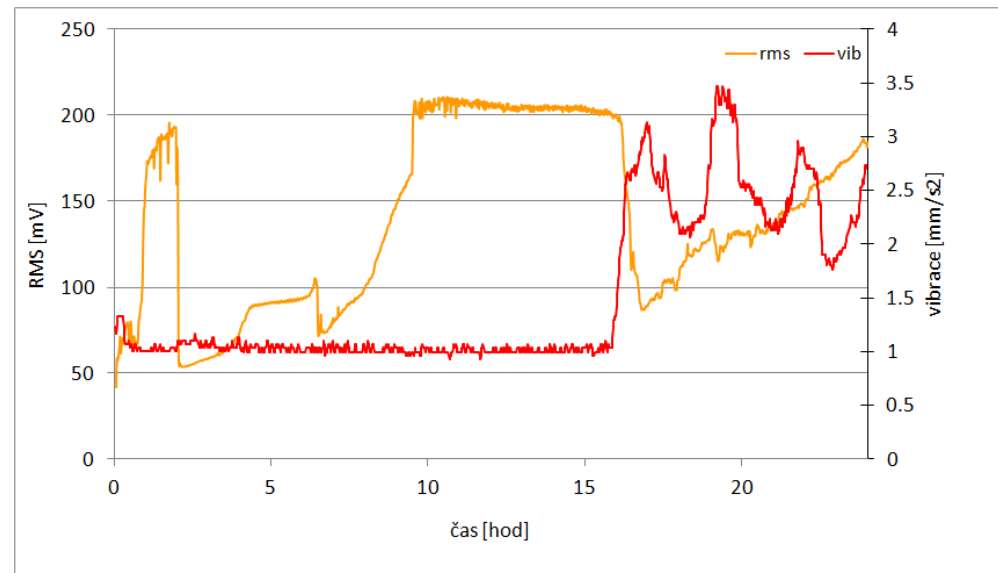
mazivo – Mogul LV2-3



vzorek St50-2

$\sigma_{Hertz} = 3000\text{MPa}$

mazivo – Mogul LV2-3+F15



- Realizováno pracoviště pro další výzkum v oblasti kontaktní únavy ložisek a materiálových vzorků zatížených axiálně.
- Komplexní experimentální nástroj pro in-situ sledování experimentu.
- Prokázána důležitost aplikace AE pro detailní analýzu účinků proměnlivého zatěžování a vlivu vybraných aditiv na kontaktní únavu.
- Návrh metodiky pro identifikaci poškození axiálních ložisek s využitím metody akustické emise a její ověření

### Přínos práce

- Ucelený soubor nástrojů pro popis, sledování a analýzu dat při zkouškách kontaktní únavy axiálně zatěžovaných vzorků pomocí AE
- Navrženou metodiku lze využít při další kooperaci v oblasti aplikovaného výzkumu; možnost zkoušení reálných funkčních uzlů.

### Publikace 2013:

**NOHÁL, L.; HORT, F.; DVOŘÁČEK, J.; MAZAL, P. An Experimental Investigation of Rolling Contact Fatigue of Steels Using Acoustic Emission Method. *INSIGHT*. 2013. 55(12). p. 665 - 669. ISSN\~1354-2575.**

**SEDLÁK, J.; FIŠEROVÁ, Z.; CHLADIL, J.; ZEMČÍK, O.; DVOŘÁČEK, J. The Influence of Lubricants on the Durability of Roller Bearings. *JOURNAL PROCEEDINGS IN MANUFACTURING SYSTEMS*. 2013. 8(4). p. 213 - 220. ISSN\~2067-9238.**

**2013**

**FR-TI4/247 - Research and development of design and technology of energy-efficient spherical roller bearings with brass cage (2012-2015, MPO/FR) Doc. Chladil ÚST OTO, ZKL- výzkum a vývoj, ZKL a.s.**

**Děkuji za pozornost**