

DIAGNOSTICS OF A HYDRAULIC PUMP STATUS USING ACOUSTIC EMISSION

Varner D., Černý M., Mareček J.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: info@davar.cz

ABSTRACT

Presented article describes status evaluation of a hydraulic pump used in a aircraft construction. Acoustic emission (AE) signals have been monitored both for new and used hydraulic pump. Two significant parameters have been taken into account: RMS and values of PSD fiction for individual AE events. The AE monitoring method has proven significant changes of RMS and minor changes of PSD function between the new and the used hydraulic pump.

Key words: acoustic emission, hydraulic pump, aircraft construction

ÚVOD

Nové a použité hydraulické zubové čerpadlo bylo podrobeno řadě diagnostických měření. Jako nedestruktivní diagnostická metoda byla použita metoda měření akustické emise. Ta se v leteckém průmyslu používá převážně při únavových zkouškách, kdy se většinou skutečné provozní situace (vzlet, přistání, turbulentní proudění) simulují pomocí silových zatížení konstrukce letounu či jeho částí. Měření akustické emise pak pomáhá určit místo iniciace únavové trhliny a její progresi, čímž poskytuje jeden z podkladů pro případnou implementaci nových či vylepšených konstrukčních řešení. Dalším krokem v pokračujícím výzkumu hydraulických zařízení leteckých konstrukcí by mohlo být navržení metodiky pro hodnocení stavu hydraulických čerpadel, například pomocí klasifikace LPG zásobníků měřením akustické emise.

MATERIÁL A METODIKA

Cílem experimentu bylo posouzení opotřebením hydraulického zubového čerpadla na základě výsledků měření akustické emise. Spolu s údaji dalších diagnostických metod bude možné určit míru opotřebením a pravděpodobnost selhání za určitých provozních podmínek. Měření bylo prováděno při dvou hodnotách otáček čerpadla (30 a 50 Hz) a při dvou typických tlacích (12 a 20 MPa). Úkolem měření signálu akustické emise bylo nalézt případné významné rozdíly mezi jeho parametry (RMS a PSD) u nového a použitého hydraulického zubového čerpadla.

Akustická emise

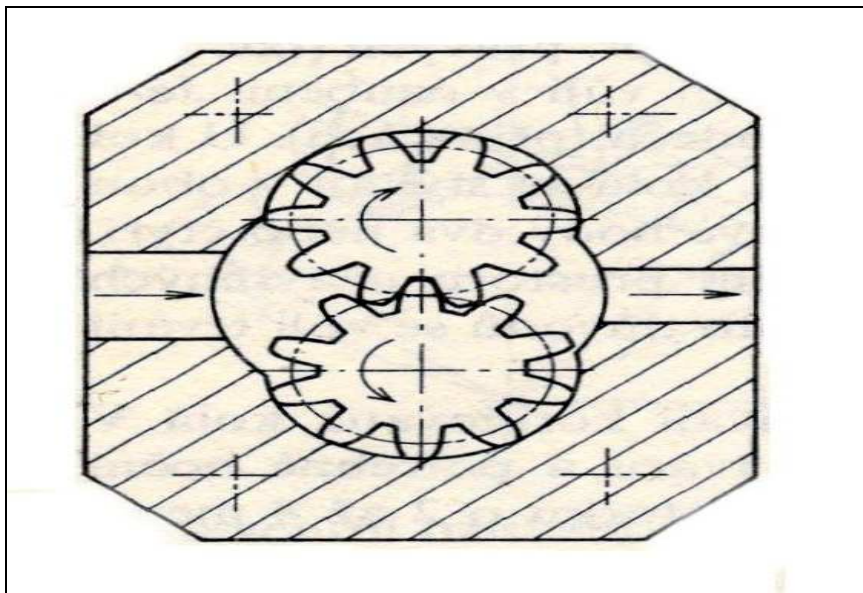
Fyzikální jev, při kterém plastickou deformací kovů doprovází akustické popraskávání či akustický šum emitovaný uvnitř materiálu v průběhu plastické deformace. Dle názvosloví normy CSN EN 1330-9 akustickou emisí nazýváme elastické napěťové vlny generované dynamickým uvolněním mechanického napětí uvnitř materiálu nebo procesem působícím vznik elastických napěťových vln na povrchu tělesa. Metodou akustické emise pak nazýváme metodu detekce akustické emise, následně elektronické zpracování detekovaného signálu akustické emise a konečně též vyhodnocení parametrů detekovaného signálu akustické emise. První systematické práce jsou datovány do 50. let 20. století. Celý proces vzniku a detekce akustické emise zahrnuje několik fází: událost zdroje akustické emise, šíření napěťových vln od zdroje ke snímači, detekce napěťových vln snímačem a převod na elektrický signál a konečně vyhodnocení výsledného elektrického signálu akustické emise měřicím systémem. [1]

V technické diagnostice je metoda akustické emise používána především při diagnostice rotačních objektů (tření a kavitace u ložisek, převodovek aj.), při detekci a lokalizaci vznikajících mikrotrhlin a jejich šíření, rozevírání a svírání ve stěnách tlakových nádob a potrubních systémů, u leteckých konstrukcí, mostů apod. Metoda akustické emise se také využívá při únavových materiálových zkouškách nebo destrukčních testech. Výhodou akustické emise oproti jiným defektoskopickým metodám je kontinuální monitorování objektu a úspora času v porovnání s postupným testováním jinými metodami. Nevýhodou této metody je, že příčinu vzniku akustické emise přesně neznáme, neboť uvolněná energie je ovlivňována řadou faktorů jako je tvar a povrch tělesa, přenosová cesta vlny daná strukturou a homogenitou materiálu apod. [2]

Hydraulická zubová čerpadla

Na následujícím obrázku je zjednodušený řez typickým hydraulickým zubovým čerpadlem s vyznačenými směry proudění transportované kapaliny a pozicí zubů při provozu.

Obr. 1 Zjednodušený řez hydraulickým zubovým čerpadlem s mezizubními prostory a směry proudění kapaliny. [3]



Hlavní součástí zubových čerpadel je dvojice spoluzabírajících ozubených kol uložených v příslušném vybrání tělesa čerpadla. Pracovní prostor tvořený zubovými mezerami kol je ohraničen zuby kol, plochami radiálně a axiálně přiléhajícími k ozubeným kolům a stykem zubů v záběru. Funkce hydraulického zubového čerpadla je následující: kapalina je nasávána do vstupního (sacího) prostoru podtlakem vznikajícím cyklickým zvětšováním objemu vstupního prostoru při otevírání zubových mezer tak, jak vycházejí jednotlivé zuby ze záběru. Potom postupuje v zaplněných zubových mezerách po obvodu kol do výstupního prostoru. Výstupní prostor je vůči vstupnímu prostoru těsněn malou radiální a axiální vůlí kol v tělese čerpadla (zuby tvoří vícenásobné labyrintové těsnění) a záběrem zubů. Hydraulická zubová čerpadla jsou v moderních hydraulických systémech široce využívána kvůli svému vysokému výkonu, dlouhé životnosti a nízkým nákladům na pořízení a provoz. Soustavným vývojem bylo docíleno vysokých pracovních tlaků, vynikající objemové účinnosti a nízké hlučnosti. [4]

Předpoklady vzniku akustické emise u zkoušeného čerpadla

Akustická emise při provozu hydraulického zubového čerpadla vzniká nejpravděpodobněji při kontaktu zubů kol čerpadla a v důsledku anomálního průběhu proudění kapaliny v mezizubních prostorech. Průběh kontaktu jednotlivých zubů a četnost vznikajících událostí akustické emise jsou závislé

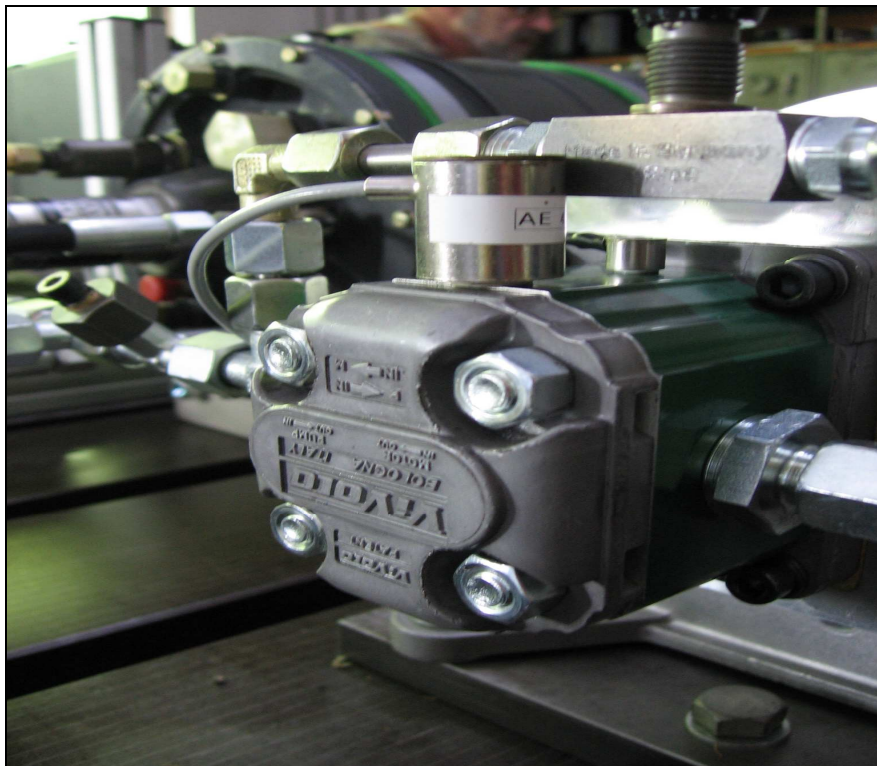
na rychlosti otáčení ozubených kol čerpadla. Při měření akustické emise u hydraulického zubového čerpadla byly sledovány dvě frekvence otáčení: 30 Hz (1800 ot/min) a 50 Hz (3000 ot/min).

Při opotřebení vnitřních ploch ozubených kol a zvýšení netěsností dochází k nedokonalému plnění mezizubních prostor. V kapalině transportované po obvodu zubového čerpadla poté dochází ke krátkodobým variacím tlaku a rychlosti spojenými případně se vznikem turbulentního proudění. V extrémních případech může dojít i ke vzniku kavitace projevující se rázy a nerovnoměrným chodem čerpadla. V případě měření akustické emise tyto jevy způsobují zvýšení počtu a mohutnosti událostí akustické emise.

Uspořádání měřicí sestavy

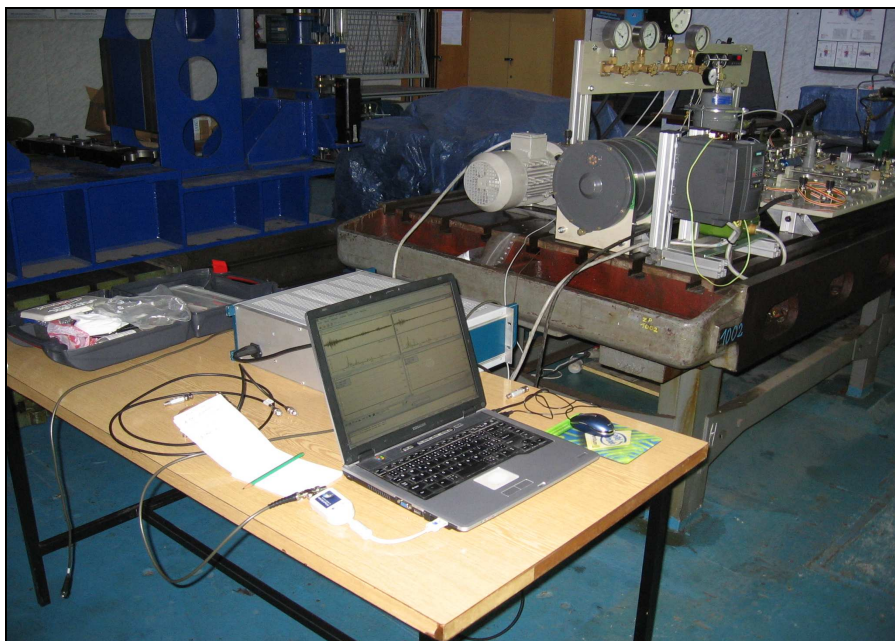
V rámci tohoto experimentu bylo posuzováno opotřebení zubového hydraulického čerpadla z hliníkové slitiny typu XVIP/0.9 od společnosti Rerosa. Měření akustické emise bylo provedeno dne 3. 6. 2008 pomocí aparatury Dakel XEDO a piezoelektrického snímače Dakel AE. Akustické emise byla měřena u použitého a nového hydraulického zubového čerpadla. Snímač byl v obou případech přilepen na horní plochu pouzdra čerpadla. Kontakt snímače akustické emise s pouzdrem čerpadla byl zajištěn pomocí sekundového lepidla (viz obrázek 2).

Obr. 2 Piezoelektrický snímač akustické emise na zkoušeném čerpadle. Foto D. Varner.



Signály akustické emise generované při běhu čerpadla byly snímány a vyhodnocovány analyzátozem XEDO s deskou AE 3.0 od společnosti DAKEL ZD Rpety. Jedná se o výkonný vícekanálový systém pro analýzu signálů akustické emise umožňující vzorkování a ukládání naměřených dat na disk řídicího PC. Deska analyzátoru pokrývá frekvenční rozsah přibližně 80 – 550 kHz. Data z analyzátoru Dakel XEDO byla odesílána přes rozhraní Ethernet do řídicího PC, kde byly v softwaru Daemon sledovány měřené parametry a data byla ukládána na disk pro následné vyhodnocení (viz následující obrázek).

Obr. 3 Řídicí PC se spuštěným softwarem Dakel Daemon, za ním analyzátor Dakel XEDO a v pozadí sestava hydraulického okruhu se zkoušeným hydraulickým zubovým čerpadlem. Foto D. Varner.



Měřené parametry akustické emise

Při měření akustické emise bylo sledováno RMS signálu akustické emise, počty překmitů C1 a C2 a maxima PSD událostí akustické emise. Tyto parametry jsou stručně charakterizovány následovně:

- ❑ **RMS signálu** (z anglického Root Mean Square) označuje tzv. efektivní hodnotu signálu. U střídavého napětí je RMS rovno hodnotě stejnosměrného napětí, které by při přiložení na odporovou zátěž dávalo stejný průměrný výkon. Jednotkou RMS je V. tato hodnota odpovídá o kvantitativní charakteristice naměřených událostí akustické emise (množství energie).
- ❑ **Funkce PSD** událostí akustické emise (z anglického Power Spectral Density) označuje spektrální výkonovou hustotu. Je to veličina, která udává rozložení výkonu ve frekvenční oblasti. Jednotkou funkce PSD je mW/Hz nebo při logaritmickém vyjádření dBm/Hz. U grafů funkce PSD je významná mj. maximální hodnota (peak, extrém), který označuje

frekvenci, pomocí níž je přenesena největší část výkonu signálu. Transformace signálu z časové do frekvenční oblasti byla prováděna interně pomocí okna Hanning. Tato hodnota charakterizuje vzorky jednotlivých událostí akustické emise a podává přehled o frekvenčních složkách signálu.

Průběh měření akustické emise

Pro měření akustické emise byla použita metodika srovnávacího měření. Akustická emise byla měřena pro nové i opotřebované hydraulické zubové čerpadlo XV1P/0.9 při dvou hodnotách otáček čerpadla (30 a 50 Hz) a při dvou typických plnicích tlacích (12 a 20 MPa). Kalibrace snímače akustické emise a analyzátoru Dakel XEDO byla provedena na základě Pen Testu s tuhou 0,5 mm a certifikovaným adaptérem.

Nejprve bylo testováno nové hydraulické zubové čerpadlo. Po provedení měření bylo toto čerpadlo demontováno z hydraulického okruhu a nahrazeno čerpadlem použitým. Měření akustické emise probíhalo u každého čerpadla po dobu 1 minuty pro každou kombinaci provozních podmínek.

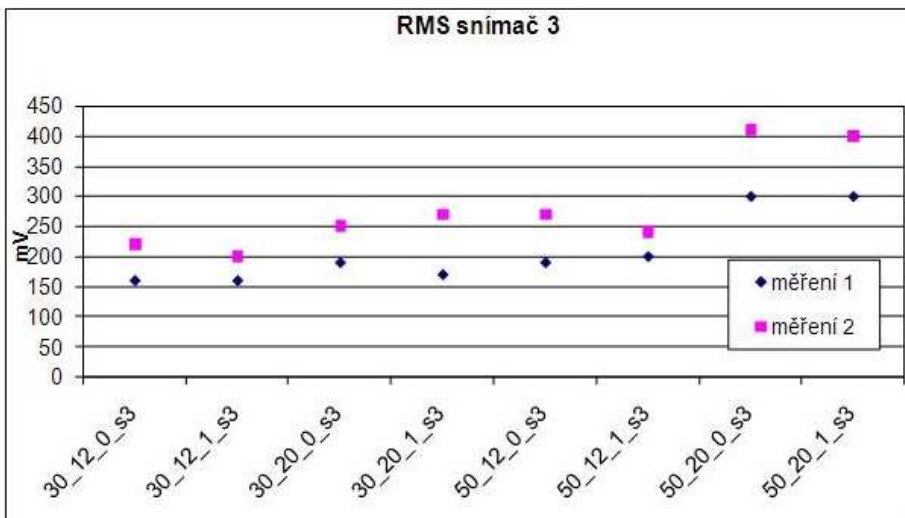
VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSE

Během provozu nového a použitého hydraulického zubového čerpadla XV1P/0.9 byly vyhodnocovány 2 parametry signálů akustické emise: RMS signálu a funkce PSD událostí akustické emise.

RMS signálu akustické emise

U použitého čerpadla došlo ve všech sledovaných provozních režimech k výraznému nárůstu RMS signálu akustické emise oproti novému hydraulickému zubovému čerpadlu o 25 až 58 %, viz obrázek 4.

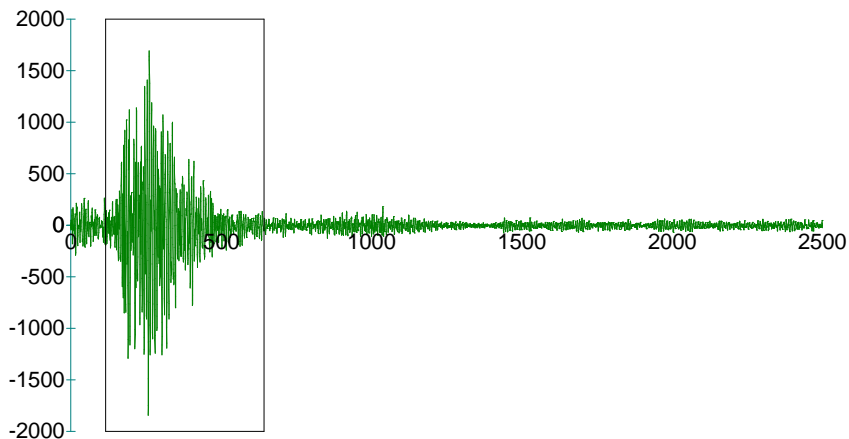
Obr. 4 Hodnoty RMS signálu akustické emise u nového čerpadla (měření 1) a použitého čerpadla (měření 2) při různých konfiguracích otáček a tlaku.



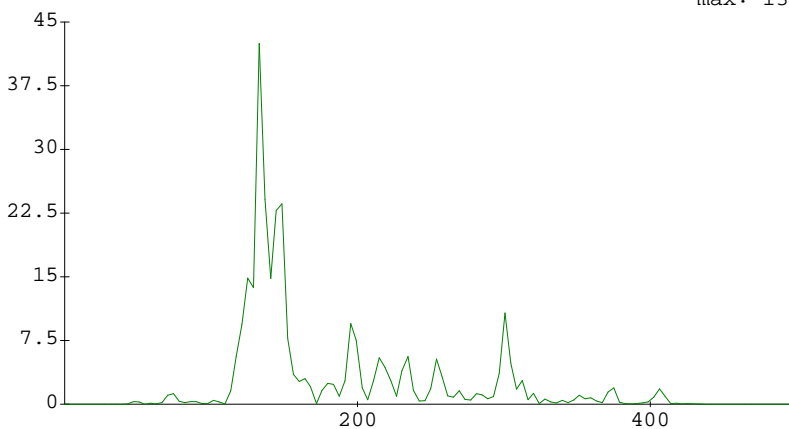
Funkce PSD událostí akustické emise

Maxima funkce PSD se nachází v oblasti 120 kHz – 320 kHz. U použitého čerpadla došlo k zvýšení mohutnosti akustické emise při vyšších frekvencích. Výraznější posun frekvence maxima funkce PSD oproti novému čerpadlu však nebyl jednoznačný.

Obrázek 5: Ukázka typického grafu funkce PSD (konfigurace 30_12, použité čerpadlo)



max: 132 kHz



ZÁVĚR

Stav hydraulického zubového čerpadla byl sledován měřením akustické emise za provozních podmínek specifikovaných otáčkami a tlakem v hydraulickém okruhu.

Při měření akustické emise byly vyhodnocovány 2 parametry: RMS signálu a funkce PSD událostí akustické emise. U použitého čerpadla došlo ve všech sledovaných provozních režimech k výraznému nárůstu RMS oproti novému hydraulickému zubovému čerpadlu. Průběhy funkcí PSD událostí

akustické emise zjištěné při provozu nového a použitého čerpadla neumožnily jednoznačné posouzení stavu čerpadla. Stav zubového čerpadla za provozu proto doporučujeme stanovit měřením RMS signálu akustické emise.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: Nauka o materiálu IV*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [2] KREIDL, Marcel, ŠMÍD, Radislav. *Technická diagnostika*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.
- [3] PIVOŇKA, Josef, et al. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1987. 624 s.
- [4] *Katalog čerpadel Bucher* [online]. 2001 , 06.02 [cit. 2009-03-25]. Soubor PDF obsahující specifikace hydraulických čerpadel Bucher. Angličtina. Dostupný z WWW: <http://www.hydrocom.cz/doc/ap_200_p_991218_e_001.pdf>.
- [5] VARNER, David. Znalecký posudek na posouzení stavu hydraulického čerpadla . [s.l.], 2009. 27 s. , 1 Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Program ICV: Technické znalectví a likvidace pojistných událostí. Vedoucí absolventské práce prof. Ing. Jan Mareček, DrSc.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři článku děkují doc. Ing. K. Třetinovi, CSc. za odborné připomínky z oblasti hydraulických systémů letadel a společnosti Dakel ZD Rpety za instrumentaci experimentu.