

Experimentální Analýza Napětí 2005

CONNECTION OF "LIFELESS" AND "LIFE" STRAIN-GAUGES TECHNOLOGY

PROPOJENÍ „NEŽIVÉ“ A „ŽIVÉ“ TENZOMETRIE

Jan Řezníček¹ a Jitka Řezníčková²

Abstract

At the Institute of Mechanics on Faculty of Mechanical Engineering Czech Technical University in Prague we are performing strain gauges measurements in experimental stress analysis field for already many years. Due to rich and long-term experiences with strain gauges by the typical engineering measurements in the elastic or plastic range (pipes, chemical reactors, etc.) and modern experimental equipment, we decided to use this method in the non-standard fields – biomechanics of men. The new practices with these non-standard strain gauges application in biomechanics produce new points of view for standard strain gauges application. According with some new practices from biomechanics we revised or adapted some old techniques from engineering practice.

Keywords: strain gauge, biomechanics, surface cleaning

Klíčová slova: tenzometr, biomechanika, čištění povrchu

Úvod

Naše pracoviště (odbor pružnosti a pevnosti Ústavu mechaniky na Fakultě strojní Českého vysokého učení technického v Praze) se již dlouhou dobu zabývá výzkumem v oblasti aplikace tenzometrie jako universální experimentální metody v pružnosti a pevnosti. Tradici má zejména experimentální analýza napětí velkorozměrných potrubí a návazné srovnání výsledků experimentů s výsledky získanými numerickým modelováním pomocí metody konečných prvků. Kromě velkorozměrných potrubí používáme tenzometrii také v dalších strojařských aplikacích (měření součástí dopravních prostředků, technologických zařízení, součástí staveb, výroba siloměrných čidel, ...) Také výzkum v oblasti biomechaniky člověka resp. moderněji biomedicínského a rehabilitačního inženýrství má na našem pracovišti dlouhou tradici (počátky spadají na přelom 70. a 80. let XX. století). Díky dobrým zkušenostem s aplikací odporové tenzometrie v typicky strojařských aplikacích někdy však prováděných za velmi komplikovaných nebo nezvyklých podmínek a díky poměrně kvalitnímu vybavení našich laboratoří experimentální technikou se stále více rozšiřuje použití odporové tenzometrie jako metody experimentální analýzy napětí i do oblasti biomechaniky. Provázanost těchto obou oblastí často způsobuje, že některé zkušenosti získané v oblasti biomechaniky zpětně ovlivňují i onu „klasickou“ oblast nasazení tenzometrů a mění také náš pohled na některé základní problémy.

¹ Odbor pružnosti a pevnosti, Ústav mechaniky, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika, tel.: +420 224 352 517, e-mail: jan.reznicek@fs.cvut.cz

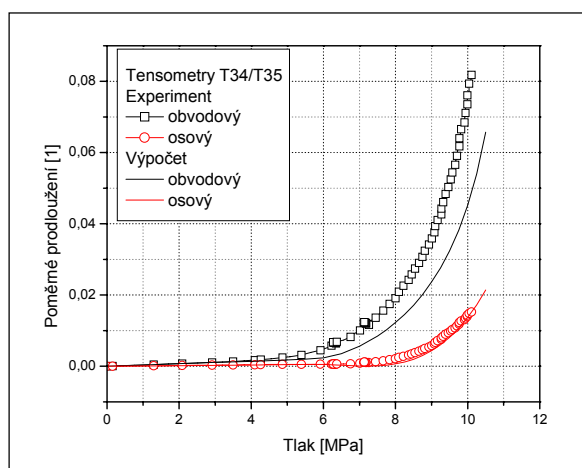
² Katedra mechaniky a materiálů, Fakulta dopravní, ČVUT v Praze, Na Florenci 25, 110 00 Praha 1, Česká republika, tel.: +420 224 890 729, e-mail: reznickova@fd.cvut.cz

„Neživá tenzometrie“ aneb tenzometrie ve strojařských aplikacích

Dlouhodobá spolupráce s podnikem Tranzitní plynovod resp. Transgaz nám dává široké možnosti experimentů v oblasti velkorozměrných potrubí s cílem získat co nejvíce informací a dat pro co nejpřesnější predikci zbytkové životnosti dlouhodobě provozovaných potrubí. Na počátku byla jednoduchá měření, kdy byl sledován zejména rozvoj plastických deformací v celém plášti zkušebního tělesa. Poté jsme se soustředili na teorii a vliv tzv. napěťových testů na zvýšení životnosti a spolehlivosti potrubí. V současné době se experimenty týkají vlivu korozních poškození na výslednou životnost resp. vzájemné interakce jednotlivých defektů. Téměř vždy je souběžně s tenzometrickým experimentem prováděna numerická analýza pomocí MKP. První měření jsme prováděli běžnými tenzometry, a tak experimenty končily někde v oblasti cca 2% resp. 5% naměřených deformací. Při měřeních tak byla nejdůležitější shoda v charakteru experimentálních a numerických dat a shoda v počátku plastizace.

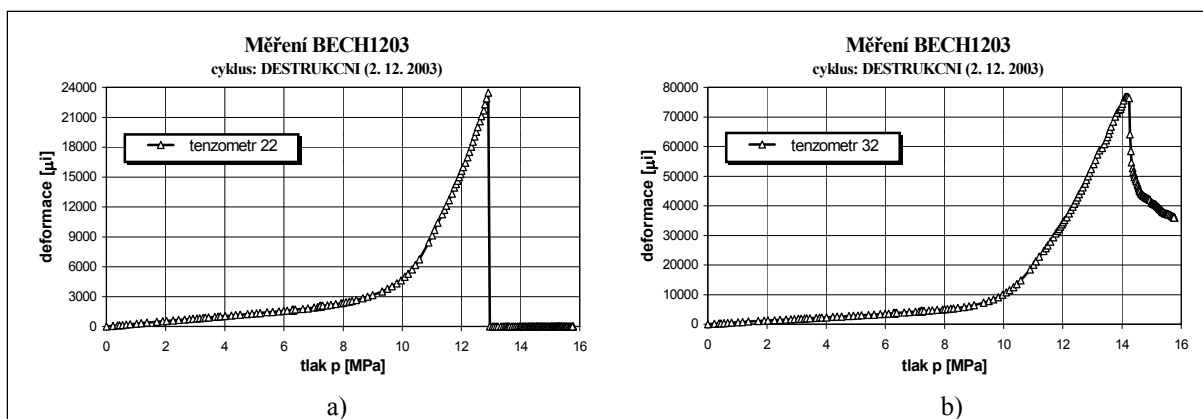


Obr. 1 - Detail umělé vady s nainstalovanými tenzometry



Obr. 2 - Příklad shody experimentu s výpočtem MKP

Díky dobré shodě numerického výpočtu s experimentem v počáteční fázi mohla být „chybějící“ data po „kolapsu“ tenzometru nahrazována numerickými. S přechodem na tenzometry měřící až do 20% (HBM LD) se zmenšila oblast nutné náhrady chybějících dat, ale začaly se také objevovat některé problémy, které jsme při předchozích měřeních neznali. Dříve kolaps nastal přerušením vinutí a tenzometr tak přestal měřit, což bylo na první pohled patrné. U tenzometrů HBM LD kolaps nastává „prokluzem“ tenzometru, který sice dále stále měří, ale hodnoty jsou nepoužitelné, což však může být patrné až při následném zpracovávání dat - viz obr. 3.



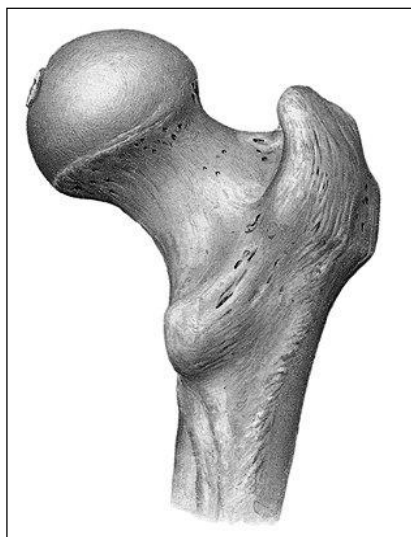
Obr. 3 - Kolaps tenzometru: a) přerušením vinutí tenzometru, b) prokluzem celého tenzometru



Obr. 4 - Konec destrukčního testu = trhlina ve stěně potrubí v místě umělého defektu

„Živá tenzometrie“ aneb **tenzometrie v biomechanice**

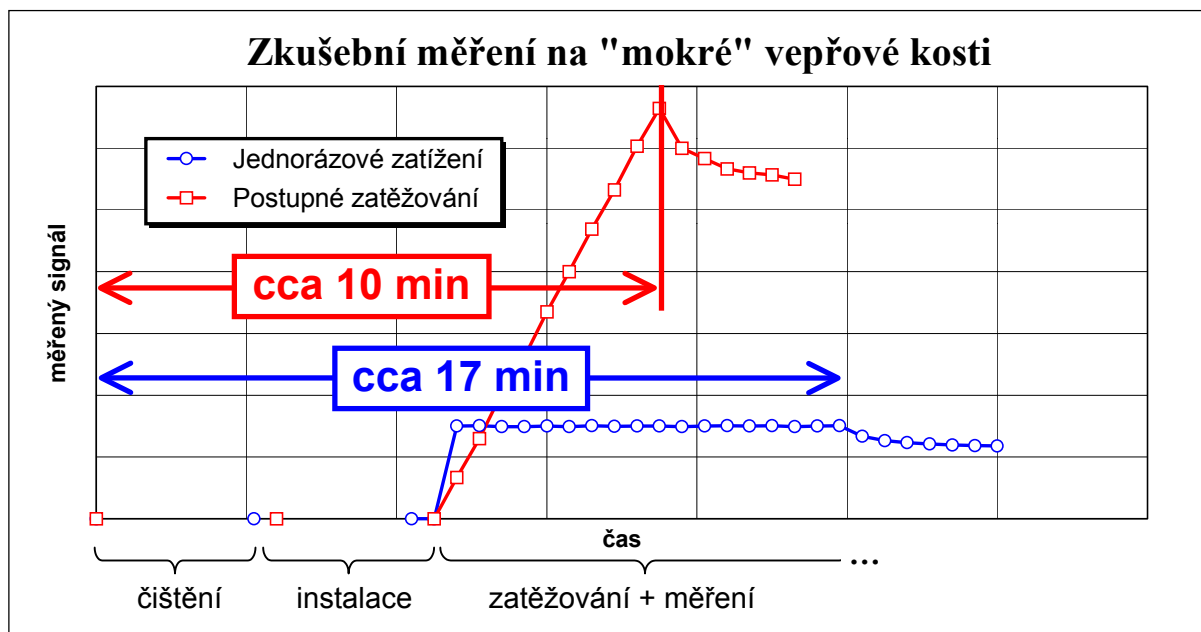
Experimenty prováděné v biomechanice se kromě umělých náhrad zaměřují i na samotné kosti. Tato měření jsou vždy výjimečná vyžadující rozsáhlou přípravu. Některé běžné postupy z „neživé“ tenzometrie je tak třeba výrazně modifikovat. Některé nové zkušenosti s aplikací tenzometrů na „živou“ součást lze ale také výhodně převést zpět na součást „neživou“.



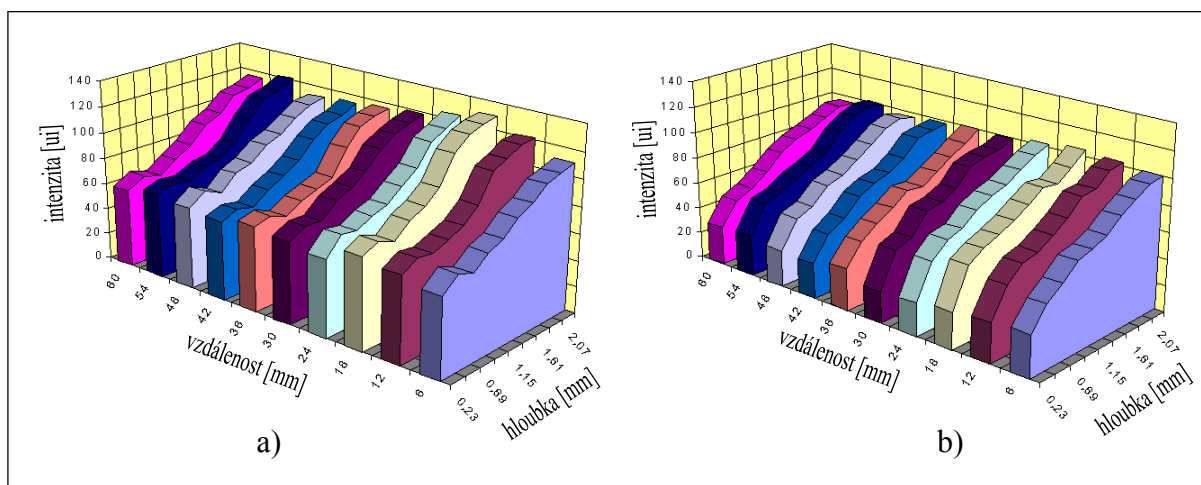
Obr. 5 - Hlavice kyčelního kloubu

Při popisu povrchové vrstvy jsme využili klasickou metodu – odvrtávací – s měřením uvolněných deformací při postupném odvrtávání. Přípravná měření proběhla na „mokré“ kosti (čerstvá vepřová kost z jatek) i na „suché“ kosti (starší lidská kost z patologického ústavu). Odmaštění povrchu jsme na základě konzultací s lékaři prováděli čistým technickým acetonem, který nejméně poškozuje strukturu kosti (nereaguje s vápníkem). Kvalitu nalepení jsme kontrolovali zatížením kosti silou (závažím) a měřením času, po který tenzometr spolehlivě měřil. Dále jsme kost s nově instalovaným tenzometrem zatěžovali zvětšující se silou. V tomto případě nastával prokluz tenzometru podstatně dříve (mechanismus však byl nápadně podobný jako při měření potrubí). Změnu přinesla až úprava technologie lepení tenzometrů. Příčinou prokluzu byl totiž kromě časem na povrch pronikající mastnoty také „kyselý“ aceton (i „čistý“ technický aceton je mírně kyselé povahy).

Tenzometrické lepidlo je totiž na kyselost prostředí značně citlivé stejně jako na mastnotu. Posledním krokem před vlastním lepením tak bylo pečlivé očištění povrchu slabou zásadou (Vishay MM – Liquid B), která celou oblast neutralizovala. Tento jednoduchý krok výrazně prodloužil dobu do prokluzu.



Při následné aplikaci tohoto postupu při reálných měřeních odvrtávací metodou na vepřové resp. lidské kosti jsme se již nikdy nesetkali s problémem prokluzu, pokud jsme dodrželi časový interval, který jsme získali při zkušebních měřeních (cca 15 minut). Příklad výsledků získaných odvrtávací metodou na lidském femuru jsou patrné z obr. 7.

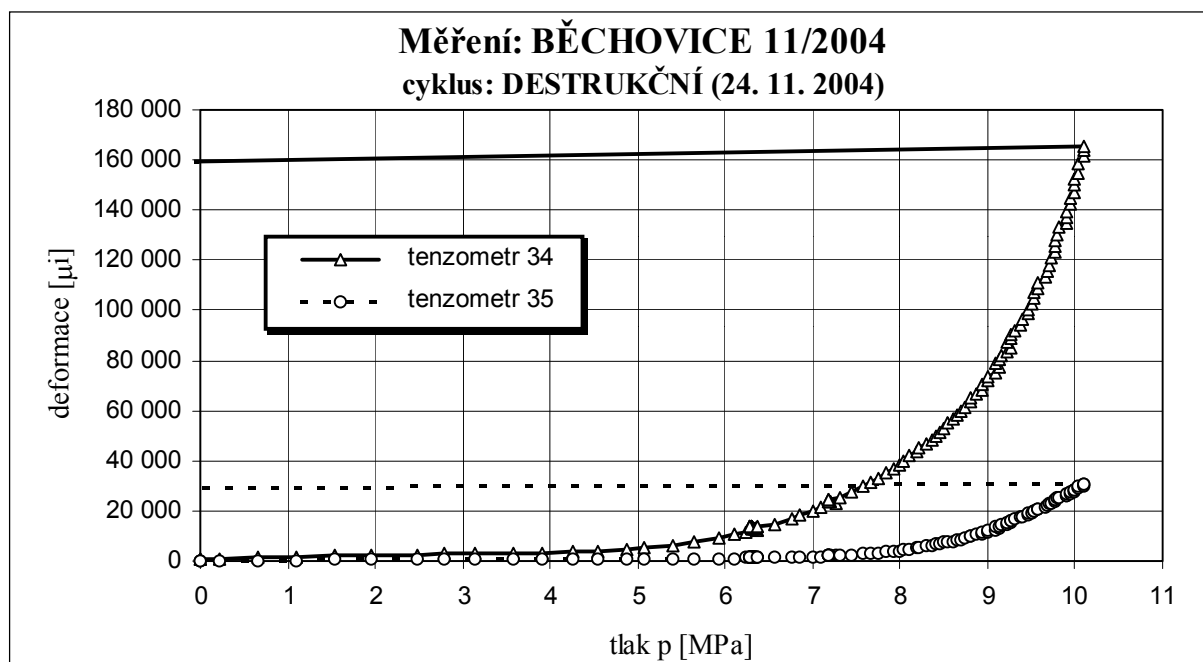


Obr. 7 - Porovnání výsledků odvrtávací metody po délce femuru
a) zdravý muž, normální postavy, 45 let b) muž trpící artrosou, normální postavy, 47 let

„Živá tenzometrie“ ovlivňuje „neživou“ aneb biomechanika vs. strojařina

Nápadná podobnost prokluzu na potrubí s prokluzem na kostech vedla k hledání podobností obou měření. Nejprve jsme podobnost hledali v masnotě povrchu (důsledek broušení v emulzi a zakrývání obroušené plochy vazelínou). Postupem času jsme ještě „zprísnil“ postup přípravy povrchu před instalací tenzometrů, ale s minimálním výsledkem. Jako hlavní a společná příčina prokluzů tenzometrů se však ukázal aceton, o kterém jsme v případě potrubí neměli ani tušení. Před tím, než přijedeme instalovat tenzometry, jsou vybroušené defekty „dokonale“ zbaveny vazelíny a dalších masnot nejjednodušším způsobem – pomocí acetonu. Při posledním měření jsme tedy upravili technologii instalace tenzometru a k prvnímu očištění

povrchu jsme použili slabou zásadu (stejně jako na kostech Vishay MM – Liquid B), která povrch neutralizovala, a teprve poté jsme instalovali tenzometry již běžným způsobem. Výsledek byl patrný při následném měření – některé tenzometry měřily až do destrukce a naměřené deformace dosahovaly 15-18% (viz obr. 8).



Obr. 8 - Tenzometry s upravenou instalací měřily po celou dobu tlakování

Závěry

Tato jedna zkušenost ukazuje, jak důležité v přípravě experimentu mohou být drobnosti, které ani nevnímáme. I fáze, které se osobně neúčastníme, může výrazně ovlivnit celý experiment. Také zkušenost s kyselostí „čistého“ technického acetonu byla do určité míry překvapující. Vliv kyselosti prostředí na kvalitu lepeného spoje však potvrzují i jiné experimenty. Ještě zajímavějším závěrem je ale cesta, kterou jsme se k tomuto poznání dopracovali:

neživá strojařská aplikace → živá biomedicínská aplikace → neživá strojařská aplikace.

Literatura

- [1] Hoffman, K.: *An Introduction to Measurements using Strain Gages*, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt 1989
- [2] Řezníček, J.: *Praktická aplikace tenzometrie*, Ústav mechaniky, FSI ČVUT v Praze, Praha 2000 – 2005, (návrh učebního textu)
- [3] Drastík, F., a kol.: *Strojnická příručka - Svazek 1 - Pružnost a pevnost (část 7, díl 15)*, Verlag Dashofer, Praha 2002 – 2005, ISBN 80-86229-65-3
- [4] Řezníček, J., Řezníčková, J.: *Pružnost a pevnost v technické praxi - Příklady I*, Vydavatelství ČVUT v Praze, Praha 2005, ISBN 80-01-03209-4

Poděkování

Uvedený příspěvek vznikl v rámci výzkumného záměru MŠMT ČR „Transdisciplinární výzkum v oblasti biomechaniky člověka“ VZ 120000021.