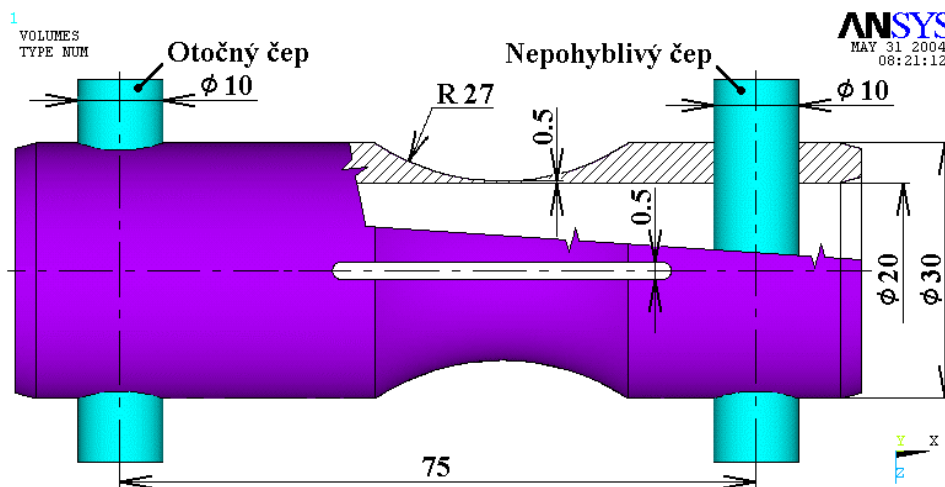


TORSION AND LOW-CYCLE FATIGUE OF MATERIALS

K. Frydryšek¹, R. Halama², J. Fuxa³

Summary: *This article is focused on the computational solution of the material tests and their evaluations. Problem deals with torsion low-cycle fatigue tests of steel specimens. The results acquired by FEM (MSc.MARC/MENTAT) will be compared with future experiments in the Department of Mechanics of Materials at the VŠB-Technical University of Ostrava. The numerical procedures used plastic deformations and Chaboche material model with isotropic and kinematic hardening rules.*

1. Úvod



Obr.1 Tenkostěnný ocelový vzorek s podélným naříznutím.

¹ Ing. Karel FRYDRÝŠEK, Ph.D, ING-PAED IGIP, katedra pružnosti a pevnosti, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Třída 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597324552, fax: 596916490, e-mail: karel.frydrysek@vsb.cz.

² Ing. Radim HALAMA, katedra pružnosti a pevnosti, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Třída 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597323495, fax: 596916490, e-mail: radim.halama@vsb.cz.

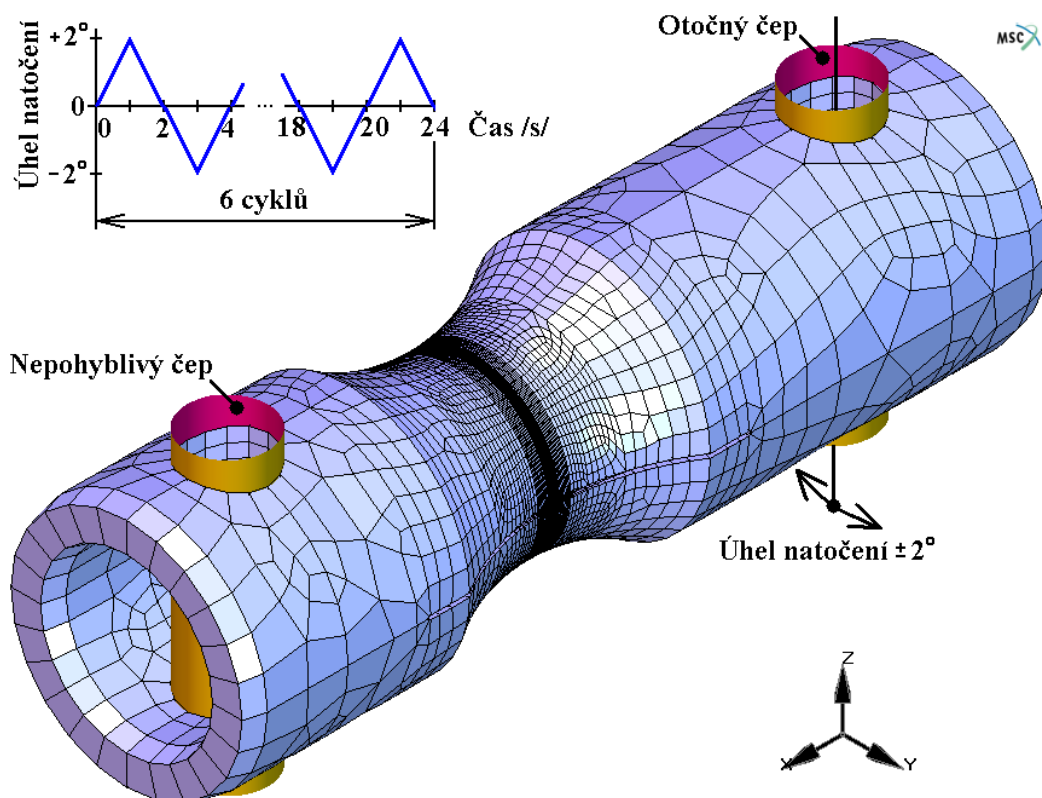
³ Prof. Ing. Jan FUXA, CSc., katedra pružnosti a pevnosti, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Třída 17.listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597324412, fax: 596916490, e-mail: jan.fuxa@vsb.cz..

Na katedře pružnosti a pevnosti byl navržen nový tvar kovového tenkostěnného zkušební vzorku s podélným naříznutím, který je znázorněn na obr.1. Tento vzorek slouží pro numerické i experimentální řešení tahových zkoušek, tlakových zkoušek, krutových zkoušek, zkoušek vnitřním přetlakem, zkoušek vnějším přetlakem a všech výše uvedených kombinací. Zkušební stroj umožňuje také řízené cyklické zatěžování zkušební vzorku s různým součinitelem asymetrie cyklu. Dřívější počítačové řešení klasických materiálových testů (tahová zkouška, tlaková zkouška a krutová zkouška a jejich různé kombinace) a jejich vyhodnocování již bylo řešeno např. v literatuře [1] až [4].

Hlavní pozornost v článku je věnována symetrickému cyklickému zatěžování při torzním testu ocelového vzorku. Řešení směřuje ke stanovení metodiky určování životnosti při nízkocyklové únavě. V současnosti je totiž stále problematické stanovení počtů cyklů do iniciace trhliny pomocí kritérií multiaxiální únavy.

2. Počítačový model vzorku, volba okrajových podmínek a volba materiálu

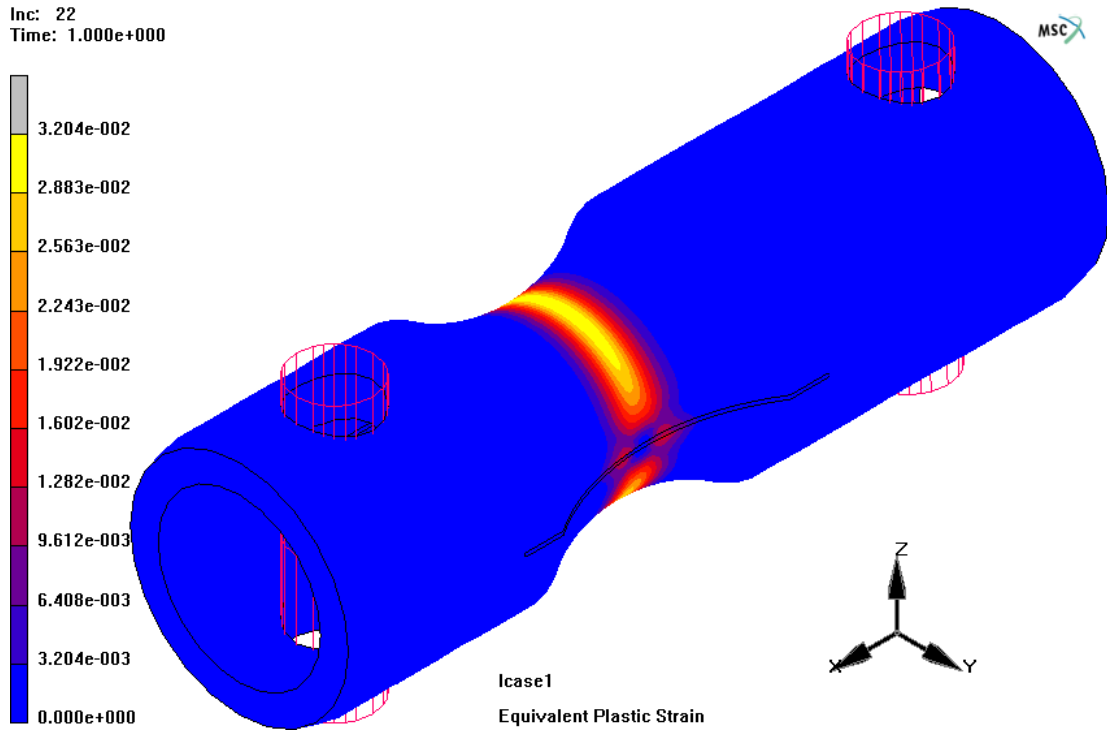
Materiál (ocel) je považován za isotropní a homogenní. V elastické oblasti platí pro modul pružnosti $E = 210000$ MPa, Poissonovo číslo $\mu = 0.3$ a mez kluzu $R_e = 300$ MPa. V elasto plastické oblasti platí tzv. Chabocheův model s izotropním a kinematickým zpevněním. Pro izotropní zpevnění platí tyto hodnoty: $R_0 = 0$ MPa, $R_\infty = 100$ MPa a koeficient $b = 3.85$. Pro kinematické zpevnění platí tyto hodnoty: koeficient $\gamma = 60$ a koeficient $c = 30000$.



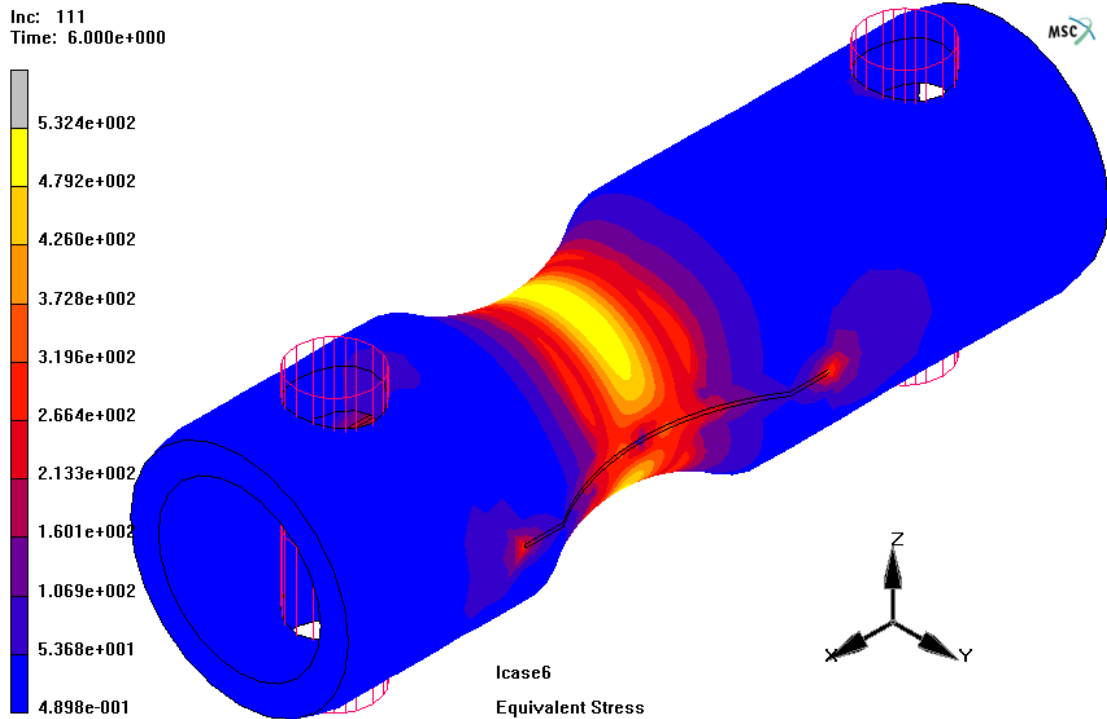
Obr.2 Síť konečných prvků se znázorněnými okrajovými podmínkami (tenkostěnný ocelový vzorek s podélným naříznutím).

Síť konečných prvků je znázorněna na obr.2. Celý model, který obsahuje 32092 uzlů a 25596 elementů byl vytvořen a řešen v programech MSC.MARC 2003/ MSC.MENTAT 2003

a ANSYS Release 8.0. Vzorek je uchycen v čelistech zkušebního stroje pomocí dvou čepů a mezi vzorkem a čepem jsou uvažovány okrajové podmínky mechanického čepu.



Obr.3 Ekvivalentní plastické deformace (čas $t = 1$ s, úhel natočení $+2^\circ$).

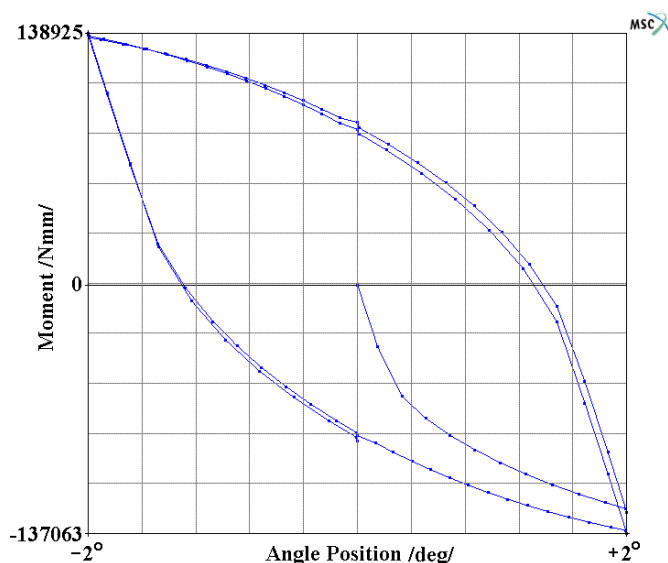


Obr.4 Ekvivalentní napětí podle von Misesse /MPa/ (čas $t = 6$ s, úhel natočení 0°).

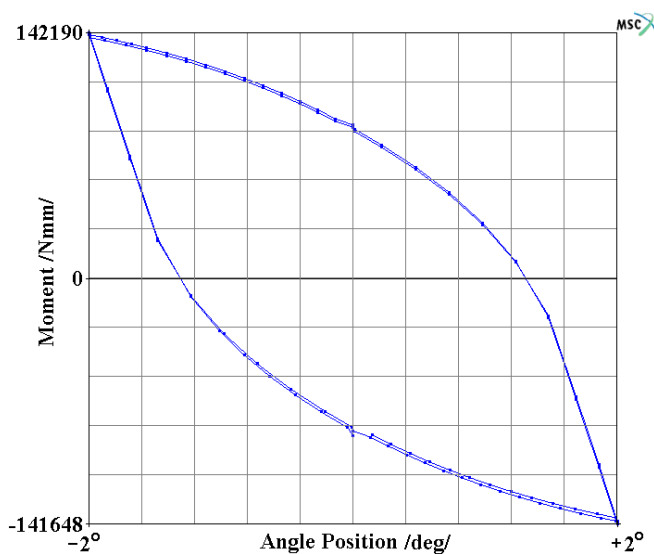
Z důvodů přijatelných zjednodušení jsou oba čepy absolutně tuhé (tj. nedeformují se). Pevný čep se v průběhu výpočtu nepohybuje a otočný čep vyvolává symetrické cyklické zatěžování otáčením o úhel $\pm 2^\circ$ kolem podélné osy vzorku. Tímto způsobem zatížení se ve vzorku generují cyklické změny deformací a napětí jak je ukázáno v následující kapitole.

3. Výsledky

Úloha byla řešena pro 6 zátěžných cyklů pro časový interval $t = 0$ až 24 sekund, viz graf v obr.2. Obrázek 3 znázorňuje ekvivalentní plastické deformace v čase $t = 1$ s, úhel natočení $+2^\circ$ a obrázek 4 znázorňuje ekvivalentní napětí podle teorie HMM (dle von Mises) v čase $t = 6$ s, úhel natočení 0° . Z obou obrázků je zřejmé, že nejvíce namáhané místo je na vnějším povrchu v místě nejužší tloušťky stěny.



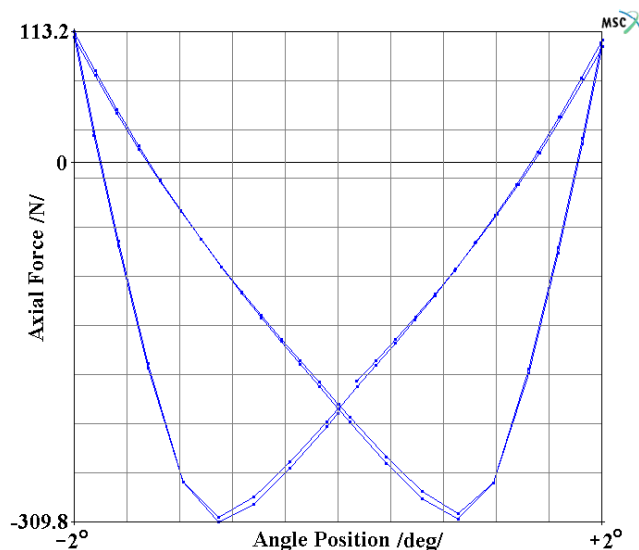
Obr.5 Závislost kroutícího momentu M_k [Nmm] na úhlu natočení čepu (cyklus 1 a 2, čas $t = 0$ až 8 s).



Obr.6 Závislost kroutícího momentu M_k [Nmm] na úhlu natočení čepu (cyklus 3 a 4, čas $t = 8$ až 16 s).



Obr.7 Závislost kroutícího momentu M_k /Nmm/ na úhlu natočení čepu (cyklus 5 a 6, čas $t = 16$ až 24 s).

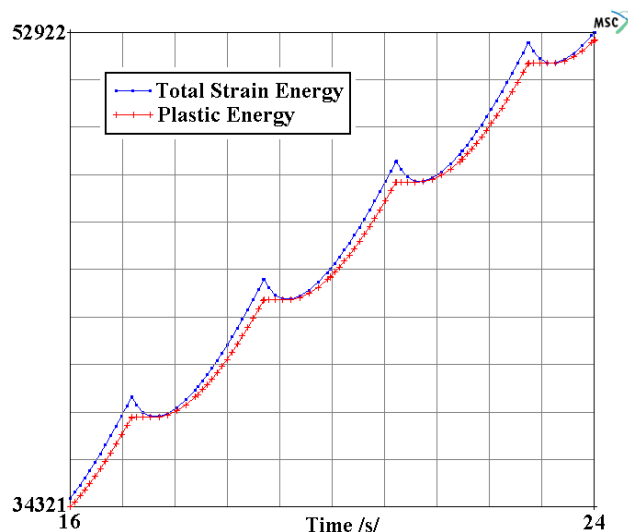


Obr.8 Závislost axiální síly F /N/ na úhlu natočení čepu (cyklus 5 a 6, čas $t = 16$ až 24 s).

Závislost kroutícího momentu M_k /Nmm/ na úhlu natočení čepu jsou vykresleny v obr.5 až 7. Obdobně lze také vykreslit závislost axiální síly F /N/ na úhlu natočení čepu, viz například obr.8 (cyklus 5 a 6, čas $t = 16$ až 24 s).

Závislosti celkové a plastické deformační energie na čase jsou vykresleny v obr.9 (cyklus 5 a 6, čas $t = 16$ až 24 s).

Z vykreslených závislostí nebo některých dalších například závislost $\tau = f(\gamma)$, viz [9] aj., je možno s pomocí experimentu vybrat nebo vytvořit vhodné kritérium nízkocyklové únavy. Predikce počtů cyklů do iniciace trhliny N_f budou také ověřeny připraveným experimentem.



Obr.9 Celkové a plastické deformační energie /Nmm/ na čase (cyklus 5 a 6, čas t = 16 až 24 s).

Odhad počtu cyklů do iniciace trhliny pomocí tří zvolených energetických kritérií multiaxiální únavy:

- Garudovo kritérium (1981): únavovým parametrem je plastická práce. Vhodné pro větší plastické deformace:

$$\Delta W_{ij}^p = \int_{\text{cyklus}} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}^p = AN_f^{-\beta}.$$

- Lefebvrovo kritérium (1988): kritérium efektivní deformační energie. Mění-li se konstanta K v závislosti na napěťově-deformačních parametrech, potom je toto kritérium vhodné i pro neproporcionální zatěžování:

$$\Delta \bar{\sigma} \Delta \bar{\varepsilon}^p = KN_f^c.$$

- Chenovo kritérium (1999): kritérium kritické roviny. Z obou rovnic pro první a druhý mód určíme N_f a vybereme nižší hodnotu:

mód I – kritická rovina je rovina s největším rozkmitem normálové deformace:

$$\Delta \varepsilon_1^{\max} \cdot \Delta \sigma_1 + \Delta \gamma_1 \cdot \Delta \tau_1 = 4 \frac{\sigma_f'^2}{E} (2N_f)^{2b} + 4\sigma_f' \varepsilon_f' (2N_f)^{b+c}.$$

mód II – kritická rovina je rovina s největším rozkmitem smykové deformace:

$$\Delta \gamma_{\max} \cdot \Delta \tau + \Delta \varepsilon_n \cdot \Delta \sigma_n = 4 \frac{\tau_f'^2}{G} (2N_f)^{2b_t} + 4\tau_f' \gamma_f' (2N_f)^{b_t+c_t}.$$

Poděkování: Příspěvek využil výsledků z grantu GAČR 101/04/0475 a je řešen a finančně podpořen v rámci projektu FR 3395011.

Literatura

- [1] Frydryšek, K.: Modelování deformačních a napěťových stavů ve zkušebních vzorcích při materiálových zkouškách prováděných jednoduchými i kombinovanými zátěžnými stavy, (disertační práce v oboru „Aplikovaná mechanika“), VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 1999, 154 s.
- [2] Frydryšek, K.: Torsion Test FEM Modelling for a Short Specimen, In: Sborník „37. mezinárodní konference Experimentální analýza napětí - EAN 99“ - Frenštát pod Radhoštěm, VŠB-TU Ostrava, 1999, ISBN 80-7078-672-8, s. 29-32.
- [3] Frydryšek, K.: Torsion Test Modelling with Large Strain Effects, In: „Sborník mezinárodní vědecké konference při příležitosti 50 let založení Fakulty strojní – sekce 8 (pružnost a pevnost)“, VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2000, ISBN 80-7078-802-X, s. 25-30.
- [4] Fusek, M., Frydryšek, K.: The Torsion Test Simulating for short specimens – Part 2, In: „Sborník vědeckých prací Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava“, číslo 1, řada strojní, vol XLVI, 2000, ISBN 80-7078-875-5, s. 73-78.
- [5] Halama, R., Lenert, J.: Computing Technique in Contact Fatigue, In: Sborník národní konference s mezinárodní účastí „Engineering Mechanics 2004“, Svatka, Institut Teoretické a aplikované mechaniky AVČR, 2004, ISBN 80-85918-88-9, s. 105-106.
- [6] Frydryšek, K., Lenert, J., Václavek, L., Fuxa, J., Halama, R.: Experimental and Numerical solutions of of Contact Fatigue, In: Sborník národní konference s mezinárodní účastí „Engineering Mechanics 2003“, Svatka, Institut Teoretické a aplikované mechaniky AVČR, 2003, ISBN 80-86246-18-3, s. 90-91.
- [7] Chaboche J.,L., Lemaitre, J.: Mechanics of Solid Materials, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1990.
- [8] Macha, E., Sonsino, C.,M.: Energy Criteria of Multiaxial Fatigue Failure, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 1999, vol. 22, 12, pp. 1053 - 1070.
- [9] Frydryšek, K., Halama, R., Fuxa, J., Fusek, M.: Torzní testy ocelových vzorků při cyklickém namáhání, In: Sborník „20th Conference with International Participation: Computational Mechanics 2004“, Fakulta aplikovaných věd ZČU Plzeň, Vol. 1, 2004, ISBN 80-7043-314-0, s. 97-102.