

IDENTIFIKACE MATERIÁLOVÉ TAHOVÉ ZKOUŠKY UŽITÍM VRUBOVÉHO VZORKU**IDENTIFICATION OF THE TENSILE MATERIAL TEST USING THE NOTCH SPECIMEN**Karel Vítek, Stanislav Holý, Pavel Štěrbá¹**Abstract:**

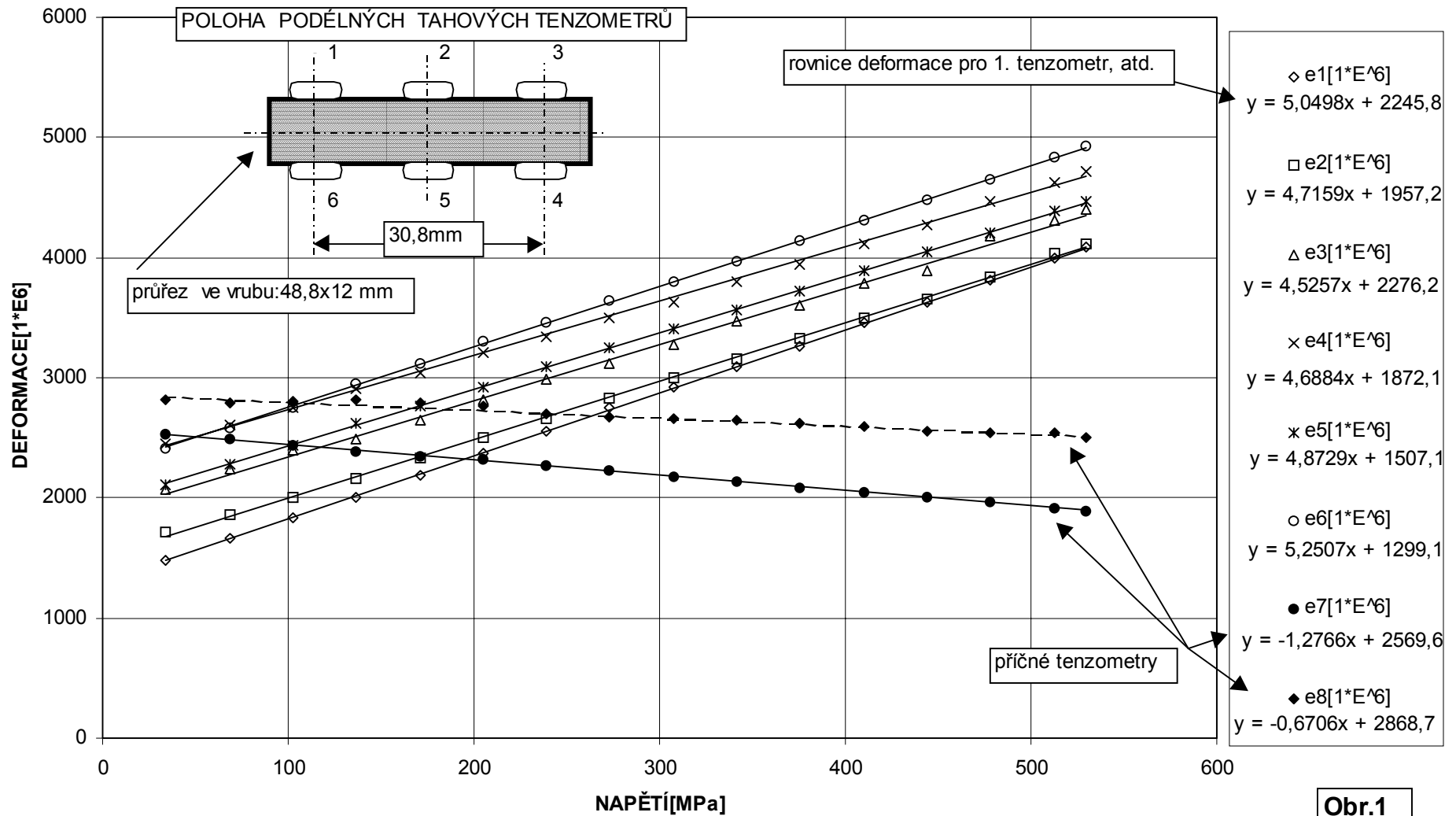
The methodology of determining the construction materials' elastic constants is based on the mechanical tests, being mostly tensile tests, of partially loaded specimens (macro-specimens). The elastic constants obtained are applied mainly when a computer-aided modelling structure is used which considerably advanced due to computer techniques development in the last years (to obtain a deeper understanding of occurring phenomena, it is necessary to find out the σ - ϵ distribution as far as to the ultimate strength of specimens taken from various structure localities, instead of the simple knowledge of Young's modulus of elasticity and Poisson's ratio). Therefore it is necessary to define more precisely the inputs introduced into the modelling processes, in order to utilize properly the expensive computational analytic-synthetic technologies. In this case, it is demonstrated how to correct results from special specimen [3] by means of notch correction of measured strains. These corrections are based on calculation which uses finite element method.

Metodika zjišťování elastických konstant konstrukčních materiálů vychází z mechanických zkoušek parciálně namáhaných vzorků (makrovzorků), nejčastěji z tahové zkoušky. Zjištěné elastické konstanty jsou aplikovány zejména v počítačovém modelování konstrukcí, které v posledních letech s rozvojem počítačových technik (hardwaru i softwaru) značně pokročilo (namísto Youngova modulu pružnosti a Poissonova čísla je třeba pro hlubší poznání jevů znát jejich průběhy až k mezi pevnosti v různých místech konstrukce). Proto je nutno přistoupit k zpřesňování vstupů do modelovacích procesů, aby nákladné výpočetní analyticko-syntetizační technologie mohly být řádně zužitkovány v úrovni produkce.

K identifikaci průběhu materiálových vlastností je třeba snímači sledovat lokální oblast vzorku, kde dojde k iniciaci jeho porušení a za současného snímání zatěžovací síly a deformace získat potřebné datové vstupy. Pro podstatné zvýšení pravděpodobnosti lokalizace porušení vzorku jsme dále využili vzorek s usměrňovacím vrubem [3]. Obdélníkový průřez vzorku (49,8x12mm) byl uprostřed podélné osy na kratší stěně oboustranně symetricky odfrézován do hloubky 0,5mm (Ø frézy 200mm, materiál vzorku ocel s mezí úměrnosti vyšší než 490 MPa, změna průřezu na: 48,8x12mm). Ve sledovaném průřezu byl vzorek osazen symetricky po delších stranách šesti podélnými odporovými tenzometry (viz schéma průřezu na obr.1)

¹ Ing. Karel VÍTEK, CSc., Prof. Ing. Stanislav HOLÝ, CSc., Ing. Pavel ŠTĚRBA, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky, Odbor pružnosti a pevnosti, Technická 4, 166 07 PRAHA 6. Tel.: 02/24352520, 02/24352510, 02/24352527, Fax: 33322482, Email: VITEK@FSID.CVUT.CZ, HOLYS@FSID.CVUT.CZ

TAHOVÁ ZKOUŠKA_VRUB_2

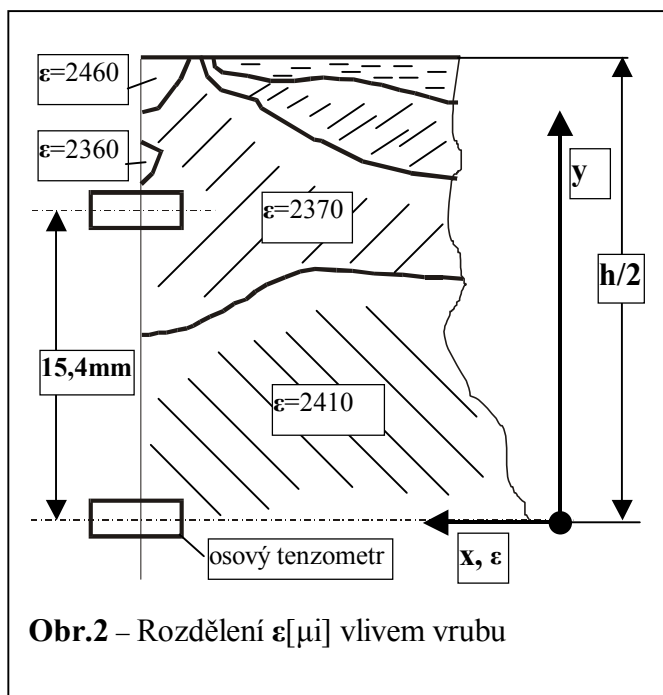


Průběhy poměrných deformací zobrazené v grafu na obr.1 regresními přímkami jsou v celém sledovaném průběhu silně lineární. Plochý vzorek uchycený v čelistech trhačického stroje je vždy i při pečlivém usazení namáhán kombinací prostorového ohybu a tahu, což můžeme orientačně zjistit právě podle směrnic regresních přímek, které jsou závislé na konkrétním způsobu uchycení vzorku.

Vliv vrubu v elasticitě eliminujeme deformační příčinkovou funkcí, která vyplývá ze silové rovnice rovnováhy průřezu vzorku ve směru jeho osy :

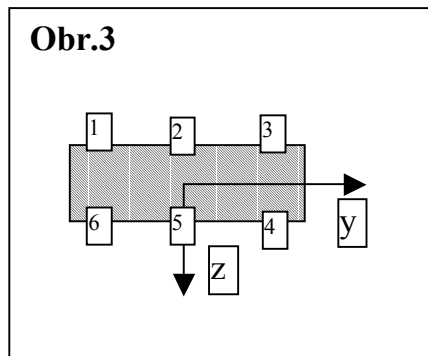
$F[N] = \int \sigma \cdot dA = \int \varepsilon \cdot E \cdot dA$, zde σ, ε jsou osová napětí a poměrné prodloužení, E - modul pružnosti v tahu, A - průřez. Při rozdělení osového ε v průřezu podle schéma na obr.2, které bylo u vzorku s vrubem řešeno MKP, zavedeme průměrnou hodnotu ε :

$$\varepsilon_p := \frac{\int_0^{\frac{h}{2}} \varepsilon dy}{\frac{h}{2}}$$



Původní směrnice regresních přímek tahových tenzometrů (č. 1 až 6) z obr.1 korigujeme násobkem: $\varepsilon_p/\varepsilon(y)$ - příčinkové funkce, která vyjadřuje tahový vliv vrubu. Nad obdélníkovým průřezem vytváří poměrná prodloužení teoreticky rovinu a podle obr. 3 rozložíme do hlavních centrálních os z, y průřezu na momenty M_y a M_z též předpokládanou silovou dvojici. Pro i -tý tenzometr lze v závislosti na osovém napětí $\sigma = F/A$ (to je u tahové zkoušky řídicím parametrem) zapsat hodnotu naměřeného poměrného prodloužení ve tvaru:

$$\left(\frac{M_z \cdot y_i}{J_z} + \frac{M_y \cdot z_i}{J_y} + \frac{F}{A} \right) \cdot E^{-1} = k_i \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F}{A}$$



Zde J_z, J_y označují kvadratické momenty průřezu k osám z, y , dále y_i, z_i souřadnice tenzometru v systému z, y a k_i je korigovaná směrnice regresní přímky z obr.1 příslušného tenzometru.

Pro určení modulu pružnosti v tahu E a dále obou složek momentu jsou třeba tři naměřené signály z tenzometrů – respektive tři směrnice regresních přímek. Pro kombinaci tenzometrů 1,3,5 je zadání výpočtu a příslušná soustava rovnic vyřešená na obr.4. s tím, že daná osová síla $F=IN$.

Silové dvojice vytváří v tenzometrech srovnatelný signál s odezvou tahové síly. Zejména v případě těchto vzorků s lokalizačním vrubem je vliv vrubu na průběh ohybových deformací při tahové zkoušce zároveň s korekcí na vliv vrubu při prostém tahu zřejmě nerealizovatelný a může ve výpočtech způsobovat chyby právě při určování materiálových

parametrů, v našem případě modulu pružnosti E . Spolehlivost identifikace tahovou zkouškou jsme ověřili právě při více než třech tenzometrech, neboť shodné výsledky by teoreticky měly dát různé vhodné kombinace tenzometrů (pro zachycení roviny musí být tenzometry vždy z obou měřících ploch vzorku), rozdíly výpočtů v modulu pružnosti tvořily až 5%.

Zadané hodnoty : $F[N]$, $(h,b,y,z)[mm]$, $(M_y,M_z)[Nmm]$, $k[\mu i/MPa]$, $E[MPa]$

$F := 1$ $h := 48.8$ $b := 12$ $k1 = 5.1003$ $k3 = 4.571$ $k5 = 4.8388$

$y1 := -15.4$ $y3 := 15.4$ $y5 := 0$ $z1 := -6$ $z3 := -6$ $z5 := 6$

$A := b \cdot h$ $J_z := b \cdot \frac{h^3}{12}$ $J_y := b^3 \cdot \frac{h}{12}$ $M_z := 1$ $M_y := 1$ $E := 2 \cdot 10^5$

Soustava rovnic: **Given**

$$\frac{M_z \cdot y1}{J_z} + \frac{M_y \cdot z1}{J_y} + \frac{F}{A} - k1 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \frac{F}{A} = 0$$

$$\frac{M_z \cdot y3}{J_z} + \frac{M_y \cdot z3}{J_y} + \frac{F}{A} - k3 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \frac{F}{A} = 0$$

$$\frac{M_z \cdot y5}{J_z} + \frac{M_y \cdot z5}{J_y} + \frac{F}{A} - k5 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \frac{F}{A} = 0$$

Řešení rovnic:

$$\text{Find}(M_z, M_y, E) = \begin{pmatrix} -0.7051 \\ 6.5372 \times 10^{-4} \\ 2.0673 \times 10^5 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{-moment } M_z[Nmm] \\ \text{-moment } M_y[Nmm] \\ \text{-modul pružnosti } E[MPa] \end{matrix}$$

Obr.4 – Výpočet modulu pružnosti a ohybových momentů z naměřených deformací

Tahový vzorek s lokalizačním vrubem je třeba namáhat pouze čistým tahem, aby bylo možno odstínit vliv vrubu pouze tahovou příčinkovou funkcí. Pro uchycení vzorku nestačí čelisti běžného trhačího stroje, neboť do tahové zkoušky zavádějí v principu vždy ještě nezanedbatelný ohybový moment, jehož vrubový vliv při superpozici účinků zůstává a způsobuje chybu v principu vyhodnocení materiálových charakteristik.

Literatura:

- [1] Vítek, K.- Mechanické vlastnosti oceli X60, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 94, Janov nad Nisou, 1994, sborník str.201-203
- [2] Holý S. – Posuzování konstrukce hodnocením údajů tenzometrů v závislosti na průběhu zatěžování, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 92, Praha 1992, sborník str.69-72
- [3] Vítek, K.- Optimalizace tvaru tyčí pro tahovou zkoušku, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 93, Měříň, 1993, sborník str.319-320
- [4] Vítek, K., Holý S.- Identifikace materiálové tahové zkoušky, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 99, Frenštát pod Radhoštěm, 1999, sborník str.213-216