



MATERIAL CONSTANT DETERMINATION WITH FE-ANALYSIS SUPPORT

Karel VÍTEK, Stanislav HOLÝ, Pavel Štěrba*

Summary: Computational approach to structural or limit state assessment needs better knowledge of material qualities as one of the basic inputs. 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 specimens by means of notch correction of measured strains. These corrections are based on calculation which uses finite element method.

1. ÚVOD

Materiálové charakteristiky jsou jedním ze vstupů modelování konstrukcí, které je při současném pokroku výpočtových prostředků nutno prohloubit a zpřesnit. Metodika zjišťování elastických konstant konstrukčních materiálů vychází z mechanických zkoušek parciálně namáhaných vzorků (makrovzorků), nejčastěji z tahové zkoušky. Zejména počítačové modelování konstrukcí, které v posledních letech s rozvojem počítačových technik (hardwaru i softwaru) značně pokročilo, má vyšší nároky (namísto Youngova modulu pružnosti a Poissonova čísla je třeba pro hlubší poznání jevů znát jejich průběhy až k mezi pevnosti v různých místech konstrukce). Záměrem zpřesňování vstupů je především objektivizace modelování tak, aby nákladné výpočetní technologie měly efekt a byly řádně zužitkovány jak v úrovni návrhu, tak především ve finalizaci výroby.

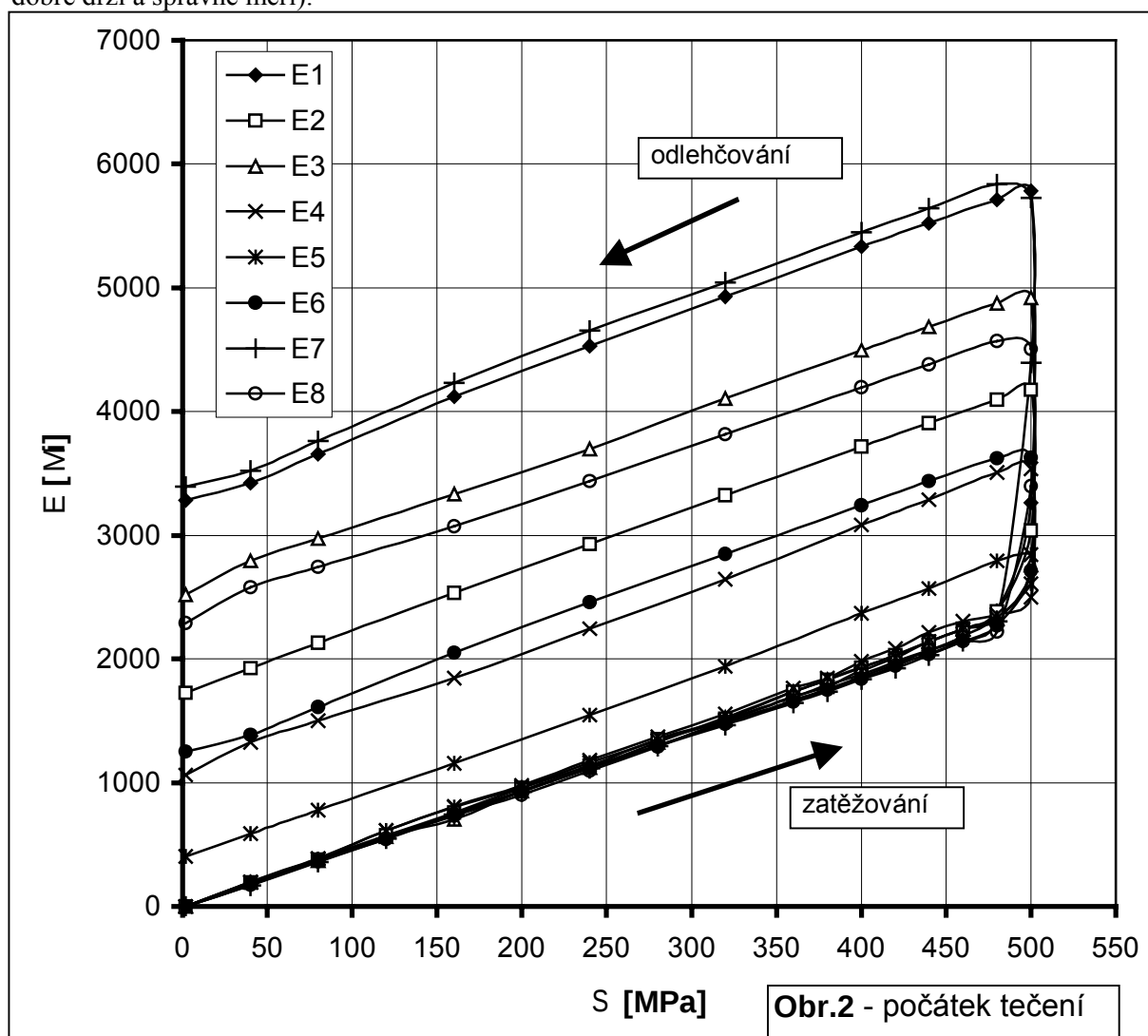
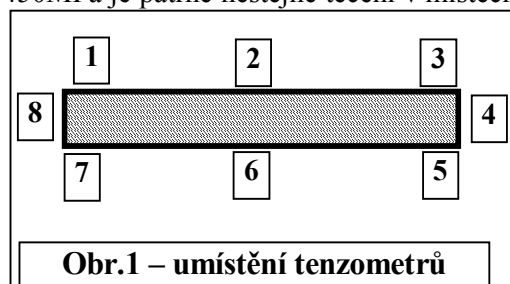
Pro zpřesňování tahového diagramu využíváme vyšší počet měřících míst v průřezu vzorku, protože úplnější informace umožňuje jak zpřesnit regresi dat, tak i kompenzaci ohybu, který způsobuje jednak geometrie vzorku a dále interakce uložení vzorku s čelistmi zkušebního stroje. Například tahový ocelový vzorek obdélníkového průřezu 50x10 mm, který po absolvování únavové tahové zkoušky zůstal neporušen, jsme v průřezu podle obr.1 osadili osmi odporovými tenzometry a podrobili statické tahové zkoušce. Tento vzorek vykazuje lineární pracovní diagram σ - ϵ dle obr.2 až

* Ing. Karel Vítek, CSc., Prof. Ing. Stanislav Holý, CSc., Ing. Pavel Štěrba

Department of Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Technická 4, 166 07 Prague 6, Czech Republic, Email: VITEK@FSID.CVUT.CZ

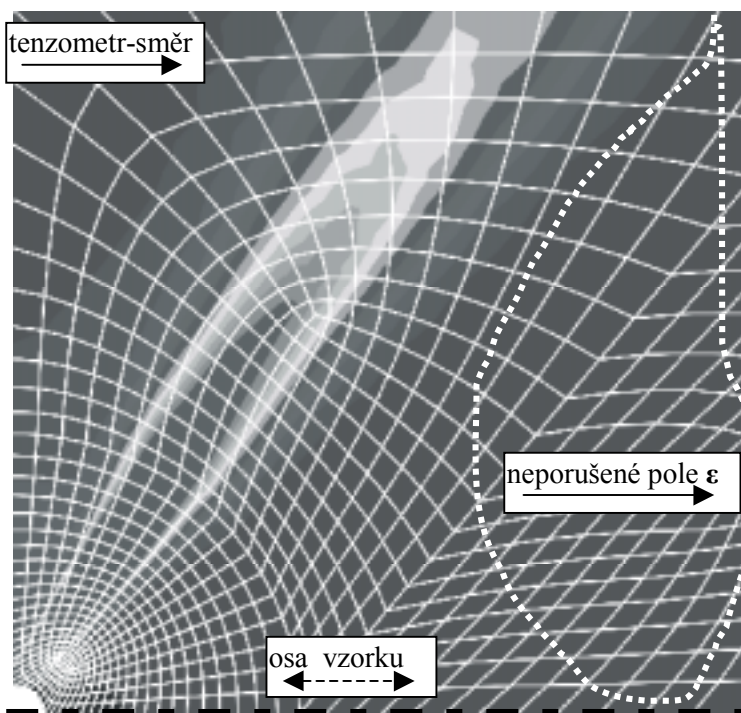
po napětí 480MPa. V náběhu zatížení se projevuje pouze malý vliv ohybu (průběhy všech měřících míst se značně kryjí až do 300MPa), teprve při napětí nad 450MPa je patrné nestejně tečení v místech jednotlivých tenzometrů při dosažení oblasti výrazných plastických deformací, jako by se materiál skládal z jednotlivých propojených vláken a záležití, na kterém z nich snímáme deformace, protože materiál vzorku se nejví (ve smyslu lokální deformace při tečení) homogenní.

Nestabilita může být ovlivněna také vlivem ohybu, který v kombinaci s tahem způsobuje různé namáhání bodů průřezu. K důkladnější analýze je třeba měřit tenzometry s větší hustotou dat - plynuleji při více zatěžovacích hladinách (vzhledem k etapě odlehčení s nezměněnými směnicemi přímk lze usuzovat, že tenzometry na povrchu vzorku stále dobře drží a správně měří).



Pro podstatné zvýšení pravděpodobnosti lokalizace porušení vzorku (neboť k identifikaci průběhu materiálových vlastností je třeba snímáči sledovat lokální oblast vzorku, kde dojde k iniciaci jeho porušení.) užíváme vzorky s usměrňovacím vrubem. Ideální usměrňovací vrub by pouze inicializoval porušení vzorku a neovlivňoval signály tenzometrů, což prakticky není zcela možné, proto jak umístění, tak i tvar vrubu volíme symetrický a na základě analýzy metodou konečných prvků zavádíme pro snímáče ovlivňované vrubem výpočtovou korekci jejich signálu.

Vhodné principy usměrňovacích vrubů vybíráme intuitivně a následnou analýzou MKP ověřujeme jejich chování v ideálně zatěženém vzorku. Kritériem pro využití usměrňovacího vrubu je jednak usměrnění místa porušení (to se dá posoudit až podle konkrétních experimentů) a dále minimální ovlivnění signálů snímacích pozic tenzometrů. Například malá dvoumilimetrová díra provrtaná symetricky - v ose - tloušťkou tahového vzorku o průřezu 50x12 mm, vytvoří pole ε osového poměrného prodloužení v elasticitě podle obr.3. Budou-li tenzometry umístěny v označených oblastech, jejich signál se bude prakticky shodovat se signálem tenzometrů umístěných ve vrubem neporušené oblasti vzorku, ale v místě, kde dojde následně k přetržení vzorku.

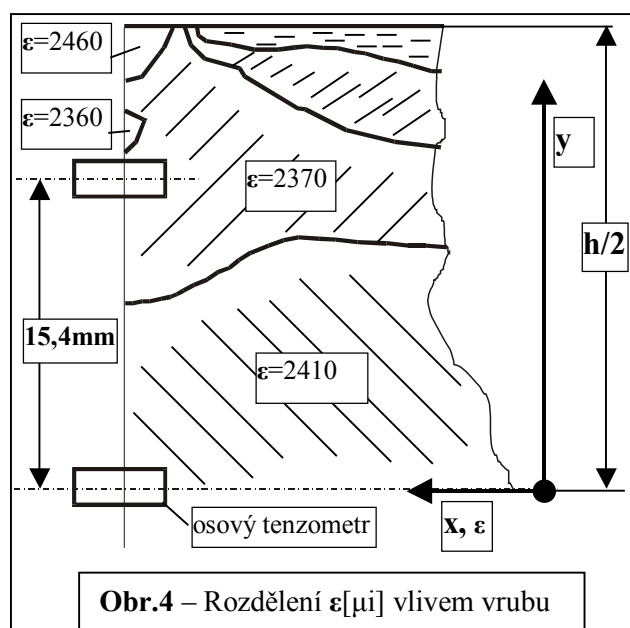


Obr.3 – vliv vrubu na poměrné prodloužení

2. ZÁVĚR

U vzorku obdélníkového průřezu (49,8x12mm) z obr.4 byl uprostřed podélné osy na kratší stěně oboustranně symetricky odfrézován vrub do hloubky 0,5mm (Ø frézy 200mm, materiál vzorku ocel, změna průřezu na: 48,8x12mm).

Vliv tohoto vrubu na rozložení poměrných deformací od ohybu v elastické oblasti jsme analyzovali MKP. Ale v místech tenzometrů je zanedbatelný, proto eliminujeme pouze vliv tahu navrženou deformační příčinkovou funkcí, která souvisí se silovou rovnicí 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. Původní signály tenzometrů korigujeme násobkem: $\varepsilon_p \cdot \varepsilon(y)$, který vyjadřuje vliv vrubu a $\varepsilon(y)$ představuje nekorigovaný signál tenzometru. Průměrnou hodnotu ε_p zde definujeme na základě integrace vypočítaného poměrného prodloužení (ve směru, který tenzometry ve vybraných místech na průřezu měří (osové nebo příčné) podle vztahu:



Obr.4 – Rozdělení $\varepsilon[\mu i]$ vlivem vrubu

$$\varepsilon_p = \left(\int_0^{h/2} \varepsilon(y) \cdot dy \right) \cdot (2/h)$$

Nad průřezem vytváří poměrná prodloužení v lineární elasticitě rovinu, která je definovaná součtem napětí, respektive deformací ze superpozice ohybu a tahu. Do hlavních centrálních os z, y průřezu rozkládáme výsledný ohybový moment M na momenty M_y a M_z . Například pro první tenzometr lze v závislosti na definovaném smluvním osovém napětí $\sigma = F/A$ (napětí σ je u tahové zkoušky řídicí parametr) formulovat hodnotu napětí z naměřeného poměrného prodloužení odečtenou od součtu obou ohybových a tahového členu rovnici :

$$\frac{M_z \cdot y_1}{J_z} + \frac{M_y \cdot z_1}{J_y} + \frac{F}{A} - k_1 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \frac{F}{A} = 0$$

Zde J_z , J_y označují kvadratické momenty průřezu k osám z, y , dále z_1, y_1 - souřadnice tenzometru v systému z, y a k_1 je korigovaná směrnice regresní přímky prvního tenzometru ($k_1 \cdot 10^{-6} \cdot F/A = \epsilon_1$ - z tenzometru číslo 1 ; analogické jsou rovnice ostatních snímačů).

Pro určení tří neznámých - modulu pružnosti v tahu E a dále obou složek momentu M_y a M_z , jsou v lineární oblasti zatěžování třeba tři naměřené signály z tenzometrů - respektive tři směrnice regresních přímek s tím, že osová síla F je v těchto 3 rovnicích uvažována v objektivním rozsahu regresních přímek (například zvolíme-li v rovnicích F , také obě složky momentu M_y a M_z lineárně odpovídají hladině zvolené síly).

Silové dvojice mohou tvořit v tenzometrech srovnatelný signál s odezvou tahové síly (například $\pm 10\%$). Právě v případech, kdy jsou měřeny více než minimální tři tenzometry, můžeme jednoduše ověřovat spolehlivost určování materiálových parametrů, použitím několika výpočtů z různých vhodných kombinací tenzometrů (rovnice nesmí být lineárně závislé - což se může stát třeba volbou kombinace tenzometrů ležících na jedné přímce). V našem případě u modulu pružnosti E dosahovaly rozdíly mezi výpočty až 5%.

V případě nelineárního tahového diagramu navrhuje postupovat s více měřicími místy a nad obrysem průřezu formulovat pro příslušné poměrné prodloužení regresní plochu, vystihující chování materiálu, například: $\epsilon = k_1 \cdot x^2 + k_2 \cdot y^2 + k_3 \cdot x \cdot y + k_4 \cdot x + k_5 \cdot y + k_6$ (kde x, y jsou souřadnice měřicího místa na obrysu průřezu). Pro výpočet konstant k_1 až k_6 je nutno užít alespoň 6 tenzometrů ke snímání jednoho druhu deformace. Ovšem vzhledem ke spolehlivosti experimentu je třeba užít většího počtu tenzometrů, protože to zajišťuje dostatečnou definovatelnost regrese při selhání některého z měřicích míst a v principu je jistěn též finančně poměrně nákladný experiment.

Výzkum této problematiky je podporován grantem GAČR: 106/01/0958.

3. LITERATURA

- [1] Vítek K.- Optimalizace tvaru tyčí pro tahovou zkoušku, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 93, Měříň, 1993, sborník str.319-320
- [2] Vítek K., Holý S.- Identifikace materiálové tahové zkoušky, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 99, Frenštát pod Radhoštěm, 1999, sborník str.213-216
- [3] Vítek K., Holý S., Štěrbá P. - Identifikace materiálové tahové zkoušky užitím vrubového vzorku, Konference Experimentální analýza napětí - EAN 2000, Třešť, 2000, sborník str.371-374