

## OPTICKÁ ODEZVA PMMA PŘI RÁZOVÉM NAMÁHÁNÍ

Metoda dynamické fotoelasticimetrie užívaná v laboratorii katedry mechaniky pružnosti a pevnosti na Vysoké škole strojní a textilní v Liberci k zobrazení a vyhodnocení pole napětí a deformací v testovacích vzorcích namáhaných rázem vyžaduje znalost optické odezvy užívaného modelového materiálu, resp. celé optické soustavy. Zpracování experimentů bylo dosud prováděno na základě stanovené statické hodnoty optické citlivosti modelových materiálů [1, 2]. Předkládaný článek je příspěvkem ke zpřesnění užívané metody dynamické fotoelasticimetrie na pracovišti autorů. Předpokládá se, že modelový materiál, kterým je PMMA čs. výroby, vykazuje v oblasti mechanických vlastností lineárně viskoelastické chování, zatímco optickou odezvu PMMA lze ve specifické oblasti rychlosti deformování uvažovat jako kvazielastickou, tj. charakterizovatelnou pouze jedinou konstantou  $k_{\sigma}$  [kPa/m]. Dále se předpokládají lineární vlastnosti všech prvků registrace pulsů v experimentálním uspořádání.

## Realizovaný experimentální program

K ocenění optické citlivosti sestavy fotoelasticimetru byly realizovány následující experimenty. Schéma základního experimentu je uvedeno na obr. 1.

Na konci dlouhé stíhlé tyče průřezu 10x10 mm vyrobené z PMMA byl vybuzen pomocí zařízení explozivního drátku [3] deformační puls, jehož časové profily v místech 1 a 2 na tyči byly snímány polovodičovým tenzometry (S502) fy Ručov Kůmburk a po vhodném zesílení zaznamenány na obrazovku dvoukanálového osciloskopu. V místě 3 byla pak pomocí kruhového polariskopu a rychlostní kamery SFR-2M s monochromatickým filtrem zaznamenána na standardní negativní film Fomapan 21DIN sekvence vytvářených isochromatických pruhů. Isochromaty v místě 3 na tyči jsou ve skutečnosti "řezy" časovým profilem šířící se vlny deformace (napětí) v určité úrovni, což lze využít ke kalibraci optické odezvy fotoelasticimetru včetně modelového materiálu.

Druhým experimentem bylo stanovení rychlosti cela šířícího se podélného deformačního pulsu tyče z PMMA. Metodika tohoto experimentu je blíže popsána v práci [4]. Stanovena rychlost činila  $c_p = 2150$  m/s.

V pořadí třetí experiment umožnil oceňovat v místech 1 a 2 na tyči instalované tenzometry včetně elektronických obvodů zesilujících jejich signál. K tomu účelu byla použita část zařízení Hopkinsonovy měrné dělené tyče (obr. 2) realizované na pracovišti autorů v nedávné době [5]. Na identickou tyč z předchozích experimentů byl nastřelován válcový projektil, rovněž z PMMA, takové délky, aby mohlo být ke stanovení maximální amplitudy napětí v místě 0 rázu využito jednorozměrné teorie šíření vln, tj. vztahu

$$\sigma_{max} = 0,5 * \rho * c_p * v, \quad (1)$$

kde  $\rho$  je měrná hmotnost materiálu tyče,  $c_0$  je rychlost šíření čela podélné deformační vlny v tenké tyči a  $v$  je rychlost projektilu měřené před dopadem na čelo tyče v místě 0. Signály z tenzometrů byly po stejném zesílení jako v základním experimentu zaznamenávány na obrazovku osciloskopu, což umožnilo vyloučit nekorektní experimenty a posléze provést kalibraci tenzometrů.

#### Metodika zpracování experimentálních dat

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku uvedme pouze stručnou charakteristiku prací při zpracování experimentálních dat.

1-základní experiment umožnil ocenit útlumové charakteristiky PMMA na podkladě vyhodnocených /6,7/ frekvenčních funkcí koeficientu útlumu  $\alpha(f)$  a fázové rychlosti  $c(f)$  a logaritmické útlumové charakteristiky  $k_\xi$  definované vztahem

$$k_\xi = (\ln^{12} \alpha_T) / \Delta x_{12} \quad (2)$$

kde  $^{12}\alpha_T$  je distorzní koeficient zavedený v práci /8/. Tyto charakteristiky rovněž umožnily přenos dat z místa nebo do míst tyče, kde nelze experimentálně snímat deformace potřebné ke kalibraci optické cesty fotoelasticimetru.

2-experiment určený k cejchování tenzometrů umožnil stanovit  $\bar{u}_{max}$  dle vztahu (1) při různých dopadových rychlostech projektilu (10 až 13 m/s). Hodnota napětí  $\bar{u}_{max}$  na čele tyče byla pomocí vztahu

$$\bar{u}_{max} = \bar{u}_{max} * \exp(-\Delta x_{01} * k_\xi) \quad (3)$$

přepočtena /7/ do místa 1, kde byl instalován tenzometr a snímána po zesílení jeho odezva  $u(t)$ . Lineární regrese dat ze získané experimentální závislosti  $\bar{u}_{max} - u_{max}$  poskytla cejchovní konstantu tenzometru  $K$  včetně jeho snímací cesty.

3-skutečný průběh napětí  $u(t)$  ze základního experimentu v daném měrném místě na tyči z PMMA je pak možné stanovit pomocí vztahu

$$u(t) = K * M * S_{max} * \bar{S}(t), \quad (4)$$

kde  $M$  je měřítko zobrazení signálu tenzometru,  $S_{max}$  je maximální hodnota a  $\bar{S}(t)$  je normovaný na  $S_{max}$  časový profil digitalizovaného signálu tenzometru. Digitalizace byla prováděna programovými prostředky AUTOCAD na PC-AT, což se ukázalo vhodné z hlediska automatického zpracování experimentálních dat.

4-pomocí profilprojektoru byla ze záznamu rychlostní kamery odečtena vzdálenost odpovídajících si isochromatických pruhů.

5-nakonec byla na skupině dat ze základních experimentů provedena predikce časového profilu napětí z místa 1 do místa 3 (prostřednictvím aparátu diskrétní Fourierovy transformace) s využitím předtím stanovených frekvenčních funkcí  $\alpha(f)$  a  $c(f)$  a rychlosti  $c_0$  /9/. Dalsím zpracováním na počítači byla pomocí rychlosti  $c_0$  provedena transformace časového průběhu napětí v místě 3 do souřadnice prostorové, tj.  $u(t) \rightarrow u(x)$ .

kde  $t$  je čas a  $x$  je délka. To bylo potřebné pro přiřazení hledané rovinné napětí pozorovaným izochromatickým pruhům daného rádu v předikovaném profilu napětí. Celé zpracování experimentálních dat bylo realizováno na počítači PC-AT.

### Výsledky

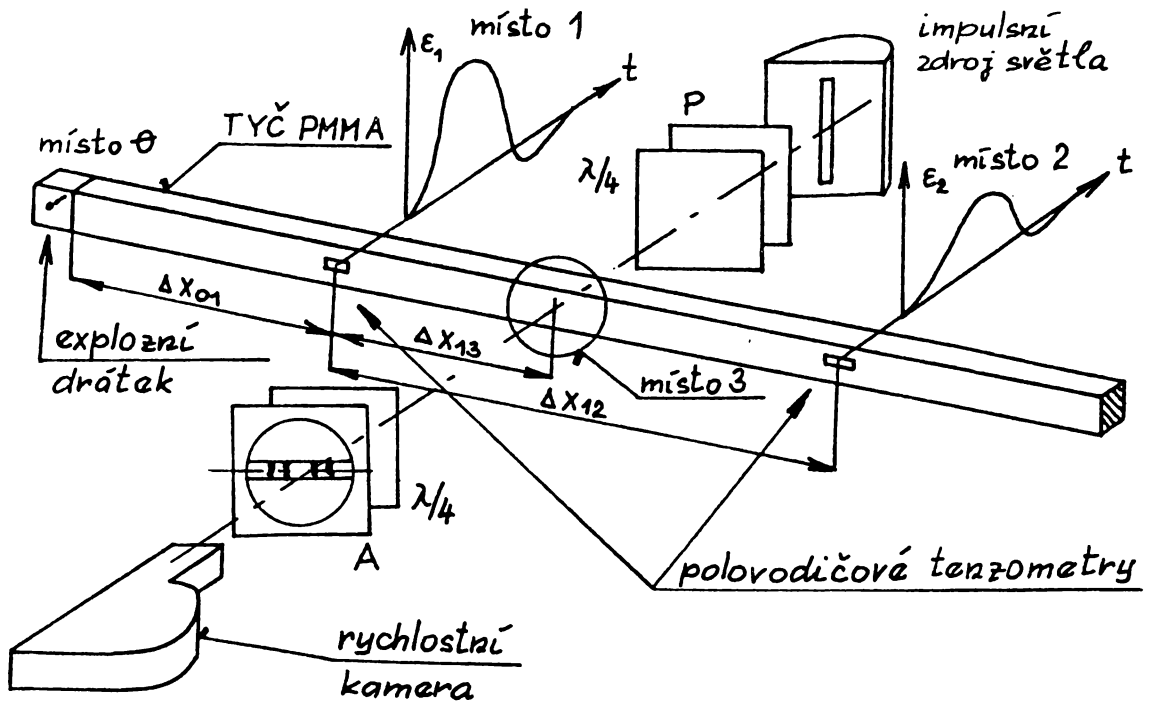
Prezentovaný experimentální program a metodika zpracování dat umožnily ocenit optickou odezvu na pracovišti autorů užívané sestavy fotoelastického měření s rychlostní fotografií. Stanovená hodnota optické citlivosti soustavy ve které má rozhodující podíl modelový materiál (PMMA) se pohybuje v rozmezí

$$K_{dyn} = 220 \text{ až } 280 \text{ kPa/m.}$$

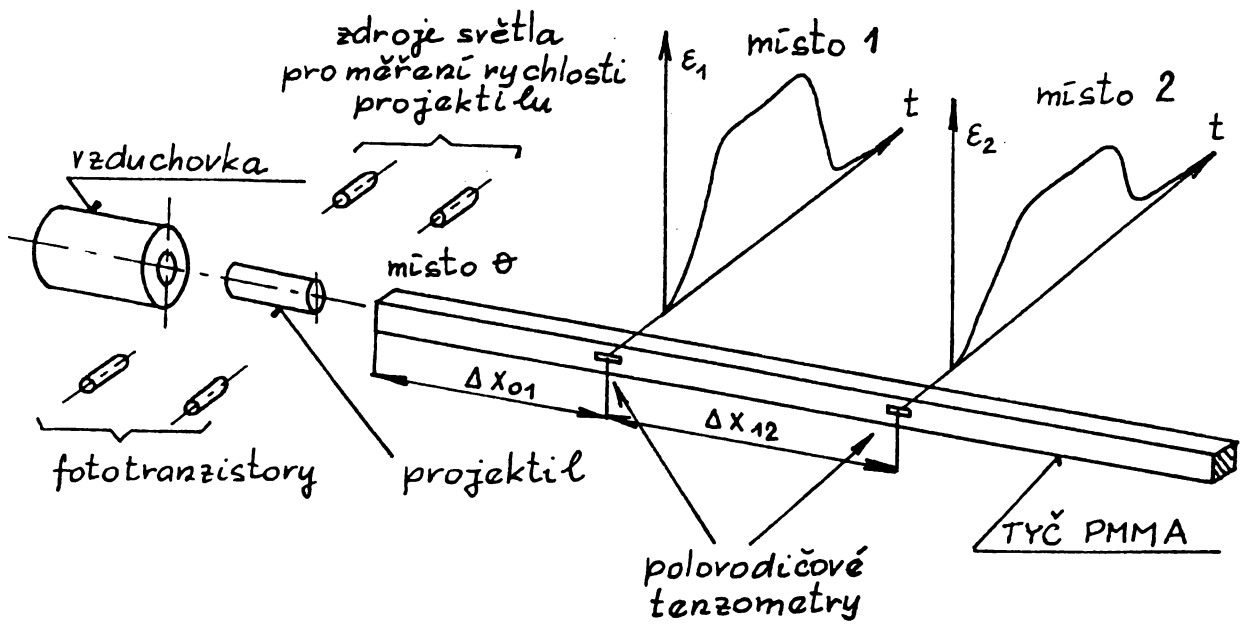
zatímco v práci [2] stanovená statická hodnota optické citlivosti PMMA činila cca 150 kPa/m.

Seznam literatury: /1/ STRÍŽ B. a kol. - Dynamika lomu, zpráva SPEV III-6-1/3, KMP VŠST Liberec, 1978 /2/ POTEŠIL A. - Stanovení statické hodnoty koeficientu optické citlivosti Akrylonu (PMMA), Sborník prací VŠST, Liberec, 1985 /3/ VEJVODA J.st., VEJVODA J.ml., HUMEN Vl. - Optimalizace parametrů experimentálního uspořádání explozivního drátku, Sborník prací VŠST, Liberec, 1983 /4/ VEJVODA J.st. - Použití zdrojů synchronizačních impulsů, (nepublikovaná práce), KMP VŠST Liberec, 1986 /5/ BABUŠKA M., VEJVODA J.st. - Realizace Hopkinsonovy měrné dělené tyče v laboratorii KMP, Sborník prací VŠST, Liberec, 1989 (v tisku) /6/ MAJKOVIČ J. - Automatizace měření dynamických charakteristik viskoelastických materiálů, KMP Diplomová práce, VŠST Liberec, 1988 /7/ POTEŠIL A. - Identifikace dynamických viskoelastických vlastností fotoelastických materiálů, Kandidátská disertace, KMP VŠST Liberec, 1984 /8/ HUMEN Vl., VEJVODA J.st. - Experimentální stanovení distorze pulsu sířičeho se v tyči z disipativního materiálu, Strojnicky časopis, 35, 1982, č.5 /9/ STRÍŽ B. a kol. - Šíření a zastavení dynamické trhliny v rovinných tělesech, zpráva SPEV III-4-2/3, KMP VŠST Liberec, 1987.

Doc. Ing. Antonín Potěšil, CSc., Ing. Vladimír Humen, Ing. Jirí VeJVoda st., VŠST Liberec, Hájkova 6, 461 17 LIBEREC



OBR. 1



OBR. 2