

**THE COMBINED EXPERIMENTAL - NUMERIC PROCESS  
FOR SEPARATION OF DEFORMATION COMPONENTS IN  
THE ORTHOTROPIC MATERIALS BY MEANS OF  
PHOTOSTRESS METHOD.  
KOMBINOVANÝ EXPERIMENTÁLNE-NUMERICKÝ  
POSTUP SEPARÁCIE ZLOŽIEK DEFORMÁCIÍ  
V ORTOTROPNÝCH MATERIÁLOCH METÓDOU  
PHOTOSTRESS.**

Trebuňa F.

*The Determination of stress and deformation components in the arbitrary point of single and multiply continuous area from orthotropic materials is one of the most difficult tasks of experimental analysis. In this paper is solved such problem by means of combined approach and this solution enables the separation also from one group of characteristic lines.*

Hmotnosť konštrukcie je v súčasnosti dôležitým faktorom nielen v leteckej a kozmonautike, ale i v ďalších odvetviach strojárstva a stavebníctva. v ktorých zníženie hmotnosti pri zachovaní funkčnej spoľahlivosti konštrukcie je v súlade s celosvetovým trendom šetrenia surovinami. Jednou z ciest jej zníženia je použitie pevnejších materiálov pre celú konštrukciu, resp. len pre exponované prvky.

Navrhovanie efektívnych nosných štruktúr vyžaduje kvalitatívne nové prístupy, ktorých cieľom je už v etape projektovania dostatočne presná predikcia vlastností budúceho systému, ktorý musí byť optimálny z hľadiska stanovených požiadaviek. Pri projektovaní nosných prvkov, ktoré sú charakterizované vysokou tuhosťou a pevnosťou pri nízkej hmotnosti sa

v ostatnom období začínajú využívať kompozitné materiály, ktoré v porovnaní s konštrukčnou oceľou vyznačujú vyšším pomerom hranice pevnosti ku mernej hmotnosti (2 až 5 krát) a modulu pružnosti k mernej hmotnosti (cca 2-krát). Podľa niektorých autorov zníženie hmotnosti pri zámene vysoko pevnej ocele kompozitnými materiálmi v nosných prvkoch lietadiel a automobilov dosahuje až 70 %. Výhodou kompozitných materiálov je tiež vysoký koeficient tlmenia. V závislosti od typu kompozitu, orientácie vlákien a pod. môže byť vnútorné tlmenie až 30 krát vyššie ako v hliníku. Nevýhodou je zatiaľ ich pomerne vysoká cena.

Analýza napätových a deformačných polí v nosných prvkoch vyrobených z kompozitných materiálov je podstatne komplikovanejšia ako pre izotropné materiály.

Prepojením reflexného polariskopu s osobným počítačom vykonaným na našom pracovisku sa meranie a separácia napätových a deformačných polí výrazne zjednoduší a zrýchli. O tomto prepojení sme prvý krát informovali na medzinárodnej konferencii "Meranie statických a dynamických parametrov konštrukcií a materiálov" v Plzni v roku 1987. V ďalšom období sme rozšírili metódy separácií o metódy vypracované Prof. Tesařom, Prof. Vadovičom, Prof. Szczepińskim, Prof. Stupnickým a Prof. Laermannom. Rozšírili sme i programové a prístrojové vybavenie o možnosť priamej kalibrácie pružkovej konštanty povrstvenia a boli vypracované procedúry pre uplatnenie korekčných faktorov.

Naše úsilie od samého začiatku však bolo zamerané nielen na určenie napätových a deformačných polí v izotropných materiáloch, ale predovšetkým na využitie metódy reflexnej fotoelasticimetrie aj pre novodobé zložené materiály, vystužené vláknami a sieťami. Toto použitie bolo obmedzené niektorými až doteraz nedoriešenými otázkami. V posledných rokoch boli publikované práce týkajúce sa separácie zložiek napätí a deformácie po nezaťaženom obryse súčiastky vyrobenej z materiálu vystuženého vláknami (Koshide, S., Rúžička M.). Na našom pracovisku bol tento problém riešený iným spôsobom a bol publikovaný v [1].

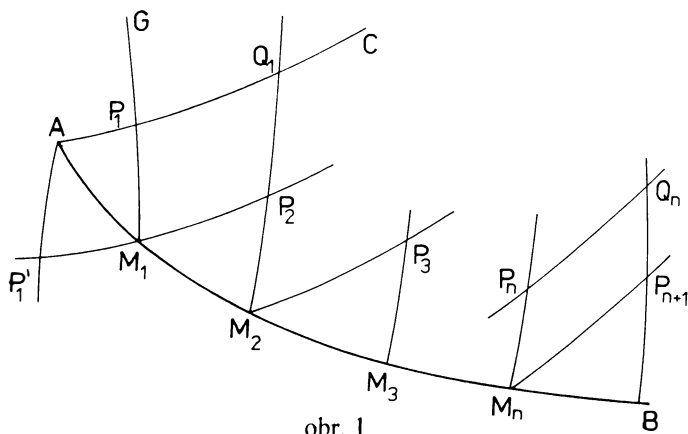
Oveľa náročnejšou sa javí úloha separácie napätových, resp. deformačných polí v ľubovoľnom bode kompozitného materiálu. Prístupy k riešeniu uvedenej problematiky rôznymi autormi sú odlišné. Na základe dlhodobej spolupráce vo výskume s Inštitútom letectva Polytechnicky Rzeszovskej menovite p. Prof. Dr. Ing. Henrykom Kopeckým a vedeckých kontaktov

s Leteckým inštitútom Polytechniky Warszawskiej menovite p.Prof. Dr.Ing.Jacom Stupnickým a na základe prác uvedených pracovísk, ktoré pojednávajú o riešení uvedenej problematiky pre izotropné materiály, je v rámci plánovanej vedecko-výskumnej činnosti a grantových projektov na Technickej univerzite v Košiciach riešený problém napäťových a deformačných polí pre ortotropné materiály metódou Photostress.

V prvej fáze riešenia bola uplatnená metóda využitia šikmého osvetlenia, čo bolo opublikované v práci [2]. Posledné tri roky sa na našom pracovisku mimoriadna pozornosť venuje kombinovanému experimentálno-numerickému postupu separácii zložiek deformácií.

Vo všeobecnosti v ortotropných materiáloch smery hlavných pomerných deformácií sú rozdielne od smerov hlavných normálových napätí. V rovinách, kde pôsobia hlavné normálové napätia, dochádza ku skosom. Diferenciálne rovnice rovnováhy v smeroch osi ortotropie predstavujú parciálne diferenciálne rovnice rovnováhy kvázilineárne hyperbolického typu [3].

Pre riešenie uvedených rovníc môžeme využiť Cauchyho problém, pričom sa uplatní tzv. teória charakteristík.



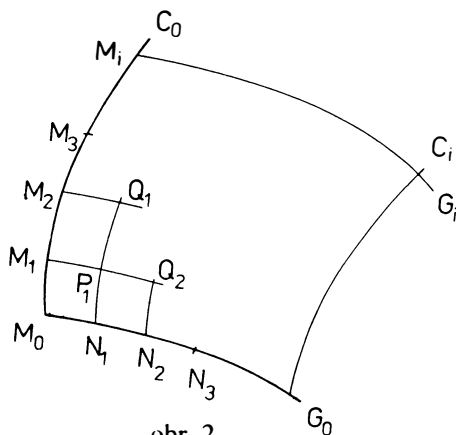
Bod  $P_1$  je priesečníkom charakteristiky  $C$  vychádzajúcej z bodu  $A$  a charakteristiky  $G$  vychádzajúcej z bodu  $M_1$ . Ak postup opakujeme s bodmi  $M_1, M_2$  dostaneme bod  $P_2$  a krok za krokom body  $P_3, \dots, P_{n+1}$ , t. j. uzly prvej úrovne. Ak opäť začneme z bodov  $P_1$  a  $P_2$ , môžeme určiť vždy tým istým výpočtovým procesom  $n$ -uzlov druhej úrovne  $Q_1$  až  $Q_n$ . Takto krok za krokom určíme

vnútorné uzly oblasti , ktoré sa nachádzajú na charakteristikách vychádzajúcich zo zvolených bodov  $A, M_1, M_2, \dots B$ .

Poznamenajme, že každému uzlu priradíme súradnice  $x$  a  $y$  ako aj hodnoty funkcií  $u$  a  $v$  v týchto bodoch. Dostaneme teda numerické hodnoty hľadaných funkcií  $u, v$  v uzloch siete vytvorenej charakteristikami.

Funkcie  $u$  a  $v$  môžeme hľadať keď poznáme

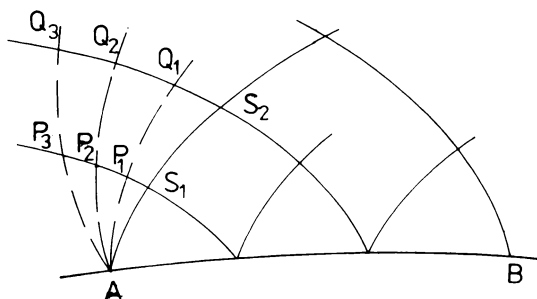
- hodnoty  $u_0$  a  $v_0$  v bode  $M_0$
- dve charakteristiky  $C_0, G_0$  vychádzajúce z  $M_0$
- podmienku väzby medzi funkciou  $u$  a  $v$  na každej charakteristike. To sú tzv. podmienky na dve charakteristiky (obr. 2)



obr. 2

V prípade nelineárneho systému smernica charakteristiky závisí od súradníc bodu z ktorého vychádza, ale aj od hodnôt funkcií  $u$  a  $v$  v týchto bodoch. Ak je niektorá z funkcií  $u$  a  $v$  nespojitá, vtedy musíme vyšetrovať vejár charakteristík vychádzajúcich z toho istého bodu  $A$  pre ľubovoľné hodnoty funkcie  $u$  medzi hodnotami  $u_0$  a  $u_1$ . (pozri obr. 3)

Uvedeným postupom experimentálne numerickým, možno určiť zložky deformácií resp. napätí i v ortotropnom materiáli. Postup je spracovaný do programu a je súčasťou celého doteraz vybudovaného programového systému pri metóde Photostress.



obr.3

## LITERATÚRA:

- [1] Trebuňa F., Šimčák F.: Určenie napätosti po nezaťaženom obryse súčiastky z kompozitného materiálu metódou Photostress. In: Zborník vedeckých prác VŠT v Košiciach 1990, Alfa Bratislava 1991 str. 469-474.
- [2] Trebuňa F.: Využitie metódy Photostress na určenie napätosti a deformácií v ľubovoľnom bode súčiastky z kompozitného materiálu. In: Zborník ved. prác VŠT v Košiciach 1990, Alfa Bratislava 1991 str. 469-474.
- [3] Trebuňa F.: Určenie polí deformácií a napätí v zložených ortotropných materiáloch pomocou charakteristík. In: 31 konferencie Experimentální analýza napětí. Měřin 993 str. 287-290.
- [4] Holý S., Kratěnovi J. a M., Michalec J.: Analýza napjatosti a deformací konstrukcí pomocí optických metod. In: Zborník konference k 125 výročí založení SjöF ČVUT Praha 1989.
- [5] Konvičková S.: Nový typ jamky pro totální náhrady kyčelních kloubů In.: Transaction of the TU Košice 1995

### Adresa autora:

František Trebuňa Doc. Ing. CSc.

Technická univerzita Košice, Strojnícka fakulta, Katedra technickej mechaniky a pružnosti, Letná č. 9, 04187 Košice