



30th Conference of Experimental Stress Analysis
30. konference o experimentální analýze napětí
2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

SOME ASPECTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH INTO CONSTRUCTION
MATERIALS STATE OF STRESS BASED ON NATURAL MODELS
NIEKTORÉ ASPEKTY EXPERIMENTÁLNEHO VÝSKUMU NAPÄTOSTI V
KONŠTRUKČNÝCH MATERIÁLOCH PODĽA PRÍRODNÝCH VZOROV.

Billý J., Trebuňa F., Šimčák F., Jurica V., Buršák M.,
Longauer S.

The contribution presents the methodology of determining structural composition of certain selected natural materials and the methodology of determining their mechanical properties and model generation in the form of a sandwich component, as well as its experimental verification.

Keywords: natural material, model, sandwich component.

Navrhovanie konštrukcii podobných ako v živej prírode je možné len na základe analýzy vzťahu a úlohy jednotlivých stavebných prvkov - biologických materiálov v rámci štruktúry ako celku. Uvedenou problematikou sa zaoberá kolektív riešiteľov projektu A 3/4 - 6 "Desing štruktúrnej stavby perspektívnych materialov podľa prírodných vzorov."

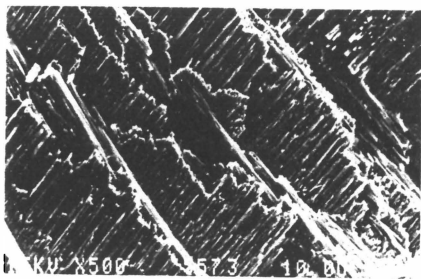
Na základe elektronmikroskopickej analýzy priečných rovinných rezov resp. lomov vybraných prírodných materiálov bola vytvorená priestorová rekonštrukcia resp. model štruktúrnej stavby a určené základné mechanické vlastnosti pri vybraných druhoch namáhania.

Pri skúmaní biologických materiálov je možné konštatovať, že tieto majú optimálnu kombináciu materiálových a štruktúrnych charakteristík. Široké spektrum mechanických vlastností prírodných materiálov a ich makro aj mikroštruktúra svedčia o tom, že tieto materiály možno považovať za kompozitné resp. celulárne. Pre ich širšie uplatnenie je potrebné posú-

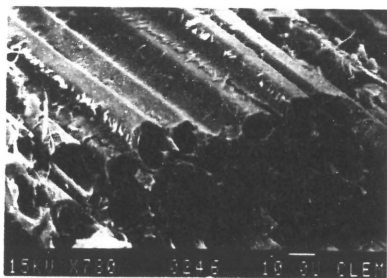
diť možnosti použitia existujúcich výpočtových a experimentálnych metód, prípadne tvorby nových výpočtových a experimentálnych postupov. Tento okruh problémov je riešený v projekte "Modelovanie, metodika výpočtu a experimentálneho overenia nosných prvkov z perspektívnych konštrukčných materiálov."

Pre riešenie otázok stavby konštrukčných materiálov podľa prírodných vzorov bola vyšetrovaná štruktúra vybraných materiálov nie v zmysle biologickom, ale z hľadiska materiálového inžinierstva. Pre získanie potrebných informácií je podstatná metodika. Všeobecne uspokojujivé výsledky poskytuje metóda faktografie. Metodika postupných rezov sa osvedčila pre mäkké materiály (listy) kým pre tvrdé materiály sa ukázala ako nevhodná.

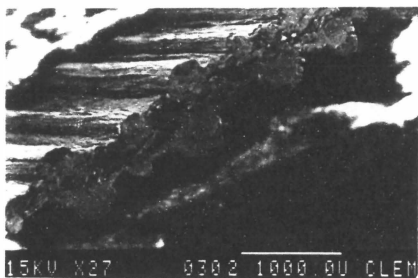
Na obr.1 sú vrstevnaté štruktúry morskej mušle. System vrstvenia umožňuje dosiahnuť izotropných vlastností. Typickým príkladom celulárnej štruktúry je bambus obr.2 Pri vyšetrovaní mechanických vlastností sa stretávame predovšetkým s problémami reprodukovateľnosti tvaru a rozmerov skúšobných vzoriek, obsahu vody a pod. Na obr.3 je rebrovitá štruktúra



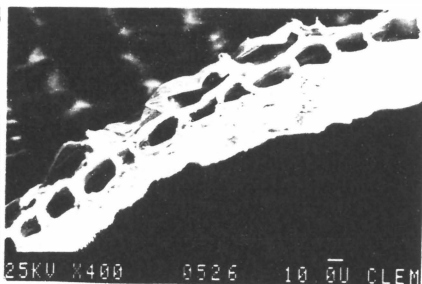
Obr.1 Vrstevnatá štruktúra mušle



Obr.2 Celulárna štruktúra bambusu



Obr.3 Rebrá listu irisu



Obr.4 Povrchová vrstva irisu

listu irisu a na obr.4 povrchová vrstva rebier.

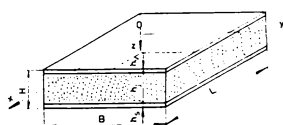
Zo sledovaných charakteristík boli vybrané medza pevnosti a Youngov modul pružnosti pri jednoosom ťahu. Silovo deformačné zmeny boli registrované medzi prierezmi vo vzdialenosti 20mm indukčným snímačom. Pre ilustráciu sú v tabuľke uvedené hodnoty mechanických vlastností irisu a juky.

Materiál	E[MPa]	R _m [MPa]
iris	276	8.1
juka	1009	26.0

Na základe analýzy priečných rezov možno konštatovať, že priečne rezy obsahujú hmotu jadra, ktorá je z oboch strán pokrytá hutnejšou vrstvou zosilnenou pozdĺžnymi rebrami. Z hľadiska rozloženia vnútorných silových veličín pri jednotlivých druhoch namáhania je možné pri tvorbe výpočtových modelov listy irisu a juky považovať za sendvičové nosné prvky pozostávajúce z povrchových vrstiev a jadra.

Pri zaťažení sendvičovej konštrukcie sa vnútorné sily prenášajú povrchovými vrstvami a jadrom, pričom napätia sú funkciou ich geometrických a fyzikálnych vlastností. Iný prístup k riešeniu je v prípade ak list považujeme za vláknový kompozit, pričom vlákna po priereze sú rozdelené nerovnomerne a sú koncentrované v okrajových vrstvách. Teoriu optimalizácie je možno dokázať, že vlákna sú pre prevládajúce druhy zaťaženia rozložené optimalne.

Sendvičové nosné prvky sú charakteristické svojím usporiadaním obr.5. Povrchové vrstvy môžu byť izotropné,



Obr.5 Sendvičový
nosný prvok

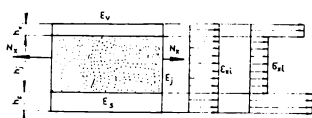
anizotropné, rovinné i tvarované. Spojenie povrchových vrstiev s jadrom považujeme za dokonalé. Vrstvy prenášajú ťah resp. tlak a jadro šnyk. Pri dokonalom spojení povrchových vrstiev s jadrom pre normálové napätia pri namáhaní na ťah platí

$$\sigma_{xi}(z) = E_i \epsilon_x(z) \quad (1)$$

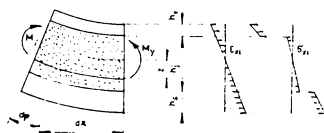
kde $i=v, s, j$, v a s je vrchná a spodná vrstva a j je jadro. E_i sú moduly pružnosti vrstiev a jadra obr.6. Pri ohybovom namáhaní obr.7

$$\sigma_{xi}(z) = -E_i z \, v''(x) \quad (2)$$

Šmykové napätia pre jadro i vrstvy obr.8 je určené vzťahom

$$\tau_{zx_i}(z) = -(T(x)/M_y) \int \sigma_{xi}(z) dz + c \quad (3)$$


Obr.6 Namáhanie ťahom

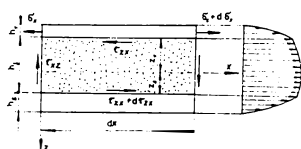


Obr.7 Namáhanie ohybom

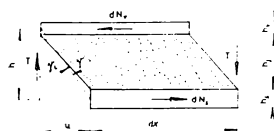
Ak ohybový moment prenášajú len povrchové vrstvy a posúvajúcu silu len jadro, platí

$$T(x) = (dN_v/dx)h, \quad (4)$$

pričom $dN_v = dN_s$ je prírastok osovej sily v povrchových vrstvách od prírastku ohybového momentu obr.9. Posunutie



Obr.8 Namáhanie šmykom



Obr.9 Sily vo vrstvách

vrstvy môžeme vyjadriť vzťahom $u = h \cdot \gamma = h_j \gamma_j$. Tuhosť jadra v šmyku definujeme vzťahom

$$K_j = T(x) / \gamma_j \quad (5)$$

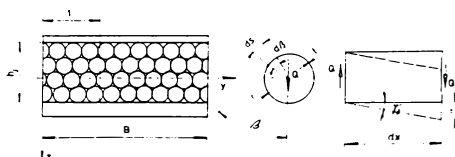
Ak predpokladáme, že šmykové napätie po výške jadra je konštantné, potom

$$T(x) = \tau_{xz}(x)h_j = G_j \gamma_j h_j \quad (6)$$

a teda

$$K_j = G_j h_j$$

Pre ilustráciu je uvedený príklad výpočtu tuhosti štruktúrneho tubusového jadra v šmyku. Usporiadanie odpovedá jadram skúmaných prírodných materiálov. Na obr.10 je vybraný z jadra jeden tubus. Kružnica je aproximovaná po častiach



Obr.10 Tubusové jadro. Tubus zaťažený šmykom.

lomenými úsečkami dĺžky ds . Priemet sily pôsobiacej na uvedený úsek do smeru sily je

$$dQ = G_T (u/dx) t r \cos^2 \beta d\beta \quad (7)$$

pričom G_T je modul pružnosti šmyku materiálu tubusu. Silu prenášanú jedným tubusom možno vyjadriť v tvare

$$Q = G_T t r \pi (u/dx). \quad (8)$$

Ak uvažíme, že počet tubusov v priečnom reze je

$$P = ((h_j - 2r) / (\sqrt{3} r) + 1) 1/2r, \quad (9)$$

potom tuhosť v šmyku tubusového jadra je

$$K = G_T (\pi t / 2r \sqrt{3}) (h_j - 2r + r \sqrt{3}). \quad (10)$$

Analogicky možno odvodiť vzťahy pre tuhosť v šmyku pre akýkoľvek štruktúrny tvar jadra. Vytvorením modelov sendvičových nosníkov, alebo doskových prvkov odpovedajúcich geometrii štruktúrnej stavby a mechanickým vlastnostiam možno na modeloch experimentálne overovať navrhnutú metodiku výpočtu.

V rámci riešenia projektu boli odvodené základné geometricko - materiálové charakteristiky sendvičových nosných prvkov ako fyzikálnych modelov vytvorených podľa prírodných vzorov. Uvedené charakteristiky boli vytvorené pre dominantné spôsoby namáhania (ťah, tlak, ohyb, šmyk). Charakteristiky umožňujú definovať rozloženie vnútorných silových veličín v povrchových vrstvách a jadre. Vzťahy odvodené vo všeobecnom tvare môžu byť modifikované a konfrontované experimentom.

Literatúra

- [1] Gibson L.J a kol.: Structure and mechanics of the iris leaf. Journal of materials science, 23, 1988 str.3041-3048.
- [2] Billy J. a kol.: Desing štruktúrnej stavby perspektívnych konštrukčných materiálov podľa prírodných vzorov.

Jozef Billy Doc.Ing.CSc.

Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04001 tel.33549