

Ing. Miloš M i l b a u e r, CSc.

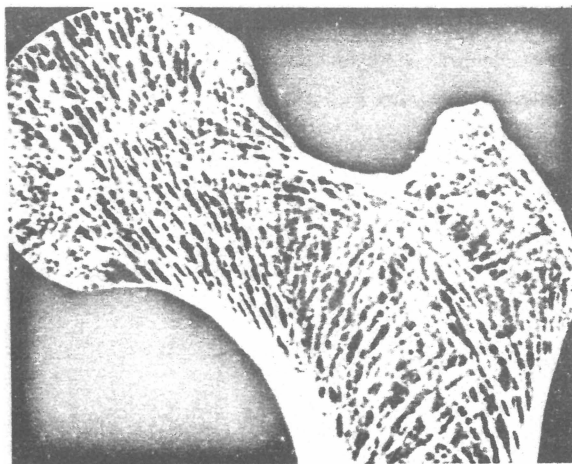
Doc. Ing. Miroslav P e t r t ý l, CSc.

Ing. Vladimír K o o i a n

fakulta stavební ČVUT v Praze

MODELOVÁNÍ NEHOMOGENNÍCH STRUKTUR SPONGIÓSNÍCH TKÁNÍ

Obdivuhodné vlastnosti kostí, jako je na příklad jejich přizpůsobování zatěžovacím podmínkám, byly předmětem údivu a studia badatelů již v dávné minulosti. Stejně i dnes patří výzkum spongiósních struktur mezi stěžejní úkoly moderní biomechaniky. Struktura kosti jako orgánu dokonale odpovídá jejím třem funkcím v organizmu, tj. funkci nosné (opěrné), pohybové a funkci tvořící minerálové zásoby (zásoby prvků).

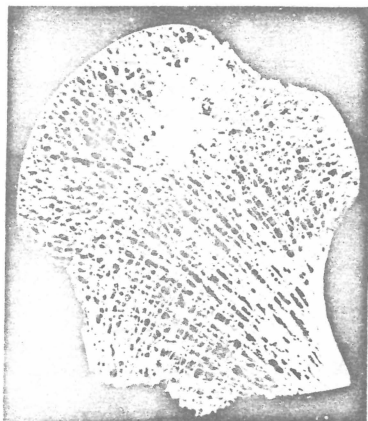


Obr. 1. Spongiósní trámečky na výřezu
z hlavice stehenní kosti

Na rozříznuté kosti nebo na rentgenovém snímku můžeme pozorovat již pouhým okem, že uspořádání kostních trámeček je vždy orientováno ve směrech isostat. Příroda se snaží o minimalizaci hmoty v méně namáhaných partiích

a struktury s větší akumulací hmoty vytváří v oblastech nejintenzivnějších silových polí.

Mikroskopická organizace kostní tkáně se odlišuje od jiných tkání převážně vysokým obsahem minerálů a velice intímním spojením této anorganické - n e ž i v é hmoty (kryсталů kostních solí) se ž i v o u - organickou hmotou (tj. vlákna kolagenu, mezibuněčná hmota a kostní buňky). Cílem sledovaného úkolu bylo vyrobit model prostorové struktury spongiósní tkáně nutný pro další výzkum napjatostních poměrů v nehomogenních strukturách.



Obr.2. Vyžíhaná spongiósní kost

Pro pokus o vytvoření takového modelu jsme použili skutečnou spongiósní kost hlavice kyčelního kloubu, jako modelového činitele. Poté jsme zvolili následující postup: - ze spongiósní hlavice jsme dvěma řezy získali výřez ve frontální rovině o tloušťce 5 mm. Tento výřez jsme vařili v koncentrovaném saponátu k odstranění dřene. Pro odstranění bílkovinné složky (kolagenu) z trámeček

spongiósy jsme použili nejdříve organického rozpouštědla, ale bez efektního výsledku. Proto jsme přistoupili k šetrnému vypalování v elektrické peci při teplotě asi 1000° C. Výsledek je patrný z obrázku 2. Vypálením jsme získali soustavu spongiósních trámeček, poměrně křehkých, leč dostatečně

soudružných pro další zpracování. Získaný preparát jsme zalili (za pomoci vývěvy) řidkým čistým silikonovým kaučukem, který nahradil bílkovinnou složku a měl sloužit jako forma pro další postup. Zalitý preparát v bloku silikonového kaučuku je patrný na obr.3. Po jeho zgelování jsme odřízli z jeho povrchu (trámkoviny) kaučuk. U takto upraveného preparátu



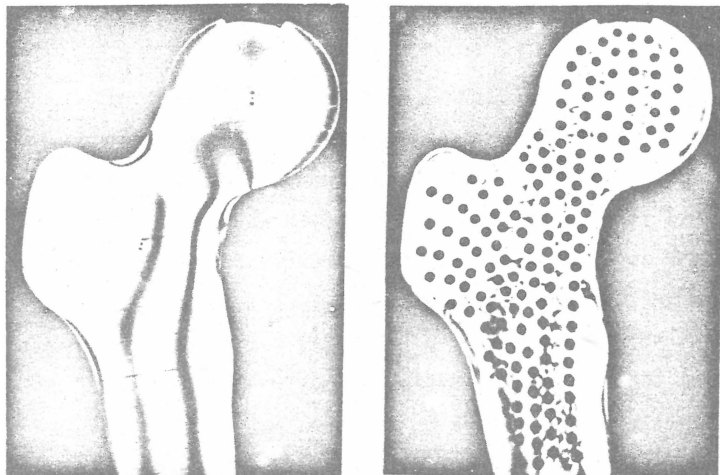
Obr.3. Vyžíhaná a zalitá spongiózní kost silikonovým kaučukem

jame se dále snažili odstranit minerální složku (spongiózní trámkovinu) kyselinou. Kyselina však porušila pouze povrchové partie, ale do hloubky nepůsobila. V tomto stádiu byl experiment přerušen. Další postup byl plánován takto: - do vzniklých dutin (vymizením kostní trámkoviny) z kaučuku, zalít epoxidovou pryskyřicí s velmi nízkou viskozitou, polymerující za normální teploty a takto získat trámkovinu,

která je shodná se skutečnou trámkovinou. Poslední etapou experimentu bylo odstranit silikonový kaučuk podél povrchů modelu a realizovat měření při zvoleném zatížení.

Souběžně s tímto úkolem jsme se zaměřili na možnost přibližného modelování spongiózní tkáně. Vybrali jsme rovněž spongiózní hlavici stehenní kosti a vyrobili nejdříve homogenní model z desky epoxidové pryskyřice. Po zatížení jsme stanovili izokliny a z nich zakreslili izostaty, které vytvořily soustavu linií, obdobných kresbám trámečků spon-

giózy. Poté jsme modelovali soustavu trámek vyvrtáním otvorů o průměru 3 mm podél tlakových izostat. Na obvodu kosti byl ponechán kompaktní materiál. Zde ve skutečnosti je kompaktní obvodová lamela. Při analýze napjatosti se ukázalo, že u izoklin a izochromat je kresba nereprodukovatelná.



Obr. 4. Izochromaty modelu homogenního a modelu oslabeného kruhovými otvůrky

Výzkum ukázal, že modelování spongiózních struktur je dosud velmi nesnadnou záležitostí a to i tenkrát, když byla volena metodika řešení problému zdánlivě schůdná.

Na sledovaném výzkumném úkolu se bude nadále pokračovat formou matematického modelování systému spongiózních struktur s přihlédnutím k přítomnosti bioelektrických proudů, které jsou významnými zprostředkovateli kostní přestavby při měnících se zatěžovacích podmínkách.