



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

IDENTIFIKACE SVĚRNÉHO TLAKU TEXTILIÍ

B. Stříž¹

Abstrakt: V článku je uvedena metoda výpočtu svěrného tlaku textilie měřením plošné deformace textilie a hlavních poloměrů křivosti pokožky těla ve zkoumaném místě a porovnáním této deformace na vzorku dvouose namáhané textilie ve zvláštním přípravku.

Klíčová slova: deformační gradient, jednoklonná anizotropie, ortotropie, svěrný tlak, tenzor poměrných sil.

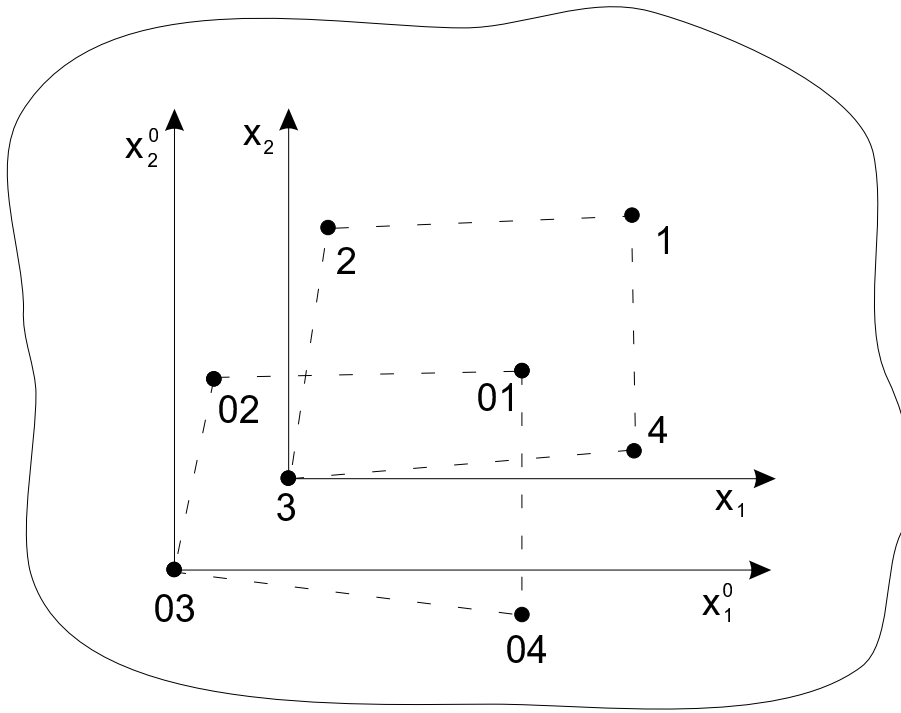
1. Úvod

Prádlo, zdravotnické prostředky i jiné části oděvů působí na tělo tlakem, který může omezovat jeho biologické funkce. Sledování tlakových účinků standardních kompresivně elastických oděvních výrobků, třebaže mají tělotvarující poslání, není zcela obvyklé. Měření svěru je spojováno spíše se zdravotními punčochami, které jsou používány jako terapeutické prostředky při léčení žilních nedostatečností dolních končetin. Jejich tlakové účinky mají vyrovnávat hydrostatický tlak krevního sloupce v žilním systému. Tlak v periferních oblastech dolní končetiny, tj. v okolí kotníku, dosahuje u dospělého stojícího člověka asi 11 kPa . Flebology jsou pak předepisovány zdravotní punčochové výrobky jisté třídy vyvozovaného tlaku podle stavu onemocnění a tělesných rozměrů, přitom musí tyto výrobky jako pomocné prostředky léčby splňovat i požadovaný průběh tlaku podél dolní končetiny. Tlaky oděvních výrobků, jejichž svěrné účinky nejsou pod kontrolou lékaře, tedy mimo sortiment zdravotních terapeutických prostředků, by neměly přesahovat hodnoty 2.7 kPa . Určit tento svěrný tlak je obtížné. Používané měřicí přípravky, vkládané mezi pokožku a textilií, změni tvar plochy textilie, která už nekopíruje tvar těla, a proto jsou výsledky měření nepřesné.

2. Aplikace mechaniky kontinua

Teoretický rozbor svěrných účinků, popsany v (Stříž, 1999, Stříž, 2000), je pracný. Výzkum vlastností namáhaných plošných textilií (Stříž, 2001) stimuluje pokračování analýzy svěrných účinků. Ukazuje se, že je třeba sledovat, jak je textilie na povrchu těla namáhána, určit směry hlavního zatěžování na textilií, které bude převážně v rovinách hlavních křivostí povrchu těla, a jejich orientaci k hlavním směrům struktury textilie.

¹Prof. RNDr. Bohuslav Stříž, DrSc., Katedra textilních struktur, TU Liberec, Hálkova 6, 46117 Liberec, tel: 048/5353216, fax: 048/5353542, e-mail: bohuslav.striz@vslib.cz



Obr. 1

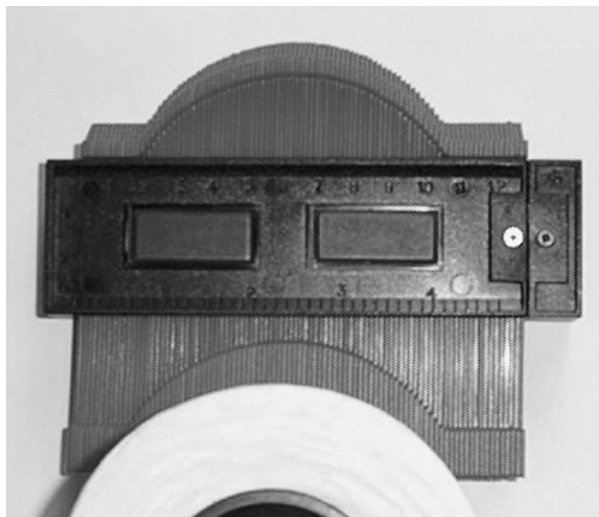
Vyznačíme-li na textílii v místě zkoumání svěrných účinků malý element, charakterizovaný čtyřmi vrcholy, a proměříme-li vhodnou metodou vzájemnou polohu těchto bodů před deformací textílie a po její deformaci (např. digitální fotografií), můžeme určit tzv. materiálový deformační gradient F , vyjádřený pomocí derivací rozdílů souřadnic těchto čtyř bodů podle Lagrangeových souřadnic proložených ve směrech dvouosého namáhání textílie (obr.1). Vrcholy čtyřúhelníku označíme pro výpočet 01, 02, 03, 04. Jedním z vrcholů proložíme kolmé osy tak, aby jedna osa měla směr předpokládaného největšího roztažení textílie. Z fotografie proměříme na obrazové analýze Lucia souřadnice vrcholů, které označíme $x_{1p}^0, x_{2p}^0, p = 1, 2, 3, 4$. První index označuje zvolenou osu, horní index "0" označuje souřadnice před deformací textílie.

Na deformované textílii (na osobě nebo figuríně) pořídíme snímek elementu a přiloženého měřítka. Na zvětšeném snímku (např. pomocí zařízení Desktop video kamery) změříme nové souřadnice označené x_{1p}, x_{2p} . Sestavíme rovnice (Stříž, 1998):

$$\begin{aligned}
 (1 + u_{11})(x_{11}^0 - x_{13}^0) + u_{12}(x_{21}^0 - x_{23}^0) &= x_{11} - x_{13}, \\
 (1 + u_{11})(x_{12}^0 - x_{14}^0) + u_{12}(x_{22}^0 - x_{24}^0) &= x_{12} - x_{14}, \\
 u_{21}(x_{11}^0 - x_{13}^0) + (1 + u_{22})(x_{21}^0 - x_{23}^0) &= x_{21} - x_{23}, \\
 u_{21}(x_{12}^0 - x_{14}^0) + (1 + u_{22})(x_{22}^0 - x_{24}^0) &= x_{22} - x_{24}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Řešením soustavy rovnic (1) určíme složky tenzoru materiálového deformačního gradientu F a jakobián $J = \det|F|$. Dostaneme:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 + u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & 1 + u_{22} \end{pmatrix}, \quad J = (1 + u_{11})(1 + u_{22}) - u_{12}u_{21}. \tag{2}$$



Obr. 2

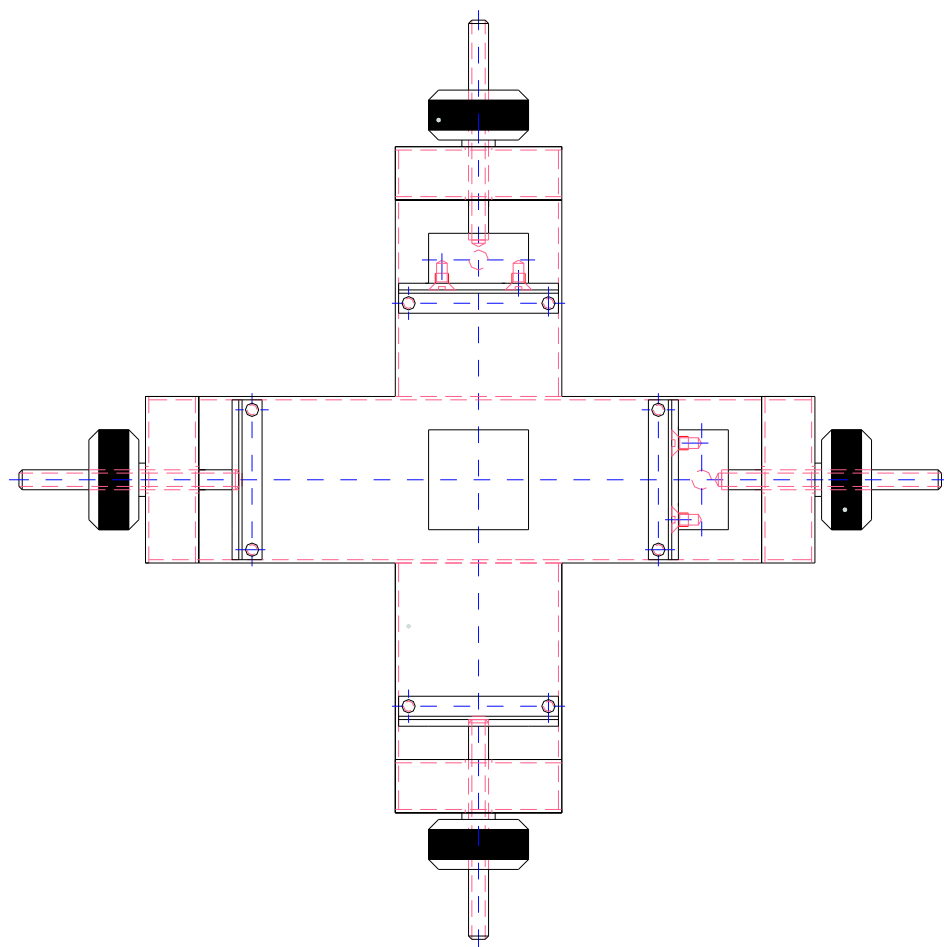
Jakobián J definuje změnu plochy elementu o vrcholech 1, 2, 3, 4. Ve měřeném místě těla je nutno určit hlavní poloměry křivosti pokožky těla r_1, r_2 (Stříž, 1999). K tomu lze využít jednoduchý přípravek (obr. 2).

Pro stanovení svěrných účinků a svěrného tlaku p je třeba znát mechanické vlastnosti textilie. Ty jsou však závislé na velikostech silových účinků působících na textilií a na ortogonálních směrech namáhání vzhledem k její struktuře. Odpor textilie k přetvoření a působící síly je nutno stanovit pomocí přípravku (obr. 3) s možností dvouosého zatěžování nezávislými silami. Zatěžování textilie se v přípravku docíluje posuvy čtyř upínacích čelistí se současným měřením sil prostřednictvím deformačních členů osazených polovodičovými tenzometry nezávisle v obou směrech zatěžování. Upevnění vzorku textilie, vzhledem k jeho tvaru, nebrání jeho přetvoření v obou směrech zatěžování (obr. 4). Postup je následující.

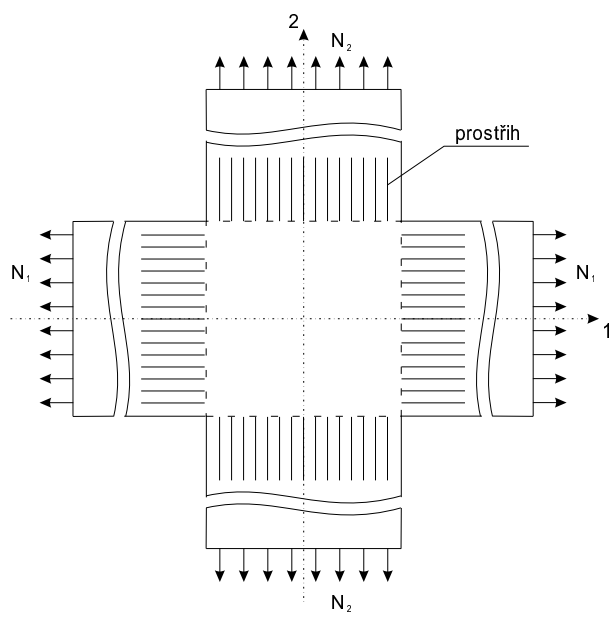
Připraví se stejný vzorek textilie o rozměrech cca $120 \times 120 \text{ mm}$ orientovaný tak, aby jeho strany byly kolmé na směry namáhání textilie na povrchu těla z hlediska její struktury (např. u pleteniny orientace vzhledem k řádkům a sloupkům). Vzorek textilie je dostatečně velký, aby se v jeho střední části, kde bude probíhat měření posuvů, málo projevovaly vlivy okrajů a způsob přiložení sil. V přípravku se vyvodí kombinací zatěžování v obou směrech posuvy obdobně označených bodů malého elementu (nemusí být obrazec se čtyřmi vrcholy totožný jako na originálu textilie) tak, aby bylo docíleno pokud možno stejné hodnoty deformačního gradientu F (2), přesněji jeho čtyř složek $1 + u_{11}, u_{12}, u_{21}, 1 + u_{22}$. Kritériem správnosti měření je shodný poměr rozdílů souřadnic bodů v uhlopříčných směrech elementu po a před deformací. Je to nejobtížnější a nejnáročnější část metody identifikace svěrného tlaku textilií.

Ze známých hodnot sil působících v hlavních směrech zatěžování vzorku textilie a složek materiálového deformačního gradientu F je třeba stanovit skutečné poměrné síly vztahované k fiktivní tloušťce textilie a definovat Cauchyho tenzor poměrných sil:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{12} & c_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$



Obr. 3



Obr. 4

Textilie je v obecném případě zatěžování pod libovolným úhlem k její struktuře anizotropním materiálem. Anizotropie může být několika typů (Stříž, 2001). Nejobecnější je tzv. jednoklonná anizotropie, kdy není známa poloha její hlavní osy. Zabývejme se nejčastějším případem, kdy osy struktury textilie (u pleteniny řádky a sloupky) a směry jejího zatěžování jsou totožné. V tom případě jde o anizotropii typu ortotropie. Proložíme-li těmito směry osy souřadnic x_1, x_2 , zjednoduší se významně tenzory F a Σ a jakobián J . Dostaneme:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 + u_{11} & 0 \\ 0 & 1 + u_{22} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{\Sigma} = \begin{pmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{pmatrix}, \quad J = (1 + u_{11})(1 + u_{22}). \quad (4)$$

V tomto zjednodušeném případě můžeme využít tzv. Biův tenzor poměrných sil, který je v této variantě roven smluvním poměrným silám, tj. k silám vztaheným k původním rozměrům zkušební vzorku textilie. Označme síly působící ve směrech os x_1, x_2 N_1 , resp. N_2 a necht' jsou původní rozměry vzorku textilie stejné a rovny a . Potom je Biův tenzor poměrných sil S_B roven:

$$\mathbf{S}_B = \begin{pmatrix} \frac{N_1}{a} & 0 \\ 0 & \frac{N_2}{a} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Vyjdeme-li ze závislostí pro konjugované dvojice tenzorů (Stříž, 2000a), existuje mezi Cauchyho tenzorem poměrných sil Σ a Biovým tenzorem poměrných sil S_B v této variantě zatěžování vztah:

$$\mathbf{S}_B = J\mathbf{F}^{-1}\mathbf{\Sigma}. \quad (6)$$

Dosadíme-li složky tenzorů F, S_B , vyjde:

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{pmatrix} \frac{N_1}{a(1 + u_{22})} & 0 \\ 0 & \frac{N_2}{a(1 + u_{11})} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Svěrný tlak p určíme z rovnice (obr.5):

$$p = \frac{c_1}{r_1} + \frac{c_2}{r_2}, \quad p = \frac{\Delta F_n}{\Delta S}. \quad (8)$$

Při správné orientaci experimentálního vzorku textilie v přípravku se směry namáhání originálu textilie budou složky u_{12}, u_{21} zanedbatelné a materiálový deformační gradient F se potom určuje poměry délek uhlopříček obrazce čtyřúhelníku po a před deformací, jak vyplývá z řešení soustavy (1). Jeho složky jsou vyjádřeny vztahy:

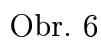
$$\begin{aligned} 1 + u_{11} &= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x_{11} - x_{13}}{x_{11}^0 - x_{13}^0} + \frac{x_{12} - x_{14}}{x_{12}^0 - x_{14}^0} \right), \\ 1 + u_{22} &= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x_{21} - x_{23}}{x_{21}^0 - x_{23}^0} + \frac{x_{22} - x_{24}}{x_{22}^0 - x_{24}^0} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Dosadíme-li do rovnice (8) výše uvedené závislosti vyjadřující složky Cauchyova tenzoru poměrných sil Σ a složky (9) materiálového deformačního gradientu F , dostaneme:

$$p = \frac{2N_1}{ar_1 \left(2 + \frac{x_{21} - x_{23}}{x_{21}^0 - x_{23}^0} + \frac{x_{22} - x_{24}}{x_{22}^0 - x_{24}^0} \right)} + \frac{2N_2}{ar_2 \left(2 + \frac{x_{11} - x_{13}}{x_{11}^0 - x_{13}^0} + \frac{x_{12} - x_{14}}{x_{12}^0 - x_{14}^0} \right)}. \quad (10)$$



Nejkritičtější místa svěru, ze zdravotního hlediska, jsou dolní končetiny. Na nich je možné zanedbat podélnou složku působící poměrné síly c_2 , zvláště když i poloměr křivosti r_2 nabývá v důsledku tvaru nohy velkých hodnot. V tomto případě se metoda značně zjednoduší. Tahovou zkouškou určíme závislost síly N na prodloužení Δl vzorku textilie orientovaného podle originálu textilie (obr.6). Současně měříme změnu příčného rozměru b jednoose namáhaného vzorku. Označíme-li obvod konce-



tiny v místě měření svěrného tlaku jako o' a má-li textilie v nedeformované stavu tento rozměr o , pak je protažení textilie $\Delta l = o' - o$. Z grafu na obr.6 odečteme pro tuto hodnotu sílu N a z obdobného grafu příčný rozměr b vzorku. Svérný tlak p lze přibližně stanovit ze vztahu:

$$p = \frac{N}{r_1 b}. \quad (11)$$

3. Závěr

Uvedená metoda je aplikovatelná v případě, že experimentátor dobře odhadne hlavní směry namáhání textilie ve zkoumaném místě těla a orientaci těchto směrů vzhledem ke struktuře textilie. Jsou-li tyto směry shodné, je uvedený postup jednoduchý a může být při vybavení pracoviště měřicí technikou aplikován. Při nesouhlasné orientaci hlavních směrů namáhání a struktury plošné textilie mohou být složky u_{12}, u_{21} srovnatelné s veličinami u_{11}, u_{22} a v tom případě je třeba určovat tzv. tenzor protažení Δ a Bioův tenzor poměrných sil S_B pomocí tzv. polárního rozkladu materiálového deformačního gradientu F , což vede na složitou úlohu, která nemá v této úloze praktickou aplikaci. Práce vznikla za podpory GAČR 101/99/1021.

Literatura

- Stříž, B. (1998) Identifikace mechanických vlastností plošných textilií. International Conference ENGINEERING MECHANICS 1998, Svatka.
- Stříž, B. (1999) Svérné účinky plošných textilií. 6. národní konference STRUTEX, Liberec.
- Stříž, B. (2000) K výpočtu svěrného tlaku textilií. 7. národní konference STRUTEX, Liberec.
- Stříž, B. (2001) Mechanical Characteristics of Pre-tension of Textiles. National Conference ENGINEERING MECHANICS 2001, Svatka.
- Stříž, B. (2000a) Experimental Verification of Selection of Tensor Conjunction Couple. National Conference ENGINEERING MECHANICS 2000, Svatka.