

VLIV VAZBY NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITŮ S TKANOU VÝZTUŽÍ

Josef Žák*

Technická Univerzita v Liberci, Technická 1402/2, Liberec

Abstrakt

Při řešení problematiky laminátů s výztuží z viskóзовé tkaniny jsme narazili na rozpory mezi chováním individuálních viskózových vláken a vlastnostmi tkané výztuže. V daném případě tyto změny vedly k omezení praktické využitelnosti viskózy pro požadovaný účel, při studiu tohoto fenoménu jsme nicméně rozšířili obor tohoto zkoumání na tkané výztuže z obecných a jinak běžně používaných technických materiálů. Předmětem našeho příspěvku je rozbor vlivu vazby tkané výztuže na tyto změny ve vlastnostech.

1. Úvod

Při konstrukci dílů z vlákeny vyztužených kompozitních materiálů je standardním postupem při výpočtech vypracování tzv. homogenizace kompozitního materiálu: na základě mechanických vlastností jednotlivých složek, tj. výztuže a matrice, jsou stanoveny mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. Vychází se přitom z geometrie výztuže, ať už se jedná např. o délku nebo orientaci vláken. Naše práce se zaměřuje na kompozity vyztužené tkaninami. Z podoby výztuže vyplývá, že její použití je převážně ve skořepinách nebo deskách, tj. obecně dílech zatížených rovinnou napjatostí. Tyto kompozity mohou být jak v analytických, tak v MKP výpočtech nahrazovány buď speciálním ortotropním materiálem, simulujícím vlastnosti tkaninou vyztuženého kompozitu, nebo přeložením dvou jednosměrných navzájem kolmých kompozitů. Každý z uvedených postupů má své výhody i nevýhody. V prvním případě, který je zjevně bližší realitě, je třeba provést dostatečný počet experimentů k určení modulů a pevností v jednotlivých směrech včetně kombinovaného namáhání, a to prakticky pro každý typ vyztužující tkaniny zvlášť, ve druhém, více od reality odlišném případě není nijak vzat do úvahy skutečný tvar vyztužujících vláken, odlišný od (teoretických) přímků pro UD kompozit.

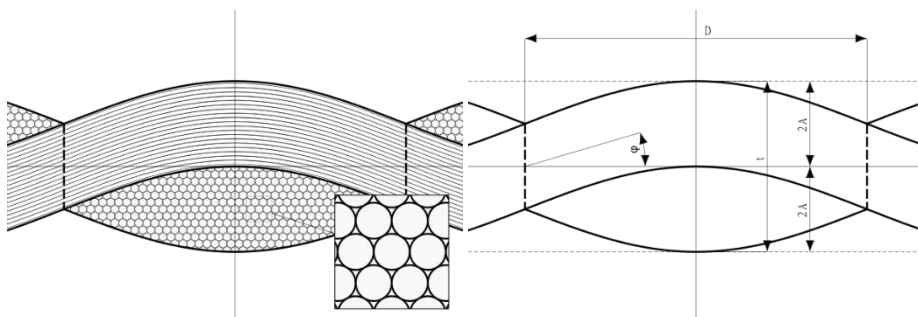
V naší práci jsme se pokusili na základě mikro měřítka vytvořit model tkané výztuže, který by měl s použitím mechanických vlastností jednotlivých komponent posloužit k odhadu mechanických vlastností kompozitu s tkanou výztuží.

2. Pevnost tkaniny v různých vazbách

Na Obr. 1. je schéma základní buňky tkaniny v plátňové vazbě, tzv. vazného bodu, včetně základních geometrických charakteristik a rozměrů: D je rozteč vláken (pro zjednodušení stejná pro směr útku i osnovy, podobně jako pro ostatní veličiny; uvažujeme tudíž tzv. vyváženou tkaninu), t je tloušťka tkaniny, A je výška vlny, φ je polovina úhlu překřížení nití. Rozložení elementárních vláken (tzv. fibril) v nitích (pramencích) je na obrázku znázorněno jako to nejúspornější možné pro kruhový průřez, v reálu jsou tyto fibrily rozloženy náhodně a navíc nemusí mít nutně kruhový průřez (byť pro běžně používané materiály výztuží se mu dostatečně přibližují). Jejich počet je obvykle velmi vysoký, řádově tisíce (1000 pro uhlík 1k, 3000 pro uhlík 3k, podobně kolem 1200 pro sklo 136tex atd.). Tento vysoký počet fibril a předpoklad, že se po

* tel. +420 485 352 931, e-mail: josef.zak@tul.cz

sobě mohou volně klouzat, umožňuje zavést následující zjednodušení: energie spojená s ohybem pramence je zanedbatelná ve srovnání s energií potřebnou k jeho prodloužení při zatkání (tj. změně z přímé nitě na zvlněnou).



Obr. 1. Schéma vazného bodu v plátňové vazbě

Zavedme si poměrné zvlnění χ :

$$\chi = \frac{A}{D} \quad (1)$$

Vztah mezi úhlem φ a χ je přímočarý:

$$\varphi = \pi \cdot \chi \quad (2)$$

Protože pramence mají velmi malý nebo i nulový zákrut, který by jinak ovlivňoval příčný tvar nití, je úhel φ přibližně rovný součiniteli tření mezi vlákny. Tento součinitel je kolem 0,12 pro sklo nebo 0,18 pro uhlík, z čehož vyplývá, že zvlnění χ je velmi malé, resp. tloušťka tkaniny $t=4A$ je velmi malá v porovnání s roztečí vláken. Pro přiblížení, skelná tkanina Aeroglass 200g/m² má při dostavě 8 nití na 1 cm rozteč 1,25mm a tloušťku přibližně 0,15mm (stanoveno teoreticky i ověřeno měřením), čemuž odpovídá zvlnění $\chi=0,033$. Za uvedených okolností tedy můžeme odhadnout prodloužení fibril při zatkání do tkaniny v plátňové vazbě. Protože jsme předpokládali sinusový průběh zvlnění, vede tato úloha na stanovení délky sinusovky. Tu lze vyjádřit pomocí rozvoje do Taylorovy řady jako:

$$L = D + \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{A^2}{D} - \frac{3\pi^4}{64} \cdot \frac{A^4}{D^3} + \frac{5\pi^6}{256} \cdot \frac{A^6}{D^5} - \quad (3)$$

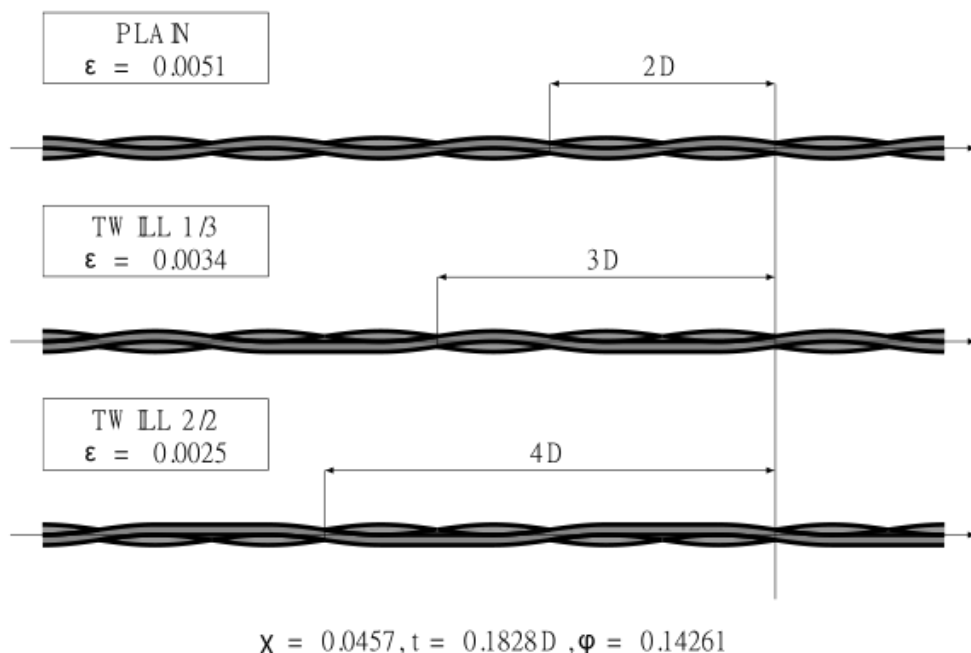
Poměrné prodloužení pak je:

$$\varepsilon = \frac{\pi^2}{4} \cdot \left(\frac{A}{D}\right)^2 - \frac{3\pi^4}{64} \cdot \left(\frac{A}{D}\right)^4 + \frac{5\pi^6}{256} \cdot \left(\frac{A}{D}\right)^6 - \dots \quad (4)$$

Hodnoty poměru $A/D=\chi$ jsou řádově 10^{-1} , je zřejmé, že pro stanovení ε stačí uvedené první 3 členy rozvoje.

Použijme nyní tento výsledek pro stanovení velikosti deformace fibril způsobené zatkáním nitě do tkané struktury; pro uvedenou tkaninu Aeroglass dostaneme $\varepsilon = 0,22\%$. Při protažení skleněných vláken na lomu (k porušení vláken dochází křehkým lomem) rovném přibližně 1,6% tak „vyčerpáme“ 15% únosnosti materiálu jen na samotné zformování tkané výztuže. Tato situace se zhoršuje se zvyšujícím se součinitelem tření mezi vlákny, tj. s vyšší dosažitelnou dostavou tkaniny a tím vyšším zvlněním, a zároveň se snižující se tažností materiálu. Např. pro uhlíkovou tkaninu KC Industry 200g/m² vychází hodnota χ (a tedy i ε) pro tloušťku 0,2mm při rozteči 1,67mm podobně předchozímu případu, vzhledem k nižší tažnosti uhlíku však „vyčerpáme“ zvlněním nití přibližně 24% jejich teoretické únosnosti v UD.

Tento efekt je možné zmírnit použitím jiné vazby než plátňové, ve které je zvlnění nití největší možné. Na Obr.2. je znázorněn rozdíl v délce tzv. střídy [1], vůči které je třeba vztahovat prodloužení způsobené zatkáním nití, pro různé vazby tkanin včetně srovnání výsledného poměrného prodloužení pro dané hodnoty χ a t . Pro zajímavost je v tomto obrázku znázorněno zvlnění mnohem bližší reálným hodnotám, na rozdíl od schematického zobrazení v Obr.1.



Obr. 2. Schémata různých vazeb

Dalším efektem, který poněkud zmírňuje efekt předpětí pramenců, je tzv. kontrakce tkaniny; jde o zmenšení tkané šíře i natkané délky při uvolnění tkaniny ze stavu, které je však tím menší, čím více se dostavy nití blíží mezním hodnotám, tzv. mezní dostavě, resp. čím je zaplnění tkaniny vyšší.

3. Modul pružnosti tkaniny

S použitím stejného modelu vazného bodu tkaniny v plátnové vazbě byl odhadnut i modul pružnosti v tahu homogenizovaného kompozitního materiálu s takovou výztuží.

Předpokládáme stav rovinné napjatosti v rovině tkaniny o tloušťce $t=4 \cdot A$. Pak výsledný modul v tahu je možné vyjádřit jako:

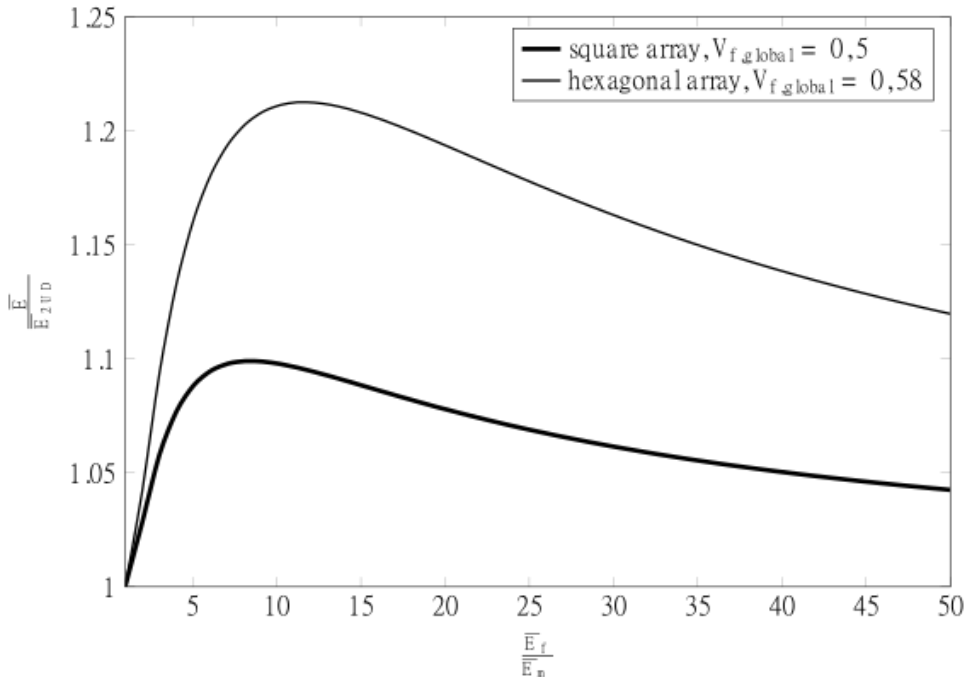
$$\bar{E} = \frac{1}{4 \cdot A \cdot D^2} \cdot \int_V \bar{E}_i \cdot S_i dx \quad (5)$$

kde E_i jsou redukované moduly pružnosti jednotlivých fází a S_i plochy průřezů. Pro výpočet modulů jednotlivých fází můžeme použít např. směšovací pravidlo pro podélný a příčný modul pružnosti pramence E_{ly} a E_{ty} , kde objemový podíl můžeme stanovit z geometrie rozložení fibril [2]. Na Obr. 1. je rozložení v šestiúhelníkové síti, experimenty však odpovídají spíše objemovému zaplnění ve čtvercové síti: $V_{fy} \leq 0,79$. Pak po provedení integrace (5) dostaneme pro sinusový průběh průhybky a dvojsinusový průběh příčného průřezu nití:

$$\bar{E} = \frac{1}{\pi} \cdot (\bar{E}_{ly} + \bar{E}_{ty} + (\pi - 2) \cdot \bar{E}_m) \quad (6)$$

kde hodnota E_m je redukovaný modul čisté matrice. Vztah takto určeného modulu pružnosti v tahu k modulu získanému homogenizací přeložením dvou kolmých jednosměrných vrstev se stejným celkovým objemovým podílem(!) výztuže je popsán racionální funkcí, jejíž graf je na Obr.4. Z výpočtů, jejichž odvození přesahuje rozsah tohoto abstraktu, je zřejmé, že tento poměr

závisí jak na objemovém podílu fibril v pramencích (to je dané geometrií jejich rozložení), tak na podílu modulu pružnosti fibril (tj. „čistého“ materiálu výztuže) a modulu pružnosti matrice.



Obr. 3. Poměr modulů pružnosti v tahu pro kompozit s tkanou výztuží, získaných různými v textu uvedenými způsoby homogenizace

Při podrobnějším rozboru odvození vztahu (6) bychom zjistili, že výsledek nezávisí na vazbě tkaniny, tedy že takto získaný modul je teoreticky stejný pro tkaniny v plátové, keprové i atlasové vazbě. Dalším zajímavým výstupem je fakt, že kompozit s tkanou výztuží se jeví jako tužší než dvě navzájem kolmé jednosměrné tkaniny; tento poměr nicméně rychle klesá se zmenšujícím se objemovým podílem fibril jako vyztužujícího materiálu na celkovém objemu kompozitu.

4. Závěr

Prezentovaný postup homogenizace kompozitu s tkanou výztuží ukazuje, že co se týče výpočtu pevností v tahu, je nutno uvažovat vliv zatčení pramenců do tkaniny včetně typu vazby. Naopak co se týče výpočtu modulu pružnosti v tahu, je homogenizace přeložením dvou navzájem kolmých jednosměrných tkanin relativně dostačující, samozřejmě s uvažováním reálných hodnot objemového podílu vláken, dosažitelných, resp. reálně dosahovaných pro tkanou výztuž.

Literatura

- [1] Talavášek, O.: Tkalcovská příručka, Praha, 1980.
- [2] Berthelot, J.-M.: Matériaux composites, MASSON, Paris, 1992.