

# TVORBA GEOMETRICKÉHO MODELU LEHKÉ NETKANÉ TEXTILIE PRO VÍCEŠKÁLOVÉ MODELOVÁNÍ

Anna Luciová <anna.luciova@tul.cz>, Antonín Potěšil

Práce se zabývá tvorbou geometrického modelu lehké netkané textilie Meftex pro účely homogenizace elastických vlastností. Geometrie byla tvořena na základě obrazových dat získaných z konfokálního skenovacího mikroskopu. Jednotlivé vrstvy textilie byly odděleny na základě jejich orientace. Dalším zpracováním obrazu byla pomocí Fourierovy transformace identifikována periodicitu v rozmístění vláken na rubové a lící straně. Vytvořená geometrie byla ověřena pomocí homogenizace elastických vlastností laminátu s epoxydovou matricí a Meftex výztuží.

**Klíčová slova:** netkaná textilie, zpracování obrazu, homogenizace

## ÚVOD

Cílem práce je vytvoření geometrického modelu vystihujícího vnitřní uspořádání textilního materiálu Meftex. Meftex je polyesterová netkaná textilie s kovovou povrchovou vrstvou. Textilie je složena ze dvou vrstev polyesterových vláken vzájemně propojených termickými spoji. Kovová povrchová vrstva dodává textilií řadu funkčních vlastností, mimo jiné zvýšenou schopnost EMS stínění a ohřevu Joulovým teplem. Těchto vlastností bude využito i u nově vyvíjené kompozitní schránky pro baterie elektromobilu, kde Meftex tvoří funkční jádro a ostatní vrstvy laminátu zajišťují tuhost a pevnost. Získaná geometrie bude použita pro vytvoření mikromechanického modelu hybridní laminátové struktury s epoxidovou matricí a následnou homogenizací elastických vlastností.

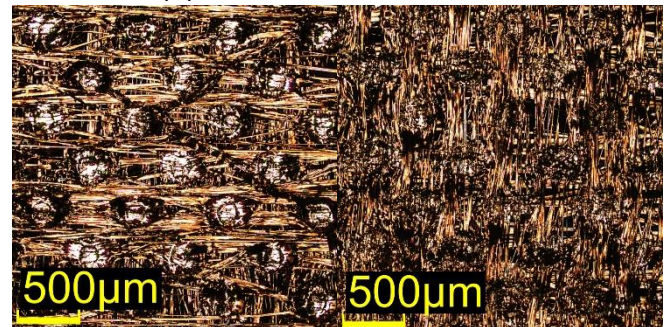
Tvorbou geometrického modelu netkané textilie Meftex se již zabývá článek [1], který popisuje rekonstrukci geometrie malého úseku obdobné textilie s nižší plošnou hustotou. Textilie s odlišnou plošnou hustotou se vyznačuje jinými specifiky a vyžaduje zavedení jiných předpokladů. Oproti výše zmíněnému článku si tato práce klade za cíl vytvoření, nikoliv věrné kopie malého segmentu, ale sestavení metodiky pro tvorbu průměrně reprezentativního modelu.

## METODIKA

Výsledný geometrický model bude složen ze dvou vrstev vláken (rubové a lící) a termických spojů. Vstupními daty pro tvorbu geometrického modelu byla obrazová data získaná pomocí konfokálního skenovacího mikroskopu (obrázek 1.). Ze snímků lze pozorovat nerovnoměrnosti v plošné hustotě textilie, vlákna jsou uspořádána do

periodicky rozmístěných shluků. Cílem obrazové analýzy je toto uspořádání charakterizovat a reprodukovat.

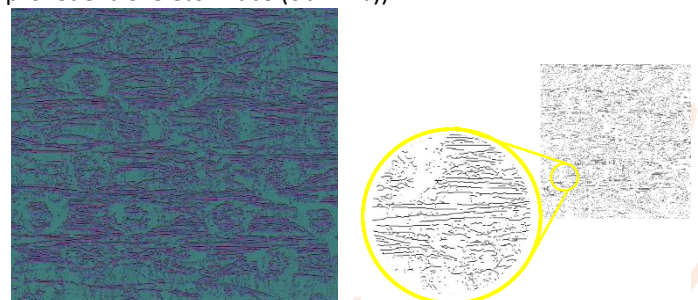
Lící i rubovou vrstvou vzájemně prosvítají vlákna z protilehlé strany. Tato skutečnost by mohla zkreslovat následné analýzy.



a) rubová strana                      b) lícová strana

Obrázek 1: Snímky textilie Meftex získané konfokálním skenovacím mikroskopem. Textilie je zobrazena z rubové (vlevo) a lící strany (vpravo).

Rozdělení vláken mezi vrstvy bylo provedeno na základě jejich orientace v softwaru ImageJ pomocí pluginu OrientationJ [2]. Následně byl obrázek binarizován a byla provedena skeletonizace (obr. 2.b)).

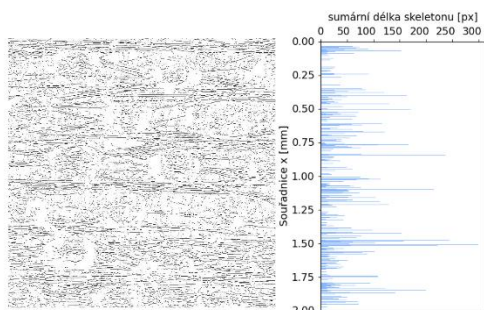


a) Filtrace svislých vláken

b) Skeletonizace

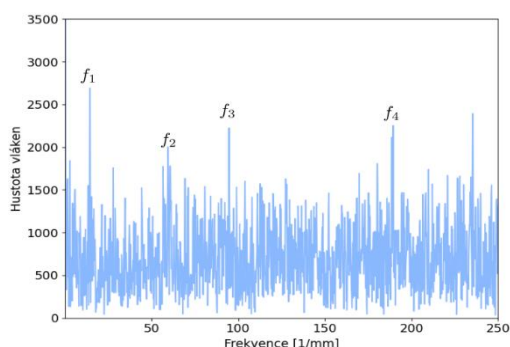
Obrázek 2: Postup zpracování obrazu pro vyhodnocení hustoty rozmístění vláken

Pro další identifikaci rozmístění vláken byly získané skeletony charakterizovány svojí délkou a polohou těžiště, přičemž velmi krátké segmenty byly odfiltrovány. Dále byla sumou přes směr orientace vláken získáno lokální rozložení hustoty v kolmém směru (obr. 3).



Obrázek 3.: Znárodnění sumace po směru vláken – vpravo je znázorněn příklad signálu před FFT

Periodicita rozmístění vláken a jejich shluků byla vyhodnocována pomocí FFT za využití Hanningova okna. Rekonstrukce rozložení hustoty vláken byla provedena zpětnou Fourierovou transformací dominantních frekvencí patrných ze spektra na obr. 4. Ze znalosti délky, průměru, plošné hmotnosti netkané textilie a také poměrů celkové délky skeletonů rubové a lící strany byla odhadnuta hmotnost jednoho vlákna. V dalším kroku pak byly určeny polohy pro každé z vláken. Příčná souřadnice byla volena tak, aby se vlákna neprotínala. Získané polohy byly vloženy do softwaru pro víceškálové modelování MSC. Digimat. Dále byla vytvořena místa termických spojení. Získaná geometrie je zobrazena na obrázku 5.a).



Obrázek 4.: Frekvenční spektrum rozložení plošné hustoty textilie

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Vytvořená geometrie byla použita k homogenizaci elastických vlastností laminátu s epoxydovou maticí a Meflex výstuží. Uvažováno bylo lineární elastické chování materiálu (1):

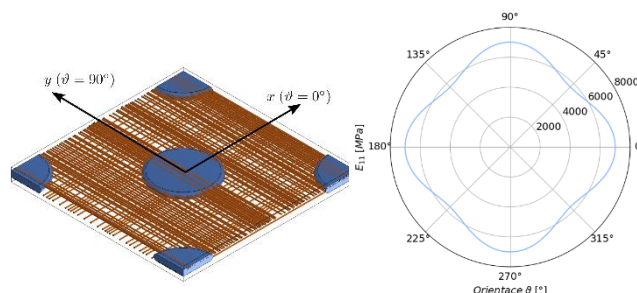
$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (1)$$

Geometrie byla diskretizována voxelovou sítí. Zavedeny byly periodické okrajové podmínky. K řešení byl použit FFT řešič. Efektivní elastické koeficienty byly získány pomocí lineární homogenizace, kde efektivní hodnota napětí byla

získána integrálem (2) [3] a přetvoření je dáno přímo okrajovou podmínkou.

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int \sigma_{ij} dV \quad (2)$$

Efektivní hodnoty modulu pružnosti v rovině xy v závislosti na orientaci jsou znázorněny v grafu 5.b).



a) Geometrický model s vyznačenou orientací b) Orientovaný modul pružnosti

Obrázek 5.: Geometrický model použitý pro zkušební výpočet a získaný modul pružnosti v závislosti na orientaci

## ZÁVĚR

Popsaná metodika umožňuje vytvoření geometrie na základě charakteristik v periodicitě rozmístění vláken. Zavedeno bylo několik zjednodušení. Vlákna jsou uvažována jako rovná, rozmístěná ve dvou vrstvách s uniformní orientací v jedné vrstvě. Dále je uvažován konstantní průměr vláken a ošetřena je i vertikální poloha vláken tak, aby se vlákna neprotínala. Využití geometrie bylo demonstrováno pilotním výpočtem homogenizace elastických vlastností zkoumané tkaniny po zalaminování.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2023.

## REFERENCE

- [1] Shi Hu, Dan Wang, Yordan Kyosev, Ann-Malin Schmidt and Dana Kremenakova. "Statistical Fiber-Level Geometrical Model of Thin Non-Woven Structures". International Symposium "Technical Textiles - Present and Future", Scienco, 3922, pp. 99-104. <https://doi.org/10.2478/9788366675735-017>
- [2] Rezakhaniha, R., et al. „Experimental Investigation of Collagen Waviness and Orientation in the Arterial Adventitia Using Confocal Laser Scanning Microscopy". *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, roč. 11, č. 3–4, březen 2012, s. 461–73. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/s10237-011-0325-z>.
- [3] Hexagon. *Digimat 2022.4 FE User's Guide*. 2022.