

Homogenizace lehké netkané textilie pomocí Digimatu

Anna Luciová | LENAM, s.r.o.



HEXAGON LIVE

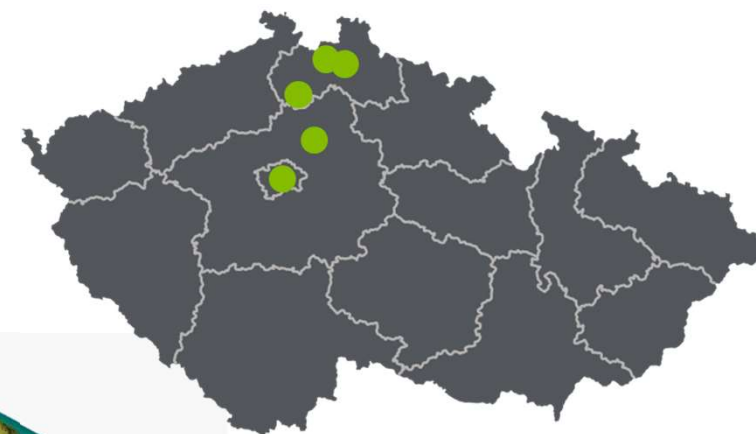
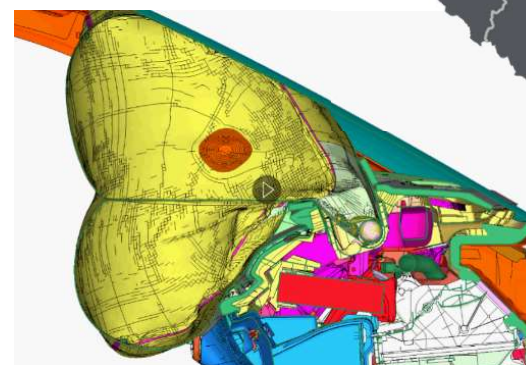
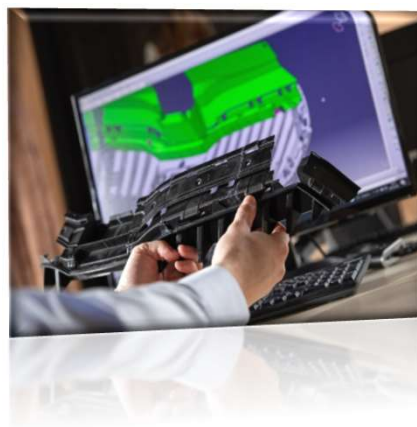
Software User Conference CZ&SK

Zaječín | 18. - 19. června 2024



O nás...

- › Expertní služby v mechanice
- › Hlavně (ale nejenom) automotive
- › FEM, MBS, CFD...
- › Tvorba materiálových modelů, validace atd.



2 000 m² Oficess and Lab spaces



29 Highly qualified experts



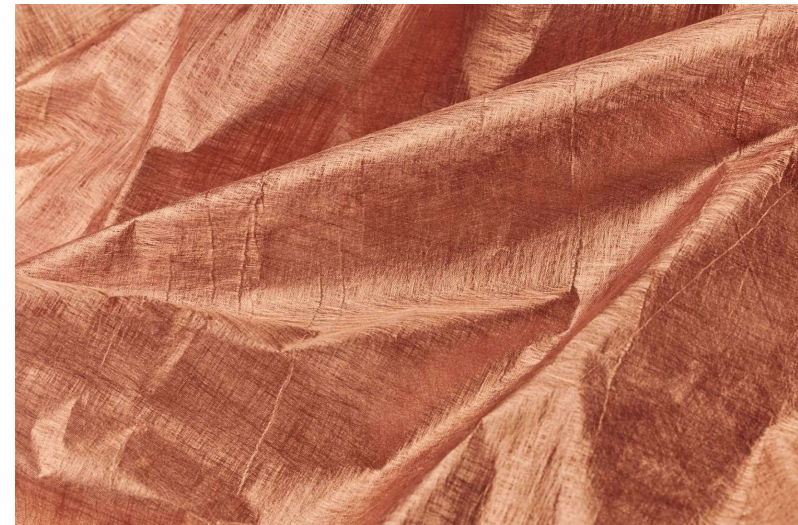
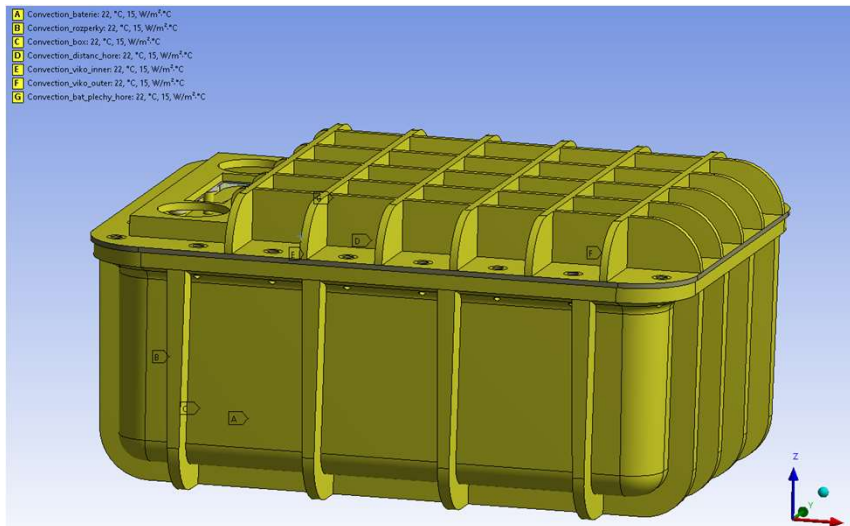
Turnover **2 Mil EUR**

31 years of expert engineering services for industrial technical development

- › Spolupráce spol. LENAM s FS, FT a FM TUL v rámci TAČR DELTA
- › Kompozitní struktura se speciální vrstvou pro bateriový box
- › Musí splňovat požadavky na:
 - Tepelný management – vyhřívání joulovým teplem pomocí textilie meftex
 - Mechanické vlastnosti
 - EM stínění



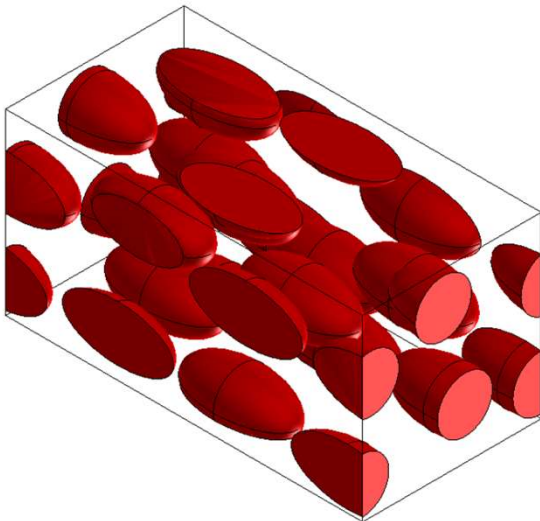
– > **Cíl:** získání materiálových modelů pro multifyzikální simulace



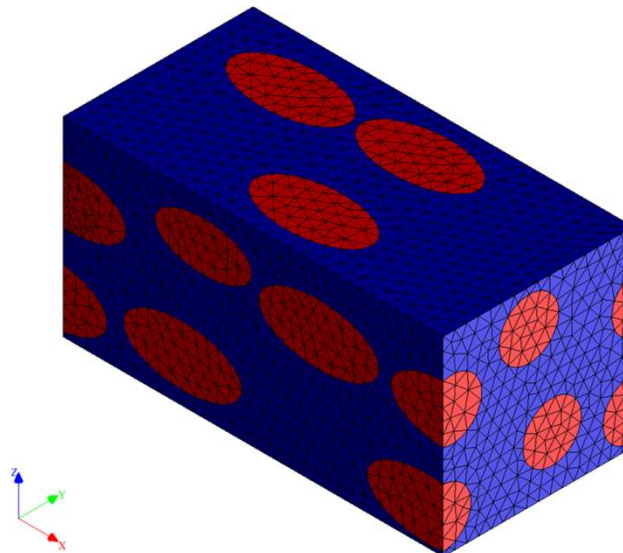
K numerické homogenizaci...

- › Digimat FE
- › Redukce složitosti úlohy
- › Nahrazením heterogenní struktury materiálovým modelem se stejnými efektivními vlastnostmi

**Geometrický model
+
materiálové vlastnosti složek**

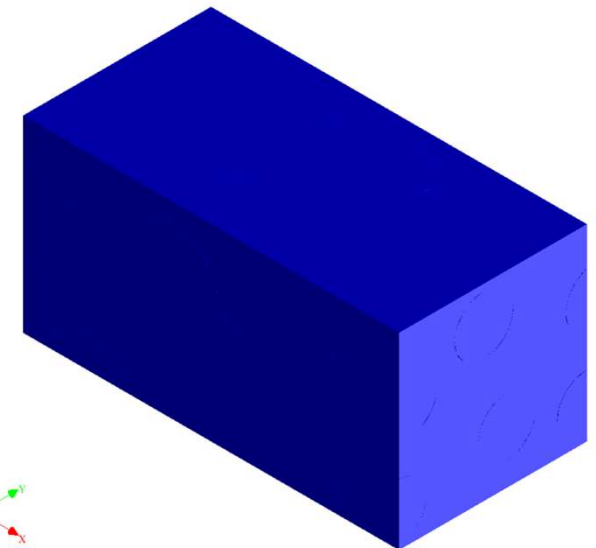


**Síť, FEM model reprezentativního
objemového elementu (RVE)**



Homogenizace

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int \sigma_{ij} dV$$



Lehká netkaná textilie Meftex

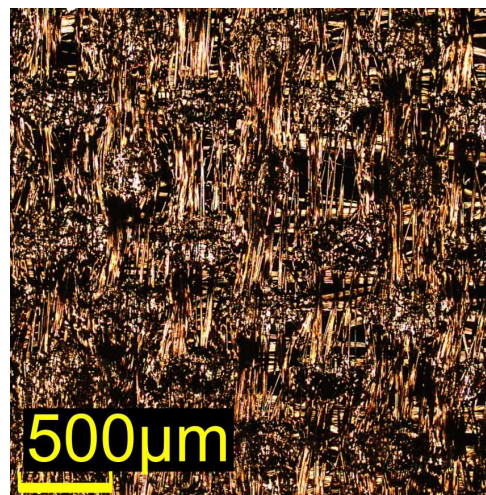
- › Pokovená polyesterová vlákna
- › $37 \pm 1 \text{ g/m}^2$
- › **EM stínění** až 65 dB (30 MHz -20 GHz)
- › Reflektivita okolo 70 % (IR)
- › **Vodivost** odpor do 0,1 Ω
- › Prodyšnost
- › Antimikrobiálnost
- › Antikorozivita

MEFTEX[®]
<https://www.meftex.cz/>

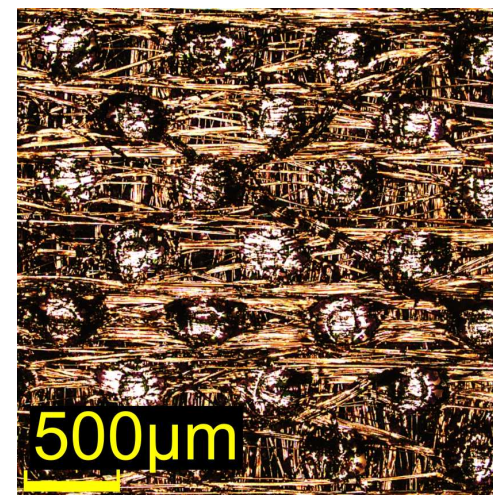


- › Snímky z konfokálního skenovacího mikroskopu – 5x zoom
- › Dvě odlišitelné vrstvy s téměř ortogonálním uspořádáním (pseudoosnova a pseudoútek)
- › Termické spoje v pravidelném rastru
- › Vlákná rozmístěna nerovnoměrně v pseudosvazcích

Rub

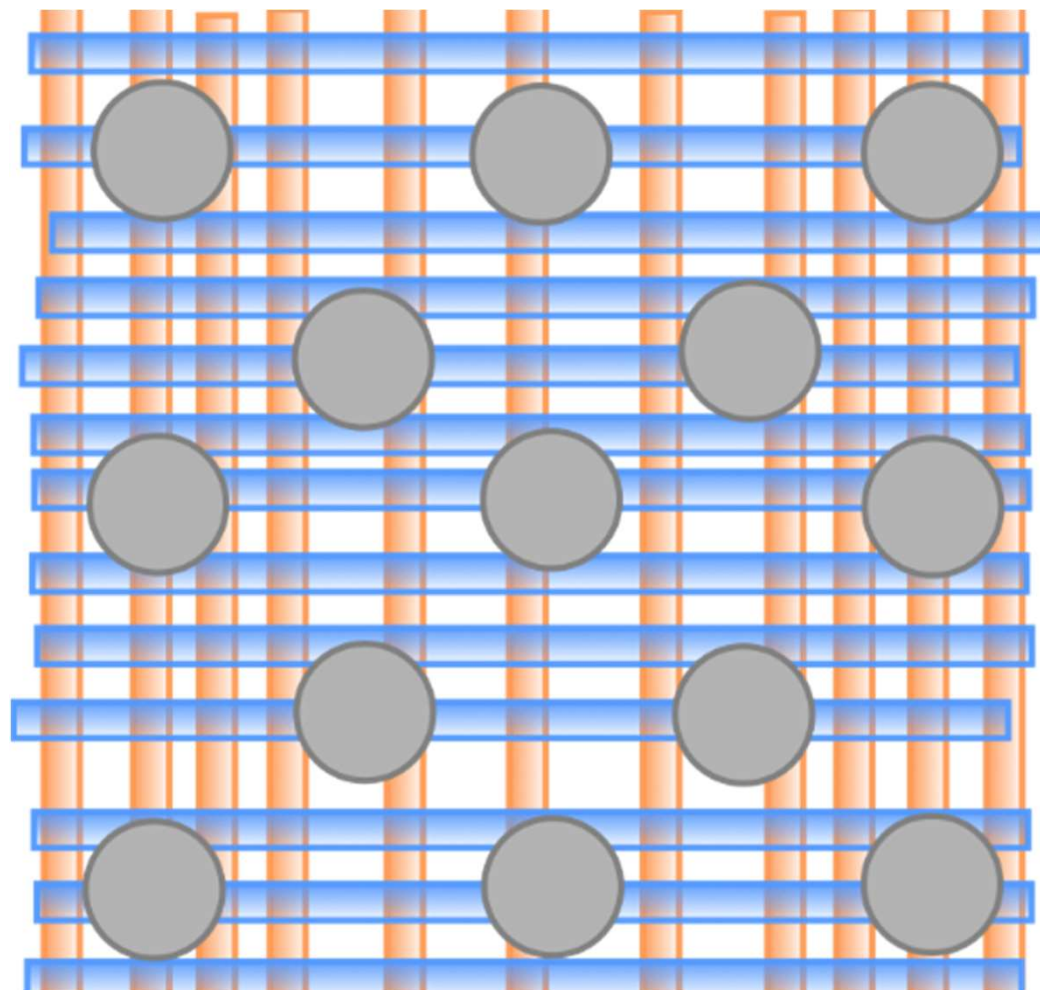


Líc



Rekonstrukce struktury textilie pro výpočtový model

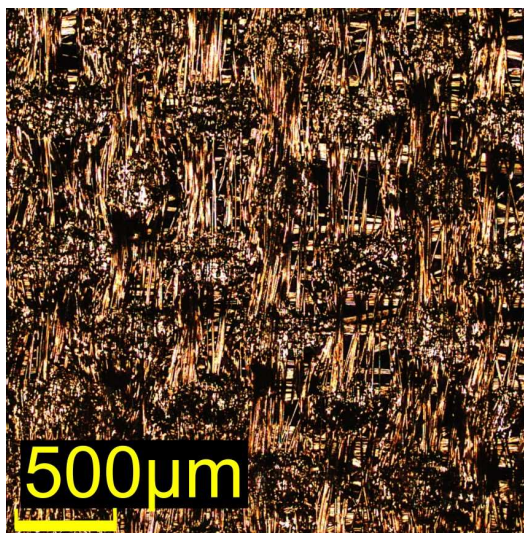
- › 3 samostatné celky
 - Vlákna rubové strany
 - Vlákna lícové strany
 - Termické spoje
 - Geometricky jednoduché celky umožňující přímé zadání do MSC.Digimat
- › Předpoklady
 - Vlákna jsou v jedné vrstvě rovnoběžná
 - Vlákna se nikde neprotínají – mechanická vazba existuje pouze v místech termických spojů



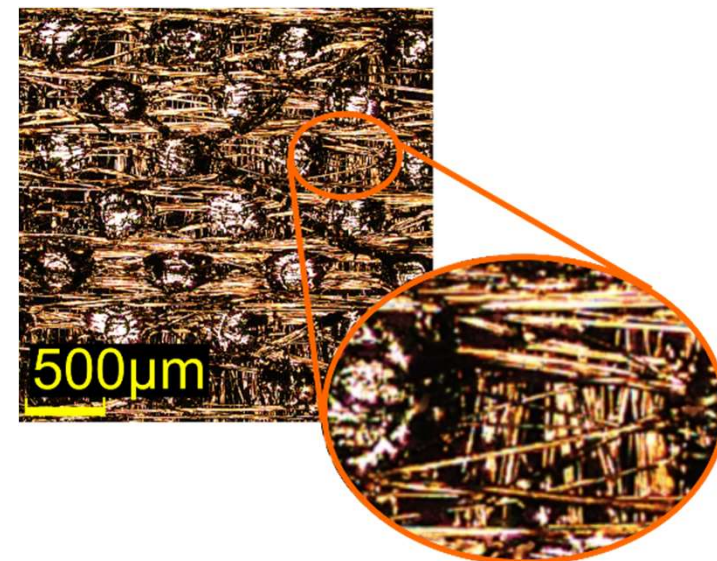
Cíle zpracování analýzy obrazových dat

- › Odlišení rubových a lícových vláken
- › Charakterizace dvou úrovní periodicity
 - Periodicita rozmístění pseudosvazků
 - Periodicita rozmístění vláken uvnitř pseudosvazků

Rub



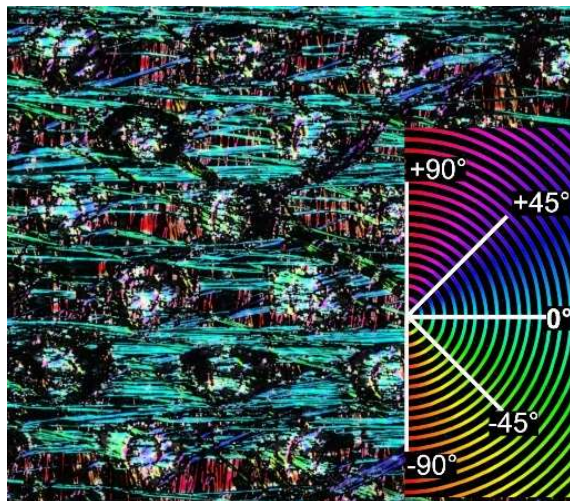
Líc



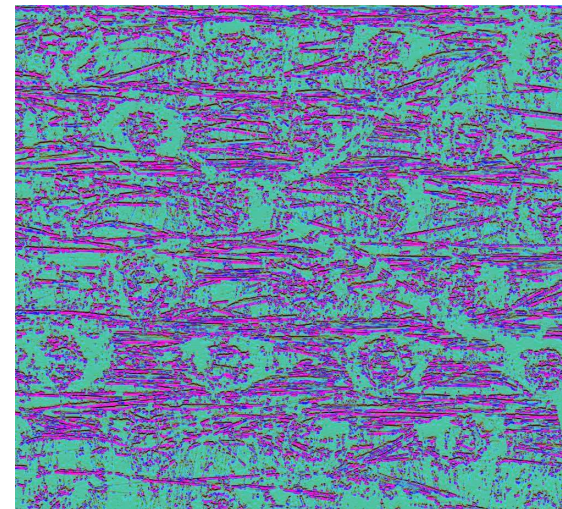
Odlišení rubových a lícních vláken

- › Využití opensource ImageJ
- › Z analýzy orientace ze structure tenzoru
- › Odfiltrování prosvítajících vláken druhé vrstvy na základě orientace

Analýza orientace



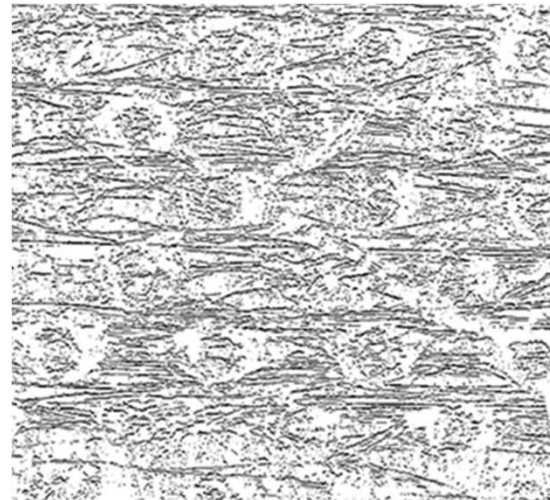
Po odfiltrování



Binarizace a skeletonizace

- › Převernění na útvary o šířce 1 px
- › Charakterizace skeletonů geometrickými vlastnostmi
 - Poloha těžiště
 - Délka

Binarizace

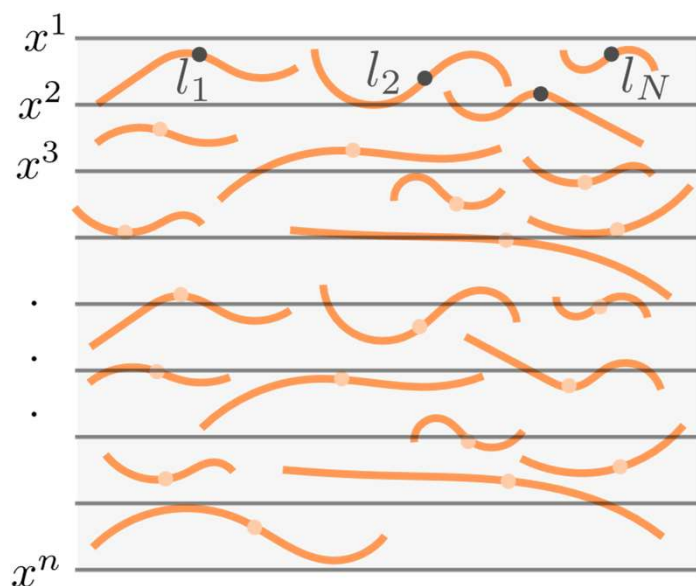


Skeletonizace



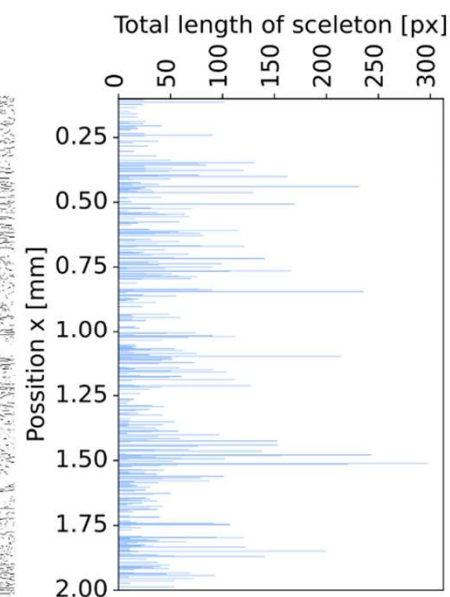
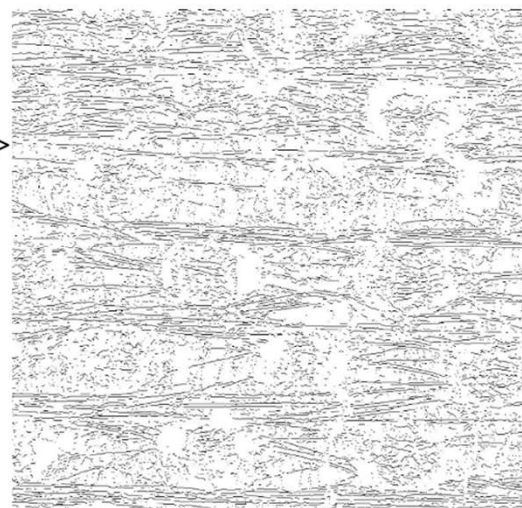
Rozložení hmoty v jednom směru

- › Charakterizace rozmístění vláken



$$\forall l_k \in \langle x_i, x_{i+1} \rangle$$

$$L_{x^i}^{x^{i+1}} = \sum_{k=1}^N l_k$$



Vlnková transformace

- › Separace frekvenčních složek bez nutnosti přecházet do frekvenční domény – elegantní způsob jak se vyhnout nežádoucím jevům
- › Bázová funkce – vlnka (wavelet) – nenulová hodnota pouze na omezeném intervalu
- › Různé druhy vlnek pro různé druhy signálů
- › Jednoduchá implementace např. z PyWavelet, Matlab...

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \frac{(t - b)}{a} dt$$

a Diletační koeficient

b Lokalizační koeficient

$x(t)$ Původní signál

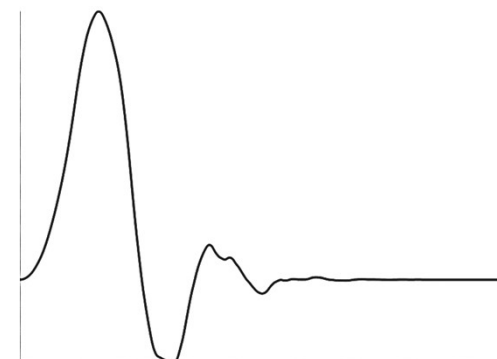
$W(a, b)$ Transformovaný signál

ψ^* Bázová funkce

Vlnka



Škálovací funkce

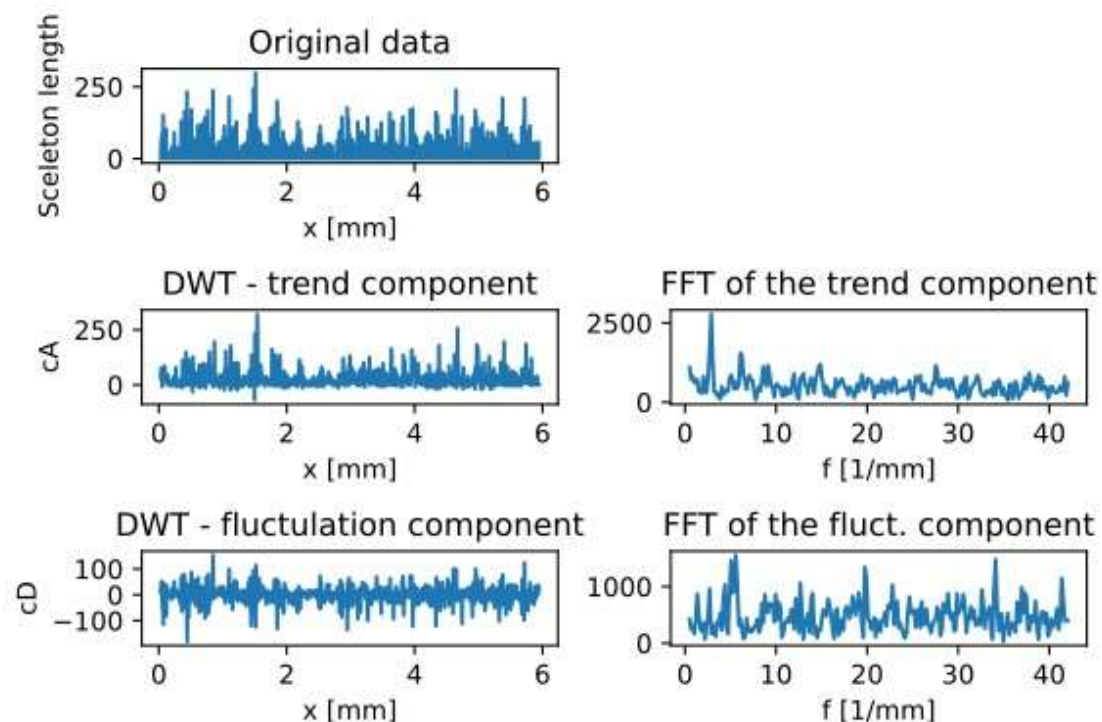


Diskrétní vlnková transformace (DWT)

- › Konvoluce signálu s vlnkou nebo jí příslušnou škálovací funkcí
 - Konvoluce s vlnkou vrací **fluktuační složku signálu**
 - Konvoluce se škálovací funkcí vrací **trendovou složku signálu**

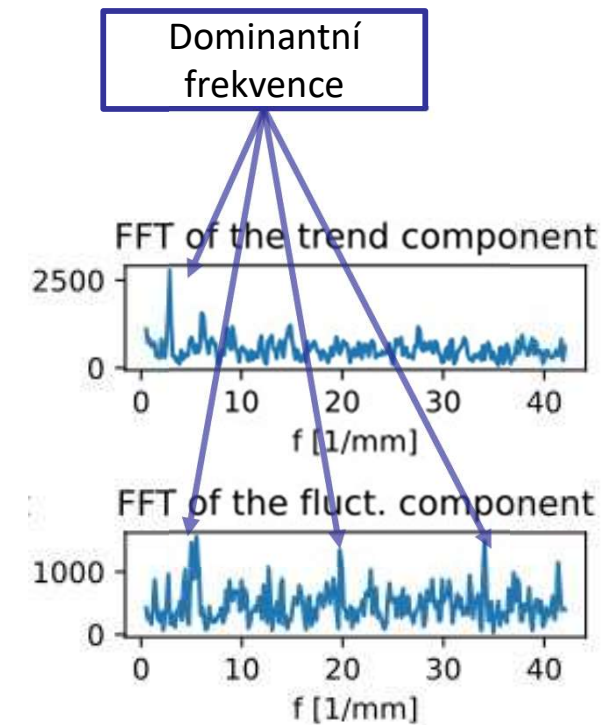
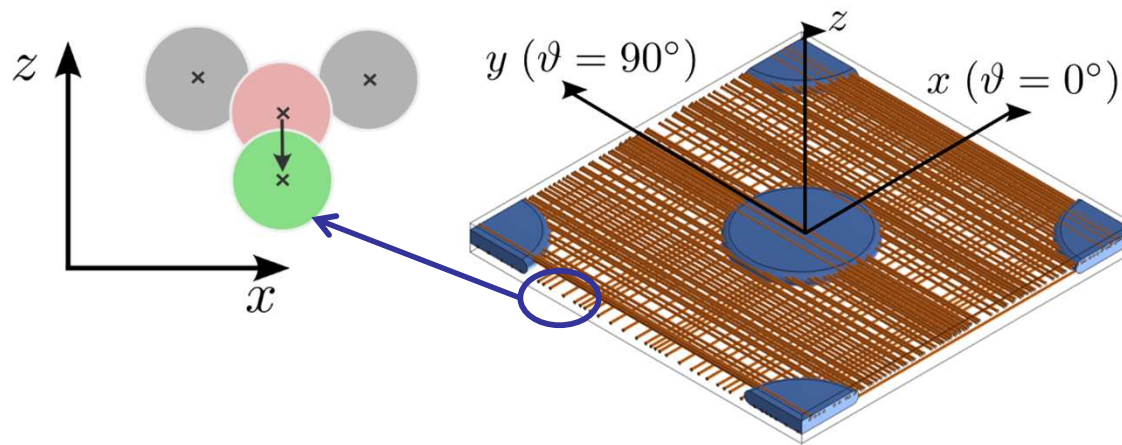
Dekompozice signálu rozložení hmoty pomocí DWT

- › Mateřská vlnka - Daubechies 5. stupně
- › Rozdělení signálu na dvě složky
 - Trendová/sumární – rozmístění svazků
 - Fluktuační – rozmístění vláken
- › FFT jednotlivých složek



Vytvoření geometrie v prostředí MSC.Digimat

- › Vlákná jako průběžné válce – jejich souřadnice přímo zadána do Digimatu
 - souřadnice xy volena z FFT
 - Souřadnice z tak aby se vlákna neprotínala
- › Termické spoje v pravidelném rastru – rozměr RVE volen podle periodicity termických spojů



Vytvoření geometrie v prostředí MSC.Digimat

Definování tvaru a poloh vláken

Custom positions

☒ Define custom inclusion position

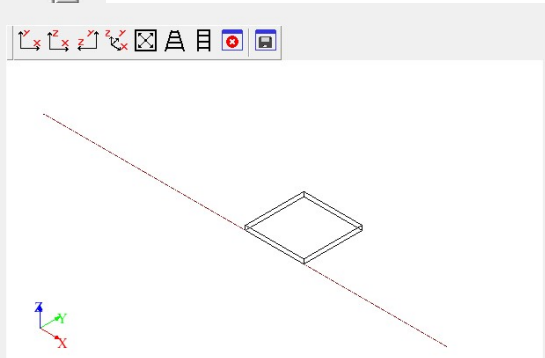
	X	Y	Z
1	0.0168719	0.725	
2	0.039978	0.725	
3	0.068407	0.725	
4	0.0911881	0.725	
5	0.110863	0.725	
6	0.136061	0.725	
7	0.149281	0.725	
8	0.160229	0.725	
9	0.175103	0.725	
10	0.20381	0.725	
11	0.228535	0.725	

Refresh inclusion visualization

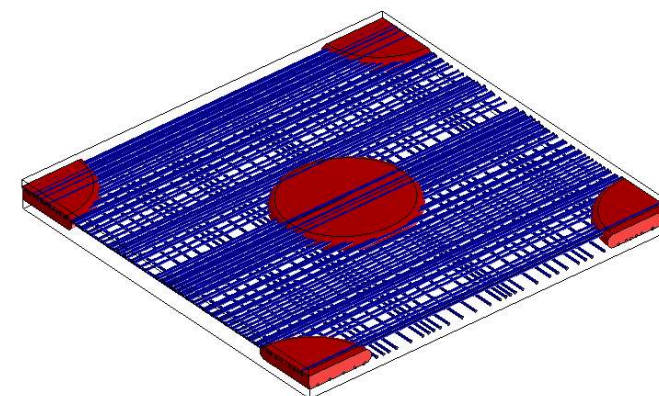
Inclusion Geometric Properties

Minimum number of inclusions that will be generated: 0

RVE size: 0.725 * 0.725 * 0.055



Vytvoření geometrie RVE

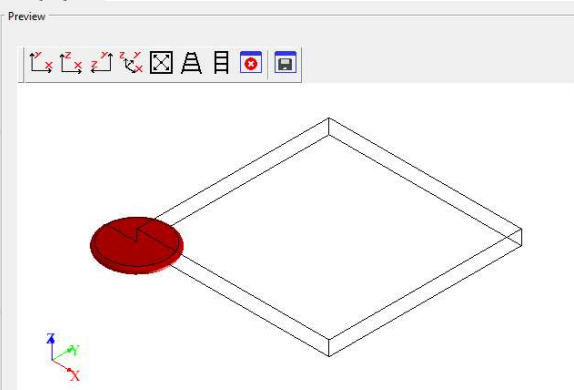


Definování tvaru a poloh termických spojů

☒ Define custom inclusion position

	X	Y	Z
1	0.3625	0.3625	
2	0	0	
3			

Preview



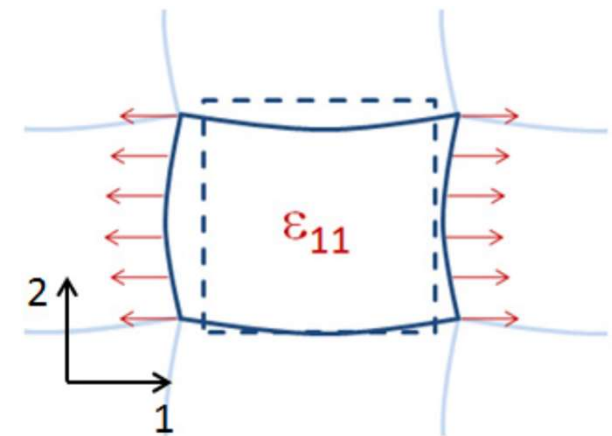
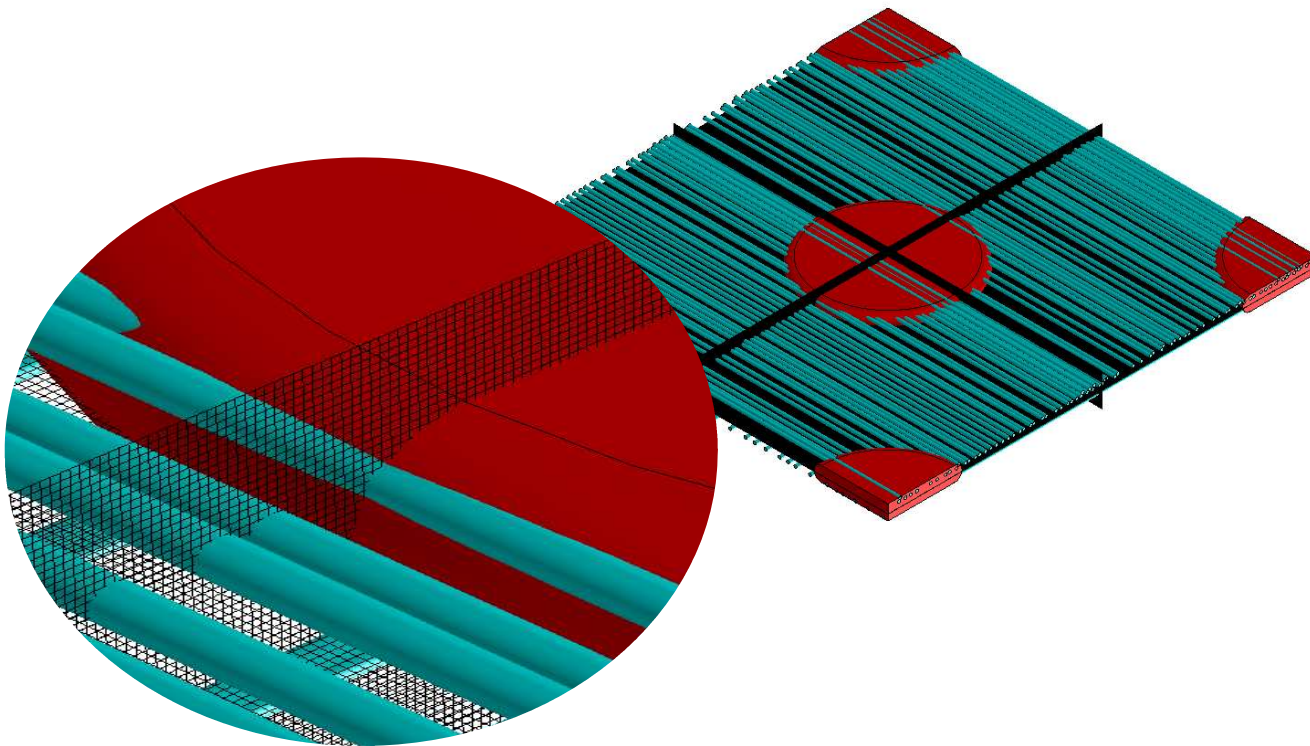
Refresh inclusion visualization

Inclusion Geometric Properties



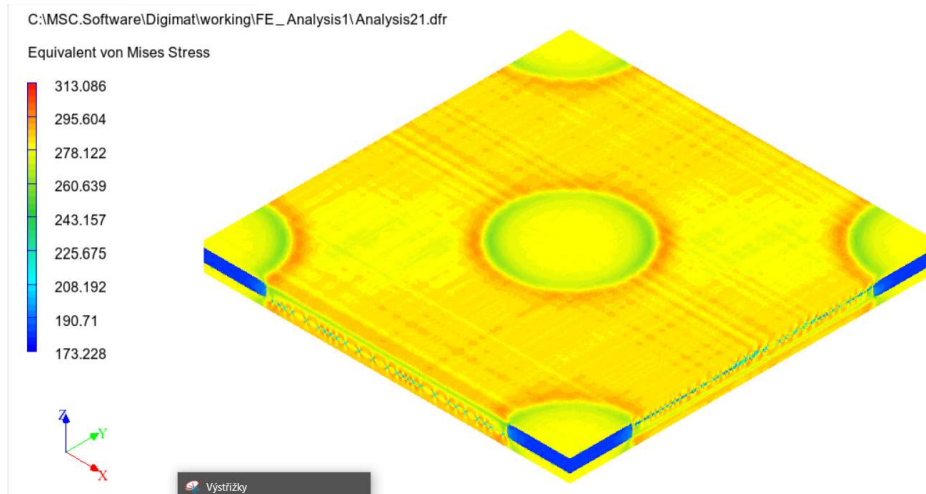
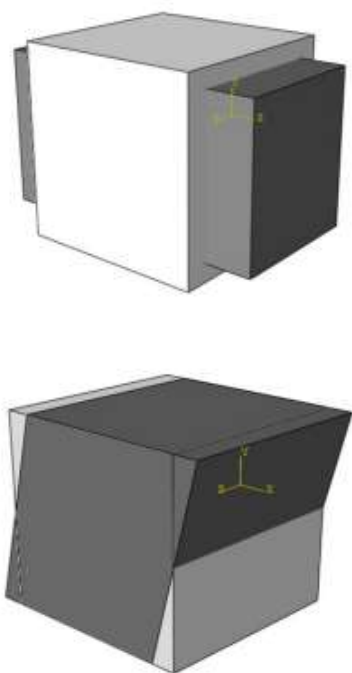
Sít', model, okrajové podmínky...

- › Voxelová síť – 29M elementů :-D
- › Periodické okrajové podmínky – vyžadují periodickou geometrii
- › Řešení FFT solverem
 - Místo sítě využívá pravidelný grid
 - Velmi rychlý – jednotky sekund



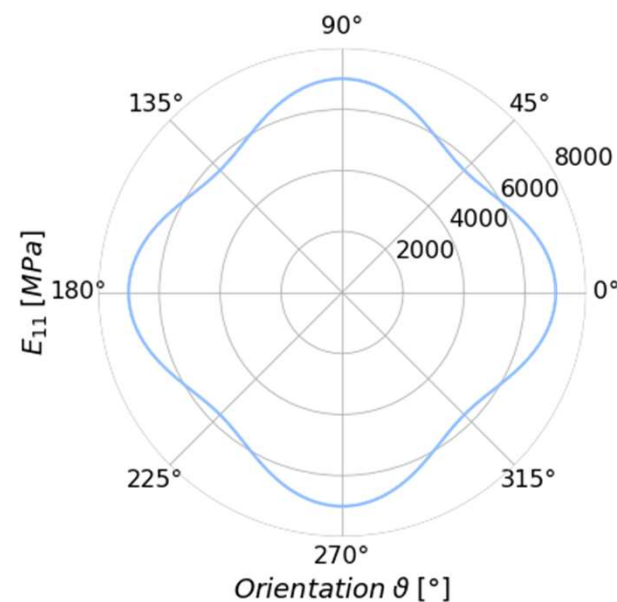
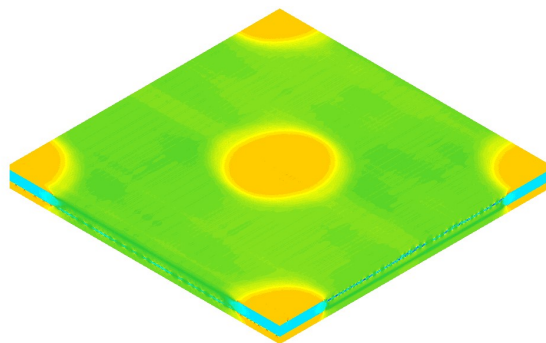
- › Zatížení přetvořením
- › Automatické vygenerování zatěžovacích stavů potřebných pro evaluaci všech materiálových konstant
- › Homogenizace napětí a výpočet konstant materiálového modelu

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int \sigma_{ij} dV$$



$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{21}}{E_2} & \frac{-\nu_{31}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & \frac{-\nu_{32}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{13}}{E_1} & \frac{-\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

- › Vytvořený materiálový model – připravený na validaci a aplikaci
- › Geometrický model připravený i pro jiné typy simulací – např. EM stínění
- › Využití výsledků v rámci projektu TAČR TM03000010 pro optimalizaci kompozity na bateriový box



Děkuji za pozornost