

Rozvoj moderného strojárkeho vzdelávacieho programu v oblasti zelenej inteligentnej výroby  
BIN SGS02\_2021\_007

Activity 3  
MODERN CLASSROOM

# KOMPOZITNÉ MATERIÁLY

Ing. Libor ĎURIŠKA, PhD.



Stredná priemyselná škola Dubnica nad Váhom  
Obrancov mieru 343/1  
018 41 Dubnica nad Váhom

Táto prednáška sa uskutočnila v spolupráci so  
Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave  
Materialovotechnologická fakulta Trnava



Dubnica nad Váhom, 7.12.2022

# Kompozitné materiály

Ing. Libor Ďuriška, PhD.



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Materiálovotechnologická fakulta

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA

Faculty of Materials Science and Technology

# Kompozitné materiály



Prvé nepálené tehly sa objavili už v dobe kamennej, približne 7000 p.n.l.



# Kompozitné materiály

---

## Čo je to kompozitný materiál?

= **materiál**, ktorý je zložený najmenej **z dvoch zložiek** odlišujúcich sa chemickým zložením - **matrica a spevňujúca zložka**, ktoré sú od seba oddelené výraznou hranicou, pričom výsledný materiál má úplne odlišné vlastnosti ako obe východiskové zložky





# Kompozitné materiály



Najčastejšie sa kompozitné materiály delia podľa matrice na:

a) **kompozity s polymérou matricou** – PMC

- **termoplasty** – PA, PE, PP, PC, PET, PBT
- **reaktoplasty** – polyester., epoxid., fenolformaldehydová živica
- **elastoméry** – kaučuky

PMC: Nylon+12CF (3D tlač - FDM)



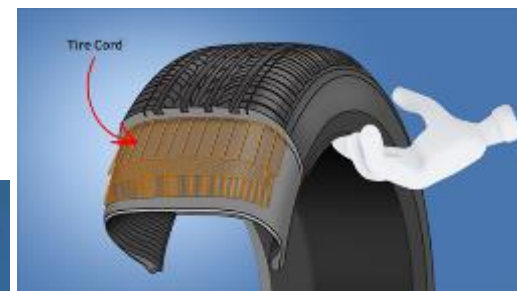
<https://www.javelin-tech.com>



karoséria Trabant je z polyfenolovej živice vystuženej rohožami z krátkych bavlnených vlákien



**ULL Shark** (Made in Slovakia) – **uhlíkové a sklené kompozity** (laminát)



**pneumatika** - kaučuk + ocelové kordy + ...

# Kompozitné materiály

Najčastejšie sa kompozitné materiály delia podľa matrice na:

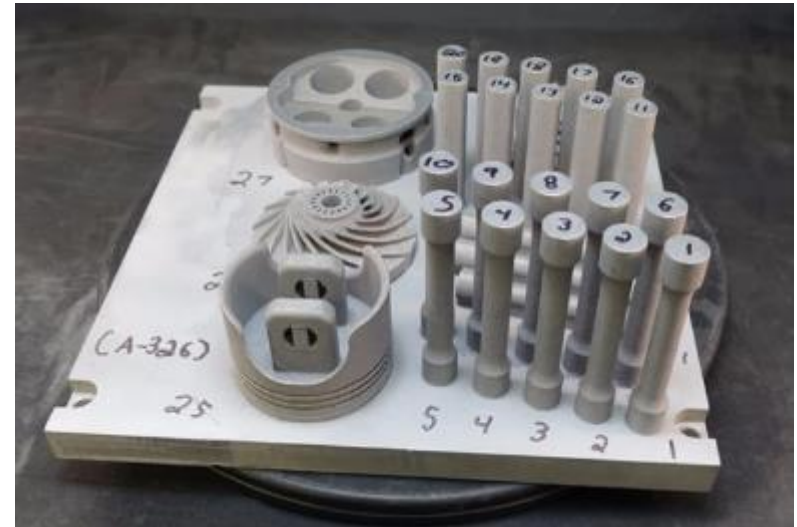
b) **kompozity s kovovou maticou – MMC** (Al + zliatiny, Mg, Ti, Ti-SiC, Ni superzliatiny, Co, ...)

AlMgSi zliatina (6061) + SiC vlákna



<https://www.ukessays.com/essays/engineering/aluminium-based-metal-matrix-6811.php>

MMC + keramický prášok (3D tlač)



<https://www.additivemanufacturing.media/articles/strong-heat-resistant-lightweight-metal-matrix-composite-demonstrates-additive-manufacturing's-promise-for-new-materials>

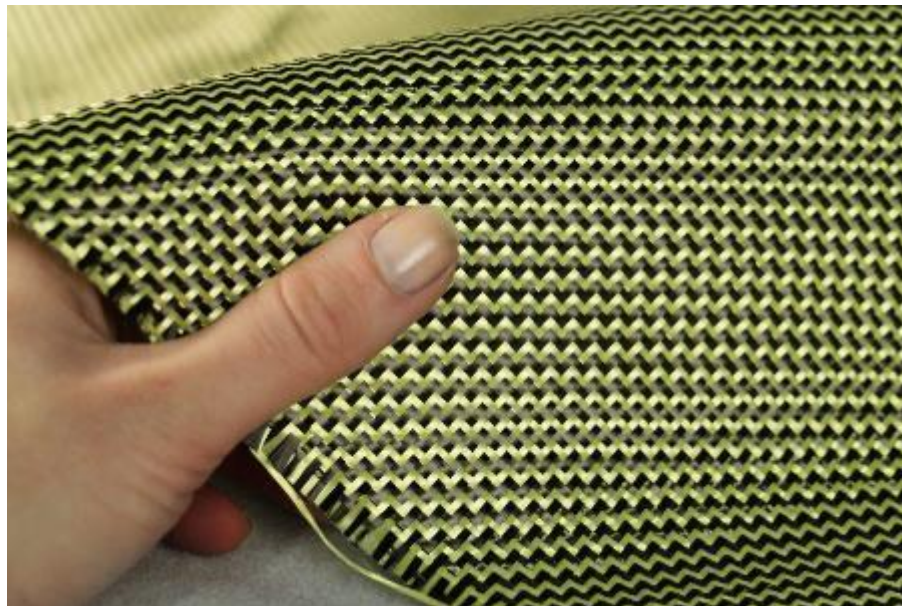
# Kompozitné materiály

---

Najčastejšie sa kompozitné materiály delia podľa matrice na:

- c) **kompozity s neorganickou maticou** (sklená, sklokeramická, keramická, silikátová),
- d) **kompozity polymaticové** – viac ako jeden typ matrice
- e) **kompozity hybridné** – kombinácia viacerých spevňujúcich zl.

Uhlík + kevlar (aramid) – hybridná spevňujúca zložka

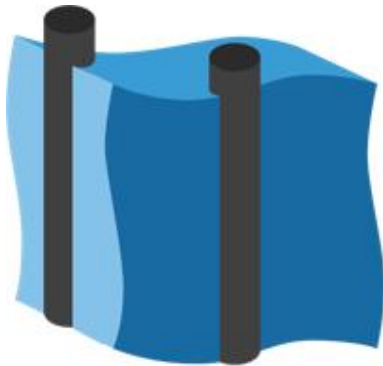


# Kompozitné materiály

---

Rozdelenie kompozitov podľa geometrie spevňujúcej zložky na:

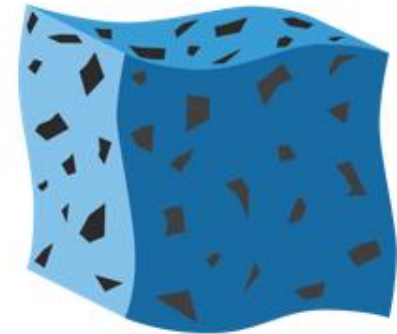
- a) vláknové (dlhé, krátke)
- b) whiskre (sú to monokryštáliky priemeru  $\sim 10 \mu\text{m}$  s dĺžkou  $\sim 500 \mu\text{m}$ )
- c) práškové (časticové)



vlákna



whiskre



častice

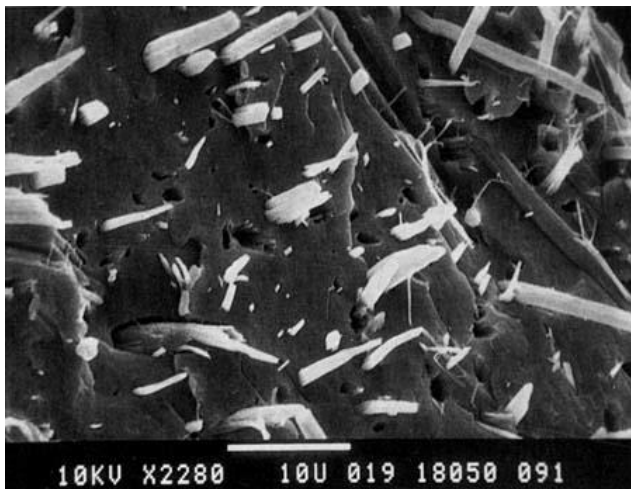


# Kompozitné materiály

Rozdelenie kompozitov podľa materiálov spevňujúcej zložky:

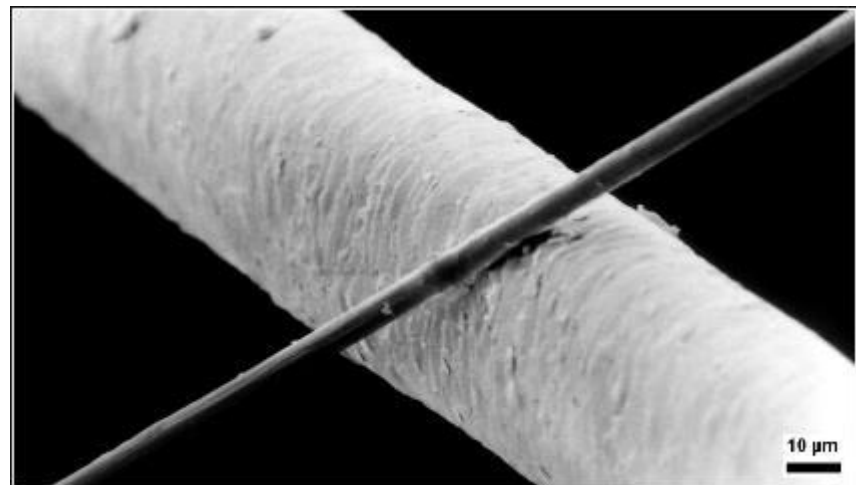
- 1) **nekovové** - stabilita pri vysokých teplotách, avšak vysoká merná hmotnosť:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{MgO}$ ; sklené vlákna (GF); uhlíkové vlákna (CF), aramidové vlákna
- 2) **kovové** - rôzne druhy oceľových drôtikov

Nylon 6 + polymérny whisker



[https://www.researchgate.net/publication/239084170\\_Whiskers\\_VIII\\_A\\_convenient\\_synthesis\\_of\\_poly4-hydroxybenzoate\\_whiskers\\_and\\_their\\_application\\_in\\_composites\\_of\\_nylon-6](https://www.researchgate.net/publication/239084170_Whiskers_VIII_A_convenient_synthesis_of_poly4-hydroxybenzoate_whiskers_and_their_application_in_composites_of_nylon-6)

Ľudský vlas a uhlíkové vlákno

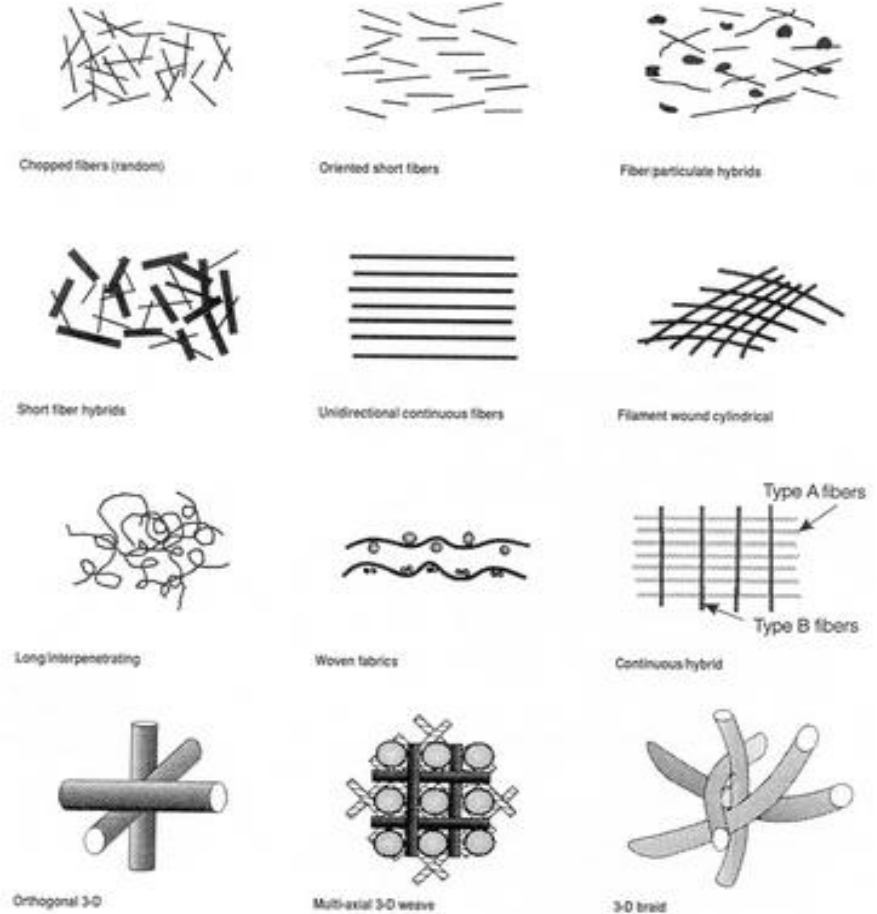
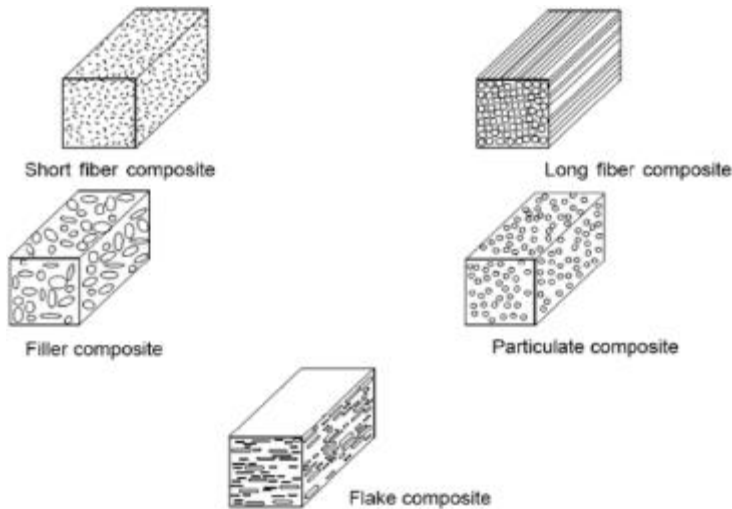


[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser\\_haarp.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Cfaser_haarp.jpg)

# Kompozitné materiály

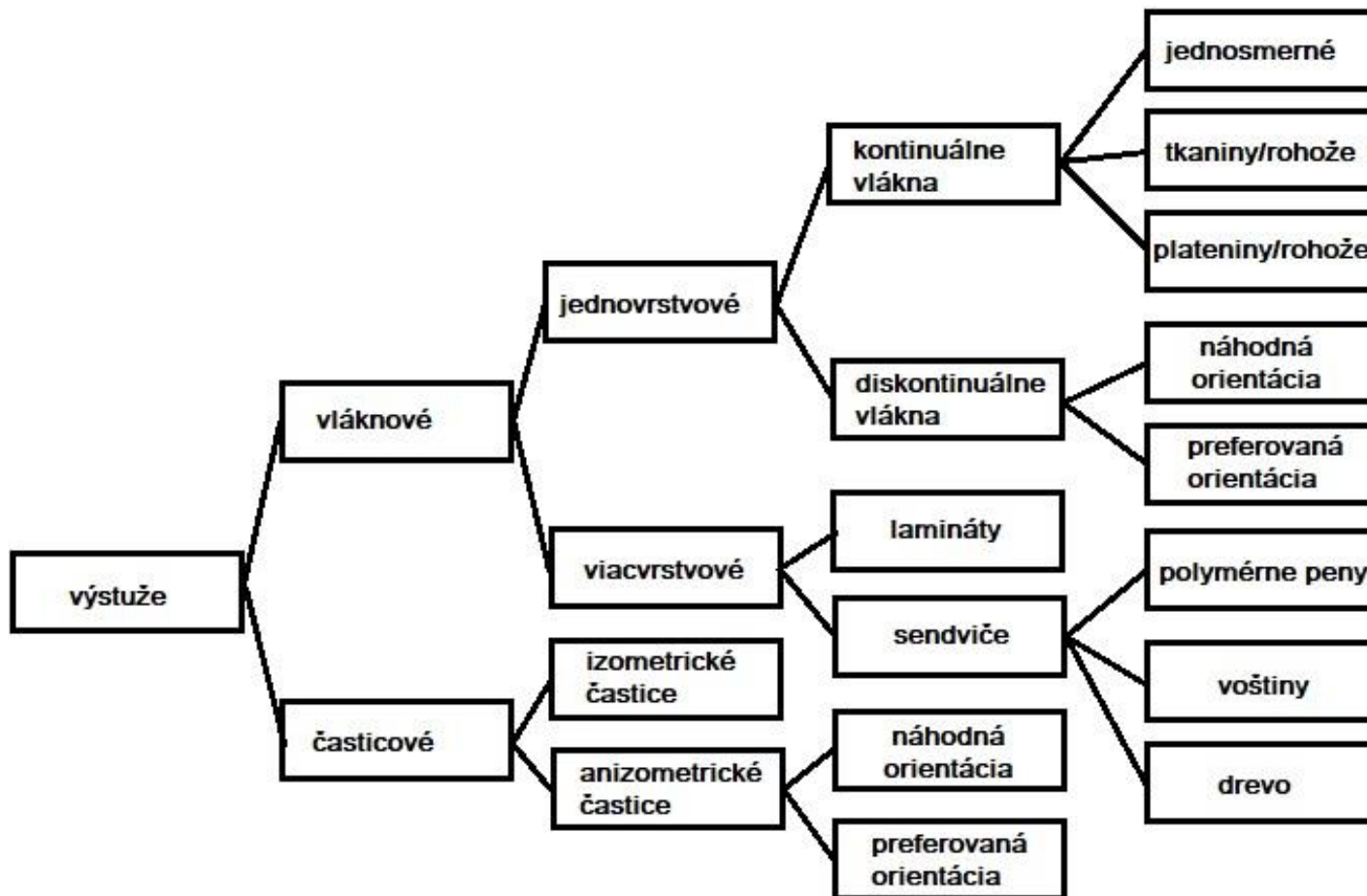
## Rôzne usporiadanie spevňujúcej zložky

## Základné geometrie kompozitov



# Kompozitné materiály

Typy spevňujúcich zložiek používaných v kompozitných materiáloch



# Kompozitné materiály

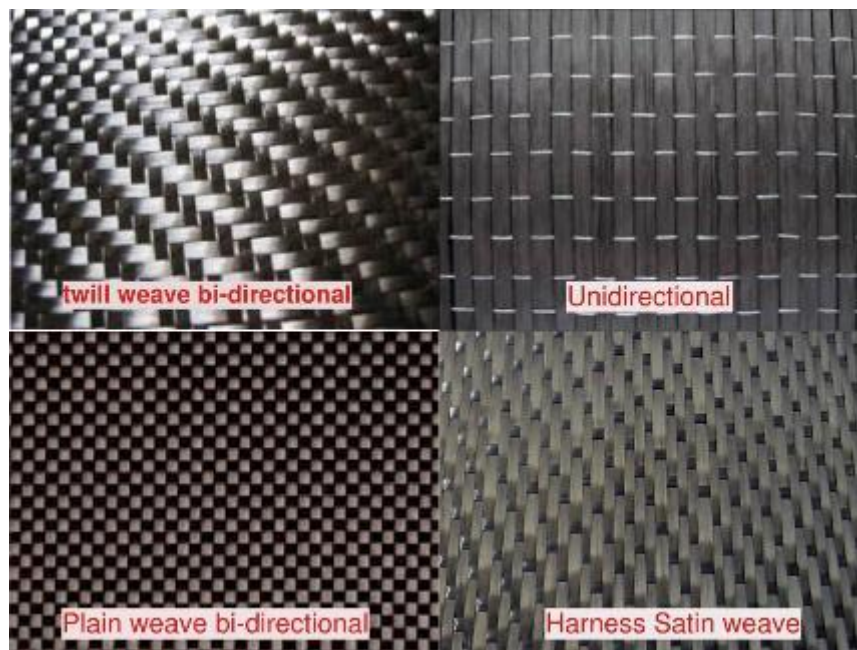
## Rôzne usporiadanie spevňujúcej zložky

### Sklené vlákno v rôznych formách



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Glass\\_reinforcements.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Glass_reinforcements.jpg)

### Uhlíková výstuž v rôznych formách

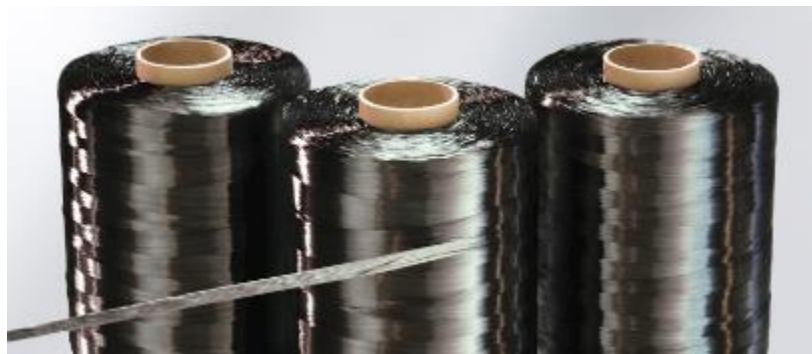


<https://www.facebook.com/teamaverera/photos/tech-sundaycarbon-fibre-is-used-in-the-form-of-carbon-fibre-reinforced-polymer-c/2534104863322808/>



Kevlarová niť

Uhlíkový roving



<https://www.directindustry.com/prod/sgl-group/product-39873-348783.html>

# Kompozitné materiály

---

## Aké vlastnosti chceme pri kompozitoch dosiahnuť / zlepšiť?

1. mechanické vlastnosti (*tuhosť, pevnosť, húževnatosť*)
2. elektrické alebo magnetické vlastnosti
3. tepelné vlastnosti
4. klzné vlastnosti

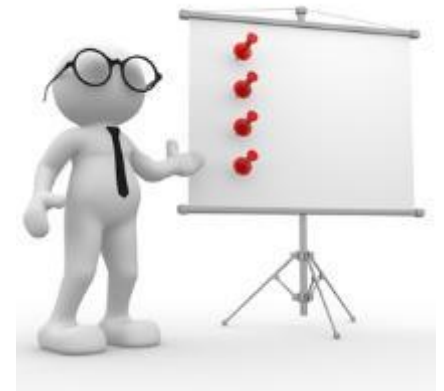


# Kompozitné materiály

---

Pri výrobe kompozitných materiálov sa zabezpečujú nasledujúce vlastnosti:

- 1) vysoká pevnosť,
- 2) vysoký modul pružnosti,
- 3) vysoká medza únavy,
- 4) vysoká rázová pevnosť,
- 5) špeciálne (tepelná odolnosť, korózna stálosť, ...)



# Kompozitné materiály

---

## Čím sú vlastnosti kompozitov určené?

1. vlastnosťami jednotlivých zložiek
2. ich vzájomným podielom
3. geometriou spevňujúcej zložky
4. typom a vlastnosťami rozhraní (*čisté rozhrania vs rozhrania s prítomnosťou medzifázy*)



# Kompozitné materiály

---

Na funkčnosť a mechanické vlastnosti najvýraznejšie vplýva **rozhranie medzi matricou a spevňujúcou zložkou** kompozitu.

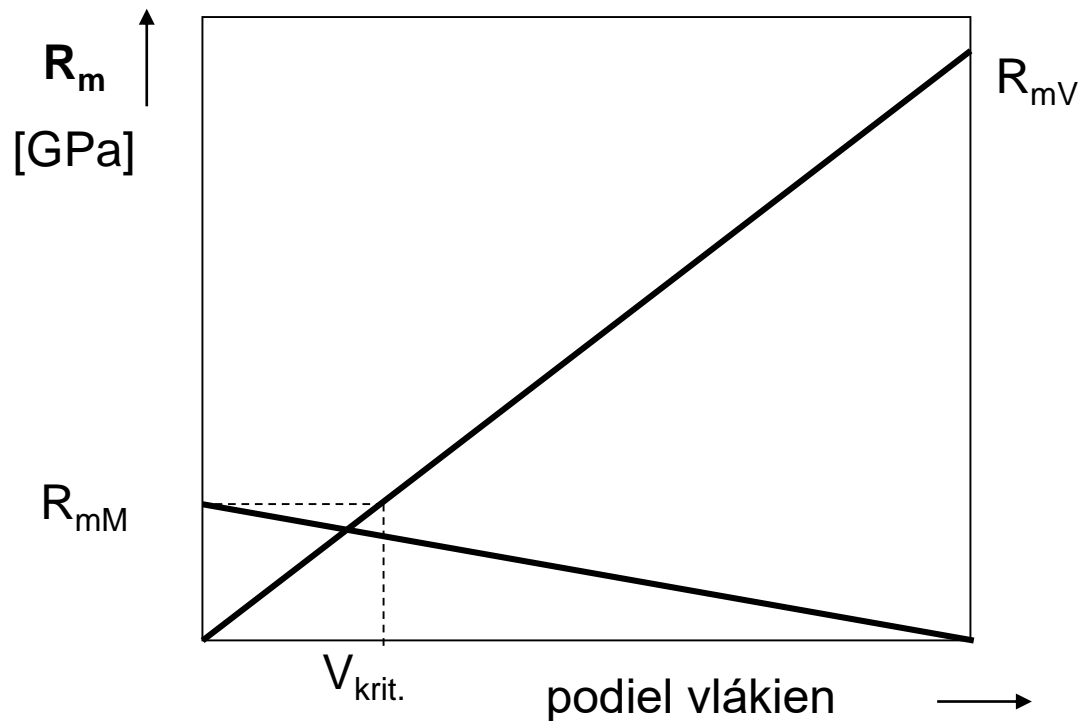
**Rozhranie matrica-spevňujúca zložka** môžeme rozdeliť na:

- 1) vlákno a matrica sú navzájom **nerozpustné** a teda **nevzniká nová fáza** na ich rozhraní,
- 2) vlákno a matrica sú navzájom **rozpustné**, avšak **nevzniká** na ich rozhraní **nový typ fázy**,
- 3) vlákno a matrica **reagujú** vzájomne tak, že **vzniká nová zlúčenina**,
- 4) vlákno a matrica navzájom **reagujú**, pričom však **nevzniká nová zlúčenina**



# Kompozitné materiály

Teoretický mechanizmus určovania pevnosti kompozitu, pokiaľ poznáme pevnosti v ťahu pre obidve zložky



Existuje **kritický objemový podiel vlákien** v matrici, pri ktorom je **pevnosť kompozitu porovnateľná s pevnosťou matrice**

# Kompozitné materiály

## Prenos zaťaženia pri mechanickom namáhaní kompozitov

### Zaťaženie v smere spevňujúcej zložky

$$F = F_m + F_f$$

$$\sigma = \sigma_m v_m + \sigma_f v_f$$

$$E = E_m v_m + E_f v_f$$

$$v_m = V_m / V \quad v_f = V_f / V$$

m – matrica

f – spevňujúca zložka

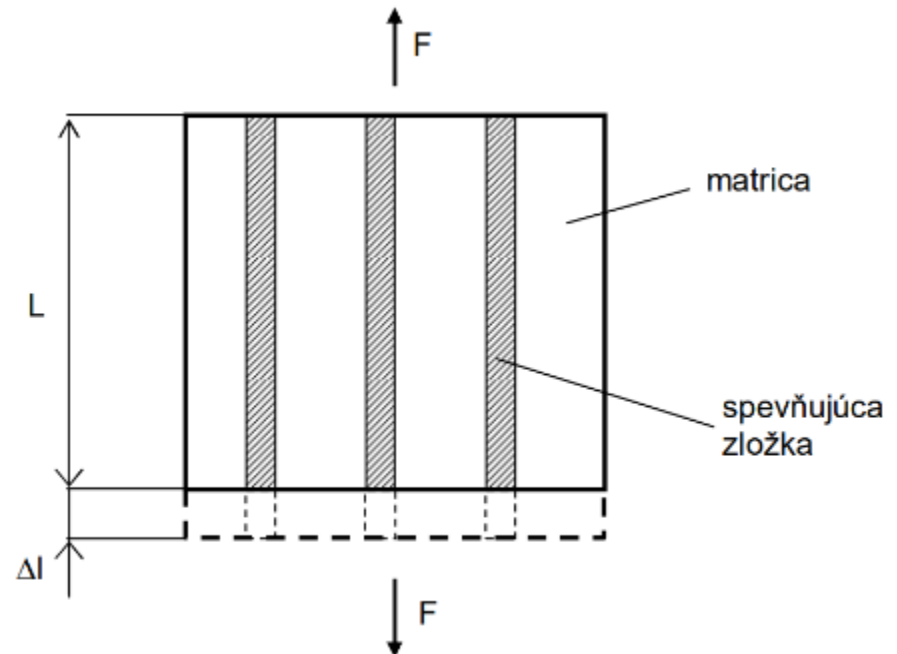
F – zaťaženie

v – objemový podiel

V – objem

$\sigma$  – napätie

E – modul pružnosti



# Kompozitné materiály

## Prenos zaťaženia pri mechanickom namáhaní kompozitov

### Zaťaženie v smere kolmom na spevňujúcu zložku

$$F = F_m = F_f$$

$$\Delta l = \Delta l_m + \Delta l_f$$

$$E = (E_m \cdot E_f) / (v_m E_f + v_f E_m)$$

m – matrica

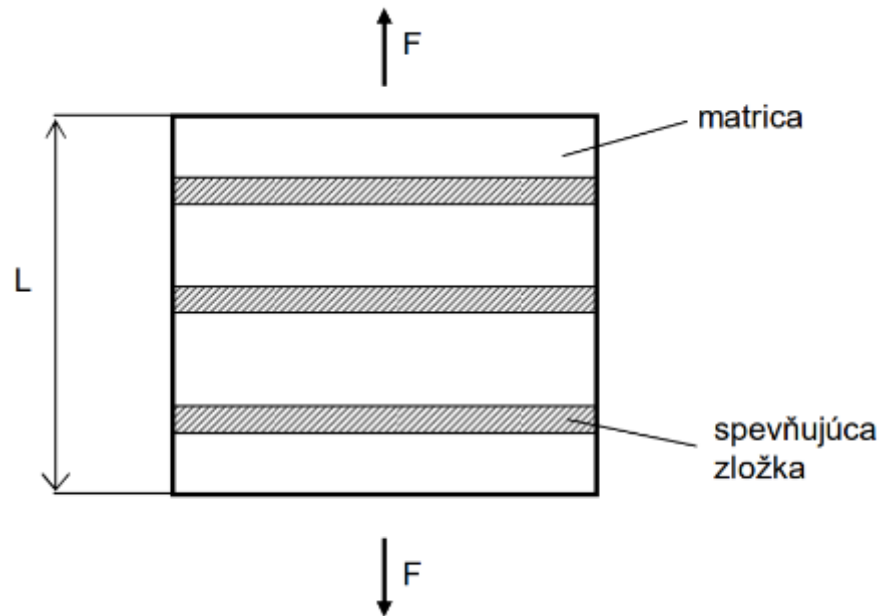
f – spevňujúca zložka

F – zaťaženie

$\Delta l$  – predĺženie

v – objemový podiel

E – modul pružnosti



# Kompozitné materiály - výroba

## Vstrekovanie

- kompo

Hydraulický  
cylinder alebo  
electrický aktuá  
pre vstrekovanie  
svorka a otvor



a plnenie polymérovými

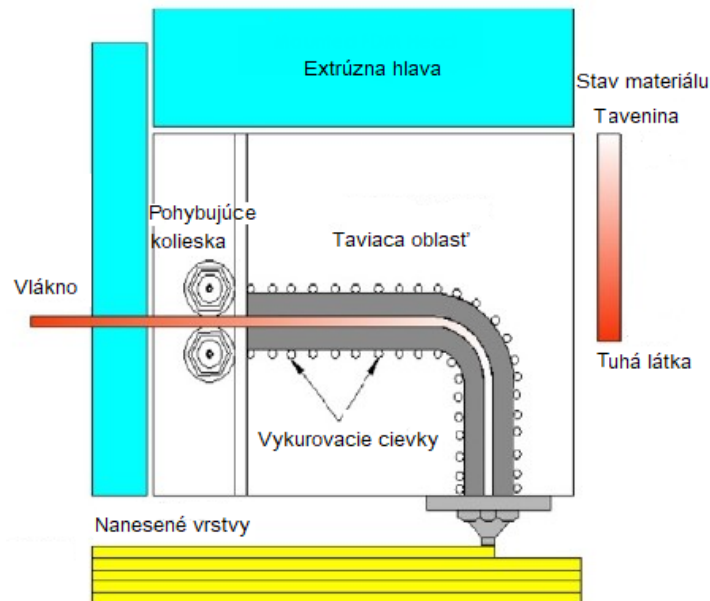
rutka a smýkadlo

# Kompozitné materiály - výroba

## 3D tlač

- **FDM** – Fe/ABS, Cu/ABS, Al a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /PA, Volfrám/PC...
- **SLS** – sklené guľôčky/PA, špeciálne Al zliatiny/PA
- **SLA** –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /UV-senzitívna živica

Schéma FDM

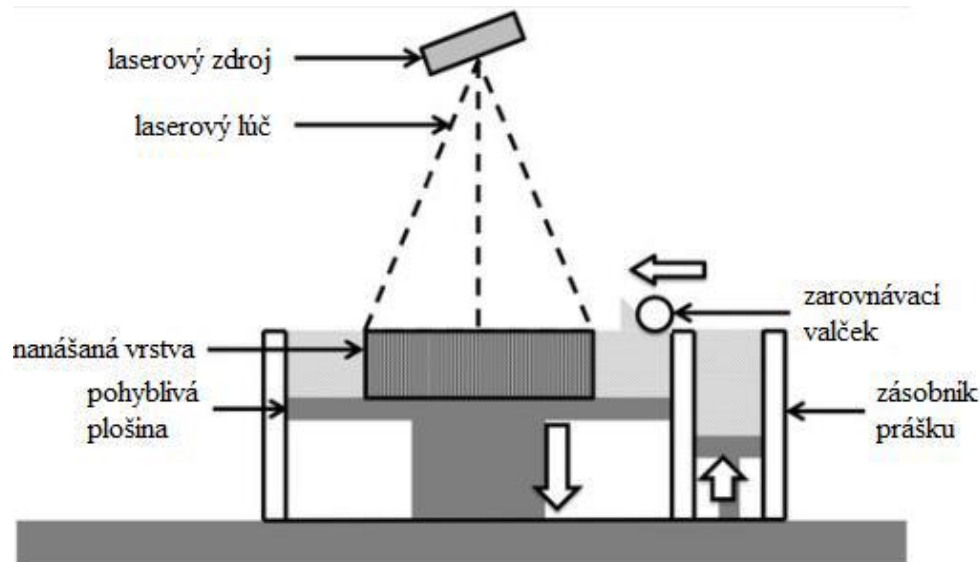


# Kompozitné materiály - výroba

## 3D tlač

- FDM – Fe/ABS, Cu/ABS, Al a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /PA, Volfrám/PC...
- SLS – sklené guľôčky/PA, špeciálne Al zliatiny/PA
- SLA –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /UV-senzitívna živica

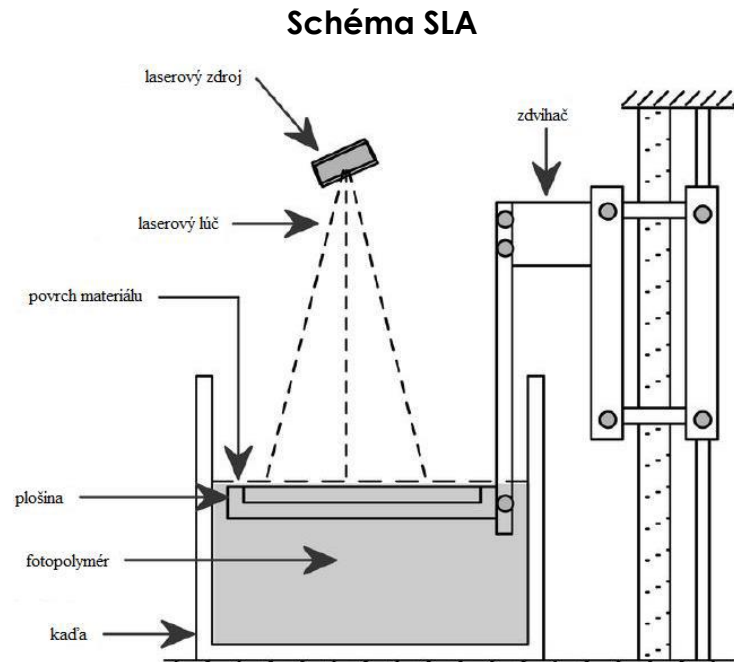
Schéma SLS



# Kompozitné materiály - výroba

## 3D tlač

- **FDM** – Fe/ABS, Cu/ABS, Al a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /PA, Volfrám/PC...
- **SLS** – sklené guľôčky/PA, špeciálne Al zliatiny/PA
- **SLA** –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /UV-senzitívna živica



# Kompozitné materiály - výroba

## Lisovanie za tepla

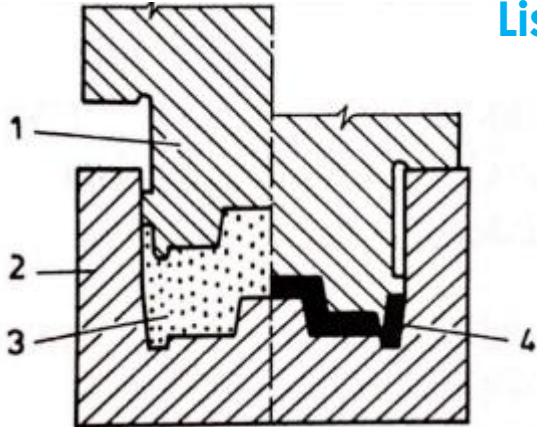
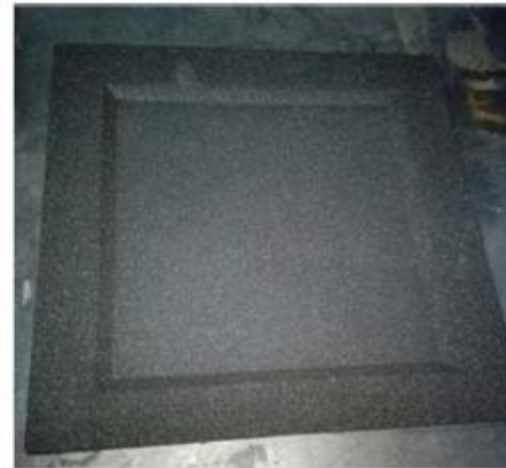


Schéma lisovania za tepla:

- 1 – horný ohrievaný diel formy,
- 2 – dolný ohrievaný diel formy,
- 3 – plniaci priestor, 4 - výlisok

zmes gummy a hliníkového prášku

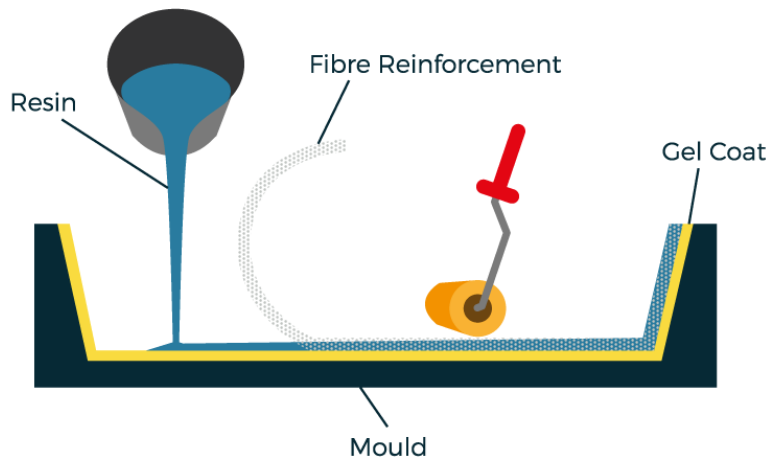




# Kompozitné materiály - výroba

## Ručné laminovanie

- lamináty (GFRP, CFRP, AFRP; alternatívne označenie GFK, CFK, AFK)



# Kompozitné materiály – MTF STU

---

**Matrica** – polypropylén (PP)

**Plnivo** – ASC100.29 (Fe prášok) alebo S590 (nástrojová oceľ) so zastúpením 1, 2 a 3 obj.%

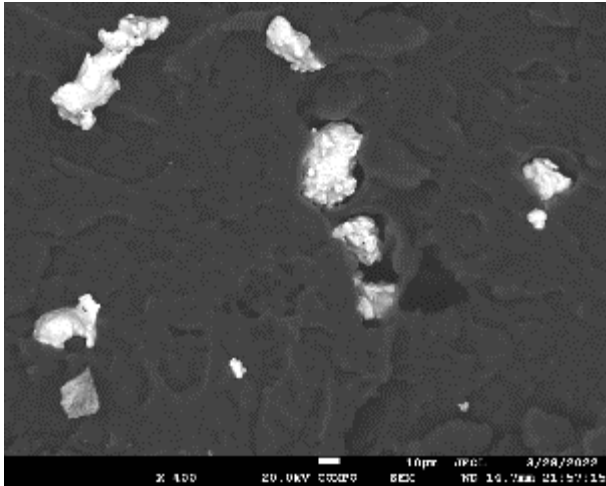


## Ciel':

- posúdiť vyrobiteľnosť pomocou stolového vstrekolisu
- posúdiť vplyv objemového podielu plniva na vlastnosti
- posúdiť vplyv rôzneho tvaru častíc jednotlivých práškov

# Kompozitné materiály – MTF STU

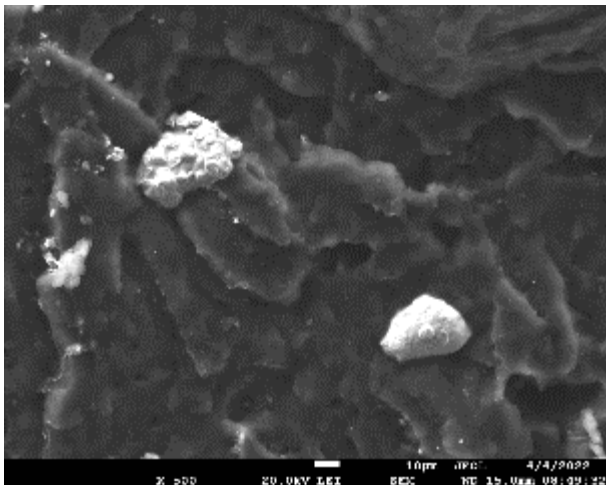
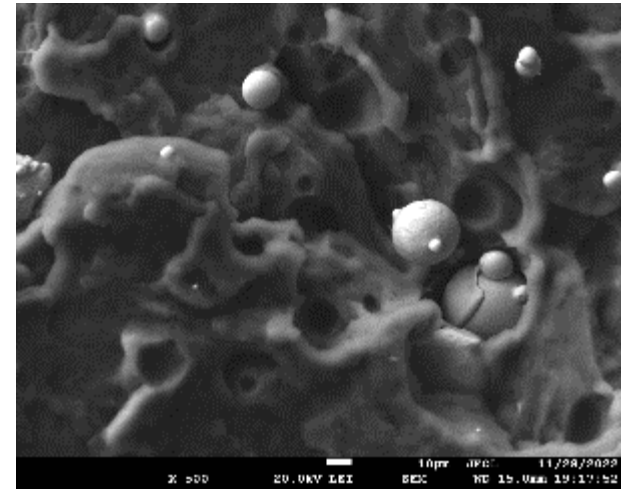
PP + 3 obj.% ASC100.29



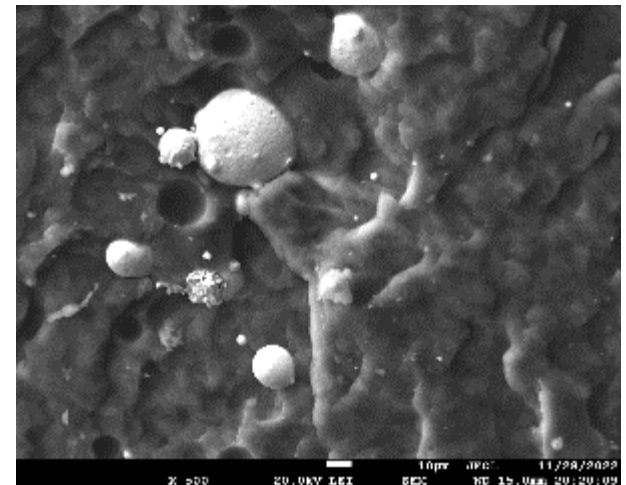
SEM analýza

po statickej skúške  
ťahom

PP + 3 obj.% S590



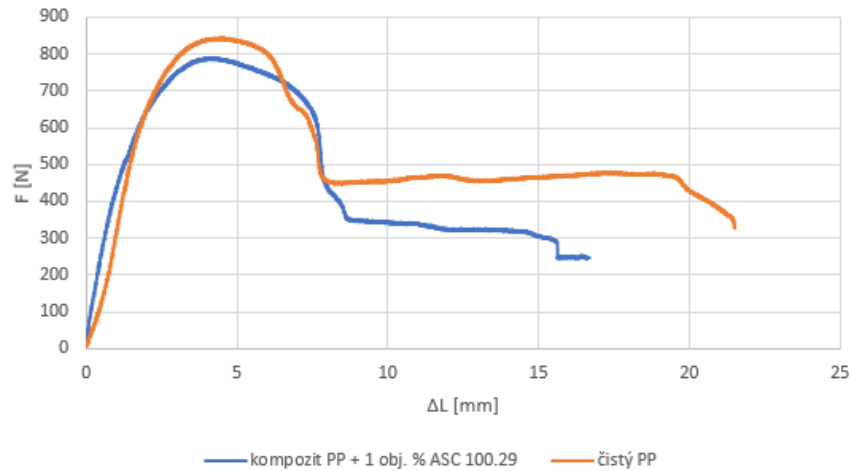
po rozlomení v LN<sub>2</sub>



# Kompozitné materiály – MTF STU

## Statická skúška ťahom

### Húževnaté správanie



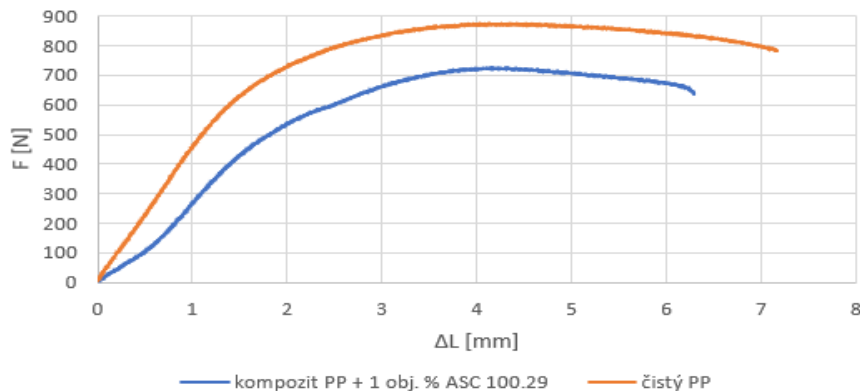
### PP čistý



### PP + 1 obj.% ASC100.29



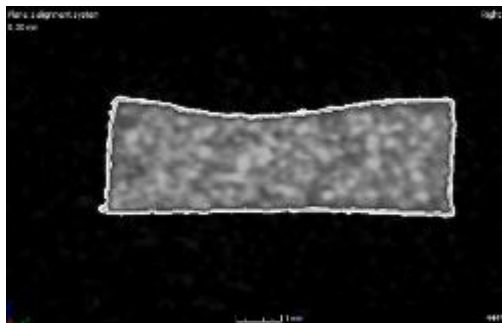
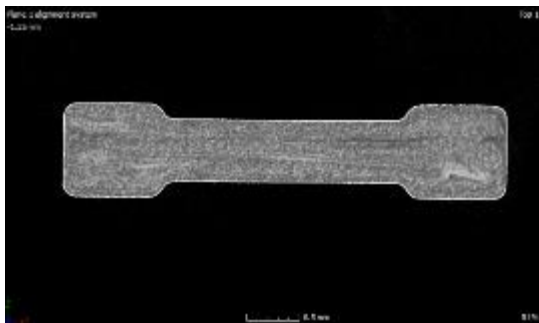
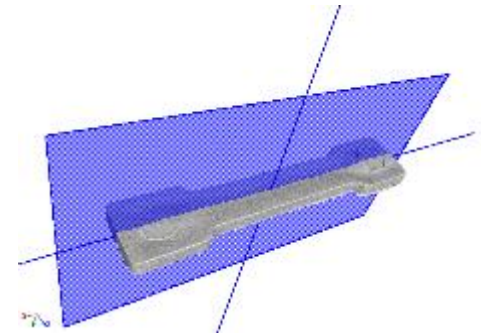
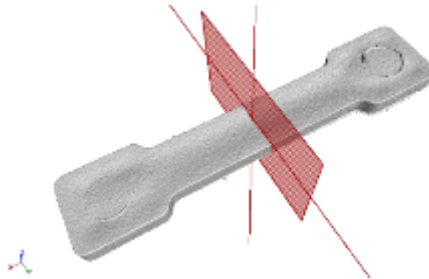
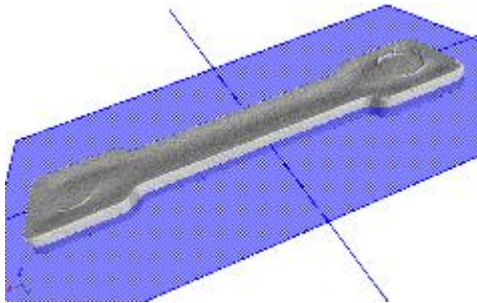
### Krehké správanie



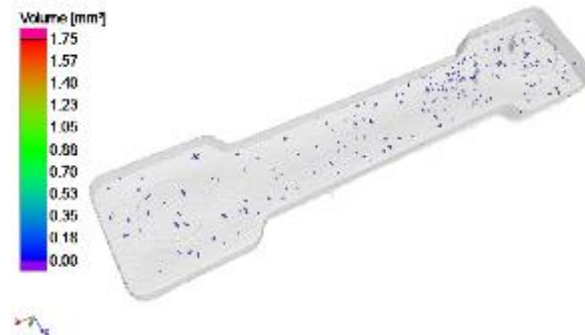
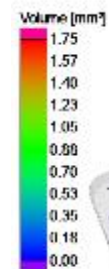
# Kompozitné materiály – MTF STU

## CT analýza

PP + 1 obj.% S590



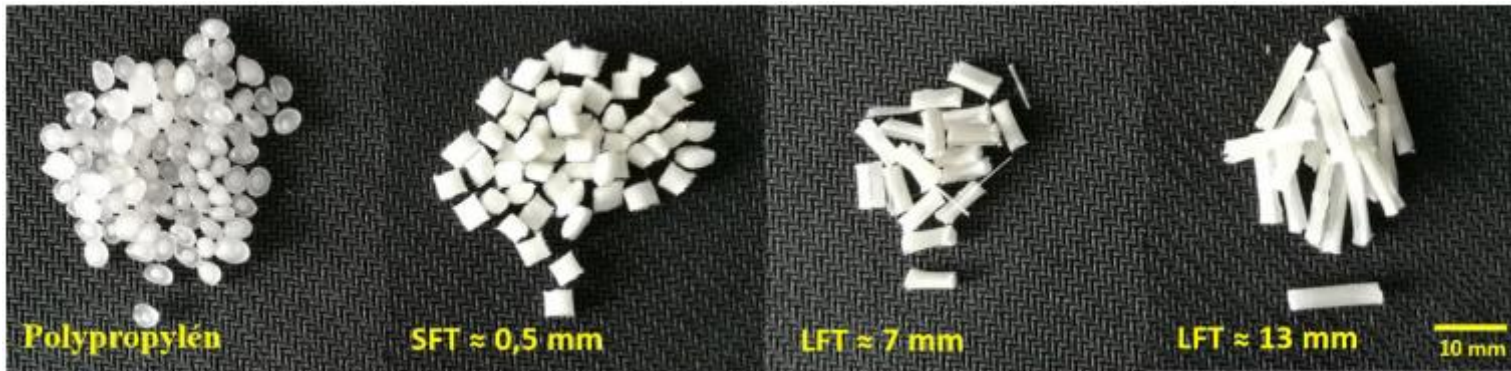
Material	
Material volume [mm <sup>3</sup> ]	1181.58
Defect volume [mm <sup>3</sup> ]	2.04
Defect volume ratio [%]	0.17



# Kompozitné materiály – MTF STU

**Matrica** – polypropylén (PP)

**Plnivo** – sklené vlákna dĺžky 0,5; 7 a 13 mm; objemový podiel 40 %



## Ciel':

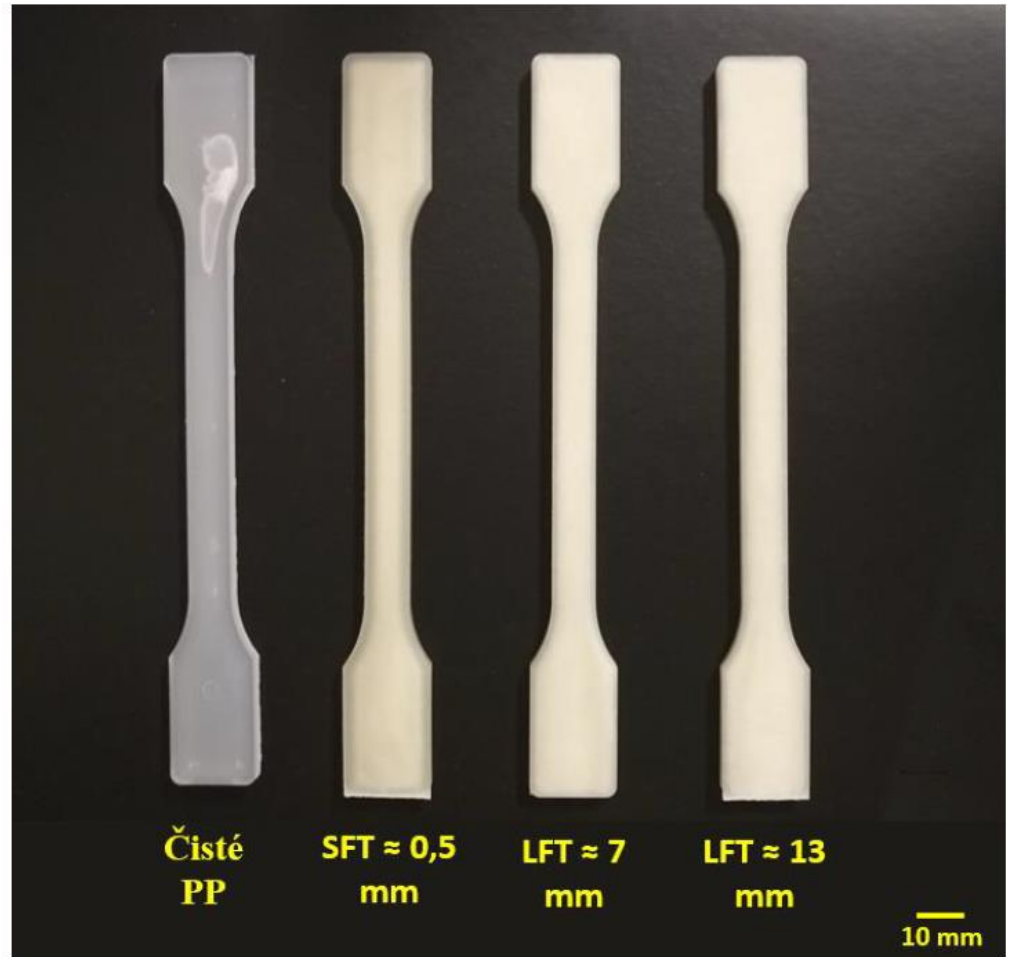
- štúdium štruktúry a vlastností kompozitov
- porovnať mechanické vlastnosti kompozitov s čistým PP
- posúdiť vplyv rôznej dĺžky sklených vlákien na mechanické vlastnosti

# Kompozitné materiály – MTF STU

Forma na ľahové teliesko  
podľa normy STN EN ISO 527-1



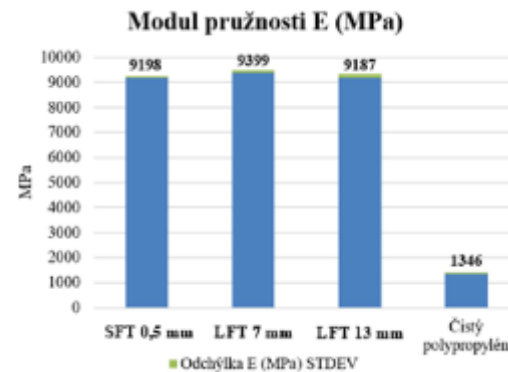
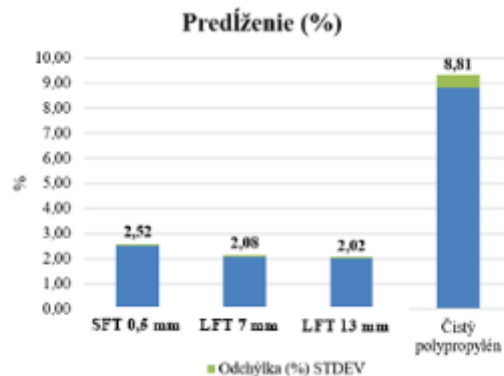
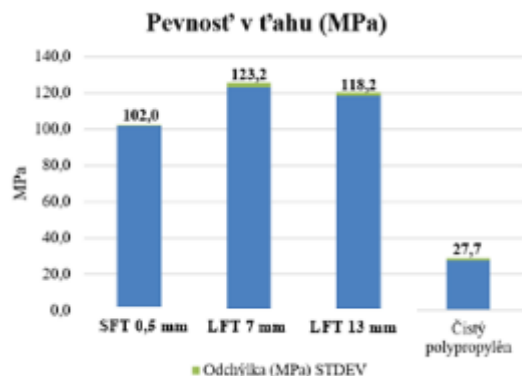
Vstreknuté ľahové telieska



# Kompozitné materiály – MTF STU

## Výsledky zo statickej skúšky ťahom

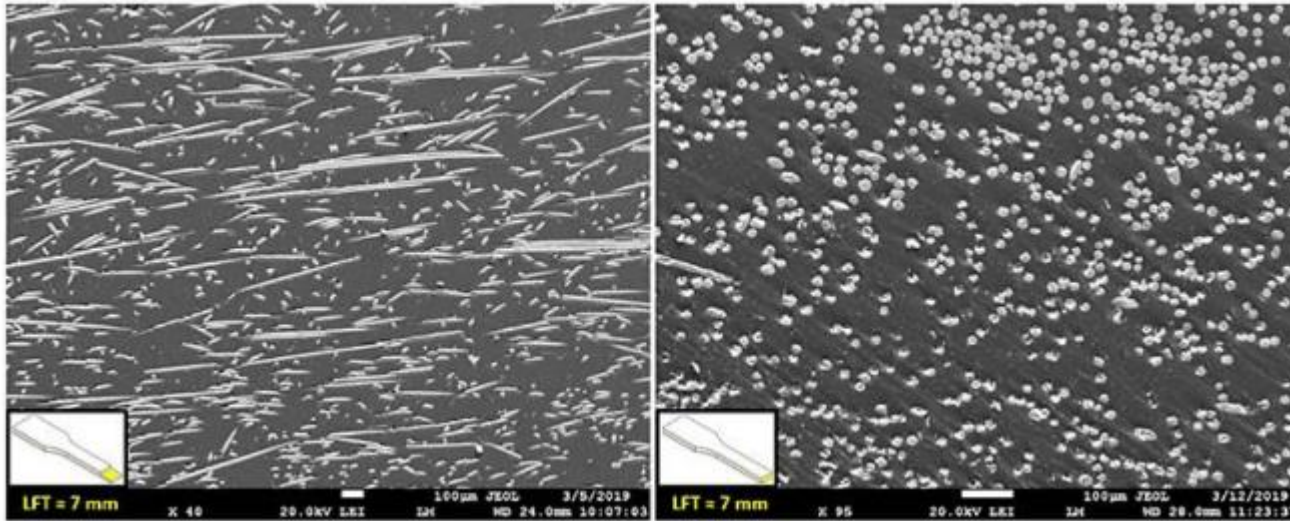
Druh kompozitu	Počiatočná dĺžka vlákna v polotovare [mm]	Obsah skla (%)	Priemerná pevnosť v ťahu (MPa)	Priemerné predĺženie (%)	Priemerný modul pružnosti E (MPa)
SFT 0,5 mm	≈ 0,5	40,5 ± 0,04	102,0 ± 0,55	2,52 ± 0,06	9198 ± 40,21
LFT 7 mm	≈ 7	41,6 ± 0,51	123,2 ± 2,29	2,08 ± 0,07	9399 ± 79,04
LFT 13 mm	≈ 13	41,2 ± 0,18	118,2 ± 2,32	2,02 ± 0,07	9187 ± 156,81
Čistý polypropylén	-	0	27,7 ± 1	8,81 ± 0,52	1346 ± 68,77



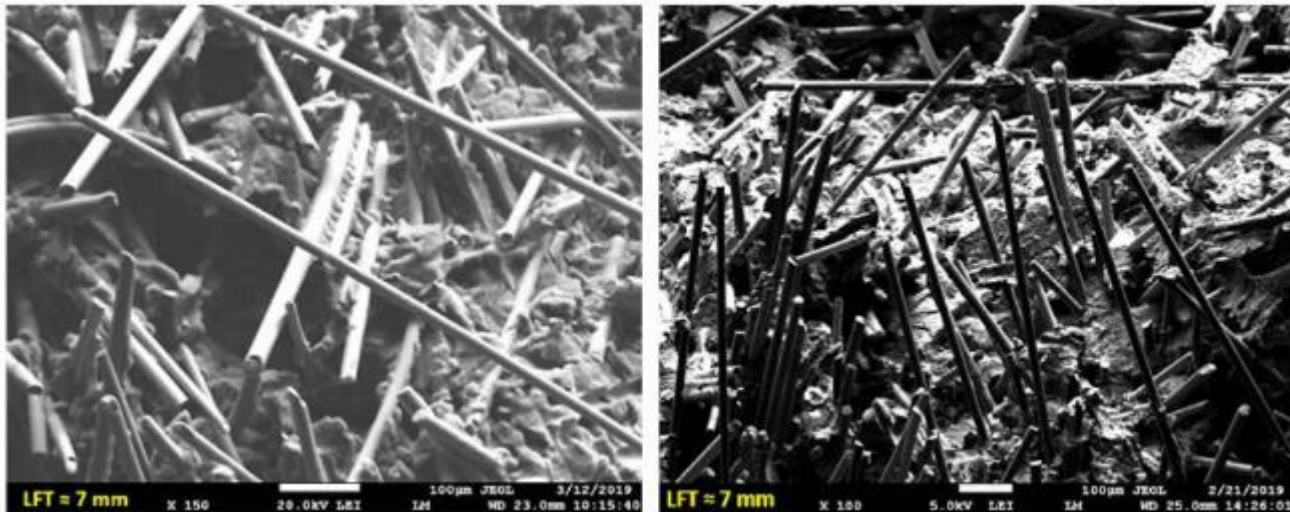


# Kompozitné materiály – MTF STU

SEM – pozdĺžny a priečny rez



SEM – lomová plocha po statickej skúške ťahom



# Kompozitné materiály - príklady

---

CFK



CFK



GFK



PP+GF30

Partan



železobetón



# Kompozitné materiály - príklady

---

## TEGRA-LITE

- **materiál Tegriss®** - 100% PP (*vysokomolekulový PP ako matrica, tkané priadze ako spevňujúca zložka*)
- 2/3 hustoty polykarbonátu



# Kompozitné materiály - príklady

---

## „THE LIGHT ROOM“

- materiál Dyneema (UHMW-PE vlákno), PA/sklené vlákna, uhlík/epoxid, kevlar, hodváb
- hmotnosť celej sady len 7,5 kg
- vyrobené technológiou 3D tlačie (SLS)



# Kompozitné materiály - príklady

---

## „FORNIX SKI-HELMET“

- materiál Kevlar (aramid) + expandovaný polystyren (EPS)
- 5-násobná pevnosť v porovnaní s oceľou



# Kompozitné materiály - príklady

---

## „MOJO UFO TENT“

- materiál **Cuben priadza** (UHMW-PE) + tenké **polyesterové filmy** (PES) + fluoropolymérové membrány
- 15-násobne pevnejší ako oceľ a o 40% pevnejší ako kevlar
- ľahký, nepremokavý kompozit



# Kompozitné materiály - príklady

---

## „LYNX SKI“

- materiál: **SUPER SAP 100/1000** - kombinácia **tkaného ľanového vlákna** a **bioživice** s obsahom PE, spevnené **bambusom**, povrchová úprava **dubová dyha**
- ľahký, vysoká pevnosť



<http://idriskis.com/Lynx.html>

WWW.SKIPASS.COM

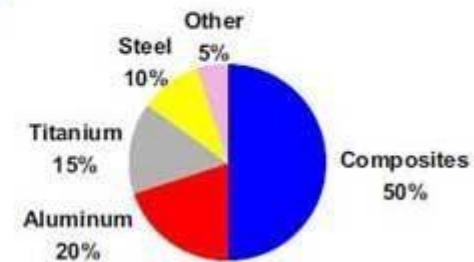
# Kompozitné materiály - príklady

---

## Boeing 787 Dreamliner



- Carbon laminate
- Carbon sandwich
- Fiberglass
- Aluminum
- Aluminum/steel/titanium pylons







SLOVENSKÁ TECHNICKÁ  
UNIVERZITA V BRATISLAVE  
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ  
FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE

**Ďakujem za pozornosť 😊**

libor.duriska@stuba.sk