

# Využití odpadního plastového materiálu na výrobu desek plošných spojů alternativním způsobem

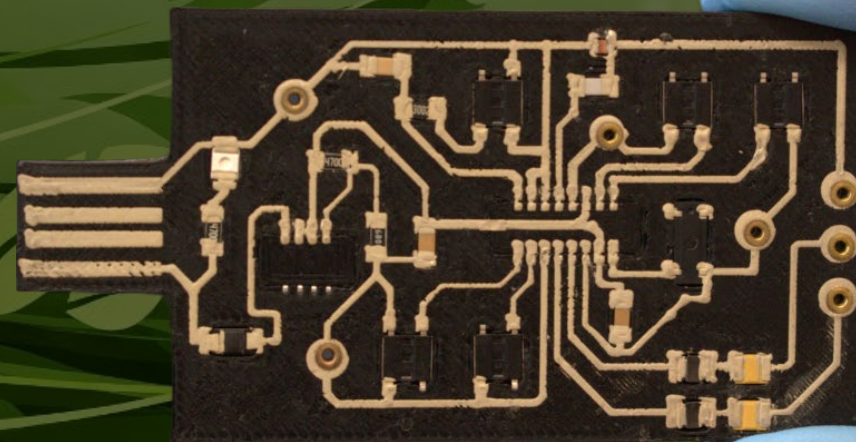
## Projekt SELECT

Ing. Denis Froš, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



# Hlavní motivace výzkumu

- Ročně více než 50 mil. tun elektronického odpadu celosvětově, z toho až 10 % tvoří desky plošných spojů (DPS)
- Problém s toxicitou – DPS obsahují bromované retardéry hoření
- Problém s výrobou DPS – spotřeba vody, chemický odpad, velký dopad na ŽP
- Problém s recyklací DPS – hlavně se získávají kovy, polymerní substrát (epoxid) je prakticky nerecyklovatelný
- **Další možnosti využití plastového odpadu** (3D tisk, nejen pro elektronické aplikace)



# Hlavní myšlenka výzkumu

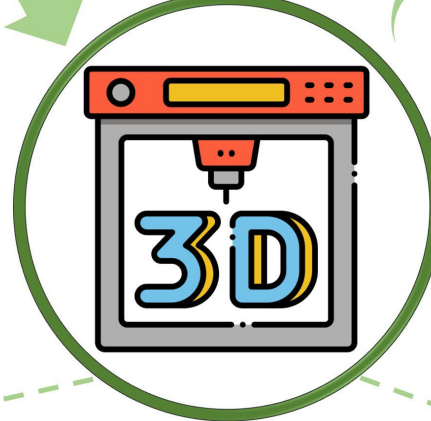
Materiál na výrobu  
gramofon. desek



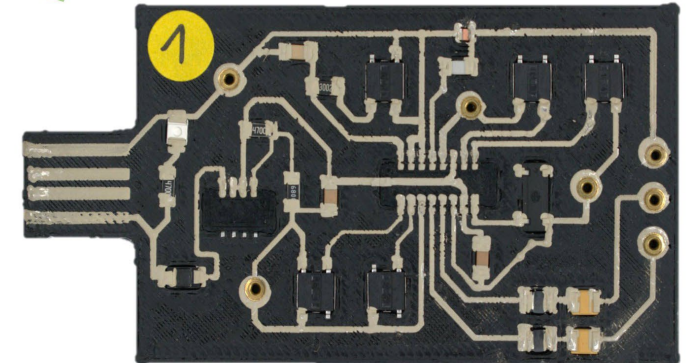
Recyklovaný  
filament



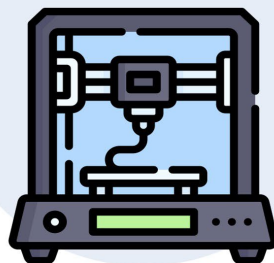
Aditivní  
výroba



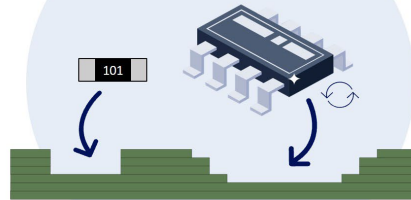
Udržitelná  
elektronika



3D TISK  
SUBSTRÁTU



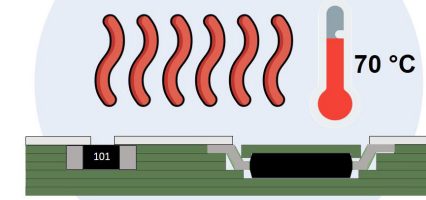
VLOŽENÍ  
SOUČÁSTEK



DEPOZICE  
VODIVÉ VRSTVY



TEPELNÉ  
VYTVRZENÍ



# Využití filamentu pro výrobu DPS

- Kompletní změna výrobního procesu DPS včetně vstupních materiálů pro izolační substrát i vodič
- Cílem bylo **minimalizovat dopad na ŽV během výroby** – spotřeba energie, vody, vznik chemického odpadu
- A dále udělat výrobek zpětně recyklovatelný (součástky, plast, kov)



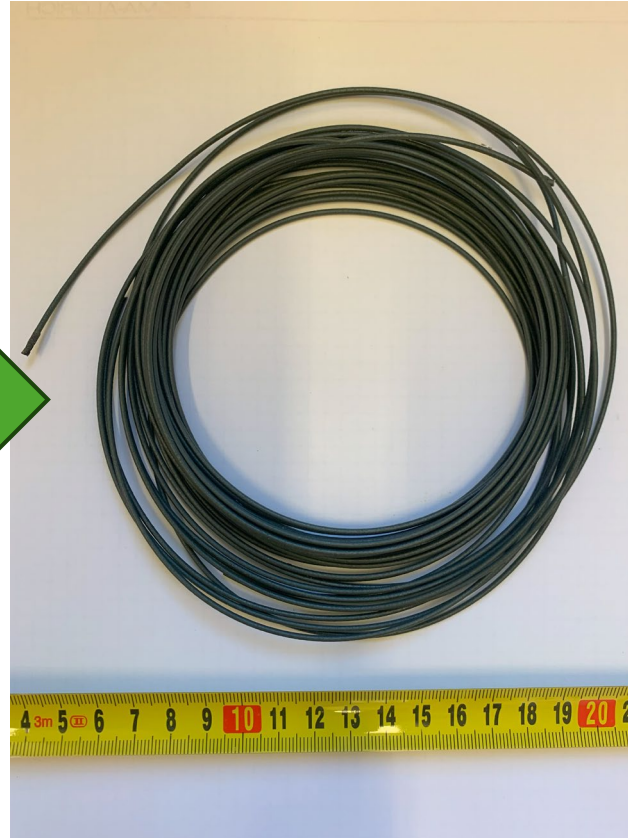
- **Využití 3D tisku recyklovaných filamentů z odpadních plastů v kombinaci s tlustovrstvými technologiemi** pro tvorbu elektricky vodivých motivů propojující součástky ve funkční celek

# Vyrobený filament

- Vyrobeno celkem 6 čistých šarží na bázi PVC/PVAc
- Výroba rovněž směsi z recyklátu a čistého polymeru
- Užitný vzor



Odpadní granulát PVC/PVAc z gramofonových desk

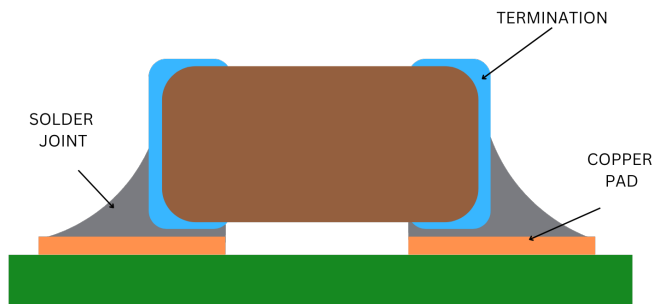
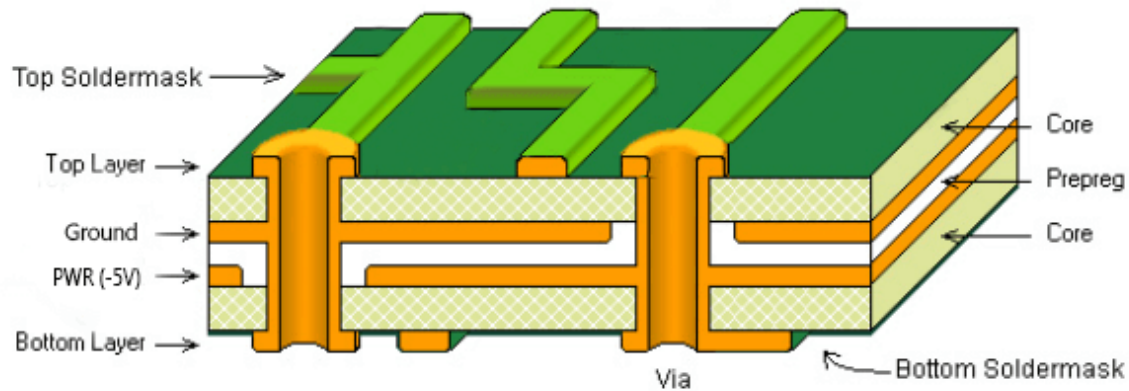


# Výroba filamentu pro 3D tisk

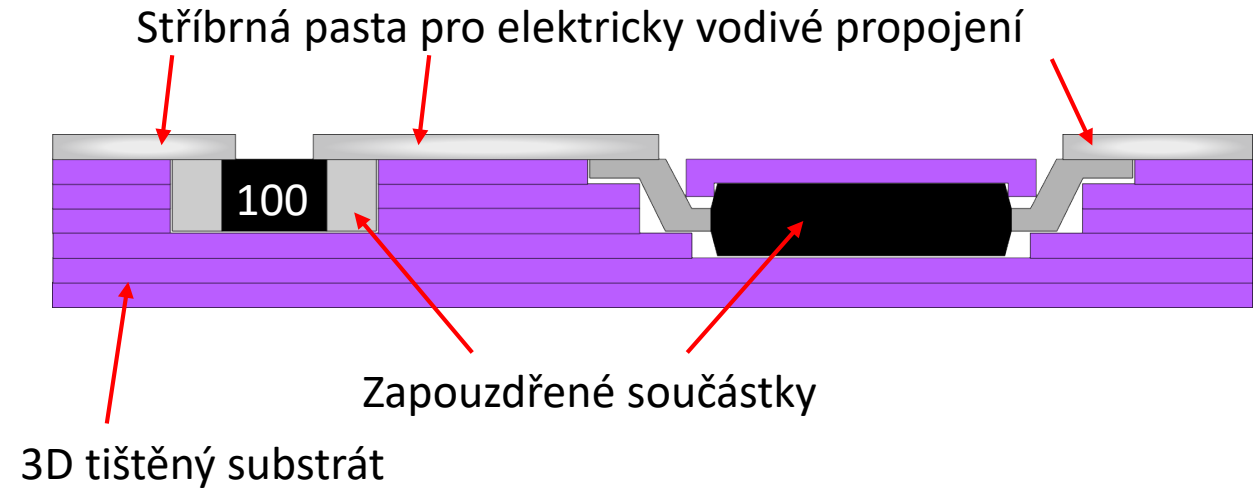
- FDM – Fused Deposition Modeling – technologie 3D tisku extruzí termoplastického vlákna, nejrozšířenější metoda
  - Omezení v přesnosti tisku, závisí na konkrétní tiskárně i použitém materiálu; pro jednodušší elektroniku postačující
- Pro použití v elektronice – podmínka **samozhášivosti** (mechanické, tepelné a elektrické vlastnosti...)
- Aktuální směry výzkumu v rámci projektu
  - PVC/PVAc z odpadu při výrobě vinylových desek

# Alternativní způsob montáže

## KONVENČNÍ DPS

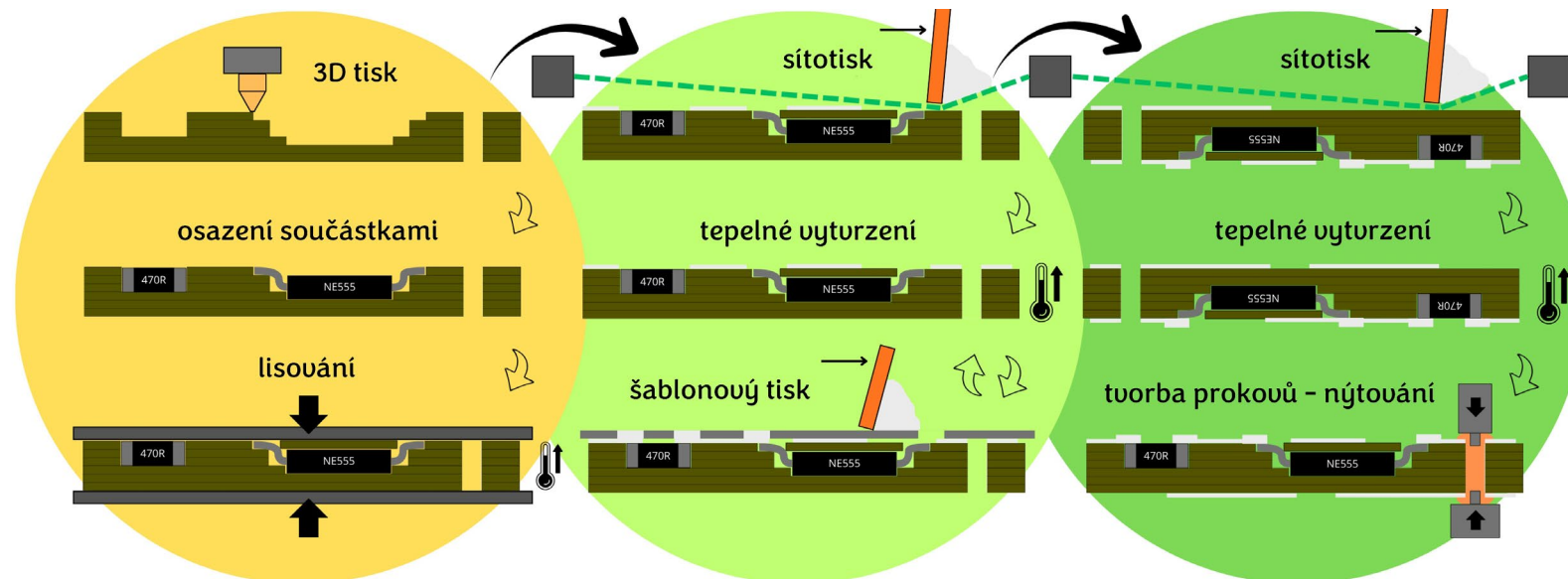


## ALTERNATIVNÍ DPS

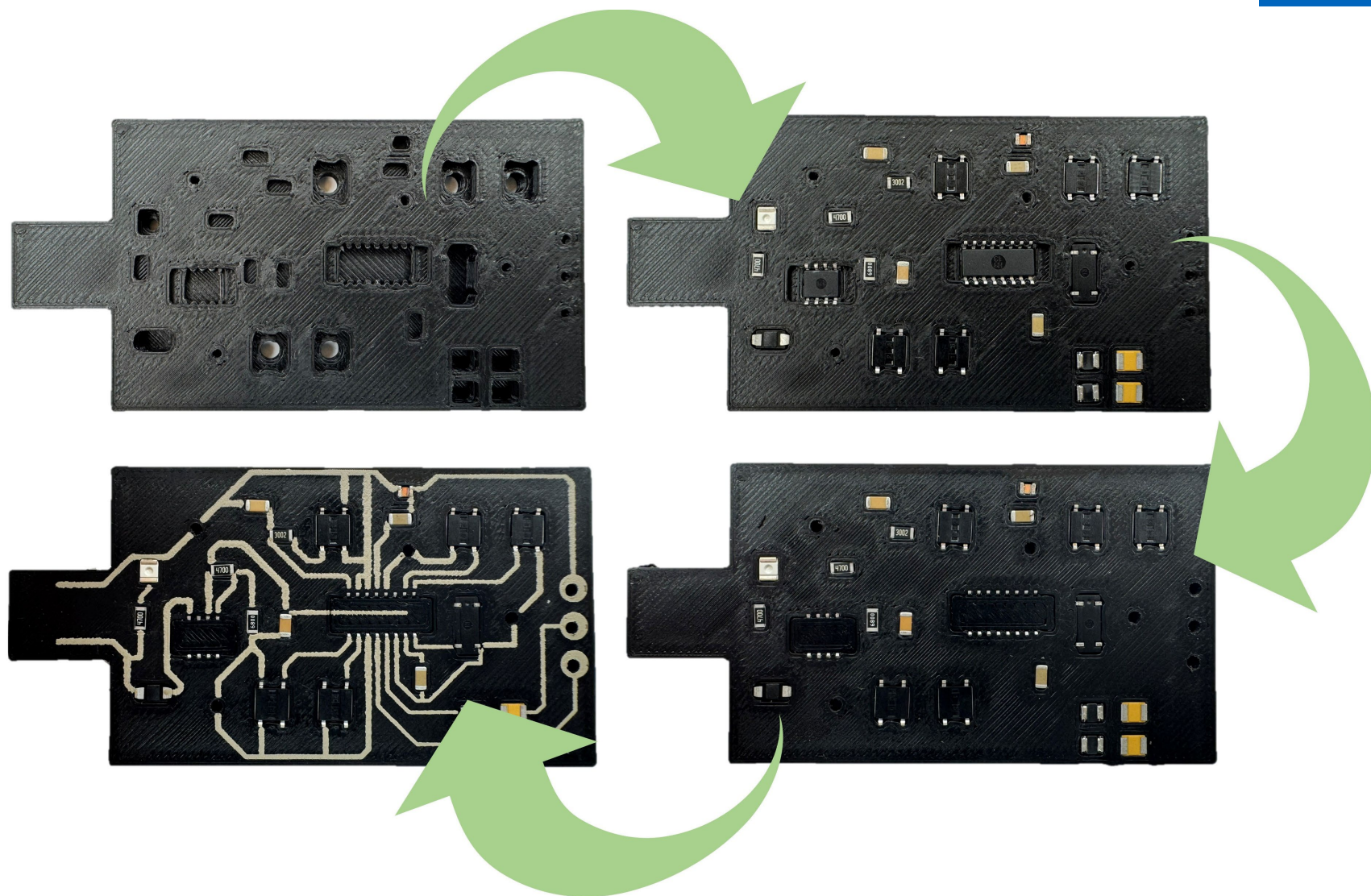


# Alternativní proces výroby

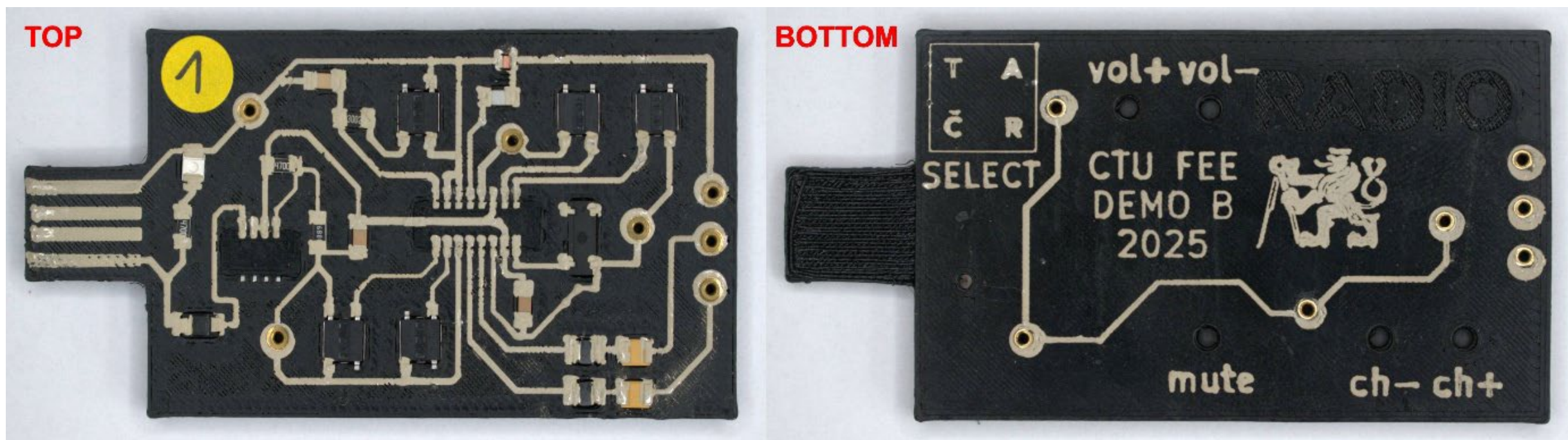
- 3D tisk izolačního substrátu + vložení/zapouzdření elektrických součástek
- Tisk el. vod. pasty pomocí **sítotisku** – vytvoření vodivého motivu + **tepelné vytvrzení**
- Tisk el. vod. pasty pomocí šablonového tisku – vytvoření spojů součástek (a pájené spoje) + tepelné vytvrzení
- Povrchové ochrany pro zvýšení spolehlivosti a stabilizaci vlastností – lakování, zalisování



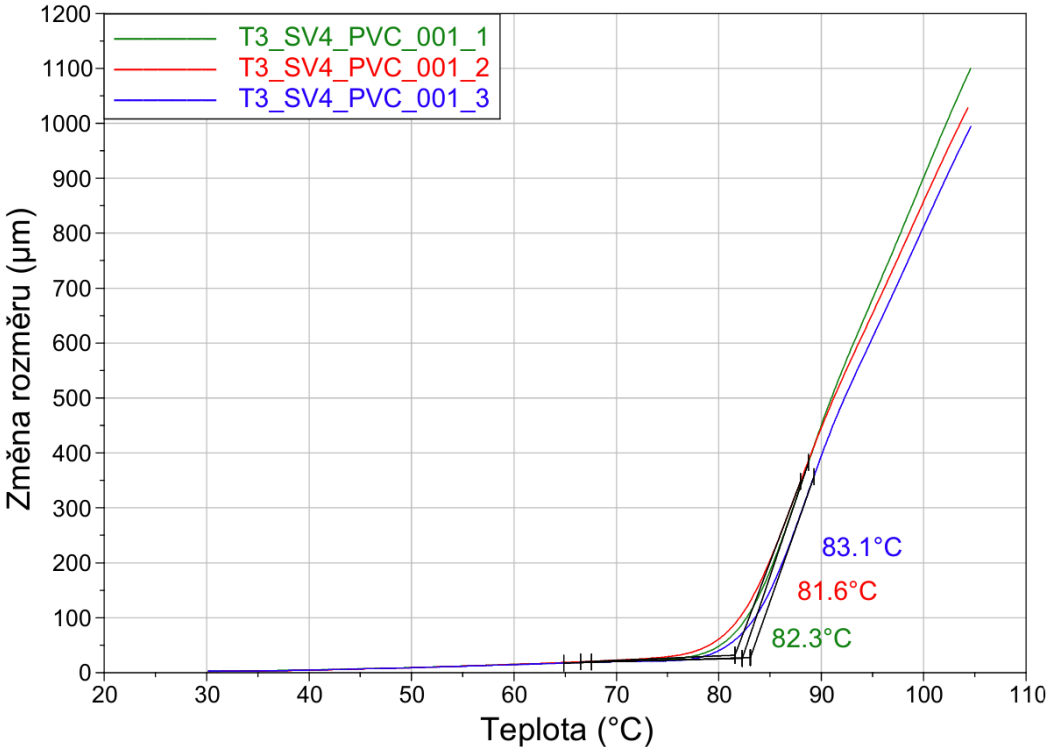
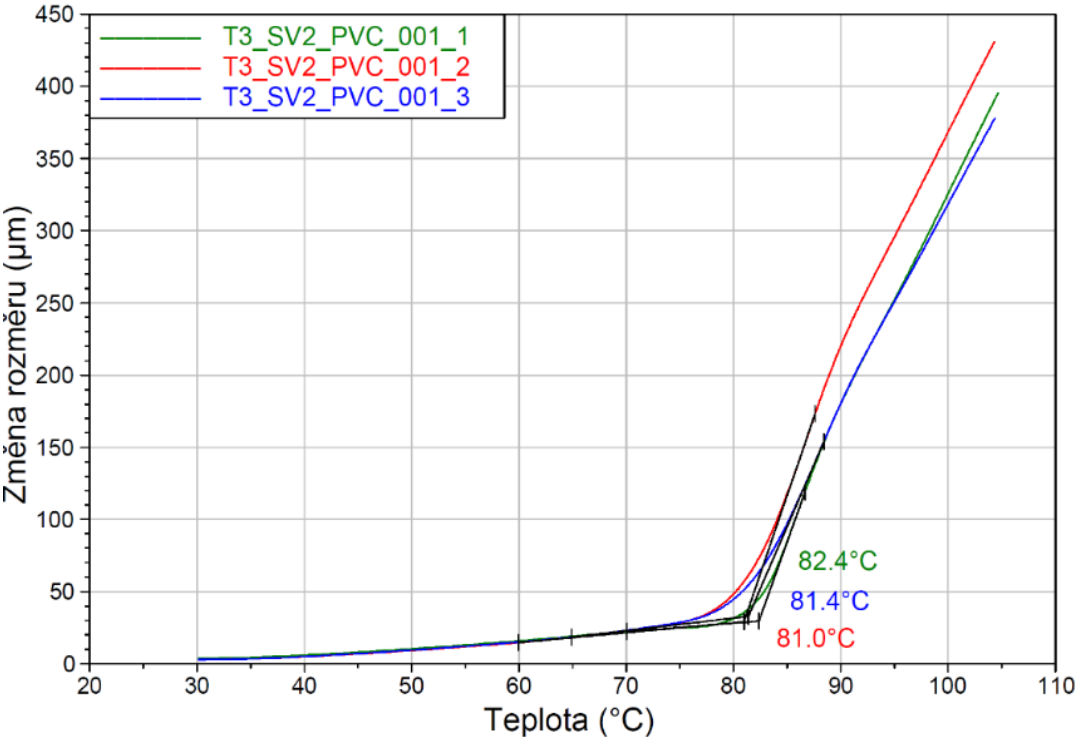
# Alternativní proces výroby



# Alternativní proces výroby - výsledek



# Dosažené výsledky TMA

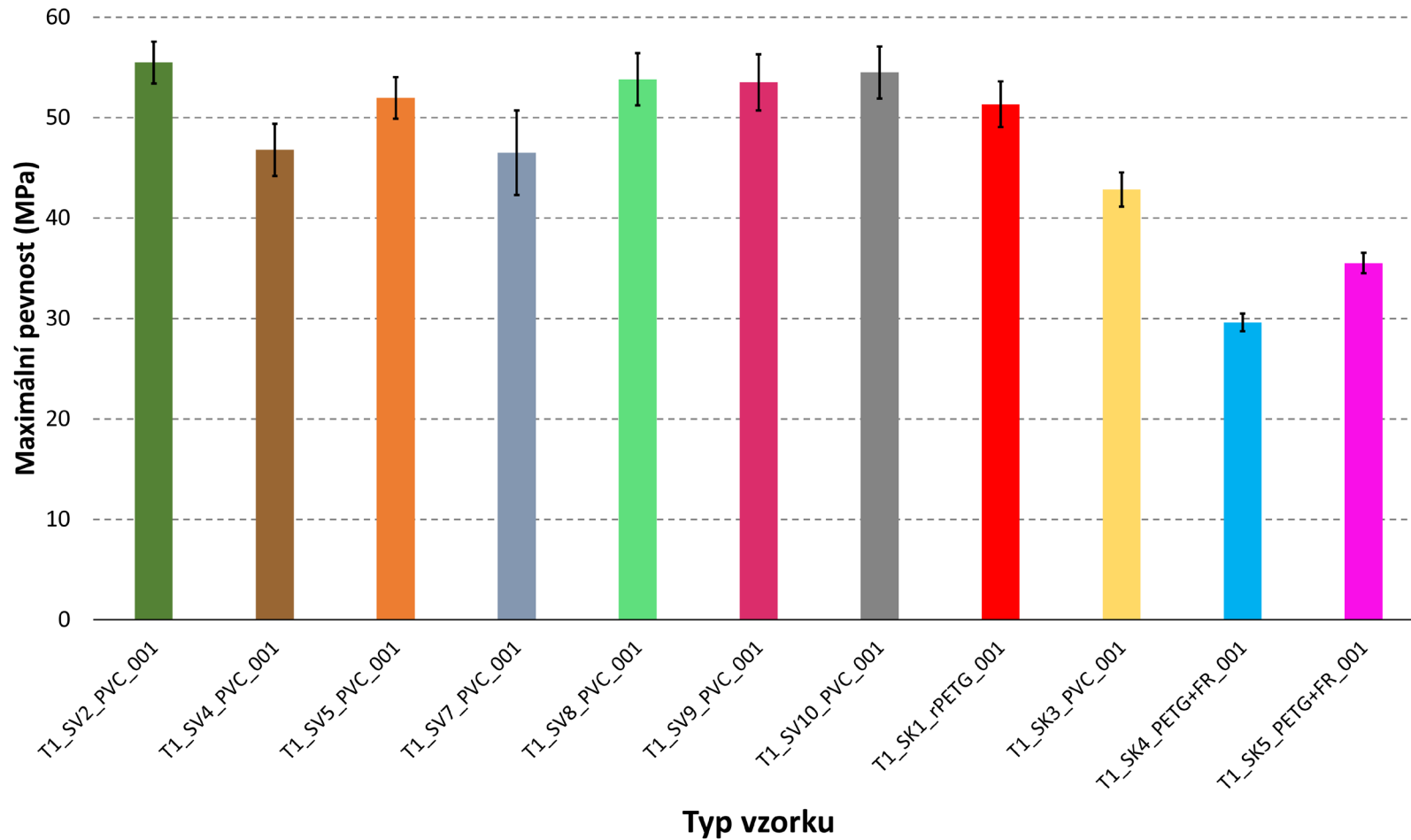


Termomechanické vlastnosti – teplota skelného přechodu 81-82  $^{\circ}\text{C}$

# Dosažené výsledky

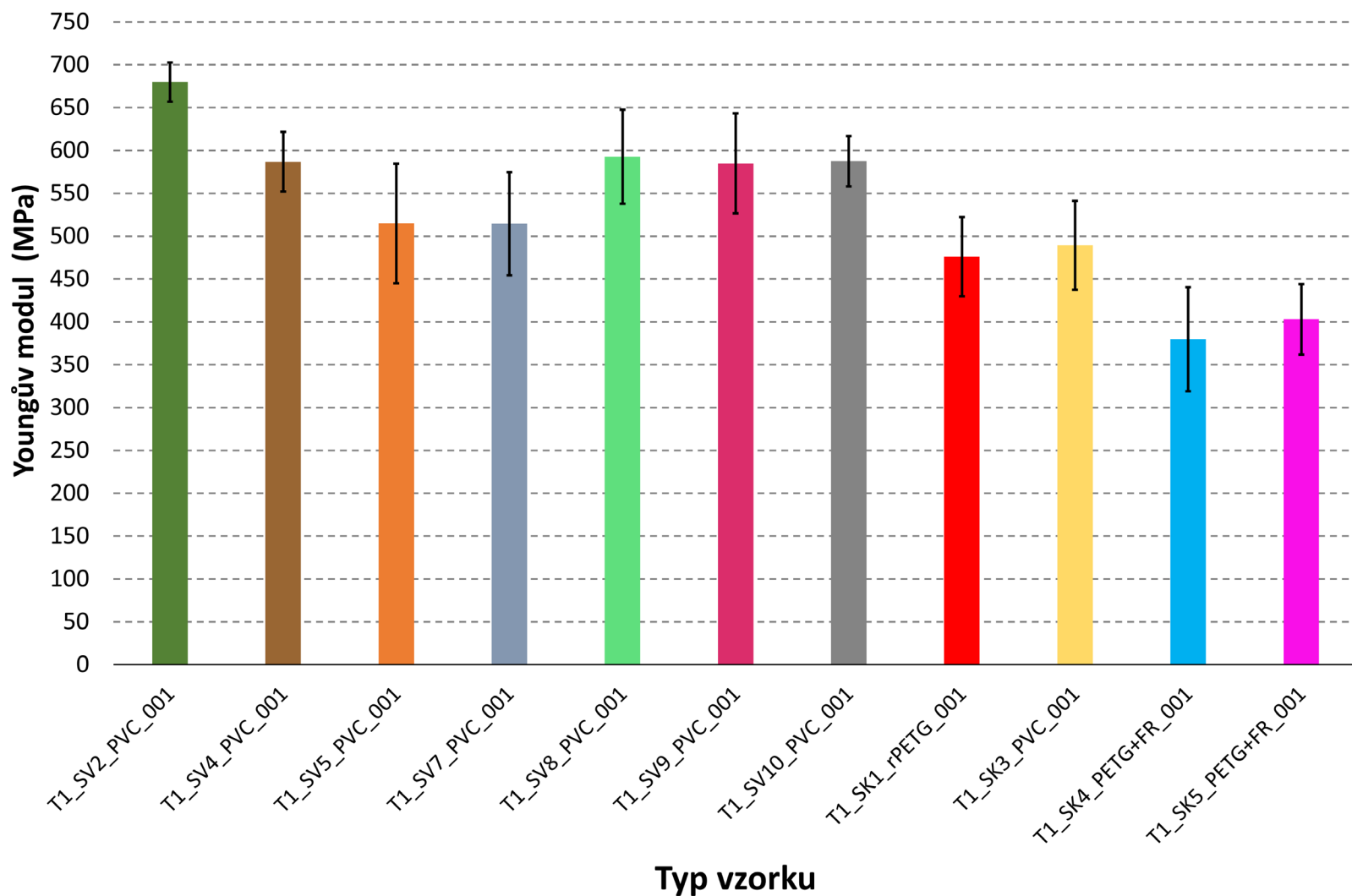
Shrnutí získaných parametrů měření na TMA			
Druh filamentu	Projektové ozn.	$\varnothing T_g$ (°C)	$\varnothing \alpha$ (ppm/K) (@30-70 °C)
Recyklovaný filament PVC/PVAc (druhá šarže)	SV2	81,6 ± 0,7	69,8 ± 4,0
Recyklovaný filament PVC/PVAc (čtvrtá šarže)	SV4	82,3 ± 0,8	65,7 ± 6,1
Recyklovaný filament z PET-G	SK1	85,8 ± 1,4	65,5 ± 4,3
Filament PVC	SK3	87,5 ± 0,5	68,3 ± 5,1
Prusament PETG V0 Jet	SK4	85,8 ± 0,5	61,6 ± 1,3
PETG FRJet self- extinguishing	SK5	83,0 ± 0,4	69,3 ± 1,4

# Dosažené výsledky – mech. vlastnosti



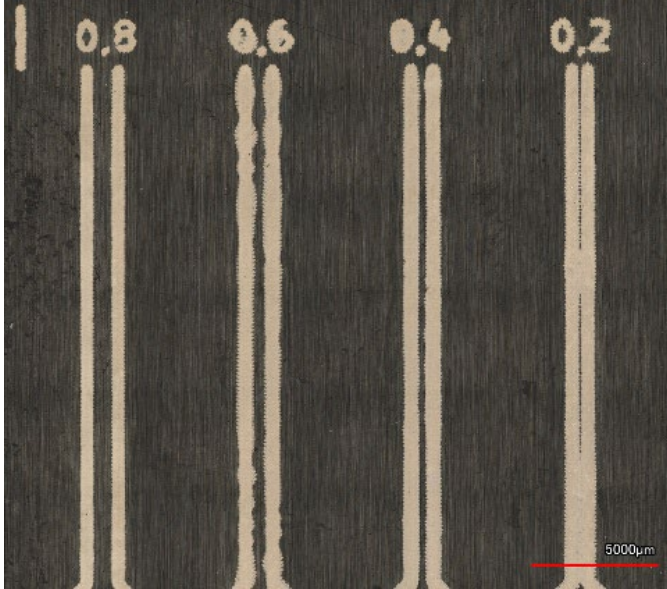
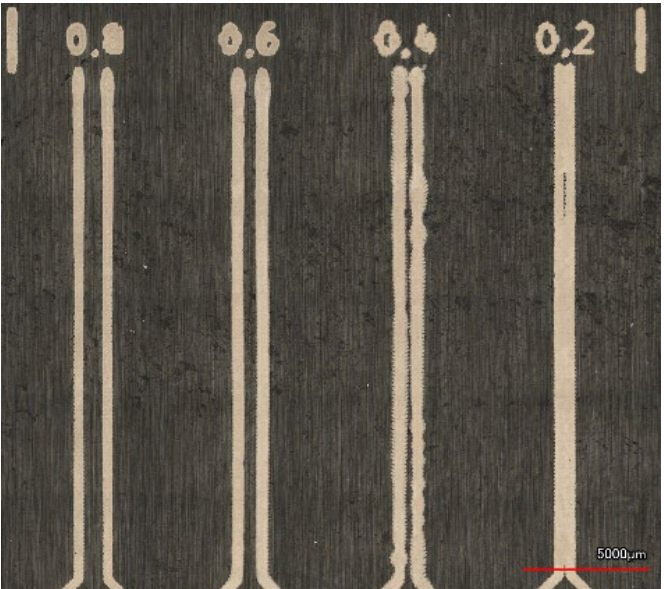
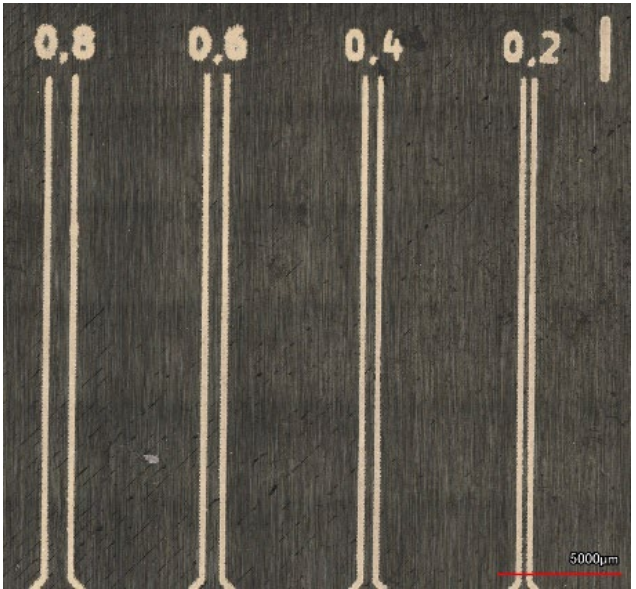
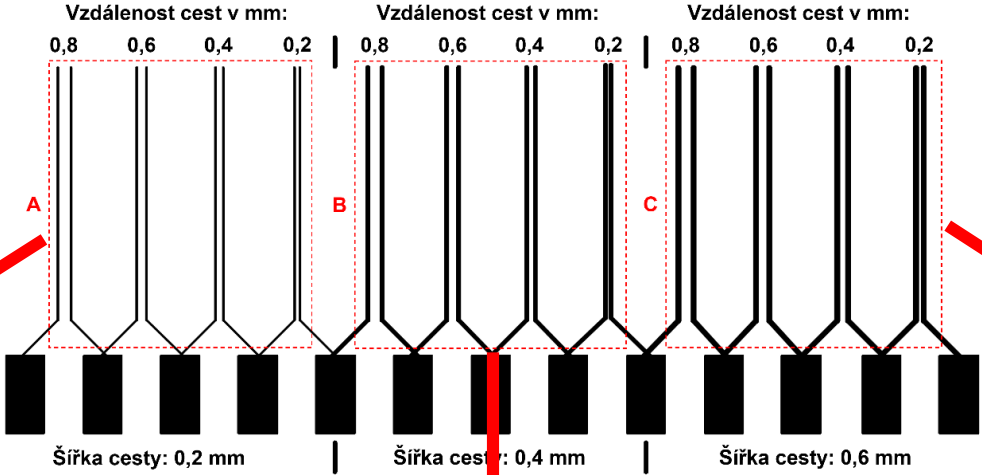
Vzorky dle ČSN EN ISO 527-2:2012, typ 1BA

# Dosažené výsledky – mech. vlastnosti



Vzorky dle ČSN EN ISO 527-2:2012, typ 1BA

# Dosažené výsledky – přesnost tisku



# Dosažené výsledky – srovnání s FR-4



	PVC/PVAc substrát	FR-4 substrát
Teplota skelného přechodu $T_g$ (°C)	71-74	130-180
Mechanická pevnost (MPa)	46-55	63
Youngův modul pružnosti (GPa)	0,2-0,6	22
Objemová rezistivita ( $M\Omega \cdot cm$ )	$4.2 \times 10^{10}$	$2 \times 10^9$
Povrchová rezistivita ( $M\Omega$ )	$1 \times 10^9$	$4 \times 10^6$
Relativní permitivita při 1 MHz (-)	2,7	4,7
Ztrátový činitel při 1 MHz (-)	0,04	0,014
Elektrická pevnost (kV/mm)	22	40
Kategorie samozhášivosti podle to UL 94	V-0	V-0

# Dosažené výsledky – další testované vlastnosti a metody výroby



- Elektrické vlastnosti stříbrných cest vč. závislosti na:
  - Krycí vrstvě
  - Zrychleném testování – vlhkost, tepelné cyklování, veterometr
- Pull-off testy připojených součástek
- Způsoby propojení při oboustranné montáži
- Chemická kompatibilita použitých látek a materiálů

# Vývoj filamentu PVC/PVAc - shrnutí

- Filament lze při vhodném nastavení extruzního zařízení vyrábět **přímo z dodaného granulátu**
- Filament je „**přirozeně**“ **nehořlavý** a vhodný pro elektronické aplikace bez nutnosti přidavku dalších látek - retardantů
- Výsledný filament je relativně **dobře tisknutelný** – dobrá adheze k podložce (PEI), dobrá adheze vrstev, dobrý povrch pro další využití pro substráty DPS
- Tištěná tělesa mají obdobné mechanické vlastnosti jako komerční filamenty či lepší
- Všechny šarže vykazovaly podobné vlastnosti – dobrá reprodukovatelnost
- **Potenciál ke komerčnímu využití** – „eko“ alternativa např. k PETG-FR filamentu od Prusa Research

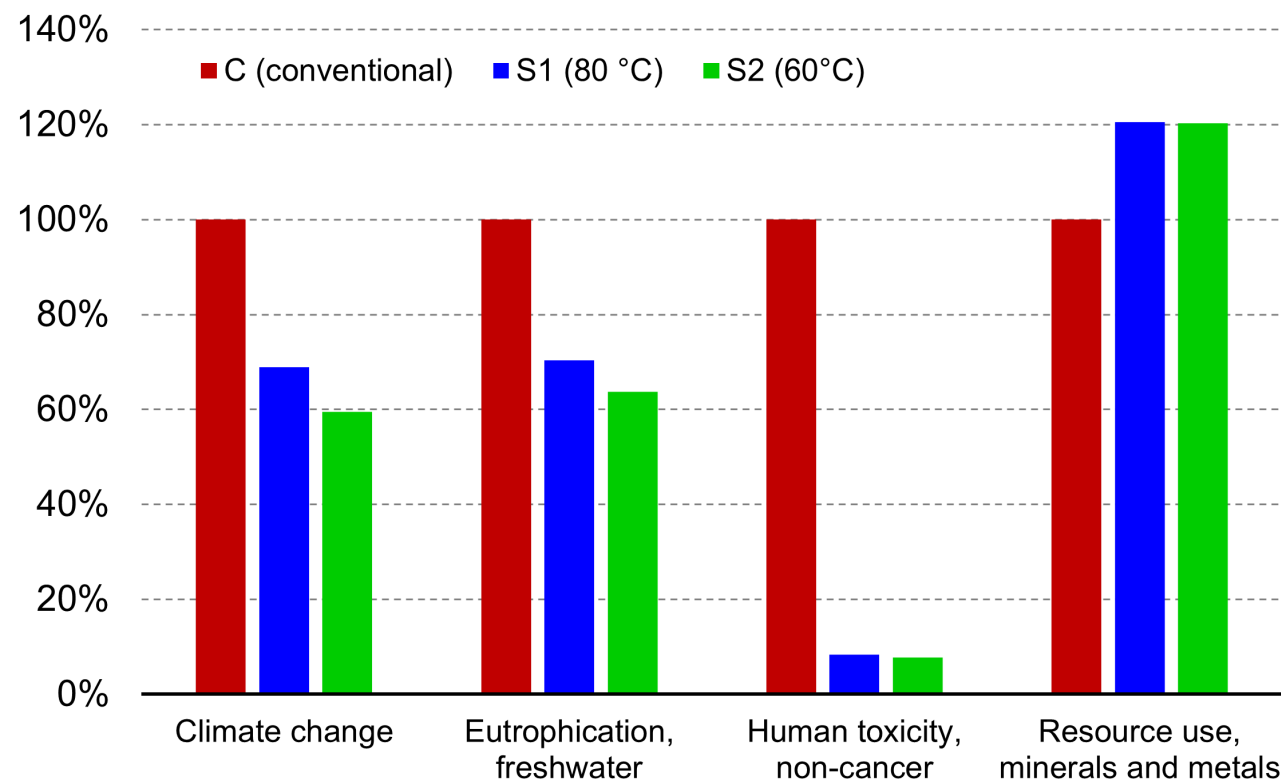
# Vývoj alternativní technologie výroby DPS - shrnutí



- Využíváme kombinaci stávajících a relativně levných technologií pro jednodušší implementaci
- Konvenční laminát je nahrazen 3D tištěným substrátem – nižší mechanická odolnost a tuhost termoplastu je kompenzována zapuštěním/zapouzdřením součástek a větší celkovou tloušťkou substrátu
- Měděná fólie je nahrazena stříbrnou pastou – dražší, ale je nanášena aditivně s menšími ztrátami
- Eliminace procesu pájení
- Omezená přesnost výroby (3D tisk, sítotisk na „hrubý“ povrch) – zatím pro jednodušší, komerční elektroniku
- Jedná se o tištěnou elektroniku = flexibilita návrhu
- Možnost zpětné recyklace (součástky, stříbro, polymer)
- Možnost dvouvrstvých DPS, potenciálně i vícevrstvých DPS (nutný další vývoj)

# Vývoj alternativní technologie výroby DPS - shrnutí

- **Výrazně snížený dopad výroby na ŽP** – menší spotřeba el. energie a materiálů, žádná spotřeba vody a dalších chemikálií



# Děkuji za Vaši pozornost

Stránky projektu:

<https://technology.fel.cvut.cz/vyzkum/cim-se-zabyvame/select/>

**Ing. Denis Froš, Ph.D. – frosdeni@fel.cvut.cz**

Prezentovaný výzkum byl finančně podpořen projektem **SELECT – Udržitelná elektronická montáž s využitím plastového odpadu (SS07020107)** v rámci programu Prostředí pro život



**VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE**

