

Doporučení pro tisk Filament PM TPU 96

TPU 96 je špičkový flexibilní filament (termoplastický polyuretan) s reálnou tvrdostí 88 Shore A. Označení „96“ v názvu pochází z výrobního značení vstupního materiálu, naměřená tvrdost vytištěného objektu podle ISO 48-4:2019 je 88A. Materiál nabízí vynikající odolnost proti roztržení (100 N/mm), vysokou pružnost (prodloužení před přetržením 500 %), teplotu měknutí 128 °C a skvělou mechanickou odolnost. Používá se pro funkční pružné díly v B2B i průmyslových aplikacích – dorazy, těsnění, pružné spojky, ochranné kryty, silentbloky, tlumicí prvky, gripy a ergonomické komponenty.

Co od tohoto profilu čekat – a co ne

Tisk flexibilních materiálů je výrazně specifický oproti běžným filamentům. Tento profil je výchozí bod pro spolehlivou výrobu pružných technických dílů, ale samotný materiál i technologie tisku přinášejí specifické nároky.

Není to univerzální profil pro všechny geometrie – flexibilní povaha materiálu znamená problémy s vysokými tenkými stěnami, dlouhými mosty a komplexními převisy. U každého dílu je potřeba zvážit, zda je pro TPU 96 vhodný, a případně upravit nastavení.

Čekejte od tohoto profilu: extrémně odolné, pružné a houževnaté díly s výbornou soudržností vrstev (100 N/mm odolnost proti roztržení, 500 % prodloužení), tepelná odolnost do 128 °C a chemická odolnost.

Nečekejte: rychlosti tisku srovnatelné s PLA, PETG nebo ABS. TPU vyžaduje výrazně pomalejší a kontrolovaný tisk, zejména u složitějších geometrií. Krátká ložka se klidně tiskne hodinu, větší funkční díl několik hodin.

⚠ Zlatá pravidla pro úspěšný tisk TPU 96 ⚠

Než pustíte první tisk, projděte si tato pravidla. Jejich dodržení rozhoduje o tom, zda dostanete funkční pružný díl, nebo namotaný filament pod podávacím kolečkem extruderu.

1. Mechanika extruderu je klíčová (zejména Prusa Nextruder)

Zatímco Bambu Lab extrudery mají pevně daný přítlak a krátkou dráhu filamentu, u tiskáren Prusa s Nextruderem (CORE ONE, XL, MK4S) je správné nastavení přítlaku idleru naprosto kritické. Příliš velký přítlak měkké TPU zploští a zasekne ještě před heatbreakem. Příliš povolený přítlak vede k prokluzu kolečka a žvýkání filamentu, což vytvoří zdeformovaný úsek, který se zasekne pod kolečkem.

Postup: U PRUSA 3D tiskárny povolte přítlačný šroub idleru **max o 1 otáčku z neutrální pozice**. Cílem je lehký, ale jistý grip kolečka. Více povolení = prokluz, méně = stlačení a zasekání. U Bambu Lab není mechanická úprava potřeba.

2. Retrakce konzervativní – krátká, ale rychlá

Dlouhé retrakce u flexibilních materiálů znamenají jisté motání nad kolečkem – změkčený filament se vytáhne příliš vysoko do chladné zóny. Stejně problematická je ale i pomalá retrakce: elastický TPU se při ní natáhne a po deretrakci nepředvídatelně poskočí zpět.

Postup: Vzdálenost retrakce udržujte **0,5–0,8 mm** (nebo ji pro první kalibrační tisky úplně vypněte – vyřešíte strunování ručně). Rychlost retrakce **30–35 mm/s**. Pomalá retrakce ≤20 mm/s je u flexu kontraproduktivní.

3. Snížit akcelerace (zejména Nextruder)

Default Generic Flex profil v PrusaSliceru má pro Core One nastavené akcelerace odvozené od PETG/PLA – až 6000 mm/s² pro výplň. Pro Nextruder s 88A filamentem to znamená velké tlakové špičky při změně směru, které vedou k buckling měkkého filamentu pod podávacím kolečkem.

Postup: V profilu tiskárny snižte akcelerace na: výchozí **1000 mm/s²**, vnější perimetry **500 mm/s²**, perimetry **800 mm/s²**, výplň **1500 mm/s²**, plná výplň **1000 mm/s²**, mosty **500 mm/s²**. U Bambu Lab default profil flexu je nastaven konzervativněji a obvykle stačí.

4. Otevřít horní víko Core One – proti heat creep

Heat creep je u Nextruderu dokumentovaný problém: pokud se chamber Core One zahřeje nad ~40 °C, filament měkne nad zónou tavení, vzniká odpor v hotendu a pod kolečkem opět dochází k buckling. Klasický příznak – tisk jede dobře 10–30 minut, pak se zacpe.

Postup: Při tisku TPU 96 **otevřete horní víko Core One**. Pro flex není uzavřená komora potřebná (na rozdíl od ASA, PC), naopak jí škodí. U Bambu Lab P1S má smysl tisknout naopak se zavřenou komorou s ohledem na vyšší celkovou teplotu trysky.

5. Pomalá rychlost tisku a volumetrický limit

TPU se musí tisknout pomalu a plynule. Maximální objemová rychlost je hlavní brzda – překročení vede k podtékání a cvakání extruderu, protože tavenina nestihne projít tryskou.

Postup: Doporučená objemová rychlost **2,0 mm³/s**. Rychlosti tisku: vnější perimetry **20 mm/s**, vnitřní perimetry **25 mm/s**, výplň **30 mm/s**. Cestovní rychlost max **100 mm/s** (rychlejší přejezdy hází filamentem).

6. Sušení filamentu před každým tiskem

TPU je extrémně hygroskopický a vlhkost zhoršuje extruzi i mechanické vlastnosti. Vlhký TPU při tisku praská, vytváří bublinky na povrchu a má znatelně sníženou pevnost vrstev. Suchý filament je předpoklad spolehlivého tisku.

Postup: Před každým tiskem TPU sušte **50–55 °C po dobu 6–8 hodin**. Pozor – nepřekračujte 55 °C, TPU se začne lepit na cívce. Tisk přímo ze sušičky během tisku je optimální. Skladujte v uzavřené nádobě s desikantem.

7. Násobič extruze 1.08 (kompenzace stlačení)

U Nextruderu i při lehkém přítlaku podávací kolečka měkký TPU mírně zploští a zmenší jeho efektivní průřez. Důsledek je, že do hotendu se dostává méně plastu než profil počítá, což vede k podtékání.

Postup: V PrusaSliceru zvyšte **Násobič extruze (Flow ratio) na 1.08** pro Core One. U Bambu Lab P1S ponechte standardní hodnotu 1.00.

Pro jaké tiskárny je profil odladěný

Profil máme odladěný pro dvě platformy. Obě dávají spolehlivé výsledky, ale liší se náročností na nastavení.

Systém 1: Bambu Lab P1S / P1P (Bambu Extruder)

Volba pro stabilní a bezproblémový tisk flexibilních materiálů „out of the box“. Krátká dráha filamentu a fixní přítlak Bambu extruderu si s 88A poradí bez nutnosti mechanických úprav.

- **Výhody:** fixní přítlak, krátká dráha filamentu, automatická kalibrace dynamiky umožňuje zachovat Flow ratio na standardní hodnotě 1.00.

- **Tryska:** 0,4 mm standardní mosazná. TPU 96 není abrazivní, hardened není potřeba.
- **Filament:** doporučujeme zavádět z externího držáku mimo AMS. Bambu sice prodává „TPU for AMS“, ale naše TPU 96 do AMS nepatří – je příliš měkké.
- **Omezení:** nutnost dodržet volumetrický limit 3,0 mm³/s, jinak začne extruder přeskokovat.
- **Podložka:** texturovaný PEI plát. Adhezi má TPU dobrou.

Systém 2: Prusa CORE ONE (Nextruder)

Volba pro přesné technické díly s prioritou rozměrové přesnosti. Vyžaduje specifický setup před každým tiskem flexu, ale po vyladění dává vynikající výsledky.

- **Výhody:** vynikající extruze pro detailní díly, vysoká rozměrová přesnost po správném vyladění.
- **Nutné mechanické úpravy:** povolit idler max o 1 otáčku z neutrálu, ne víc – hrozí prokluz.
- **Nutné softwarové úpravy:** Násobič extruze na 1.08 (kompenzace stlačení), snížené akcelerace (default 6000 → 1500 mm/s² výplň), retrakce 0,5–0,8 mm při rychlosti 30–35 mm/s, otevřít horní víko (proti heat creep).
- **Tryska:** 0,4 mm standardní mosazná, případně 0,6 mm pro větší pružné díly s rychlejším tiskem.
- **Filament:** vést přímo vrchem extruderu, bez ohybů. Cívka volně visící nad strojem.
- **Podložka:** satin nebo texturovaný plát. Adhezi má TPU dobrou.

Klíčové parametry tisku

Tabulka shrnuje základní parametry pro oba profily. Hodnoty vycházejí z technického listu výrobce a praktických testů. Specifické rychlosti a akcelerace najdete přímo ve staženém profilu.

Parametr	Hodnota
Teplota trysky	230–250 °C (start 245 °C)
Teplota podložky	40–60 °C (start 50 °C)
Sušení filamentu	50–55 °C / 6–8 h
Tryska	0,4 mm standardní mosazná
Podložka	Satin / texturovaný PEI
Adhezivum	není potřeba
Rychlost vnějšího perimetru	20 mm/s
Rychlost vnitřních perimetrů	25 mm/s
Rychlost výplně	30 mm/s
Cestovní rychlost	max 100 mm/s
Max. objemová rychlost	2,0 – 3,0 mm ³ /s
Retrakce – vzdálenost	0,5–0,8 mm
Retrakce – rychlost	30–35 mm/s
Idler (Nextruder) Core One	1 otáčka povoleno z neutrálu
Filament v AMS	ne – externí držák

Každý díl si zaslouží drobné doladění

Profil je spolehlivý odrazový bod, ale geometrie diktuje finální nastavení. Nejčastější drobné úpravy:

- **Vysoké a tenké díly:** flexibilní materiál uhne trysce. Snižte rychlost, zvýšte chlazení a zvažte přidání brimu pro stabilitu.
- **Převisy a mosty:** TPU se přes mezeru tiskne špatně, nedrží tvar. Vyhněte se dlouhým mostům, navrhujte modely s ohledem na podporu.
- **Těsnění a přesné rozměry:** vytiskněte kalibrační vzorek, změřte posuvným měřítkem a upravte shrinkage compensation. TPU má vyšší smrštivost než rigidní materiály.
- **Tlumičí prvky a silentbloky:** zvažte snížení infill na 30–50 % gyroid pro lepší tlumení vibrací. Plná výplň zbytečně přidává hmotnost a tuhost.
- **První tisk série:** vždy vytiskněte testovací kus a ověřte funkčnost (rozměry, ohyb, životnost), teprve potom spouštějte produkční sérii.

Shrnutí

TPU 96 od Filament PM je vynikající flexibilní materiál pro funkční díly. Není filament „jako každý jiný“ – vyžaduje specifický setup, hlavně na Nexttruderu. Při dodržení následujících zásad získáte spolehlivé pružné výtisky:

- **Idler 1 otáčku povoleno** (Nexttruder) – ne víc, hrozí prokluz.
- **Akcelerace na 1500 mm/s² výplň** (Core One) – default Generic Flex je příliš agresivní.
- **Otevřené horní víko Core One** – proti heat creep.
- **Retrakce 0,5–0,8 mm při rychlosti 30–35 mm/s** – krátká, ale rychlá. Pomalá retrakce je horší než žádná.
- **Sušení 50–55 °C / 6–8 h** – TPU je hygroskopický.
- **Násobič extruze 1.08 na PRUSA** – kompenzace stlačení profilu pod kolečkem.
- **Volumetrický limit 2–3 mm³/s** – nezvyšovat, vede k podtékání.

S našimi profily a dodržením těchto zásad dostanete z TPU 96 funkční pružné díly – ideální pro průmyslové aplikace, prototypy a malé série.

Jeden poslední tip: každý profil je živý dokument. Pokud máte zkušenosti s konkrétními typy dílů nebo najdete lepší kombinaci parametrů pro vaši aplikaci, dejte nám vědět. Rádi profily vylepšujeme.