

# Mechanické chování krátkovláknových vstřikovaných termoplastů

Veronika Hrošíková

---

Bakalářská práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Veronika Hrošíková
Osobní číslo:	T21673
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Mechanické chování krátkovláknových vstřikovaných termoplastů

## Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární rešerše v dané oblasti
2. Zhotovení zkušebních těles na vstřikovacím stroji
3. Provedení experimentálních mechanických zkoušek v tahu
4. Vyhodnocení výsledků s ohledem na praktické aplikace

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier/WA, 2013, 1 online zdroj (xxvii, 1044 pages). PDL handbook series. ISBN 9781455730353. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpTTCE0001>

KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser, ©2007., 1 online zdroj (xx, 423 pages). ISBN 9781613442968. Dostupné také z: [https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDE0007/injection\\_mold\\_design\\_engineering](https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDE0007/injection_mold_design_engineering)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 2. března 2023

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá mechanickým chováním krátkovláknových vstřikovaných termoplastů. Bylo vybráno pět materiálů ze skupiny termoplastů s obchodním názvem Grivory s krátkým nebo dlouhým vláknem. Materiály se odlišují procentuálním zastoupením a druhem vyztužujících vláken. Z vybraných materiálů bylo metodou vstřikování vyrobeno několik polotovarů ve tvaru destiček, ze kterých se následně vyřezávala metodou vodního paprsku nebo frézováním zkušební tělíska ve třech směrech vůči toku taveniny do dutiny formy (v podélném, příčném nebo pod úhlem 45°). Byla provedena statická tahová zkouška pro všechny druhy materiálu a směry vyhotovených tělísek. Dle získaných hodnot lze určit materiál s nejlepšími mechanickými vlastnostmi (nejvyšší pevnost v tahu  $\sigma_{Mt}$ , modul pružnosti v tahu E a poměrné prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$ ) z vybraných typů.

Klíčová slova: mechanické vlastnosti, termoplast, krátké vlákno, dlouhé vlákno

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the mechanical behaviour of short-fibre injection moulded thermoplastics. Five materials were selected from a category of thermoplastics with the trade name Grivory with short-fiber or long-fiber. The materials differ in percentage and type of reinforcing fibres. Several wafer-shaped blanks were made from the selected materials by injection moulding, from which test bodies were subsequently cut out by water jet or milling in three directions relative to the melt flow into the mould cavity (longitudinal, transverse or 45°). Static tensile tests were carried out for all material types and directions of the moulded bodies. According to the values obtained, the material with the best mechanical properties (highest tensile strength  $\sigma_{Mt}$ , tensile modulus E and relative elongation  $\varepsilon_{Mt}$ ) among the selected types can be identified.

Keywords: mechanical properties, thermoplastics, short-fiber, long-fiber

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Žaludkovi za projevenou dávku trpělivosti, odborné rady a čas, který strávil nad konzultací práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

ÚVOD .....	11
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ .....	13
1.2 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ .....	15
1.2.1 Teplota materiálu.....	15
1.2.2 Teplota formy.....	15
1.2.3 Vstřikovací tlak .....	15
1.2.4 Dotlak.....	16
1.2.5 Uzavírací tlak .....	16
1.2.6 Doba vstřikování .....	16
1.2.7 Doba chlazení.....	17
1.2.8 Zdvih.....	17
1.3 PRŮVODNÍ A NÁSLEDNÉ JEVY.....	18
1.3.1 Mezi průvodní jevy (procesy probíhající během vstřikovacího cyklu) se řadí:.....	18
1.3.2 Mezi následné jevy (procesy probíhající po vstřikovacím cyklu) se řadí:.....	19
<b>2 POLYMERNÍ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ KRÁTKÝMI A DLOUHÝMI VLÁKNY .....</b>	<b>23</b>
2.1 TERMOPLASTY .....	23
2.2 POLYAMID .....	24
2.3 POLYMERNÍ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ KRÁTKÝMI VLÁKNY .....	24
2.3.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti .....	25
2.4 POLYMERNÍ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ DLOUHÝMI VLÁKNY .....	25
2.4.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti .....	25
2.5 VLÁKNA .....	26
2.6 MĚŘENÍ DÉLKY VLÁKNA.....	26
2.7 POLYMERNÍ MATRICE .....	27
2.8 VLIV VSTŘIKOVACÍHO PROCESU.....	27
2.9 ORIENTACE VLÁKEN.....	28
<b>3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>29</b>
3.1 STATICKÁ TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	29
3.1.1 Experimentální stanovení anizotropních vlastností krátkovláknových termoplastových materiálů.....	31
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>35</b>
<b>4 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK .....</b>	<b>36</b>



4.1.1	Značení materiálů .....	36
4.2	VSTŘIKOVÁNÍ .....	37
4.3	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK .....	40
4.3.1	CNC frézování.....	41
4.3.2	Obrábění vodním paprskem .....	41
4.4	EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ POMOCÍ ZKOUŠKY TAHEM.....	42
4.4.1	Technické parametry .....	42
4.4.2	Použité zkušební tělíska.....	44
<b>5</b>	<b>TAHOVÁ ZKOUŠKA.....</b>	<b>45</b>
5.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	45
5.1.1	Grivory GVX 5H.....	45
5.1.2	Grivory GVL 5H .....	48
5.1.3	Grivory GCL 3H.....	50
5.1.4	Grivory GCL 4H.....	52
5.1.5	Grivory GVX 7H.....	54
6.1	GRIVORY GVX 5H.....	57
6.2	GRIVORY GVL 5H .....	59
6.3	GRIVORY GCL 3H .....	60
6.4	GRIVORY GCL 4H .....	62
6.5	GRIVORY GVX 7H.....	63
6.6	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	65
<b>7</b>	<b>SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT V ZÁVOSLOTI NA MATERIÁLU.....</b>	<b>66</b>
7.1	MEZ PEVNOSTI V TAHU $\sigma_{Mt}$ .....	66
7.1.1	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru L .....	66
7.1.2	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T .....	67
7.1.3	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45° .....	68
7.2	MODUL PRUŽNOSTI V TAHU E.....	68
7.2.1	Zhodnocení výsledků zkušebních ve směru L .....	68
7.2.2	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T .....	69
7.2.3	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45° .....	70
7.3	POMĚRNÉ PRODLOUŽENÍ $\epsilon_{Mt}$ .....	70
7.3.1	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru L .....	70
7.3.2	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T .....	71
7.3.3	Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45° .....	72
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>81</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>82</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>83</b>

## ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje problematice mechanických vlastností krátkovláknových vstřikovaných termoplastů. Konkrétně se zabývá vlivem směru toku taveniny a procentuálním zastoupením výztuže v kompozitních materiálech na hodnotu meze pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$ , modulu pružnosti v tahu E a poměrném prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$ .

V teoretické části se bakalářská práce zabývá procesem vstřikování, technologickými parametry vstřikování a jevy, které vstřikovací proces provádí nebo naopak jsou následkem tohoto procesu. Dále se zaměřuje na konkrétnější popis polymerních kompozitů vyztužených krátkými nebo dlouhými vlákny. Věnuje se jejich mechanickým a fyzikálním vlastnostem, odlišnostmi mezi vyztuženými polymerními kompozity a jak specifikovat důležité vlastnosti (vliv vstřikovacího procesu, délku a orientaci vláken atd.). V závěru teoretické části jsou specifikovány druhy mechanických zkoušek využívaných pro tyto materiály a detailněji rozebrána zkouška, která byla využita v experimentální části práce.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje postup výroby zkušebních tělísek od samotného vstřikování. Konkretizuje použité technologie a parametry pro statickou tahovou zkoušku. Dále se zabývá vyhodnocením naměřených výsledků a následným zpracováním do grafů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování nám umožňuje zhotovit tvarově složité výrobky, zatímco výrobní náklady jsou značně nízké. Vyhotovené výrobky vstřikováním se vyznačují dobrou rozměrovou i tvarovou stálostí a vysokou reprodukovatelností mechanických i fyzikálních vlastností. Tyto výrobky považujeme buď za polotovary nebo finální výrobek. Vstřikování je jeden z nejrozhlášenějších procesů na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Pro technologii vstřikování se používá převážná většina druhů termoplastů. Lze také vstřikovat reaktoplasty nebo kaučuky, ale ne v tak širokém spektru jako termoplasty. [1]

## 1.1 Proces vstřikování

Vstřikování je proces, při němž je polymerní tavenina vtlačována do prázdné dutiny formy naplněné vzduchem, po jejímž ochlazení dosáhneme požadovaného tvaru a vlastností výrobku. [2][3]

Vstřikovací cyklus lze rozdělit na 4 hlavní části:

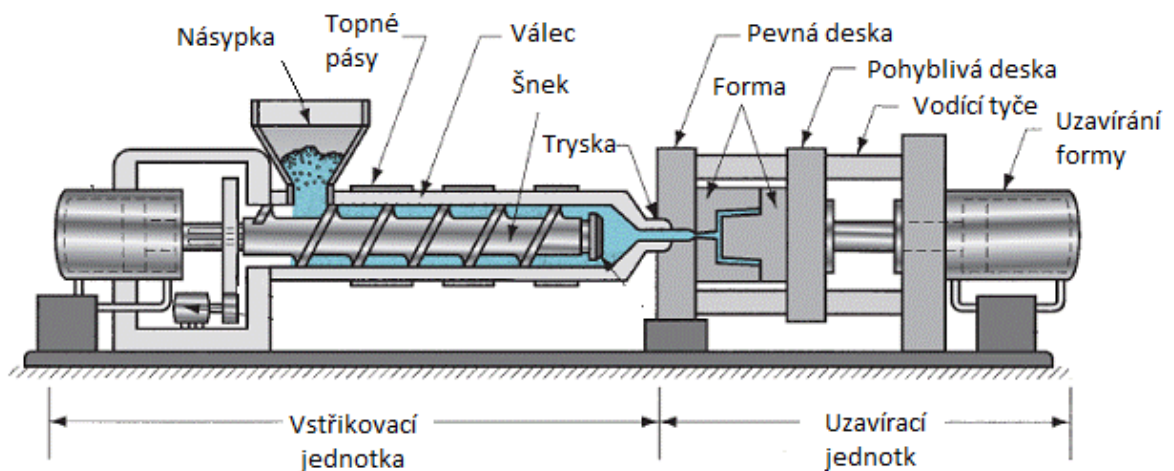
- Plastikaci
- Vstřikování
- Dotlak
- Chlazení

Při plastikaci dochází k přeměně polymerního materiálu z pevného stavu (forma granulí nebo pelet, které jsou umístěny v násypce) do stavu taveniny vlivem působení tepla z topného tělesa a třením způsobeného rotací šneku. Šnek odebírá materiál z násypky a následně jej přemísťuje ke vstřikovací trysce. Pro dosažení požadovaných vlastností výrobku musí být vhodně nastavena teplota topných pásem na plastikačním válci, otáčky šneku a zpětný odpor šneku. Nevhodně zvolená teplota taveniny má značný vliv na jakost povrchu výrobku. [2][3]

Následuje fáze vstřikování, kdy je tavenina vytlačována z tavicí komory do dutiny formy přes vtokový systém. Rychlost čela taveniny by měla být v každém průřezu tvarové dutiny stejná a musí být zajištěna teplotní homogenita taveniny. Pro tvarově jednoduché výrobky je zajištění těchto parametrů jednoduché, zatímco u složitějších výrobků je to i s pomocí softwarových programů komplikované. [2][3]

Třetí částí vstřikovacího cyklu je dotlak, který následuje neprodleně po naplnění tvarové dutiny formy taveninou. Do dutiny formy se dodává další materiál, jelikož se tavenina v dutině formy smršťuje vlivem ochlazování. Objemové smrštění se liší v závislosti na vlastnostech vstřikovaného materiálu a použití výrobku. Během dotlaku se do dutiny formy přivádí 1 až 10 % dodatečné taveniny. [2][3]

Čtvrtá a poslední část vstřikovacího cyklu je ochlazování. Následuje po skončení dotlakové fáze, kdy nadále neproudí do dutiny formy dodatečná tavenina. Poskytuje dostatečné množství času na to, aby polymerní tavenina v dutině formy dokonale ztuhla a mohlo následovat vyhození hotového výrobku z formy. Vstřikovací stroj uvede do pohybu potřebná jádra, skluzu a čepy, aby se forma otevřela a umožnila vyhození výlisku během otevírání formy. [2][3]



Obrázek 1 Schéma vstřikovacího stroje [12]

## 1.2 Technologické parametry vstřikování

Existuje mnoho parametrů, které je potřeba kontrolovat, lze je ale rozdělit do 4 hlavních kategorií. Jsou to teplota, tlak, čas a zdvih. Tyto parametry jsou na sebe značně navázány. Každý jeden parametr je ovlivněn ostatními parametry a zároveň je sám ovlivňuje. Z toho plyne, že změna jednoho z nich má zásadní vliv na jiný. [4]

### 1.2.1 Teplota materiálu

Primárním problémem je teplota, na kterou se musí polymerní materiál zahřát před vstřikováním do dutiny formy. Každý materiál má určitý rozsah teplot, při kterém dosáhne maximálního zachování fyzikálních vlastností. U amorfních materiálů (při zahřátí měknou, nikoliv tají) je teplotní rozsah poměrně široký, pro krystalické materiály (při zahřátí tají) je tento rozsah užší. Nicméně, jak pro amorfní materiály, tak i pro krystalické materiály existuje určitý teplotní bod, při kterém tavenina dokonale teče a jsou zachovány potřebné fyzikální vlastnosti. Nevhodně zvolená teplota materiálu ovlivňuje dobu chlazení, vstřikovací tlak, tekutost plastu atd. [1][4]

### 1.2.2 Teplota formy

Teplota formy je z hlediska kvality jednou z nejdůležitějších parametrů a ovlivňuje ji v mnoha ohledech. Forma slouží k udržení vstřikovaného polymeru v určitém stavu, zatímco se polymer ochlazuje na pevnou hmotu. Rychlost, s jakou se polymer ochlazuje, je určujícím faktorem k udržení stálých fyzikálních vlastností, zejména u krystalických materiálů. Je důležité chladit plast dostatečně pomalu, aby měly molekuly dostatek času se k sobě správně navázat a získat zpět původní pevnost, a zároveň byla zajištěna ekonomičnost procesu. Pokud chlazení probíhá příliš rychle a molekuly se na sebe nedokážou dostatečně navázat, je výsledkem procesu materiál s nižší než optimální pevností. [4][6]

### 1.2.3 Vstřikovací tlak

Je to primární tlak používaný pro vstřikování. Lze jej definovat jako tlak, který je potřeba k vyplnění dutiny formy. Představuje přibližně 95 % z celkového plnění dutiny formy. Potřebný tlak se pohybuje od velmi nízkých (500 psi) po velmi vysoké (20 000 psi). Hodnota vstřikovacího tlaku závisí na viskozitě a rychlosti proudění vstřikovaného polymeru. [4]

#### 1.2.4 Dotlak

Aplikuje se na samém konci primární fáze a používá se při chladnutí polymeru v dutině formy. Zpravidla se pohybuje v rozmezí 50 % primárního vstřikovacího tlaku, výjimečně může být tento tlak shodný. Působí proti tzv. polštáři, což je určitý objem materiálu před čelem šneku, na který šnek svým čelem působí. Dotlak dělíme na izochorický (konstantní objem) a izobarický (konstantní tlak). [4]

#### 1.2.5 Uzavírací tlak

Tlak působící proti vstřikovacímu tlaku, aby bylo zajištěno uzavření formy po dobu vstřikovacího cyklu. Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje může být ovládána buď mechanicky nebo hydraulicky. Velikost uzavíracího tlaku musí být minimálně stejná jako tlak, který vyvíjí vstřikovací jednotka. Ve skutečnosti se používá preventivní opatření v podobě dodatečného tlaku, který je přibližně 10 %. Používá se pro zajištění dostatečného uzavření i pro případ vychýlení vstřikovací tlaku směrem nahoru. [4]

#### 1.2.6 Doba vstřikování

Časové rozmezí, ve kterém proběhnou všechny fáze vstřikovacího cyklu. Potřebná doba vstřikování závisí na množství vstřikovaného materiálu, viskozitě materiálu a procentuálním využití kapacity stroje. Doba vstřikování se dělí na dvě samostatné fáze: počáteční doba vstřikování a udržovací doba vstřikování. [4]

Počáteční doba vstřikování začíná v momentě, kdy se šnek posune směrem v před a vstříkne roztavený polymer do dutiny formy (v tomto okamžiku se šnek neotáčí, ale funguje jako píst, který vtlačuje materiál do formy). Probíhá při použití nejvyššího tlaku pro konkrétní aplikaci a v nejkratším čase (ve většině případů méně než 2 sekundy, zřídka 3 sekundy). [4]

Udržovací doba vstřikování je doba, po kterou šnek působí tlakem na materiál v dutině formy. Tento tlak je vyvíjen proti tzv. polštáři. Působí dostatečně dlouho, aby část u vtoku ztuhla a oddělila tak materiál v dutině formy od vstřikovací jednotky. Ve většině případů udržovací doba vstřikování působí během několika sekund. [4]



### 1.2.7 Doba chlazení

Nejdůležitější časová fáze celého procesu. Je to doba potřebná k tomu, aby vstříkovaný materiál vychladl do bodu, kdy je možné zahájit proces vyhazování (proces, při kterém je hotový výlisek vyhozen z formy). Doba chlazení je značně ovlivněna velikostí celkového výlisku, tloušťce stěn a druhem materiálu. Čím tlustší je díl, tím je nutná delší doba chlazení. Ve formě probíhá 95 % celkového ochlazení, zbylých 5 % probíhá mimo formu (proces tuhnutí může trvat až 30 dní). Nedostatečná doba chlazení ve formě způsobuje deformace hotového výlisku, proto je nutné proces optimalizovat tak, aby se zamezilo dodatečnému smrštění, deformacím a prasklinám a zároveň ne déle, než je nutné, kvůli finanční nákladnosti celého procesu. [4]

### 1.2.8 Zdvih

Dělíme na:

- Při uzavírání formy
- Při vstříkování
- Při otevírání formy
- Při vyhazování

Velikost zdvihu při uzavírání dělíme na dvě části. První část je tzv. počáteční uzavírání, které probíhá při vysokých rychlostech. Části formy se k sobě přiblíží na vzdálenost přibližně 6,4 až 12,7 mm. Snahou je uzavřít formu co v nejkratším čase, aby se minimalizovala doba celého cyklu. Druhá část je tzv. konečné uzavírání, kdy se rychlost uzavírání značně zpomalí a vzroste uzavírací tlak. Části formy k sobě dosednou, aniž by byly poškozeny (při vysokých rychlostech může nastat praskání vlivem rázového napětí). Po dokončení druhé části cyklu je forma dokonale uzavřena a může začít fáze vstříkování. [4]

Zdvih při vstříkování se opět dělí na dvě části, počáteční vstříkovací vzdálenost a přidržení vstříku. Počáteční vstříkovací vzdálenost musí být nastavena tak, aby bylo zajištěno vstříknutí přibližně 95 % materiálu. Tato vzdálenost se liší v závislosti na tom, jak velký je vstříkovací stroj a jakou má kapacitu na jeden vstřík. Přidržení vstříku začíná v bodu, kdy začne působit dotlak. Tento bod by měl být nastaven téměř na samé hranici konce zdvihu vstříkovacího šroubu. [4]

Zdvih při otevírání formy probíhá obdobně jako při uzavírání, jen v opačném pořadí. Otevření při vzdálenosti zhruba 6 mm probíhá za malých rychlostí, aby se uvolnilo vakuum na nepohyblivé části formy, které vzniklo při vstřikování materiálu do dutiny formy. Po dosažení tohoto bodu se rychlost opět navýší, aby bylo možné co nejrychleji začít cyklus další. Ne vždy se rychlost otevírání zvyšuje, jelikož některé konstrukce vstřikovacích strojů vyžadují i druhou část otevírání v pomalých rychlostech. [4]

Zdvih při vyhazování závisí na velikosti vyhazovaného dílu. Teoreticky pro díl, který má maximální hloubku 25 mm je zapotřebí zdvih o velikosti 25 mm. V praxi se ale přičítá zhruba 3 až 6 mm pro zajištění dokonalého vyhození dílu a zamezení uvíznutí dílu mezi dutinami formy a následném poškození formy. [4]

### 1.3 Průvodní a následné jevy

Tyto jevy probíhají buď při samém procesu vstřikování nebo nastávají po něm. Mají značný vliv na kvalitu povrchu vstřikovaného výrobku, mechanické vlastnosti, vzhled atd. [7]

#### 1.3.1 Mezi průvodní jevy (procesy probíhající během vstřikovacího cyklu) se řadí:

- Úbytek teploty a tlaku s časem
- Nestejnorodé teplotní a napěťové pole
- Orientace plniva a makromolekul

První dva výše zmíněné jevy mají za následek deformace dílu, velké vnitřní pnutí nebo v extrémním případě i prasknutí dílu po vyjmutí z formy. Úbytek teploty je zapříčiněn nižší teplotou formy ve fází jak plnění, tak i ochlazování. Stejným důvodem je i pokles tlaku v dutině formy, jelikož v tavenině probíhají elastické procesy. V souladu s úbytkem teploty a tlaku je po vyhození dílu z formy zapříčiněno nestejnorodé (nehomogenní) teplotní a napěťové pole, které má za následek zmiňované deformace dílu. [7]

Orientace plniva a makromolekul má za následek anizotropii vlastností (smrštění, tepelné a mechanické vlastnosti atd.). Jsou to nestejnorodé vlastnosti v obou směrech (v příčném i podélném). Orientovaná struktura není dosažitelná při procesu vstřikování, jelikož se orientace mění vzdáleností od ústí vtoku a také ve směru tloušťky stěny. [7]

### 1.3.2 Mezi následné jevy (procesy probíhající po vstřikovacím cyklu) se řadí:

- Krystalizace
- Pnutí
- Smrštění
- Kvalita povrchu

Krystalizace má za následek vnitřní pnutí ve vyráběném dílu. Uskutečňuje se ve formě, kdy tavenina začíná tuhnout, tedy pod teplotou tání polymeru. Může nastat dodatečná pozvolná krystalizace, která probíhá v dílu po vyhození z formy nebo při následném ohřevu. Dodatečná krystalizace je v porovnání s celkovou krystalizací, která probíhá ve formě, velmi malá, ale má za následek vznik pnutí, anebo může mít značný podíl na trvalých deformacích. Při této pozvolné dodatečné krystalizaci tedy vzroste hustota a podíl krystalické fáze. Celková krystalizace, která probíhá uvnitř vstřikovací formy je ovlivněna teplotou vstřikovací formy (jak rychle materiál uvnitř formy tuhne). Čím rychleji díl uvnitř formy ochladíme, tím bude mít krystalizace menší prostor a bude potlačena. Pro zvýšení krystalizace je nutné díl ochlazovat pomalu, aby procento krystalinity, které roste od povrchu k jádru dílu bylo vyšší. [7]

Pnutí můžeme rozdělit na tři typy, které se objevují při procesu vstřikování:

- Teplotní pnutí
- Tlakové pnutí
- Strukturní pnutí

Teplotní pnutí vzniká při vstřikování termoplastů vlivem ochlazování dílu. Ochlazování částí dílu není rovnoměrné. Díl na povrchu (u stěny dutiny) chladne rychleji než v jeho jádru a tato skutečnost zapříčiňuje, že ochlazování uvnitř dílu probíhá pomaleji a v souladu s tím roste smrštění. Tomuto smrštění brání již ztuhlá povrchová vrstva, kde ochlazování proběhlo rychle a smrštění je nepatrné. Nedokonale uskutečněné smrštění uvnitř dílu má za následek vznik již zmiňovaného teplotního pnutí. [7]

Tlakové pnutí je zapříčiněno orientací makromolekul v souladu s nehomogenní teplotní roztažností. V místech, kde je vysoký stupeň orientace, je pnutí tahové, naopak v místech, kde je nižší stupeň orientace se objevuje pnutí tlakové. Po vyjmutí dílu z formy může v některých případech nastat tzv. expanzní pnutí. Toto pnutí vzniká při nedokonale ztuhlém materiálu dílu, který se snaží rozpínat, ale je zastaven o dokonale ztuhlou povrchovou vrstvu dílu. Pro křehké plasty vzniká nebezpečí vzniku trhlin. Lze ho eliminovat použitím nižšího vstřikovacího tlaku. [7]

Strukturní pnutí je zapříčiněno procentem krystalinity, které klesá směrem k povrchu dílu (rozdílného smršťování oblastí s odlišným krystalickým podílem). Vykytuje se pouze u semikrystalických polymerů. [7]

Smrštění se obecně dělí na nízký, střední a vysoký stupeň. Nízký stupeň smrštění má rozmezí 0 až 0,127 mm/mm. Střední stupeň smrštění má rozmezí 0,152 až 0,254 mm/mm a vysoký stupeň smrštění je cokoliv nad tyto hodnoty. Amorfni materiály mají tendenci mít smršťování nízké a probíhá rovnoměrně ve všech směrech. To se nazývá izotropní smršťování. Krystalické materiály mají tendenci vykazovat vysokou míru smršťování a smršťování je větší ve směru toku než napříč směrem toku. To se nazývá anizotropní smršťování. Smrštění můžeme ovlivnit teplotou taveniny, čím vyšší je teplota taveniny, tím vyšší bude hodnota smrštění. Dalším způsobem ovlivnění smrštění je změna vstřikovacího tlaku, tady platí, že čím vyšší je vstřikovací tlak, tím nižší je hodnota smrštění. Molekuly jsou na sebe lépe navázány a nemají takovou tendenci se nadále pohybovat. Pravidlo říká, že 10% změna tlaku může ovlivnit 10 % smrštění. [4]

Kvalitu povrchu vstřikovaných dílu ovlivňuje velká řada různých parametrů a vlastností. Mezi tyto parametry řadíme:

- druh plastu:
  - typ plastu
  - množství a druh přísad
  - tekutost plastu
  - velikost pnutí
- technologické parametry:
  - teplota materiálu
  - teplota formy
  - vstřikovací tlak
  - dotlak
  - uzavírací tlak
  - doba vstřikování
  - doba chlazení
- konstrukce výrobku:
  - složitost výrobku
  - tloušťka stěny
  - velikost rádiusů
  - hmotnost výrobku
- konstrukce vstřikovacího stroje:
  - násobnost formy
  - konstrukce různých částí (temperační, vyhazovací systém atd.)
  - materiál vstřikovací formy
  - rozměry dutiny vstřikovací formy
  - kvalita povrchu vstřikovací formy

- typ vstřikovacího stroje:
  - konstrukce stroje
  - typ trysky
  - vstřikovací a plastikační kapacita stroje
  - uzavírací síla stroje
  - teploty jednotlivých pásem tavicí komory a trysky
  - otáčky šneku [7]

## 2 POLYMERNÍ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ KRÁTKÝMI A DLOUHÝMI VLÁKNY

### 2.1 Termoplasty

Termoplasty mají nejjednodušší molekulární strukturu s chemicky nezávislými makromolekulami. Zahříváním se změkčují nebo taví, po ochlazení se mohou tvarovat, formovat, svařovat a následně tuhnou. Lze je znovu zpracovávat nebo recyklovat. Termoplasty umožňují opětovné zahřívání nebo ochlazování bez zásadního poškození materiálu. Do termoplastů se velmi často přidávají určité přísady nebo plniva, které zlepšují jejich specifické vlastnosti (tepelná nebo chemická stabilita, odolnost proti ultrafialovému záření atd.). [8]

Kompozity se získávají použitím krátkých, dlouhých nebo nekonečných vláken. Spotřeba termoplastů je zhruba 80 % celkové spotřeby plastů. Používají se slitiny navzájem kompatibilních termoplastů, které zlepšují jejich vlastnosti (eliminují vady) a rozšiřují oblast použití. [8]

Výhody termoplastů:

- Změkčení nebo roztavení zahřátím umožňuje svařování a tepelné tvarování
- Nedochozí k chemické reakci zesíťování, zpracovatelské cykly jsou velmi krátké
- Dochází pouze k fyzikální přeměně, zpracování se lépe kontroluje
- Neuvolňují plyny ani vodní páry, pokud jsou před zpracováním dobře vysušeny
- Odpad lze částečně znovu zpracovat [8]

Nevýhody termoplastů:

- Chybějící chemické vazby mezi makromolekulami mají za následek snížení modulu pružnosti při zvýšených teplotách
- Ze stejného důvodu není chování při tečení a relaxaci tak dobré jako u reaktoplastů
- Existuje jen málo materiálů zpracovatelných v kapalném stavu [8]

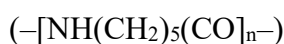
## 2.2 Polyamid

„Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny –CONH–. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, na trhu jsou však i typy aromatické. Polyamidy se vyrábějí čtyřmi postupy:

1. polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminu
2. polykondenzací ω-aminokarboxylových kyselin
3. polymerací cyklických laktamu
4. polykondenzací dichloridu aromatických dikarboxylových kyselin s aromatickými diaminy

K jednoduchému označování alifatických polyamidu byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězců:

- polyamid 6 je polyamid z kyseliny 6-aminokapronové nebo 6-kaprolaktamu



- polyamid 66 je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny adipové



- polyamid 610 je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny sebakové



## 2.3 Polymerní kompozity vyztužené krátkými vlákny

Polymery vyztužené krátkými vlákny mají nespojitá vlákna a jsou kratší než několik málo milimetrů. Ve většině případů se jako matrice pro kompozity vyztužené krátkými vlákny používají polymery. Kompozity z polymerů vyztužených krátkými vlákny našly široké uplatnění v automobilovém průmyslu, hospodářských strojích, sportovních potřebách, elektrotechnickém průmyslu atd., díky jednoduchému zpracování, nízkým nákladům na výrobu a lepším mechanickým vlastnostem než u výchozích polymerů. K výrobě těchto kompozitů se nejčastěji používá vstřikování nebo vytlačování. Díky těmto konvenčním metodám zpracování se řadí mezi ekonomicky výhodný materiál pro velkosériovou výrobu.

[9]



### 2.3.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti

Mechanické a fyzikální vlastnosti kompozitů jsou do značné míry ovlivněny typem, množstvím a morfologií vyztužujících vláken, účinností mezifázové vazby mezi vlákny a polymerní matricí. Pro konečnou rovnováhu vlastností, které vykazují vstříkované polymerní kompozity mají zásadní význam různé proměnné jako je obsah výztuhy, orientace a tvar výztuže. U některých typů se může snížit lomová houževnatost, například pokud je houževnatá termoplastická matrice, jako je polykarbonát vyztužená krátkými skelnými vlákny, může se zvýšit pevnost a pružná tuhost, ale sníží se lomová houževnatost. Nicméně u relativně křehkých polymerních matric přidáním krátkých vláken může lomovou houževnatost zvýšit. [9]

Mechanické a fyzikální vlastnosti závisí převážně na:

- Vlastnosti složek
- Pevnostním rozhraní mezi vyztužujícími vlákny a matricí
- Objemovém podílu vyztužujících vláken
- Rozložení orientace vláken
- Distribuci délky vláken

## 2.4 Polymerní kompozity vyztužené dlouhými vlákny

Polymery vyztužené dlouhými vlákny umožňují nahrazovat kovy v náročných oblastech použití. Dlouhá vyztužující vlákna tvoří uvnitř vstříkovaných dílů síť, která zajišťuje trvalé zlepšení tepelných a technických vlastností. Snižuje se závislost na teplotě, rychlosti deformace nebo vlhkosti. [10]

### 2.4.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti

Vlastnosti polymerů vyztužených dlouhými vlákny jsou obdobné jako u polymerů vyztužených krátkými vlákny, ale s tím rozdílem, že struktura dlouhých vláken umožňuje vykazovat vyšší hodnoty vlastností při stejné teplotě nebo stejné hodnoty vlastností při teplotách o 20 až 30 °C vyšších. Tato skutečnost umožňuje dosáhnout lehkých konstrukčních návrhů pro součásti s menší tloušťkou stěny nebo nižším množstvím vláknové výztuže (nižší hustota).

## 2.5 Vlákná

Vlákná, která se pro vyztužení polymerů používají nejčastěji mají průměr obvykle okolo 10  $\mu\text{m}$  a nejčastěji používaným materiálem jsou skelná vlákna. Pro splnění požadavků průmyslu na pevnost kompozitů skelná vlákna nejsou vždy vhodná, a proto se používají i jiné různorodé materiály. Mezi moderní výztužné materiály se řadí mimo jiné bórová, uhlíková, materiály z karbidu křemíku, aramidová anebo polyethylenová vlákna. [9]

Skelná vlákna tvoří zhruba 90 % vláken používaných pro výrobu kompozitů. Takové zastoupení mají díky tomu, že mají nízké výrobní náklady, vysokou pevnost, vysokou tuhost (ve srovnání s výchozími polymery), nízkou měrnou hmotnost, výbornou chemickou odolnost a dobré izolační vlastnosti. Nevýhodou těchto vláken je relativně nízký modul pružnosti, nízká únavová odolnost a špatná přilnavost k polymerní matici pryskyřic. [9]

## 2.6 Měření délky vlákna

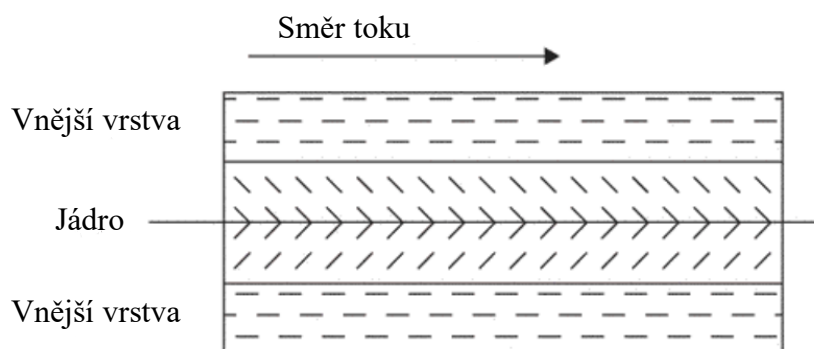
Mechanické vlastnosti kompozitů vyztužených krátkými nebo dlouhými vlákny jsou do značné míry závislé na distribuci délky vláken. Pro určení závislosti mezi distribucí délky vláken a mechanických vlastností je nutné tento parametr měřit. Nejpoužívanější a nejběžnější metoda pro měření délky vláken je přímé měření délky vláken po vypálení pryskyřice. Tato metoda je jednoduchá a poměrně rychlá. Vzorky vlákna se odebírají buď vypálením pryskyřičné matrice v tavné peci nebo pomocí extrakce rozpouštědlem, které odstraní pryskyřičnou matici. Získané vlákna se odlijí na skleněné sklíčko a následně se rozptýlí ve vodném roztoku. Používá se solný roztok, roztok olejů nebo maziva anebo čistá voda. Poté se roztok vysuší, čímž se na sklíčkách dosáhne rovnoměrného rozložení vláken a lze uskutečnit samotné měření. Měření probíhá pomocí diaprojektoru nebo pomocí počítačového softwaru SemAfore 4.0. Při použití diaprojektoru promítá zdroj světla obraz vláken na digitalizační tablet. Magnetizace obrazu vláken se řídí nastavením ohniskové vzdálenosti projekce a je schopný díky magnetickému peru lokalizovat koncové body jednotlivých vláken a tím získá délku samotného vlákna. Při použití softwaru se používá optická mikrofotografie, kterou je software schopen po poloautomatickém určení konců schopen vyhodnotit a určit délky vláken. [9]

## 2.7 Polymerní matrice

Polymerní matrice mají schopnost udržet vlákna a přenáší napětí na tyto vlákna, naruší od výztužné matrice, která má důležitou roli při určování pevnosti a tuhosti kompozitů. Většina polymerů jsou materiály s relativně vysokou molekulovou hmotností, ve kterých nedochází k dalším chemickým reakcím. Materiály pro výrobu polymerních matic jsou rozsáhlé, například polypropylen (PP), polyamidy (PA6 a PA66), polystyren (PS), polyethylen (PE), polybutylentetraftalát (PBT), polykarbonát (PC) atd. Požadavky na vlastnosti jsou od požadavků na vlákna odlišné. Vlákna pro výztuž mají v obvyklých případech nízkou tažnost, zatímco polymerní maticí materiály mají poměrně vysokou tažnost. Matrice slouží ke spojení výztuže a k ochraně tuhých a křehkých výztuží před otěrem a korozi. [9]

## 2.8 Vliv vstřikovacího procesu

Vstřikování se používá pro výrobu zhruba 50 % kompozitů vyztužených krátkými nebo dlouhými vlákny. Výhodou vstřikování je hospodárnost procesu, výroba velkého množství a absence dokončovacích metod po procesu vstřikování. Důležitý faktor při použití metody vstřikování je vhodně zvolená konstrukce šneku, aby nedocházelo k nadměrnému úbytku vláken při příliš vysokému tlaku, tzv. vytrhávání vláken. Plniva v polymerní matici zvyšují zdánlivou viskozitu a brání toku taveniny. Tento účinek se zvyšuje s rostoucím obsahem plniva, proto správné zpracování vyztužených kompozitů vyžaduje odpovídající vyšší teploty a tlaky, ale s ohledem na omezení úbytku vláken. [9]



Obrázek 2 Schéma vstřikování kompozitů vyztužených krátkými vlákny podél hlavního směru toku [9]

## 2.9 Orientace vláken

Orientace vláken má zásadní vliv na vznik trhlin. Trhliny vznikají např. pokud smykové zatížení působí pod úhlem  $45^\circ$  nebo kolmo na směr vláken v případě zatížení tahem. Tyto trhliny se projeví i u vrstev, které jsou zatíženy ve směru výztuže. Z toho vyplývá, že vyšší pevnost mají vrstvy s orientovanými vlákny pod úhlem  $0^\circ$ , než vrstvy s orientovanými vlákny pod úhlem  $90^\circ$ , u kterých nastává první porušení. [11]

### 3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

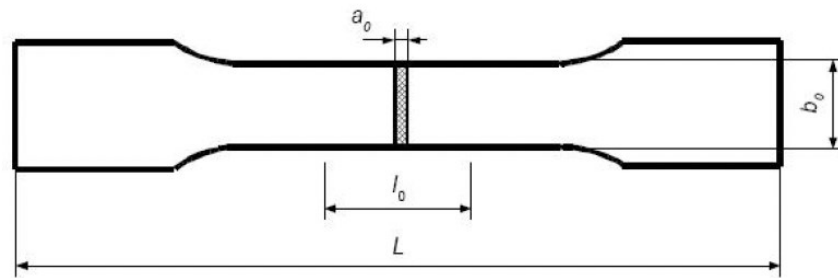
Kompozitní materiály se od nevyztužených plastů odlišují tím, že nedochází k rozsáhle změně vlastností v závislosti na teplotě, času a podmínkách prostředí, ve kterých se nachází. Únavové procesy a porušení jsou u kompozitů mnohem složitější než u plastů nebo kovů (homogenních materiálů). Zkoušky dělíme na statické a dynamické, kdy dochází k narušení nosných vláken vlivem lokálního poškození. Výsledky měření ovlivňují okrajové podmínky použitého procesu mechanických zkoušek. [11]

#### Typy zkoušek:

- Statická
  - Tahová zkouška
  - Tlaková zkouška
  - Ohybová zkouška
    - Tříbodová
    - Čtyřbodová
  - Smyková zkouška
- Dynamická
  - Rázová zkouška
    - Tah
    - Ohyb
    - Tlak
    - Krut
  - Únavová zkouška [11]

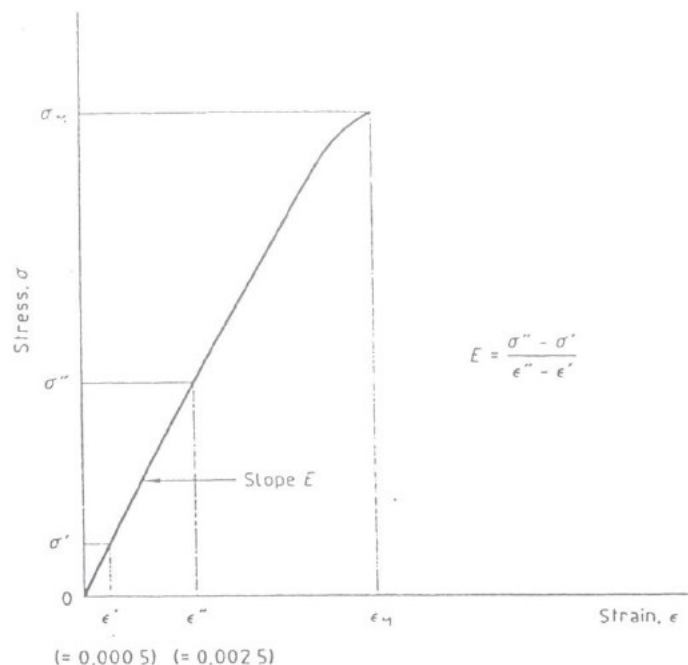
#### 3.1 Statická tahová zkouška

Pro kompozity zkoušené statickou tahovou zkouškou je navržena obsáhlá řada geometrií a tvarů zkušebních tělísek. Zkušební tělíska jsou popsána v normách, které odlišují stavbu kompozitního materiálu (např. ČSN EN ISO 527-1 až 5). Pro jednosměrně vyztužené kompozitní materiály to jsou prizmatická tělíska se zesílenými konci (částmi pro upnutí tělíska ve zkušebním stroji). [11]



Obrázek 3 Zkušební tělísko pro tahovou zkoušku [16]

Místo, ve kterém se tělísko přetrhne musí být v intervalu měrné délky. Měrná délka je interval minimálně 10 mm od zesílených konců. Zkušební tělísko musí být vyřezáno v ose ortotropie, aby se zajistilo přesné měření. Vzniklé deformace, které se objevují v měřeném intervalu se eliminují tak, že zatěžující rychlost, která je v minutách, odpovídá zhruba jednomu % délky tělíska a maximální deformace musí být pod půl %. V průběhu zkoušky se vykresluje skutečný pracovní tahový diagram. Tento diagram je závislost zatěžující síly  $F/N$  na změně délky  $\Delta L/mm$ . [11]



Obrázek 4 Smluvní diagram tahové zkoušky pro kompozitní materiál [11]

Parametry, které u statické tahové zkoušky vyhodnocujeme:

Pevnost v tahu  $\sigma_M$

$$\sigma_M = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (1)$$

Modul pružnosti v tahu E

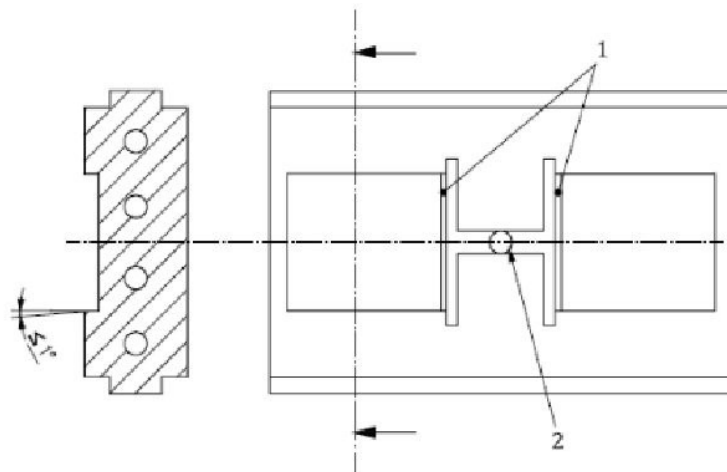
$$E = tg(\alpha) = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta F}{S_0}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = \frac{MPa}{-} [MPa] \quad (2)$$

Poměrné prodloužení  $\varepsilon$

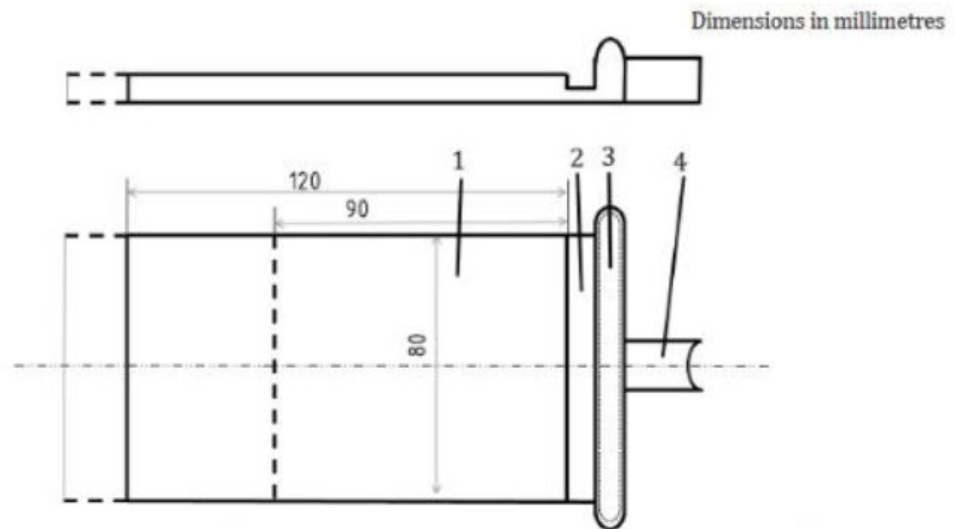
$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{[mm]}{[mm]} [-] \quad (3)$$

### 3.1.1 Experimentální stanovení anizotropních vlastností krátkovláknových termoplastových materiálů

Při výrobě zkušebních tělísek se postupuje podle normy ČSN EN ISO 294-5. Z vyrobené destičky pomocí vstřikování, viz. Obr. 5, se poté obráběním vyrobí zkušební tělesa v požadovaných směrech. [17]



Obrázek 5 Dutina vstřikovací formy [17]



	1 (cavity)	2 (gate)	3 (flood gate)	4 (runner)
Dimension in direction of flow	$120^{+2}_0^a$	3,0	6,0	8,0
Dimension normal to flow	$80^{+2}_0^a$	80	92	12
Depth/height	2,0 <sup>b</sup>	1,0 <sup>c</sup>	6,0	6,0
End radius <sup>d</sup>	NA	NA	>4,0	NA
Top radius <sup>d</sup>	NA	NA	>3,0	>3,0

<sup>a</sup> The actual length and width will depend on the moulding shrinkage of the injection-moulding material (see 4.1). The minimum length shall be  $\geq 90$  mm.

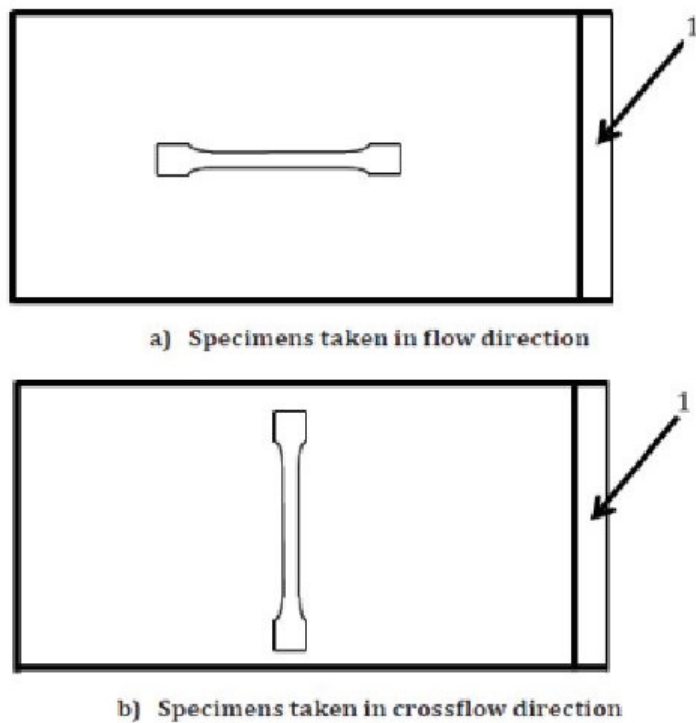
<sup>b</sup> 2 mm is the preferred specimen thickness for single-point data acquisition. Cavity depths other than 2 mm may, however, be used to match more closely the thickness of the parts being designed.

<sup>c</sup> The gate height shall be half the cavity depth if a cavity depth other than 2 mm is used.

<sup>d</sup> The radius of the end of the flood gate shall be >4 mm, the radius of the top of the flood gate shall be >3 mm and the intersection of the top and end of the flood gate shall be blended to a smooth transition.

Obrázek 6 Rozměry vstřikované destičky a vtokového systému [17]

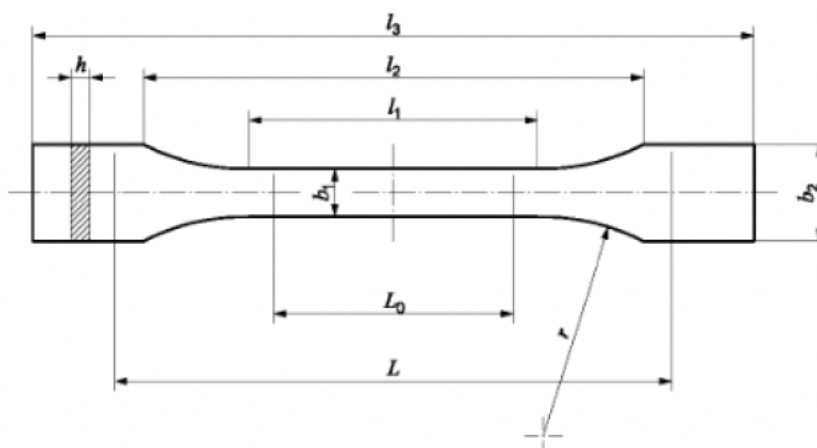




Key  
1 gate

Obrázek 7 Hlavní směry pro přípravu zkušebních tělísek obráběním, a) ve směru toku taveniny, b) ve směru příčném k toku taveniny (1- vtok) [17]

Podmínky pro statickou tahovou zkoušku izotropních a ortotropních plastových kompozitů vyztužených vlákny je ČSN EN ISO 527-2. Rozměry doporučených zkušebních tělísek jsou viz. Tab. 1. Pokud nelze použít doporučené rozměry zkušebního tělíska, lze použít rozměry typu 1BA a 1BB viz. Tab. 2. Tyto zkušební tělíska jsou úměrně zmenšena oproti doporučeným ve většině případů 1:2, popřípadě 1:5. [16]



Obrázek 8 Tvar zkušebního tělíska [16]

Tabulka 1 Rozměry zkušebních tělísek 1A a 1B [16]

Rozměry v milimetrech

Typ zkušebního tělesa		1A	1B
$l_3$	Celková délka <sup>a</sup>	170	$\geq 150$
$l_1$	Délka zúžené části s rovnoběžnými hranami	$80 \pm 2$	$60,0 \pm 0,5$
$r$	Poloměr	$24 \pm 1$	$60 \pm 0,5$
$l_2$	Vzdálenost mezi rozšířenými částmi s rovnoběžnými hranami <sup>b</sup>	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
$b_2$	Šířka konců	$20,0 \pm 0,2$	
$b_1$	Šířka zúžené části	$10,0 \pm 0,2$	
$h$	Doporučená tloušťka	$4,0 \pm 0,2$	
$L_0$	Počáteční měřená délka (preferovaná)	$75,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
	Počáteční měřená délka (přípustná, jestliže se požaduje pro řízení kvality nebo když je předepsána)	$50,0 \pm 0,5$	
$L$	Počáteční vzdálenost mezi čelistmi	$115 \pm 1$	$115 \pm 1$

<sup>a</sup> Doporučená celková délka 170 mm pro typ 1A je v souladu s ISO 294-1 a ISO 10724-1. U některých materiálů smí být délka lopatek prodloužena (např.  $l_3 = 200$  mm), aby se zabránilo porušení nebo prokluzování tělesa v upínacích čelistech zkušebního stroje.

<sup>b</sup>  $l_2 = l_1 + [4r(b_2 - b_1) - (b_2 - b_1)^2]^{1/2}$ , pro  $l_1$ ,  $r$ ,  $b_1$  a  $b_2$  musí však být v určených mezích.

Tabulka 2 Rozměry zkušebních tělísek typu 1BA a 1BB [16]

Typ zkušebního tělesa	Rozměry v milimetrech	
	1BA	1BB
$l_3$ Celková délka	$\geq 75$	$\geq 30$
$l_1$ Délka zúžené rovnoběžné části	$30 \pm 0,5$	$12 \pm 0,5$
$r$ Poloměr	$\geq 30$	$\geq 12$
$l_2$ Rozpětí mezi širokými rovnoběžnými částmi	$58 \pm 2$	$23 \pm 2$
$b_2$ Šířka konců	$10 \pm 0,5$	$4 \pm 0,2$
$b_1$ Šířka zúžené části	$5 \pm 0,5$	$2 \pm 0,2$
$h$ Tloušťka	$\geq 2$	$\geq 2$
$L_0$ Počáteční měřená délka	$25 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
$L$ Počáteční vzdálenost čelistí	$l_2^{+2}_0$	$l_2^{+1}_0$

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK

### 4.1 Použité materiály

Pro výrobu zkušebních tělísek se použilo pět druhů materiálu Grivory s odlišným procentuálním zastoupením vyztužujících vláken. Vyztužující vlákna se lišila délkou (dlouhá, krátká) a materiálem (uhlíková, skelná).

Grivory = kopolymer PA66/PA61-X

GVX 5H = 50 % krátké skelné vlákno

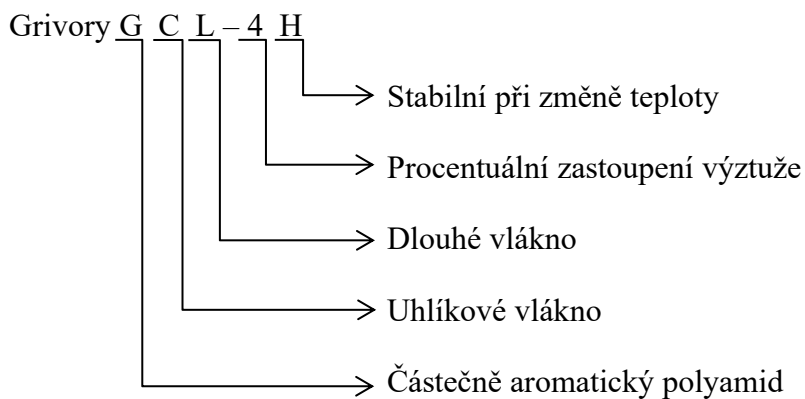
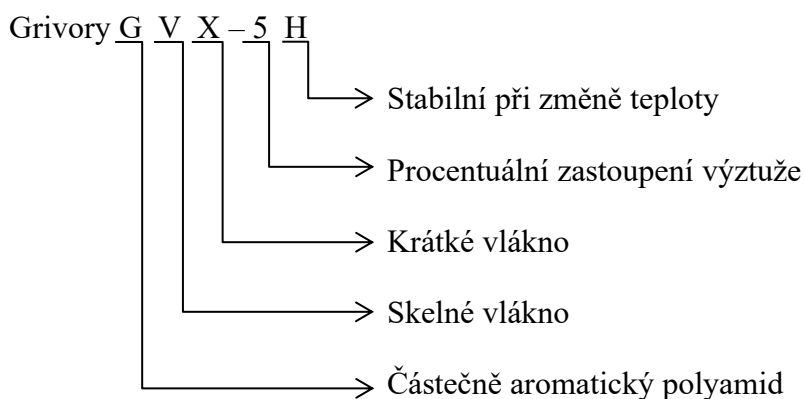
GVL 5H = 50 % dlouhé skelné vlákno

GCL 3H = 30 % dlouhé uhlíkové vlákno

GCL 4H = 40 % dlouhé uhlíkové vlákno

GVX 7H = 70 % krátké skelné vlákno

#### 4.1.1 Značení materiálů

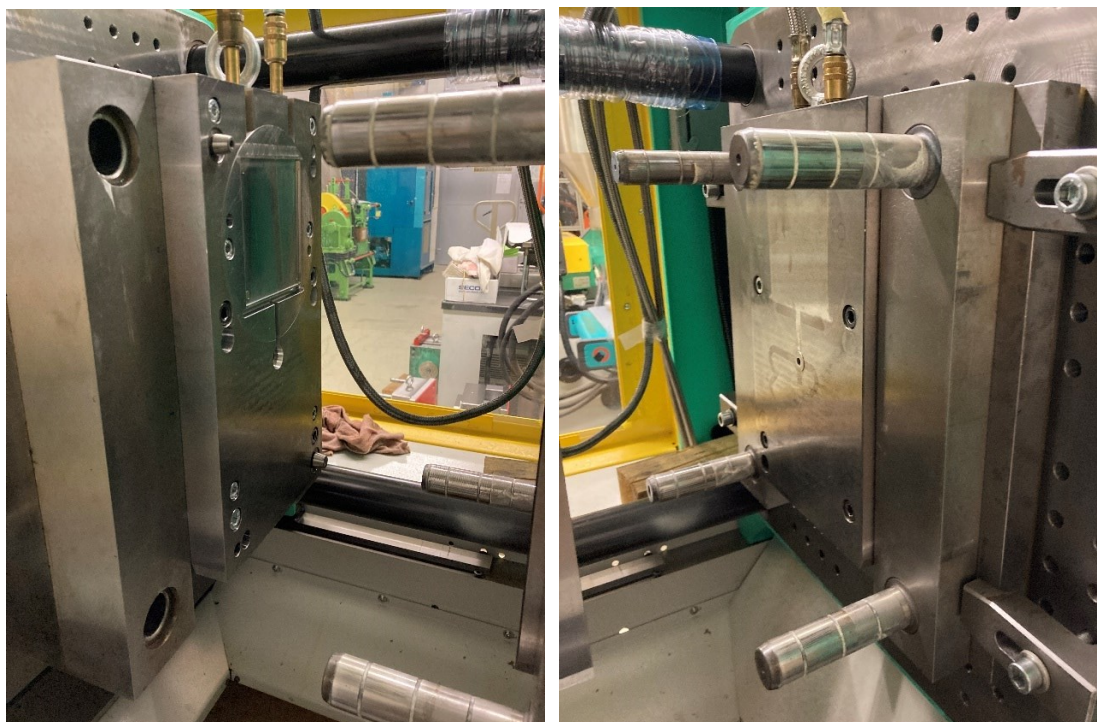


## 4.2 Vstřikování

Výroba destiček z vybraných termoplastových materiálů vyztužených krátkým a dlouhým vláknem pro následné vyhotovení zkušebních tělísek byla zhotovována na výrobním zařízení VS-Arburg Allrounder 470 E s průměrem šneku 35 mm.



Obrázek 9 VS-Arburg Allrounder 470 E [13]



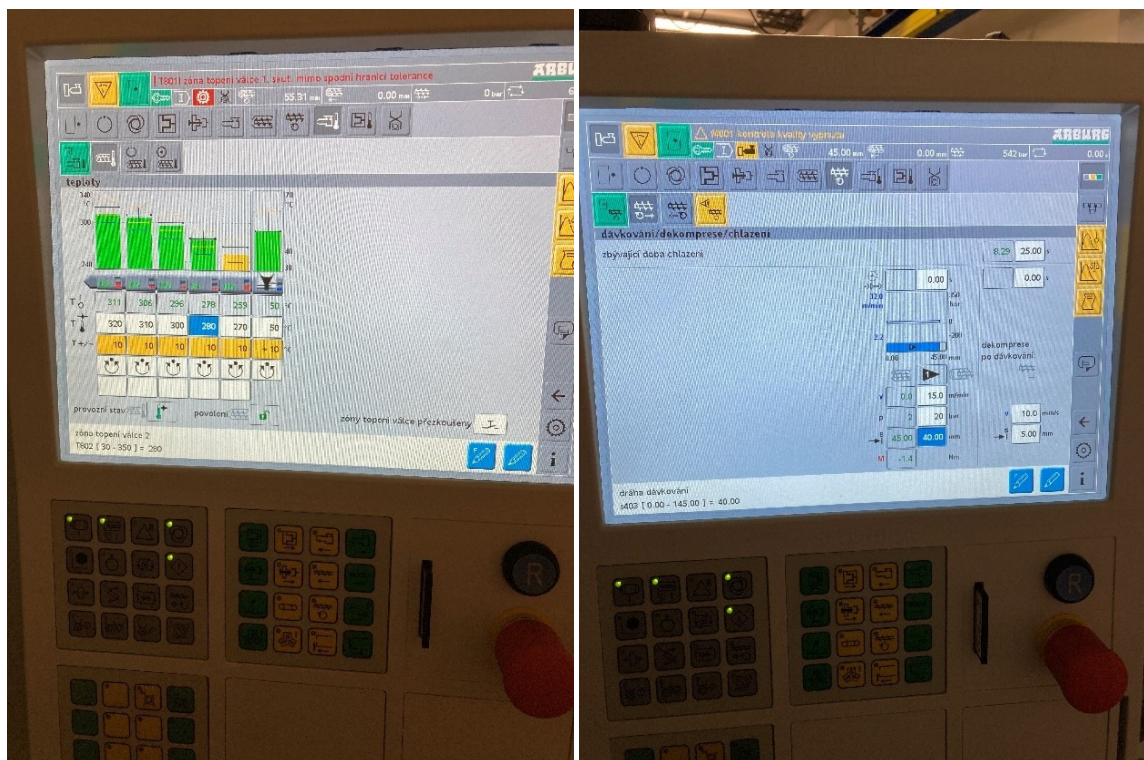
Obrázek 10 Pevná a pohyblivá část dutiny vstřikovací formy



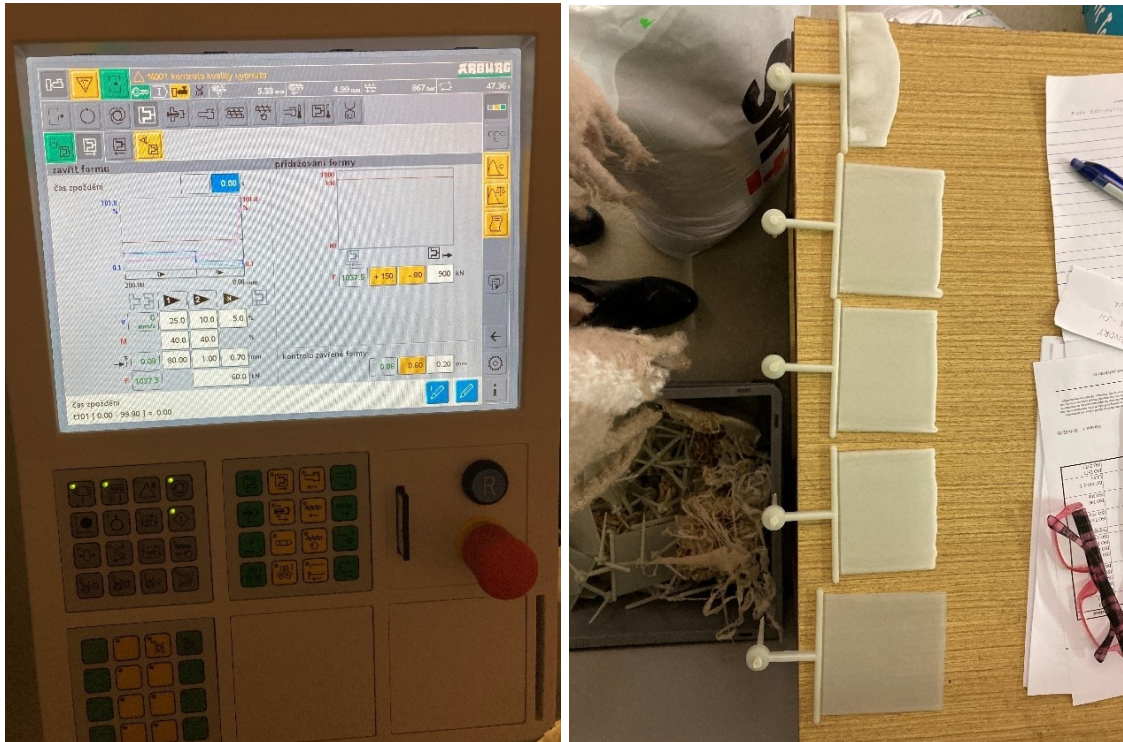
Technologické podmínky, které byly při vyhotovování destiček z termoplastických materiálů s krátkovláknovou nebo dlouhovláknovou výztuží zvoleny, jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 3 Technologické podmínky vstřikování pro vybrané materiály

	Grivory GCL 3H	Grivory GVL 5H	Grivory GVX 5H	Grivory GVX 7H	Grivory GCL 4H
Dávka/mm	37	41	40	75	47
Vstřik. rychlost mm/s	50	40	50	40	40
Vstřik. tlak/bar	1500	1600	800	1400	1700
Dotlak/bar	900	1000	600	1200	1600
Dráha přepnutí mm	6	6	5	4	4
Doba dotlaku/s	12	13	13	12	12
Doba chlazení/s	25	25	25	25	25
Teplota trysky/ °C	320	330	320	320	330
Teploty na válci/ °C	295	330	310	310	320
	285	310	300	295	300
	270	290	280	280	280
	260	280	270	265	265
Doba sušení/hod	20	24	24	20	20
Teplota sušení/ °C	80	80	80	85	85
Teplota formy/ °C	70	90	90	90	90



Obrázek 11 Řídicí panel vstřikovacího stroje VS-Arburg Allrounder 470 E s nastavenými parametry cyklu



Obrázek 12 Vliv nastavení parametrů vstřikovacího cyklu na dotečení výrobku



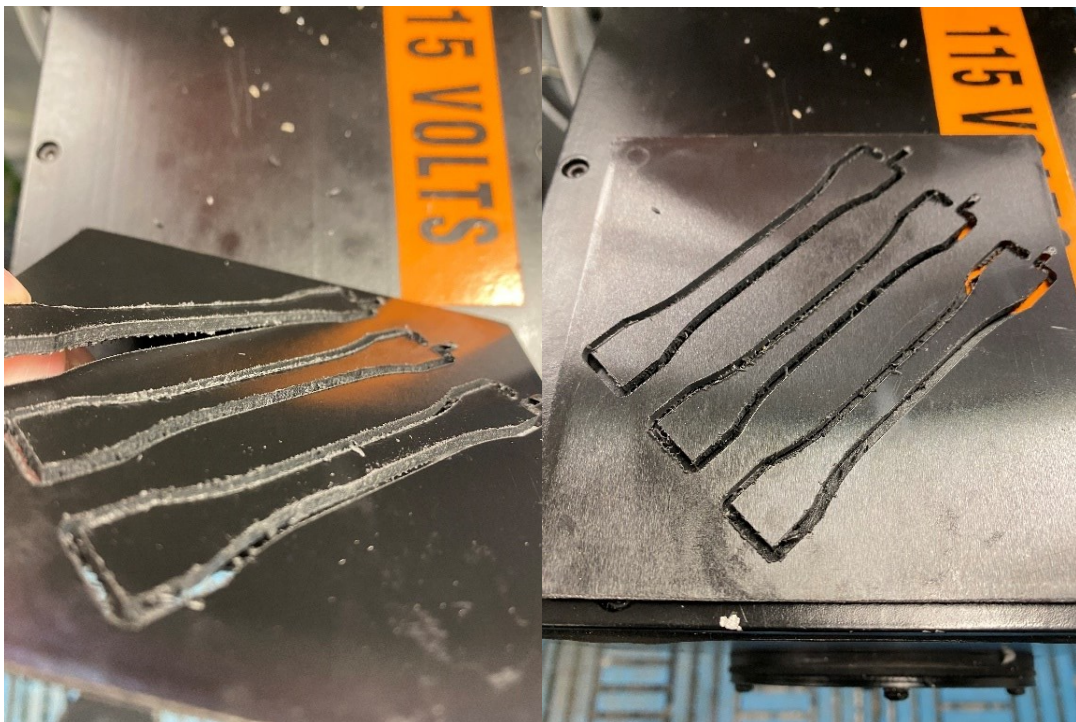
Obrázek 13 Destička s vtokovým systémem po vyjmutí z formy



### 4.3 Výroba zkušebních tělísek

Pro vyhotovení většiny zkušebních tělísek ze vstříkované destičky byla použita metoda CNC frézování, kdy jsme docílili vhodně obrobené hrany bez nedokonalostí. Druhou metodou pro výrobu zkušebních tělísek bylo obrábění vodním paprskem. Při této metodě nastávají vady na řezné hraně (podkos řezné hrany a výskyt drobných vrubů na řezné hraně), které by mohly značně ovlivnit výsledky tahové zkoušky. Přesto metoda vodního paprsku musela být použita, jelikož některé materiály s uhlíkovou příměsí se na frézu lepily, tudíž řezná hrana nebyla vhodná. Přestože frézování poskytuje vyšší kvalitu řezné hrany u převážné většiny materiálů, je tento aspekt značně důležitý pro získání věrohodných dat z tahové zkoušky a následné využití pro napěťové analýzy. Úkos vzniklý při řezu vodním paprskem byl z plochy průřezu pro vyhotovení výsledků odečten.

Zkušební tělíska se vyhotovovala ve třech směrech orientovaných ke směru toku taveniny do dutiny formy. Ve směru toku taveniny, kolmo ke směru toku taveniny a pod úhlem 45°.



Obrázek 14 Zkušební tělíska po vyfrézování



### 4.3.1 CNC frézování

Frézování je strojní třískové obrábění vícebřitým nástrojem (frézou), kdy hlavní pohyb koná nástroj. Pro výrobu zkušebních tělísek byla použita stopková fréza o  $\varnothing 2\text{ mm}$ . Tělíska, které byla frézována se vyhotovovala ve firmě Brano a.s. [14]



Obrázek 15 CNC frézka [13]

### 4.3.2 Obrábění vodním paprskem

Obrábění vodním paprskem je metoda řezání, kdy se čistá voda vstříká do řezací hlavy a ta ji usměřňuje do řízeného vodního paprsku. V řezací hlavě se voda může mísit s abrazivem pro řezání tvrdších materiálů v různém poměru. Tělíska, která byla vyřezána metodou vodního paprsku se vyhotovovala ve firmě FORM s.r.o. [15]



Obrázek 16 Obrábění vodním paprskem [15]

#### 4.4 Experimentální stanovení mechanických vlastností pomocí zkoušky tahem

Statická zkouška tahem byla provedena na univerzálním zkušebním stroji Zwick/Roell 1456 podle požadavků příslušné normy ČSN EN ISO 527-2: Plasty – stanovení tahových vlastností.

##### 4.4.1 Technické parametry

Rychlost pro měření modulu pružnosti E:  $v = 1 \text{ mm/min}$

Vzdálenost extenzometru:  $L_0 = 30 \text{ mm}$

Siloměrná hlava:  $5 \text{ kN}/20 \text{ kN}$

Upínací čelisti samosvorné:  $25 \text{ kN}$

Okolní podmínky při měření: *teplota*  $20^\circ\text{C}$

*vlhkost*  $50\%$

Tabulka 4 Technické parametry univerzálního zkušebního stroje Zwick/Roell 1456

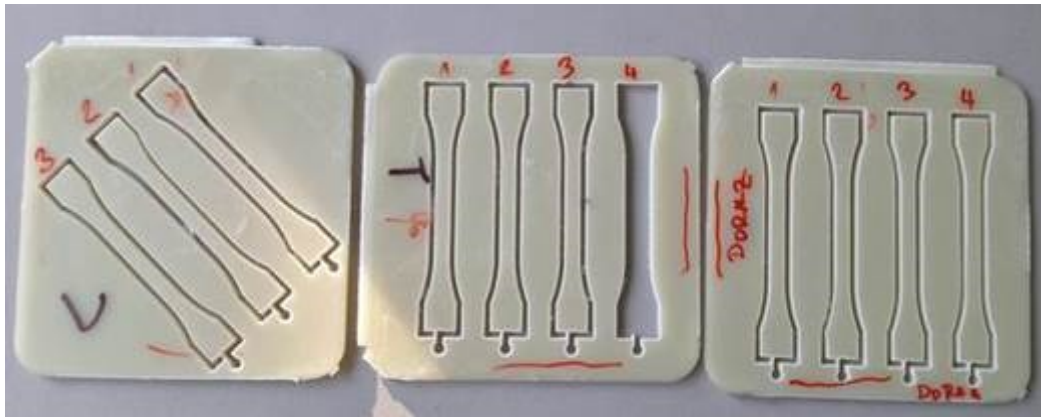
Parametry stroje		
Maximální síla	20	kN
Maximální posuv příčnicku	800	mm/min
Testovací software	testExpert	
Tepelné komora	-80+250	°C



Obrázek 17 Univerzální zkušební stroj Zwick/Roell 1456 s čelistmi a extenzometrem pro zkoušku tahem

#### 4.4.2 Použité zkušební tělíska

Byla použita tělíska typu 1BA vyfrézovaná ve třech směrech. Ve směru příčném T (kolmém ke směru toku taveniny), ve směru podélném L (ve směru toku taveniny) a pod úhlem 45° vůči směru toku taveniny do dutiny formy. Systém označování a číslování použitý pro tahovou zkoušku je na obr.16.



Obrázek 18 Označení zkušebních tělísek vyfrézovaných ve vstřikované destičce, směr 45°, příčný T, podélný L

## 5 TAHOVÁ ZKOUŠKA

Tahová zkouška proběhla pro vybrané materiály Grivory. Zkušební tělíska z těchto materiálů se měřila pro každý vyhotovený směr.

### 5.1 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsou zapsané v následujících tabulkách a je provedena i statistika těchto naměřených hodnot. Do statistiky je zahrnut průměr měřených veličin, směrodatná odchylka a variační koeficient v procentech.

#### 5.1.1 Grivory GVX 5H

Naměřené hodnoty pro materiál Grivory s 50 % krátkého skelného vlákna pro tři směry vyhotovených zkušebních tělísek.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr L

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\epsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>L</b>	186,3	12970	1,9	-	-	0,524	-	2,05	5,08
	186,3	11473	2,5	-	-	0,744	-	2,05	5,08
	197,4	11095	2,7	2060	0,7	0,861	0,861	2,05	5,08
	198,8	12207	1,6	2070	0,4	0,548	0,548	2,05	5,08
	218,9	12703	2,5	2270	0,6	0,772	0,777	2,05	5,08
	200	11673	2	2080	0,5	0,765	0,765	2,05	5,08
	216,1	10885	2,5	2250	0,6	0,712	0,712	2,05	5,08
	201,9	12171	2,2	2100	0,6	0,814	0,814	2,05	5,08
	211,1	12302	2,2	2170	0,6	0,656	0,659	2,05	5,08

Tabulka 6 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr L

$n = 9$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>x</math></b>	201,9	11942	2,2	2140	0,6	0,711	0,734	2,05	5,08
<b><math>s</math></b>	11,7	708	0,4	86,8	0,1	0,115	0,105	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	5,79	5,93	15,94	4,05	16,54	16,15	14,29	0	0

Tabulka 7 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr T

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>T</b>	138,5	9694	2	1440	0,5	0,406	0,406	2,05	5,08
	136,8	9468	1,9	1420	0,5	0,309	0,309	2,05	5,08
	140	10048	1,7	1460	0,4	0,422	0,422	2,05	5,08
	136,4	8881	2	1420	0,5	0,413	0,413	2,05	5,08
	128,2	9250	1,7	1280	0,4	0,347	0,349	2,05	5,08
	136,2	9423	2,1	1420	0,5	0,462	0,462	2,05	5,08

Tabulka 8 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr T

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>x</math></b>	136	9461	1,9	1410	0,5	0,393	0,393	2,05	5,08
<b><math>s</math></b>	4,1	395	0,2	63,7	0	0,056	0,055	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	3,01	4,18	9,47	4,53	9,4	14,12	14,04	0	0

Tabulka 9 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr 45°

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{max}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>45°</b>	150,6	9755	3,1	3,8	0,8	0,881	0,947	2,05	5,08
	156,8	8613	3,3	3,8	0,8	0,885	0,918	2,05	5,08
	157,2	9322	2,3	3,7	0,6	0,703	0,722	2,05	5,08
	149,1	8830	3,2	3,8	0,8	0,813	0,813	2,05	5,08
	156,7	8776	2,9	4	0,7	0,72	0,72	2,05	5,08
	159,1	9959	2,8	3,8	0,7	0,748	0,748	2,05	5,08

Tabulka 10 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr 45°

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	154,9	9209	2,9	1610	0,7	0,792	0,811	2,05	5,08
<b><math>s</math></b>	4	559	0,4	43	0,1	0,08	0,1	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	2,61	6,07	12,35	2,67	12,84	10,11	12,34	0	0

## 5.1.2 Grivory GVL 5H

Naměřené hodnoty pro materiál Grivory s 50 % dlouhého skelného vlákna pro tři směry vyhotovených zkušebních tělísek.

Tabulka 11 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr L

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>L</b>	224,4	12298	1,9	2210	0,5	0,574	0,575	2,08	4,98
	218,8	10877	2,6	2270	0,7	0,9	0,9	2,08	4,98
	210,1	11392	2,5	2180	0,6	0,767	0,767	2,08	4,98
	249,5	13328	2,3	2580	0,6	0,903	0,903	2,08	4,98
	240,7	13433	2,3	2490	0,6	0,798	0,798	2,08	4,98
	209,9	12165	2,3	2170	0,6	0,778	0,778	2,08	4,98
	198,1	13054	2,1	2050	0,5	0,622	0,622	2,08	4,98
	288,9	16244	2,3	2890	0,6	0,927	0,927	2	5

Tabulka 12 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr L

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	230	12849	2,3	2360	0,6	0,784	0,784	2,07	4,983
<b><math>s</math></b>	29,1	1644	0,2	278	0,1	0,131	0,13	0,02828	0,007071
<b><math>v</math> [%]</b>	12,67	12,8	9,59	11,81	9,57	16,65	16,62	1,37	0,14



Tabulka 13 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr T

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>T</b>	132,7	10284	1,5	1370	0,4	0,291	0,291	2,08	4,98
	132,1	10216	1,5	1330	0,4	0,276	0,278	2,08	4,98
	117,8	9808	1,4	1220	0,3	0,226	0,226	2,08	4,98
	128,9	11760	1,3	1300	0,3	0,228	0,229	2,08	4,98
	137,9	10212	1,1	1430	0,3	0,279	0,279	2,08	4,98
	135,1	9488	1,6	1340	0,4	0,299	0,301	2,08	4,98

Tabulka 14 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr T

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	130,7	10294	1,4	1330	0,4	0,267	0,267	2,08	4,98
<b><math>s</math></b>	7	781	0,2	70,3	0	0,032	0,032	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	5,37	7,59	12,46	5,28	12,55	11,91	12,01	0	0

Tabulka 15 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr 45°

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>45°</b>	136,8	7971	2	1420	0,5	0,423	0,423	2,08	4,98
	159,6	9732	2,8	1570	0,7	0,753	0,758	2,08	4,98
	195,1	10545	2	1930	0,5	0,703	0,706	2,08	4,98
	149,8	8840	2,7	1530	0,7	0,638	0,642	2,08	4,98
	157	9235	2,2	1630	0,5	0,612	0,612	2,08	4,98
	179,2	9955	2,3	1820	0,6	0,629	0,632	2,08	4,98

Tabulka 16 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr 45°

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>x</math></b>	162,9	9380	2,3	1650	0,6	0,626	0,629	2,08	4,98
<b><math>s</math></b>	21	907	0,4	191	0,1	0,113	0,115	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	12,87	9,66	15,02	11,59	15,18	18,04	18,23	0	0

### 5.1.3 Grivory GCL 3H

Naměřené hodnoty pro materiál Grivory s 30 % dlouhého uhlíkového vlákna pro tři směry vyhotovených zkušebních tělísek.

Tabulka 17 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr L

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>L</b>	256,6	17910	1,6	-	-	0,578	-	2	5,15
	212,4	16286	1,3	2190	0,3	0,498	0,498	2	5,15
	228,6	15721	2,1	2350	0,5	0,718	0,718	2	5,15
	256,8	18655	1,2	-	-	0,548	-	2	5,15
	245,3	18748	1,6	2530	0,4	0,516	0,516	2	5,15
	230,1	15430	1,9	2370	0,5	0,684	0,684	2	5,15
	228,1	16795	2	2350	0,5	0,707	0,707	2	5,15
	248,1	19914	1,6	2550	0,4	0,555	0,555	2	5,15
	280	17782	1,8	2740	0,4	0,655	0,659	2	5,15

Tabulka 18 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr L

$n = 9$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$a_0$	$b_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b><math>x</math></b>	242,9	17471	1,7	2440	0,4	0,606	0,619	2	5,15
<b><math>s</math></b>	20,3	1516	0,3	180	0,1	0,085	0,094	0	0
<b><math>v</math> [%]</b>	8,37	8,68	17,93	7,4	16,15	14,01	15,13	0	0

Tabulka 19 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr T

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	138	10611	1,7	1240	0,4	0,313	0,313	9
	133,7	10254	1,7	1200	0,4	0,295	0,297	9
	132,4	10308	1,5	1190	0,4	0,242	0,242	9
	127,8	9542	1,6	1150	0,4	0,258	0,258	9
	125,6	10586	1,4	1130	0,3	0,201	0,202	9

Tabulka 20 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr T

$n = 5$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
$\bar{x}$	131,5	10260	1,6	1180	0,4	0,262	0,262	9
$s$	4,9	432	0,1	44,1	0	0,044	0,045	0
$v$ [%]	3,74	4,21	8,56	3,73	8,55	17	16,98	0

Tabulka 21 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr 45°

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>45°</b>	149,6	9145	2,3	1350	0,6	0,461	0,467	9
	161,4	10315	2,3	1450	0,6	0,503	0,503	9
	168	11287	2	1510	0,5	0,436	0,438	9
	151	10299	2	1320	0,5	0,388	0,389	9
	170,5	10379	1,9	1530	0,5	0,509	0,509	9

Tabulka 22 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr 45°

$n = 5$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b><math>x</math></b>	160,1	10285	2,1	1430	0,5	0,459	0,461	9
<b><math>s</math></b>	9,6	761	0,2	96,1	0	0,05	0,049	0
<b><math>v</math> [%]</b>	5,97	7,39	8,37	6,7	8,52	10,89	10,72	0

#### 5.1.4 Grivory GCL 4H

Naměřené hodnoty pro materiál Grivory s 40 % dlouhého uhlíkového vlákna pro tři směry vyhotovených zkušebních tělísek.

Tabulka 23 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr L

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>L</b>	289,4	24643	1,6	3150	0,4	0,735	0,735	10,9
	240,2	18654	1,3	2620	0,3	0,624	0,624	10,9
	240,8	19628	1,6	2590	0,4	0,608	0,612	10,9
	278,4	27063	1,3	2950	0,3	0,568	0,571	10,9
	274,3	20796	1,8	2990	0,5	0,785	0,785	10,9
	225	17711	1,8	2450	0,4	0,611	0,611	10,9

Tabulka 24 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr L

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b><math>x</math></b>	258	21416	1,6	2790	0,4	0,655	0,656	10,9
<b><math>s</math></b>	25,9	3667	0,2	276	0,1	0,085	0,084	0
<b><math>v</math> [%]</b>	10,05	17,12	14,32	9,89	14,26	12,93	12,74	0

Tabulka 25 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr T

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	126,8	11543	1,4	1380	0,3	0,245	0,245	10,9
	131	13160	1,1	1430	0,3	0,213	0,213	10,9
	133,7	13050	1,2	1460	0,3	0,225	0,227	10,9
	125,3	12658	0,9	1370	0,2	0,199	0,199	10,9
	113,4	12068	0,7	1220	0,2	0,149	0,15	10,9
	129,5	12075	1,5	1410	0,4	0,308	0,312	10,9

Tabulka 26 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr T

$n = 6$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	126,6	12426	1,1	1380	0,3	0,223	0,224	10,9
<b><math>s</math></b>	7,1	635	0,3	81,8	0,1	0,052	0,054	0
<b><math>\nu</math> [%]</b>	5,63	5,11	24,54	5,94	24,72	23,51	23,98	0

Tabulka 27 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr 45°

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	157,9	11712	1,9	1720	0,5	0,473	0,473	10,9
	162,6	11506	1,9	1770	0,5	0,483	0,483	10,9
	176,3	12880	2,2	1920	0,6	0,669	0,669	10,9
	140	9631	2,1	1530	0,5	0,502	0,507	10,9
	156,9	10462	2,1	1710	0,5	0,536	0,536	10,9

Tabulka 28 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr 45°

$n = 5$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
$\bar{x}$	158,7	11238	2	1730	0,5	0,532	0,534	10,9
$s$	13	1243	0,2	142	0	0,08	0,079	0
$v$ [%]	8,2	11,06	7,4	8,2	7,44	14,98	14,86	0

### 5.1.5 Grivory GVX 7H

Naměřené hodnoty pro materiál Grivory s 70 % krátkého skelného vlákna pro tři směry vyhotovených zkušebních tělísek.

Tabulka 29 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr L

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>L</b>	172,3	17078	1,4	1610	0,3	0,315	0,317	9,8
	157,6	16442	1,3	1540	0,3	0,257	0,257	9,8
	180,3	16764	1,5	1760	0,4	0,385	0,387	9,8
	165,5	18425	1,3	1620	0,3	0,305	0,305	9,8
	172,1	16349	1,4	1690	0,4	0,333	0,333	9,8
	174,7	15529	1,6	1650	0,4	0,405	0,407	9,8
	214,7	17444	1,9	2100	0,5	0,66	0,66	9,8
	170,4	16966	1,6	1670	0,4	0,429	0,429	9,8

Tabulka 30 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr L

$n = 8$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
$\bar{x}$	175,9	16875	1,5	1710	0,4	0,386	0,387	9,8
$s$	17	851	0,2	172	0	0,124	0,124	0
$v$ [%]	9,68	5,04	13,34	10,09	13,33	32,19	32,12	0

Tabulka 31 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr T

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>T</b>	132,2	14585	1,3	1300	0,3	0,245	0,245	9,8
	131,7	15683	1,2	1230	0,3	0,232	0,235	9,8
	125,5	13898	1,4	1230	0,4	0,269	0,271	9,8
	108	14375	1	1040	0,2	0,148	0,148	9,8
	126,1	15112	1,3	1200	0,3	0,239	0,24	9,8

Tabulka 32 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr T

$n = 5$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	124,7	14730	1,2	1200	0,3	0,227	0,228	9,8
<b><math>s</math></b>	9,8	688	0,2	95,1	0	0,046	0,047	0
<b><math>v</math> [%]</b>	7,87	4,67	14,77	7,93	14,82	20,33	20,43	0

Tabulka 33 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr 45°

Směr řezu	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>45°</b>	147,1	12917	2,2	1380	0,6	0,605	0,61	9,8
	142,2	14839	1,8	1390	0,4	0,397	0,399	9,8
	126,3	13082	1,7	1240	0,4	0,351	0,358	9,8
	148,1	12959	2,4	1450	0,6	0,616	0,621	9,8
	137	14004	1,6	1340	0,4	0,33	0,33	9,8

Tabulka 34 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr 45°

$n = 5$	$\sigma_{Mt}$	$E$	$\varepsilon_{Mt}$	$F_{break}$	$\Delta L_{break}$	$W_{F_{max}}$	$W_{break}$	$S_0$
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	%	<b>N</b>	<b>mm</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	140,1	13560	1,9	1360	0,5	0,46	0,464	9,8
<b><math>s</math></b>	8,9	842	0,4	78,4	0,1	0,14	0,141	0
<b><math>\nu</math> [%]</b>	6,35	6,21	19,34	5,77	19,38	30,37	30,37	0

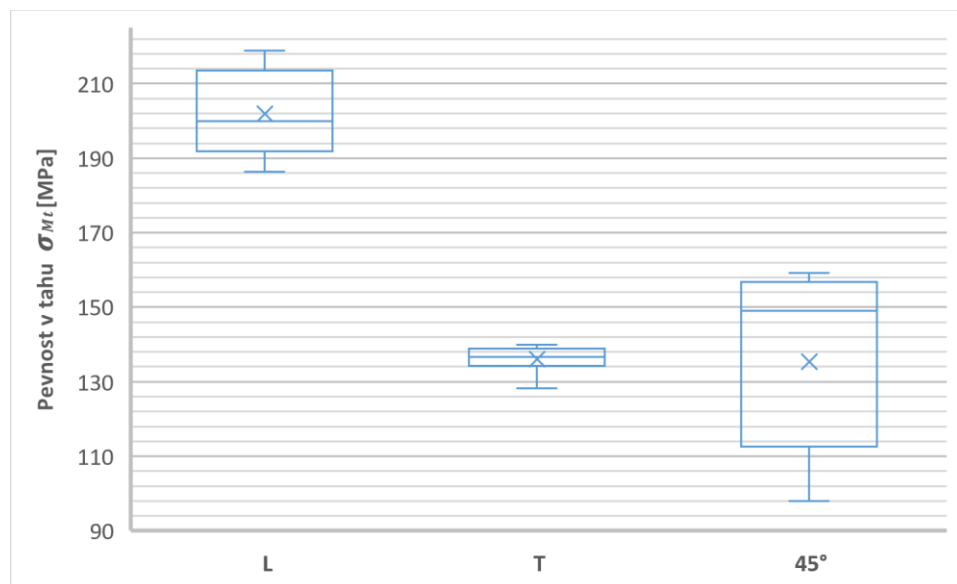


## 6 SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT V ZÁVISLOSTI NA SMĚRU TOKU TAVENINY VE ZKUŠEBNÍM TĚLÍSKU

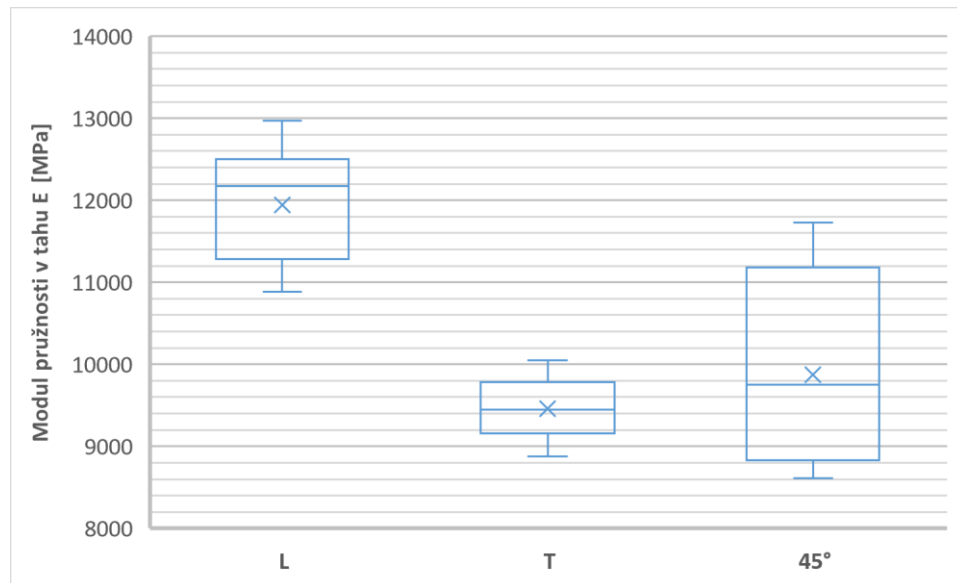
Grafické srovnání naměřených hodnot meze pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$ , modulu pružnosti v tahu  $E$  a poměrného prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$  pro každý porovnávaný materiál ve třech směrech vyhotovení zkušebního tělíska.

### 6.1 Grivory GVX 5H

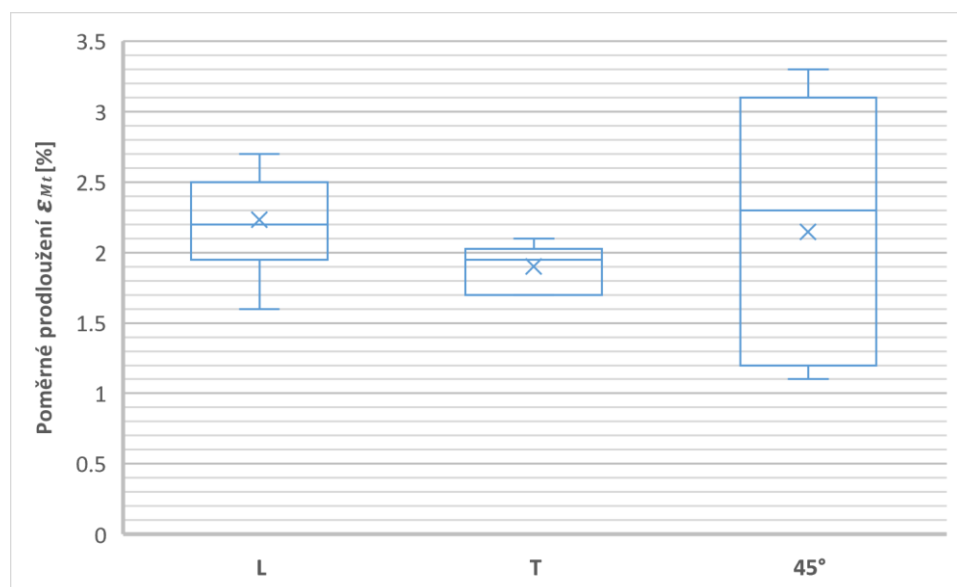
Grafické srovnání naměřených hodnot pro každý směr zkušebního tělíska z materiálu Grivory s 50 % krátkého skelného vlákna.



Graf 1 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVX 5H



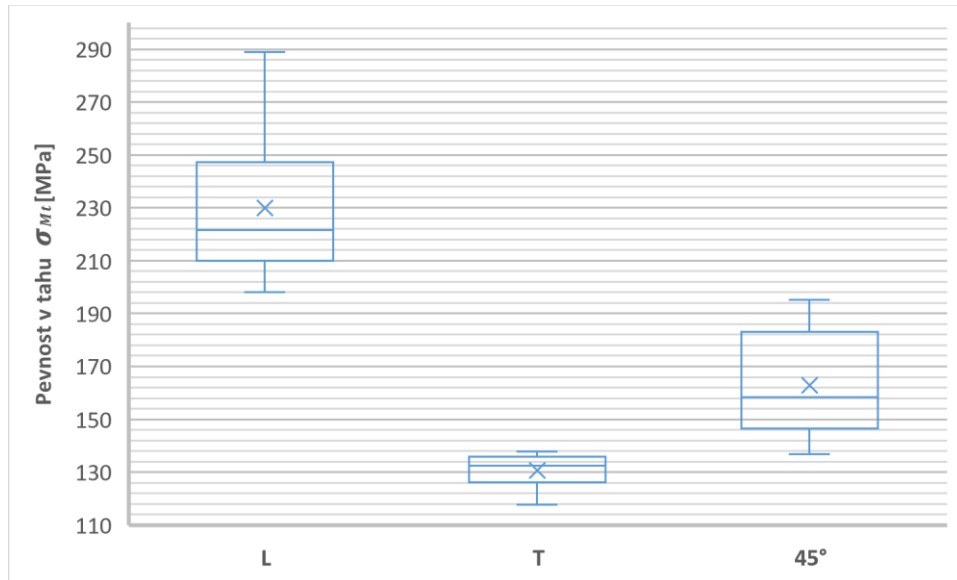
Graf 2 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVX 5H



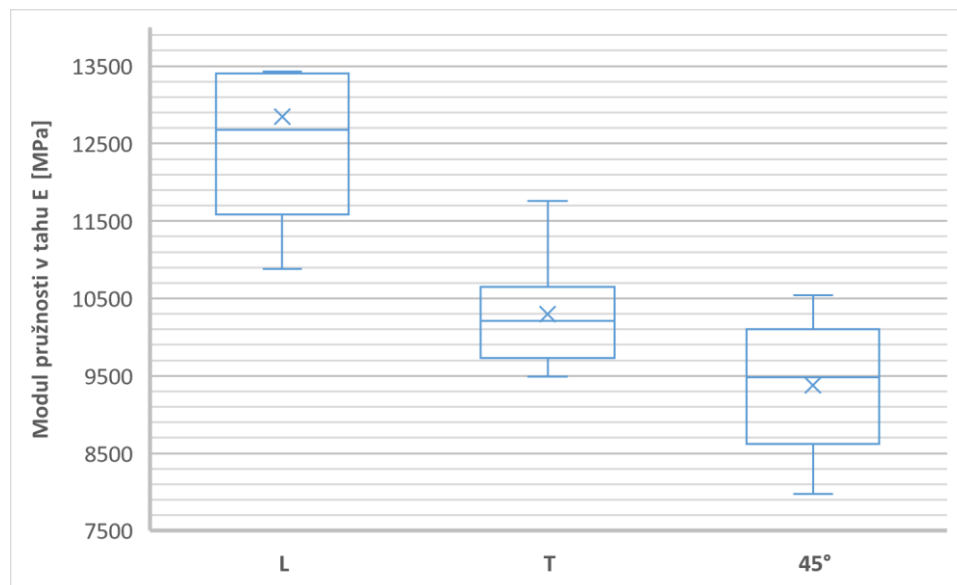
Graf 3 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVX 5H

## 6.2 Grivory GVL 5H

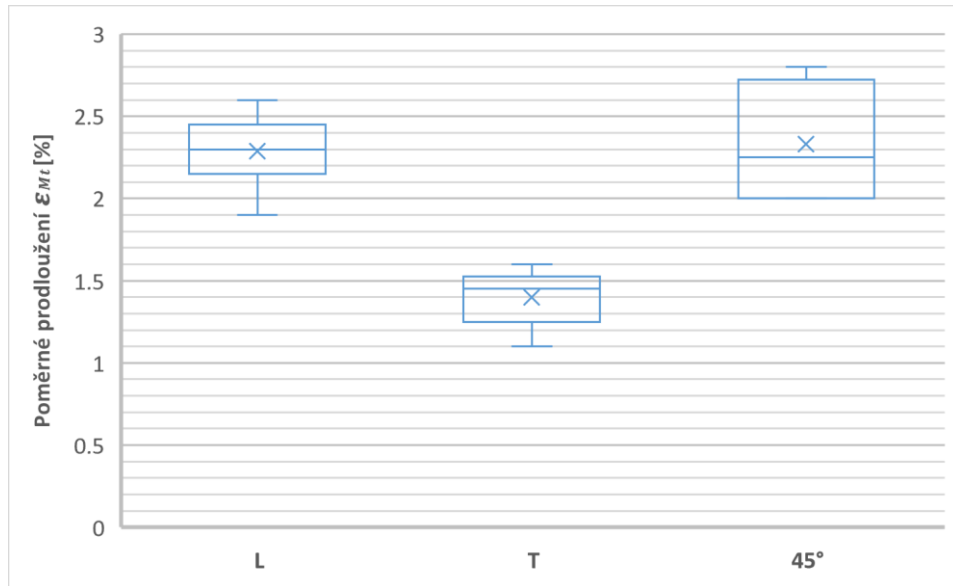
Grafické srovnání naměřených hodnot pro každý směr zkušební tělíska z materiálu Grivory s 50 % dlouhého skelného vlákna.



Graf 4 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVL 5H



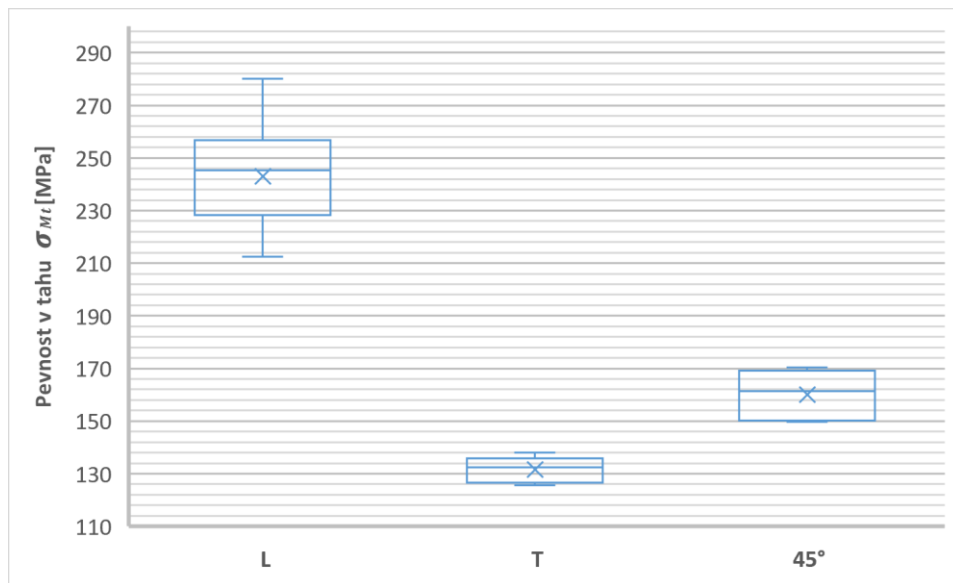
Graf 5 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVL 5H



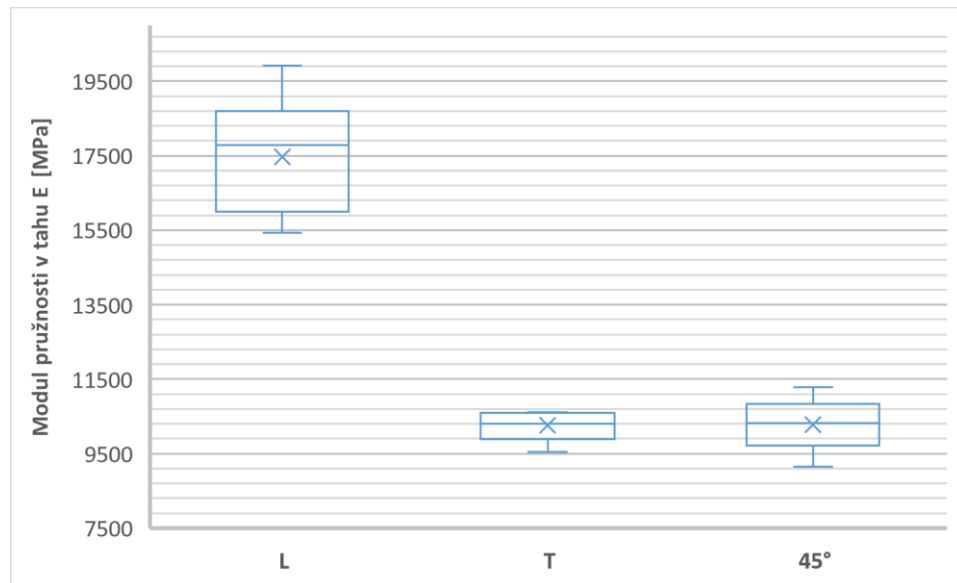
Graf 6 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVL 5H

### 6.3 Grivory GCL 3H

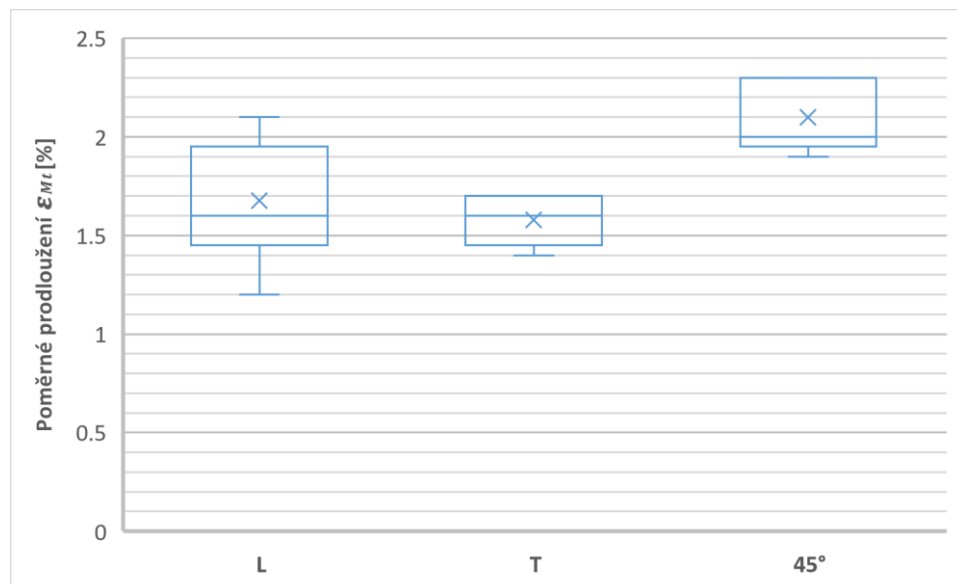
Grafické srovnání naměřených hodnot pro každý směr zkušebního tělíska z materiálu Grivory s 30 % dlouhého uhlíkového vlákna.



Graf 7 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GCL 3H



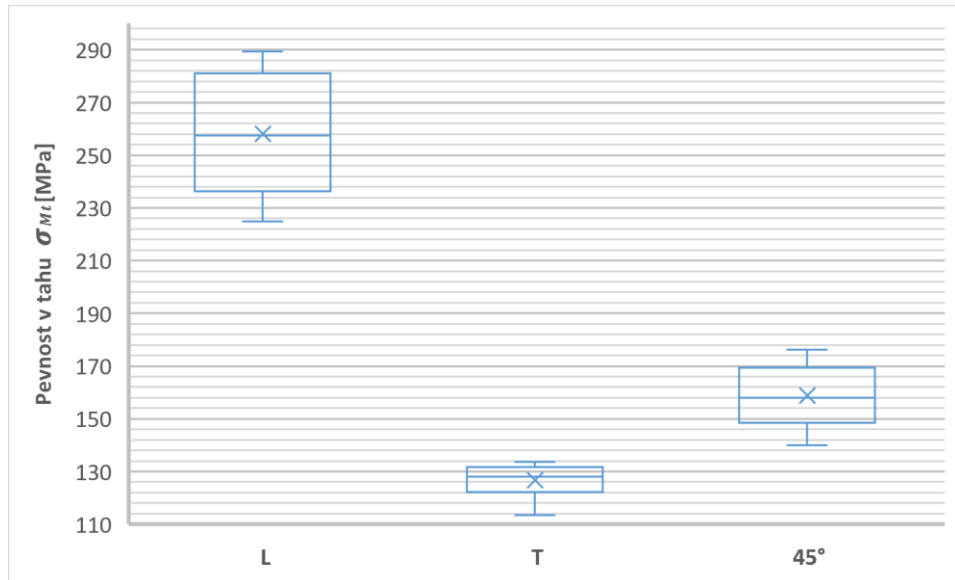
Graf 8 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GCL 3H



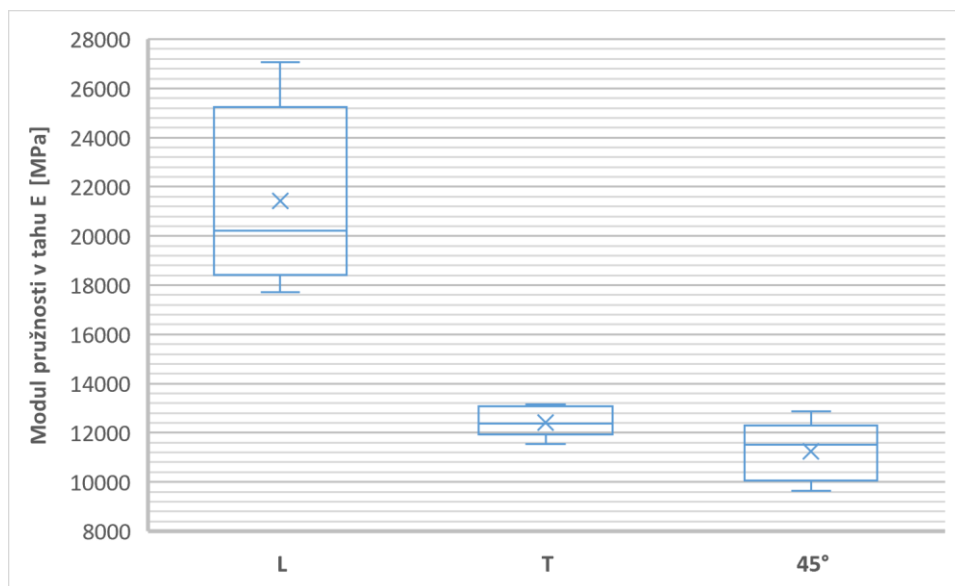
Graf 9 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GCL 3H

## 6.4 Grivory GCL 4H

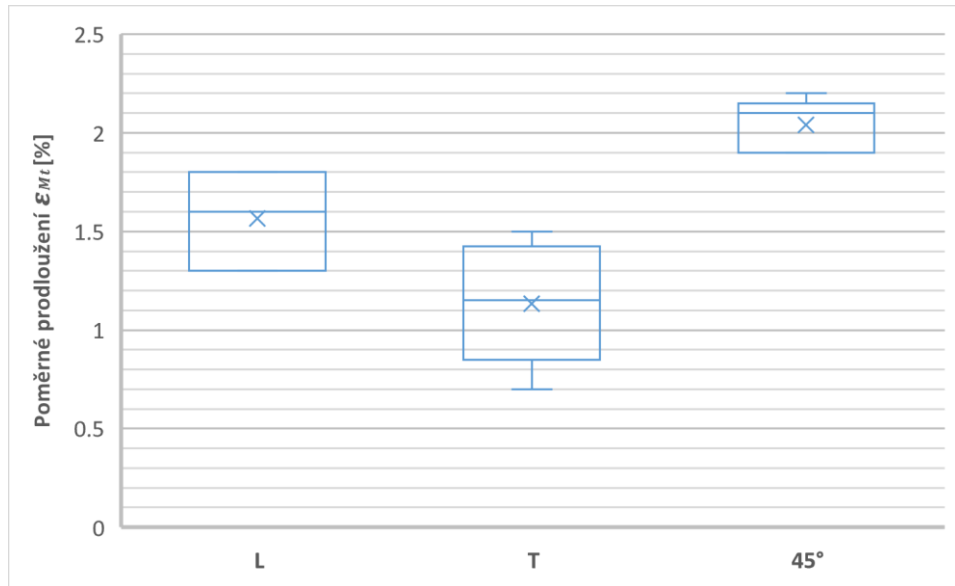
Grafické srovnání naměřených hodnot pro každý směr zkušebního tělíska z materiálu Grivory s 40 % dlouhého uhlíkového vlákna.



Graf 10 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GCL 4H



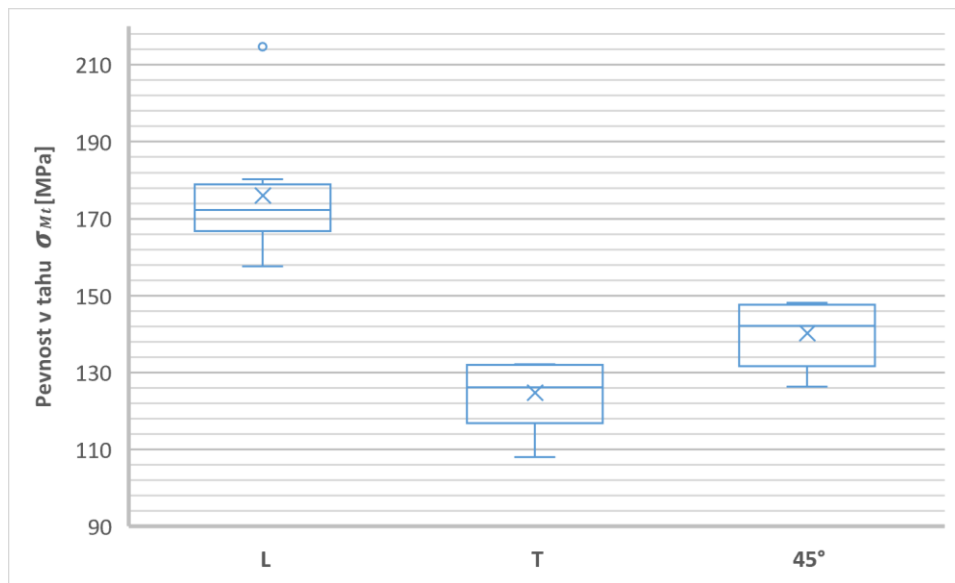
Graf 11 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GCL 4H



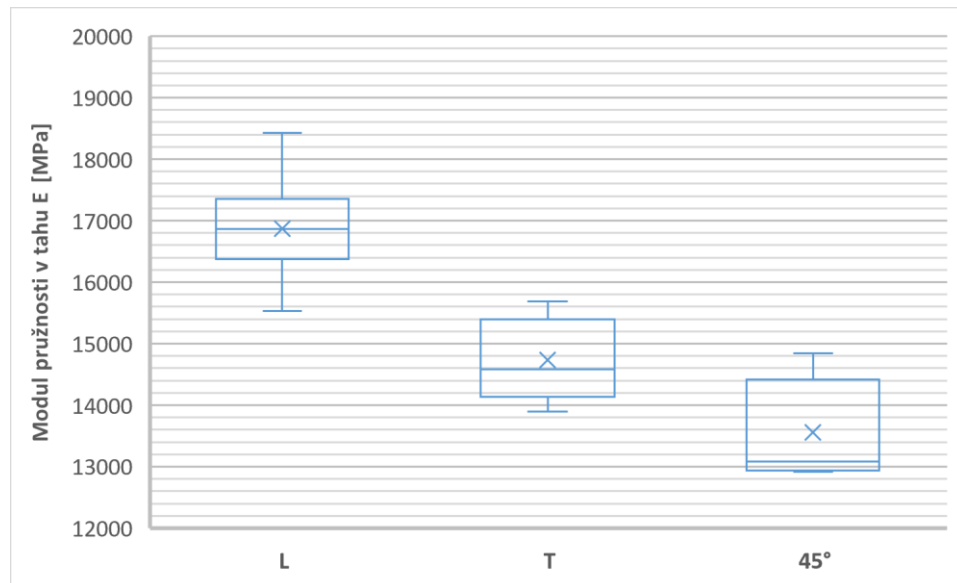
Graf 12 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GCL 4H

## 6.5 Grivory GVX 7H

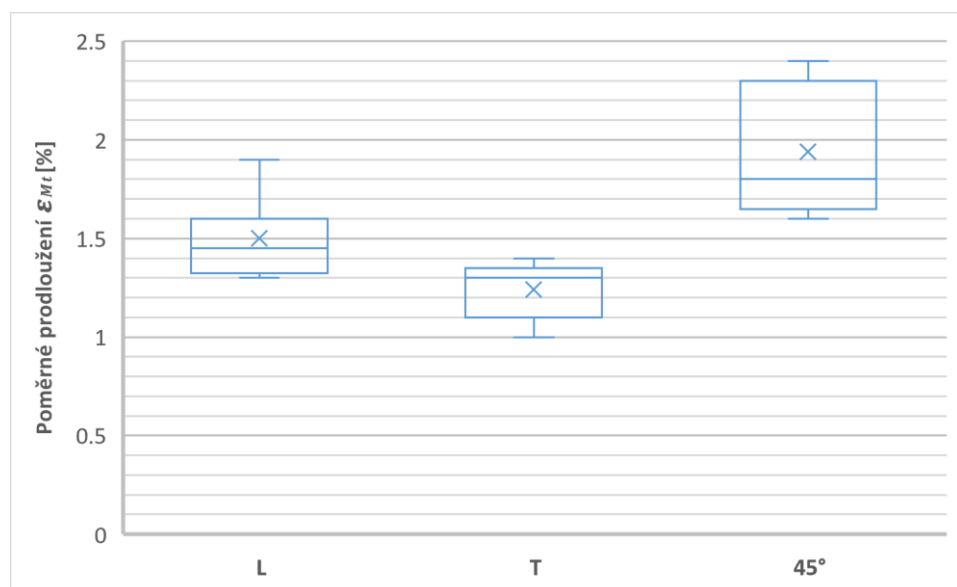
Grafické srovnání naměřených hodnot pro každý směr zkušebního tělíska z materiálu Grivory s 70 % krátkého skelného vlákna.



Graf 13 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVX 7H



Graf 14 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVX 7H



Graf 15 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVX 7H



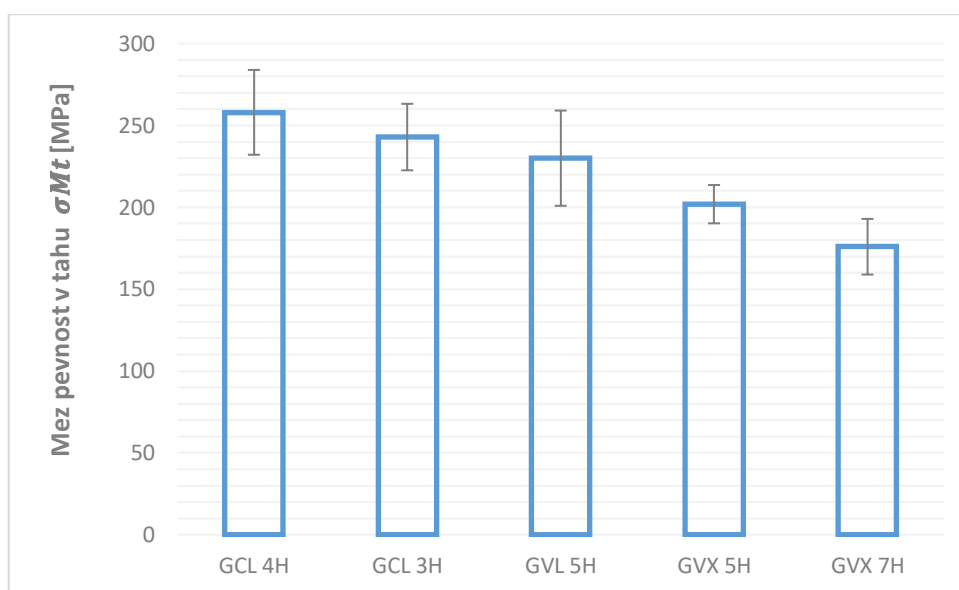
## 6.6 Zhodnocení výsledků

U všech materiálů vyšel dle naměřených výsledků jako nejvhodnější směr vyhotovení tělíska vůči směru toku taveniny do dutiny formy směr podélný. Materiály ve všech případech zkušebního tělíska vyřezaného ve směru L vykazovaly nejvyšší mez pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$  a nejvyšší modul pružnosti v tahu E. Zkušební tělíska vyřezaná ve směru T a 45° vykazovala vůči sobě, u všech zkoušených materiálů, obdobnou hodnotu modulu pružnosti v tahu E, ale značně nižší než u zkušebního tělíska vyřezaného ve směru L. Pevnost v tahu  $\sigma_{Mt}$  u zkušebního tělíska vyřezaného ve směru 45° byla ve všech případech zkoušeného materiálu vyšší než u zkušebního tělíska vyřezaného ve směru T. Nejvyšší procento poměrného prodloužení vykazovala u všech zkoušených materiálu tělíska vyřezána ve směru 45°, naopak nejnižší hodnotu vykazovaly zkušební tělíska vyřezána ve směru T. Nejnižší procento poměrného prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$  vykazovala, ve všech případech zkoušeného materiálu, zkušební tělíska vyřezána ve směru T. Dle těchto naměřených hodnot lze usoudit, že je materiál značně tuhý. Zkušební tělíska vyřezaná ve směru L a 45° vykazovala obdobné hodnoty poměrného prodloužení. Vyšší procento poměrného prodloužení značí vyšší míru elasticity materiálu.

## 7 SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT V ZÁVOSLOTI NA MATERIÁLU

Grafické vyhodnocení průměrných naměřených hodnot meze pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$ , modulu pružnosti v tahu  $E$  a poměrného prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$  pro vyhotovená zkušební tělíska ve všech směrech.

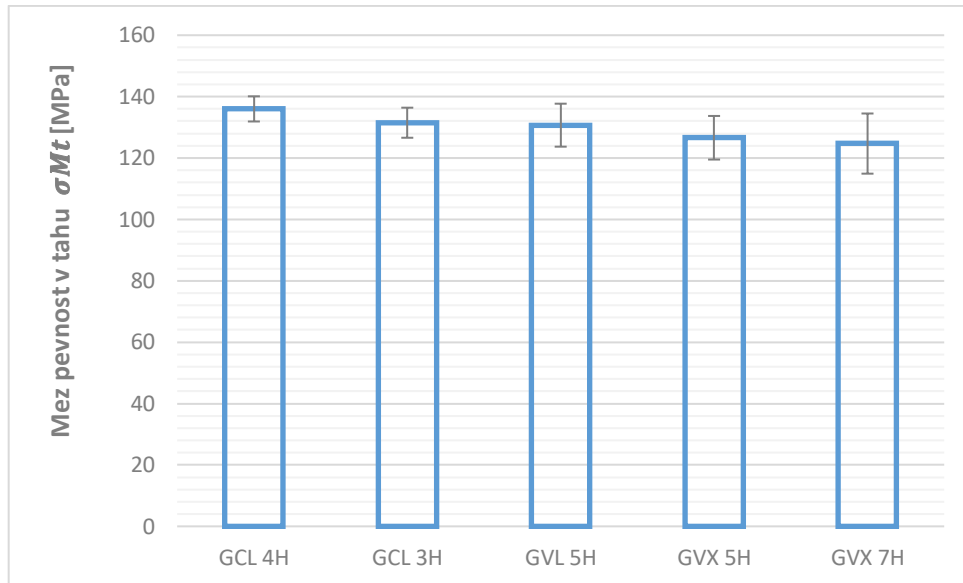
### 7.1 Mez pevnosti v tahu $\sigma_{Mt}$



Graf 16 Srovnání průměrných hodnot  $\sigma_{Mt}$  pro zkušební tělíska L

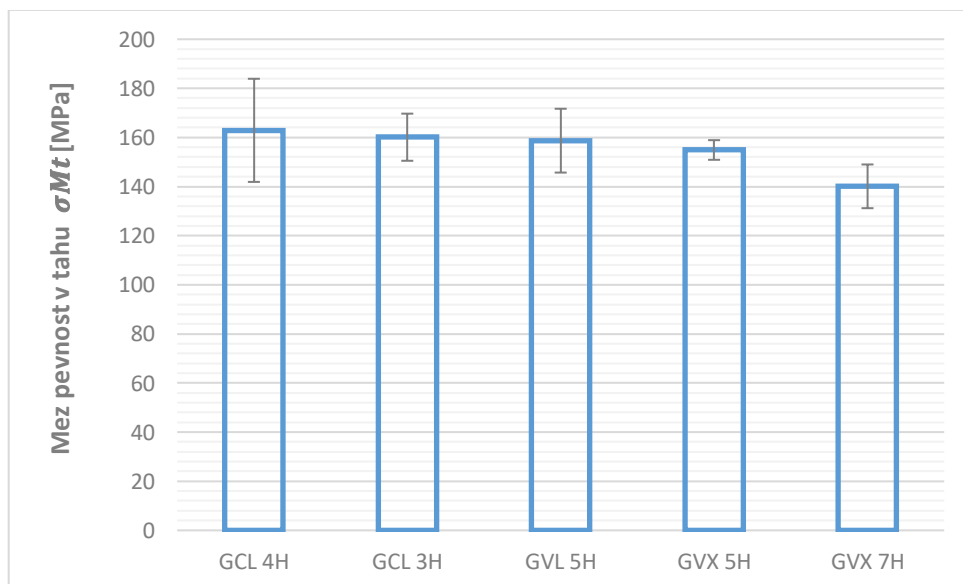
#### 7.1.1 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru L

Materiály s dlouhým vláknem (GCL, GVL) vykazují vyšší mez pevnosti v tahu, než materiály s krátkým vláknem (GVX). Materiál GCL 4H (materiál vyztužený 40 % dlouhým uhlíkovým vláknem) vykazuje nejvyšší mez pevnosti v tahu v sérii měření zkušebních tělísek L. Nejnižší mez pevnosti v tahu byla naměřena u materiálu GVX 7H (materiál vyztužený 70 % krátkých skelných vláken).

Graf 17 Srovnání průměrných hodnot  $\sigma_{Mt}$  pro zkušební tělíska T

### 7.1.2 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T

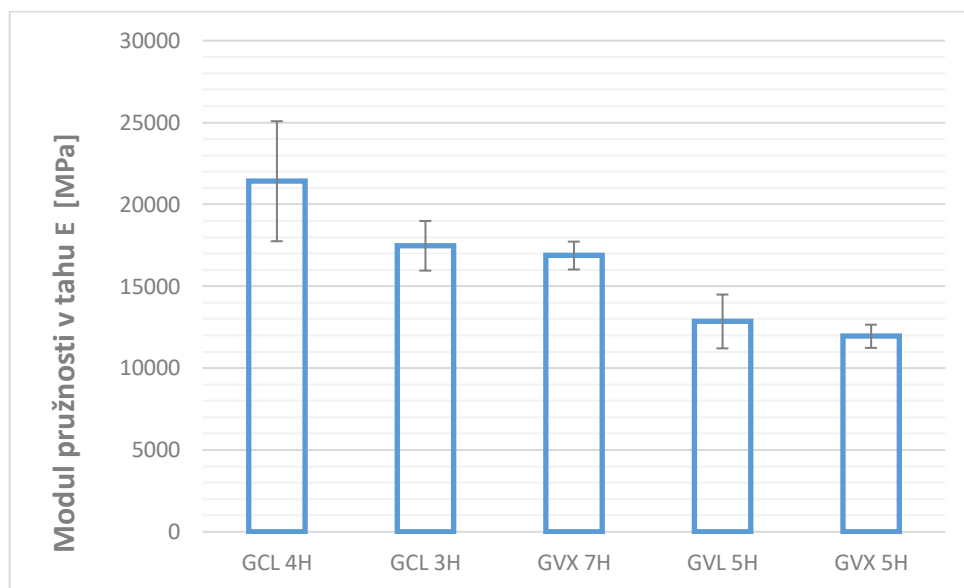
Materiály, kde zkušební tělísko bylo vyhotoveno ve směru kolmém vůči směru toku taveniny do dutiny formy, vykazují stejnou posloupnost jako materiály, kde byly zkušební tělíska vyhotovena ve směru L. Naměřené hodnoty  $\sigma_{Mt}$  jsou podstatně nižší, než u zkušebních tělísek směru L, viz. Graf 16.

Graf 18 Srovnání průměrných hodnot  $\sigma_{Mt}$  pro zkušební tělíska 45°

### 7.1.3 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45°

Zkušební tělíska vyhotovené ve směru 45° vykazují oproti směru L a T vůči sobě rovnoměrnější hodnoty  $\sigma_{Mt}$ . Posloupnost klesající hodnoty je opět stejná jako u předešlých dvou směrů. Odlišně nižší hodnotu  $\sigma_{Mt}$  vykazuje od ostatních zkoušených materiálů materiál GVX 7H, viz. Graf 18.

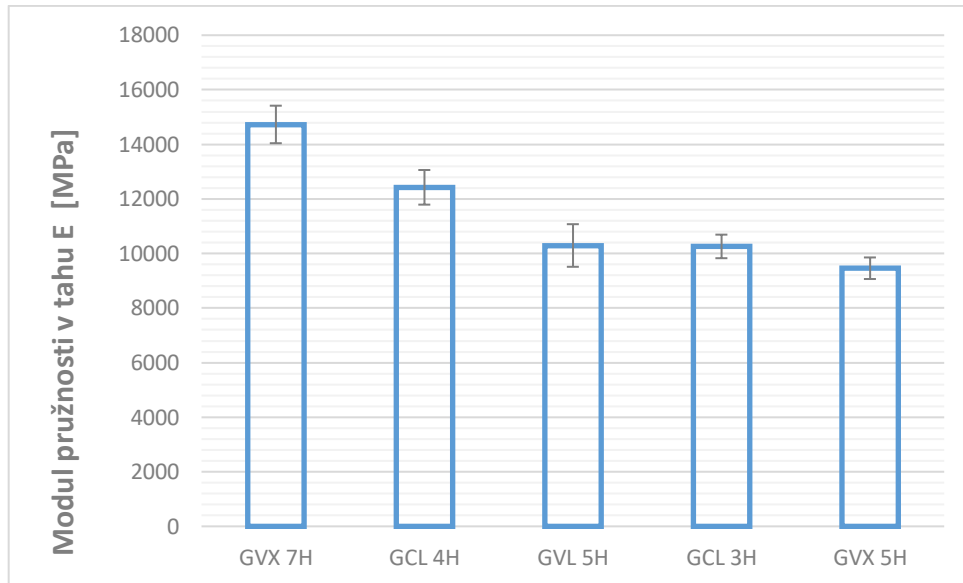
## 7.2 Modul pružnosti v tahu E



Graf 19 Srovnání průměrných hodnot  $E$  pro zkušební tělíska L

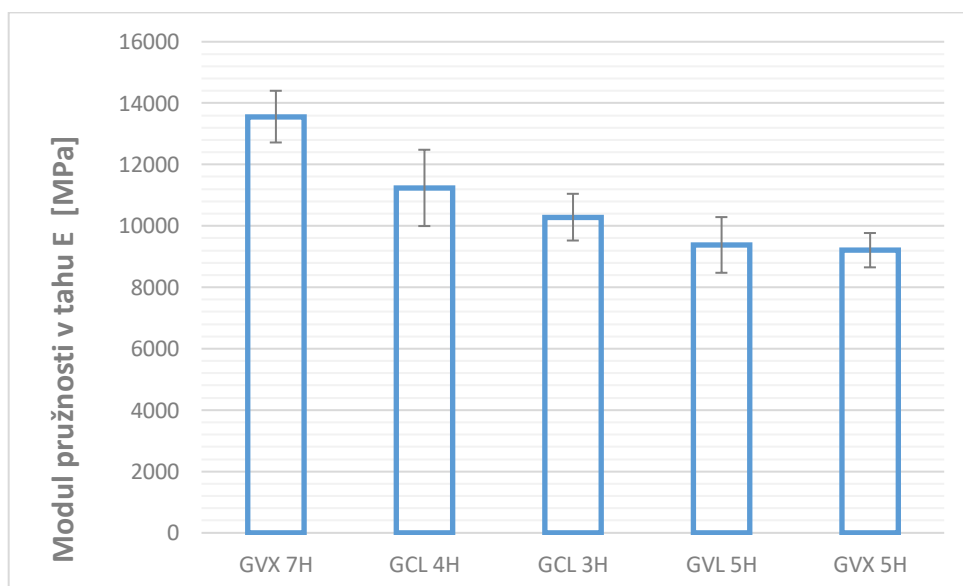
### 7.2.1 Zhodnocení výsledků zkušebních ve směru L

Nejvyšší hodnotu modulu pružnosti v tahu  $E$  vykazuje materiál GCL 4H. Materiál GCL 3H a materiál GVX 7H vykazují obdobnou hodnotu modulu pružnosti. Nejnižší hodnotu vykazuje materiál GVX 5H, o něco málo vyšší hodnotu vykazuje materiál GVL 5H.

Graf 20 Srovnání průměrných hodnot  $E$  pro zkušební tělíska T

### 7.2.2 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T

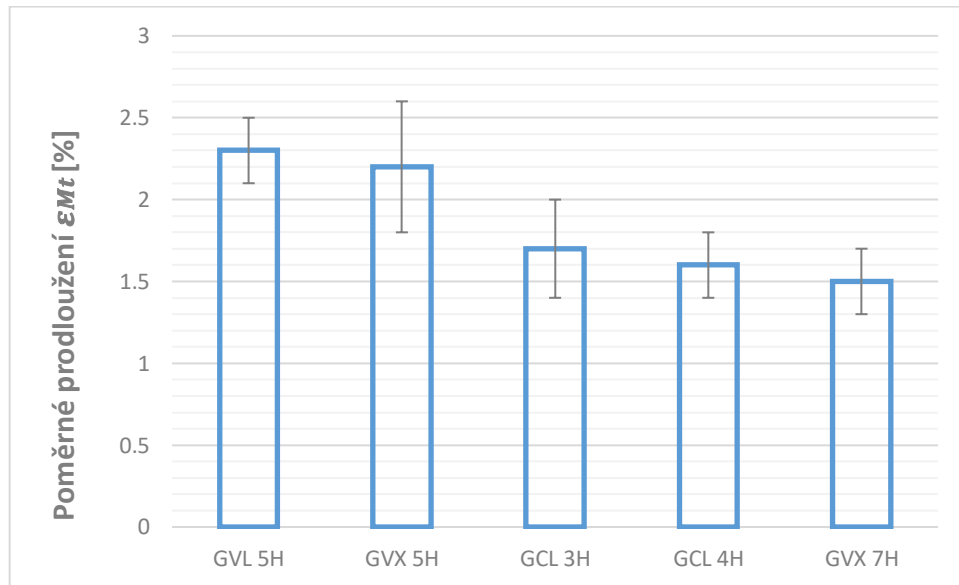
Materiály, kde zkušební tělísko bylo vyhotoveno ve směru kolmém ke směru toku taveniny do dutiny formy, je nejvyšší hodnota modulu pružnosti u materiálu GVX 7H. Nejnižší hodnotu vykazuje materiál GVX 5H obdobně jako u zkušebního tělíska ve směru L, viz. Graf 19.

Graf 21 Srovnání průměrných hodnot  $E$  pro zkušební tělíska 45°

### 7.2.3 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45°

Materiály, kde zkušební tělísko bylo vyhotoveno ve směru 45° ke směru toku taveniny do dutiny formy, vykazuje nejvyšší hodnotu modulu pružnosti  $E$  materiál GVX 7H a nejnižší GVX 5H, obdobně jako u zkušebního tělíska ve směru T, viz. Graf 20.

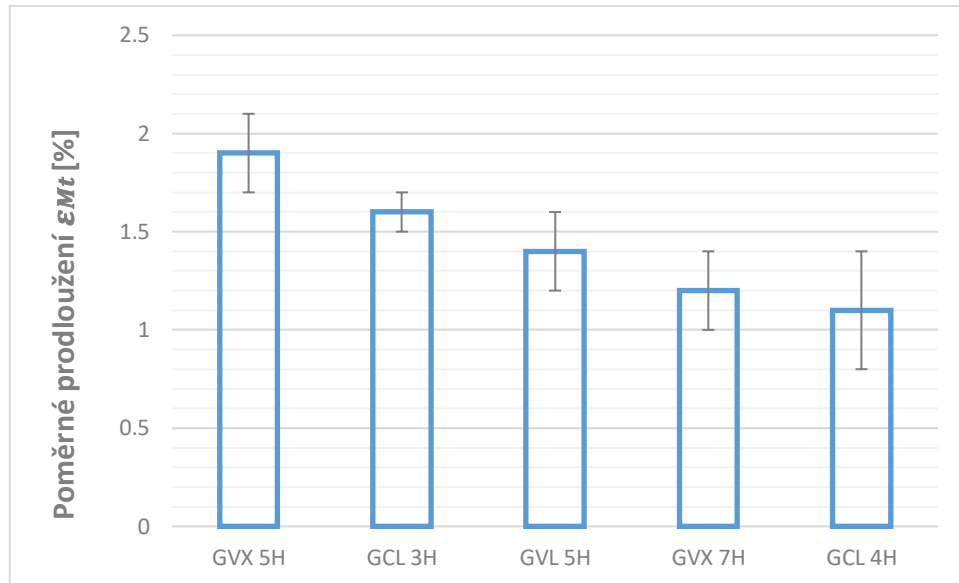
### 7.3 Poměrné prodloužení $\varepsilon_{Mt}$



Graf 22 Srovnání průměrných hodnot  $\varepsilon_{Mt}$  pro zkušební tělíska L

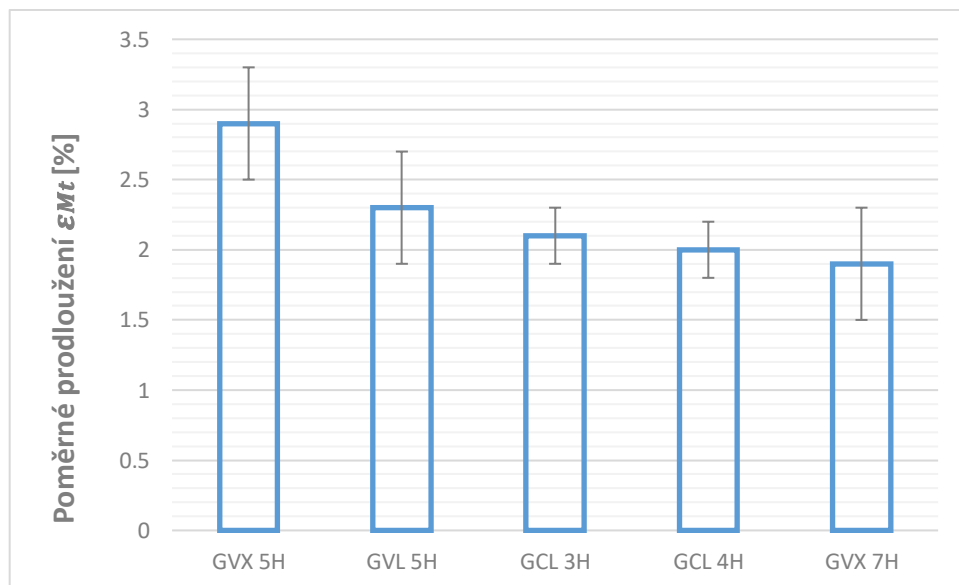
#### 7.3.1 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru L

Nejvyšší hodnotu poměrného prodloužení vykazuje materiál GVL 5H, přibližně stejnou hodnotu vykazuje materiál GVX 5H. Značně nižší hodnotu poměrného prodloužení vykazují zbylé materiály.

Graf 23 Srovnání průměrných hodnot  $\epsilon_{Mt}$  pro zkušební tělíska T

### 7.3.2 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru T

Nejvyšší naměřená hodnota poměrného prodloužení u zkušebních tělísek vyřezaných ve směru T je u materiálu GVX 5H. Nejnižší hodnotu vykazuje materiál GCL 4H. Zbylé materiály mezi těmito hodnotami postupně klesají.

Graf 24 Srovnání průměrných hodnot  $\epsilon_{Mt}$  pro zkušební tělíska 45°

### 7.3.3 Zhodnocení výsledků zkušebních tělísek ve směru 45°

U zkušebního tělíska vyřezaného ve směru 45°, vůči toku taveniny do dutiny formy, vykazuje nejvyšší hodnotu poměrného prodloužení materiál GVX 5H, obdobně jako u zkušebního tělíska se směrem toku T, viz. Graf 23. Nejnižší hodnotu poměrného prodloužení vykazuje materiál GVX 7H.



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv toku taveniny na anisotropii mechanických vlastností (mez pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$ , modul pružnosti v tahu  $E$  a poměrné prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$ ) pěti vybraných polymerních materiálů lišící se druhem výztuže. Dále seznámení s procesem výroby zkušebních tělísek a s procesem zkoušení těchto vyhotovených zkušebních tělísek.

Teoretickou část jsem zaměřila na obecnou problematiku procesu vstřikování, do které jsem zařadila popis samotného procesu vstřikování, technologické parametry, které proces vstřikování ovlivňují a následky, které provádí proces vstřikování nebo se objeví po něm. Dále seznámení s polymerními kompozity vyztuženými krátkým nebo dlouhým vláknem a na mechanické zkoušky kompozitních materiálů, kde jsem sepsala druhy těchto zkoušek a následně rozvedla statickou tahovou zkoušku.

Praktickou část bakalářské práce jsem rozdělila na dvě části. První část jsem věnovala výrobě zkušebních tělísek. Pro vstřikování destiček byl použit univerzální vstřikovací stroj VS-Arburg Allrounder 470 E. Vyřezání zkušebních tělísek bylo provedeno buď vodním paprskem nebo frézováním. Frézování zkušebních tělísek proběhlo v externí firmě Brano a.s. a řezání metodou vodního paprsku v externí firmě Form s.r.o. Zkušební tělíska se vyhotovovala ve třech směrech orientovaných vůči směru toku taveniny do dutiny formy. Ve směru toku taveniny, kolmo ke směru toku taveniny a pod úhlem 45°. Na vyhotovených zkušebních tělíscích jsem provedla statickou tahovou zkoušku na univerzálním zkušebním stroji Zwick/Roell 1456.

V druhé části jsem se zaměřila na zhodnocení naměřených výsledků, které jsem získala statickou tahovou zkouškou. Výsledky jsem rozdělila do kategorií podle materiálu a podle směru toku taveniny do dutiny formy. Pro mez pevnosti v tahu  $\sigma_{Mt}$ , dle naměřených hodnot, vychází ve všech směrech vyhotovených zkušebních tělísek jako nejpevnější materiál GCL 4H (Grivory s 40 % dlouhého uhlíkového vlákna). Naopak nejnižší hodnotu  $\sigma_{Mt}$  ve všech směrech vyhotovených zkušebních tělísek má materiál GVX 7H (Grivory s 70 % krátkého skelného vlákna). Dle naměřených výsledků mohu říci, že materiály s dlouhým vláknem nesou vyšší pevnost, než materiály s krátkým vláknem.

Nejvyšší hodnotu modulu pružnosti pro směr zkušebního tělíska L má opět materiál GCL 4H. Pro zbývající dva směry je to materiál GVX 7H. Nejnižší hodnoty má materiál GVX 5H (Grivory s 50 % krátkého skelného vlákna). Pro modul pružnosti v tahu E vyplývá, že čím vyšší procentuální zastoupení dlouhého skelného vlákna, tím vyšší hodnota u zkušebního tělíska směru L a čím vyšší procentuální zastoupení krátkého uhlíkového vlákna, tím vyšší hodnota u zbývajících dvou směrů vyhotovených zkušebních tělísek.

Hodnoty poměrného prodloužení  $\varepsilon_{Mt}$  nejsou tak jednoznačné jako u předchozích dvou mechanických vlastností. U vyhotoveného zkušebního tělíska ve směru L má nejvyšší procento  $\varepsilon_{Mt}$  materiál GVL 5H (Grivory s 50 % dlouhého skelného vlákna) a nejnižší GVX 7H. U vyhotoveného zkušebního tělíska ve směru T má nejvyšší procento  $\varepsilon_{Mt}$  materiál GVX 5H a nejnižší GVX 4H. U vyhotoveného zkušebního tělíska ve směru 45° má nejvyšší procento  $\varepsilon_{Mt}$  materiál GVX 5H a nejnižší GVX 7H.

V celkovém shrnutí lze říci, že materiál s nejlepšími mechanickými vlastnostmi z vybraných pěti materiálů je materiál GCL 4H, ale pouze ve směru vyhotoveného zkušebního tělíska L. Pevnost v tahu má ve všech směrech nejvyšší, modul pružnosti v tahu pouze ve směru L a poměrné prodloužení je mezi materiály průměrné.

S ohledem na ekonomičnost použitých materiálů se jeví jako nejvhodnější materiál GVL 5H ve směru L. Materiály s výztuží ze skelných vláken jsou značně levnější než materiály s uhlíkovou výztuží.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] LENFELD, Petr. Vstřikování plastů. *Technická univerzita Liberec: Katedra tváření kovů a plastů* [online]. Liberec [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [2] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering* [online]. Munich: Hanser Publishers, 2007 [cit. 2023-02-16]. ISBN 978-1-61344-296-8. Dostupné z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMDE0007/toc?issue\\_id=kt008VH2Z4&hierarchy=undefined](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMDE0007/toc?issue_id=kt008VH2Z4&hierarchy=undefined)
- [3] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů I. díl - vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: Uniplast, 1999.
- [4] BRYCE, Douglas M. *Plastic Injection Molding: Material Selection and Product Design Fundamentals* [online]. 2nd ed. Dearborn (Michigan): Society of Manufacturing Engineers, 1997 [cit. 2023-03-18]. ISBN 978-1-61344-977-6. Dostupné z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPIMVIIM8/toc?issue\\_id=kpPIMVIIM8&hierarchy=toggle-content](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPIMVIIM8/toc?issue_id=kpPIMVIIM8&hierarchy=toggle-content)
- [5] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [6] FISCHER, Jerry M. *Handbook of molded part shrinkage and warpage* [online]. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier/William Andrew, 2013 [cit. 2023-03-18]. ISBN 978-1-4557-2597-7. Dostupné z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpHMPSWE07/toc?q=Handbook%20of%20Molded%20Part%20Shrinkage%20and%20Warp%20age&include\\_synonyms=no&q=Handbook%20of%20Molded%20Part%20Shrinkage%20and%20Warp%20age&sort\\_on=default](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpHMPSWE07/toc?q=Handbook%20of%20Molded%20Part%20Shrinkage%20and%20Warp%20age&include_synonyms=no&q=Handbook%20of%20Molded%20Part%20Shrinkage%20and%20Warp%20age&sort_on=default)

- [7] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Brno: Code creator, 2016 [cit. 2023-03-18]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [8] BIRON, Michel. *Thermoplastics and thermoplastic composites* [online]. 3rd ed. Oxford: William Andrew Applied Science Publishers/Elsevier, [2018] [cit. 2023-03-18]. PDL handbook series. ISBN 978-0-0810-2502-4. Dostupné z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpTTCE001D/toc?b-q=Thermoplastics&include\\_synonyms=no&issue\\_id=kt011Q1O01&hierarchy=toggle-content](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpTTCE001D/toc?b-q=Thermoplastics&include_synonyms=no&issue_id=kt011Q1O01&hierarchy=toggle-content)
- [9] SHAO-YUN, Fu, Lauke BERND a Mai YIU-WING. *Science and Engineering of Short Fibre Reinforced Polymer Composites*[online]. New Delhi: Woodhead Publishing, 2009 [cit. 2023-03-18]. ISBN 978-1-84569-649-8. Dostupné z: [https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpSEFRPC3/toc?b-q=short-fiber&include\\_synonyms=yes&issue\\_id=kpSEFRPC3&hierarchy=toggle-content](https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpSEFRPC3/toc?b-q=short-fiber&include_synonyms=yes&issue_id=kpSEFRPC3&hierarchy=toggle-content)
- [10] Long fibre reinforced polyamides: Materials with spine. In: *EMS - Grivory* [online]. Domat/Ems Switzerland, c2023, 2017 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: [https://www.emsgrivory.com/fileadmin/ems-grivory/documents/brochures/5017\\_en\\_Long-fibre-reinforced-polyamides.pdf](https://www.emsgrivory.com/fileadmin/ems-grivory/documents/brochures/5017_en_Long-fibre-reinforced-polyamides.pdf)
- [11] Rusnáková, Žaludek, Javořík,: Vysokopevnostní plasty a kompozity, výzkumná zpráva, interní zdroj UTB ve Zlíně, Zlín, 2022, poč.stran 219.

- [12] ŘEHULKOVÁ, Nela. *Technologické aspekty vstřikování elastomerů* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/38727317-Technologicke-aspekty-vstrikovani-elastomeru-nela-rehulkova.html>.  
Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Lubomír Beníček.
- [13] MCFV 1060 STANDART. In: *Brano Group: Technologie* [online]. Hradec nad Moravicí [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: [http://www.brano.eu/uploaded/technologie/\\_igp5007.jpg](http://www.brano.eu/uploaded/technologie/_igp5007.jpg)
- [14] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [15] Vodní paprsek. In: *Form s.r.o.: Technologie* [online]. Horní Lideč [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.form-composite.com/rezani-vodnim-parskem#lightbox>
- [16] ČSN ISO 527-2. *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. 2. dopl. vyd. Zlín: Institut pro testování a certifikaci, 2012.
- [17] ČSN EN ISO 294-5. *Plasty - Vstřikování zkušebních těles z termoplastů - Část 5: Příprava standardních zkušebních těles pro zjišťování anizotropie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\sigma_{Mt}$	mez pevnosti v tahu [MPa]
$F_{max}$	maximální zátěžná síla [N]
$S_0$	Průřez zkušebního tělíska před zatížením [ $mm^2$ ]
$E$	Modul pružnosti v tahu [MPa]
$l_0$	Délka zkušebního tělíska před zatížením [mm]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení [-]
$l$	Délka zkušebního tělíska po zatížení [mm]
$v$	Rychlost pro měření modulu pružnosti E [mm/min]
$L_0$	Vzdálenost extenzoru [mm]
$F_{break}$	Síla při přetržení zkušebního tělíska [N]
$\Delta L$	Rozdíl délky zkušebního tělíska před a po zatížení [mm]
$W_{Fmax}$	Práce při maximální zatěžující síle [J]
$W_{break}$	Práce při přetrnutí zkušebního tělíska [J]
$a_0$	Rozměr zkušebního tělíska [mm]
$b_0$	Rozměr zkušebního tělíska [mm]
GVX	Grivory s krátkým skelným vláknem
GVL	Grivory s dlouhým skelným vláknem
GCL	Grivory s dlouhým uhlíkovým vláknem
PA	Polyamid
PS	Polystyren
PE	Polyethylen
PBT	Polybutylentetraftalát
PC	Polykarbonát
ČSN	Česká státní norma
x	Průměr

s      Směrodatná odchylka

v      Variační koeficient

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Schéma vstřikovacího stroje [12].....	14
Obrázek 2 Schéma vstřikování kompozitů vyztužených krátkými vlákny podél hlavního směru toku [9] .....	27
Obrázek 3 Zkušební tělísko pro tahovou zkoušku [16].....	30
Obrázek 4 Smluvní diagram tahové zkoušky pro kompozitní materiál [11].....	30
Obrázek 5 Dutina vstřikovací formy [17].....	31
Obrázek 6 Rozměry vstřikované destičky a vtokového systému [17] .....	32
Obrázek 8 Hlavní směry pro přípravu zkušebních tělísek obráběním, a) ve směru toku taveniny, b) ve směru příčném k toku taveniny (1- vtok) [17].....	33
Obrázek 9 Tvar zkušebního tělíska [16].....	34
Obrázek 10 VS-Arburg Allrounder 470 E [13] .....	37
Obrázek 11 Pevná a pohyblivá část dutiny vstřikovací formy .....	37
Obrázek 12 Řídicí panel vstřikovacího stroje VS-Arburg Allrounder 470 E s nastavenými parametry cyklu.....	38
Obrázek 13 Vliv nastavení parametrů vstřikovacího cyklu na dotečení výrobku .....	39
Obrázek 14 Destička s vtokovým systémem po vyjmutí z formy .....	39
Obrázek 15 Zkušební tělíska po vyfrézování .....	40
Obrázek 16 CNC frézka [13].....	41
Obrázek 17 Obrábění vodním paprskem [15].....	42
Obrázek 18 Univerzální zkušební stroj Zwick/Roell 1456 s čelistmi a extenzometrem pro zkoušku tahem.....	43
Obrázek 19 Označení zkušebních tělísek vyfrézovaných ve vstřikované destičce, směr 45°, příčný T, podélný L.....	44



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Rozměry zkušebních tělísek 1A a 1B [16].....	34
Tabulka 2 Rozměry zkušebních tělísek typu 1BA a 1BB [16].....	34
Tabulka 3 Technologické podmínky vstřikování pro vybrané materiály.....	38
Tabulka 4 Technické parametry univerzálního zkušebního stroje Zwick/Roell 1456.....	43
Tabulka 5 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr L.....	45
Tabulka 6 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr L.....	46
Tabulka 7 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr T.....	46
Tabulka 8 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr T.....	46
Tabulka 9 Naměřené hodnoty Grivory GVX 5H – směr 45°.....	47
Tabulka 10 Statistika pro sérii Grivory GVX 5H – směr 45°.....	47
Tabulka 11 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr L.....	48
Tabulka 12 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr L.....	48
Tabulka 13 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr T.....	49
Tabulka 14 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr T.....	49
Tabulka 15 Naměřené hodnoty Grivory GVL 5H – směr 45°.....	49
Tabulka 16 Statistika pro sérii Grivory GVL 5H – směr 45°.....	50
Tabulka 17 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr L.....	50
Tabulka 18 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr L.....	50
Tabulka 19 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr T.....	51
Tabulka 20 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr T.....	51
Tabulka 21 Naměřené hodnoty Grivory GCL 3H – směr 45°.....	51
Tabulka 22 Statistika pro sérii Grivory GCL 3H – směr 45°.....	52
Tabulka 23 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr L.....	52
Tabulka 24 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr L.....	52
Tabulka 25 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr T.....	53
Tabulka 26 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr T.....	53
Tabulka 27 Naměřené hodnoty Grivory GCL 4H – směr 45°.....	53
Tabulka 28 Statistika pro sérii Grivory GCL 4H – směr 45°.....	54
Tabulka 29 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr L.....	54
Tabulka 30 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr L.....	54
Tabulka 31 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr T.....	55
Tabulka 32 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr T.....	55
Tabulka 33 Naměřené hodnoty Grivory GVX 7H – směr 45°.....	55
Tabulka 34 Statistika pro sérii Grivory GVX 7H – směr 45°.....	56

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVX 5H.....	57
Graf 2 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVX 5H.....	58
Graf 3 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVX 5H .....	58
Graf 4 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVL 5H.....	59
Graf 5 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVL 5H.....	59
Graf 6 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVL 5H.....	60
Graf 7 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GCL 3H .....	60
Graf 8 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GCL 3H .....	61
Graf 9 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GCL 3H .....	61
Graf 10 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GCL 4H .....	62
Graf 11 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GCL 4H .....	62
Graf 12 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GCL 4H .....	63
Graf 13 Grafické srovnání pevnosti v tahu pro Grivory GVX 7H.....	63
Graf 14 Grafické srovnání modulu pružnosti v tahu pro Grivory GVX 7H.....	64
Graf 15 Grafické srovnání poměrného prodloužení pro Grivory GVX 7H .....	64
Graf 16 Srovnání průměrných hodnot $\sigma M t$ pro zkušební tělíska L.....	66
Graf 17 Srovnání průměrných hodnot $\sigma M t$ pro zkušební tělíska T.....	67
Graf 18 Srovnání průměrných hodnot $\sigma M t$ pro zkušební tělíska 45°.....	67
Graf 19 Srovnání průměrných hodnot $E$ pro zkušební tělíska L .....	68
Graf 20 Srovnání průměrných hodnot $E$ pro zkušební tělíska T .....	69
Graf 21 Srovnání průměrných hodnot $E$ pro zkušební tělíska 45° .....	69
Graf 22 Srovnání průměrných hodnot $\varepsilon M t$ pro zkušební tělíska L .....	70
Graf 23 Srovnání průměrných hodnot $\varepsilon M t$ pro zkušební tělíska T .....	71
Graf 24 Srovnání průměrných hodnot $\varepsilon M t$ pro zkušební tělíska 45° .....	71

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Grivory GVL 5H

Příloha P II: Materiálový list Grivory GCL 3H

Příloha P III: Materiálový list Grivory GVX 5H

Příloha P IV: Materiálové vlastnosti GVX 7H

Příloha P V: Materiálové vlastnosti GCL 4H

## PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST GRIVORY GVL 5H

## CAMPUS® Automotive OEM Datasheet

Grivory GVL-5H nat - PA\*-GF50  
EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG



Physical properties	I	M	E <sup>1</sup>	dry / cond	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	X	X	X	- / *	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Temperature	X	X	X	- / *	°C	ISO 1133
Load	X	X	X	- / *	kg	ISO 1133
Viscosity number	X	X	X	- / *	cm <sup>3</sup> /g	ISO 307, 1157, 1628
Molding shrinkage, parallel	X	X	X	0.1 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	X	X	X	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Humidity absorption	X	X	X	1.3 / *	%	Sim. to ISO 62
Water absorption	X	X	X	4 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	X	X	X	1560 / -	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Type and amount of reinforcement				-	-	ISO 3451-1
Mechanical properties	I	M	E <sup>1</sup>	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	X	X	X	17500 / 16500	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	X	X	X	* / *	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	X	X	X	270 / 235	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	X	X	X	* / *	%	ISO 527-1/-2
Strain at break	X	X	X	2.4 / 2.4	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	X	X	X	105 / 100	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	X	X	X	35 / 35	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy impact strength, -30°C	X	X	X	90 / 90	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, -30°C	X	X	X	35 / 35	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Puncture test - ductile/brittle transition temperature	X		X	-	°C	ISO 6603-2
Thermal properties	I	M	E <sup>1</sup>	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	X	X	X	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Glass transition temperature, 10°C/min	X	X	X	- / *	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	X	X	X	255 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	X	X	X	- / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 8.00 MPa	X	X	X	220 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	X	X	X	- / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion -40°C to +100°C, parallel	X	X	X	-	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion -40°C to +100°C, normal	X	X	X	-	E-6/K	ISO 11359-1/-2
FMVSS	X			-	-	ISO 3795 (FMVSS 302)
Burning rate, FMVSS, Thickness 1 mm	X			-	mm/min	ISO 3795 (FMVSS 302)
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.		X	X	- / *	class	IEC 60695-11-10
Emission / Odor	I	M	E <sup>1</sup>	Value	Unit	Test Standard
Emission of organic compounds	X			-	µgC/g	VDA 277
Thermal desorption analysis of organic emissions	X			-	µg/g	VDA 278
Odor test	X	X <sup>2</sup>		-	class	VDA 270
Long term / Aging	I	M	E <sup>1</sup>	Value	Unit	Test Standard
Thermal stability in air (Charpy at 50% decrease, 3000h)	X	X	X	-	°C	DIN/IEC 60216-1
Test specimen				-	-	-

**LTHA-Charpy impact strength (23°C)**  
No data available

<sup>1</sup>I=Interior parts, M=Parts in motor compartment, E=Exterior parts  
<sup>2</sup>air-ducting parts with contact to interior

Datasheet according to an agreement between VDA (Association of the Automotive Industry), PFA (French Automotive Industry) and CAMPUS®.  
All properties of VDA 232-201 are entirely included in this datasheet.  
All data is subject to the producer's disclaimer.  
<https://www.campusplastics.com> - EMS-GRIVORY - 2017-08-02

**Grivory GVL-5H nat - PA\*-GF50**  
**EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG**

**LTHA-Stress at break**  
**No data available**

<b>Weather stability, ISO 4892-2, Method A</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>E<sup>1</sup></b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
Weather stability delta I			X	-	-	DIN 53236
Weather stability delta a			X	-	-	DIN 53236
Weather stability delta b			X	-	-	DIN 53236
Weather stability delta E			X	-	-	DIN 53236
Weather stability grey scale			X	-	-	ISO 105-A02
<b>Light stability, ISO 4892-2, Method B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>E<sup>1</sup></b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Standard</b>
Light stability delta I	X	X		-	-	DIN 53236
Light stability delta a	X	X		-	-	DIN 53236
Light stability delta b	X	X		-	-	DIN 53236
Light stability delta E	X	X		-	-	DIN 53236
Light stability grey scale	X	X		-	-	ISO 105-A02

**Aging in media**

<b>Aging Time</b>	<b>LTHA-Charpy impact strength (23°C)</b>			
	<b>0 h</b>	<b>168 h</b>	<b>480 h</b>	<b>1000 h</b>
ISO 1817 Liquid 2, 60°C	-	-	-	-
Diesel EN 590, 100°C	-	-	-	-
Coolant Glysantin G48, 1:1 in water, 125°C	-	-	-	-
DOT No. 4 Brake fluid, 120°C	-	-	-	-
Motor oil OS206 304 Ref.Eng.Oil, ISP, 135°C	-	-	-	-
Automatic hypoid-gear oil Shell Donax TX, 135°C	-	-	-	-
Hydraulic oil Pentosin CHF 202, 125°C	-	-	-	-

**Dynamic mechanical analysis**

**Dynamic shear modulus-temperature**  
**No data available**

**Dynamic tensile modulus-temperature**  
**No data available**

**CLTE**

**Thermal expansion**  
**No data available**

<sup>1</sup>I=Interior parts, M=Parts in motor compartment, E=Exterior parts

Datasheet according to an agreement between VDA (Association of the Automotive Industry), PFA (French Automotive Industry) and CAMPUS®.  
 All properties of VDA 232-201 are entirely included in this datasheet.  
 All data is subject to the producer's disclaimer.  
<https://www.campusplastics.com> - EMS-GRIVORY - 2017-08-02

## PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST GRIVORY GCL 3H

## CAMPUS® Datasheet

Grivory GCL-3H anthracite - PA\*-CF30  
EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG



## Product Texts

Product designation according to ISO 1874:  
PA66+PA6I/X, MH, 14-220N, CF30

## Product Attributes

Improved heat resistance, Antistatic / Conductive (ESD)

## Markets

## Automotive

Automotive electr. and electronics, lighting, Cooling and climate control, Fuel systems, Powertrain and Chassis, Interior, Exterior

## Electricals &amp; Electronics

Electrical appliances, Electrical equipment, Connectors, Energy distribution

## Industry &amp; Consumer goods

Housewares, Hydraulics & Pneumatics, Mechanical Engineering, Power transmission, Sports & Leisure, Tools & Accessories

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Molding shrinkage, normal	0.1 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	22500 / 21500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	315 / 270	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	1.6 / 1.7	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	55 / 65	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	55 / 65	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	16 / 16	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	20 / 20	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	255 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 8.00 MPa	240 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	10 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	25 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Volume resistivity	30 / 30	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	* / 50	Ohm	IEC 62631-3-2
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	4.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.5 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1280 / -	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

## Characteristics

## Processing

Injection Molding

## Special Characteristics

Anti-static, Heat stabilized or stable to heat

**Grivory GCL-3H anthracite - PA\*-CF30**  
**EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG****Delivery form**

Granules

**Regional Availability**North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America,  
Near East/AfricaEMS-CHEMIE AG  
Business Unit EMS-GRIVORYHomepage: [EMS-GRIVORY](https://www.ems-grivory.com)  
eMail: [welcome@emsgrivory.com](mailto:welcome@emsgrivory.com)

The values are intended to serve as an aid in preselecting materials and for an overview of the EMS-GRIVORY product range. The information contained in this publication is based on our present knowledge and experience. The given figures and data are guidance values and do not represent binding material specifications. No warranties of any kind, either express or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are given regarding products, design, data and information. The customer is not released from his obligation to investigate the products fitness and the suitability for the intended application, compliance with legal requirements and intellectual property rights. We reserve the right to change the information at any time and without prior notice. The information in this publication is not to be considered a contractual obligation and any liability whatsoever is expressly declined. For further questions about our products please contact our experts.



## PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST GRIVORY G VX 5H

## CAMPUS® Datasheet

Grivory G VX-5 H nat - PA\*-GF50  
EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG



## Product Texts

Product designation according to ISO 1874:  
PA66+PA6I/X, MH, 14-190, GF50

Partially aromatic Polyamide

## Markets

## Automotive

Air intake systems, Automotive electr. and electronics, lighting, Cooling and climate control, Powertrain and Chassis, Interior, Exterior

## Electricals &amp; Electronics

Electrical appliances, Electrical equipment, Connectors, Energy distribution, Mobile phones and other portable devices

## Industry &amp; Consumer goods

Housewares, Hydraulics & Pneumatics, Mechanical Engineering, Power transmission, Sanitary, water and gas supply, Sports & Leisure, Tools & Accessories

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Molding shrinkage, parallel	0.1 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	18000 / 17000	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	250 / 220	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2.5 / 2.5	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	80 / 75	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	65 / 60	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	15 / 15	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	15 / 15	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	245 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 8.00 MPa	175 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	20 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	50 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Volume resistivity	1E10 / 1E10	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	* / 1E12	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	33 / 33	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 600	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	4 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.4 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1560 / -	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183



**Grivory GVX-5 H nat - PA\*-GF50**  
**EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG**

**Characteristics**

**Processing**

Injection Molding

**Delivery form**

Granules

EMS-CHEMIE AG

Business Unit EMS-GRIVORY

Homepage: [EMS-GRIVORY](https://www.ems-grivory.com)

eMail: [welcome@emsgrivory.com](mailto:welcome@emsgrivory.com)

**Regional Availability**

North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America,  
Near East/Africa

The values are intended to serve as an aid in preselecting materials and for an overview of the EMS-GRIVORY product range. The information contained in this publication is based on our present knowledge and experience. The given figures and data are guidance values and do not represent binding material specifications. No warranties of any kind, either express or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are given regarding products, design, data and information. The customer is not released from his obligation to investigate the products fitness and the suitability for the intended application, compliance with legal requirements and intellectual property rights. We reserve the right to change the information at any time and without prior notice. The information in this publication is not to be considered a contractual obligation and any liability whatsoever is expressly declined. For further questions about our products please contact our experts.

## PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI GRIVORY GVX 7H

<b>Mechanical properties</b>					Grivory GVX-7H
Tensile modulus of elasticity	1 mm/min	ISO 527	MPa	dry	28000
				cond.	27500
Tensile stress at break	5 mm/min	ISO 527	MPa	dry	290
				cond.	260
Elongation at break	5 mm/min	ISO 527	%	dry	1.5
				cond.	1.5
Impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry	60
				cond.	60
Impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry	60
				cond.	60
Notched impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry	15
				cond.	15
Notched impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry	15
				cond.	15
Ball indentation hardness		ISO 2039-1	MPa	dry	370
				cond.	360
<b>Thermal properties</b>					
Melt temperature	DSC	ISO 11357	°C	dry	260
Heat deflection temperature HDT/A	1.80 MPa	ISO 75	°C	dry	250
Heat deflection temperature HDT/C	8.00 MPa	ISO 75	°C	dry	220
Thermal expansion longitudinal	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	dry	0.10
Thermal expansion transverse	23-55°C	ISO 11359	10 <sup>-4</sup> /K	dry	0.30
Max. working temperature	Permanent	ISO 2578	°C	dry	100 - 120
Max. working temperature	Short-Term	ISO 2578	°C	dry	220
<b>Electrical properties</b>					
Dielectric strength		IEC 60243-1	kV / mm	dry	33
				cond.	33
Comparative tracking index	CTI	IEC 60112	-	cond.	600
Specific volume resistance		IEC 600933	Ω · m	dry	10 <sup>10</sup>
				cond.	10 <sup>10</sup>
Specific surface resistance		IEC 600933	Ω	cond.	10 <sup>12</sup>
<b>General properties</b>					
Density		ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	dry	1.85
Flammability (UL-94)	0.8 mm	IEC 60695-11-10	rating	-	HB
Water absorption	23°C/saturated	ISO 62	%	-	2.9
Moisture absorption	23°C/50 % r.h.	ISO 62	%	-	1.0
Lineal mould shrinkage	longitudinal	ISO 294	%	dry	0.10
Lineal mould shrinkage	transverse	ISO 294	%	dry	0.25
Product designation as per ISO 16396				PA66+PA6I/X	MH, 14-250, GF70

## PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI GRIVORY GCL 4H

Mechanical properties				GCL-4H anthracite
Tensile modulus of elasticity	ISO 527	MPa	dry	29500
			cond.	26500
Stress at break	ISO 527	MPa	dry	335
			cond.	300
Elongation at break	ISO 527	%	dry	1.5
			cond.	1.6
Impact strength 23°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry	65
			cond.	75
Impact strength -30°C	ISO 179/2-1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry	65
			cond.	75
Notched impact strength 23°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry	18
			cond.	18
Notched impact strength -30°C	ISO 179/2-1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry	20
			cond.	20
Ball indentation hardness	ISO 2039-1	MPa	dry	340
			cond.	310
Thermal properties				
Melting point	ISO 11357	°C	dry	260
Heat distortion temperature HDT/A	ISO 75 A	°C	dry	255
Heat distortion temperature HDT/C	ISO 75 C	°C	dry	240
Electrical properties				
Comparative tracking index	IEC 60112		dry	-
Specific surface resistivity	IEC 60093	Ω	dry	<50
			cond.	<50
General properties				
Density	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	dry	1.34
Flammability (UL 94), 1.6mm	IEC 60695-11-10	Step	dry	HB
Water absorption	ISO 62	%	dry	4.5
Moisture absorption	ISO 62	%	dry	1.3
Linear mould shrinkage long.	ISO 294	%	dry	0.00
Linear mould shrinkage trans.	ISO 294	%	dry	0.10