

# Optimalizace vlastností PLLA biopolymeru přídatkem povrchově modifikovaných nanokrystalů celulózy a modifikátoru rázové houževnatosti

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B0715A270008 Strojírenství

*Autor práce:*

**Aleš Vála**

*Vedoucí práce:*

Ing. Martin Borůvka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:*

Ing. Pavel Petera, Ph.D.  
Magna Exteriors (Bohemia), spol. s r.o.





## Zadání bakalářské práce

# Optimalizace vlastností PLLA biopolymeru přídavkem povrchově modifikovaných nanokrystalů celulózy a modifikátoru rázové houževnatosti

*Jméno a příjmení:* **Aleš Vála**  
*Osobní číslo:* S19000311  
*Studijní program:* B0715A270008 Strojírenství  
*Zadávací katedra:* Katedra strojírenské technologie  
*Akademický rok:* **2020/2021**

### Zásady pro vypracování:

1. Rešerše problematiky na dané téma
2. Návrh experimentu a příprava modifikovaných nanokrystalů celulózy
3. Výroba zkušebních těles
4. Studium morfologie a krystalizace
5. Hodnocení mechanických vlastností a teplotní odolnosti
6. Zhodnocení a diskuse dosažených výsledků

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

cca 30 str  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

- [1] Pandey, Jitendra K., et al., editors. *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application: Volume C: Polymer Nanocomposites of Cellulose Nanoparticles*. Springer-Verlag, 2015.
- [2] Jiménez, Alfonso, Mercedes Peltzer, and Roxana Ruseckaite, eds. *Poly (lactic acid) science and technology: processing, properties, additives and applications*. No. 12. Royal Society of Chemistry, 2014.
- [3] Dufresne, Alain. *Nanocellulose: from nature to high performance tailored materials*. de Gruyter, 2012.
- [4] Krishnan, Sukhila, et al. *Toughening of polylactic acid: an overview of research progress*. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 55.15 (2016): 1623-1652.
- [5] Liu, Hongzhi, and Jinwen Zhang. *Research progress in toughening modification of poly (lactic acid)*. *Journal of polymer science part B: Polymer Physics* 49.15 (2011): 1051-1083.

Vedoucí práce:

Ing. Martin Borůvka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce:

Ing. Pavel Petera, Ph.D.  
Magna Exteriors (Bohemia), spol. s r.o.

Datum zadání práce:

15. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání: 23. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

17. května 2022

Aleš Vála

## **Optimalizace vlastností PLLA biopolymeru přidavkem povrchově modifikovaných nanokrystalů celulózy a modifikátoru rázové houževnatosti**

### **Optimization of PLLA biopolymer properties by the addition of surface-modified cellulose nanocrystals and impact modifier**

#### **Anotace**

Tématem této bakalářská práce je studium mechanických a fyzikálních vlastností kyseliny polyléčné (PLA) jak v čisté podobě, tak modifikovanou nanokrystalů celulózy (CNC) a impaktivním modifikátorem (IM). V teoretické části práce byly popsány vlastnosti biopolymerů a jejich dělení. Dále byla popsána základní charakteristika kyseliny polyléčné, nanokrystalů celulózy a impaktivního modifikátoru. V experimentální části byla popsána výroba vzorků PLLA a postup následného testování těchto vzorků. V závěru došlo k vyhodnocení výsledků a porovnání vlastností PLLA v závislosti na přítomnosti upravených nanokrystalů celulózy a/nebo impaktivního modifikátoru.

**Klíčová slova:** Biopolymery, Kyselina polyléčná, Nanokrystalů celulózy, Impaktivní modifikátor, Biodegradovatelnost, Celulóza

#### **Abstract**

The topic of this bachelor's thesis is the study of mechanical and physical properties of polylactic acid (PLA), both in its pure form, and modified by cellulose nanocrystals (CNC) and by the impact modifier (IM). The properties of biopolymers and their division are described in the theoretical part of the thesis. Furthermore, the basic properties of polylactic acid, cellulose nanocrystals, and impact modifier are described in this part. The production of PLLA samples and the procedure of further testing are described in the experimental part. In the conclusion, there is an evaluation of the results and a comparison of properties of PLLA in relation to the presence of cellulose nanocrystals and/or the impact modifier.

**Key words:** Biopolymers, Polylactic acid, Cellulose nanocrystals, Impact modifier, Biodegradability, Cellulose;

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Borůvkovi, Ph D. za odbornou pomoc jak při provádění a vyhodnocování experimentální části, tak při zpracování teoretické části bakalářské práce a za cenné rady. Také bych chtěl poděkovat své rodině za velkou podporu během mého studia.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
1 Úvod .....	11
2 Teoretická část .....	12
2.1 Biopolymery .....	15
2.1.1 Biodegradovatelné biopolymery na biologickém základě .....	17
2.1.2 Biodegradovatelné syntetické biopolymery .....	19
2.1.3 Nebiodegradovatelné biopolymery na biologickém základě .....	20
2.1.4 Výhody a nevýhody biodegradovatelných biopolymerů .....	20
2.2 Degradace biopolymeru .....	20
2.2.1 Biologická rozložitelnost .....	21
2.2.2 Biologická vstřebatelnost .....	21
2.2.3 Biologicky erodovatelnost .....	21
2.2.4 Biologická absorbovatelnost .....	21
2.3 Kyselina polyléčná (PLA) .....	21
2.3.1 Základní charakteristika .....	21
2.3.2 Výroba PLA .....	22
2.3.3 Biologická rozložitelnost PLA .....	23
2.4 Nanokrystaly celulózy .....	24
2.5 Impaktové modifikátory .....	25
3 Experimentální část .....	27
3.1 Popis použitého materiálu .....	27
3.2 Popis procesu výroby vzorků .....	28
3.3 Experimentální měření .....	30
3.3.1 Tahová zkouška .....	30
3.3.2 Zkouška rázové houževnatosti .....	31
3.3.3 Teplota měknutí podle Vicata .....	32
3.3.4 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) .....	32
4 Diskuse výsledků .....	33

4.1	Tahové vlastnosti.....	33
4.1.1	Modul pružnosti .....	33
4.1.2	Pevnost v tahu.....	35
4.1.3	Poměrné prodloužení .....	36
4.2	Rázová houževnatost .....	38
4.3	Teplota měknutí podle VICATA .....	39
5	Závěr .....	41
5.1	Seznam literatury.....	43
5.2	Seznam příloh .....	45



## Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
Bio-PP	Bio-polypropylen	
EU	Evropská unie	
CNC	Nanokrystaly celulózy	
IM	Impaktivní modifikátor	
LA	Kyselina mléčná	
PA	Polyamid	
PBS	Polybutylensukcinát	
PCL	Polykaprolakton	
PDLA	Poly(D-laktid)	
PDLLA	Poly(DL-laktid)	
PE	Polyetylén	
PEG	polyethylenglycol	
PE-HD	Vysoko hustotní polyethylen	
PGA	Kyselina polygloková	
PHA	Polyhydroxyalkanoát	
PHB	Polyhydroxybutyrát	
PHBV	Polyhydroxybutyrát-valerát	
PLA	Kyselina polymléčná	
PLLA	Poly(L-laktid)	
PMMA	Polymethylmethakrylát	
POM	polyoxymethylen	
PP	Polypropylén	
PS	Polystyrén	
PVA	Polyvinylalkohol	
PVOH	Polyvinylalkohol	
ROP	Otevření laktidového okruhu (Ring Opening Polymerization)	
SBR	Styren-butadienový kaučuk	
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie	
SF	Studená forma	
S <sub>N</sub> 2	Nukleofilní substituce biomolekulární reakce	
TEM	Transmisní elektronová mikroskopie	
TF	Teplá forma	
a <sub>cU</sub>	Rázová houževnatost	kJ/m <sup>2</sup>
B	Šířka zkušebního tělesa	mm

$E_c$	Energie potřebná k přeražení zkušebního tělesa	J
$E_t$	Modul pružnosti v tahu	MPa
H	Tloušťka zkušebního tělesa	mm
Mol	Látkové množství	mol
$T_d$	Teplota degradace	°C
$T_f$	Teplota viskózního toku	°C
$T_g$	Teplota zesklnění	°C
$T_m$	Teplota tání	°C
VST	Teplota měknutí dle Vicata (Vicat Softening Temperature)	°C
$\epsilon_{tb}$	Poměrné prodloužení při přetržení	%
$\sigma_m$	Meze pevnosti v tahu	MPa

## 1 Úvod

V moderním světě jsou plasty používané skoro v každé části lidské činnosti. Díky jejich vlastnostem jako jsou vysoká chemická odolnost, nízká hustota, odolnost proti opotřebení a teple se během let stávali stále vyhledávanějším materiálem jak v průmyslu, nebo stavebnictví tak u věcí na jedno použití. Bohužel právě jejich vysoká odolnost se stává po skončení jejich životnosti problémem. Se zvyšujícím se využitím plastů rostlo i množství plastového odpadu v přírodě. Jediným způsobem jejich likvidace byla dlouho pouze recyklace, pokud to je u daného druhu plastu vůbec možné. Při recyklaci se termoplasty roztřídí a se poté se namelou, umyjí, osuší a roztaví pro další použití. Mnoho plastů je ale vyhazováno na skládky kde ještě v roce 2013 končilo přes 50 % plastového odpadu v EU. Největším nebezpečím je však vyhazování plastového odpadu do oceánů, kde mohou zůstat i stovky let a v podobě mikroplastů se často dostávají do těl mořských živočichů. Proto se v poslední letech klade čím dál tím větším důraz na řešení tohoto problému. Jednou z možností je rozšíření biopolymerů, a hlavně biologicky degradovatelných polymerů, které tolik nezatěžují životní prostředí. Další možností, jak snížit negativní dopady používání polymerů je rozšíření polymerů na biologickém základu na jejichž výrobu na rozdíl od syntetických polymerů není potřeba ropa, jejíž spotřeba na výrobu syntetický polymerů je 8% celosvětové produkce [1, 2].

Jedním z takových biopolymerů je kyselina polymléčná (PLA). Teoretické část bakalářské práce se zabývá biopolymery a jejich základní charakteristikou a v experimentální části se zaměříme na zkoumání mechanických a fyzikálních vlastností PLA jak v čisté formě, tak s přidaným impaktovým modifikátorem a nanokrystaly celulózy povrchově modifikovanými polyethylenglykolem (PEG). Struktura těchto materiálů je následně zkoumána pod elektronovým mikroskopem.

## 2 Teoretická část

Využívání polymerů má dlouhou historii. Prvními přírodními materiály na bázi polymerů využívanými lidmi byly vlna, hedvábí, len, konopí. Například přírodní kaučuk byl do Evropy přivezen už v 15. století. Avšak největší rozmach v oblasti využívání polymerů v průmyslu začal na začátku 19. století. A následný vědecký pokrok dospěl na přelomu 19. a 20. století k využití prvních syntetických polymerů k jejichž výrobě byly převážně používány fosilní zdroje. I když polymery patří k „nejmladším“ konstrukčním materiálům jsou v naší společnosti používány ve většině odvětví lidské činnosti. Využívají se především v zemědělství, dopravní průmysl, stavebnictví, domácích potřebách, zdravotnických potřebách, elektrotechnice a obalových materiálech [3, 4].

**Tab. 2.1** Příklady výhod a nevýhod polymerů [5]

Výhody polymerů	Nevýhody polymerů
Nízká energetická náročnost výroby	Nízká mechanická pevnost
Korozní odolnost	Nízké hodnoty použitelných teplot
Snadná zpracovatelnost a barvitelnost	Tvarová nestálost za tepla
Dobré elektroizolační vlastnosti	Hořlavost
Nízká hustota	Postupná degradace
Nízká tepelná vodivost	Vysoká teplotní roztažnost

Označením polymery jsou nazývány chemické látky nízkomolekulární nebo vysokomolekulární struktury syntetického nebo přírodního původu. Ve většině případů bývají polymery tvořeny atomy kyslíku, uhlíku, vodíku, ale také mohou být tvořeny i atomy chlóru nebo dusíku eventuálně i dalších prvků. Pro zajištění dobré zpracovatelnosti taveniny je ve většině případů nutné zajištění vysokých teplot a tlaků při zpracování polymerů. Dělení polymerů do kategorií je možné provádět podle různých kritérií. Většinou se dělí do kategorií podle jejich původu, chování při změně teploty nebo makromolekulární struktury [4].

Podle teplotního chování se polymery dělí na:

1. elastomery;
2. termoplasty;
3. reaktoplasty;

Elastomery je označována skupina polymerů, které je snadno deformovatelné a vyznačuje se vysokou viskoelasticitou. Deformace nastává už při použití relativně malých sil a bez porušení polymeru. Změny tvaru bývají převážně vratné a je možné je

zase opět tvarovat. Mezi obvyklé zástupce elastomerů patří pryž vyrobená z kaučuku (například SBR) [6].

Termoplasty bývají většinou při pokojové teplotě houževnaté, tvrdé a křehké, ale při zvyšování teploty následně přecházejí do plastického stavu, ve kterém je možné termoplasty velice lehce tvarovat a i opakovaně. Tyto změny jsou na fyzikální bázi a termoplasty tak jsou recyklovatelné a opětovně použitelné. Mezi termoplasty se řadí například polypropylén (PP), polystyrén (PS) a polyetylén (PE) [6].

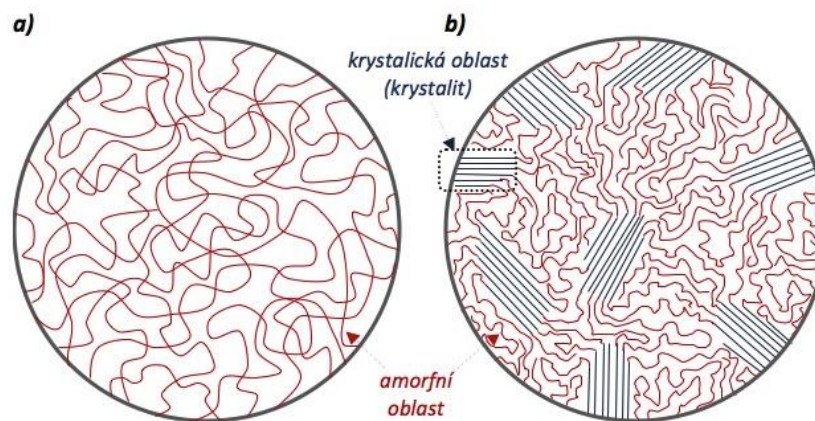
Reaktoplasty se na rozdíl od termoplastů nedají opakovaně tvarovat. Jsou to látky se síťovanou strukturou makromolekul. Mezi reaktoplasty patří například fenolytické pryskyřice nebo epoxidové pryskyřice (EP) [6].

TERMOPLASTY			
<i>Polyolefiny</i>		polyetylén	<i>Akryláty</i>
PE			PMMA
	HDPE	lineární polyetylén	MBS
	LDPE	rozvětvený polyetylén	
	UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	<i>Polyamidy</i>
			PA
PP		polypropylén	<i>Polyétery</i>
<i>Chlorované plasty</i>			POM
PVC		polyvinylchlorid	PFO
<i>Styrénové plasty</i>			<i>Polyestery</i>
PS		polystyrén	PET
	PS-GP	standardní polystyrén	PBT
	PS-HI	houževnatý polystyrén	PC
	PS-E	pěnový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>
SB		styrén – butadien	PVAC
ABS		akrylonitril – butadien – styrén	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i>
SAN		styrén – akrylonitril	PEEK
ASA		akrylonitril – styrén – akrylát	PPS
<i>Fluoroplasty</i>			PSU
PTFE		polytetrafluóretylén	PES
ETFE		etylén - tetrafluóretylén	PI
			<i>Polyimidy</i>
REAKTOPLASTY			
<i>Fenoplasty</i>			<i>Epoxidy</i>
PF		fenolformaldehydová pryskyřice	EP
<i>Aminoplasty</i>			<i>Polyesterové pryskyřice</i>
UF		močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL
MF		melaminové pryskyřice	
			polyesterové skelné lamináty

**Obr. 2.1** rozdělení plastů podle chemického složení [7]

Při rozdělení podle nadmolekulární struktury se polymery dělí na:

1. Amorfní
2. Semi-krystalické



**Obr. 2.2** Schéma nadmolekulární struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické [8]

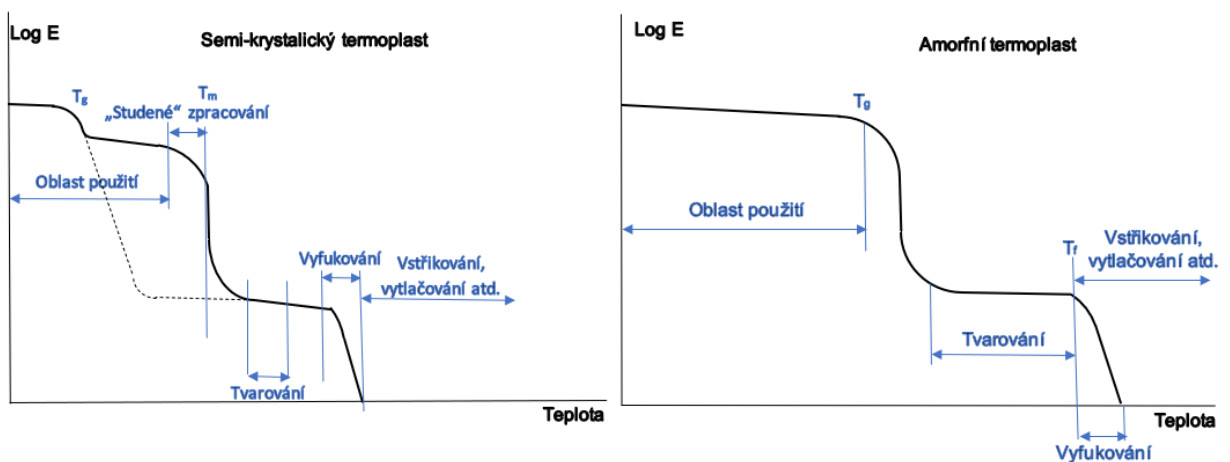
Amorfní polymery jsou látky s neuspořádaností makromolekul a ve většině případů vykazují vysokou propustnost světla, díky čemuž jejich povrch vypadat jako sklo. Tyto polymery mají vysoký modul pružnosti a vysokou pevnost. Jsou tvrdé a křehké. Amorfních polymery mají vyšší součinitel teplotní roztažnosti a viskozitu v porovnání se semi-krystalickými polymery. Použití těchto polymerů je omezeno teplotou zesklnění ( $T_g$ ). Mezi amorfní polymery řadíme například polymethylmethakrylát (PMMA), polystyrén (PS) a polykarbonát (PC) [7, 8].

Semi-krystalické polymery bývají mléčně zakalené (mají vyšší index lomu) a vykazují do jisté míry stupeň uspořádanosti makromolekul neboli stupeň krystalinity. Stupeň krystalinity procentuálně vyjadřuje poměr mezi uspořádanými (krystalickými) oblastmi a neuspořádanými (amorfními) oblastmi. Krystalinita má vliv na mechanické vlastnosti výsledného materiálu. Čím je stupeň krystalinity vyšší, tím se i zvyšuje modul pružnosti, rázová houževnatost a pevnost. Mezi semi-krystalické polymery můžeme zařadit například polypropylen (PP), polyoxymethylen (POM), polyethylen (PE) a polyamidy (PA) [7, 8].

Každý materiál má teplotní intervaly, ve kterých dochází ke skokovým nebo plynulým změnám jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Takovéto oblasti mají i jednotlivé polymery, jejich intervaly, ve kterých dochází ke změnám se nazývají přechodové. Skokové změny probíhají v teplotním intervalu, a proto jsou charakterizovány střední hodnotou. Teplota zesklnění ( $T_g$ ) je u amorfních látek charakteristická pro skokovou změnu modulu pružnosti, teplotní roztažnosti a zároveň teoretickou hraniční teplotou pro používání amorfních termoplastů bez mechanického zatěžování. Amorfní polymery mají teplotu zasklenění, která je ovlivněna molekulární strukturou a velikostí mezimolekulárních sil [4, 7].

Teplota viskózního toku ( $T_f$ ) je skokovou změnou teploty u amorfních polymerů. Během této změny se snižují mezimolekulární síly a polymer se mění na vysoce viskózní kapalinu. Teplota viskózního toku je hraniční a nad ní leží oblast zpracovatelnosti polymerů. Dalším zvýšením teploty se dostaneme na teplotu degradace ( $T_d$ ) [4].

Změny vlastností v oblasti zesklnění můžeme pozorovat i u semi-krytalických polymerů. Příčinou zesklnění je snížení mezimolekulárních sil u amorfnní složky semi-krytalického polymeru. Rozsah změn je ovlivněna poměrem uspořádanosti amorfnních a semi-krytalických složek polymeru. S rostoucím stupněm krystalinity klesají změny vlastností v oblasti skelného přechodu ( $T_g$ ). Největší změny semi-krytalických polymerů se dějí v oblasti teploty tání ( $T_m$ ), kde po rozpadu a následném roztání krystalitů nastává změna skupenství z tuhého na kapalné [7].



**Ob. 2.3** Oblasti tepelného zpracování termoplastů. (vytvořeno dle [9])

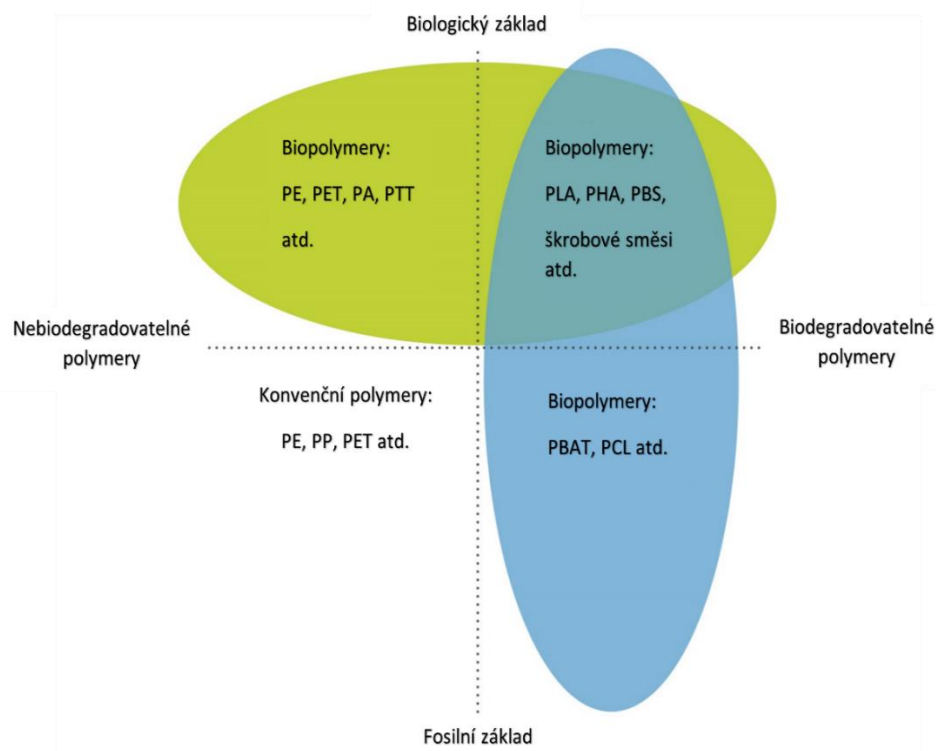
## 2.1 Biopolymery

Postupem času se syntetické polymery staly nepostradatelnými pro moderní společnost a přinesli mnoho technologických pokroků, ale způsob jejich likvidace na konci životnosti způsobuje spoustu environmentálních problémů kvůli dlouhé době jejich rozložitelnosti. Z hlediska udržitelnosti je tak v dnešní době vyvíjen tlak od společností i vlád na hledání alternativního řešení, které by byly přínosné jak z finančního, tak z environmentálního pohledu. Výzkum a zavádění materiálů z obnovitelných zdrojů je jedním z těchto směrů. Biopolymery a obzvláště biodegradovatelné biopolymery, i když jsou stále relativně novou technologií, mají potenciál doplnit nebo zcela nahradit polymery v mnoha odvětví jako například v zemědělství, jako obalové materiály, předměty na jedno použití, nebo také v biomedicínských aplikacích což by mohlo vést k omezení plastového odpadu a znečištění naší planety [1, 6].

Biopolymery vznikají jako součást přírodních procesů, které probíhají v mikroorganismech, rostlinách a zvířatech. Jedná se o vysokomolekulární polymery

a bioplasty které z těchto biopolymerů vytváříme nejsou jeden konkrétní materiál. Podle toho, jaké polymery a technologické procesy výroby byly použity je možné vytvořit materiály s různými vlastnostmi a aplikacemi. V porovnání s konvenčními polymer vyráběnými z fosilních zdrojů, se biopolymery zásadně liší svoji chemickou stavbou základního polymerního řetězce. V případě biopolymerů je v základním řetězci vždy přítomen vodík nebo dusík. Přítomnost těchto prvků umožňuje rozklad pomocí hydrolýzy nebo mikrobiální rozklad. Biopolymery je možné dělit podle jejich původu na přírodní/syntetické a degradovatelné/nedegradovatelné. Materiál odpovídá definici bioplastu, pokud je buďto na biologické bázi, biologicky odbouratelný nebo má obě výše zmíněné vlastnosti [6, 10].

Biopolymery na biologickém základu jako například polysacharidy, proteiny a některé polyestery (jako například PHA) jsou produkovány živými organismy. Biopolymery na syntetickém základu jsou látky, které nejsou produktem živých organismů. Tyto speciální biopolymery sice vznikají syntetizováním z biomolekul, které se nachází v přírodě, ale jelikož se v přírodě nenachází jako vysokomolekulární látky vyrábějí se syntetickou cestou. Mezi syntetické biopolymery můžeme zařadit kyselina polymléčná (PLA) kterou se budeme zabývat v další části práce a triglyceroly. Triglyceroly se získávají z rostlin olejů a živočišných tuků. Mají využití pro výrobu pryskyřic, které se dále používají v kompozitních aplikacích [9, 10].



**Obr. 2.4** Druhy biopolymerů podle původu a jejich biodegradovatelnosti (upraveno dle [11])



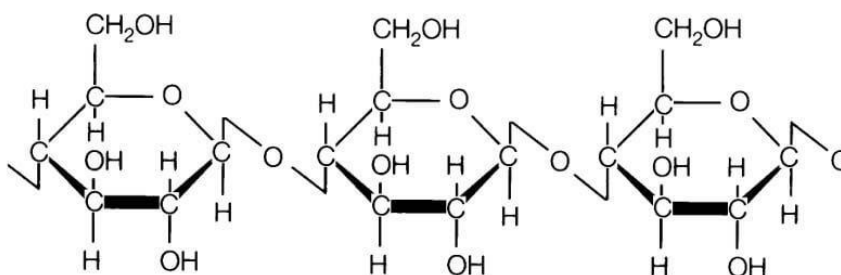
### 2.1.1 Biodegradovatelné biopolymery na biologickém základě

Do této skupiny spadají biopolymery přírodního původu, které vznikly jako produkt živých organismů a jsou biologicky degradovatelné. Dají se dále dělit na polysacharidy, proteiny a polyestery [12].

#### Polysacharidy

Nejrozšířenějším zástupcem mezi biopolymery na biologickém základě jsou polysacharidy. Polysacharidy mohou být jak živočišného původu, tak na rostlinného. Jsou tvořeny hlavně monosacharidovými jednotkami (jednoduché cukry). Tyto monosacharidové jednotky jsou vzájemně spojeny pomocí glykosidických vazeb. Polysacharidy zlepšují biologickou rozložitelnost, a proto se také často používají jako přísady pro syntetické polymery. Do skupiny polysacharidů patří škrob, glykogen, celulóza chitin a další [12].

Nejvíce rozšířeným polysacharidem je celulóza, která tvoří přibližně tři čtvrtiny veškeré organické hmoty na planetě. Například vysušená bavlna obsahuje 90% celulózy. Takto vysoké množství je způsobeno tím, že v přírodě slouží k vyztužení stěn rostlin a také silnými vodíkovými vazbami které zvyšují odolnost celulózy proti hydrolýze. Nevýhodou celulózy je její netavitelnost a nerozpustnost. V přírodě se vyskytuje pouze jako sloučenina s dalšími látkami, jako je hemicelulóza, lignin, pektin a vosk. Možnosti zpracování celulózy jsou omezeny teplotou rozkladu, která je přibližně 180 °C a teplota tání je 265 °C. Tyto hodnoty mají za následek, že se celulóza nedá zpracovávat termoplasticky a pro použití v oblasti tání se musí modifikovat [13, 14].



**Obr. 2.5** Makromolekulární struktura celulózy [15]

Dalším polysacharidem jsou škroby. To jsou látky vyskytující se v přírodě v druhém největším množství hned po celulóze. V případě rostlin funguje jako zdroj energie zajišťující jejich růst. Struktura škrobu je zrnitá a pro další použití musí být destrukurovaný. Destrukturovaný škrob má nižší krystalinitu a jeho vlastnosti jsou podobné termoplastickému polymeru. Takovýto škrob je možné zpracovávat konvenčními technologickými postupy. Omezující vlastností pro jeho průmyslového využití je nízká

pevnost a odolnost vůči vodě. Z toho důvodu se běžně mísí se syntetickými polymery. Například s polyvinylalkohol (PVA), vysoko hustotní polyethylen (PE-HD) a polykaprolakton (PCL), přičemž PVA a PCL jsou zcela biologicky odbouratelné polymery [13].

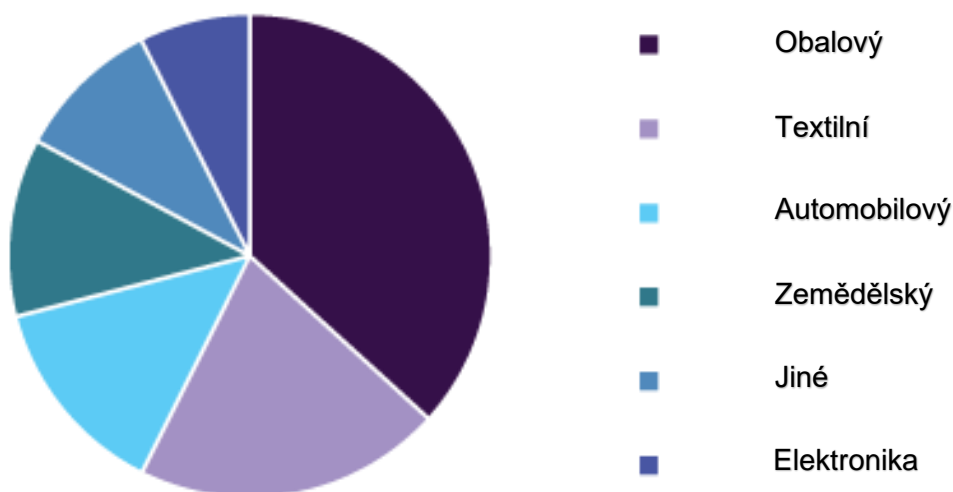
### **Proteiny**

Proteiny (nebo též bílkoviny) jsou vysokomolekulární látky a lze je dělit na rostlinné a živočišné. Mezi živočišné proteiny patří například kasein, kolagen a kreatin. Rostlinné proteiny můžeme nalézt například v bramborách, luštěninách, sóje a obilovinách. Fungují jako základní stavební jednotka živých organismů. Živočišné proteiny mají v živých organismech několik úkolů. Hlavními jejich úkoly jsou transportní, obranné, skladovací, stavební a regulační. Proteiny jsou tvořeny aminokyselinami, které se spojují to řetězců pomocí peptidových vazeb. Většinou byly proteiny používány hlavně ve formě srsti, peří a vlny. Jelikož ale lze proteiny degradovat pomocí katalyzátorů upíná se nyní pozornost převážně na jejich využití jako biodegradovatelných polymerů [12, 16].

### **Polyestery**

Existují dva způsoby vzniku polyesterů. Prvním je vznik polyesteru jako produktu bakterií a druhým je pomocí mikroorganismů. Mikroorganismy vytvářejí proteiny, tak že fermentují tuky nebo cukry a při nadbytku uhlíku si vytváří polyestery jako energetické zásoby. Jednou z největších skupin polyesterů jsou polyhydroxyalkanoáty (PHA) a pod ně dále spadají například polyhydroxybutyrát (PHB) a polyhydroxy-valerát (PHV). Mají dobré vlastnosti, jako odolnost vůči UV záření, vlhkosti, a rozpustnosti ve vodě. Při porovnání má například polyhydroxybutyrát podobné vlastnosti jako polypropylenem, ale jeho výhodou je schopnost biodegradace, což je důvod, proč je využíván v medicíně [17].

Mezi polyestery patří také kyselina polymléčná (PLA). Jedná se o velice používaný materiál, jehož jedno z prvních využití byla výroba chirurgických nití. Nyní se jeho využívání neustále rozšiřuje do oblastí textilního a automobilového průmyslu anebo také do oblasti obalových materiálů [18].

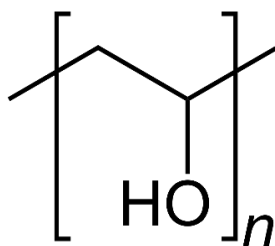


**Obr. 2.6** Globální využití PLA v roce 2020. (Vytvořeno dle [18])

### 2.1.2 Biodegradovatelné syntetické biopolymery

Do této skupiny biopolymerů řadí materiály, kterým říkáme syntetické polymery. K jejich výrobě používáme monomery, které lze běžně nalézt v přírodě jako jsou monomery kyseliny glykolové a kyseliny mléčné (LA). Tyto monomery mají nízkomolekulární strukturu, a proto dochází k syntéze těchto monomerů a pomocí chemických reakcí vzniká biodegradovatelný polymer, který má totožné nebo velice podobné vlastnosti jako biopolymery na biologickém základě. Polymerizací kyseliny glykolové a kyseliny mléčné vzniká vysokomolekulární kyselina polymléčná (PLA) a vysokomolekulární kyseliny polyglykolové (PGA). Tyto kyseliny poté spadají pod alifatické polyestery [6].

Polyvinylalkohol (PVOH) je ve vodě rozpustný syntetický polymer. Vyrábí se alkalickou hydrolyzou polyvinylacetátu (např. v methanolu) Je to bílý prášek, krystalického charakteru. Odolnost polyvinylalkoholu vůči rozpouštědlům závisí na obsahu nehydrolyzovaného polyvinylacetátu, teplotě a střední molekulové hmotnosti. Polymer s více než 5% obsahem vinyl acetátových jednotek se již při teplotách 65 °C rozpouští ve vodě. Jeho rozpustnost závisí na molekulární hmotnosti. S rostoucí molekulární hmotností se jeho rozpustnost snižuje a například, v oleji není rozpustný ani za vysokých teplot [17].



**Obr. 2.7** Strukturální jednotka polyvinylalkoholu [19]

### **2.1.3 Nebiodegradovatelné biopolymery na biologickém základě**

Posledním druhem biopolymerů jsou polymery na biologickém základě, které ale není možné biodegradovat. Tyto polymery se sice vytváří z obnovitelných zdrojů a můžeme tak jejich využíváním snížit spotřebu fosilních zdrojů, ale není možné biologicky rozložitelnost anebo to je velice složitý proces. Mezi tyto polymery můžeme zařadit syntetické polymery, pokud jsou vytvořeny z obnovitelných zdrojů jako například polyestery na základě bio-propandiolu, bio-polypropylen (bio-PP), nebo ricinový olej anebo polymery přírodního původu jako je například kaučuk [17].

### **2.1.4 Výhody a nevýhody biodegradovatelných biopolymerů**

Plasty, které naše společnost využívá čím dál tím víc jsou jednou z hlavních příčin znečištění ekosystému na Zemi. Proto je v oblasti ochrany životního prostředí biodegradace plastů jedním z hlavních témat [20].

#### **Nevýhody**

Mezi nevýhody patří zatím málo rozšířený technologický postup výroby biopolymerů. V tuto chvíli není technologie výroby stejně vyspělá jako u konvenčních polymerů. Další nevýhodou je pochopitelně ekonomická stránka věci, ale tato nevýhoda se bude postupně zmenšovat díky masovější výrobě a pokroku v technologiích. Mezi nevýhody vlastností těchto materiálů pak jsou ve většině případů tepelná degradace a nízké krystalizační teploty což je nudné řešit přidáváním aditiv [20].

#### **Výhody**

Hlavní výhodou je jejich relativně lehká rozložitelnost v porovnání s konvenčními polymery. Také v případě použití biopolymerů na biologickém základě se snižuje naše spotřeba fosilních zdrojů [20].

## **2.2 Degradace biopolymeru**

Když vezmeme v úvahu biopolymery, tak něco, co je biologicky rozložitelné nemusí být nutně biologicky vstřebatelné, a i když se řadí mezi rozložitelné a přesouvají se z místa jejich působení v živém organismu, neznamená to nutně ven z těla [17]. Naopak, biologická vstřebatelnost je pojem, který odráží celkové odstranění původních cizích látek a většiny vedlejších produktů rozkladu (nízkomolekulární sloučeniny) bez zbytkových vedlejších účinků. Vlastnosti, jakou jsou biologická rozložitelnost a biologická vstřebatelnost mají zásadní zejména v biomedicínských aplikacích, které využívají biomateriály [4].

### **2.2.1 Biologická rozložitelnost**

Biologicky odbouratelné jsou polymerní materiály a prvky, které se rozkládají díky makromolekulární degradaci s rozptylem v živém organismu. Biologicky rozložitelné polymerní systémy nebo prvky, mohou být napadené biologickými složkami tak, aby byla ovlivněna integrita systému a v některých případech, ale ne nutně, i integrita samotných makromolekul a poskytovala tak fragmenty nebo jiné rozložitelné vedlejší produkty. V přírodě se biologicky rozložitelné materiály za vlivu vnějších vlivů jako světla, mikroorganismů nebo vlhkosti postupně rozkládají na prvky běžně přítomné v přírodě [16].

### **2.2.2 Biologická vstřebatelnost**

Biologicky vstřebatelné (bioresorbovatelné) jsou polymerní materiály a prvky, které vznikají objemovou degradací a dále se vstřebávají v živém organismu, tj. polymery, které jsou eliminovány přírodními cestami buď z důvodu jednoduché filtrace rozkladu vedlejších produktů nebo jejich metabolizaci. Biologická vstřebatelnost je tedy pojem, který odráží celkové odstranění původního cizího materiálu a většinou degradovatelných vedlejších produktů (nízkomolekulární sloučeniny) bez jakýchkoliv nežádoucích vedlejších účinků. Použití slova „biologicky vstřebatelný“ předpokládá, že je jednoznačně prokazatelná eliminace těchto polymerů [16].

### **2.2.3 Biologicky erodovatelnost**

Biologicky erodovatelné jsou pevné polymerní materiály a prvky, které vykazují degradaci povrchu a následné vstřebávání v živém organismu. Biologická eroze je tedy také pojem, který odráží celkové odstranění původního cizího materiálu a povrchovou degradaci vedlejších produktů (nízkomolekulární látky) bez zbytkového vedlejšího účinku [16].

### **2.2.4 Biologická absorbovatelnost**

Biologicky absorbovatelné jsou pevné polymerní materiály a prvky, které se mohou rozpustit v tělních tekutinách bez jakéhokoliv štěpení polymerního. Příkladem může například být pomalého rozpouštění ve vodě rozpustných implantátů v tělních tekutinách. Polymer může být absorbovatelný v případě, že jsou vylučovány biologicky absorbovatelné disperzní makromolekuly [16].

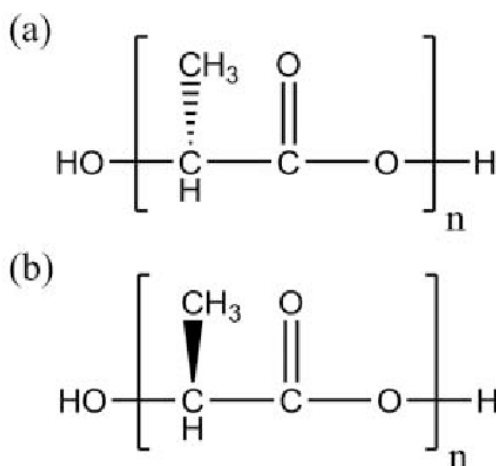
## **2.3 Kyselina polymléčná (PLA)**

### **2.3.1 Základní charakteristika**

Kyselina polymléčná (PLA; nebo též polylaktid) patří mezi termoplastické polymery a svými vlastnostmi se podobá polypropylenu (PP) a polyethylenem (PE). Patří do skupiny alifatických polyesterů. Kyselina polymléčná se dá lehce zpracovávat konvenčními metodami jako jsou: vytlačováním, vyfukováním, tvářením a vstřikováním což snižuje

cenu tohoto materiálu. Kyselina polymléčná může být zcela amorfni nebo semi-krystalická a krystalinita (podíl krystalické fáze v polymeru) může dosahovat až 40 %. Jedná se o polymer vyráběný z obnovitelného zdroje, kterým je monomerní kyselina mléčná (kyselina 2-hydroxypropanová), která se vyrábí například ze škrobu nebo cukrové třtiny. Kombinace biodegradovatelnosti spolu s biologickým základem dělá z PLA velmi zajímavý materiál vzhledem k zvyšujícímu se důrazu na ochranu naší planety. Ale biodegradovatelnost PLA je značně ovlivněna jeho makromolekulární strukturou. Doba rozkladu se PLA může být pár týdnů u zcela amorfniho materiálu, ale také několik let při vysokém stupni krystalinity. Kyselinu polymléčnou je možná vytvořit ve třech stavech kterými jsou: kopolymer kyseliny L-mléčné (PLLA), kyseliny D-mléčné (PDLA) a kyseliny DL-mléčné (PDLLA). V komerční sféře se, ale nejvíce používá PLLA a PDLA [21, 22].

Kyselina polymléčná (PLA) je tuhý, transparentní (za pokojové teploty) a křehký materiál. V případě, že je žádoucí zvýšení jeho houževnatosti a tažnosti je nutné použít aditiva. Je možné získat nízkomolekulární nebo vysokomolekulární polymer (v závislosti na druhu syntézy). V případě amorfniho polymeru je rozpustný ve většině organických rozpouštědel jako jsou například: chlorovaná rozpouštědla, dioxan, benzen. Semi-krystalický polymer je rozpustný v chlorovaných rozpouštědlech a benzenu při působení zvýšených teplot [23].



**Obr. 2.8** Struktura PLLA (a) a PDLA (b) [24]

### 2.3.2 Výroba PLA

K získání kyseliny polymléčné je možné využít několik postupů. Jelikož má PLA široké rozmezí molekulové hmotnosti můžeme vyrobit jak vysokomolekulární PLA, tak nízkomolekulární PLA. Ale nízkomolekulární PLA má nízkou mechanickou odolnost a rychle degraduje. Nejčastěji se používají proces polykondenzace nebo polymerace za současného otevření laktidového kruhu (z ang.: Ring Opening Polymerization ROP).

Přímá kondenzační polymerace je chemická reakce, při níž z monomerů vznikají vysokomolekulární polymery. Při polymerizaci otevřením kruhu vzniká polylaktid. Při obou postupech vzniká z chemického hlediska stejná látka, kterou označujeme PLA [25].

### **Přímá polykondenzace**

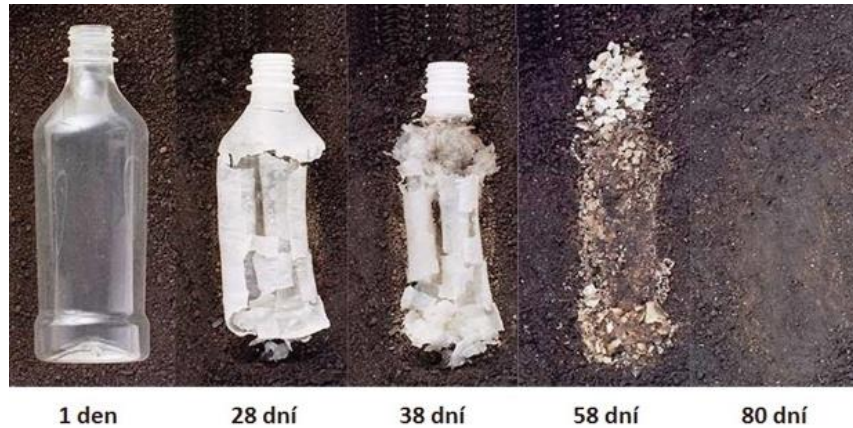
Pro úspěšnou polyreakci je nutné, aby monomery obsahovaly alespoň dvě funkční vazby. Přímá polykondenzace je řetězovou chemickou reakcí, při které se molekuly monomeru spojují do dlouhých řetězců makromolekul polymeru. Při přímé polykondenzaci nemají řetězce makromolekul stejné chemické složení jako použitý monomer (na rozdíl od polymerace) [9]. Se snižujícím se množstvím funkčních vazeb a zvyšující se viskozitou dochází postupně k zastavení růstu makromolekul. Z finančního hlediska se jedná o velice levný proces, ze kterého může vzniknout stabilní materiál, ale nevýhodou je voda, která vzniká jako vedlejší produkt a je jí během výrobního procesu nutné odvádět pomocí přidaných azeotropických rozpouštědel. Další nevýhodou je nutnost používat katalyzátory jako například silné kyseliny, časová náročnost celého procesu a nutnost vysokých teplot, které potom ovlivňují vlastnosti výsledného polymeru. Spojováním makromolekul, které při polykondenzaci vznikly vzniká PLA s molekulární hmotností až  $1105 \text{ g.mol}^{-1}$  [14, 25]

### **Polymerace otevřením okruhu (ROP)**

Polymerizace s otevíráním kruhu je v dnešní době asi nejlepší způsob, jak vytvořit vysokomolekulární PLA a díky možnosti přímo ovlivňovat stereochemické složení lze vytvořit polymer s přesně definovanými vlastnostmi. Je to druh řetězové polymerace, při které se cyklický dimer mění na necyklickou nebo méně cyklickou monomerní jednotku ze které lze lehce získat polymer o vysoké molekulové hmotnosti. Na rozdíl od polykondenzace je chemické složení výsledného polymeru stejné jako použitých monomerů [26].

### **2.3.3 Biologická rozložitelnost PLA**

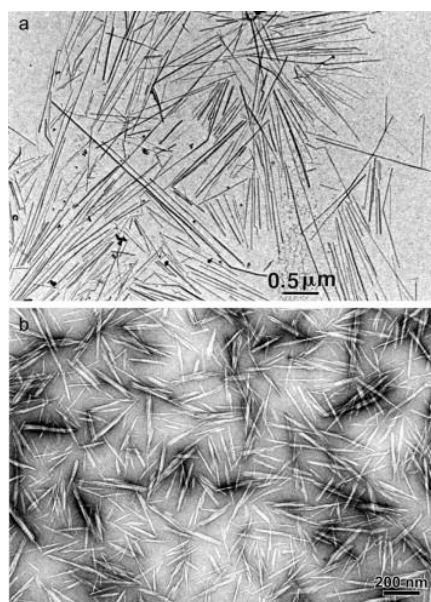
Kyselinu polymléčnou je možné relativně jednoduše degradovat a rozložit v přírodě. Doba potřebná pro celkovou degradaci je závislá na stupni krystalinity a také modifikátorech a různých příměsích, které byly do PLA přidány kvůli zlepšení jeho vlastností. Nejkratší dobu degradace má čisté PLA [14]. Průběh degradace PLA je způsoben hydrolyzou esterových vazeb kyseliny mléčné. Pro výrazné zkrácení doby degradace je nutné zvýšit teplotu nad teplotu zesklenní [6].



**Obr. 2.9** Degradace PLA speciální způsobem kompostování za zvýšené teploty a vlhkosti [27]

## 2.4 Nanokrystaly celulózy

Nanokrystaly celulózy (CNC) jsou materiál, který lze extrahovat z celulózy což je přírodní polymer vyskytující ve dřevu, rostlinách nebo řasách díky čemuž se prakticky jedná o nevyčerpatelný materiál. Díky jejich chemickým a mechanickým vlastnostem mohou najít využití nejen ve strojírenství, ale také například v medicíně. Je ale potřeba mít na paměti, že vlastnosti nanokrystalů jsou často ovlivňovány různými vlivy jako jsou technologický proces výroby, nebo chemické složení a molekulární poruchy rostlin ze kterých jsou získávány. Mezi hlavní nevýhody nanokrystalů celulózy patří homogenní disperze nanokrystalů v polymerní matici a jejich samovolná asociace (spojování) způsobená povrchovými hydroxylovými skupinami. To může způsobit zhoršení mechanických vlastností, když dochází ke spojování částic během procesu výroby nanokompozitů [28].



**Obr. 2.10** TEM snímky rozředěné suspenze nanokrystalů extrahovaných z pláštěnce a) a ramie b) [28]



Nanokrystaly lze získat v podobě krystalů nebo fibril. Jelikož je možné nanokrystaly získávat z větví, rostli nebo i pilin je možné nanokrystaly produkovat ve velkém množství. Nejdříve dojde k očištění vstupního materiálu a následně odstranění hemicelulózy a ligninu [29]. Poté jsou celulózová vlákna mechanicky rozdělena na celulózové mikrofibrily. Tyto mikrofibrily poté mohou být mechanicky, nebo chemicky přetvořeny na nanokrystaly celulózy. Kvůli úspoře energie a lepším finálním vlastnostem nanokrystalů, jako je například vyšší krystalinita, je dávana přednost chemické metodě, při níž dochází k hydrolýze kyselinami. Rozměry nanokrystalů celulózy jsou ovlivněny vstupní materiál dále také technologickými postupy výroby a parametry jako je čas, teploty, čistota viz tabulka níže [30].

**Tab. 2.2** Rozměry nanokrystalů celulózy [30]

Zdroj celulózy	Metoda přípravy	Délka [nm]	Šířka [nm]	Poměr D/Š
Dřevo	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hydrolýza	100-300	3-5	20-100
Ramine		70-200	5-15	~12
Sisal		100-300	3-5	~60
Valonia(Řasy)		1000-2000	10-20	50-200
Pláštěnec(ryba)		>1000	10-20	~100
Bakterie		100-1000	10-50	2-100
Bakterie	HCL hydrolýza	160-420	15-25	7-23
Bavlna		100-150	5-10	10-30

## 2.5 Impaktivé modifikátory

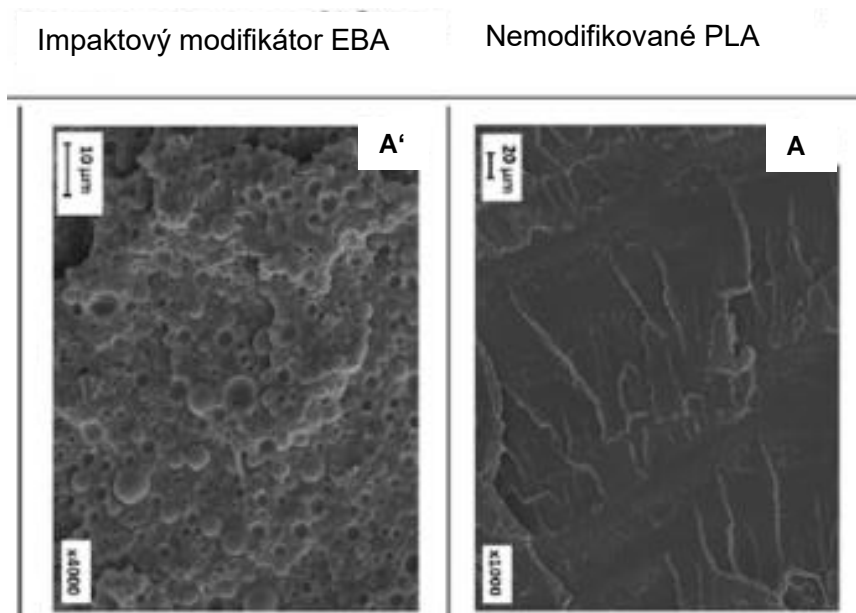
Kyselina polymléčná je polymer se stále se rozšiřujícím použitím. Jednou z nevýhod PLA, která brání ještě většímu rozšíření například v automobilovém průmyslu je křehkost a tím způsobená nízká rázová houževnatost. Zlepšení těchto vlastností je možné buď pomocí změny technologického postupu výroby, který ale sám zajistí pouze mírné zlepšení těchto vlastností nebo pomocí přidání impaktivých modifikátorů v podobě prášku nebo granulí do taveniny [31].

Impaktivé modifikátory omezují vznik trhlin v polymerech tím, že rozptylují energii způsobenou nárazem. To zvyšuje rázovou houževnatost, ale většinou za cenu snížení pevnosti v tahu v porovnání se samotným PLA. Impaktivé modifikátory jsou ve většině případů lineární elastomery s nízkou teplotou skelného přechodu, nebo zesíťované polymery které jsou většinou tvořeny sklenou skořepinou zajišťující spojení s matricí daného polymeru a pryžovým jádrem s nízkou teplotou skelného přechodu [31].

Jedním z komerčně dostupných modifikátorů je například Sukano® PLA im S550, který byl vyvinut s ohledem na použití v potravinářském průmyslu. Biodegradovatelný polymer s příměsí toho modifikátoru založeném na elastomeru může být v kontaktu s potravinami. Tento modifikátor nemění tepelnou stabilitu PLA tažnost ani jeho

průhlednost. Podobně jako u OnCap™ BIO Impact T, což je další komerčně dostupný modifikátor na bázi elastomeru s masterbarchem [31].

Mezi dvousložkové modifikátory patří například materiály Biomax® Strong jedná se o ethylen–akrylátové kopolymery určený jak pro amorfní, tak pro semi-krystalické PLA. K výraznému nárůstu rázové houževnatosti dochází po přidání už 2 hmotnostních procent. Po překročení hranice 5 hmotnostních procent modifikátoru začíná docházet k ovlivňování průhlednosti PLA [31].



**Obr. 2.11** Strukturu PLA bez modifikátoru (A) a PLA s impaktivním modifikátorem (A') [32]

### 3 Experimentální část

V experimentální části bakalářské práce byly vytvořeny sady vzorků čistého PLLA a PLLA s aditivou pro účely testování jejich vlastností. Vzorky byly podrobeny zkouškám pro zjištění jejich statických vlastností, rázové odolnosti a teplotní charakteristiky.

#### 3.1 Popis použitého materiálu

Základním použitým materiálem bylo PLLA Luminy® L130, které má v porovnání s jinými druhy PLA vyšší teplotu tání a vyšší stupeň krystalinity.

**Tab. 3.1** Vlastnosti PLLA Luminy® L130 [33]

Hustota:	1,24 g/cm <sup>3</sup>
Stereochemická čistota:	≥ 99 % (L-isomer)
Zbytkový monomer:	≤ 0,3 %
Teplota tání:	175 °C
Teplota skelného přechodu:	60 °C
Pevnost v tahu:	50 MPa

Dalším použitým materiálem byl impaktivní modifikátor pro zvýšení rázové houževnatosti PLA s komerčním označením MOC 006.

**Tab. 3.2** Vlastnosti impaktivního modifikátoru [34]

Teplota skelného přechodu:	50 °C
Hustota při 20 °C:	1,25 g/cm <sup>3</sup>
Povrchová vlhkost:	Max. 0,5 %

Posledním materiálem byly nanokrystaly celulózy (NCV-100 značky CelluForce), které byly modifikovány polyethylenglycolem (PEG) s označením PEG 400 od firmy Aldrich.

**Tab. 3.3** Vlastnosti nanokrystalů celulózy NCV-100 [36]

Objemová hmotnost:	0,7 g/cm <sup>3</sup>
Vlhkost:	4 – 6 %
Krystalinita:	0,88
Rozměry částic:	10 - 30
Pevnost v tahu:	10 000 MPa
Stabilní do teplot:	280 – 300 °C

**Tab. 3.4** Vlastnosti polyethylenglycolu Aldrich [35]

Bod tání:	4 – 8 °C
Relativní hustota:	1,128 g/mL
Teplota rozkladu:	> 300 °C
Molekulová hmotnost	400 g/mol

### 3.2 Popis procesu výroby vzorků

Všechny vzorky a následně jejich testování proběhlo na katedře strojírenských technologií Technické univerzity v Liberci. K výrobě byl vzorků byl použit mikrokompaundér MC15HT (Xplore) viz obr.3.1 a vstřikovací stroj IM12 (Xplore) viz. Obr.3.2.



**Obr. 3.1** Mikrokompondér Xplore MC15 HT [37]



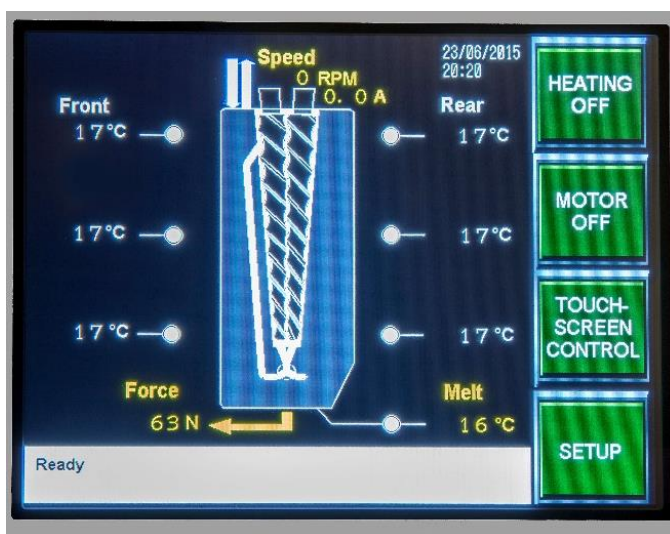
**Obr. 3.2** Pohled do otevřeného mikrokompondéru Xplore MC 15 HT [37]

Ke kompaundaci byl použit stroj MC15 HT do kterého byl vysušený granulát biopolymeru PLLA s ostatními aditivy (10IM, 1CNC-3PEG) podáván pomocí automatického šneku a vodou chlazené násypky.

Materiál a aditiva byly následně pomocí dvou šneků s konstantními otáčkami přepraveny do předehřáté pracovní komory, kde došlo k postupné plastifikaci. Umístění komory stroje ve vertikální poloze umožňuje automatické odplyňování. Uvnitř komory se nachází vestavěný recirkulační kanál, který zajišťuje řádné promíchání taveniny. Po roztavení dodaného materiálu došlo k ustálení kroutícího momentu šneků. Po ustálení kroutícího momentu byl otevřen recirkulační ventil a tavenina byla vytlačena do vyhřívané komory vstřikovacího stroje.

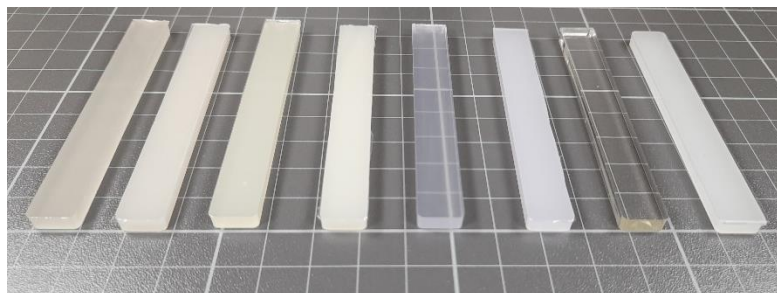


**Obr. 3.2** Vstřikovací stroj Xplore IM12 [38]



**Obr. 3.3** Ilustrační obrázek nastavení teplotního profilu v komoře [37]

Komora lisu byla po naplnění taveninou vložena do vstřikovacího lisu Xplore IM12. Vyhřívaná komora byla pneumatickým pístem přitlačena k formě a připravená tavenina byla vpravena do formy. Pro výrobu zkoušených těles byly použity dvě formy. A to forma pro výrobu normalizovaných zkušebních těles pro tahové zkoušky (tělesa typ 1B) a forma pro rázové zkoušky (tělesa 80x10x4 mm). Dávkovací komora byla při výrobě všech vzorků předehřátá na 200 °C. Pro každý materiál byla vytvořena skupina deseti vzorků ve studené formě (40 °C) a deseti vzorků v předehřáté formě (100 °C) pro oba typy zkušebních těles.



**Obr. 3.4** Ukázka testovacích vzorků o rozměrech 80x10x4 mm

**Vzorky zleva:** PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF), PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF), PLLA1CNC-3PEG (SF), PLLA/1CNC-3PEG (TF), PLLA/10IM (SF), PLLA/10IM (TF), PLLA (SF), PLLA (TF)

### 3.3 Experimentální měření

#### 3.3.1 Tahová zkouška

Celá zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN ISO 527-1,2. Pro určení tahových vlastností zkoumaných vzorků byl použit trhací stroj TiraTest 2300. Během zkoušky byly získány hodnoty modulu pružnosti v tahu ( $E_t$ ), meze pevnosti v tahu ( $\sigma_m$ ) a poměrného prodloužení při přetržení ( $\epsilon_{tb}$ ). Aby bylo zajištěno jednoosého namáhání vzorků v tahu byla zkušební tělesa v čelistech upevněna tak, aby osa tělesa byla rovnoběžná se směrem pohybu při zatěžování. Pro eliminaci náběhové oblasti v grafu bylo nutné těleso zatížit pozitivním přepětím. Vzdálenost mezi čelistmi stroje byla nastavena na 115 mm. Měření modulu pružnosti v tahu probíhalo při konstantní rychlosti 1 mm/min, za použití tenzometru MFL-300B. Pro měření jmenovitého poměrného prodloužení a meze pevnosti byl použit stejný stroj s konstantní rychlostí 5 mm/min. U každého testovaného materiálu bylo provedeno deset měření, a to jak pro studenou, tak i pro teplou formu. Průměrné hodnoty a směrodatná odchylka byly zaznamenány do tabulek viz. Tab. 3.5.

**Tab. 3.5** Výsledky tahové zkoušky

Měřené hodnoty:	$E_t$ [MPa]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{tb}$ [%]
PLLA (SF)	3593 ± 18	71,3 ± 0,7	5,9 ± 0,8
PLLA (TF)	3944 ± 128	63,6 ± 1,4	2,4 ± 0,4
PLLA/10IM (SF)	3444 ± 24	65,8 ± 0,7	4,8 ± 1,2
PLLA/10IM (TF)	3876 ± 44	57,7 ± 0,9	9,3 ± 1,7
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	1717 ± 96	40,5 ± 1,1	51,2 ± 14,5
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	2388 ± 167	35,9 ± 2,1	3,8 ± 1,1
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	1854 ± 247	36,0 ± 3,2	76,9 ± 18,5
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	2385 ± 127	33,4 ± 3,3	7,5 ± 2,6

### 3.3.2 Zkouška rázové houževnatosti

Celá zkouška rázové houževnatosti byla provedena dle normy ČSN EN ISO 179-1. Zkouška probíhala na stroji Resil Ceast 5.5 s rázovým kyvadlem o nominální energii 2 J. Před začátkem zkoušky byl s kyvadlem proveden ráz na prázdko bez vloženého vzorku čímž došlo ke kalibraci zařízení. Během zkoušky byly přeráženy zkušební tělesa o rozměrech 80x10x4 mm uložené vodorovně na dvou podporách. Náraz kyvadla, jehož nominální energii určuje norma ČSN EN ISO 179-1 proběhl do střední části tělesa.

Pro získání rázové houževnatosti podle Charpyho byla použita rovnice (5.1) ve které  $a_{cU}$  [kJ/m<sup>2</sup>] označuje rázovou houževnatost,  $E_c$  [J] energii potřebnou k přerážení zkušební tělesa,  $h$  [mm] tloušťku zkušební tělesa a  $b$  [mm] šířku zkušební tělesa. Test proběhl desetkrát u každé varianty testovaných polymerů. Při každém testu došlo k úplnému přerážení testovacího tělesa.

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h * b} * 10^3 \quad (5.1)$$

Ze získaných hodnot byla vypočítána rázová houževnatost a směrodatná odchylka ke každé zkoumané variantě polymeru. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 3.6.

**Tab. 3.6** Výsledky zkoušky rázové houževnatosti

Měřené hodnoty:	Tloušťka [mm]:	Šířka [mm]:	Energie [J]:	Rázová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]
PLLA (SF)	3,97	10,44	0,73	<b>17,58</b>
PLLA (TF)	4,01	10,17	1,15	<b>28,11</b>
PLLA/10IM (SF)	3,97	10,45	1,21	<b>29,19</b>
PLLA/10IM (TF)	4,01	10,00	3,17	<b>79,16</b>
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	4,05	10,20	0,98	<b>23,71</b>
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	3,99	10,10	1,03	<b>25,46</b>
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	4,07	10,25	2,06	<b>49,43</b>
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	4,00	10,02	1,28	<b>31,96</b>

### 3.3.3 Teplota měknutí podle Vicata

Měření teploty měknutí podle Vicata proběhlo podle normy ČSN EN ISO 360. Cílem zkoušky je u zkoumaných materiálů určit teplotu měknutí (tvarové stálosti) podle Vicata (Vicat Softening Temperature – VST). Tato zkouška je používána, když je potřeba určit oblast teplot ve kterých lze daný polymer bezpečně používat. Od každého zkoušeného materiálu byli testovány tři vzorky z teplé i studené formy s počáteční teplotou 25 °C. Zvyšování teploty probíhalo rychlostí 120 K/h. Z výsledných hodnot u každého vzorku byla spočítána průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Tyto výsledky jsou zahrnuty v tabulce 3.7.

**Tab. 3.7** Průměrné hodnoty měření podle Vicata

Měřené hodnoty:	Teplota [°C]
PLLA (SF)	59,8 ± 0,4
PLLA (TF)	96,1 ± 0,9
PLLA/10IM (SF)	59,4 ± 0,6
PLLA/10IM (TF)	90,5 ± 3,4
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	43,3 ± 0,6
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	89,9 ± 0,7
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	46,0 ± 0,2
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	84,3 ± 1,6

### 3.3.4 Skenovací elektronová mikroskopie (SEM)

Pro zkoumání pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM) byl použitý zkušební tělíška, které byly předtím využité při rázové zkoušce. Od každého zkušebního tělíška zkoumaného materiálu byl oddělen vzorek s lomovou plochou, který byl následně zkoumán pod elektronovým mikroskopem TESCAN Mira3.

Před samotným měřením byly vzorky připevněny na držáčky pomocí lepící karbonové pásky. Před vložením do mikroskopu bylo nutné na lomovou plochu vzorků nanést povlak platiny. Toto povlakování vzorků bylo nutné kvůli zlepšení odrazu elektronového signálu díky čemuž bylo možné získat lepší obraz zkoumaných ploch. Po povlakování byl vzorky vloženy do elektronového mikroskopu. Na vzorky dopadaly svazky elektronů jejichž odraz vytvořil výsledné obrazy jednotlivých lomových ploch.



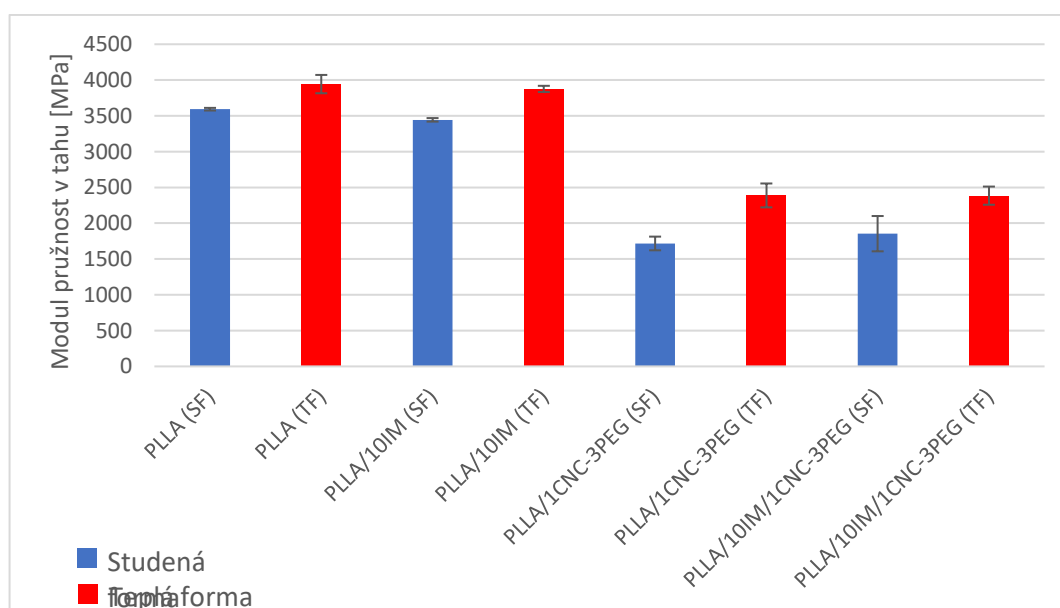
## 4 Diskuse výsledků

V této části práce jsou vyhodnoceny průměrné hodnoty jednotlivých výsledků měření s jejich směrodatnými odchylkami, dále jsou tyto výsledky hodnoceny z hlediska struktury lomových ploch zkoumaných pod elektronovým mikroskopem. Tabulky s výslednými hodnotami všech zkoušek jsou v kapitole 3 u popisu jednotlivých metod měření a v příloze na konci bakalářské práce.

### 4.1 Tahové vlastnosti

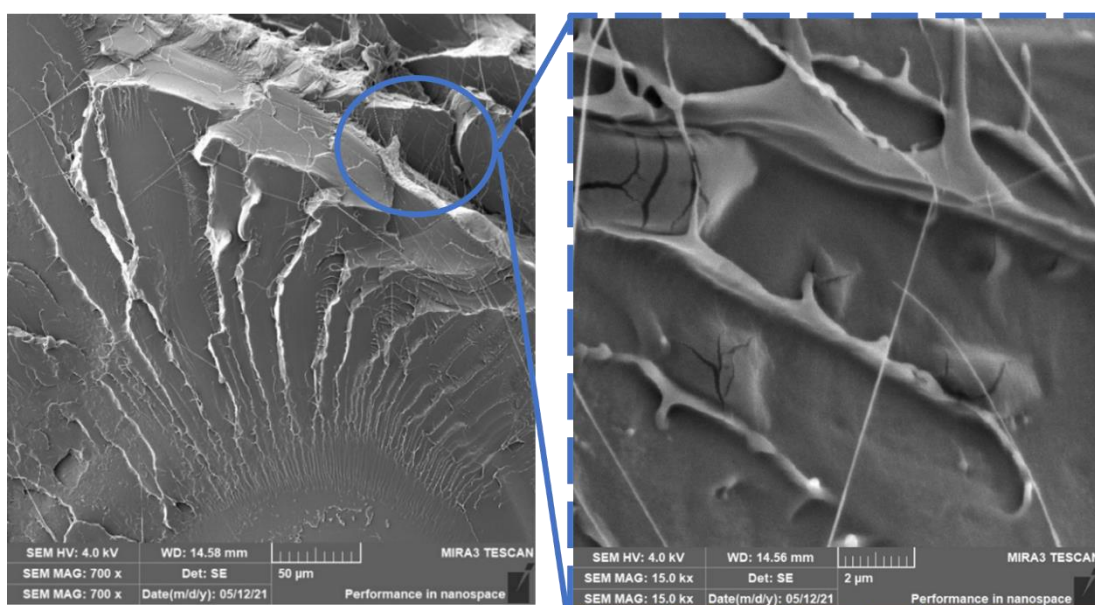
#### 4.1.1 Modul pružnosti

Hodnoty modulu pružnosti jsou vyznačeny v grafu viz obr.4.1. Během tahové zkoušky čistého PLLA bylo naměřeno zvýšení modulu pružnosti u vzorků z teplé formy (TF) o 9,8 % v porovnání se vzorky ze studené formy (SF). Nárůst modulu pružnosti byl způsoben krystalizací materiálu v teplé formě, která byla nahřata na 100 °C. Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce PLLA je pomalu krystalizujícím polymerem. Jak je patrné ze snímků lomových ploch, PLLA (SF) vykazuje křehký typ lomu, který odpovídá porušování amorfních polymerů viz obr.4.2. Oproti tomu vzorky z teplé formy vykazují hrubší typ porušení, které reprezentuje semi-krystalickou strukturu viz obr.4.3. Přidáním 10 hmotnostních procent impaktivního modifikátoru (IM) s označením MOC 006 došlo ke snížení modulu pružnosti o 4,1 % u vzorků ze studené formy v porovnání s čistým PLLA (SF). Avšak u vzorků z teplé formy došlo díky krystalizaci opět k nárůstu modulu pružnosti. Modul vzrostl na hodnotu 3876 MPa čímž překonal jak čisté PLLA (3593 MPa), tak PLLA/10IM (3444 MPa) ze studených forem. Tato hodnota je pouze o 68 MPa nižší než modul pružnosti samotného PLLA z teplé formy.

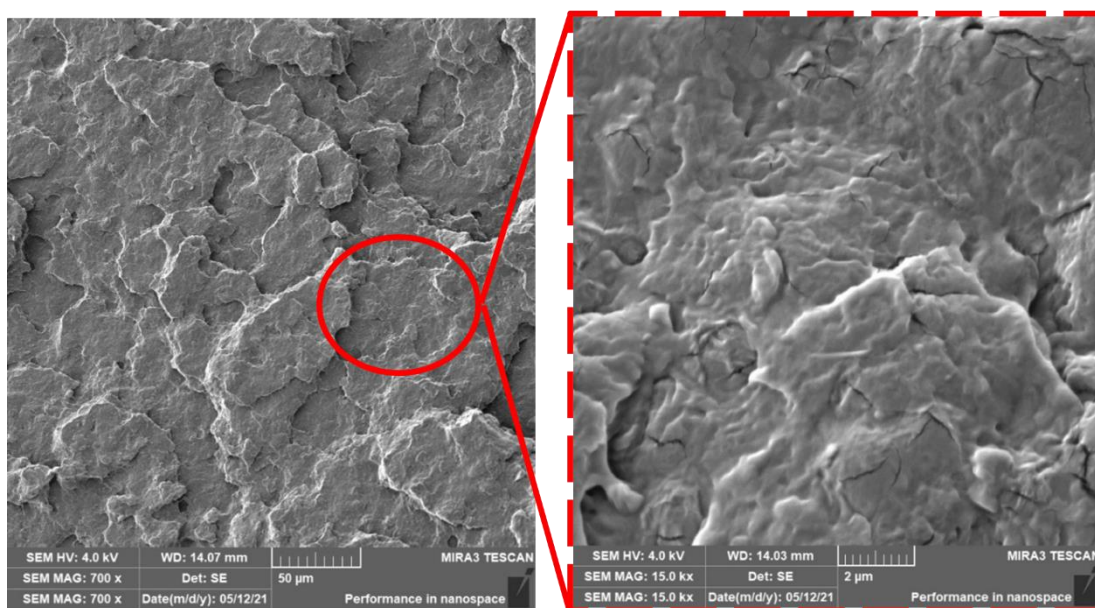


Obr. 4.1 Graf výsledných hodnot modulu pružnosti

U všech vzorků, ve kterých byly přítomny nanokrystaly celulózy (1 hmotnostní procento) spolu s polyethylenglykolem (3 hmotnostní procenta) došlo k výraznému poklesu modulu pružnosti bez ohledu na technologický postup přípravy (studená/teplá forma). Tento pokles je způsoben modifikací CNC pomocí nízkomolekulárního změkčovadla (PEG 400). Změkčovadlo oddaluje jednotlivé makromolekuly PLLA a snižuje tak tuhost výsledného materiálové systému a zvyšuje tažnost. Vzorky samotného PLLA ze studené formy mají přibližně 2x větší modul pružnosti v porovnání se vzorky ze studené formy, které obsahují 1CNC-3PEG. Vzorky z teplé formy měly díky krystalizaci vyšší modul pružnosti přibližně o 30 % oproti vzorkům ze studené formy, ale stejně je výrazně nižší v porovnání se vzorky bez 1CNC-3PEG.



**Obr. 4.2** Lomová plocha PLLA ze studené formy

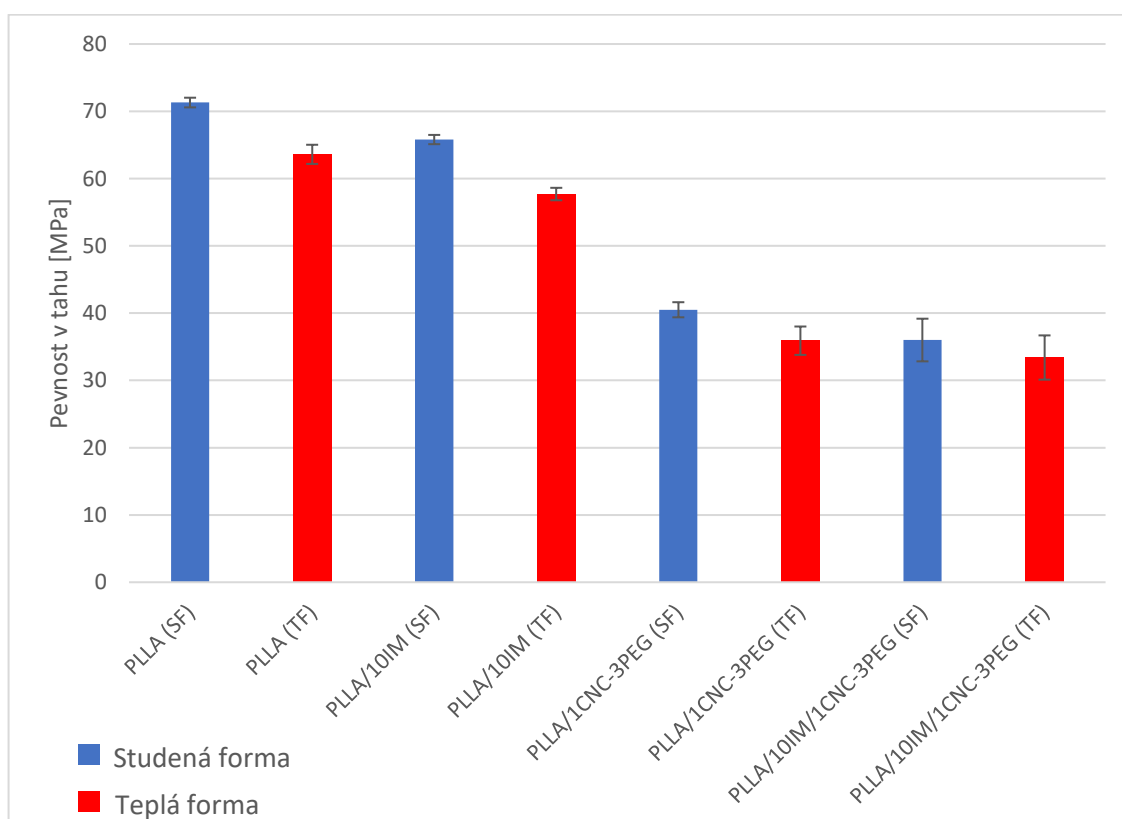


**Obr. 4.3** Lomová plocha PLLA z teplé formy

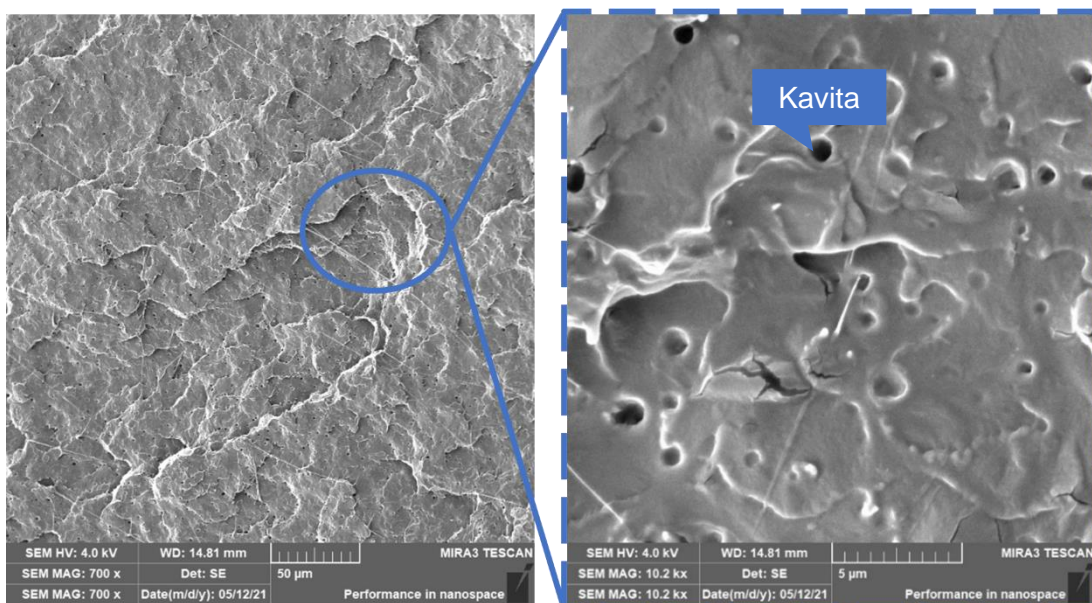
#### 4.1.2 Pevnost v tahu

Z průběhu průměrných hodnot zaznamenaných v grafu viz obr.4.4 je patrné, že bez ohledu na složení vzorků mají materiály ze studené formy vždy vyšší pevnost v tahu v porovnání se vzorky z teplé formy. To je způsobeno vytvořením krystalické fáze nadmolekulární struktury v teplé formě. Vzorky s vyšším obsahem krystalické fáze tak mají tendenci se dříve porušovat při tahovém namáhání bez ohledu na obsah aditiv. S hodnotou 71,3 MPa je PLLA ze studené formy materiál s nejvyšší pevností v tahu. Přidáním impaktivního modifikátoru došlo bez ohledu na teplotu formy k mírnému poklesu pevnosti o přibližně 8 MPa. U vzorků ze studené i teplé formy se objevují kavity (duté prostory) viz obr. 4.5 a 4.6, které jsou způsobeny přidáním IM do PLLA matrice a mohou při překročení kritické velikosti 1  $\mu\text{m}$  způsobit pokles pevnosti v tahu.

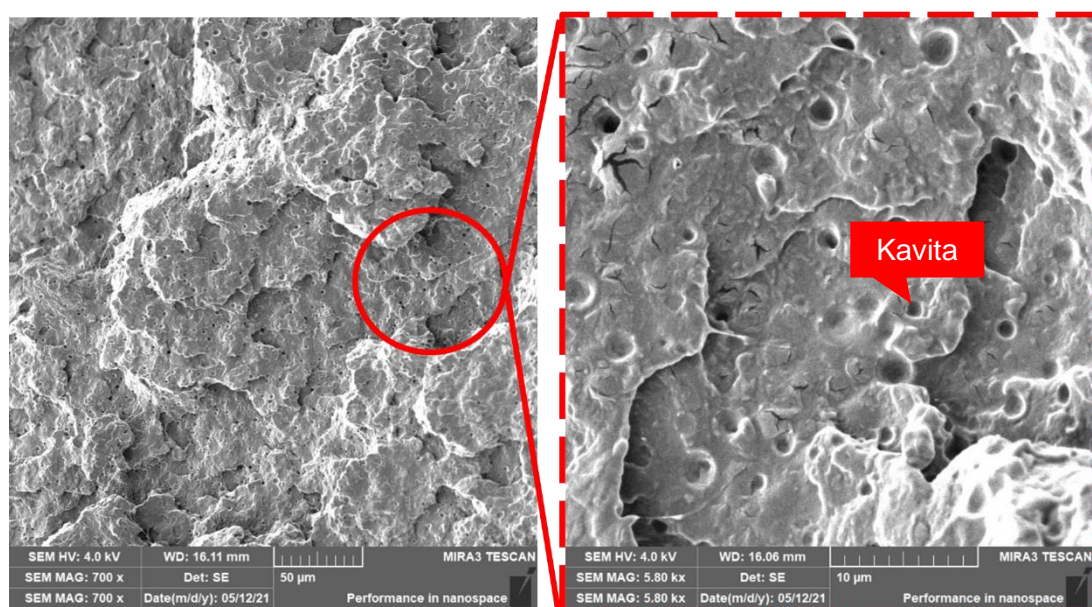
Po přidání nanokrystalů celulózy modifikovaných polyethylenglykolem (PLLA/1CNC-3PEG SF) došlo v porovnání se samotným PLLA (SF) ke skokovému snížení pevnosti o 43,2 %. V případě vzorků PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF) došlo ke snížení pevnosti o 50 % v porovnání se vzorky čistého PLLA (SF). K obdobnému poklesu došlo u vzorků z teplé formy v obou vzorcích obsahující 1CNC-3PEG.



Obr. 4.4 Graf výsledných hodnot pevnosti v tahu



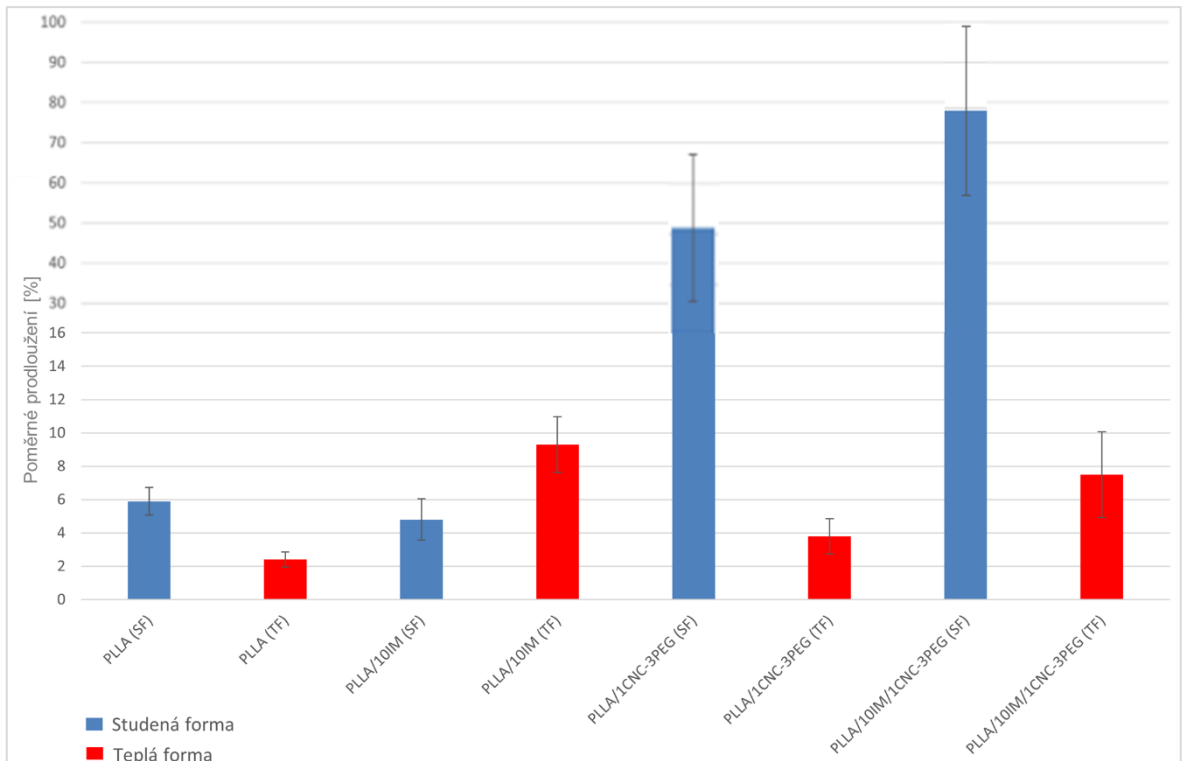
**Obr. 4.5** Lomová plocha PLLA/10IM ze studené formy



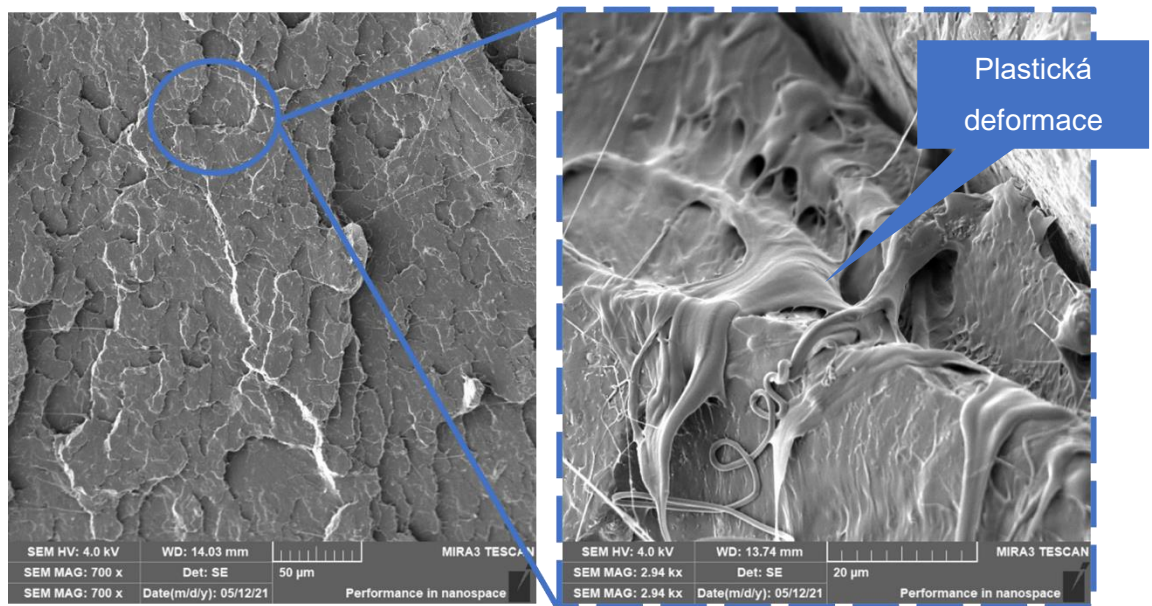
**Obr. 4.6** Lomová plocha PLLA /10IM z teplé formy

#### 4.1.3 Poměrné prodloužení

U poměrného prodloužení je patrný vliv technologického postupu přípravy na výslednou tažnost. Vzorky ze studené formy mají méně krystalickou strukturu v porovnání s materiály z teplé formy díky čemuž nejsou tolik křehké a mají vyšší tažnost. Jedinou výjimkou je vzorek PLLA/10IM z teplé formy, kde díky synergickému působení impaktivního modifikátoru s PLLA dochází k zvýšení poměrného prodloužení z 4,8 % na 9,3 %. Jedné z nejvyšších hodnot poměrného prodloužení dosáhly vzorky ze studené formy, ve kterých byl modifikátor 1CNC-3PEG (PLLA/1CNC-3PEG) viz obr.4.8, který díky synergickému účinku změkčovadla a CNC se zvýšil tažnost 5,68x v porovnání s PLLA (SF).

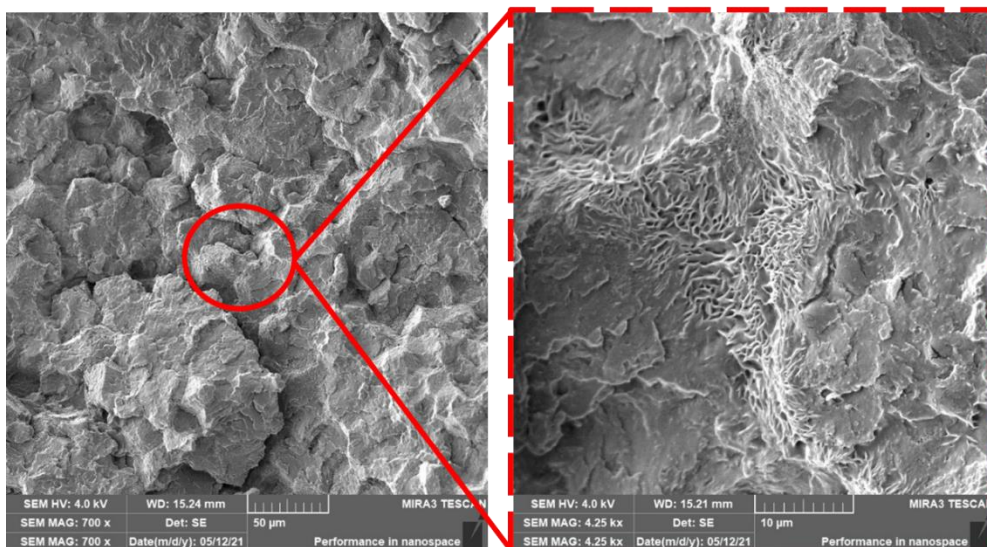


Obr 4.7 Graf poměrného prodloužení



Obr. 4.8 Lomová plocha PLLA/1CNC-3PEG ze studené formy

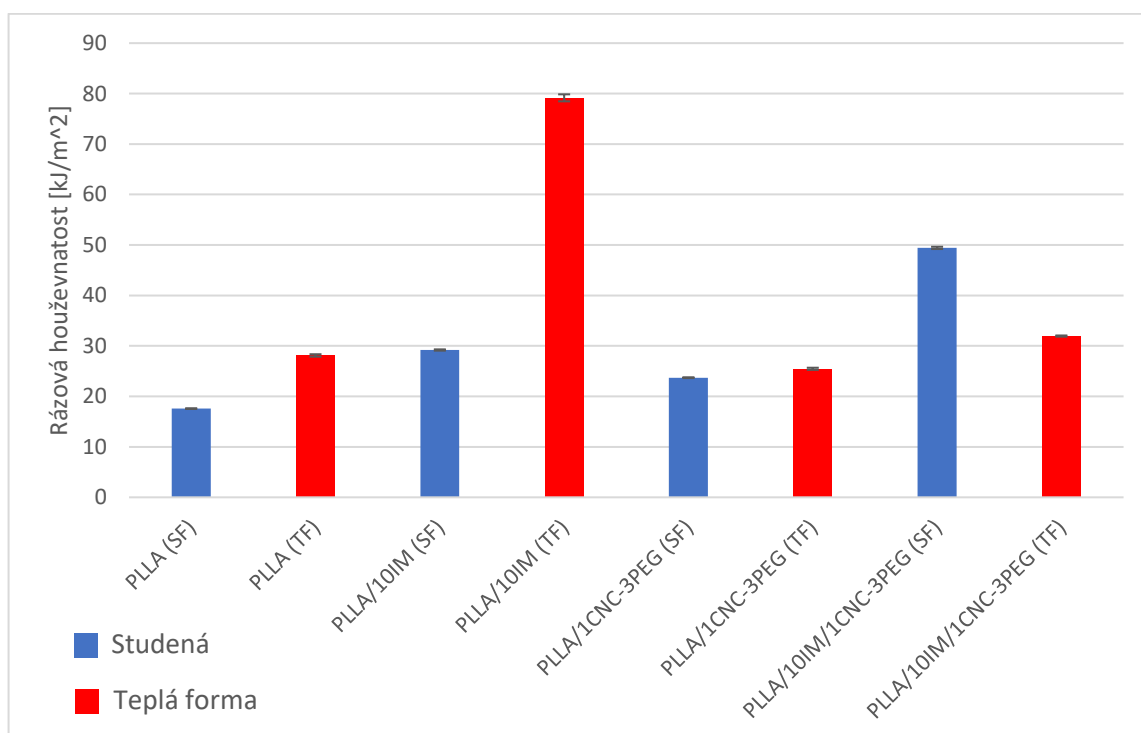
Vzorky PLLA/1CNC-3PEG (TF) díky vyššímu obsahu krystalické fáze nevykazují tak velikou plastickou deformaci (viz obr. 4.9). Zcela nevyšších hodnot poměrné prodloužení u vzorku PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF) je 13,5x vyšší než u čistého PLLA ze studené formy.



**Obr. 4.9** Lomová plocha PLLA/1CNC-3PEG z teplé formy

## 4.2 Rázová houževnatost

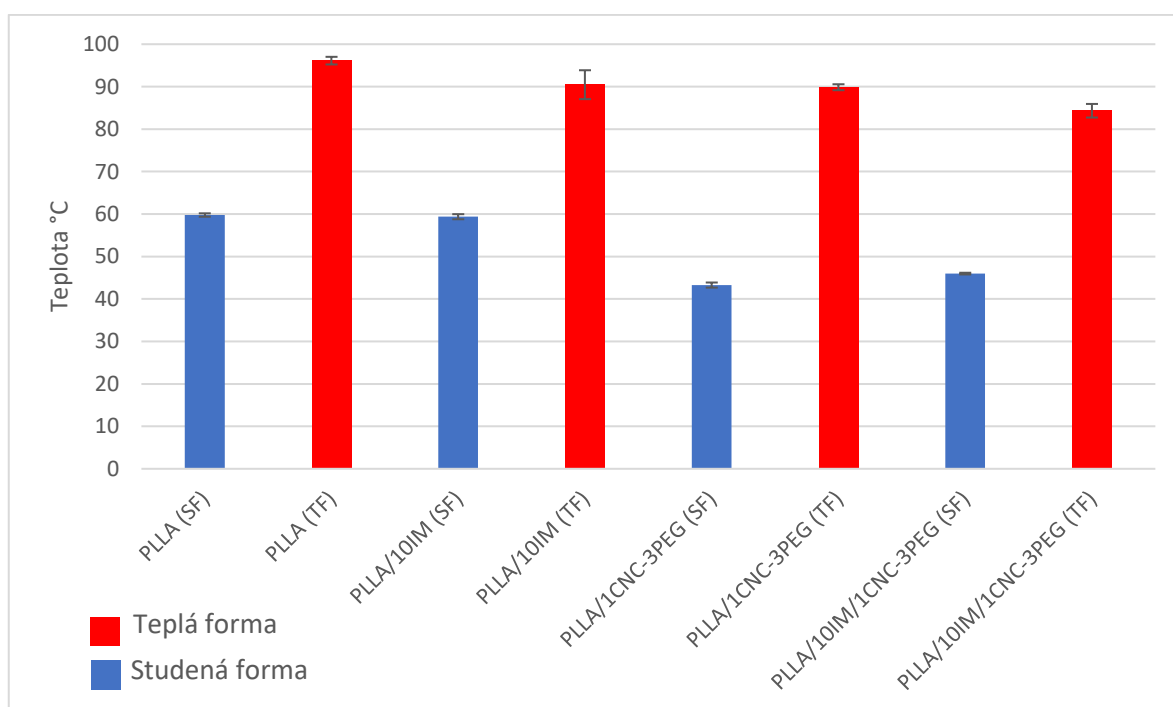
Při porovnání vzorků PLLA/10M (SF) se vzorky čistého PLLA (SF) je možné pozorovat mírné zlepšení rázové houževnatosti (o 11,61 kJ/m<sup>2</sup>). Nejlepší hodnoty rázové houževnatosti byli zaznamenány u vzorků PLLA/10IM z teplé formy (viz obr.4.6) (79,16 kJ/m<sup>2</sup>) což je o 58,16 % vyšší než u vzorků čistého PLLA z teplé formy. Toho bylo dosaženo synergickým působením impaktivního modifikátoru a krystalizací PLLA matrice. Jediný materiál, u kterého je rázová houževnatost vyšší ze studené formy, než z teplé je PLLA/10IM/1CNC-3PEG což je zároveň materiál s druhou nejvyšší rázovou houževnatostí ze všech zkoumaných materiálů.



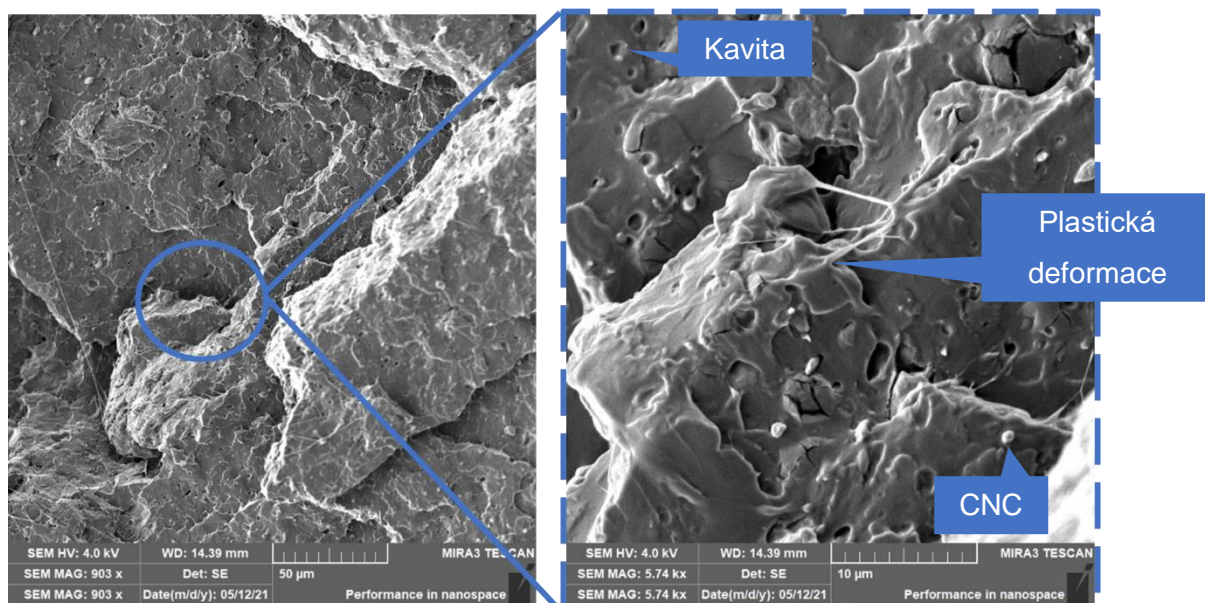
**Obr 4.10** Graf výsledných hodnot rázové houževnatosti

### 4.3 Teplota měknutí podle VICATA

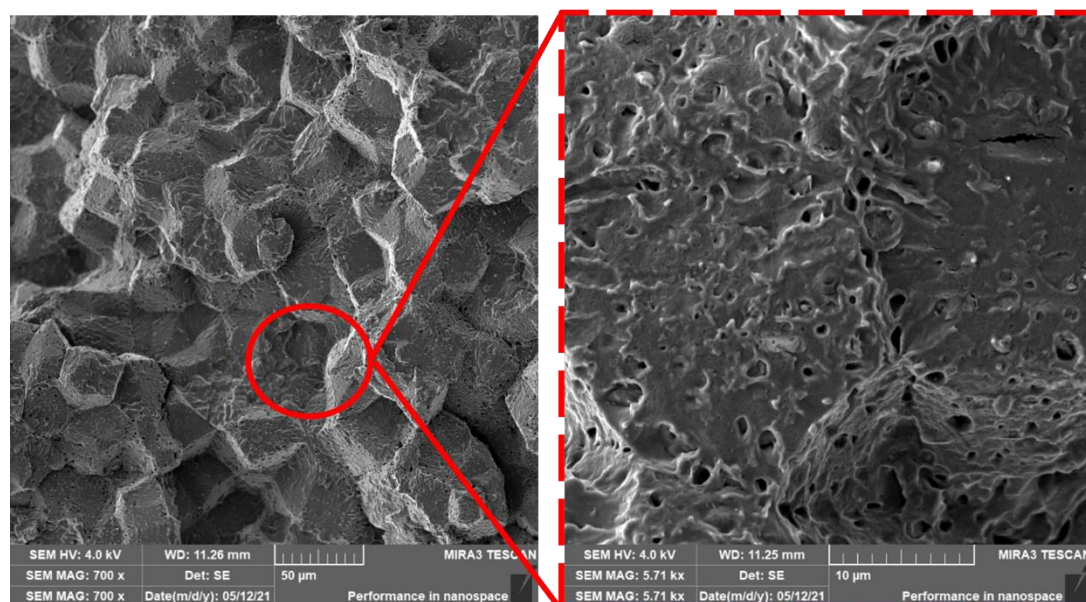
Graf výsledných hodnot (viz obr.4.11) teploty měknutí dle VICATA ukazuje velice podobné hodnoty u vzorků z teplé formy, kde rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou je 12,3 % (11,8 °C). Vyšší hodnota VST je zajištěna vyšším stupněm krystalinity materiálu oproti materiálům ze studené formy, která je způsobena krystalizací materiálů v teplé formě. U vzorků ze studené formy je mnohem patrnější pokles teplot u vzorků obsahujících 1CNC-3PEG, to je způsobeno oddálením makromolekulárních řetězců vlivem polyethylenglykolu (obr. 4.12). Klesá tak i mezimolekulární síly a tím je potřeba menší množství dodané energie k dosažení vyšších deformací při zvýšené teplotě. Při porovnání struktur lomových ploch na obr. 4.12 (PLLA/10IM/1CNC-3PEG SF) a obr. 4.13 (PLLA/10IM/1CNC-3PEG TF) je patrné, že vzorky z teplé formy ukazují porušení vzorků na hranicích sférolitů a potvrzují tak vyšší obsah krystalické fáze.



Obr. 4.11 Graf výsledných hodnot zkoušky podle Vicata



**Obr. 4.12** Lomová plocha PLLA/10IM/1CNC-3PEG ze studené formy



**Obr. 4.13** Lomová plocha PLLA/10IM/1CNC-3PEG z teplé formy



## 5 Závěr

Stále rychlejší pokrok nám umožňuje vyvíjet a do běžného života zavádět stále více materiálů. V oblasti plastů se čím dál tím víc pozornosti obrací, na materiály, jakou jsou biopolymery při jejich výrobě a následné recyklaci není tolik zatěžována příroda. Pro jejich využití v praxi, ale často bývá nutné zlepšit jejich mechanické a fyzikální vlastnosti. Cílem této bakalářské práce bylo modifikovat užité vlastnosti kyseliny polylaktické přidáním impaktového modifikátoru a povrchově modifikovaných nanokrystalů celulózy.

V rámci bakalářské práce byly vyrobeny vzorky materiálů PLLA, PLLA/10IM, PLLA/1CNC-3PEG a PLLA/10IM/1CNC-3PEG, a to jak v teplé, tak i v studené formě. Vzorky byly podrobeny tahové zkoušce, ze které byly získány hodnoty modulu pružnosti v tahu ( $E_t$ ), meze pevnosti v tahu ( $\sigma_m$ ) a poměrného prodloužení při přetržení ( $\epsilon_{tb}$ ). A poté zkoušce rázové houževnatosti. Zbytky vzorků pro tahovou zkoušku využity pro zkoušku podle VICATA a lomové plochy použitých těles pro rázovou zkoušku byly zkoumány pod elektronovým mikroskopem.

Při porovnání vzorků z hlediska technologického postupu výroby je vidět, že vzorky krystalizované v teplé formě mají díky jejich vyššímu stupni krystalinity bez ohledu na přidané modifikátory vyšší modul pružnosti, teplotu měknutí a rázovou houževnatost. Jedinou výjimkou je PLLA/10IM/1CNC-3PEG, kde je rázová houževnatost vzorků ze studené formy o 17,47 kJ/m<sup>2</sup> vyšší než u teplé formy. Vyšší krystalinita, ale zároveň způsobuje vyšší křehnutí materiálů a z toho důvodu mají vzorky z teplé formy nižší pevnost v tahu a tažnost.

U vzorků PLLA s 10 hmotnostními procenty impaktového modifikátoru je vidět výrazné zlepšení rázové houževnatosti hlavně u vzorku z teplé formy. Nejlepší tažnosti byly naměřeny u vzorků PLLA s nanokrystalami celulózy, které byly modifikované změkčovadlem. Avšak takto modifikovaná struktura způsobuje značný pokles pevnosti a modulu pružnosti v tahu.

Přidáním jednotlivých aditiv s vhodným technologickým zpracováním se podařilo úspěšně modifikovat strukturu PLLA a docílit tak rozličných užitečných vlastností. Tyto vlastnosti lze výhodně kombinovat v závislosti na výsledné aplikaci. I když se může zdát, že například přidání 1CNC-3PEG značně snižuje modul pružnosti, tak při porovnání PLLA/10IM/1CNC-3PEG ze studené formy (1717 MPa) s komerčně dostupnými polymery například s PP Mosten® 506 (viz příloha č.7) je modul pružnosti našich nejhorších vzorků stále o 200 MPa vyšší. Na druhou stranu například teplota měknutí měřená podle Vicata je u PP Mosten® 506 o více jak 50 °C vyšší než u jakéhokoliv námi testovaného vzorku. Při porovnání s dalšími komerčně dostupnými materiály jako například

PLA od AK plast (viz. Příloha č. 9) vidíme, že všechny námi vyrobené vzorky mají pevnost v tahu minimálně stejně velkou (PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)) jako PLA od AK plast, ale například čisté PLLA (SF) má pevnost vyšší o 38,26 MPa. Velmi odlišné hodnoty jsou u modulu pružnosti, kde vzorky PLLA a PLLA/10IM ze studené i teplé formy mají vyšší modul pružnosti než PLA AK plast (2800 MPa) až o 1144 MPa u PLLA (TF), ale ostatní vzorky mají modul pružnosti výrazně nižší. Například PLLA/1CNC-3PEF (SF) má modul pružnosti o 38,7 % nižší než PLA AK plast. Rázovou houževnatost mají všechny naše vzorky lepší a PLLA/10IM (TF) což je materiál se zcela nejlepší houževnatostí porovnávané PLA překonává o 64 kJ/m<sup>2</sup>. Při porovnání teploty měknutí podle Vicata nejlepší testovaný materiál (PLLA (TF)) teplotu měknutí o 68,6 % vyšší a nejhorší vzorek (PLLA/1CNC-3PEG (SF)) o 13,7 °C nižší teplotu měknutí než PLA AK plast. [39, 40].

## 5.1 Seznam literatury

- [1] Press corner | European Commission, nedatováno. online. [Viděno 29 ledna 2022]. Získáno z: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP\\_13\\_201](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_13_201)
- [2] Jaká je cesta plastového odpadu? - Samosebou.cz, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.samosebou.cz/2020/03/31/jaka-je-cesta-plastoveho-odpadu/>
- [3] Podstata, význam a historie polymerů, nedatováno. online. [Viděno 18 květen 2022]. Získáno z: <https://publi.cz/books/180/01.html>
- [4] GRIFFIN, G. J. L. (ed.), 1994. Chemistry and technology of biodegradable polymers. 1st ed. London; New York: Blackie Academic & Professional. ISBN 978-0-7514-0003-8. QP801.P64 C48 1994
- [5] Vida, Mikuláš a Josef Jančář. Plastové díly automobilů se sníženou škrábatelností. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta chemická, 2011. [Viděno 3 Leden 2022]. Získáno z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_veřejne.php?file\\_id=37176](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=37176)
- [6] KROISOVÁ, Dora, TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, a KATEDRA MATERIÁLU, 2009. Biodegradovatelné polymery - Úvod do problematiky. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7372-468-9.
- [7] Katedra tváření kovů a plastů - Skripta, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [8] Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
- [9] Katedra tváření kovů a plastů - Skripta, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/02.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/02.htm)
- [10] Bioplastics – European Bioplastics e.V., nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- [11] Materials – European Bioplastics e.V., nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>
- [12] CLARK, Allan H. (ed.), 1987. Biopolymers. Berlin Heidelberg: Springer. Advances in polymer science, 83. ISBN 978-3-540-17779-1.
- [13] Vodrážka, Z., 1969. Malé makromolekulární monografie 4: Biopolymery. Praha: Česko-Slovenská Akademie Věd.
- [14] DUCHACEK, Vratislav a VYSOKA SKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKA V PRAZE, 2006. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 978-80-7080-617-3.
- [15] Struktura vzorce celulózy. autor nezmámí [online]. [Viděno 29 říjen 2021]. Dostupné z: [http://r.fld.czu.cz/vyzkum/nauka\\_o\\_lp/chemie/celuloza.jpg](http://r.fld.czu.cz/vyzkum/nauka_o_lp/chemie/celuloza.jpg)
- [16] FARZANA KHAN PERVEEN, 2016. Recent Advances in Biopolymers. ISBN 978-953-51-4613-1.
- [17] NIAOUNAKIS, Michael, 2015. Biopolymers: processing and products. Amsterdam; Boston: Elsevier/WA, William Andrew is an imprint of Elsevier. PDL Handbook Series. ISBN 978-0-323-26698-7
- [18] Global Polylactic Acid Market Size Report, 2022 - 2030, nedatováno. online. [Viděno 29 srpen 2021]. Získáno z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/polylactic-acid-pla-market>
- [19] Polyvinylalkohol – Wikipedie, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyvinylalkohol>
- [20] Biopolymers and Their Industrial Applications - 1st Edition, ISBN 978-0-12-819240-5. nedatováno. online. [Viděno 23 červen 2021]. Dostupné z: <https://www.elsevier.com/books/biopolymers-and-their-industrialapplications/thomas/978-0-12-819240-5>
- [21] Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA), nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>

- [22] ALBERTO MASUELLI, Martin, 2013. introduction of Fibre-Reinforced Polymers Polymers and Composites Concepts, Properties and Processes. online. [Viděno 19 květen 2022]. ISBN 978-953-51-0938-9. Získáno z: <https://openresearchlibrary.org/content/d4ec4b73-94d2-4198-8ca0-35a5b619d04c>
- [23] MOHANTY, Amar K., MISRA, Manjusri a DRZAL, Lawrence T. (ed.), 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. ISBN 978-0-8493-1741-5. TA418.9.C6 N373 2005
- [24] Chemical structure of (a) poly(L-lactide) (PLLA); (b) poly(D-lactide) ... | Download Scientific Diagram, nedatováno. online. [Viděno 10 květen 2022]. Získáno z: [https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-a-polyL-lactide-PLLA-b-polyD-lactide-PDLA-c-polyD\\_fig2\\_320029859](https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-a-polyL-lactide-PLLA-b-polyD-lactide-PDLA-c-polyD_fig2_320029859)
- [25] SASTRI, Vinod R., 2014. Plastics in medical devices: properties, requirements, and applications. Amsterdam; Boston: Elsevier/WA, William Andrew is an imprint of Elsevier. Plastics Design Library (PDL). PDL handbook series. ISBN 978-1-4557-3201-2. R857.P55 S27 2014
- [26] Chemické listy 98, NOMENKLATURA A TERMINOLOGIE, Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_07\\_nom.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_07_nom.pdf)
- [27] Stárnutí polymerů, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://publi.cz/books/180/16.html>
- [28] Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial - ScienceDirect, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702113001958?via%3Dihub>
- [29] Dřevěný nanomateriál proniká do světa | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/265-dreveny-nanomaterial-pronika-do-sveta>
- [30] Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications - PMC, nedatováno. Online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4639556/>
- [31] Research progress in toughening modification of poly(lactic acid) - Liu - 2011 - Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics - Wiley Online Library, nedatováno. online. [Viděno 15 květen 2022]. Získáno z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/polb.22283>
- [32] Europe PMC, nedatováno. online. [Viděno 10 květen 2022]. Získáno z: <https://europepmc.org/article/med/32028602>
- [33] pds-luminy-l130.pdf, nedatováno. online. [Viděno 16 květen 2022]. Získáno z: <https://www.corbion.com/media/442344/pds-luminy-l130.pdf>
- [34] NaturePlast : Expert en bioplastique, le plastique biodégradable, nedatováno. online. [Viděno 16 květen 2022]. Získáno z: <http://natureplast.eu/>
- [35] Merck | Czech Republic, nedatováno. online. [Viděno 15 květen 2022]. Získáno z: <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en>
- [36] BERRY, Richard, nedatováno. CelluForce – The Power of Cellulose Nanocrystals.
- [37] NEW Xplore MC15 HT Micro Compounder - Engelmann & Buckham, nedatováno. online. [Viděno 29 duben 2022]. Získáno z: <https://www.buckham.co.uk/machines/new-xplore-mc15-ht-micro-compounder/>
- [38] Laboratoř zpracování plastů - Katedra strojírenské technologie, nedatováno. online. [Viděno 29 duben 2022]. Získáno z: <http://www.ksp.tul.cz/laborator-zpracovani-plastu>
- [39] Material Data Center | Datasheet Mosten® GB 506, nedatováno. online. [Viděno 19 květen 2022]. Získáno z: <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/Mosten/42b2678a/526>
- [40] Technické informace | AK Plast s.r.o., nedatováno. online. [Viděno 22 květen 2022]. Získáno z: <http://www.akplast.cz/technick-e-informace>

## **5.2 Seznam příloh**

**Příloha č. 1** - Průběhy tahové zkoušky

**Příloha č. 2** – Záznamy zkoušek podle Vicata

**Příloha č. 3** – Materiálový list PLA

**Příloha č. 4** – Materiálový list PEG

**Příloha č. 5** – Materiálový list CNC

**Příloha č. 6** – Materiálový list Impaktivního modifikátoru

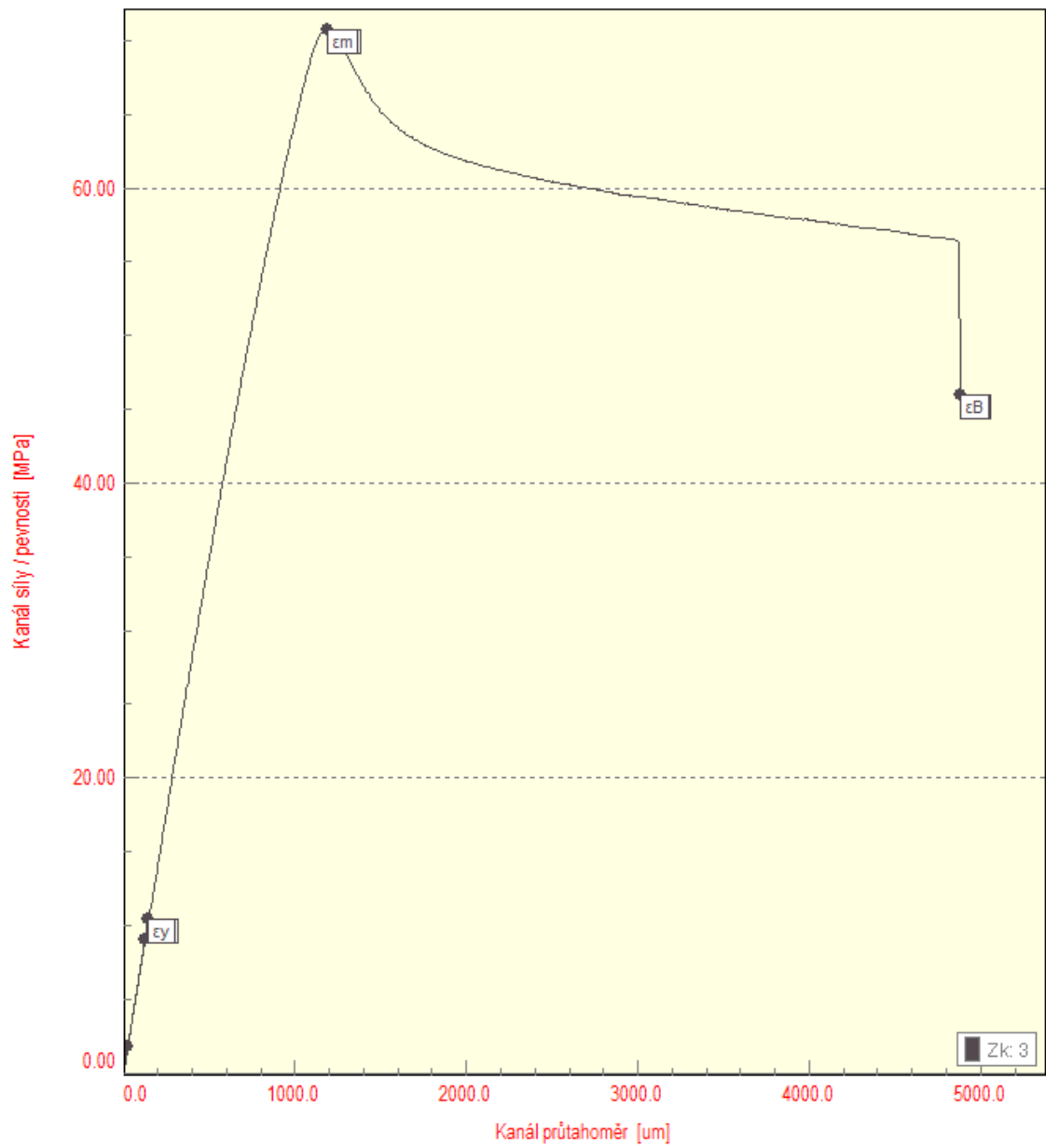
**Příloha č. 7** – Technický list Mosten® GB 506

**Příloha č. 8** – Výsledky měření (tah, rázová houževnatost, VICAT)

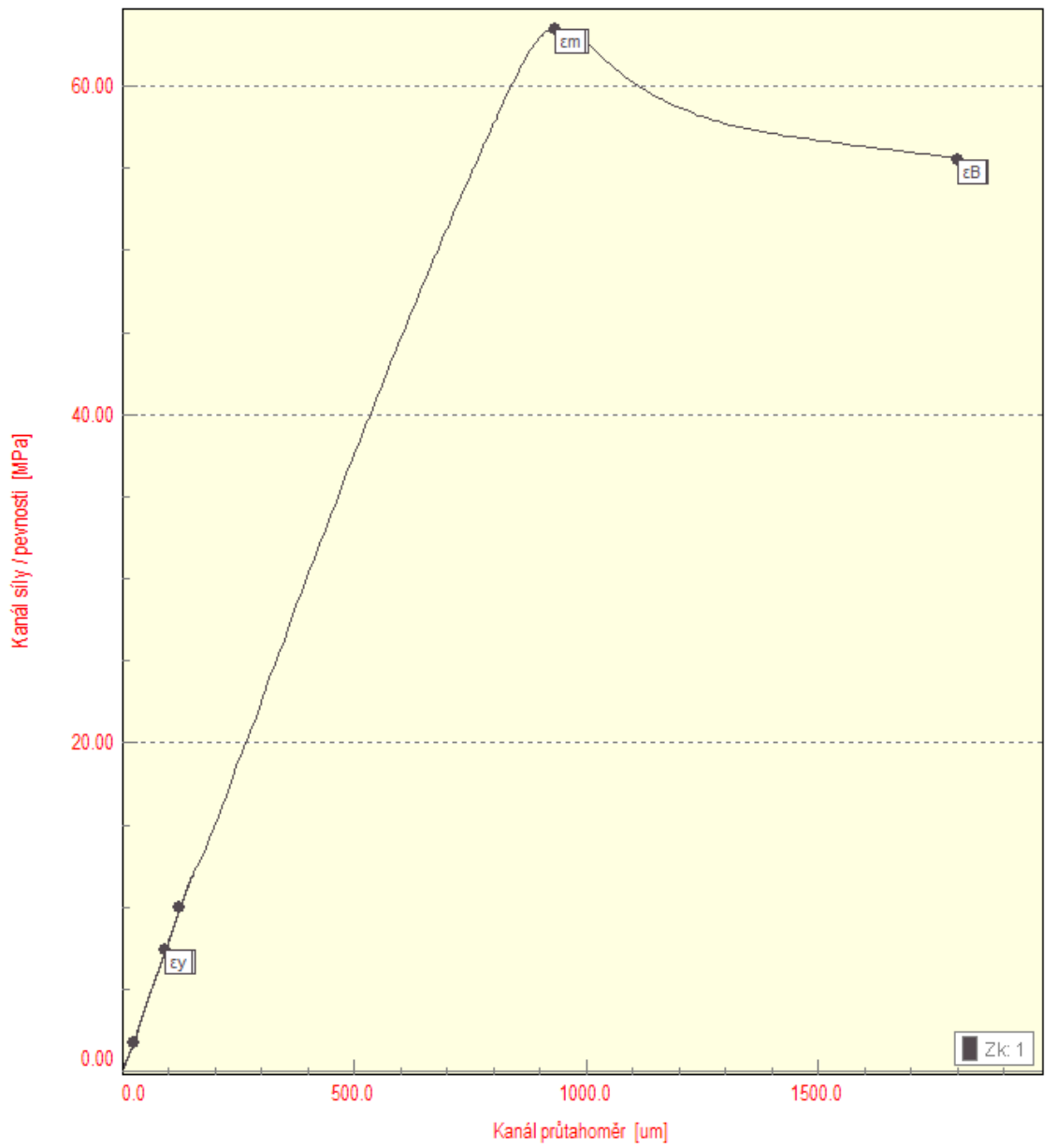
**Příloha č. 9** – Materiálový list AK plast

## Příloha č. 1 - Průběhy tahové zkoušky

Průběh tahové zkoušky PLLA\_SF



Průběh tahové zkoušky PLLA\_TF

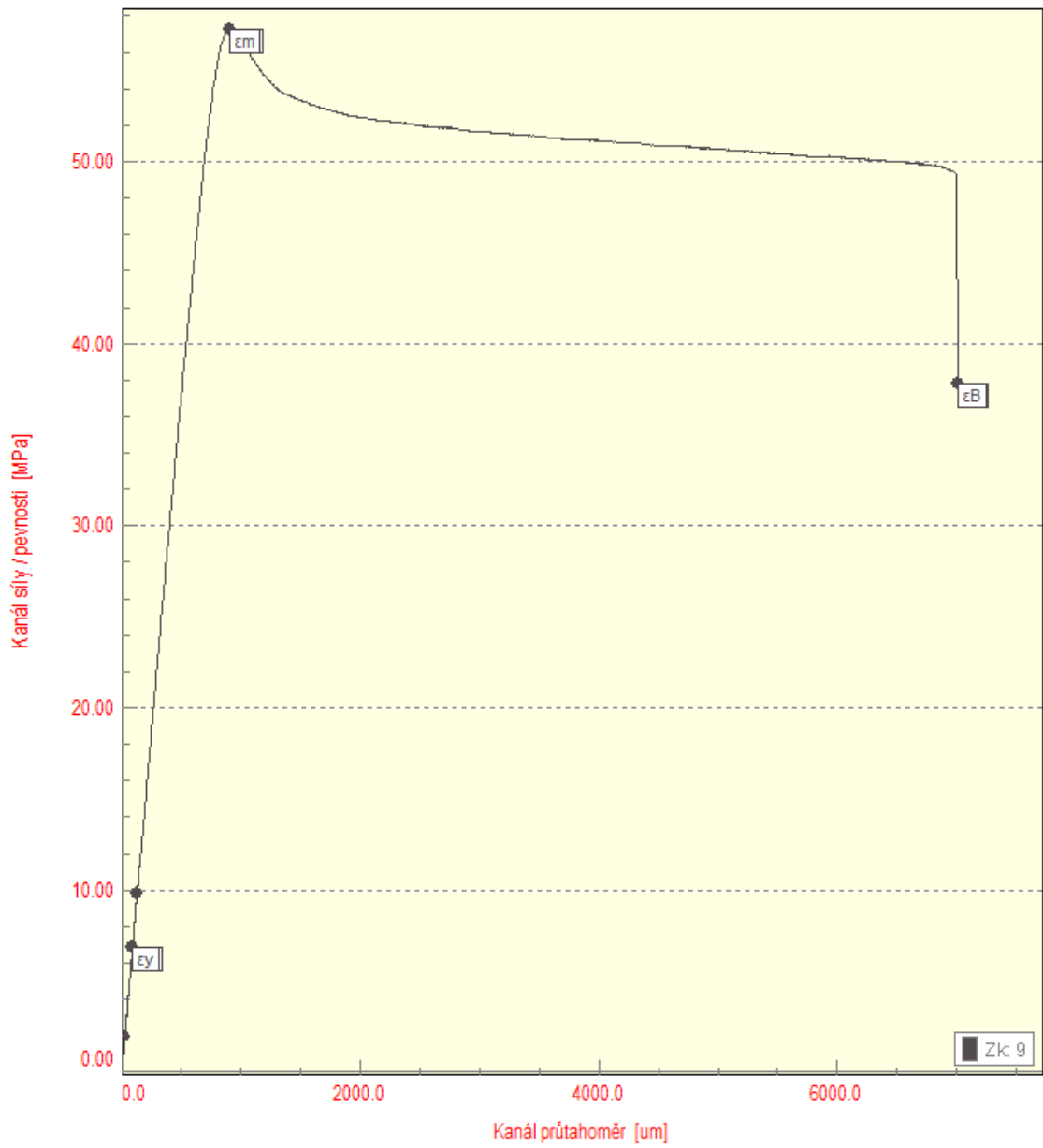


Průběh tahové zkoušky PLLA/10IM\_SF

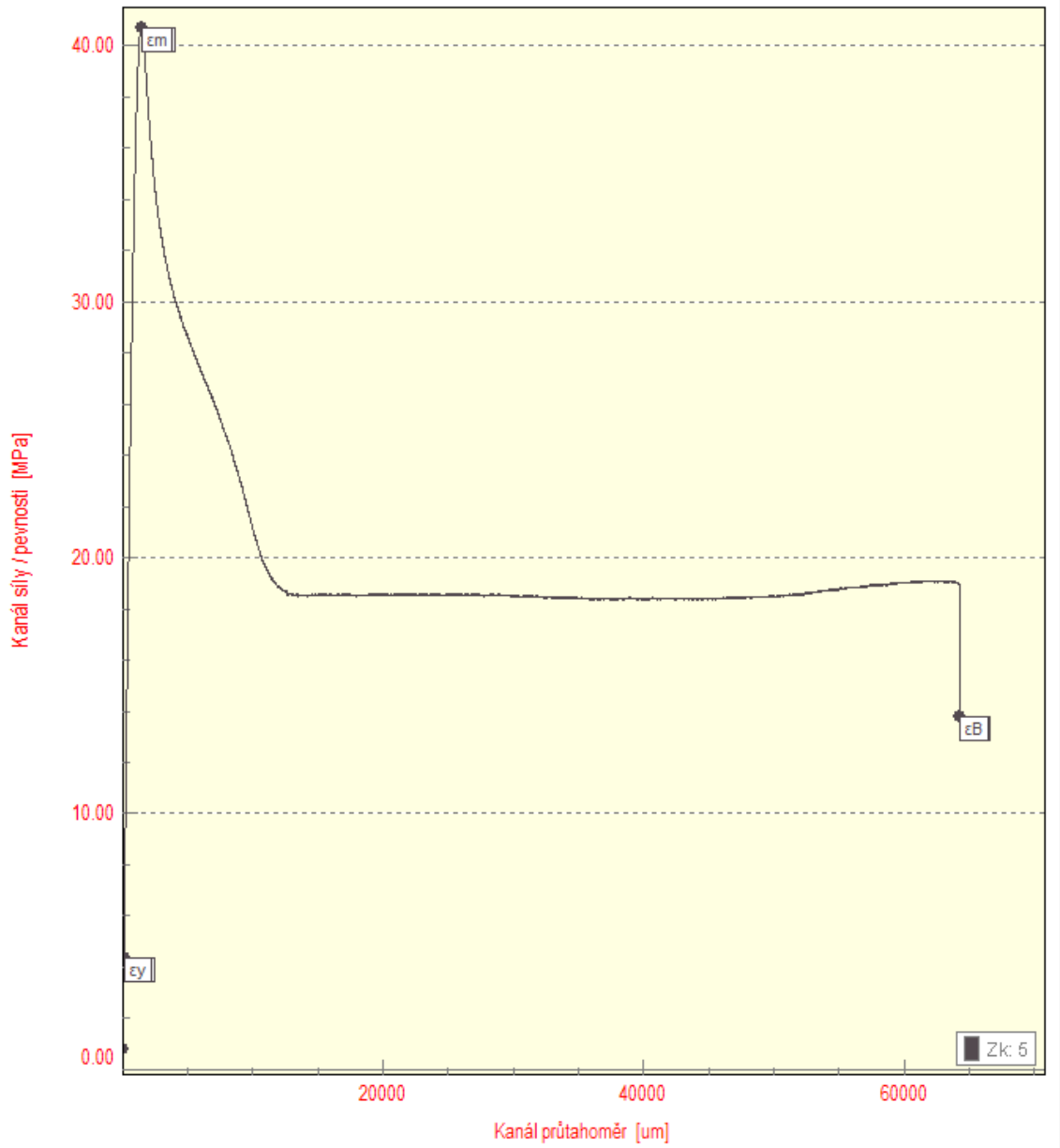




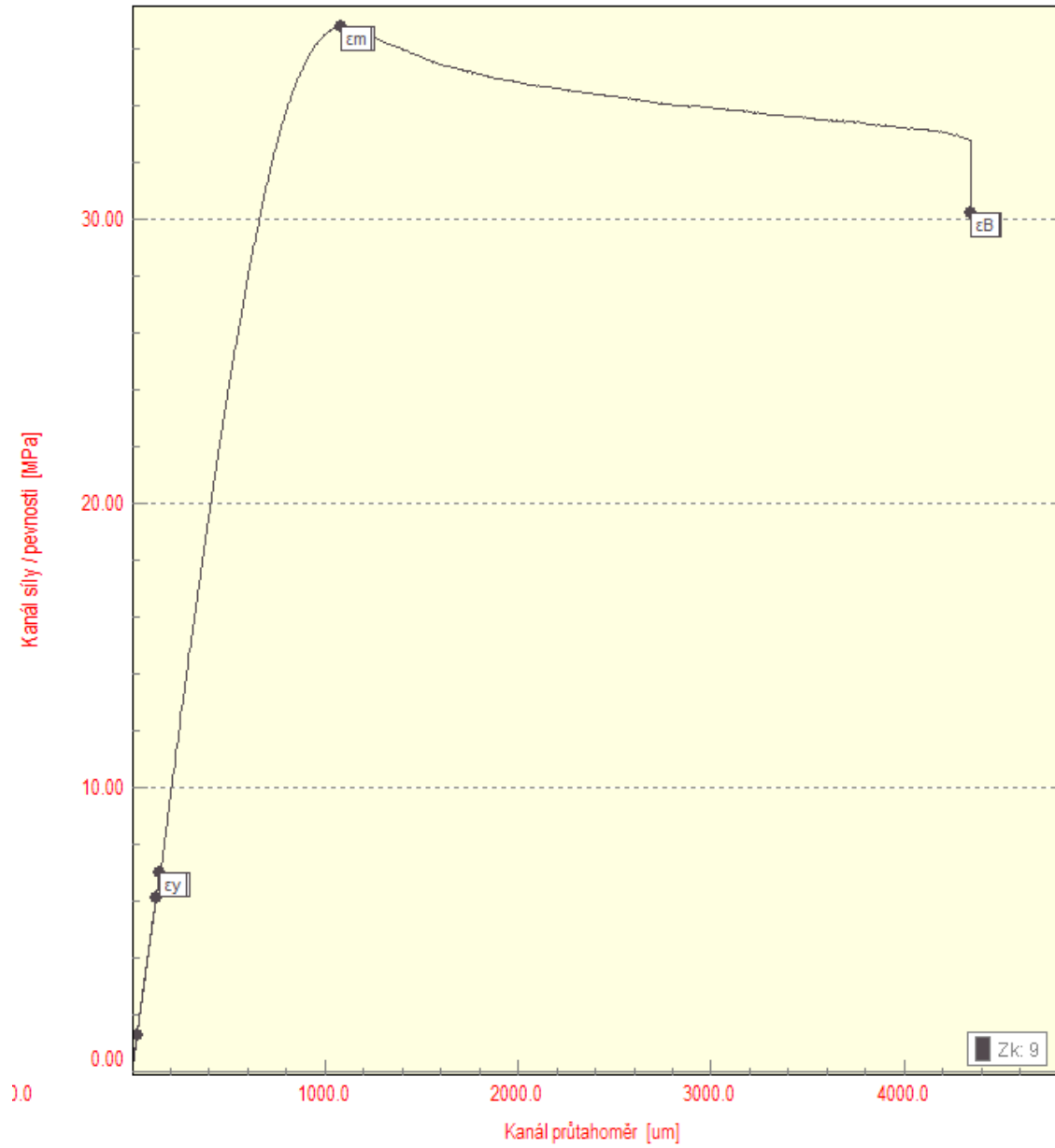
Průběh tahové zkoušky PLLA/10IM\_TF



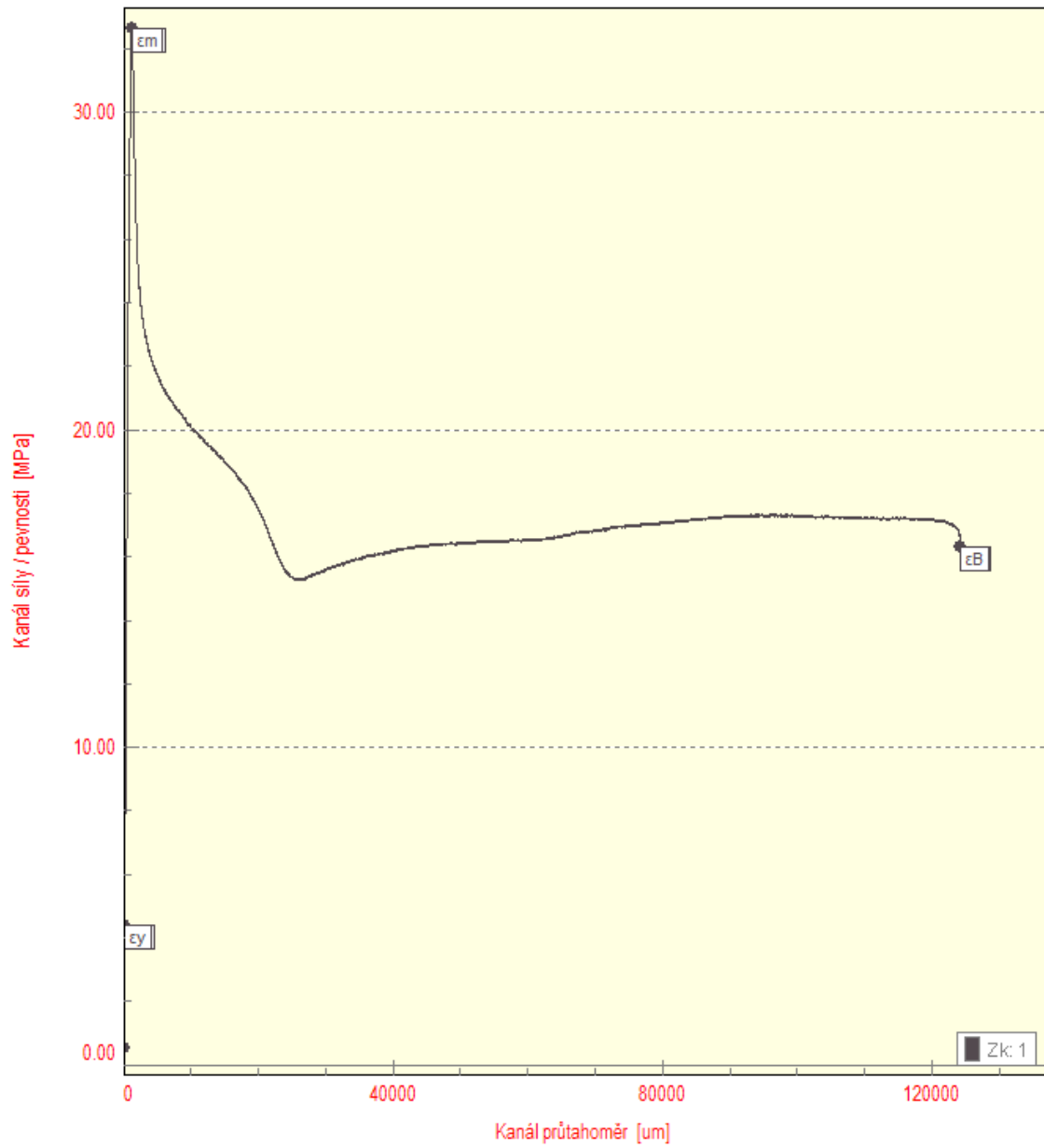
Průběh tahové zkoušky PLLA/1CNC-3PEG\_SF



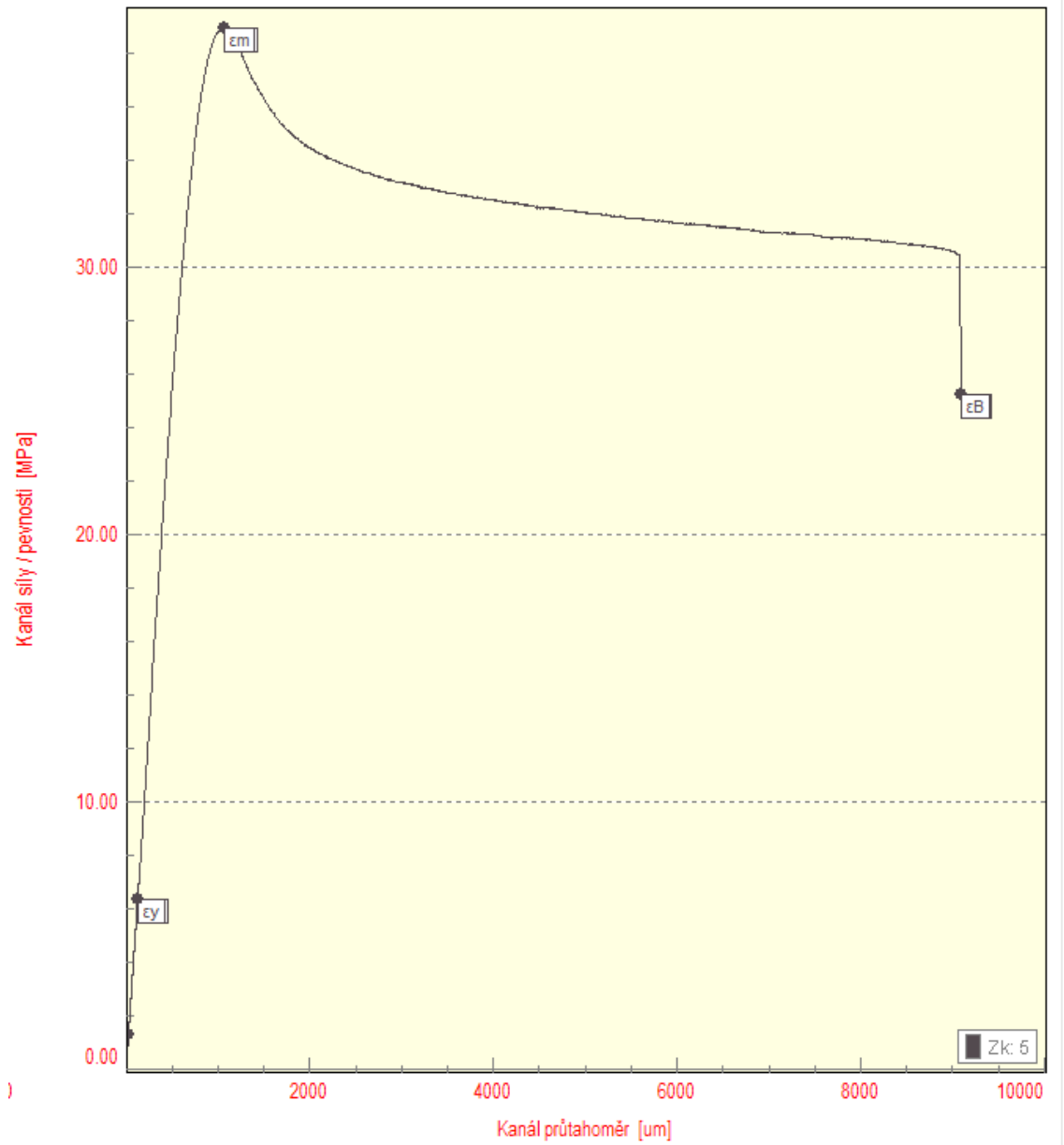
Průběh tahové zkoušky PLLA/1CNC-3PEG\_TF



Průběh tahové zkoušky PLLA/10IM/1CNC-3PEG\_SF



Průběh tahové zkoušky PLLA/10IM/1CNC-3PEG\_TF



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_SF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

#### Test results:

Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	1	59,90	1	1	27.4.2021 13:34:38
	2	59,50	2	2	27.4.2021 13:34:39
	3	59,90	3	3	27.4.2021 13:34:39

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_SF

Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	59,77	0,13	Ok	0,40	0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,27	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,13	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

## BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_SF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

### Test results:

Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time	
			°C			
	1		59,90	1	1	27.4.2021 13:34:38
	2		59,50	2	2	27.4.2021 13:34:39
	3		59,90	3	3	27.4.2021 13:34:39

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_SF

Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	59,77	0,13	Ok	0,40	0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,27	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,13	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_TF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

#### Test results:

Legend	Station	VST / HDT °C	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	4	96,30	4	1	27.4.2021 13:34:40
	5	96,50	5	2	27.4.2021 13:34:40
	6	95,60	6	3	27.4.2021 13:34:40

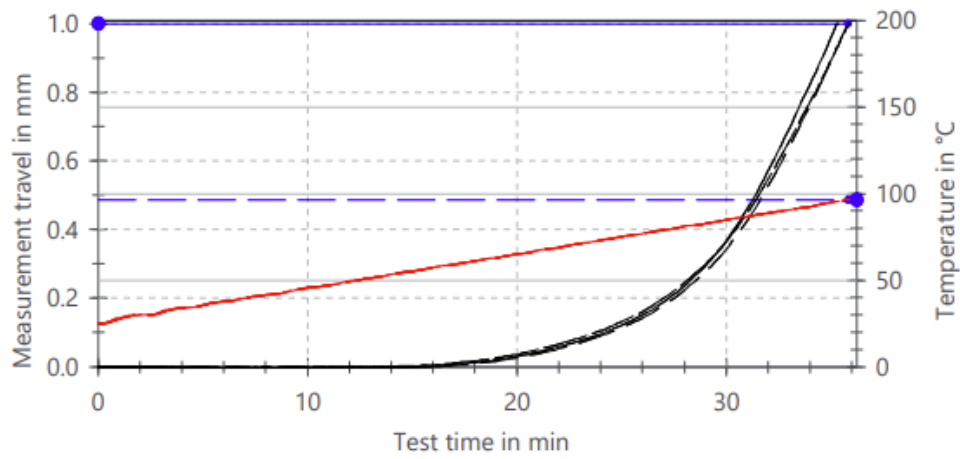
Legend	Start temperature °C	Temperature gradient K/h	Hold time min	Material ID
	25	120	5	PLLA_TF

Legend	Test method	Average value °C	Δ	Tolerance	Scatter °C	Creep path mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	96,13	0,17	Ok	0,90	0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,37	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,53	Ok		0,00

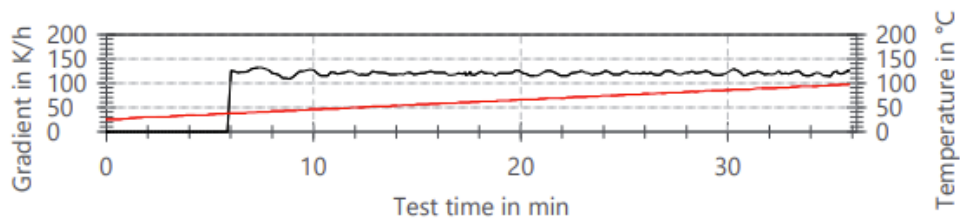
Legend	Status	Load g	Set travel mm	L mm	h mm	b mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10



## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_10IM\_SF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

#### Test results:

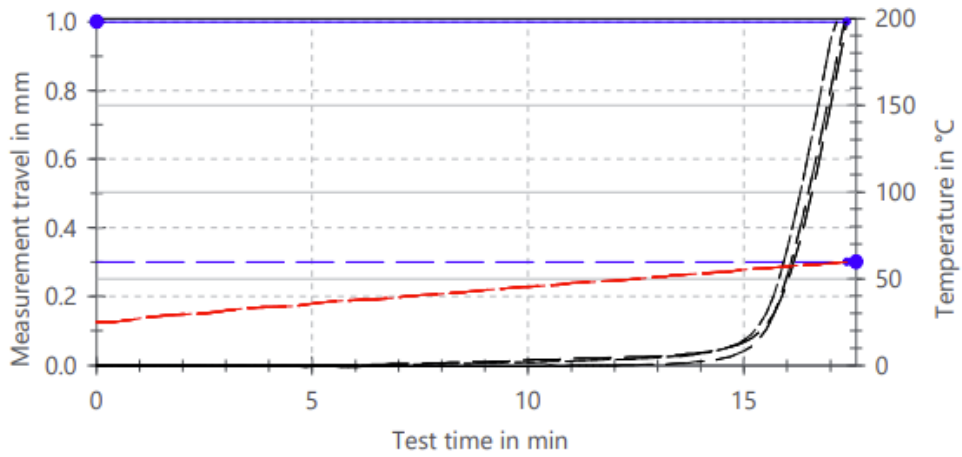
Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	1	59,60	7	4	27.4.2021 15:20:03
	2	59,00	8	1	27.4.2021 15:20:04
	3	59,50	9	2	27.4.2021 15:20:04

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_10IM_SF

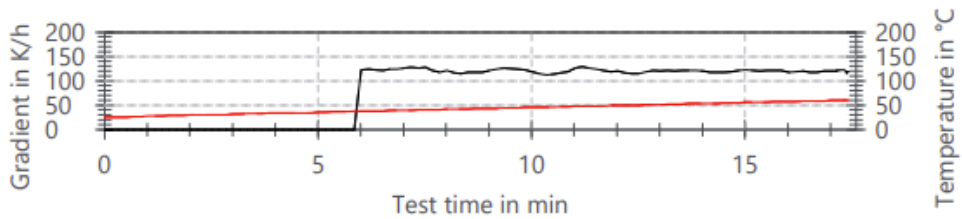
Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	59,37	0,23	Ok	0,60	0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,37	Ok		0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,13	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL

Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C

Temperature gradient : 120 K/h

Hold time : 5 min

Material ID : PLLA\_10IM\_TF

Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)

Used type of device : HDT/Vicat A

### Test results:

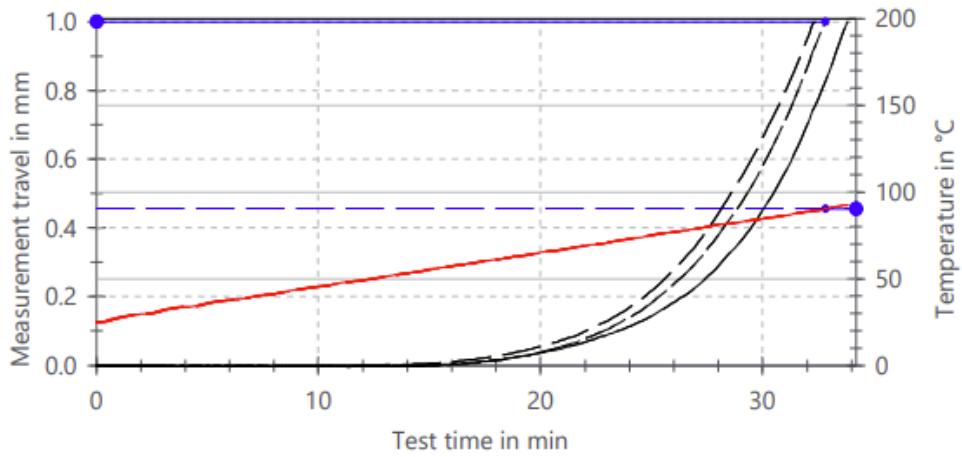
Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	°C				
	4	90,00	10	1	27.4.2021 15:20:04
	5	92,40	11	2	27.4.2021 15:20:04
	6	89,00	12	3	27.4.2021 15:20:05

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_10IM_TF

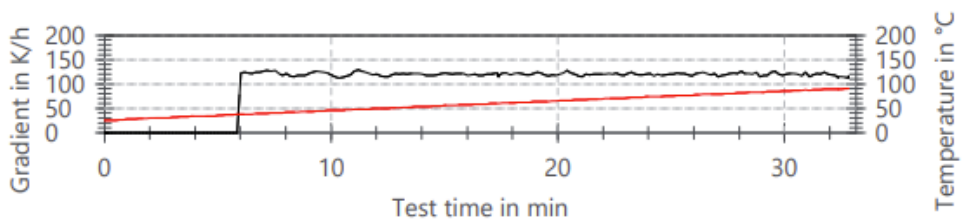
Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	90,47	-0,47	Ok	3,40	0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		1,93	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-1,47	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_1CNC-3PEG\_SF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

### Test results:

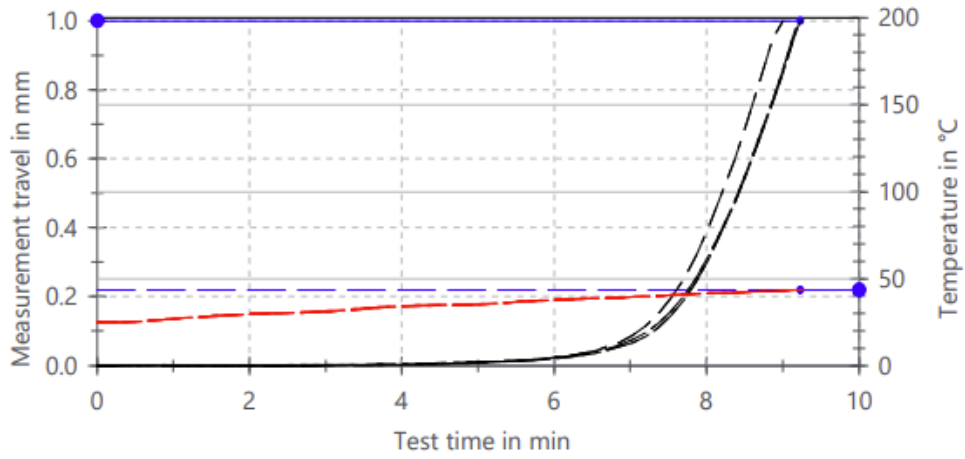
Legend	Station	VST / HDT °C	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	1	43,50	13	4	27.4.2021 16:38:37
	2	42,90	14	1	27.4.2021 16:38:38
	3	43,40	15	2	27.4.2021 16:38:38

Legend	Start temperature °C	Temperature gradient K/h	Hold time min	Material ID
	25	120	5	PLLA_1CNC-3PEG_SF

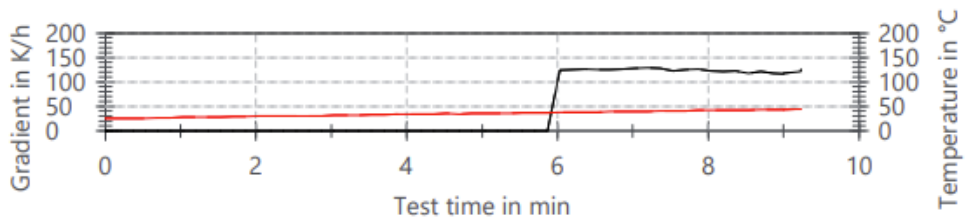
Legend	Test method	Average value °C	Δ	Tolerance	Scatter °C	Creep path mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	43,27	0,23	Ok	0,60	0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,37	Ok		0,01
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,13	Ok		0,01

Legend	Status	Load g	Set travel mm	L mm	h mm	b mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:









## BP Vala




Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x




Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_1CNC-3PEG\_TF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

### Test results:

Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	4	89,60	16	1	27.4.2021 16:38:38
	5	89,70	17	2	27.4.2021 16:38:39
	6	90,30	18	3	27.4.2021 16:38:39

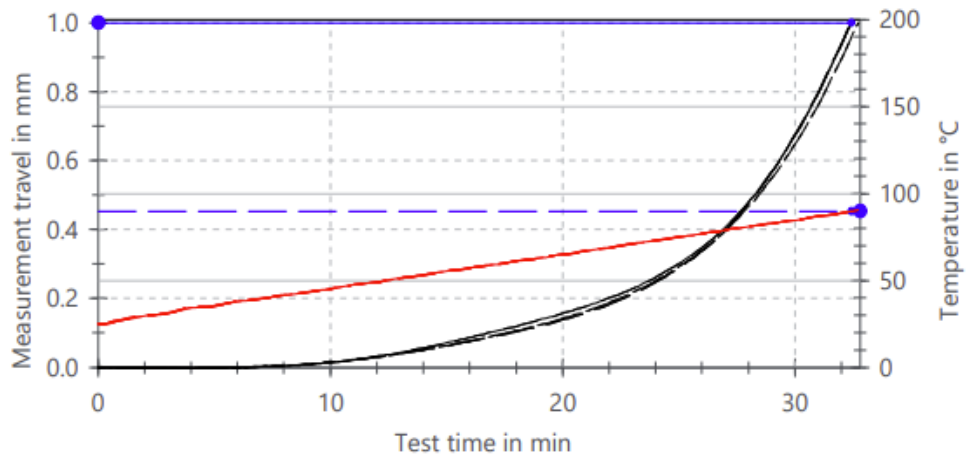
Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_1CNC-3PEG_TF
				
				

Legend	Test method	Average value	$\Delta$	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	89,87	-0,27	Ok	0,70	0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,17	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,43	Ok		0,00

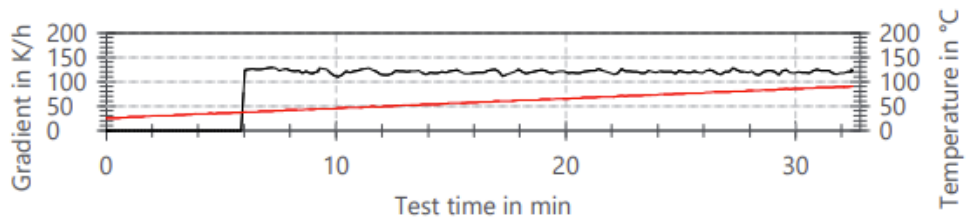
Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10



## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_10IM\_1CNC-3PEG\_SF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

#### Test results:

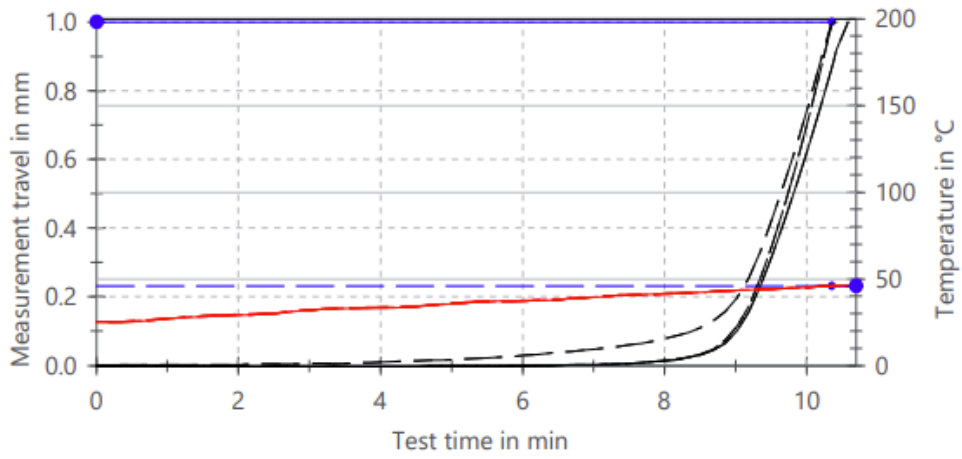
Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	1	45,90	19	4	27.4.2021 17:48:30
	2	45,90	20	1	27.4.2021 17:48:30
	3	46,10	21	2	27.4.2021 17:48:31

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	25 °C	120 K/h	5 min	PLLA_10IM_1CNC-3PEG_SF

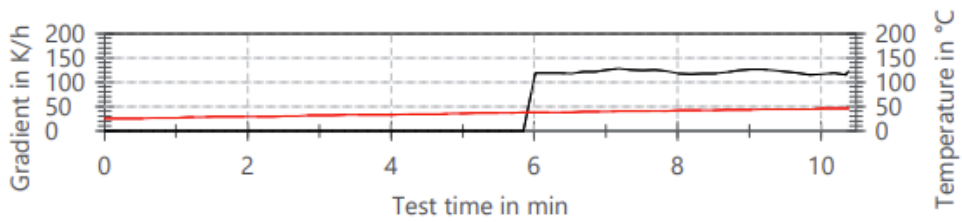
Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	45,97 °C	-0,07	Ok	0,20 °C	0,03 mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,07	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,13	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
	Travel reached	5097 g	1,00 mm	- mm	4 mm	10 mm
	Travel reached	5097 g	1,00 mm	- mm	4 mm	10 mm
	Travel reached	5097 g	1,00 mm	- mm	4 mm	10 mm

## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



### BP Vala

Heading : BP Vala Customer : TUL  
 Tester : Vala Job no. : x

Start temperature : 25 °C  
 Temperature gradient : 120 K/h  
 Hold time : 5 min  
 Material ID : PLLA\_10IM\_1CNC-3PEG\_TF  
 Test method : Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)  
 Used type of device : HDT/Vicat A

### Test results:

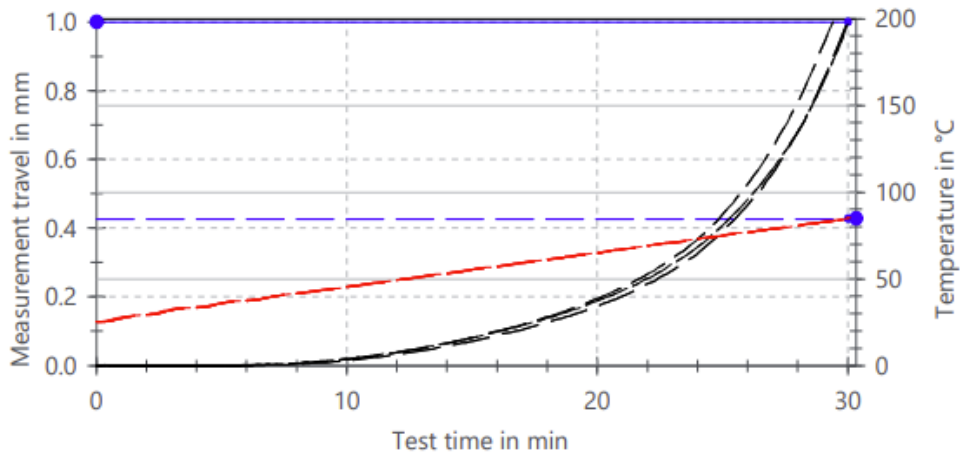
Legend	Station	VST / HDT	Specimen no.	Specimen No. in a sub-series	Date/Clock time
	4	84,60	22	1	27.4.2021 17:48:31
	5	85,00	23	2	27.4.2021 17:48:31
	6	83,40	24	3	27.4.2021 17:48:32

Legend	Start temperature	Temperature gradient	Hold time	Material ID
	°C	K/h	min	
	25	120	5	PLLA_10IM_1CNC-3PEG_TF

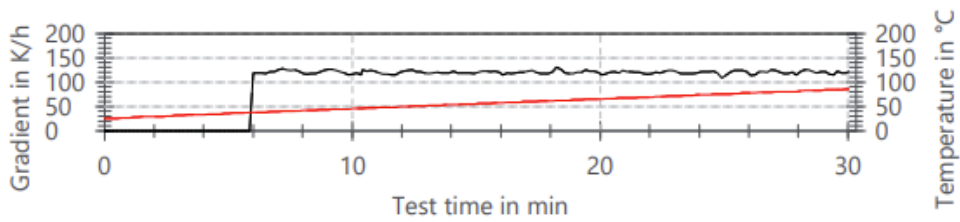
Legend	Test method	Average value	Δ	Tolerance	Scatter	Creep path
		°C			°C	mm
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)	84,33	0,27	Ok	1,60	0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		0,67	Ok		0,00
	Vicat B (ISO 306/ASTM D 1525)		-0,93	Ok		0,00

Legend	Status	Load	Set travel	L	h	b
		g	mm	mm	mm	mm
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10
	Travel reached	5097	1,00	-	4	10

## Measurement travel/Temperature/Time diagram:



## 6 Minutes gradient:



## Příloha č. 3 – Materiálový list PLA



Revision date 07 May 2019  
 Page 1 of 3  
 Date previous version 01 Sep 2017  
 Version & language 7/0972 - EN  
 Product availability Global  
 Product status Commercial

PRODUCT DATA SHEET  
 LUMINY® L130

Interested in solutions for bioplastics? Please contact us at  
[www.total-corbion.com](http://www.total-corbion.com) [pla@total-corbion.com](mailto:pla@total-corbion.com)

### DESCRIPTION

PLA is a biobased polymer derived from natural resources and offers a significant reduction in carbon footprint compared to oil-based plastics. Luminy® L130 is a high heat, medium flow PLA homopolymer suitable for injection molding and fiber spinning. Compared to standard PLA, these PLA homopolymers have higher melting points and an increased rate of crystallization. As a result, compounds containing PLA homopolymers are suitable for the production of semi-crystalline parts, which exhibit a higher temperature resistance.

### TYPICAL PROPERTIES<sup>1</sup>

Physical properties	Method	Typical value
Density	Literature value	1.24 g/cm <sup>3</sup>
Melt flow index	ISO 1133-A (210°C/2.16kg)	23 g/10 min
Melt flow index	ISO 1133-A (190°C/2.16kg)	10 g/10 min
Stereochemical purity	Total Corbion PLA method	≥ 99% (L-isomer)
Appearance	Visual	Crystalline white pellets
Residual monomer	Total Corbion PLA method	≤ 0.3%
Water / moisture	Coulometric Karl-Fischer	≤ 400 ppm
Melting temperature	DSC	175°C
Glass transition temperature	DSC	60°C
Mechanical properties	Method	Typical value
Tensile modulus	ISO 527-1	3500 MPa
Tensile strength	ISO 527-1	50 MPa
Elongation at break	ISO 527-1	≤ 5%
Charpy notched impact, 23°C	ISO 179-1eA	≤ 5 kJ/m <sup>2</sup>
Heat deflection temp., amorphous <sup>2</sup>	ISO 75-1	60°C
Heat deflection temp., crystalline <sup>2</sup>	ISO 75-1	105°C

<sup>1</sup> Typical properties, not to be interpreted as specifications

<sup>2</sup> HDT B, 0.45MPa flatwise. HDT depends on processing conditions. For crystalline resins, formulation included 3-7% nucleating agent (Luminy® D070) and molding took place in a 80-100°C tool.

### PROCESSING INFORMATION & RECOMMENDATIONS

PLA homopolymers and PLA compounds can be processed on conventional injection molding equipment. To prevent or reduce the degradation of PLA during processing, it is recommended to use a barrel with a content of 3-5 times the shot weight, a (general purpose) screw with a L/D ratio of at least 20:1 and if applicable low shear hotrunners in the mold. Pre-drying of the resin is recommended.

#### Start-up and shutdown

- The equipment needs to be well cleaned and purged to prevent cross contamination.
- At the start of the run it is recommended to purge the system with a polyolefin or a purging compound (e.g. Dyna-Purge, Clean LDPE) followed by purging with the PLA homopolymer or PLA compound at its processing conditions.
- At the completion of the run it is recommended to purge the system using a purging compound again.

#### Injection molding processing recommendations

Predrying	4-6 hours at 100°C
Throat	20-40°C
Feed zone	155-175°C
Compression zone	180-220°C
Metering zone	180-220°C
Nozzle	180-220°C
T <sub>nozzle</sub>	180-220°C
T <sub>add, amorphous</sub>	20-30°C
T <sub>add, crystalline</sub>	90-100°C
Back pressure (Bar, specific)	50-100 bar
Screw speed	As slow as possible

Typical settings, may require optimization



© Copyright 2019 Total Corbion PLA. All rights reserved. No part of this publication may be copied, downloaded, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recorded or otherwise, without permission of the publisher. No representation or warranty is made as to the truth or accuracy of any data, information or opinions contained herein or as to their suitability for any purpose, condition or application. None of the data, information or opinions herein may be relied upon for any purpose or reason. Total Corbion PLA disclaims any liability, damages, losses or other consequences suffered or incurred in connection with the use of the data, information or opinions contained herein. In addition, nothing contained herein shall be construed as a recommendation to use any products in conflict with existing patents covering any material or its use. TOTAL is a trademark owned and registered by Total S.A., used under license by Total Corbion PLA BV. CORBION is a trademark owned and registered by CORBION N.V., used under license by Total Corbion PLA BV.

TCP/FDS/LUMINY/L130\_V7/0972\_EN/190507

# Product Data Sheet

## Luminy® L130

Revision date 07 May 2019  
Page 2 of 3  
Version & language 7/0972 - EN

After completion of the run, PLA must be removed from the whole system. PLA can degrade into lactic acid causing corrosion of the equipment (e.g. die plates).

### MOISTURE & PRE-DRYING

It is recommended to dry Luminy® L130 from the packaging for 4-6 hours at 100°C. Drying of semicrystalline PLA homopolymer can be performed in a desiccant hot air dryer, with a dew point of -40°C or less. It is recommended to reduce the moisture content before melt processing to a level less than 250ppm and preferably less than 100 ppm, measured by e.g. Karl-Fischer or Brabender aqualrac method. Predrying is in particular important prior to injection molding, film and sheet production. Moisture causes hydrolysis of the PLA homopolymer during melt processing, resulting in reduced mechanical performance in the final part.

### PACKAGING & STORAGE CONDITIONS

Luminy® L130 is available in 1250 kg form-stable aluminum-lined big bags and 25 kg sample bags (moisture level not guaranteed for sample bags). It is recommended to store PLA polymer in its closed, original moisture-barrier packaging at temperatures below 50°C. Storage in direct sunlight should be avoided. The supplied PLA polymer pellets are typically semi-crystalline, unless otherwise stated.

### COMPOSTABILITY

Composting of organic waste helps to divert organic waste from landfill or incineration. Composting is a biological process in which organic wastes are degraded by microorganisms into carbon dioxide, water and humus, a soil nutrient. Luminy® PLA polymers are in compliance with the EN-13432 standard. Luminy® L130 has been certified compostable by TUV Austria (OK Compost S478) and by European Bioplastics (Seedling 7W2030) up to a thickness of 2.3 mm. As the compostability of the end product is also dependent on the geometry of product, it is the responsibility of the manufacturer of the end product to ensure compliance with the regulations.



### BIOBASED CONTENT

Luminy® L130 has a biobased content of 100% (confidence level 1) and a biobased carbon content of 100% according to EN16785-1 under certificate number DIC-00001. Luminy® L130 is certified 100% biobased according to ASTM D6866 under the USDA Biopreferred program.



### FOOD CONTACT STATUS

In the European Union, Luminy® PLA polymers are compliant with EU commission regulation 10/2011 of 14 January 2011 (and amendments) on plastic materials and articles intended to come into contact with food. Lactic acid is considered a dual use substance, since lactic acid is approved as a food additive (additive number E270). There are no SMLs or SML(T)s for the ingredients used to produce Luminy® PLA. The regulation does include a migration limit of 10 mg/dm<sup>2</sup> on the overall migration from finished plastic articles into food. It is the responsibility of the manufacturer of the final product, when intended as a food contact product, to determine that the use of the product is safe and also suitable for the intended application. While it is Total Corbion PLA's conclusion that the above mentioned polymers are permitted, it is the final product which must meet the given regulations and the manufacturer should take responsibility to check if the final product is in compliance with these regulations.

In the United States of America, Luminy® PLA as supplied by Total Corbion PLA has been evaluated and was found to be suitable



© Copyright 2019 Total Corbion PLA. All rights reserved. No part of this publication may be copied, downloaded, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopy, recorded or otherwise, without permission of the publisher. No representation or warranty is made as to the truth or accuracy of any data, information or opinions contained herein or as to their suitability for any purpose, condition or application. None of the data, information or opinions herein may be relied upon for any purpose or reason. Total Corbion PLA disclaims any liability, damages, losses or other consequences suffered or incurred in connection with the use of the data, information or opinions contained herein. In addition, nothing contained herein shall be construed as a recommendation to use any products in conflict with existing patents covering any material or its use. TOTAL is a trademark owned and registered by Total S.A., used under license by Total Corbion PLA BV. CORBION is a trademark owned and registered by CORBION N.V. used under license by Total Corbion PLA BV.

# Product Data Sheet

## Luminy® L130

Revision date 07 May 2019  
Page 3 of 3  
Version & language 7/0972 - EN

for use in food contact applications. On 30 November 2018, FCN 001926 as applied for by Total Corbion PLA to the FDA became effective. It is included in the list of effective notifications for FCNs on the website of the FDA. The evaluation performed was in line with the requirements of Section 201(s) and Section 409 of the Federal, Drug and Cosmetic Act, and Parts 182, 184 and 186 of the Food Additive Regulations. Luminy® PLA neat resin is approved for all food types and conditions of use B through H.

### NOTICE REGARDING USE RESTRICTIONS

Unless specifically agreed to in writing, Total Corbion PLA will not knowingly market any product into any of the following commercial or developmental applications: (1) bottles or preforms, unless specific arrangements on recycling and end-of-life are in place, (2) microbeads used in personal care products, including without limitation, cosmetics or over-the-counter drugs, (3) components of products intended for human or animal consumption or (4) any application that is intended to be used inside the human body.



© Copyright 2019 Total Corbion PLA. All rights reserved. No part of this publication may be copied, downloaded, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopied, recorded or otherwise, without permission of the publisher. No representation or warranty is made as to the truth or accuracy of any data, information or opinions contained herein or as to their suitability for any purpose, condition or application. None of the data, information or opinions herein may be relied upon for any purpose or reason. Total Corbion PLA disclaims any liability, damages, losses or other consequences suffered or incurred in connection with the use of the data, information or opinions contained herein. In addition, nothing contained herein shall be construed as a recommendation to use any products in conflict with existing patents covering any material or its use. TOTAL is a trademark owned and registered by Total S.A., used under license by Total Corbion PLA BV. CORBION is a trademark owned and registered by CORBION N.V. used under license by Total Corbion PLA BV.

TCP-PDS-LUMINY L130 V7/0972-EN-190507



## BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle Nařízení (ES) č. 453/2010

Verze 6.1  
Datum revize 31.01.2019  
Datum výtiskění 06.04.2019

### ODDÍL 1: Identifikace látky/směsi a společnosti/podniku

#### 1.1 Identifikátory výrobku

Název výrobku : Poly(ethylene glycol)

Číslo produktu : 202398

Značka : Aldrich

č. REACH : Registrační číslo není pro tuto látku k dispozici, protože tato látka a její použití nepodléhá registraci, roční objem nevyžaduje registraci nebo se registrace předpokládá později.

Č. CAS : 25322-68-3

#### 1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití

Určená použití : Laboratorní chemikálie, Výroba látek

#### 1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Firma : Sigma-Aldrich spol. s r.o.  
Sokolovska 100/94  
CZ-186 00 PRAHA 8

Telefon : +420 2 2317-361

Číslo faxu : +420 2 2317-356

#### 1.4 Telefonní číslo pro naléhavé situace

Číslo nouzového telefonu : +420 228880039(CHEMTREC)  
+420 224919293/224915402  
(\*Toxikologické informační středisko)

### ODDÍL 2: Identifikace nebezpečnosti

#### 2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Podle směrnice (ES) č. 1272/2008 není nebezpečnou látkou ani směsí.

#### 2.2 Prvky označení

Není nebezpečnou látkou nebo směsí.

#### 2.3 jiná rizika

Látka/směs neobsahuje složky považované buď za perzistentní, bioakumulativní a toxické (PBT), nebo za vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní (vPvB) v koncentraci 0,1 % či vyšší.

### ODDÍL 3: Složení/informace o složkách

#### 3.1 Látky

Aldrich- 202398

Strana 1 z 7

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

**MERCK**

Synonyma	:	PEG
vzorec	:	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>n</sub> H <sub>2</sub> O
Č. CAS	:	25322-68-3
Č.ES	:	500-038-2

Podle platných předpisů není potřeba uvádět jednotlivé složky.

---

#### ODDÍL 4: Pokyny pro první pomoc

##### 4.1 Popis první pomoci

###### Při vdechnutí

Při nadýchání dopravte postiženého na čerstvý vzduch. Pokud postižený nedýchá, provádějte umělé dýchání.

###### Při styku s kůží

Omývejte mýdlem a velkým množstvím vody.

###### Při styku s očima

Oči preventivně vypláchněte vodou.

###### Při požití

Osobám v bezvědomí nikdy nepodávejte nic ústy. Vypláchněte ústa vodou.

##### 4.2 Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

Nejdůležitější známé symptomy a účinky jsou popsány na štítku (viz sekce 2.2) a/nebo v sekci 11

##### 4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření

Údaje nejsou k dispozici

---

#### ODDÍL 5: Opatření pro hašení požáru

##### 5.1 Hasiva

###### Vhodná hasiva

Použijte proud vody, pěnu vhodnou k hašení alkoholu, práškový hasicí prostředek nebo oxid uhličitý.

##### 5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

##### 5.3 Pokyny pro hasiče

Při hašení použijte v případě nutnosti dýchací přístroj s uzavřeným okruhem.

##### 5.4 Další informace

Údaje nejsou k dispozici

---

#### ODDÍL 6: Opatření v případě náhodného úniku

##### 6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy

Zabraňte šíření plynu/mlhy/par tekutiny.

Osobní ochrana viz sekce 8.

##### 6.2 Opatření na ochranu životního prostředí

Není nutno provádět žádná opatření k ochraně životního prostředí.

##### 6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

Uložte do vhodné uzavřené nádoby.

Aldrich- 202398

Strana 2 z 7

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



- 6.4 Odkaz na jiné oddíly**  
Zneškodnit podle kapitoly 13.

---

## **ODDÍL 7: Zacházení a skladování**

- 7.1 Opatření pro bezpečné zacházení**  
Prevence viz sekce 2.2.
- 7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí**  
Skladujte na chladném místě. Nádoby skladujte dobře uzavřené na suchém, dobře větraném místě.  
Skladujte v atmosféře dusíku.
- 7.3 Specifické konečné / specifická konečná použití**  
Část použití zmíněných v sekci 1.2 žádná další použití nejsou vyhrazena.

---

## **ODDÍL 8: Omezování expozice / osobní ochranné prostředky**

### **8.1 Kontrolní parametry**

#### **Složky s parametry pro kontrolu pracoviště**

Neobsahuje žádné látky s mezními hodnotami expozice na pracovišti.

### **8.2 Omezování expozice**

#### **Vhodné technické kontroly**

Všeobecná hygienická opatření.

#### **Osobní ochranné prostředky**

##### **Ochrana očí a obličeje**

Použijte zařízení na ochranu očí testované a schválené příslušnými státními normami jako NIOSH (US) nebo EN 166(EU).

##### **Ochrana kůže**

Používejte ochranné rukavice Rukavice je nutno před použitím prohlédnout. Používejte správnou techniku svlékání rukavic bez dotyku vnějšího povrchu rukavic, aby jste zabránili kontaktu kůže s tímto produktem Po použití kontaminované rukavice zneškodněte podle SLP a platných zákonů Ruce umyjte a osušte

Zvolené ochranné rukavice musí vyhovovat specifikacím nařízení EU 2016/425 a z něj odvozené normě EN 374.

Plný kontakt

Materiál: Nitrilový kaučuk

minimální tloušťka vrstvy: 0,11 mm

Doba průniku: 480 min

Materiál testovaný Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Velikost M)

Postřikání

Materiál: Nitrilový kaučuk

minimální tloušťka vrstvy: 0,11 mm

Doba průniku: 480 min

Materiál testovaný Dermatril® (KCL 740 / Aldrich Z677272, Velikost M)

datum: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Telefonní +49 (0)6659 87300, e-mail

sales@kcl.de, Estovací metoda: EN374

Při použití ve formě roztoku nebo směsi s jinými látkami a při podmínkách odlišných od podmínek uvedených v EN 374 se obraťte na dodavatele rukavic schválených EK. Toto doporučení je pouze upozorněním a musí být zhodnocen průmyslovým

hygienikem a bezpečnostním technikem obeznámeným se způsobem použití u zákazníka. Toto nemá být interpretováno jako schválení žádného specifického použití

#### **Ochrana těla**

Neprostupný ochranný oděv, Typ ochranného prostředku musí být zvolen podle koncentrace a množství nebezpečné látky na příslušném pracovišti.

#### **Ochrana dýchacích cest**

Ochrana dýchacích cest není vyžadována. Při náhodné expozici použijte respirátorovou náplň. Používejte respirátory a součásti testované a schválené dle příslušných státních norem, jako je NIOSH (US) nebo CEN (EU).

#### **Kontrola zatížení životního prostředí**

Není nutno provádět žádná opatření k ochraně životního prostředí.

---

### **ODDÍL 9: Fyzikální a chemické vlastnosti**

#### **9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech**

a) Vzhled	Forma: viskózní Barva: bezbarvý
b) Zápach	Údaje nejsou k dispozici
c) Prahová hodnota zápachu	Údaje nejsou k dispozici
d) pH	Údaje nejsou k dispozici
e) Bod tání / bod tuhnutí	Bod tání/rozmezí bodu tání: 4 - 8 °C
f) Počáteční bod varu a rozmezí bodu varu	Údaje nejsou k dispozici
g) Bod vzplanutí	Údaje nejsou k dispozici
h) Rychlost odpařování	Údaje nejsou k dispozici
i) Hořlavost (pevné látky, plyny)	Údaje nejsou k dispozici
j) Horní/dolní meze zápalnosti nebo meze výbušnosti	Údaje nejsou k dispozici
k) Tlak páry	< 0,01 mmHg při 20 °C
l) Hustota páry	Údaje nejsou k dispozici
m) Relativní hustota	1,128 g/mL
n) Rozpusťnost ve vodě	Údaje nejsou k dispozici
o) Rozdělovací koeficient: n-oktanol/voda	Údaje nejsou k dispozici
p) Teplota samovznícení	Údaje nejsou k dispozici
q) Teplota rozkladu	> 300 °C -
r) Viskozita	Údaje nejsou k dispozici
s) Výbušné vlastnosti	Údaje nejsou k dispozici

Aldrich- 202398

Strana 4 z 7

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

t) Oxidační vlastnosti Údaje nejsou k dispozici

## 9.2 Další bezpečnostní informace.

Údaje nejsou k dispozici

---

### ODDÍL 10: Stálost a reaktivita

#### 10.1 Reaktivita

Údaje nejsou k dispozici

#### 10.2 Chemická stabilita

Stabilní za doporučených skladovacích podmínek.

#### 10.3 Možnost nebezpečných reakcí

Údaje nejsou k dispozici

#### 10.4 Podmínky, kterým je třeba zabránit

Údaje nejsou k dispozici

#### 10.5 Neslučitelné materiály

Silná oxidační činidla

#### 10.6 Nebezpečné produkty rozkladu

Další produkty rozkladu - Údaje nejsou k dispozici

Při požáru vznikaly nebezpečné rozkladné produkty. - Oxidy uhlíku

V případě požáru: viz sekce 5

---

### ODDÍL 11: Toxikologické informace

#### 11.1 Informace o toxikologických účincích

##### Akutní toxicita

LD50 Orálně - Potkan - > 5.000 mg/kg

##### Žíravost/dráždivost pro kůži

Údaje nejsou k dispozici

##### Vážné poškození očí / podráždění očí

Oči - Králik

Výsledek: Nepochází k dráždění očí

(Draizeho zkouška)

##### Senzibilizace dýchacích cest / senzibilizace kůže

- Morče

U laboratorních zvířat nezpůsobuje senzibilizaci.

(Směrnice OECD 406 pro testování)

##### Mutagenita v zárodečných buňkách

Při pokusech se zvířaty nebyly pozorovány žádné mutagenní účinky. Není mutagenní podle Amesova testu.

##### Karcinogenita

IARC: Žádná ze složek obsažených v tomto produktu nebyla IARC identifikována při hladinách větších nebo rovných 0,1% jako pravděpodobný, možný nebo potvrzený karcinogen.

##### Toxicita pro reprodukci

Údaje nejsou k dispozici

##### Toxicita pro specifické cílové orgány - jednorázová expozice

Údaje nejsou k dispozici

Aldrich- 202398

Strana 5 z 7

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

**Toxicita pro specifické cílové orgány - opakovaná expozice**

Údaje nejsou k dispozici

**Nebezpečnost při vdechnutí**

Údaje nejsou k dispozici

**Další informace**

RTECS: data neudána

Dle našich nejlepších znalostí nebyly chemické, fyzikální a toxikologické vlastnosti úplně prozkoumány.

---

**ODDÍL 12: Ekologické informace****12.1 Toxicita**

Toxicita pro ryby                      statický test - Leuciscus idus (Jesen zlatý) - > 500 mg/l - 96 h (DIN 38412)

**12.2 Perzistence a rozložitelnost**

Biologická odbouratelnost                      Výsledek: - Biodegradabilní

**12.3 Bioakumulační potenciál**

Nehromadí se v organismech.

**12.4 Mobilita v půdě**

Údaje nejsou k dispozici

**12.5 Výsledky posouzení PBT a vPvB**

Látka/směs neobsahuje složky považované buď za perzistentní, bioakumulativní a toxické (PBT), nebo za vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní (vPvB) v koncentraci 0,1 % či vyšší.

**12.6 Jiné nepříznivé účinky**

Údaje nejsou k dispozici

---

**ODDÍL 13: Pokyny pro odstraňování****13.1 Metody nakládání s odpady****Výrobek**

Zbytková množství a nezregenerovatelné roztoky předejte osvědčené likvidační firmě.

**Znečištěné obaly**

Zlikvidujte jako nespotřebovaný výrobek.

---

**ODDÍL 14: Informace pro přepravu****14.1 UN číslo**

ADR/RID: -    IMDG: -    IATA: -

**14.2 Oficiální (OSN) pojmenování pro přepravu**

ADR/RID:   Není nebezpečným zbožím  
IMDG:       Not dangerous goods  
IATA:        Not dangerous goods

Aldrich- 202398

Strana 6 z 7

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

**14.3 Třída/ třídy nebezpečnosti pro přepravu**

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

**14.4 Obalová skupina**

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

**14.5 Nebezpečnost pro životní prostředí**ADR/RID: ne IMDG Látka znečišťující IATA: ne  
može: ne**14.6 Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele**

Údaje nejsou k dispozici

---

**ODDÍL 15: Informace o předpisech****15.1 Předpisy týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/ specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi**

Tento bezpečnostní list splňuje požadavky Nařízení (ES) č. 1907/2006.

**15.2 Posouzení chemické bezpečnosti**

Pro tento produkt nebylo prováděno hodnocení chemické bezpečnosti.

---

**ODDÍL 16: Další informace****Další informace**

Copyright 2018 Sigma-Aldrich Co. LLC. Licence poskytnuta k výrobě libovolného množství papírových kopií pro vnitřní použití.

Předpokládá se, že výše uvedené informace jsou správné. Neznamena to však, že jsou kompletní a měly by sloužit jen jako vodítko. Společnost Sigma-Aldrich Co. a její dceřinné společnosti nenesou zodpovědnost za škody způsobené manipulací nebo stykem s uvedenými chemikáliemi. Proto Vás žádáme, abyste se řídili obchodními podmínkami uvedenými na stránkách [www.sigma-aldrich.com](http://www.sigma-aldrich.com) a/nebo na zadní straně faktur a příbalových letáků.

Vzhled značky v záhlaví anebo zápatí tohoto dokumentu se nemusí dočasně shodovat se značkou na zakoupeném produktu, protože v současné době probíhá změna naší značky. Nicméně všechny informace v dokumentu týkající se výrobku zůstávají beze změny a shodují se s objednaným výrobkem. Více informací si můžete vyžádat na e-mailu: [mlsbranding@sial.com](mailto:mlsbranding@sial.com).

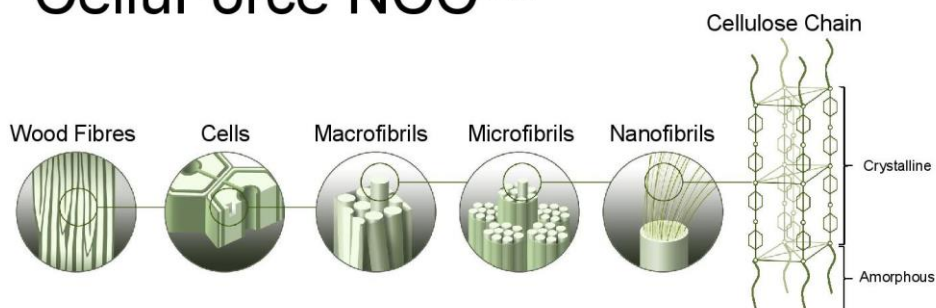
# CelluForce – The Power of Cellulose Nanocrystals

Richard Berry

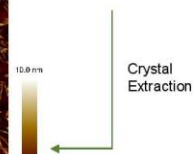
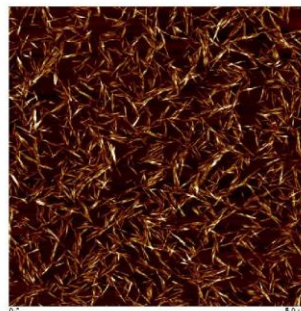


Property of CelluForce - Confidential Information

## CelluForce NCC™



- Needle-shaped
- Nano-sized
  - 7.5 nm x 150 nm
  - 550 m<sup>2</sup>/g
- Product Properties (NCV-100)
  - Moisture = 4-6%
  - Crystallinity = 0.88
  - pH = 6-7
  - Bulk density = 0.7 g/cm<sup>3</sup>
  - Particle size = 10-30 μm



2

Property of CelluForce - Confidential Information



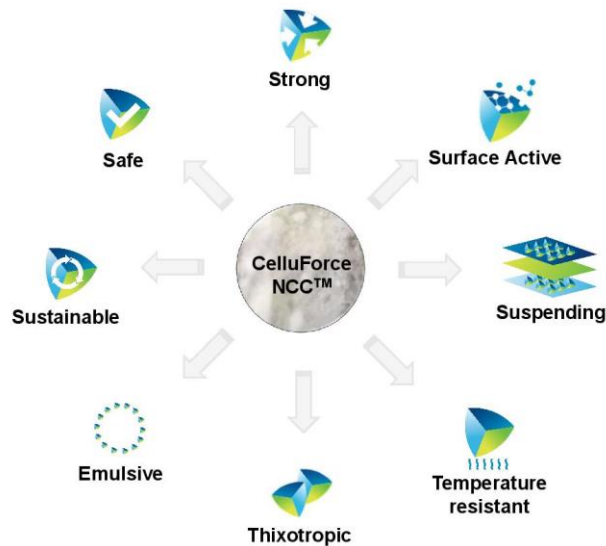
# Production Capabilities

- State-of-the-art 3,250 m<sup>2</sup> (35,000 sq. ft) facility
- Capacity of 300 tonnes per year of dried CNC
- Started large-scale operations in 2012
- High quality and uniform products



3

# CelluForce NCC™ Properties



4

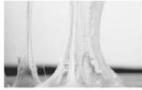
# Typical Markets/Applications



Drilling Fluids



Plastics and composites



Adhesives



Rubbers and Elastomers



Paints and Coatings



Electronics



5

Property of CelluForce - Confidential Information



# CelluForce

*Harness the power of nature  
to create better products*

[Richard.Berry@CelluForce.com](mailto:Richard.Berry@CelluForce.com)

6

Property of CelluForce - Confidential Information

## Příloha č. 6 – Materiálový list Impaktivého modifikátoru



### Technical data sheet

### NATUREPLAST MOC 006

Impact modifier masterbatch

Injection moulding, extrusion  
and thermoforming

### General properties

**MOC 006** impact modifier masterbatch has been especially developed in order to improve cutting and impact properties of PLA material for its main application (extrusion, injection moulding and thermoforming).

Properties	Unit	Indication / Value
Polymer Carrier		PLA
Additives		Organic impact modifier, Colorants
Glass Transition Temperature (DSC)	°C	approx. 50
Density at 20°C	g/cm <sup>3</sup>	approx. 1.25
Bulk density	kg/m <sup>3</sup>	approx. 750
Surface moisture	%	max. 0.5
Form of delivery		3.2 mm long, amorphous, semi-opaque, violet, cylindrical pellets
Method of packaging		Predried in 25 kg alu-coated PE-bags

Parameter	Machine setting
Processing temperatures	Corresponding with raw material supplier's processing conditions
Melt viscosity	No essential changes expected
Drying	Generally a dehumidified air dryer with a dew point of - 40 °C is recommended: Masterbatch: 8 Hours @ max. 50 °C Material conveyor with dried air is recommended
Dosage	2 - 4% to reduce crack formation during cutting min. 4% to increase impact properties The ideal dosage needs to be determined by trials
Storage	In dry area and at room temperature Reseal opened bags

### NaturePlast

11 rue Arago ; 14123 IFS ; France / Tel : (+33)2 31 83 50 87 / Fax : (+33)2 31 84 70 98 / [www.natureplast.eu](http://www.natureplast.eu)  
SAS au capital de 174 666 € APE : 4690Z / SIRET : 493 442 891 00047 / TVA : FR 45 49 344 2891

Application	Properties
Film, sheet	Prevents formation of cracks during processing of transparent, colored PLA, mono-, coex-film and sheet for thermoforming and cut sheet application
Injection molding	To improve impact properties of injection molded parts
Color	Neutral
Haze (ASTM 1003) @ 8% dosage in 800 micron thick monolayer PLA film	< 15% (based on single lab result)
Compostability DIN EN 13432	Certificates are available upon request
Food Packaging Compliance	Certificates are available upon request

*Information which is contained in this document is correct and exact at our best knowledge and at the date of publication. Before using this material, customers and users must verify the adequacy between the material and its final utilization. The Natureplast Company can not be held responsible concerning the manipulation, the utilization and the treatment of this product.*



**NaturePlast**

11 rue Arago ; 14123 IFS ; France / Tel : (+33)2 31 83 50 87 / Fax : (+33)2 31 84 70 98 / [www.natureplast.eu](http://www.natureplast.eu)  
SAS au capital de 174 666 € APE : 4690Z / SIRET : 493 442 891 00047 / TVA : FR 45 49 344 2891

# PP MOSTEN® GB 506

## TECHNICKÝ LIST

BLOKOVÝ KOPOLYMER PRO VSTŘIKOVÁNÍ A TERMOFORMING

MFR (230/2,16): 6 g/10 min

Mosten GB 506 je polypropylen vyráběný v Unipetrolu RPA technologií INNOVENE™ PP.

### Charakteristika

- nukleace
- neobsahuje ftaláty uvedené v seznamu SVHC
- splňuje EN 71-3,9 Bezpečnost hraček
- splňuje Evropský lékopis 8 (Ph. Eur. 8, 3.1.3)

### Mezinárodní označení

ISO 19069-PP-B,,GM,16-45-045

### Aplikace

- technické díly
- koextruze fólií
- kompaundy

### Materiálové vlastnosti (typické hodnoty, netvoří specifikaci daného typu)

Parameter	Zkušební metoda	Jednotka	Hodnota	
<b>REOLOGICKÉ VLASTNOSTI</b>				
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133-1	g/10 min	6	
Výrobní smrštění podélně	ISO 294-3,4	%	1,9	
Výrobní smrštění napříč			2,3	
<b>MECHANICKÉ VLASTNOSTI</b>				
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	1500	
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,2	MPa	1500	
Napětí na mezi kluzu		MPa	29	
Prodloužení na mezi kluzu		%	5	
Celková tažnost		%	100	
Křípový modul v tahu (5 MPa)	ISO 899-1	MPa	1 h	1100
			1000 h	580
Vrubová houževnatost Charpy	ISO 179-1	kJ/m <sup>2</sup>	23 °C	11
			-20 °C	4
<b>TEPLOTNÍ VLASTNOSTI</b>				
Teplota tání (DSC)	ISO 11357-1, 3	°C	165 - 170	
Teplota měknutí dle Vicata (VST)	ISO 306	°C	154	
HDT (1,8 MPa)	ISO 75-1,2	°C	57	
<b>OSTATNÍ VLASTNOSTI</b>				
Tvrdość Shore D	ISO 868	-	63	

### Zpracovatelské podmínky pro vstřikování

Parametr	Doporučená hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	200 - 280	°C
Teplota formy	20 - 60	°C
Dotlak	(60 - 80) % vstřikovacího tlaku	%
Délka šneku	(15 - 25) d*	-

\* Průměr šneku

# PP MOSTEN®

## TECHNICKÝ LIST

### Vzhledové vlastnosti

PP Mosten neobsahuje žádné mechanické nečistoty. Je dodáván v podobě přírodního granulátu. Typické rozmezí sypné hmotnosti PP Mosten je (450 - 600) kg/m<sup>3</sup>.

### Teplotní vlastnosti

PP Mosten se vyznačuje dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Oblast teplot tání krystalického podílu homopolymerů je (160 - 168) °C, kopolymerů (125 - 168) °C. Teplota skelného přechodu T<sub>g</sub> homopolymerů je cca -10 °C. Se snižující se teplotou klesá houževnatost materiálu a pod teplotou -20 °C je materiál již značně křehký. V oblasti záporných teplot je vhodnější použít kopolymer, které mají obecně teplotu skelného přechodu T<sub>g</sub> posunutou k výrazně nižším hodnotám než homopolymer. V oblasti vysokých teplot lze PP Mosten používat trvale do 100 °C, tepelně stabilizované typy do 105 °C. Stupeň tepelné stability všech typů PP Mosten je takový, že při obvyklém způsobu zpracování nedochází k významné degradaci materiálu.

### Fyzikálně-chemické vlastnosti

PP Mosten je díky svému nepolárnímu charakteru v širokém rozsahu teplot a koncentrací chemicky velmi stálý vůči roztokům anorganických solí, kyselin a zásad. Neodolává pouze oxidačním činidlům (např. koncentrovaná kyselina dusičná, oleum, halogeny), v halogenovaných aromatických uhlovodících a v některých rozpouštědlech za zvýšených teplot bobtná. Navlhavost a nasáklavost PP Mosten je velmi malá (0,2 %). Sorpce vody se týká pouze povrchu materiálu, je ho proto použit v prostředí s proměnnou relativní vlhkostí, aniž by docházelo k rozměrovým změnám výrobků či změnám mechanických vlastností.

Při zpracování PP Mosten může působit obtíže vlhkost, z kondenzovaná při přenosu materiálu z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího. Při teplotách skladování nižších než 20 °C se doporučuje kondicionovat materiál min. 24 h před vlastním zpracováním ve výrobní hale.

### Zdravotní nezávadnost

PP Mosten splňuje požadavky těchto nařízení a předpisů, v platném znění:

- Zákona č. 152/1995 Sb.;
- Vyhlášky MZ ČR č. 38/2001 Sb.;
- Nařízení Evropského Parlamentu (EP) a Rady (ES) č. 1935/2004;
- Nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) - při výrobě tohoto typu PP Mosten nebyly použity ftaláty uvedené v seznamu SVHC;
- Nařízení Komise (EU) č. 10/2011, v platném znění.

### Požární a bezpečnostně-technické charakteristiky

PP Mosten není podle nařízení EP a Rady (ES) č. 1272/2008 (CLP) klasifikován jako nebezpečná látka ani nespĺňuje žádnou z dalších podmínek uvedených v čl. 31 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH), a proto se na něj nevztahuje povinnost poskytovat příjemci bezpečnostní list. Povinné informace o produktu podle čl. 32 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) a další údaje jsou uvedeny ve „Sdělení“ výrobce. Dokument je k dispozici na [www.unipetrolrpa.cz](http://www.unipetrolrpa.cz) nebo na vyžádání.

### Skladování a manipulace

PP Mosten se dodává v polyetylenových pytlích (>PE-LD<) o hmotnosti 25 kg. Pytle se ukládají v počtu 55 kusů na paletách, fixovaných smršťovací fólií (>PE-LD<). Fólie chrání výrobek proti poškození a zvyšuje jeho životnost. Ložené palety jsou určeny ke stohování do 2 vrstev, výjimečně do 3 vrstev. PP Mosten může být alternativně dodáván volně ložený v autocisternách. Jiný způsob balení nebo dopravy je možný po dohodě s odběratelem.

PP Mosten je skladován v suchém, větraném, zastřešeném skladu, jehož prostory jsou chráněny před přímými účinky slunečního záření. Doporučené rozmezí teplot ve skladu je -20 °C až +50 °C. Vzdálenost od zdroje tepla je nejméně 1 m.

Doporučená doba skladování PP Mosten v uzavřených obalech za stanovených podmínek skladování je až 1 rok. Při delším skladování je vhodné ověřit vlastnosti materiálu před jeho zpracováním.

### Obaly

Obaly, použité výrobcem pro balení materiálu PP Mosten splňují požadavky §3 a 4 zákona č. 477/2001 Sb. o obalech, v platném znění. Obaly jsou navrženy a vyrobeny podle technických předpisů pro hmotnost a objem výrobků, pro které jsou určeny.

Materiál obalů neobsahuje klasifikované nebezpečné látky. Součet obsahu těžkých kovů v obalu (olova, kadmia, rtuti a šestimocného chromu) nepřekračuje limitní hodnotu 100 ppm.

Doporučené zařazení dle Katalogu odpadů: č. 15 01 02 (plastové obaly), č. 15 01 03 (dřevěné palety).

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

### Pokyny pro nakládání s odpadem ze zpracování PE

Výrobky z PP Mosten a neznečištěný odpad, který vzniká při jeho zpracování, lze recyklovat a dále zpracovat na technické výrobky. V souladu s ČSN 77 0052-2 a ČSN EN ISO 11469 se pro polypropylen používá druhová materiálová značka >PP<. Materiálové značení na výrobcích z polypropylenu usnadňuje identifikaci materiálu při sběru, třídění, využívání či odstraňování užitelského odpadu.

PP Mosten z produkce Unipetrol RPA neobsahuje olovo, kadmium, rtuť ani šestimocný chrom, přičemž součet koncentrací těchto těžkých kovů nepřesahuje limitní hodnotu 100 ppm. Odpad z PP Mosten zařazuje původce odpadu dle platné legislativy.

Doporučené zařazení podle Katalogu odpadů - č. 07 02 13.

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

**Příloha č. 8 – Výsledky měření**

Tahová zkouška

<b>Měřené hodnoty:</b>	<b><math>E_t</math> [MPa]</b>	<b><math>\sigma_m</math> [MPa]</b>	<b><math>\epsilon_{tb}</math> [%]</b>
PLLA (SF)	3593 ± 18	71,26 ± 0,7	5,92 ± 0,8
PLLA (TF)	3944 ± 128	63,58 ± 1,4	2,44 ± 0,4
PLLA/10IM (SF)	3444 ± 24	65,76 ± 0,7	4,77 ± 1,2
PLLA/10IM (TF)	3876 ± 44	57,70 ± 0,9	9,32 ± 1,7
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	1717 ± 96	40,53 ± 1,1	51,21 ± 14,5
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	2388 ± 167	35,90 ± 2,1	3,78 ± 1,1
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	1854 ± 247	36,02 ± 3,2	76,88 ± 18,5
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	2385 ± 127	33,39 ± 3,3	7,46 ± 2,6

Zkouška rázové houževnatosti

<b>Měřené hodnoty:</b>	<b>Tloušťka [mm]:</b>	<b>Šířka [mm]:</b>	<b>Energie [J]:</b>	<b>Rázová Houževnatost [kJ/m<sup>2</sup>]:</b>
PLLA (SF)	3,97	10,44	0,73	<b>17,58</b>
PLLA (TF)	4,01	10,17	1,15	<b>28,11</b>
PLLA/10IM (SF)	3,97	10,45	1,21	<b>29,19</b>
PLLA/10IM (TF)	4,01	10,00	3,17	<b>79,16</b>
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	4,05	10,20	0,98	<b>23,71</b>
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	3,99	10,10	1,03	<b>25,46</b>
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	4,07	10,25	2,06	<b>49,43</b>
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	4,00	10,02	1,28	<b>31,96</b>

Měření podle Vicata

<b>Měřené hodnoty:</b>	<b>Teplota [°C]</b>
PLLA (SF)	59,8 ± 0,4
PLLA (TF)	96,1 ± 0,9
PLLA/10IM (SF)	59,4 ± 0,6
PLLA/10IM (TF)	90,5 ± 3,4
PLLA/1CNC-3PEG (SF)	43,3 ± 0,6
PLLA/1CNC-3PEG (TF)	89,9 ± 0,7
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (SF)	46,0 ± 0,2
PLLA/10IM/1CNC-3PEG (TF)	84,3 ± 1,6

### Materiálový list PLA-LF

Vlastnosti použitých materiálů <sup>1)</sup>	Norma	Jednotka	PLA-LF natur <sup>9)</sup>
<b>I. Všeobecné vlastnosti</b>			
1. Hustota ( $\rho$ )	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,28
2a. Nasákavost (voda)	ISO 62	%	2
2b. Nasákavost (vzdušná vlhkost)	ISO 62	%	2
3a. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - horní mezní hodnota	UL 746B	°C	60
3b. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - dolní mezní hodnota		°C	-
<b>II. Mechanické vlastnosti</b>			
1. Tahové napětí na hranici průtažnosti ( $\sigma_b$ )	ISO 527	MPa	37
2. Tažnost ( $\epsilon_b$ )	ISO 527	%	2
3. Mez pevnosti v tahu ( $\sigma_R$ )	ISO 527	MPa	33
4. Protažení při přetržení ( $\epsilon_R$ )	ISO 527	%	3
5. Rázová houževnatost ( $\alpha_i$ )	ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	15
6. Vrubová houževnatost ( $\alpha_k$ )	ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	3
7. Tvrdost ( $H_k$ ) dle Rockwella	ISO 2039	MPa	105/ -
8. Shore-D	ISO 868	-	77
9. Pevnost v ohybu ( $\sigma_{B,3,5\%}$ )	ISO 178	MPa	-
10. Modul pružnosti ( $E_t$ )	ISO 527	MPa	2800
<b>III. Tepelné vlastnosti <sup>9)</sup></b>			
1. Teplota měknutí dle VICATA VST/B/50	ISO 306	°C	57
VST/A/50		°C	-
2. Teplotní tvarová stálost HDT/B	ISO 75	°C	56
HDT/A		°C	-
3. Koefficient délkové roztažnosti ( $\alpha$ )	ISO 11359	K <sup>-1</sup> x 10 <sup>-4</sup>	1,2
4. Tepelná vodivost při 20°C ( $\lambda$ )	ISO 22007-4	W/(m x K)	-
5. Teplota skelného přechodu ( $T_g$ )	DIN EN ISO 3146	°C	120
6. Teplota tání ( $T_m$ )	DIN EN ISO 3146	°C	120
<b>IV. Elektrické vlastnosti</b>			
1. Specifický vnitřní odpor ( $\rho_0$ ) <sup>8)</sup>	IEC 60093	$\Omega$ x cm	-
2. Povrchový odpor ( $R_o$ ) <sup>8)</sup>	IEC 60093	$\Omega$	-
3. Permittivita při 1 Mhz ( $\epsilon_R$ ) <sup>9)</sup>	IEC 60250		-
4. Dieľ. ztrátový čísel při 1 Mhz ( $\tan\delta$ ) <sup>9)</sup>	IEC 60250		-
5. Průrazná pevnost <sup>9)</sup>	IEC 60243-1	kV/mm	-
6. Izolační odpor <sup>9)</sup>	IEC 60112	V	-
<b>V. Ostatní vlastnosti</b>			
1. Možnost lepení			+
2. Fyziologická nezávadnost <sup>5) 9)</sup>	EEC		+
	FDA		+
3a. Hořlavost/chování při požáru <sup>9)</sup>	UL 94	-	-
3b. Limitní kyslíkové číslo (LOI) <sup>9)</sup>	ASTM D2863	%	-
4. Odolnost proti UV <sup>6) 9)</sup>			-

Tel.: + 420 569 720 764  
+ 420 569 731 360

email: akplast@akplast.cz  
http://www.akplast.cz

IČO: 62063804  
DIČ: CZ62063804

Společnost je zapsána u rejstříkového soudu v Hradci Králové pod sp. zn. C7483.