



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# ZÁVISLOST TOKOVÝCH VLASTNOSTÍ PLASTŮ NA OBSAHU VODY A TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRECH

DEPENDENCE OF FLOW PROPERTIES OF PLASTICS ON WATER CONTENT AND TECHNOLOGICAL  
PARAMETERS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Ohnút

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bohumil Kandus

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Lukáš Ohnút</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Bohumil Kandus</b>
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Závislost tokových vlastností plastů na obsahu vody a technologických parametrech**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Při vstřikování plastů do forem jsou velmi důležité tokové vlastnosti tavenin plastů. Viskozitu tavenin plastů lze snižovat (zlepšovat tokové vlastnosti) zvyšováním teploty a smykové rychlosti, která je závislá na tlaku v tavenině a na rychlosti vstřikování. Tokové vlastnosti tavenin plastů mohou být též ovlivněny obsahem vody v tavenině na základě sušení granulátu před vlastním vstřikováním, což je předmětem zadání bakalářské práce.

### **Cíle bakalářské práce:**

Cílem bakalářské práce je experimentem pomocí spirálového testu ověřená a potvrzená závislost tokových vlastností tavenin vybraných plastů na obsahu vody v tavenině při nastavených optimálních technologických parametrech vstřikování. Cílem práce je stanovení přijatelného množství vody v tavenině vybraných plastů pro vstřikování s přihlédnutím na jejich co nejlepší tokové vlastnosti.

### **Seznam doporučené literatury:**

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. ISBN 978-80-73-0-250-3.

KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.

WOEBCKEN, Wilbrand. International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User. 3rd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 1-56990-182-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

OHNÚT Lukáš: Závislost tokových vlastností plastů na obsahu vody a technologických parametrech

---

Bakalářská práce je zaměřena na zjištění vlivu vlhkosti na proces vstřikování. V první kroku byly vybrány dva běžně používané materiály polyamid (Pa66) a polybutylentereftalát (PBT). Testované materiály byly podrobeny sušicí analýze pro zjištění obsahu vlhkosti v závislosti na době a teplotě sušení. V důsledku nevlastnění formy s dutinou ve tvaru Archimédovy spirály, byl experiment proveden na provizorní vstřikovací formě. Byla sledována hmotnost kusů vstřikovacích tlaků v závislosti na procentuálním obsahu vlhkosti v granulátu.

Klíčová slova: Pa66, PBT, vstřikování, vlhkost, sušení

## **ABSTRACT**

OHNÚT Lukáš: Dependence of flow properties of plastics on water content and technological parameters

---

Bachelor thesis was focused on detection the effect of moisture on the injection process. Two commonly used materials polyamide (PA66) and polybutylene terephthalate (PBT) were selected in the first step. The polymers were characterized to moisture analysis to determine the moisture content depending on time and temperature of drying. The experiment was carried out on a provisional injection mold due to non-possession of the mold cavity in the shape of Archimedes spiral. Weight of samples and injection pressure were observed in dependence to the percentage of moisture content in granulate.

Keywords: Pa66, PBT, injection molding, moistness, drying

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

OHNÚT, Lukáš. *Závislost tokových vlastností plastů na obsahu vody a technologických parametrech*. Brno, 2019. 30s, 2 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce  
Ing. Bohumil Kandus

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Také děkuji firmě SWOBODA za umožnění mého měření pro bakalářskou práci.

Největší dík patří mé rodině za rady a zkušenosti a také za trpělivost a podporu při tvorbě bakalářské práce.

# OBSAH

Titulní strana	
Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
	<b>Str.</b>
OBSAH .....	8
ÚVOD .....	9
1 VSTŘIKOVÁNÍ .....	14
1.1 Vstřikovací proces .....	15
1.2 Popis vstřikovacího stroje a jeho součástí .....	16
2 PLASTY .....	19
2.1 Základní rozdělení plastu .....	19
2.1.1 Podle molekulární struktury .....	19
2.1.2 Podle nad molekulární struktury .....	21
2.2 Tokové vlastnosti termoplastů .....	21
2.3 Vlhkost materiálu .....	18
2.4 Sušení materiálu .....	18
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	21
3.1 Volba materiálu .....	21
3.2 Analýza vlhkosti materiálu .....	21
3.3 Postup měření .....	22
3.3.1 Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6 .....	26
3.3.2 Polybutylen-terephthalat PBT – Ultradur B4406 G6 .....	30
3.4 Sledování tokových vlastností na obsahu vody v granulátu .....	28
3.5 Nastavení vstřikovacího stroje pro Pa66 – Ultramid A3WG6 .....	29
3.5.1 Průběh experimentu .....	30
3.6 Nastavení vstřikovacího stroje pro PBT–Ultradur B4406 G6 .....	35
3.6.1 Průběh experimentu .....	40
4 ZÁVĚR .....	40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1], [2]

Plasty v dnešní době jeden z nejrozšířenějších materiálů na světě. Používá se ve všech odvětvích průmyslu a to například v automobilovém či leteckém. Lze jej najít zcela ve všech zařízeních, u kterých se výroba z kovového materiálu nevyplatí nebo je příliš složitá a obtížná. Výhoda je zpracovatelnost, oproti kovu je, snazší a levnější a zároveň co se týče sériovosti má oproti kovům navrch. Mezi další významné vlastnosti patří odolnost proti korozi kterou u kovu nenalezneme. Další je tepelná a elektroizolační vlastnost, proto se plasty používají ve velkém množství i jako izolanty, například jako tepelná izolace pro domy nebo jako elektrický izolant pro různé druhy kabeláže.

Vyrobít plastový výrobek lze různými způsoby ale v každém případě je důležité sledovat tokové vlastnosti a optimalizovat parametry tak aby byl výsledný výrobek v pořádku. Například u vstřikování je velice ovlivňující faktor vlhkost materiálu .



Obr. 1 Recyklát [3]



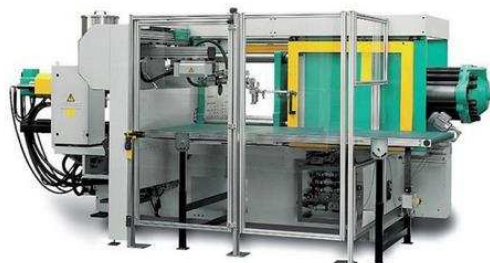
Obr. 2 Oktabin [4]



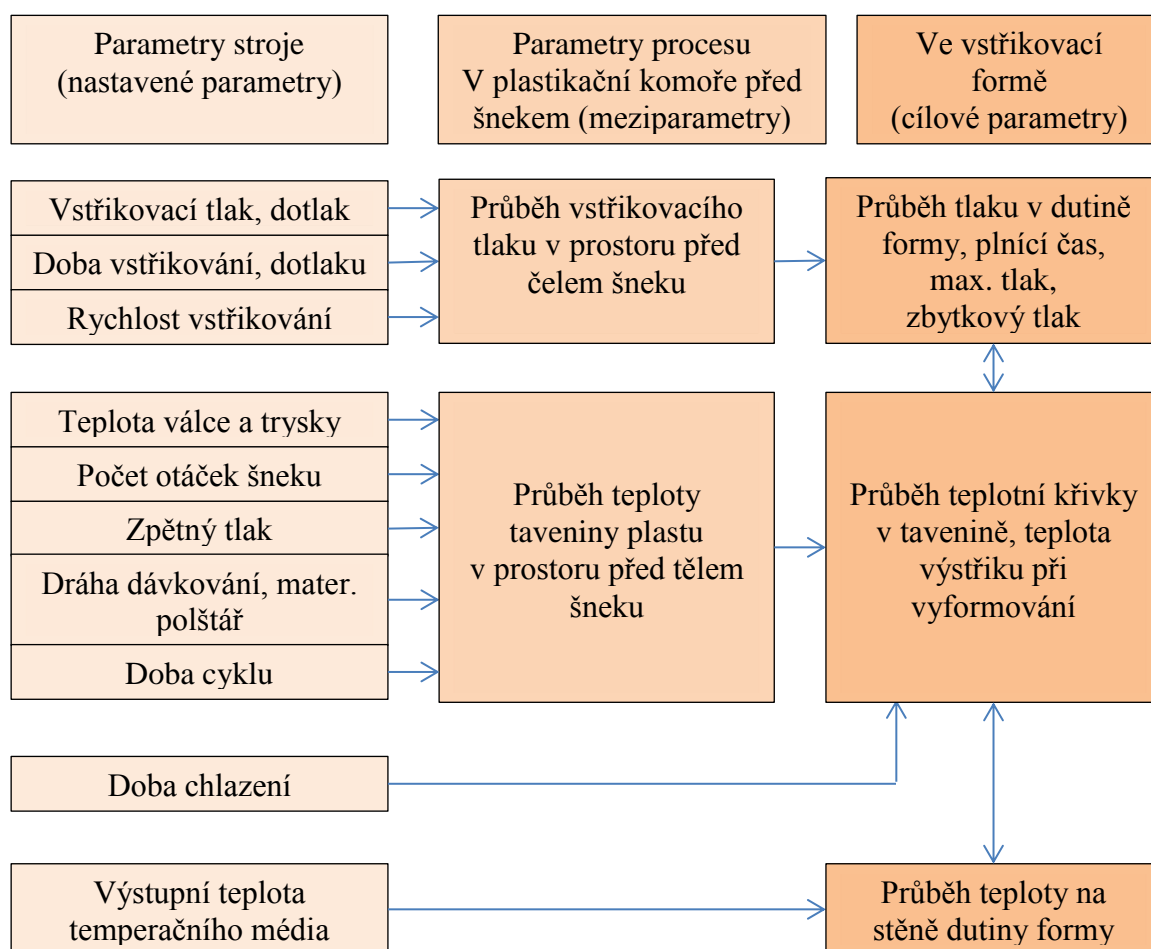
Obr. 3 Vstřikovací stroj, tryska stroje [5]

## 1 VSTŘIKOVÁNÍ [1], [2], [6], [7]

Je hlavním a také nejpoužívanějším tvářecím procesem v odvětví zpracování plastů. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Jejich tvar může být velice jednoduchý, ale stejně tak i značně složitý a jejich hmotnost může činit třeba jen pár gramů, zatím co nejtěžší výrobky váží až několik desítek kilogramů. Umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a dostatečně přesné výrobky (výlisky, výstřiky) ze širokého výběru plastů. Touto tvářecí metodou se vyrábí součásti například do automobilového průmyslu nebo spotřebního průmyslu. Při této technologii se vyrábí na vstřikovacím stroji, který může mít jak vertikální nebo horizontální vstřikovací jednotku, toto kritérium závisí na umístění vtokového systému. Příklad vstřikovacího stroje viz obrázek 4. Dále, záleží na vstřikovacích parametrech viz obrázek 5.



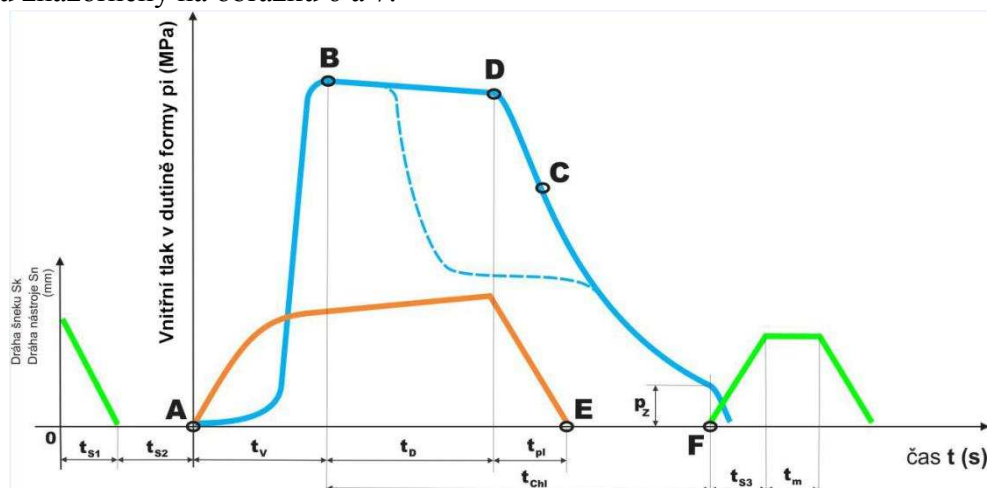
Obr. 4 Vstřikovací stroj [8]



Obr. 5 Parametry pro tvorbu výstřiku [vlastní tvorba]

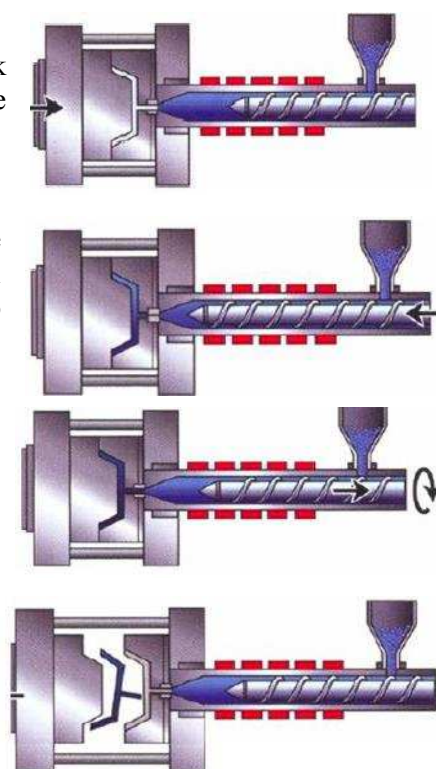
## 1.1 Vstřikovací proces [9], [10], [11]

Vstřikováním se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se roztavený (plastikovaný) polymer plní vysokou rychlostí (vstřikuje) do uzavřené dutiny temperované formy, kde polymer tuhnutím (termoplasty) nebo chemickou reakcí (reaktoplasty) získává tvar požadovaného výrobku. Vstřikování probíhá za neizotermických podmínek, kdy dochází k procesu tuhnutí taveniny ovlivněných souborem reologických vlastností polymerů. Vstřikovací cyklus je rozdělen do čtyř hlavních fází. Tyto fáze a změny tlaku jsou znázorněny na obrázku 6 a 7.



Obr. 6 Průběh tlaku v dutině formy, pohybu formy a šneku [12]

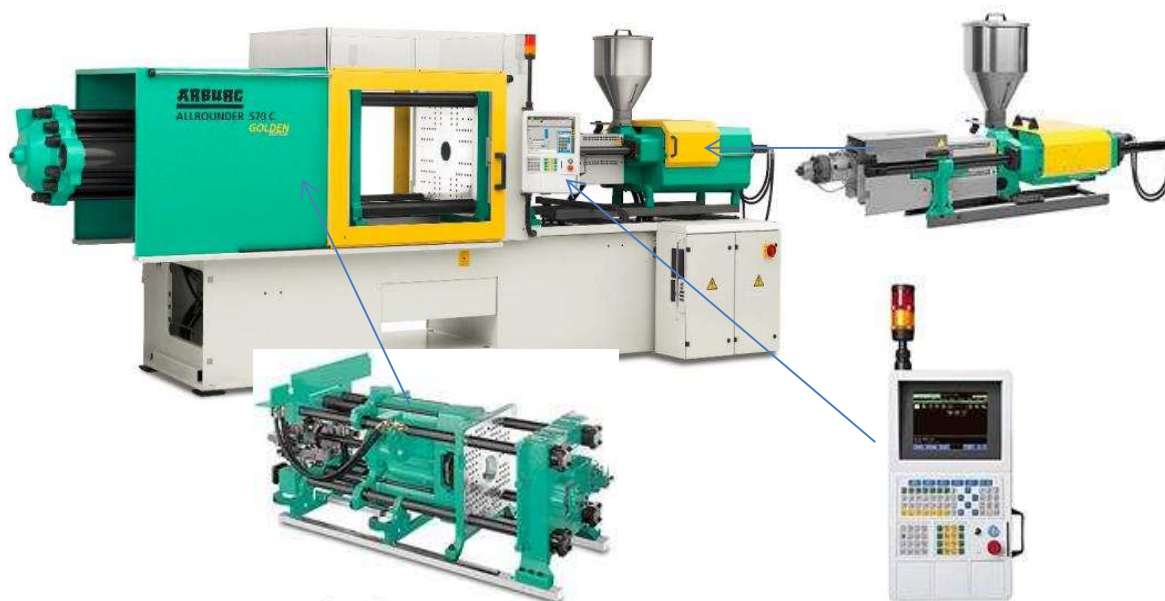
- Vstřikovací fáze -  $t_v$   
Dochází při ní k uzavření vstřikovací formy a k pohybu šneku, který přetlačuje a zároveň vyplňuje dutinu formy natavenou hmotou.
- Dotlaková fáze -  $t_d$   
Dochází při ní k eliminování smrštění v dutině formy, dotlak lze používat pouze do doby, při které nedochází ke zvýšení hmotnosti dílu. Je to doba, kdy jsou vtoková ústí ztuhlá
- Plastikační fáze -  $t_{pl}$   
Materiál je nabírán pomocí rotačního pohybu šneku před jeho čelo. Čímž, je materiál připraven na další cyklus.
- Ochlazovací fáze -  $t_{ch}$   
Probíhá už od vstřikovací fáze až do doby manipulace. Ochlazování začíná při vstříknutí hmoty do formy, která je sice temperovaná na určitou teplotu, ale zdaleka nedosahuje teploty roztaveného materiálu. V důsledku různých teplot se hmota ve formě ochlazuje a dochází k pomalému tuhnutí a smrštění.



Obr. 7 Schéma vstřikovacího cyklu[13]

## 1.2 Popis vstřikovacího stroje a jeho součástí [2], [6]

Proces vstřikování se provádí na vstřikovacím stroji, tyto stroje prošly řádkou let zásadními změnami. První a také nejstarší typ je pístový vstřikovací stroj, který má ve své vstřikovací jednotce umístěný píst který, pohybuje materiálem směrem k trysce. Novější a také nejpoužívanější je šnekový vstřikovací stroj, který na rozdíl od pístového má ve své vstřikovací jednotce hnací nástroj šnek. Dalším rozdělením jsou části, ze kterých se vstřikovací stroj skládá, jedná se konkrétně o řídicí, uzavírací a vstřikovací jednotku stroje což je vidět na obrázku 8.



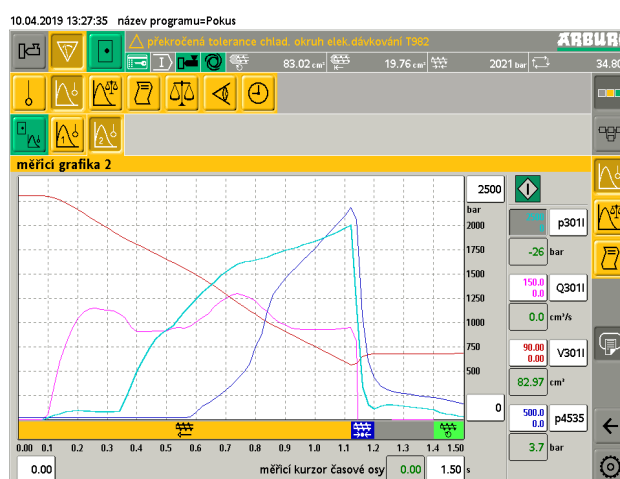
Obr. 8 Schéma složení vstřikovacího stroje [14]

- **Řídicí jednotka**

Jedna z důležitých částí vstřikovacího stroje. Její hlavní člen je regulátor. Který má za funkci zpracování aktuálních hodnot a kontrolu strojních parametrů. Při překročení nastavených tolerancí dochází k vyrovnání aktuálních hodnot parametru na zadanou úroveň. Nastavení parametrů lze provádět přímo na řídicím panelu, který se nachází, na stroji viz obr 9 a na obrázku 10 je vidět pracovní rozhraní.



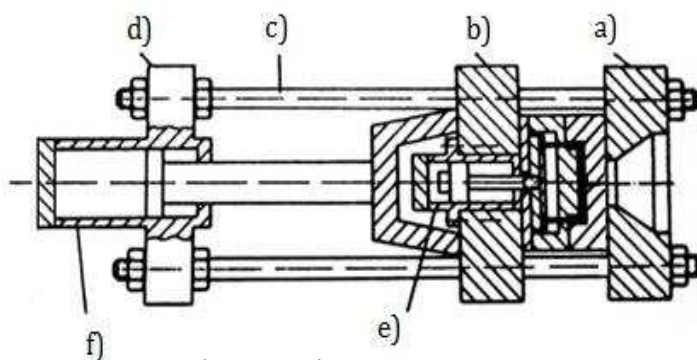
Obr. 9 Pohled na ovládací panel [15]



Obr. 10 Ovládací prostředí [vlastní tvorba]

- **Uzavírací jednotka**

Uzavírá a otevírá vstříkovací formu a také zajišťuje uzavření formy takovou silou, která odolá tlakům výstřiku, tak aby se forma neotevřela. Jsou různé druhy uzavíracích jednotek například: hydraulické, kloubové, kombinované. Schéma uzavírací jednotky viz obrázek 11.

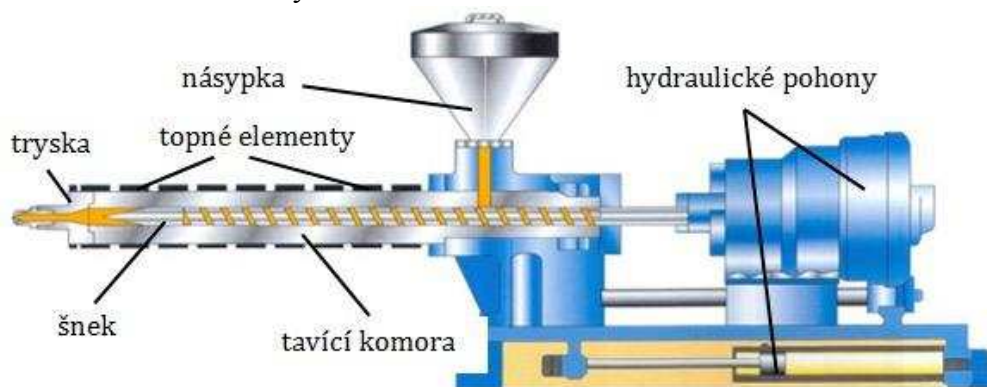


- a) pevná část formy
- b) pohyblivá část formy
- c) vodící tyče
- d) rám stroje
- e) hydraulický vyhazovač
- f) hydraulický válec

Obr. 11 Schéma uzavírací jednotky [16]

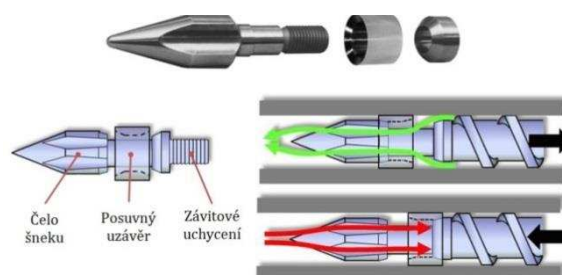
- **Vstříkovací jednotka**

Je jedna z nejdůležitějších částí vstříkovacího stroje. Její úkol je převést granulovaný materiál ze stavu tuhého do stavu tekutého a dopravit jej do dutiny vstříkovací formy. Skládá se z několika hlavních částí viz obrázek 12.



Obr. 12 Schéma Vstříkovací jednotky [17]

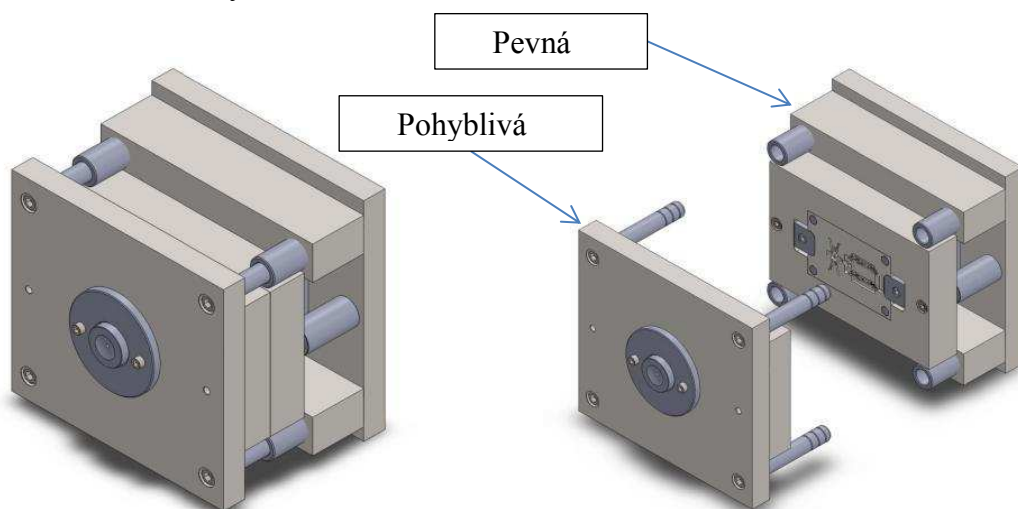
Začátkem procesu je nasypání granulovaného materiálu do násypky, která má za úkol samovolný přesun materiálu do tavicí komory a to pouze pomocí gravitace a vlastní hmotnosti materiálu. Poté je materiál natavován topnými pásy, které obklopují tavicí komoru. Uvnitř komory se nachází šnek viz obrázek 13, který svým rotačním pohybem, pohybuje nataveným materiálem směrem k trysce, která má hlavní funkci zajištění přesného dosednutí vstříkovací jednotky na vtokovou vložku vstříkovací formy a vzájemného vycentrování. Celá tato vstříkovací soustava je připevněna na posuvné konzole a pohyb na této konzole je zajištěn hydraulickým pohonem.



Obr. 13 Uzávěrka a její funkce [18]

- **Vstřikovací forma**

Je nástroj, kterým určujeme požadovaný tvar daného výrobku a který zároveň chladí na takovou teplotu, kdy je možné tuhý výstřik vyformovat bez rizika poškození. Forma se před procesem vstřikování temperuje na určitou teplotu, která je nižší než teplota vstřikovaného materiálu. Forma se upevní mezi upínací desky uzavírací jednotky, která má za úkol pohyb s pohyblivou částí formy. Forma se skládá z pevné a pohyblivé části a také obsahuje několik důležitých částí pro správný chod procesu vstřikování. Je to temperační, vtokový a vyhazovací systém dále vodící a upínací prvky a poslední nejdůležitější část, tvarové vložky, které vymezují tvarovou dutinu. Orientační tvar formy obrázek 14.



Obr. 14 Schéma vstřikovací formy [19]

Tab. 1 Doporučených hodnot teploty taveniny, formy a manipulace termoplastů [20]

Termoplasty	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]	Teplota vhodná pro vyhození výrobku z formy [°C]
ABS	190 - 250	50 - 85	80 - 100
PA 6	260 - 280	40 - 120	100
PA 6 - GF	270 - 290	80 - 120	140
PA 66	275 - 295	80 - 100	100
PA 66 - GF	280 - 300	80 - 120	130
PC	280 - 320	85 - 120	< 140
PC - GF	310 - 330	80 - 130	< 150
HDPE	180 - 270	20 - 60	40 - 75
LDPE	180 - 270	20 - 60	30 - 65
PMMA	200 - 2500	50 - 80	50 - 110
POM	180 - 220	50 - 120	60 - 130
PP	170 - 280	20 - 100	45 - 80
PS	180 - 260	55 - 80	20 - 60
PVC tvrzené	190 - 220	30 - 60	25 - 55
SAN	200 - 260	50 - 85	80 - 95
PEEK	380 - 430	160 - 220	135 - 190

## 2 PLASTY [8], [21], [21]

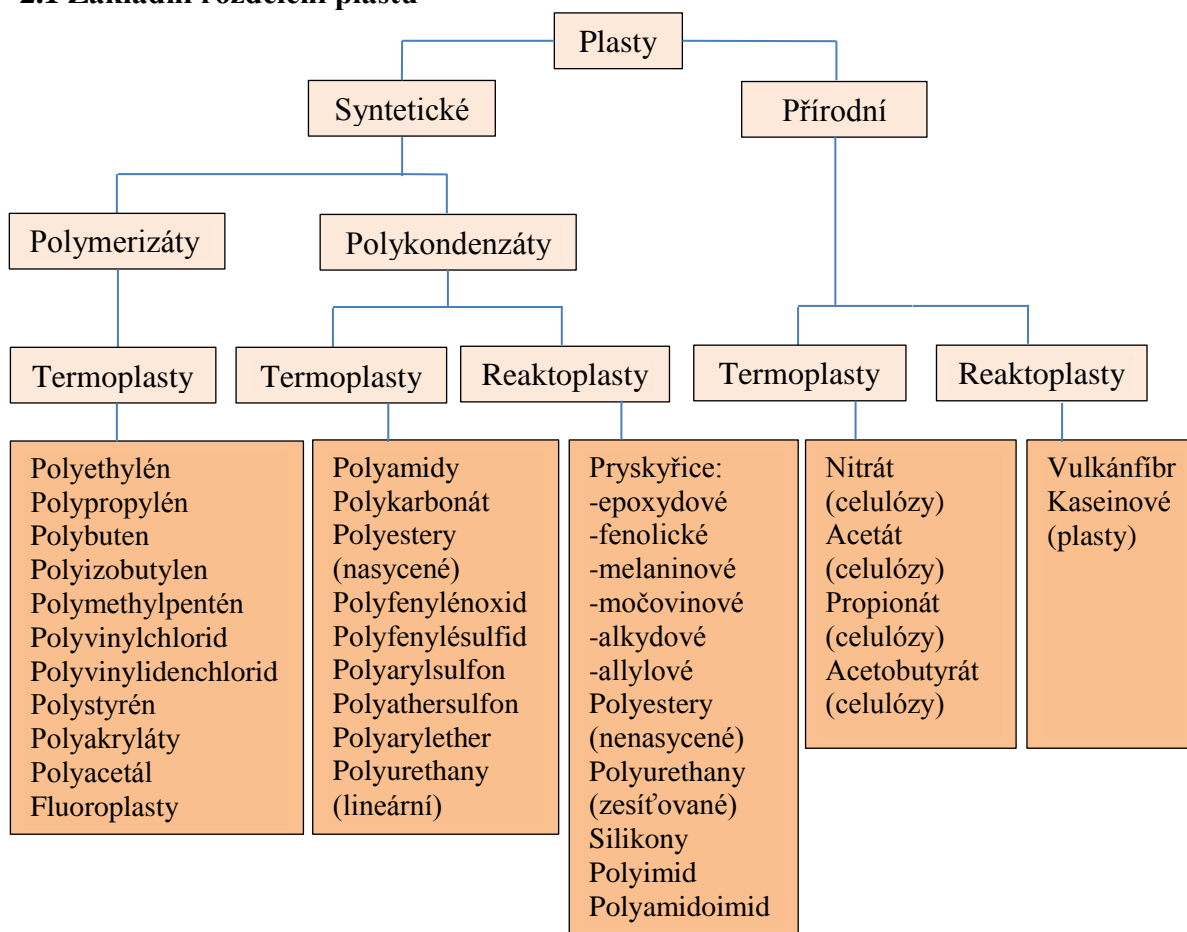
Plast je polymer smíšený s nezbytnými přísadami (aditivy) a převedený do formy pro další zpracování.

Polymer je chemická látka – Plast je technický materiál mající užité vlastnosti.

- **Polymer**

Polymery jsou dlouhé řetězce atomů navázaných jeden na druhý. Tyto řetězce jsou tvořeny z mnohých opakujících se molekulárních jednotek monomerů, které jsou výchozí látkou používanou na tvorbu polymerů. Polymer vzniká procesem polymerace a to je chemická reakce, při které z jednoduchých molekul (jednotek monomeru) vznikají makromolekuly (polymery). Počet monomerů udává polymerační stupeň. Z chemického je lze rozdělit na přírodní nebo syntetické organické látky.

### 2.1 Základní rozdělení plastu



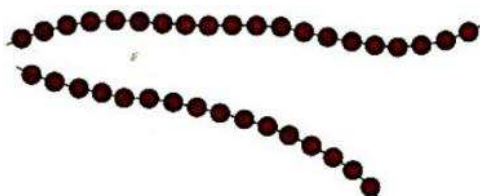
Obr. 15 Schéma rozdělení plastu [2]

#### 2.1.1 Podle molekulární struktury [23]

Molekulární struktura nám velice ovlivňuje důležité vlastnosti daného polymeru, například mechanické, tepelné, chemické, elektrické, ale také míru navlhavosti nebo hořlavost. Tvary makromolekul lze rozdělit do tří hlavních skupin a to lineární, rozvětvené a síťované.

- **Lineární**

Jejich tvar je možno vidět na obrázku 17. Tvoří se tak, že se na řetězec řadí jedna monomerní molekula vedle druhé, tvar struktury může připomínat například perlový náhrdelník.



Obr. 17 Lineární struktura [23]

- **Rozvětvené**

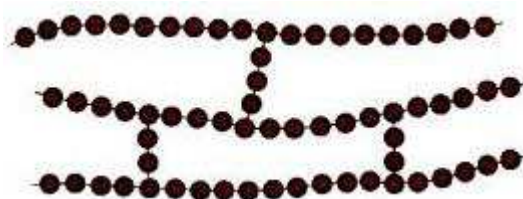
Mají na základním řetězci boční odbočky, které zhoršují jejich pohyblivost. Rozvětvení makromolekul způsobuje jejich vzájemné oddálení, které má za následek pokles sil mezi vazbami a tím způsobuje pokles pevnosti, tvrdosti a dalších. Struktura na obrázku 18.



Obr. 18 Rozvětvená struktura [23]

- **Sít'ované**

Vznikají spojením lineárních makromolekul na různých místech příčnými chemickými vazbami viz obrázku 19. Zesít'ováním dochází k omezení pohybu makromolekul jako celku a tím dojde ke ztrátě rozpustnosti, tavitelnosti, houževnatosti. Na druhou stranu se zvyšuje tvrdost a teplotní odolnost. Všechny tyto vlastnosti závisí na hustotě zesít'ění.



Obr. 19 Sít'ovaná struktura [23]

Tab. 2 Vlastnosti struktur [23]

Lineární	Rozvětvené	Sít'ované
vyšší hustota materiálu	nižší hustota materiálu	Vlastnosti závisí na hustotě sítě. S vyšší hustotou sítě se materiál vyznačuje zpravidla:
vyšší pevnost	nižší pevnost	
vyšší modul pružnosti	nižší modul pružnosti	
nižší tažnost	vyšší tažnost	vysokou pevností
vyšší teplotní odolnost	nižší teplotní odolnost	vysokým modulem pružnosti
dobrá tekutost taveniny	nižší tekutost taveniny	vysokou teplotní odolností
snadná krystalizace	nižší schopnost krystalizace	velmi nízkou tažností



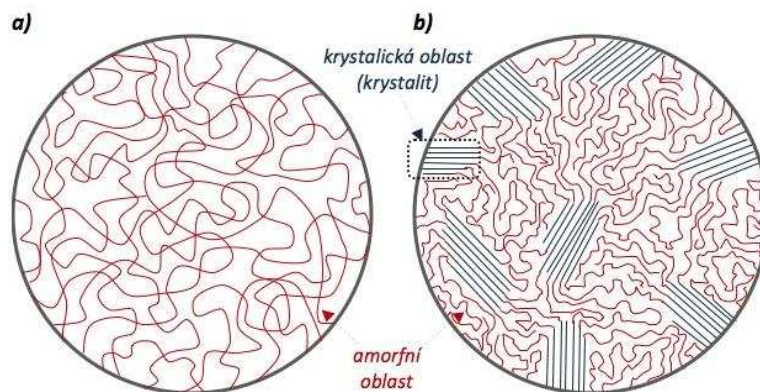
### 2.1.2 Podle nad molekulární struktury [24]

- **Amorfni struktura**

Je chaotická s náhodným uspořádáním. Molekuly jsou tvořeny globuly (klubky) které nabývají průměru 10-30 $\mu$ m viz obrázek 20.

- **Krystalická struktura**

Na rozdíl od amorfni má částečné uspořádání. Tato struktura vzniká při procesu krystalizace (chlazení) viz obrázek 20.



Obr. 20 amorfni a krystalická struktura [24]

### 2.2 Tokové vlastnosti termoplastů [2], [10], [7]

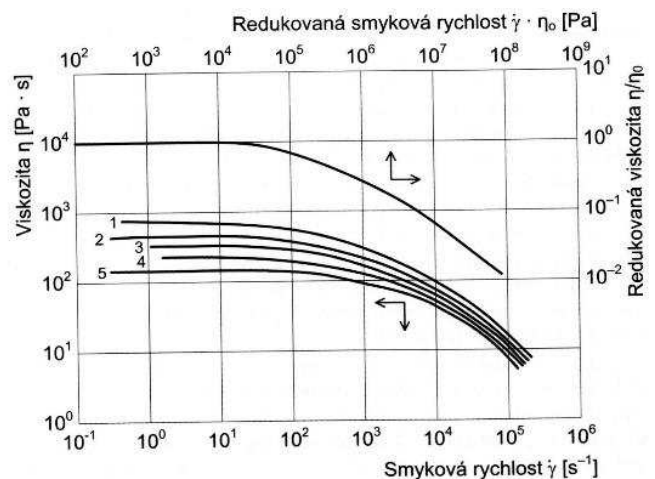
Roztavené polymery jsou vysoce viskózní kapaliny, jejichž chování při zpracování popisuje rheologie. Je to nauka o deformaci a tečení. Viskozita je nejdůležitějším rheologickým parametrem, která přímo souvisí s chováním polymerů při vstřikování.

Z fyzikálního hlediska je viskozita vnitřním odporem proti toku materiálu, která je u polymerních materiálů závislá na teplotě, tak i na hodnotě smykové rychlosti. Jedná se o exponenciální závislost.

Obecně platí: čím je viskozita polymerní taveniny větší, tím je její tekutost menší.

Konkrétní údaje o tokových vlastnostech se získávají experimentálně a bývají výrobcem plastů uvedeny v tzv. materiálovém listě a jsou znázorněny pomocí tzv. tokových křivek, kde délka toku je funkcí vstřikovacího tlaku při konstantní teplotě taveniny a formy a při konstantní tloušťce stěny dutiny.

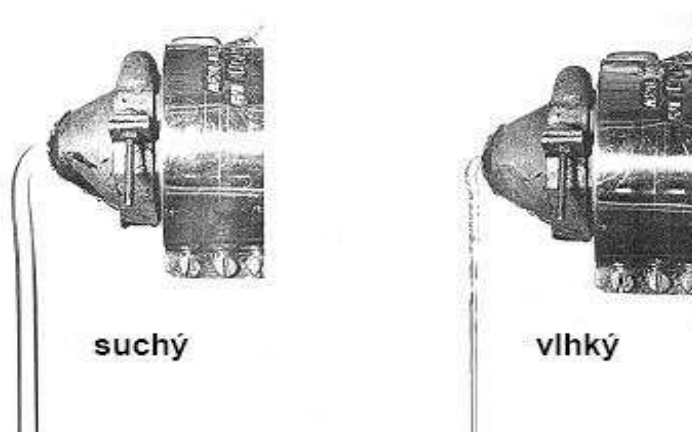
Jiné znázornění zatékavosti termoplastů může být dáno funkcí délky toku v závislosti na tloušťce stěny při konstantní teplotě taveniny, formy a konstantním vstřikovacím tlaku. Jedná se obvykle o znázornění výsledků tzv. spirálového testu. Tokové vlastnosti resp. viskozitu taveniny pak charakterizuje vzdálenost, do které tavenina polymeru zaplní spirálu. Důležitá je přitom teplota formy a rozměr spirálového kanálu



Obr. 21 Viskozita na smykové rychlosti [2]

### 2.3 Vlhkost materiálu [2], [10], [7]

Vlhkost materiálu zvláště u termoplastu je dosti známý jev, který se snažíme eliminovat. Obsah vody ať v menší nebo větší míře ovlivňuje jak mechanické vlastnosti tak i povrch výstřiku. Dále ve velké míře ovlivňuje hmotnost a objem vystříknutého kusu a tím dochází ke změně rozměrů a stabilitě rozměrů a tvarů. Materiál s vyšším obsahem vody než je doporučeno má i větší tekutost což může způsobovat přestříknutí formy. Materiál získává vlhkost už při výrobě a také při manipulaci, lze tento jev nazvat (navlhavost) materiálu. Granulát absorbuje vlhkost v závislosti na prostředí, ve kterém se nachází a to do doby kdy se vlhkost materiálu vyrovná vlhkosti prostředí. Jak již bylo řečeno nejvíce na navlhavost trpí hyroskopické materiály a to například polyamidy které dokáží absorbovat vlhkost už při pokojové teplotě, patří mezi ně například PA66 který absorbuje až 9% nebo PA6 10% vody.



Obr. 22 Suchý a vlhký materiál [15]

Procenta doporučené vlhkosti pro vstřikování se nachází v materiálovém listě, ve kterém výrobce daného granulátu udává doporučené hodnoty jak pro vysoušení tak i vlhkosti, dále složení materiálu a další.

Měření vlhkosti lze provádět více metodami a to například metodou K. Fischera, která patří do analytických metod. Další metodou je TVI firmy Bayer, při které se porovnávají obrazce vzniklé roztavením rozdrceného materiálu uzavřeného mezi dvě skleněné desky. Nebo metodou gravimetrickou, která patří mezi méně přesné, pracuje na principu ohřevu granulátu mikrovlnným nebo infračerveným.

Tab. 3 Navlhavost vybraných materiálů [2]

Skupina plastů	Příklady plastů	Obsah vlhkosti
NENAVLHAVÉ	PE, PP, PS, PTFE	Méně než 0,1%
MÁLO NAVLHAVÉ	ABS, SAN, PC	0,1 až 0,5%
STŘEDNĚ NAVLHAVÉ	POM, PMMA, PVC, PA11	0,5 až 2%
SILNĚ NAVLHAVÉ	PA6, PA66, PU	Více než 2 %

### 2.4 Sušení materiálu [2]

Proces, který ovlivňuje jak kvalitu povrchu, tvar, mechanické vlastnosti, i samotný proces vstřikování. Hlavní důvod sušení je, zbavení vstřikovaného materiálu vlhkosti a tím vytvoření podmínek pro vystříknutí dokonalého kusu. Sušení probíhá před procesem vstřikování a to ve speciálních sušicích zařízeních, které se dělí do pěti skupin. Doporučené hodnoty doby a teploty sušení opět určuje dodavatel daného granulátu v materiálových listech.

- **Sušárny se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu**

Jedná se o skříň s etážemi, na kterých jsou umístěny zásobníky s granulátem.

Vnitřek skříní je tvořen topnými tělesy, které mají za úkol ohřívát vzduch v sušárně.

Vzduch je nasáván z okolního prostředí pomocí ventilátoru. Pro lepší cirkulaci vzduchu uvnitř skříní jsou dna děrovaná tak aby docházelo k lepšímu průchodu vzduchu. Rychlost sušení u tohoto typu sušárny je pomalá a efektivita je nízká.

Dále je ovlivněna ročním obdobím. Urychlení procesu lze pomocí vakuace sušárny, to vede k lepší výsledkům.

- **Sušárny s nuceným oběhem ohřátého vzduchu**

Sušárny jsou tvořeny zásobníky granulátu, do kterých je vháněn vzduch zespolu pomocí ventilátoru. Vzduch se ale musí před kontaktem s materiálem ohřát. Poté částečně odchází do okolního prostředí a zbytek je znovu veden ventilátorem přes ohřev znovu do zásobníku s granulátem. Ohřev u tohoto typu je ovlivněn ročním obdobím .

Tab. 4 Závislost vlhkosti na ročním období [2]

Vlhký letní vzduch	+25 °C, 80% relat. vlhkost	cca 19 g vody/m <sup>3</sup>
Normální letní vzduch	+25 °C, 60% relat. vlhkost	cca 14 g vody/m <sup>3</sup>
Jaro/podzim	+10 °C, 70% relat. vlhkost	cca 6,7 g vody/m <sup>3</sup>
Zima	0 °C, 80% relat. vlhkost	cca 3,9 g vody/m <sup>3</sup>
Suchá zima	-10 °C, 50% relat. vlhkost	cca 1,03 g vody/m <sup>3</sup>

- **Sušárny s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu**

Tento typ je v současné době nejvíce používaný ve vstříkovnách. K sušení granulátů je používán ohřátý , suchý vzduch, který obíhá v uzavřeném cyklu.Tento vzduch je vháněn do dna násypky se sušeným granulátem.Vzduch je dale dopravován do absorberu, kde dochází k předání vlhkosti do absorberu .

Z důvodu navyšování vlhkosti ve vysoušedle je nutná druhá vysoušecí jednotka. Jedna suší a druhá regeneruje. Regenerace se provádí ohřátým vzduchem na 300°C. Internal výměny jednotek je dána nastaveným časovým intervalem nebo měřením rosného bodu.

Výhodou těchto sušáren je oproti již uvedeným nízký rosný bod sušícího vzduchu. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost a možný zápach v okolí susičky.

- **Podtlakové sušárny**

V podtlakové sušárně je využito sušení ve vakuu.Principem této sušárny je vysávání molekul vody z granulátu působením podtlaku.Výsledkem této metody je zkrácení doby sušení ( až 15x) a snížení energetické náročnosti (až o 80%).

Podtlaková sušárna je konstruována jako třípolohový otočný karusel se třemi materiálými komorami. V první pozici karuselu je komora naplněna granulátem a ohřátá vzduchem na požadovanou teplotu pro určitý typ granulátu. V pozici 2 je komora s ohřátým granulátem zatěsněna a je v ní vytvořen podtlak za současného odvádění vytěsněné vlhkosti do okolí. V pozici 3 ve vysušený material podtlakově dopravován do násypky vstříkovačím stroje.

Výhodou těchto sušáren je úspora energie a menší degradační namáhání materiálu při sušení.

Nevýhodou je nutnost vytvoření vakuu a složitost zařízení.

- **Tlakovzdušné sušárny**

Sušení v této sušárně je v proudu suchého, horkého vzduchu v násypce. Používá se stlačený vzduch, který se získává z vnějšího zdroje. Tento vzduch je dekomprimován a před vstupem do násypky ohřátý na požadovanou hodnotu. Zdrojem tlakového vzduchu bývá kompresor. Po příchodu tlakového vzduchu z kompresoru do sušičky, dojde k jeho dekompresi na tlak na hladině moře a tím se získá rosný bod  $-21^{\circ}\text{C}$ , který je dostatečný pro vysušení libovolného polymerního materiálu.

Výhody sušení tlakovzdušnou sušárnou je v konstantních výsledcích po celou dobu životnosti zařízení.

Tab. 5 Parametrů pro sušení termoplastů [2], [6], [7]

Termoplasty určené pro vstřikování	Zbytkový obsah vody po vysušení [hm. %]	Doporučená teplota sušení [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Doba sušení v komorové sušárně [h]	Doba sušení suchým vzduchem [h]
PP/M, PP/SV	0,05	110	4	2-3
SB, SAN, ABS, TPE	0,05	70-80	4	2-3
PA6, PA6.6, PA11, PA12	0,20	80-85	6	4
PA6/M/SV, PA6.6/M/SV	0,20	80-90	6	4
CA, CAB, CAP	0,15	70-80	4	2-3
PC, PC/SV, PET, PET/SV	0,02	120	4	2-3
PC-ABS, PC-ABS/M	0,03	110-120	4	2-3
PBT, PBT/SV	0,03	120	4	3
PMMA	0,05	80-90	4	3
POM, POM/SV, mPPO	0,05	100-110	3	2
PSU	0,03	130	4	3
PPS	0,03	130-150	4	3

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Byl zadán experiment na základě občasných technologických problémů se zpracováním granulátu (rozptyl vstřikovacích tláků v určitých intervalech výroby) což způsobuje zvýšenou zmetkovitost v procesu. Způsobené vady jsou například nedostřik tenkostěnných dílců špatně zatékavých míst a žeber v dílci. Bakalářská práce se v prvním kroku zabývá analýzou sušicího procesu. Druhým krokem je závislost tokových vlastností taveniny na obsahu vody a při optimálních technologických parametrech

#### 3.1 Volba materiálu

Byly zvoleny dva druhy materiálu, které jsou ve výrobě více využívány a u kterých se často vyskytuje problém se zpracováním. Parametry a složení materiálu nalezneme v materiálovém listě daného materiálu viz příloha 1 a 2.

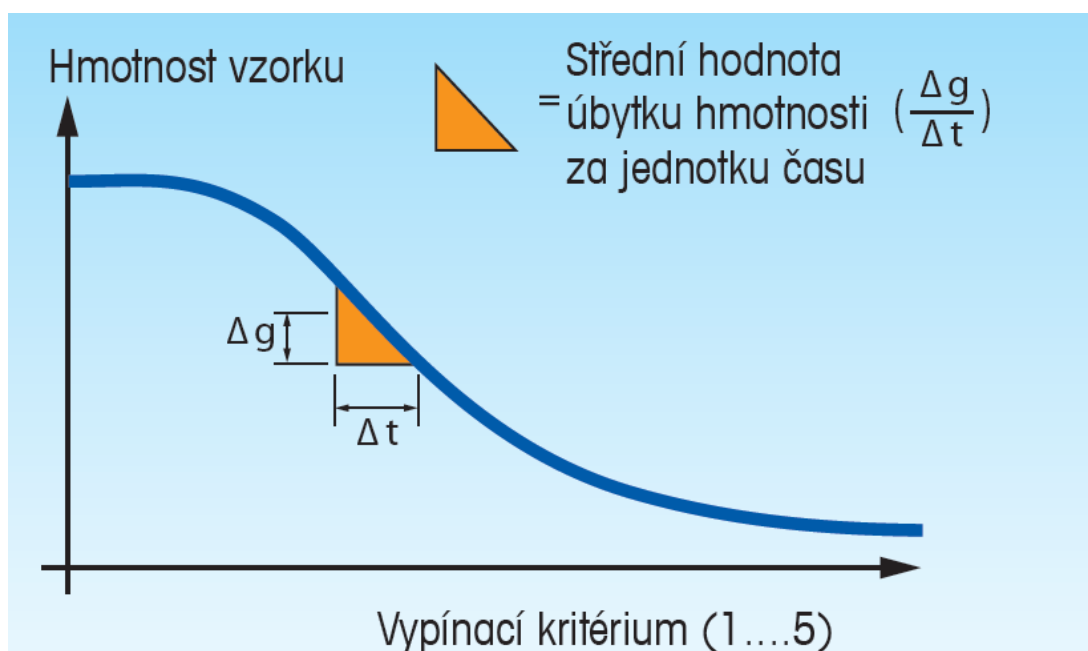
Jako první materiál byl testován Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6 následně bylo zařízení vyčištěno a byl testován materiál Polybutylen-terephthalat PBT – Ultradur B4406 G6

#### 3.2 Analýza vlhkosti materiálu

Před začátkem měření byly odebrány vzorky z oktabinu aby byla určena hodnota vlhkosti nevysušeného materiálu v závislosti na okolním prostředí. K tomuto kroku byl použit halogenový analyzátor vlhkosti Excellence Plus HX204 od firmy METTLER TOLEDO.

Použitá Metoda stanovení obsahu vlhkosti je na základě termogravimetrickém měření. Princip měření spočívá ve zvážení vzorku a následném zahřátí halogenovou lampou. Zařízení zaznamená počáteční váhu vzorku a následné změny váhy způsobené vysoušením vzorku halogenovým topným tělesem.

Proces je automaticky ukončen, jestliže je úbytek hmotnosti ( $\Delta g$ ) nižší než předepsaná hodnota za stanovenou časovou jednotku ( $\Delta t$ ). V našem případě 1 mg/140 s což je vypínací kritérium pro plast. Celkový úbytek hmotnosti se interpretuje jakožto obsah vlhkosti.



Obr. 20 Ukazatel měření [9]

### 3.3 Postup měření

Byl odebrán materiál do vzduchotěsné nádoby, která byla zaplněna až po okraj z důvodu zkreslení výsledku vzduchové mezery.

Zařízení bylo nastaveno podle doporučených hodnot od výrobce zařízení. Poté bylo spuštěno do režimu přehřevu na teplotu 100 °C cca na 15min.

Dalším krokem, bylo vytárování zařízení a následné nasypání materiálu od 20-30 g, který se musel rozprostřít stejnoměrně na hlinkové misce.

Po dodržení předchozích kroků byl spuštěn program AK/5

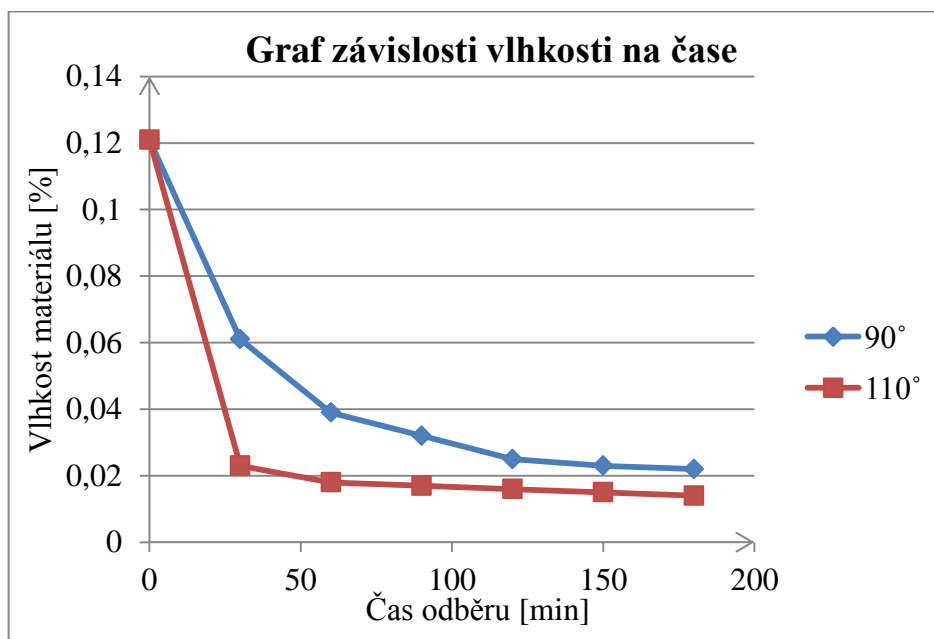
Byla provedena měření dvou výrobcem granulátu doporučených teplot sušení 90-110 °C a z důvodu možné odchylky byly provedeny dvě měření u stejného vzorku.

#### 3.3.1 Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6

Měření číslo 1: Hala 1

Tab. 5 Měření 1

Teplota sušení granulátu 90°C		Teplota sušení granulátu 110°C	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,121	0	0,121	0
0,061	30	0,023	30
0,039	60	0,018	60
0,032	90	0,017	90
0,025	120	0,016	120
0,023	150	0,015	150
0,022	180	0,014	180

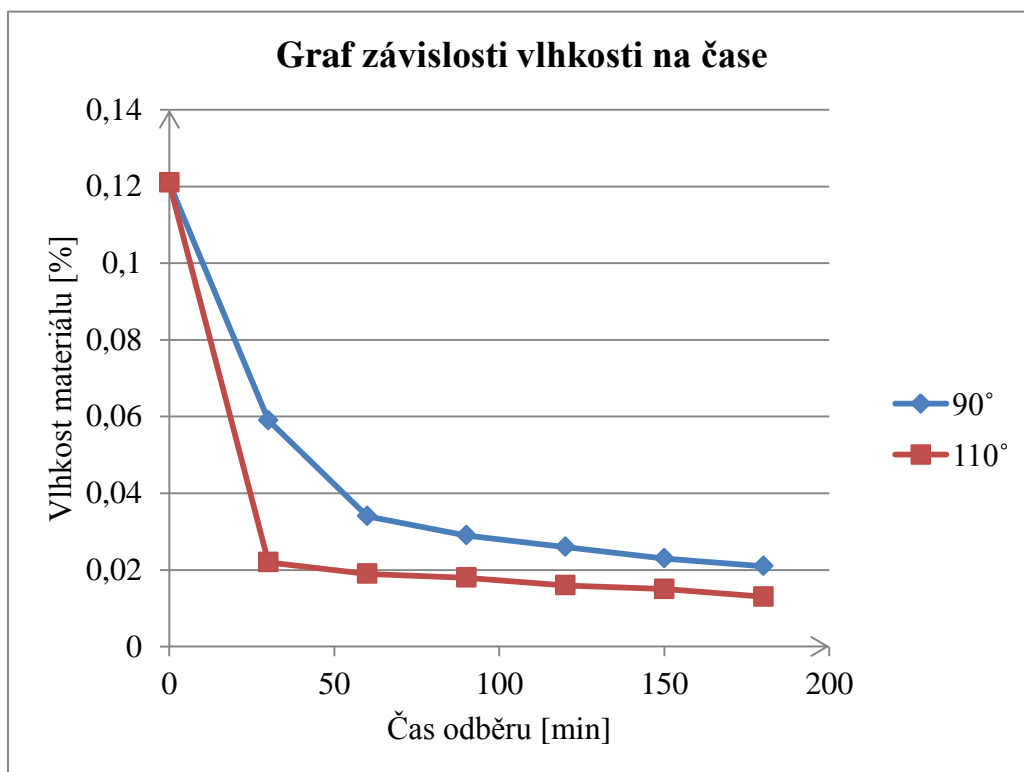


## Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6

Měření číslo 2: Hala 1

Tab. Měření 2

Teplota sušení granulátu 90°C		Teplota sušení granulátu 110°C	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,121	0	0,121	0
0,059	30	0,022	30
0,034	60	0,019	60
0,029	90	0,018	90
0,026	120	0,016	120
0,023	150	0,015	150
0,021	180	0,013	180

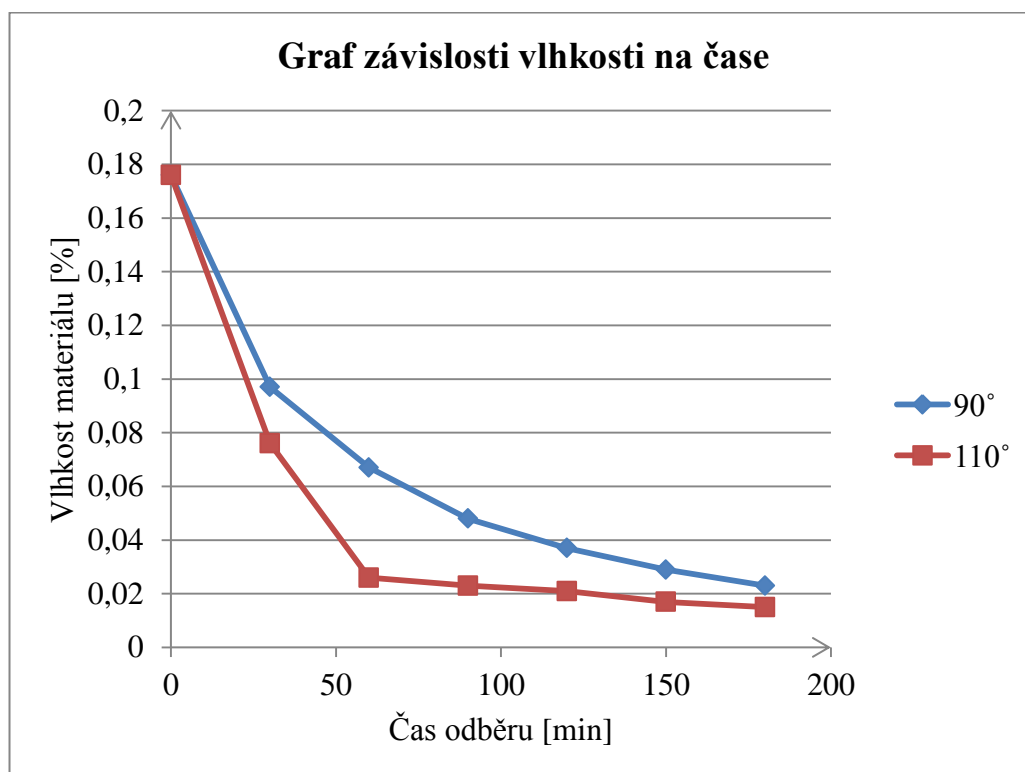


## Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6

Měření číslo 1: Hala 2

Tab. 5 Měření 1

Teplota sušení granulátu 90°C		Teplota sušení granulátu 110°C	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,176	0	0,176	0
0,097	30	0,076	30
0,067	60	0,026	60
0,048	90	0,023	90
0,037	120	0,021	120
0,029	150	0,017	150
0,023	180	0,015	180



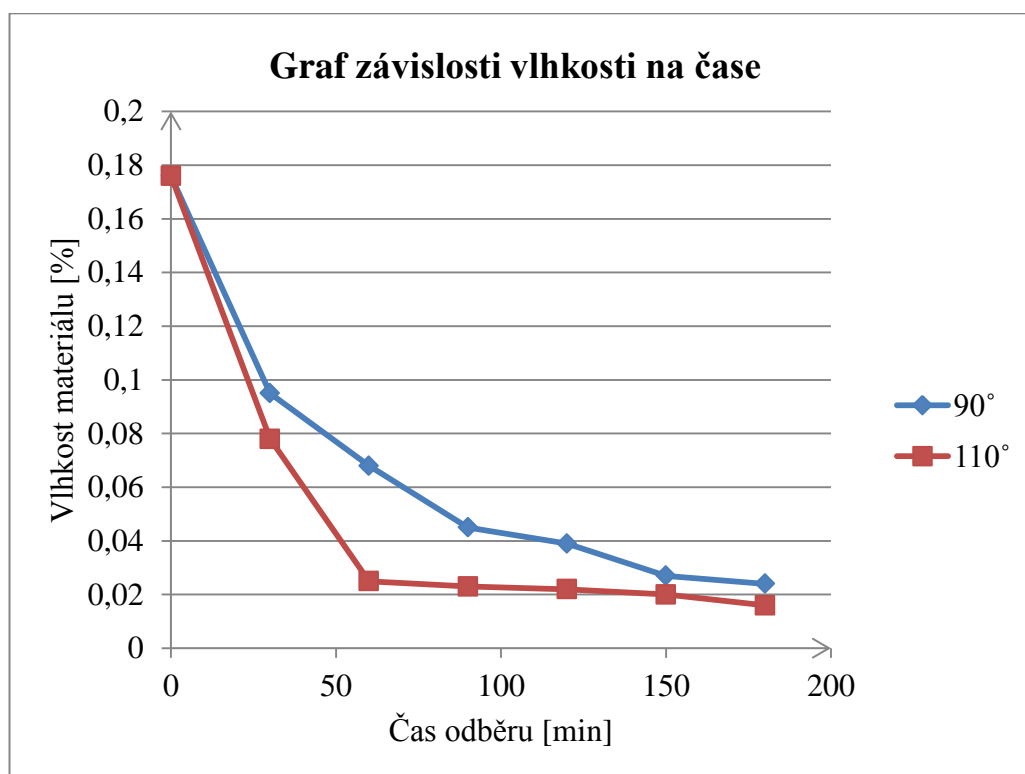


## Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6

Měření číslo 2: Hala 2

Tab. 5 Měření 2

Teplota sušení granulátu 90°C		Teplota sušení granulátu 110°	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,176	0	0,176	0
0,095	30	0,078	30
0,068	60	0,025	60
0,045	90	0,023	90
0,039	120	0,022	120
0,027	150	0,02	150
0,024	180	0,016	180



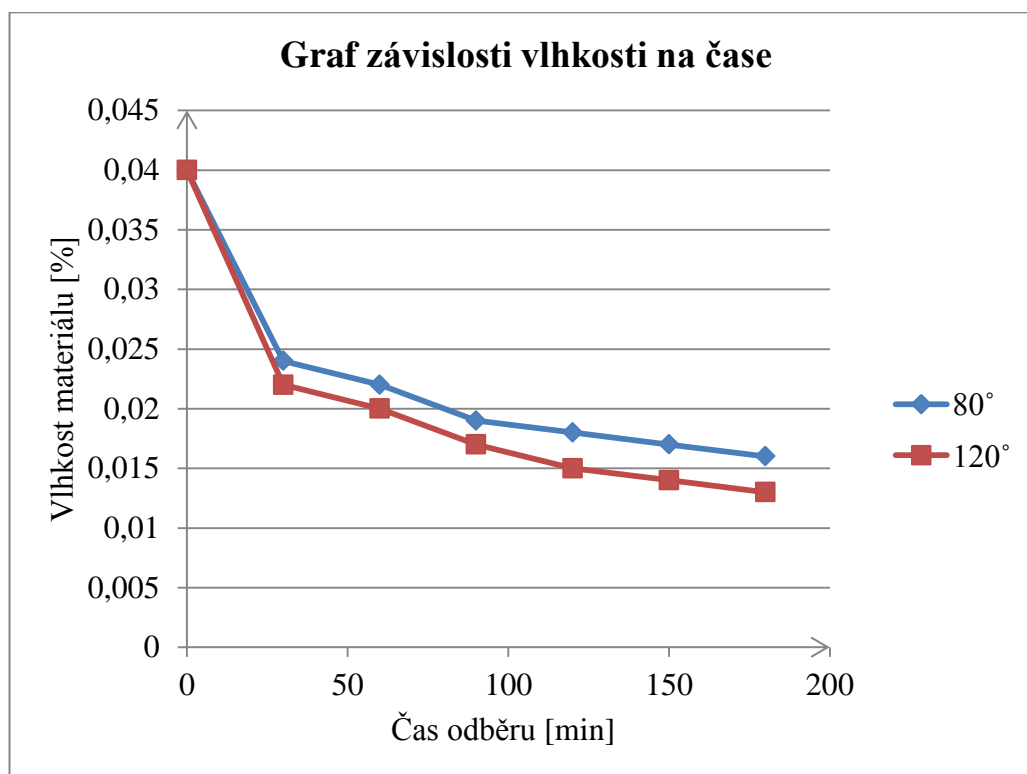
Při namátkové kontrole byla zjištěna rozdílná vlhkost vstupního materiálu mezi dvěma výrobními halami, možným důvodem může být různé umístění papírových oktabinů s materiálem, na hale jedna byl oktabin umístěn v přesně určených prostorych pro materiály přímo v sušárně. Na hale dva byl oktabin umístěn přímo ve výrobě kde je velká pravděpodobnost navlhnutí.

### 3.3.2 Polybutylen-terephthalat PBT – Ultradur B4406 G6

Měření číslo 1:

Tab. 5 Měření 1

Teplota sušení granulátu 80°		Teplota sušení granulátu 120°	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,04	0	0,04	0
0,024	30	0,022	30
0,022	60	0,02	60
0,019	90	0,017	90
0,018	120	0,015	120
0,017	150	0,014	150
0,016	180	0,013	180

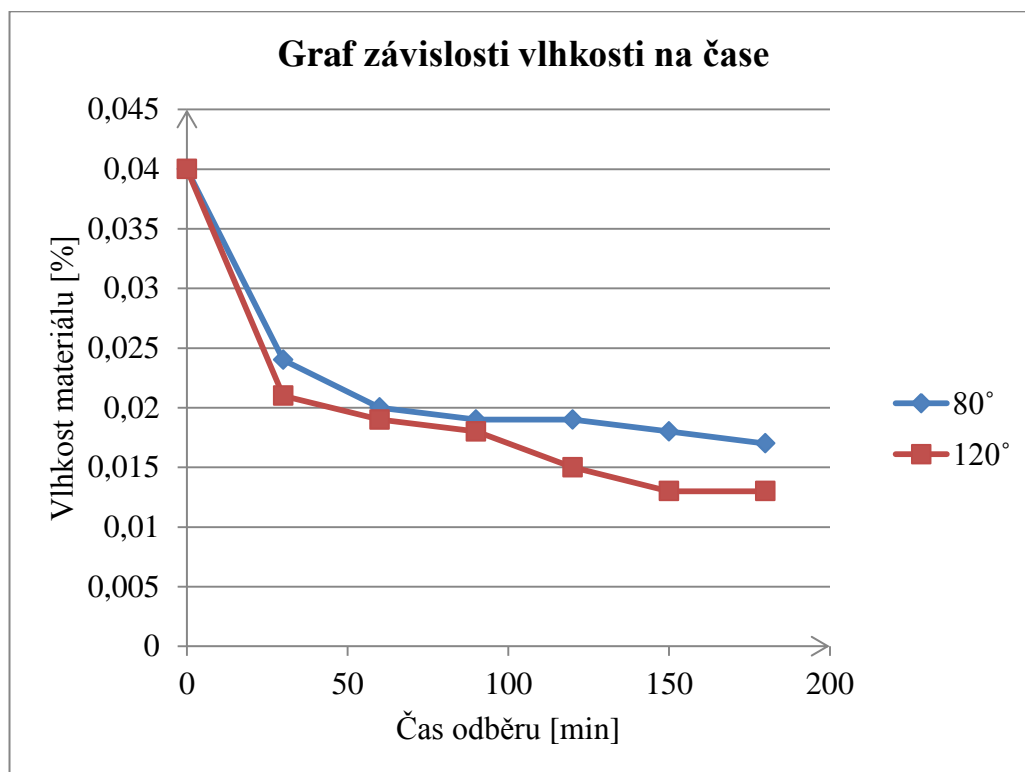


## Polybutylen-terephthalat PBT – Ultradur B4406 G6

Měření číslo 2:

Tab. Měření 2

Teplota sušení granulátu 80°		Teplota sušení granulátu 120°	
Vlhkost [%]	Čas odběru [min]	Vlhkost [%]	Čas odběru [min]
0,04	0	0,04	0
0,024	30	0,021	30
0,02	60	0,019	60
0,019	90	0,018	90
0,019	120	0,015	120
0,018	150	0,013	150
0,017	180	0,013	180



### 3.4 Sledování tokových vlastností na obsahu vody v granulátu

Experiment probíhal na zařízení ARBURG 570S 2000-400

S uzavírací silou 2000 kN

Velikost uzavírací jednotky 400 dle Euromap

Velikost průměru šneku 35



Obr. 24 Vstřikovací stroj [vlastní tvorba] Obr. 25 Temperační zařízení [vlastní tvorba]

Temperační zařízení HB-Therm 140

Pracuje na vodním přetlaku do 140 °C, standardně používaný u firmy SWOBODA.



Obr. 26 Sušící zařízení [vlastní tvorba]

Mobilní sušící zařízení ARBURG-Thermolift

Sušící zařízení které pracuje na principu sušení s nucený oběhem ohřátého vzduchu.

Z důvodu nedodání formy s dutinou ve tvaru Archimédovy spirály nebylo možné měřit délku zatečení taveniny ve spirále. Bylo nutné použití náhradní variantu, kdy díly byly vstřikovány bez dotlakové fáze s posunutým bodem přepnutí, tak aby bylo možné sledovat vliv vlhkosti na zatékavosti plastu. Vzhledem k obtížnému vyhodnocení zatékavosti měřením u reálného dílu byla zvolena metoda vážení.

### 3.5 Nastavení vstřikovacího stroje pro Polyamid Pa66 – Ultramid A3WG6

**dotlak**

Q	0.8	30.0			cm³/s
p	-30	25	25	25	bar
t	0.00	0.00	0.00	0.00	s
t					s
V	82.96				cm³

**teploty**

T	315	310	295	290	290	285	65	°C
T	315	310	295	290	290	285	65	°C
T +/-	5	5	5	5	5	5	+20	°C

provozní stav zóny topení válce přezkoušeny

**vstřikování**

objem dávky: 63.00 cm³      doba zpoždění: 0.00 s

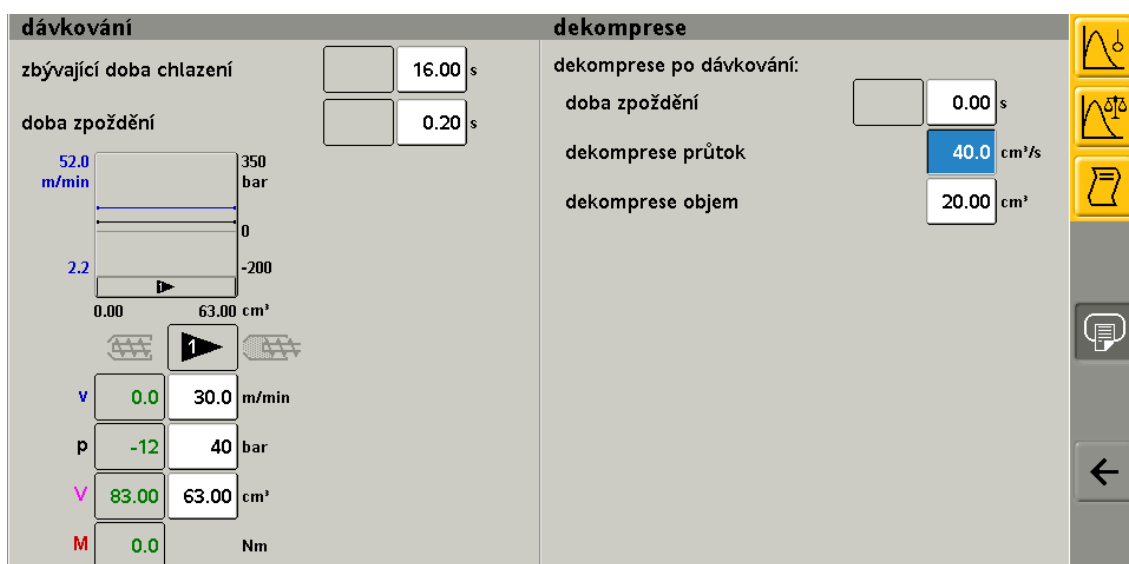
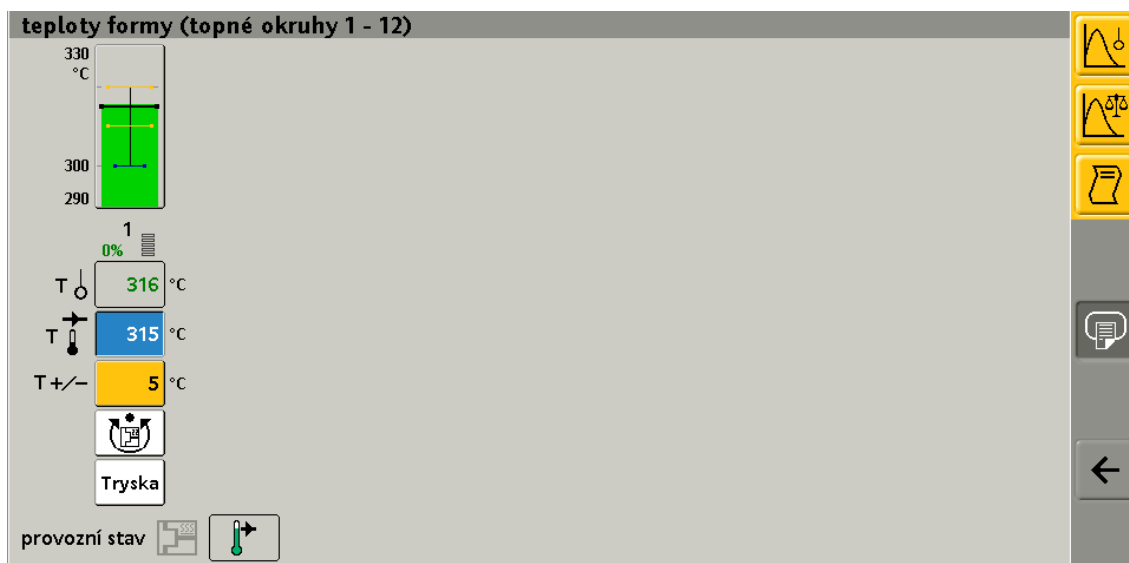
Q	-0.3	60.0	60.0	60.0	60.0	cm³/s
p	11	2500	2500	2500	2500	bar
V	83.02	22.00	28.00	50.00		cm³

konec vstřikování:

tlak při přepnutí: 2137 bar

objem při přepnutí: 20.00 20.00 cm³

čas přepnutí: 1.09 s



### 3.5.1 Průběh experimentu

Vstřikovací stroj a sušící zařízení bylo připraveno na provozní hodnoty pro daný materiál.

V prvním kroku byl otestován nevysušený materiál přímo ze skladu.

Poté co byla změřena hodnota nevysušeného materiálu, bylo sušící zařízení naplněno granulátem a porůzných časových intervalech tak aby byly znatelné rozdíly prováděn test na vstřikovacím stroji.

### Měření 1

±/∓		t008	t007 h:min	t4012	t4018	p4072	p4055	V4062	t4022
				s	s	bar	bar	cm <sup>3</sup>	s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✓		10.04	13:41	43.39	1.09	1808	1820	19.76	1.09
✗		10.04	13:42	34.97	1.09	1798	1798	19.76	1.09
✗		10.04	13:43	54.35	1.09	1779	1792	19.76	1.09
✓		10.04	13:44	43.94	1.09	1774	1775	19.76	1.09
✗		10.04	13:44	33.74	1.09	1766	1766	19.75	1.09
✗		10.04	13:45	34.49	1.09	1779	1780	19.77	1.09
✓		10.04	13:45	34.58	1.09	1785	1793	19.76	1.09
✓		10.04	13:46	36.30	1.09	1805	1805	19.76	1.09
✓		10.04	13:47	35.70	1.09	1821	1821	19.76	1.09
✓		10.04	13:47	42.03	1.09	1808	1808	19.75	1.09
✓		10.04	13:48	34.16	1.09	1813	1821	19.76	1.09
✓		10.04	13:49	34.30	1.09	1813	1813	19.75	1.09
✓		10.04	13:49	35.26	1.09	1809	1817	19.75	1.09
✓		10.04	13:50	36.55	1.09	1800	1812	19.76	1.09
✓		10.04	13:50	36.18	1.09	1798	1798	19.77	1.09
✓		10.04	13:51	30.50	1.09	1798	1799	19.76	1.09

### Měření 2

±/∓		t008	t007 h:min	t4012	t4018	p4072	p4055	V4062	t4022
				s	s	bar	bar	cm <sup>3</sup>	s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✓		01.05	09:41	35.20	1.09	1858	1858	19.75	1.09
✓		01.05	09:42	34.72	1.09	1868	1869	19.76	1.09
✓		01.05	09:42	34.40	1.09	1876	1879	19.75	1.09
✓		01.05	09:43	34.68	1.09	1852	1853	19.77	1.09
✓		01.05	09:44	35.06	1.09	1844	1845	19.76	1.09
✓		01.05	09:44	32.79	1.09	1867	1867	19.76	1.09
✓		01.05	09:45	36.28	1.09	1867	1867	19.76	1.09
✓		01.05	09:45	33.98	1.09	1870	1870	19.75	1.09
✓		01.05	09:46	33.78	1.09	1858	1863	19.77	1.09
✓		01.05	09:46	33.96	1.09	1857	1871	19.75	1.09
✓		01.05	09:48	82.43	1.09	1861	1866	19.76	1.09
✓		01.05	09:48	33.89	1.09	1853	1853	19.77	1.09
✓		01.05	09:49	36.65	1.09	1806	1809	19.77	1.09
✓		01.05	09:50	36.58	1.09	1815	1815	19.76	1.09
✓		01.05	09:50	46.05	1.09	1832	1832	19.75	1.09
✓		01.05	09:51	36.13	1.09	1850	1850	19.77	1.09

### Měření 3

±/∓		t008	t007 h:min	t4012	t4018	p4072	p4055	V4062	t4022
				s	s	bar	bar	cm <sup>3</sup>	s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✓		01.05	08:55	34.93	1.09	1888	1888	19.76	1.09
✓		01.05	08:56	34.23	1.09	1879	1885	19.77	1.09
✓		01.05	08:56	36.43	1.09	1879	1889	19.76	1.09
✓		01.05	08:57	33.85	1.09	1882	1891	19.76	1.09
✓		01.05	08:57	37.17	1.09	1878	1893	19.76	1.09
✓		01.05	08:58	33.11	1.09	1880	1880	19.76	1.09
✓		01.05	08:59	55.57	1.09	1880	1893	19.75	1.09
✓		01.05	08:59	35.62	1.09	1890	1890	19.76	1.09
✓		01.05	09:00	34.50	1.09	1874	1874	19.76	1.09
✓		01.05	09:01	34.31	1.09	1885	1885	19.75	1.09
✓		01.05	09:01	36.58	1.09	1901	1901	19.76	1.09
✓		01.05	09:02	33.71	1.09	1905	1908	19.76	1.09
✓		01.05	09:02	35.12	1.09	1897	1897	19.76	1.09
✓		01.05	09:03	35.22	1.09	1899	1899	19.76	1.09
✓		01.05	09:04	35.15	1.09	1883	1890	19.76	1.09
✓		01.05	09:04	29.23	1.09	1887	1887	19.75	1.09

### Měření 4

		t008	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	p4072 bar	p4055 bar	V4062 cm <sup>3</sup>	t4022 s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✓		01.05	10:29	56.77	1.09	1974	1976	19.77	1.09
✓		01.05	10:30	33.62	1.09	1986	1993	19.76	1.09
✓		01.05	10:31	32.83	1.09	1964	1966	19.76	1.09
✓		01.05	10:31	34.59	1.09	1966	1976	19.75	1.09
✓		01.05	10:32	32.89	1.09	1976	1976	19.77	1.09
✓		01.05	10:32	33.23	1.09	1987	1990	19.77	1.09
✓		01.05	10:33	33.64	1.09	1979	1981	19.76	1.09
✓		01.05	10:33	32.59	1.09	1983	1983	19.76	1.09
✓		01.05	10:34	34.96	1.09	1973	1973	19.75	1.09
✓		01.05	10:35	37.09	1.09	1988	1992	19.76	1.09
✗		01.05	10:35	35.48	1.09	1989	1989	19.77	1.09
✗		01.05	10:37	100.57	1.09	1976	1976	19.78	1.09
✓		01.05	10:38	38.87	1.09	1957	1959	19.77	1.09
✓		01.05	10:38	34.46	1.09	1938	1938	19.78	1.09
✓		01.05	10:39	34.05	1.09	1932	1936	19.76	1.09
✓		01.05	10:39	33.35	1.09	1966	1966	19.77	1.09

### Měření 5

		t008	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	p4072 bar	p4055 bar	V4062 cm <sup>3</sup>	t4022 s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✗		09.04	11:42	34.79	1.09	1885	1885	19.75	1.09
✗		09.04	11:42	35.84	1.09	1903	1903	19.76	1.09
✓		09.04	11:43	34.95	1.09	1903	1914	19.75	1.09
✓		09.04	11:43	35.54	1.09	1911	1911	19.76	1.09
✓		09.04	11:44	36.71	1.09	1905	1917	19.76	1.09
✓		09.04	11:44	34.68	1.09	1921	1929	19.76	1.09
✓		09.04	11:45	38.90	1.09	1914	1916	19.76	1.09
✓		09.04	11:46	40.65	1.09	1911	1911	19.76	1.09
✓		09.04	11:46	36.10	1.09	1905	1906	19.76	1.09
✓		09.04	11:47	34.04	1.09	1910	1913	19.76	1.09
✓		09.04	11:48	46.74	1.09	1897	1905	19.76	1.09
✓		09.04	11:48	41.04	1.09	1902	1914	19.75	1.09
✓		09.04	11:49	48.91	1.09	1895	1895	19.76	1.09
✓		09.04	11:50	33.87	1.09	1882	1895	19.76	1.09
✓		09.04	11:50	38.81	1.09	1877	1879	19.76	1.09
✓		09.04	11:51	45.87	1.09	1889	1889	19.76	1.09

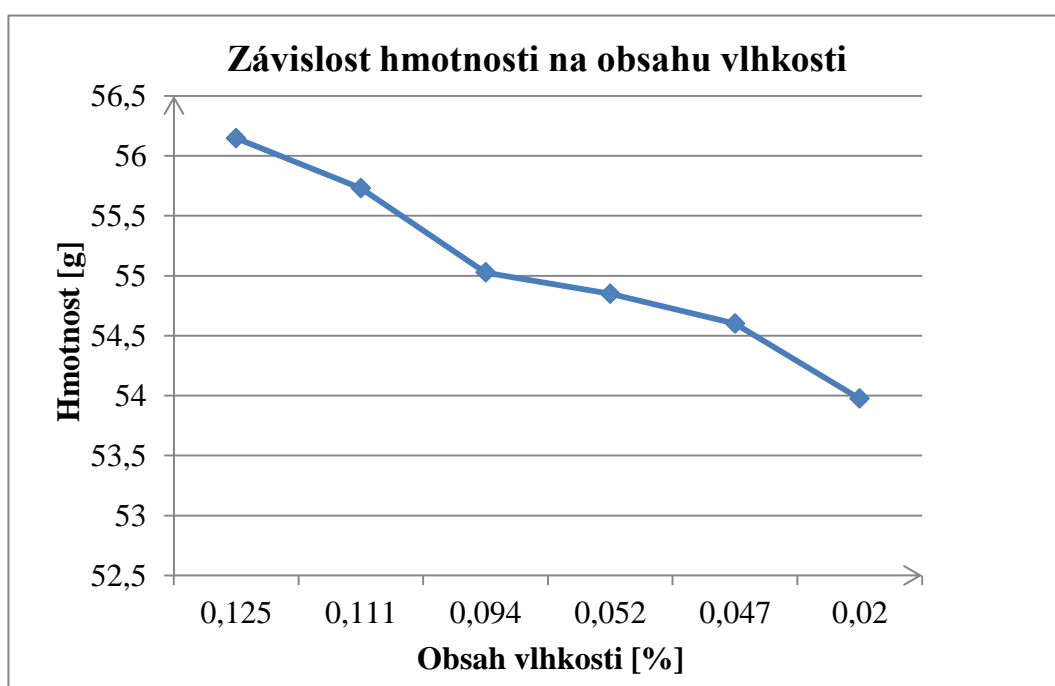
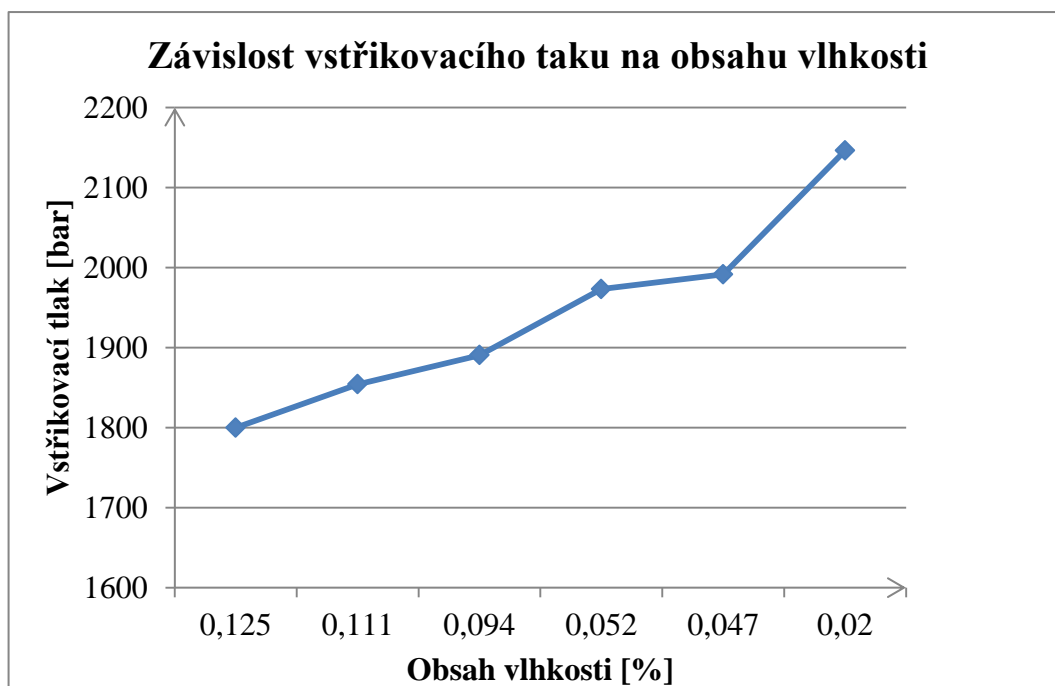
### Měření 6

		t008	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	p4072 bar	p4055 bar	V4062 cm <sup>3</sup>	t4022 s
				38.00	0.93	1600	2100	9.00	0.92
				3.00	0.10	400	400	1.50	1.00
✗		01.05	07:21	34.87	1.09	2149	2149	19.76	1.09
✗		01.05	07:22	34.79	1.09	2132	2132	19.78	1.09
✓		01.05	07:23	34.37	1.09	2139	2139	19.76	1.09
✓		01.05	07:23	35.64	1.09	2146	2146	19.77	1.09
✓		01.05	07:24	34.81	1.09	2148	2148	19.77	1.09
✓		01.05	07:24	35.58	1.09	2137	2137	19.78	1.09
✓		01.05	07:25	36.30	1.09	2143	2143	19.77	1.09
✓		01.05	07:26	35.65	1.09	2151	2151	19.77	1.09
✓		01.05	07:26	37.36	1.09	2141	2141	19.78	1.09
✗		01.05	07:27	35.05	1.09	2156	2156	19.77	1.09
✗		01.05	07:27	34.74	1.09	2149	2149	19.78	1.09
✓		01.05	07:28	33.64	1.09	2144	2144	19.79	1.09
✓		01.05	07:29	34.26	1.09	2133	2141	19.77	1.09
✓		01.05	07:29	33.62	1.09	2139	2142	19.77	1.09
✓		01.05	07:30	34.28	1.09	2163	2163	19.77	1.09
✓		01.05	07:30	34.47	1.09	2157	2157	19.77	1.09



Tab.

Tlak v dutině formy [bar]	Vstřikovací tlak [bar]	Vlhkost [%]	Hmotnost [g]
412,19	1800	0,125	56,146
418,375	1854,187	0,111	55,73
421,625	1890,625	0,094	55,026
438,875	1973,125	0,052	54,849
442,187	1991,562	0,047	54,54
464	2146,125	0,02	53,974



Dle předpokladu se potvrdil vliv vlhkosti na viskozitu materiálu, které ovlivňuje tokové vlastnosti. Kdy s vyšším obsahem vlhkosti klesá viskozita což má vliv na nižší velikost vstřikovacího tlaku a též zatékavost, která se projeví vyšší hmotností dílů.

Vzorek 1 obsahoval 0,125 % vlhkosti a vážil 56,146 g z obrázku číslo 27 lze pozorovat změny tvaru oproti vzorku 6, který obsahoval 0,02 % vlhkosti a vážil 53,974 g a který je na obrázku 28.

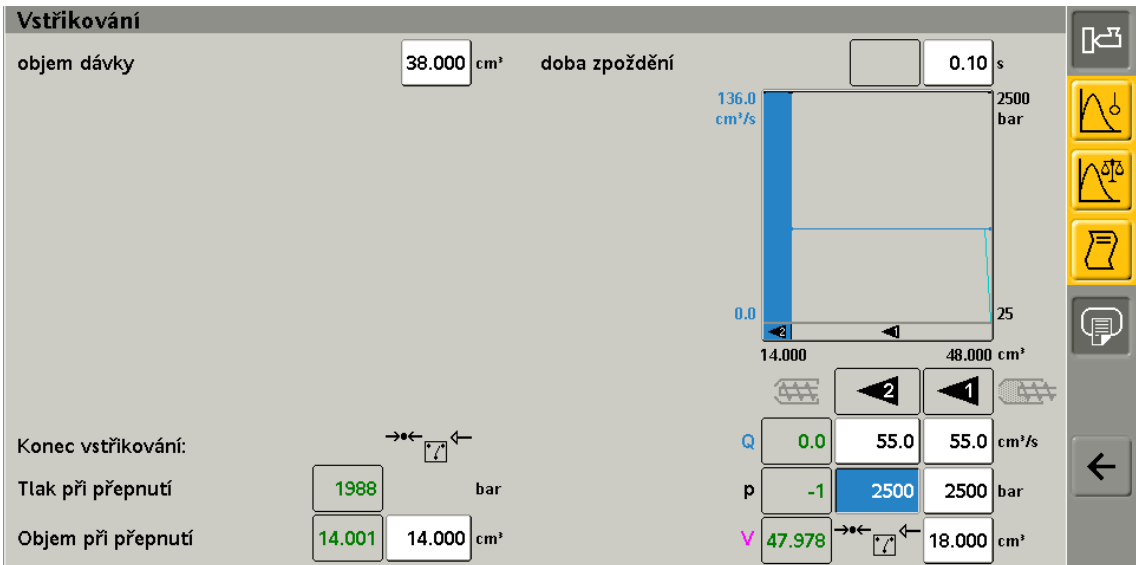
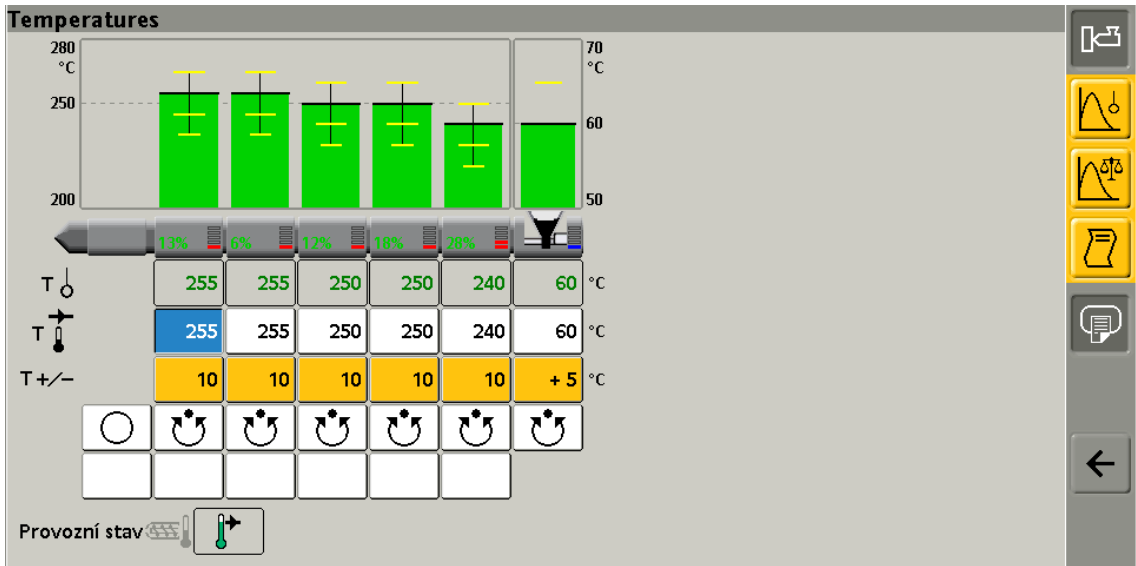
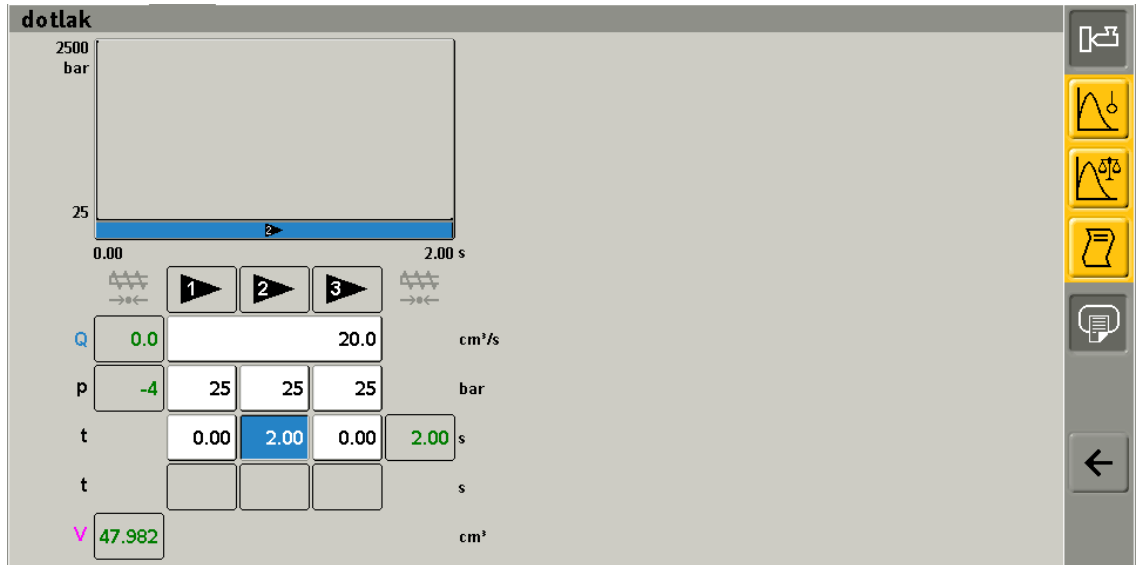


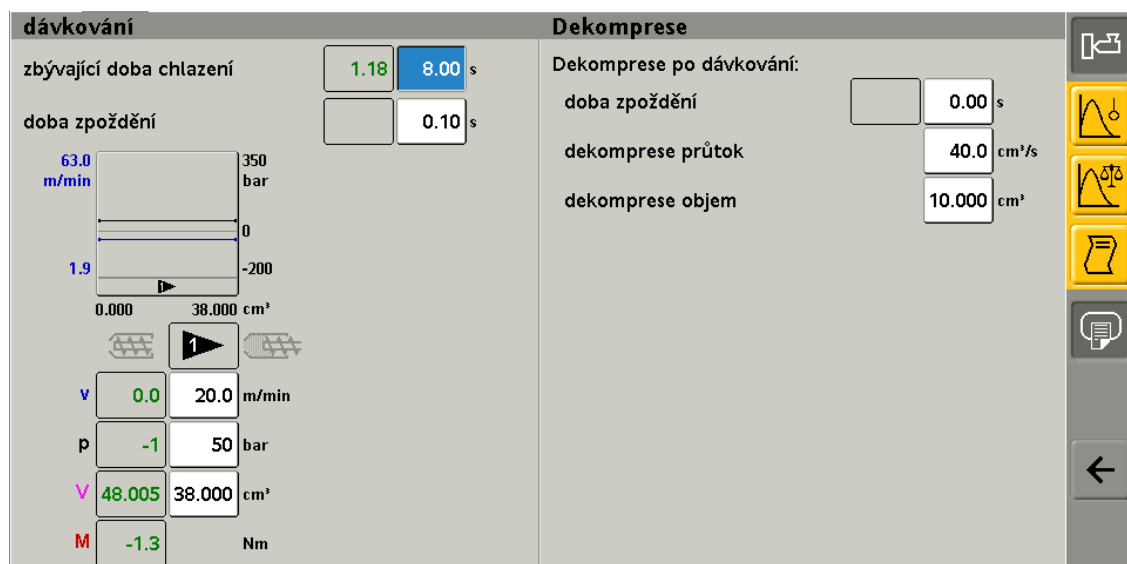
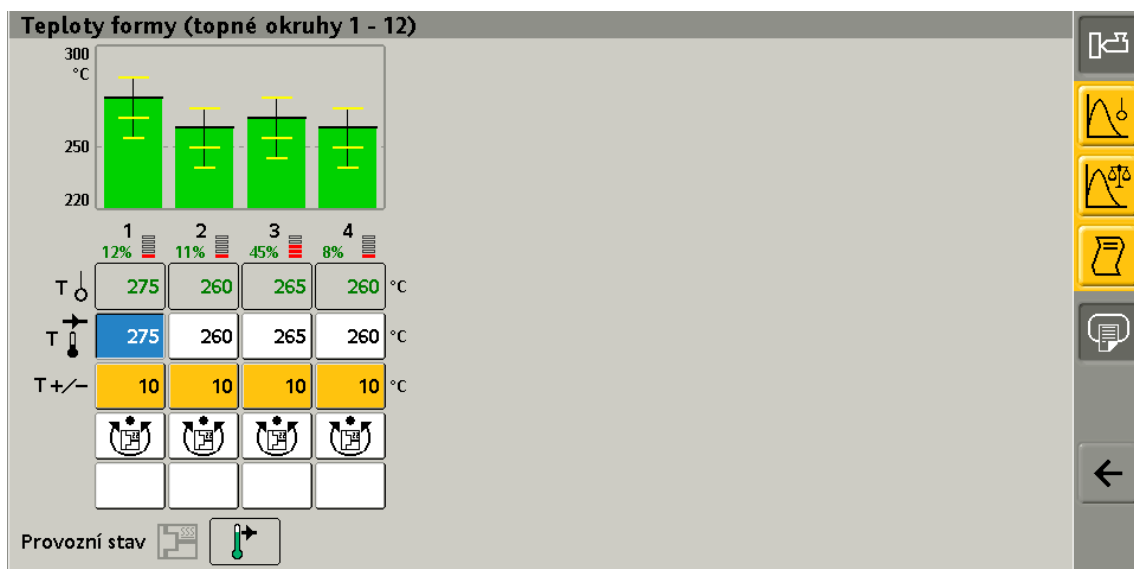
Obr. 27 Dílec [vlastní tvorba]



Obr. 28 Dílec [vlastní tvorba]

### 3.6 Nastavení vstřikovacího stroje pro Polybutylen-terephtalat PBT-Ultradur B4406 G6





### 3.6.1 Průběh experimentu

Vstřikovací stroj a sušící zařízení bylo připraveno na provozní hodnoty pro daný materiál.

V prvním kroku byl otestován nevysušený materiál přímo ze skladu.

Poté co byla změřena hodnota nevysušeného materiálu, bylo sušící zařízení naplněno granulátem a porůzných časových intervalech tak aby byly znatelné rozdíly prováděn test na vstřikovacím stroji.

### Měření 1

	f1403	f077	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	t4015 s	p4055 bar	p4072 bar	V4062 cm <sup>3</sup>
±/∠				21.00 3.00	0.89 0.10	4.00 2.00	2200 200	1400 150	7.600 1.500
✓	19	11052	07:42	18.42	0.64	2.69	2252	1990	13.855
✓	20	11054	07:42	18.41	0.64	2.68	2258	1995	13.816
✓	21	11056	07:42	18.42	0.64	2.68	2251	2005	13.836
✓	22	11058	07:43	18.41	0.64	2.67	2255	2005	13.820
✓	23	11060	07:43	18.43	0.64	2.72	2258	2002	13.828
✓	24	11062	07:43	18.42	0.64	2.68	2269	2006	13.816
✓	25	11064	07:44	18.43	0.64	2.64	2265	2008	13.816
✓	26	11066	07:44	18.41	0.64	2.63	2262	2008	13.847
✓	27	11068	07:44	18.41	0.64	2.63	2262	2007	13.797
✓	28	11070	07:44	18.42	0.64	2.62	2265	2005	13.813
✓	29	11072	07:45	18.42	0.64	2.73	2258	1994	13.820
✓	30	11074	07:45	18.41	0.64	2.80	2251	1996	13.832
↑				20.43	0.64	2.80	2302	2013	13.866
∅				19.02	0.64	2.60	2262	2000	13.831
σ				0.93	0.00	0.09	21	9	0.018
↓				18.41	0.64	2.42	2227	1978	13.797

### Měření 2

	f1403	f077	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	t4015 s	p4055 bar	p4072 bar	V4062 cm <sup>3</sup>
±/∠				21.00 3.00	0.89 0.10	4.00 2.00	2200 200	1400 150	7.600 1.500
✓	22	11132	08:30	18.42	0.64	2.81	1990	1860	13.840
✓	23	11134	08:31	18.42	0.64	2.75	1991	1853	13.851
✓	24	11136	08:34	18.42	0.64	2.81	1987	1837	13.820
✓	25	11138	08:34	18.41	0.64	2.83	1986	1848	13.851
✓	26	11140	08:34	18.40	0.64	2.76	1985	1844	13.851
✓	27	11142	08:35	18.40	0.64	2.86	1991	1835	13.820
✓	28	11144	08:35	18.42	0.64	2.85	1990	1848	13.828
✓	29	11146	08:35	18.42	0.64	2.89	1990	1841	13.840
✓	30	11148	08:35	18.41	0.64	2.84	1985	1842	13.847
✓	31	11150	08:36	18.42	0.64	2.78	1987	1849	13.840
✓	32	11152	08:36	18.40	0.64	2.76	1992	1859	13.843
✓	33	11154	08:36	18.40	0.64	2.80	1998	1853	13.828

### Měření 3

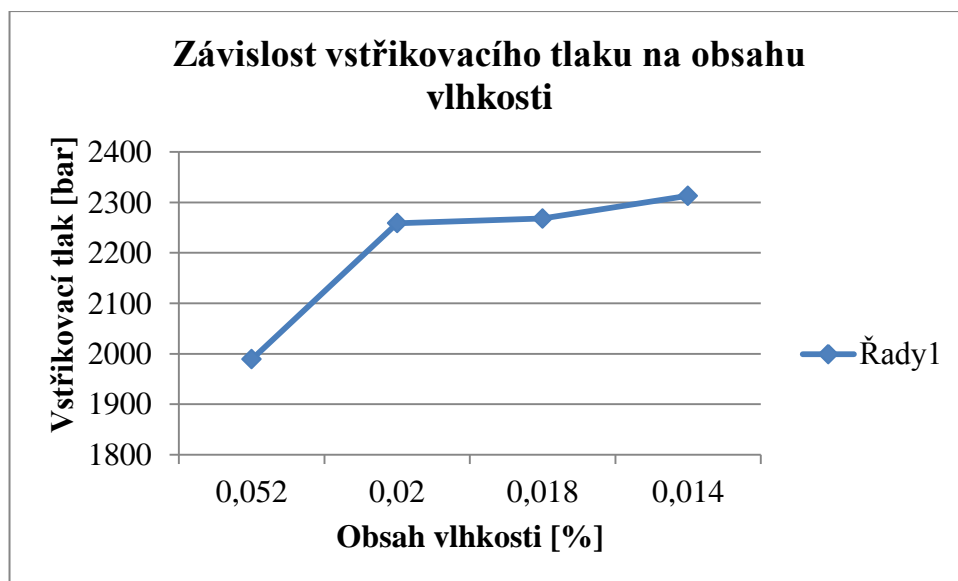
	f1403	f077	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	t4015 s	p4055 bar	p4072 bar	V4062 cm <sup>3</sup>
±/∠				21.00 3.00	0.89 0.10	4.00 2.00	2200 200	1400 150	7.600 1.500
✓	17	11234	11:02	18.39	0.64	2.69	2266	2015	13.843
✓	18	11236	11:03	18.39	0.64	2.74	2262	2012	13.855
✓	19	11238	11:03	18.40	0.64	2.86	2270	2008	13.828
✓	20	11240	11:03	18.39	0.64	2.86	2276	2003	13.859
✓	21	11242	11:04	18.40	0.64	2.72	2263	2019	13.855
✓	22	11244	11:04	18.39	0.64	2.69	2274	2016	13.870
✓	23	11246	11:04	18.40	0.64	2.64	2271	2026	13.870
✓	24	11248	11:05	18.39	0.64	2.71	2280	2023	13.816
✓	25	11250	11:05	18.40	0.64	2.77	2269	2022	13.863
✓	26	11252	11:05	18.39	0.64	2.74	2266	2010	13.813
✓	27	11254	11:05	18.40	0.64	2.75	2258	2021	13.847
✓	28	11256	11:06	18.39	0.64	2.73	2264	2011	13.836
↑				18.41	0.64	2.97	2280	2026	13.870
∅				18.40	0.64	2.73	2225	1984	13.843
σ				0.01	0.00	0.09	54	40	0.023
↓				18.39	0.64	2.61	2140	1910	13.793

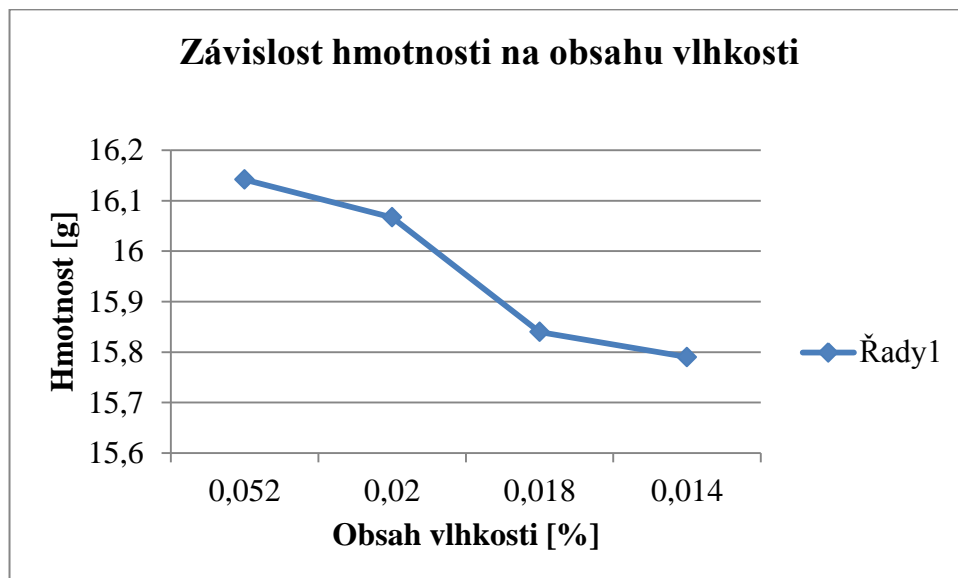
## Měření 4

	f1403	f077	t007 h:min	t4012 s	t4018 s	t4015 s	p4055 bar	p4072 bar	V4062 cm <sup>3</sup>
±				21.00 3.00	0.89 0.10	4.00 2.00	2200 200	1400 150	7.600 1.500
✓	6	11298	12:41	18.40	0.64	2.84	2317	2054	13.847
✓	7	11300	12:42	18.40	0.64	2.80	2323	2040	13.878
✓	8	11302	12:42	18.40	0.64	2.69	2312	2043	13.870
✓	9	11304	12:42	18.41	0.64	2.67	2315	2045	13.859
✓	10	11306	12:43	18.41	0.64	2.68	2318	2051	13.863
✓	11	11308	12:43	18.40	0.64	2.70	2322	2043	13.859
✓	12	11310	12:43	18.39	0.64	2.74	2318	2047	13.816
✓	13	11312	12:44	18.40	0.64	2.71	2308	2036	13.813
✓	14	11314	12:44	18.41	0.64	2.76	2313	2048	13.813
✓	15	11316	12:44	18.40	0.64	2.81	2316	2035	13.863
✓	16	11318	12:45	18.40	0.64	2.72	2304	2044	13.851
✓	17	11320	12:45	18.39	0.64	2.71	2311	2042	13.816
↑				18.41	0.64	2.84	2323	2054	13.878
∅				18.40	0.64	2.73	2310	2044	13.850
↓				0.01	0.00	0.05	12	5	0.021
				18.39	0.64	2.64	2278	2035	13.813

Tab

Vstřikovací tlak [bar]	Vlhkost [%]	Hmotnost [g]
1989	0,052	16,142
2259	0,02	16,067
2268	0,018	15,84
2313	0,014	15,79





Dle předpokladu se potvrdil vliv vlhkosti na viskozitu materiálu, která ovlivňuje tokové vlastnosti. Kdy s vyšším obsahem vlhkosti klesá viskozita což má vliv na nižší velikost vstřikovacího tlaku a též zatékavost která se projeví vyšší hmotností.

Vzorek 1 obsahoval 0,52 % vlhkosti a vážil 16,142 g z obrázku číslo 28 lze pozorovat změny tvaru, oproti vzorku 4, který obsahoval 0,014 % vlhkosti a vážil 15,79 g a který je též na obrázku.



Obr. 29 Dílec[vlastní tvorba]

## 4 ZÁVĚR

Testy prokázaly vliv vlhkosti na viskozitu materiálu. Zvýšený obsah vlhkosti v materiálu má vliv na nižší viskozitu taveniny což se projevuje nižšími vstřikovacími tlaky a lepším zatékáním. Nižší obsah vlhkosti vede k vyšším tlakům a horší zatékavosti.

Bylo prokázáno, že hodnoty naměřené vlhkosti materiálu Pa66-Ultramid jsou i 10 krát nižší než je minimální obsah daný výrobcem. Důvodem je skutečnost, že se obsah vlhkosti přímo projevuje na viskozitě. Příliš nízká zbytková vlhkost způsobuje tuhou taveninu a vyšší stříh materiálu v plastifikaci, což má za následek poškození materiálu a snížení viskozity. Příliš vysoká zbytková vlhkost zase způsobuje mimo jiné degradaci molekulových řetězců, a tím pádem zhoršené mechanické vlastnosti.

Toto může vysvětlovat občasné kolísání tlaků z neznámých příčin.

Doporučení pro firmu SWOBODA technologies je stanovení optimálních hodnot jednotlivých obsahů vlhkostí pro dané materiály, tak aby byla dodržena rovnováha mezi vstřikovacím tlakem (co nejmenší rozptyl), viskozitou taveniny a kvalitou povrchu dílce a zároveň obsah vlhkosti aby byl menší než doporučená hodnota od výrobce.

Dále by bylo vhodné zajistit stejnou vstupní vlhkost u jednotlivých materiálů tak aby byla zabezpečena stejná potřebná doba vysušení. Toto se dá zajistit speciálním uzavřením oktabinu s předsoušením viz obrázek ...



Obr. 30 Oktabín s krytem [vlastní tvorba]



## Seznam použitých zdrojů

1. SVOBODA, Rostislav. Vyznejte se ve vlastnostech plastů a jejich dělení. FactoryAutomation [online]. FANUC Czech, c2014–2018, 11. 9. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/vyznejte-se-ve-vlastnostech-plastu-a-jejich-deleni/>.
2. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 stran : ilustrace (převážně barevné). ISBN 978-80-271-0614-1.
3. LENFELD, Petr. *Recyklát* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/02.html>.
4. LENFELD, Petr. *Oktabín* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/02.html>.
5. LENFELD, Petr. *Vstříkovací stroj, tryska stroje* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
6. SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, tpracovatele a uživatele termoplastů / Svazek 1*. Verlag Dashöfer: Odborné nakladatelství technické literatury, 2001
7. SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, tpracovatele a uživatele termoplastů / Svazek 2*. Verlag Dashöfer: Odborné nakladatelství technické literatury, 2001.
8. LENFELD, Petr. *Vstříkovací stroj* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
9. LENFELD, Petr, Tomáš POUP, Jan BOČEK, Luboš BĚHÁLEK a Jan VYTLAČIL. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm).
10. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: VerlagDashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
11. ENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>.
12. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>.
13. LENFELD, Petr. Průběh vnitřního tlaku piv dutině formy během procesu vstřikování. In: *publi.cz: Technologie vstřikování* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z : <https://publi.cz/books/184/03.html>.

14. SEIDL, Martin . Shéma vstřikovacího stroje. In: publi.cz: *stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z <https://publi.cz/books/181/03.html>
15. SEIDL, Martin. Pohled na ovladačí panel. In: publi.cz: *stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/08.html>
16. SEIDL, Martin. Schéma uzavírací jednotky. In: publi.cz: *stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
17. SEIDL, Martin. Shéma vstřikovací jednotky. In: publi.cz: *stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/06.html>
18. SEIDL, Martin. Uzávěrka a její funkce. In: publi.cz: *stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/04.html>
19. LENFELD, Petr. Technologie II: Tváření kovu a zpracování plastů [online]. Liberec [cit.2019-05-24].Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
20. 14220.cz, Teorie strojírenské technologie. *Tváření plastů a výroba forem II.* [online]. 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>
21. BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2019-05-24]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>.
22. Plasty. In: *Katedra materiálu* [online]. Liberec, c2010 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/NOM2/PLASTY\\_podklady.pp](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/PLASTY_podklady.pp)
23. Struktura polymerů. In: *Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity: Sekce fyziky* [online]. Brno: Pedagogická fakulta MU, 2013 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z:<http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
24. LENFELD, Petr, Tomáš POUP, Jan BOČEK, Luboš BĚHÁLEK a Jan VYTLAČIL. Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu. In: *Technická univerzita v Liberci: Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec, c2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné 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).

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK


PBT	Polybutylen-terephthalat	
PA	Poliamid	
$t_v$	Vstřikovací fáze	[s]
$t_d$	Dotlaková fáze	[s]
$t_{pl}$	Plastikační fáze	[s]
$t_{ch}$	Chladicí fáze	[s]

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1. Materiálový list

PŘÍLOHA 1. Materiálový list

# Příloha číslo 1 Materiáloví list Ultradur

<b>Product Information</b>	<b>Ultradur®</b>	 We create chemistry
	B 4406 G6	
07/2017	<b>PBT-GF30 FR(17)</b>	

## Product description

Injection molding grade with 30 % glass fibers for parts requiring enhanced fire resistance (eg potentiometer parts, plug-and-socket connectors, switches).

Abbreviated designation according to ISO 1043-1: PBT FR(17)  
CLASSIFICATION ACCORDING TO ISO 7792-1:  
Moulding Compound ISO 7792-PBT, MFGHLNR, 11-110, GF30

## Physical form and storage

Standard packaging includes the 25-kg-bag and the 1000 kg octabin (octagonal container). Other forms of packaging are possible subject to agreement. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. Further precautions for preliminary treatment and drying are described in the processing section of the brochure. The bulk density is about 0,7 to 0,8g/cm<sup>3</sup>.

Ultradur® can be stored for a longer period of time in dry, well vented rooms without causing problems in processing. Ultradur® should generally have a moisture content of less than 0,04% when being processed.

In order to ensure reliable production, therefore, pre-drying should generally be the rule and the machine should be loaded via a closed conveyor system. Appropriate equipment is commercially available. Pre-drying is also for the addition of batches, e.g. in the case of inhouse pigmentation.

In order to prevent the formation of condensed water, containers stored in unheated rooms must only be opened when they have attained the temperature prevailing in the processing area. This can possibly take a very long time. Measurements have shown that the interior of a 25-kg bag originally at 5°C had reached the temperature of 20°C in the processing area only after 48 hours.

## Product safety

Ultradur® melts are stable at temperatures up to 280°C and do not give rise to hazards due to molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers, however, Ultradur decomposes on exposure to excessive thermal stresses, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. At temperatures of > 290 °C can be emitted: carbon monoxide, tetrahydrofuran.

Under special fire conditions traces of other toxic substances are possible. Formation of further decomposition and oxidation products depends upon the fire conditions.

When Ultradur® is properly processed and there is adequate suction at the die no risks to health are to be expected. Further safety information see safety data sheet of individual product.

Safety data sheet could be ask for at the Ultra-Infopoint under tel: 0621/60-78780 or fax:0621/60-78730.

## Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

# Ultradur® B 4406 G6



## Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C <sup>1)</sup>	Test method	Unit	Values <sup>2)</sup>
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	PBT-GF30 FR(17)
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1650
Viscosity number (solution 0,005 g/ml Phenole/1,2 Dichlorbenzol 1:1)	ISO 307, 1157, 1628	cm <sup>3</sup> /g	108
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	0.4
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	0.20
<b>Processing</b>			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	223
MVR 275 °C/2.16 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	8
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	250 - 275
Mould temperature, injection moulding	-	°C	60 - 100
Molding shrinkage, model-housing 1.5 mm	-	%	0.5 - 0.6
<b>Thermal properties</b>			
Deflection temp. 1.8 (HDT A)	ISO 75-1/-2	°C	205
Deflection temp. under load 0.45 MPa (HDT B)	ISO 75-1/-2	°C	220
<b>Flammability (UL yellow card see attachment)</b>			
GWFI (thickness)	IEC 60695-2-12	°C (mm)	960 (1)
<b>Electrical properties</b>			
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.9
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	150
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E14
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	1E13
CTI, solution A	IEC 60112	-	200
<b>Mechanical properties</b>			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	11300
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	145
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	2.3
Charpy unnotched impact strength, 23°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	60
Charpy unnotched impact strength, -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	55
Charpy notched impact strength, 23°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	10

# Ultradur® B 4406 G6



## UL - Yellow Card

The information presented on the UL Prospector datasheet was acquired by UL Prospector from the producer of the material. UL Prospector makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, UL Prospector assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Component - Plastics

E41871

### BASF SE

Performance Materials Europe, E-PME/NQ - H201, Ludwigshafen 67056 DE

### B4406 G6(a1), B4406 G6 (o) Q717(a1), B4406 G6 (o) Q717 High Speed(a1)

Polybutylene Terephthalate (PBT) "Ultradur", furnished as pellets

	Min Thk (mm)	Flame Class	HWI	HAI	RTI Elec	RTI Imp	RTI Str
Color	0.40	V-0	4	1	140	125	125
	0.75	V-0	3	0	140	130	125
	1.5	V-0, 5VA	0	0	140	130	130
	3.0	V-0, 5VA	0	0	140	130	130

Comparative Tracking Index (CTI): 3      Inclined Plane Tracking (IPT): -

Dielectric Strength (kV/mm): 23      Volume Resistivity (10<sup>9</sup>ohm-cm): 17

High-Voltage Arc Tracking Rate (HVTR): 2      High Volt, Low Current Arc Resis (D495): 7

Dimensional Stability (%): 0

(a1) - Virgin and regrind up to 50% by weight have the same basic characteristics to the minimum thickness of 0.75mm except for the 5VA ratings.

(o) - May be replaced by a word indicating color or a word followed with a three to five digit number indicating color.

ANSI/UL 94 small-scale test data does not pertain to building materials, furnishings and related contents. ANSI/UL 94 small-scale test data is intended solely for determining the flammability of plastic materials used in the components and parts of end-product devices and appliances, where the acceptability of the combination is determined by UL.

Report Date: 1985-11-06

© 2017 UL LLC

Last Revised: 2014-06-05



# Příloha číslo 1 Materiáloví list Ultramid

<b>Product Information</b>	<b>Ultramid® A3WG6</b> <b>(PA66-GF30)</b>	 <b>BASF</b> The Chemical Company
June 2005		

## Product description

Glass fibre reinforced and heat aging resistance injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, water containers for automotive cooling systems. A3EG6 is the preferred grade for producing electrically insulating parts.

## Physical form and storage

Ultramid is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are the special 25kg bag and the 1000kg bulk container (octagonal IBC= intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after portions of material have been withdrawn. Ultramid can be kept indefinitely in the undamaged bags. Experience has shown that product supplied in IBCs can be stored for about 3 months without any adverse effects on processing properties due to moisture absorption. Containers stored in cold rooms should be allowed to equilibrate to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

## Product safety

Ultramid melts are thermally stable at the usual temperature for A, B and C up to 310°C and 350°C for T and do not give rise to hazards due to molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers Ultramid decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. In such cases gaseous decomposition products are formed. Decomposition accelerates above 310°C (T >350°C) approximately, the initial products formed being mainly carbon monoxide and ammonia, and caprolactam too in the case of Ultramid B. At temperatures above about 350°C (T >400°C) small quantities of pungent smelling vapors of aldehydes, amines and other nitrogenous decomposition products are also formed.

Further safety information see safety data sheet of the individual product.

## Note

The information submitted in this publication is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application, these data do not relieve processors of the responsibility of carrying out their own tests and experiments; neither do they imply any legally binding assurance of certain properties or of suitability for a specific purpose. It is the responsibility of those to whom we supply our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

Typical values at 23°C <sup>1)</sup>	Test method	Unit	Condition	Values
<b>Properties</b>				
Abbreviated term	ISO 1043	-	-	PA66-GF30
Density	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	-	1.36
Viscosity number (solution 0.005 g/ml sulfuric acid)	ISO 307	ml/g	-	145
Colour: natural (n), coloured (c), black (bk)	-	-	-	n,bk
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	ISO 62	%	-	5.20 - 5.80
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	ISO 62	%	-	1.50 - 1.90
<b>Processing</b>				
Melting temperature, DSC	ISO 3146	°C	-	260
Melt volume rate MVR 275/5	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10 min	-	40
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	-	280 - 300
Mould temperature, injection moulding	-	°C	-	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained <sup>5)</sup>	-	%	-	0.55
<b>Flammability</b>				
UL94 rating at 1.6 mm thickness	UL 94	class	-	HB
Automotive materials (thickness d ≥ 1mm)	FMVSS 302	-	-	+
<b>Mechanical properties</b>				
Tensile modulus	ISO 527-2	MPa	dry/cond.	10000/7200
Yield stress (v = 50 mm/min), Stress at break (v = 5 mm/min)*	ISO 527-2	MPa	dry/cond.	190*/130*
Yield strain (v = 50 mm/min)	ISO 527-2	%	dry/cond.	
Nominal strain at break, Strain at break*	ISO 527-2	%	dry/cond.	3.0*/5.0*
Tensile creep modulus, 1000 h, strain ≤ 0.5%, +23°C	ISO 899-1	MPa	cond.	5300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	dry/cond.	8600/6500
Flexural strength	ISO 178	MPa	dry/cond.	280/210
Charpy unnotched impact strength <sup>3)</sup> +23°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry/cond.	85/100
Charpy unnotched impact strength -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	dry	70
Charpy notched impact strength <sup>3)</sup> +23°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry/cond.	13.0/22.0
Charpy notched impact strength -30°C	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	dry	10.0
Izod notched impact strength 1A <sup>3)</sup> +23°C	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	dry/cond.	11.5/15.5
Izod notched impact strength 1A -30°C	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	dry	
Ball indentation hardness H 358/30, H 961/30*	ISO 2039-1	MPa	dry/cond.	240*/190*
<b>Thermal properties</b>				
Deflection temperature 1.8 MPa (HDT A)	ISO 75-2	°C	-	250
Deflection temperature 0.45 MPa (HDT B)	ISO 75-2	°C	-	250
Max. service temperature (short cycle operation) <sup>2)</sup>	-	°C	-	240
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h / 5000 h	IEC 216-1	°C	-	145 / 175
Thermal coefficient of linear expansion, longitudinal / transverse (23-80)°C	DIN 53752	10 <sup>-4</sup> /K	-	0.2 - 0.3 / 0.6 - 0.7
Thermal conductivity	DIN 52 612	W(m · K)	-	0.35
Specific heat capacity	-	J(kg · K)	-	1500.00
<b>Electrical properties</b>				
Dielectric constant at 1 MHz	IEC 60250	-	dry/cond.	3.5/5.6
Dissipation factor at 1 MHz	IEC 60250	10 <sup>-4</sup>	dry/cond.	140/3000
Volume resistivity	IEC 60093	Ω · m	dry/cond.	10 <sup>13</sup> /10 <sup>10</sup>
Surface resistivity	IEC 60093	Ω	dry/cond.	10 <sup>12</sup> /10 <sup>10</sup>
CTI, solution A	IEC 60112	-	cond.	450