



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

DISERTAČNÍ PRÁCE

Vliv vlastností polymerů a kvality tokových kanálů na zatékavost taveniny

The Influence of Polymer Properties and Runner Quality on Melt Fluidity

Autor: Ing. Štěpán Šanda

Program: P2808 Chemie a technologie materiálů
Obor: 2808V009 Chemie a technologie materiálů

Školitel: doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

Zlín 2012

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval školiteli doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a obětavý přístup při řešení problematiky spojené se zpracováním této disertační práce a absolvování doktorského studia.

Mé poděkování patří také zaměstnancům Ústavu výrobního inženýrství FT UTB ve Zlíně. Zejména pak doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. a Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za cenné připomínky, rady a pomoc při zpracovávání této práce. Obzvláště pak děkuji doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za trpělivost a pomoc při vyhodnocování získaných výsledků.

Dále nemohu opomenout pana Ing. Petra Mikuše ze společnosti BASF. Děkuji mu za cenné rady a poskytnutí polymerních materiálů pro tuto práci.

Upřímné poděkování patří také mým nejbližším, zejména manželce Zdence a rodičům za trvalou morální i materiální podporu, kterou mi poskytovali během celého studia.

Ing. Štěpán Šanda

ABSTRAKT

Disertační práce pojednává o vlivu tokových kanálů, zejména vtokových ústí, na kvalitu vstřikovaného výrobku. Kvalita je reprezentována mechanickými vlastnostmi vstřikovaného dílu. Vybraná vtoková ústí představují odlišné způsoby plnění dutiny formy. K experimentům byl použit jeden typ polymeru v několika modifikacích – neplněný a s různým obsahem plniva. V práci byl sledován vliv vtokových ústí na vlastnosti výrobku s ohledem na množství plniva. Práce popisuje postup jak provést porovnání i zhodnocení libovolných vtokových ústí.

Klíčová slova:

Vstřikování, Polymery, Vstřikovací forma, Vtokový systém, Mechanické vlastnosti

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of runner channels and especially of gates on the quality of injected polymer parts. The quality is represented by the mechanical properties of the injected part. The selected gates represent various ways of filling mould cavities. One type of polymer in several modifications – unfilled and with different filler content, was used in the experiments. The paper examined the effect of gates on the product properties with respect to the amount of filler. The work describes the method used to make comparisons and to evaluate different types of gates.

Key words:

Injection moulding, polymers, injection mould, gate system, mechanical properties.

OBSAH

ÚVOD	13
------	----

TEORETICKÁ ČÁST

1. POLYMERY	17
-------------	----

1.1 Klasifikace polymerů	17
--------------------------	----

1.1.1. Makromolekulární stavba polymerů	18
---	----

1.1.2. Fázové stavy polymerů	18
------------------------------	----

1.1.3. Molekulová hmotnost	19
----------------------------	----

1.2 Vlastnosti polymerů	20
-------------------------	----

1.2.1. Mechanické vlastnosti	20
------------------------------	----

1.2.2. Tepelné a termodynamické vlastnosti	21
--	----

1.2.3. Reologické vlastnosti	22
------------------------------	----

2. VSTŘIKOVÁNÍ	25
----------------	----

2.1 Principy vstřikování	25
--------------------------	----

2.1.1. Vstřikovací proces	25
---------------------------	----

2.1.2. Fyzikální popis vstřikovacího procesu	26
--	----

2.1.3. Tvářecí diagram – procesní okno	27
--	----

2.2 Anizotropie vstřikovaných výrobků	28
---------------------------------------	----

2.2.1. Orientace u termoplastických výrobků	28
---	----

2.2.2. Vliv vstřikování na velikost vláken	29
--	----

2.3 Tuhnutí termoplastických výrobků	30
--------------------------------------	----

2.4 Residuální napětí, smrštění a deformace	31
---	----

2.5 Vstřikovací stroj	32
-----------------------	----

2.5.1. Uzavírací jednotka	32
---------------------------	----

2.5.2. Plastikační (vstřikovací) jednotka	33
---	----

2.5.3.	<i>Řídicí systém a přidružená zařízení</i>	33
3.	VSTŘIKOVACÍ FORMY	34
3.1	Rozdělení vstřikovacích forem	34
3.2	Materiály vstřikovacích forem	35
3.3	Funkční části vstřikovacích forem	35
3.3.1.	<i>Tvarové části formy (dutiny)</i>	35
3.3.2.	<i>Upínání a středění vstřikovací formy</i>	36
3.4	Studený vtokový systém	37
3.4.1.	<i>Studená vtoková vložka</i>	37
3.4.2.	<i>Studené rozvodné kanály</i>	37
3.4.3.	<i>Studená vtoková ústí</i>	39
3.4.4.	<i>Plnění jedné dutiny více vtoky</i>	43
3.4.5.	<i>Pozice studených vtokových ústí</i>	44
3.4.6.	<i>Vliv vtokových ústí na smrštění</i>	44
3.4.7.	<i>Přidržovač vtoku</i>	45
3.5	Horký vtokový systém	46
3.5.1.	<i>Zesílené vtoky a izolované vtokové soustavy</i>	46
3.5.2.	<i>Moderní horké vtokové systémy</i>	47
3.6	Vyhazovací systém	48
3.6.1.	<i>Požadavky na vyhození</i>	48
3.6.2.	<i>Typy vyhazovacích systémů</i>	49
3.7	Temperační systém	51
3.7.1.	<i>Konstrukční řešení, požadavky, zásady</i>	51
3.7.2.	<i>Temperační prostředky</i>	53
3.8	Odvzdušňovací systém	54

4. VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	55
4.1 Materiály vstřikovaných výrobků	55
4.2 Konstrukce vstřikovaných výrobků	55
4.3 Vady vstřikovaných výrobků	58
5. MECHANICKÉ ZKOUŠKY	64
5.1 Mechanické vlastnosti	64
5.2 Typy mechanických zkoušek	65
6. ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	67
PRAKTICKÁ ČÁST	
7. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	71
8. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	72
9. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	73
9.1 Vstřikovací forma	73
9.1.1. <i>Popis tvarových částí</i>	73
9.2 Polymerní materiál	75
9.3 Příprava zkušebních těles	76
9.3.1. <i>Vstřikování desek</i>	76
9.3.2. <i>Příprava zkušebních těles</i>	78
9.4 Mechanické zkoušky	80
9.4.1. <i>Tahová zkouška</i>	80
9.4.2. <i>Ohybová zkouška</i>	81
9.4.3. <i>Rázová zkouška</i>	81
9.4.4. <i>Zkouška tvrdosti</i>	82
9.5 Způsob vyhodnocování naměřených dat	83
9.5.1. <i>Box-plotový graf</i>	83

9.5.2. Vyhodnocované veličiny	84
10. DISKUZE VÝSLEDKŮ	85
10.1 Interpretace výsledků	85
10.2 Tahová zkouška	86
10.2.1. Youngův modul (E) - 21°C	86
10.2.2. Mez pevnosti (R_m) - 21°C	88
10.2.3. Youngův modul (E) - 80°C	90
10.2.4. Mez pevnosti (R_m) - 80°C	92
10.3 Ohybová zkouška	94
10.3.1. Youngův modul (E) - 21°C	94
10.3.2. Mez pevnosti (R_{m0}) - 21°C	96
10.3.3. Youngův modul (E) - 80°C	98
10.3.4. Mez pevnosti (R_{m0}) - 80°C	100
10.4 Rázová zkouška	102
10.4.1. Vrubová houževnatost (A_m) - 21°C	102
10.4.2. Vrubová houževnatost (A_m) - 80°C	104
10.5 Zkouška tvrdosti	106
10.6 Zhodnocení diskutovaných výsledků	107
10.7 Opakovatelnost experimentu	108
10.7.1. Plán experimentu	108
11. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI	110
12. ZÁVĚR	111
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	112
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	115
SEZNAM OBRÁZKŮ	117

SEZNAM TABULEK	120
SEZNAM PŘÍLOH	123
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	125
CURRICULUM VITAE	130

ÚVOD

Technologie je slovem označujícím dovednost tvořit, zavádět nebo zdokonalovat výrobní postupy. Jedním z mnoha výrobních postupů v plastikářském průmyslu je vstřikování. Již desítky let se člověk učí jak s touto technologií zacházet a stále ji rozvíjí. Je to velmi atraktivní a efektivní technologie zpracování polymerů. Umožňuje zhotovovat výrobky jednoduchých, ale také tvarově i konstrukčně náročných řešení. Mimo běžné vstřikování polymerů se stále více prosazují speciální způsoby, jakými jsou vícekomponentní vstřikování, vstřikování za asistence plynu nebo vody, vstřikování keramických prášků a další.

Všechny tyto způsoby při výrobě vyžadují kvalitní nástroj – vstřikovací formu. Svým konstrukčním řešením a koncepcí musí vstřikovací forma umožnit výrobu požadované součásti v co nejkratším čase a očekávané kvalitě. Každá část vstřikovací formy (rám formy, vtokový systém, temperace, odvzdušnění aj.) má vliv na výslednou kvalitu vstřikovaného výrobku. Mimo vstřikovací formu kvalitu výrobku ovlivňují procesní podmínky vstřikování, typ polymeru a vstřikovací stroj.

V případě vstřikovací formy začne jako první ovlivňovat vstřikovaný polymer vtokový systém. V současné době rozlišujeme tři základní typy vtokových systémů: horký, studený a jejich kombinaci. Každý z typů je dále možné rozdělit na tyto části: vtokový kanál, rozvodný kanál a vtokové ústí. Poslední jmenovaná oblast, vtokové ústí, je spojovacím článkem mezi vtokovým systémem a dutinou formy. Lze ji definovat jako zúžení rozvodného kanálu. Vtokové ústí v průběhu vstřikování výrazně ovlivňuje výrobek i vstřikovací cyklus. Svým tvarem a rozměry určuje způsob plnění dutiny, hodnoty smykových napětí i rychlostí v tavenině polymeru, možnost působení dotlakem, velikost smrštění výrobku a další.

Disertační práce se zabývá vlivem vtokového ústí na kvalitu vstřikovaného výrobku. Kvalita byla posuzována na základě mechanických vlastností vstřikovaných dílů. K experimentům byl použit jeden typ polymeru v několika modifikacích, jenž byl vstřikován vybranými typy studených vtokových ústí, která svým tvarem a umístěním reprezentují nejčastěji používaná vtoková ústí. Vstřikované díly byly použity k výrobě zkušebních těles vhodných pro mechanické zkoušky tahem, ohybem, rázovou houževnatostí a tvrdostí. Získané výsledky byly vyhodnoceny a převedeny do hodnotící tabulky odkud je možné snadným způsobem odečíst vhodnost vtokového ústí pro zvolenou aplikaci (namáhání). Z důvodu velké tvarové rozmanitosti vtokových ústí byl navíc vytvořen manuál pro realizaci experimentů, což umožňuje kdykoliv později zhodnotit libovolné vtokové ústí stejnou metodou.

TEORETICKÁ ČÁST

1. POLYMERY

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku za běžné teploty v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování jsou ve stavu kapalném dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar podle předpokládaného použití. [14]

1.1 Klasifikace polymerů

Polymery mohou být klasifikovány podle různých kritérií. V zásadě je můžeme dělit podle chemické struktury na [14, 29]:

- **Plastomery**
 - **Termoplasty**

Makromolekulární řetězce termoplastů mohou být lineární a rozvětvené. Termoplasty jsou teplem opakovaně přehleditelné do plastického stavu a ochlazením do tuhého stavu.

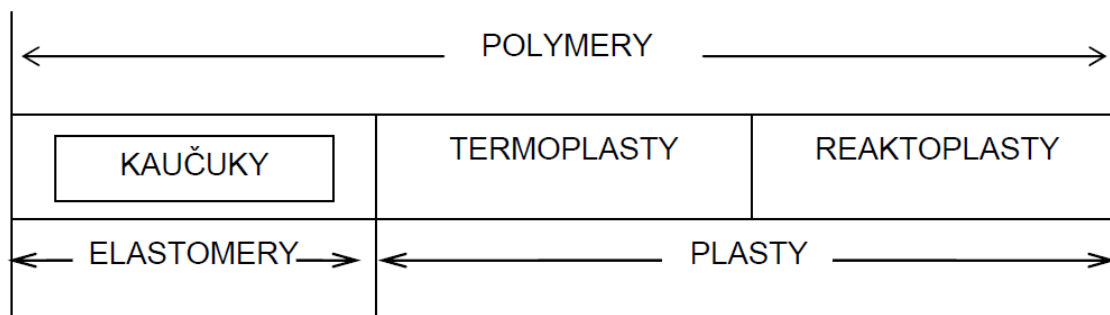
 - i) Amorfni termoplasty jsou transparentní, mají nepravidelně prostorově uspořádané makromolekulární řetězce, jsou tvrdé, křehké, mají vysokou pevnost a jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech.
 - ii) Semikrystalické termoplasty jsou mléčně zakalené až neprůhledné, většina makromolekulárních řetězců je pravidelně uspořádána do krystalických útvarů, zbytek je amorfni, jsou houževnaté, pevnost se zvyšuje s rostoucí krystalinitou, v organických rozpouštědlech se rozpouštějí špatně nebo vůbec.
 - **Reaktoplasty**

Reaktoplasty nevratnou chemickou reakcí (vytvrzováním) za působení tepla a tlaku přecházejí z lineárního do síťovaného stavu. Jsou netavitelné a nerozpustné.
- **Elastomery**

Elastomery jsou za běžných podmínek elastické a měkké, tzn. lze je malou silou značně deformovat bez porušení, vniklá deformace je převážně vratná.

 - **Kaučuky**

Kaučuky smíchané se síťovacími činidly a dalšími látkami se stávají termoplastickou gumou, která je po chemické reakci (vulkanizaci) převedena na netermoplastickou pryž.



Obr. 1.1: Základní klasifikace polymerů. [14]

1.1.1. Makromolekulární stavba polymerů

Synonymem k pojmu polymer je pojem makromolekulární látka. Základní stavební částice, makromolekula, vzniká pospojováním molekul nízkomolekulárních látek, monomerů, chemickými vazbami. Makromolekulární řetězce nejsou tuhými útvary, ale následkem neustálého pohybu svých jednotlivých samostatně se projevujících úseků neboli segmentů nabývají různých geometrických uspořádání neboli různé konformace. [14]

Polymery z hlediska jejich stavby můžeme rozdělit na [14, 29]:

- Homopolymery

Polymery s makromolekulárními řetězci prvního typu, jejichž řetězce schematicky můžeme naznačit AAAAAAAAAA, přičemž A označuje mer.

- Kopolymery

Polymery s makromolekulárními řetězci druhého typu, které dál dělíme na:

- Statistické

Řetězce jsou tvořeny nepravidelně se statisticky nahodile střídajícími se mery dvou druhů merů.

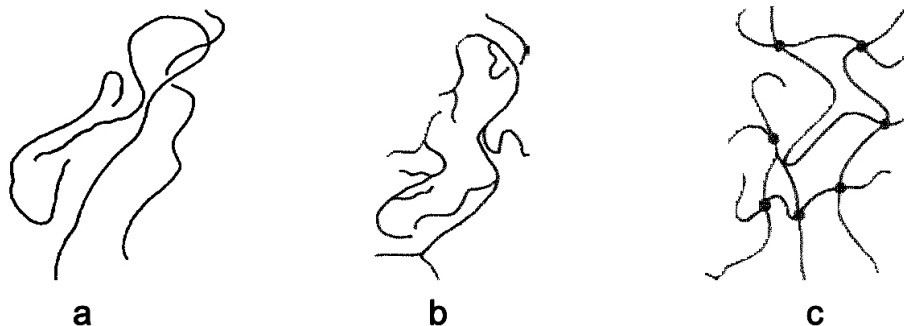
- Blokované

Řetězce jsou tvořeny dvěma nebo více bloky dvou druhů merů.

- Roubované

Na základním řetězci merů jednoho druhu jsou „naroubovány“ postranní řetězce merů jiného druhu.

Makromolekulární řetězce mohou být lineární (Obr. 1.2 a), rozvětvené (Obr. 1.2 b) nebo uspořádané do prostorové sítě (Obr. 1.2 c).



Obr. 1.2: Schematické znázornění makromolekul polymeru. [14]

1.1.2. Fázové stavy polymerů

Polymery se mohou nacházet ve stavu kapalném nebo tuhém. Plynný stav polymerů neexistuje, protože jejich bod varu se nachází vysoko nad teplotou rozkladu. Podle pravidelnosti geometrického uspořádání makromolekulárních řetězců rozlišujeme čtyři fázové stavy [14]:

- Krystalický

Vysoce uspořádaný stav.

- Amorfní

- Sklovitý

Uspořádanost řetězců odpovídá kapalnému stavu - schopnost téci je potlačena.

- Kaučukovitý
Přechodový stav mezi sklovitým a kapalným, kdy lze polymer poměrně malou silou deformovat.
- Plastický
Kapalný stav polymeru.

Z hlediska chování za různých teplot polymery charakterizuje [14]:

- Teplota zesklenění (T_g)
Ohraničuje oblast sklovitého stavu. Objevuje se u amorfních i semikrystalických polymerů.
- Teplota tání (T_m)
Ohraničuje oblast krystalického stavu. Objevuje se pouze u semikrystalických polymerů.
- Teplota toku (T_f)
Ohraničuje oblast plastického stavu. Objevuje se u amorfních i semikrystalických polymerů.

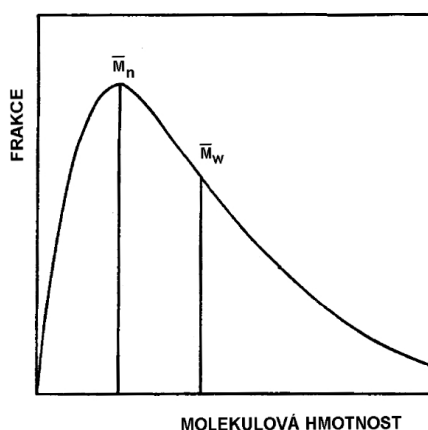
1.1.3. Molekulová hmotnost

Znalost molekulové hmotnosti je nezbytná k úplné charakterizaci polymeru, protože se tím polymery odlišují od nízkomolekulárních látek. Relativní molekulová hmotnost polymeru se pohybuje od desítek tisíc do milionů. Tedy o mnoho řádů výše než u nízkomolekulárních látek. [14]

Distribuce molekulových hmotností se stanovuje statisticky a z této distribuce je vypočítávána střední (průměrná) hodnota molekulové hmotnosti. Distribuci molekulových hmotností lze vyjádřit distribuční křivkou, což je závislost hmotnosti polymeru o dané velikosti makromolekuly (frakce) na délce makromolekulárního řetězce nebo jeho molekulové hmotnosti. [14]

Obvykle se molekulová hmotnost stanovuje výpočtem [14]:

- Hmotnostně střední molekulová hmotnost (M_w)
- Číselně střední molekulová hmotnost (M_n)



Obr. 1.3: Distribuční křivka molekulových hmotností. [14]

Poměr M_w/M_n je označován jako index neuniformity, tj. míra distribuce molekulových hmotností. Hodnota indexu pro běžné polymery se pohybuje většinou kolem 1,5 až 2, výjimečně 20 až 50. Molekulová hmotnost a její distribuce ovlivňují především

teplotu měknutí polymerů, jejich rozpustnost, viskozitu roztoků a tavenin, pružnost, pevnost, tepelnou stálost a další vlastnosti, zejména odolnostní charakteristiky. [14]

1.2 Vlastnosti polymerů

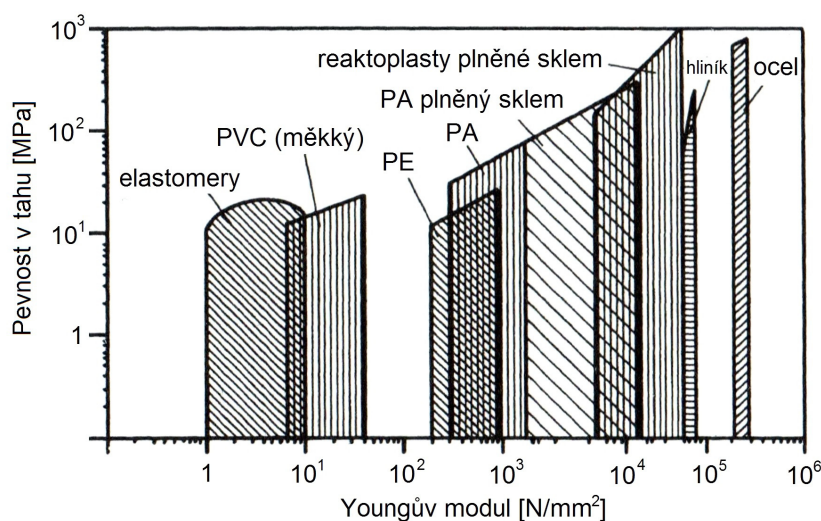
Vlastnosti polymerů svým charakterem silně konkurují běžně užívaným materiálům a nahrazují je v mnoha aplikacích. Nejsou to jen mechanické vlastnosti, ale také zpracovatelské podmínky, chemická odolnost, nízká elektrická vodivost aj. Vlastnosti polymerů závisejí na jejich fázovém stavu, molekulové hmotnosti a chemickém složení. [14]

Vlastnosti a chování polymerů upravují [14]:

- Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti
 - Plniva, jako jsou dřevo, mastek, keramika aj.
 - Výztužné materiály, zejména skleněná nebo karbonová vlákna. Upravují mechanické vlastnosti (zvyšují pevnost i tuhost), způsobují anizotropii.
 - Barevné pigmenty, příměsi ovlivňující barevnost. Často způsobují anizotropii, mají tedy vliv na mechanické vlastnosti.
- Zpracovatelské přísady
 - Změkčovadla, propůjčující polymerům ohebnost, tvárnost, vláčnost, snižují tuhost, snižují T_g a viskozitu.
 - Tepelné stabilizátory, chrání před tepelnou degradací.
- Antidegradanty, chrání před vnějšími vlivy během jejich používání. Patří sem světelné stabilizátory, antiozonanty, antioxidanty.
- Speciální přísady dávají polymerům specifické vlastnosti upravující jejich funkci. Patří sem antistatické přísady, adheziva, retardéry hoření a další.

1.2.1. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti polymerů, i přes nižší hustotu než mají kovové a keramické materiály, pokrývají širokou oblast pevností v tahu a Youngova modulu. Těmito vlastnostmi jsou protiváhou různým typům běžných materiálů. Obzvláště pokud jsou plněny sklenými vlákny. [29]



Obr. 1.4: Porovnání mechanických vlastností polymerů. [29]

Amorfni termoplasty jsou z duvodu svych vlastnosti pouzitelne pri teplotach pod teplotou skelného přechodu (T_g). Nad touto teplotou meknou, zvyšuje se jejich elasticita a snižuje pevnost. [29]

Semikrystalické termoplasty jsou tvořeny amorfni a krystalickou fazi. Amorfni fáze vytváři pomyslnou matici s krystalami jako plnivem, které rozhodují o mechanických vlastnostech. Krystalická fáze dáva polymeru pevnost a amorfni fáze poskytuje polymeru měkkost a tuhost. Proto je možné semikrystalické termoplasty používat nad teplotou skelného přechodu (T_g). [29]

Termoplasty jsou pod mechanickým napětím náchylné ke creepu již od běžných teplot. Toto chování vyžaduje rozdělení na krátkodobé a dlouhodobé zatěžování. Testování materiálů krátkodobým zatížením slouží především k charakterizaci materiálů a hodnotí jejich rázové chování. Dlouhodobý creepový test se používá při sledování dlouhodobého mechanického chování termoplastů. Protážení u creepového testu je získáno jako funkce času při různých zatíženích. [29]

Pro měření mechanického chování materiálů a jejich charakterizaci existuje množství testovacích zařízení, která umožňují statické i dynamické zatěžování. Nejčastější zkouškou je zkouška tahem. Mezi další zkoušky mechanického chování patří zkouška ohybem, tlakem, krutem, rázová zkouška a další. Vždy záleží na předpokládaném způsobu použití výrobku a podle toho se určí vhodný typ mechanické zkoušky. Jednotlivé zkoušky se řídí normou, která určuje podmínky každé zkoušky. [29, 32]

1.2.2. Tepelné a termodynamické vlastnosti

Základními termodynamickými vlastnostmi materiálu jsou [29, 33]:

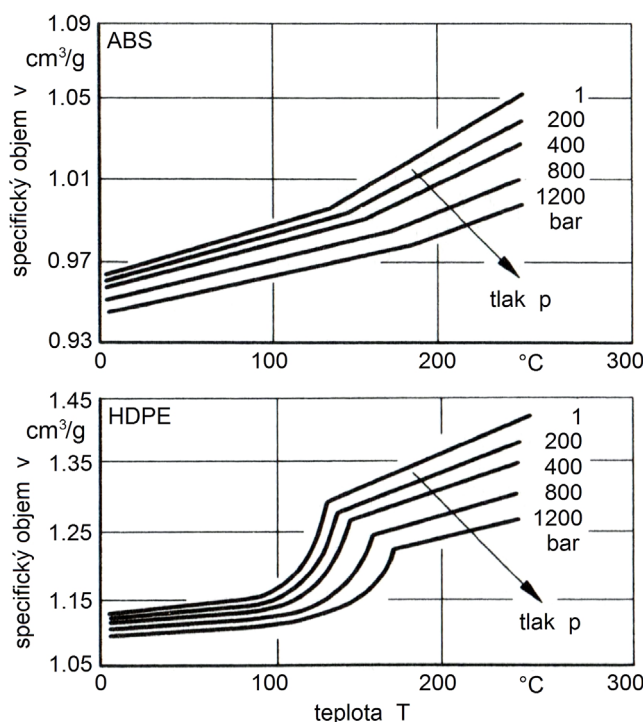
- tepelná vodivost - je hodnotou popisující přenos tepelné energie v materiálu;
- měrná tepelná kapacita (měrné teplo nebo také specifické teplo) - je množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg materiálu o 1°C .
- teplotní vodivost (součinitel teplotní vodivosti) - určuje časovou závislost v průběhu přestupu tepla.

Všechny tyto vlastnosti jsou závislé na teplotě, což je příčinou problémů při zpracování polymerů.

Závislost hustoty na tlaku a teplotě se nazývá termodynamické chování materiálu, kde se namísto hustoty používá její obrácená hodnota – specifický objem. Chování materiálu má výrazný vliv na průběh vstřikovacího procesu, obzvláště dotlakové fáze, a charakteristiku finálního výrobku, zejména smrštění a deformací. [29]

Termodynamické chování amorfniho a semikrystalického polymeru se od sebe zásadně liší (Obr 1.5). U obou typů materiálů se specifický objem v teplotním rozsahu taveniny mění lineárně s teplotou. Jak tlak stoupá, tak specifický objem klesá (jeho reciproká hodnota, hustota, stoupá). V teplotním rozsahu tuhé fáze se oba materiály liší. Amorfni materiál má lineární závislost, kdežto semikrystalický má exponenciální závislost. [29, 40]

Výsledkem procesu krystalizace u semikrystalického materiálu je více hustý a uspořádaný stav (stupeň krystalinity), který stejně jako specifický objem v tuhé fázi závisí na rychlosti ochlazování. Vyšší rychlost ochlazování znamená vyšší stupeň krystalinity a naopak. [29, 40]



Obr. 1.5: pVT diagramy amorfního a semikrystalického polymeru. [29]

1.2.3. Reologické vlastnosti

Obecně je reologie definována jako věda o toku a deformaci látek. Znalost reologických vlastností polymerních materiálů je důležitá pro výrobce i zpracovatele polymerů. Reologická data umožňují kontrolovat kvalitu materiálu, jsou nezbytná při konstrukci šneků plastikačních jednotek, konstrukci vstřikovacích forem, řízení zpracovatelských procesů a dalších činnostech. [26, 29, 33, 39]

Debořino číslo

Debořino číslo je bezrozměrné číslo, které se používá k odhadu elastického chování v průběhu toku. Je definováno jako podíl relaxačního času a doby zpracování (pozorování). U různých typů materiálů a jejich rozdílného chování nabývá Debořino číslo různých hodnot [26, 29, 39]:

- viskózní chování (kapaliny): $De = 0$;
- elastické chování (pevné látky): $De = \infty$;
- viskoelastické chování (polymery): $De = 1$ až 10.

Smyková viskozita

Polymerní taveniny mají viskoelastické chování – tavenina se chová viskózně jako kapalina, ale zároveň elasticky jako pružná látka. Ve většině případů je viskózní chování tavenin dominantnější a je charakterizováno smykovou viskozitou (η), která je mírou vnitřního odporu materiálu při toku. Obecně je smyková viskozita definována jako podíl smykového napětí vůči smykové rychlosti. Pro newtonské látky (voda) je konstantou bez ohledu na smykovou rychlost. U polymerních tavenin smyková viskozita není konstantou, ale klesá s rostoucí smykovou rychlostí vlivem napřímování a rozplétání molekul. [26, 29, 39]

Elongační (tahová) viskozita

Elongační (tahová) viskozita (η_E), která představuje odpor taveniny vůči aplikované smykové síle, je u polymerních tavenin velmi důležitou veličinou. Polymerní taveniny mají značnou pevnost a mohou být hodně natahovány, aniž by došlo k porušení. V praxi se tato vlastnost využívá při výrobě syntetických vláken. [26, 29, 39]

Elongační viskozita v závislosti na rychlosti protahování [26, 29, 39]:

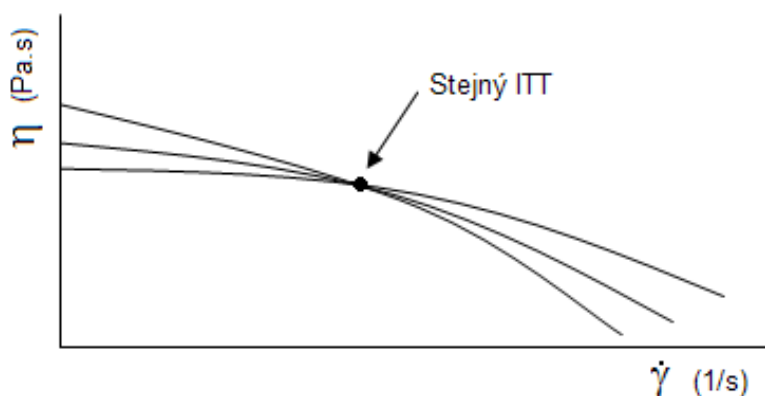
- Newtonské látky (voda): $\eta_E = \text{konst.}$; mezi elongační a newtonskou viskozitou pro jednoosé protahování zde platí Troutonův vztah.
- Nenevtonské látky (polymerní tavenina): v případě nízkých rychlostí protahování platí pro lineární i rozvětvené polymery $\eta_E = \text{konst.}$;
- Nenevtonské látky (polymerní tavenina): v případě vyšších rychlostí protahování platí pro lineární polymery $\eta_E = \text{klesá}$ (čím rychleji je polymer natahován, tím snadněji se protahuje);
- Nenevtonské látky (polymerní tavenina): v případě vyšších rychlostí protahování platí pro rozvětvené polymery $\eta_E = \text{roste}$ (čím rychleji je polymer natahován, tím větší klade odpor), ve vysokých rychlostech pro rozvětvené polymery platí $\eta_E = \text{klesá}$ (rozpad zapletenin).

Relaxační čas

Relaxační čas (λ) představuje dobu přechodu z jednoho rovnovážného stavu do druhého, kdy proběhne 63 % všech napěťových změn. U newtonských látek (voda) se relaxační čas blíží nule ($\lambda_{\text{voda}} = 10^{-12}$ sekundy). U nenevtonských látek (polymerní tavenina) je relaxační čas tím delší, čím delší jsou makromolekulární řetězce, tedy i elasticita polymeru ($\lambda_{\text{pol. tavenina}} = 10^{-2}$ až 10^2 sekundy). Čím delší je relaxace, tím větší je riziko, že ne všechny napětí zrelaxují. Tato skutečnost u vstříkovaných výrobků způsobuje smrštění, deformace, vznik trhlin apod. [26, 29, 39]

Index toku taveniny

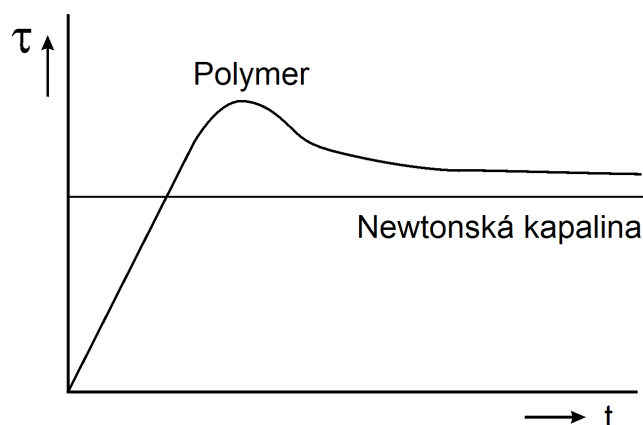
Index toku taveniny (ITT) je jeden bod na tokové křivce a představuje množství polymeru vytlačeného na kapilárním viskozimetru za přesně definovaných podmínek dle normy v gramech za 10 minut. [26, 29, 39]



Obr. 1.6: Příklad stejné hodnoty ITT pro různé polymery. [39]

Překmit napětí

Překmit napětí je skoková změna napětí v průběhu zpracovatelského procesu, která se projevuje u neneutonských kapalin (polymerních tavenin). Newtonské kapaliny (voda) překmit napětí nevykazují. U polymerních tavenin při zahájení toku se před ustálením rovnováhy objeví lokální maximum smykového napětí, které je způsobeno propletením makromolekulárních řetězců. Maximum může být až několikanásobně vyšší než ustálený stav. Překmit je tedy výsledkem ustálení rovnováhy mezi zapletenými makromolekulárního řetězce při přechodu z jednoho ustáleného stavu do druhého. [39]



Obr. 1.7: Překmit napětí. [39]

Normálová napětí

Normálová napětí vznikají při toku polymerní taveniny a jsou rozdílná ve směru osy x i osy y . Důvodem je, že tekoucí tavenina je méně stlačována ve směru osy x , než ve směru osy y , kvůli nesymetričnosti makromolekulárního řetězce. Rozlišují se dva typy normálových napětí: první rozdíl normálových napětí N_1 a druhý rozdíl normálových napětí N_2 . U newtonských kapalin (voda): $N_1 = N_2 = 0$. U neneutonských kapalin (polymerní tavenina): $N_1 \neq 0$, $N_2 \neq 0$. [26, 29, 39]

Vliv N_1 a N_2 na tok polymeru [26, 29, 39]:

- Vliv N_1 – Weissenbergův efekt: v případě míchání vody (newtonská látka) kolem míchadla vznikne prohlubeň vlivem odstředivých sil; v případě míchání polymerní taveniny (neneutonská látka) dojde k šplhání taveniny po míchadle, což je způsobeno prvním rozdílem normálových napětí.
- Vliv N_2 – Korýtkový jev: v případě výtoku vody (newtonská látka) z korýtky je hladina rovná; v případě výtoku polymerní taveniny (neneutonská látka) z korýtky je hladina zakřivená, což je způsobeno druhým rozdílem normálových napětí vznikajících na bočních stěnách korýtky a smykovým tokem.

2. VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování polymerů je jeden z nejdůležitějších výrobních postupů umožňující vyrábět polymerní výrobky různorodých tvarů a velikostí. Jedná se o diskontinuální, zpravidla automatizovaný proces. Vstřikováním se v dnešní době vyrábí jednoduché výrobky masové produkce, mezi které patří výrobky denní potřeby, elektrotechnické výrobky, automobilové součásti, obaly, hračky a další.

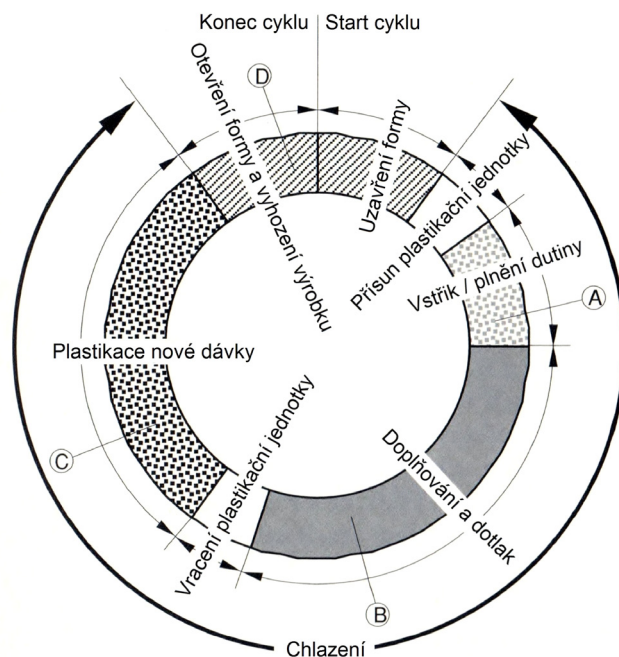
Při výrobě se nejčastěji využívají termoplasty a jejich modifikace. Stále častěji se vstřikují reaktoplasty, gumárenské směsi nebo kovy a keramika, kde je pojivem polymer. Technologie vstřikování je velmi různorodá a využívá se při ní mnoho postupů: vstřikování za asistence vody nebo plynu, vstřikování mikrodílčů, vícekomponentní vstřikování a další. [18, 29]

2.1 Principy vstřikování

Principy vystihující podstatu vstřikovacího procesu nebo jeho části se dají popsat odlišnými způsoby. Na vstřikování samotné je možné nahlížet z různých úhlů pohledu, například z hlediska času, teploty, tlaku, energie apod.

2.1.1. Vstřikovací proces

Základní tvar vstřikovacího procesu je možné rozdělit do dvou současně probíhajících oblastí, které se z části prolínají.



Obr. 2.1: Vstřikovací cyklus. [26]

První oblastí je cyklus vstřikovací formy. Ten začíná uzavřením formy a pokračuje vstřiknutím polymeru do dutiny formy. Následuje fáze dotlaku, kdy je doplňován materiál do dutiny, čímž se eliminuje smrštění a deformace výrobku. Fáze dotlaku končí zatuhnutím vtokového systému (vtokového ústí). Materiál je ve formě dále ochlazován až na tzv. vyhazovací teplotu, kdy je možné otevřít formu. Po otevření vstřikovací

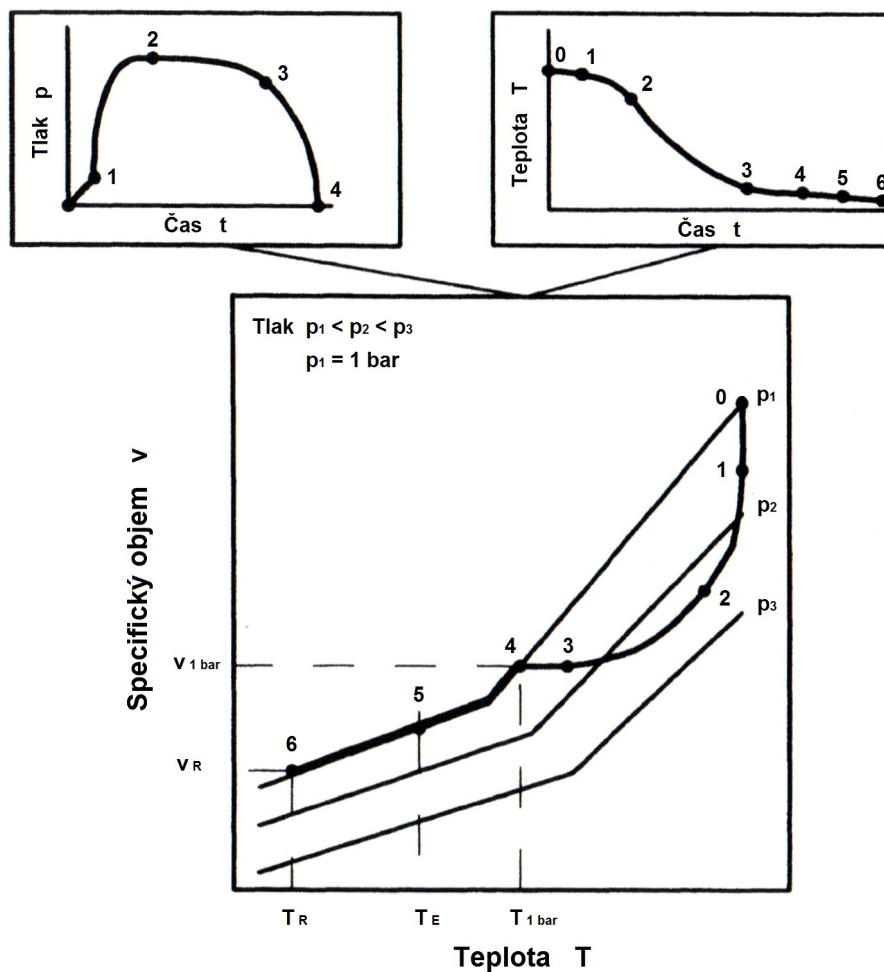
formy dochází k odformování a vyhození výrobku. Poslední částí cyklu formy je příprava formy na další cyklus. [17, 26, 40]

Druhou oblastí je cyklus plastikační jednotky vstřikovacího stroje, která při uzavírání formy přijíždí k formě. Tryska plastikační jednotky dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy. Následují fáze vstřiku a dotlaku, které jsou pro plastikační jednotku i formu společné. Po skončení dotlaku plastikační jednotka odjíždí od vstřikovací formy. Následuje plastikace nové dávky materiálu, kdy se šnek otáčí a posouvá zpět. Před čelem šneku se hromadí tavenina pro další cyklus. Po plastikaci jednotka čeká na dokončení cyklu vstřikovací formy. [17, 26, 40]

Vstřikovací cyklus může mít mnoho podob: může být vypuštěn dotlak, nemusí docházet k odjezdu a příjezdu plastikační jednotky apod. Všechny varianty však vycházejí ze základního tvaru vstřikovacího cyklu.

2.1.2. Fyzikální popis vstřikovacího procesu

Vstřikovací proces je možné popsat také pomocí diagramů p-v-T, p-t a T-t charakterizujících změnu tlaku, teploty a specifického objemu v závislosti na čase nebo teplotě. Diagramů využívá obsluha vstřikovacích strojů při stanovování a úpravách vstřikovacího procesu. [17, 26, 38, 41]



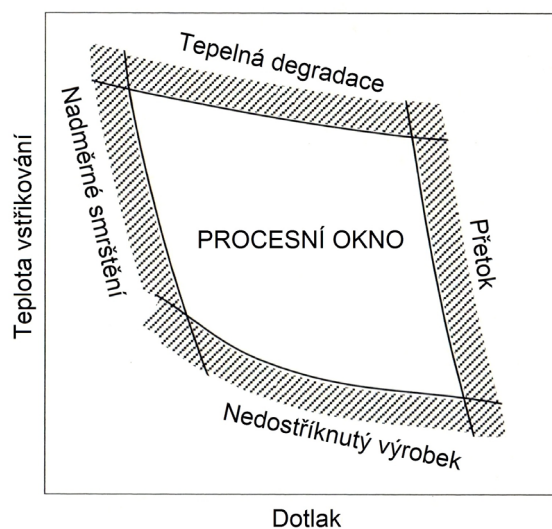
Obr. 2.2: Vstřikovací cyklus v pvT diagramu. [17]

V diagramech je zachyceno šest základních fází vstřikovacího procesu [17, 26, 38]:

- 0 – 1 Objemové plnění
Izotermický vstřik. Dochází úplnému objemovému zaplnění dutiny taveninou. Vstřikovací tlak stoupá a teplota vstřikovaného polymeru se téměř nemění.
- 1 – 2 Doplnování
Tavenina je pod tlakem doplňována do dutiny. Vstřikovací tlak stoupá na maximum, přičemž tavenina začíná intenzivněji chladnout.
- 2 – 3 Dotlak
V průběhu dotlaku dochází k izobarickému chlazení. Teplota taveniny intenzivně klesá a dochází k mírnému poklesu vstřikovacího tlaku. Z těchto důvodů se vznikající výrobek začíná smršťovat. Objemová změna způsobená smrštěním je částečně kompenzována stálým doplňováním taveniny – dotlakem.
- 3 – 4 Izochorický pokles tlaku
Dochází zatuhnutí vtokového ústí, což znemožní doplňování taveniny a kompenzaci smrštění. Tlak v dutině formy izochoricky klesá až na atmosférický tlak.
- 4 – 5 Chlazení na vyhazovací teplotu
Izobarické chlazení výrobku. Materiál v dutině vstřikovací formy chladne až na vyhazovací teplotu.
- 5 – 6 Chlazení na teplotu okolí
Izobarické chlazení výrobku. Výrobek vyhozený z formy postupně chladne až na teplotu okolí (místnosti).

2.1.3. Tvářecí diagram – procesní okno

Tvářecí diagram, nebo také procesní okno, představuje oblast, kde je možné vyrobit kvalitní výrobek. Procesní okno je ohraničeno limitami, jejichž překročení znamená vyrobení nekvalitního výrobku. Teplota taveniny - výsledkem nízké teploty taveniny je nedostříknutý výrobek (nedoplňená dutina formy). Naopak vysoká teplota taveniny vede k degradaci vstřikovaného polymeru. Dotlak - nízký tlak ve fázi dotlaku způsobuje nadměrné smrštění nebo nízkou hmotnost výrobku. Naopak vysoký tlak vede k přetokům a nadměrné hmotnosti výrobku. [26]



Obr. 2.3: Diagram procesního okna. [26]

2.2 Anizotropie vstřikovaných výrobků

Mechanické vlastnosti a rozměrová stabilita vstřikovaných výrobků jsou silně ovlivněny anizotropií finálního výrobku. Konečná struktura výrobku je závislá na tvaru dutiny formy, typu vtokového ústí a procesních podmínkách jako jsou vstřikovací rychlost, teplota taveniny, teplota formy apod. Dalším faktorem je množství a typ plniva nebo výztužného materiálu ve výrobku. [26]

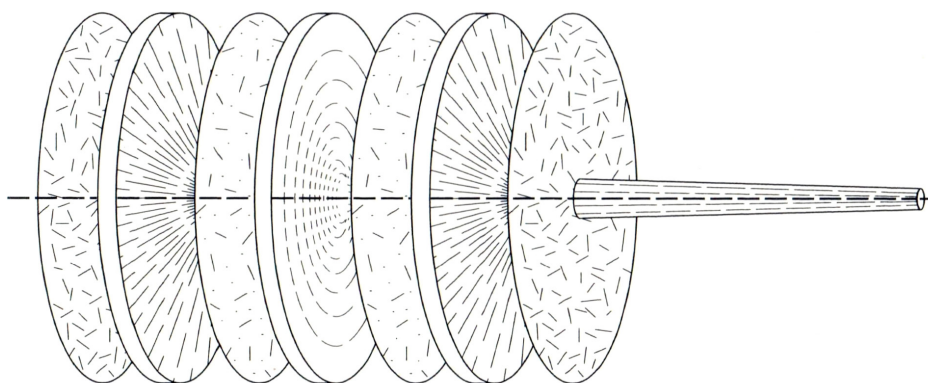
2.2.1. Orientace u termoplastických výrobků

Při vstřikování výrobků z termoplastů dochází k orientaci makromolekul, což je vyvoláno deformací polymerní taveniny v průběhu vstřikovacího procesu. Molekulární řetězce se při toku natahují a v průběhu tuhnutí polymeru nemají dostatek času zrelaxovat. Nízká teplota formy tuto skutečnost umocňuje a to vede k vyššímu stupni orientace makromolekul, což má za následek tuhost a pevnost výrobku. Orientace také způsobuje tzv. dvojlom, kdy různý stupeň orientace makromolekul a rozdílný hlavní směr orientace v materiálu představuje odlišný index lomu v různých místech výrobku. Stupeň orientace je zpravidla nejnižší v místech, která chladla poslední a zvyšuje se směrem k ústí vtoku a k povrchu výrobku. Stupeň orientace také závisí procesních podmínkách a typu polymeru. [26]

Vstřikovaný výrobek (Obr. 2.4) je možné po tloušťce rozdělit na sedm vrstev s různým stupněm orientace makromolekul, které je možné popsat takto [26]:

- dvě tenké povrchové vrstvy s biaxiální orientací, náhodné uspořádání;
- dvě silné vrstvy pod povrchovou vrstvou s hlavní orientací ve směru toku;
- dvě tenké přechodové vrstvy s nepravidelnou orientací vedle jádra;
- jedna silná centrální vrstva (jádro) s hlavní orientací kolmou ke směru toku.

Podobný způsob orientace je možné zaznamenat také u polymerů plněných skleněnými vlákny nebo u výrobků s odlišným typem a umístěním vtoku, než je na obrázku.

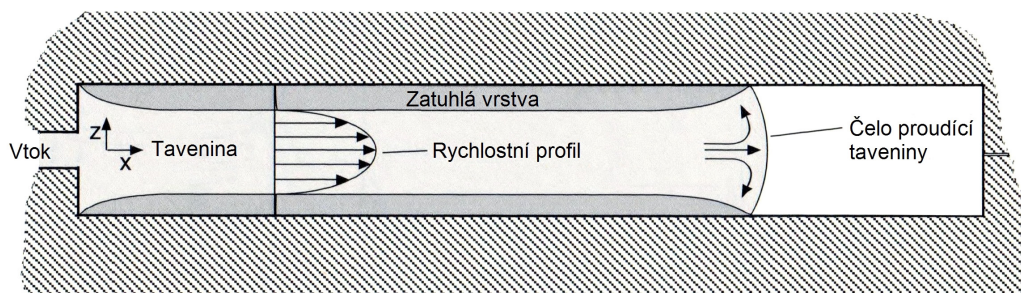


Obr. 2.4: Orientace ve vrstvách. [26]

Vysoký stupeň orientace ve vstřikovaných výrobcích je možné popsat třemi způsoby: fontánový tok, radiální tok, dotlakem vyvolaný tok.

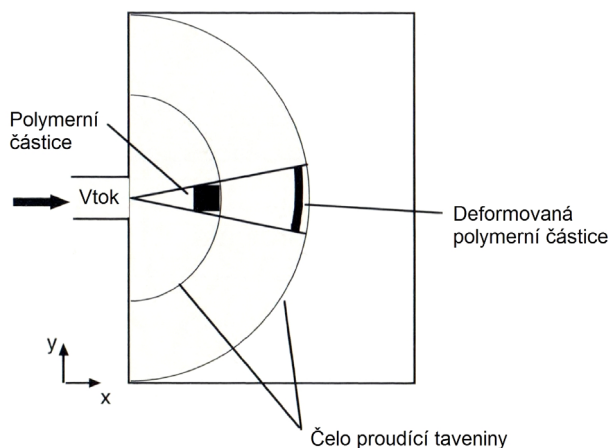
Fontánový tok je způsoben absencí smyku vstřikovaného materiálu po stěně dutiny formy (Obr. 2.5). Materiál plnící dutinu je tlačěn ke stěně formy silou materiálu tekoucího ze středu proudu. Čelo taveniny se biaxiálně protahuje a nabaluje na chladnou stěnu, kde okamžitě zamrzá. Později vstupující tavenina do dutiny formy tak teče

mezi ochlazenými vrstvami, avšak s povrchovou teplotou mnohem vyšší než teplota dutiny formy. Molekuly této taveniny se pohybují volným tokem vpřed a jsou orientovány ve směru toku. [26]



Obr. 2.5: Mechanismus toku a tuhnutí polymeru v průběhu vstřikování. [26]

Radiální tok je druhým způsobem, který často vede k orientaci kolmé k hlavnímu toku v centrální vrstvě vstřikovaného výrobku (Obr. 2.6). Materiál vstupující do dutiny vtokovým ústím je příčně protahován, zatímco radiálně expanduje se zvyšující se vzdáleností proudu od vtokového ústí. [26]



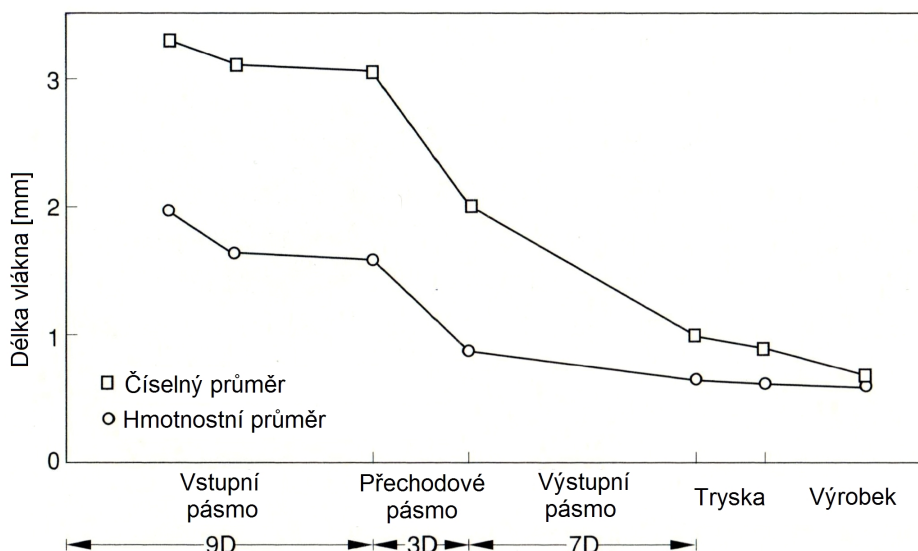
Obr. 2.6: Deformace polymerní taveniny v průběhu vstřikování. [26]

Dotlakem vyvolaný tok je třetím způsobem, protože tlak působící na chladnoucí výrobek vede k dodatečné orientaci ve výrobku. Avšak pouze v oblasti blízké vtokovému ústí. [26]

2.2.2. Vliv vstřikování na velikost vláken

Při vstřikování polymerů plněných vláknem dochází k jejich poškození z důvodu přítomnosti vysokých smykových napětí. V průběhu homogenizace polymeru v plastikační jednotce a následným vstřikem se délka vláken zkracuje (snižuje se poměr L/D vláken). Tím jsou redukovány výsledné vlastnosti vstřikovaného výrobku (například tuhost a pevnost). [26]

V průběhu vstřikování je nejvíce vláken poškozeno (snížení poměru L/D) při homogenizaci polymeru v přechodovém pásmu plastikační jednotky. Menší vliv na poškození vláken pak mají vstupní a výstupní pásmo. Vliv trysky, vtokových kanálů a dutiny vstřikovací formy je zanedbatelný (Obr. 2.7). Nicméně významný je vliv dutiny formy z pohledu uspořádání vláken. Uvnitř dutiny jsou vlákna vystavena vysokým napětím a později i snížení poměru L/D . [26]



Obr. 2.7: Míra poškození vláken v průběhu vstřikování. [26]

2.3 Tuhnutí termoplastických výrobků

Tuhnutí je proces, při kterém materiál prodělává fázovou změnu a tuhne. Fázová změna se odehrává buď jako výsledek snížení teploty materiálu (termoplasty) nebo jako chemická reakce (reaktoplasty, elastomery). U většiny materiálů je tuhnutí definováno konkrétní teplotou. U amorfních a semikrystalických termoplastů tomu tak není. [26]

Termodynamika v průběhu chlazení

Při odvodu tepla z polymerní taveniny ztrácejí molekuly schopnost volného pohybu a tavenina zvyšuje svou viskozitu – materiál tuhne. [26]

U amorfních termoplastů neexistuje ostrý přechod mezi kapalnou a tuhou fází. Se snižující se teplotou se molekuly k sobě těsně přibližují, polymer získává kaučukovitou podobu a sklovatí. Jakmile se amorfní termoplast ochladí pod teplotu skleného přechodu T_g , stane se tuhým a křehkým. [26]

Také semikrystalické termoplasty nemají jasně definovanou teplotu přechodu mezi taveninou a tuhou fází. U semikrystalických termoplastů se v krystalizační teplotě, blízké teplotě tání, začínají molekuly uspořádat v malé krystalické a amorfní oblasti, tím vytvářejí velmi komplikovanou morfologii. V průběhu krystalizačního procesu dochází k formování struktury a uvolnění velkého množství energie, která se nazývá krystalizační teplo nebo také skupenské teplo tuhnutí. Aby mohl proces ochlazování pokračovat, tak musí být toto teplo odvedeno pryč z materiálu. Začátek krystalického růstu v semikrystalickém termoplastu začíná kaučukovatěním, nikoliv křehnutím, protože teplota amorfních oblastí je stále větší než teplota skelného přechodu. Jelikož teplota skelného přechodu je u mnohých semikrystalických polymerů hluboko pod pokojovou teplotou, tak mají semikrystalické polymery větší houževnatost než amorfní. Běžné semikrystalické polymery vykazují 30 % až 70 % krystalické fáze, zbytek je amorfní fáze. Vyšší stupeň krystalinity vykazují materiály s kratšími molekulami, protože krystalizují rychleji a snadněji. [26]

Semikrystalické polymery jsou ve vstřikovacím procesu znevýhodněny z důvodu tepla nezbytného pro krystalizaci, které musí být z výrobku při tuhnutí odvedeno. Protože se zvýší smrštění, tak je potřeba delšího působení dotlakem a použití vyšších vstřikovacích tlaků. To v sobě nese prodloužení vstřikovacího cyklu. Vyšší rychlost ochlazování v průběhu vstřikování semikrystalických polymerů snižuje stupeň krystalinity: nicméně amorfní fáze polymerních molekul může vést k dodatečné krystalizaci po procesu, která ve výsledném výrobku způsobí smrštění a deformace. [26]

Morfologická struktura

Morfologií se rozumí způsob uspořádání polymerní struktury. Možnosti uspořádání mezi molekulami nebo molekulovými segmenty se mohou lišit od vysoce uspořádané krystalické polymerní struktury k neuspořádané amorfní struktuře. [26, 40]

2.4 Residuální napětí, smrštění a deformace

Deformace vstřikovaných výrobků jsou často způsobeny použitím nevhodných procesních podmínek, které jsou příčinou vzniku zbytkových napětí ve výrobcích.

Tuhnutí vstřikovaného výrobku začíná ve fázi plnění, nicméně tok pokračuje i po skončení fáze plnění ve fázi dotlaku, která je hlavní příčinou vzniku zamrzlých tokových napětí. Zbytková napětí vstřikovaných výrobků pak v sobě zahrnují nejen viskoelastické chování polymeru, ale i toková a teplotní napětí. [26]

Způsob tuhnutí může vést ke vzrůstu zbytkových napětí v průběhu výroby. Procesně indukovaná napětí mohou podstatně ovlivnit výrobek vyvoláním deformace nebo trhliny, případně delaminace u kompozitních výrobků. Správnou volbou procesních podmínek vstřikování i konstrukčním řešením vstřikovací formy je možné tato zbytková napětí redukovat. [26]

Zbytkové napětí je nejčastěji způsobeno rychlým ochlazením výrobku v dutině formy. To je důvod, proč se zbytková napětí nachází ve většině vstřikovaných výrobků v podobě tahových napětí v jádře a tlakových napětí na povrchu výrobku. Tato residuální napětí jsou vytvářena také smykovým a normálovým napětím v průběhu plnění dutiny formy taveninou a v dotlakové fázi. Tahová, tokem indukovaná, napětí jsou často velmi malá v porovnání s napětími, která se vytváří v průběhu chlazení. Nicméně při nízké teplotě vstřikování mohou tato napětí nabývat podstatně vyšších hodnot a mohou vést ke vzniku tahových napětí v povrchu součásti a tím k trhlinám a prasklinám na vstřikovaném výrobku. Nejvyšší tokem indukovaná napětí se nacházejí v blízkosti vtokového ústí do dutiny vstřikovací formy. [26]

Smrštění a deformace jsou výsledkem materiálových nehomogenit a anizotropie způsobené plněním vstřikovací formy, orientací molekul nebo vláken, tuhnutím taveniny, špatným rozložením teplot v dutině formy nebo nevhodnými procesními podmínkami. Jestliže je z procesu vynechána dotlaková fáze, tak 85 % – 90 % objemových změn je po tloušťce výrobku kompenzováno smrštěním. Zatuhlá povrchová vrstva výrobku je deformována malou silou od tuhnutí a smršťujícího se polymeru uvnitř stěny výrobku. Změnu tloušťky stěny výrobku je možné odhadnout z p-v-T diagramu. Zakreslením vstřikovacího procesu do p-v-T diagramu je možné odečíst rozdíl specifického objemu výrobku, kdy bylo po vstřiku opět dosaženo atmosférické-

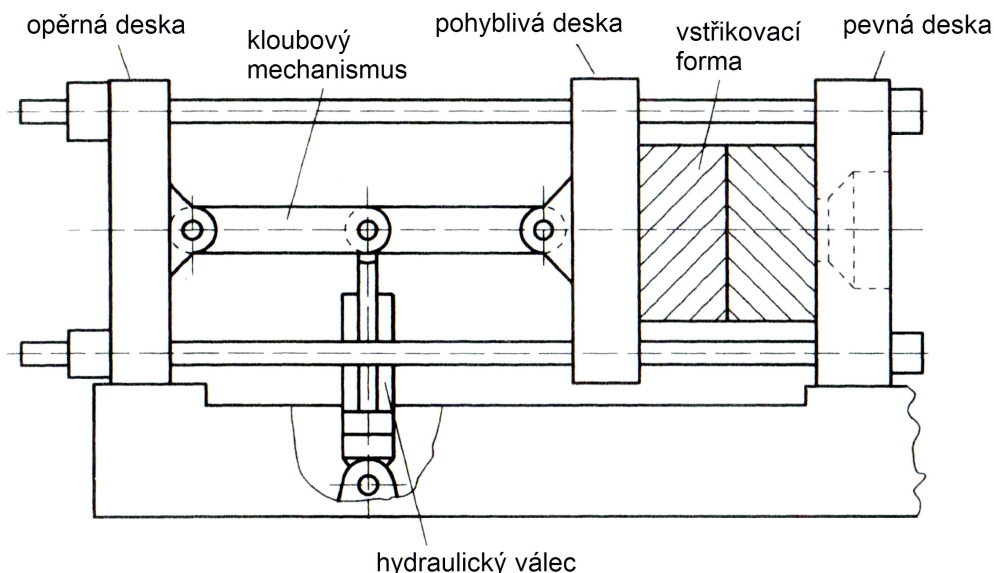
ho tlaku, a specifického objemu za téhož tlaku, ale po dosažení teploty okolí. Rozdíl těchto specifických objemů udává velikost smrštění výrobku. Tento rozdíl, potažmo smrštění, lze kompenzovat dotlakovou fází a vhodnou volbou ostatních procesních parametrů. [26]

Teplotní nevyváženost vstřikovací formy je hlavní příčinou deformace vstřikovaných výrobků. Nevyváženost může být způsobena nesprávným umístěním temperačních kanálů nebo komplikovaným tvarem dutiny formy (vstřikovaného výrobku). [26]

2.5 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroje jsou univerzální stroje, na které je možné umístit různé typy vstřikovacích forem. Stroje jsou jedním z faktorů, který ovlivňuje kvalitu výrobku, a skládají se ze čtyř základních částí [17, 29, 34]:

- uzavírací jednotka;
- plastikační (vstřikovací) jednotka;
- řídicí systém;
- přidružená zařízení.



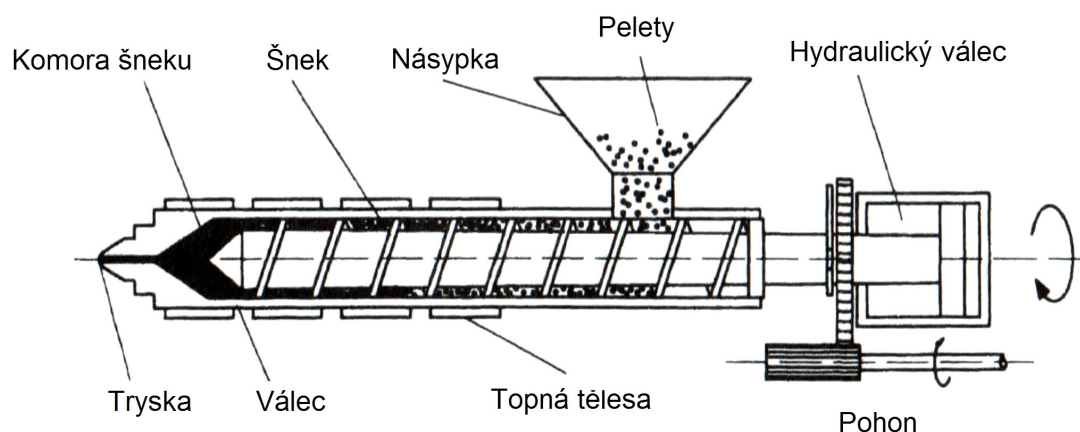
Obr. 2.8: Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje. [29]

2.5.1. Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je otevírat a uzavírat vstřikovací formu. Vstřikovací forma je uchycena v pracovním prostoru stroje. Pravá strana formy je přichycena na nepohyblivé desce, která je součástí rámu stroje a sousedí s plastikační jednotkou. Levá strana formy je přichycena na pohyblivé desce, která je součástí uzavíracího mechanismu. Pohyb desky zabezpečuje uzavírací mechanismus, jenž může být mechanický, hydraulický nebo hydraulicko-mechanický. V průběhu vstřikování působí v dutině formy vstřikovací tlak, který má snahu vstřikovací formu otevřít. Úkolem uzavíracího mechanismu v průběhu fází plnění a dotlaku je udržet vstřikovací formu uzavřenou. [17, 29, 34]

2.5.2. Plastikační (vstříkovací) jednotka

Hlavním úkolem plastikační jednotky je převedení polymeru z pevné fáze na taveninu a její vstříknutí do dutiny vstříkovací formy. Ohřev materiálu probíhá ve válci plastikační jednotky díky topným tělesům po jejím obvodu a disipaci. Při ohřevu materiálu dochází k jeho míchání i homogenizaci, celý proces se nazývá plastikace. Zplastikovaný materiál se hromadí před čelem šneku odkud je po plastikaci přepraven axiálním pohybem šneku (vstříknutím) přes trysku do vstříkovací formy. Vstříkovací jednotka se sestává z násypky, válce, kde je umístěn šnek s homogenizačními prvky a zpětnou klapkou, trysky a topných pásů. [17, 29, 34]



Obr. 2.9: Plastikační jednotka vstříkovacího stroje. [29]

2.5.3. Řídicí systém a přidružená zařízení

Vstříkovací stroj je vybaven řídicím systémem, který umožňuje nastavení všech důležitých parametrů vstříkovacího procesu (časy, teploty, tlaky aj.) i parametry jednotlivých částí stroje (pohyby, vzdálenosti, teploty aj.).

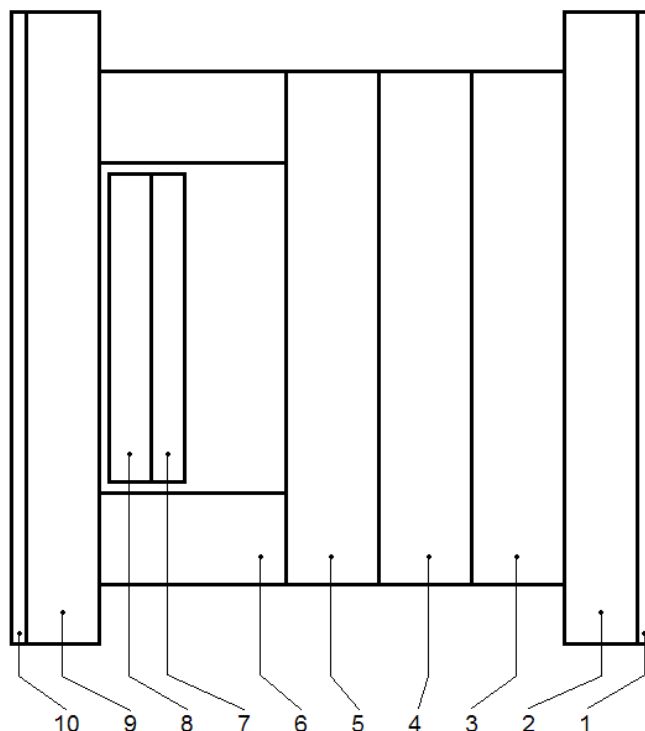
Mezi přidružená zařízení vstříkovacího stroje patří sušárna polymerů, temperační jednotka, manipulační robot, a další. [17, 29, 34]

3. VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, za pomoci kterého jsou vyráběny výrobky technologií vstřikování. Vstřikovací formu tvoří rám formy, skupina vodicích a středících elementů, jedna nebo více tvarových dutin, vtokový, vyhazovací, odvzdušňovací a temperační systém. Jako celek je vstřikovací forma velmi komplikované zařízení, které plní mnoho různých funkcí. [26, 29, 34]

Vstřikovací forma musí umožňovat [26, 29, 34]:

- bezproblémový chod všech funkčních částí;
- dopravení taveniny do tvarové dutiny formy;
- ochlazení výrobku na požadovanou teplotu;
- odformování a vyhození výrobku.



Obr. 3.1: Rám vstřikovací formy.

Na obrázku (Obr. 3.1) je zobrazen standardní dvoudeskový rám vstřikovací formy: 1 - izolační deska pravá, 2 - upínací deska pravá, 3 - kotevní deska pravá, 4 - kotevní deska levá, 5 - opěrná deska, 6 - rozpěrná deska, 7 - kotevní deska vyhazovací, 8 - opěrná deska vyhazování, 9 - upínací deska levá, 10 - izolační deska levá.

3.1 Rozdělení vstřikovacích forem

Vstřikovací formy je možné klasifikovat různými způsoby. Nejběžnějším způsobem klasifikace je dělení podle použitého konstrukčního řešení na [19, 29]:

- dvoudeskový systém forem (standardní);
- třídeskový systém forem;
- formy se stírací deskou;
- formy s posuvnými čelistmi;
- vytáčečí formy.

Mezi další možnosti dělení vstřikovacích forem patří klasifikace podle [29]:

- vstřikovaného materiálu (vstřikování termoplastů, termosetů nebo elastomerů);
- počtu dutin (jednonásobné, vícenásobné);
- typu vtokového systému (s horkým nebo studeným vtokovým systémem);
- počtu dělicích rovin.

3.2 Materiály vstřikovacích forem

Materiály používané na výrobu vstřikovacích forem mají výrazný vliv na jejich kvalitu a musí splňovat mnoho požadavků. Na různé části forem se používají různé typy kovových materiálů z důvodu odlišné funkce každého z dílů. U materiálů používaných na rámy forem je důležitá vysoká pevnost a snadná obrobitelnost. U materiálů tvarových dutin je důležitá i tvrdost, tepelná zpracovatelnost nebo leštitelnost. Mezi typické materiály používané při výrobě vstřikovacích forem patří oceli různých jakostí, slitiny mědi a hliníku. [6, 26, 34]

Všechny materiály by měly splňovat požadavky na [6, 26, 34]:

- odolnost proti opotřebení – vodící prvky forem, abraze plněných polymerů;
- tuhost a pevnost – zejména u malých a tenkých jader;
- odolnost vůči vysokým tlakům – vstřikovací tlaky, vysoké přídržné síly;
- tvrdost za zvýšené teploty – vysoké teploty vstřikovacích forem;
- odolnost proti korozi – vlhkost, vstřikování agresivních materiálů;
- vysokou tepelnou vodivost – odvod tepla od tvarových dutin;
- obrobitelnost, leštitelnost, svařitelnost;
- tepelné zpracování (cementování, nitridování aj.).

3.3 Funkční části vstřikovacích forem

3.3.1. Tvarové části formy (dutiny)

Tvarové části vstřikovacích forem, nebo také dutiny, udávají tvar výslednému výrobku a jsou jeho negativem.

Tvarová dutina musí být řešena tak, aby [19, 29]:

- umožňovala rovnoměrnou distribuci taveniny do všech svých částí;
- eliminovala možnost vzniku studených spojů a vzduchových kapes;
- respektovala smrštění vstřikovaného polymeru;
- mohlo dojít k bezproblémovému odformování a vyhození výrobku.

Počet tvarových dutin formy, tzv. násobnost vstřikovací formy, je určována z technických a ekonomických hledisek. Technická hlediska v sobě zahrnují velikost každé z dutiny, maximální rozměry vstřikovací formy, požadavky na vstřikovací stroj a požadovanou kvalitu výrobku. Ekonomická hlediska zahrnují požadované množství výrobků a cenu za kus. Nejvyšší kvality výrobků lze dosáhnout v jednonásobných vstřikovacích formách. S rostoucím počtem dutin se zvyšují nároky na kvalitu temperačního systému i vtokového systému, který musí zajistit rovnoměrnou distribuci taveniny i vstřikovacího tlaku ke všem dutinám formy. Základní způsoby rozmístění tvarových dutin jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 3.2). [29]

<p>Kruhové rozložení</p> 	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rovnoměrná délka toku ke všem dutinám - optimální rozmístění výrobků s ohledem na vyhazovací systém, obzvláště u forem s vyšroubovacím mechanismem 	<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - omezený počet dutin
<p>Sériové rozložení</p> 	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - v porovnání s kruhovým rozložením umožňuje rozmístění více dutin 	<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nerovnoměrná délka toku k jednotlivým dutinám - rovnoměrné plnění dutin pouze za předpokladu rozdílných průřezů rozvodných kanálů
<p>Symetrické rozložení</p> 	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rovnoměrná délka toku ke všem dutinám - není nutná žádná korekce průřezu rozvodných kanálů 	<p>Nevýhody:</p> <ul style="list-style-type: none"> - velké množství odpadu (velký vtokový systém) - rychlé ochlazování taveniny

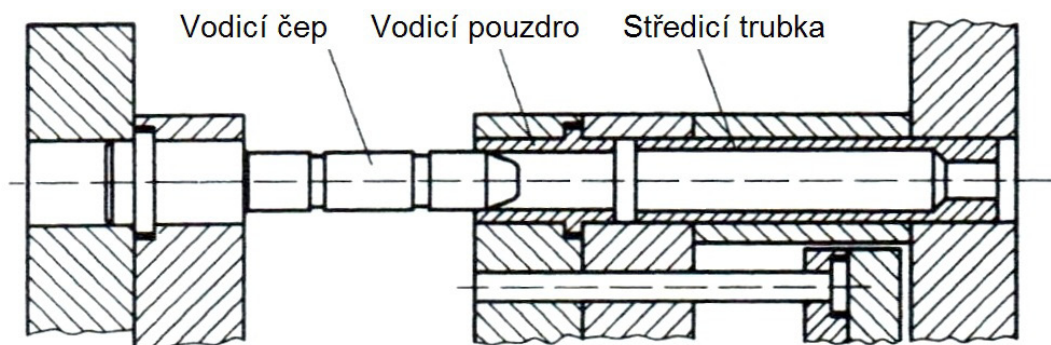
Obr. 3.2: Porovnání rozdílů rozmístění tvarových dutin. [29]

3.3.2. Upínání a středění vstřikovací formy

U vstřikovací formy je nutné vystředit jednotlivé části formy vůči sobě a formu samotnou vůči rámu vstřikovacího stroje při upínání formy na stroj. Obojí se provádí z důvodu opakovatelnosti výroby i bezpečnosti při práci s formou.

Na upínacích deskách vstřikovacího stroje je soustava závitových otvorů, které umožňují upnutí různě velkých forem. Forma se vůči upínacím deskám vystředí pomocí středících kroužků a následně se její poloha zafixuje pomocí upínek, které jsou přichyceny (přišroubovány) k upínacím deskám stroje. Pro přenos formy ze stroje, nebo na stroj, slouží montážní oka. Ta jsou často součástí fixačních můstek, jenž zároveň slouží k zajištění dělicí roviny při manipulaci s formou. [29, 34]

Vodící čepy, vodící pouzdra a středící trubky jsou elementy, které středí desky formy vůči sobě navzájem a zároveň pravou stranu formy vůči levé v průběhu vstřikovacího cyklu (Obr. 3.3). U větších forem se navíc využívá středících elementů a zámků v dělicích rovinách. Ty zajišťují lepší pozici tvarových částí formy vůči sobě. [29, 34]



Obr. 3.3: Vodící a středící elementy. [29]

3.4 Studený vtokový systém

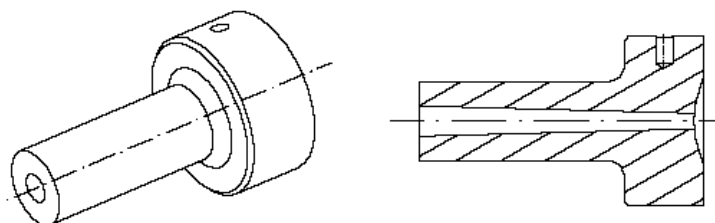
Studený vtokový systém vstřikovacích forem je možné definovat jako část vstřikovací formy, kterou je polymerní materiál dopravován z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy.

Požadavky na studený vtokový systém si navzájem odporují. Vtokové systémy větších rozměrů usnadňují plnění dutin formy a snižují zbytková napětí v tavenině i ve výrobku. Navíc díky pomalému ochlazování umožňují delší působení dotlakem, čímž se eliminuje smrštění a deformace výrobku. Na druhou stranu vtokové systémy menších rozměrů chladnou rychleji, umožňují rychlejší výrobu a zanechávají menší stopy na výrobcích, ale za cenu vyšších zbytkových napětí. [26, 34]

Studené vtokové systémy jsou v porovnání s horkými levnější na výrobu, údržbu i provoz, protože nevyžadují topné články, senzory apod. Na druhou stranu zvyšují potřebu polymerní taveniny u každé vstřikované dávky a nutnost recyklace vtokových zbytků, čímž zvyšují energetickou náročnost procesu. [26, 34]

3.4.1. Studená vtoková vložka

Studená vtoková vložka je hlavním přívodním kanálem taveniny do vstřikovací formy. U vícenásobných forem zásobuje taveninou rozvodné kanály. U jednonásobných vstřikovacích forem plní funkci vtokové vložky, rozvodného kanálu a vtokového ústí v jednom – v takovém případě se jedná o kuželové vtokové ústí. Otvor ve studené vtokové vložce má tvar kužele o různé délce a rozevívá se pod různými úhly. Jeho výsledný tvar se liší podle konkrétního konstrukčního řešení – násobnost formy, velikost rozvodných kanálů apod. [26, 34]



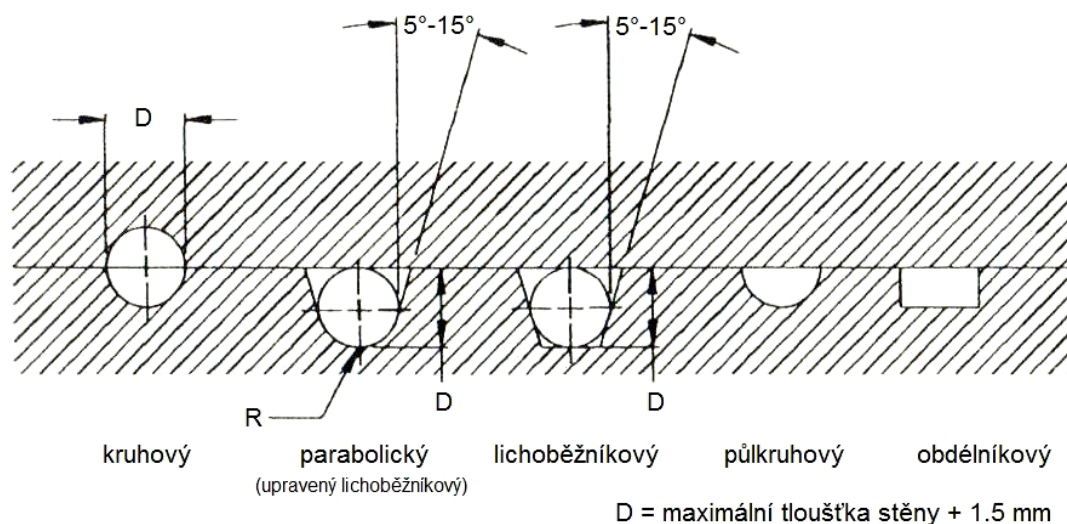
Obr. 3.4: Vtoková vložka. [21]

3.4.2. Studené rozvodné kanály

Studené rozvodné kanály rozvádí taveninu přivedenou studenou vtokovou vložkou k jednotlivým dutinám vstřikovací formy. Rozvodné kanály mohou nabývat různých tvarů a řešení, které se odvíjejí od konstrukčního řešení vstřikovací formy a rozmístění jednotlivých tvarových dutin ve vstřikovací formě. [26]

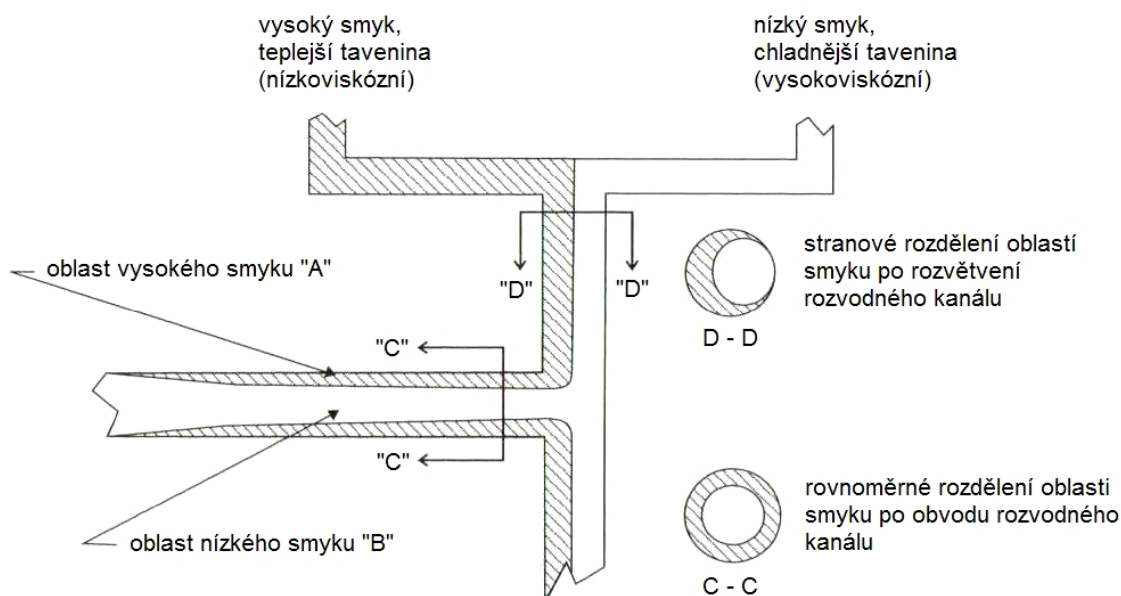
Tvar rozvodných kanálů [26]:

- nesmí způsobovat významný odpor vůči toku taveniny;
- nesmí vytvářet mrtvá místa, kde by mohlo docházet k zdržování taveniny;
- nesmí generovat velké množství odpadu;
- musí umožňovat rovnoměrný tok ke všem dutinám formy;
- musí maximalizovat tok taveniny kanálem prostřednictvím minimalizace poměru povrchu plochy vůči průřezu plochy.



Obr. 3.5: Průřezy rozvodných kanálů. [26]

Z uvedeného vyplývá, že zásadní je průřez rozvodného kanálu. Nejideálnějším průřezem je z hlediska toku kruhový průřez. Ten se však téměř nepoužívá z důvodu vysoké náročnosti na výrobu a požadovanou sousost obou polovin kanálu. Proto jsou nejpoužívanější alternativou lichoběžníkový nebo parabolický průřez, které poskytují výhody kruhového průřezu současně s jednoduchou výrobou díky umístění v jedné polovině formy. Další alternativou jsou půlkruhový a obdélníkový kanál. Ty však nejsou vhodné pro vstřikování termoplastů z důvodu nutnosti použití vysokých vstřikovacích tlaků. Nicméně při vstřikování silnostěnných výrobků z reaktoplastů je obdélníkový průřez velmi výhodný. Tavenina reaktoplastu se v obdélníkovém kanálu vlivem vyššího tlaku a větší styčné plochy s formou zahřívá, což vede k zlepšení toku taveniny a zkrácení doby vytvrzování. [26]



Obr. 3.6: Oblasti vysokého a nízkého smyku v rozvodných kanálech. [26]

U vícenásobných forem je důležitá geometrická vyváženost rozvodných kanálů (délka, průřez, symetrie). Avšak u mnoha forem ani vyváženost neumožňuje výrobu shodných výrobků. To je způsobeno vlastnostmi polymerního materiálu při toku, po-

čtem větví rozvodných kanálů a s tím souvisejícím uspořádáním dutin vůči centrální ose vstřikovací formy (osa Z), která prochází vtokovou vložkou. Dutiny blíže středu formy mají tendenci k vyšší hmotnosti, větším rozměrům a přetokům z důvodu přeplňování. Vzdálenější dutiny vykazují opačné tendence. To vše má vliv i na mechanické vlastnosti, deformace a smrštění výrobků z jednotlivých dutin. [26]

Tok polymeru v rozvodných kanálech je poměrně komplikovaný, jelikož smyková rychlost, teplota a tudíž i viskozita jsou různé po délce i napříč rozvodným kanálem. Všechny tokové i smykové rychlosti jsou nejvyšší uvnitř okrajové části rozvodného kanálu a nulové v ose kanálu. Na smykovou rychlost v okrajové části má vliv i nižší viskozita způsobená vyšší teplotou proudícího polymeru v této vrstvě, což je způsobeno větší mírou smýkání (Obr. 3.6). [26]

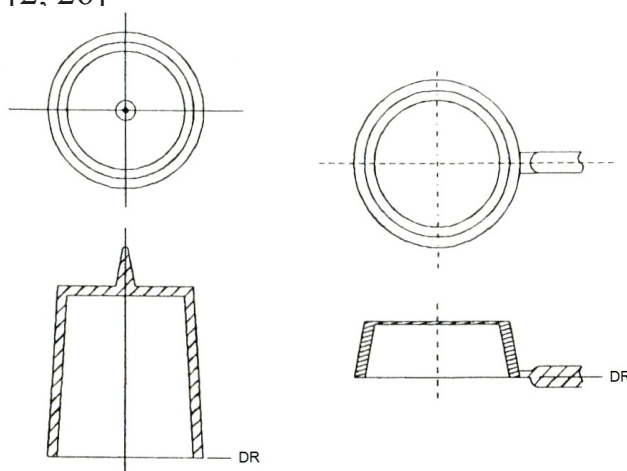
3.4.3. Studená vtoková ústí

Vtokové ústí tvoří spojnicí mezi rozvodným kanálem a dutinou formy. Často je definováno jako zúžení rozvodného kanálu. Velikost, tvar a umístění vtokového ústí může významně ovlivnit kvalitu vstřikovaného výrobku. Vtokové ústí musí umožnit bezproblémové naplnění dutiny formy taveninou, její doplňování ve fázi dotlaku a snadné nebo automatizované odstranění vtokového systému od výrobku. [2, 26]

Běžně je doporučováno, aby tloušťka nebo průměr vtokového ústí byl v rozmezí od 30 % do 70 % tloušťky stěny výrobku, které se dotýká. Menší průřez umožní snadnější odstranění od výrobku, ale zároveň může způsobit problémy při plnění formy. U většího průřezu je to naopak. [2, 26]

Kuželové vtokové ústí

Kuželové vtokové ústí se od všech ostatních zásadně liší, protože se nezužuje a nenavazuje na rozvodný kanál. Často je nazýváno přímým vtokem, jelikož vzniká ve studené vtokové vložce – vtokový kužel vložky je kuželovým vtokovým ústím. Používá se u jednonásobných forem. Je ideální pro válcovité nebo symetrické tvary, zpravidla silnostěnných výrobků (Obr. 3.7). Svým tvarem vtokové ústí umožňuje velmi účinné plnění i doplňování ve fázi dotlaku. Nevýhodou je pracné odstranění a dlouhá doba chlazení. Proti vtoku se doporučuje vytvořit čokovitě zahlobení, zvláště u tenkostěnných výrobků. [2, 26]

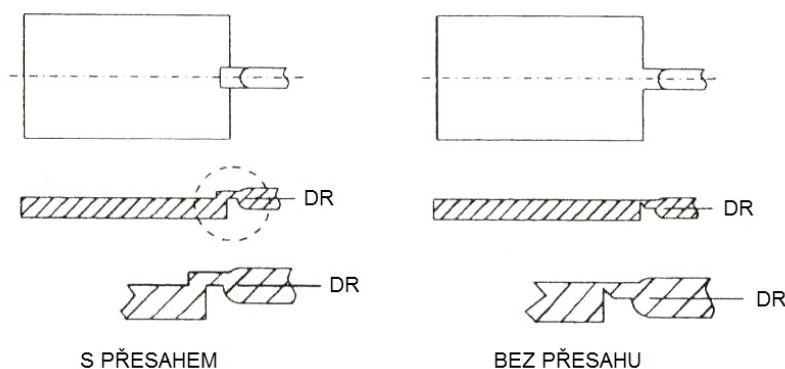


Obr. 3.7: Kuželové vtokové ústí. [26]

Boční vtokové ústí

Boční vtokové ústí je nejjednodušším a nejzákladnějším vtokovým ústím. Standardně má obdélníkový průřez a s dutinou je spojeno v dělicí rovině formy. Používá se zejména u vícenásobných forem, kde je automatické odstranění vtoků neproveditelné nebo nežádoucí. Po vyjmutí z formy je vtokový systém v místě bočních vtokových ústí stále spojen s výrobky, což umožňuje pohodlně provádět dodatečné operace (kontrolu výrobků, potisk, odstranění výrobků od vtoků apod.). [2, 26]

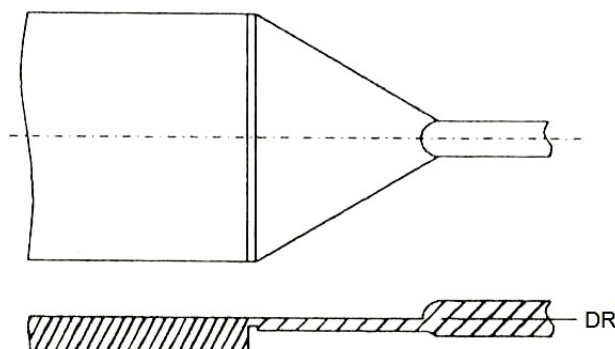
Vtokové ústí je možné vůči dutině umístit dvěma způsoby – bez přesahu a s přesahem (Obr. 3.8). Boční vtok s přesahem se používá u mechanicky namáhaných dílů, optických dílů a k zamezení tryskového toku (jetting). Má obdélníkový průřez přesahující přes hranu výrobku. Nevýhodou je obtížné odstranění a stopa po vtoku. Varianta bez přesahu je častější a snadněji se odděluje od výrobku. Tvoří ji obdélníkový nebo půlkruhový průřez zužující se od rozvodného kanálu k dutině. Z důvodu možnosti vzniku tryskového toku je vhodné proti vtoku umístit překážku nebo plnit dutinu nižší vstřikovací rychlostí. [2, 26]



Obr. 3.8: Boční vtokové ústí. [26]

Vějířové vtokové ústí

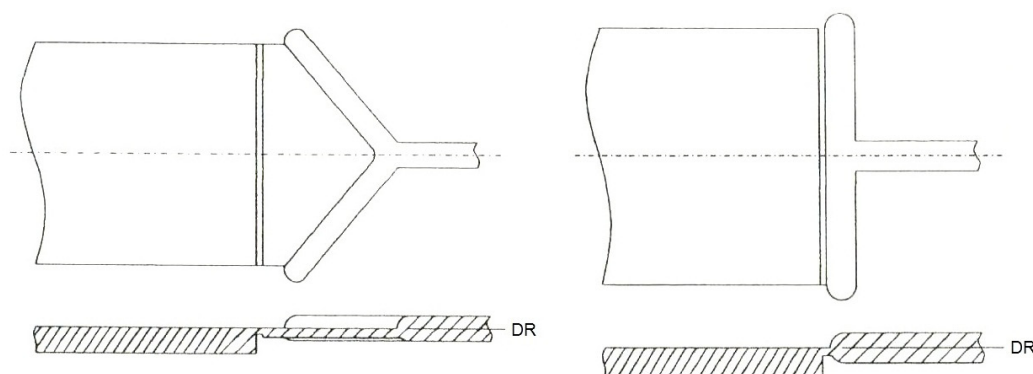
Vějířové vtokové ústí je speciálním případem bočního vtokového ústí. Rozdíl je ve velikosti a tvaru. Vějířový vtok má obdélníkový průřez, který se od rozvodného kanálu výrazně rozšiřuje (Obr. 3.9). S dutinou formy je vtok spojen širokou, ale úzkou štěrbinou. Tvar vtoku umožňuje pomalejší, rovnoměrnější a širší vstup taveniny do dutiny, což způsobuje lepší orientaci a snížení smykových napětí i rychlostí v místě vtoku. Nevýhodou je obtížnější odstranění od výrobku a stopa po vtoku. [2, 26]



Obr. 3.9: Vějířové vtokové ústí. [26]

Filmové vtokové ústí

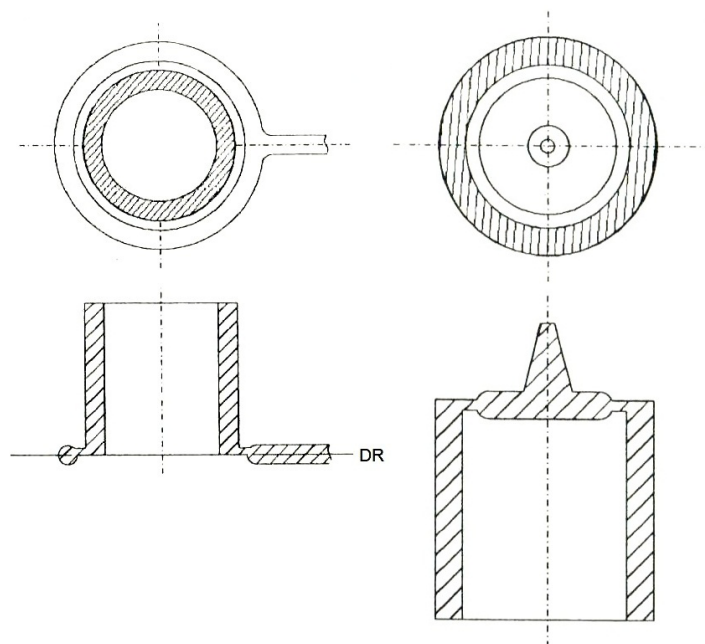
Filmové vtokové ústí je speciálním případem bočního vtokového ústí (Obr. 3.10). Rozdíl je ve velikosti a tvaru. Má stejné výhody i nevýhody jako vějířový vtok, od kterého se liší rozvodným kanálem, jenž distribuuje taveninu podél tenkého můstku obdélníkového průřezu. Přes můstek vtéká tavenina do dutiny. Aby bylo dosaženo rovnoměrného plnění po celé šířce vtoku, je průřez rozvodného kanálu proměnlivý. Filmový vtok navíc omezuje vznik přetoků, pozastavení toku a napomáhá rovinnosti výrobků. [2, 26]



Obr. 3.10: Filmové vtokové ústí. [26]

Prstencové vtokové ústí

Prstencové vtokové ústí je speciálním případem bočního vtokového ústí (Obr. 3.11). Rozdíl je ve velikosti a tvaru. Jedná se o filmový vtok uzpůsobený k plnění výrobků válcového tvaru po jejich vnějším obvodu, tzn. opak membránového vtokového ústí. Stejně jako u membránového ústí je účelem zabránit deformaci válcových tvarů a vzniku studených spojů. Vtok má stejné výhody i nevýhody jako filmový vtok. [2, 26]



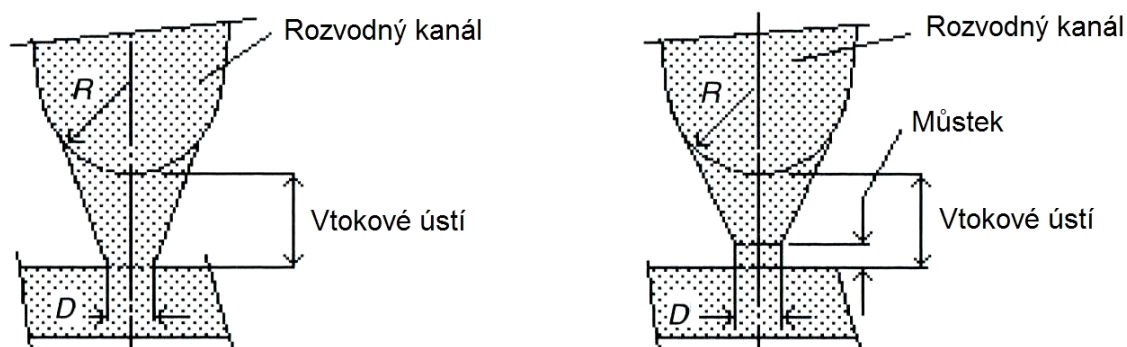
Obr. 3.11: Prstencové (vlevo) a membránové (vpravo) vtokového ústí. [26]

Membránové vtokové ústí

Membránové vtokové ústí je speciálním případem bočního vtokového ústí (Obr. 3.11). Rozdíl je ve velikosti a tvaru. Jedná se o filmový vtok uzpůsobený k plnění výrobků válcového tvaru po jejich vnitřním obvodu, tzn. opak prstencového vtokového ústí. Stejně jako u prstencového ústí je účelem zabránit deformaci válcových tvarů a vzniku studených spojů. Vtok má stejné výhody i nevýhody jako filmový vtok, ale s tím rozdílem, že je použitelný u třídeskového systému forem. [2, 26]

Bodové vtokové ústí

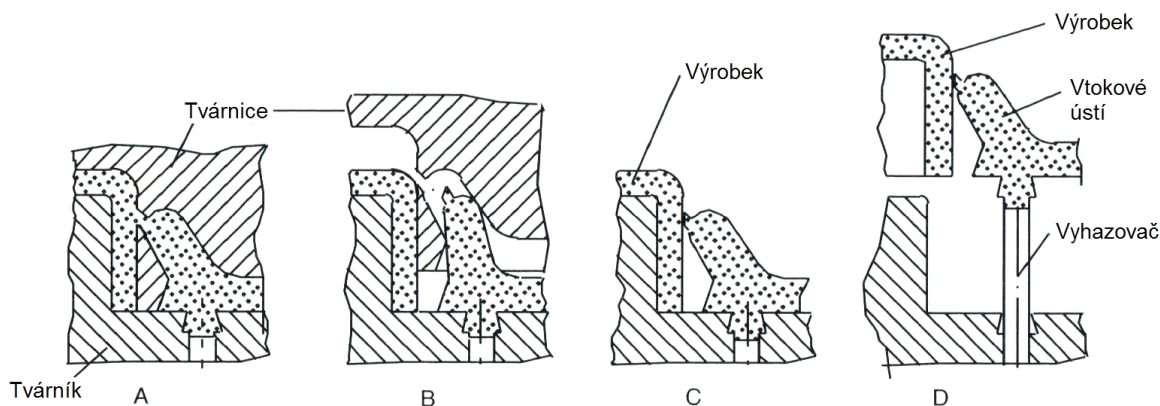
Bodové vtokové ústí lze použít jen u třídeskového systému formy, kde je rozvodný kanál umístěn ve vedlejší dělicí rovině (Obr. 3.12). K odformování a vyhození vtokového systému tak dochází automaticky při otevírání formy a nezávisle na výrobku. Bodové ústí navazuje na zužující se kuželový rozvodný kanál. Ústí má kruhový průřez zmenšující se směrem k dutině, v ideálním případě zakončený můstkem. Z důvodu možnosti poškození stěny výrobku při odstraňování vtoků musí být průměr ústí v místě styku s dutinou nejméně o 50 % menší než tloušťka stěny výrobku. Druhou možností je vytvoření čočkovitého zahlobnutí proti ústí vtoků. [2, 26, 34]



Obr. 3.12: Bodové vtokové ústí. [34]

Tunelové vtokové ústí

Tunelové vtokové ústí je speciálním případem bodového vtokového ústí. Rozdíl je ve velikosti, tvaru a umístění. Umožňuje automatické oddělení od výrobku při otevírání formy, ale oproti bodovému ústí ve dvoudeskovém systému formy. [2, 26, 34]

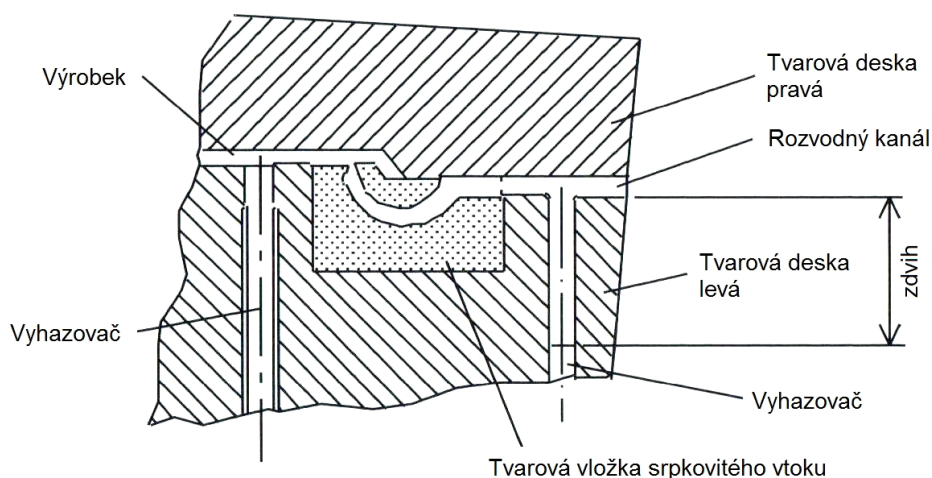


Obr. 3.13: Tunelové vtokové ústí. [34]

Tunelové ústí má tvar kužele vycházejícího z rozvodného kanálu v dělicí rovině pod různými úhly směrem k dutině (Obr. 3.13). Při otvírání formy nebo při vyhazování se ústí odstříhne od výrobku o hranu otvoru v místě styku s dutinou. Při konstrukci musí být brán zřetel na typ vstříkovaného polymeru a množství taveniny, která má ústím protéct, aby nedošlo k jeho předčasnému zatuhnutí. Průměr ústí v místě styku s dutinou by měl být od 30 % do 70 % tloušťky stěny. [2, 26, 34]

Srpkovité (banánové) vtokové ústí

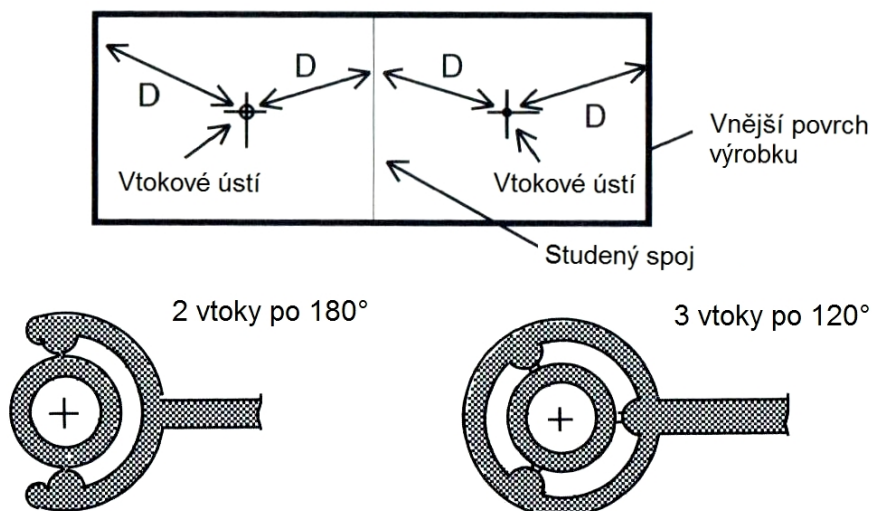
Srpkovité vtokové ústí je speciálním případem tunelového (bodového) vtokového ústí. Rozdíl je ve velikosti, tvaru a umístění. Srpkovitý vtok je tvarově uzpůsoben k umístění do oblasti, kde by jiný vtok nemohl být (Obr. 3.14). Vtok má stejné výhody i nevýhody jako tunelový vtok, ale s tím rozdílem, že vyžaduje použití houževnatých polymerů, jelikož křehký materiál by se mohl při odformování zalomit. [2, 26, 34]



Obr. 3.14: Srpkovité (banánové) vtokové ústí. [34]

3.4.4. Plnění jedné dutiny více vtoky

Více vtokových ústí do jedné dutiny (Obr. 3.15) je většinou vyžadováno u rozměrnějších nebo štíhlých (válcových) výrobků. [2, 34]



Obr. 3.15: Plnění více vtoky. [34]

Důvody plnění více vtoky [2, 34]:

- délka toku taveniny z jednoho místa (ústí vtoku) je natolik velká, že by nedošlo zaplnění dutiny (vtok by předčasně ztuhl);
- jedno místo vtoku neumožní dostatečné působení dotlakem;
- bylo by nutné využít třídeskového systému forem.

Plnění více vtoky má nevýhody v podobě problémů se studenými spoji, odvzdušením a přeplňováním, jestliže není dodržena minimální vzdálenost mezi vtoky. Při nevhodném umístění může toto řešení způsobit větší deformace výrobku.

3.4.5. Pozice studených vtokových ústí

Pozice vtokového ústí vychází ze znalosti budoucí funkce výrobku a konstrukčního řešení vstřikovací formy. Při rozhodování o umístění vtokového ústí je vhodné brát ohled na typ a délku rozvodných kanálů, typ vtokového ústí, rozmístění dutin ve formě a vstřikovaný materiál. Konstrukční řešení formy má vliv na [2, 3, 26, 29]:

- stopu po vtoku;
- smrštění a deformace výrobku;
- vznik zbytkových napětí ve výrobku;
- vznik studených spojů a jejich kvalitu;
- uzavírací (přidrznou) sílu;
- deformaci jader, z důvodu nerovnoměrné plnění dutiny v okolí jader může nastat jejich deformace;
- odvzdušnění, jelikož umístění vtoku rozhoduje o uzavírání vzduchu v různých oblastech dutiny formy, ideálně se vzduch uzavírá v oblasti dělicí roviny, v oblastech mimo dělicí rovinu musí být vytvořeno speciální odvzdušnění.

Z hlediska konstrukčního řešení výrobku, zejména tloušťky stěn, je nejvhodnější umístit vtokové ústí do nejsilnější stěny výrobku. Umístění vtoku do tenčí (slabší) stěny výrobku by mohlo způsobit problémy ve fázích plnění i dotlaku. Následkem toho by mohlo dojít k většímu smrštění, deformacím, propadlinám apod. [26, 29]

Umístění vtokového ústí má z hlediska technologie vstřikování vliv na [26, 29]:

- možnost působení vstřikovacím tlakem nebo dotlakem, s tím souvisí i tloušťka jednotlivých stěn výrobku;
- vznik tryskového toku, kdy rychle vstupující tavenina do volného prostoru dutiny formy nenaráží po vstupu na žádnou překážku a vytvoří tak paprsek taveniny.

3.4.6. Vliv vtokových ústí na smrštění

Obecně platí, že v oblasti vtokového ústí je nejúčinnější působení vstřikovacím tlakem nebo dotlakem. S rostoucí vzdáleností účinnost tohoto působení klesá. S tím souvisí i velikost smrštění jednotlivých částí výrobku. Oblasti blíže vtokových ústí mají menší smrštění než oblasti vzdálenější od ústí vtoku. Důvodem je, že bližší oblasti jsou více doplňovány taveninou, naproti tomu vzdálenějším oblastem v doplňování brání více zatuhlých vrstev. [34]

Malá vtoková ústí ztuhnou dříve, a proto se do dutiny formy při fázi dotlaku dostane méně taveniny, což způsobí větší smrštění. [34]

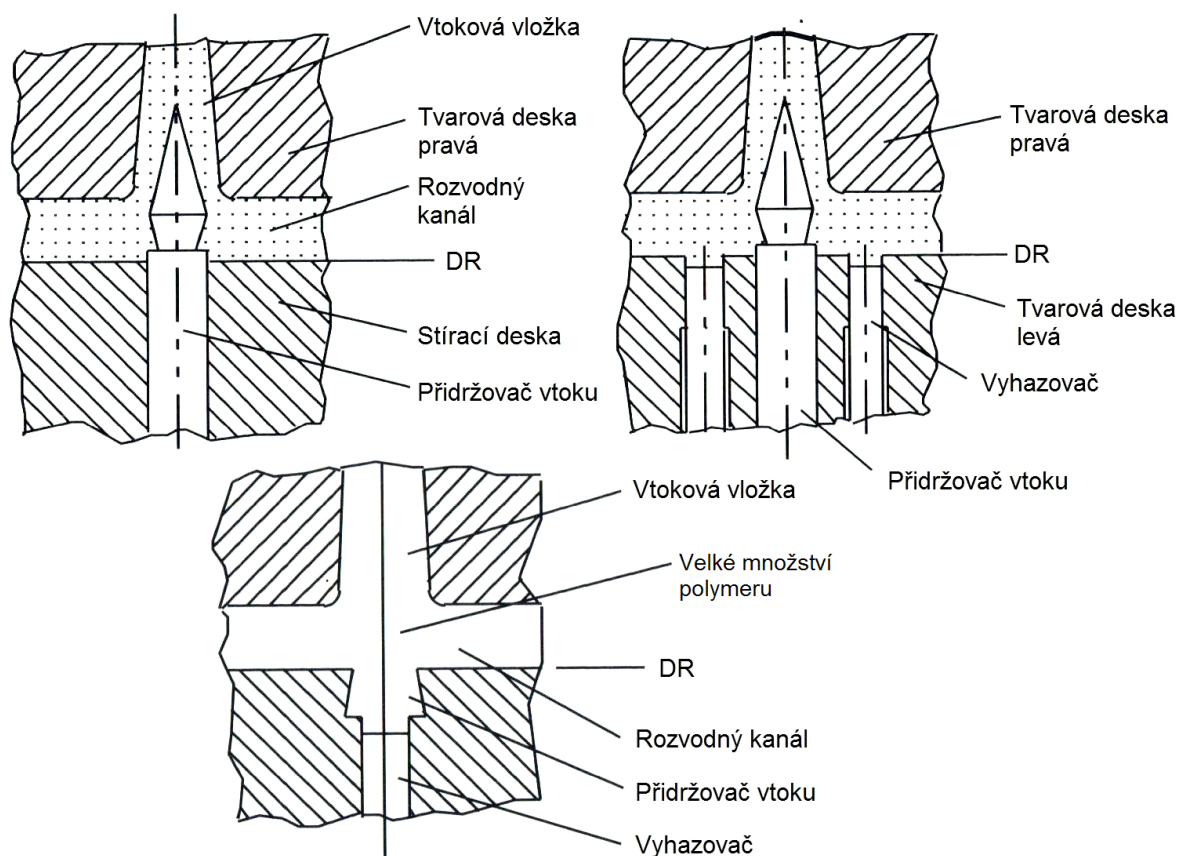
U velkých vtokových ústí, která tuhnu pomaleji a snižují smrštění, je nutné zo-

hlednit typ vtokového systému. Studená vtoková ústí tuhnou pomaleji, umožňují delší působení tlaku ve fázi dotlaku, ale zanechávají nevzhlednou stopu na výrobku. Při použití horkých vtoků záleží na jejich konstrukci a zda jsou uzavíratelné pomocí jehel. Ve všech případech je možné delší působení dotlakem. Při použití uzavíratelných trysek je možné odstranit stopu po vtoku, u ostatních trysek je stopa minimální. [34]

Významným způsobem ovlivňuje smrštění umístění vtokových ústí. Centrální kuželové vtokové ústí je obvykle nejlepší pro rovnoměrné smrštění výrobků. Ostatní vtoková ústí (boční, tunelová apod.) zpravidla vytváří nerovnoměrné smrštění, nejvíce je to vidět u tenkostěnných výrobků. K eliminaci smrštění a deformací je možné využít plnění jedné dutiny více vtoky, ale ne vždy je tato možnost účinná. [34]

3.4.7. Přidržovač vtoku

Přidržovač vtoku se využívá k přidržení studeného vtokového systému ve formě na straně vyhazovačů, tedy zpravidla na levé straně formy. Napomáhá tím k automatickému odformování vtokového systému. Přidržovač vtoku má nejrůznější konstrukční řešení, v zásadě se dělí na drážkový a trnový. [4, 34]



Obr. 3.16: Přidržovač vtoku. [34]

Drážkový přidržovač tvoří otvor s různým tvarem podkosu. Tyto přidržovače se využívají u dvoudeskových systémů forem, kde jsou odformovány a vyhozeny válcovými vyhazovači. Umísťují se proti vtokovým vložkám, do míst dělení rozvodných kanálů a do blízkosti vtokových ústí. Nevýhodou drážkových přidržovačů je velikost prostoru, který vytvoří s rozvodnými kanály, a kde musí dlouho chladnout tavenina, než je možné působit vyhazovačem. [34]

Trnové přídržovače se využívají výhradně u třídeskových systémů forem. U dvoudeskových systémů je jejich použití podmíněno užitím stírací desky nebo dvojice válcových vyhazovačů v těsné blízkosti trnového přídržovače. Umísťují se proti vtokovým vložkám. Jejich výhodou je omezení volného prostoru, kde musí chladnout tavenina. [34]

3.5 Horký vtokový systém

Horký (vyhříváný) vtokový systém je specifický tím, že po celé jeho délce zůstává vstříkovaný materiál taveninou. Horké vtokové systémy se začaly používat z technologických i ekonomických důvodů. Dnešním sofistikovaným systémům s vlastním vytápěním a možností regulace teploty přecházely jednodušší systémy v podobě zesílených vtoků a izolovaných vtokových soustav. [4, 26, 34]

Výhody horkých (vyhříváných) vtokových systémů [4, 26, 34]:

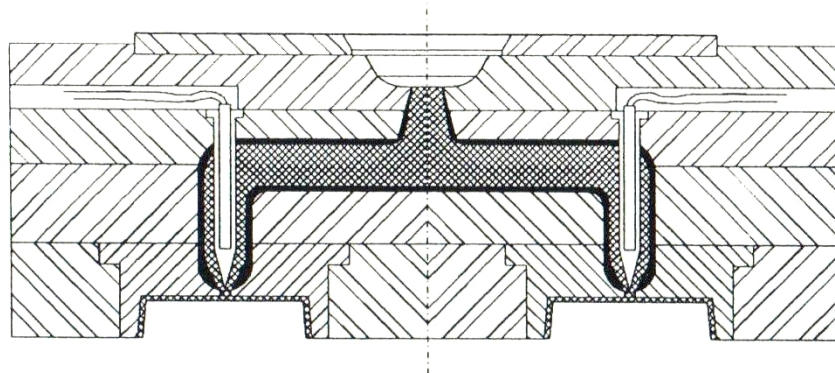
- snižují spotřebu polymeru a náklady na dokončovací operace i recyklaci, protože nevytváří žádný vtokový zbytek;
- umožňují zkracovat výrobní cyklus díky automatizaci výroby;
- mají snadnou montáž, demontáž i údržbu;
- mají vlastní regulaci teploty všech svých částí.

Nevýhody horkých (vyhříváných) vtokových systémů [4, 26, 34]:

- jsou náročnější na konstrukční provedení vstříkovacích forem;
- jsou energeticky a ekonomicky nákladnější než studené vtokové systémy;
- musí být osazeny senzory a regulátory teplot.

3.5.1. Zesílené vtoky a izolované vtokové soustavy

Zesílené vtokové soustavy nevyužívají žádných topných těles. Pracují na principu termoplastické izolace – tzn. že se na povrchu masivního kanálu (často až 30 mm v průměru) vytvoří zatuhlá vrstva polymeru s funkcí izolace, přičemž uvnitř kanálu proudí tavenina. Podmínkou správné funkce vtoku jsou rychlé pracovní cykly. Výhodou zesílených vtokových soustav je absence topných těles, nízká cena, rychlá změna barvy vstříkovaného materiálu, nízké vstříkovací tlaky. Nevýhodou je nemožnost teplotní regulace, použití jen u málo přesných výrobků a omezené množství vhodných polymerů. Z hlediska konstrukce forem je forma pro tento typ vtoku, z důvodu nutnosti jeho vyhození, konstruována jako třídeskový systém. [4, 26, 34]



Obr. 3.17: Izolovaná vtoková soustava. [26]

Izolované vtokové soustavy jsou konstrukčně řešeny stejným způsobem jako zesílené vtoky. Jediným rozdílem je přítomnost topného tělesa nebo těles v některé části soustavy. Díky tomu je možné lépe kontrolovat a regulovat teplotu v systému a je možné prodloužit pracovní cykly. Ostatní vlastnosti zůstávají stejné jako u zesílených soustav. [4, 26, 34]

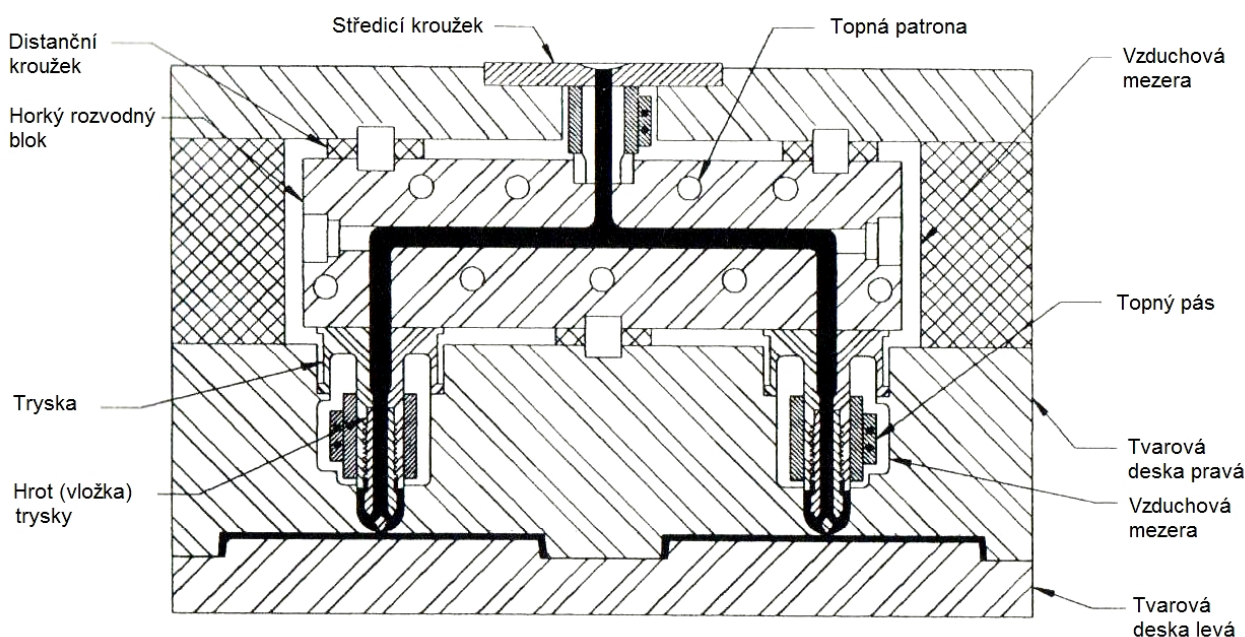
3.5.2. Moderní horké vtokové systémy

Dnes využívané horké vtokové systémy (Obr. 3.18) se skládají ze čtyř základních částí: horká vtoková vložka, horký rozvodný blok, horké trysky a elektroinstalace.

Horká vtoková vložka přivádí taveninu z plastikační jednotky do horkého rozvodného bloku. Teplota vložky je nejčastěji udržována topnou manžetou po jejím obvodu, avšak existují i varianty s topným torpédem uvnitř tokového kanálu. Často se v tokovém kanálu vyskytuje filtr pevných částic, který zamezuje průniku nečistot dále do vtokové soustavy. [4, 26, 34]

Úkolem horkého rozvodného bloku je rozvádět taveninu k tryskám. Tvar bloku může být jakýkoliv. Musí být dodržena stejná zásada jako studených rozvodných kanálů: geometrická vyváženost rozvodu taveniny. Rozvodné bloky mohou být vyrobeny z jednoho kusu s vrtanými otvory pro rozvod taveniny a topné patrony. Nebo jsou řešeny segmentově s frézovanými drážkami pro taveninu a topná tělesa (topné hady). Obě řešení se mohou i kombinovat. [4, 26, 34]

Horké trysky jsou poslední částí horkého vtokového systému. Dopravují taveninu od rozvodného bloku přímo do dutiny formy nebo do studeného rozvodného kanálu v případě kombinace obou typů vtokových systémů ve formě. Konstrukční řešení horkých trysek je velmi rozmanité – záleží na typu vsřikovaného polymeru, tvaru výrobku, požadavcích na výrobek atd. Vtokové ústí trysek může být otevřené, s hrotem nebo uzavíratelné pomocí jehly. [4, 26, 34]



Obr. 3.18: Horká vtoková soustava. [26]

Horké trysky musí splňovat tyto požadavky [4, 26, 34]:

- zajistit dostatečný ohřev a rovnoměrné teplotní pole po celé délce trysky včetně vtokového ústí;
- poskytnout tepelné odclonění trysky od dutiny formy;
- minimalizovat stopu po vtokovém ústí trysky na výrobku.

K uspokojivému zajištění předchozích požadavků je nutné řešit otázky spojené s ohřevem a tepelnou vodivostí trysek [4, 26, 34]:

- teplotní roztažnost horkého rozvodného bloku zapříčiňuje vychýlení a/nebo poškození horké trysky a vtokového ústí;
- předčasné spuštění horkého vtokového systému může způsobit zatečení taveniny do prostoru mezi blok a trysku, to zamezí teplotnímu roztažení bloku i trysky, a tím jejich vzájemnému utěsnění;
- délka horké trysky je limitující pro tepelnou vodivost trysky v případě, že nemá vlastní topení a je ohřívána od rozvodného bloku.

Všechny doposud zmíněné základní části horkého vtokového systému jsou zpravidla osazeny teplotními senzory z důvodu regulace teploty. Stejně tak jsou pomocí kabeláže napojeny na centrální přívod elektrické energie vně vstřikovací formy.

3.6 Vyhazovací systém

K odformování a vyhození výrobku z formy dochází po skončení fáze chlazení. Výrobek je odformován buď pouhým otevřením vstřikovací formy, nebo jsou k tomuto účelu využity další mechanismy (čelist'ové mechanismy, kleštiny apod.). Vyhození výrobku je pak provedeno manuálně, automaticky nebo kombinací zmíněných možností v automatickém nebo poloautomatickém režimu. Jakým způsobem bude výrobek odformován a vyhozen záleží na jeho velikosti, tvaru a způsobu zaformování (umístění dělicí roviny). [5, 26, 34]

Manuální vyhození výrobku provádí vyškolený pracovník. Využívá se u nízkonákladových a prototypových vstřikovacích forem. [5, 26, 34]

Automatické vyhazování se provádí vyhazovacím mechanismem umístěným přímo ve formě, zpravidla na pohyblivé (levé) straně formy. Tento způsob vyhazování lze provést dvěma způsoby [5, 26, 34]:

- volný pád, kdy je výrobek vyhozen (vytlačen) vyhazovacím mechanismem a volně padá pod vstřikovací formu do krabice nebo na dopravníkový pás;
- kontrolované odebrání, kdy je výrobek vyhozen (vytlačen) vyhazovacím mechanismem za asistence robota, který poté výrobek odstraní z prostoru formy.

Výhody automatického vyhazování výrobků z formy jsou:

- rovnoměrnost a rychlost vstřikovacího cyklu;
- absence pracovníka – eliminace lidské chyby a zvýšení bezpečnosti práce;
- jednotnost a kvalita vstřikovaných výrobků.

3.6.1. Požadavky na vyhození

Vždy musí být dodržena podmínka, že po otevření vstřikovací formy musí výrobek zůstat na straně vyhazovacího systému, aby mohlo dojít k jeho vyhození. [5, 26, 34]

Při vyhazování musí být překonány síly vyvozené smrštěním výrobku na tvárníku

a třecí síla na rozhraní ocel/polymer. Z toho vyplývá, že problémy při vyhazování se nejčastěji vyskytnou u tenkostěnných výrobků nebo výrobků z křehkých a vysoce elastických materiálů. [5, 26, 34]

Negativní vlivy při vyhazování výrobků lze minimalizovat [5, 26, 34]:

- separačními prostředky (teflon apod.);
- leštěním tvarových vložek ve směru vyhazování;
- použitím úkosů na výrobku;
- použitím nepřilnavého povrchu dutiny;
- snížením rychlosti vyhazování, doby chlazení, velikosti a délky dotlaku, eventuálně snížením vstřikovací rychlosti;
- umístěním vyhazovacího systému na nepohledové strany výrobku.

Pro bezproblémové vyhození výrobku je vhodné dodržet minimální otevření vstřikovací formy, které by mělo odpovídat 2,5 násobku výšky tvárníku. Při vyhazování by se měl vyhazovací systém opírat o co největší plochu výrobku. V případech, kdy to není možné, je žádoucí, aby vyhazovače působily proti větší masě materiálu. Ve všech případech nesmí docházet k borcení nebo deformacím výrobku. [5, 26, 34]

3.6.2. Typy vyhazovacích systémů

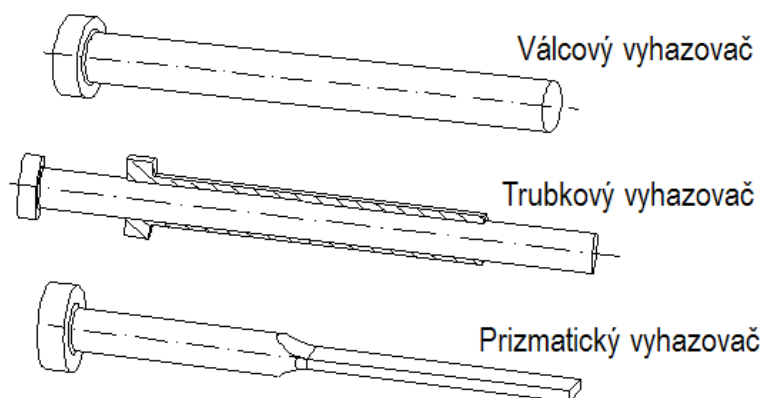
Vyhazovací systémy lze rozdělit na mechanické (nejrozšířenější) a pneumatické.

Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky jsou nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování, protože jsou výrobně jednoduché a funkčně zaručené. Využívají se tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výrobku. Nevýhodou vyhazovačů je jejich malý průměr, který může zanechávat stopy na výrobku. Při rozmístování vyhazovacích kolíků musí být brán zřetel na pevnost formy, přítomnost teploty a tvar výrobku. [5, 19]

Vyhazovací kolíky lze rozdělit do tří skupin [5, 19]:

- válcové – nejběžnější a nejčastější, na výrobek působí bodově;
- prizmatické – od válcových se liší změnou průřezu přibližně ve 2/3 délky, na výrobek působí bodově;
- trubkové – skládají se z jádra a trubky, jádro je pevně ukotveno bez možnosti pohybu, trubka je umístěna ve vyhazovacích deskách a při vyhazování se pohybuje po jádru, na výrobek působí plošně.

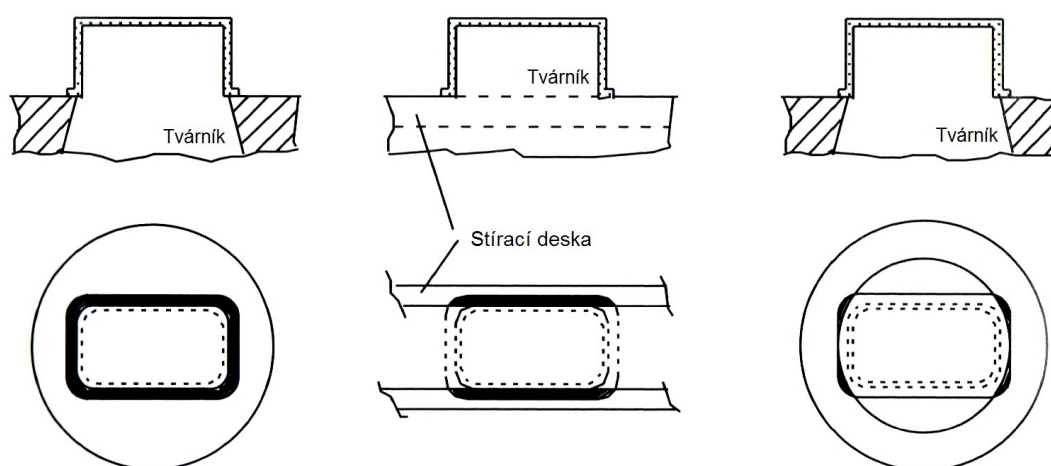


Obr. 3.19: Základní typy vyhazovacích kolíků. [19]

Stírací deska

Stírací deska je speciálním případem trubkového vyhazovače, avšak na rozdíl od něj není limitována kruhovým průřezem. Deska může mít v oblasti tvarových vložek libovolný tvar, nejčastěji působí na výrobek po celém obvodu (tedy plošně) v dělicí rovině, čímž zamezuje borcení výrobku a nezanechává stopy po vyhazování. Nejčastěji se používá na rozměrné a tenkostěnné výrobky. Stejně jako u vyhazovacích kolíků je jejího pohybu dosaženo vyhazovacími deskami, popřípadě různými typy mechanismů (třideskový nebo západkový systém, odpružené kolíky apod.). [5, 26, 34]

Namísto stírací desky se využívá stírací kroužků, které jsou ve formě ukotveny samostatně nebo jsou součástí stírací desky. Používají se důvodu úspory materiálu, místa ve formě a snadné výměnitelnosti. [5, 26, 34]



Obr. 3.20: Stírání výrobku pomocí stírací desky. [34]

Šikmé vyhazovače

Šikmé vyhazovače se využívají k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Díky tomu není nutné využívat složitých čelistových mechanismů. Zápich může být vytvořen přímo na šikmém vyhazovači nebo na šikmo uloženém kolíku s pevně připojenou čelistí. Uspořádání takového vyhazovacího systému může mít nejrůznější podobu a lze jej kombinovat s přímým vyhazováním. [5]

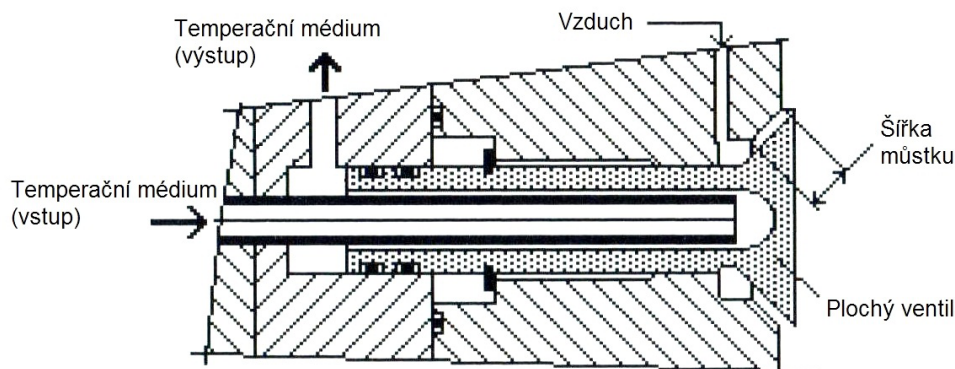
Dvoustupňové (vícestupňové) vyhazování

Dvoustupňové vyhazování je kombinací dvou nebo více mechanických způsobů vyhazování. Umožňuje vyhazovat s časovým posunem a rozdílnou velikostí zdvihu. Využívá se například při oddělování vtokových zbytků od výrobku nebo pro odformování komplikovanějších tvarů na výrobku a následné vyhození. K řízenému pohybu dvou vyhazovacích systémů se používá dvojčinný hydraulický válec. [5]

Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se využívá u výrobků, kde by mechanickým působením vyhazovacího systému docházelo k deformacím výrobku nebo by vyhození vyžadovalo velký zdvih. Zejména se jedná o tenkostěnné výrobky (kelímky, květináče apod.).

V průběhu vyhazování je vzduch veden mezi výrobek a líc vstřikovací formy, což umožňuje rovnoměrné oddělení výrobku od tvárníku. Ve formách se využívá buď čistě pneumatického vyhazování, což zjednodušuje konstrukci formy, snižuje hlučnost a usnadňuje výrobu i údržbu. Nebo se využívá kombinace pneumatického a mechanického vyhazování. Přívod vzduchu je řízen přes talířový ventil, jehlový ventil nebo zavzdušňovací kolík. Velmi důležitá je kvalita přiváděného vzduchu, nejen z hlediska tlaku, ale hlavně z hlediska čistoty. Vzduch by měl být čistý a filtrovaný, neměl by obsahovat prach, olej nebo vodu. [5, 34]



Obr. 3.21: Pneumatické vyhazování - plochý ventil. [34]

3.7 Temperační systém

Temperační systém vstřikovacích forem výrazným způsobem ovlivňuje celý vstřikovací proces i vyráběný produkt. Cílem temperačního systému je zajistit účinný odvod tepla přivedeného do formy taveninou. Rychlost a rovnoměrnost odvodu tepla ze všech oblastí dutiny záleží na kvalitě konstrukčního řešení temperačního systému. Fáze chlazení může v cyklu činit až 80 % jeho délky. [5, 19, 26, 34]

Obecné požadavky kladné na temperaci [5, 19, 26, 34]:

- výroba kvalitních a shodných produktů po celou životnost formy;
- dosažení ekonomické délky vstřikovacího cyklu;
- snadná výroba, montáž i údržba celého systému.

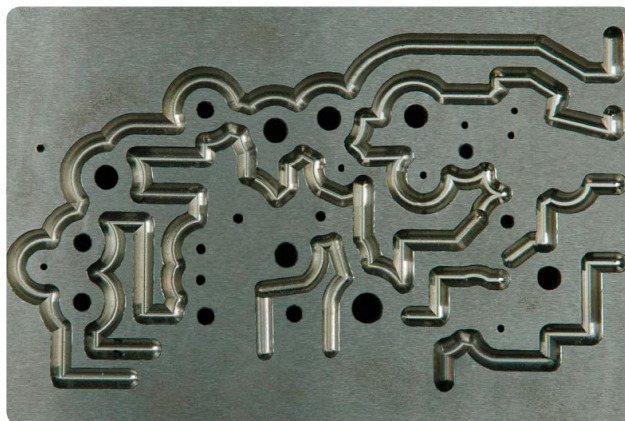
Na temperaci vstřikovací formy má vliv [5, 19, 26, 34]:

- typ vstřikovaného polymeru;
- procesní podmínky vstřikování (teploty, tlaky apod.);
- konstrukční řešení temperačního systému;
- typ použitého temperačního média a jeho vlastnosti;
- rozdíl teplot temperačního média, vstup – výstup;
- materiál vstřikovací formy a jeho tepelná vodivost;
- typ a konstrukční řešení vtokového systému.

3.7.1. Konstrukční řešení, požadavky, zásady

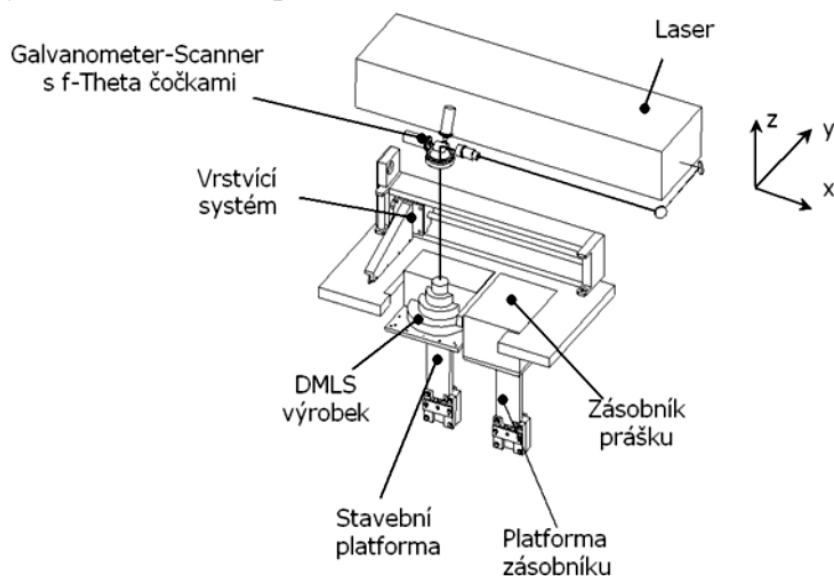
V současné době může být temperační systém řešen různými způsoby. Ty je možné libovolně kombinovat. Nejběžnější je konvenční způsob, kdy je celý systém řešen pomocí různě propojených vrtaných, frézovaných nebo soustružených kanálů. Tyto kanály mohou být osazeny dalšími komponenty usměrňujícími tok temperačního mé-

dia (přepážky, spirálové trny, ucpávky apod.). Konvenční způsob však v mnoha aplikacích naráží na své limity. Obzvláště u tvarově složitých dutin. [30]



Obr. 3.22: GWK systém 4G Integrat. [15]

Tento problém řeší další dva způsoby výroby temperačních systémů. Prvním z nich je systém 4G Integrat od společnosti GWK (Obr. 3.22). Do ocelových desek je vyfrézován požadovaný tvar temperačního systému i s propojujícími otvory vrtnými skrz desky. Po vytvoření systému jsou desky seskládány a ustaveny do přesných poloh vůči sobě. Mezi desky je vložena kovová fólie. Ustavené desky jsou za vysoké teploty a ve vakuu spojeny v ocelový blok, který je později polotovarem pro výrobu tvarové vložky běžným konvenčním způsobem. [15]



Obr. 3.23: Princip DMLS. [13]

Druhou možností je systém Rapid Prototyping, konkrétně technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Tato technologie umožňuje vyrábět výrobky libovolných tvarů vrstvu po vrstvě (tzv. generativní metoda) nanášením tenkých vrstev práškového kovu a jeho spékáním laserem do požadovaného tvaru (Obr. 3.23). Tímto způsobem lze vyrobit libovolnou část dutiny formy s jakkoliv tvarově složitým temperačním systémem uvnitř. Negativem obou těchto způsobů je pořizovací cena, která má v případě správného použití rychlou návratnost, a obtížná údržba (čištění pouze chemickou cestou). [13, 30]

Zásady a požadavky konstrukce temperačních systémů [5]:

- temperační kanály se umísťují a dimenzují v takové vzdálenosti od dutiny formy a mezi sebou navzájem, aby bylo pokud možno rovnoměrně odváděno teplo a byla zachována tuhost formy;
- temperační kanály by svým rozmístěním měly v okolí dutiny formy vytvářet rovnoměrné teplotní pole;
- průřez temperačních kanálů může být libovolný, z důvodů výroby a prodění temperačního média se doporučuje kruhový průřez o minimálním průměru 6 mm a to jak z výrobních, tak provozních důvodů;
- v případě přechodu temperačního kanálu mezi deskami a vložkami formy musí být přechody utěsněny;
- temperační kanály by neměly vytvářet mrtvá místa (usazování nečistot a koroze) a neměly by být umísťovány v blízkosti hran výrobku;
- temperační médium by mělo proudit od teplejších k chladnějším místům.

3.7.2. Temperační prostředky

Temperační prostředky jsou látky, které svým působením ovlivňují tepelné podmínky ve vstřikovací formě. Používají se ve vzájemné vazbě. [5]

Temperační prostředky se dělí na [5]:

- aktivní – aktivně přivádí nebo odvádí teplo z formy;
- pasivní – pasivně ovlivňují tepelný režim formy.

Aktivní temperační prostředky

Mezi tyto prostředky patří kapaliny, vzduch a topné elektrické články.

Nejčastěji se používá voda a oleje, méně už pak různé typy chladicích kapalin. Všechny kapaliny by v temperačních kanálech měly proudit turbulentně ($Re \gg 4000$). Jejich průtok i teplotu řídí temperační jednotky. Teplotní spád v jednom temperačním okruhu by neměl přesáhnout 3°C . [5]

Vzduch se z důvodu nízké účinnosti téměř nevyužívá. Jeho proudění se dělí na volné (odvod tepla z vrchu formy apod.) a nucené (podtlakové nebo přetlakové). [5]

Topné elektrické články se ve vstřikovacích formách využívají z důvodu rychlejšího vyhřátí formy na pracovní teplotu, udržování rovnoměrné teploty při vstřikování termosetů a elastomerů, udržování pracovní teploty formy v průběhu vstřikování polymerů s vyšší zpracovatelskou teplotou. Protože jsou topné články elektrická zařízení, tak musí být dodržována vysoká bezpečnost (pevné ukotvení a uzemnění). Pro správnou funkci musí být styčné plochy topných patron a formy přesně vyrobeny a slícovány. [5]

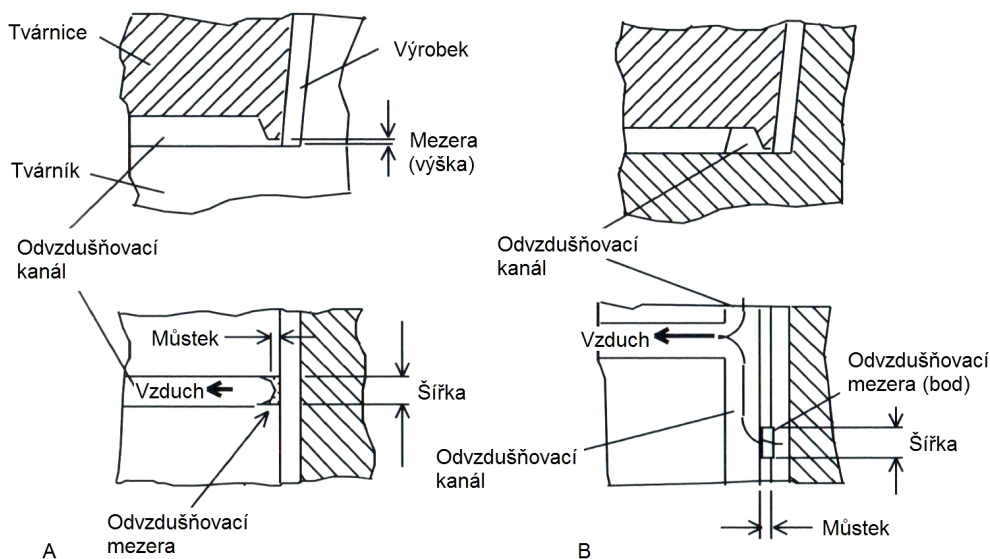
Pasivní temperační prostředky

Obecně se tyto prostředky dělí na izolační a vodivé materiály. Izolační materiály se využívají k zamezení přestupu nebo úniku tepla. Mezi tyto materiály patří materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, či nekovových anorganických látek. Tepelně vodivé materiály se využívají k odvodu respektive přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných (tenké tvárníky apod.). Nejčastěji jsou používány slitiny hliníku a mědi. Mimo tyto materiály se používají (hermeticky uzavřené) tepelné tru-

bice, u kterých je přenos tepla založen na odpařování a kondenzaci. Pracovní látkou uvnitř trubice bývá voda, alkohol, propanbutan apod. [5]

3.8 Odvzdušňovací systém

Po uzavření formy se v dutině formy nachází vzduch, který při vstřiku taveniny musí mít možnost úniku. Jestliže tuto možnost nemá, tak se to projeví vadou na výrobku nebo poškozením formy. Na místa, kde se ve formě uzavírá vzduch má vliv tvar dutiny a umístění vtokového (vtokových) ústí. Při vstřiku se vzduch shromažďuje na konci toku, tedy na opačném konci dutiny, než jsou vtoková ústí. Tato místa musí být odvzdušněna. Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy se provádí pomocí speciálně vytvořených odvzdušňovacích kanálů nebo zvětšením tolerancí v oblasti dělicích rovin a vyhazovacího systému. [6, 26, 34]



Obr. 3.24: Odvzdušňovací systém. [34]

Odvzdušňovací systém se skládá z těchto částí [6, 26, 34]:

- můstek – spojuje dutinu formy s odvzdušňovacím systémem, může být spojitý nebo bodový;
- sběrný kanál – sbírá vzduch, který prochází přes můstek;
- odváděcí kanál – odvádí vzduch mimo vstřikovací formu.

Vzdálenost můstku od protilehlé stěny je určující pro odvod vzduchu z dutiny. Zároveň musí být natolik malý, aby do něj nezatekl polymer. [6, 26, 34]

Tab. 3.1: Velikost odvzdušňovací mezery. [5]

Polymer	Mezera [mm]
PA	0,02 až 0,03
PE, PP	do 0,04
PC, POM, PS, ABS	do 0,05
plněné sklem	0,05 až 0,08
strukturní pěny	do 0,1

4. VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Každý vstříkovaný výrobek je silně ovlivněn těmito stěžejními oblastmi [26]:

- materiál vstříkovaného výrobku;
- konstrukční řešení vstříkovaného výrobku;
- konstrukční řešení vstříkovací formy;
- použitý vstříkovací stroj;
- zpracovatelské podmínky.

Každá z těchto oblastí má ve vývoji nového vstříkovaného výrobku svou nezastupitelnou roli.

4.1 Materiály vstříkovaných výrobků

Při výběru vhodného materiálu pro vstříkovaný výrobek je nutné dodržet požadavky na vzhled, funkci a způsob užívání výrobku. To vše za co nejnižší cenu. [4, 26]

Materiál vstříkovaného výrobku se vybírá z hlediska [4, 26]:

- Fyzikálních a chemických vlastností – chemická a tepelná odolnost, oteruvzdornost apod.
- Mechanických vlastností – pevnost v tahu, v ohybu, rázová pevnost atd.
- Technologických vlastností – zpracovatelnost, barvitelnost apod.
- Ekologie – ohleduplnost k životnímu prostředí.
- Ceny – finanční nákladnost.

4.2 Konstrukce vstříkovaných výrobků

Základní podmínkou konstrukce vstříkovaných výrobků je podmínka vyrobiteľnosti, kterou musí brát konstruktér v úvahu. Patří sem: smrštění materiálu, způsob odformování a vyhození, umístění ve formě, pohledové plochy výrobku atd. [26]

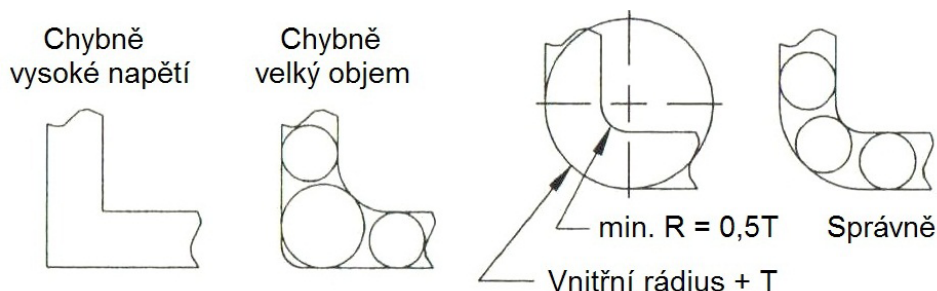
Tloušťka stěny

Vstříkované výrobky jsou obvykle konstruovány jako tenkostěnné. Výjimkou jsou výrobky lehčené nebo vyráběné některou ze speciálních technologií vstříkovaní. Při určování tloušťky základní stěny musí být brána v úvahu konstrukce, funkce a estetika výrobku s ohledem na vyrobiteľnost. Tloušťka stěny musí umožnit vstříkovacímu tlaku naplnit dutinu formy, temperaci její zchlazení a vyhazovacímu systému oporu, aby mohlo dojít k vyhození výrobku. [3, 26]

Primárním cílem konstruktéra je dodržení konstantní tloušťky stěny. Jakákoliv oblast výrobku s odlišnou tloušťkou stěny bude odlišným způsobem plněna, ochlazována a bude mít odlišné smrštění, což komplikuje dodržení rozměrů finálního výrobku. Silnější oblasti výrobku generují více problémů s odvodušněním, vznikem bublin a propadlin. Naopak tenčí oblasti (žebra aj.) mohou způsobit nedotečení taveniny. Jestliže není možné vyhnout se různým tloušťkám stěn, je vhodné zvolit minimální únosnou tloušťku, od které by změny tloušťky měly být prováděny pozvolně, nikoliv skokově. Tenké stěny u vstříkovaných výrobků vedou k vyšší produktivitě, nižší spotřebě materiálu a kratším vstříkovacím cyklům. Platí, že se snižující se tloušťkou stěny se zvyšuje potřeba vstříkovacího tlaku. [3, 26]

Rohy, hrany, zaoblení

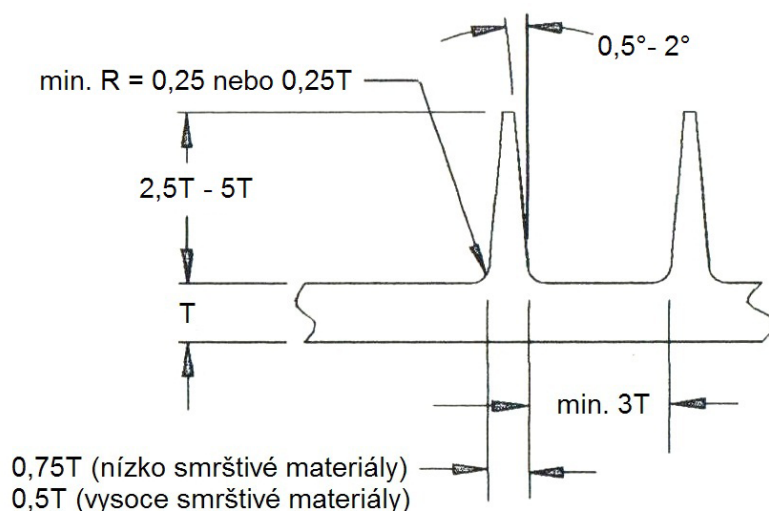
U vstříkovaných výrobků nejsou žádoucí ostré rohy z důvodu jejich citlivosti na vznik vrubu. Obzvláště u vnitřních rohů, kde se koncentruje napětí pod zatížením. Proto by měl vnitřní rádius dosahovat minimálně 50 % tloušťky stěny. Ideální vnější zaoblení je pak o velikosti: vnitřní rádius plus tloušťka stěny. Tím se docílí rovnoměrné tloušťky stěny i v oblasti rádiusu (Obr. 4.1). U aplikací, kde to není možné, se v oblasti rohu zvětší tloušťka stěny, což může mít negativní vliv na výrobek z hlediska deformací, vzniku propadlin a lunkrů. [3, 26]



Obr. 4.1: Konstrukční řešení rohů. [26]

Žebra

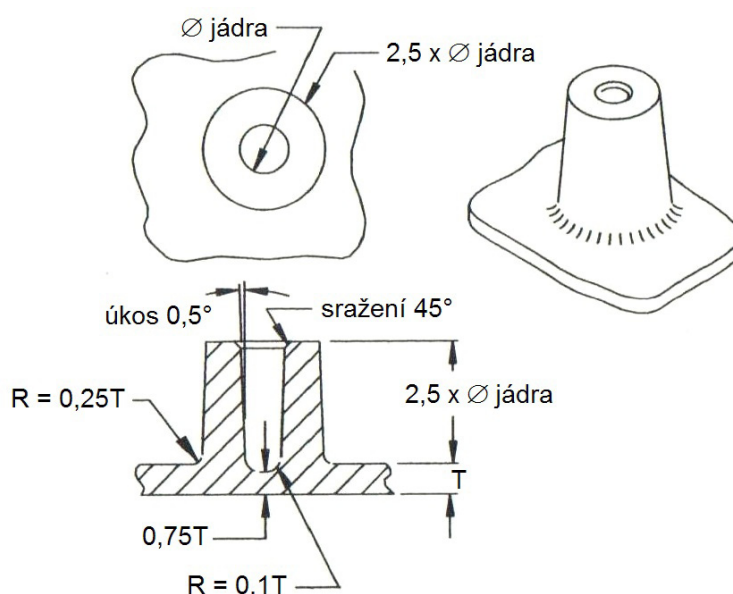
Žebra jsou prvky, které jsou přidávány k základní stěně za účelem zvýšení tuhosti a pevnosti výrobku. Pouhé zvětšení tloušťky hlavní stěny by tuhost výrobku nezvýšilo. Pouze by se zvětšily deformace, smrštění a prodloužil vstříkovací cyklus. Z výrobního hlediska by žebra měla být krátká a zkosená, to ale způsobuje problémy při vyhazování. Proto je preferováno menší množství vyšších žeber. Výška žebra by se měla pohybovat v rozmezí od 2,5 do 5 násobku hlavní tloušťky stěny a zkosení od $0,5^\circ$ do 2° . V místě styku žebra s hlavní stěnou se zvětšuje objem dané oblasti, což způsobuje propadliny a lunkry. Proto je tloušťka žeber v rozmezí od 50 % do 75 % tloušťky základní stěny. Menší tloušťky žeber se používají u vysoce smršťujících se materiálů a naopak. U kořene žebra musí být kvůli možné koncentraci napětí provedeno zaoblení o velikosti 0,25 násobku hlavní stěny nebo minimální rádius 0,25 mm. [3, 26]



Obr. 4.2: Konstrukční řešení žeber. [26]

Nálitky (pouzdra)

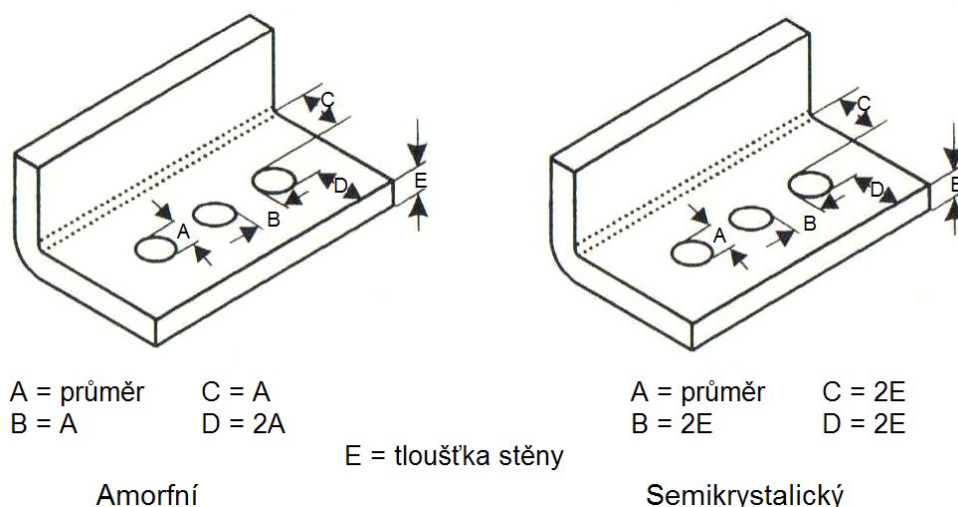
Nálitky jsou oblasti kruhového průřezu vystupující z hlavní stěny. Používají se na samořezné šrouby, vložky, zátky apod. Stabilita nálitků je často podporována žebry. Stejně jako u žeber je v místě styku hlavní stěny s nálitkem větší objem materiálu a stejně je i zaoblení o velikosti 0,25 násobku hlavní stěny nebo minimální rádius 0,25 mm. Vnější průměr i výška nálitku je přibližně 2,5 násobek vnitřního průměru. Zkosení otvoru v nálitku 0.5° nebo větší. Zaoblení uvnitř otvoru 0,1 násobek tloušťky hlavní stěny a sražení hrany otvoru od úhlem 45° . [3, 26]



Obr. 4.3: Konstrukční řešení nálitků (pozder). [26]

Úkosy, podkosy, otvory

Úkosy se na vstřikovaných výrobcích provádějí z důvodu snadnějšího vyhození z formy. Rozsah úhlů úkosů je v rozmezí od 0.1° do několika stupňů a souvisí se způsobem zaformování výrobku. Vnitřní i vnější úkos by měly mít stejnou hodnotu. [26]



Obr. 4.4: Konstrukční řešení otvorů. [26]

Podkoso jsou u vstřikovaných výrobků nežádoucí. Nejčastěji se jedná o otvory nebo tvarové části na bočních i vnitřních stranách výrobků, vnitřní závity aj. Podkoso nejsou odformovatelné otevřením hlavní dělicí roviny. Naopak vyžadují použití posuvových kostek, šikmých vyhadzovačů, smršťovacích jader apod. To vše zvyšuje náklady na pořízení i údržbu formy a prodlužuje vstřikovací cyklus. [3, 26]

Otvory na vstřikovaných výrobcích by měly mít mezi sebou dostatečnou rozteč z důvodu možnosti vzniku studených spojů, problémům s odvzdušněním a vyhozením výrobku. Minimální doporučené vzdálenosti mezi otvory u konstrukčně zatěžovaných a nezatěžovaných výrobků popisuje obrázek (Obr. 4.4). [26]

Okraje a obruby

U výrobků, jejichž stěna volně končí v dělicí rovině, hrozí deformace a kroucení stěn (např. kbelíky, květináče, různé typy krabiček a boxů). Proto se u těchto výrobků doporučuje provést konstrukční úpravu (zpevnění) těchto volných okrajů. [4]

4.3 Vady vstřikovaných výrobků

Vady vstřikovaných výrobků mohou nabývat různých podob z různých důvodů. Mohou to být vady vzniklé na základě [26, 32]:

- chybně nastaveného vstřikovacího procesu;
- chybně konstrukčně řešeného výrobku;
- chybně konstrukčně řešené formy;
- nesprávné funkce vstřikovacího stroje.

Barevné stopy (pruhy)

Pod tuto vadu lze zařadit všechny barevné nebo tmavé pruhy, skvrny a nehomogenizované části polymeru. Důvodem vzniku těchto vad může být [26]:

- špatná konstrukce, rychlost nebo opotřebení šneku plastikační jednotky;
- opotřebení válce plastikační jednotky;
- nepromísení pigmentu se základním materiálem;
- nižší poměr pigmentu vůči základnímu polymeru, než je doporučeno;
- chybně zvolené procesní podmínky – vysoká/nízká teplota polymeru, dlouhý vstřikovací cyklus (polymer dlouho setrvává v plastikační jednotce).

Bublíny, vzduchové kapsy, lunkry

Jedná se o jakékoliv oblasti se zachyceným plynem (vzduchem) nebo dutiny obsahující vakuum (vakuoly). V průběhu fáze vstřiku před sebou proudící tavenina tlačí vzduch obsažený v dutině po uzavření formy. Pokud nemá vzduch možnost uniknout (odvzdušněním, vůlemi mezi komponenty formy) [26, 35]:

- vytvoří v dutině vzduchové kapsy, kam tavenina nezateče - vzniká nedostříknutý výrobek nebo propadlina na povrchu výrobku;
- pronikne do stěny výrobku a vytvoří bubliny;
- popálí povrch výrobku - dieselův efekt.

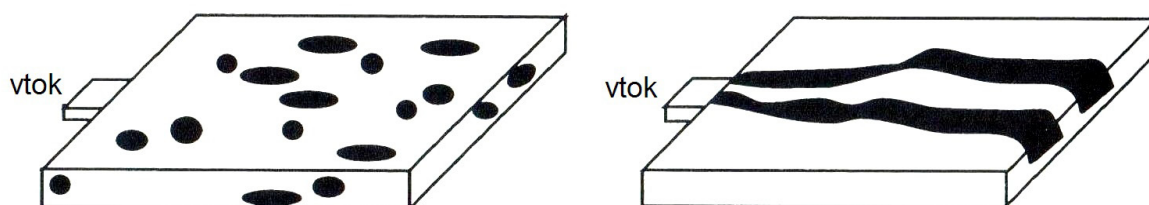
Lunkry nebo také dutiny obsahující vakuum vznikají v místech, kde je příliš silná

stěna výrobku, v místech s náhlou změnou tloušťky stěny nebo místech styku žeber či nálitků s hlavní stěnou. Ve všech případech chladne polymer v nadměrně silné stěně velmi pomalu, což ve stěně způsobí vznik lunkrů, staženin a na povrchu výrobku propadliny. [26]

Černé skvrny a zdegradovaný materiál

Černé skvrny na povrchu výrobku nebo zdegradovaný materiál ve výrobku se vyskytují z důvodu [26]:

- nevhodně provedeného od vzdušnění dutiny – vzduch nemá možnost uniknout z dutiny a popálí povrch výrobku;
- nevhodně řešeného vtokového systému, který způsobí přehřátí taveniny;
- chybně zvolených procesních podmínek – vysoká teplota taveniny, vysoká vstřikovací rychlost, dlouhé setrvání materiálu v plastikační jednotce;
- kontaminace vstřikovaného materiálu.



Obr. 4.5: Černé skvrny. [26]

Deformace

Deformace výrobku je velmi často zapříčiněna špatným tvarem výrobku nebo nerovnoměrnou tloušťkou stěny. Větších deformací dosahují výrobky ze semikrystalických materiálů. Mezi další faktory ovlivňující deformace výrobků patří [26]:

- orientace molekul a/nebo vláknitého plniva;
- tlakový spád v dutině formy;
- (ne)rovnoměrnost teplotního pole dutiny formy;
- (ne)rovnoměrnost smrštění výrobku;
- stupeň krystalinity u semikrystalických polymerů.

Delaminace, puchýře a pukliny na povrchu

Delaminace, puchýře a pukliny na povrchu výrobku se vyskytují z důvodu [26]:

- problémů s od vzdušněním formy – chybně provedené od vzdušnění, chybná konstrukce výrobku, nevhodně umístěné vtokové ústí aj.;
- chybně zvolených procesních podmínek – vysoká teplota formy, vysoká vstřikovací rychlost, vysoká molekulární orientace;
- nevhodně zvolená kombinace materiálů u vícekomponentního vstřikování;
- kontaminace vstřikovaného polymeru.

Krátký vstřík, nedostříknutý výrobek

Krátký vstřík vzniká nedotečením taveniny do všech míst dutiny formy. Nejčastěji

se jedná o žebra, tenké stěny nebo oblasti vzdálenější od ústí vtoku. Nedostříknutý výrobek může být způsoben [26]:

- vstříkáním malé dávky taveniny nebo absencí bezpečnostního polštáře taveniny před čelem šneku v plastikační jednotce;
- chybnými procesními podmínkami - nízký vstříkovací tlak, nízká vstříkovací rychlost, nízká teplota taveniny nebo formy;
- uzavíráním vzduchu, tzn. nefunkční nebo chybně provedené odvzdušnění;
- nevhodným umístěním vtokového ústí – dlouhý tok taveniny;
- příliš tenkou stěnou na výrobku;
- kontaminací vstříkovaného polymeru.

Křehkost

Křehkost je sklon výrobku k tvorbě prasklin, trhlin a lámavosti. Příčiny [26]:

- příliš vysoká/nízká hodnota dotlaku;
- vysoká orientace a napětí ve výrobku;
- vlhkost vstříkovaného materiálu nebo jeho kontaminace.

Lesklý povrch

Lesk vyjadřuje jasnost povrchu výrobku. Lesklý povrch může být způsoben [26]:

- jinou povrchovou úpravou dutiny, než byla požadována;
- chybnými procesními podmínkami – vyšší vstříkovací rychlost, vyšší hodnota dotlaku, vyšší teplota vstříkovací formy;
- chybně provedeným odvzdušněním – různě lesklý povrch po ploše výrobku.

Matný povrch

Matný povrch se nejčastěji vyskytuje v podobě kroužků nebo půlkroužků v blízkosti vtokových ústí. Je to způsobeno změnou struktury polymeru, která bývá narušena teplotním a tlakovým namáháním v průběhu cyklu. [26, 35]

Matný povrch bývá způsoben [26]:

- umístěním a tvarem vtokového ústí;
- chybně zvolenými procesními podmínkami – vysoká/nízká teplota polymeru nebo formy, vysoká vstříkovací rychlost.

Povrchové usazeniny

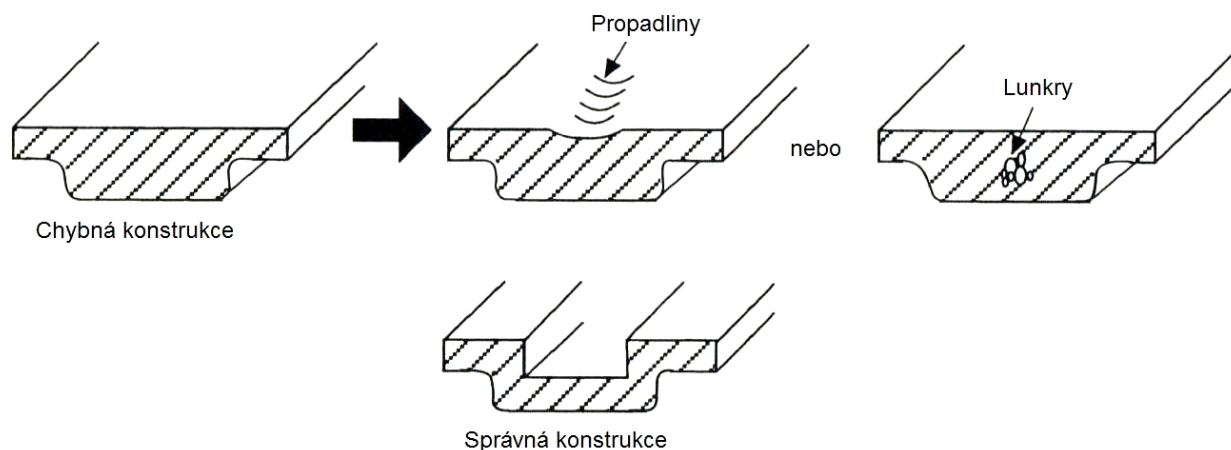
Plnivo nebo přísada polymeru vyplavená na povrch výrobku v průběhu nebo po skončení vstříkovacího cyklu. Příčiny vzniku povrchových usazenin [26]:

- nevhodný typ plniva nebo přísady v polymeru, popř. jeho koncentrace;
- problém s odvzdušněním nebo vlhkostí polymeru;
- chybně zvolené procesní podmínky – vysoká/nízká teplota polymeru nebo formy, vysoká vstříkovací rychlost;
- kontaminace vstříkovaného polymeru.

Propadliny

Propadliny se projevují jako pokles povrchu součásti ze skutečné polohy dané tvarem dutiny formy. Propadliny jsou často doprovázeny lunkry. Propadliny jsou způso-

beny přítomností silných stěn nebo oblastí na vstřikovaných výrobcích.



Obr. 4.6: Propadliny. [26]

Praskliny

Praskliny se vyskytují lokálně nebo po celém výrobku a mohou být způsobeny [26]:

- nevhodným typem nebo množstvím barviva;
- znečištěním dutiny formy (olej, různé chemické prostředky);
- zářením (UV, sluneční, gama);
- vyhazovacím systémem (nevhodné umístění).

Přetoky

Přetoky jsou tenké vrstvy polymeru přesahující rozměr výrobku. Na výrobcích vznikají z důvodu [26]:

- nesprávně vyrobené nebo poškozené dělicí roviny;
- nízké přídržné (uzavírací) síly stroje, popřípadě při jejím překročení – příliš vysoký vstřikovací tlak nebo příliš velké vstřikované množství;
- vysoké přídržné (uzavírací) síly stroje – použití malé formy na velkém stroji způsobí její deformaci;
- nesprávným upnutím formy na stroj;
- příliš vysoké teploty vstřikovaného polymeru – nízká viskozita.

Rozměrové změny výrobku

Nesprávné rozměry výrobku mohou být způsobeny [26, 35]:

- zcela novou a pro výrobu neodladěnou formou;
- nevhodnou konstrukcí vstřikovaného dílu;
- nevhodnou konstrukcí vstřikovací formy;
- nevhodnými procesními podmínkami (tlaky, teploty, rychlost ochlazování);
- nevhodným způsobem měření výrobku;
- rozdílným množstvím materiálu v jednotlivých dutinách formy;
- stupněm krystalinity u semikrystalických polymerů;
- stupněm orientace (molekul, plniva);
- smrštění a deformacemi výrobku.

Smrštění

Smrštění závisí na typu polymerního materiálu, tloušťce stěny, rychlosti ochlazování, stupni krystalinity a tlakovém spádu v dutině formy. [26]

Stopy po vyhazovačích a dutině formy

Stopy po vyhazovačích jsou způsobeny [26]:

- použitím nehodného typu vyhazovacího systému;
- nevhodným umístěním vyhazovačů;
- brzkým otevřením formy a vyhazováním nedostatečně zchlazeného výrobku.

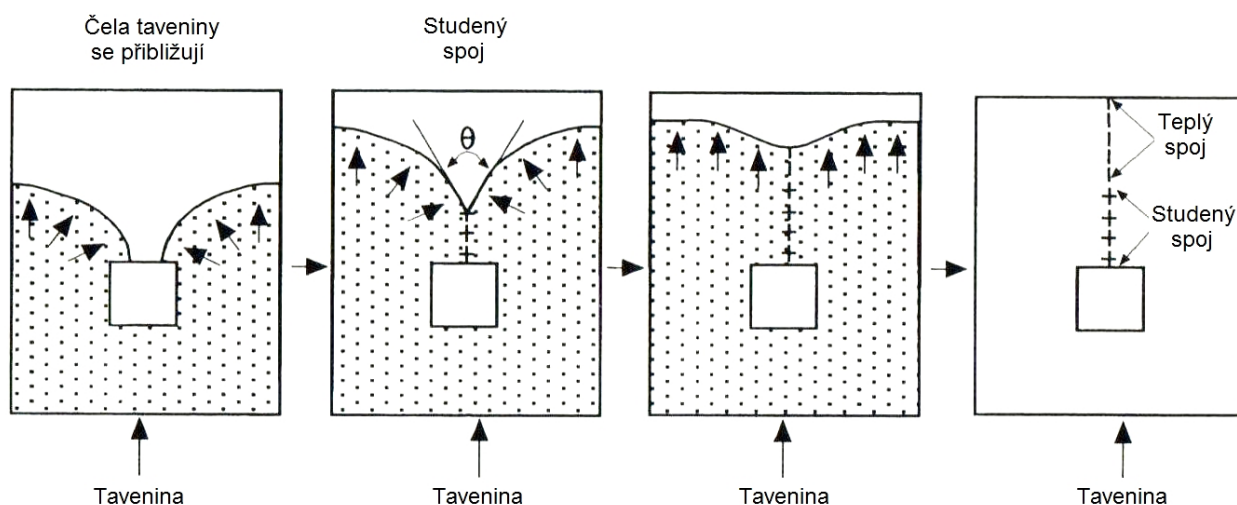
Stopy po dutině formy jsou způsobeny chybným slícováním jednotlivých částí dutiny formy vůči sobě. Nejčastěji se jedná o stopy po vložkách v dutině formy. [26]

Stříbrné pruhy

Stříbrné pruhy na povrchu výrobku jsou způsobeny přítomností plynu, obvykle vlhkostí (špatně vysušený materiál), ale mohou být způsobeny špatně homogenizovaným polymerem, nečistotami, těkavými látkami, vzduchem. [26]

Studené spoje

Studený spoj vzniká spojením (setkáním) dvou čel taveniny. Dalším tokem se tato čela spojí v jedno. Než se tak stane, tak vzniklý spoj se nazývá studený, později teplý. Nedokonalost studeného spoje je dána teplotou taveniny, vstřikovacím tlakem, přítomností plniva, nečistot, vlhkosti a jiných přísad v polymeru. [26, 35]

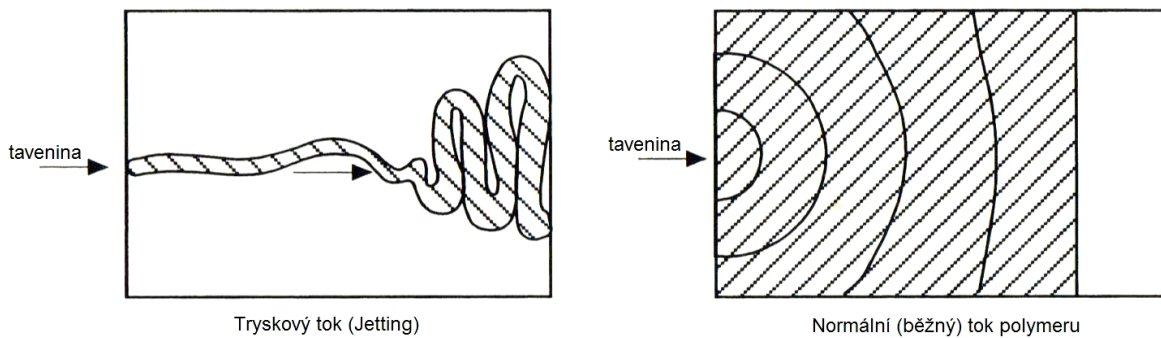


Obr. 4.7: Studené spoje. [26]

Tryskový tok (jetting)

Tryskový tok se na výrobku objevuje v podobě zatuhlého proudu taveniny. Příčinou tryskového toku může být [26]:

- nevhodné umístění vtoku (tavenina je vstřikována do volného prostoru);
- příliš vysoká vstřikovací rychlost.



Obr. 4.8: Tryskový tok (jetting). [26]

Zakalený povrch

Zakalený povrch výrobku bývá způsoben [26, 35]:

- nadměrným množstvím nebo nevhodným typem plniva;
- nehomogenitou taveniny (špatná příprava taveniny);
- nízkou teplotou vstřikovací formy;
- vlhkostí vstřikovaného materiálu nebo jeho kontaminací.

Zápach

Jakýkoliv zápach je neobvyklý. Zápach může být způsoben [26]:

- odpadními plyny vstřikovaného plastu;
- degradací polymeru;
- kontaminací vstřikovaného polymeru.

Zrůžovění výrobku

Poměrně vzácná vada způsobená reakcí výrobku s oxidem uhelnatým v průběhu skladování. [26]

Zvlnění povrchu

Jedná se o koncentrované drážky (čáry) v podobě vln. Vznikají pozastavením toku polymeru v dutině, zvýšením tlaku, krátkým pohybem taveniny vpřed a opětovným pozastavením toku. Tento stav souvisí s nedostatečným tlakem na čele taveniny nebo nízkou vstřikovací rychlostí. [26]

5. MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Současný technologický vývoj v mnoha oblastech lidské činnosti vyžaduje testy a zkoušky ke zjištění často velmi specifických informací a dat. Díky těmto znalostem je možné stanovit standardy a postupy pro nové technologie i výrobky. Mezi tyto činnosti patří mechanické zkoušky. Ty umožňují stanovit různé mechanické vlastnosti jako je Youngův modul, tuhost, rázová houževnatost aj. [16]

Dále v textu jsou zmíněny pouze ty mechanické vlastnosti a zkoušky, které byly použity v praktické části této práce.

5.1 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti napomáhají při výběru správného typu materiálu. V podstatě všechny materiálové aplikace vyžadují odolnost vůči nějakému typu zatížení, tedy odolnost vůči deformaci. Deformace je vždy závislá na typu testovaného tělesa, upnutí a způsobu aplikace zatěžující síly. Zjednodušeně lze říci, že se v různých podobách zjišťuje vztah použitého napětí k deformaci. [16]

Hookův zákon

Vztah „napětí – deformace“ nejjednodušším způsobem popisuje Hookův zákon, kde se napětí (σ) rovná součinu Youngova modulu (E) a deformace (ϵ). To znamená, že u ideálně elastického materiálu bude napětí přímo úměrné deformaci. Avšak u polymerních materiálů, které mají viskoelastické chování tomu tak není. V případě malých deformací se polymery chovají elasticky, v tu chvíli platí Hookův zákon. Se zvyšující se deformací se chování polymerního materiálu mění. Ke změně dojde v bodě, který se nazývá mez kluzu (R_K). Hodnota meze kluzu se vypočítá jako podíl síly na mezi kluzu a plochy průřezu testovaného tělesa. U tahové zkoušky po překonání meze kluzu polymerní materiál pokračuje v protahování, dokud nedosáhne maximální délky protažení nebo nepraskne. [16]

Youngův modul

Youngův modul (E) je materiálová konstanta odvozená od sklonu křivky grafu „napětí – deformace“ v lineární oblasti, $E = \text{tg}\alpha$. [16]

Mez pevnosti v tahu

Mez pevnosti v tahu (R_m) je maximální dosažené napětí při zkoušce tahem. Hodnota meze pevnosti v tahu (R_m) se vypočítá z podílu síly na mezi pevnosti (F_m) a plochy průřezu zkušebního tělesa (S_0). [16]

Protažení

Protažení je kvantitativní vyjádření deformace zkušebního tělesa v procentech u tahové zkoušky a často je nazýváno elongací. V průběhu zkoušky je protažení měřeno extenzometrem. Vypočítá se z podílu rozdílu nové (L) a počáteční délky (L_0) zkušebního tělesa vůči počáteční délce zkušebního tělesa (L_0), to vše vynásobeno 100. [16]

Mez pevnosti v ohybu

Mez pevnosti v tahu (R_{mo}) je maximální dosažené napětí při zkoušce ohybem. Vypočítá se z podílu ohybového momentu M_o a modulu průřezu v ohybu W_o . [16]

Průhyb

Průhyb (y) charakterizuje deformaci materiálu při ohybové zkoušce. Vypočítá se z podílu součinu maximální ohybové síly (F_m) a rozteči mezi podpěrami (L) vůči čtyřnásobnému součinu Youngova modulu, šířky vzorku a výšky vzorku umocněné na třetí. [16]

Vrubová houževnatost

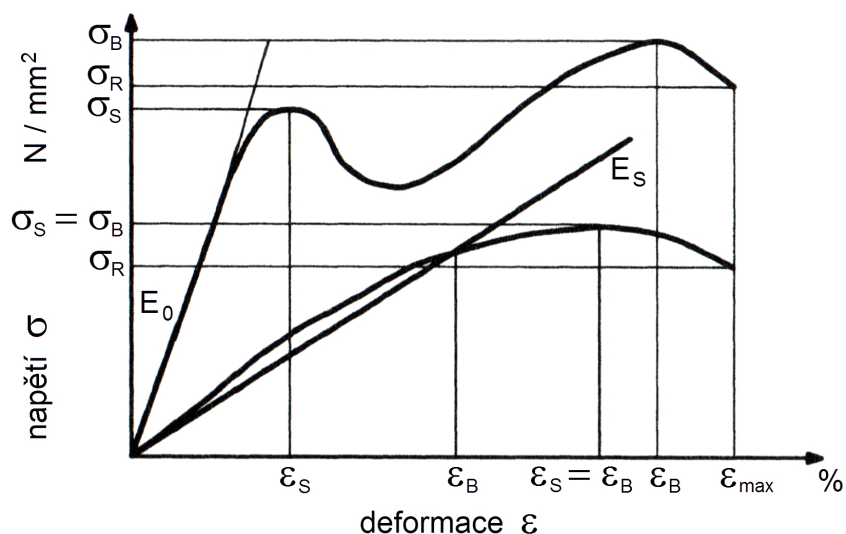
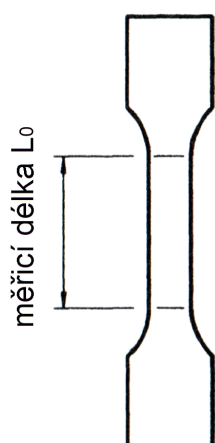
Vrubová houževnatost u zkoušky Charpy je definována jako práce potřebná k přeražení tyče vztažená na nejmenší průřez tyče v místě vrubu. Vrubovou houževnatost je možné vyhodnocovat jako maximální (A_m) nebo v moment přeražení vzorku (A_b). [16]

5.2 Typy mechanických zkoušek

Tahová zkouška

Tahová zkouška podléhá normám ČSN EN ISO 527-1 a ČSN EN ISO 527-2 a patří mezi statické zkoušky. Výsledky tahové zkoušky jsou nejčastěji využívány za účelem výběru správného typu materiálu při konstrukci výrobků. Nejdůležitějším je Youngův modul – jediný skutečný materiálový parametr. Ostatní parametry v sobě obsahují různé množství informací o pevnosti, užitečnosti a chování materiálu, patří sem: pevnost v tahu, mez kluzu, tuhost, protažení a další. Tahová zkouška se provádí na univerzálních testovacích strojích instrumentovaných pro tahovou zkoušku, kde se zkušební těleso upne do čelistí a začne se protahovat. [16]

tahové
zkušební těleso



Obr. 5.1: Tahová zkouška. [29]

Ohybová zkouška (3-bodová)

Ohybová zkouška (3-bodová) podléhá normě ČSN EN ISO 178 a patří mezi statické zkoušky. Třibodová ohybová zkouška se provádí na univerzálních testovacích strojích instrumentovaných pro ohybovou zkoušku a spočívá v ohybu zkušebního tělesa uloženého na dvou podporách, přičemž zatěžující síla působí v ose mezi nimi do chvíle rozlomení nebo dosažení stanovené hodnoty. Výsledkem ohybové zkoušky je ohybová křivka, kde se vyhodnocují charakteristické hodnoty - Youngův modul, pevnost v ohybu, průhyb aj. [16]

Rázová zkouška

Rázová zkouška podléhá normě ČSN EN ISO 179 a patří mezi dynamické zkoušky. Rázová zkouška se provádí na speciálních testovacích strojích opatřených kyvadlem (kladivem). Smyslem zkoušky je přeražení zkušebního tělesa kyvadlem (kladivem) a ve zjištění práce potřebné k přeražení. Zkušební těleso je zpravidla opatřeno vrubem, který je koncentrátorem napětí a tím podporuje křehkost namísto houževnatosti. [16]

Existují dva typy rázových zkoušek – Izod a Charpy. V případě Izod zkoušky je zkušební těleso umístěno vertikálně tak, aby byl vrub nad okrajem upínacích čelistí a proti pohybu kyvadla. V případě Charpy zkoušky je zkušební těleso umístěno horizontálně tak, aby byl vrub v ose a ve směru pohybu kyvadla. [16]

Zkouška tvrdosti – Shore D

Zkouška tvrdosti Shore D podléhá normě ČSN EN ISO 868 a patří mezi vnikací zkoušky tvrdosti. Princip metody Shore spočívá v měření hloubky vtlačení specifikovaného hrotu vtlačeného do zkušebního tělesa za stanovených podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vtlačení hrotu a závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu. [12]

6. ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část v pěti kapitolách zevrubně popisuje problematiku řešenou v předložené disertační práci. Zároveň tím v mnoha ohledech představuje současný stav řešené problematiky, který je více rozebrán samostatné kapitole této práce.

První kapitola představuje polymerní materiály. Od jejich klasifikace, stavby a fázových stavů k jejich vlastnostem mechanickým, tepelným i reologickým.

Druhá kapitola představuje technologii vstřikování. Z různých úhlů pohledů popisuje vstřikovací cyklus. V dalších podkapitolách se zaměřuje na anizotropii, tuhnutí, napětí, smrštění a deformace vstřikovaných výrobků. Samostatně jsou zde popsány vstřikovací stroje.

Třetí kapitola popisuje vstřikovací formy. Po typovém rozdělení forem a požadavcích na materiály jsou v jednotlivých podkapitolách rozebrány funkční celky a systémy vstřikovacích forem - vtokový, temperační, vyhazovací, odvodušňovací. Největší důraz byl kladen vtokové systémy, které jsou hlavním tématem této práce.

Čtvrtá kapitola rozebírá problematiku konstrukce vstřikovaných výrobků a vad, které se na tomto typu výrobků mohou vyskytnout.

Pátá kapitola představuje základní mechanické zkoušky a vlastnosti, které lze z těchto zkoušek získat.

PRAKTICKÁ ČÁST

7. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pod pojmem tokový kanál se skrývá jakákoliv část vtokového systému vstřikovačích forem. V obecném pohledu se mluví o vlivu vtokového systému jako celku na vstřikovanou součást. Jednotlivé vlivy více či méně zasahují do konečných vlastností výrobku a v tu chvíli hovoříme o kvalitě vtokového systému, o kvalitě tokových kanálů, které svým tvarem a celkovým řešením:

- určují rychlost proudění taveniny a ovlivňují fázi vstřiku;
- rozhodují o účinnosti fáze dotlaku a ovlivňují deformace i smrštění výrobku;
- mohou být původcem residuálních napětí ve výrobku z důvodu překročení maximálních smykových rychlostí a napětí v polymeru při vstřiku;
- mají vliv na distribuci a orientaci plniva ve výrobku.

Celý vtokový systém je možné rozdělit do tří základních částí: vtokový kužel, rozvodné vtokové kanály a vtoková ústí.

Vtokový kužel má ve všech případech stejný tvar, liší se pouze jeho rozměry. Ze své podstaty může ovlivnit jen množství taveniny přicházející do formy.

Rozvodné kanály mohou svým uspořádáním a tvarem výrazně ovlivnit zatékavost polymeru i vlastnosti vstřikovaných výrobků. Na toto téma byla zpracována řada studií a jsou mu věnovány celé kapitoly v odborných knihách. V předložené disertační práci jsou rozvodné kanály diskutovány v teoretické části.

Vtoková ústí představují v dnešních vstřikovačích formách pouze prostředek k naplnění dutiny. Jsou chápána jen jako propojující článek mezi rozvodnými kanály a dutinou formy. Při jejich konstrukci je pozornost většinou zaměřena jen na rozměry a styčnou plochu s dutinou, která na výstřiku tvoří tzv. stopu po vtoku. Dále pak na umístění vůči dutině s ohledem na zaformování. Pozornost však zasluhuje i způsob naplnění dutiny, vzdálenost vtoku od nejvzdálenějších oblastí dutiny a vliv procesních parametrů. O vtokových ústích a jejich vlivu na kvalitu výstřiku lze v odborné literatuře dohledat jen velmi málo relevantních informací. Obvykle jsou k dispozici pouze informace o geometrii vtoků bez analýz jejich vlivu na vlastnosti finálního produktu.

Z pohledu simulačních softwarů je situace obdobná. Programy umí řešit umístění jednoho i několika ústí vtoku z hlediska tvaru výrobku a vlastností zvoleného materiálu. Umí navrhnout optimální rozměry rozvodných kanálů, ale jen z hlediska průtoku. Pro řešení širších souvislostí, zmíněných i v této práci, význam nemají.

Konstrukční řešení tokových kanálů závisí na zkušenostech konstruktéra, který s ohledem na násobnost vstřikovací formy a objem dutin navrhne velikost vtokové vložky, rozvodných kanálů a typ vtokového ústí. Při návrhu může využít simulačních softwarů nebo podpůrných výpočtů pomocí vztahů z odborné literatury. Takto zhotovené kanály však nemusí odpovídat konkrétním potřebám. Doposud nejsou k dispozici relevantní informace o chování polymerní taveniny při průtoku různými typy vtokových ústí a jeho vlivu na vlastnosti výstřiku. Proto ve většině případů konstruktér vychází z vlastních zkušeností a návrh vtokových ústí obvykle podřizuje pouze možnosti jejich realizace v daném nástroji. Tato práce je příspěvkem k analýze vlivu vtokových ústí na mechanické vlastnosti vstřikovaných dílů. Práce popisuje postup jak provést porovnání i zhodnocení libovolných vtokových ústí.

8. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je určení vlivu tokových kanálů, zejména vtokového ústí, na kvalitu vstřikovaného výrobku.

Postup při řešení disertační práce:

- Analýza procesu vstřikování s ohledem na přípravu zkušebních těles.
Navrhnout vstřikovací formu s vhodným tvarem dutiny a možností volby vtokových ústí.
- Volba vtokových ústí.
Z možných vtokových ústí vybrat hlavní představitele zastupující požadovanou skupinu.
- Volba vhodného typu polymeru.
Zvolit typ polymerního materiálu s ohledem na četnost výskytu v praxi.
- Simulace vstřikovacího procesu.
Využít simulací vstřikovacího procesu.
- Příprava zkušebních těles.
Vyrobít zkušební tělesa vstřikováním za použití různých typů a umístění vtokových ústí.
- Provedení mechanických zkoušek.
Na zhotovených zkušebních tělesech provést mechanické zkoušky tahem, ohybem, rázovou zkouškou a zkoušky tvrdosti Shore D.
- Vyhodnocení a zpracování výsledků z experimentů.
Zpracovat výsledky experimentů a převést je do podoby pro snadnou interpretaci pracovníků v praxi.
- Opakovatelnost experimentu.
Zpracovat postup pro snadnou opakovatelnost experimentu s libolným počtem i typem vtokových ústí.

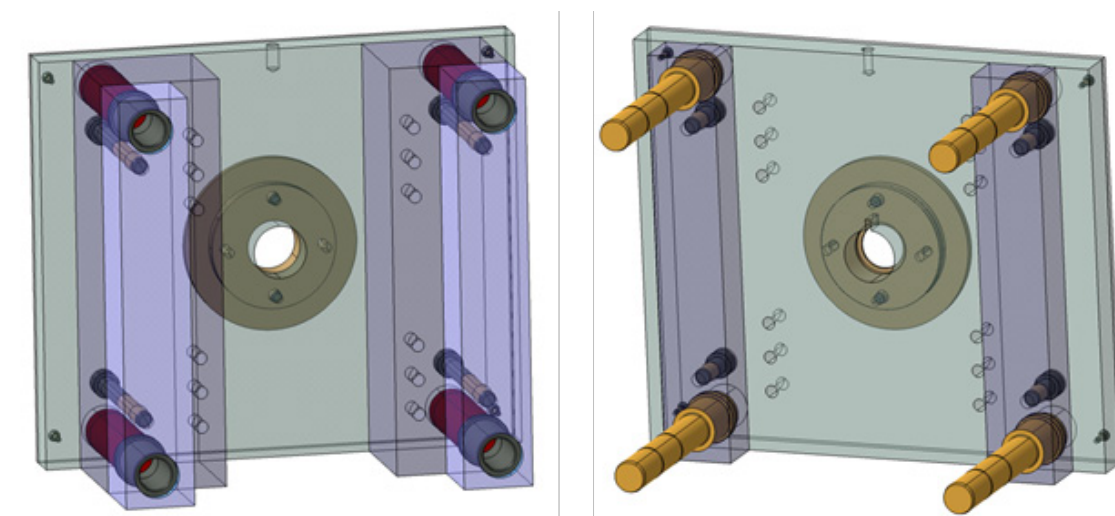
9. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Pro vypracování praktické části byly na základě stanovených cílů disertační práce zvoleny metody zpracování, které zahrnují:

- volbu vhodné vstřikovací formy s ohledem na typ výrobku a vtokový systém;
- volbu vhodného typu polymerního materiálu;
- volbu mechanických zkoušek a vhodného způsobu přípravy zkušebních těles;
- volbu vhodného způsobu zpracování a interpretace získaných dat.

9.1 Vstřikovací forma

K experimentům byla zvolena vstřikovací forma s dvojicí výměnných tvarových částí s vyhazovacím mechanismem. Pro jejich ukotvení bylo využito univerzálního rámu vstřikovací formy, který umožňoval měnit dle potřeby tvarové části bez nutnosti demontáže univerzálního rámu z pracovního prostoru stroje.



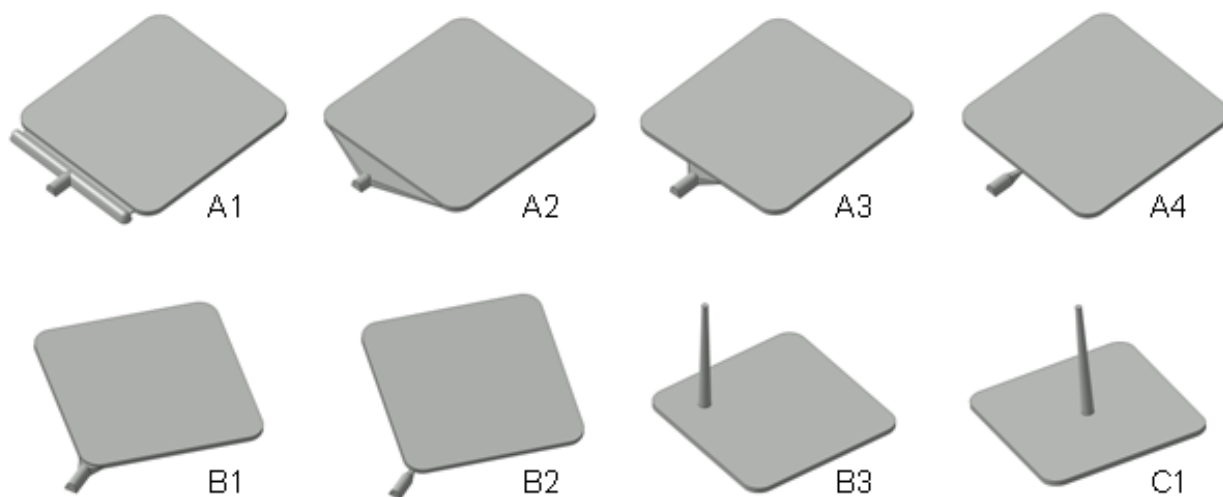
Obr. 9.1: Univerzální rám vstřikovací formy.

9.1.1. Popis tvarových částí

Tvarové části byly vybrány z důvodu výhodného tvaru dutiny formy (tvaru výrobku), který umožňoval zhotovení zkušebních těles, a z důvodu konstrukčního řešení vtokového systému, jenž umožňoval rychlou změnu typu vtokového ústí.

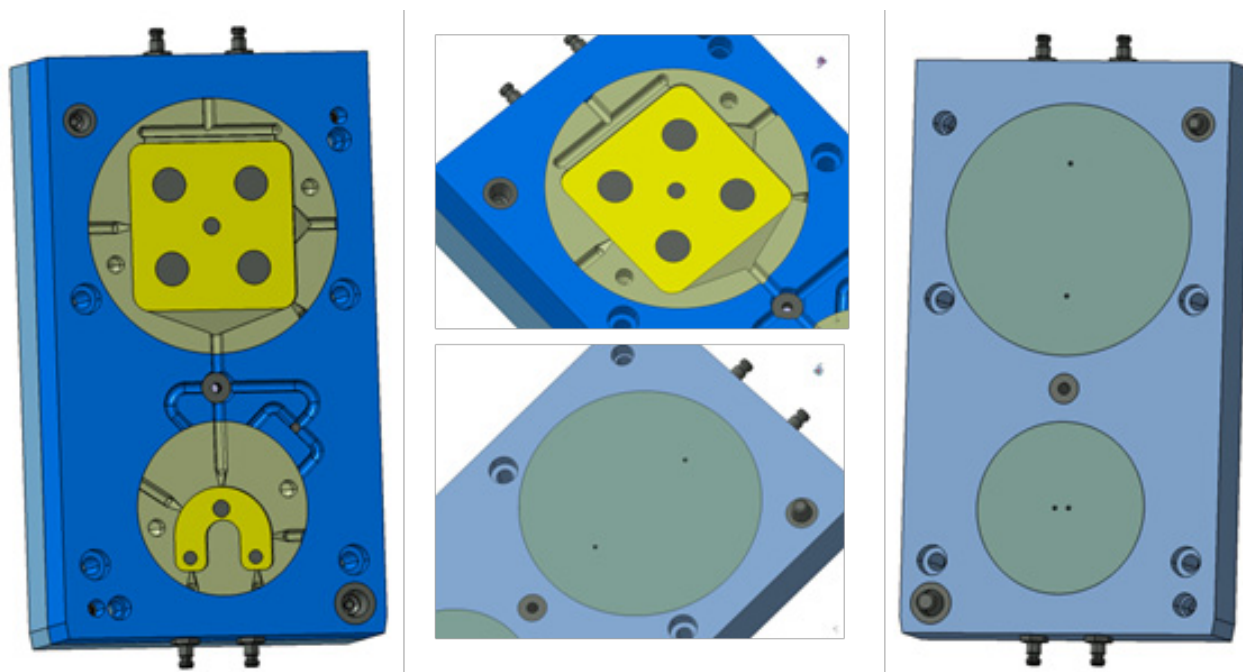
Dutina formy má v obou tvarových částech tvar čtvercové desky o rozměrech (100 x 100 x 3) mm. Koncepce vtokového systému u obou tvarových částí umožňovala naplnit dutiny osmi různými způsoby, tzn. osmi odlišnými vtoky. Změnu vtokového ústí bylo možné provést pouhým pootočením nebo posunutím tvarové vložky.

Vtoková ústí byla pro potřeby disertační práce rozdělena do tří skupin podle způsobu plnění tvarové dutiny. Jednotlivé skupiny byly označeny: A, B a C. K experimentům byla vybrána čtyři reprezentativní vtoková ústí, která vycházejí z možností daných konstrukcí nástroje. Vybrané vtoky představují zástupce nejčastěji využívaných tvarových řešení s ohledem na jejich umístění. Ostatní nevyužitá vtoková ústí jsou pouze modifikací vybraných vtokových ústí.



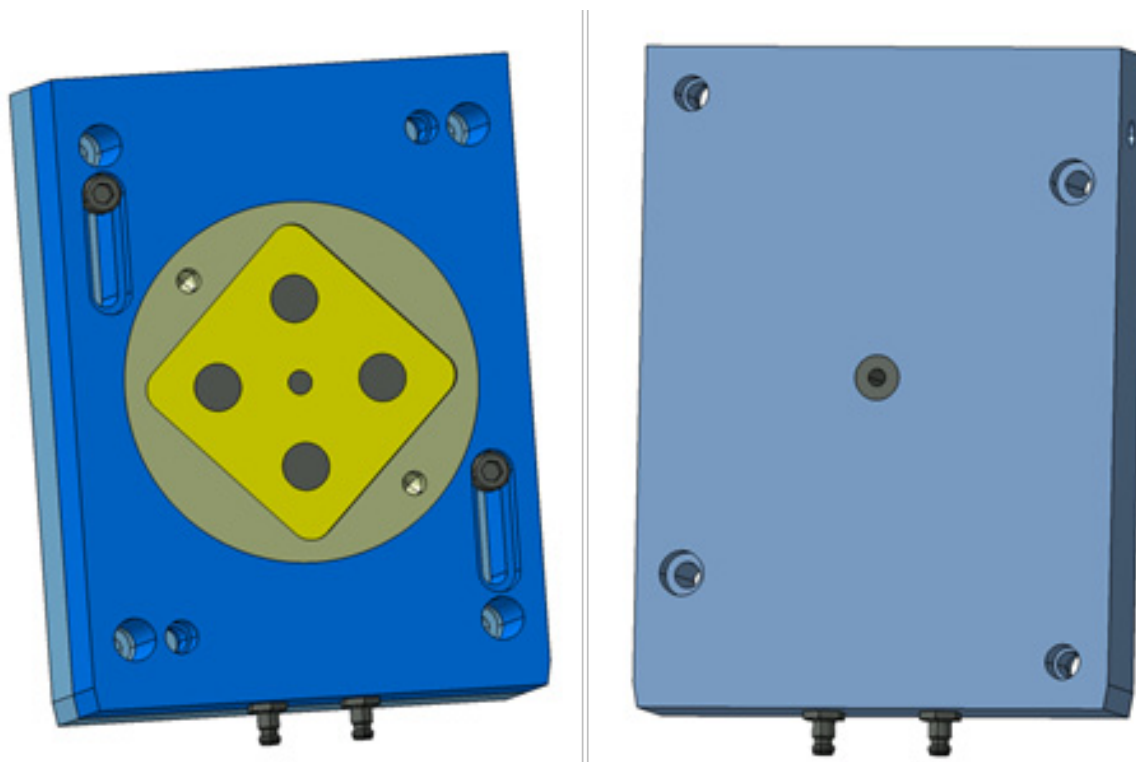
Obr. 9.2: Typy vtokových ústí a jejich označení. [28]

Tvarová část č. 1 má studený vtokový systém, který se sestává z vtokového kužele, rozvodného vtokového kanálu a vtokových ústí. Vtokový kužel i rozvodné kanály mají při jakékoliv změně vtokového ústí stále stejné parametry a proto bylo možné zanedbat jejich vliv. Rozvodný kanál je navíc směrem od vtokové vložky ke vtokovému ústí přímý a nevětví se. Díky tomu byla zaručena jeho geometrická vyváženost. Problematika (ne)vyváženosti rozvodných kanálů byla popsána v teoretické části této práce. Vtokových ústí je v tvarové části č. 1 celkem 6 typů a jejich změna se provádí pootočením tvarové vložky: A1 - filmový vtok ze strany desky, A2 - vějířový vtok ze strany desky, A3 - rozšířený boční vtok ze strany desky, A4 - zúžený boční vtok ze strany desky, B1 – rozšířený boční vtok z rohu desky, B2 - zúžený boční vtok z rohu desky. Pro experiment byly vybrány vtoky A1, A3, B1.



Obr. 9.3: Tvarová část č. 1.

Tvarová část č. 2 má studený vtokový systém, který se sestává jen z vtokového kužele, který zároveň plní funkci rozvodného kanálu a vtokového ústí. Toto řešení se běžně nazývá přímý vtok. Vtokový kužel je pouze jeden, ale může být umístěn ve dvou pozicích díky možnosti posuvu tvarové vložky. Tvarová část č. 2 má proto dva typy vtokových ústí: C1 – kuželový vtok do středu desky, C2 - kuželový vtok do rohu desky. Pro experiment byl vybrán vtok C1.



Obr. 9.4: Tvarová část č. 2.

9.2 Polymerní materiál

Polymerní materiál byl vybrán s ohledem cíle této práce podle těchto kritérií:

- Typ: konstrukční polymer – termoplast;
- Využití v průmyslu: automobilový, elektrotechnický apod.;
- Plnění polymeru: 0% až 50%;
- Typ plniva: skleněná vlákna;

Podle zmíněných kritérií byl vybrán semikrystalický termoplast Polyamid 66 od společnosti BASF s obchodním názvem Ultramid.

V obchodním označení (zkratce) jednotlivá písmena znamenají toto [1]:

- A = PA 66 (Polyamid 66);
- 3 = snadno tekoucí nízkoviskózní polymer určený zejména pro použití v technologii vstřikování;
- W = stabilizovaný, vysoce odolný proti tepelnému stárnutí, dostupný jen nebarvený (přírodní) a černý, méně vhodný pro elektrotechnické součástky;
- G = plněno skleněnými vlákny;
- číslice za písmenem G násobena 5 udává množství plniva v procentech.

Pro experimenty byly vybrány tyto typy PA 66 řady Ultramid od BASF [1]:

- A3W - neplněný polyamid 66;
- A3WG3 - polyamid 66 plněný 15 % skleněných vláken;
- A3WG5 - polyamid 66 plněný 25 % skleněných vláken;
- A3WG6 - polyamid 66 plněný 30 % skleněných vláken;
- A3WG7 - polyamid 66 plněný 35 % skleněných vláken;
- A3WG10 - polyamid 66 plněný 50 % skleněných vláken.

9.3 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa byla zhotovena technologií vstřikování z vybraných polymerů ve zvolených tvarových částech vstřikovací formy.

9.3.1. Vstřikování desek

Vstřikování bylo prováděno na vstřikovacím stroji ARBURG 420C Allrounder Advanced, který je vybaven řídicím systémem Selogica.



Obr. 9.5: Vstřikovací stroj ARBURG 420C Allrounder Advanced.

Před vstřikováním byl polymer sušen 4 hodiny při teplotě 80°C v zařízení ARBURG Thermolift 100-2, které vysušený polymer v průběhu výroby zároveň dopravilo do plastikační jednotky stroje.

Tab. 9.1: Technické parametry ARBURG Thermolift 100-2.

Objem sušeného materiálu - max.	100	litrů
Pracovní teplota - max.	160	°C

Tab. 9.2: Technické parametry ARBURG 420 C Allrounder Advanced.

Uzavírací síla	1000	kN
Rozměr upínacích desek	570 x 570	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	420 x 420	mm
Výška vstřikovací formy - min.	250	mm
Otevření - max.	500	mm
Vstřikovací tlak	212	MPa
Dráha šneku - max.	145	mm
Průměr šneku	40	mm
Poměr šneku L/D	20	-
Vstřikovací objem - max.	182	cm ³

Procesní podmínky vstřikování byly stanoveny na základě informací z materiálových listů použitých polymerních materiálů. Před samotným vstřikováním byly zvolené podmínky podrobeny tokovým analýzám v CAE softwaru Autodesk Moldflow Insight, kde nebyly zjištěny žádné nesrovnalosti. Procesní podmínky nastavené při na vstřikovacím stroji při výrobě jsou uvedeny v tabulkách.

Tab. 9.3: Teplotní pásma plastikační jednotky.

Teplota pod násypkou	[°C]	40	40	40	40	40	40
Teplotní pásmo 1	[°C]	270	270	270	270	270	270
Teplotní pásmo 2	[°C]	280	280	280	280	280	280
Teplotní pásmo 3	[°C]	285	290	290	290	290	290
Teplotní pásmo 4	[°C]	290	295	295	295	295	295
Teplota na trysce	[°C]	295	295	295	295	295	295

Tab. 9.4: Procesní podmínky vtoku A1.

Obsah plniva v materiálu		0 %	15 %	25 %	30 %	35 %	50 %
Vstřikovací tlak	[MPa]	60	80	100	100	100	120
Dotlak	[MPa]	40	40	40	40	40	40
Doba dotlaku	[s]	15	15	10	10	10	10
Doba chlazení	[s]	25	20	20	20	20	20
Rychlost vstřikování	[mm/s]	60	60	90	90	90	120
Plastikovaná dávka	[mm]	48	48	48	48	48	48
Teplota formy	[°C]	80	80	80	80	80	80

Tab. 9.5: Procesní podmínky vtoku A3.

Obsah plniva v materiálu		0 %	15 %	25 %	30 %	35 %	50 %
Vstřikovací tlak	[MPa]	60	80	100	100	100	120
Dotlak	[MPa]	40	40	40	40	40	40
Doba dotlaku	[s]	15	15	10	10	10	10
Doba chlazení	[s]	25	20	20	20	20	20
Rychlost vstřikování	[mm/s]	60	60	90	90	90	120
Plastikovaná dávka	[mm]	48	48	48	48	48	48
Teplota formy	[°C]	80	80	80	80	80	80

Tab. 9.6: Procesní podmínky vtoku B1.

Obsah plniva v materiálu		0 %	15 %	25 %	30 %	35 %	50 %
Vstřikovací tlak	[MPa]	60	80	80	80	80	100
Dotlak	[MPa]	40	40	40	40	40	40
Doba dotlaku	[s]	15	15	10	10	10	10
Doba chlazení	[s]	25	15	20	20	20	20
Rychlost vstřikování	[mm/s]	60	60	120	120	120	120
Plastikovaná dávka	[mm]	48	48	48	48	48	48
Teplota formy	[°C]	80	80	80	80	80	80

Tab. 9.7: Procesní podmínky vtoku C1.

Obsah plniva v materiálu		0 %	15 %	25 %	30 %	35 %	50 %
Vstřikovací tlak	[MPa]	60	80	80	80	80	80
Dotlak	[MPa]	40	50	50	50	50	50
Doba dotlaku	[s]	15	15	10	10	10	10
Doba chlazení	[s]	25	25	20	20	20	20
Rychlost vstřikování	[mm/s]	60	70	70	70	70	80
Plastikovaná dávka	[mm]	38	38	38	38	38	38
Teplota formy	[°C]	80	80	80	80	80	80

9.3.2. Příprava zkušebních těles

Z desek vyrobených vstřikováním bylo v první fázi přípravy nutné odstranit vtokové systémy. Odstranění bylo prováděno pouhým odlomením nebo pomocí ručních pákových nůžek a ruční pily.

Z očištěných desek byla nařezána zkušební tělesa pro mechanické zkoušky. K tomu účelu bylo využito univerzální frézky FHV – 50PD a ocelového pilového ko-

touče o tloušťce 1mm. V průběhu řezání byly nástroj i širší oblast řezu intenzivně chlazeny proudem vzduchu.

Tab. 9.8: Řezné podmínky při přípravě zkušebních těles.

Otáčky horizontálního vřetene	300	min ⁻¹
Rychlost posuvu stolu	160	mm/min



Obr. 9.6: Univerzální frézka FHV - 50PD.

Tab. 9.9: Technické parametry univerzální frézky FHV - 50PD.

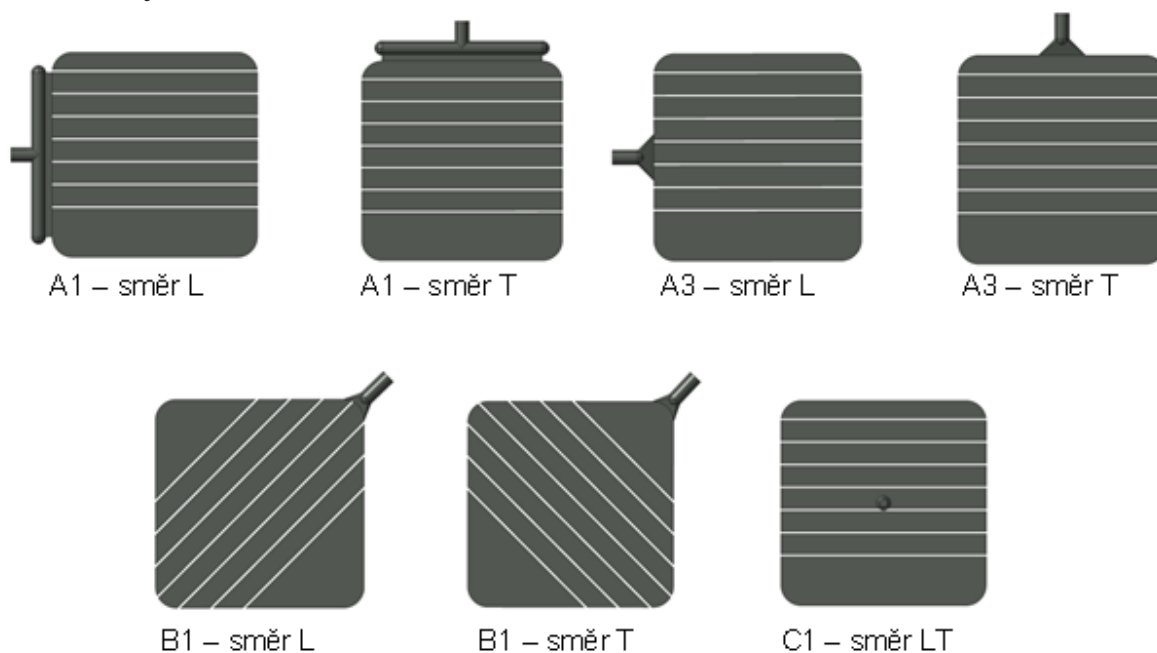
Otáčky horizontálního vřetene	115 - 1750	min ⁻¹
Pracovní zdvih stolu v ose Z	380	mm
Rychlost posuvu stolu	18 - 300	mm/min

Z každé desky bylo vyříznuto 6 zkušebních těles. Tělesa byla řezána podle vzoru uvedeného na obrázku (Obr. 9.7) a byla připravena ve dvou směrech:

- Ve směru toku taveniny od vtokového ústí – směr L (longitudinal).
- Kolmo na směr toku taveniny od vtokového ústí – směr T (transversal).

Každé těleso bylo označováno na obou koncích a z obou stran. Z jedné strany byl napsán typ vtoku (např. A1), směr odběru tělesa z desky (např. L) a pozice (např. 3), označení pak mělo tuto podobu „A1L3“. Z druhé strany bylo poznamenáno množství

skleněných vláken v polymerním materiálu dle kódu výrobce, například G6 označovalo 30 % skleněných vláken. Díky tomuto označování nemohlo dojít k záměně při mechanických zkouškách.



Obr. 9.7: Zkušební tělesa.

9.4 Mechanické zkoušky

V experimentální části disertační práce byl zkoumán vliv typu vtokového ústí na mechanické vlastnosti vstříkovaného výrobku. K popisu tohoto vlivu byla zvolena skupina mechanických zkoušek, které byly prováděny na připravených zkušebních tělesech. Zkoušky byly prováděny za běžné teploty (21°C) v klimatizované místnosti laboratoře a za zvýšené teploty (80°C) při použití teplotní komory.

V případě zkoušek za běžné teploty byla zkušební tělesa před započítím zkoušky ponechána v klimatizované místnosti o teplotě 21°C po dobu 48 hodin. V případě zkoušek za zvýšené teploty byla tělesa vložena do teplotní komory vytemperované na 80°C a ponechána po dobu 30 minut v této komoře před započítím zkoušky.

9.4.1. Tahová zkouška

Tahová zkouška byla prováděna na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456 dle normy ČSN EN ISO 527-1 a ČSN EU ISO 527-2. K ovládání stroje a záznamu průběhu zkoušky byl použit program testXpert II v2.1. Při zkoušce byla zkušební tělesa připravená ve směru orientace vláken (směr L) a kolmo na směr orientace vláken (směr T) vložena do samosvorných kleštin. Pro každou zkoušku bylo vždy použito 12 zkušebních těles. Při všech testech byly dodrženy tyto okrajové podmínky:

- vzdálenost mezi kleštinami 45 mm;
- předzatížení 5 N při 21°C a 1 N při 80°C;
- rychlost testu v průběhu měření E modulu 1 mm/min;
- rychlost testu 5 mm/min při 21°C a 20 mm/min při 80°C;
- použití extenzometru.

9.4.2. Ohybová zkouška

Tříbodová ohybová zkouška byla prováděna na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456 dle normy ČSN EN ISO 178. K ovládní stroje a záznamu průběhu zkoušky byl použit program testXpert II v2.1. Při zkoušce byla zkušební tělesa připravená ve směru orientace vláken (směr L) a kolmo na směr orientace vláken (směr T) položena na dvojici podpěr a v ose zatížena trnem. Pro každou zkoušku bylo vždy použito 12 zkušebních těles. Při všech testech byly dodrženy tyto okrajové podmínky:

- vzdálenost mezi podpěrami 48 mm;
- předzatížení 1 N;
- rychlost testu v průběhu měření E modulu 1 mm/min;
- rychlost testu 5 mm/min při 21°C a 20 mm/min při 80°C.



Obr. 9.8: Univerzální testovací stroj ZWICK 1456.

9.4.3. Rázová zkouška

Rázová zkouška metodou Charpy byla prováděna na instrumentovaném kladivu CEAST Resil Impactor Junior dle normy ČSN EN ISO 179. K ovládní stroje a záznamu průběhu zkoušky byl použit program CEAST DAS8Win Extended 4.30. Při zkoušce byla zkušební tělesa připravená ve směru orientace vláken (směr L) a kolmo na směr orientace vláken (směr T) položena na podpěru vrubem ve směru hlavního pohybu kladiva. Před zkouškou byl na zkušebních tělesech vytvořen vrub o velikosti 2 mm a úhlem rozevření 90°. Při všech testech byly dodrženy tyto okrajové podmínky:

- hmotnost kladiva 2.19 kg;
- umístění kladiva na poloměru 0.5 m;
- spouštěcí úhel kladiva 40°.



Obr. 9.9: Instrumentované kladivo CEAST Resil Impactor Junior.

9.4.4. Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla prováděna na tvrdoměru AFFRI metodou Shore D dle normy ČSN EN ISO 868. Při zkoušce nebyla použita nařezaná tělesa, ale přímo desky, na kterých bylo podle šablony vytvořeno 9 stejně velkých polí. Pro každou zkoušku byly použity 4 desky a na každé z nich bylo provedeno 9 měření. Při všech testech byla dodržena délka měření 15 s.



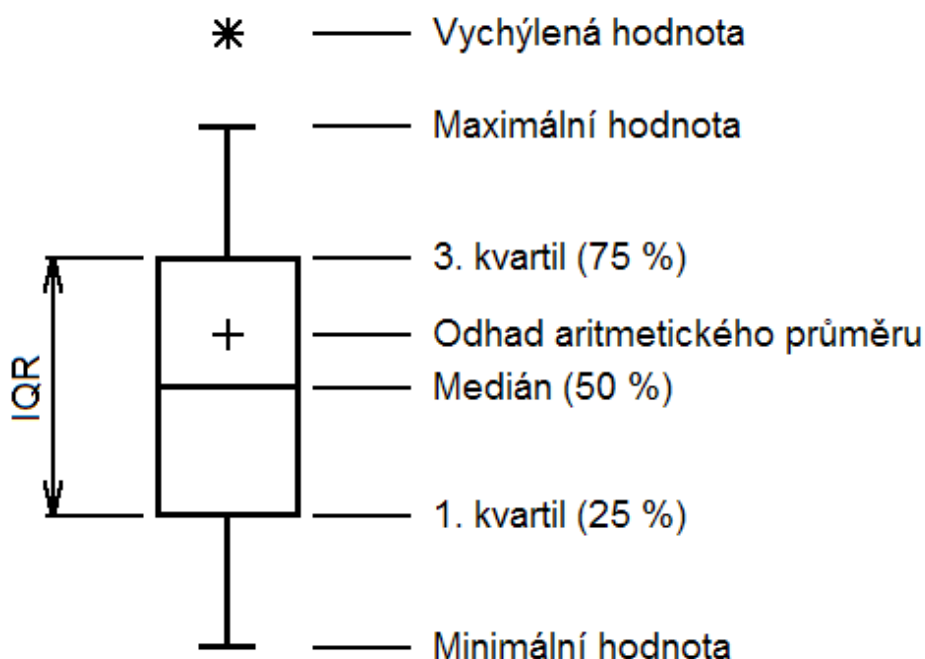
Obr. 9.10: Tvrdoměr AFFRI – metoda Shore D.

9.5 Způsob vyhodnocování naměřených dat

Prvotní zpracování dat bylo provedeno v programu MS Excel 2007, jednalo se o převedení dat z použitých přístrojů. Samotné vyhodnocení dat bylo provedeno v programu Minitab Release 14. Vyhodnocená data byla do konečné podoby zpracována opět v programu MS Excel 2007. Cílem vyhodnocení naměřených výsledků bylo stanovení vlivu jednotlivých vtokových ústí na vstříkovaný výrobek.

9.5.1. Box-plotový graf

K zobrazení naměřených výsledků byly použity Box-plotové grafy, které umožňují zobrazení až 7 statistických veličin plus zobrazení vychýlených hodnot.



Obr. 9.11: Box-plotový graf.

Box-plotových grafů bylo využíváno již v průběhu měření a pokud se v naměřeném statistickém souboru dat objevila vychýlená hodnota, tak bylo analyzováno proč k tomu došlo a byla provedena náprava. Zjištěná vychýlená hodnota byla vyřazena a nahrazena novou hodnotou z nového měření. Tím byla zaručena vždy stejná velikost statistického souboru v počtu 12 měření.

Za vychýlenou nebo také odlehlou hodnotu se považuje taková hodnota, která splňuje podmínku 1.5 násobku velikosti IQR (interkvartilového rozptylu) ve směru minimální nebo maximální hodnoty.

Vychýlené hodnoty mohly být způsobeny těmito faktory:

- nesprávné upnutí tělesa do samosvorných čelistí u tahové zkoušky;
- nesprávné uložení tělesa na podpěrách u ohybové zkoušky (vychýlení tělesa mimo osu trnu);
- nesprávné uložení tělesa na podpěrách u rázové zkoušky (vychýlení tělesa od hlavní osy pohybu kladiva, nesprávná poloha vrubu);
- těleso u rázové zkoušky nebylo přeraženo.

9.5.2. Vyhodnocované veličiny

Průběhu vyhodnocování dat byly u jednotlivých zkoumaných materiálových vlastností popisovány níže uvedené veličiny. Tyto veličiny jsou k uvedeny v tabulkách naměřených hodnot v přílohách této práce.

Počet „ n “

Udává velikost výběrového statistického souboru dat.

Odhad aritmetického průměru „ \bar{x} “

Udává odhad střední hodnoty výběrového statistického souboru dat.

Odhad nejistoty měření „ u_a “

Udává rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Odhad směrodatné odchylky „ s “

Udává, o kolik se naměřené hodnoty průměrně odchyľují od odhadu arit. průměru.

Odhad rozpylu „ s^2 “

Udává kvadratickou hodnotu odhadu směrodatné odchylky.

Odhad variačního koeficientu „ v_x “

Udává relativní variabilitu statistického souboru.

Minimální hodnota „ MIN “

Udává minimální naměřenou hodnotu vyskytující se ve výběrovém statistickém souboru dat.

1. kvartil „ Q_1 “

Udává 25% kvantil výběrového statistického souboru dat.

Medián výběrového souboru „ M “

Udává 50% kvantil výběrového statistického souboru dat.

3. kvartil „ Q_3 “

Udává 75% kvantil výběrového statistického souboru dat.

Maximální hodnota „ MAX “

Udává maximální naměřenou hodnotu vyskytující se ve výběrovém statistickém souboru dat.

Variační rozpětí „ R “

Definuje rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou nacházející se ve výběrovém statistickém souboru dat.

Interkvartilové rozpětí „ IQR “

Udává rozdíl mezi třetím kvantilem Q_3 a prvním prvním kvantilem Q_1 výběrového statistického souboru.

10. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem experimentu bylo stanovení vlivu tokových kanálů, konkrétně vtokových ústí, na vlastnosti vstříkovaného výrobku. K experimentu byl vybrán jeden typ poly-merního materiálu (Polyamid 66) s různým množstvím plnění skleněnými vlákny a čtveřice vtokových ústí. Na zkušebních tělesech připravených ve směrech L (longitudinal) a T (transversal) byly provedeny vybrané mechanické zkoušky za běžné teploty (21°C) a zvýšené teploty (80°C).

10.1 Interpretace výsledků

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny. Ze získaných statistických veličin byly k dalšímu popisu vybrány tři:

- odhad variačního koeficientu „ v_x “
Pomocí „ v_x “ je možné zjistit, kolik procent z odhadu aritmetického průměru zabírá směrodatná odchylka. Čím menší procento, tím lépe, tím více se dá spolehnout na hodnotu aritmetického průměru.
- variační rozpětí „ R “
Z „ R “ je možné zjistit, jak moc velký je rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou hodnotou. Čím menší rozdíl, tím lépe, tím blíže jsou naměřená data vůči sobě. Variační rozptyl je citlivý na vychýlení hodnot, což může způsobit odklon mediánu od aritmetického průměru.
- interkvartilové rozpětí „ IQR “
Z „ IQR “ je možné zjistit, jaký je rozptyl 50 % hodnot kolem mediánu. Čím menší rozptyl, tím lépe, tím blíže jsou naměřená data mediánu.

U všech zmíněných veličin byly zjištěny minimální a maximální hodnoty. Jejich odečtením byl určen rozptyl, za pomoci kterého bylo stanoveno pět stejně velkých intervalů. Tyto intervaly byly očíslovány (oznámkovány) od 1 do 5, přičemž hodnota 1 udává nejlepší výsledek a hodnota 5 udává nejhorší výsledek. Se získanými intervaly byly porovnány všechny hodnoty z jednotlivých statistických veličin a bylo jim přiřazeno číslo konkrétního intervalu.

Výsledkem tohoto postupu jsou hodnotící tabulky, ze kterých je zřejmý vliv použitých vtokových ústí na vstříkovaný výrobek a citlivost vtoku na mechanické vlastnosti. U jednotlivých mechanických zkoušek jsou hodnotící tabulky vytvořeny pro mechanické vlastnosti naměřené za běžné a zvýšené teploty.

Po řádcích jsou hodnotící tabulky primárně rozděleny podle množství plniva (skleněných vláken) v polymeru. Sekundárně se řádky dělí po vtocích, kterým jsou dále přiřazeny hodnoty odpovídající danému sloupci a hodnotě intervalu (od 1 do 5).

Ve sloupcích jsou hodnotící tabulky primárně rozděleny podle statistických veličin. Sekundárně se sloupce dělí na hodnoty získané při měření ve směru L a T.

Pro lepší orientaci je každá tabulka opatřena obrázky použitých vtokových ústí.

10.2 Tahová zkouška

U mechanické zkoušky tahem byl vyhodnocován Youngův modul (E) a mez pevnosti v tahu (R_m). Obě veličiny byly naměřeny a vyhodnoceny za běžné teploty (21°C) a za zvýšené teploty (80°C).

10.2.1. Youngův modul (E) - 21°C

Tab. 9.10: Minima a maxima - Tah - E (směr L, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	1,760	280,0	90,0
max	15,750	4740,0	2253,0
interval	13,990	4460,0	2163,0
1/5	2,798	892,0	432,6

Tab. 9.11: Minima a maxima - Tah - E (směr T, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	2,000	120,0	47,5
max	15,750	4740,0	2253,0
interval	13,750	4620,0	2205,5
1/5	2,750	924,0	441,1

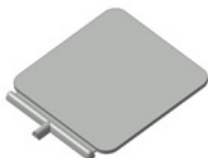



Tab. 9.12: Intervaly - Tah - E (směr L, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	1,760	4,558	1	280,0	1172,0	1	90,0	522,6
2	4,558	7,356	2	1172,0	2064,0	2	522,6	955,2
3	7,356	10,154	3	2064,0	2956,0	3	955,2	1387,8
4	10,154	12,952	4	2956,0	3848,0	4	1387,8	1820,4
5	12,952	15,750	5	3848,0	4740,0	5	1820,4	2253,0

Tab. 9.13: Intervaly - Tah - E (směr T, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	2,000	4,750	1	120,0	1044,0	1	47,5	488,6
2	4,750	7,500	2	1044,0	1968,0	2	488,6	929,7
3	7,500	10,250	3	1968,0	2892,0	3	929,7	1370,8
4	10,250	13,000	4	2892,0	3816,0	4	1370,8	1811,9
5	13,000	15,750	5	3816,0	4740,0	5	1811,9	2253,0

Tab. 9.14: Hodnocení vtoků - Tah - E (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	1	1	1	1	1
	A3	2	1	1	1	1	1
	B1	4	3	1	1	1	1
	C1	1	1	1	1	1	1
15 %	A1	2	1	1	1	2	1
	A3	4	1	1	1	2	1
	B1	1	2	1	1	1	1
	C1	2	2	1	1	1	1
25 %	A1	3	1	2	1	2	1
	A3	3	1	2	1	1	1
	B1	2	2	2	1	1	1
	C1	3	2	2	2	2	2
30 %	A1	4	1	2	1	2	1
	A3	1	2	1	2	1	1
	B1	2	1	1	1	1	1
	C1	2	2	2	2	1	1
35 %	A1	3	1	2	1	2	1
	A3	2	2	2	2	2	2
	B1	1	3	1	2	1	2
	C1	3	3	2	2	3	3
50 %	A1	2	1	2	2	2	2
	A3	2	2	2	2	2	2
	B1	1	2	1	2	1	3
	C1	5	5	5	5	5	5
							
A1		A3		B1		C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (21°C) - příloha A1;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr L - příloha A2;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr T - příloha A3.

10.2.2. Mez pevnosti (R_m) - 21°C

Tab. 9.15: Minima a maxima - Tah - R_m (směr L, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	0,470	1,030	0,425
max	9,110	25,600	14,340
interval	8,640	24,570	13,915
1/5	1,728	4,914	2,783

Tab. 9.16: Minima a maxima - Tah - R_m (směr T, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	0,640	1,130	0,605
max	23,280	52,330	37,240
interval	22,640	51,200	36,635
1/5	4,528	10,240	7,327

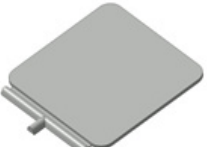



Tab. 9.17: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	0,470	2,198	1	1,030	5,944	1	0,425	3,208
2	2,198	3,926	2	5,944	10,858	2	3,208	5,991
3	3,926	5,654	3	10,858	15,772	3	5,991	8,774
4	5,654	7,382	4	15,772	20,686	4	8,774	11,557
5	7,382	9,110	5	20,686	25,600	5	11,557	14,340

Tab. 9.18: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	0,640	5,168	1	1,130	11,370	1	0,605	7,932
2	5,168	9,696	2	11,370	21,610	2	7,932	15,259
3	9,696	14,224	3	21,610	31,850	3	15,259	22,586
4	14,224	18,752	4	31,850	42,090	4	22,586	29,913
5	18,752	23,280	5	42,090	52,330	5	29,913	37,240

Tab. 9.19: Hodnocení vtoků - Tah - R_m (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	1	1	1	1	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	1	1	1	1	1	1
15 %	A1	2	1	3	1	3	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	2	1	2	1	1	1
25 %	A1	4	1	5	1	5	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	2	1	2	1	2	1
30 %	A1	5	1	5	1	5	1
	A3	3	1	3	1	2	1
	B1	2	1	2	1	1	1
	C1	1	1	1	1	1	1
35 %	A1	3	2	4	2	3	2
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	2	2	2	1	2
	C1	1	1	2	1	2	1
50 %	A1	4	5	4	5	3	5
	A3	5	3	5	3	5	3
	B1	2	2	2	3	2	2
	C1	2	1	2	1	3	1
							
A1		A3		B1		C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Tahová zkouška, R_m (21°C) - příloha A4;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, R_m (21°C), směr L - příloha A5;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, R_m (21°C), směr T - příloha A6.

10.2.3. Youngův modul (E) - 80°C

Tab. 9.20: Minima a maxima - Tah - E (směr L, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	5,140	118,0	67,3
max	20,910	2240,0	1165,0
interval	15,770	2122,0	1097,7
1/5	3,154	424,4	219,5

Tab. 9.21: Minima a maxima - Tah - E (směr T, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	3,910	141,0	55,8
max	19,120	2280,0	1133,0
interval	15,210	2139,0	1077,2
1/5	3,042	427,8	215,4

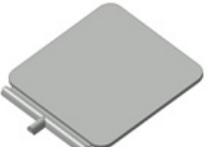



Tab. 9.22: Intervaly - Tah - E (směr L, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	5,140	8,294	1	118,0	542,4	1	67,3	286,8
2	8,294	11,448	2	542,4	966,8	2	286,8	506,4
3	11,448	14,602	3	966,8	1391,2	3	506,4	725,9
4	14,602	17,756	4	1391,2	1815,6	4	725,9	945,5
5	17,756	20,910	5	1815,6	2240,0	5	945,5	1165,0

Tab. 9.23: Intervaly - Tah - E (směr T, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	3,910	6,952	1	141,0	568,8	1	55,8	271,2
2	6,952	9,994	2	568,8	996,6	2	271,2	486,7
3	9,994	13,036	3	996,6	1424,4	3	486,7	702,1
4	13,036	16,078	4	1424,4	1852,2	4	702,1	917,6
5	16,078	19,120	5	1852,2	2280,0	5	917,6	1133,0

Tab. 9.24: Hodnocení vtoků - Tah - E (80°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	2	2	1	1	1	1
	A3	1	2	1	1	1	1
	B1	2	3	1	1	1	1
	C1	2	2	1	1	1	1
15 %	A1	2	1	1	1	2	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	2	3	1	1	1	1
	C1	5	5	2	2	2	3
25 %	A1	2	2	2	2	2	2
	A3	1	4	1	2	1	2
	B1	2	5	2	2	1	2
	C1	2	3	2	2	2	2
30 %	A1	3	1	3	1	4	1
	A3	3	2	2	2	2	1
	B1	2	4	2	2	2	2
	C1	4	4	2	2	4	4
35 %	A1	4	3	4	2	4	1
	A3	2	4	2	2	1	2
	B1	5	4	3	3	4	2
	C1	5	5	4	4	4	4
50 %	A1	5	5	5	5	5	5
	A3	2	4	3	4	2	4
	B1	3	5	4	5	3	5
	C1	5	5	5	5	5	5
							
A1		A3		B1		C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (80°C) - příloha A7;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr L - příloha A8;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr T - příloha A9.

10.2.4. Mez pevnosti (R_m) - 80°C

Tab. 9.25: Minima a maxima - Tah - R_m (směr L, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	0,860	1,350	0,627
max	9,720	26,520	13,720
interval	8,860	25,170	13,093
1/5	1,772	5,034	2,619

Tab. 9.26: Minima a maxima - Tah - R_m (směr T, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	1,360	2,060	0,780
max	13,630	24,090	17,190
interval	12,270	22,030	16,410
1/5	2,454	4,406	3,282





Tab. 9.27: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	0,860	2,632	1	1,350	6,384	1	0,627	3,246
2	2,632	4,404	2	6,384	11,418	2	3,246	5,864
3	4,404	6,176	3	11,418	16,452	3	5,864	8,483
4	6,176	7,948	4	16,452	21,486	4	8,483	11,101
5	7,948	9,720	5	21,486	26,520	5	11,101	13,720

Tab. 9.28: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	1,360	3,814	1	2,060	6,466	1	0,780	4,062
2	3,814	6,268	2	6,466	10,872	2	4,062	7,344
3	6,268	8,722	3	10,872	15,278	3	7,344	10,626
4	8,722	11,176	4	15,278	19,684	4	10,626	13,908
5	11,176	13,630	5	19,684	24,090	5	13,908	17,190

Tab. 9.29: Hodnocení vtoků - Tah - R_m (80°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	1	1	1	1	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	1	1	1	1	1	1
15 %	A1	3	1	2	1	2	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	2	1	2	2	1	1
25 %	A1	5	5	4	5	5	3
	A3	2	1	1	1	2	1
	B1	1	2	1	2	1	2
	C1	2	2	2	2	2	2
30 %	A1	5	1	4	1	5	1
	A3	2	1	2	1	1	1
	B1	1	2	1	2	1	2
	C1	3	2	2	2	2	1
35 %	A1	5	2	5	2	4	1
	A3	3	2	3	2	2	2
	B1	1	3	1	3	1	3
	C1	2	2	2	2	2	1
50 %	A1	3	5	3	5	2	5
	A3	5	5	3	5	4	5
	B1	2	3	2	4	2	4
	C1	2	2	2	2	2	2
							

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Tahová zkouška, R_m (80°C) - příloha A10;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, R_m (80°C), směr L - příloha A11;
- Statistické parametry - Tahová zkouška, R_m (80°C), směr T - příloha A12.

10.3 Ohybová zkouška

U mechanické zkoušky ohybem byl vyhodnocován Youngův modul (E) a mez pevnosti v tahu (R_{mo}). Obě veličiny byly naměřeny a vyhodnoceny za běžné teploty (21°C) a za zvýšené teploty (80°C).

10.3.1. Youngův modul (E) - 21°C

Tab. 9.30: Minima a maxima - Ohyb - E (směr L, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	2,840	140,0	60,0
max	22,090	3640,0	2303,0
interval	19,250	3500,0	2243,0
1/5	3,850	700,0	448,6

Tab. 9.31: Minima a maxima - Ohyb - E (směr T, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	4,310	200,0	97,5
max	22,090	3630,0	2303,0
interval	17,780	3430,0	2205,5
1/5	3,556	686,0	441,1

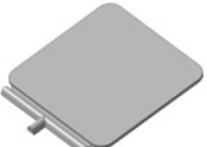



Tab. 9.32: Intervaly - Ohyb - E (směr L, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	2,840	6,690	1	140,0	840,0	1	60,0	508,6
2	6,690	10,540	2	840,0	1540,0	2	508,6	957,2
3	10,540	14,390	3	1540,0	2240,0	3	957,2	1405,8
4	14,390	18,240	4	2240,0	2940,0	4	1405,8	1854,4
5	18,240	22,090	5	2940,0	3640,0	5	1854,4	2303,0

Tab. 9.33: Intervaly - Ohyb - E (směr T, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	4,310	7,866	1	200,0	886,0	1	97,5	538,6
2	7,866	11,422	2	886,0	1572,0	2	538,6	979,7
3	11,422	14,978	3	1572,0	2258,0	3	979,7	1420,8
4	14,978	18,534	4	2258,0	2944,0	4	1420,8	1861,9
5	18,534	22,090	5	2944,0	3630,0	5	1861,9	2303,0

Tab. 9.34: Hodnocení vtoků - Ohyb - E (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	1	1	1	1	1
	A3	2	1	1	1	1	1
	B1	1	2	1	1	1	1
	C1	3	2	1	1	1	1
15 %	A1	3	2	2	1	1	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	2	1	1	1	1
	C1	3	2	2	2	1	1
25 %	A1	3	1	3	1	2	1
	A3	3	1	4	1	3	1
	B1	3	2	3	1	2	1
	C1	4	4	3	3	2	2
30 %	A1	4	2	4	2	3	1
	A3	1	2	1	2	1	1
	B1	2	2	2	1	2	1
	C1	2	2	2	2	1	1
35 %	A1	2	2	2	2	2	1
	A3	3	1	4	1	2	1
	B1	2	2	2	1	2	1
	C1	3	3	3	3	2	2
50 %	A1	3	2	5	3	3	2
	A3	3	1	5	2	4	1
	B1	4	2	5	3	4	2
	C1	5	5	5	5	5	5
							
A1		A3		B1		C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (21°C) - příloha B1;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr L - příloha B2;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr T - příloha B3.

10.3.2. Mez pevnosti (R_{m0}) - 21°C

Tab. 9.35: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr L, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	1,090	2,740	0,985
max	8,800	54,410	23,540
interval	7,710	51,670	22,555
1/5	1,542	10,334	4,511

Tab. 9.36: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr T, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	1,150	2,370	0,763
max	8,260	48,000	23,100
interval	7,110	45,630	22,337
1/5	1,422	9,126	4,467

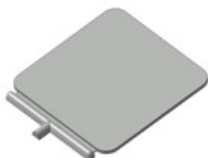



Tab. 9.37: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	1,090	2,632	1	2,740	13,074	1	0,985	5,496
2	2,632	4,174	2	13,074	23,408	2	5,496	10,007
3	4,174	5,716	3	23,408	33,742	3	10,007	14,518
4	5,716	7,258	4	33,742	44,076	4	14,518	19,029
5	7,258	8,800	5	44,076	54,410	5	19,029	23,540

Tab. 9.38: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	1,150	2,572	1	2,370	11,496	1	0,763	5,230
2	2,572	3,994	2	11,496	20,622	2	5,230	9,698
3	3,994	5,416	3	20,622	29,748	3	9,698	14,165
4	5,416	6,838	4	29,748	38,874	4	14,165	18,633
5	6,838	8,260	5	38,874	48,000	5	18,633	23,100

Tab. 9.39: Hodnocení vtoků - Ohyb - R_m (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	2	1	1	1	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	3	3	1	1	1	2
15 %	A1	4	3	3	1	4	2
	A3	3	1	2	1	2	1
	B1	1	3	1	2	1	2
	C1	3	3	2	2	2	3
25 %	A1	4	3	3	2	4	3
	A3	2	1	2	1	2	1
	B1	1	2	1	1	1	1
	C1	3	3	2	2	3	3
30 %	A1	5	3	5	2	5	3
	A3	2	1	2	1	2	1
	B1	1	2	1	2	1	2
	C1	1	1	1	1	1	1
35 %	A1	5	3	5	2	5	3
	A3	2	1	2	1	2	1
	B1	1	3	1	2	1	3
	C1	2	2	2	2	2	2
50 %	A1	5	2	5	2	5	2
	A3	2	1	3	1	3	1
	B1	1	3	1	3	1	3
	C1	5	5	5	5	5	5
 A1		 A3		 B1		 C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Ohybová zkouška, R_m (21°C) - příloha B4;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, R_m (21°C), směr L - příloha B5;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, R_m (21°C), směr T - příloha B6.

10.3.3. Youngův modul (E) - 80°C

Tab. 9.40: Minima a maxima - Ohyb - E (směr L, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	3,8	202,0	87,0
max	24,3	2710,0	1763,0
interval	20,5	2508,0	1676,0
1/5	4,1	501,6	335,2

Tab. 9.41: Minima a maxima - Ohyb - E (směr T, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	6,0	151,0	85,5
max	21,5	2140,0	843,0
interval	15,4	1989,0	757,5
1/5	3,1	397,8	151,5

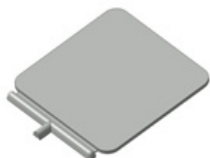



Tab. 9.42: Intervaly - Ohyb - E (směr L, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	3,760	7,858	1	202,0	703,6	1	87,0	422,2
2	7,858	11,956	2	703,6	1205,2	2	422,2	757,4
3	11,956	16,054	3	1205,2	1706,8	3	757,4	1092,6
4	16,054	20,152	4	1706,8	2208,4	4	1092,6	1427,8
5	20,152	24,250	5	2208,4	2710,0	5	1427,8	1763,0

Tab. 9.43: Intervaly - Ohyb - E (směr T, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	6,010	9,098	1	151,0	548,8	1	85,5	237,0
2	9,098	12,186	2	548,8	946,6	2	237,0	388,5
3	12,186	15,274	3	946,6	1344,4	3	388,5	540,0
4	15,274	18,362	4	1344,4	1742,2	4	540,0	691,5
5	18,362	21,450	5	1742,2	2140,0	5	691,5	843,0

Tab. 9.44: Hodnocení vtoků - Ohyb - E (80°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	4	5	1	1	1	1
	A3	5	1	1	1	1	1
	B1	2	3	1	1	1	1
	C1	2	2	1	1	1	1
15 %	A1	1	2	1	1	1	2
	A3	2	2	1	1	1	1
	B1	3	2	1	1	1	2
	C1	4	4	2	2	2	3
25 %	A1	5	2	4	1	3	2
	A3	2	1	2	1	2	2
	B1	1	2	1	2	1	2
	C1	2	2	2	3	1	2
30 %	A1	4	5	3	3	3	3
	A3	2	2	2	2	2	3
	B1	1	2	1	1	1	2
	C1	2	1	2	2	1	2
35 %	A1	5	1	5	1	5	1
	A3	3	3	3	2	3	3
	B1	2	2	3	2	2	3
	C1	2	2	2	2	1	2
50 %	A1	4	3	5	3	5	5
	A3	2	1	2	2	2	2
	B1	1	1	2	2	2	3
	C1	3	3	4	5	3	5
							

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (80°C) - příloha B7;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr L - příloha B8;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr T - příloha B9.

10.3.4. Mez pevnosti (R_{m0}) - 80°C

Tab. 9.45: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr L, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	2,300	1,910	1,315
max	9,640	30,510	17,260
interval	7,340	28,600	15,945
1/5	1,468	5,720	3,189

Tab. 9.46: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr T, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	2,340	2,720	1,240
max	9,180	23,090	8,660
interval	6,840	20,370	7,420
1/5	1,368	4,074	1,484





Tab. 9.47: Intervaly - Ohyb - R_m (směr L, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	2,300	3,768	1	1,910	7,630	1	1,315	4,504
2	3,768	5,236	2	7,630	13,350	2	4,504	7,693
3	5,236	6,704	3	13,350	19,070	3	7,693	10,882
4	6,704	8,172	4	19,070	24,790	4	10,882	14,071
5	8,172	9,640	5	24,790	30,510	5	14,071	17,260

Tab. 9.48: Intervaly - Ohyb - R_m (směr T, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	2,340	3,708	1	2,720	6,794	1	1,240	2,724
2	3,708	5,076	2	6,794	10,868	2	2,724	4,208
3	5,076	6,444	3	10,868	14,942	3	4,208	5,692
4	6,444	7,812	4	14,942	19,016	4	5,692	7,176
5	7,812	9,180	5	19,016	23,090	5	7,176	8,660

Tab. 9.49: Hodnocení vtoků - Ohyb - R_m (80°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	1	2	1	1	1	1
	A3	3	2	1	1	1	1
	B1	2	3	1	1	1	1
	C1	2	2	1	1	1	1
15 %	A1	4	2	3	1	3	2
	A3	2	1	2	1	1	2
	B1	5	5	3	3	2	5
	C1	4	4	2	3	2	4
25 %	A1	2	1	2	1	3	2
	A3	1	1	2	1	1	1
	B1	2	4	3	3	2	4
	C1	3	3	2	3	2	3
30 %	A1	3	3	3	3	4	3
	A3	2	1	2	1	2	1
	B1	1	3	1	2	1	3
	C1	3	3	2	3	2	4
35 %	A1	4	2	5	2	4	2
	A3	3	2	4	2	3	2
	B1	1	3	1	3	1	4
	C1	3	3	3	3	3	5
50 %	A1	5	1	5	1	5	2
	A3	3	3	3	5	3	5
	B1	1	2	2	3	2	3
	C1	3	4	4	5	3	5
							

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Ohybová zkouška, R_m (80°C) - příloha B10;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, R_m (80°C), směr L - příloha B11;
- Statistické parametry - Ohybová zkouška, R_m (80°C), směr T - příloha B12.

10.4 Rázová zkouška

U mechanické zkoušky rázem Charpyho metodou byla vyhodnocována rázová houževnatost (A_m), která byla naměřena a vyhodnocena za běžné teploty (21°C) a za zvýšené teploty (80°C).

10.4.1. Vrubová houževnatost (A_m) - 21°C

Tab. 9.50: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr L, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	4,920	1,130	0,450
max	23,640	5,070	3,970
interval	18,720	3,940	3,520
1/5	3,744	0,788	0,704

Tab. 9.51: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr T, 21°C).

	v_x	R	IQR
min	2,350	0,890	0,253
max	28,070	5,760	2,403
interval	25,720	4,870	2,151
1/5	5,144	0,974	0,430

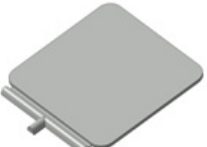



Tab. 9.52: Intervaly - Charpy - A_m (směr L, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	4,920	8,664	1	1,130	1,918	1	0,450	1,154
2	8,664	12,408	2	1,918	2,706	2	1,154	1,858
3	12,408	16,152	3	2,706	3,494	3	1,858	2,562
4	16,152	19,896	4	3,494	4,282	4	2,562	3,266
5	19,896	23,640	5	4,282	5,070	5	3,266	3,970

Tab. 9.53: Intervaly - Charpy - A_m (směr T, 21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	2,350	7,494	1	0,890	1,864	1	0,253	0,683
2	7,494	12,638	2	1,864	2,838	2	0,683	1,113
3	12,638	17,782	3	2,838	3,812	3	1,113	1,543
4	17,782	22,926	4	3,812	4,786	4	1,543	1,973
5	22,926	28,070	5	4,786	5,760	5	1,973	2,403

Tab. 9.54: Hodnocení vtoků - Charpy - A_m (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	3	3	4	3	3	5
	A3	1	1	1	1	1	2
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	2	2	2	2	1	3
15 %	A1	3	4	1	1	1	2
	A3	4	4	1	2	1	2
	B1	5	4	2	1	1	2
	C1	4	4	1	1	1	2
25 %	A1	3	5	1	2	1	4
	A3	3	3	1	1	1	2
	B1	3	2	1	1	1	1
	C1	4	4	2	2	1	2
30 %	A1	5	5	5	5	3	5
	A3	4	3	4	2	2	3
	B1	4	5	3	4	2	3
	C1	4	3	3	3	2	3
35 %	A1	5	4	5	5	5	4
	A3	4	4	4	4	3	5
	B1	4	4	5	4	3	5
	C1	4	4	4	4	3	5
50 %	A1	4	1	5	1	3	1
	A3	1	3	1	4	1	4
	B1	1	1	1	1	1	1
	C1	2	2	3	2	2	3
							
	A1		A3		B1		C1

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Rázová zkouška, A_m (21°C) - příloha C1;
- Statistické parametry - Rázová zkouška, A_m (21°C), směr L - příloha C2;
- Statistické parametry - Rázová zkouška, A_m (21°C), směr T - příloha C3.

10.4.2. Vrubová houževnatost (A_m) - 80°C

Tab. 9.55: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr L, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	3,240	1,290	0,658
max	14,920	8,250	4,283
interval	11,680	6,960	3,625
1/5	2,336	1,392	0,725

Tab. 9.56: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr T, 80°C).

	v_x	R	IQR
min	4,880	1,940	0,710
max	16,930	6,590	4,390
interval	12,050	4,650	3,680
1/5	2,410	0,930	0,736

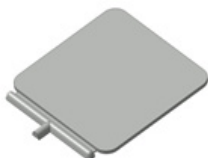



Tab. 9.57: Intervaly - Charpy - A_m (směr L, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	3,240	5,576	1	1,290	2,682	1	0,658	1,383
2	5,576	7,912	2	2,682	4,074	2	1,383	2,108
3	7,912	10,248	3	4,074	5,466	3	2,108	2,833
4	10,248	12,584	4	5,466	6,858	4	2,833	3,558
5	12,584	14,920	5	6,858	8,250	5	3,558	4,283

Tab. 9.58: Intervaly - Charpy - A_m (směr T, 80°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	4,880	7,290	1	1,940	2,870	1	0,710	1,446
2	7,290	9,700	2	2,870	3,800	2	1,446	2,182
3	9,700	12,110	3	3,800	4,730	3	2,182	2,918
4	12,110	14,520	4	4,730	5,660	4	2,918	3,654
5	14,520	16,930	5	5,660	6,590	5	3,654	4,390

Tab. 9.59: Hodnocení vtoků - Charpy - A_m (80°C).

plnění	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
0 %	A1	3	1	3	2	3	1
	A3	5	3	5	4	5	5
	B1	4	4	5	5	4	5
	C1	3	3	4	5	3	3
15 %	A1	3	2	2	2	2	2
	A3	3	1	2	1	1	2
	B1	3	4	2	4	2	4
	C1	4	3	3	3	3	3
25 %	A1	3	3	2	3	2	2
	A3	1	3	1	3	1	3
	B1	3	1	2	1	3	1
	C1	5	5	3	4	4	4
30 %	A1	4	4	3	3	2	3
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	3	1	2	1	2	1
	C1	4	3	4	4	3	3
35 %	A1	5	5	4	5	4	5
	A3	4	2	3	1	2	1
	B1	4	3	3	3	2	2
	C1	4	3	3	4	2	2
50 %	A1	5	4	3	4	2	4
	A3	5	3	3	3	2	2
	B1	4	2	2	3	3	2
	C1	5	4	4	5	2	2
							
	A1	A3	B1	C1			

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.


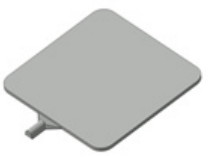


V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Rázová zkouška, A_m (80°C) - příloha C4;
- Statistické parametry - Rázová zkouška, A_m (80°C), směr L - příloha C5;
- Statistické parametry - Rázová zkouška, A_m (80°C), směr T - příloha C6.

10.5 Zkouška tvrdosti

U zkoušky tvrdosti byla při běžné teplotě (21°C) naměřena a vyhodnocena tvrdost Shore D.

Tab. 9.60: Hodnocení vtoků - Shore D (21°C).

plnění	typ vtoku	v_x	R	IQR			
0 %	A1	2	2	2			
	A3	3	3	3			
	B1	2	2	2			
	C1	4	3	4			
15 %	A1	3	2	2			
	A3	2	1	2			
	B1	4	3	3			
	C1	5	3	5			
25 %	A1	2	2	2			
	A3	2	2	1			
	B1	3	2	3			
	C1	5	5	3			
30 %	A1	1	1	1			
	A3	4	3	3			
	B1	5	4	4			
	C1	3	2	3			
35 %	A1	2	2	2			
	A3	3	3	2			
	B1	1	1	1			
	C1	3	3	2			
50 %	A1	5	4	4			
	A3	5	5	4			
	B1	5	4	4			
	C1	4	4	3			
							
A1		A3		B1		C1	

Hodnota 1 v tabulce udává nejlepší výsledek a hodnota 5 nejhorší výsledek.

V přílohách disertační práce jsou k dispozici naměřená data:

- Box-plotový graf - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C) - příloha D1;
- Statistické parametry - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C) - příloha D2.

Tab. 9.61: Minima a maxima - Shore D (21°C).

	v_x	R	IQR
min	0,410	1,400	0,400
max	1,020	3,600	1,625
interval	0,610	2,200	1,225
1/5	0,122	0,440	0,245

Tab. 9.62: Intervaly - Shore D (21°C).

v_x - Intervaly			R - Intervaly			IQR - Intervaly		
1	0,410	0,532	1	1,400	1,840	1	0,400	0,645
2	0,532	0,654	2	1,840	2,280	2	0,645	0,890
3	0,654	0,776	3	2,280	2,720	3	0,890	1,135
4	0,776	0,898	4	2,720	3,160	4	1,135	1,380
5	0,898	1,020	5	3,160	3,600	5	1,380	1,625

10.6 Zhodnocení diskutovaných výsledků

Prezentované hodnotící tabulky umožňují výběr vhodného typu vtokového ústí pro zvolený typ materiálu a předpokládaný způsob zatížení výrobku.

Hodnocení od 1 do 5 představuje velikost intervalu odpovídající rozptylu statistických veličin, které vypovídají o naměřených mechanických vlastnostech. Hodnota 1 představuje nejlepší výsledek a 5 nejhorší. Čím horší je hodnocení (tj. čím vyšší je hodnotící kritérium v tabulce), tím vyšší jsou hodnoty intervalu statistických veličin a tím větší je rozptyl skutečných naměřených hodnot mechanických vlastností mezi sebou navzájem a také od střední hodnoty.


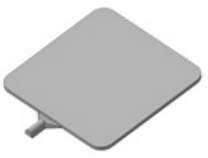


Naopak nízká hodnota kritéria v hodnotící tabulce znamená malý rozptyl skutečně naměřených hodnot. Lze tedy při rozhodování o typu vtokového ústí předpokládat, že pokud bude zvolen vtok s vysokým hodnocením (tj. s nízkou hodnotou kritéria), tak vstříkovaný výrobek bude dosahovat u dané mechanické vlastnosti hodnoty velmi blízké střední hodnotě této vlastnosti a navíc v malém rozptylu kolem ní.

Příklad využití výsledků řešení

Má být navržena vstříkovací forma pro výrobek, který bude používán za běžných teplot. Převažujícím typem namáhání bude ohyb. Výrobek bude vyráběn z PA 66 s 15 % skleněných vláken.

Výsledky uvedené v tabulce (Tab. 9.63) odpovídají výsledkům z hodnotících tabulek ohybu při teplotě 21°C.

Tab. 9.63: Příklad využití - mechanické vlastnosti, PA 66 s 15 % skla (21°C).

	typ vtoku	v_x		R		IQR	
		směr L	směr T	směr L	směr T	směr L	směr T
Ohyb (E)	A1	3	2	2	1	1	1
	A3	1	1	1	1	1	1
	B1	1	2	1	1	1	1
	C1	3	2	2	2	1	1
Ohyb (R_m)	A1	4	3	3	1	4	2
	A3	3	1	2	1	2	1
	B1	1	3	1	2	1	2
	C1	3	3	2	2	2	3
 A1		 A3		 B1		 C1	

Ze zobrazených výsledků vyplývá, že nejvhodnější volbou pro uvedenou aplikaci může být vtok A3, boční vtok. Naopak nejméně vhodný se jeví vtok C1, kuželový vtok.

10.7 Opakovatelnost experimentu

Z výše diskutovaných výsledků je jasně patrný vliv vtokového ústí na vlastnosti vstříkovaného výrobku i s ohledem na množství plniva ve vstříkovaném polymeru. Získané výsledky není možné aplikovat na libovolná vtoková ústí nebo stejná vtoková ústí při použití jiného typu polymeru. Získané výsledky dávají pouze představu o vlastnostech výrobku a vhodnosti vtoku za předpokladu použití stejně nebo podobně geometricky řešených vtoků a při použití polymerních materiálů stejných nebo podobných vlastností.

Experiment ale ukazuje cestu, jak zvolit vhodný typ vtokového ústí pro konkrétní aplikaci. K tomuto účelu jsou v následující kapitole popsány podmínky, jejichž splnění umožní zopakování celého experimentu s libovolným typem polymerního materiálu i vtokového ústí. Pokud některou z podmínek není možné splnit, tak musí být brán v úvahu její vliv při interpretaci vyhodnocených dat.

10.7.1. Plán experimentu

Před opakováním experimentu je důležité provést plán experimentu, který by měl obsahovat dále uvedené body.

Vstřikovací forma

K experimentu je možné zvolit vstřikovací formu, která:

- umožní z vyrobeného výrobku odebrat zkušební tělesa odpovídajících rozměrů pro zvolený typ zkoušek;
- umožní změnu typu vtokového ústí;
- zajistí stálost rozměrů vtokového kužele a rozvodných vtokových kanálů při změně vtokového ústí, rozvodný vtokový kanál se navíc nesmí směrem od vtokové vložky ke vtokovému ústí větvit, v ideálním případě by měl být přímý (důvodem je geometrická vyváženost vtokového systému).

Typy zkoušek a zkušební tělesa

Za podmínek vyrobitelnosti vhodného zkušebního tělesa a opakovatelnosti zkoušky je možné k experimentu použít jakýkoliv typ zkoušek. Počet zkušebních těles by měl být dostatečný pro následné statistické vyhodnocení.

Vyhodnocení a interpretace výsledků

Před vyhodnocením je nutné provést kontrolu naměřených dat a zkontrolovat výskyt vychýlených hodnot. Nalezené vychýlené hodnoty je vhodné vyřadit a nahradit je hodnotami z nových měření provedených stejným postupem. Tyto kontroly je vhodné provádět v průběhu měření. Překontrolovaná data statisticky zpracovat ve vhodném softwaru (např. Minitab, Statistika nebo MS Excel). Ze zpracovaných výsledků vybrat požadované veličiny (v_x , R, IQR), zjistit u nich minima, maxima a určit intervaly (od 1 do 5). Naměřeným hodnotám přiřadit odpovídající hodnotu intervalu.

Ostatní

- typ nebo typy vstřikovaných polymerů;
- podmínky mechanických zkoušek (např. teplota při měření, úprava těles apod.).

11. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

Předložená práce se zabývá vlivem typu a umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti výrobku.

V současné době je znám pouze vliv rozvodných kanálů. V této souvislosti se hovoří o tzv. (ne)vyváženosti rozvodných vtokových systémů. Vliv ostatních částí vtokového systému doposud zkoumán nebyl. V případě vtokového kužele lze vliv zanedbat, jelikož má stále stejný tvar. Oproti tomu vtoková ústí jsou zúžením rozvodných kanálů v různých tvarech a provedeních, čímž ovlivňují velikost smykových napětí i smykových rychlostí.

Studium vlivu vtokových ústí na výrobek může v praxi pomoci zejména konstruktérům vstřikovaných výrobků i vstřikovacích forem. Na konstruktéry je kladena zodpovědnost za kvalitu výsledného produktu. Poznání, do jaké míry může typ a umístění vtokového ústí ovlivnit kvalitu výsledného produktu, umožní konstruktérovi zvolit nevýhodnější variantu a tím minimalizovat možné negativní dopady související především s nutností oprav navrženého nástroje. Správná konstrukce, ke které patří optimální volba druhu a umístění vtoku, může mít výrazný vliv na zkrácení celého procesu od návrhu výrobku k jeho realizaci.

Přínos této práce pro vědu a praxi je v lepším pochopení vlivu vtokových systémů vstřikovacích forem, zejména vtokových ústí, na vstřikovaný výrobek. Navržený hodnotící systém formou hodnotící tabulky může pomoci při návrhu optimálního tvaru vtokového ústí.

12. ZÁVĚR

Cílem disertační práce bylo prokázat souvislost mezi typem použitého vtokového ústí a mechanickými vlastnostmi výrobku. Práce si kladla za cíl přispět k pochopení problematiky související s volbou vtokových ústí a jejich vlivem na kvalitu vstříkovaného výrobku.

K experimentům byla využita vstříkovací forma umožňující změnu vtokových ústí při zachování rozměrů zbylých částí vtokového systému. Pro potřeby práce byla využita čtyři vtoková ústí z osmi možných. Dutina formy měla tvar desky, ze které byla připravena zkušební tělesa pro různé typy mechanických zkoušek. Vstříkován byl jeden typ polymerního materiálu (Polyamid 66) s různým množstvím plniva (skleněná vlákna). Mechanické zkoušky (tah, ohyb, rázová houževnatost a tvrdost) byly provedeny za běžné (21°C) a zvýšené (80°C) teploty. Naměřená data byla statisticky vyhodnocena a vybrané statistické veličiny byly dále použity k hodnocení kvality jednotlivých vtokových ústí v závislosti na typu použitého polymeru.

Vyhodnocená data jsou prezentována v hodnoticích tabulkách, kde je k jednotlivým vtokům přiřazeno jednoduché hodnocení. Uživatel hodnoticích tabulek díky tomu nemusí mít hlubší znalost statistických veličin, na základě kterých bylo hodnocení provedeno.

Jelikož provedená měření není možné plně aplikovat na libovolná vtoková ústí nebo stejná vtoková ústí při použití jiného typu polymeru, tak byly definovány podmínky, při jejichž splnění je možné celý experiment zopakovat s jakýmkoliv typem polymerního materiálu i vtokového ústí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BASF CORPORATION. *Product Locator - BASF Corporation Plastics Portal* [online]. © 1998-2007 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://iwww.plasticsportal.com/products/products.html>
- [2] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
- [3] BEAUMONT, J.P.; NAGEL, R.; SHERMAN, R. *Successful Injection Molding : Process, Design, and Simulation*. Munich : Hanser, 2002. xiii, 362 s., 1 CD. ISBN 3-446-19433-9, ISBN 1-56990-291-7.
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 1 . 2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133 s.
- [5] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 2 . 1. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 214 s.
- [6] CAMPO, E. *The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics*. Munich: Hanser Publishers, c2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751.
- [7] ČSN EN ISO 178 (640607). *Plasty - Stanovení ohybových vlastností*. Praha : Český normalizační institut, Červenec 2003. 20 s.
- [8] ČSN EN ISO 179-1 (640612). *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy - Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška*. Praha : Český normalizační institut, Prosinec 2010. 24 s.
- [9] ČSN EN ISO 179-2 (640612). *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. Praha : Český normalizační institut, Duben 2000. 20 s.
- [10] ČSN EN ISO 527-1 (640604). *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 1: Základní principy*. Praha : Český normalizační institut, Srpen 1997. 16 s.
- [11] ČSN EN ISO 527-2 (640604). *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Praha : Český normalizační institut, Duben 1998. 12 s.
- [12] ČSN EN ISO 868 (640624). *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. Praha : Český normalizační institut, Říjen 2003. 12 s.
- [13] DMLS. *DMLS - Direct Metal Laser Sintering, Kovové prototypy*. [online]. [2007] [cit. 2012-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.dmls.cz/>>.
- [14] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [15] GWK. *Gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH* [online]. [2012] [cit. 2012-02-01]. Dostupné z: <http://www.gwk.com/en/>

- [16] HYLTON, Donald C. *Understanding plastics testing*. Munich: Hanser Publishers, c2004, xi, 93 s. ISBN 1-56990-366-2.
- [17] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xii, 378 s. ISBN 978-1-56990-418-3.
- [18] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. ISBN 978-1-56990-434-3.
- [19] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, c2007, xx, 423 s. ISBN 978-3-446-41266-8.
- [20] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. Munich: Hanser, 1994, 460 s. ISBN 1569901295.
- [21] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser, c2001, xvii, 612 s. ISBN 3446212566.
- [22] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 8085920727.
- [23] MORRISON, Faith A. *Understanding rheology*. New York: Oxford University Press, 2001, xiii, 545 s. ISBN 0195141660.
- [24] MORRISON, S. *Introduction to engineering statistics*. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, c2009, xii, 177 s. ISBN 978-0-470-74556-4.
- [25] OSSWALD, Tim A. *International plastics handbook: the resource for plastics engineers*. 4th ed. Munich: Hanser Publishers, c2006, xvii, 902 s. ISBN 9781569903995.
- [26] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.
- [27] OSSWALD, Tim A a Georg MENGES. *Materials science of polymers for engineers*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2003, xviii, 622 s. ISBN 1-56990-348-4.
- [28] PETR, Ondřej. *Vliv umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Štěpán Šanda.
- [29] PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. *Injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, x, 246 s. ISBN 978-1-56990-419-0.
- [30] SANDA, Stepan, Miroslav MANAS, David MANAS, Michal STANEK a Vojtech SENKERIK. *Gate effect on quality of injected part*. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 301-303. ISSN 0009-2770.

- [31] STAUBER, R a L VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. 1st ed. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0.
- [32] RAGAN, Emil, Juraj RUŽBARSKÝ a Miroslav MAŇAS. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt*. Prešov: Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2008. ISBN 978-80-553-0102-0.
- [33] RAO, Natti S a Günter SCHUMACHER. *Design formulas for plastics engineers*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2004, ix, 167 s. ISBN 1569903700.
- [34] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2002, xxiii, 688 s. ISBN 1-56990-322-0.
- [35] REES, Herbert a Bruce CATOEN. *Selecting injection molds: weighing cost vs productivity*. Munich: Hanser Publishers, 2006, x, 230 s. ISBN 978-3-446-40308-6.
- [36] REES, Herbert. *Understanding injection mold design* [online]. Munich: Hanser, 2001.
- [37] ROSATO, Dominick V, Donald V ROSATO a Marlene G ROSATO. *Injection molding handbook*. 3rd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, xxxi, 1457 s. ISBN 0792386191.
- [38] UNGER, Peter. *Gastrow injection molds: 130 proven designs*. 4th ed. Munich: Hanser Publishers, 2006, x, 335 s. ISBN 1569904022.
- [39] VLČEK, Jiří a Miroslav MAŇAS. *Aplikovaná reologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001, 144 s. ISBN 8073180391.
- [40] WILKINSON, Arthur N.; RYAN, Anthony J. *Polymer Processing and Structure Development*. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher, 1998. ix, 577 s. ISBN 0-7514-0363-6.
- [41] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [42] ZHENG, Rong, Roger I TANNER a Xi-Jun FAN. *Injection molding: integration of theory and modeling methods*. Heidelberg: Springer, c2011, xii, 188 s. ISBN 978-3-642-21262-8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A1	[-]	označení vtoku - filmový vtok ze strany desky
A3	[-]	označení vtoku - rozšířený boční vtok ze strany desky
A_b	[kJ/m ²]	rázová houževnatost - v moment přeražení
A_m	[kJ/m ²]	rázová houževnatost - maximální
B1	[-]	označení vtoku - rozšířený boční vtok z rohu desky
C1	[-]	označení vtoku - kuželový vtok do středu desky
CAE	[-]	computer aided engineering
ČSN	[-]	česká technická norma
D	[mm]	průměr
De	[-]	Debořino číslo
DMLS	[-]	direct metal laser sintreering
DR	[-]	dělicí rovina
E	[MPa]	Youngův modul
EN	[-]	evropská norma
F_m	[N]	síla na mezi pevnosti
IQR	[-]	interkvartilový rozptyl
ISO	[-]	mezinárodní norma
ITT	[g/10min]	index toku taveniny
L	[-]	longitudal - podélný směr
L	[mm]	délka
L	[mm]	počáteční délka zkušebního tělesa
L_0	[mm]	délka zkušebního tělesa po protažení
M	[-]	medián
max	[-]	maximum
min	[-]	minimum
M_n	[mol.kg]	číselně střední molekulová hmotnost
M_o	[N.mm]	ohybový moment
M_w	[mol.kg]	hmotnostně střední molekulová hmotnost
n	[-]	počet kusů zkušebních těles
N_1	[MPa]	první rozdíl normálových napětí
N_2	[MPa]	druhý rozdíl normálových napětí
p	[Pa]	tlak
PA 66	[-]	polyamid 66

Q1	[-]	1. kvartil
Q3	[-]	3. kvartil
R	[mm]	rádus
R	[-]	variační rozpětí
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
R_k	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_{mo}	[MPa]	mez pevnosti v ohybu
s	[-]	odhad směrodatné odchylky
s^2	[-]	odhad rozptylu
S_0	[mm ²]	průřez
t	[s]	čas
T	[-]	transversal - příčný směr
T	[mm]	tloušťka stěny
T	[°C]	teplota
Tf	[°C]	teplota toku
Tg	[°C]	teplota zesklenění
Tm	[°C]	teplota tání
u_a	[-]	odhad nejistoty měření
v	[m ³ /kg]	specifický objem
v_x	[-]	odhad variačního koeficientu
Wo	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
x	[-]	odhad aritmetického průměru
y	[mm]	průhyb zkušebního tělesa
α	[-]	alfa - označení úhlu
ϵ	[%]	epsilon - deformace
γ	[1/s]	gama - smyková rychlost
η	[Pa.s]	éta - smyková viskozita
η_e	[Pa]	éta - elongační viskozita
λ	[s]	lambda - relaxační čas
θ	[-]	théta - označení úhlu
σ	[MPa]	sigma - napětí
τ	[Pa]	tau - smykové napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Základní klasifikace polymerů. [14]	17
Obr. 1.2: Schematické znázornění makromolekul polymeru. [14]	18
Obr. 1.3: Distribuční křivka molekulových hmotností. [14]	19
Obr. 1.4: Porovnání mechanických vlastností polymerů. [29]	20
Obr. 1.5: pvT diagramy amorfního a semikrystalického polymeru. [29]	22
Obr. 1.6: Příklad stejné hodnoty ITT pro různé polymery. [39]	23
Obr. 1.7: Překmit napětí. [39]	24
Obr. 2.1: Vstřikovací cyklus. [26]	25
Obr. 2.2: Vstřikovací cyklus v pvT diagramu. [17]	26
Obr. 2.3: Diagram procesního okna. [26]	27
Obr. 2.4: Orientace ve vrstvách. [26]	28
Obr. 2.5: Mechanismus toku a tuhnutí polymeru v průběhu vstřikování. [26]	29
Obr. 2.6: Deformace polymerní taveniny v průběhu vstřikování. [26]	29
Obr. 2.7: Míra poškození vláken v průběhu vstřikování. [26]	30
Obr. 2.8: Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje. [29]	32
Obr. 2.9: Plastikační jednotka vstřikovacího stroje. [29]	33
Obr. 3.1: Rám vstřikovací formy.	34
Obr. 3.2: Porovnání rozdílů rozmístění tvarových dutin. [29]	36
Obr. 3.3: Vodicí a středící elementy. [29]	36
Obr. 3.4: Vtoková vložka. [21]	37
Obr. 3.5: Průřezy rozvodných kanálů. [26]	38
Obr. 3.6: Oblasti vysokého a nízkého smyku v rozvodných kanálech. [26]	38
Obr. 3.7: Kuželové vtokové ústí. [26]	39
Obr. 3.8: Boční vtokové ústí. [26]	40

Obr. 3.9: Vějířové vtokové ústí. [26]	40
Obr. 3.10: Filmové vtokové ústí. [26]	41
Obr. 3.11: Prstencové (vlevo) a membránové (vpravo) vtokového ústí. [26]	41
Obr. 3.12: Bodové vtokové ústí. [34]	42
Obr. 3.13: Tunelové vtokové ústí. [34]	42
Obr. 3.14: Srpkovité (banánové) vtokové ústí. [34]	43
Obr. 3.15: Plnění více vtoky. [34]	43
Obr. 3.16: Přidržovač vtoku. [34]	45
Obr. 3.17: Izolovaná vtoková soustava. [26]	46
Obr. 3.18: Horká vtoková soustava. [26]	47
Obr. 3.19: Základní typy vyhazovacích kolíků. [19]	49
Obr. 3.20: Stírání výrobku pomocí stírací desky. [34]	50
Obr. 3.21: Pneumatické vyhazování - plochý ventil. [34]	51
Obr. 3.22: GWK systém 4G Integrat. [15]	52
Obr. 3.23: Princip DMLS. [13]	52
Obr. 3.24: Odvzdušňovací systém. [34]	54
Obr. 4.1: Konstrukční řešení rohů. [26]	56
Obr. 4.2: Konstrukční řešení žeber. [26]	56
Obr. 4.3: Konstrukční řešení nálitků (pozder). [26]	57
Obr. 4.4: Konstrukční řešení otvorů. [26]	57
Obr. 4.5: Černé skvrny. [26]	59
Obr. 4.6: Propadliny. [26]	61
Obr. 4.7: Studené spoje. [26]	62
Obr. 4.8: Tryskový tok (jetting). [26]	63
Obr. 5.1: Tahová zkouška. [29]	65

Obr. 9.1: Univerzální rám vstřikovací formy. _____	73
Obr. 9.2: Typy vtokových ústí a jejich označení. [28] _____	74
Obr. 9.3: Tvarová část č. 1. _____	74
Obr. 9.4: Tvarová část č. 2. _____	75
Obr. 9.5: Vstřikovací stroj ARBURG 420C Allrounder Advanced. _____	76
Obr. 9.6: Univerzální frézka FHV - 50PD. _____	79
Obr. 9.7: Zkušební tělesa. _____	80
Obr. 9.8: Univerzální testovací stroj ZWICK 1456. _____	81
Obr. 9.9: Instrumentované kladivo CEAST Resil Impactor Junior. _____	82
Obr. 9.10: Tvrdoměr AFFRI – metoda Shore D. _____	82
Obr. 9.11: Box-plotový graf. _____	83

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Velikost od vzdušňovací mezery. [5]	54
Tab. 9.1: Technické parametry ARBURG Thermolift 100-2.	76
Tab. 9.2: Technické parametry ARBURG 420 C Allrounder Advanced.	77
Tab. 9.3: Teplotní pásma plastikační jednotky.	77
Tab. 9.4: Procesní podmínky vtoku A1.	77
Tab. 9.5: Procesní podmínky vtoku A3.	78
Tab. 9.6: Procesní podmínky vtoku B1.	78
Tab. 9.7: Procesní podmínky vtoku C1.	78
Tab. 9.8: Řezné podmínky při přípravě zkušebních těles.	79
Tab. 9.9: Technické parametry univerzální frézky FHV - 50PD.	79
Tab. 9.10: Minima a maxima - Tah - E (směr L, 21°C).	86
Tab. 9.11: Minima a maxima - Tah - E (směr T, 21°C).	86
Tab. 9.12: Intervaly - Tah - E (směr L, 21°C).	86
Tab. 9.13: Intervaly - Tah - E (směr T, 21°C).	86
Tab. 9.14: Hodnocení vtoků - Tah - E (21°C).	87
Tab. 9.15: Minima a maxima - Tah - R_m (směr L, 21°C).	88
Tab. 9.16: Minima a maxima - Tah - R_m (směr T, 21°C).	88
Tab. 9.17: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 21°C).	88
Tab. 9.18: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 21°C).	88
Tab. 9.19: Hodnocení vtoků - Tah - R_m (21°C).	89
Tab. 9.20: Minima a maxima - Tah - E (směr L, 80°C).	90
Tab. 9.21: Minima a maxima - Tah - E (směr T, 80°C).	90
Tab. 9.22: Intervaly - Tah - E (směr L, 80°C).	90
Tab. 9.23: Intervaly - Tah - E (směr T, 80°C).	90

Tab. 9.24: Hodnocení vtoků - Tah - E (80°C).	91
Tab. 9.25: Minima a maxima - Tah - R_m (směr L, 80°C).	92
Tab. 9.26: Minima a maxima - Tah - R_m (směr T, 80°C).	92
Tab. 9.27: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 80°C).	92
Tab. 9.28: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 80°C).	92
Tab. 9.29: Hodnocení vtoků - Tah - R_m (80°C).	93
Tab. 9.30: Minima a maxima - Ohyb - E (směr L, 21°C).	94
Tab. 9.31: Minima a maxima - Ohyb - E (směr T, 21°C).	94
Tab. 9.32: Intervaly - Ohyb - E (směr L, 21°C).	94
Tab. 9.33: Intervaly - Ohyb - E (směr T, 21°C).	94
Tab. 9.34: Hodnocení vtoků - Ohyb - E (21°C).	95
Tab. 9.35: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr L, 21°C).	96
Tab. 9.36: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr T, 21°C).	96
Tab. 9.37: Intervaly - Tah - R_m (směr L, 21°C).	96
Tab. 9.38: Intervaly - Tah - R_m (směr T, 21°C).	96
Tab. 9.39: Hodnocení vtoků - Ohyb - R_m (21°C).	97
Tab. 9.40: Minima a maxima - Ohyb - E (směr L, 80°C).	98
Tab. 9.41: Minima a maxima - Ohyb - E (směr T, 80°C).	98
Tab. 9.42: Intervaly - Ohyb - E (směr L, 80°C).	98
Tab. 9.43: Intervaly - Ohyb - E (směr T, 80°C).	98
Tab. 9.44: Hodnocení vtoků - Ohyb - E (80°C).	99
Tab. 9.45: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr L, 80°C).	100
Tab. 9.46: Minima a maxima - Ohyb - R_m (směr T, 80°C).	100
Tab. 9.47: Intervaly - Ohyb - R_m (směr L, 80°C).	100
Tab. 9.48: Intervaly - Ohyb - R_m (směr T, 80°C).	100

Tab. 9.49: Hodnocení vtoků - Ohyb - R_m (80°C).	101
Tab. 9.50: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr L, 21°C).	102
Tab. 9.51: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr T, 21°C).	102
Tab. 9.52: Intervaly - Charpy - A_m (směr L, 21°C).	102
Tab. 9.53: Intervaly - Charpy - A_m (směr T, 21°C).	102
Tab. 9.54: Hodnocení vtoků - Charpy - A_m (21°C).	103
Tab. 9.55: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr L, 80°C).	104
Tab. 9.56: Minima a maxima - Charpy - A_m (směr T, 80°C).	104
Tab. 9.57: Intervaly - Charpy - A_m (směr L, 80°C).	104
Tab. 9.58: Intervaly - Charpy - A_m (směr T, 80°C).	104
Tab. 9.59: Hodnocení vtoků - Charpy - A_m (80°C).	105
Tab. 9.60: Hodnocení vtoků - Shore D (21°C).	106
Tab. 9.61: Minima a maxima - Shore D (21°C).	107
Tab. 9.62: Intervaly - Shore D (21°C).	107
Tab. 9.63: Příklad využití - mechanické vlastnosti, PA 66 s 15 % skla (21°C).	108

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A1: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (21°C) _____	132
Příloha A2: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr L _____	133
Příloha A3: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr T _____	134
Příloha A4: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Rm (21°C) _____	135
Příloha A5: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (21°C), směr L _____	136
Příloha A6: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (21°C), směr T _____	137
Příloha A7: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (80°C) _____	138
Příloha A8: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr L _____	139
Příloha A9: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr T _____	140
Příloha A10: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Rm (80°C) _____	141
Příloha A11: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (80°C), směr L _____	142
Příloha A12: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (80°C), směr T _____	143
Příloha B1: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (21°C) _____	144
Příloha B2: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr L _____	145
Příloha B3: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr T _____	146
Příloha B4: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Rm (21°C) _____	147
Příloha B5: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (21°C), směr L _____	148
Příloha B6: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (21°C), směr T _____	149
Příloha B7: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (80°C) _____	150
Příloha B8: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr L _____	151
Příloha B9: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr T _____	152
Příloha B10: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Rm (80°C) _____	153
Příloha B11: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (80°C), směr L _____	154
Příloha B12: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (80°C), směr T _____	155

Příloha C1: Box-plotový graf - Rázová zkouška, Am (21°C) _____	156
Příloha C2: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (21°C), směr L _____	157
Příloha C3: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (21°C), směr T _____	158
Příloha C4: Box-plotový graf - Rázová zkouška, Am (80°C) _____	159
Příloha C5: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (80°C), směr L _____	160
Příloha C6: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (80°C), směr T _____	161
Příloha D1: Box-plot. graf - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C) _____	162
Příloha D2: Statistické parametry - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C) _____	163

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

MAŇAS, David, Miroslav MAŇAS, Michal STANĚK, Štěpán ŠANDA a Vladimír PATA. Thermal effects on steels at different methods of separation. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 713-716. ISSN 0009-2770.

MAŇAS, Miroslav, David MAŇAS, Michal STANĚK, Štěpán ŠANDA a Vladimír PATA. Improvement of mechanical properties of TPE by irradiation. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 828-829. ISSN 0009-2770.

MANAS, Miroslav, Michal STANEK, David MANAS, Stepan SANDA, Zdenek HOLIK a Michal DANEK. Temperature stability of irradiated polymers. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 254-256. ISSN 0009-2770.

MANAS, David, Miroslav MANAS, Michal STANEK, Stepan SANDA, Jakub CERNY, Martin OVSIK a Vladimír PATA. Wear of off – road tires evaluation. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 264-266. ISSN 0009-2770.

SANDA, Stepan, Miroslav MANAS, David MANAS, Michal STANEK a Vojtech SENKERIK. Gate effect on quality of injected part. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 301-303. ISSN 0009-2770.

STANEK, Michal, Miroslav MANAS, David MANAS, Vladimír PATA, Stepan SANDA, Vojtech SENKERIK a Adam SKROBAK. How the filler influence the fluidity of polymer. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 303-305. ISSN 0009-2770.

SANDA, Stepan, Miroslav MANAS, David MANAS, Michal STANEK a Jiri KNOT. Comparison of injection mold cooling systems. Chemické listy. Česká společnost chemická, 2011, roč. 105 (S), č. Symposia, s. 381-383. ISSN 0009-2770.

STANĚK, Michal, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS a Štěpán ŠANDA. Měření tokových vlastností polymerů. 8th ITC – Tools 2011 = VIII. ITC 2011 – Nástroje 2011 [CD-ROM]. Zlín: FT UTB ve Zlíně. Ústav výrobního inženýrství, 2011 [cit. 2011-07-14]. Adresář: \ITC2011\ITC2011_43.pdf. ISBN 978-80-7454-026-4.

ŠANDA, Štěpán, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS, Michal STANĚK a Jiří KNOT. Využití Rapid Prototyping při konstrukci vstřikovacích forem. 8th ITC – Tools 2011 = VIII. ITC 2011 – Nástroje 2011 [CD-ROM]. Zlín: FT UTB ve Zlíně. Ústav

výrobního inženýrství, 2011 [cit. 2011 -07-14]. Adresář: \ITC2011\ITC2011_47.pdf. ISBN 978-80-7454-026-4.

ŠUBA, Oldřich, Libuše SÝKOROVÁ, Štěpán ŠANDA a Michal STANĚK. Modelling of Thermal Stresses in Printed Circuit Boards. Recent Research in Automatic Control. 13th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS `11). Editors: Vladimír Vasek, Yuriy Shmaliy, Denis Trcek, Nobuhibo P. Kobayashi, Ryszard S. Choras, Zbigniew Klos. WSEAS Press, 2011. s. 173-176. ISBN 978-1-61804-004-6.

ŠUBA, Oldřich, Libuše SÝKOROVÁ, Štěpán ŠANDA a Michal STANĚK. Stress – State Modeling of Injection-molded Cylindrical Bosses Reinforced with Short Fibres. Recent Research in Automatic Control. 13th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS `11). Editors: Vladimír Vasek, Yuriy Shmaliy, Denis Trcek, Nobuhibo P. Kobayashi, Ryszard S. Choras, Zbigniew Klos. WSEAS Press, 2011. s. 177-179. ISBN 978-1-61804-004-6.

OVSÍK, Martin, David MAŇAS, Štěpán Šanda, Miroslav MAŇAS, Michal STANĚK, Vladimír PATA, Josef HRDINA a Michal DANĚK. Měření tvrdosti vybraných technických materiálů. Strojírenská technologie: časopis pro vědu, výzkum a výrobu. Ústí nad Labem: FVTM UJEP Ústí nad Labem, říjen 2011, roč. XVI, č. 5, s. 24-29. ISSN 1211-4162.

ŠANDA, Štěpán, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS, Michal STANĚK a Jiří KNOT. Využití Rapid Prototyping při konstrukci vstřikovacích forem. Strojírenská technologie: časopis pro vědu, výzkum a výrobu. Ústí nad Labem: FVTM UJEP Ústí nad Labem, říjen 2011, roč. XVI, č. 5, s. 58-63. ISSN 1211-4162.

ŠANDA, Š., MAŇAS, M. Vstřikování polymerů – od návrhu k realizaci. Plastko 2010 – sborník přednášek [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Univerzitní institut. 2010 [cit. 2010 -11-11]. Adresář: \Sborník_Plastko2010.pdf. ISBN 978-80-7318-909-9

MAŇAS, M., STANĚK, M., ŠANDA, Š., MAŇAS, D. Rychlá příprava prototypů a reverzní inženýrství v konstrukci dílů a nástrojů. 7th ITC – Tools 2009 = VII. ITC 2009 – Nástroje 2009 [CD-ROM]. Zlín : FT UTB ve Zlíně. Ústav výrobního inženýrství, 2009 [cit. 2009 -02-06]. Adresář: \ITC2007\ITC2007_29.pdf. ISBN 978-80-7318-794-1

STANĚK, M., WILCZYNSKI, O., ŠANDA, Š., GABRIEL, J. Cadmould – užitečný nástroj pro konstrukci dílů z plastů a pryže. 7th ITC – Tools 2009 = VII. ITC 2009 – Nástroje 2009 [CD-ROM]. Zlín : FT UTB ve Zlíně. Ústav výrobního inženýrství, 2009 [cit. 2009 -02-06]. Adresář: \ITC2007\ITC2007_46.pdf. ISBN 978-80-7318-794-1.

ŠANDA, Š., MAŇAS, M., ROZKOŠNÝ, L., MAŇAS, D., STANĚK, M. Analýzy chlazení – porovnání klasické a DMLS konstrukce vstřikovací formy. 7th ITC – Tools 2009 = VII. ITC 2009 – Nástroje 2009 [CD-ROM]. Zlín : FT UTB ve Zlíně. Ústav výrobního inženýrství, 2009 [cit. 2009 -02-06]. Adresář: \ITC2007\ITC2007_48.pdf. ISBN 978-80-7318-794-1.

MANAS, D., MANAS, M., STANEK, M., ZALUDEK, M., SANDA, S., JAVORIK, J., PATA, V. Wear of multipurpose tire treads. Chemické listy. 2009, vol. 103 (S), no. Symposia, s. 72-76. Available from WWW: <<http://www.chemicke-listy.cz>>. ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-version).

STANEK, M., MANAS, M., MANAS, D., SANDA, S. Plastics parts design supported by reverse engineering and rapid prototyping. Chemické listy. 2009, vol. 103 (S), no. Symposia, s. 88-91. Available from WWW: <<http://www.chemicke-listy.cz>>. ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-version).

STANEK, M., MANAS, M., MANAS, D., SANDA, S. Influence of surface roughness on fluidity of thermoplastics materials. Chemické listy. 2009, vol. 103 (S), no. Symposia, s. 91-95. Available from WWW: <<http://www.chemicke-listy.cz>>. ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-version).

ŠANDA, Š., MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS, D., ROZKOŠNÝ, L. Injection mold cooling system by DMLS. Chemické listy. 2009, vol. 103 (S), no. Symposia, s. 140-142. Available from WWW: <<http://www.chemicke-listy.cz>>. ISSN 0009-2770, ISSN 1213-7103 (e-version).

MANAS D., MANAS, M., STANEK, M., PATA, V., JAVORIK, J., SANDA, S. Study of Deformation Behaviour of Rubber Compounds. In BROŽEK, Milan. International Scientific Conference “Material Science and Manufacturing Technology - MITECH 2009” - Proceedings. 1st edition. Praha : ČZU v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, 2009. s. 149-154. ISBN 978-80-213-1931-8.

STANEK, M., MANAS, M., MANAS D., SANDA, S. Injection Molding Process Optimalization. In BROŽEK, Milan. International Scientific Conference “Material Science and Manufacturing Technology - MITECH 2009” - Proceedings. 1st edition. Praha : ČZU v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, 2009. s. 266-271. ISBN 978-80-213-1931-8.

ŠANDA, Š., MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS D., ROZKOŠNÝ, L. DMLS - Useful Tool For Injection Molds. In BROŽEK, Milan. International Scientific Conference “Material Science and Manufacturing Technology - MITECH 2009” - Proceedings. 1st edition. Praha : ČZU v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, 2009. s. 301-305. ISBN 978-80-213-1931-8.

ŠANDA, Š., MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS, D. Využití CAE aplikací při vývoji vstřikovací formy. Plastko 2008 – sborník přednášek [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Univerzitní institut. 2008 [cit. 2008 -04-25]. Adresář: \prednasky\Sanda_Plastko_2008.pdf. ISBN 80-7318-687-6

MAŇAS, D., STANĚK, M., MAŇAS, M., ŠANDA, Š. Lepení polymerů. Plastko 2008 – sborník přednášek [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Univerzitní institut. 2008 [cit. 2008 -04-25]. Adresář: \poster\DManas_Plastko_2008.pdf. ISBN 80-7318-687-6

STANEK, M., MANAS, M., MANAS, D., SANDA, S.: Optimization of Injection Molding Process. In: 12th International Research/Expert Conference – Trends in the Development of Machinery and Associated Technology – TMT 2008, 26 – 30.8.2008, Istanbul, Turkey, p.133-136, ISBN 978-9958-617-41-6

STANEK, M., MANAS, M., MANAS, D., SANDA, S.: Rubber Injection Moulding Process Simulation. In: 12th International Research/Expert Conference – Trends in the Development of Machinery and Associated Technology – TMT 2008, 26 – 30.8.2008, Istanbul, Turkey, p.137-140, ISBN 978-9958-617-41-6

ŠANDA, Š., MAŇAS, M. Tvorba a význam analýz vstřikovacího procesu. 6th International Tools Conference ITC 2007 = 6. Mezinárodní Nastrojářská Konference ITC 2007 [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Ústav výrobního inženýrství, 2007 [cit. 2008 -01-29]. Adresář: \ITC2007\ITC2007_39.pdf. ISBN 80-7318-572-5.

STANĚK, M., DRGA, T., MAŇAS, M., ŠANDA, Š., MAŇAS, David. Reverzní inženýrství a rapid prototyping. 6th International Tools Conference ITC 2007 = 6. Mezinárodní Nastrojářská Konference ITC 2007 [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Ústav výrobního inženýrství, 2007 [cit. 2008 -01-29]. Adresář: \ITC2007\ITC2007_43.pdf. ISBN 80-7318-572-5.

ŠANDA, Š., KOLÁŘ, P. Analysis of the injection moulding process. In CHOTĚBORSKÝ, R. BOOK OF PAPERS : International Science Conference of Materials Science and Manufacturing Technology. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. Manufacturing technology. s. 253-256. ISBN 80-213-1650-8.

GABRIEL, J., STANĚK, M., WILCZYNSKI, O., MAŇAS, D., ŠANDA, Š. Vstřikování elastomerů – simulace procesu a vstupní data pro SW simulaci. 11th International Rubber Symposium IRS 2007 = 11. Mezinárodní Gumárenské Symposium IRS 2007 [CD-ROM]. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Ústav výrobního inženýrství, 2007 [cit. 2008 -01-29]. Adresář: \IRS2007\IRS2007_16.pdf. ISBN 80-7318-594-7.

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje

Jméno a příjmení, tituly: Štěpán Šanda, Ing.
Datum a místo narození: leden 1982, Zlín
E-mail: sanda@ft.utb.cz
Státní příslušnost: ČR

Vzdělání

09/2006 – dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
studijní program: P2808 Chemie a technologie materiálů
studijní obor: 2808V009 Chemie a technologie materiálů

09/2004 – 06/2006 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
magisterský stud. program: N3909 Procesní inženýrství
studijní obor: 3201T007 Konstrukce technologických zařízení
zakončeno: titul Ing.

09/2001 – 06/2004 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
bakalářský studijní program: B3909 Procesní inženýrství
studijní obor: 3201R001 Technologická zařízení
zakončeno: titul Bc.

09/1997 – 06/2001 Střední průmyslová škola, Zlín
obor: 23-41-M/001 (23-81-6/00) Strojírenství
zaměření: Počítačové CAD/CAM
zakončeno: maturitní zkouška

Pracovní zkušenosti

02/2011 - dosud UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA - Tech)
pozice: Ph.D. student, člen výzkumného týmu Aplikace inženýrské informatiky
náplň práce: výzkumná činnost; spolupráce s průmyslem

09/2008 – dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství
pozice: akademický pracovník
náplň práce: výzkumná činnost; vedení diplomových a bakalářských prací; příprava a výuka cvičení odborných předmětů Konstrukce forem, Formy, CAE

09/2006 – 08/2008 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství
pozice: lektor – externista
náplň práce: vedení diplomových a bakalářských prací; příprava a výuka cvičení odborných předmětů Konstrukce forem, Formy, CAE

07/2003 – 02/2005 PromoProdukce – Media, spol. s r.o.
pozice: project manager, zástupce ředitele agentury pro regiony Morava a Slezsko
náplň práce: komunikace se zákazníkem, příprava a vedení projektů, zastupování agentury při obchodních schůzkách, zodpovědnost za chod agentury v regionu

Studijní stáže

07/2005 – 08/2005 ROBERT BOSCH spol. s r.o. České Budějovice
pozice: student – diplomant
náplň práce: odborná praxe spojená s přípravou diplomové práce, výpomoc na projektech oddělení vývoje ENG 3, výpomoc na projektech oddělení výroby MOE 12

05/2007 Höskolan Kristianstad, Technical Institute, Sweden
kurz: Computer integrated manufacturing
zakončeno: certifikát o absolvování kurzu

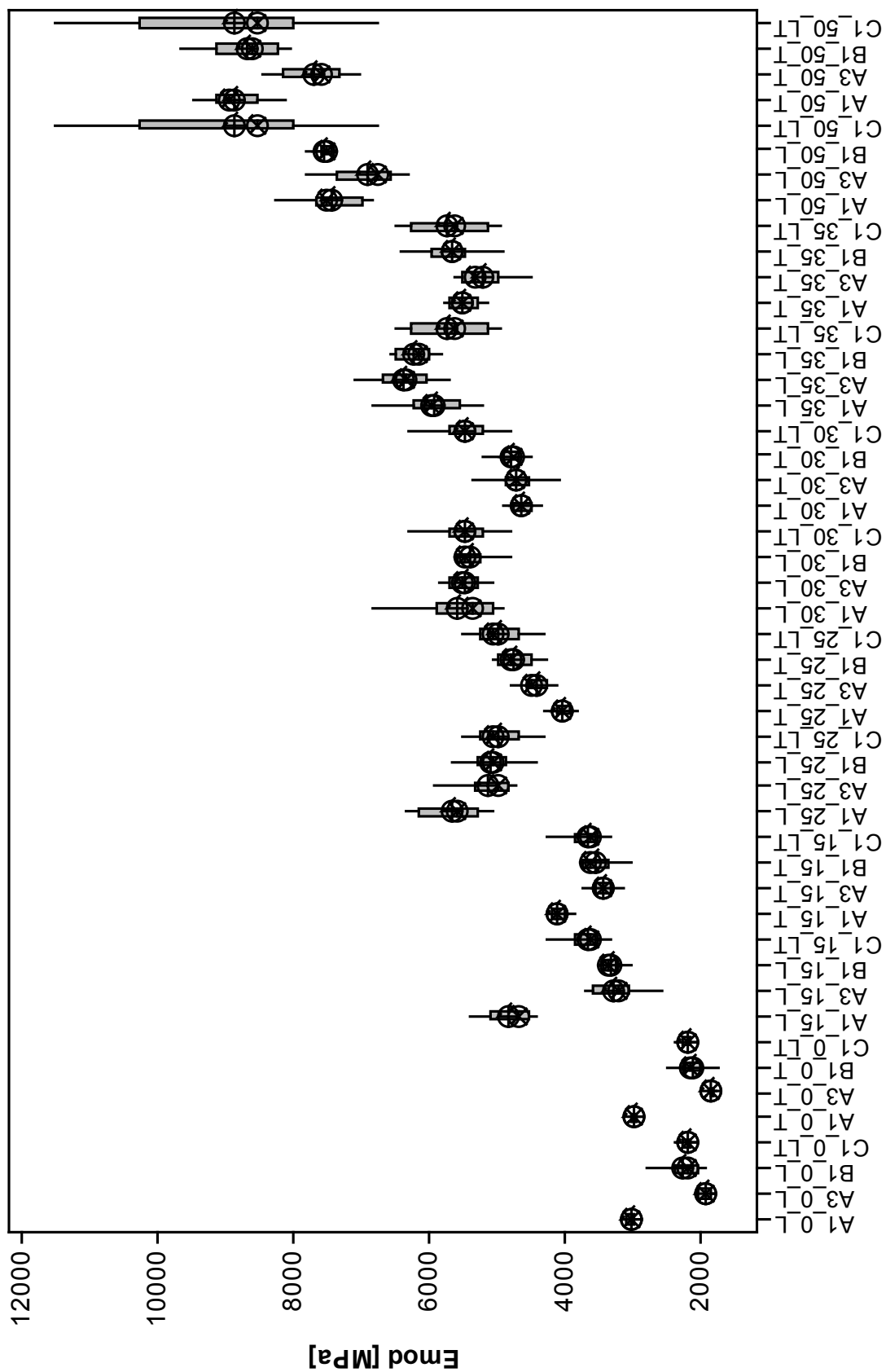
Profesní členství

SPE Society of Plastics Engineers - člen

GSZ Gumárenská skupina Zlín - člen

Gumárenské listy Odborný časopis vydávaný GSZ při ČSPCH Praha, ve spolupráci ČGS a.s. Praha - výkonný redaktor

Příloha A1: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (21°C)



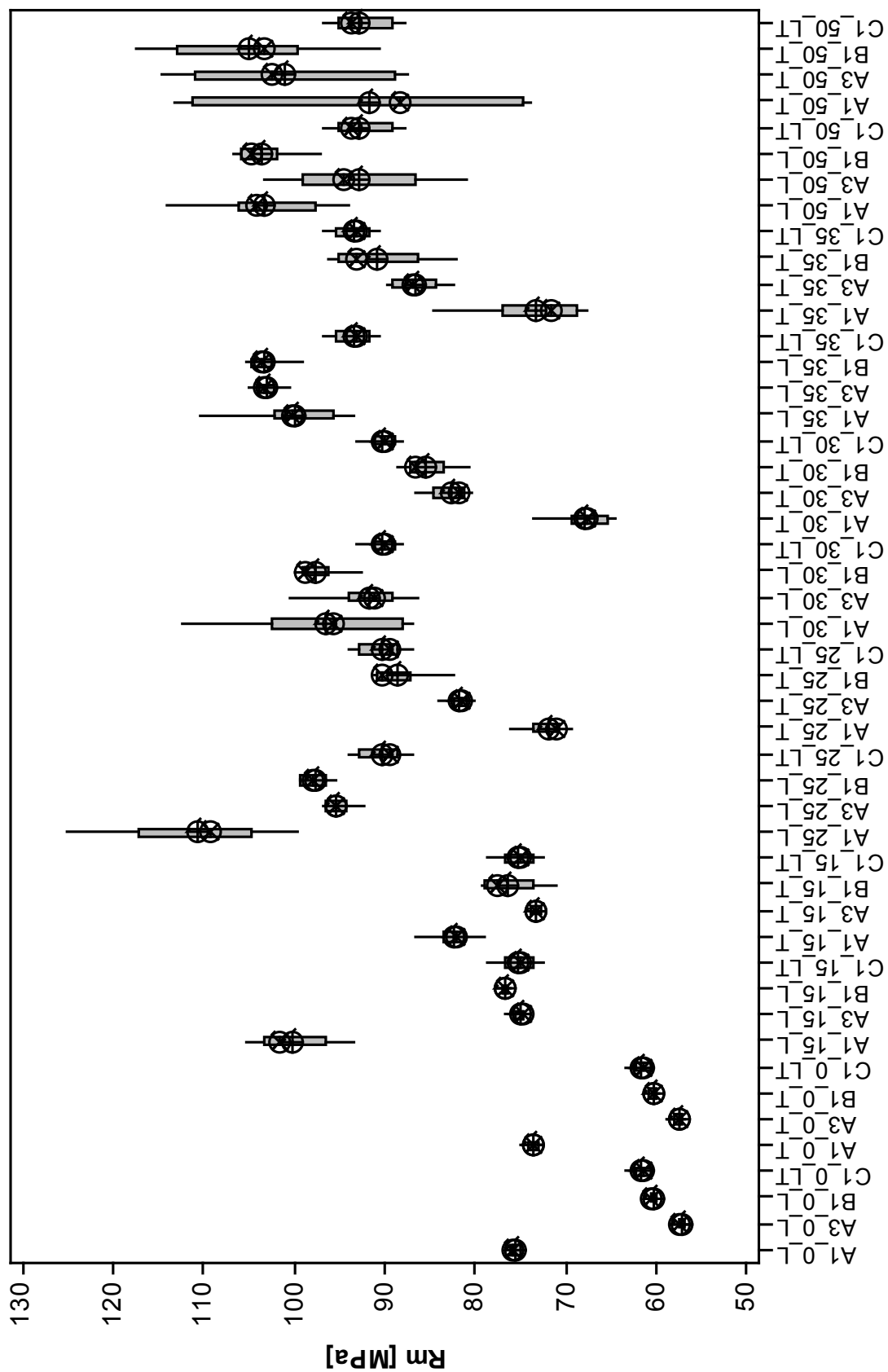
Příloha A2: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	3013,3	20,4	70,5	4970	2,3	2850	2975	3005	3065	3130	280	90,0
	A3	12	1920,0	29,8	103,2	10655	5,4	1750	1820	1915	2015	2050	300	195,0
	B1	12	2231,7	82,4	285,4	81470	12,8	1900	2010	2170	2360	2790	890	350,0
	C1	12	2179,2	25,2	87,3	7627	4,0	2050	2125	2170	2240	2360	310	115,0
15 %	A1	12	4804,2	93,8	325,1	105663	6,8	4420	4535	4665	5073	5400	980	537,5
	A3	12	3268,3	98,5	341,4	116524	10,4	2550	3053	3205	3588	3700	1150	535,0
	B1	12	3323,3	43,5	150,8	22752	4,5	3020	3233	3360	3423	3500	480	190,0
	C1	12	3660,8	76,6	265,3	70408	7,3	3310	3520	3600	3825	4260	950	305,0
25 %	A1	12	5652,0	132,0	456,0	208070	8,1	5040	5273	5590	6128	6340	1300	855,0
	A3	12	5113,0	115,0	400,0	159842	7,8	4700	4840	4970	5308	5900	1200	468,0
	B1	12	5072,5	91,7	317,7	100930	6,3	4400	4858	5065	5275	5670	1270	417,5
	C1	12	4974,0	106,0	367,0	134845	7,4	4280	4685	5065	5255	5500	1220	570,0
30 %	A1	12	5568,0	186,0	645,0	415402	11,6	4890	5048	5360	5898	6820	1930	850,0
	A3	12	5466,7	68,7	238,1	56697	4,4	5050	5260	5505	5678	5840	790	417,5
	B1	12	5389,2	71,8	248,8	61899	4,6	4800	5240	5465	5570	5620	820	330,0
	C1	12	5477,0	114,0	394,0	155606	7,2	4770	5218	5450	5700	6300	1530	483,0
35 %	A1	12	5914,0	127,0	440,0	193590	7,4	5200	5555	5955	6215	6830	1630	660,0
	A3	12	6371,0	114,0	396,0	157154	6,2	5710	6040	6345	6678	7090	1380	638,0
	B1	12	6202,5	80,9	280,3	78566	4,5	5810	5985	6140	6480	6560	750	495,0
	C1	12	5714,0	163,0	566,0	319827	9,9	4940	5133	5620	6265	6500	1560	1133,0
50 %	A1	12	7419,0	135,0	468,0	218790	6,3	6830	6968	7490	7645	8250	1420	678,0
	A3	12	6892,0	134,0	463,0	214779	6,7	6280	6568	6740	7345	7800	1520	778,0
	B1	12	7529,2	38,2	132,5	17554	1,8	7360	7423	7505	7593	7800	440	170,0
	C1	12	8886,0	404,0	1399,0	1958154	15,8	6760	8000	8540	10253	11500	4740	2253,0

Příloha A3: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (21°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	2957,5	17,1	59,3	3511	2,0	2850	2920	2970	2998	3050	200	77,5
	A3	12	1824,2	10,7	37,0	1372	2,0	1770	1800	1825	1848	1890	120	47,5
	B1	12	2107,5	57,7	199,9	39948	9,5	1740	1998	2130	2198	2460	720	200,0
	C1	12	2179,2	25,2	87,3	7627	4,0	2050	2125	2170	2240	2360	310	115,0
15 %	A1	12	4092,5	34,4	119,0	14166	2,9	3840	4008	4120	4178	4250	410	170,0
	A3	12	3427,5	44,8	155,0	24039	4,5	3130	3328	3430	3525	3720	590	197,5
	B1	12	3529,2	69,6	241,0	58099	6,8	2990	3358	3615	3730	3770	780	372,5
	C1	12	3660,8	76,6	265,3	70408	7,3	3310	3520	3600	3825	4260	950	305,0
25 %	A1	12	4034,2	42,7	148,0	21899	3,7	3790	3925	4030	4118	4300	510	192,5
	A3	12	4420,0	53,6	185,8	34509	4,2	4090	4265	4470	4530	4770	680	265,0
	B1	12	4737,5	77,6	268,7	72221	5,7	4250	4495	4795	4965	5050	800	470,0
	C1	12	4974,0	106,0	367,0	134845	7,4	4280	4685	5065	5255	5500	1220	570,0
30 %	A1	12	4622,5	50,8	175,8	30911	3,8	4340	4465	4625	4743	4890	550	277,5
	A3	12	4693,0	100,0	346,0	119988	7,4	4050	4535	4700	4870	5350	1300	335,0
	B1	12	4787,5	57,1	197,7	39075	4,1	4490	4675	4765	4895	5210	720	220,0
	C1	12	5477,0	114,0	394,0	155606	7,2	4770	5218	5450	5700	6300	1530	483,0
35 %	A1	12	5484,2	61,3	212,2	45045	3,9	5140	5278	5495	5710	5760	620	432,5
	A3	12	5211,0	105,0	364,0	132554	7,0	4490	4968	5315	5520	5610	1120	553,0
	B1	12	5665,0	125,0	435,0	188991	7,7	4900	5468	5650	5968	6420	1520	500,0
	C1	12	5714,0	163,0	566,0	319827	9,9	4940	5133	5620	6265	6500	1560	1133,0
50 %	A1	12	8853,0	118,0	410,0	167875	4,6	8100	8515	8940	9115	9480	1380	600,0
	A3	12	7688,0	133,0	461,0	212220	6,0	7020	7305	7575	8133	8450	1430	828,0
	B1	12	8696,0	153,0	531,0	282081	6,1	8030	8220	8605	9150	9650	1620	930,0
	C1	12	8886,0	404,0	1399,0	1958154	15,8	6760	8000	8540	10253	11500	4740	2253,0

Příloha A4: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Rm (21°C)



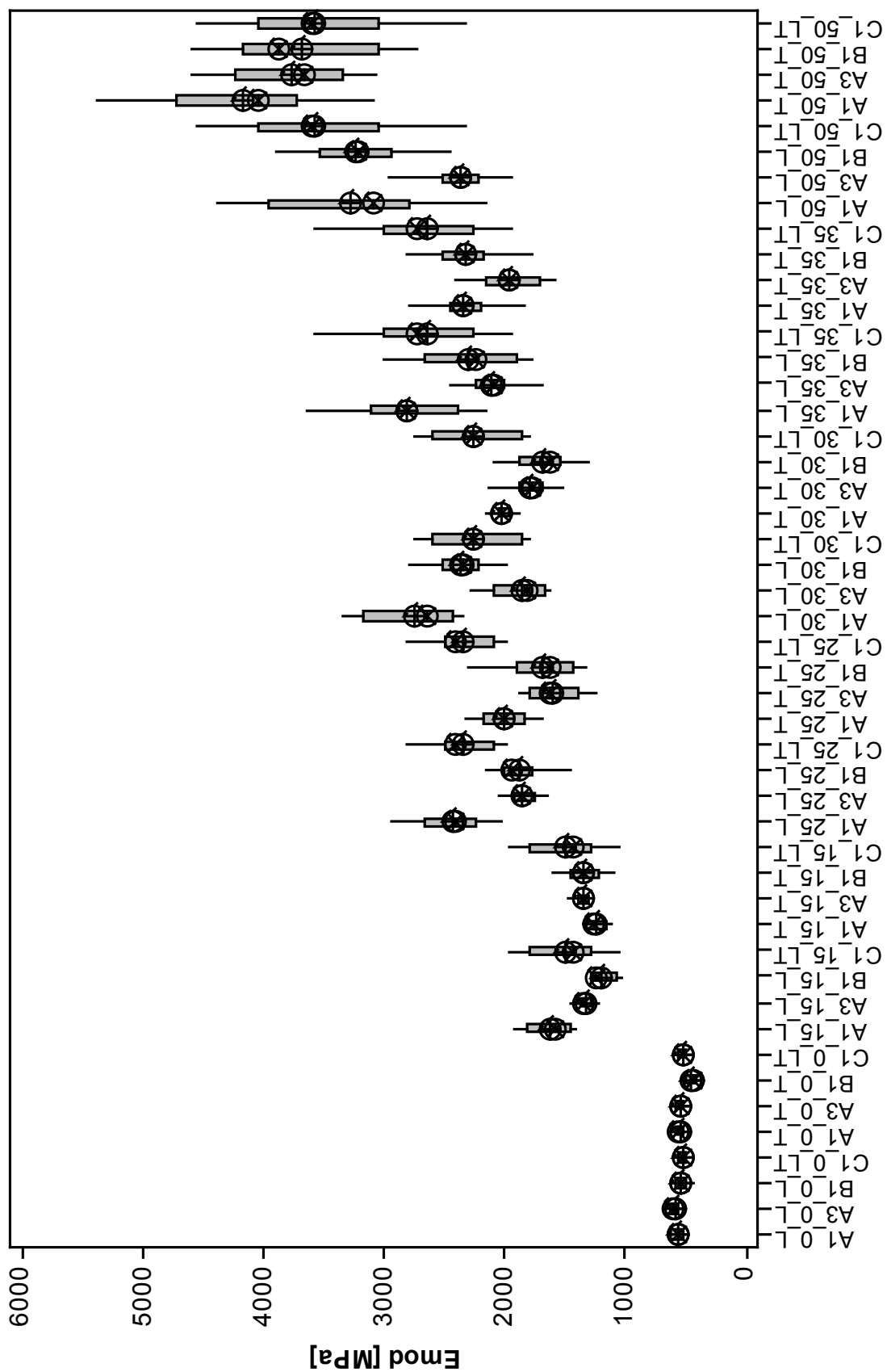
Příloha A5: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (21°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	75,53	0,199	0,688	0,473	0,91	74,32	75,01	75,70	76,07	76,74	2,42	1,06
	A3	12	57,23	0,125	0,434	0,188	0,76	56,46	56,88	57,36	57,36	58,04	1,58	0,48
	B1	12	60,35	0,083	0,286	0,082	0,47	59,86	60,09	60,44	60,52	60,89	1,03	0,43
	C1	12	61,56	0,299	1,036	1,074	1,68	60,37	60,53	61,37	62,28	63,41	3,04	1,75
15 %	A1	12	100,20	1,080	3,730	13,880	3,72	93,35	96,53	101,52	103,25	105,21	11,86	6,72
	A3	12	75,07	0,206	0,712	0,507	0,95	74,26	74,61	74,79	75,58	76,68	2,42	0,97
	B1	12	76,69	0,143	0,495	0,245	0,65	76,01	76,41	76,71	77,06	77,75	1,74	0,65
	C1	12	75,25	0,615	2,129	4,535	2,83	72,44	73,61	74,93	76,73	78,80	6,36	3,12
25 %	A1	12	110,61	2,230	7,720	59,640	6,98	99,58	104,81	109,35	117,08	125,18	25,60	12,28
	A3	12	95,27	0,412	1,429	2,041	1,50	92,14	94,14	95,47	96,40	96,89	4,75	2,26
	B1	12	97,72	0,411	1,425	2,032	1,46	95,36	96,45	97,86	99,22	99,36	4,00	2,78
	C1	12	90,22	0,709	2,457	6,039	2,72	86,82	88,59	89,30	92,84	93,91	7,09	4,25
30 %	A1	12	96,47	2,540	8,790	77,290	9,11	86,99	88,14	95,65	102,48	112,39	25,40	14,34
	A3	12	91,61	1,080	3,740	13,960	4,08	86,28	89,11	91,23	93,97	100,42	14,14	4,86
	B1	12	97,76	0,635	2,201	4,845	2,25	92,50	96,27	98,75	99,20	100,00	7,50	2,93
	C1	12	90,20	0,470	1,627	2,646	1,80	88,11	89,00	89,90	91,15	93,12	5,01	2,15
35 %	A1	12	100,02	1,390	4,830	23,320	4,83	93,35	95,54	100,07	102,10	110,29	16,94	6,56
	A3	12	103,02	0,413	1,430	2,040	1,39	100,42	102,28	103,26	103,96	105,04	4,62	1,68
	B1	12	103,38	0,525	1,820	3,310	1,76	98,94	102,44	103,73	104,88	105,32	6,38	2,43
	C1	12	93,45	0,592	2,051	4,207	2,19	90,68	91,75	93,12	95,31	96,73	6,05	3,56
50 %	A1	12	103,31	1,710	5,920	35,010	5,73	94,06	97,78	104,12	106,26	114,21	20,15	8,48
	A3	12	92,92	2,160	7,490	56,120	8,06	80,88	86,53	94,59	99,19	103,25	22,37	12,66
	B1	12	103,62	0,809	2,800	7,860	2,71	97,19	101,77	104,73	105,77	106,67	9,48	4,00
	C1	12	92,75	0,917	3,178	10,101	3,43	87,65	89,03	93,68	95,10	96,80	9,15	6,08

Příloha A6: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (21°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	73,60	0,211	0,730	0,533	0,99	72,59	73,03	73,64	74,23	75,01	2,42	1,21
	A3	12	57,52	0,187	0,649	0,421	1,13	56,76	57,00	57,38	57,92	58,82	2,06	0,93
	B1	12	60,28	0,111	0,386	0,149	0,64	59,65	60,09	60,22	60,70	60,78	1,13	0,61
	C1	12	61,56	0,299	1,036	1,074	1,68	60,37	60,53	61,37	62,28	63,41	3,04	1,75
15 %	A1	12	82,42	0,607	2,102	4,420	2,55	78,85	81,23	82,04	83,58	86,56	7,71	2,35
	A3	12	73,28	0,138	0,479	0,229	0,65	72,49	72,84	73,20	73,81	73,90	1,41	0,97
	B1	12	76,48	0,825	2,858	8,171	3,74	71,13	73,66	77,61	78,87	79,23	8,10	5,21
	C1	12	75,25	0,615	2,129	4,535	2,83	72,44	73,61	74,93	76,73	78,80	6,36	3,12
25 %	A1	12	71,92	0,610	2,115	4,471	2,94	69,31	70,72	71,07	73,46	75,98	6,67	2,74
	A3	12	81,86	0,364	1,261	1,591	1,54	80,18	81,04	81,51	82,39	84,16	3,98	1,35
	B1	12	88,61	0,895	3,100	9,608	3,50	82,39	87,23	90,18	90,71	91,07	8,68	3,48
	C1	12	90,22	0,709	2,457	6,039	2,72	86,82	88,59	89,30	92,84	93,91	7,09	4,25
30 %	A1	12	67,93	0,857	2,969	8,813	4,37	64,36	65,29	67,72	69,22	73,55	9,19	3,93
	A3	12	82,69	0,617	2,136	4,564	2,58	80,27	81,33	81,86	84,51	86,63	6,36	3,18
	B1	12	85,44	0,763	2,643	6,987	3,09	80,55	83,60	86,49	87,06	88,53	7,98	3,46
	C1	12	90,20	0,470	1,627	2,646	1,80	88,11	89,00	89,90	91,15	93,12	5,01	2,15
35 %	A1	12	73,38	1,490	5,160	26,600	7,03	67,54	68,71	71,61	76,91	84,51	16,97	8,20
	A3	12	86,49	0,747	2,587	6,695	2,99	82,39	84,34	86,99	89,11	89,82	7,43	4,77
	B1	12	90,95	1,460	5,060	25,610	5,56	82,16	86,35	93,05	95,03	96,10	13,94	8,68
	C1	12	93,45	0,592	2,051	4,207	2,19	90,68	91,75	93,12	95,31	96,73	6,05	3,56
50 %	A1	12	89,12	5,990	20,750	430,560	23,28	60,82	73,98	87,17	111,21	113,15	52,33	37,24
	A3	12	100,98	3,000	10,390	107,880	10,29	87,34	88,93	102,55	110,86	114,57	27,23	21,93
	B1	12	105,00	2,480	8,590	73,710	8,18	90,44	99,65	103,35	112,94	117,61	27,17	13,29
	C1	12	92,75	0,917	3,178	10,101	3,43	87,65	89,03	93,68	95,10	96,80	9,15	6,08

Příloha A7: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Emod (80°C)



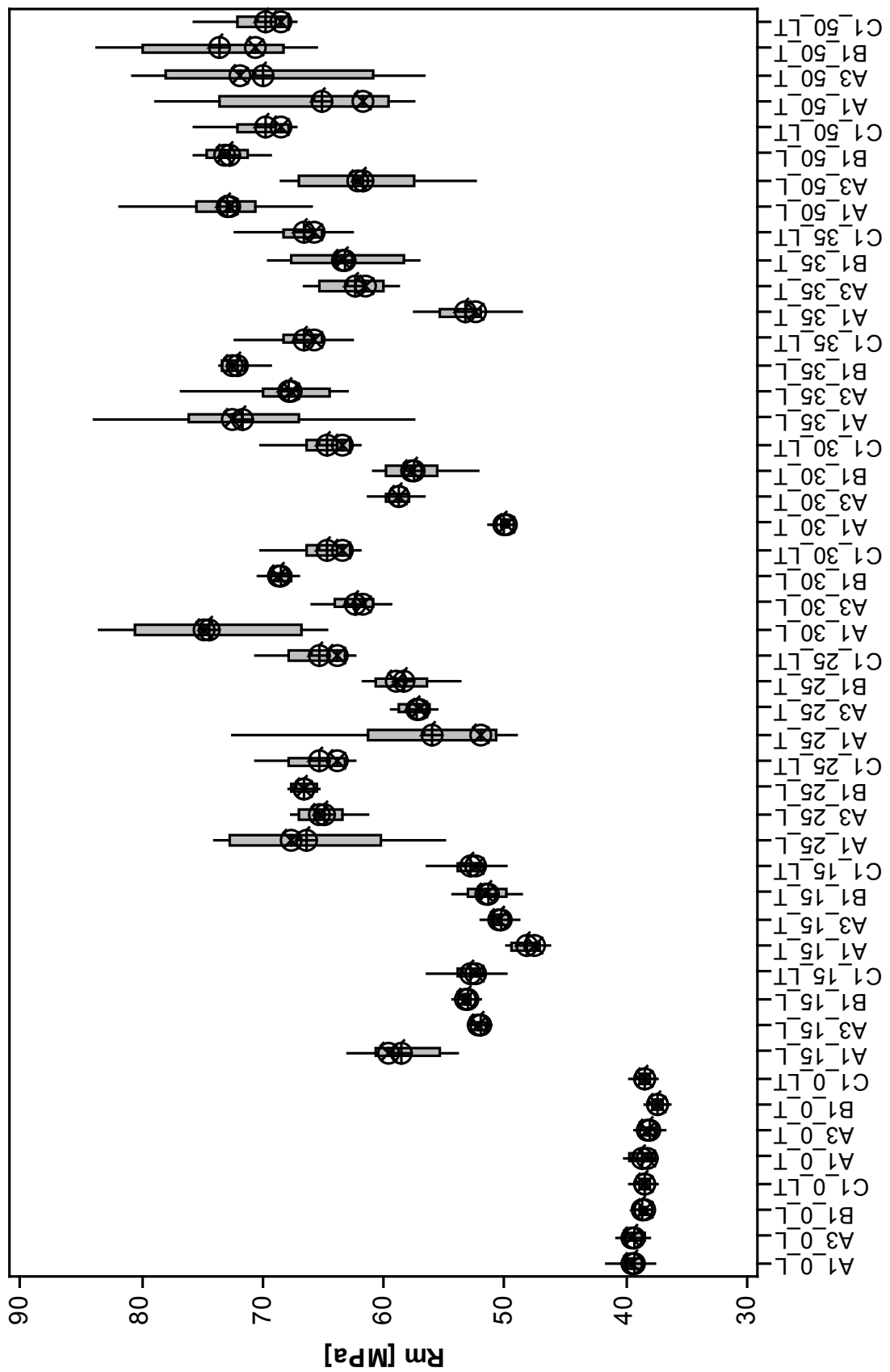
Příloha A8: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	565,8	15,4	53,3	2838	9,41	487,0	525,8	563,5	611,8	651,0	164,0	86,0
	A3	12	587,7	11,6	40,2	1613	6,83	514,0	551,8	602,0	619,0	632,0	118,0	67,3
	B1	12	530,6	16,3	56,5	3188	10,64	435,0	497,5	535,5	582,8	609,0	174,0	85,3
	C1	12	522,5	13,1	45,5	2067	8,70	453,0	486,0	523,5	567,3	594,0	141,0	81,3
15 %	A1	12	1616,7	52,6	182,4	33261	11,28	1400,0	1445,0	1585,0	1817,5	1910,0	510,0	372,5
	A3	12	1330,8	19,8	68,4	4681	5,14	1220,0	1270,0	1335,0	1367,5	1450,0	230,0	97,5
	B1	12	1185,0	30,4	105,4	11100	8,89	1020,0	1065,0	1230,0	1275,0	1290,0	270,0	210,0
	C1	12	1489,2	82,2	284,8	81099	19,12	1050,0	1287,5	1435,0	1780,0	1950,0	900,0	492,5
25 %	A1	12	2430,8	78,7	272,7	74372	11,22	2030,0	2232,5	2405,0	2652,5	2930,0	900,0	420,0
	A3	12	1845,8	32,8	113,6	12899	6,15	1650,0	1757,5	1860,0	1910,0	2040,0	390,0	152,5
	B1	12	1882,5	57,0	197,6	39039	10,50	1440,0	1765,0	1930,0	1997,5	2140,0	700,0	232,5
	C1	12	2340,0	71,2	246,8	60909	10,55	1990,0	2082,5	2400,0	2495,0	2800,0	810,0	412,5
30 %	A1	12	2755,0	111,0	383,0	146918	13,91	2340,0	2425,0	2645,0	3180,0	3330,0	990,0	755,0
	A3	12	1863,3	64,9	224,7	50497	12,06	1620,0	1652,5	1815,0	2077,5	2270,0	650,0	425,0
	B1	12	2355,0	68,4	236,9	56118	10,06	1980,0	2222,5	2340,0	2510,0	2790,0	810,0	287,5
	C1	12	2255,8	98,8	342,4	117227	15,18	1800,0	1857,5	2255,0	2587,5	2740,0	940,0	730,0
35 %	A1	12	2818,0	128,0	445,0	198020	15,79	2160,0	2383,0	2815,0	3110,0	3640,0	1480,0	728,0
	A3	12	2105,8	60,0	207,7	43154	9,86	1690,0	1992,5	2095,0	2245,0	2440,0	750,0	252,5
	B1	12	2295,0	121,0	418,0	175064	18,23	1760,0	1900,0	2225,0	2668,0	3010,0	1250,0	768,0
	C1	12	2637,0	139,0	481,0	231806	18,26	1930,0	2250,0	2715,0	2993,0	3570,0	1640,0	743,0
50 %	A1	12	3268,0	197,0	683,0	466870	20,91	2160,0	2790,0	3075,0	3955,0	4390,0	2230,0	1165,0
	A3	12	2364,2	76,8	265,9	70717	11,25	1930,0	2220,0	2360,0	2517,5	2950,0	1020,0	297,5
	B1	12	3237,0	125,0	433,0	187206	13,37	2440,0	2940,0	3220,0	3528,0	3900,0	1460,0	588,0
	C1	12	3564,0	185,0	641,0	411081	17,99	2310,0	3043,0	3595,0	4035,0	4550,0	2240,0	993,0

Příloha A9: Statistické parametry - Tahová zkouška, Emod (80°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	545,4	13,5	46,8	2188	8,58	468,0	517,0	552,0	572,8	619,0	151,0	55,8
	A3	12	535,3	13,9	48,1	2316	8,99	459,0	505,0	528,0	580,3	621,0	162,0	75,3
	B1	12	445,3	15,3	52,9	2795	11,87	351,0	410,5	438,5	503,0	522,0	171,0	92,5
	C1	12	522,5	13,1	45,5	2067	8,70	453,0	486,0	523,5	567,3	594,0	141,0	81,3
15 %	A1	12	1238,3	24,7	85,6	7324	6,91	1100,0	1150,0	1265,0	1317,5	1340,0	240,0	167,5
	A3	12	1348,3	16,0	55,4	3070	4,11	1280,0	1292,5	1350,0	1380,0	1470,0	190,0	87,5
	B1	12	1333,3	42,8	148,1	21933	11,11	1080,0	1217,5	1345,0	1440,0	1590,0	510,0	222,5
	C1	12	1489,2	82,2	284,8	81099	19,12	1050,0	1287,5	1435,0	1780,0	1950,0	900,0	492,5
25 %	A1	12	2005,0	55,3	191,4	36646	9,55	1680,0	1840,0	2010,0	2180,0	2320,0	640,0	340,0
	A3	12	1590,8	62,2	215,6	46499	13,55	1240,0	1385,0	1620,0	1787,5	1870,0	630,0	402,5
	B1	12	1680,0	80,8	280,0	78382	16,66	1330,0	1430,0	1625,0	1897,5	2290,0	960,0	467,5
	C1	12	2340,0	71,2	246,8	60909	10,55	1990,0	2082,5	2400,0	2495,0	2800,0	810,0	412,5
30 %	A1	12	2018,3	22,8	79,0	6233	3,91	1870,0	1955,0	2030,0	2050,0	2150,0	280,0	95,0
	A3	12	1783,3	45,9	159,1	25315	8,92	1510,0	1675,0	1770,0	1882,5	2130,0	620,0	207,5
	B1	12	1682,5	65,8	228,0	51984	13,55	1310,0	1525,0	1630,0	1880,0	2080,0	770,0	355,0
	C1	12	2255,8	98,8	342,4	117227	15,18	1800,0	1857,5	2255,0	2587,5	2740,0	940,0	730,0
35 %	A1	12	2331,7	68,6	237,5	56415	10,19	1830,0	2185,0	2345,0	2440,0	2790,0	960,0	255,0
	A3	12	1959,2	75,7	262,1	68699	13,38	1580,0	1712,5	1950,0	2150,0	2400,0	820,0	437,5
	B1	12	2314,2	87,5	303,3	91972	13,10	1770,0	2167,5	2330,0	2515,0	2810,0	1040,0	347,5
	C1	12	2637,0	139,0	481,0	231806	18,26	1930,0	2250,0	2715,0	2993,0	3570,0	1640,0	743,0
50 %	A1	12	4172,0	194,0	671,0	450270	16,09	3090,0	3720,0	4050,0	4718,0	5370,0	2280,0	998,0
	A3	12	3773,0	143,0	497,0	246824	13,17	3060,0	3338,0	3660,0	4235,0	4590,0	1530,0	898,0
	B1	12	3670,0	179,0	619,0	383345	16,87	2720,0	3033,0	3865,0	4165,0	4600,0	1880,0	1133,0
	C1	12	3564,0	185,0	641,0	411081	17,99	2310,0	3043,0	3595,0	4035,0	4550,0	2240,0	993,0

Příloha A10: Box-plotový graf - Tahová zkouška, Rm (80°C)



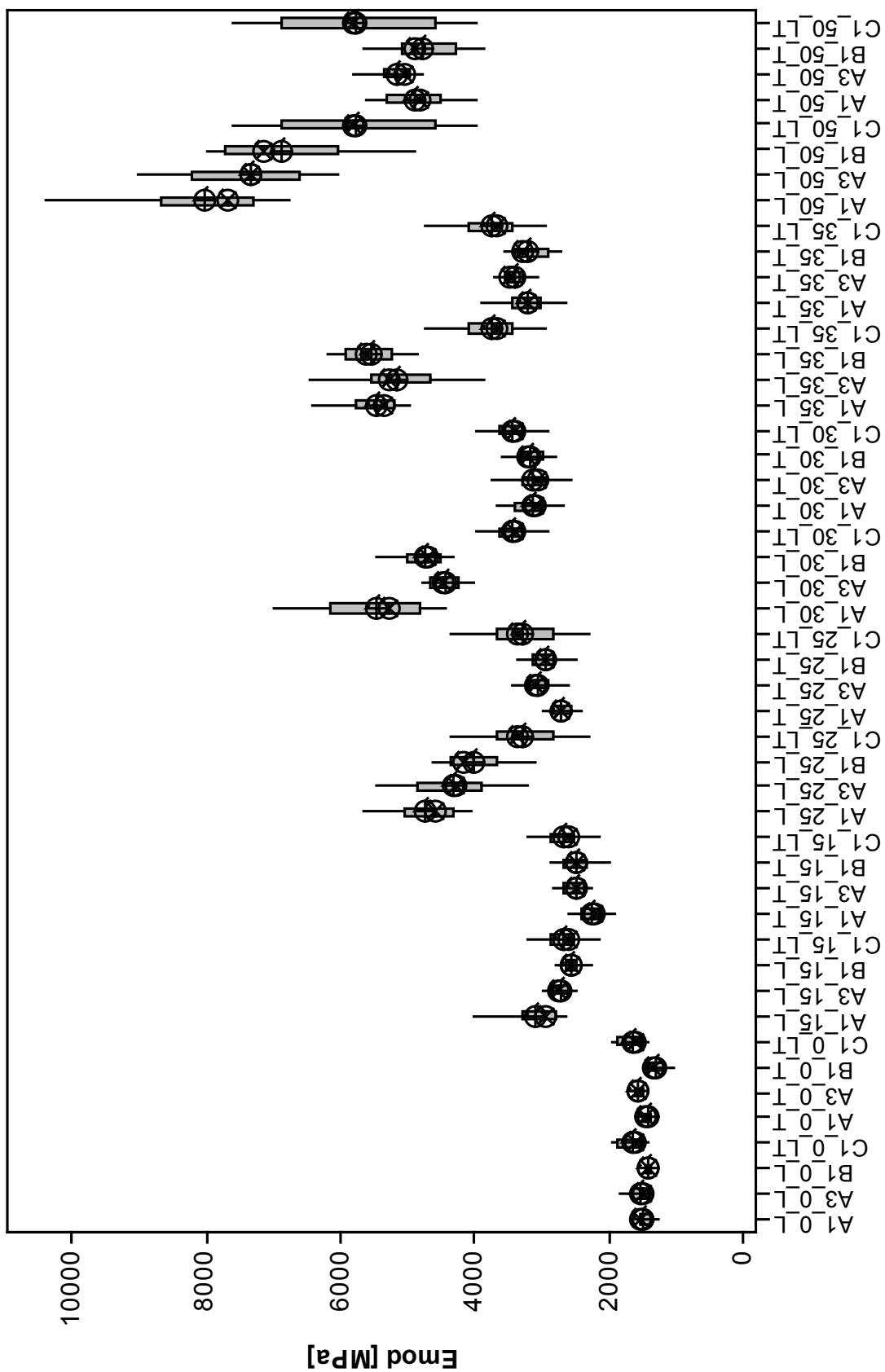
Příloha A11: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (80°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	39,279	0,298	1,031	1,062	2,620	37,580	38,523	39,505	39,848	41,480	3,900	1,325
	A3	12	39,300	0,261	0,905	0,818	2,300	37,940	38,270	39,510	40,020	40,770	2,830	1,750
	B1	12	38,561	0,134	0,464	0,215	1,200	37,940	38,153	38,475	38,780	39,420	1,480	0,627
	C1	12	38,464	0,175	0,606	0,367	1,580	37,400	38,003	38,450	38,810	39,600	2,200	0,808
15 %	A1	12	58,539	0,845	2,926	8,560	5,000	53,760	55,295	59,640	60,673	63,010	9,250	5,377
	A3	12	51,973	0,129	0,447	0,200	0,860	51,180	51,568	52,115	52,315	52,530	1,350	0,748
	B1	12	53,056	0,203	0,705	0,496	1,330	51,860	52,695	53,110	53,323	54,260	2,400	0,628
	C1	12	52,815	0,556	1,925	3,704	3,640	49,870	51,635	52,310	53,875	56,480	6,610	2,240
25 %	A1	12	66,360	1,860	6,450	41,590	9,720	55,000	60,180	67,640	72,660	73,950	18,950	12,480
	A3	12	64,961	0,640	2,218	4,920	3,410	61,350	63,413	65,340	67,053	67,700	6,350	3,640
	B1	12	66,568	0,271	0,938	0,879	1,410	65,250	65,590	66,555	67,543	67,830	2,580	1,953
	C1	12	65,224	0,805	2,789	7,777	4,280	62,390	63,240	63,895	67,875	70,610	8,220	4,635
30 %	A1	12	74,400	1,950	6,750	45,540	9,070	64,730	66,830	74,880	80,550	83,560	18,830	13,720
	A3	12	62,241	0,625	2,165	4,689	3,480	59,340	60,850	61,730	63,938	66,010	6,670	3,087
	B1	12	68,503	0,293	1,017	1,033	1,480	66,920	67,720	68,615	69,250	70,340	3,420	1,530
	C1	12	64,619	0,825	2,856	8,158	4,420	61,890	62,763	63,340	66,460	70,190	8,300	3,698
35 %	A1	12	71,600	2,000	6,940	48,150	9,690	57,470	67,010	72,590	76,190	83,990	26,520	9,180
	A3	12	67,910	1,200	4,160	17,290	6,120	62,950	64,350	67,600	70,040	76,740	13,790	5,700
	B1	12	72,176	0,416	1,439	2,072	1,990	69,310	71,390	72,610	73,318	73,580	4,270	1,927
	C1	12	66,508	0,757	2,622	6,876	3,940	62,460	65,035	65,640	68,350	72,380	9,920	3,315
50 %	A1	12	72,890	1,260	4,360	19,000	5,980	66,010	70,650	72,700	75,370	81,850	15,840	4,720
	A3	12	61,700	1,520	5,270	27,820	8,550	52,410	57,500	62,020	67,040	68,480	16,070	9,540
	B1	12	72,824	0,616	2,135	4,559	2,930	69,380	71,320	73,070	74,628	75,780	6,400	3,308
	C1	12	69,678	0,780	2,703	7,307	3,880	67,140	67,788	68,385	72,150	75,790	8,650	4,362

Příloha A12: Statistické parametry - Tahová zkouška, Rm (80°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	38,501	0,286	0,992	0,984	2,580	37,350	37,590	38,195	39,548	40,010	2,660	1,957
	A3	12	38,005	0,216	0,747	0,558	1,970	36,600	37,468	38,070	38,303	39,220	2,620	0,835
	B1	12	37,281	0,167	0,580	0,336	1,560	36,220	36,885	37,240	37,783	38,330	2,110	0,898
	C1	12	38,464	0,175	0,606	0,367	1,580	37,400	38,003	38,450	38,810	39,600	2,200	0,808
15 %	A1	12	48,028	0,359	1,243	1,546	2,590	46,150	47,050	47,545	49,295	49,860	3,710	2,245
	A3	12	50,316	0,268	0,928	0,861	1,840	48,660	49,670	50,450	50,878	51,860	3,200	1,208
	B1	12	51,400	0,520	1,800	3,241	3,500	48,510	49,808	51,425	52,945	54,230	5,720	3,138
	C1	12	52,815	0,556	1,925	3,704	3,640	49,870	51,635	52,310	53,875	56,480	6,610	2,240
25 %	A1	12	55,980	2,200	7,630	58,230	13,630	48,980	50,740	51,900	61,200	72,440	23,460	10,460
	A3	12	57,334	0,370	1,283	1,645	2,240	55,590	56,080	57,090	58,695	59,330	3,740	2,615
	B1	12	58,399	0,737	2,552	6,514	4,370	53,730	56,295	58,960	60,710	61,790	8,060	4,415
	C1	12	65,224	0,805	2,789	7,777	4,280	62,390	63,240	63,895	67,875	70,610	8,220	4,635
30 %	A1	12	50,014	0,196	0,679	0,461	1,360	49,190	49,533	49,875	50,313	51,250	2,060	0,780
	A3	12	58,786	0,410	1,419	2,014	2,410	56,700	57,890	58,635	59,733	61,250	4,550	1,843
	B1	12	57,470	0,792	2,742	7,521	4,770	52,240	55,535	57,600	59,745	60,910	8,670	4,210
	C1	12	64,619	0,825	2,856	8,158	4,420	61,890	62,763	63,340	66,460	70,190	8,300	3,698
35 %	A1	12	53,223	0,752	2,606	6,789	4,900	48,550	51,850	52,410	55,300	57,550	9,000	3,450
	A3	12	62,227	0,798	2,765	7,643	4,440	58,640	59,908	61,565	65,323	66,510	7,870	5,415
	B1	12	63,210	1,350	4,690	21,960	7,410	57,110	58,280	63,480	67,710	69,620	12,510	9,430
	C1	12	66,508	0,757	2,622	6,876	3,940	62,460	65,035	65,640	68,350	72,380	9,920	3,315
50 %	A1	12	65,120	2,200	7,640	58,300	11,730	57,540	59,550	61,640	73,650	78,940	21,400	14,110
	A3	12	69,870	2,610	9,020	81,440	12,910	56,630	60,840	71,880	78,030	80,720	24,090	17,190
	B1	12	73,470	1,830	6,340	40,170	8,630	65,570	68,350	70,630	80,030	83,690	18,120	11,680
	C1	12	69,678	0,780	2,703	7,307	3,880	67,140	67,788	68,385	72,150	75,790	8,650	4,362

Příloha B1: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (21°C)



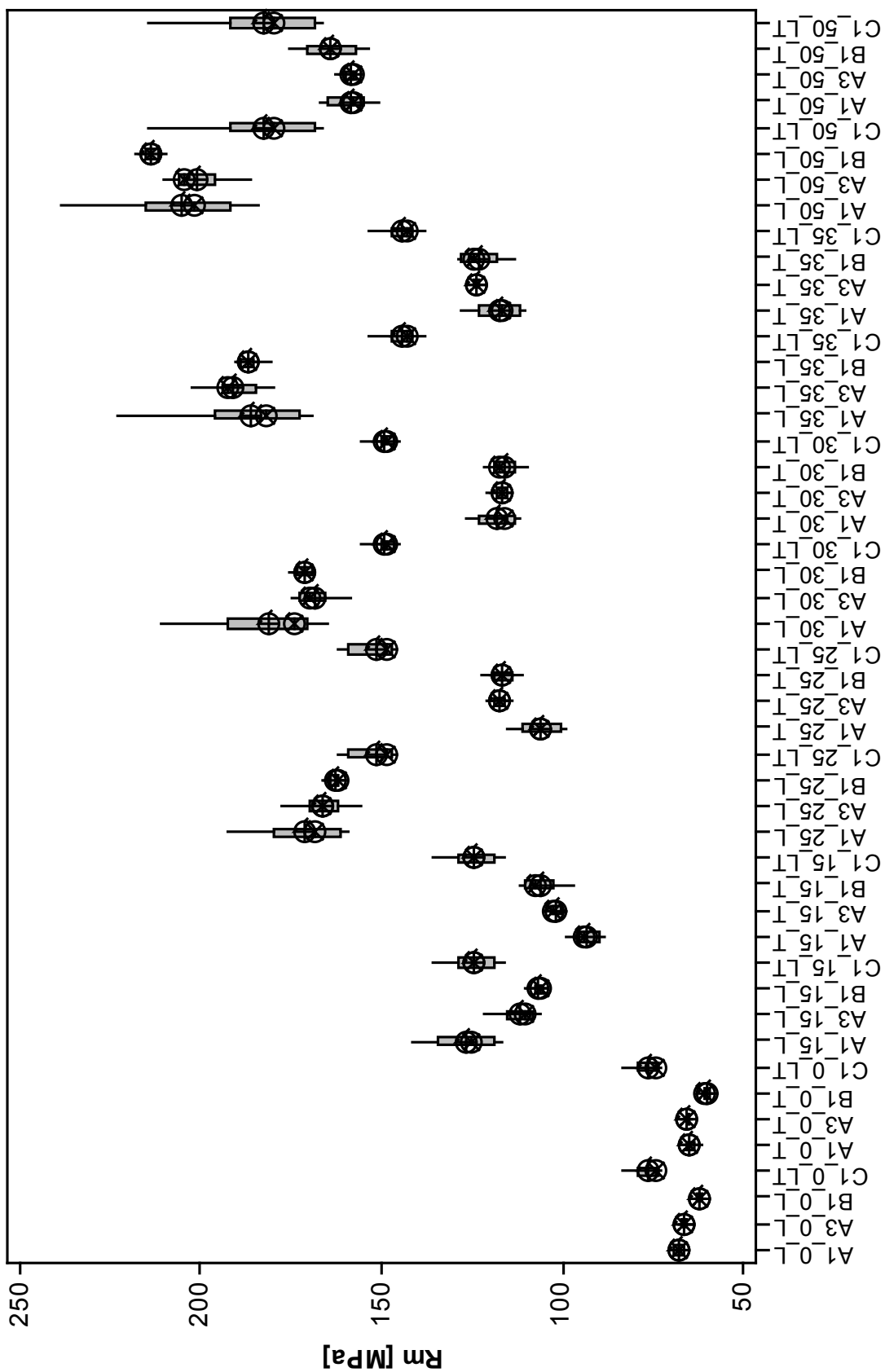
Příloha B2: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	1475,0	27,7	96,0	9209	6,51	1260	1390,0	1515	1530,0	1580	320	140,0
	A3	12	1530,0	38,7	134,2	18018	8,77	1390	1415,0	1500	1637,5	1820	430	222,5
	B1	12	1414,2	11,6	40,1	1608	2,84	1330	1390,0	1415	1450,0	1470	140	60,0
	C1	12	1663,3	52,7	182,7	33370	10,98	1420	1530,0	1620	1875,0	1950	530	345,0
15 %	A1	12	3092,0	121,0	418,0	174942	13,53	2650	2810,0	2940	3298,0	4020	1370	488,0
	A3	12	2730,0	50,3	174,2	30346	6,38	2500	2582,5	2745	2862,5	3000	500	280,0
	B1	12	2559,2	42,9	148,5	22045	5,80	2270	2472,5	2560	2645,0	2790	520	172,5
	C1	12	2694,2	82,4	285,6	81554	10,60	2150	2540,0	2610	2862,5	3230	1080	322,5
25 %	A1	12	4721,0	144,0	499,0	249390	10,58	4060	4320,0	4585	5030,0	5660	1600	710,0
	A3	12	4320,0	179,0	620,0	384382	14,35	3210	3895,0	4270	4868,0	5470	2260	973,0
	B1	12	4024,0	143,0	496,0	246481	12,34	3080	3678,0	4180	4358,0	4640	1560	680,0
	C1	12	3290,0	162,0	561,0	314345	17,04	2280	2833,0	3350	3663,0	4370	2090	830,0
30 %	A1	12	5458,0	232,0	804,0	646106	14,73	4420	4818,0	5275	6148,0	7000	2580	1330,0
	A3	12	4418,3	75,9	263,1	69215	5,95	4000	4225,0	4470	4670,0	4780	780	445,0
	B1	12	4752,5	97,8	338,9	114839	7,13	4310	4495,0	4700	5015,0	5470	1160	520,0
	C1	12	3426,7	90,7	314,0	98624	9,16	2900	3277,5	3415	3640,0	3960	1060	362,5
35 %	A1	12	5479,0	125,0	432,0	186627	7,88	4980	5190,0	5350	5760,0	6400	1420	570,0
	A3	12	5148,0	206,0	715,0	510924	13,88	3870	4645,0	5260	5558,0	6460	2590	913,0
	B1	12	5559,0	119,0	414,0	171008	7,44	4840	5243,0	5605	5908,0	6190	1350	665,0
	C1	12	3729,0	144,0	500,0	249627	13,40	2930	3458,0	3660	4083,0	4720	1790	625,0
50 %	A1	12	8033,0	298,0	1031,0	1063115	12,83	6760	7303,0	7690	8685,0	10400	3640	1383,0
	A3	12	7337,0	263,0	912,0	831752	12,43	6050	6623,0	7320	8205,0	9010	2960	1583,0
	B1	12	6892,0	293,0	1015,0	1030724	14,73	4900	6028,0	7155	7715,0	7980	3080	1688,0
	C1	12	5758,0	367,0	1272,0	1618148	22,09	3960	4573,0	5825	6875,0	7590	3630	2303,0

Příloha B3: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (21°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	1424,2	19,1	66,1	4372	4,64	1260	1377,5	1445	1475,0	1480	220	97,5
	A3	12	1562,5	19,4	67,3	4530	4,31	1480	1500,0	1570	1605,0	1680	200	105,0
	B1	12	1295,0	34,8	120,7	14573	9,32	1030	1187,5	1325	1402,5	1430	400	215,0
	C1	12	1663,3	52,7	182,7	33370	10,98	1420	1530,0	1620	1875,0	1950	530	345,0
15 %	A1	12	2253,3	55,7	192,9	37206	8,56	1900	2145,0	2225	2410,0	2590	690	265,0
	A3	12	2501,7	54,4	188,3	35452	7,53	2250	2352,5	2480	2680,0	2830	580	327,5
	B1	12	2489,2	71,1	246,4	60736	9,90	1980	2345,0	2500	2690,0	2860	880	345,0
	C1	12	2694,2	82,4	285,6	81554	10,60	2150	2540,0	2610	2862,5	3230	1080	322,5
25 %	A1	12	2703,3	47,9	165,8	27497	6,13	2420	2565,0	2725	2825,0	2980	560	260,0
	A3	12	3056,7	68,2	236,3	55824	7,73	2590	2897,5	3080	3197,5	3430	840	300,0
	B1	12	2930,8	69,1	239,4	57299	8,17	2500	2812,5	2930	3120,0	3370	870	307,5
	C1	12	3290,0	162,0	561,0	314345	17,04	2280	2833,0	3350	3663,0	4370	2090	830,0
30 %	A1	12	3140,0	88,5	306,4	93909	9,76	2680	3007,5	3095	3387,5	3670	990	380,0
	A3	12	3124,2	89,1	308,7	95317	9,88	2550	2955,0	3045	3302,5	3760	1210	347,5
	B1	12	3179,2	73,3	254,0	64499	7,99	2790	2972,5	3230	3270,0	3600	810	297,5
	C1	12	3426,7	90,7	314,0	98624	9,16	2900	3277,5	3415	3640,0	3960	1060	362,5
35 %	A1	12	3230,0	91,3	316,3	100036	9,79	2630	3030,0	3195	3432,5	3880	1250	402,5
	A3	12	3411,7	54,8	189,7	35979	5,56	3060	3290,0	3475	3527,5	3710	650	237,5
	B1	12	3192,5	83,6	289,8	83966	9,08	2710	2915,0	3290	3410,0	3560	850	495,0
	C1	12	3729,0	144,0	500,0	249627	13,40	2930	3458,0	3660	4083,0	4720	1790	625,0
50 %	A1	12	4882,0	138,0	478,0	228070	9,78	3960	4510,0	4830	5323,0	5600	1640	813,0
	A3	12	5177,5	95,2	329,8	108766	6,37	4780	4985,0	5025	5355,0	5810	1030	370,0
	B1	12	4765,0	146,0	504,0	254427	10,59	3850	4275,0	4885	5070,0	5650	1800	795,0
	C1	12	5758,0	367,0	1272,0	1618148	22,09	3960	4573,0	5825	6875,0	7590	3630	2303,0

Příloha B4: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Rm (21°C)



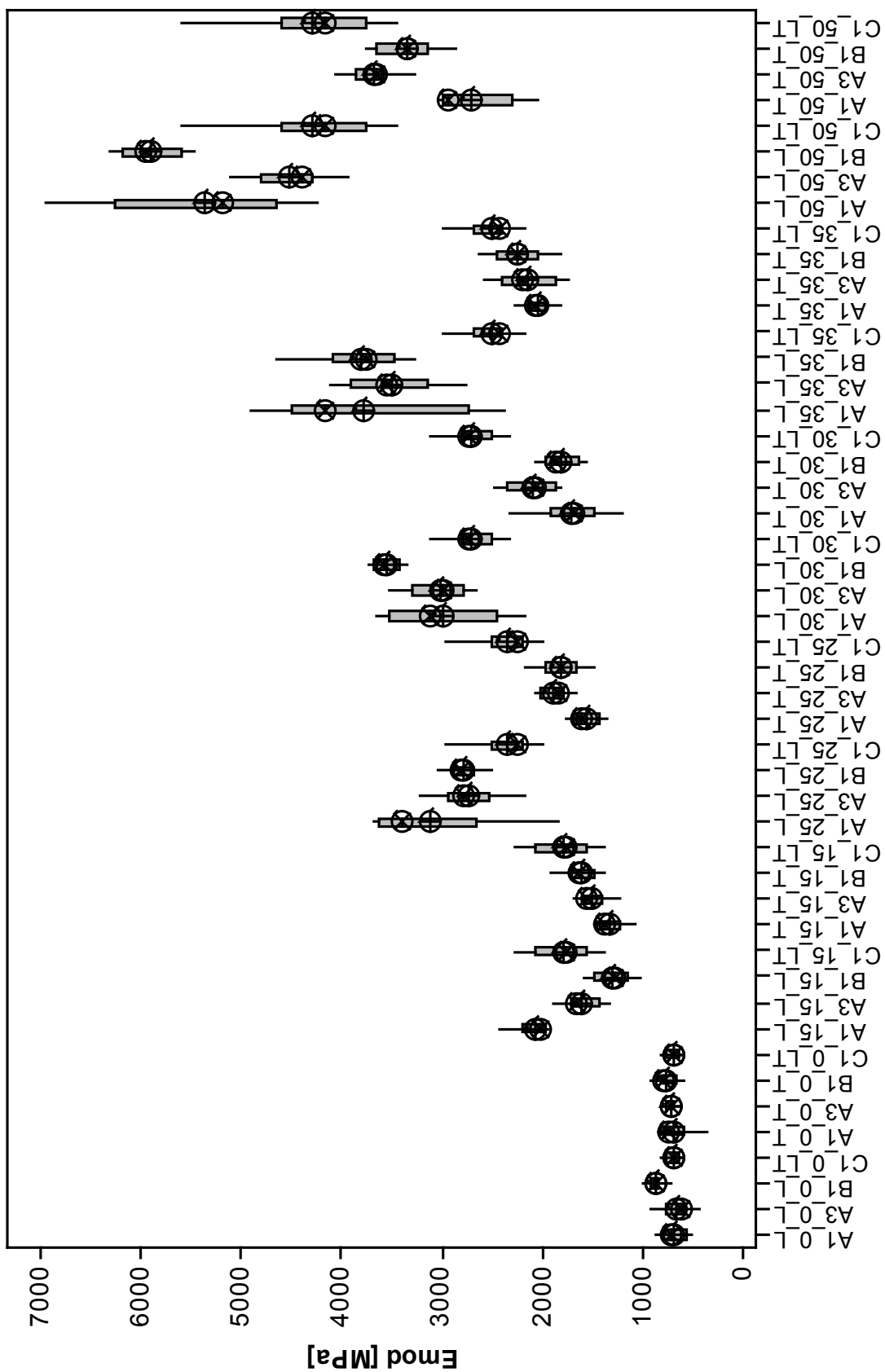
Příloha B5: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (21°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	67,72	0,416	1,441	2,078	2,13	65,65	66,55	67,54	69,07	70,31	4,66	2,52
	A3	12	66,19	0,301	1,041	1,084	1,57	64,30	65,22	66,55	66,97	67,77	3,47	1,75
	B1	12	61,96	0,227	0,787	0,620	1,27	60,45	61,66	61,87	62,64	63,19	2,74	0,99
	C1	12	75,96	1,070	3,690	13,620	4,86	72,78	73,37	73,99	78,69	83,32	10,54	5,32
15 %	A1	12	126,63	2,460	8,530	72,840	6,74	116,39	118,44	124,86	134,12	141,36	24,97	15,68
	A3	12	111,90	1,570	5,440	29,630	4,86	105,78	107,80	110,26	115,19	121,91	16,13	7,40
	B1	12	106,48	0,573	1,980	3,940	1,86	104,14	105,03	106,29	107,70	110,17	6,03	2,67
	C1	12	124,61	1,810	6,270	39,290	5,03	115,85	118,70	124,37	128,57	136,04	20,19	9,87
25 %	A1	12	171,18	3,320	11,490	131,990	6,71	159,12	161,17	168,22	179,85	192,77	33,65	18,68
	A3	12	166,53	1,940	6,720	45,220	4,04	155,69	161,87	166,59	170,11	177,67	21,98	8,24
	B1	12	162,95	0,514	1,780	3,170	1,09	160,94	161,85	162,20	164,35	166,40	5,46	2,50
	C1	12	151,74	1,900	6,570	43,190	4,33	145,69	147,15	148,33	159,29	162,37	16,68	12,14
30 %	A1	12	181,52	4,610	15,970	255,110	8,80	165,11	170,41	173,87	192,55	210,99	45,88	22,13
	A3	12	168,44	1,560	5,420	29,330	3,22	158,21	165,72	169,58	172,53	174,58	16,37	6,81
	B1	12	171,60	0,639	2,210	4,900	1,29	168,37	169,47	171,01	173,57	175,49	7,12	4,10
	C1	12	149,15	0,951	3,290	10,850	2,21	145,37	146,35	148,32	150,08	155,34	9,97	3,73
35 %	A1	12	186,48	4,510	15,610	243,690	8,37	169,13	172,76	181,87	195,95	222,77	53,64	23,19
	A3	12	191,09	2,060	7,150	51,160	3,74	180,04	185,04	192,73	193,66	202,77	22,73	8,62
	B1	12	187,09	0,794	2,750	7,570	1,47	180,70	185,40	186,92	189,37	190,59	9,89	3,97
	C1	12	144,10	1,280	4,450	19,810	3,09	137,79	141,30	142,62	147,15	153,59	15,80	5,85
50 %	A1	12	205,26	4,980	17,260	298,040	8,41	184,31	191,77	201,86	215,31	238,72	54,41	23,54
	A3	12	201,39	2,180	7,550	57,050	3,75	186,40	196,07	204,59	206,18	210,04	23,64	10,11
	B1	12	213,77	0,686	2,380	5,650	1,11	209,76	211,73	214,15	215,02	218,06	8,30	3,29
	C1	12	182,33	4,350	15,050	226,560	8,26	166,65	168,66	179,91	191,77	214,65	48,00	23,10

Příloha B6: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (21°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	64,83	0,525	1,820	3,312	2,81	61,35	63,74	64,76	65,79	68,02	6,67	2,05
	A3	12	65,37	0,222	0,768	0,590	1,17	63,96	64,94	65,52	65,70	66,76	2,80	0,76
	B1	12	60,09	0,233	0,808	0,653	1,34	58,63	59,46	60,42	60,63	61,00	2,37	1,17
	C1	12	75,96	1,070	3,690	13,620	4,86	72,78	73,37	73,99	78,69	83,32	10,54	5,32
15 %	A1	12	93,20	1,100	3,800	14,410	4,07	88,02	89,43	93,64	95,47	99,11	11,09	6,04
	A3	12	101,58	0,506	1,750	3,070	1,73	98,61	100,40	102,14	103,06	103,99	5,38	2,66
	B1	12	106,29	1,360	4,720	22,320	4,44	97,02	102,58	107,70	110,31	111,48	14,46	7,72
	C1	12	124,61	1,810	6,270	39,290	5,03	115,85	118,70	124,37	128,57	136,04	20,19	9,87
25 %	A1	12	106,27	1,660	5,750	33,080	5,41	99,11	100,48	105,94	111,12	115,48	16,37	10,65
	A3	12	117,41	0,588	2,040	4,150	1,74	113,56	115,62	117,22	119,05	120,61	7,05	3,43
	B1	12	116,48	1,040	3,620	13,070	3,10	110,93	113,66	116,97	118,89	122,14	11,21	5,22
	C1	12	151,74	1,900	6,570	43,190	4,33	145,69	147,15	148,33	159,29	162,37	16,68	12,14
30 %	A1	12	118,16	1,630	5,660	32,050	4,79	111,61	112,99	115,87	123,37	126,70	15,09	10,38
	A3	12	117,00	0,626	2,170	4,700	1,85	113,66	115,48	116,39	117,98	120,93	7,27	2,50
	B1	12	116,28	1,070	3,690	13,640	3,18	109,84	112,83	117,30	118,89	121,84	12,00	6,06
	C1	12	149,15	0,951	3,290	10,850	2,21	145,37	146,35	148,32	150,08	155,34	9,97	3,73
35 %	A1	12	117,40	1,740	6,030	36,330	5,13	110,02	111,61	116,39	123,13	128,21	18,19	11,52
	A3	12	123,64	0,410	1,420	2,010	1,15	121,84	122,75	123,66	124,42	126,39	4,55	1,67
	B1	12	122,84	1,570	5,420	29,430	4,42	112,82	117,92	124,17	127,73	129,06	16,24	9,81
	C1	12	144,10	1,280	4,450	19,810	3,09	137,79	141,30	142,62	147,15	153,59	15,80	5,85
50 %	A1	12	158,67	1,540	5,330	28,370	3,36	150,69	155,18	157,54	164,78	166,75	16,06	9,60
	A3	12	158,47	0,572	1,980	3,920	1,25	155,49	157,30	157,76	159,80	162,76	7,27	2,50
	B1	12	164,16	2,180	7,560	57,180	4,61	153,59	157,06	164,12	170,92	175,53	21,94	13,86
	C1	12	182,33	4,350	15,050	226,560	8,26	166,65	168,66	179,91	191,77	214,65	48,00	23,10

Příloha B7: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Emod (80°C)



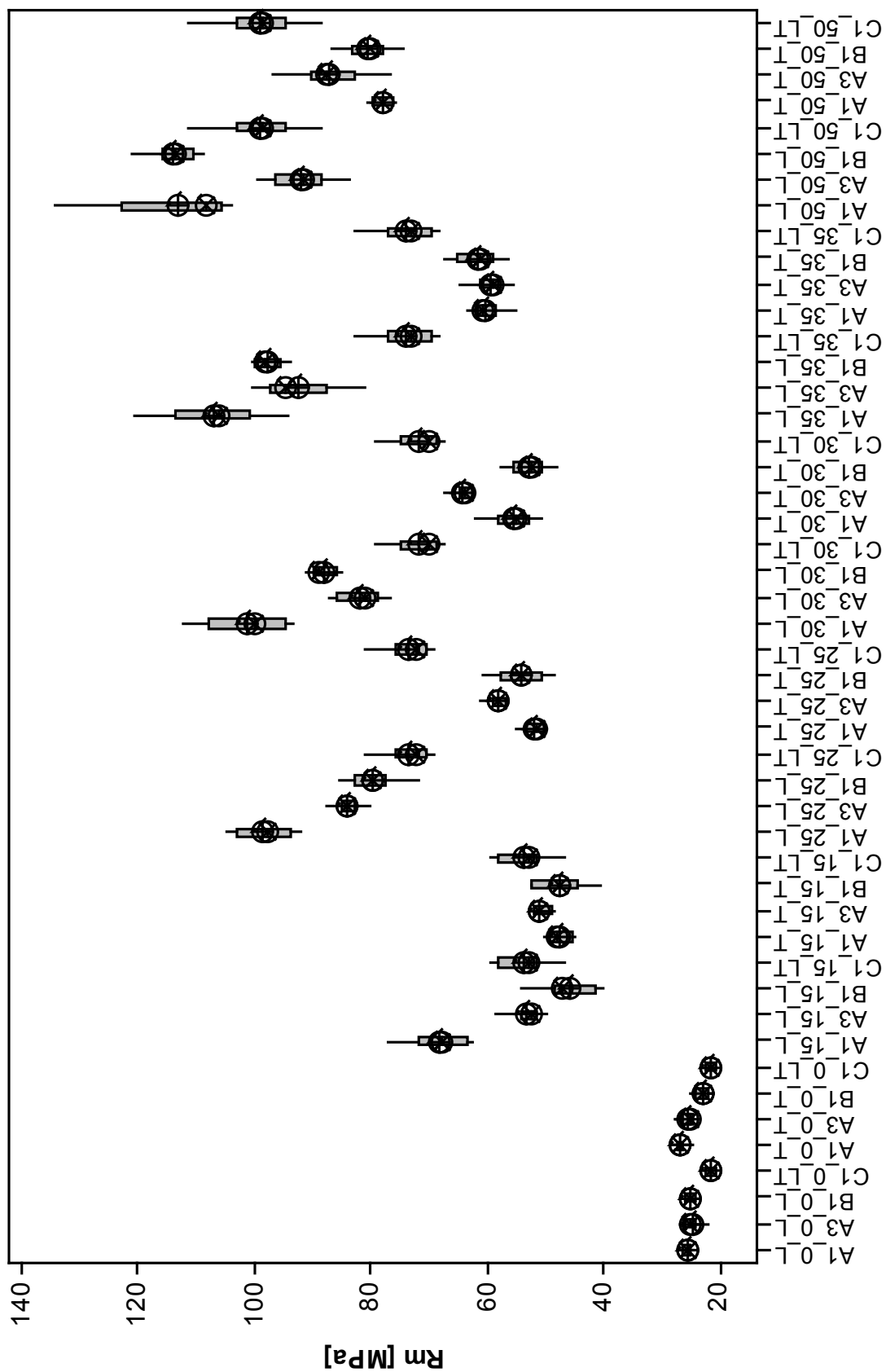
Příloha B8: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	681,8	34,1	118,1	13955	17,33	519,0	562,3	704,5	783,8	867,0	348,0	221,5
	A3	12	655,3	41,1	142,2	20231	21,70	437,0	578,5	607,0	765,0	929,0	492,0	186,5
	B1	12	865,1	22,3	77,3	5980	8,94	721,0	832,5	871,5	919,5	999,0	278,0	87,0
	C1	12	695,4	19,9	69,0	4764	9,93	605,0	644,0	689,0	753,8	807,0	202,0	109,8
15 %	A1	12	2071,7	44,5	154,1	23761	7,44	1930,0	1952,5	2015,0	2197,5	2420,0	490,0	245,0
	A3	12	1596,7	53,0	183,5	33661	11,49	1320,0	1437,5	1660,0	1717,5	1890,0	570,0	280,0
	B1	12	1290,8	55,3	191,7	36736	14,85	1030,0	1142,5	1265,0	1477,5	1580,0	550,0	335,0
	C1	12	1785,8	85,5	296,2	87754	16,59	1380,0	1545,0	1755,0	2055,0	2280,0	900,0	510,0
25 %	A1	12	3123,0	184,0	638,0	407242	20,43	1840,0	2668,0	3400,0	3640,0	3690,0	1850,0	973,0
	A3	12	2735,8	89,0	308,4	95081	11,27	2170,0	2517,5	2775,0	2945,0	3210,0	1040,0	427,5
	B1	12	2792,5	43,9	152,1	23148	5,45	2510,0	2690,0	2805,0	2882,5	3040,0	530,0	192,5
	C1	12	2341,7	78,4	271,7	73815	11,60	1980,0	2200,0	2240,0	2515,0	2960,0	980,0	315,0
30 %	A1	12	2986,0	159,0	551,0	303590	18,45	2160,0	2450,0	3105,0	3535,0	3650,0	1490,0	1085,0
	A3	12	3023,0	82,6	286,1	81830	9,46	2664,0	2776,5	3000,0	3292,5	3520,0	856,0	516,0
	B1	12	3553,3	38,5	133,5	17824	3,76	3350,0	3427,5	3575,0	3677,5	3720,0	370,0	250,0
	C1	12	2694,2	66,5	230,5	53136	8,56	2320,0	2505,0	2720,0	2795,0	3120,0	800,0	290,0
35 %	A1	12	3780,0	265,0	917,0	840200	24,25	2370,0	2745,0	4165,0	4508,0	4910,0	2540,0	1763,0
	A3	12	3493,0	128,0	442,0	195166	12,65	2760,0	3130,0	3540,0	3918,0	4120,0	1360,0	788,0
	B1	12	3815,0	117,0	404,0	163500	10,60	3280,0	3475,0	3755,0	4078,0	4650,0	1370,0	603,0
	C1	12	2505,0	68,5	237,1	56227	9,47	2160,0	2387,5	2420,0	2692,5	2980,0	820,0	305,0
50 %	A1	12	5364,0	253,0	875,0	765208	16,31	4230,0	4660,0	5180,0	6250,0	6940,0	2710,0	1590,0
	A3	12	4515,0	104,0	359,0	128773	7,95	3940,0	4283,0	4390,0	4803,0	5110,0	1170,0	520,0
	B1	12	5913,3	86,8	300,6	90388	5,08	5480,0	5587,5	5950,0	6182,5	6300,0	820,0	595,0
	C1	12	4293,0	186,0	645,0	415406	15,01	3460,0	3750,0	4175,0	4593,0	5600,0	2140,0	843,0

Příloha B9: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Emod (80°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	696,3	43,1	149,3	22305	21,45	345,0	583,8	741,0	815,3	836,0	491,0	231,5
	A3	12	715,8	14,8	51,2	2621	7,15	630,0	678,8	719,0	764,3	781,0	151,0	85,5
	B1	12	760,4	28,4	98,4	9674	12,93	588,0	673,5	779,0	823,0	919,0	331,0	149,5
	C1	12	695,4	19,9	69,0	4764	9,93	605,0	644,0	689,0	753,8	807,0	202,0	109,8
15 %	A1	12	1335,0	38,7	133,9	17936	10,03	1070,0	1212,5	1365,0	1450,0	1480,0	410,0	237,5
	A3	12	1500,8	41,0	142,0	20154	9,46	1220,0	1400,0	1550,0	1577,5	1680,0	460,0	177,5
	B1	12	1608,3	43,0	149,1	22233	9,27	1370,0	1467,5	1630,0	1705,0	1910,0	540,0	237,5
	C1	12	1785,8	85,5	296,2	87754	16,59	1380,0	1545,0	1755,0	2055,0	2280,0	900,0	510,0
25 %	A1	12	1560,8	41,1	142,3	20263	9,12	1340,0	1417,5	1600,0	1690,0	1750,0	410,0	272,5
	A3	12	1886,9	38,4	132,9	17674	7,05	1670,0	1780,0	1845,0	2017,5	2060,0	390,0	237,5
	B1	12	1811,7	57,5	199,3	39706	11,00	1480,0	1650,0	1800,0	1955,0	2170,0	690,0	305,0
	C1	12	2341,7	78,4	271,7	73815	11,60	1980,0	2200,0	2240,0	2515,0	2960,0	980,0	315,0
30 %	A1	12	1715,0	99,8	345,7	119500	20,16	1210,0	1480,0	1695,0	1902,5	2320,0	1110,0	422,5
	A3	12	2095,8	68,4	236,9	56136	11,30	1810,0	1867,5	2060,0	2337,5	2480,0	670,0	470,0
	B1	12	1814,2	52,5	182,0	33136	10,03	1550,0	1630,0	1875,0	1967,5	2080,0	530,0	337,5
	C1	12	2694,2	66,5	230,5	53136	8,56	2320,0	2505,0	2720,0	2795,0	3120,0	800,0	290,0
35 %	A1	12	2035,0	37,4	129,6	16809	6,37	1800,0	1965,0	2060,0	2107,5	2260,0	460,0	142,5
	A3	12	2155,0	85,0	294,4	86646	13,66	1740,0	1857,5	2200,0	2397,5	2590,0	850,0	540,0
	B1	12	2250,0	72,2	250,3	62636	11,12	1800,0	2052,5	2250,0	2457,5	2620,0	820,0	405,0
	C1	12	2505,0	68,5	237,1	56227	9,47	2160,0	2387,5	2420,0	2692,5	2980,0	820,0	305,0
50 %	A1	12	2706,0	109,0	377,0	141990	13,93	2040,0	2298,0	2945,0	2990,0	3010,0	970,0	693,0
	A3	12	3680,0	63,8	221,1	48891	6,01	3270,0	3605,0	3660,0	3860,0	4060,0	790,0	255,0
	B1	12	3345,0	84,0	290,9	84609	8,70	2870,0	3132,5	3335,0	3652,5	3760,0	890,0	520,0
	C1	12	4293,0	186,0	645,0	415406	15,01	3460,0	3750,0	4175,0	4593,0	5600,0	2140,0	843,0

Příloha B10: Box-plotový graf - Ohybová zkouška, Rm (80°C)



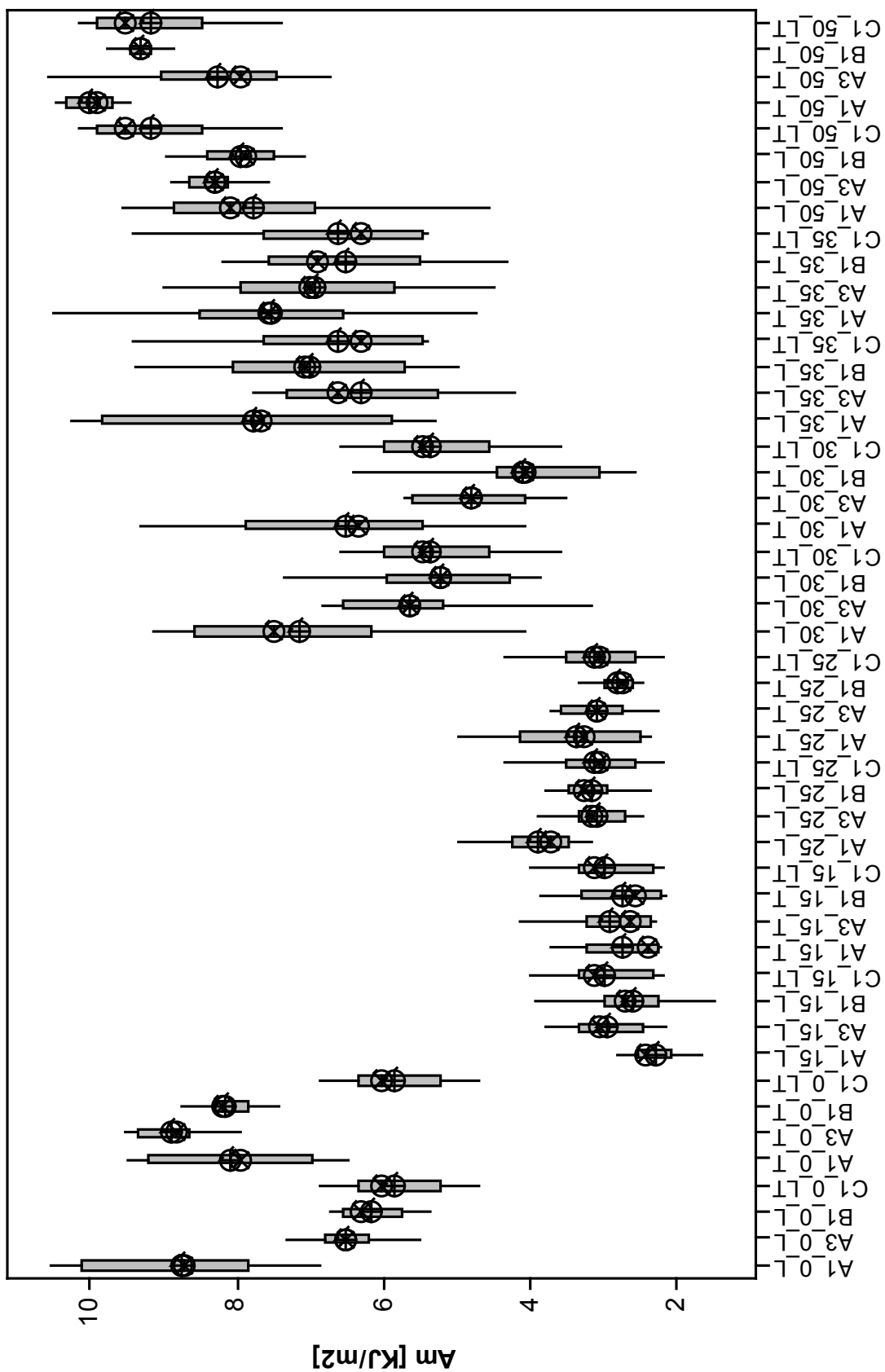
Příloha B11: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (80°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	25,33	0,196	0,678	0,460	2,68	24,42	24,80	25,22	26,11	26,33	1,91	1,315
	A3	12	24,75	0,384	1,332	1,774	5,38	21,84	23,93	24,88	25,88	26,56	4,72	1,950
	B1	12	24,89	0,274	0,949	0,900	3,81	23,33	23,99	24,97	25,72	26,28	2,95	1,733
	C1	12	21,55	0,275	0,951	0,905	4,42	20,37	20,60	21,48	22,51	23,09	2,72	1,905
15 %	A1	12	68,06	1,400	4,850	23,550	7,13	62,56	63,36	67,65	71,59	77,02	14,46	8,230
	A3	12	53,14	0,762	2,638	6,961	4,97	49,80	51,33	52,41	54,24	58,39	8,59	2,905
	B1	12	45,86	1,220	4,210	17,720	9,18	39,88	41,45	46,90	48,49	54,05	14,17	7,040
	C1	12	53,79	1,100	3,830	14,650	7,12	46,81	51,36	52,79	57,98	59,60	12,79	6,610
25 %	A1	12	98,49	1,350	4,690	21,990	4,76	91,86	93,62	97,64	102,98	104,92	13,06	9,360
	A3	12	84,02	0,672	2,327	5,413	2,77	80,10	82,69	84,23	85,02	87,79	7,69	2,328
	B1	12	79,83	1,140	3,940	15,510	4,93	71,73	77,27	79,79	82,91	85,25	13,52	5,640
	C1	12	73,37	1,180	4,090	16,740	5,58	68,96	70,40	72,08	75,61	81,05	12,09	5,210
30 %	A1	12	101,13	1,890	6,560	43,010	6,48	93,41	94,71	99,97	107,92	112,21	18,80	13,220
	A3	12	81,85	1,080	3,760	14,120	4,59	76,41	78,67	81,15	85,93	86,95	10,54	7,260
	B1	12	88,12	0,628	2,177	4,737	2,47	84,77	85,82	88,76	89,79	91,28	6,51	3,972
	C1	12	71,90	1,180	4,080	16,620	5,67	67,23	68,81	70,02	74,88	79,27	12,04	6,060
35 %	A1	12	106,85	2,210	7,660	58,600	7,16	94,01	100,99	106,18	113,81	120,87	26,86	12,820
	A3	12	92,60	1,700	5,890	34,670	6,36	80,97	87,75	94,81	97,40	100,18	19,21	9,650
	B1	12	97,79	0,650	2,253	5,074	2,30	93,92	95,39	98,30	99,76	100,33	6,41	4,367
	C1	12	74,00	1,370	4,740	22,440	6,40	68,31	69,42	73,00	77,21	82,54	14,23	7,790
50 %	A1	12	113,05	3,150	10,900	118,730	9,64	103,92	105,67	108,34	122,93	134,43	30,51	17,260
	A3	12	91,80	1,450	5,010	25,150	5,46	83,55	88,59	91,59	96,60	99,49	15,94	8,010
	B1	12	113,90	1,170	4,070	16,540	3,57	108,87	110,47	113,45	115,71	121,21	12,34	5,240
	C1	12	99,14	1,870	6,480	42,000	6,54	88,47	94,56	98,56	103,21	111,56	23,09	8,660

Příloha B12: Statistické parametry - Ohybová zkouška, Rm (80°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	26,748	0,314	1,088	1,183	4,07	24,43	26,15	26,86	27,39	28,54	4,11	1,240
	A3	12	25,437	0,308	1,068	1,141	4,20	24,42	24,60	25,09	26,21	27,77	3,35	1,615
	B1	12	22,958	0,391	1,353	1,831	5,89	20,95	21,95	22,73	24,17	25,08	4,13	2,218
	C1	12	21,545	0,275	0,951	0,905	4,42	20,37	20,60	21,48	22,51	23,09	2,72	1,905
15 %	A1	12	47,447	0,534	1,848	3,417	3,90	44,84	45,46	47,90	49,07	50,28	5,44	3,615
	A3	12	50,827	0,456	1,581	2,501	3,11	48,40	49,02	51,06	52,10	52,85	4,45	3,082
	B1	12	47,570	1,260	4,370	19,090	9,18	40,34	44,39	47,27	52,40	52,54	12,20	8,010
	C1	12	53,790	1,100	3,830	14,650	7,12	46,81	51,36	52,79	57,98	59,60	12,79	6,610
25 %	A1	12	51,818	0,484	1,675	2,806	3,23	49,59	50,33	51,52	53,14	55,14	5,55	2,813
	A3	12	58,216	0,437	1,516	2,297	2,60	56,60	56,93	57,98	58,74	61,11	4,51	1,810
	B1	12	54,010	1,100	3,820	14,580	7,07	48,15	50,57	53,88	57,48	60,60	12,45	6,910
	C1	12	73,370	1,180	4,090	16,740	5,58	68,96	70,40	72,08	75,61	81,05	12,09	5,210
30 %	A1	12	55,550	1,010	3,500	12,260	6,30	50,50	52,83	55,19	58,00	62,11	11,61	5,170
	A3	12	64,020	0,453	1,569	2,463	2,45	62,05	62,66	63,85	64,80	67,37	5,32	2,138
	B1	12	52,665	0,868	3,007	9,042	5,71	47,71	50,71	52,13	55,25	57,67	9,96	4,533
	C1	12	71,900	1,180	4,080	16,620	5,67	67,23	68,81	70,02	74,88	79,27	12,04	6,060
35 %	A1	12	60,065	0,732	2,536	6,432	4,22	54,99	58,68	60,85	61,59	63,54	8,55	2,907
	A3	12	59,428	0,819	2,837	8,047	4,77	55,27	57,87	58,99	61,14	64,55	9,28	3,277
	B1	12	61,700	1,050	3,650	13,330	5,92	56,28	58,99	61,03	64,98	67,30	11,02	5,980
	C1	12	74,000	1,370	4,740	22,440	6,40	68,31	69,42	73,00	77,21	82,54	14,23	7,790
50 %	A1	12	77,943	0,527	1,825	3,329	2,34	75,57	76,16	77,75	79,77	80,77	5,20	3,610
	A3	12	87,000	1,530	5,310	28,220	6,11	76,53	82,80	87,59	90,43	97,03	20,50	7,630
	B1	12	80,700	1,040	3,620	13,100	4,49	74,31	78,08	80,33	83,07	86,71	12,40	4,980
	C1	12	99,140	1,870	6,480	42,000	6,54	88,47	94,56	98,56	103,21	111,56	23,09	8,660

Příloha C1: Box-plotový graf - Rázová zkouška, Am (21°C)



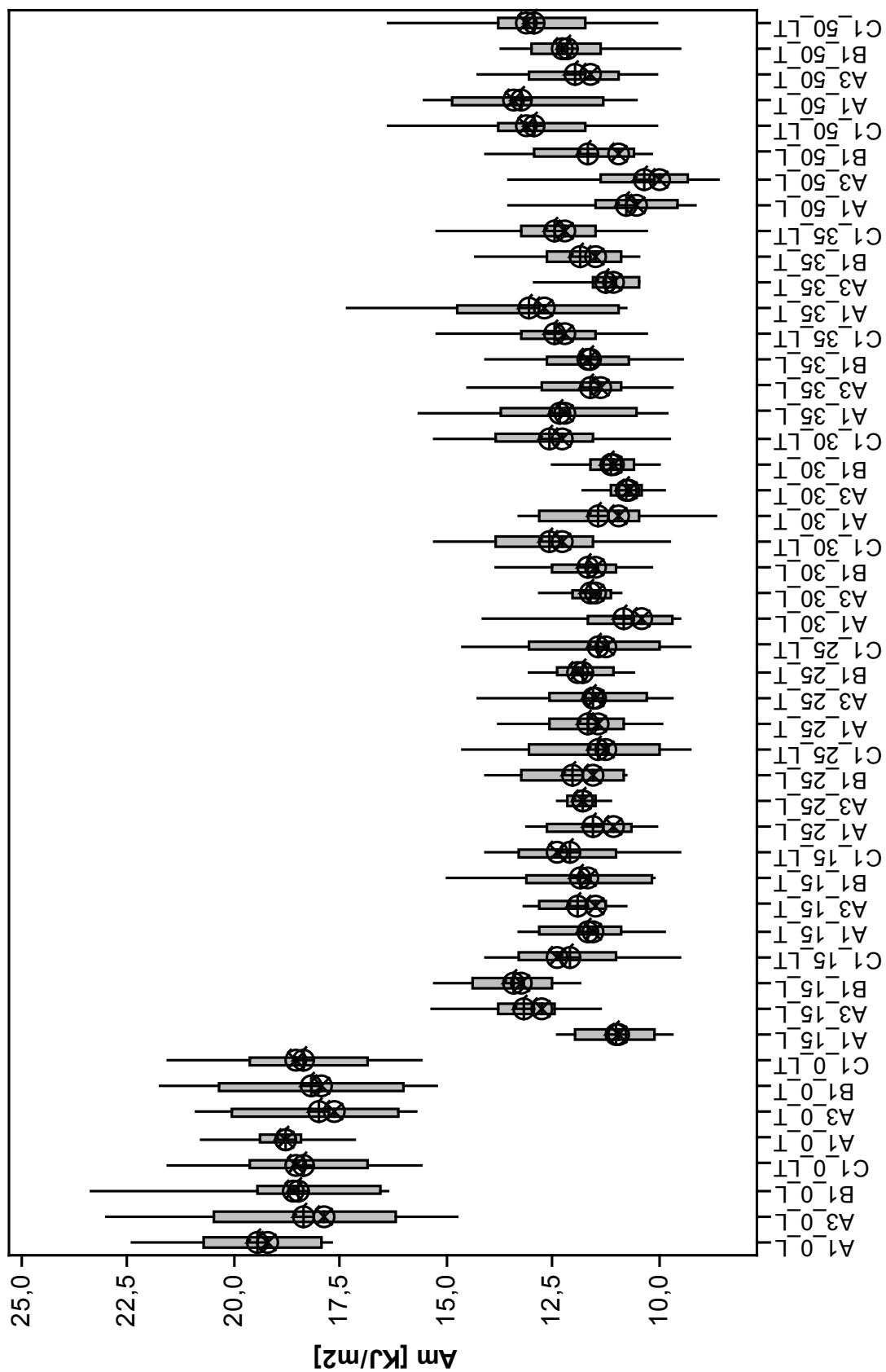
Příloha C2: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (21°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	8,764	0,363	1,257	1,581	14,350	6,870	7,860	8,705	10,123	10,560	3,690	2,263
	A3	12	6,508	0,145	0,501	0,251	7,700	5,500	6,218	6,525	6,800	7,320	1,820	0,583
	B1	12	6,176	0,132	0,458	0,210	7,420	5,360	5,755	6,320	6,543	6,740	1,380	0,787
	C1	12	5,835	0,202	0,701	0,492	12,020	4,690	5,213	6,015	6,338	6,870	2,180	1,125
15 %	A1	12	2,295	0,104	0,359	0,129	15,660	1,660	2,080	2,425	2,530	2,790	1,130	0,450
	A3	12	2,958	0,152	0,528	0,279	17,840	2,150	2,465	3,050	3,343	3,770	1,620	0,878
	B1	12	2,604	0,178	0,616	0,379	23,640	1,460	2,233	2,695	2,978	3,920	2,460	0,745
	C1	12	2,983	0,170	0,590	0,348	19,770	2,190	2,313	3,120	3,345	3,990	1,800	1,033
25 %	A1	12	3,898	0,173	0,599	0,359	15,380	3,140	3,460	3,710	4,253	4,990	1,850	0,792
	A3	12	3,076	0,114	0,396	0,157	12,880	2,470	2,705	3,155	3,320	3,890	1,420	0,615
	B1	12	3,166	0,124	0,429	0,184	13,560	2,340	2,928	3,255	3,455	3,790	1,450	0,528
	C1	12	3,109	0,175	0,608	0,369	19,550	2,170	2,563	3,045	3,510	4,340	2,170	0,947
30 %	A1	12	7,156	0,488	1,692	2,863	23,640	4,060	6,158	7,480	8,575	9,130	5,070	2,417
	A3	12	5,633	0,306	1,059	1,121	18,800	3,160	5,180	5,640	6,545	6,830	3,670	1,365
	B1	12	5,235	0,295	1,024	1,048	19,550	3,870	4,270	5,220	5,955	7,360	3,490	1,685
	C1	12	5,343	0,264	0,913	0,834	17,090	3,570	4,558	5,475	5,983	6,590	3,020	1,425
35 %	A1	12	7,783	0,530	1,836	3,372	23,590	5,290	5,875	7,685	9,845	10,260	4,970	3,970
	A3	12	6,308	0,345	1,196	1,430	18,960	4,200	5,270	6,630	7,313	7,760	3,560	2,043
	B1	12	7,009	0,383	1,327	1,760	18,930	4,960	5,720	7,070	8,063	9,370	4,410	2,343
	C1	12	6,625	0,372	1,289	1,662	19,460	5,380	5,478	6,295	7,645	9,420	4,040	2,168
50 %	A1	12	7,763	0,392	1,359	1,846	17,500	4,570	6,953	8,080	8,865	9,570	5,000	1,912
	A3	12	8,285	0,118	0,408	0,166	4,920	7,550	8,113	8,305	8,653	8,890	1,340	0,540
	B1	12	7,949	0,169	0,586	0,343	7,370	7,060	7,483	7,890	8,413	8,970	1,910	0,930
	C1	12	9,180	0,253	0,875	0,766	9,530	7,390	8,465	9,515	9,925	10,150	2,760	1,460

Příloha C3: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (21°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	8,078	0,322	1,114	1,242	13,790	6,490	6,970	7,955	9,223	9,480	2,990	2,253
	A3	12	8,903	0,143	0,496	0,246	5,570	7,960	8,638	8,810	9,340	9,540	1,580	0,703
	B1	12	8,147	0,114	0,393	0,155	4,830	7,410	7,848	8,190	8,303	8,750	1,340	0,455
	C1	12	5,835	0,202	0,701	0,492	12,020	4,690	5,213	6,015	6,338	6,870	2,180	1,125
15 %	A1	12	2,743	0,168	0,581	0,338	21,180	2,210	2,258	2,385	3,208	3,710	1,500	0,950
	A3	12	2,898	0,190	0,656	0,431	22,660	2,270	2,363	2,630	3,208	4,140	1,870	0,845
	B1	12	2,733	0,170	0,588	0,346	21,510	2,150	2,198	2,550	3,305	3,840	1,690	1,107
	C1	12	2,983	0,170	0,590	0,348	19,770	2,190	2,313	3,120	3,345	3,990	1,800	1,033
25 %	A1	12	3,381	0,274	0,949	0,901	28,070	2,360	2,493	3,275	4,135	4,970	2,610	1,643
	A3	12	3,074	0,148	0,513	0,263	16,690	2,250	2,735	3,080	3,575	3,730	1,480	0,840
	B1	12	2,793	0,079	0,275	0,075	9,840	2,450	2,600	2,740	2,978	3,340	0,890	0,378
	C1	12	3,109	0,175	0,608	0,369	19,550	2,170	2,563	3,045	3,510	4,340	2,170	0,947
30 %	A1	12	6,510	0,436	1,509	2,277	23,180	4,080	5,468	6,335	7,870	9,320	5,240	2,403
	A3	12	4,793	0,224	0,776	0,602	16,190	3,500	4,080	4,815	5,608	5,720	2,220	1,528
	B1	12	4,088	0,325	1,126	1,268	27,550	2,570	3,048	4,060	4,458	6,410	3,840	1,410
	C1	12	5,343	0,264	0,913	0,834	17,090	3,570	4,558	5,475	5,983	6,590	3,020	1,425
35 %	A1	12	7,529	0,445	1,541	2,375	20,470	4,740	6,540	7,550	8,495	10,500	5,760	1,955
	A3	12	6,922	0,386	1,337	1,788	19,320	4,500	5,865	7,015	7,940	9,010	4,510	2,075
	B1	12	6,531	0,375	1,299	1,689	19,900	4,310	5,493	6,915	7,555	8,190	3,880	2,063
	C1	12	6,625	0,372	1,289	1,662	19,460	5,380	5,478	6,295	7,645	9,420	4,040	2,168
50 %	A1	12	10,006	0,108	0,375	0,141	3,750	9,470	9,703	9,905	10,348	10,490	1,020	0,645
	A3	12	8,252	0,312	1,082	1,170	13,110	6,740	7,448	7,960	9,048	10,590	3,850	1,600
	B1	12	9,316	0,063	0,219	0,048	2,350	8,870	9,190	9,310	9,443	9,780	0,910	0,253
	C1	12	9,180	0,253	0,875	0,766	9,530	7,390	8,465	9,515	9,925	10,150	2,760	1,460

Příloha C4: Box-plotový graf - Rázová zkouška, Am (80°C)



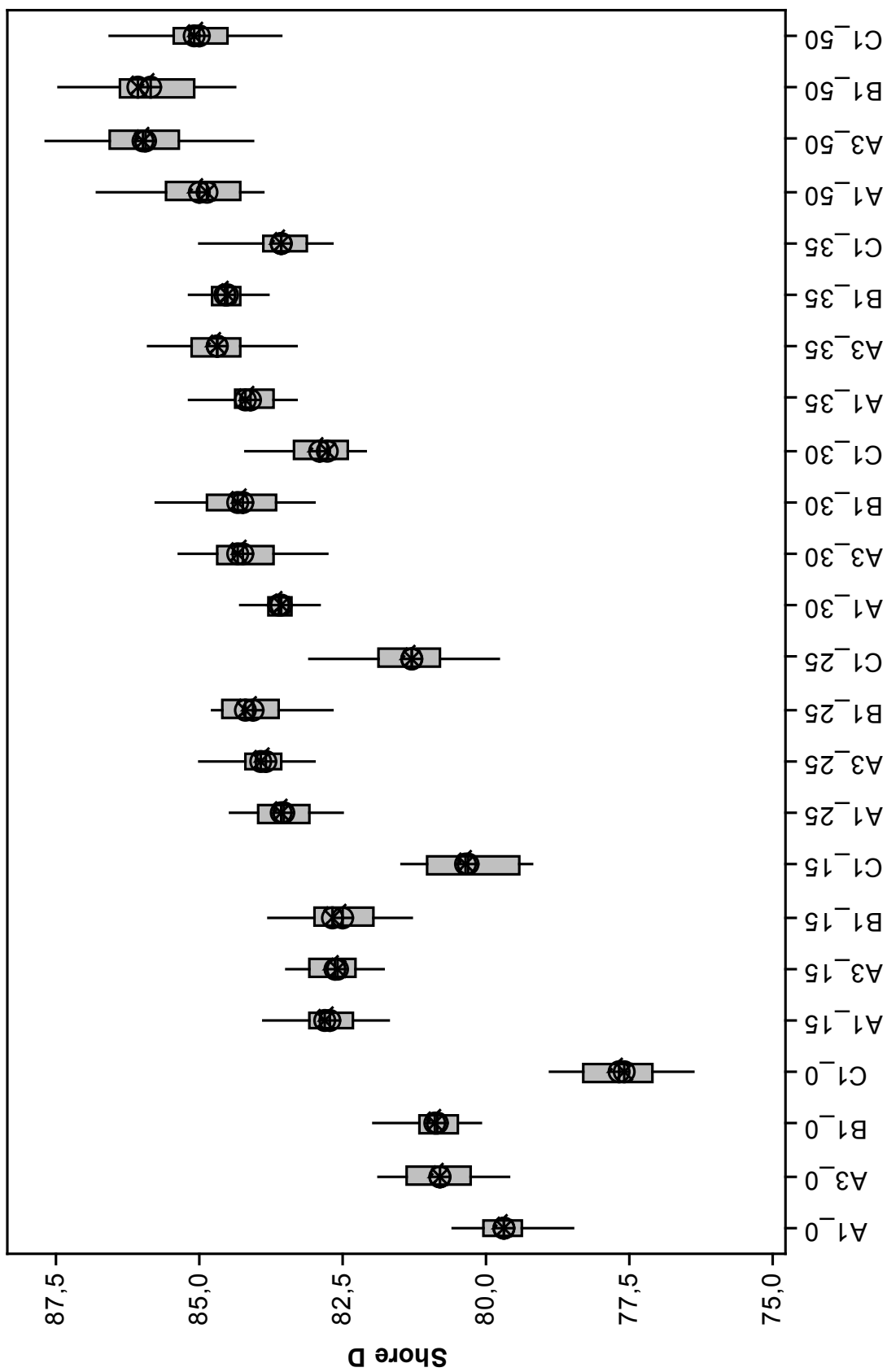
Příloha C5: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (80°C), směr L

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	19,452	0,461	1,597	2,552	8,210	17,670	17,915	19,215	20,700	22,420	4,750	2,785
	A3	12	18,354	0,733	2,541	6,456	13,840	14,750	16,195	17,890	20,478	23,000	8,250	4,283
	B1	12	18,504	0,590	2,043	4,174	11,040	16,390	16,530	18,615	19,438	23,380	6,990	2,907
	C1	12	18,334	0,537	1,860	3,461	10,150	15,590	16,880	18,555	19,598	21,550	5,960	2,718
15 %	A1	12	11,001	0,267	0,925	0,856	8,410	9,650	10,090	10,915	11,958	12,400	2,750	1,868
	A3	12	13,171	0,328	1,137	1,292	8,630	11,350	12,433	12,775	13,788	15,360	4,010	1,355
	B1	12	13,388	0,312	1,080	1,167	8,070	11,860	12,498	13,230	14,395	15,280	3,420	1,897
	C1	12	12,078	0,395	1,368	1,870	11,320	9,500	11,010	12,380	13,300	14,070	4,570	2,290
25 %	A1	12	11,535	0,309	1,070	1,145	9,280	10,010	10,648	11,080	12,613	13,140	3,130	1,965
	A3	12	11,789	0,110	0,382	0,146	3,240	11,100	11,473	11,770	12,130	12,390	1,290	0,658
	B1	12	12,038	0,354	1,227	1,505	10,190	10,730	10,843	11,545	13,250	14,070	3,340	2,407
	C1	12	11,451	0,484	1,675	2,806	14,630	9,260	9,993	11,220	13,048	14,610	5,350	3,055
30 %	A1	12	10,794	0,390	1,349	1,821	12,500	9,470	9,685	10,395	11,653	14,140	4,670	1,968
	A3	12	11,593	0,167	0,579	0,335	4,990	10,900	11,118	11,475	12,000	12,820	1,920	0,883
	B1	12	11,648	0,317	1,099	1,208	9,440	10,140	11,023	11,470	12,485	13,840	3,700	1,463
	C1	12	12,588	0,439	1,520	2,309	12,070	9,740	11,553	12,275	13,848	15,280	5,540	2,295
35 %	A1	12	12,323	0,531	1,838	3,379	14,920	9,770	10,533	12,230	13,728	15,630	5,860	3,195
	A3	12	11,628	0,395	1,367	1,868	11,760	9,670	10,858	11,385	12,733	14,510	4,840	1,875
	B1	12	11,608	0,390	1,350	1,823	11,630	9,430	10,688	11,635	12,655	14,060	4,630	1,967
	C1	12	12,448	0,410	1,421	2,019	11,410	10,270	11,488	12,210	13,250	15,210	4,940	1,762
50 %	A1	12	10,770	0,425	1,472	2,167	13,670	9,140	9,575	10,525	11,475	13,510	4,370	1,900
	A3	12	10,338	0,416	1,443	2,081	13,950	8,570	9,318	9,945	11,338	13,510	4,940	2,020
	B1	12	11,678	0,403	1,397	1,952	11,960	10,140	10,553	10,965	12,955	14,080	3,940	2,403
	C1	12	12,941	0,480	1,664	2,769	12,860	10,030	11,703	13,095	13,750	16,380	6,350	2,048

Příloha C6: Statistické parametry - Rázová zkouška, Am (80°C), směr T

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	18,805	0,265	0,918	0,843	4,880	17,150	18,408	18,785	19,358	20,780	3,630	0,950
	A3	12	18,001	0,545	1,888	3,564	10,490	15,720	16,155	17,605	20,025	20,890	5,170	3,870
	B1	12	18,188	0,642	2,224	4,945	12,230	15,220	15,985	17,920	20,375	21,720	6,500	4,390
	C1	12	18,334	0,537	1,860	3,461	10,150	15,590	16,880	18,555	19,598	21,550	5,960	2,718
15 %	A1	12	11,673	0,309	1,072	1,149	9,180	9,840	10,855	11,565	12,780	13,310	3,470	1,925
	A3	12	11,918	0,246	0,853	0,727	7,150	10,740	11,220	11,510	12,800	13,170	2,430	1,580
	B1	12	11,849	0,463	1,605	2,575	13,540	10,070	10,173	11,675	13,093	14,960	4,890	2,920
	C1	12	12,078	0,395	1,368	1,870	11,320	9,500	11,010	12,380	13,300	14,070	4,570	2,290
25 %	A1	12	11,648	0,337	1,166	1,360	10,010	9,910	10,835	11,430	12,555	13,800	3,890	1,720
	A3	12	11,529	0,400	1,386	1,920	12,020	9,690	10,303	11,485	12,595	14,230	4,540	2,292
	B1	12	11,757	0,216	0,750	0,562	6,380	10,590	11,045	11,890	12,415	13,040	2,450	1,370
	C1	12	11,451	0,484	1,675	2,806	14,630	9,260	9,993	11,220	13,048	14,610	5,350	3,055
30 %	A1	12	11,403	0,412	1,426	2,033	12,500	8,630	10,478	10,965	12,835	13,300	4,670	2,358
	A3	12	10,773	0,165	0,573	0,328	5,320	9,860	10,423	10,710	11,133	11,800	1,940	0,710
	B1	12	11,132	0,209	0,722	0,522	6,490	9,990	10,585	11,030	11,583	12,520	2,530	0,998
	C1	12	12,588	0,439	1,520	2,309	12,070	9,740	11,553	12,275	13,848	15,280	5,540	2,295
35 %	A1	12	13,058	0,638	2,210	4,885	16,930	10,740	10,950	12,685	14,715	17,330	6,590	3,765
	A3	12	11,234	0,256	0,887	0,787	7,900	10,450	10,460	11,045	11,525	12,900	2,450	1,065
	B1	12	11,850	0,361	1,250	1,561	10,540	10,460	10,858	11,470	12,638	14,310	3,850	1,780
	C1	12	12,448	0,410	1,421	2,019	11,410	10,270	11,488	12,210	13,250	15,210	4,940	1,762
50 %	A1	12	13,223	0,533	1,847	3,413	13,970	10,530	11,278	13,385	14,840	15,510	4,980	3,563
	A3	12	11,967	0,370	1,281	1,641	10,710	10,060	10,933	11,590	13,040	14,230	4,170	2,108
	B1	12	12,164	0,340	1,177	1,386	9,680	9,500	11,368	12,290	12,990	13,730	4,230	1,623
	C1	12	12,941	0,480	1,664	2,769	12,860	10,030	11,703	13,095	13,750	16,380	6,350	2,048

Příloha D1: Box-plot. graf - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C)



Příloha D2: Statistické parametry - Zkouška tvrdosti, Shore D (21°C)

plnění	vtok	n	\bar{x}	u_a	s	s^2	v_x	MIN	Q1	M	Q3	MAX	R	IQR
0 %	A1	12	79,675	0,084	0,502	0,252	0,630	78,500	79,400	79,700	80,075	80,600	2,100	0,675
	A3	12	80,803	0,103	0,618	0,381	0,760	79,600	80,300	80,800	81,375	81,900	2,300	1,075
	B1	12	80,878	0,076	0,457	0,209	0,570	80,100	80,500	80,900	81,175	82,000	1,900	0,675
	C1	12	77,667	0,108	0,649	0,421	0,840	76,400	77,100	77,600	78,300	78,900	2,500	1,200
15 %	A1	12	82,733	0,092	0,550	0,302	0,660	81,700	82,350	82,850	83,100	83,900	2,200	0,750
	A3	12	82,664	0,085	0,507	0,257	0,610	81,800	82,300	82,600	83,100	83,500	1,700	0,800
	B1	12	82,500	0,110	0,660	0,436	0,800	81,300	82,000	82,700	83,000	83,800	2,500	1,000
	C1	12	80,319	0,128	0,767	0,588	0,960	79,200	79,425	80,350	81,050	81,500	2,300	1,625
25 %	A1	12	83,528	0,087	0,519	0,269	0,620	82,500	83,100	83,600	83,975	84,500	2,000	0,875
	A3	12	83,881	0,077	0,460	0,211	0,550	83,000	83,600	83,950	84,200	85,000	2,000	0,600
	B1	12	84,064	0,097	0,583	0,340	0,690	82,700	83,625	84,200	84,600	84,800	2,100	0,975
	C1	12	81,308	0,138	0,826	0,682	1,020	79,800	80,800	81,300	81,875	83,100	3,300	1,075
30 %	A1	12	83,653	0,065	0,391	0,153	0,470	82,800	83,400	83,600	83,800	84,400	1,600	0,400
	A3	12	84,242	0,112	0,669	0,448	0,790	82,800	83,725	84,350	84,700	85,400	2,600	0,975
	B1	12	84,281	0,127	0,760	0,577	0,900	83,000	83,700	84,350	84,900	85,800	2,800	1,200
	C1	12	82,922	0,099	0,593	0,352	0,720	82,100	82,425	82,800	83,375	84,200	2,100	0,950
35 %	A1	12	84,125	0,083	0,496	0,246	0,590	83,300	83,725	84,200	84,400	85,200	1,900	0,675
	A3	12	84,714	0,108	0,646	0,417	0,760	83,300	84,325	84,700	85,175	85,900	2,600	0,850
	B1	12	84,553	0,057	0,344	0,119	0,410	83,800	84,300	84,550	84,800	85,200	1,400	0,500
	C1	12	83,606	0,096	0,578	0,334	0,690	82,700	83,125	83,600	83,900	85,000	2,300	0,775
50 %	A1	12	85,017	0,129	0,776	0,601	0,910	83,900	84,325	84,900	85,600	86,800	2,900	1,275
	A3	12	85,944	0,142	0,852	0,726	0,990	84,100	85,400	86,000	86,600	87,700	3,600	1,200
	B1	12	85,856	0,134	0,807	0,651	0,940	84,400	85,125	86,100	86,400	87,500	3,100	1,275
	C1	12	85,008	0,111	0,665	0,442	0,780	83,600	84,525	85,100	85,475	86,600	3,000	0,950