

# Optimalizace vytlačovacího procesu při výrobě PVC hadičky ve firmě GCR

Bc. Petr Jarcovják

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 1\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce popisuje optimalizaci výroby PVC hadičky 4,3 x 6,8. Dlouhodobá optimalizace byla zaměřena hlavně na úpravu parametrů vytlačovací linky a konstrukci vytlačovací hlavy. Díky vhodné optimalizaci vytlačovacího procesu bylo možné docílit kvalitativních, ale i kvantitativních požadavků výroby. Výstupem zhodnocení optimalizace je popsané technické zhodnocení vytlačovacího procesu.

Klíčová slova: optimalizace, PVC, vytlačování

## **ABSTRACT**

The Master thesis describes the optimization of the production of PVC tubing 4.3 x 6.8. The longterm optimization was focused on the adjusting of the parameters of extrusion line and construction of the die head. With appropriate optimization of the extrusion process, it was possible to obtain qualitative as well as quantitative production requirements. The outcome evaluation optimization is described by the technical evaluation of the extrusion process.

Keywords: optimization, PVC, extrusion

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Kamilu Kyasovi, za osobní přístup a praktické informace při zpracování diplomové práce. Poděkování patří Tuliu Mendozovi z Gamba Tijuana za dlouholetou podporu a také děkuji Christianu Seemannovi z Gamba Czech Republic. Děkuji své manželce, Šárce Jarcovjákové, za psychickou podporu během mého celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PROCES VYTLAČOVÁNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 TRANSPORT A PŘEMĚNA PLASTU V TAVENINU .....	13
1.1.1 Vstupní pásmo.....	13
1.1.2 Přechodové pásmo.....	13
1.1.3 Výstupní pásmo.....	14
<b>2 VYTLAČOVACÍ STROJ A JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY</b> .....	<b>15</b>
2.1 ROZDĚLENÍ VYTLAČOVACÍCH STROJŮ .....	15
2.1.1 Šnekové .....	15
2.2 ŠNEK .....	16
2.2.1 Objemový tok.....	17
2.2.2 Míchací elementy vytlačovacích šneků.....	18
2.3 PLASTIKAČNÍ KOMORA .....	18
2.4 POHON ŠNEKU .....	18
2.5 LAMAČ A SÍTKA .....	19
2.6 VYTLAČOVACÍ HLAVA.....	20
2.6.1 Hlavy přímé.....	20
2.6.2 Hlavy nepřímé .....	21
2.6.3 Širokoštěbinové hlavy.....	21
2.7 DVOUŠNEKOVÉ VYTLAČOVACÍ STROJE.....	22
<b>3 VYTLAČOVACÍ LINKA A JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY</b> .....	<b>24</b>
3.1 KALIBRAČNÍ ZAŘÍZENÍ.....	24
3.1.1 Průvlaková kalibrace .....	24
3.1.2 Přetlaková kalibrace .....	25
3.1.3 Podtlaková kalibrace .....	25
3.2 CHLADICÍ VANA .....	26
3.3 ODTAHOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	26
3.4 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	26
3.5 ŘEZACÍ, ZNAČICÍ A PALETOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	27
<b>4 PLASTY</b> .....	<b>28</b>
4.1 ROZDĚLENÍ PLASTŮ .....	28
4.1.1 Termoplasty.....	29
4.1.2 Reaktoplasty .....	29
4.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery.....	29
4.2 PŘÍSADY DO PLASTŮ.....	29
4.2.1 Změkčovadla .....	30
4.2.2 Maziva.....	30



4.2.3	Plniva.....	30
4.2.4	Pigmenty.....	30
4.2.5	Nadouvadla.....	30
4.2.6	Světelné stabilizátory .....	30
4.2.7	Tepelné stabilizátory .....	31
4.2.8	Separáčn�i �inidla .....	31
4.2.9	Antioxidanty.....	31
<b>5</b>	<b>POLYVINYLCHLORID (PVC) .....</b>	<b>32</b>
5.1	VLASTNOSTI PVC .....	32
5.2	ZÁKLADNÍ ROZD�ELEN�I PVC .....	33
5.2.1	Tvrd�y typ PVC .....	33
5.2.2	M�ek�en�y typ PVC .....	33
5.3	POUŽITÍ PVC VE ZDRAVOTNICTV�I .....	33
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ �AST .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>FIRMA GAMBRO CZECH REPUBLIC .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>DEFINICE VÝROBKU .....</b>	<b>36</b>
7.1	DEFINICE PVC HADIČKY 4,3 x 6,8.....	36
7.1.1	PVC materiál FG1 .....	37
<b>8</b>	<b>VYTLAČOVACÍ LINKY V GCR.....</b>	<b>38</b>
8.1	VYTLAČOVACÍ STROJ .....	39
8.1.1	Šnek.....	40
8.1.2	Vytlačovací hlava.....	40
8.2	CHLADICÍ VANA .....	41
8.3	ODTAHOVACÍ ZAŘIZENÍ.....	42
8.4	NAVÍJEJÍ JEDNOTKA .....	43
8.5	M�ERIC�I ZAŘIZENÍ.....	43
8.5.1	Nastavené výrobní tolerance PVC hadičky 4,3 x 6,8.....	44
8.5.2	Ultrazvukové m�eric�i zařizení Ultrascan 1000.....	45
8.5.3	Laserové m�eric�i zařizení Accuscan 5010.....	45
8.5.4	Report kotouče .....	46
8.5.5	M�eric�i zařizení Benchmike 283-10.....	47
8.6	MANIPULAČNÍ ZAŘIZENÍ.....	48
<b>9</b>	<b>OPTIMALIZACE VYTLAČOVACÍHO PROCESU.....</b>	<b>49</b>
9.1	DEGRADOVANÝ PVC MATERIÁL .....	49
9.1.1	Degradující PVC materiál v místě špice šneku.....	49
9.1.2	Degradující PVC materiál v místě tokové vloŹky.....	51
9.1.3	Degradující PVC materiál v místě špice rozdělovače.....	52
9.1.4	Degradující PVC materiál v místě trnu a hubice.....	53

9.2	OPTIMALIZACE PULZACE PVC MATERIÁLU .....	55
9.3	OPTIMALIZACE SÍTEK A LAMAČE .....	55
9.4	OPTIMALIZACE VOLNÉHO NÁVINU PVC HADIČKY .....	57
9.5	ÚPRAVA NOMINÁLNÍCH HODNOT PVC HADIČKY .....	58
<b>10</b>	<b>OPTIMÁLNÍ NASTAVENÍ VYTLAČOVACÍHO PROCESU PRO VÝROBU PVC HADIČKY 4,3 X 6,8 .....</b>	<b>59</b>
10.1	SEŘIZOVACÍ LIST HADIČKY 4,3 X 6,8 .....	59
10.2	DISKUZE VÝSLEDKŮ OPTIMALIZACE .....	61
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>69</b>

## ÚVOD

Diplomová práce se zabývá optimalizací procesu vytlačování konkrétní PVC hadičky určené pro zdravotnický průmysl, která je součástí dialyzačního setu. V teoretické části diplomové práce je popsán proces vytlačování, vytlačovací linka, rozdělení plastů. V praktické části na základě dlouhodobých testů, zkoušek a analýz je popsána optimalizace procesu výroby PVC hadičky.

V prosinci roku 2010 byla do firmy Gambro Czech Republic s.r.o. převezena první pilotní linka. Následně v průběhu dalšího roku přibylo dalších šest vytlačovacích linek, na kterých byl zahájen zkušební provoz výroby PVC hadiček. Vytlačovací linky byly nastavovány a testovány na pět základních rozměrů hadiček. Záměr společnosti bylo vyrábět pouze těchto pět druhů ve výrobním závodě v Přerově. Dalších patnáct druhů již bylo vyráběno v mateřském závodě v Itálii. Procentuální vyjádření zásobování trhu Evropy bylo v poměru 70:30 pro Gambro Itálii. V létě roku 2012 postihlo Itálii silné zemětřesení, při němž byla zasažena společnost Gambro v Medolle. Celá technologie vytlačování byla zasypána sutinami z poničených budov. Portfolio vyráběných hadiček Itálií se muselo co nejrychleji obnovit a bylo rozhodnuto o převzetí výroby do pobočky Gambro v Přerově. Z toho vyplynulo navýšení objemu stávající výroby a rozjezd nových typů hadiček. Tato výroba byla plánovaná na rozdílných technologiích, které Gambro Přerov vlastní. Po optimalizaci a validaci byly hadičky uvolněny do sériové výroby. V současné době je v Gambro Přerov vyráběno dvacet rozměrově odlišných druhů PVC hadiček, čemuž odpovídá 100% zásobování trhu Evropy.

Z průběžných testů a validací procesu bylo nadefinováno optimální nastavení sériové výroby. Veškeré nastavení bylo podloženo dlouhodobým vyhodnocováním. V diplomové práci je konkrétně popsána optimalizace PVC hadičky 4,3 x 6,8, která byla obsažena mezi pěti původními vyráběnými hadičkami v Přerově. Po zemětřesení v Itálii se prudce navýšil její objem. Důsledkem byl požadavek na zvýšení rychlosti vytlačovací linky a prodloužení doby produkce při zachování kvalitativních požadavků PVC hadičky.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 PROCES VYTLAČOVÁNÍ

Vytlačování je technologický proces, při kterém je tavenina v plastickém stavu vytlačována hlavou o různém tvaru do volného prostoru. [4] Polymerní materiál se plastikuje a mění v taveninu na profilu lůžka šneku. Z hlediska procesu vytlačování šnek v jednotlivých zónách postupně přeměňuje materiál v taveninu. [1]

## 1.1 Transport a přeměna plastu v taveninu

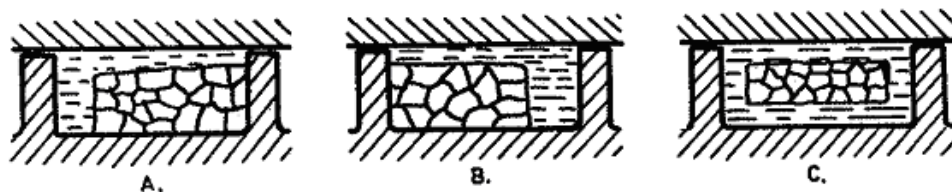
U šnekových vytlačovacích strojů šnek transportuje a postupně převádí materiál podél svého profilu na taveninu. Šnek má vstupní, přechodové a výstupní pásmo.

### 1.1.1 Vstupní pásmo

U sypkých materiálů bývá šnekový profil pod násypkou trvale zahlcován, takže zaplnění profilu šneku je stále udržováno na mezní hodnotě, pokud v násypce nevzniknou „můstky“. Aby se zabezpečil plynulý přísun materiálu do šneku, opatřuje se násypka často míchadlem. Vstupní pásmo pod násypkou se upravuje podle druhu zpracovávaného materiálu. Sypký materiál zaplňuje profil šneku pod násypkou přibližně se sypnou hmotností. [3]

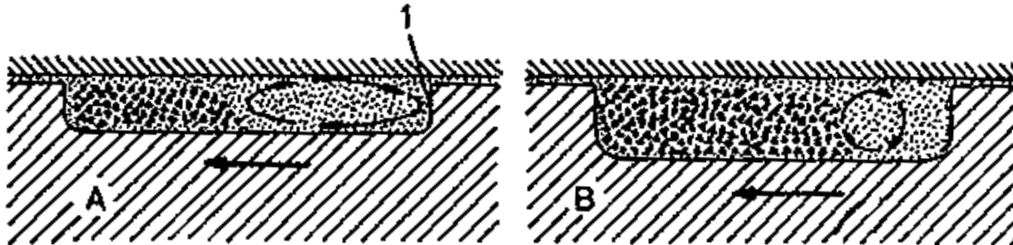
### 1.1.2 Přechodové pásmo

V přechodovém pásmu je šnekový kanál zaplněn zčásti tuhým a zčásti roztaveným materiálem. Tuhý materiál vystupující ze vstupního pásma postupně přechází do taveniny vlivem ohřevu od stěn a účinkem disipované energie ve vznikající tavenině. Přitom bylo experimentálně zjištěno, že tuhé lože může být u čela profilu (*obr. 1 A*) nebo u hřbetu profilu (*obr. 1 B*), případně ve střední části profilu ze všech stran obklopené taveninou (*obr. 1 C*). [3]



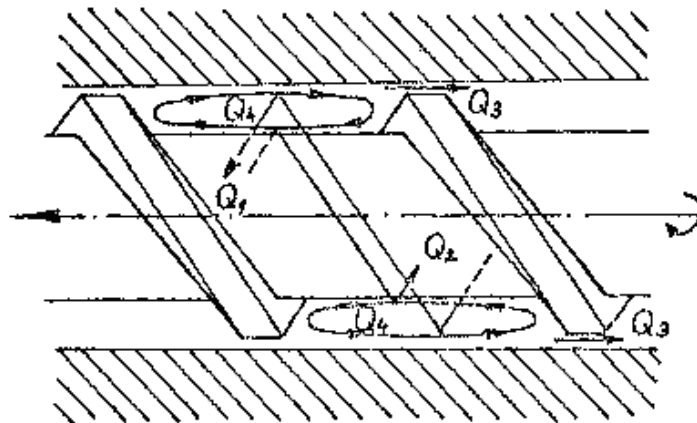
*Obr. 1. Možnosti rozdílného způsobu tavení materiálu. [3]*

Tavení hmoty většinou začíná na povrchu pouzdra, odkud je roztavená hmota stírána čelem profilu šneku a klouže nejprve po něm a posléze po další části profilu šneku (obr. 2). Do kruhového pohybu, tzv. příčného toku (obr. 3), je uváděno stále větší množství hmoty, až se granulát zcela roztaví. [4]



Obr. 2. Tavení polymeru v profilu šneku.

1 – čelo profilu, A – mělký profil, B- hluboký profil [4]



Obr. 3. Schématické znázornění toku.

$Q_1$  – výtláčný tok,  $Q_2$  – tlakový tok,  $Q_3$  – tok vůlí,  $Q_4$  – příčný tok [7]

### 1.1.3 Výstupní pásmo

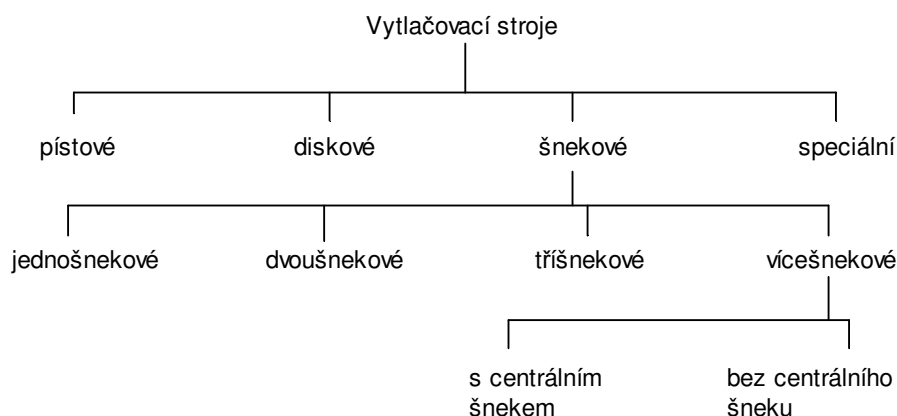
Výstupní pásmo je konečnou částí šneku a představuje úsek obsahující převážně taveninu. Tok taveniny v této zóně je uskutečňován působením sil viskózního tření, které vznikají jako následek vzájemného pohybu šneku a pouzdra. [4]

## 2 VYTLAČOVACÍ STROJ A JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY

Vytlačovací stroje kontinuální nebo diskontinuální jsou určeny k výrobě desek, fólií, tyčí, profilů, trubek a jiných výrobků z plastů nebo kaučukových směsí. [1]

### 2.1 Rozdělení vytlačovacích strojů

Vytlačovací stroje se rozdělují podle hlavního pracovního elementu na pístové, diskové, šnekové a speciální. Jiné dělení respektuje polohu osy pracovního elementu. Potom mohou být vytlačovací stroje horizontální nebo vertikální. V současné době se nejčastěji používají vytlačovací stroje šnekové. [2]



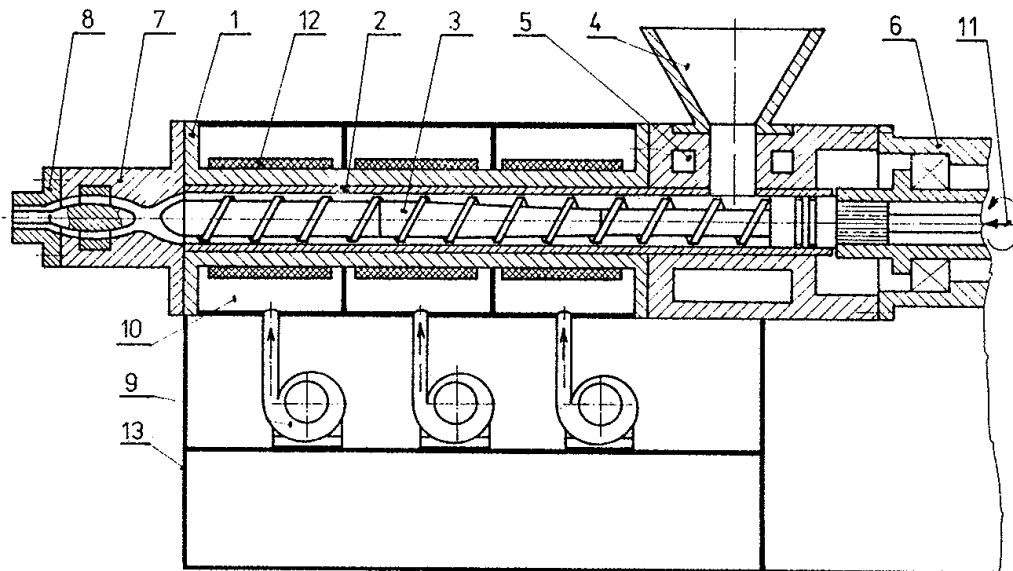
Obr. 4. Typy vytlačovacích strojů. [1]

#### 2.1.1 Šnekové

Šnekové vytlačovací stroje se vyrábějí v mnoha rozmanitých provedeních, která se od sebe mohou lišit různým provedením pracovní komory a šneku a vybavením. Kratší šneky byly používány u starších vytlačovacích strojů nebo vytlačovacích strojů pro kaučukovité směsi zásobované teplým materiálem. Delší šneky se používají u strojů pro zpracování plastů, např. s evakuační zónou. Podle konstrukce dál dělíme vytlačovací stroje na jednošnekové, dvoušnekové, tříšnekové a vícešnekové. [1]

Surovina vstupuje do vytlačovacího stroje násypkou opatřenou chladičnými kanálky. Šnek dopravuje hmotu do pracovního válce. Průchodem pracovním válcem se materiál mísí, hněte, homogenizuje a plastikuje. Teplo potřebné k plastikaci je dodáváno přeměnou mechanické energie i topnými pásy umístěnými na obvodu pracovního válce. Na

požadované hodnotě je teplota udržována taky chlazením vzduchem proudícím v chladicích kanálech. Vzduch dodávají ventilátory. Tavenina prochází dále vytlačovací hlavou a vytlačovací hubicí, kde získává tvar budoucího výrobku. [1]



Obr. 5. Jednošnekový vytlačovací stroj.

1 – pracovní válec, 2 – vložka pracovního válce, 3 – šnek, 4 – násypka, 5 – chladicí kanálky, 6 – ložisková skříň, 7 – vytlačovací hlava, 8 – vytlačovací hubice, 9 – chladicí ventilátor, 10 – chladicí kanály, 11 – přívod temperačního media, 12 – topné pásy, 13 – stojan [1]

## 2.2 Šnek

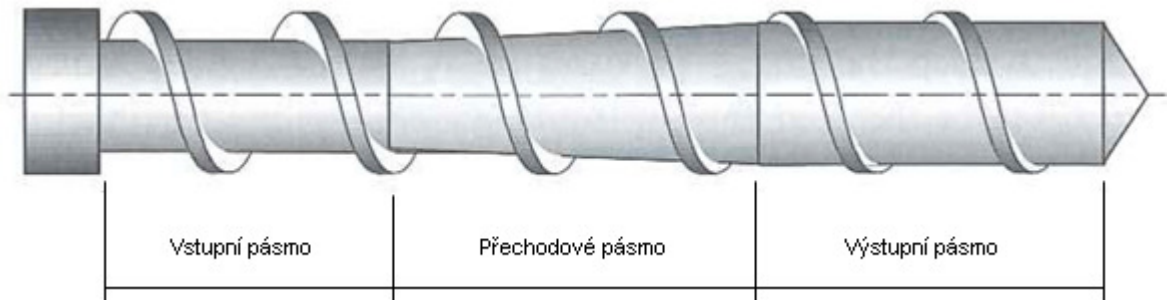
Šnek tvoří základní funkční prvek šnekového vytlačovacího stroje. Důležitou veličinou je kompresní poměr, který vyjadřuje poměr objemů šnekového profilu pro jedno stoupání ve dvou místech šneku – obvykle na konci šneku a pod násypkou. [1]

Velikost vytlačovacího stroje se určuje průměrem šneku  $D$  a jeho účinnou délkou  $L$ , která se obvykle vztahuje k průměru poměrem  $L/D$ . Pro zpracování termoplastů se používají většinou šneky s poměrem  $L/D = 20$  a vyšším. [20]

Šnek vstupující materiál dopravuje, homogenizuje a uvádí na potřebný tlak. Přitom může současně probíhat fázová změna (tavení). Ve směru od násypky začíná pásmo vstupní, ve kterém materiál vstupuje do šnekového profilu. Potom následuje pásmo přechodové, v němž materiál zpravidla přechází do taveniny. Poslední pásmo je výstupní. Ve výstupním



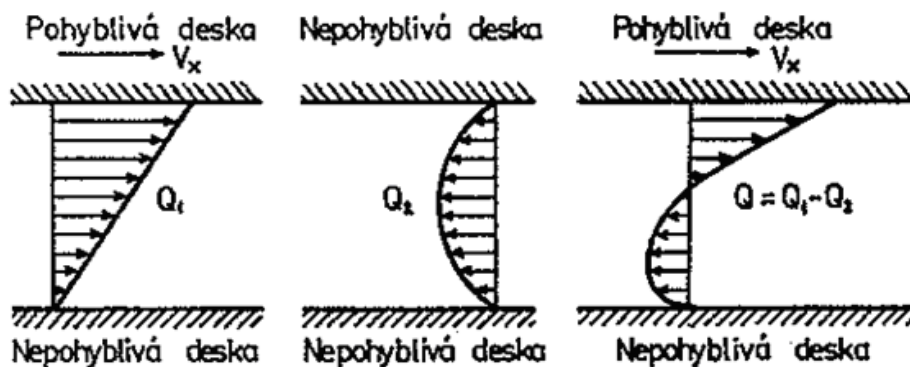
pásmu je obvykle materiál již ve viskózním stavu a dokončuje se homogenizace. Z výstupního pásma vystupuje materiál obvykle přes lamač se sadou sít do vytlačovací hlavy. Šnek může být jednoduchý a vícechodý. Pro speciální aplikace je šnek možné temperovat např. olejem. [3]



Obr. 6. Rozdělení pásem šneku. [13]

### 2.2.1 Objemový tok

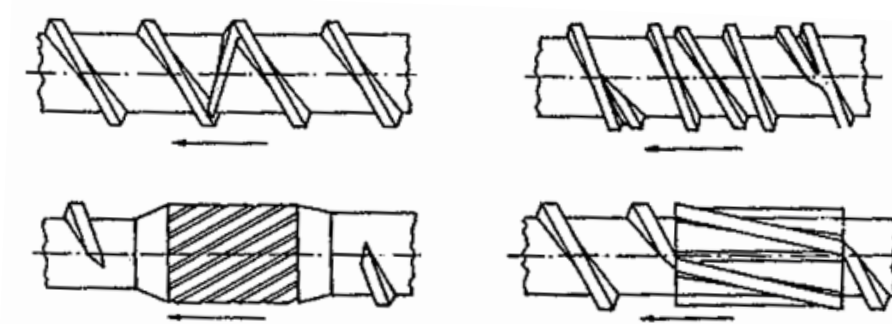
Pro porozumění objemového toku se předpokládá rozvinutí šnekového profilu do roviny. Jestliže se horní deska vzhledem k spodní desce posouvá, nastává u taveniny s dobrou adhezí ke stěnám smykové proudění – výtlačný tok  $Q_1$ . Proti tomuto toku v modelové představě úzkého profilu působí tlakový tok  $Q_2$ . Tlak, který jej vyvolává, je způsoben odporem hlavy na konci vytlačovací části proti výtlačnému toku. Rozdíl obou toků pak určuje skutečný objemový průtok  $Q$ . [4]



Obr. 7. Vznik objemového průtoku  $Q$  ve šnekovém profilu. [4]

### 2.2.2 Míchací elementy vytlačovacích šneků

V procesu vytlačování je podstatné vyvinout zcela homogenní taveninu, to platí zejména u jednošnekových vytlačovacích strojů. Značné zlepšení homogenity taveniny je vložení vhodného hnětacího elementu do plastikační části šneku, nebo použití tzv. odplyňovacího šneku. [4]



Obr. 8. Různé typy míchacích elementů. [4]

### 2.3 Plastikační komora

V pracovním válci se otáčí šnek. Je to tenkostěnný nebo tlustostěnný, prostý nebo vyvložkovaný válec. Po délce bývá rozdělen na jednotlivá pracovní a temperační pásma. Ve vstupním pracovním pásmu je umístěn násypný otvor s násypkou, který umožňuje zásobování stroje ve tvaru granulí, prášku, drtí apod. nebo ve tvaru pásku. Správné provedení násypného otvoru zabezpečuje plynulé zaplňování pracovního válce. Zvláště pečlivě musí být plnicí otvor řešen pro zásobování páskem. Může být ohříván vodní parou nebo je opatřen topnými tělesy a má vytvořeny chladicí kanály, kterými proudí studený vzduch a odvádí přebytečné teplo. Topením a ochlazováním je udržována teplota na požadované hodnotě. Teplota ve vstupním pásmu se požaduje zpravidla nízká, aby se materiál nezačal předčasně natavovat. Chlazení vstupního pásma umožňuje nejen zásobování šneku, ale též zabraňuje přehřívání ložisek přestupem tepla z pracovního válce. Teplotní čidla bývají obvykle zabudována do stěny pracovního válce. [1]

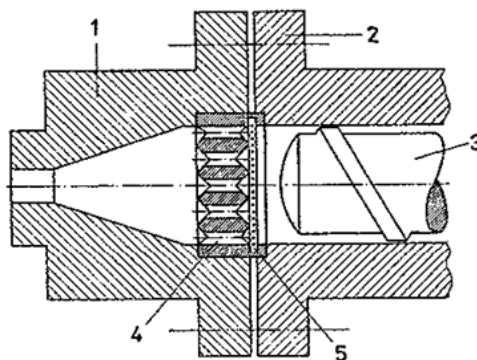
### 2.4 Pohon šneku

Pro pohon – otáčení šneku se zpravidla používají elektrické motory. Na druhém konci šneku směrem od lamače je šnek instalován do převodovky, která redukuje vysoké otáčky

elektrického motoru. Motor může být spojen s převodovkou pomocí klínových řemenů nebo pružným elementem, který zapadá do uložení ozubeného kola v převodovce. [13]

## 2.5 Lamač a sítko

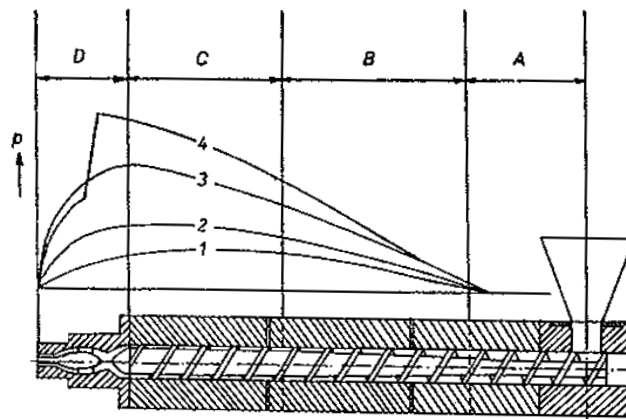
Lamač je umístěn mezi plastikační komorou a vytlačovací hlavou. Lamač má daný  $n$  počet otvorů o velikosti 3 až 8 mm. K hlavním funkcím lamače patří: dokončit poslední stupeň plastikace – hnětení taveniny, možnost uchycení filtračních tkanin – sít, zabezpečit správný tok taveniny, spolu se sítou regulovat tlak v plastikační komoře a zachycení nečistot.



Obr. 9. Umístění lamače ve vytlačovacím stroji.

1 – hlava, 2 – plastikační komora, 3 – šnek, 4 – lamač,

5 – sítko [4]



Obr. 10. Průběh tlaku ve šnekovém vytlačovacím stroji.

1 – hlava s nepatrným odporem, 2,3 – hlavy s postupně stoupajícím odporem, 4 – hlava se zvýšeným odporem pomocí lamače, A – vstupní zóna, B – přechodová zóna, C – výstupní zóna, D – zóna hlavy [4]

## 2.6 Vytlačovací hlava

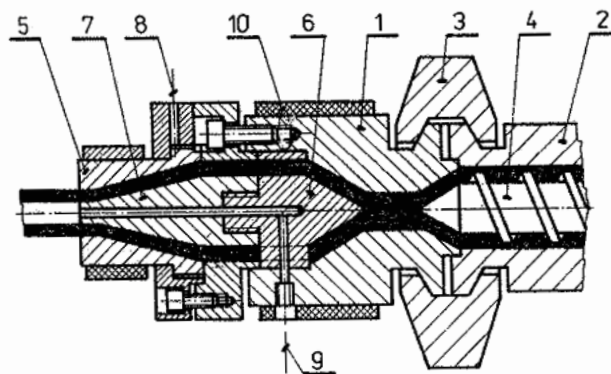
Hlava je část stroje, v níž materiál dopravovaný šnekem získává definitivní tvar. Hlava musí mít takový profil, aby zaručovala pravidelný a trvalý tok materiálu. Nesmí v ní existovat mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívanou stěnou hlavy, až by degradoval. [4]

Hlava bývá připojena k pouzdru šnekového vytlačovacího stroje několika způsoby. Mimo nejjednodušší způsob, kdy bývá zašroubována do konce pouzdra, se pro větší stroje používá bajonetové, objímkové nebo přírubové chycení sklápěcími šrouby. Mezi konec šneku a hlavu bývá vkládán lamač. [4]

Speciálním případem vytlačovací hlavy je hlava pro více různorodých materiálů o daném počtu  $n$  v průběhu stejného času. Tato technologie vytlačování se nazývá koextruze.

### 2.6.1 Hlavy přímé

Hlavy pro vytlačování profilů jsou většinou náročné na konstrukci. Je třeba zaručit nerušené proudění taveniny bez náhlých změn průřezu kanálu a bez mrtvých prostorů. Důležité je, aby hubice i trn byly dostatečně dlouhé a umožnily relaxaci napětí v tavenině. Přes četné snahy teoreticky spočítat konstrukci hlavy pro komplikované profily zůstává i nadále konstrukce i výroba hlavy především záležitostí zkušenosti. [4]

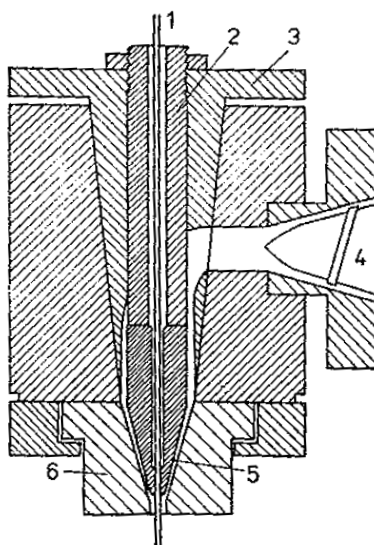


Obr. 11. Přímá vytlačovací hlava na trubky.

1 – těleso vytlačovací hlavy, 2 – pracovní válec, 3 – objímka, 4 – šnek, 5 – vytlačovací hubice, 6 – rozdělovač, 7 – trn, 8 – seřizovací šrouby, 9 – přívod vzduchu, 10 – topení [1]

### 2.6.2 Hlavy nepřímé

Nepřímé hlavy se používají především pro opláštění vodičů, kabelů či profilu. Mají různý úhel odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje. U příčných hlav je tento úhel  $90^\circ$ , u šikmých hlav je menší ( $30$  až  $60^\circ$ ). Je přirozené, že se zvětšujícím se úhlem odklonu od osy šnekového vytlačovacího stroje stoupají tokové potíže, které vyvolává nerovnoměrný tok taveniny plastu v dutině hlavy. Velmi složitým a technicky náročným problémem je řešení hlav určených pro vyfukování fólií. [4]



Obr. 12. Hlava pro opláštění vodičů.

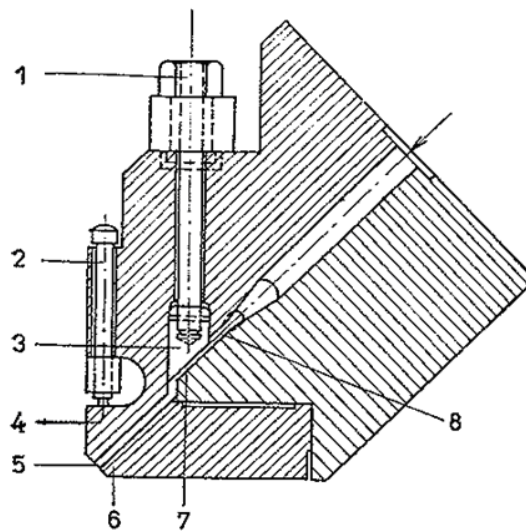
1 – vodič, 2 – vodící jádro trnu, 3 – držák trnu, 4 – šnek, 5 – špička trnu, 6 – hubice

[4]

### 2.6.3 Širokoštěrbinové hlavy

Hmota je v celé šíři štěrbině rozváděna přímým rozvodným kanálem. Tok hmoty je regulován ohebným brzdícím můstkem a stavěcími šrouby tak, že odpor toku je zvýšen přiškrcením střední části hlavy proti okrajovým částem. Tím je vynucen rovnoměrný výstup hmoty po celé šíři štěrbině. Konečná úprava v malém rozsahu se děje nastavením tvářecí lišty rovněž pomocí šroubů. [4]

Pro vytlačování fólií se používají hlavy, které mají rovněž příčný rozvodný kanál. Vytlačují se jimi fólie o tloušťce  $0,3$  až  $0,5$  mm s přídavkem na okraji  $0,05$  až  $0,1$  mm, přičemž konečná tloušťka fólie se reguluje rychlostí odtahu. [4]



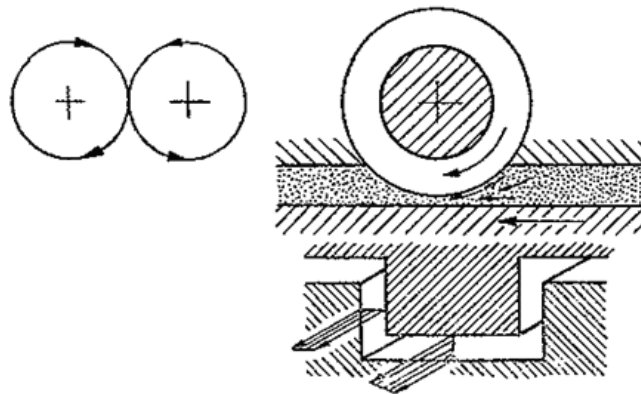
Obr. 13. Hlava pro vytlačování fólií.

1 – stavěcí šroub, 2 – stavěcí šroub horní ohebné lišty,  
 3 – ohebný brzdový můstek, 4 – horní ohebná lišta, 5 –  
 výtokový kanál, 6 – dolní lišta, 7 – brzdová oblast, 8 –  
 vyrovnávací oblast [4]

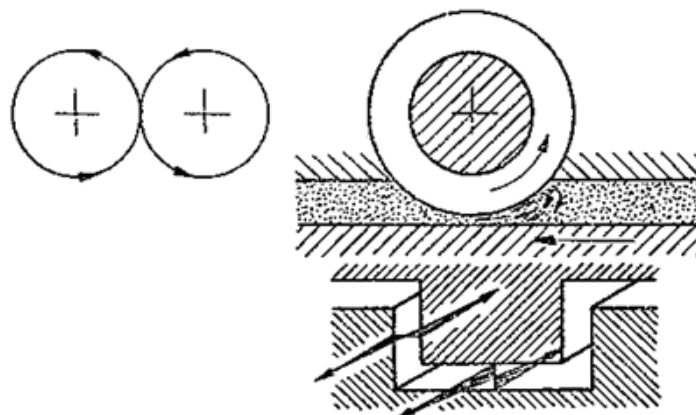
## 2.7 Dvoušnekové vytlačovací stroje

Dvoušnekové vytlačovací stroje jsou technicky náročnější než vytlačovací stroje jednošnekové. Zatímco dopravní účinek jednošnekového vytlačovacího stroje je vyvolán alespoň zpočátku rozdílnými adhezními silami hmoty ke stěně pouzdra a k povrchu šneku, dopravují dvoušnekové vytlačovací stroje materiál nuceně.

Hnětací a míchací účinek dvoušnekového vytlačovacího stroje závisí na směru otáčení šneků a na vůli mezi závitem jednoho šneku a profilem druhého šneku. Podle směru otáčení je rozdělujeme na dvoušnekové vytlačovací stroje se souhlasným směrem otáčení a s otáčením šneků proti sobě. Stroje, jejichž dva šneky se otáčejí proti sobě, mají menší hnětací účinnost než stroje se stejnoběžnými šneky. Vytlačovaný materiál je hněten především při průchodu vůlí mezi závitem jednoho šneku a profilem druhého šneku. [4]



Obr. 14. Souhlasný smysl otáčení šneků. [4]



Obr. 15. Nesouhlasný smysl otáčení šneků. [4]

Pomaloběžné dvoušnekové vytlačovací stroje s protiběžnými šneky jsou pro svou dobrou dopravní účinnost a pro účinné vyvolání tlaku většinou používány pro vytlačování výrobků z tvrdého PVC, zatímco stroje se stejným směrem otáčení šneků slouží většinou k přípravě směsí v operacích přípravného zpracování. Nevýhodou dvoušnekových vytlačovacích strojů oproti jednošnekovým strojům je jejich cena a větší konstrukční náročnost. [4]



### 3 VYTLAČOVACÍ LINKA A JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY

Vytlačovací stroj bývá většinou součástí výrobní vytlačovací linky. Každá vytlačovací linka má své specifické technologické uspořádání dle vyráběného typu výrobku (hadičky, profily, fólie, trubky, atd.) pro danou vytlačovací linku. Obecně vytlačovací linka obsahuje tato základní strojní zařízení: vytlačovací stroj, kalibrační, chladicí, měřicí, řezací, paletovací zařízení. [20]

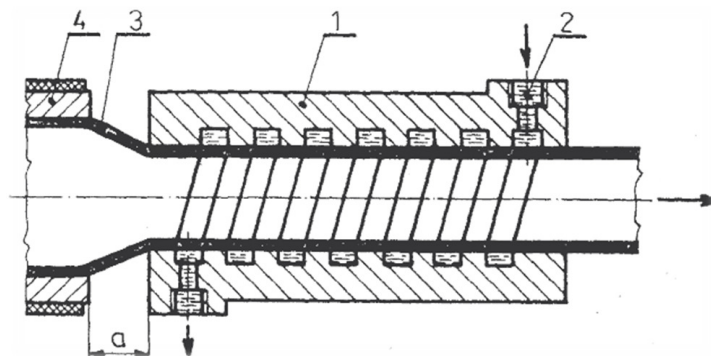
#### 3.1 Kalibrační zařízení

Účelem kalibračního zařízení je ochladit vytlačovaný profil tak, aby byl zafixován požadovaný stabilní tvar a rozměr. [7]

Trubky opouštějí hubici v plastickém stavu a nejsou tvarově stabilní. Musí se proto chladit, aby si uchovaly svůj tvar a zároveň měly po ochlazení předepsané rozměry. Tyto požadavky zajišťuje kalibrační ústrojí umístěné za hubicí vytlačovacího stroje. Kalibrační ústrojí může být průvlakové, přetlakové a podtlakové. [9]

##### 3.1.1 Průvlaková kalibrace

Pouzdro průvlakového kalibračního ústrojí je opatřeno šroubovou drážkou. Trubka procházející pouzdem vytvoří šroubovitý kanál, kterým protéká protiproudá chladicí voda. Ochlazení povrchu trubky je natolik intenzivní, že si zachová svůj tvar a rozměr daný kalibračním pouzdem. Průvlaková kalibrace není vhodná pro tenkostěnné trubky. [1]



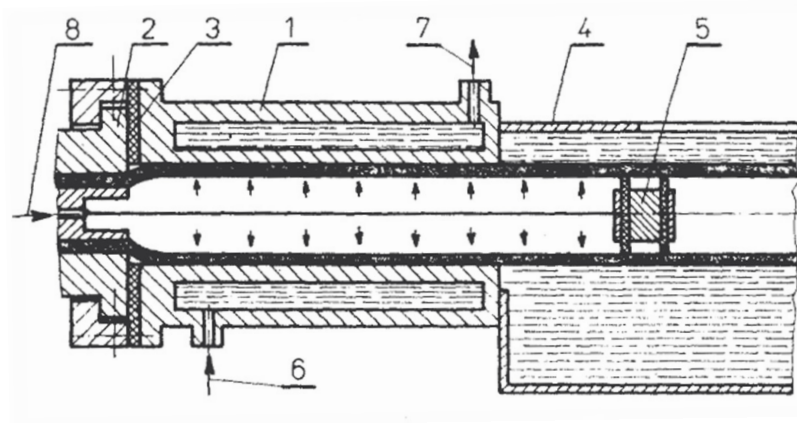
Obr. 16. Průvlaková kalibrace.

1 – kalibrovací pouzdro, 2 – chladicí voda, 3 – kalibrační trubka, 4 – vytlačovací hubice [1]



### 3.1.2 Přetlaková kalibrace

Přetlakové kalibrační ústrojí pracuje s přetlakem vzduchu uvnitř trubky, který přitlačí trubku ke stěnám kalibračního pouzdra. Vzduch se přivádí do trubky přes vytlačovací trn. Pouzdro je chlazeno vodou. Zátka umístěná uvnitř je zavěšena na lanku nebo řetízku. Umožňuje malý průnik tlakového vzduchu, čímž se docílí chlazení trubky i zevnitř. Tento způsob kalibrace je vhodný pro trubky i duté profily. [1]

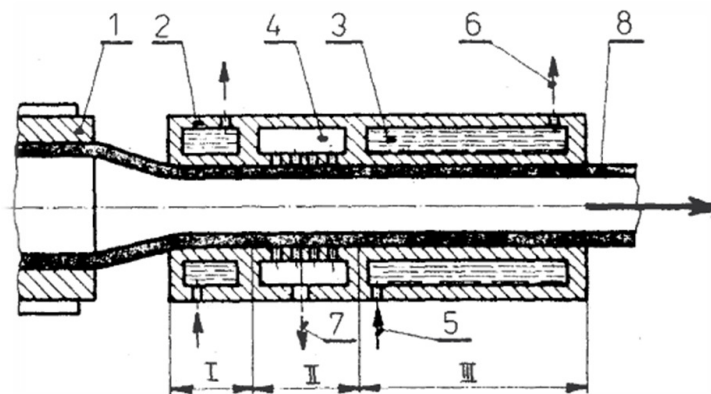


Obr. 17. Přetlaková kalibrace.

1 – kalibrovací pouzdro, 2 – vytlačovací hubice, 3 – tepelná izolace, 4 – chladicí vana, 5 – zátka, 6, 7 – přívod, odvod chladicí vody, 8 – přívod tlakového vzduchu [1]

### 3.1.3 Podtlaková kalibrace

Kalibrační pouzdro je rozděleno do tří pásem, z nichž obě krajní jsou chlazena vodou protékající chladicími komorami. Střední pásmo je napojeno na podtlak. V důsledku rozdílu tlaků nad a pod stěnou dolehne trubka na chladné stěny a přiměřeně se chladí. Tento způsob kalibrace je vhodný pro členité duté profily. [1]



Obr. 18. Podtlaková kalibrace.

1 – vytlačovací hlava, 2 – kalibrační pouzdro, 3 – chladicí komora, 4 – podtlaková komora, 5 – přívod, odvod chladicí vody, 6 – odsávání, 7 – trubka [1]

### 3.2 Chladicí vana

Kalibrační zařízení se obvykle doplňuje o chladicí vany, ve kterých se výrobek dochlazuje na takovou teplotu, aby nedocházelo k jeho nevratným deformacím v dalších zařízeních vytlačovací linky. Chlazení se provádí buď ponorem profilu ve vodě, nebo sprchováním jako v kalibrační komoře. Dnes se chladicí vany vyrábí v určitém délkovém modulu (podle výrobce) a do linky se jich zařazuje tolik, kolik výrobek vyžaduje nebo se chladicí voda ochlazuje (nejlépe v uzavřeném okruhu), není-li dostatek prostoru za vytlačovacím strojem.[7]

### 3.3 Odtahovací zařízení

Rychlost posuvu vytlačovaného profilu se nastavuje a reguluje odtahem, který k odtahování používá řetězy, kotouče, pásy, článkové pásy nebo pásy ve tvaru vytlačovaného výrobku. [7]

### 3.4 Měřicí zařízení

Z měřicích přístrojů se většinou linka osazuje délkoměrem (mechanickým nebo elektronickým), který slouží i k ovládní dělicího zařízení. U linek na výrobu trubek se v stále větší míře začínají používat přístroje na měření průměru a tloušťky stěny. Tyto přístroje pracují většinou na principu ultrazvuku nebo Roentgenova záření. Pro měření

pouze vnějších rozměrů se používají optické nebo laserové přístroje. Tyto přístroje lze využít i pro detekci vad výrobku, ale především slouží jako zpětná vazba pro ovládací jednotku výrobní linky. [7]

### **3.5 Řezací, značicí a paletovací zařízení**

Dělicí ústrojí bývá řešeno buď kotoučovou pilou, nebo sekáním tvarovaným nožem. Tvar nože závisí na tom, zda je jeho pohyb posuvný nebo rotační. Dělicí zařízení s kotoučovou pilou rozlišujeme podle uspořádání na ústrojí s pilou výkyvnou nebo planetovou. U obou typů dělicích ústrojí se pro dělení větších profilů zabezpečuje pohyb dělicího nástroje souhlasně s pohybem profilu, a to obvykle pomocí pneumatických upínek, kterými se zachytí vozíček k profilu. Pohyblivý dělicí nástroj není nutný pro dělení malých profilů. [7]

Značicí zařízení se používají pro označování výrobku kvůli identifikaci. Používají se přístroje typu ink-jet, vytápěné kolečko, tisk přes pásku aj. Z manipulačních zařízení má každá profilová linka buď vyklápěcí žlab s ukládacím ústrojím, nebo navíjecí stroj. [7]

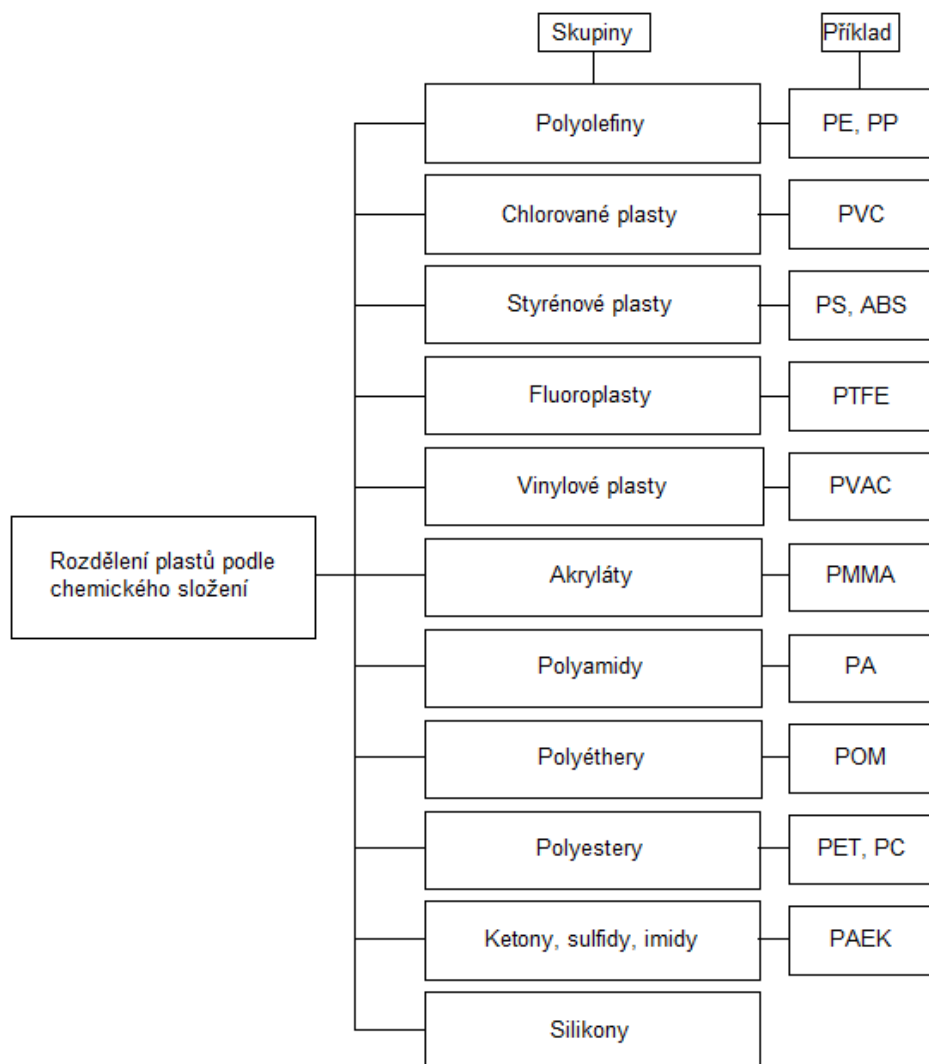
## 4 PLASTY

Odhaduje se, že plasty dnes vyrábí na celém světě více než tisíc výrobců. Sortiment je obrovský, různých druhů plastů je mnoho desítek, možná stovek tisíc. Aby se usnadnila orientace v tomto nepřehledném množství, je důležité rozdělit plasty do skupin. [7]

### 4.1 Rozdělení plastů

Polymery mají svůj chemický název, který se utváří podle zásad chemického názvosloví. Protože se většinou jedná o dlouhé a špatně vyslovitelné výrazy, zavedlo se místo nich krácené označování, zkratky. Zkratky se píšou velkými písmeny, např. PE, PP, ABS. [7]

Plasty mohou být klasifikovány několika způsoby, ale nejčastěji se dělí podle použitého monomeru. [21]



Obr. 19. Rozdělení plastů. [7]

### 4.1.1 Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutonských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní plasty). [12]

Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je PE, PP, PVC, PA. [12]

### 4.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. [12]

Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty. Patří sem epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty. [12]

### 4.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. [12]

## 4.2 Přísady do plastů

Pojem přísady zahrnuje látky, které jsou dispergovány v polymerní matici a zásadním způsobem ovlivňují molekulární nebo chemickou strukturu polymeru, a tím i jeho chování při zpracovatelském procesu a výsledné vlastnosti výrobků. [4]

#### 4.2.1 Změkčovadla

Principem působení změkčovadel v plastech je v podstatě zvětšení vnitřní pohyblivosti makromolekul; malá pohyblivost makromolekul některých polymerů je totiž příčinou tuhosti materiálu a vysoké teploty zesklnění. [4]

#### 4.2.2 Maziva

V principu je účinek maziv založen na tom, že maziva zabraňují lepení zpracovávané směsi na kovové součásti zpracovatelského zařízení vytvořením mazivové mezivrstvy. [4]

#### 4.2.3 Plniva

Plniva jsou přísady, kterými se upravují vlastnosti materiálu (mechanické vlastnosti, povrchový vzhled výrobků, tokové vlastnosti taveniny atd.). Plniva se používají především pro kaučuky a v některých případech i pro termoplasty. [4]

#### 4.2.4 Pigmenty

Barvení plastů je nezbytnou součástí jejich zpracovatelské technologie. Z těchto důvodů není použití barviv a pigmentů pro plasty již jen otázkou praktické ochrany polymerů před různými vlivy (např. před světlem), ale neustále více vystupuje do popředí i estetický vzhled výrobků, což vyžaduje dokonalé zvládnutí vybarvovacího pochodu. [4]

#### 4.2.5 Nadouvadla

Chemická nadouvadla jsou organické nebo anorganické látky, které se působením tepla rozkládají za vývinu plynu. Charakteristickou vlastností je teplota, při které dochází k uvolňování plynu. Ta určuje použitelnost nadouvadla pro daný plast a podmínky pro další zpracování. [4]

#### 4.2.6 Světelné stabilizátory

Světelné stabilizátory jsou látky, které chrání polymery před fotooxidačním odbouráváním. Mechanismus jejich účinku je natolik složitý a odlišný pro různé typy látek, že je nelze podle něho přesně charakterizovat. [4]

#### 4.2.7 Tepelné stabilizátory

Tepelné stabilizátory jsou látky umožňující tvarování za tepla a tváření plastů, jejichž teploty měknutí, tečení, případně tání a rozkladu leží v úzkém rozmezí. Patří k nim především homopolymery a kopolymery vinylchloridu. [7]

#### 4.2.8 Separační činidla

Používají se k usnadnění vyjímání výrobků (výlisků, výstřiků, laminátů aj.) z forem a mnohdy tak přispívají ke zvýšení produktivity tvářecího zařízení. [7]

#### 4.2.9 Antioxidanty

Vzdušný kyslík způsobuje degradaci plastů. Za běžné teploty se toto tzv. oxidační stárnutí projeví až po velmi dlouhé době, např. po deseti a více letech. Za zvýšené teploty se však významně zrychluje a mluvíme o tzv. tepelně-oxidačním stárnutí. [7]

## 5 POLYVINYLCHLORID (PVC)

PVC je typický amorfní plast, který na rozdíl od semikrystalických plastů (PE, PP) nemá výrazný bod tání. Nad 80 °C však měkne a dalším zvyšováním teploty se mění na viskózní hmotu, plastikuje. V tomto stavu je možné PVC zpracovávat. [7]

### 5.1 Vlastnosti PVC

Chemicky je polyvinylchlorid odolný především vůči neoxidujícím kyselinám, dobře však odolává i zásadám. Jeho odolnost pochopitelně klesá se vzrůstajícím stupněm změkčení polymeru a zvyšující se teplotou. Za běžné teploty pohltí neměkčený polyvinylchlorid asi 1% vlhkosti. Absorpce vody, vzrůstající s obsahem změkčovadla, se projevuje mléčným zakalením výrobků. Velmi dobře se rozpouští v tetrahydrofuranu a cyklohexanonu. [5]

Tab. 1. Vlastnosti PVC materiálu. [7]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
<b>Fyzikální vlastnosti</b>		
Hustota	1,35	g/cm <sup>3</sup>
Teplota zpracování	150-210	°C
Teplota skelného přechodu	81	°C
<b>Mechanické vlastnosti</b>		
Pevnost v tahu	14-80	Mpa
Pevnost na mez kluzu	17-52	Mpa
Tažnost	3-120	%
Tvrdość - Vickers	10,6-15,6	HV
Tvrdość - Rockwell	79-113	R
Teplota použití, maximální krátkodobá	75-100	°C
Teplota použití, maximální trvalá	65-85	°C
Teplota použití, minimální trvalá	-5	°C

Nevýhodou PVC je uvolňování chlorovodíku při působení žáru, což způsobuje korozi nejen železobetonu, ale i nákladných přístrojů a zařízení v budovách. Dalším důvodem je nízká teplota  $T_g$ , která znemožňuje použití tvrdého PVC nad 60 °C. [11]



## 5.2 Základní rozdělení PVC

Polyvinylchlorid se zpracovává buď bez změkčovadel, pouze se stabilizátory, mazivy a modifikátory na tvrdé výrobky (trubky, profily, desky apod.), nebo se změkčovadly na výrobky polotuhé až elastické (fólie, nádoby, hračky, ochranné rukavice atd.). [5]

### 5.2.1 Tvrký typ PVC

Bez změkčovadel nebo maximálně do 5 % změkčovadel je PVC tvrdý plast. Tvrký PVC je materiál s vynikající odolností vůči úderu, která klesá s klesající molární hmotností, a zhoršuje se snižováním teploty. Proto se k PVC běžně přidávají modifikátory houževnatosti. [7]

### 5.2.2 Měkčený typ PVC

Změkčováním polyvinylchloridu přísadou změkčovadel k polyvinylchloridu se snižuje teplota měknutí, zmenšuje křehkost a pevnost v tahu a zvětšuje průtažnost. [6]

Změkčovadla se přidávají v množství 5 až 50 %, a tím se u výrobků z těchto směsí dosahuje polotuhého až měkkého, elastického charakteru. Změkčovadla musí být pokud možno netěkavé kapaliny s vysokým bodem varu, dostatečně stálá a s velkou účinností. Mají být nejedovatá a mrazuvzdorná. Změkčovadla dělíme na primární a sekundární. [6]

Primární změkčovadla mají schopnost rozpouštět a želatinovat, což znamená, že jednak polymer rozpouštějí, jednak mají možnost jej nabobtnat a vytvořit gel. Sekundární změkčovadla jsou jen částečnými rozpouštědly polymerů a nevytvářejí s polyvinylchloridem gel. [6]

## 5.3 Použití PVC ve zdravotnictví

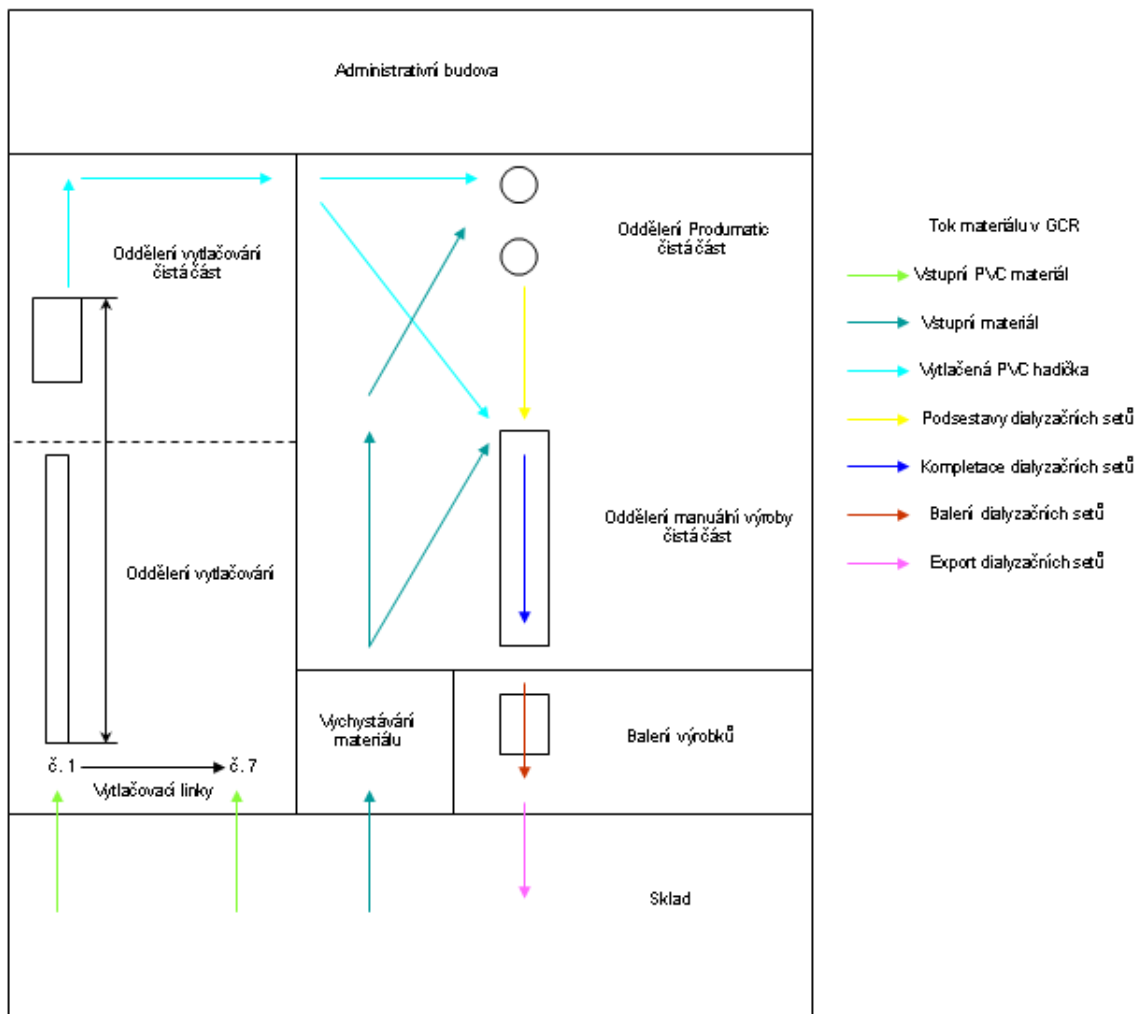
Z hlediska druhové skladby spotřeby připadá 80 % na standardní plasty, tj. polyvinylchlorid (PVC), polyethylen (PE-HD a PE-LD), polypropylen (PP) a polystyren (PS). [7]

Základní aplikace představují hadičky, sáčky, komponenty pro jednorázové použití, tkaniny a netkané textilie. PVC kombinuje některé přednosti polyolefinů a styrenových plastů. Konkrétně jde o čírost, lesk a schopnost tváření fólií. [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 FIRMA GAMBRO CZECH REPUBLIC

Gambro Czech Republic (GCR) je celosvětově působící švédsko-americká firma v oblasti zdravotnického průmyslu. Ve výrobním závodě v Přerově se firma specializuje na výrobu dialyzačních souprav ve třech výrobních divizích. Výroba a kompletace těchto setů se uskutečňuje v čistých prostorech dle normy ISO 8 z důvodu zaručení vysokých standardů při produkci zdravotnických pomůcek.



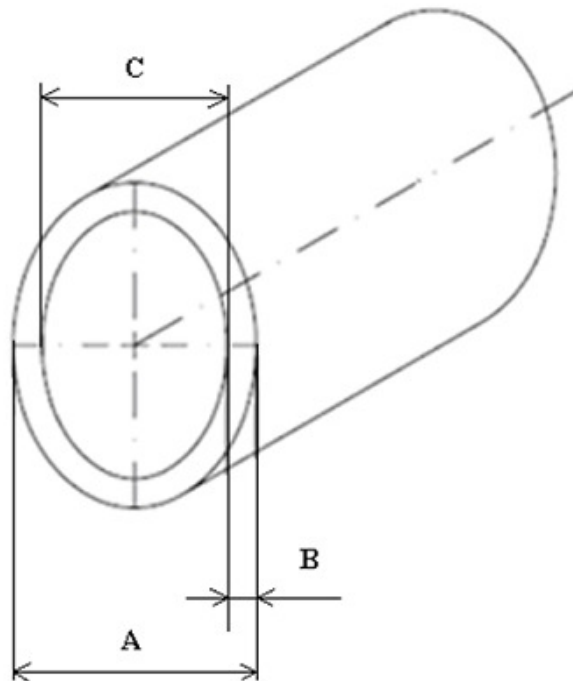
Obr. 20. Výroba dialyzačních setů v GCR.

## 7 DEFINICE VÝROBKU

Z hlediska kvantitativních požadavků výroby se nejvíce vyrábí hadička 4,3 x 6,8. Označení PVC hadičky údajem 4,3 x 6,8 je dáno oficiálním názvem používaným v GCR. Celkem 2,4 vytlačovací linky vyrábí tuto hadičku v nepřetržitém provozu v průběhu 48 týdnů v roce. Tato hadička je nejvíce obsažena v dialyzačním setu. PVC hadička 4,3 x 6,8 je vyráběna na vytlačovacích linkách č. 4, 5, 6. Jedná se o vytlačovací linky o průměru šneku 90 mm.

### 7.1 Definice PVC hadičky 4,3 x 6,8

V průběhu výroby hadičky 4,3 x 6,8 musí hadička splňovat rozměrové, ale i vizuální požadavky.



Obr. 21. Výkres PVC hadičky.

Tab. 2. Rozměrová charakteristika PVC hadičky.

Pozice	Hodnoty [mm]		
	nominální	minimální	maximální
A	6,9	6,7	7,1
B	1,25	1,2	1,3
C	4,4	4,1	4,7

Tab. 3. Vizualní požadavky PVC hadičky.

Vizuální požadavek kvality	Zabezpečení požadavku kvality
čirý povrch	zvýšení teploty, rychlosti linky
povrch nesmí mít propady, výstupky	snížení tlaku ve válci
max.20 ks gelů* na 1 metr hadičky	zvýšení teploty, zvýšení tlaku ve válci, kvalita vstupního PVC materiálu
bez podélných rýh	vyleštěný povrch nástrojů, nedegradovaný PVC materiál kolem trnu a hubice
bez příčných rýh	správná manipulace s PVC hadičkou, správný průchod chladicí vanou
bez mechanického poškození	sražení a ožehlení ostrých hran vytlačovací linky, vyleštěný povrch nástrojů
nesmí obsahovat degradované kousky PVC	snížení teploty, rychlosti linky, tlaku ve válci

### 7.1.1 PVC materiál FG1

Hadička 4,3 x 6,8 je vyráběna z měkčeného PVC materiálu FG1. Materiál FG1 je dovážen do GCR ve formě granulátu v papírovém boxu o kapacitě 500 kg.

Tab. 4. Vlastnosti PVC materiálu FG1.

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
tvrdost	75 ± 2	Shore A
tekutost	0,6 ± 0,05	g/ml
tepelná stabilita	žloutnutí > 30	min
	černé tečky > 50	
index toku taveniny	85 ± 25%	g/10min

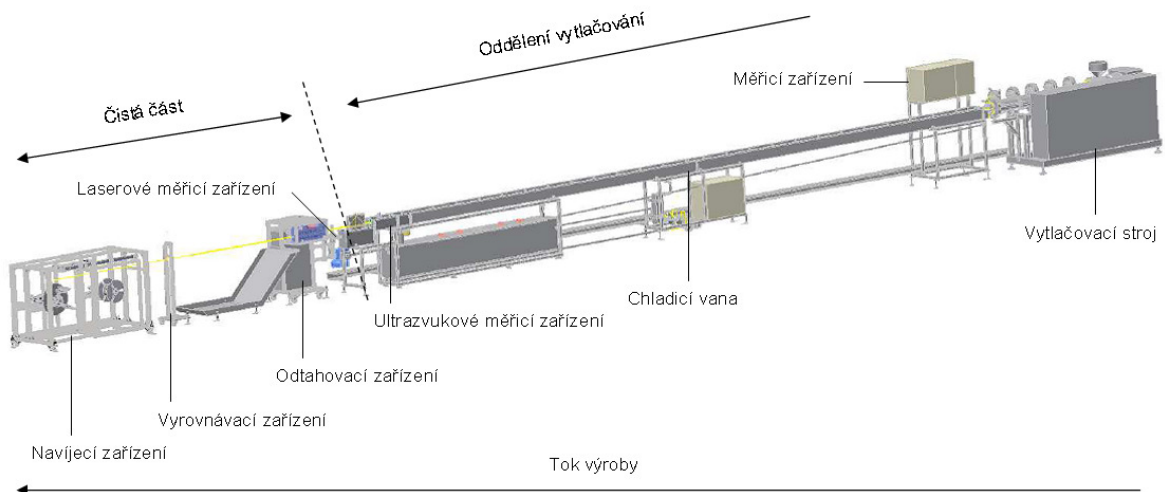
\*Gely jsou vizuální defekty způsobené rozdíly refrakčních bodů v PVC hadičce. Gely jsou také nazývány „rybími oky“.

## 8 VYTLAČOVACÍ LINKY V GCR

Ve firmě GCR je nainstalováno sedm vytláčovacích linek. Všechny linky jsou konfiguračně stejné kromě linky č.1, která se liší pouze ve velikosti průměru šneku. Linka č. 1 má průměr šneku 75 mm a ostatní linky mají průměry šneků 90 mm. Vytlačovací linka se skládá z těchto základních jednotlivých komponentů: vytláčovací stroj, chladicí vana, odtahovací zařízení, vyrovnávací zařízení, navijecí zařízení, měřicí zařízení a zařízení pro manipulaci s namotanými cívkami. Mezi koncem chladicí vany a začátkem odtahovacího zařízení je umístěna stěna, která odděluje čistý prostor od prostoru extruzních linek.



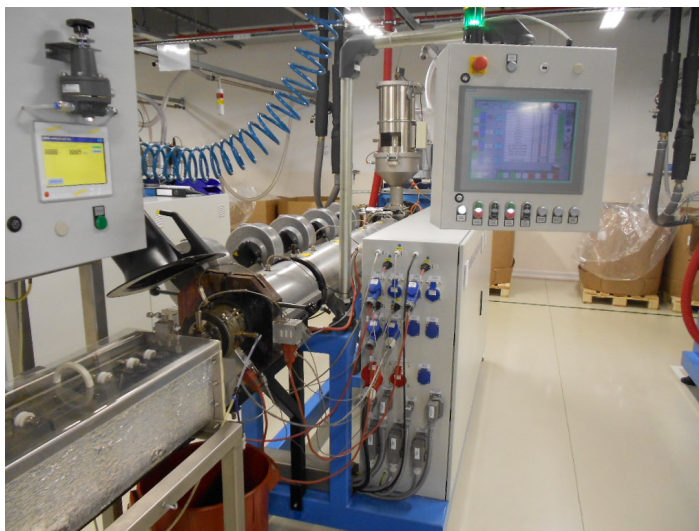
Obr. 22. Vytlačovací linky v GCR.



Obr. 23. Vytlačovací linka v GCR.

## 8.1 Vytlačovací stroj

Kompletní technologie vytlačování byla dodána německou firmou Akma. Vytlačovací stroj je jednošnekový a propojený s měřicím zařízením, odtahovacím zařízením a systémem vnitřního vzduchu hadičky. Veškeré procesní parametry jako např. rychlost odtahu a teplota taveniny jsou zapisovány a uchovávány na externím paměťovém disku. Ukládání dat se provádí automaticky každou 1 s.



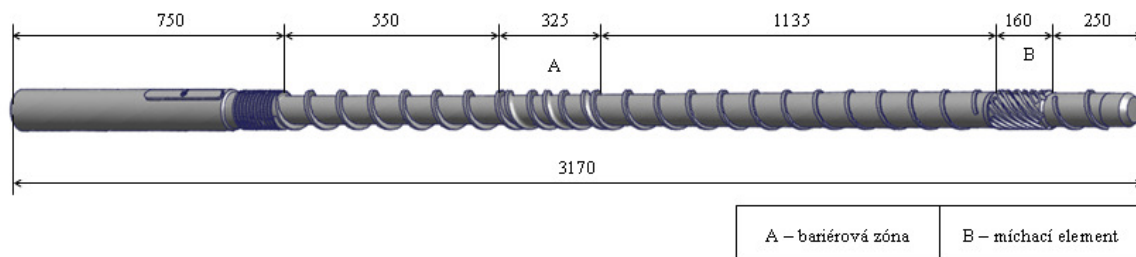
Obr. 24. Vytlačovací stroj.

Tab. 5. Technická charakteristika vytlačovacího stroje.

Technická charakteristika vytlačovacího stroje	Hodnota	Jednotky
výkon elektromotoru	45	kW
průměr šneku	90	mm
délka šneku L/D	26	D
otáčky šneku	0,1 - 77	ot./min
teplotní zóny plastikačního válce	9	-
nastavitelná teplota topné zóny	0 - 250	°C
vytlačovací výkon maximální	220	kg/hod
teplota chladicí vody krmící zóny	10	°C
hodnota vnitřního vzduchu hadičky	4 - 160	mbar
systém řízení: Siemens Simatic		
sériové označení: 90 - 26 - D - AC		

### 8.1.1 Šnek

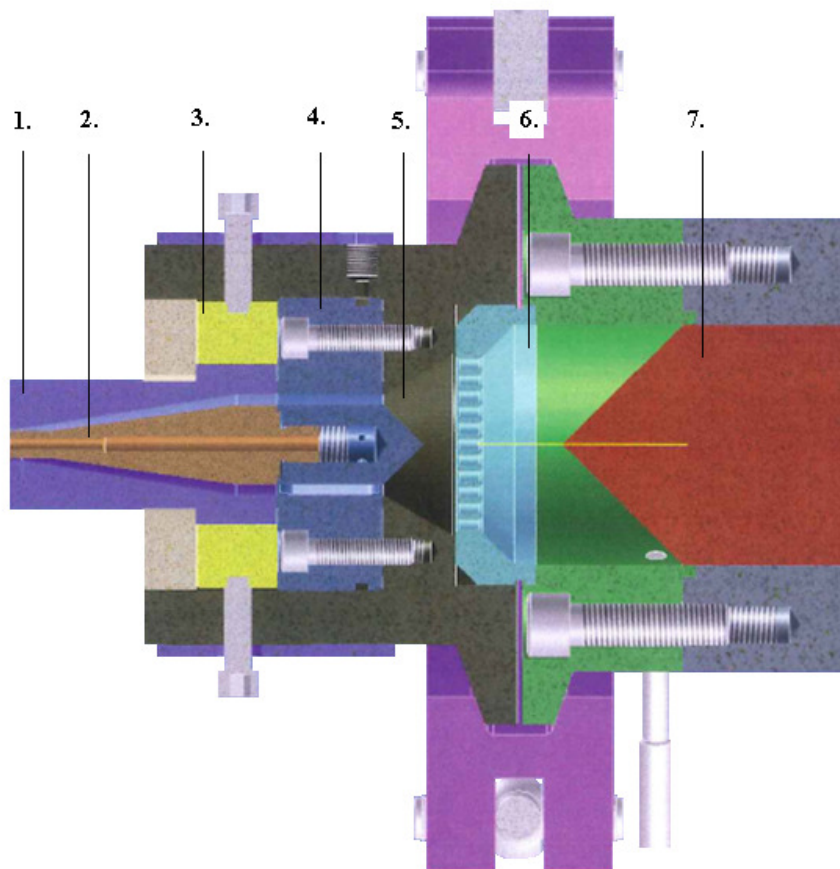
Šnek je vyroben z materiálu dle normy DIN 1.8550. Šnek má tvrdochromovou povrchovou úpravu a jeho délka je 26 D. Do jádra šneku není přivedeno žádné temperační médium.



Obr. 25. Šnek.

### 8.1.2 Vytlačovací hlava

Vytlačovací hlava je přímá. V trnu je vyvrtán otvor o průměru 2 mm pro vnitřní vzduch. Koncentricita hubice se seřizuje čtyřmi pevnostními imbusovými šrouby M10.



Obr. 26. Vytlačovací hlava.



Tab. 6. Konfigurace vytlačovací hlavy.

Pozice	Popis
1.	hubice
2.	trn
3.	seřizovací kroužek
4.	rozdělovač
5.	toková vložka
6.	lamač
7.	šnek

## 8.2 Chladicí vana

Chladicí médium PVC hadičky se vyrábí ve stanici pro výrobu demivody, která je umístěna na extruzním oddělení, odkud je přiváděna do jednotlivých chladicích lázní. Chladicí lázeň je vyrobena z nerezavějícího materiálu. Součástí chladicí lázně je sušicí zařízení, které je umístěno na konci nerezové vany. Před sušicím zařízením je ultrazvukový měřicí přístroj, který měří soustřednost a sílu stěny hadičky. V přední části lázně je kontrolní a řídicí obrazovka měřicího zařízení. Chladicí lázeň nemá kalibrační zařízení.



Obr. 27. Chladicí vana.

Tab. 7. Technická charakteristika chladicí lázně.

Technická charakteristika chladicí vany	Hodnota	Jednotky
perioda plnění chladicí lázně a přidání dezinfekce	1	týdně
objem vodní nádrže	700	l
teplota chladicí vody	10	°C
délka	14	m
celková dráha vedení PVC hadičky 4,3 x 6,8	32	m
objem dezinfekce	40	ml
druh dezinfekce demi vody: 14 % chlornan sodný		
chladicí médium PVC hadičky: demi voda		

### 8.3 Odtahovací zařízení

Odtahovací zařízení, které slouží k posunu hadičky k navíjecí jednotce, je umístěno v čistém prostoru. Před odtahovacím zařízením je laserový měřicí přístroj, který měří ovalitu a vnější průměr hadičky.



Obr. 28. Odtahovací zařízení.

Tab. 8. Technická charakteristika odtahovacího zařízení.

Technická charakteristika odtahovacího zařízení	Hodnota	Jednotky
rychlost odtahu	1 - 130	m/min
rychlost odtahu PVC hadičky 4,3 x 6,8	49 - 80	m/min
možnost zpětné vazby s vytlačovacím strojem: ano		

## 8.4 Navíjecí jednotka

Navíjecí jednotka slouží k navíjení hadiček na kotouče. Před navíjecím zařízením je umístěn vyrovnávací nástroj, který reguluje obvodovou rychlost namotávané PVC hadičky. Obvodová rychlost namotávání je dána prověšením PVC hadičky mezi navíjecím a odtahovacím zařízením. Pokud je prověšení velké, obvodová rychlost návinu se zvyší.



Obr. 29. Navíjecí zařízení.



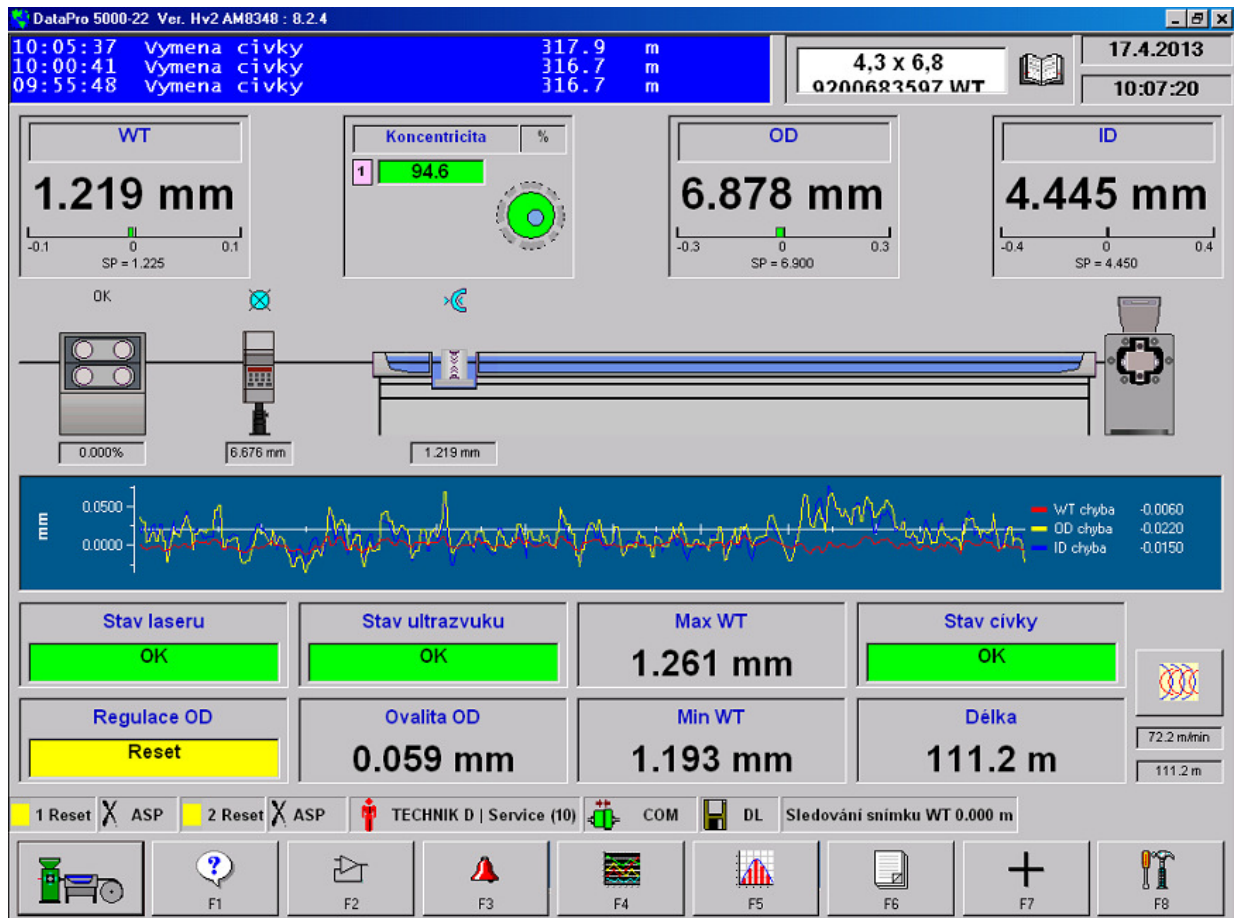
Obr. 30. Vyrovnávací zařízení.

Tab. 9. Technická charakteristika navíjecího zařízení.

Technická charakteristika navíjecího zařízení	Hodnota	Jednotky
počet navíjecích stanic	2	-
kapacita volného návinu PVC hadičky 4,3 x 6,8	350	m
kapacita návinu na cívky PVC hadičky 4,3 x 6,8	1100	m
zpětná vazba s odtahovacím zařízením: ne		
zpětná vazba s vyrovnávacím zařízením: ano		
automatické stříhání PVC hadičky: ne		

## 8.5 Měřicí zařízení

Vytlačovací linka disponuje měřicím zařízením od firmy Betalasermike. Součástí měřicího zařízení je hlavní řídicí panel, řídicí jednotka a dvě samostatná měřicí zařízení. Všechna měření probíhají v tzv. online měřicím režimu. Tzn., že samostatné měření PVC hadičky je prováděno ve stejném časovém období, kdy je samostatná hadička vyráběna. Veškeré naměřené hodnoty jsou zapisovány a uchovávány na externím paměťovém disku. Ukládání naměřených dat se provádí automaticky každou 1 s.



Obr. 31. Hlavní panel měřicího zařízení.

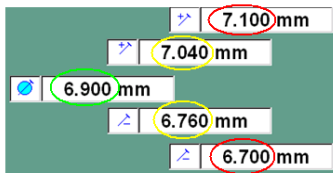
Tab. 10. Popis hlavního panelu měřicího zařízení.

Údaj	Popis	Hodnota
WT	síla stěny hadičky	mm
OD	vnější průměr hadičky	mm
ID	vnitřní průměr hadičky	mm
koncetricita	soustřednost OD vůči ID	%
stav laseru	měřicí zařízení je v chodu	OK/NOK
stav ultrazvuku	měřicí zařízení je v chodu	OK/NOK
stav cívky	aktuální stav namotávané cívky	OK/NOK
délka	aktuální počet namotaných metrů na cívku	m
ovalita	aktuální hodnota ovality hadičky	mm

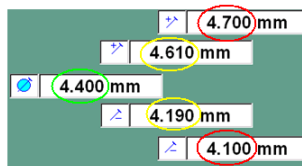
### 8.5.1 Nastavené výrobní tolerance PVC hadičky 4,3 x 6,8

Maximální a minimální hodnoty PVC hadičky vycházejí z výkresu hadičky (obr. 21). Pro samotný proces vytlačování PVC hadičky jsou hodnoty v receptu BLM nastaveny

následovně: minimální a maximální rozměry (červené pole), nominální hodnota (zelené pole), meze zásahu (žluté pole), které byly optimalizovány během výrobního procesu.



Obr. 32. Hodnoty OD.



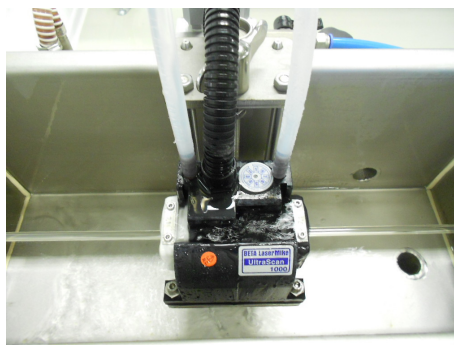
Obr. 33. Hodnoty ID.



Obr. 34. Hodnoty WT.

### 8.5.2 Ultrazvukové měřicí zařízení Ultrascan 1000

Měřicí ultrazvukové zařízení je situováno na konci chladicí lázně. Zařízení se skládá z osmi ultrazvukových sond. Pro správné měření musí být komora ultrazvuku zaplavena vodou. Tímto zařízením se měří síla stěny hadičky a soustřednost.



Obr. 35. Ultrascan 1000.

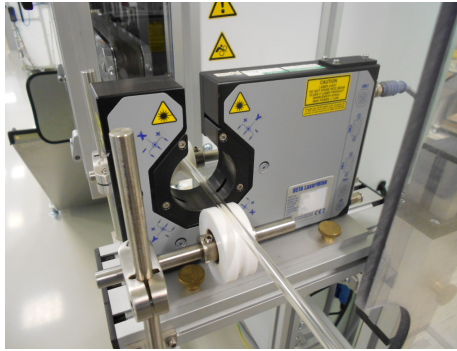
Tab. 11. Specifikace Ultrascan 1000.

Specifikace Ultrascan 1000	Hodnota	Jednotky
teplotní rozsah měření	5 - 40	°C
maximální vřkost	80	%
opakovatelnost	0,003	mm
měřicí rozsah	0,025 - 2,5	mm
rozlišitelnost přístroje	0,001	mm
typ měřícího zařízení: ultrazvukové		

### 8.5.3 Laserové měřicí zařízení Accuscan 5010

Laserové měřicí zařízení je upevněno na odtahovacím zařízení. Přístroj měří vnější průměr a ovalitu hadičky. Měření se provádí pomocí laserového paprsku v ose x a ose y.





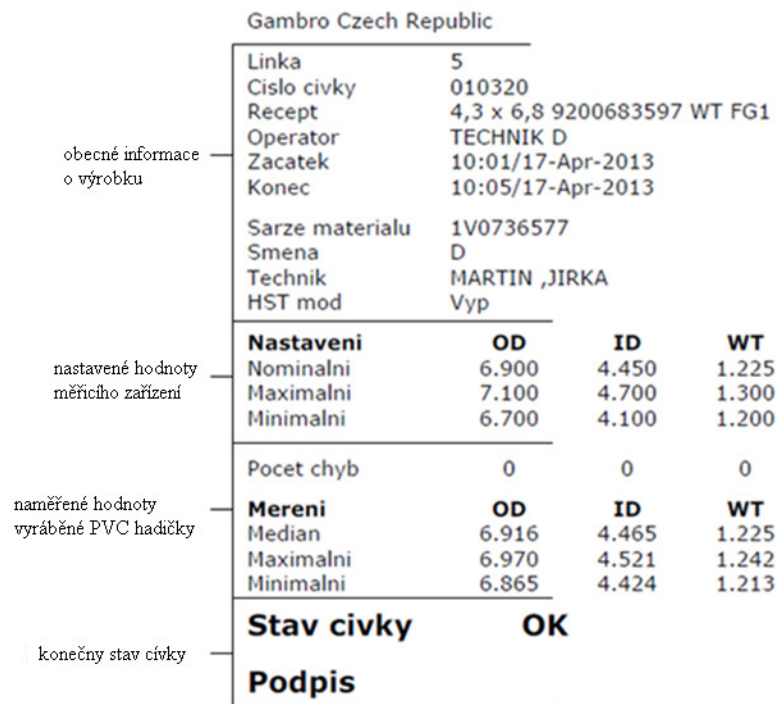
Obr. 36. Accuscan 5010.

Tab. 12. Specifikace Accuscan 5010.

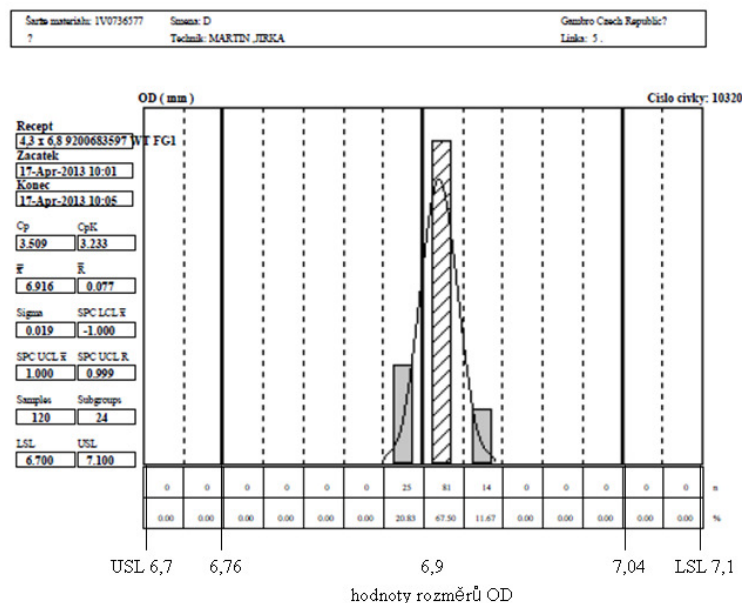
Specifikace Accuscan 5010	Hodnota	Jednotky
teplotní rozsah měření	5 - 40	°C
maximální vřkost	80	%
opakovatelnost	0,001	mm
měřicí rozsah	0,1 - 14	mm
rozlišitelnost přístroje	0,00001	mm
typ měřicího zařízení: laserové		

#### 8.5.4 Report kotouče

Po dokončení kotouče se vytiskne report kotouče. Report kotouče má dvě části, histogram a obecné informace o produktu. Reporty jsou zakládány výrobním operátorem k jednotlivým kotoučům. V obecných informacích o produktu (obr. 37) je popis počtu chyb. Pokud se v průběhu měření v jakémkoliv bodě dostanou hodnoty hadičky mimo tolerance, jednotlivé chyby se do reportu vygenerují a stav cívky bude označen jako zmetek. Operátor zastaví navíjení cívky. Cívka se musí vyhodit nezávisle na množství namotaných metrů PVC hadičky. Další výrobní operací se hadička odstříhne a pokračuje se dále novým návinem cívky.



Obr. 37. Report kotouče, část 1 – obecné informace.



Obr. 38. Report kotouče, část 2 - histogram.

### 8.5.5 Měřicí zařízení Benchmark 283-10

Při začátku produkce PVC hadičky se musí laserové a ultrazvukové měřicí zařízení zkalibrovat. Kalibraci provádíme na Benchmarku. PVC hadička se nasune na měřicí trn. Samotné měření probíhá po otočení hadičky o 360°. Během otočení hadičky je ve 12-ti

bodech snímána absolutní hodnota rozměrů. Průměrem všech 12-ti naměřených hodnot dostáváme hodnotu, kterou bereme jako hodnotu kalibrační.



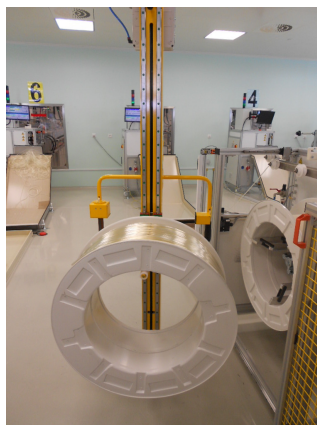
Obr. 39. Benchmike 283-10.

Tab. 13. Specifikace Benchmike 283-10.

Specifikace Benchmike 283-10	Hodnota	Jednotky
teplotní rozsah měření	7 - x	°C
maximální vřkost	90	%
opakovatelnost	0,00025	mm
měřicí rozsah	0,1 - 25,4	mm
rozlišitelnost přístroje	0,0009	mm
typ měřicího zařízení: laserové		

## 8.6 Manipulační zařízení

Manipulační zařízení slouží k přemístění navinuté cívky z navíjecí jednotky na paletu, která je pak uskladněna. Maximální zatížení ramene je 40 kg. Hmotnost PVC hadičky 4,3 x 6,8 při návinu 1100 m včetně plastového kotouče je 34 kg.



Obr. 40. Zdvihací zařízení.



## 9 OPTIMALIZACE VYTLAČOVACÍHO PROCESU

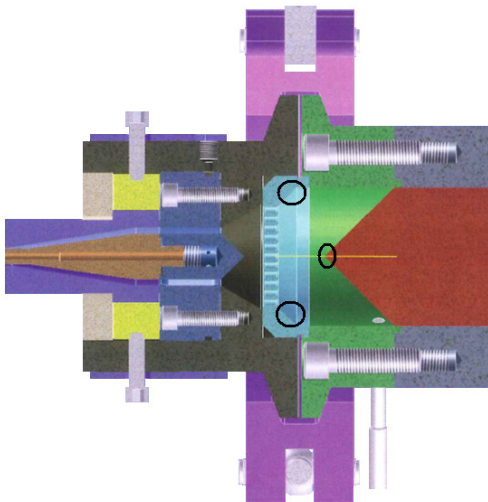
V průběhu dvou let, kdy jsou v GCR nainstalovány vytlačovací linky, bylo testováno mnoho konfigurací, nastaveních k docílení stability procesu a výroby kvalitativní PVC hadičky. V průběhu výroby se objevovalo stále více vad, které musely být vyřešeny. Z hlediska procesu vytlačování jsou všechny parametry mezi sebou velmi silně provázány. Během testování z praktického hlediska se zpravidla vždy hledal kompromis řešení problémů.

### 9.1 Degradovaný PVC materiál

Vlivem působení teploty podléhá PVC materiál stále více tepelné degradaci v závislosti na čase. Degradující PVC materiál se vyskytoval na více místech vytlačovacího stroje.

#### 9.1.1 Degradující PVC materiál v místě špice šneku

V místě špice šneku PVC materiál degradoval z důvodu mrtvých míst. V těchto místech se PVC materiál zdržoval po delší dobu a vlivem působení teploty PVC materiál v těchto místech degradoval z důvodu nevhodného tvaru špice (obr. 42).



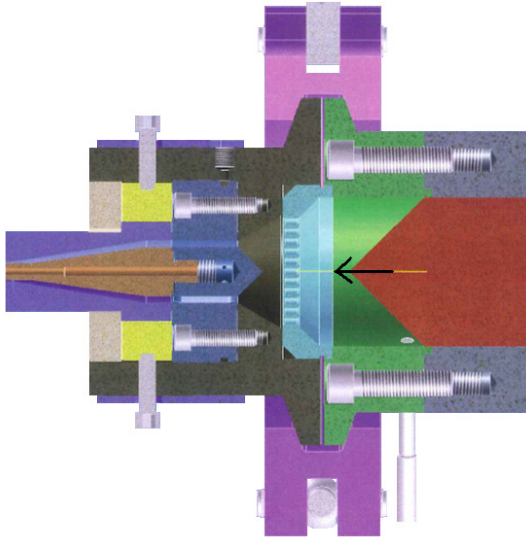
Obr. 41. Místa degradace PVC materiálu  
v místě špice.



Obr. 42. Starý tvar špice.

V průběhu řešení problému s degradujícím PVC materiálem v místě špice šneku byl zkoumán vliv posunutí šneku směrem k lapači (obr. 43). Původní vzdálenost lapače od šneku byla 30 mm. Výsledkem testu bylo, že při posunutí šneku na hodnotu 15 mm se degradovaný PVC materiál v tomto místě stále ve stejné míře objevoval (obr. 44).

Posunutí šneku mělo ale podstatný vliv na gely, na vizuální požadavek PVC hadičky. Z tab. 3 je patrné, že množství gelů ovlivňuje teplota a tlak v plastikačním válci. Při posunutí šneku dopředu byl zmenšen objem materiálu před šnekem, kde došlo ke zvýšení tlaku a teploty, což vedlo ke snížení počtů jednotlivých gelů.

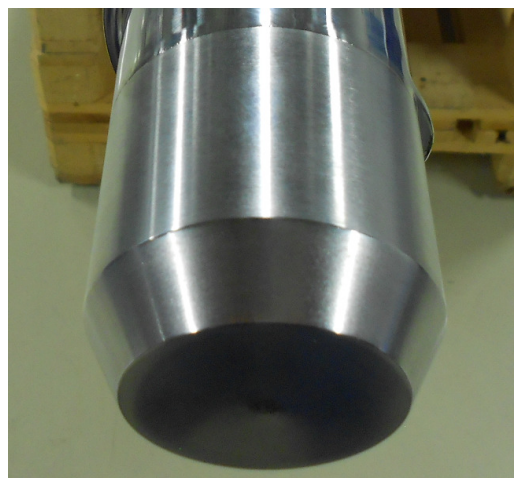


Obr. 43. Posunutí šneku.



Obr. 44. Degradovaný PVC materiál.

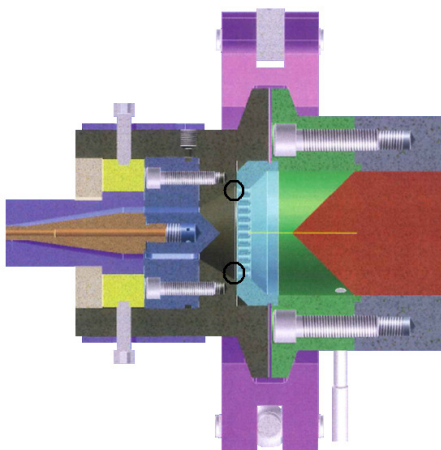
Po neúspěšných testech k odstranění degradujícího materiálu bylo přistoupeno ke změně tvaru špice (obr. 45). Při testování nového tvaru špice a nastavení šneku ve vzdálenosti 15 mm od lamače bylo zřejmé, že optimalizací tvaru špice se degradovaný PVC materiál v těchto místech nevyskytoval. Nový tvar špice tvarově navazuje na konstrukci lamače. Nejsou zde mrtvá místa, kde by se mohl materiál zdržovat a degradovat.



Obr. 45. Nový tvar špice.

### 9.1.2 Degradující PVC materiál v místě tokové vložky

V místě tokové vložky PVC materiál degradoval z důvodu mrtvých míst. V těchto místech se PVC materiál zdržoval po delší dobu a vlivem působení teploty PVC materiál degradoval z příčiny nevhodného tvaru tokové vložky. A také původní konstrukční řešení nebylo optimální z důvodu zatékání PVC materiálu pod tokovou vložku (obr. 47).



*Obr. 46. Místa degradace PVC materiálu v místě tokové vložky.*



*Obr. 47. Stará konfigurace tokové vložky.*

Návrhy změn byly zaměřeny na nový tvar tokové vložky tak, aby byla odstraněna mrtvá místa původní tokové vložky (obr. 46) a aby byla zaručena těsnost. Po zkušebním testu s novou tokovou vložkou a následném odstavení vytlačovací linky nebyl degradující PVC materiál pozorován v místě tokové vložky. Nové řešení tvaru tokové vložky je znázorněno na (obr. 48).

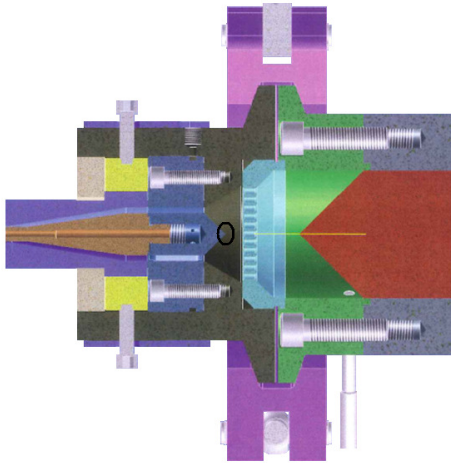


*Obr. 48. Nový tvar tokové vložky.*

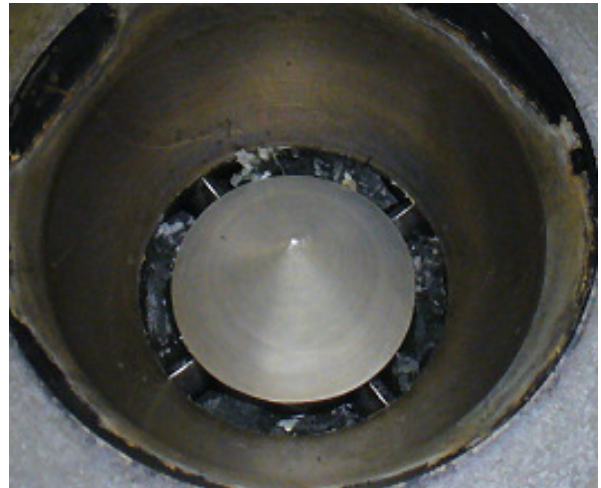


### 9.1.3 Degradující PVC materiál v místě špice rozdělovače

V místě špice rozdělovače PVC materiál degradoval z důvodu mrtvého místa na vrcholku špice (obr. 49). V těchto místech se PVC materiál zdržoval po delší dobu a vlivem působení teploty PVC materiál v těchto místech degradoval.

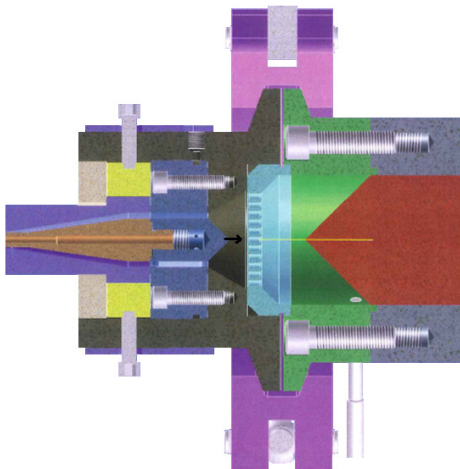


*Obr. 49. Místo degradace PVC materiálu v místě špice rozdělovače.*



*Obr. 50. Stará konfigurace špice rozdělovače.*

Původní tvar špice rozdělovače nebyl vhodný, jelikož samotná špice měla malou výšku. Po analýze problému bylo navrženo, aby se výška tvaru špice zvětšila posunutím o 12 mm směrem k lapači (obr. 51). Po zkušebním testu s novým tvarem špice a následném odstavením vytlačovací linky nebyl degradující PVC materiál pozorován v místě vrcholku špice. Nové řešení tvaru špice rozdělovače je znázorněno na (obr. 52).



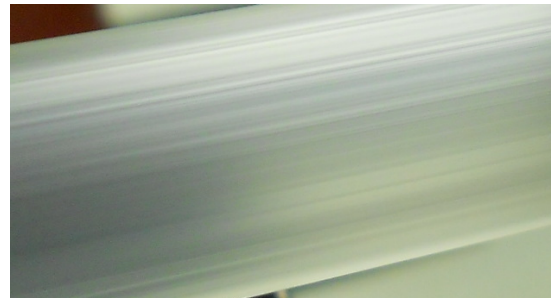
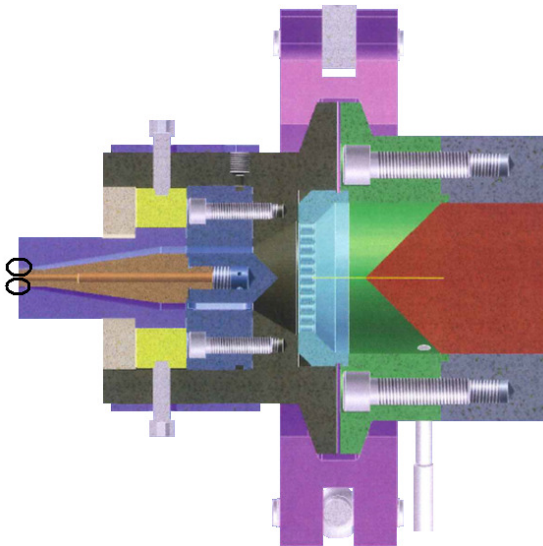
*Obr. 51. Úprava posunutí špice rozdělovače.*



*Obr. 52. Nová konfigurace špice rozdělovače.*

#### 9.1.4 Degradující PVC materiál v místě trnu a hubice

Trn a hubice formují a definují výsledné rozměry PVC hadičky. Při průchodu PVC materiálu přes trn a hubici se do PVC materiálu generuje teplo, které pak způsobovalo degradaci PVC materiálu kolem trnu a hubice (obr. 53). Mimo samotnou degradaci degradovaný PVC materiál způsoboval podélné rýhy na hadičce.



Obr. 54. Podélné rýhy na PVC hadičce.

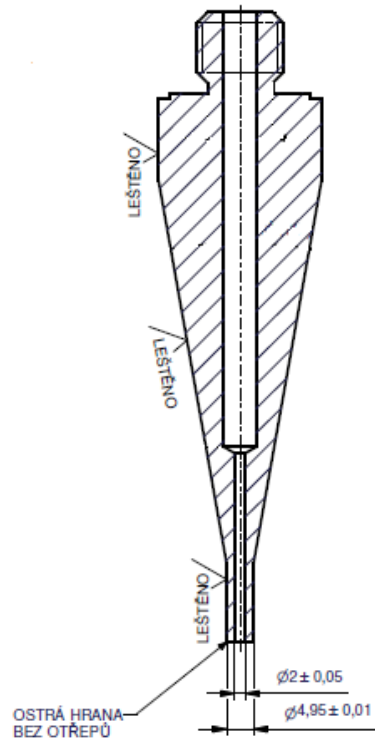
Obr. 53. Místo degradace PVC materiálu  
v místě trnu a hubice.

Původní trn a hubice měly ostrou hranu (obr. 55, 56). Při průchodu taveniny přes tyto nerovnosti měla PVC hadička viditelné podélné rýhy (obr. 54). Dalším negativem byla degradace materiálu. Analýzou problému bylo navrženo řešení zaoblení hran trnu a hubice.

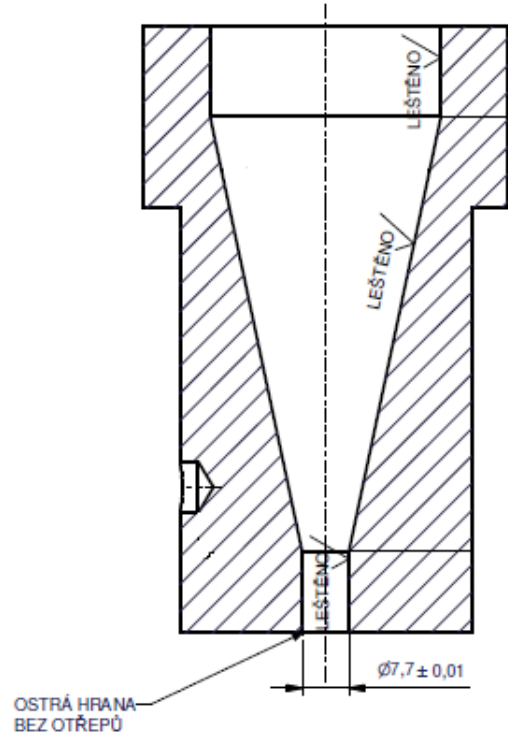
Kompletní vyřešení problému degradace kolem trnu a hubice bylo docíleno rádiusem R 1,6 na trnu a hubici (obr. 57, 58), zrcadlovém povrchu a aplikováním PVD povlaku.

Tab. 14. Charakteristika PVD povlaku.

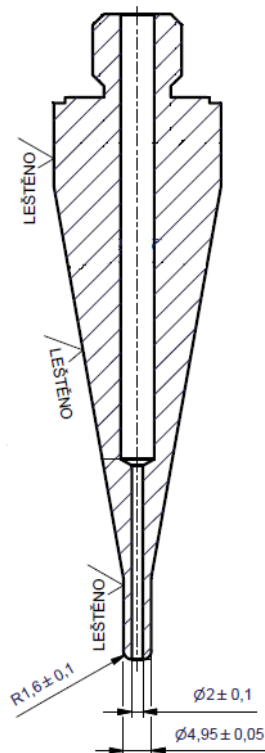
Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]	Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Tepelná stabilita [ $^{\circ}\text{C}$ ]
2 - 4,5	0,15 - 0,2	> 1000



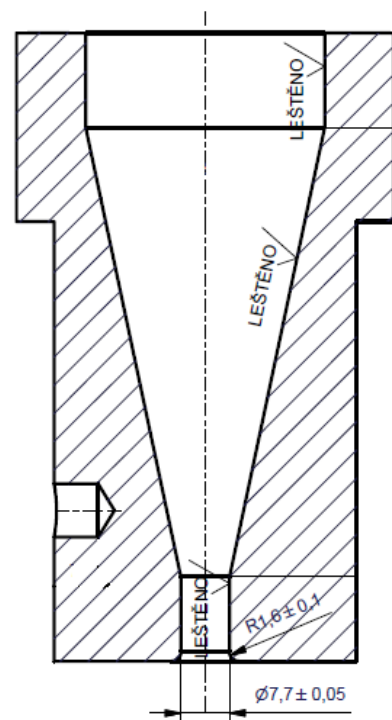
Obr. 55. Původní tvar trnu.



Obr. 56. Původní tvar hubice.



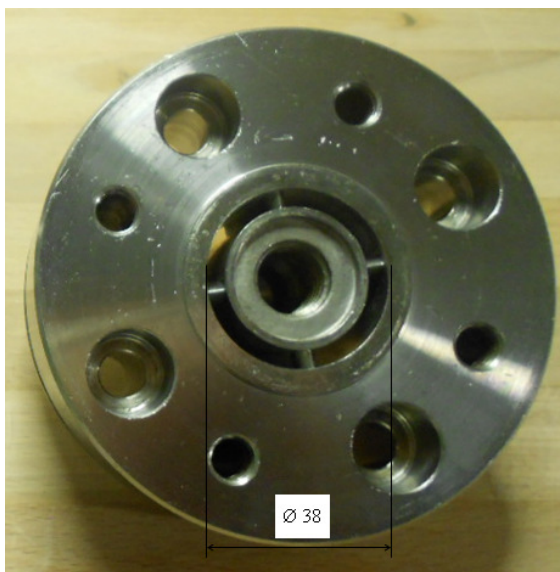
Obr. 57. Optimalizovaný tvar trnu.



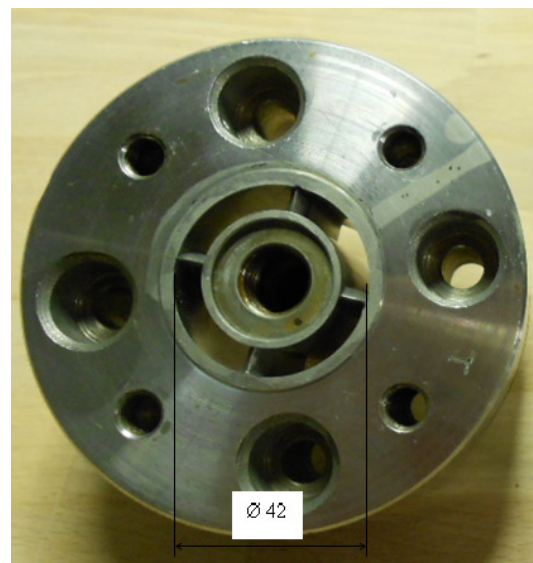
Obr. 58. Optimalizovaný tvar hubice.

## 9.2 Optimalizace pulzace PVC materiálu

Při výrobě PVC hadiček byla pozorována pulzace parizónu hadičky vycházející bezprostředně za hubicí. Pulzace vznikají špatnou geometrií vytlačovací hlavy a šneku, odtahovacím zařízením a samotným průchodem hadičky přes chladicí vanu. Po analýze problému bylo zjištěno, že pulzace materiálu vycházejí ze špatné geometrie rozdělovače. Průchody rozdělovače měly malou otevřenou plochu, proto zde tavenina měla problém kontinuálně téci a z tohoto důvodu v těchto místech docházelo k pulzaci PVC materiálu. Původní velikost vnějšího průměru průchodů byla 38 mm (obr. 59).



Obr. 59. Staré provedení rozdělovače.



Obr. 60. Nové provedení rozdělovače.

Úprava stávajícího rozdělovače spočívala ve zvětšení průchodů na velikost vnějšího průměru 42 mm (obr. 60). Tím bylo dosaženo 50 % nárůstu otevřené plochy. Při opakovaném testu s takto upraveným rozdělovačem pulzace PVC materiálu nebyly pozorovány.

## 9.3 Optimalizace sítěk a lamače

Během běžné produkce byly prováděny specifické testy, které byly zaměřeny na optimalizaci skladby sítěk. Byly zkoušeny nejrůznější skladby sítěk, ale i jejich jednotlivé typy. Zvýšením počtu sítěk pozitivně ovlivníme vizuální aspekt, kde na povrchu PVC hadičky bude méně defektů – gelů. Docílení menšího počtu gelů je důsledek zvýšení tlaku v plastikačním válci. Oproti tomu se zvýšením tlaku se zvedne i teplota taveniny, to znamená, že PVC materiál bude více náchylný na tepelnou degradaci.





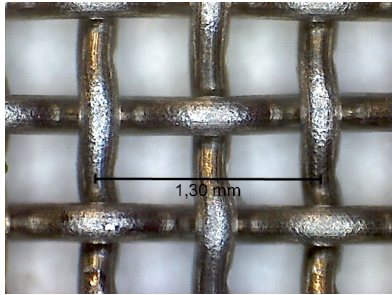
*Obr. 61. Gely na povrchu PVC hadičky.*

Pro optimální provozní podmínky PVC hadičky 4,3 x 6,8 byla zvolena optimální konfigurace síték 40/100/200/100/200/100/40 Mesh. S touto skladbou síték je možné vyrábět z 99 % objemu PVC materiálu FG 1. Ze zbylého 1 % PVC materiálu není možné vyrábět za běžných procesních podmínek. Z tohoto důvodu se optimalizoval vytlačovací proces i na tento PVC materiál. Produkce z takového PVC materiálu je vždy na úkor degradace a času produkce výroby. Skladba síték je v tomto případě 40/8x200/40 Mesh. Pro tento materiál byl taktéž úspěšně otestován zcela nový typ lamače (obr. 62). Sítka 40/8x200/40 Mesh jsou zalisována do hliníkového kruhového zálisku. Po vložení do sestavy lamače je PVC materiál nucený proudit pouze přes otvory v samotných sítkách.

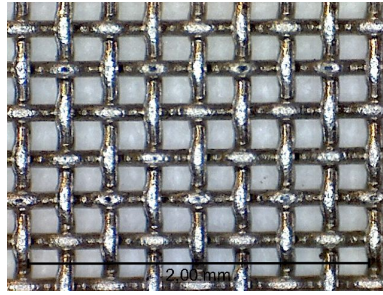


*Obr. 62. Nová konfigurace lamače a síték.*

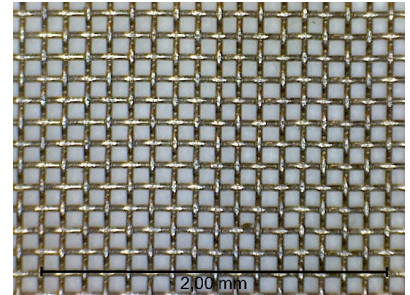




Obr. 63. Sítko 40 Mesh.



Obr. 64. Sítko 100 Mesh.



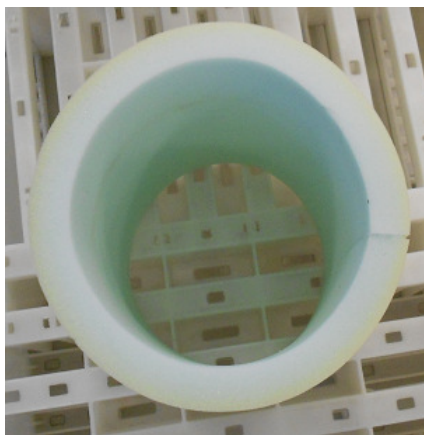
Obr. 65. Sítko 200 Mesh.

Tab. 15. Převodní tabulka Mesh\* u síttek.

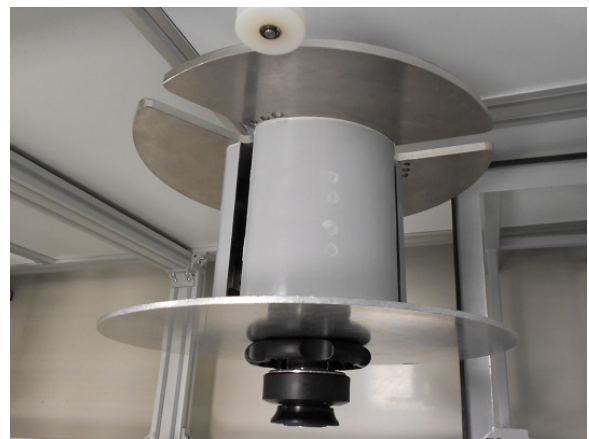
Propusnost síttek			
Mesh	40	100	200
μm	400	150	75

#### 9.4 Optimalizace volného návínu PVC hadičky

V případě volných návínů, které se přímo posílají zákazníkům, byly neustálé reklamace na mechanické poškození PVC hadičky. Všechny ostatní vyrobené PVC hadičky jsou po minimálně 24 hodinách stříhány v GCR. Problém byl vyřešen vložením molitanové vložky (obr. 66) na čelisti volného návínu (obr. 67). Tato molitanová vložka spolu s PVC hadičkou (obr. 68) vytváří hadičce dostatečnou oporu během procesu namotávání. Při použití molitanové vložky je hadička bez mechanického poškození.

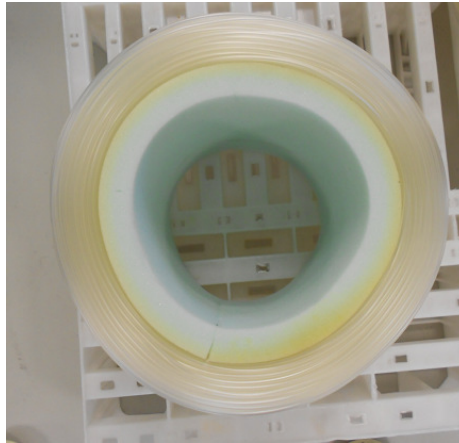


Obr. 66. Molitanová vložka.



Obr. 67. Čelisti volného návínu.

\*Mesh udává počet otvorů na jednotku plochy anglického palce. Např. sítko s označením 40 Mesh obsahuje 40 ok na plochu jednotky anglického palce.



Obr. 68. Finální návin PVC hadičky.

## 9.5 Úprava nominálních hodnot PVC hadičky

Z hlediska snížení spotřeby PVC materiálu byla testována úprava hodnot BLM (Betlasermiku) měřicího zařízení. Úprava spočívala ve změně nominální hodnoty pro sílu stěny a vnitřní průměr hadičky. Původní nastavení (obr. 69) má nominální sílu stěny větší a vnitřní průměr je menší. Nové optimální nastavení (obr. 70) má sníženou nominální hodnotu síly stěny a zvýšenou nominální hodnotu vnitřního průměru. Z důsledku úprav nominálních hodnot dochází k úspoře PVC materiálu ve výši 0,043 Kč/m.

OD	7.100 mm	ID	4.700 mm	WT	1.300 mm
	7.040 mm		4.610 mm		1.285 mm
6.900 mm		4.400 mm		1.250 mm	
	6.760 mm		4.190 mm		1.215 mm
	6.700 mm		4.100 mm		1.200 mm

Obr. 69. Původní nastavení receptu BLM.

OD	7.100 mm	ID	4.700 mm	WT	1.300 mm
	7.040 mm		4.610 mm		1.255 mm
6.900 mm		4.450 mm		1.225 mm	
	6.760 mm		4.190 mm		1.205 mm
	6.700 mm		4.100 mm		1.200 mm

Obr. 70. Optimalizované nastavení receptu BLM.

## 10 OPTIMÁLNÍ NASTAVENÍ VYTLAČOVACÍHO PROCESU PRO VÝROBU PVC HADIČKY 4,3 X 6,8

Na základě výše popsaných optimalizací se PVC hadička v GCR vyrábí mnohem efektivněji se zachováním kvalitativních požadavků výroby.

### 10.1 Seřizovací list hadičky 4,3 x 6,8

Konkrétní seřizovací list PVC hadičky 4,3 x 6,8 pro vytlačovací linku č. 5.

Tab. 16. Seřizovací list PVC hadičky 4,3 x 6,8.

LINKA: 5	HADIČKA: 4,3x6,8	jednotky	nominal	min	max
	kód: 9200683500				
<b>teplotní profil:</b>					
pod násypkou		[°C]	25	20	30
válec 1		[°C]	145	138	157
válec 2		[°C]	147	140	159
válec 3		[°C]	152	145	164
válec 4		[°C]	156	149	168
válec 5		[°C]	162	155	174
příruba 1		[°C]	150	143	162
příruba 2		[°C]	150	143	162
hlava 1		[°C]	146	139	158
hlava 2		[°C]	145	138	157
teplota taveniny		[°C]	156		
tlak taveniny		[Bar]	170		
otáčky šneku:		[ot./min]	44	30	62
rychlost tahače:		[m/min]	71	49	80
přítlak pásů			45		
<b>vzduch:</b>					
hodnota skutečná		[mbar]	15		

<b>sítka (směr od lamače):</b>	[Mesh]	40/100/200/100/200/100/40
<b>typ lamače:</b>		jednodílný
<b>velikost trnu:</b>	[mm]	Ø 4,95 i 12,5
povrchová úprava		PVD
<b>velikost hubice:</b>	[mm]	Ø 7,7 i 12,5
povrchová úprava		PVD
<b>PVC materiál:</b>		FG 1
<b>nastavení vzdálenosti šneku:</b>	[mm]	15,5-15,8
<b>parametry navíjení:</b>	<b>jednotky</b>	<b>nominal</b>
návin:	[m]	350
typ návinu:		volný návin
způsob namotávání:		kontinuální
šířka bubnu:	[mm]	193
průměr hadičky:	[mm]	8,6
pauza:		0
rampa zpomalení:		100
rampa zrychlení:		500
rychlosti navíjení (potenciometr):		5,2
vzdálenost čidla výchozí polohy:		6
<b>další technické informace:</b>	- v případě vývozu hadičky použij molitanovou vložku	
<b>Datum:</b>	3.4.2013	<b>Vypracoval:</b> P. Jarcovják

## 10.2 Diskuze výsledků optimalizace

Před optimalizací se vytlačovací linka musela každých 12 hodin čistit z důvodu degradace PVC materiálu. Rychlost vytlačovací linky byla 60 m/min.

Optimalizace byla zaměřena na degradaci PVC materiálu v místě vytlačovací hlavy a špice šneku, který byl postupně odstraněn, čímž se doba produkce zvýšila na 20 hodin. Další degradující materiál vyskytující se v okolí trnu a hubice způsoboval problémy s podélnými rýhami na hadičce. Původní konstrukce trnu a hubice nebyla vhodná z důvodu ostré hrany, kde materiál degradoval a vytvářel podélné rýhy. Zaoblením hran trnu a hubice byl odstraněn problém s degradací a podélnými rýhami, na základě úpravy se navýšila rychlost linky na 71 m/min. Při zvýšené rychlosti linky byla patrná pulzace materiálu v místě rozdělovače vytlačovací hlavy. Zvětšením průchodů rozdělovače se materiál v těchto místech nezdržoval a nepulzoval. Aplikací PVD povlaku na trn a hubici se čas produkce zvýšil na 36 hodin. Další optimalizací sítěk a parametrů vytlačování bylo docíleno minimálního zatížení PVC materiálu generovaným teplem a snížením počtu pěti gelů na metr hadičky z původních dvaceti.

Dle výpočtů GCR se konstrukční a testovací náklady vrátí v horizontu dvou let. Všechny jednotlivé optimalizace měly vliv na konečný čas produkce 48 hodin při rychlosti linky 71 m/min. Výsledkem optimalizace je navýšení rychlosti vytlačovací linky a prodloužení intervalu čištění linky. Čas produkce se zvýšil o 300 % a rychlost linky se zvýšila o 18 %.

Z hlediska dalších optimalizací, činností pro zlepšení procesu vytlačování v GCR by bylo vhodné stanovit kontrolu vstupních PVC materiálů. V rámci další technologické optimalizace zvážit možnost přívodu temperančního média do šneku, možnost nastavování vzdálenosti chladicí vany k vytlačovací hlavě a v průběhu čištění vytlačovacího stroje možnost uchycení vytlačovací hlavy na kloubový mechanismus. Oddělení vytlačování se neustále snaží snižovat procenta odpadu a zvažuje možnost regenerace.

## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá optimalizací PVC hadičky 4,3 x 6,8 ve firmě Gambro Czech Republic.

V teoretické části diplomové práce byl popsán proces vytlačování a jednotlivé konfigurace vytlačovací linky, popis PVC materiálu a rozdělení plastů.

V praktické části diplomové práce byla popsána optimalizace vytlačovací linky pro výrobu PVC hadičky 4,3 x 6,8. Celková optimalizace byla prováděna v průběhu posledních dvou let a byla zaměřena na navýšení objemu a času produkce. Optimalizace byla zaměřená na konstrukci vytlačovací hlavy, odstranění degradace a pulzace PVC materiálu, dále na nastavení optimálních podmínek parametrů vytlačovacího procesu. Díky úspěšnému zjištění a odstranění chyb následovalo navýšení objemu výroby PVC hadičky a zlepšení kvalitativních požadavků výroby.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Učební texty vysokých škol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická. 199 s.
- [2] TOMIS, František, RULÍK, František. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1981. 216 s.
- [3] TOMIS, František. *Gumárenská a plastikářská technologie: Zpracovatelské procesy*. Učební texty vysokých škol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická. 289 s.
- [4] ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury 1989 / Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1989. 638 s.
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *POLYMERY výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. 354 s.
- [6] DOLEŽAL, Vladimír. *Plastické hmoty*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977. 392 s.
- [7] SOVA, Miloš, KREBS Josef. *Termoplasty v praxi. Praktická příručka pro: konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2001.
- [8] DOHNALÍK, Zdeněk, LENGÁLOVÁ, Anežka. *Technológia pre 2. a 3. ročník stredných odborných učilišť učebný odbor gumár – plastikár*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1988. 248 s.
- [9] KRÁLOVÁ, Adéla, KLIMÁNEK, Leo. *Zpracování polymerů pro 3. a 4. ročník SPŠ chemických*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986. 272 s.
- [10] JAHELKA, Miroslav. *Gumárenské a plastikářské stroje pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol chemických*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1969. 572 s.
- [11] VESELÝ, Karel. *Polymery*. Brno: SNTL – Česká společnost průmyslové chemie – pobočka UNIPLAST Brno, 1992. 178 s.

- [12] Technická univerzita Liberec. *Rozdělení plastů*. [online]. 9.2.2013 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm#012](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012)
- [13] RAUWENDAAL, Chris. *Understanding Extrusion*. 2nd edition. Munich: Carl Hanser Verlag, 2010. 231 s.
- [14] NORIEGA E., Maria del Pilar, RAUWENDAAL, Chris. *Troubleshooting the Extrusion Process*. 2nd edition. Munich: Carl Hanser Verlag, 2010. 194 s.
- [15] BAIRD, Donald G., COLLIAS, Dimitris I. *Polymer processing: Principles and design*. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., 1998. 346 s.
- [16] KOHLGRÜBER, Klemens. *Co – Rotating Twin – Screw Extruders. Fundamentals, Technology, and Applications*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2008. 354 s.
- [17] BENBOW, John, BRIDGWATER, John. *Paste flow and extrusion*. Oxford: Clarendon press, 1993. 153 s.
- [18] *Society of plastics engineers on Single: Handbook on Screw Extrusion*. Published in the United States of America Brookfield, CT by The Society of Plastics engineers, 2003. 116 s.k
- [19] FISHER, E. G. *Extrusion of plastics*. 2nd edition. London: Iliffe Books Ltd. / New York: Interscience publishers. A division of John Wiley & Sons, Inc., 1964. 271 s
- [20] Jarcovják, Petr. *Bakalářská práce. Linka na vytlačování hadiček*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2011. 54 s.
- [21] Wikipedie. *Plast*. [online]. 9.2.2013 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Plast>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PVC	Polyvinylchlorid.
GCR	Gambro Czech Republic.
FG1	Typ PVC materiálu používaného v GCR.
DP	Diplomová práce.
BLM	Betalasermike.
MESH	Počet otvorů na jednotku plochy anglického palce.
PVD	Nanášení odpařením z pevné fáze.
OD	Vnější průměr PVC hadičky.
WT	Síla stěny PVC hadičky.
ID	Vnitřní průměr PVC hadičky.
OK	Shodný stav.
NOK	Neshodný stav.
D	Průměr šneku.
L/D	Poměr délky/průměru šneku.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Možnosti rozdílného způsobu tavení materiálu.....	13
Obr. 2. Tavení polymeru v profilu šneku.....	14
Obr. 3. Schématické znázornění toku .....	14
Obr. 4. Typy vytlačovacích strojů.....	15
Obr. 5. Jednošnekový vytlačovací stroj .....	16
Obr. 6. Rozdělení pásem šneku .....	17
Obr. 7. Vznik objemového průtoku $Q$ ve šnekovém profilu.....	17
Obr. 8. Různé typy míchacích elementů .....	18
Obr. 9. Umístění lamače ve vytlačovacím stroji.....	19
Obr. 10. Průběh tlaku ve šnekovém vytlačovacím stroji .....	19
Obr. 11. Přímá vytlačovací hlava na trubky.....	20
Obr. 12. Hlava pro opláštění vodičů .....	21
Obr. 13. Hlava pro vytlačování fólií .....	22
Obr. 14. Souhlasný smysl otáčení šneků.....	23
Obr. 15. Nesouhlasný smysl otáčení šneků.....	23
Obr. 16. Průvlaková kalibrace .....	24
Obr. 17. Přetlaková kalibrace.....	25
Obr. 18. Podtlaková kalibrace.....	26
Obr. 19. Rozdělení plastů. ....	28
Obr. 20. Výroba dialyzačních setů v GCR.....	35
Obr. 21. Výkres PVC hadičky.....	36
Obr. 22. Vytlačovací linky v GCR.....	38
Obr. 23. Vytlačovací linka v GCR.....	38
Obr. 24. Vytlačovací stroj.....	39

Obr. 25. Šnek .....	40
Obr. 26. Vytlačovací hlava .....	40
Obr. 27. Chladicí vana .....	41
Obr. 28. Odtahovací zařízení .....	42
Obr. 29. Navíjecí zařízení .....	43
Obr. 30. Vyrovnávací zařízení .....	43
Obr. 31. Hlavní panel měřicího zařízení .....	44
Obr. 32. Hodnoty OD .....	45
Obr. 33. Hodnoty ID .....	45
Obr. 34. Hodnoty WT .....	45
Obr. 35. Ultrascan 1000 .....	45
Obr. 36. Accuscan 5010 .....	46
Obr. 37. Report kotouče, část 1 – obecné informace .....	47
Obr. 38. Report kotouče, část 2 - histogram .....	47
Obr. 39. Benchmike 283-10 .....	48
Obr. 40. Zdvihací zařízení .....	48
Obr. 41. Místa degradace PVC materiálu v místě špice .....	49
Obr. 42. Starý tvar špice .....	49
Obr. 43. Posunutí šneku .....	50
Obr. 44. Degradovaný PVC materiál .....	50
Obr. 45. Nový tvar špice .....	50
Obr. 46. Místa degradace PVC materiálu v místě tokové vložky .....	51
Obr. 47. Stará konfigurace tokové vložky .....	51
Obr. 48. Nový tvar tokové vložky .....	51
Obr. 49. Místo degradace PVC materiálu v místě špice rozdělovače .....	52

---

Obr. 50. Stará konfigurace špice rozdělovače.....	52
Obr. 51. Úprava posunutí špice rozdělovače .....	52
Obr. 52. Nová konfigurace špice rozdělovače .....	52
Obr. 53. Místo degradace PVC materiálu v místě trnu a hubice .....	53
Obr. 54. Podélné rýhy na PVC hadičce.....	53
Obr. 55. Původní tvar trnu .....	54
Obr. 56. Původní tvar hubice .....	54
Obr. 57. Optimalizovaný tvar trnu .....	54
Obr. 58. Optimalizovaný tvar hubice.....	54
Obr. 59. Staré provedení rozdělovače.....	55
Obr. 60. Nové provedení rozdělovače .....	55
Obr. 61. Gely na povrchu PVC hadičky .....	56
Obr. 62. Nová konfigurace lamače a sítěk .....	56
Obr. 63. Sítko 40 Mesh.....	57
Obr. 64. Sítko 100 Mesh.....	57
Obr. 65. Sítko 200 Mesh.....	57
Obr. 66. Molitanová vložka .....	57
Obr. 67. Čelisti volného návínu .....	57
Obr. 68. Finální návín PVC hadičky.....	58
Obr. 69. Původní nastavení receptu BLM.....	58
Obr. 70. Optimalizované nastavení receptu BLM .....	58

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Vlastnosti PVC materiálu .....	32
Tab. 2. Rozměrová charakteristika PVC hadičky .....	36
Tab. 3. Vizuální požadavky PVC hadičky .....	37
Tab. 4. Vlastnosti PVC materiálu FG1 .....	37
Tab. 5. Technická charakteristika vytlačovacího stroje .....	39
Tab. 6. Konfigurace vytlačovací hlavy .....	41
Tab. 7. Technická charakteristika chladicí lázně .....	42
Tab. 8. Technická charakteristika odtahovacího zařízení .....	42
Tab. 9. Technická charakteristika navíjecího zařízení .....	43
Tab. 10. Popis hlavního panelu měřicího zařízení .....	44
Tab. 11. Specifikace Ulrascan 1000 .....	45
Tab. 12. Specifikace Accuscan 5010 .....	46
Tab. 13. Specifikace Benchmike 283-10 .....	48
Tab. 14. Charakteristika PVD povlaku .....	53
Tab. 15. Převodní tabulka Mesh* u sítěk .....	57
Tab. 16. Seřizovací list PVC hadičky 4,3 x 6,8 .....	59