

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jakub Novák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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

Návrh a realizace vytlačovací hlavy a návazných členů pro vytlačování kruhových plastových profilů

v anglickém jazyce:

Design and realization of extrusion head and connecting members for extrusion of circular plastic profiles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vytlačovací hlavy na výrobu plastových profilů protlačováním s těmito parametry:

- nová koncepce chlazení vytlačovacího nástroje
- průměr protlačovaného vlákna 3 mm,
- zajištění automatického odebrání materiálu.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Varianty konstrukčního řešení
5. Optimální konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Bibliografie

Forma práce: průvodní zpráva, technická dokumentace, funkční vzorek

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro V-V a tvůrčí činnost ÚK

Výstup práce: funkční vzorek (G)

Seznam odborné literatury:

Rauwendaal Ch. Understanding Extrusion, Hanser Verlag, Munich 2010, pp. 231, ISBN 978-3-446-41686-4

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 16.11.2012

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V této práci je zpracován návrh vytlačovací hlavy pro vytlačování plastových drátů o malém průměru. Zpracován je nový koncepční návrh temperace, který umožňuje vytlačovaný výrobek zchladit již ve vytlačovací hlavě a tím odpadá nutnost použití rozměrných chladicích nádrží. Pro stanovení optimálního návrhu je použito simulačního prostředí Virtual Extrusion Laboratory, který je v praxi využíván pro simulace vytlačovacího procesu. Experimentálně je poté zjištěno chování plastového materiálu a možnosti vytlačování při snižování teploty taveniny ve vytlačovací hlavě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vytlačování, plasty, vytlačovací hlava, chlazení, temperace.

ABSTRACT

In this work is developed a proposal for extrusion head for extruding plastic wires of small diameter. There is a new conceptual design of cooling, which allows shape extruded products already in the extrusion head and thereby eliminates the need for large cooling tanks. To determine the optimal design is used software named Virtual Extrusion Laboratory, which is used in practice for the simulation of the extrusion process. Then it is experimentally determined behavior of plastic material, when the temperature of the melt in the extrusion head is reduced.

KEY WORDS

Extrusion, plastics, extrusion die, cooling, temperature control.

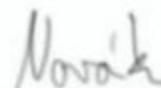
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, J. *Návrh a realizace vytlačovací hlavy a návazných členů pro vytlačování kruhových plastových profilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav Konstrukční inženýrství, 2013. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci *Návrh a realizace vytlačovací hlavy a návazných členů pro vytlačování kruhových plastových profilů* jsem vypracoval a napsal samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Daniela Koutného, Ph.D. a uvedl v seznamu všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 17. května 2013



Vlastnoruční podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří mému vedoucímu práce panu Ing. Danielu Koutnému, Ph.D. za jeho rady, a že si na mě ve svém nabytém programu vždy našel místo. Dále bych chtěl poděkovat panu Mgr. Františkovi Kučerovi, Ph.D., který mě velice pomohl s ověřováním navrhovaného konceptu a za poskytnutí laboratorních strojů a prostředků. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat firmě Compuplast Zlín, která mi zapůjčila licence k jejich simulačnímu programu Virtual Extrusion Laboratory. Jmenovitě patří mé díky panu Dr. Jiřímu Švábíkovi, který mě v programu zaučil a velice mi pomohl při provádění počítačových simulací.

OBSAH

OBSAH	11
ÚVOD	14
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
1.1 Hlavní části vytlačovací linky:.....	15
1.1.1 Dávkovací zařízení.....	15
1.1.2 Vytlačovací stroj (Extruder).....	17
1.1.3 Vytlačovací hlava.....	19
1.1.4 Kalibrační část.....	22
1.1.5 Odtahovací zařízení.....	24
1.1.6 Navíjecí zařízení.....	24
1.2 Faktory ovlivňující vlastnosti vytlačovaných výrobků.....	25
1.2.1 Zamrzlá orientace polymerních řetězců.....	25
1.2.2 Narůstání za hubicí.....	26
1.2.3 Poruchy toku.....	26
1.2.4 Deformace a smršťování při chlazení.....	27
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	29
2.1 Analýza problému.....	29
2.2 Cíle práce.....	29
3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	30
3.1 Simulace vytlačovacího procesu tokového kanálu.....	30
3.1.1 Okrajové podmínky pro jednotlivé plochy řešené mřížky.....	32
3.1.2 Vybrané výsledky ze simulací samotné tokové mřížky.....	33
3.2 Varianty temperačního systému.....	35
3.2.1 První varianta – Navrtávané temperační kanálky.....	35
3.2.2 Druhá varianta – Spirálovitý temperační kanálek.....	39
3.2.3 Třetí varianta – Svařovaná nádrž.....	42
4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	45
4.1 Pravidla pro navržení vytlačovací hlavy.....	45
4.2 Konstrukční uzly.....	45
4.2.1 Připojovací díl k vytlačovacímu stroji.....	46
4.2.2 Spojení hlavy s temperační částí.....	50
4.2.3 Temperační část.....	51
4.2.4 Ohřev vytlačovací hlavy.....	52
4.2.5 Tepelně izolační deska.....	52
4.3 Volba materiálu vytlačovací hlavy.....	55
4.3.1 Požadavky na materiály vytlačovací hlavy.....	55
4.3.2 Výběr z doporučených materiálů.....	56
4.4 Plastové materiály pro zpracování.....	57
4.5 Zavádění do výroby.....	58
4.6 Manipulace, čištění a údržba vytlačovací hlavy.....	59
4.7 Odtah.....	60
4.8 Navíjení.....	61
5 DISKUZE	67
5.1 Experimentální ověření.....	67
5.2 Úpravy konstrukce.....	69
5.3 Zkoušky zkrácené vytlačovací hlavy.....	72

5.4 Zhodnocení.....	74
6 ZÁVĚR	75
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	76
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	78
9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....	79
10 SEZNAM TABULEK.....	81
11 SEZNAM PŘÍLOH	81

ÚVOD

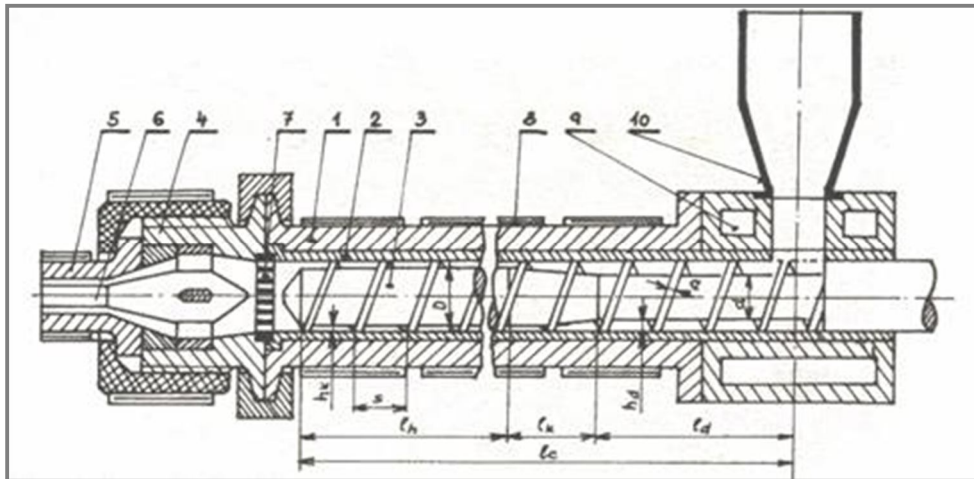
Plasty hrají v našem každodenním životě nezastupitelnou roli, ale zároveň se pro nás staly samozřejmostí. Výrobků z nich se dotýkáme a používáme je několikrát denně. Plasty výborně splňují požadavky z hlediska nízké pořizovací hodnoty a zároveň dobré zpracovatelnosti během výroby koncového produktu a jejich využití se dostává na mnohá místa. Především díky velkým možnostem ve výběru polymerních materiálů lze nalézt vždy takový druh materiálu, který bude mít pro danou aplikaci nejvhodnější vlastnosti.

Vytlačování patří k nejrozšířenějším způsobům tváření plastů. Jedná se o technologický proces vyznačující se tím, že plast se v plastickém stavu kontinuálně tváří přes nástroj, vytlačovací hlavu, do požadovaného tvaru, který se fixuje snížením teploty plastu. Tlak nutný k protlačení hmoty hlavou lze získat šnekem, válcem, pístem, popřípadě diskem. V praxi převládají šnekové vytlačovací stroje, které zaujímají přední místo mezi stroji na zpracování polymerů.

Vytlačování se používá hlavně na výrobu desek, fólií, trubek, hadic, profilů, opláštění apod., ale také na výrobu polotovarů, a to hlavně v gumárenském průmyslu. Velké uplatnění nachází při výrobě regranulátů, směsí polymerů, barvicích koncentrátů, aditiv apod.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Vytlačování polymerních materiálů se skládá z několika procesů, které na sebe navazují, jednotlivě na sobě závisí a ovlivňují výsledný výrobek. Celý proces vytlačování začíná dávkovačem kde je materiál, nejčastěji ve formě plastových granulí, nasypáván do vstupní komory. Ve vstupní komoře je tento materiál dále unášen a ohříván na teplotu tavení, která záleží na teplotních vlastnostech zpracovávaného plastového materiálu. Po dosažení správné teploty je tavenina vytlačována přes tvarovací hlavici a případně dále zpracována. [7]



Obr. 1 Jednošnekový vytlačovací stroj s hlavou pro vytlačování trubek [5]

Poznámka k Obr. 1:

1 – pracovní válec, 2 – pouzdro, tavicí komora, 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava, 5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač, 8 – topení, 9 – chladící komory, 10 – dávkovač

Důležitým parametrem každého vytlačovacího stroje je jeho výkonnost, která se posuzuje jednak podle vytlačeného množství hmoty za časovou jednotku při stanovených vytlačovacích podmínkách (otáčky, teplota jednotlivých pásem), jednak podle jakosti získaného produktu, ale také provozní veličiny, jako druh vytlačovaného materiálu, teplotní a tlakové poměry, doba setrvání apod. Množství vytlačované hmoty se nejčastěji udává jako hmotnostní průtok v kg/h. [13]

S ohledem na přesnost vytlačovaných profilů by mělo být kolísání průtoku co nejmenší. Pak vytlačovací stroj pracuje při ustáleném režimu a toho lze dosáhnout jen při plném zatížení vytlačovacího stroje. Z toho důvodu na začátku a na konci vytlačování nedosahují produkty uspokojivé kvality. Vytlačování se proto nevyplácí při zpracování malých množství a při častém střídání polymerních hmot s rozdílnými reologickými vlastnostmi. [13]

1.1

1.1 Hlavní části vytlačovací linky:

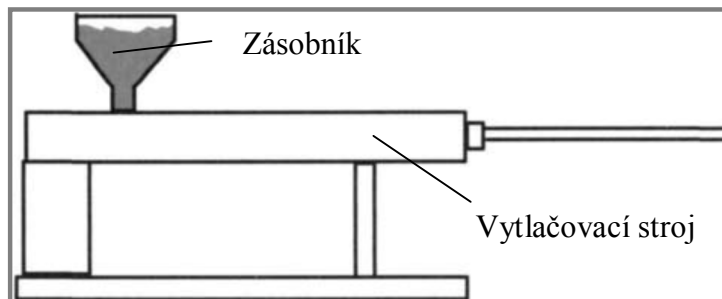
1.1.1

1.1.1 Dávkovací zařízení

Dávkovač slouží k dodávání plastového materiálu nejčastěji ve formě granulí do vstupní komory na začátku šneku. [7]

Záplavové krmení

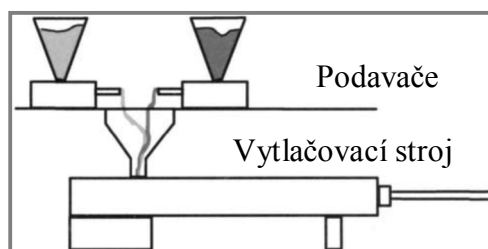
Nejběžnější způsob, materiál je umístěn v zásobníku nad hrdlem. Tímto hrdlem je vlivem gravitace podáván materiál do vstupní komory vytlačovacího stroje (Obr. 2). [3]



Obr. 2 Záplavové krmení [3]

Hladovějící krmení

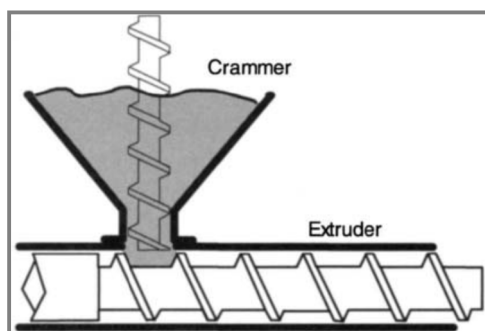
Podavače podávají materiál přímo do komory se šnekem rychlostí, která odpovídá rychlosti šroubování šneku. V hrdle vytlačovacího stroje nevzniká nadbytek materiálu. Výhodou je při podávání míchaných přísad možnost nastavení jejich správného poměru (Obr. 3). [3]



Obr. 3 Hladovějící krmení [3]

Nucené krmení

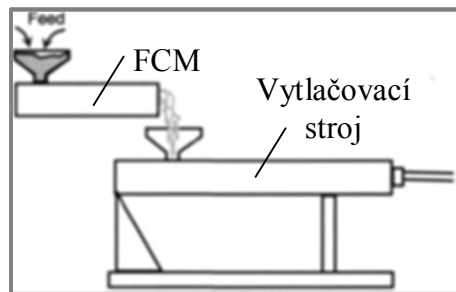
Nucené krmení je používáno pro podávání materiálů, které se špatně dostávají přes hrdlo násypky. Šroubový mechanismus uvnitř násypky předává materiál přímo do vytlačovacího stroje. Je potřeba nastavit správné množství podávaného materiálu, aby nedocházelo k překrmování, které by mohlo vést až k poškození šneku ve vytlačovacím stroji (Obr. 4). [3]



Obr. 4 Nucené krmení [3]

Tavné krmení

Některé vytlačovací operace používají plastový materiál, který je tepelně předpřipravený. Používá se Farrel Continuous Mixer (FCM), který materiál tepelně zpracuje a dodává do vytlačovacího stroje (Obr. 5).[3]



Obr. 5 Tavné krmení [3]

1.1.2

1.1.2 Vytlačovací stroj (Extruder)

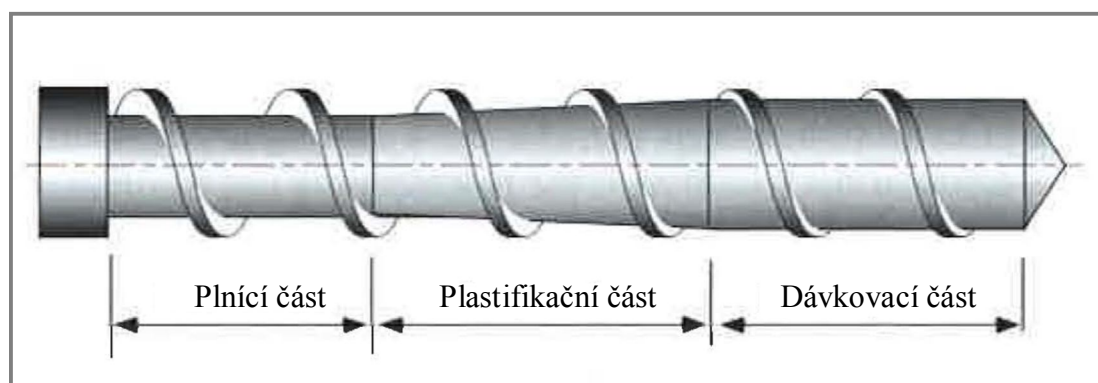
Pro převod polymeru do plastického stavu se používají vytlačovací stroje různého konstrukčního řešení, které rozdělujeme, např. podle hlavního pracovního elementu, na pístové, diskové, spirálové, šnekové, a speciální. Nejrozšířenější vytlačovací stroje jsou šnekové, které dále rozdělujeme podle počtu nebo uspořádání šneků na jednošnekové, dvoušnekové a vícešnekové. [4]

Dále jsou popsány stroje jednošnekové a dvoušnekové, na kterých jsou plánovány experimenty.

Jednošnekový vytlačovací stroj

Základním funkčním prvkem vytlačovacího šnekového stroje je šroubovice (šnek) (Obr. 6), která přemísťuje podávaný plastový materiál přes výhřevnou komoru a poté ho vtlačuje do výtlačné hlavy. Při průchodu vyhřívanou komorou prochází tok taveniny přes několik segmentů šneku.[4]

Průchod plastu zónami šneku:



Obr. 6 Zóny vytlačovacího stroje [1]

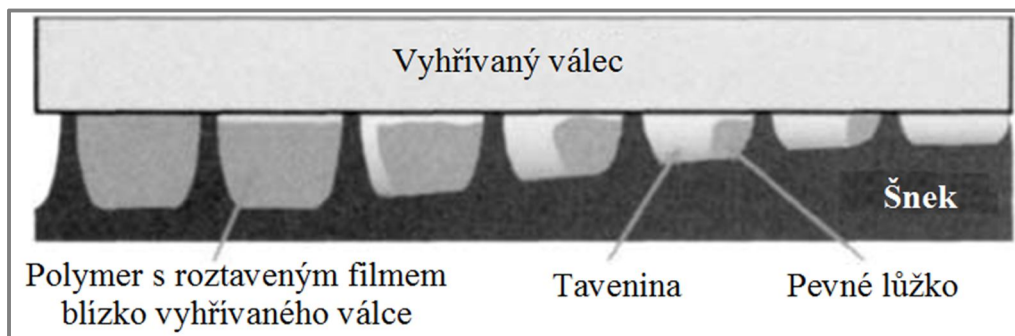
Plnicí zóna

V plnicí zóně šneku se předpokládá, že násypkou uváděný materiál je šnekem zachycován a šroubovicí unášen dále. Drážka šneku je zaplněna pouze zčásti.

Polymer se vlivem gravitace a působení boku šroubovice posouvá směrem k hlavě vytlačovacího stroje. [4]

Plastifikační zóna

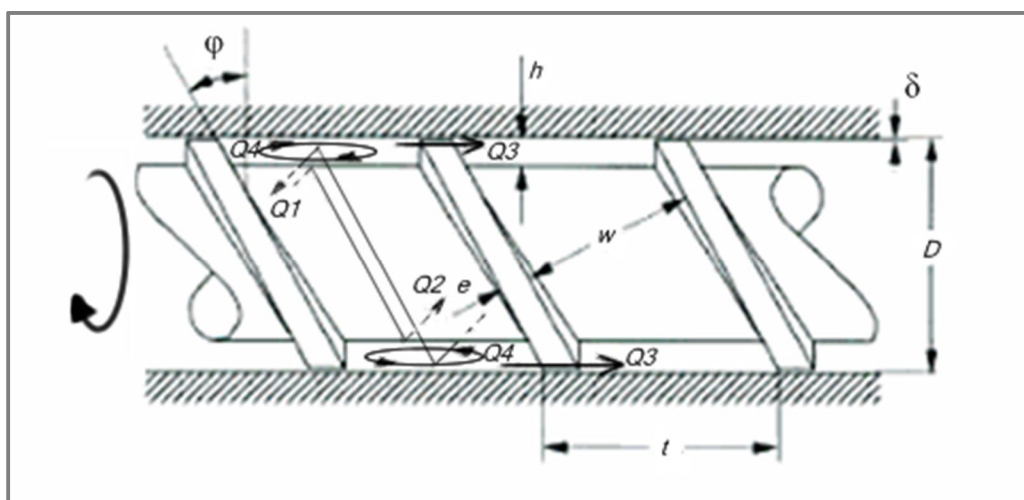
V plastifikační zóně dochází k přeměně tuhého polymeru na taveninu, a to jak teplem přiváděným přes válec, tak i teplem vznikajícím třením polymeru o stěnu válce a povrch šneku a stříhovým namáháním polymeru. Tavení polymeru zpravidla začíná na stěně válce, odkud je tavenina stírána čelem závitů a klouže nejprve po něm a pak po další části drážky. (Obr. 7) [4]



Obr. 7 Mechanismus tavení v plastifikační zóně [3]

Dávkovací zóna

Dávkovací zóna představuje část vytlačovacího stroje obsahující pouze homogenní taveninu. Tavenině je vnucován pohyb působením jak boků a dna drážky, tak taky povrchem válce. Výsledkem je tažný tok, který bývá rozkládán do směru rovnoběžného s bokem šroubovice – tzv. výtlačný tok Q_1 a kolmém na bok šroubovice – tzv. tok příčný Q_4 . Výtlačný tok si lze představit jako výkon šnekového vytlačovacího stroje, který vytlačuje do volného prostoru, tedy bez vytlačovací hlavy. Vytlačovací hlava vytváří proti vytlačované tavenině odpor, a tak napomáhá vytváření tlakového profilu podél šneku. Ve směru tlakového spádu dochází k proudění taveniny – tzv. tlakový tok Q_2 . Mezi hřbetem a vnitřním povrchem válce je tzv. tok vůlí Q_3 (Obr. 8). [4]



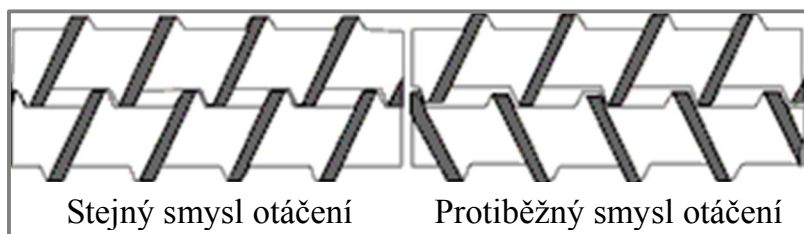
Obr. 8 Tok taveniny ve šneku při tavení plastu [19]

Poznámky k obr. 8

δ – velikost vůle mezi válcem a šroubovicí šneku, φ – úhel stoupání závitu, D – Průměr válce, w – šířka závitu, e – šířka cesty šneku, t – hloubka závitu, h – hloubka kanálu, $Q1$ – výtláčový tok, $Q2$ – tlakový tok, $Q3$ – tok vůlí, $Q4$ – tok příčný

Dvoušnekový vytlačovací stroj

Dvoušnekové vytlačovací stroje jsou technicky náročnější než vytlačovací stroje jednošnekové a to především v oblasti uložení a pohonu šneků. Podle smyslu otáčení rozlišujeme dvoušnekové vytlačovací stroje se stejným smyslem otáčení a s protiběžným smyslem otáčení šneku (Obr. 9). Šneky dvoušnekových vytlačovacích strojů do sebe většinou zapadají, čímž vzniká řada komor, vytvořených profilem jednoho šneku a závitem druhého šneku. V těchto komorách je materiál nuceně dopravován k hlavě. Homogenizační účinek dvoušnekového vytlačovacího stroje závisí na směru otáčení šneku a na vůli mezi závitem jednoho šneku a profilem druhého. Stroje s protiběžným otáčením šneků mají menší homogenizační účinnost než stroje se stejným směrem otáčení. U strojů s opačným směrem otáčení šneků je třeba upozornit na možnost pulzace vytlačovacího materiálu, která vzniká tím, jak se jednotlivé komůrky na konci šneku spojují s prostorem vytlačovací hlavy. Nucená doprava plastu umožňuje vysoké vytlačovací tlaky a velké vytlačovací výkonnosti, je však vhodné zabezpečit přesné dávkování materiálu například dávkovací násypkou, aby se zabránilo přetížení šneků a dosáhlo rovnoměrného zásobování vytlačovací hlavy. Obecně jsou dvoušnekové vytlačovací stroje nevhodnější pro zpracování plastů v práškové formě nebo polymerních směsí plněných práškovými plnivy nebo směsí s nehomogenní sypnou hmotností. [4]

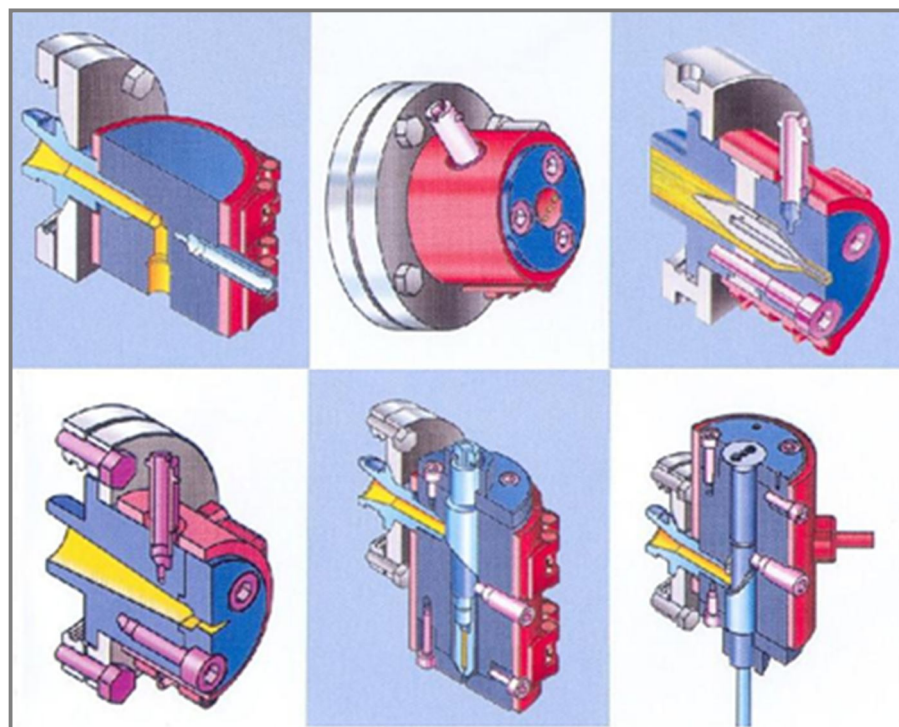


Obr. 9 Stejný a protiběžný smysl otáčení [22]

1.1.3

1.1.3 Vytlačovací hlava

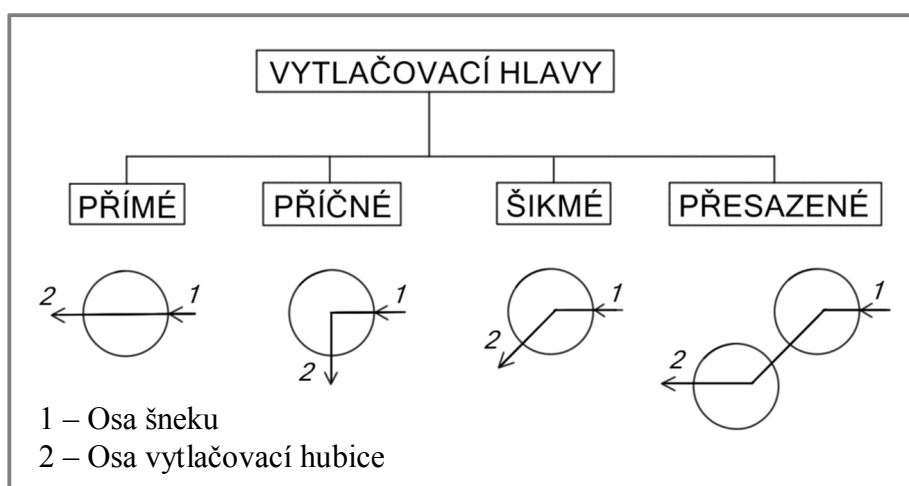
Vytlačovací hlava (Obr. 10) je část stroje, ve které dopravovaný materiál získává definitivní, ale nezafixovaný tvar. Hlava musí mít takový profil, aby zaručovala pravidelný a trvalý tok taveniny. Nesmí v ní existovat tzv. mrtvé prostory, ve kterých by se materiál mohl zastavit a zůstat tak dlouho v kontaktu s vyhřívaným tělem hlavy, až by degradoval. [4]



Obr. 10 Ukázky vytlačovacích hlav [5]

Rozdělení vytlačovacích hlav podle polohy osy šneku a osy vytlačovací hubice:

Vytlačovací hlavy se dělí podle polohy osy šneku a osy vytlačovacího stroje na vytlačovací hlavy přímé, příčné, šikmé a přesazené (Obr. 11). Volba vzájemné polohy výstupu a vstupu taveniny do vytlačovací hlavy záleží na vytlačovaných výrobcích, typu vytlačovacího stroje nebo podle nutnosti rozmístění vytlačovací linky v místnosti. Hlavy přímé jsou především pro vytlačování uzavřených symetrických profilů (např. trubky, hadice, dráty) i uzavřených nesymetrických profilů jako např. okenní profily. Nepřímé, šikmé a přesazené vytlačovací hlavy se používají pro oplášťování kabelů, vyfukování folií, koextruze apod.[5]



Obr. 11 Rozdělení vytlačovacích hlav podle polohy os [11]

Rozdělení vytlačovacích hlav podle vytlačovaného výrobku

Vytlačovací hlavy se poté dělí přímo podle jejich specializace na vyráběný produkt nebo polotovár. Vytlačuje se velké množství profilů, okenní rámy, hadice, trubky. Existují i speciální vytlačovací hlavy na opláštění vodičů, kabelů nebo kovových profilů. Dále jsou i vytlačovací hlavy na vyfukování fólií, či složitější širokoštěrbinové hlavy s možností koextruze více materiálů zároveň. Každý vytlačovaný výrobek potřebuje navrhnout svoji vlastní individuální vytlačovací hlavu a jednotlivé návrhy vytlačovacích hlav se mohou diametrálně velice lišit. [7]

Hlediska při návrhu vytlačovací hlavy

Při návrhu vytlačovací hlavy je potřeba zajistit výrobní proveditelnost, provozní udržitelnost a dále je potřeba zahrnout reologické a termodynamické hledisko.

Z výrobního hlediska při návrhu konstrukce vytlačovací hlavy je dáována zejména pozornost na udržení co nejlevnějších výrobních nákladů. Důležitým faktorem je zvolení vhodného materiálu. [2]

Provozní hledisko zahrnuje adekvátní mechanickou tuhost vytlačovací trysky, snadnou montáž, demontáž a čištění hlavy. Vytlačovací hlava by měla být dostatečně pevně připevněna k extruderu. [2]

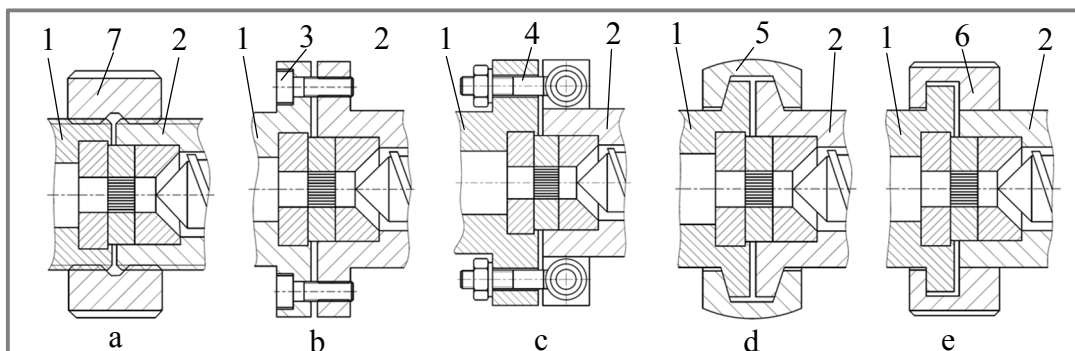
Při zvažování reologického aspektu je položena otázka: jaký je rozměr trysky, aby: [2]

- požadovaná propustnost byla dosažena pro daný tlak
- tavenina vystupovala z celé výstupní části trysky stejnou rychlostí
- povrchy vystupujícího výrobku a rozhraní různých vrstev taveniny zůstávaly hladké i při rychlém toku
- se vyhlo rozkladu vytlačovaného materiálu, který částečně souvisí se stagnacemi (tato otázka záleží na době pobytu materiálu ve vytlačovací hlavě a teplotám této hlavy)

Termodynamické hledisko je úzce spojeno s reologickými aspekty. Při vytlačování je důležité kontrolovat maximální teploty, kterých je dosaženo v toku taveniny v trysce. V potaz musí být brán přenos tepla z vytlačovacího stroje a rozptyl tepla do okolí zejména u teplotně citlivých polymerů. [2]

Typy spojů vytlačovacích hlav s vytlačovacím strojem

Spojení vytlačovací hlavy s pracovním válcem musí být pevné a čisté. Spoj musí umožňovat snadnou montáž i demontáž. Hlava bývá připojena k válci šnekového vytlačovacího stroje několika způsoby. U menších strojů se někdy šroubuje konec válce, jinak se používá bajonetové nebo objímkové uchycení nebo přírubové uchycení sklápěcími šrouby (Obr. 12). [4]



Obr. 12 Způsoby spojení vytlačovací hlavy s pracovním válcem[11]

Poznámka k obr. 12:

a – prostý šroubový spoj, b – přírubový spoj, c – přírubový spoj se sklopnými šrouby, d – objímkový spoj, e – bajonetový spoj
 1 – vytlačovací hlava, 2 – pracovní válec, 3 – šroub, 4 – odklopný šroub, 5 – objímka, 6 – objímka bajonetu, 7 – matice

Mezi konec šneku a vytlačovací hlavu je možné vložit lamač (Obr. 12). Lamač je děrovaná deska s otvory o velikosti 3 až 8 mm, jehož úkolem je uskutečnit poslední homogenizaci vystupující taveniny ze šneku. Pro vytlačování malých průměrů není potřeba lamač použít.[4]

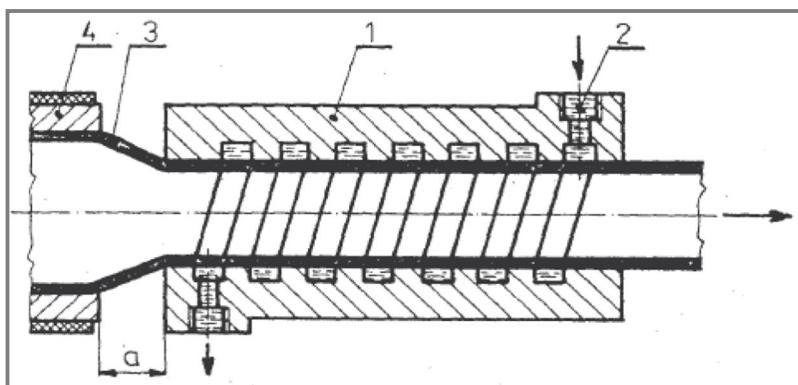
1.1.4 Kalibrační část

Účelem kalibračního zařízení je ochladit vytlačovaný profil nebo trubku tak, aby byl zafixovaný požadovaný stabilní tvar a rozměr.

1.1.4

Průvlastková kalibrace

Průvlastková kalibrace (Obr. 13) je konstrukčně řešena jako kalibrační pouzdro opatřené šroubovou drážkou, kterou protiproudně prochází chladicí voda a ta ochladí povrch profilu natolik, že si uchová požadovaný tvar a rozměr. [4]

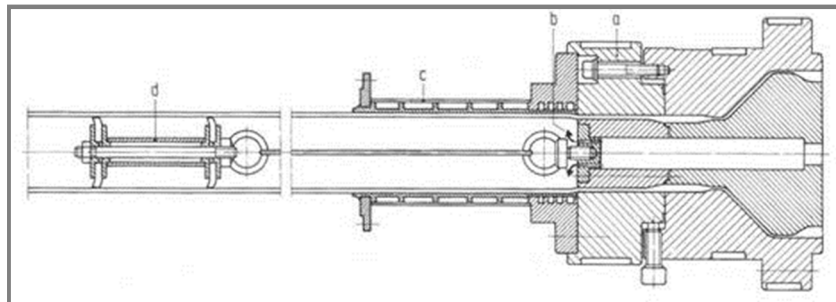


Obr. 13 Průvlastková kalibrace [4]

Přetlaková kalibrace

Přetlaková kalibrace (Obr. 14) se používá pro kalibraci trubek větších průměrů nebo uzavřené profily, které příliš nemění svůj tvar. Vzduch o přetlaku okolo 0,075 MPa se přivádí přes rozdělovač a trn do trubky a ta je tímto přitlačována k chlazenému kalibračnímu pouzdro. V trubce je umístěna zátka, která je uchycena k hlavě

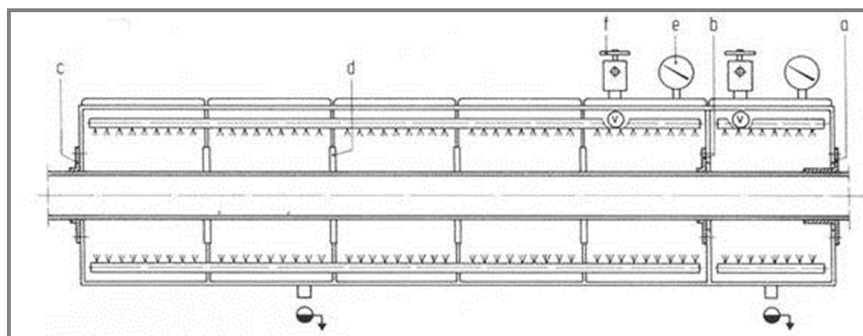
mechanicky drátem, lankem nebo řetězem, resp. elektromagnetem a která umožňuje malý průnik vzduchu, aby se trubka chladila také z vnitřku. [4]



Obr. 14 Přetlaková kalibrace [5]

Vakuová kalibrace

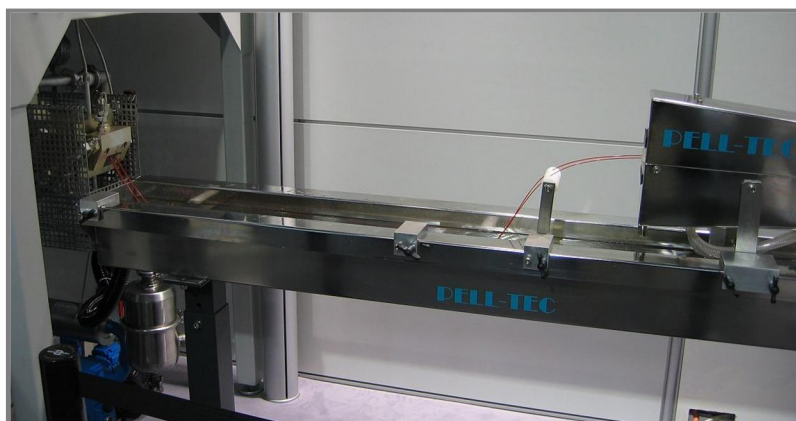
Nejběžněji používaným typem kalibračního zařízení je vakuová (podtlaková) kalibrace (Obr. 15). Kalibrace nastává přisáváním trubky ke kalibračnímu pouzdru. Povrch trubky se dotykem s pouzdrum ochladí a tvar zůstává zachován. Vakuová kalibrace je vhodná pro menší průměry a pro výrobky s tenčí stěnou. [4]



Obr. 15 Vakuová kalibrace [5]

Chladicí vana

Kalibrační zařízení se obvykle doplňuje nebo je součástí chladicí vany (Obr. 16), ve kterých se výrobek dochlazuje na takovou teplotu, aby nedocházelo k jeho nevratným deformacím v dalších zařízeních vytlačovací linky (např. při dělení, navíjení, odtahování). Chlazení se provádí ponorem profilu ve vodě, nebo sprchováním. [9]



Obr. 16 Chladicí vana [5]

Druh kalibrace je volen podle druhu požadavku na rozměry a tvar. Například přetlakovou kalibrací dosáhneme přesných vnějších rozměrů, naopak podtlakovou dosáhneme přesných vnitřních rozměrů. [9]

1.1.5 Odtahovací zařízení

1.1.5

Pro odtahování vytlačovaného výrobku se používají pásové nebo válcové odtahovací zařízení. (Obr. 17) Cílem odtahovacího zařízení je poskytnutí konstantního, kontrolovaného tempa rychlosti pro produkt, jež je vytlačovaný z vytlačovací hlavy a to bez poškození výrobku rozmačkáním, deformací, nebo způsobením estetických vad. Hlavní rozdíl mezi válcovým a pásovým odtahem je v počtu poskytnutých kontaktních ploch produktu a odtahovacího zařízení, na které mohou působit třecí a tažné síly. [16]

Válcové rolny mají velmi malou kontaktní plochu s vytlačovaným produktem a jsou tak limitovány ve velikosti produktu, který může být odtahován bez poškození, a také jsou limitovány velikostí tažné síly, která může být převedena na vytlačovaný produkt. [16]

Pásová odtahovací zařízení mají mnohem větší kontaktní délku, která vzniká použitím dvojice pásů. Nastavením mezery mezi pásy je určována velikost odtahovaného výrobku. Použití je pro středně velké a velké produkty. [16]

Pásové i válcové odtahovací zařízení musí být schopny překonat jakékoliv třecí síly, které mohou vzniknout při vytlačovacím procesu ve vytlačovací hlavě, nebo při průchodu chladicí nádrží. [16]



Obr. 17 Odtahovací zařízení (vlevo – pásový, vpravo - válcový) [15]

1.1.6 Navíjecí zařízení

1.1.6

Navíjecí zařízení (Obr. 18) slouží pro navíjení kruhových profilů, nebo trubek na cívky pro snazší skladování a dopravu k zákazníkovi. Pro zajištění přesného navíjení musí být zajištěno řízení rychlosti navíjecího bubnu s cívkou podle rychlosti vytlačovacího procesu a podle množství již navinutého plastového produktu na cívce.

Potřeba je také zajistit řádkovač, který bude podávat produkt v řádcích pro zajištění přesného a skladného umístění na cívce.



Obr. 18 Navíjecí zařízení [15]

1.2

1.2 Faktory ovlivňující vlastnosti vytlačovaných výrobků

1.2.1

1.2.1 Zamrzlá orientace polymerních řetězců

Účinkem vnějšího napětí se polymerní řetězce deformují ve směru působícího napětí. Po uvolnění působení napětí mají polymerní řetězce snahu vrátit se do svého původního polosbaleného stavu. Rychlost návratu do původního stavu je popisován tzv. relaxační dobou. Největší smykové namáhání taveniny je na stěně hubice, a proto mají polymerní řetězce největší orientaci na povrchu výrobku. Jakmile výrobek opustí hubici, přestane na polymerní řetězce působit napětí, a ty se začnou vracet do původního polosbaleného stavu. Protože tavenina chladne, začínají se prodlužovat relaxační doby. Při normální teplotě jsou relaxační doby velmi dlouhé, a proto ve výrobku zůstává zbytková orientace polymerních řetězců po prakticky neomezenou dobu a označuje se jako tzv. zamrzlá. Zamrzlá orientace je často doprovázena zbytkovým vnitřním pnutím. Velikost zamrzlé orientace a zbytkového pnutí závisí na následujících faktorech:[4]

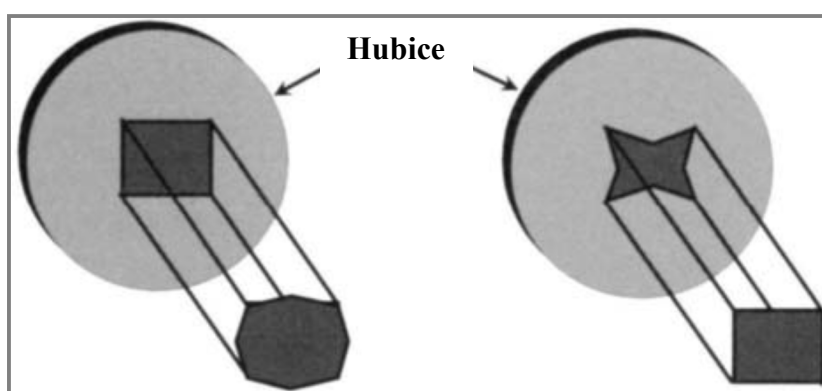
- stupni počáteční orientace
- průměrných relaxačních dobách taveniny v rozsahu teplot mezi teplotou zpracování a teplotou tuhnutí polymeru
- čase, který je k dispozici pro zrušení orientace

Aby se zabránilo vzniku zamrzlé orientace je nutné vnitřní pnutí vhodným způsobem minimalizovat. Pokud nejde změnit technologické parametry při vytlačování, lze toho docílit finální teplotou výrobků při obdobné teplotě. Přitom je ovšem zapotřebí zajistit, aby nedošlo k nežádoucím tavným změnám. [4]

1.2.2 Narůstání za hubicí

Při vytlačování často dochází k tomu, že vytlačovaný profil má větší průřez, než je průřez hubice. Toto tzv. narůstání za hubicí (Obr. 19) je důsledkem normálových napětí, kdy polymerní řetězce orientované v hubici se po uvolnění napětí za hubicí vracejí do polosbaleného stavu a výrobek se v podélném směru smršťuje a v příčném směru narůstá. Při výzkumu narůstání byly zformulovány tyto poznatky: [4]

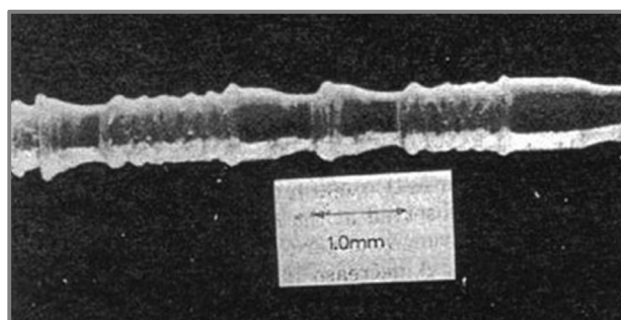
- narůstání za hubicí vzrůstá se smykovou rychlostí
- při konstantní smykové rychlosti narůstání za hubicí klesá s klesající teplotou, ale maximum poměru narůstání s rostoucí teplotou vzrůstá
- při konstantní smykové rychlosti narůstání klesá se zvětšující se délkou hubice
- čím delší je doba průchodu taveniny hubicí, tím menší je narůstání za hubicí



Obr. 19 Narůstání za hubicí [3]

1.2.3 Poruchy toku

Poruchy toku (Obr. 20) nastávají, je-li polymer vytlačován tak, že smyková rychlost nebo smykové napětí se dostává nad kritickou mez, na kterou má vliv teplota, typ polymeru a jeho relativní molekulová hmotnost. Poruchy toku se projevují zvlněným povrchem vystupujícího výrobku. Tomuto jevu se také občas říká „shark skin“.[4,6]



Obr. 20 Poruchy toku [26]

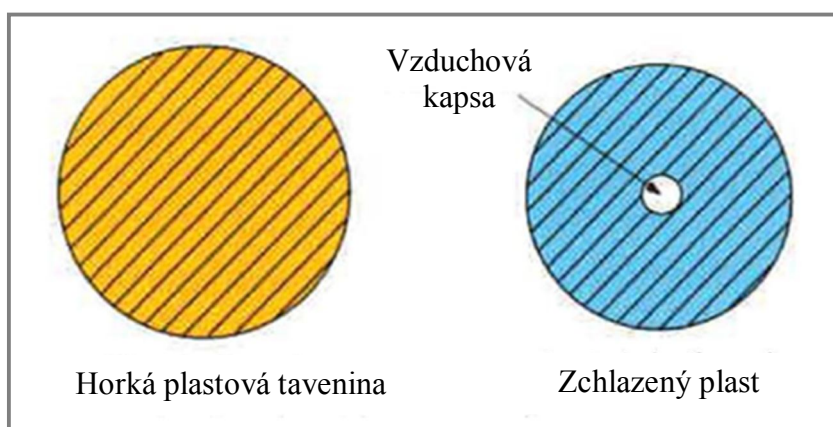
Poruchy toku lze redukovat nebo úplně odstranit následujícími způsoby:[6]

- zajistit minimální odpor tokového kanálku vůči proudění taveniny (leštění, lapování)
- redukovat smykové napětí na výstupu z trysky
- použít přísady pro vytlačovaný plast, které zlepšují tokové vlastnosti taveniny
- použít vnitřní mazání tokového kanálku pomocí lubrikantů
- zvětšit teplotu taveniny ve vytlačovacím stroji
- rozšířit tokový kanálek směrem k výstupu
- zvýšit teplotu vytlačovací hlavy

1.2.4

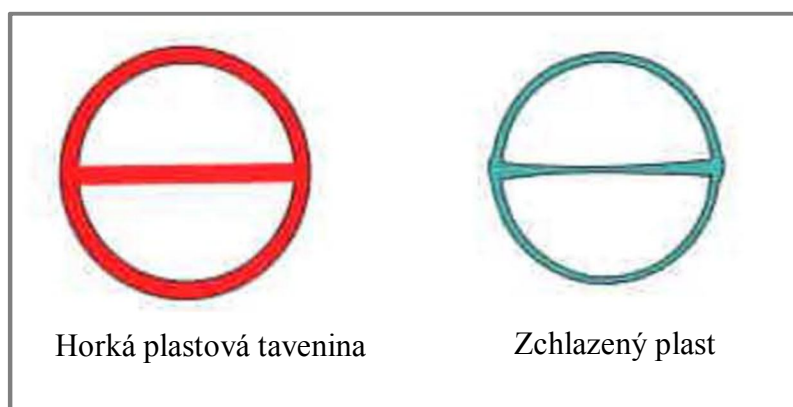
1.2.4 Deformace a smršťování při chlazení

Chlazení zvyšuje hustotu vytlačovaného plastu, a proto u nich dochází ke zmenšení její velikosti. Semikrystalické plasty se při chlazení smršťují více než amorfní plasty, protože krystalická mřížka má větší hustotu oproti amorfní neuspořádané mřížce. Chlazením většinou nedochází k rovnoměrnému zmenšení velikosti v celém tělese. U dílů s tlustými stěnami, se můžou objevovat vzduchové kapsy uvnitř tělesa, protože vnější stěna se ochladí a ztuhne dříve než stále tekuté jádro tělesa. Později začne chladnout i jádro, ale to je omezeno ztuhlou vnější stěnou. Plast má tendenci se smrštit k vnitřní stěně a vytvořit tak mezeru uprostřed (Obr. 21). [1]



Obr. 21 Vznik vzduchových kapes [1]

Deformace vzniklá z chlazení může být závažnější, pokud těleso má žebra výstupky a jiné výčnělky. Například multi-lumen trubice s příčkou (obr. 22). [1]



Obr. 22 Deformace multi-lumen trubice s příčkou při chlazení [1]

Výskyt těchto deformací a vzniků vzduchových kapes záleží hlavně na rychlosti ochlazování výrobku. Používány jsou speciální vakuové a chladicí nádrže s postupným chlazením, kde na začátku je chlazeno do vody o vyšší teplotě a postupně přechází do studenější. Chladicí nádrže s postupným chlazením jsou technologicky a cenově náročnější.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2.1

2.1 Analýza problému

Pro návrh vytlačovací hlavy je důležité uvědomovat si princip zpracování plastového materiálu, který vstupuje do vytlačovací hlavy stroje. Samotná vytlačovací hlava je řešena z několika hledisek, které při navrhování konstruktér musí brát v úvahu. Mezi tyto hlediska patří výrobní, provozní, reologické a termodynamické hledisko. Na vytlačovací hlavu nepřímo navazuje kalibrační část, která zajišťuje konečný přesný tvar a rozměr výrobku.

Z technologického a teoretického hlediska je navrhování vytlačovacích hlav již dobře probádaná oblast, ale i nadále vznikají nové problémy s kvalitou výrobků, s dodržováním přesností a vznikem vzduchových bublin při zvyšování produktivity a efektivnosti vytlačovacího procesu. Tyto problémy jsou pak odlišně řešeny individuálně podle druhu vytlačovaného výrobku a použitých technologií. Například vytlačování plných profilů provází problém se vznikem vakuol, jedním z možných řešení je použití složitějšího chladicího systému s postupným ochlazením.

Nový koncepční návrh, který je zpracován v této práci, řeší vznik vzduchových bublin a přesnost výroby u plných profilů, připevněním kalibrační a chladicí části přímo na vytlačovací hlavu. Vodní temperační jednotkou je poté možné v tomto díle poměrně přesně určovat teplotu taveniny, případně snižovat teplotu podle potřeby a pokusit se experimentálně nalézt požadovanou teplotu vytlačování. Hledá se teplota pravděpodobně blízko bodu skleného přechodu plastového materiálu, kdy bude zajištěn požadovaný a stabilní tvar před výstupem z vytlačovací hlavy. Tím se zamezí narůstání za hubicí a také se tím omezí prostor pro vznik vzduchových kapes, protože na rozdíl od chlazení přímo do vody je zde vytvářen postupný chladicí profil. Potřeba je experimentálně zjistit teplotu temperace vytlačovací hlavy. Pokud by teplota byla příliš vysoká, bude docházet k narůstání profilu za hubicí. Když bude chlazení příliš intenzivní, začnou vznikat vzduchové kapsy a bude docházet k zamrzávání v trysce a zastavení vytlačovacího procesu.

2.2

2.2 Cíle práce

V současné době jsou na Chemické fakultě VUT v Brně v provozu dva vytlačovací stroje. Pro tyto stroje je potřeba navrhnout univerzální vytlačovací hlavu s možností výměnné trysky pro zvýšení efektivnosti výroby a úspory nástrojů. Současně je z výzkumného hlediska použit a otestován koncepční návrh, kdy kalibrace a chlazení je přímo připevněna na vytlačovací hlavu. Pokud by tato koncepce obstála, odpadla by nutnost používání rozměrných chladicích nádrží, došlo by ke zkrácení výrobní linky a úspoře zástavbového prostoru.

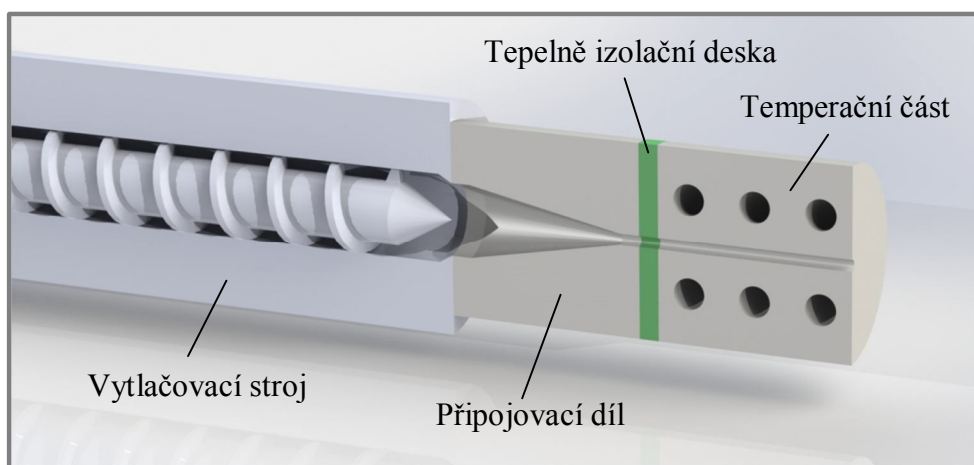
Cíle definované podle zadání diplomové práce:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh vytlačovací hlavy na výrobu plastových profilů protlačováním s těmito parametry:

- nová koncepce chlazení vytlačovacího nástroje
- průměr protlačovaného vlákna 3 mm
- zajištění automatického odebírání materiálu

3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Návrh konstrukce sestává ze základního připojovacího tvarovacího dílu, pro připojení vytlačovací hlavy k vytlačovacímu stroji. Klasická konstrukce potom nechává vytlačovaný drát vystoupit z vytlačovací hlavy a vstupuje do chladicí nádrže, kde je zafixován stabilní tvar. Návrh nové konstrukce spočívá v připevnění temperační části přímo na vytlačovací hlavu, kde je teplota taveniny snižována blízko k bodu skelného přechodu.



Obr. 23 Konceptní návrh vytlačovací hlavy

Z důvodu nového koncepčního návrhu je před experimentální částí potřeba provést simulace vytlačovacího procesu, ze kterých lze vyčíst teplotní rozložení ve vytlačovací hlavě. Potřeba je zvolit vhodné okrajové podmínky a určit délku temperačního procesu. Nejprve jsou provedeny simulace samotné tokové mřížky, které slouží k určení přibližné délky temperační části. Poté jsou navrženy varianty řešení a podle výsledků ze simulací a cenové náročnosti na výrobu je vybrána optimální varianta.

3.1 Simulace vytlačovacího procesu tokového kanálu

Simulace vytlačovacího procesu byly prováděny v programu Virtual Extrusion Laboratory od firmy Compuplast Zlín. Se zapůjčenou licencí pro simulování 3D FEM vytlačovacího procesu byly simulovány chladicí vlastnosti jednotlivých návrhů vytlačovacích hlav, tak i samotných tokových mřížek. Důležité je zmínit, že tyto simulace s chladicím, temperačním segmentem umístěným na vytlačovací hlavě v praxi nikdo zatím neprováděl. Simulace vytlačovacího procesu počítají s teplotami taveniny v celé vytlačovací hlavě kolem 200°C kdy tokové vlastnosti plastového materiálu jsou zaručené. Simulace, kdy chlazením je snižována teplota taveniny, je z reologického hlediska problémová, proto jsou tyto simulace pouze pro získání informací o teplotním rozložení ve vytlačovací hlavě.

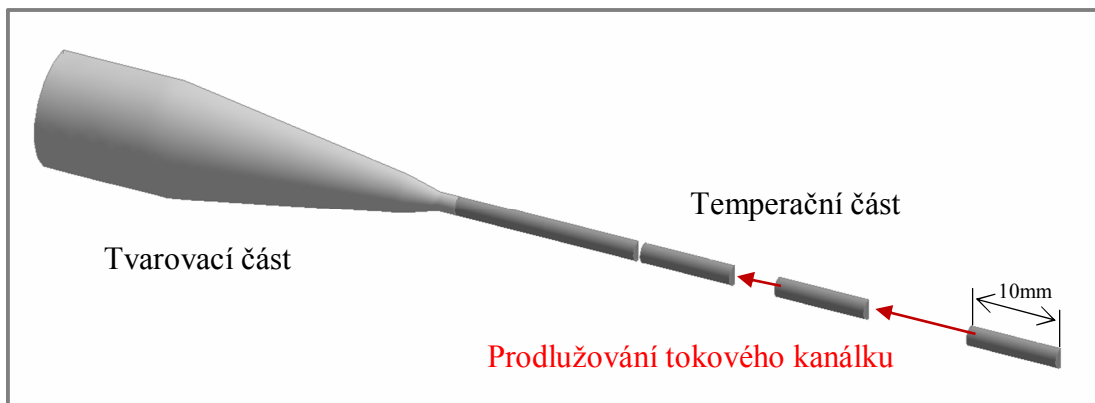
Simulace tokového kanálku

Simulace samotného tokového kanálku bez ocelové mřížky slouží pro zjištění délky temperačního segmentu. Jedná se o pouhý nástin skutečného temperačního procesu, protože při odstranění ocelové mřížky ze simulace dojde k zmenšení počtu odporových dílů, které ve výpočtech přidávají proměnné zpřesňující výpočet.

Výsledky těchto simulací se dají považovat za temperaci při nejlepších možných podmínkách, kterých ale ve skutečnosti nelze dosáhnout. Přidáním ocelové mřížky dojde vždy k zhoršení odvodu tepla.

Model pro simulaci samotné tokové mřížky (Obr.24) se skládá z tvarové části, která odpovídá tokovému kanálku přípojovacího dílu a z válcové části o průměru vytlačovaného drátu 3 mm a délce 10 mm. V této válcové části v simulaci dochází k temperaci tokového kanálku. Simulace je provedena s jedním válečkem temperační části. Z výsledků je zjištěno tepelné rozložení v tokové mřížce, a zda dochází k zchlazení na požadovanou teplotu v celém průřezu. Pokud nedochází k ustálení teploty v celém průřezu, postupným přidáváním stejně dlouhých válečků návazně za sebou a opakováním těchto simulací je prodlužována temperační část, dokud není určena potřebná délka.

Napojování jednotlivých segmentů tokové mřížky je podmíněno návazností jednotlivých elementů jejich mřížek v místech spojů, kde na sebe vzájemně jednotlivé segmenty dosedají. Pro zjednodušení a snížení počtu elementů a tím zvýšení rychlosti výpočtu (bez snížení přesnosti výpočtu) je toková mřížka počítána s osovou symetrií, tím odpadá polovina modelu.

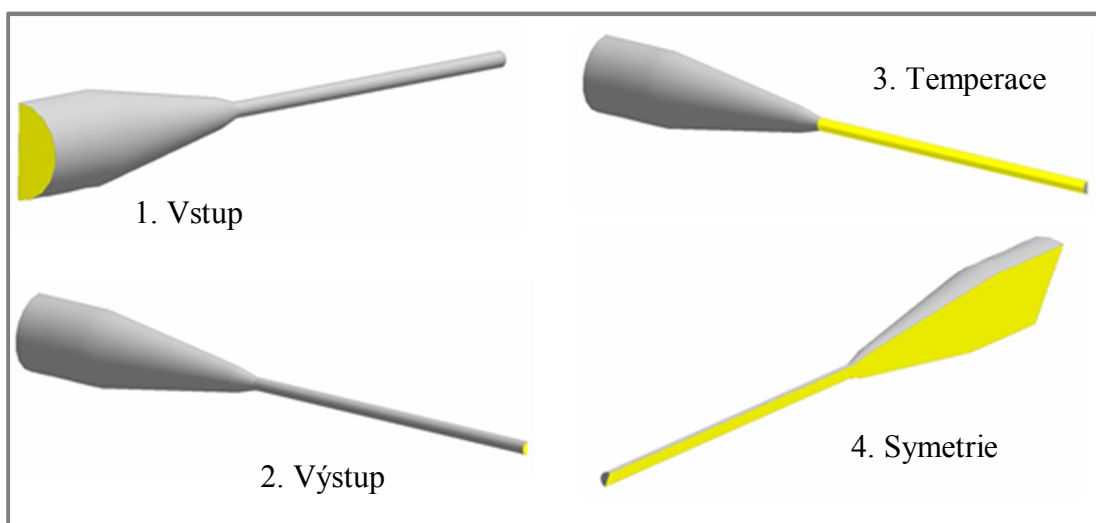


Obr. 24 Model tokového kanálku pro simulaci

Po složení tokové mřížky je potřeba ještě zadat okrajové podmínky a určit vytlačovaný materiál. Plastový materiál je zpracováván ABS a polystyren. Primárně jsou uváděny výsledky pro plast ABS a to z důvodu, že jedním z možných využití vytlačovaného plastového drátu ABS o průměru 3 mm je použitelnost u 3D tiskáren na bázi FDM tisku, které jsou na ústavu konstruování hojně využívány a je v plánu využívat vytlačování vlastního tiskového materiálu.

3.1.1 Okrajové podmínky pro jednotlivé plochy řešené mřížky

3.1.1



Obr. 25 Okrajové podmínky

1. Vstup – na vstupu se určí teplota taveniny a rychlost proudění.
2. Výstup – určí se pouze plocha výstupu
3. Temperace – určí se působící teplota a koeficient přestupu tepla
4. Symetrie – určí se plocha, podle které je dána symetrie součásti

Zbývající nevybrané plochy se poté počítají jako dokonale izolované. To u těchto simulací zanáší nepřesnost, ale pro základní určení účinnosti temperace je to přijatelné. Přesnější výpočty jsou poté provedeny pro jednotlivé návrhy vytlačovacích hlav.

Hodnoty okrajových podmínek pro simulaci samotné tokové mřížky

Tyto hodnoty jsou zvoleny po konzultacích a podle uvážení. Při experimentálním zkoušení se hodnoty okrajových podmínek budou měnit podle nutnosti nastavení stroje, které nelze předem přesně předvídat. U návrhové části je tedy snaha o stanovení stejných okrajových podmínek, při kterých lze srovnávat jednotlivé varianty. Srovnání simulací s experimenty je popsáno v diskuzi.

Na vstupu je vždy dána teplota taveniny $T_t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Rychlost vytlačování je zadána $f = 0,1 \text{ kg/h}$ podle indexu toku testovaného materiálu ABS, kdy je produktivita výroby maximální. Temperace je počítána s $T_{\text{tem}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy se snažíme dostat k bodu skelného přechodu materiálu (teplota skelného přechodu pro ABS je 110°C). Při experimentech bude používána teplota vyšší. Jedním z důvodů proč simulace probíhají s teplotami okolo skelného přechodu je, že při snižování teploty se zvyšuje nepřesnost simulací, vlivem extrapolace viskozity materiálu. Při poklesu teploty pod bod skelného přechodu je materiál ztuhlý a s viskozitou již nelze počítat. Ve skutečnosti by mělo docházet ke skluzu. Program s viskozitou počítá i dále a zvyšuje jeho hodnotu s klesající teplotou a tím vzniká disipační napětí, které zahřívá tokovou mřížku a zvyšuje nepřesnost simulace, proto nelze použít tyto

simulace pro chlazení na nižší teploty. Hlavní důvod je, že při intenzivním chlazení by mohlo docházet ke vzniku vakuol.

HTC neboli koeficient přestupu tepla je určen podle materiálů, mezi kterými dochází k přestupu tepla, a dalších proměnných. U simulací samotné tokové mřížky je použita $HTC = 1137 \text{ W/m}^2\text{K}$, tato hodnota je pro přestup tepla mezi taveninou a ocelí a je používána u simulací vstřikování. [14]

Koeficient přestupu tepla HTC (heat transfer coefficient)

Koeficient přestupu tepla je hodnota, která určuje jak dobře nebo jak špatně je teplo přenášeno mezi dvěma tělesy ve vzájemném kontaktu. Typicky je tato hodnota používána pro výpočet přestupu tepla mezi kapalinou (nebo vzduchem) a pevnou látkou u mnoha případů chladicích systémů. [14]

Základní vzorec:

$$HTC = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

kde:

Q	W	je tepelný tok na vstupu, nebo ztrátový tepelný tok
HTC	$\text{W/m}^2\text{K}$	- koeficient přestupu tepla
A	m^2	- plocha přestupu tepla
ΔT	K	- rozdíl teplot mezi pevnou látkou a okolní kapalinou

Jelikož jednou z proměnných je rozdíl teplot, který je různý v odlišných místech přechodové plochy, výpočty skutečného rozložení jsou poměrně složité a pro zjednodušení se používají tabulkové hodnoty naměřené a navržené pro různé případy. Pro nejčastěji používanou vodu jsou hodnoty v rozmezí 500 až 10 000 $\text{W/m}^2\text{K}$ a pro vzduch 10 až 150 $\text{W/m}^2\text{K}$. Uvedené rozsahy jsou podle kondicí. Nižší hodnoty jsou pro nepříznivé podmínky, jako například nižší rychlost proudění, vyšší viskozita a různé nečistoty. Vyšší hodnoty jsou pro více příznivé podmínky. [23]

Příklady hodnot koeficientu přestupu tepla používané u vstřikování plastů:

Vodní chlazení pomocí válcových kanálek – $HTC = 1275 \text{ W/m}^2\text{K}$

Plastová tavenina na ocel – $HTC = 1135 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vzduchem chlazené kanálky – $HTC = 140 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tyto hodnoty lze použít i pro vytlačovací proces. [14]

3.1.2

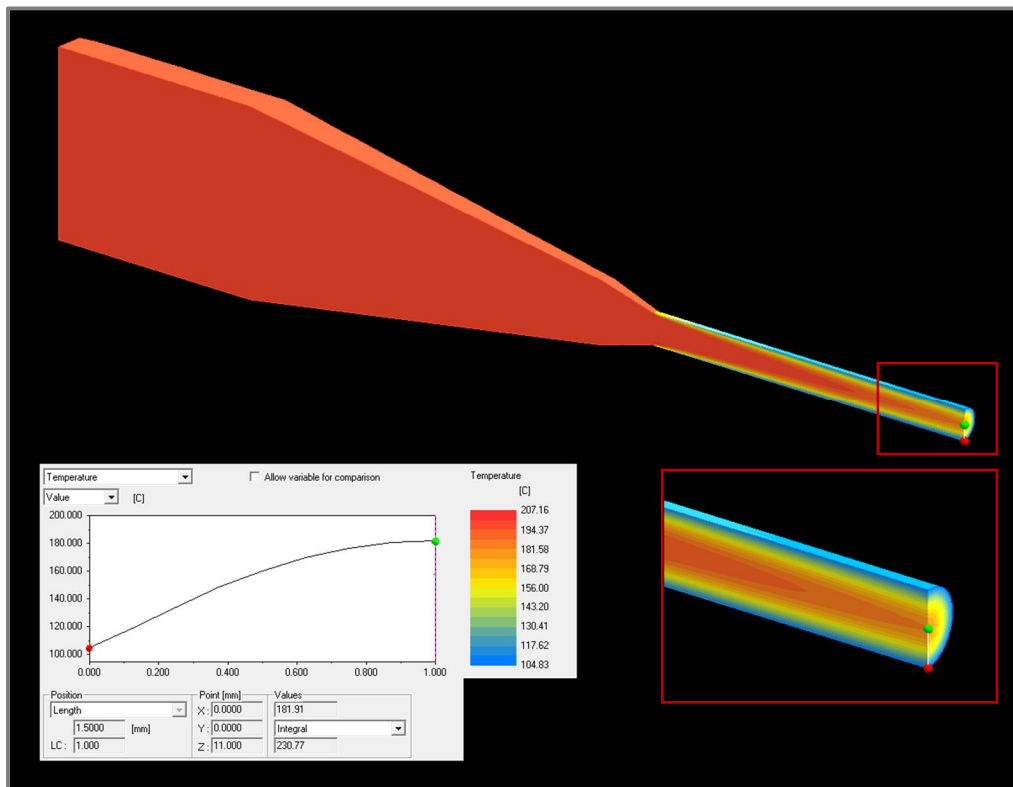
3.1.2 Vybrané výsledky ze simulací samotné tokové mřížky

V simulacích je za cíl najít optimální délku temperačního systému, tak aby teplota na výstupu byla v celém průřezu pro vytlačovaný materiál ABS ustálená.

Temperační část – délka 30 mm

Okrajové podmínky: $T_t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $f = 0,1 \text{ kg/h}$, $T_{\text{tem}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $HTC = 1137 \text{ W/m}^2\text{K}$

Testovaný materiál: ABS

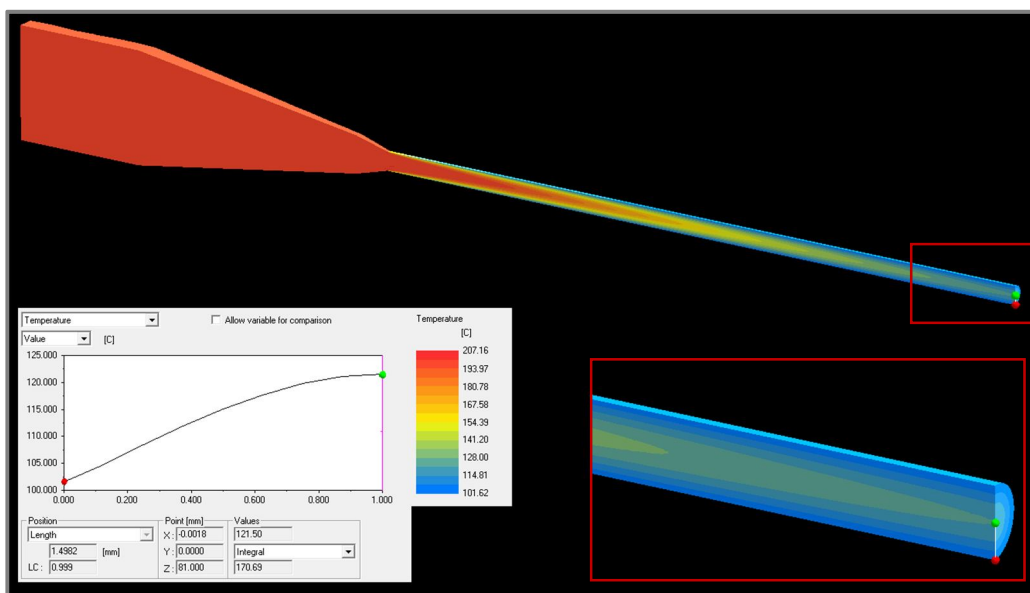


Obr. 26 Simulace samotného toku pro délku temperace 30 mm

Na tomto výsledku je vidět že působení teplot na okrajových plochách se projeví rychlou změnou teploty, ale do jádra toku je působení odvodu tepla pomalejší. Takto krátké působení temperace je nedostatečné pro ustálení teploty v celém průřezu na požadovanou teplotu.

Chladicí část – délka 100 mm

Okrajové podmínky: $T_t = 200\text{ °C}$, $f = 0,1\text{ kg/h}$, $T_{\text{tem}} = 100\text{ °C}$, $\text{HTC} = 1137\text{ W/m}^2\text{K}$
 Testovaný materiál: ABS



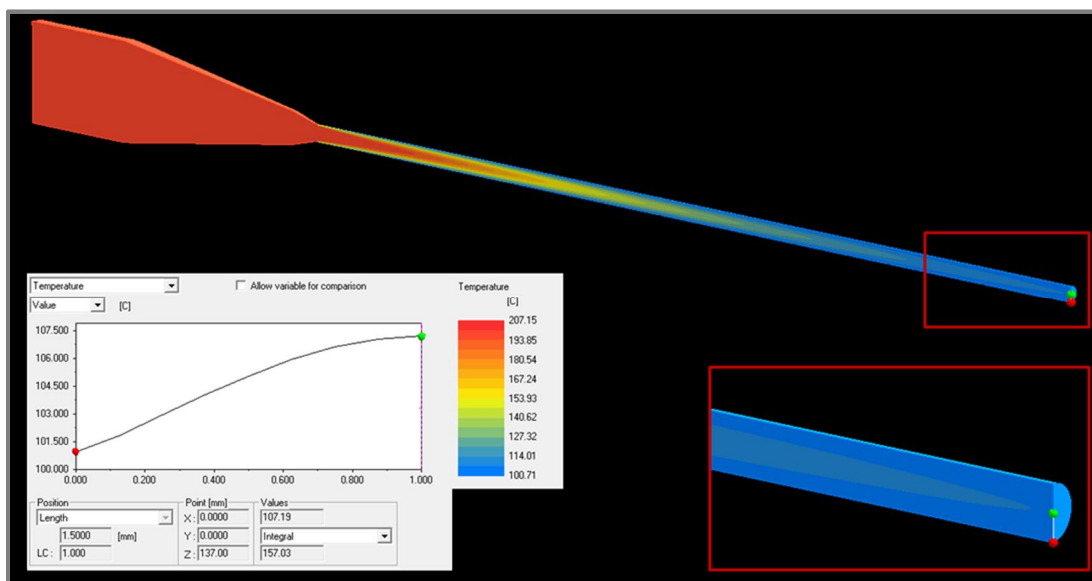
Obr. 27 Simulace samotného toku pro délku temperace 100 mm

U této simulace výsledky ukazují teplotu v jádře 121,5 °C, oproti okrajové ploše kde je 107°C. Tento výsledek se již dá považovat za dostatečný, ale jelikož se jedná o ideální chlazení a ve skutečnosti bude odvod tepla horší, pokračovalo se v simulacích a hledal se výsledek, kdy dojde k úplnému ustálení teploty.

Chladicí část – délka 150 mm

Okrajové podmínky: $T_t = 200\text{ °C}$, $f = 0,1\text{ kg/h}$, $T_{\text{tem}} = 100\text{ °C}$, $\text{HTC} = 1137\text{ W/m}^2\text{K}$

Testovaný materiál: ABS



Obr. 28 Simulace samotného toku pro délku chlazení 150 mm

Tento výsledek prokazuje, že na délce 150 mm dochází k ustálení teploty v celém průřezu. Rozdíl teplot 5°C je v rámci přesnosti simulace samotné tokové mřížky považována za zanedbatelnou a lze předpokládat stejnou teplotu v celém průřezu.

Tyto výsledky jsou brány pouze jako odrazový můstek, pro návrh délky chladicího segmentu reálné vytlačovací hlavy. Časová náročnost řešení těchto simulací samotné tokové mřížky je totiž oproti simulacím s ocelovou mřížkou několiknásobně kratší.

3.2

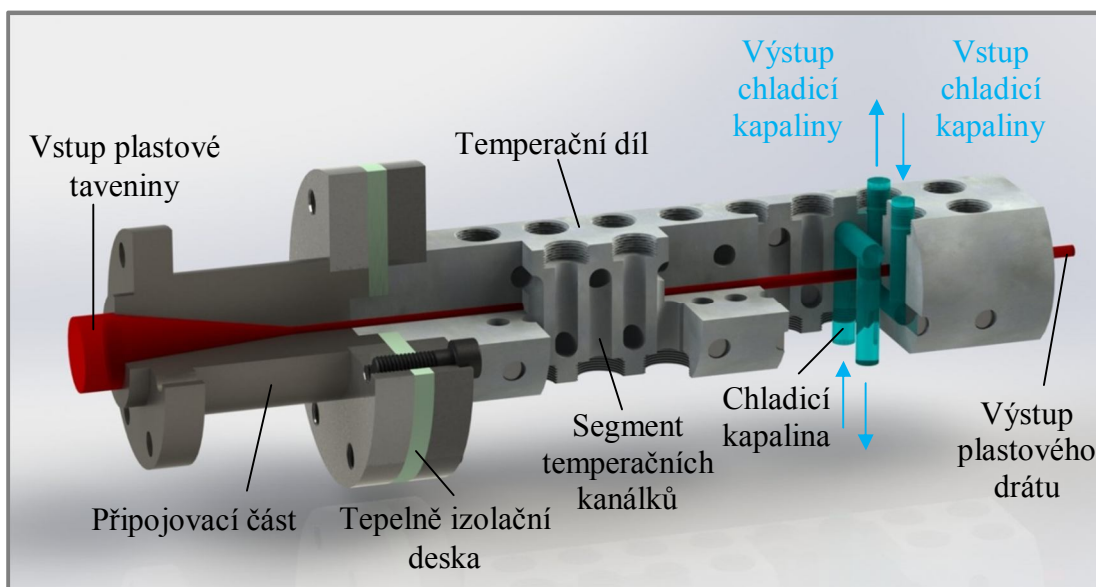
3.2 Varianty temperačního systému

3.2.1

3.2.1 První varianta – Navrtávané temperační kanálky

Tento návrh je založen na snadné výrobě temperačních kanálků. Jeden oběh kapaliny okolo malé části tokového kanálku mají zajistit 3 navrtané díry, které se protínají (vstupní, výstupní a propojovací díra). Oběh je uzavřen vložením zásepky do propojovací díry protínající vstupní a výstupní kanálek. Toto uskupení ovšem nezajišťuje rovnoměrný odvod tepla, což je nežádoucí jev. S poměrně velkou délkou chlazení je počet navrtaných děr vysoký a tím je zvýšena i cenová náročnost na výrobu. Také tato konstrukce vyžaduje návrh poměrně složitého systému rozvodu chladicí kapaliny do jednotlivých kanálků s velkým počtem přípojek, které také navyšují konečnou cenu. Nejvýkonnější odvod tepla nastává, pokud je do jednotlivých segmentů navrtaných kanálků přiváděna chladicí kapalina z jednoho

zdroje. Zde nastává problém jak z jednoho zdroje zajistit rovnoměrné rozložení proudu do několika oddělených větví.



Obr. 29 První varianta temperačního systému

Simulace vytlačovacího procesu první varianty

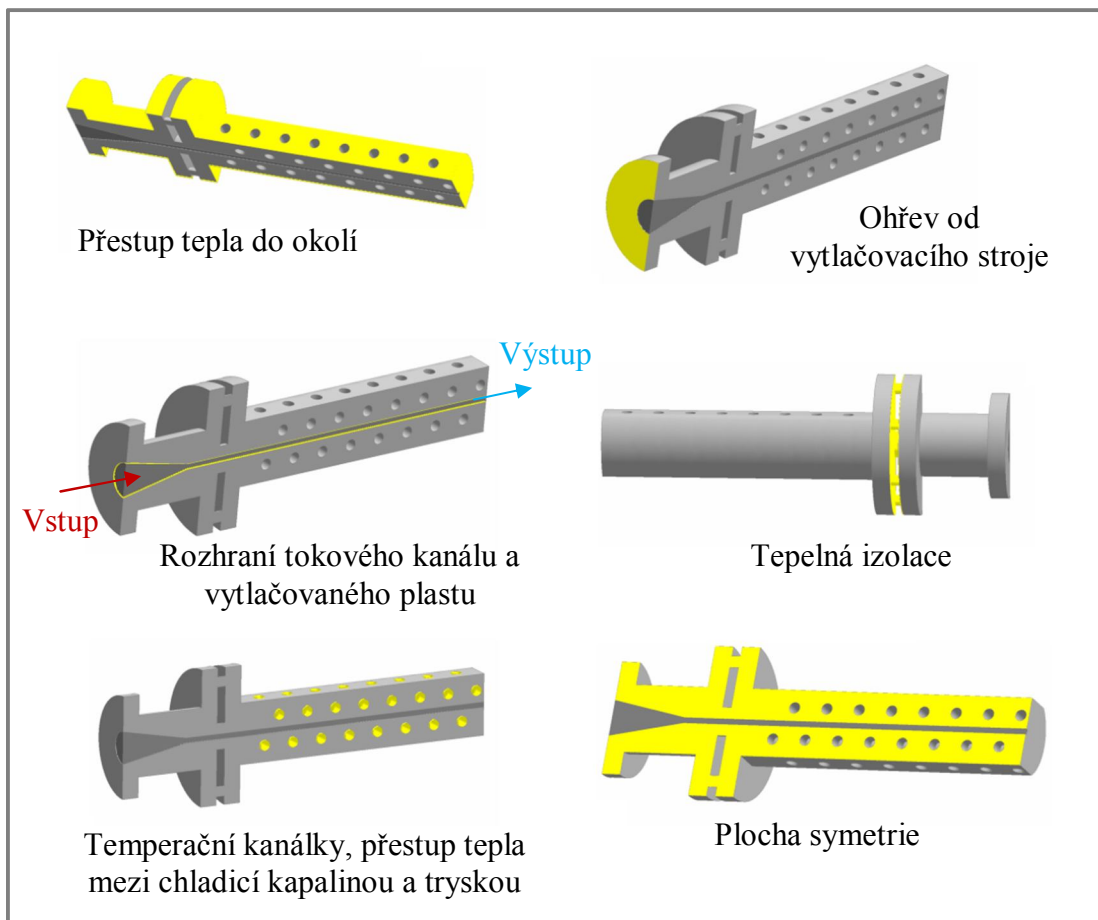
Kompletní simulace vytlačovacího procesu počítá s tokovou mřížkou a ocelovou mřížkou, jejichž elementy v místech kontaktu musejí na sebe přesně navazovat. Hustota mřížky je v místech přestupu tepla od temperačních kanálků a v místě toku plastové taveniny zhuštěná. V těchto částech je přesnost výpočtu nejdůležitější. V místě pro připojovací díl je hustota mřížky menší pro rychlejší výpočet při simulacích. Jelikož se jedná o symetrickou součást, je počet elementů tokové a ocelové mřížky pro výpočet redukován na polovinu, pomocí osové symetrie.

Pro tokovou mřížku zůstávají okrajové podmínky stejné jako u jejich samostatných simulací. Navíc přibudou okrajové podmínky pro jednotlivé plochy ocelové mřížky. Jedná se o plochy temperačních kanálků, kterými proudí voda o teplotě $T_{\text{tem}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ s koeficientem přestupu tepla $\text{HTC}_1 = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dále jsou to plochy, ze kterých odchází teplo do okolí, které má teplotu $T_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ s přestupem tepla $\text{HTC}_3 = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pro připojovací plochu je nastaveno ohřívání od vytlačovacího stroje s teplotou $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Plochy, které oddělují temperační část od připojovací, jsou označeny za izolované a teplo tudy neprochází. K přestupu tepla mezi připojovací a temperační částí dochází přes spojený střed vložené trysky a částečně přes připojovací šrouby v přírubě.

Při simulacích byly zaneseny do výpočtu nepřesnosti, které jsou dále popsány. Pro izolační část je v simulacích zadána dokonalá izolace. Ve skutečnosti je použit izolační materiál, který i přes svoje dobré izolační vlastnosti (přestup tepla $0,13 \text{ W/mK}$) propouští část tepla. Tato nepřesnost je však minimální a konečný výsledek v rámci přesnosti výpočtu konvergence je zanedbatelný. Další nepřesnost je zavedena při určování teploty chladicího média a koeficientu přestupu tepla. Teplotu cirkulující kapaliny přesně $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a rovnoměrný odvod tepla není možné ve skutečnosti zajistit v celém tělese na všech plochách temperačních kanálků. V simulacích není možné zajistit chlazení s proměnou teplotou závislou na přestupu

tepla z ocelové mřížky a musí se použít stejná teplota po celé ploše temperačního kanálku. S tímto problémem také souvisí určování koeficientu přestupu tepla, který kromě typu proudění závisí i na teplotách. Koeficient přestupu tepla by tedy musel být také proměnný podle různých teplotních rozdílů v odlišných částech temperačního systému. Hodnota koeficientu přestupu tepla se pohybuje v rozmezí 500 - 2000 W/m²K, zejména podle rychlosti a typu proudění, velikosti temperované plochy a teplot kapaliny a tělesa. Pro tyto simulace je určen koeficient přestupu tepla 500 W/m²K pro všechny plochy temperačního kanálku, jako nejnižší hodnota přestupu tepla, ve skutečnosti lze předpokládat přestup tepla pouze lepší.

Okrajové podmínky:



Obr. 30 Okrajové podmínky 1. varianty

Vytlačovaný materiál – ABS

Průměr vytlačovaného drátu – 3 mm

Teplota taveniny na vstupu – $T_t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Rychlost proudění na vstupu – $f = 0,1 \text{ kg/h}$

Teplota temperačního média – $T_{tem} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$,

Koeficient přestupu tepla v temperačním kanálku – $HTC_1 = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$

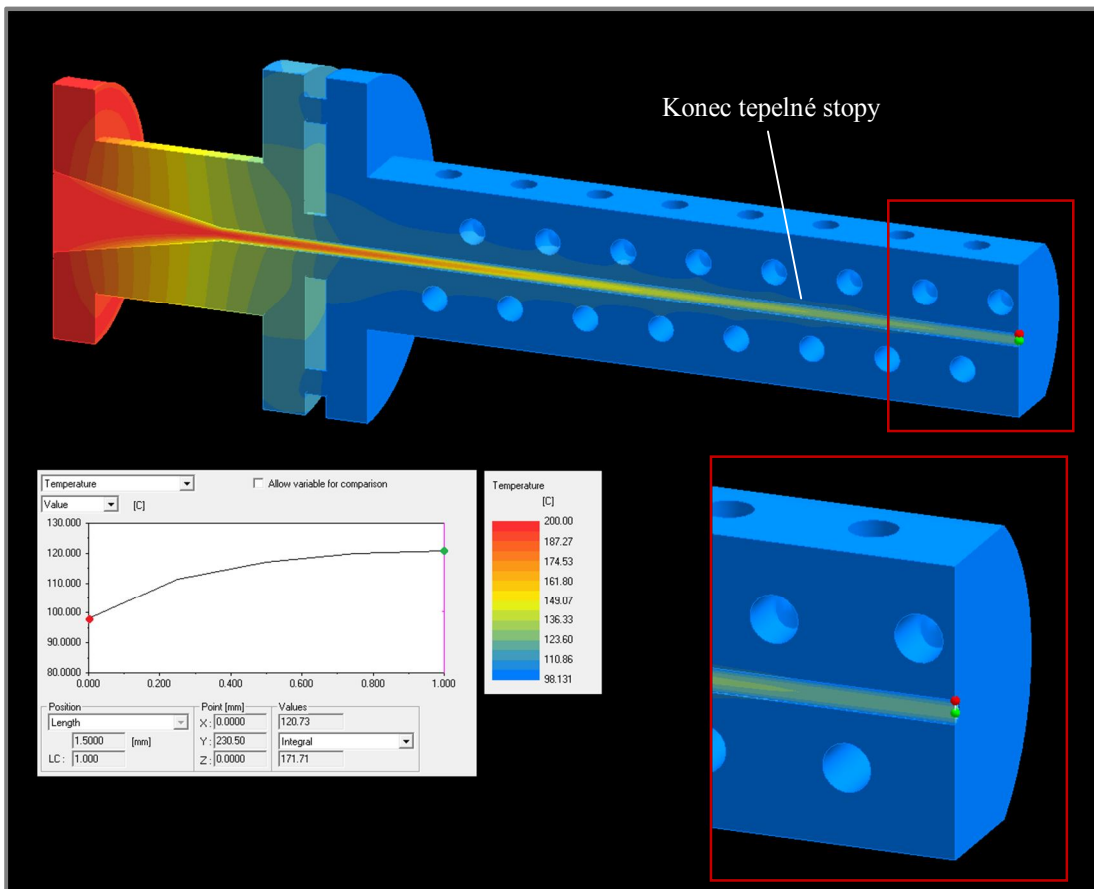
Rozhraní tokového kanálu a vytlačovaného plastu – $HTC_2 = 1137 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ohřev od vytlačovacího stroje – $T_{str} = 200^\circ\text{C}$

Teplota okolí – $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Koeficient přestupu tepla do okolí – $HTC_3 = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Materiál ocelové mřížky – nerezová ocel (tepelná vodivost $\lambda = 15 \text{ W/mK}$)



Obr. 31 Simulace vytlačovacího procesu 1. varianty

Ve výsledku simulace první varianty se stejnou délkou temperace jde vidět rozdíl v teplotách tokové mřížky oproti předchozí simulaci, kde nebyla zahrnuta ocelová mřížka. Z hlediska teploty taveniny na výstupu je tato varianta použitelná. Výsledky ukazují teplotu v jádru $120,7 \text{ }^\circ\text{C}$ a to se dá považovat za ustálený stav. Ze simulací jde také vidět poměrně dlouhou tepelnou stopu, která zasahuje daleko do temperačního dílu. Tato tepelná stopa prodlužuje dobu, než dojde k ustálení teploty v celém průřezu a je nežádoucí.

Výhody:

Rychlá výměna chladicí kapaliny
Snadná technologie výroby

Nevýhody:

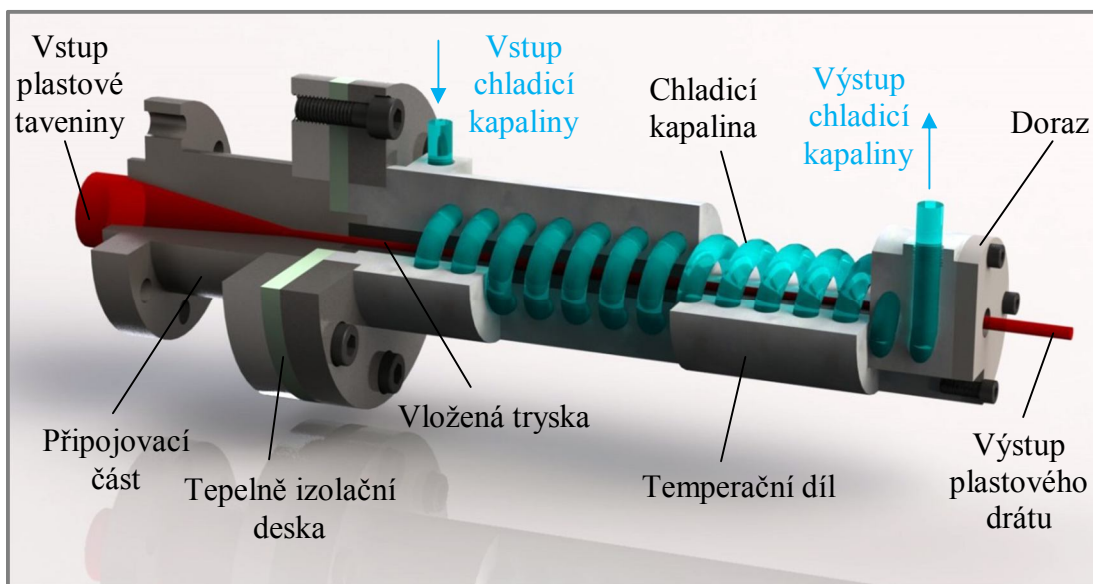
Nerovnoměrný, nesymetrický odvod tepla
Složitý systém rozvodu chladicí kapaliny
Velké množství přípojek
Cenová náročnost (cca 30 000 Kč bez DPH)

3.2.2

3.2.2 Druhá varianta – Spirálovitý temperační kanálek

S možností využití práškového kovového 3D tisku, vznikl návrh, který s umístěním spirálovitého temperačního kanálku obíhajícím okolo tokového kanálu, zajišťuje rovnoměrnější odvod tepla. 3D tisk totiž umožňuje výrobu tvarově složitých dílů a umístění temperačních kanálků v místech a tvarech, které nejsou konvenčními obráběcími způsoby vyrobitelné, nebo jsou cenově a technologicky příliš náročné. Bohužel není možnost nechat vytisknout přímo i tokový kanálek, nebo tento kanálek později do vytisknutého dílu nechat vyrobřit. Vytisknutý výrobek je totiž z práškového kovu, který je omezen velikostí zrn a velikostí tavného paprsku. Tokový kanálek je potřeba vyrobřit s výborným hladkým povrchem s drsností povrchu maximálně $Ra = 0,4 \mu\text{m}$ a toho na vytisknutém dílu nelze dosáhnout. Navíc by docházelo k rychlému opotřebení tokového kanálku vlivem tření a ztrátě tvarové a rozměrové přesnosti vytlačovaného výrobku.

Návrh tištěného temperačního dílu, lze doplnit o vloženou trysku, která by byla vyrobena z nástrojové oceli a vyleštěna na požadovanou drsnost povrchu v tokovém kanálku. Nevýhodou vložené trysky je přidání plochy přechodu mezi tělesem trysky a tělesem temperační části. Přestup tepla přes tuto plochu je snížen vlivem tepelného kontaktního odporu, který závisí na drsnosti povrchu, na materiálu spojených těles a tlaku, kterými jsou povrchy tlačeny k sobě. Pokud by tato varianta byla zvolena, bylo by potřeba zajistit hladký a tvarově přesný přechod mezi tělem temperační části a vloženou tryskou, pro snížení kontaktního odporu. Zajištění vložené trysky proti vysunutí by bylo pomocí dorazu připevněného na čele těla temperační části.



Obr. 32 Druhá varianta temperačního systému

Simulace vytlačovacího procesu

U tohoto modelu vzhledem k nesymetrickému spirálovitému kanálku nebylo možné použít osovou symetrii a bylo nutné simulovat celý model. Bylo potřeba zmenšit nároky na počet elementů v důležitých místech oproti předchozí variantě z důvodu výpočetní náročnosti celého modelu.

Hodnoty okrajových podmínek zůstávají stejné, aby byla zajištěna srovnatelnost a možnost porovnání výhod spirálovitého kanálku oproti navrtávané variantě. Změněné je pouze umístění těchto okrajových podmínek na upraveném simulovaném modelu.

Okrajové podmínky:

Vytlačovaný materiál – ABS

Průměr vytlačovaného drátu – 3 mm

Teplota taveniny na vstupu – $T_t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

Rychlost proudění na vstupu – $f = 0,1 \text{ kg/h}$

Teplota temperačního média – $T_{\text{tem}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$,

Koeficient přestupu tepla v temperačním kanálku – $\text{HTC}_1 = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$

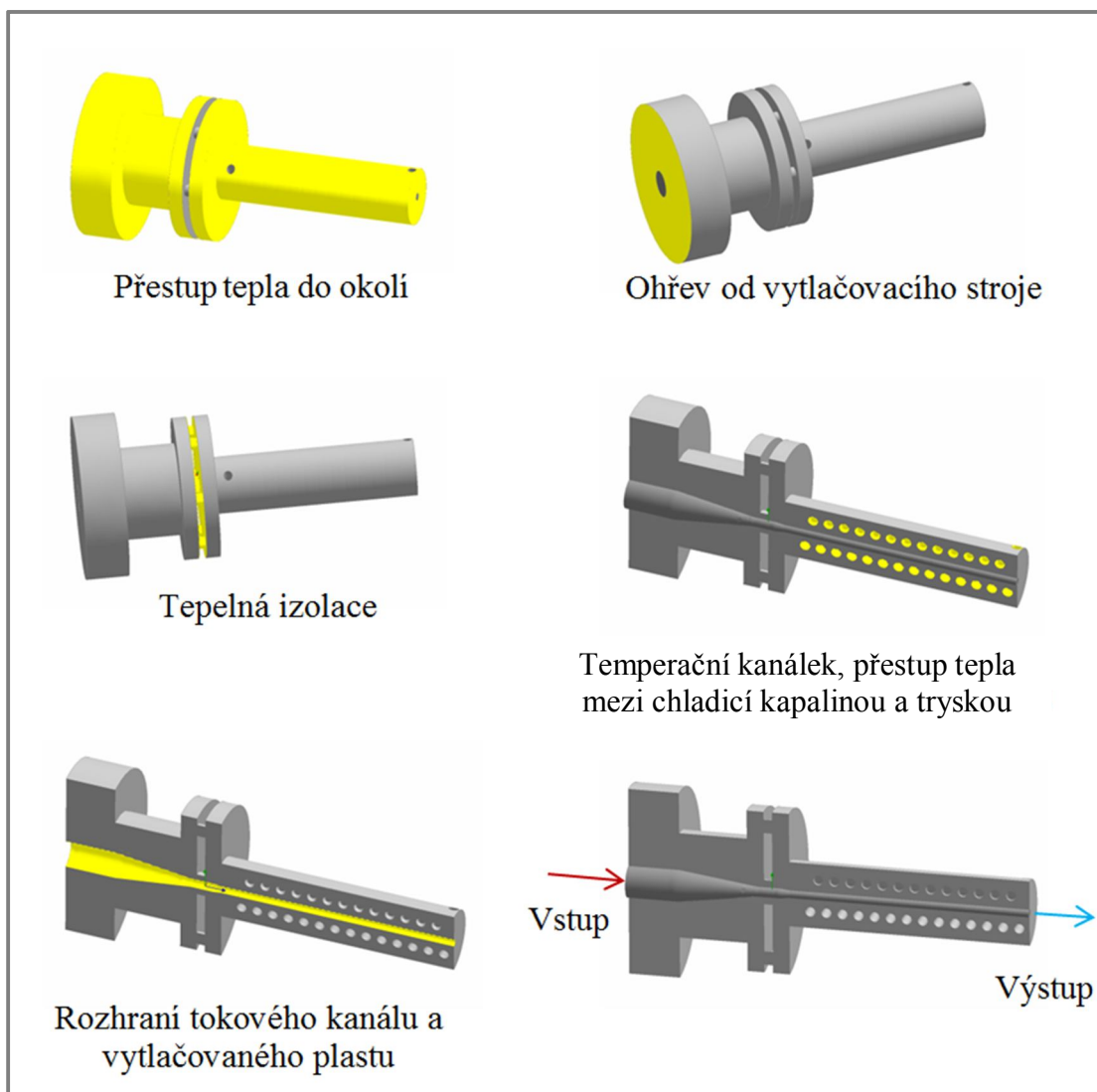
Rozhraní tokového kanálu a vytlačovaného plastu – $\text{HTC}_2 = 1137 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ohřev od vytlačovacího stroje – $T_{\text{str}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$

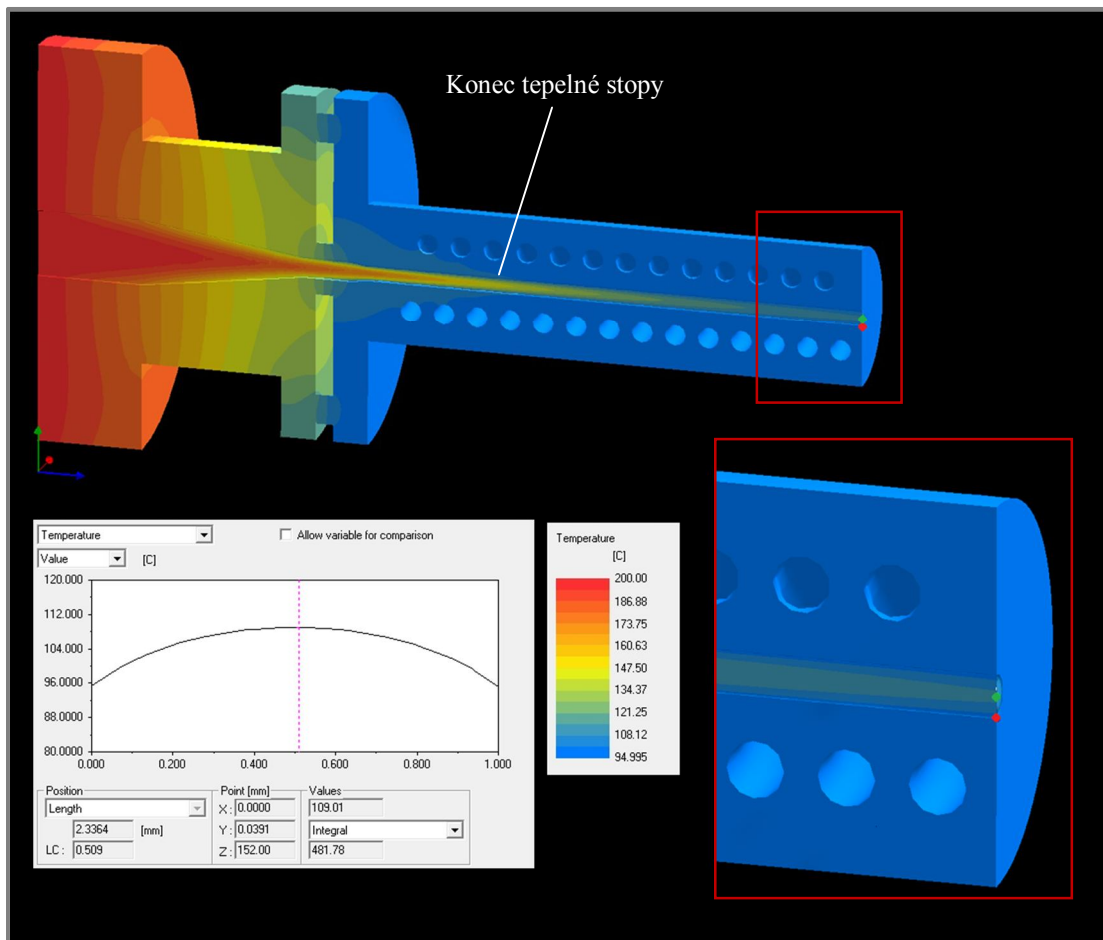
Teplota okolí – $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Koeficient přestupu tepla do okolí – $\text{HTC}_3 = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Materiál ocelové mřížky – nerezová ocel (tepelná vodivost $\lambda = 15 \text{ W/mK}$)



Obr. 33 Okrajové podmínky 2. varianty



Obr. 34 Simulace vytlačovacího procesu 2. varianty

Větší množství a bližší uspořádání temperačních kanálků pomáhá k ustálení teploty taveniny na výstupu. Na výsledcích simulace druhé varianty je vidět oproti první variantě, že spirálovitý temperační kanálek odvádí na stejné délce více tepla z vytlačovaného profilu. Teplota jádra na výstupu je 109 °C a na povrchu je teplota 95 °C. Tepelná stopa zasahuje do ztelně kratší vzdálenosti temperačního dílu. Bohužel není do těchto simulací možné přidat vloženou trysku s kontaktním odporem, která by pravděpodobně ovlivnila teplotní rozložení.

Výhody:

Rovnoměrné, symetrické chlazení.

Možnost blízkého umístění temperačních kanálků ve vzájemné poloze.

Nevýhody:

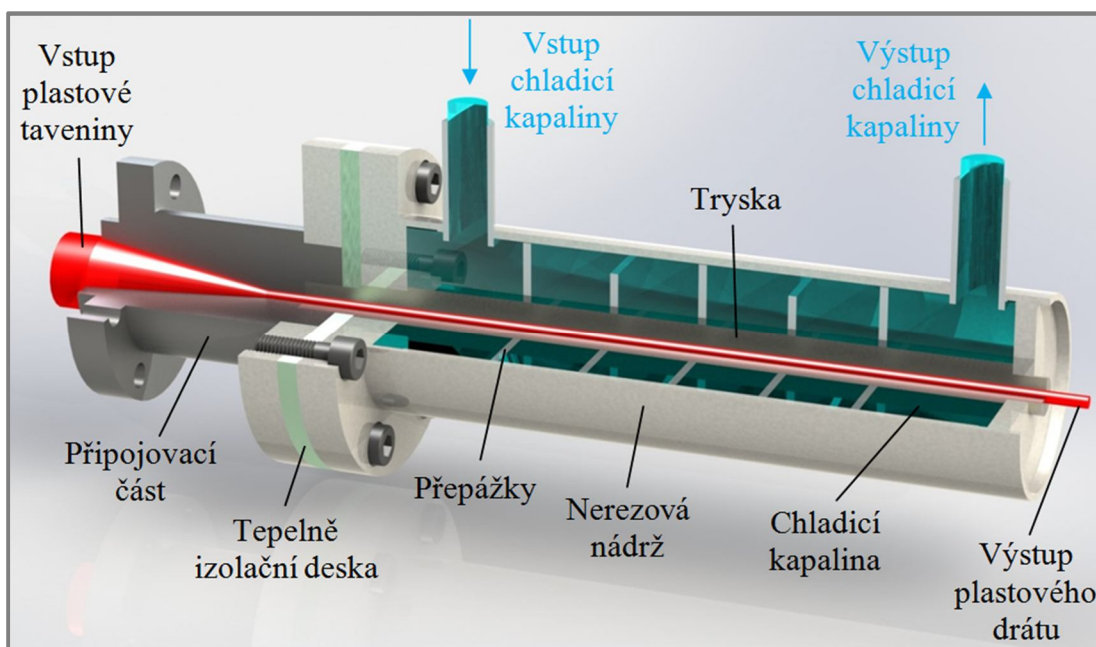
Pomalá výměna chladicí kapaliny (dlouhý temperační kanálek).

Cenová náročnost vytištěného dílu (7500 Kč pouze za temperační část).

Vloženým válcem do temperační části vzniká tepelný kontaktní odpor.

3.2.3 Třetí varianta – Svařovaná nádrž

Základem konstrukce je tryska s požadovanými rozměry tokového kanálku s vyleštěným (lapovaným) povrchem na drsnost povrchu $Ra = 0,4 \mu\text{m}$. Tato tryska je zasazená do nerezové nádrže, ve které proudí chladicí kapalina a tím je tryska temperována. Pro zajištění lepšího oběhu chladicího média jsou do nádrže umístěny přepážky, aby nutili proud vody několikrát protéct okolo trysky. V tomto případě oproti předchozím variantám je použito v temperační části větší množství vody, o to déle trvá výměna chladicí kapaliny v nádrži. Výhodou je velká plocha přestupu tepla mezi tryskou a chladicí kapalinou, a že při proudění kapaliny nádrží dochází k turbulentnímu proudění, které zlepšuje přestup tepla. Svařovaná nádrž je nejjednodušší a nejlevnější varianta, která by měla zajistit dobré temperační vlastnosti. Nevýhodou je nutnost použití svařitelných materiálů s nízkým obsahem uhlíku. Odpadá tím možnost kalení, která prodlužuje životnost nástroje a zvyšuje odolnost proti opotřebení.



Obr. 35 Třetí varianta temperačního systému

Simulace vytlačovacího procesu

S osovou symetrií bylo opět možné provádět simulaci pouze s polovinou modelu, tím zmenšit počet potřebných elementů k přesnému výpočtu a zkrátit čas simulací. Nej hustější rozmístění elementů je v tomto případě v celém tělese trysky, kde dochází k přestupům tepla od taveniny do trysky a z trysky do chladicí kapaliny.

Okrajové podmínky jsou opět pro zajištění srovnatelnosti nastaveny stejně jako u předchozích variant. Změněno je pouze jejich umístění na simulovaném tělese (Obr. 36).

Okrajové podmínky:

Vytlačovaný materiál – ABS

Průměr vytlačovaného drátu – 3 mm

Teplota taveniny na vstupu – $T_1 = 200 \text{ °C}$

Rychlost proudění na vstupu – $f = 0,1 \text{ kg/h}$

Teplota temperačního média – $T_{\text{tem}} = 100 \text{ °C}$,

Koeficient přestupu tepla v temperační nádrži – $HTC_1 = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$

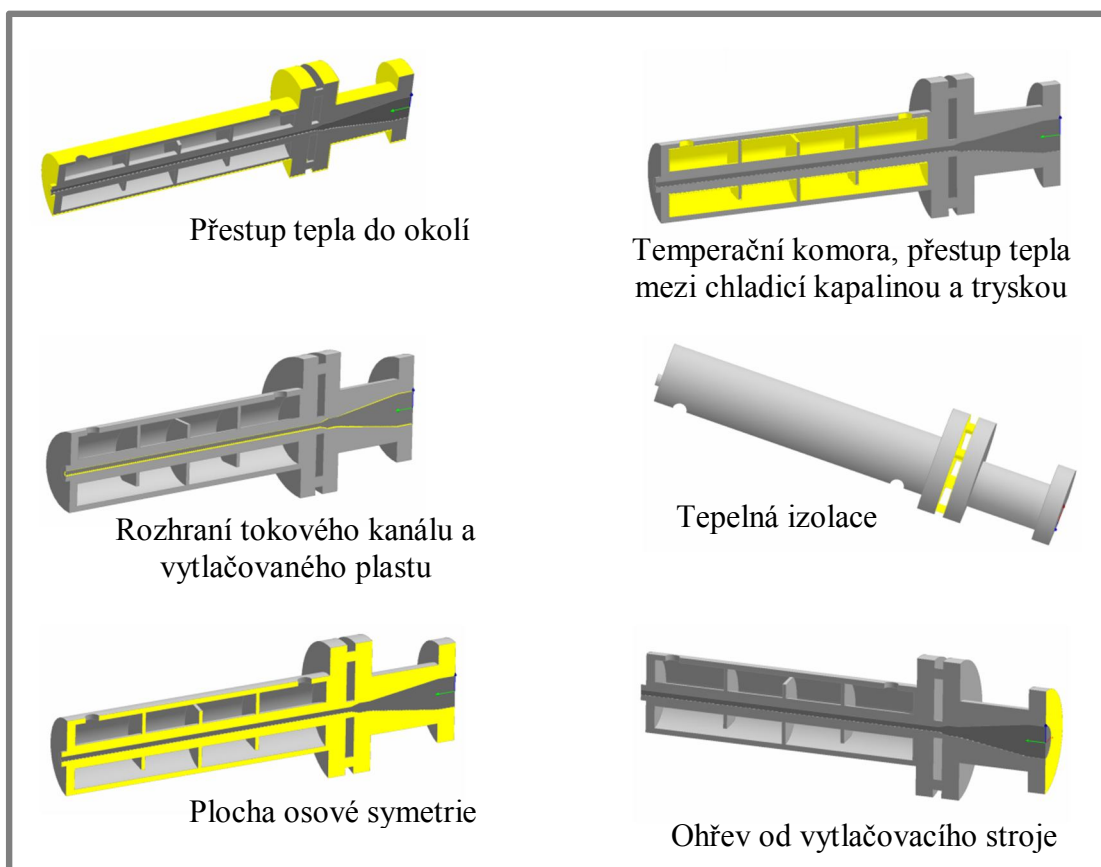
Rozhraní tokového kanálu a vytlačovaného plastu – $HTC_2 = 1137 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ohřev od vytlačovacího stroje – $T_{\text{str}} = 200 \text{ °C}$

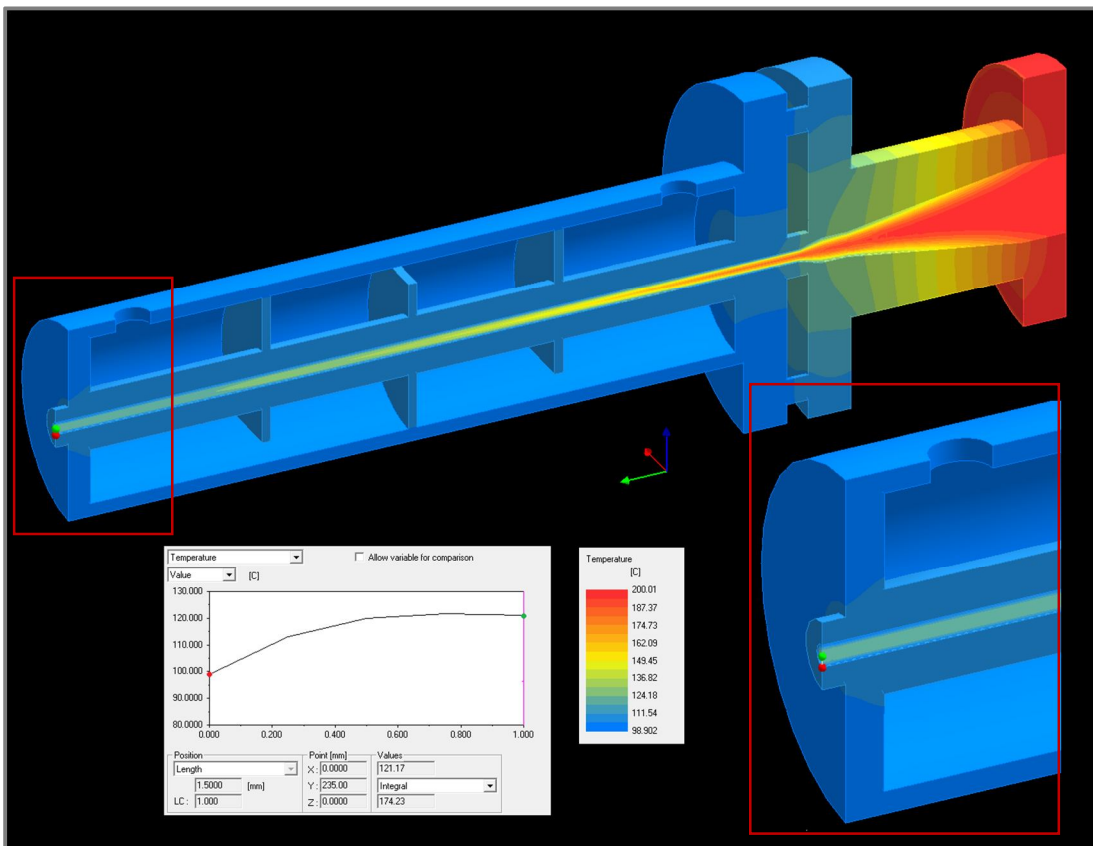
Teplota okolí – $T_o = 25 \text{ °C}$

Koeficient přestupu tepla do okolí – $HTC_3 = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Materiál ocelové mřížky – nerezová ocel (tepelná vodivost $\lambda = 15 \text{ W/mK}$)



Obr. 36 Okrajové podmínky 3. varianty



Obr. 37 Simulace vytlačovacího procesu 3. varianty

Výsledky simulací třetí varianty jsou podobné jako u první varianty. Teplota na výstupu v jádře je 121 °C a na povrchu je 99 °C, to se dá považovat za ustálený stav. Teplota temperace je v celé trysce ustálená na stejné teplotě, nedochází zde ke vzniku tepelné stopy jako u předchozích variant.

Výhody:

- Snadná konstrukce.
- Cenově nejlevnější (cca 12 000 Kč bez DPH).
- Rovnoměrný odvod tepla v celé trysce.
- Lepší přestup tepla, turbulentní proudění.

Nevýhody:

- Dlouhý průchod chladicího média.
- Problémové čištění při zanesení.
- Nemožnost použití odolnějších materiálů s vyšším obsahem uhlíku.

Třetí varianta je zvolena jako optimální varianta, která postoupila do výroby a otestování funkčnosti. Pevnostní analýzy jednotlivých řešení byly provedeny, ale při maximálním pracovním tlaku 25 MPa působícím v trysce o průměru 3 mm nedochází k výrazným pevnostním napětím a předvídatelné výsledky nemá cenu ukazovat. Bezpečnost se pohybuje okolo 3 až 4.

4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

4.1

4.1 Pravidla pro návržení vytlačovací hlavy

Vytlačovací hlava by se měla pokud možno skládat z co nejmenšího počtu dílů, aby se minimalizoval čas potřebný k složení a rozložení této hlavy a času potřebný k vyčištění. Ve spojích se musí dbát na správné vycentrování spojovaných součástí. Spoje by měli být na sebe lícovány. Menší počet jednotlivých dílů také vede k menšímu počtu spojů a přerušování v tokovém kanálu. V těchto spojích může docházet nejen k možnosti netěsnosti z důvodu nedostatečné utěsnění, ale také je zde risk, že materiál bude degradovat. Počet spojů by tedy měl být držen na co nejmenším množství. Tyto spoje by měli být umístěny na výhodných místech, kde dochází k tvarovým změnám v tokovém kanálu, aby bylo docíleno co nejsnadnějšího čištění vytlačovací hlavy. Těsnící plochy, jelikož se jim nejde vyhnout, by měli být ploché a co nejmenší, s účelem zajištění rovnoměrného rozdělení těsnících sil nad celou těsnící plochou. Pokud je potřeba použít těsnící prvky pro vytlačovací hlavy je potřeba použít tepelně odolné materiály (např. PTFE). [2]

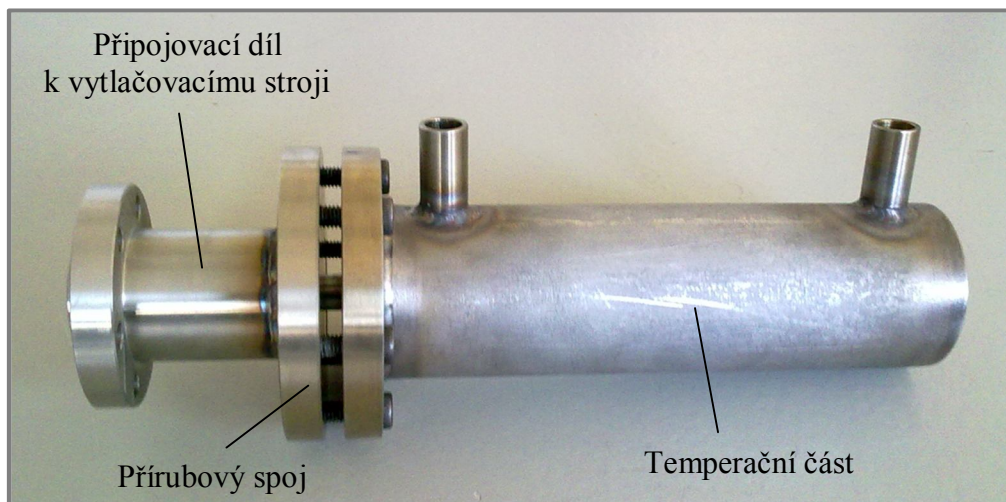
Vytlačovací hlava by měla být smontována dohromady s použitím co nejmenšího počtu tepelně odolných šroubů, místo použití většího počtu menších šroubů (servisní život šroubů s větším průměrem je delší). Šrouby by měli být snadno přístupné. Rozměry vytlačovací hlavy by měli být adekvátní pro udržení deformačních tlaků v rozumných mezích. V úvahu musí být vzata možnost zavedení tlakových a tepelných senzorů. [2]

Plastová tavenina by měla pokud možno být dodávána do středu vytlačovací hlavy. V toku nesmí být žádné mrtvé zóny, nebo rohy. To znamená, že je potřeba se vyvarovat ostrým, náhlým přechodům v průřezu nebo náhlým změnám ve směru toku. Všechny zaoblení tokového kanálku musí mít poloměr větší než 3 mm. Povrchy tokového kanálku by měly být leštěné nebo přímo honované a pokud je to nutné tak i chromované. Drsnost povrchu by měla být menší než 0,4 μm . Chromování snižuje tendence plastové taveniny lepit se na povrchy tokového kanálu vytlačovací hlavy. Tím se snižují třecí síly, opotřebení kanálku a usnadní se čištění. Chromované vrstvy se ale opotřebovávají a je potřeba je po určité době provozu obnovit. Polyestery a polyamidy při chlazení mají tendence tyto chromované vrstvy strhávat z povrchu tokového kanálu. V takových případech bývá použita nerezová ocel. Tokový kanál vytlačovací hlavy z nerezové oceli poté bývá již jen kalený a leštěný (honovaný nebo lapovaný). [2]

4.2

4.2 Konstrukční uzly

Vytlačovací hlava (Obr. 38) se skládá z připojovacího dílu, temperační části a spojem těchto dvou částí. Dále jsou rozebrány jednotlivé konstrukční uzly pro přímou a příčnou vytlačovací hlavu.



Obr. 38 Konstrukční uzly

4.2.1

4.2.1 Přípojovací díl k vytlačovacímu stroji

Návrh přípojovací komponenty pro upnutí k vytlačovacímu stroji závisí na výstupu stroje, který je použit pro vytlačování. V zadání této práce jsou uvedeny dva vytlačovací stroje, pro které jsou návrhy připojení vypracovány. Jedná se o jednošnekový vytlačovací stroj pro příčné vytlačování a dvoušnekový vytlačovací stroj pro přímé vytlačování.

Příčné vytlačování

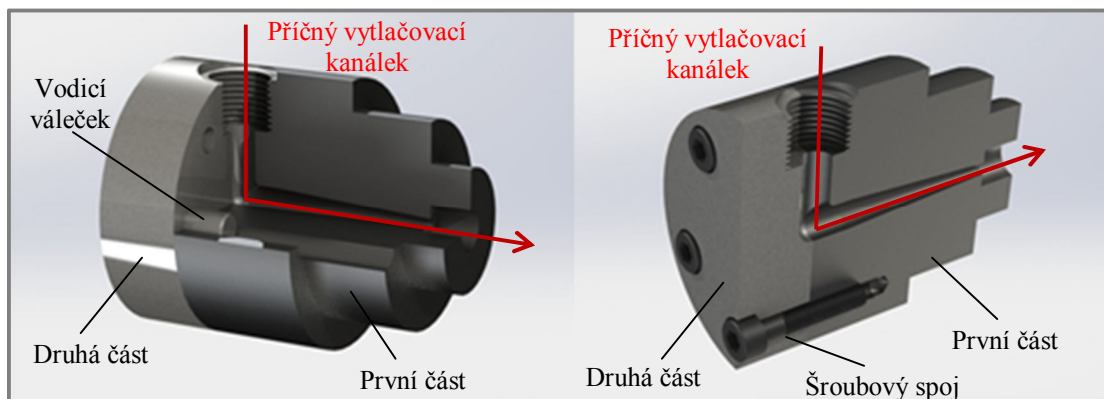
První je jednošnekový vytlačovací stroj (Obr. 39) o menším výkonu s maximální rychlostí vytlačování bez odporu 2 kg/h. Výstup tohoto stroje je jednoduchá hubice se závitem na vnějším povrchu. Kvůli umístění tohoto stroje v prostorách dílny je potřeba provádět vytlačování příčné, kdy tok taveniny vystupuje z ústí vytlačovací hlavy kolmo k ose šneku vytlačovacího stroje.



Obr. 39 Výstup z jednošnekového vytlačovacího stroje

Navržená přípojovací konstrukce (Obr. 40) se skládá ze dvou částí. V první části se nalézá půlka tokového kanálku, která navazuje na výstup z vytlačovacího stroje o průměru 8 mm. Tento kanálek vede do středu dílu, kde navazuje na kanálek

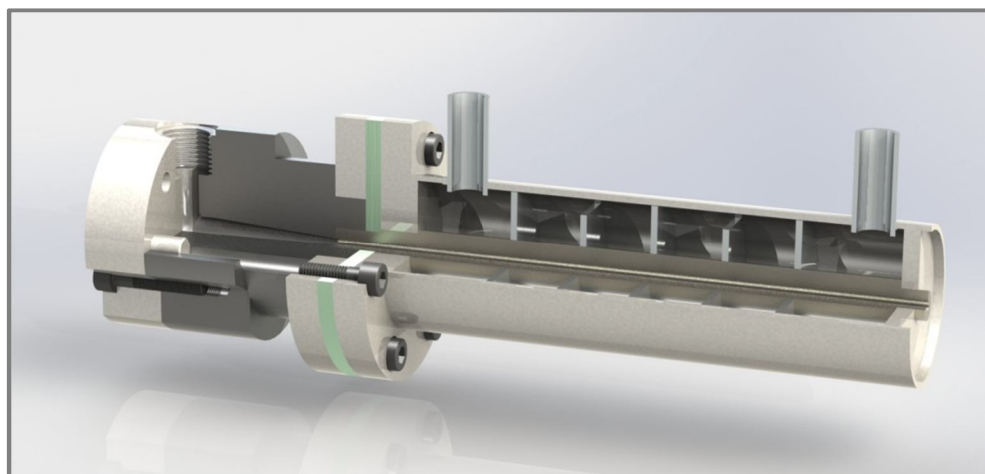
kolmý k výstupu. V místě kde dochází ke kolmému přechodu je potřeba zajistit hladký kloubový přestup, aby tok taveniny v tomto místě nezůstával příliš dlouho a nevznikal vířivý proud. Druhá část připojovacího dílu je uzavírací příruba, ve které je druhá polovina vstupního tokového kanálku. Tyto dva díly jsou proti sobě tvarově zajištěné pomocí vodících válečků, aby obě části tokového kanálku na sebe navazovaly. Spojení a tlakové zajištění je pomocí šesti šroubů M6. Samotný připojovací mechanismus je závitová díra M17 vystředěná s tokovým vstupním kanálkem. Tento závit je potřeba vyrobít dodatečně, když jsou oba díly k sobě připevněny, aby stoupání závitu na sebe navazovalo.



Obr. 40 Připojovací konstrukce pro příčné vytlačování

Tento způsob upnutí dovoluje i vertikální vytlačování pootočením na šroubovici připojovací hubice, kdy vytlačovaný profil vystupuje z hlavy svisle k zemi a tím pádem není ovlivňován gravitací. Gravitace často způsobuje zploštění vytlačovaného profilu a tím znehodnocení výrobku. Nicméně u návrhu temperace umístěné přímo na vytlačovací hlavě (Obr. 41), žádné ovlivňování gravitací nevzniká.

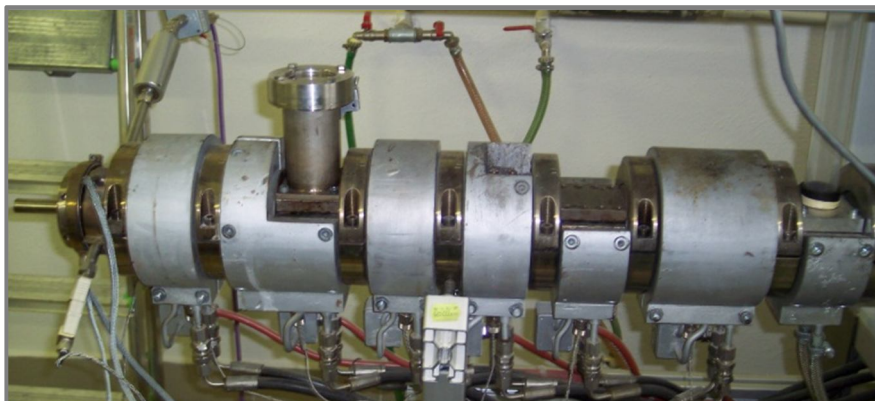
Temperační část je sestavena a připojena stejně jako u přímé vytlačovací hlavy (viz Přímé vytlačování), tím je zaručena použitelnost na obou vytlačovacích strojích a snížen počet potřebných nástrojů.



Obr. 41 Příčná vytlačovací hlava

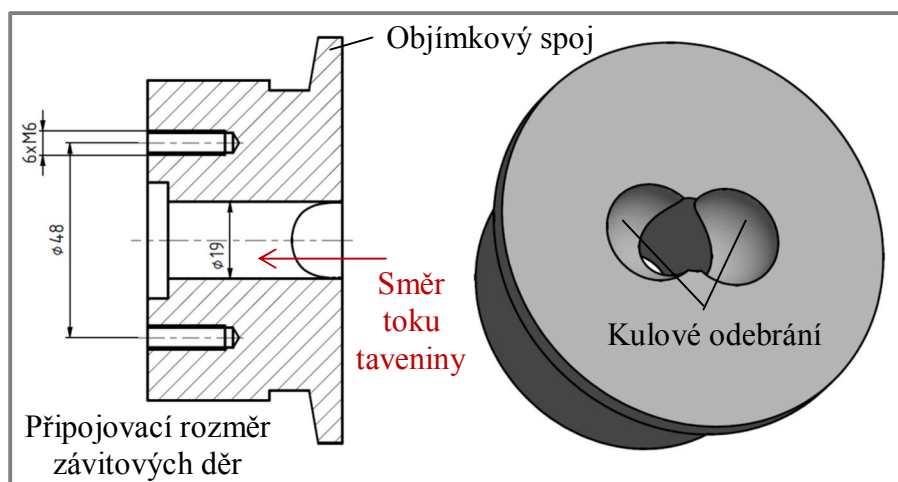
Přímé vytlačování

Druhý je dvoušnekový vytlačovací stroj (Obr. 42) o větším výkonu s maximální rychlostí vytlačování bez odporu 10 kg/h a maximálním vytlačovacím tlakem 250 barů. Vytlačování je prováděno přímé.



Obr. 42 Boční pohled na dvoušnekový vytlačovací stroj

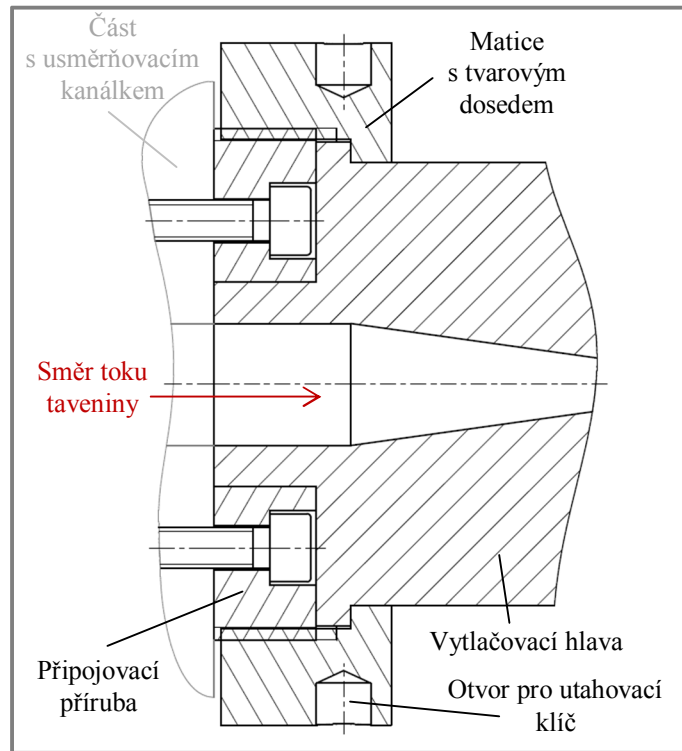
Pro tento vytlačovací stroj je více možností upevnění vytlačovací hlavy k tělesu stroje. Pokud jsou odstraněny všechny přídavné nástavce, základní upevňovací mechanismus je klasický objímkový spoj. Objímkou je připevněn díl, který na vstupu usměrňuje přívod plastové taveniny ze dvou komor jednotlivých šneků do jednoho tokového kanálku. Usměrnění a navedení toku je pomocí dvou kulových odebrání (Obr. 43). Na výstupu z tohoto dílu vychází stabilní proud taveniny o průměru 19 mm. Pro připojení dalších dílů je možné použít šest závitových děr. Kvůli složitosti výroby kulových kanálků je tento díl ponechán v původním stavu a návrh vytlačovací hlavy podléhá připojovacím rozměrům tohoto dílu.



Obr. 43 Usměrnění do jednoho toku

Původní mechanismus připojení (Obr. 44) k dvoušnekovému vytlačovacímu stroji se skládá z několika částí a je určena pro připojení těžších a objemnějších vytlačovacích hlav. K základnímu stroji je hlava připevněna přes přírubu šesti šrouby M6 se zapuštěnými válcovými hlavami. Na obvodě této příruby je závit M75x3. Na

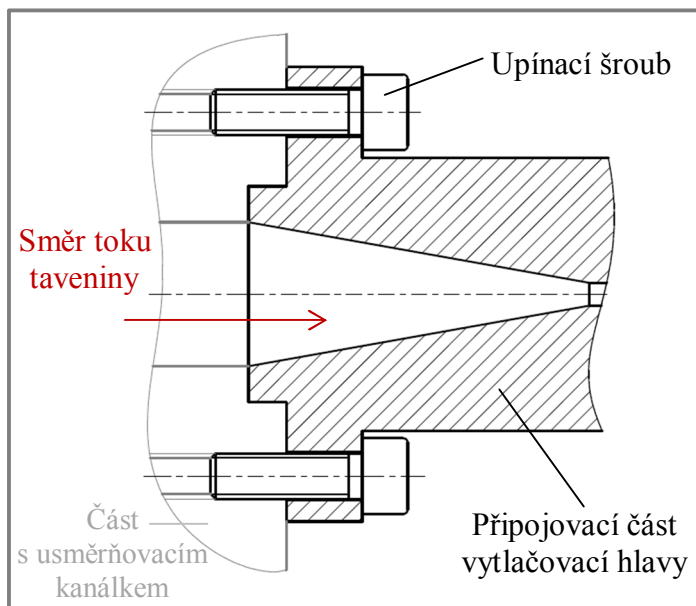
tento závit je zašroubována matice s tvarovým dosedem, který při dotažení upevní tvarovací díl s tokovým kanálkem. Matice je dotahována speciálním klíčem, který zapadá do děr navrtaných po obvodě upeňovací matice.



Obr. 44 Připojovací mechanismus přímého vytlačování pro větší hlavy

Konečný návrh (Obr. 45) je kvůli zmenšení cenové a materiálové náročnosti na výrobu z hlediska použitého počtu dílů zjednodušen. Odstraněna je příruba i utahovací matice a tvarovací díl s tokovým kanálkem je přímo připevněn přes šest šroubů M6. V tomto případě dojde k výraznému snížení materiálové náročnosti. Na druhou stranu je tím snížena celková pevnost tohoto dílu. Toto snížení pevnosti je z hlediska poměrně nízkého maximálního tlaku 25 MPa v povolených mezích.

Úprava návrhu také spočívá v tvarovacím tokovém kanálku, kde změna z průměru 19 mm na průměr 3 mm začíná přímo na vstupní hraně tohoto dílu. To je z důvodu snadnější výroby této kuželovité díry s dobrým povrchem. Také je tím snížena doba, po kterou tavenina prochází tímto dílem. Jelikož se předpokládají vytlačovací rychlosti velmi pomalé, plast by touto částí procházel ve formě taveniny poměrně dlouho a mohlo by docházet k tepelné degradaci vytlačovaného plastu.



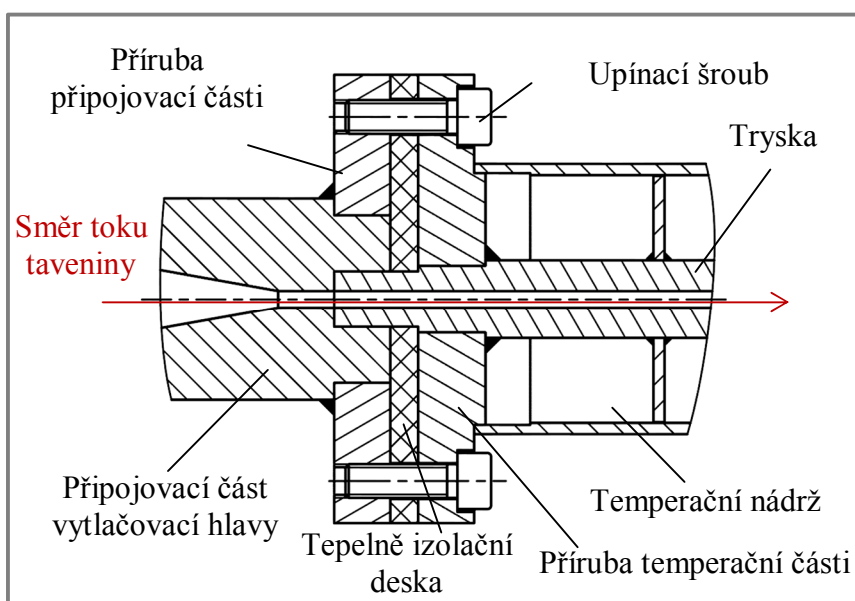
Obr. 45 Připojovací mechanismus přímého vytlačování pro menší hlavy

4.2.2 Spojení hlavy s temperační částí

4.2.2

Spojení připojovací části vytlačovací hlavy a temperační části (Obr. 46) je provedeno přes dvě příruby s šesti šrouby M6. Příruby jsou s mírným přesahem nalisovány na připravené rozměry připojovacího dílu a trysky temperačního dílu. Příruby jsou také ještě přivařeny pro zajištění pevnosti spojení. Pro ušetření místa nejsou příruby smontovány klasickými průchozími šrouby a maticemi. Místo toho jsou do příruby připojovacího dílu udělány závity a šrouby jsou zašroubovány přímo do příruby.

Návaznost tokového kanálku a těsnění je zajištěno částečným zapuštěním trysky do připojovacího dílu. Délka zapuštění trysky oproti připravené díře připojovacího dílu je mírně kratší, aby byla zajištěna dosedací těsnicí plocha mezi přírubami, kde je vložena izolační deska. Případná mezera mezi čelem trysky a připojovací částí vytlačovací proces neovlivní.



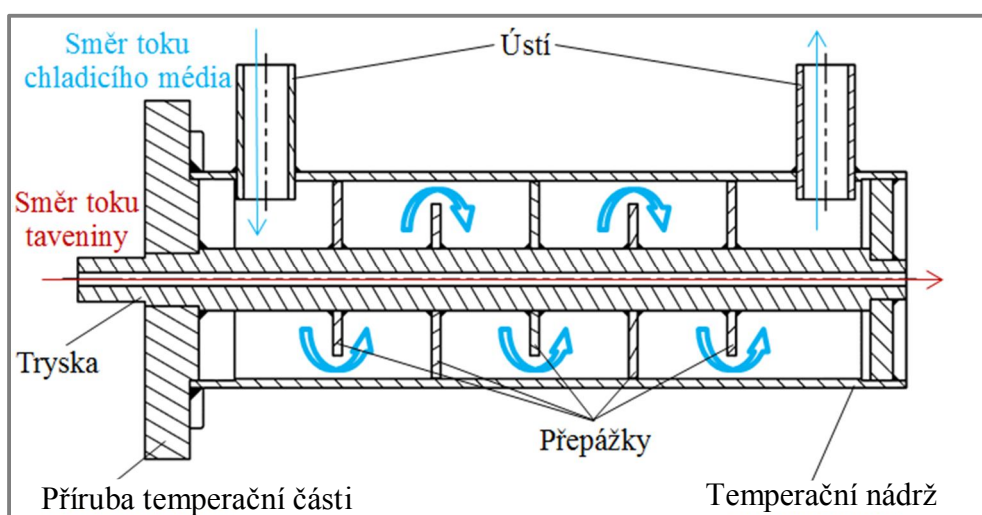
Obr. 46 Spojení vytlačovací hlavy a temperační části

4.2.3

4.2.3 Temperační část

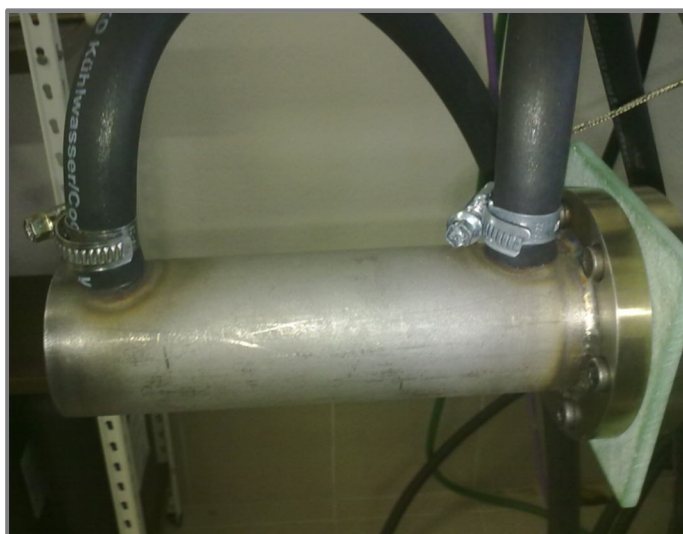
Konstrukce se skládá z trysky, příruby, temperační nádrže, ústí a přepážek. Tryska je část, ve které dochází k ustálení teploty vytlačovaného plastového materiálu na požadovanou hodnotu. Tryska má vnitřní povrchy tokového kanálku vyrobeny na drsnost povrchu $0,4 \mu\text{m}$. Tyto povrchy jsou pak ještě dále ručně lapovány pro dosažení co nejmenšího třecího odporu proti vytlačování. Pro ruční lapování byly použity lapovací dřívka z tvrdého dřeva o průměru 3 mm a lapovací pasta CW 600 ředitelná vodou.

Temperace trysky probíhá prouděním kapaliny v temperační nádrži umístěné na trysku. Pro zajištění dobrého proudění cirkulující kapaliny jsou přidány do nádrže přepážky, které nutí vodu obíhat okolo trysky. Pro připevnění k tvarovací části vytlačovací hlavy je použita příruba, která je nalisována a přivařena na trysku. (Obr. 47)



Obr. 47 Spojení vytlačovací hlavy a temperační části

Přívod a vývod vody je pomocí hadice pro chladicí kapaliny nasazené na ústí vystupující z chladicí nádrže a stažená sponou pro utěsnění (Obr. 48). Tyto hadice zvládají pracovat při teplotách -20 až 140°C .



Obr. 48 Přívod a odvod chladicí tekutiny

4.2.4 Ohřev vytlačovací hlavy

Pro zpracování polymerů je potřeba v tvarovací části udržovat teplotu dostatečně vysokou, aby zpracovávaný plast zůstal v tvárném stavu. Také je potřeba před uvedením do provozu nechat ohřát i temperační část, ve které z minulého procesu zůstal ztuhlý plast. Ohřev přípojovací části vytlačovací hlavy se předpokládá od přestupu tepla z vytlačovacího stroje. Kalibrační část je ohřívána pomocí horké vody pod tlakem z temperační jednotky.

Temperační část je tedy nejprve ohřívána pomocí přiváděné horké kapaliny na teplotu, kdy vytlačovaný polymer přechází do tekutého stavu s nízkým odporem proti tečení. Po spuštění vytlačovacího procesu je teplota vody snižována na požadovanou teplotu. K tomuto účelu je použita temperační jednotka Thermovan od firmy Piovan, která umožňuje ovládání teploty přiváděné tekutiny. Teplota proudící kapaliny v temperační části lze nastavit od 15 °C do 140 °C.

4.2.5 Tepelně izolační deska

Tepelně izolační deska je potřeba použít pro oddělení temperační části od vyhřívané části vytlačovacího stroje a vytlačovací hlavy. Je potřeba co nejlépe zamezit vzájemnému tepelnému ovlivňování dílů.

V přípojovací části před teplotní izolací, kde se proud taveniny přivádí z průměru 19 mm na průměr 3 mm, je potřeba udržovat dobrou viskozitu proudící taveniny, tím že teplota tohoto dílu nebude příliš klesat. Podle druhu zpracovávaného plastového materiálu je minimální hraniční teplota, pod kterou je nežádoucí klesnout, různá. Například pro plast typu ABS je tato hranice ≈ 150 °C.

V temperační části je potřeba udržovat stabilní teplotu působící na vytlačovaný materiál, aby se v celém průřezu snížila teplota blízko k bodu, kdy dochází k solidifikaci plastového materiálu a zároveň nedošlo k zamrznutí.

Vložení izolační desky mezi tyto díly, zajistí zmenšení přestupů tepla, snížení vzájemného tepelného ovlivňování a zlepší říditelnost teplot v jednotlivých dílech. Mezi těmito dvěma soustavami i po vložení izolační desky dochází k přestupům tepla přes trysku a přes přípojovací šrouby.

Volba vhodného materiálu pro tepelně izolační desku

Glastherm

Hlavní předností těchto bez azbestových materiálů je schopnost zastavit průchod tepla (snížení tepelných ztrát na minimum, omezení možnosti poškození vlastního stroje) při vynikající odolnosti proti působení vysoké teploty a tlaku. Je to teplotně izolační materiál vyrobený ze skelných vláken a vyztužený kombinovanými materiály. Proto je tento materiál často používán mezi komponenty v zařízeních, kde je nutné teplotní oddělení z operačních či ekonomických důvodů. [17,18]



Obr. 49 Tepelně izolační deska Glastherm [18]

Materiál má následující vlastnosti:

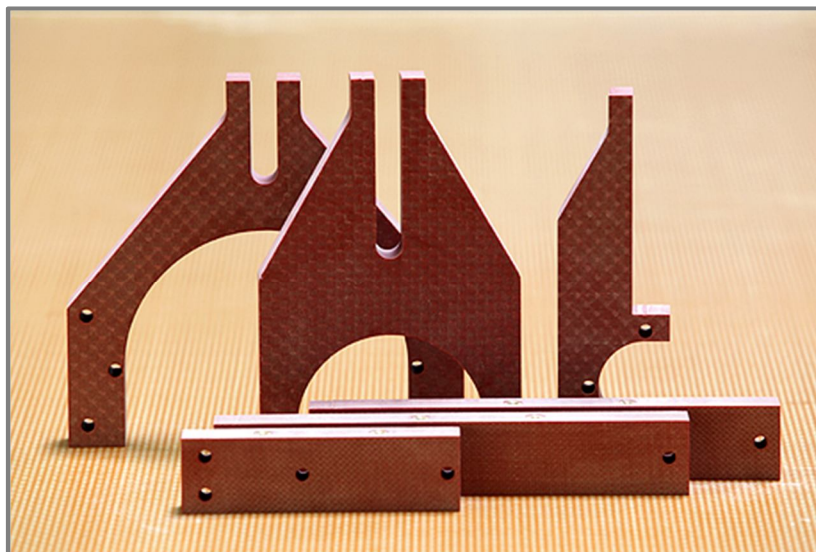
- vysoká pevnost proti ohybu a stlačení, neláme se, dlouhodobé užití
- nízká tepelná vodivost
- rozměrová stálost
- dobrá manipulace
- odolný proti olejům a vlhkosti
- vynikající dielektrické vlastnosti

Tab. 1 Technická data dodávaných materiálů Glastherm [18]

Technická data	Glastherm HT200	Glastherm HT220	Glastherm HT250M	Glastherm HT250HQ
Barva	Zelená, bílá	žlutá	hnědá	zelená
Specifická váha	2 g/cm ³	1,9 g/cm ³	2 g/cm ³	2 g/cm ³
Pracovní teplota	200 °C	220 °C	250 °C	250 °C
Pevnost v tlaku při 23°C	330 MPa	500 MPa	600 MPa	600 MPa
Pevnost v tlaku při 200°C	120 MPa	280 MPa	450 MPa	500 MPa
Tepelná vodivost	0,27 W/mK	0,25 W/mK	0,23 W/mK	0,23 W/mK
Nasákavost	<0,2%	<0,2%	<0,15%	<0,1%
Tloušťky	6,8,10,15,20		4 – 50 mm	
Tolerance tloušťky	±0,05 mm		±0,1 mm	

CosTherm

CosTherm izolační materiály nabízí velký výběr podle potřebných požadavků ve výrobním procesu zpracovávání plastů.



Obr. 50 Tepelně izolační materiály CosTherm [20]

CosTherm A – je termoplast s vysokou tepelnou odolností a vynikající chemickou odolností. Z jedné strany je rýhovaný, tím je kontaktní plocha minimalizována a jsou posíleny izolační vlastnosti. CosTherm A je vyvinut speciálně pro vnější izolace forem nástrojů a strojů. [20]

CosTherm E.230 – je laminát na základě speciálních skleněných tkanin spojených s teplotně stálou maticí termosetu. CosTherm E.230 se vyznačuje trvalou rozměrovou stabilitou, vysokou tepelnou odolností a dobrou izolační schopností.

CosTherm E.230 se používá jako tlaku odolná, rozměrově stabilní izolace vstřikovacích forem a vyhřívaných lisů. [20]

CosTherm S.280 – se skládá ze zvláště jemné skleněné tkaniny, spojené s vysokým teplotám odolnou termosetovou pryskyřicí. CosTherm S.280 se vyznačuje velmi dobrou izolační schopností, vysokou dlouhodobou teplotní odolností. CosTherm S.280 se používá jako tepelný štít pro dlouhodobé teploty nad 250 °C a současného požadavku na vysoké hodnoty tlakové odolnosti. [20]

Tab. 2 Technická data vybraných materiálů CosTherm[20]

Technická data	CosTherm A	CosTherm E.230	CosThermS.280
Teplota použití krátkodobě	280 °C	250 °C	350 °C
Teplota použití dlouhodobě	270 °C	230 °C	280 °C
Tepelná vodivost	0,10 W/mK	0,3 W/mK	0,22 W/mK
Koef. délkové roztažnosti	$100 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Pevnost v tlaku při 23°C	10 MPa	650 MPa	450 MPa
Pevnost v tlaku při 200°C	-	350 MPa	200 MPa
Pevnost v ohybu při 23°C	-	420 MPa	120 MPa
Pevnost v ohybu při 200°C	-	140 MPa	37 MPa
Hustota	1,9 g/cm ³	2 g/cm ³	1,85 g/cm ³
Standardní tloušťka	6 - 10 mm	6 -25 mm	6-25 mm

PTFE izolační deska

Produkty vyrobené z PTFE mají výborné odolnosti proti vysokým teplotám, chemickým reakcím, korozi a napětí. Mechanická houževnatost, nevodivost a nízké třecí vlastnosti dělají z PTFE často využívaný plastový materiál v různých aplikacích a zpracovatelských technik.[21]



Obr. 51 Tepelně izolační PTFE desky [21]

Základní vlastnosti:

- teplotní odolnost od -270 °C do $+260\text{ °C}$
- univerzální chemická odolnost
- vynikající antiadhezní vlastnosti
- nízký koeficient tření a dobré kluzné vlastnosti
- fyziologická bezpečnost
- dobré elektroizolační vlastnosti
- tepelná vodivost $0,33\text{ W/mK}$

CosTherm A je vynikající materiál, jelikož má nízkou tepelnou vodivost s vysokou teplotou použití. Bohužel tento materiál není možné k dostání v požadované tloušťce a cenově vychází jako nejdražší varianta.

Zvolena byla varianta Glastherm HT220, která je dostupná v potřebných rozměrech, tloušťce 5 mm a cenově nejlevněji. Přitom splňuje požadavky na dobrou tepelnou vodivost s dostatečně vysokou pracovní teplotou.

4.3

4.3 Volba materiálu vytlačovací hlavy

4.3.1

4.3.1 Požadavky na materiály vytlačovací hlavy

Materiály pro vytlačovací hlavy by měly splňovat tyto požadavky:

- lze je snadno obrábět
- jsou odolné proti tlaku, teplotě a opotřebení
- mají dostačující pevnost a houževnatost
- mají dostačující tvrdost povrchu
- lze je snadno leštit pro vyhovující povrch
- mají minimální tendence k změnám rozměrů vlivem tepelné roztažnosti
- jsou odolné vůči korozi a případně různým chemickým látkám
- nabízejí možnost povrchových úprav (např. chromování, nitridování)
- mají dobrou tepelnou vodivost[2]

Tyto požadavky nelze zaručit použitím jednoho materiálu, proto musí být položeny následující otázky při volbě vhodného materiálu:

Jaký typ směsi bude zpracováván?

Jaká je povaha a rozsah mechanického namáhání? Ohybová napětí mají zásadní význam pro výběr materiálu. Například plně vytvrzené oceli vzhledem k jejich křehkosti nelze použít pro větší vytlačovací hlavy.

Jakým technologickým procesem je hlavice vyrobena?

Jaké tepelné ošetření je nutné provést a bude mít materiál sklony k deformacím a rozměrovým změnám? [2]

4.3.2 Výběr z doporučených materiálů

4.3.2

Následující oceli jsou používány pro výrobu vytlačovacích hlav:

- cementační oceli
- nitridační oceli
- plně vytvrzené oceli
- kalené a temperované oceli
- korozivzdorné oceli

Cementační oceli

Cementační oceli prokázali v průběhu let svoji hodnotu pro výrobu vytlačovacích hlav, protože jsou nejbližší ke splnění nezbytných požadavků. Jsou snadno obrobitelné a po kalení, nebo tepelném zpracování mají velmi odolný a tvrdý povrch s tuhým jádrem o vysoké pevnosti v tlaku. Pro zvýšení obsahu uhlíku se tyto oceli nauhličují. [2]

List doporučených cementačních ocelí pro zpracování plastu: 1.2162 (21 MnCr 5), 1.274 (X19 NiCrMo 4), 1.2341 (X 6 CrMo 4)

Nitridační oceli

Nitridační oceli jsou oceli, jejichž legující prvky (chrom, hliník, molybden a vanad) formují tvrdé nitridy, které dodávají oceli vysokou pevnost povrchu s pevným jádrem materiálu. Nitridační oceli jsou také dodávány v beznapětovém žíhaném stavu. Nitridační oceli nejsou kompletně korozivzdorné. [2]

Následuje výběr vhodných nitridačních ocelí: 1.2307 (29 CrMoV 9), 1.2852 (33 AlCrMo 4), 1.2851 (34 CrAl 16)

Plně vytvrditelné oceli

Plně vytvrditelné oceli jsou velmi tvrdé a ukazují dobrou odolnost proti opotřebení. Nicméně jejich houževnatost v porovnání s cementačními oceli, nebo s kalenými a temperovanými oceli je poměrně malá. Vzhledem k tomu, že jsou náchylné k tvorbě trhlin a k deformacím, jsou tyto oceli používány zřídka, pouze pro menší vytlačovací hlavy. [2]

Výběr plně vytvrzených ocelí: 1.2344 (X 40 CrMoV 51), 1.2080 (X 210 Cr 12), 1.2767 (X 45 NiCrMo 4)

Kalené a temperované oceli

Kalené a temperované oceli jsou používány, kdykoliv je možnost, že vlivem vysokých teplot ve vytlačovací hlavě dojde k deformacím a rozměrovým změnám. K tomu dochází zejména u velkých vytlačovacích hlav. Ve výrobním procesu jsou

tyto oceli žíhané, potom co byli vytvrzené. To má za následek snížení tvrdosti a pevnosti a zvýšení houževnatosti a pružnosti materiálu. Relativně nízká pevnost po kalení a temperování (vytvrzování a žíhání) vede k povrchům s nižší odolností proti opotřebení a k špatně lešitelným povrchům. Tyto nedostatky se dají zlepšit nitridací nebo chromovým plátováním těchto povrchů. [2]

Kalené a temperované oceli jsou požívány např.: 1.2312 (40 CrMnMoS 86), 1.2347 (X CrMoVS 51), 1.2711 (54 Ni MoV 6)

Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli jsou oceli obsahující více než 12% chromu a jsou používány, kdekoliv jsou chemicky korozivní látky (např. kyselina chlorovodíková) vypouštěny během zpracování plastů a když není možné z technologických důvodů poskytnout chromování, nebo niklování povrchů pro tokovou soustavu kanálků. [2]

Korozivzdorné materiály jsou používány např.: 1.2083 (X 40 Cr13), 1.2316 (X 36 CrMo17)

Zvolený materiál

Jelikož se jedná o první vyrobený prototyp, na kterém budou prováděny testy, zvolený materiál je z levnější korozivzdorné oceli. Tyto oceli zajistí ochranu proti vzniku rzi při používání vody jako chladicího média. Dále konstrukce je navržena svařovaná, kvůli snadné výrobě prvního prototypu, proto je nutné zajistit svařitelnost ocelí. Tím odpadá možnost kalených úprav ocelí kvůli potřebnému nízkému obsahu uhlíku pro zajištění svařitelnosti. Materiál použit pro výrobu je tedy korozivzdorná ocel 1.4301, jako jedna z nejlevnějších varianty materiálové pořizovací ceny. Tato ocel se hodí k otestování navrženého prototypu. Pro dlouhodobé používání ve výrobě, kdy je nutné zajistit dlouhou životnost bez poškození nebo změny tvaru vytlačovaného profilu, je doporučeno použít k výrobě cementační ocelí. K tomuto účelu je potřeba konstrukci upravit, protože u cementačních ocelí nelze použít svary.

4.4

4.4 Plastové materiály pro zpracování

Materiál, který je původně uvažován pro zpracování, je plast typu ABS. Tento plast je nejčastěji používán právě u 3D tiskáren jako podávaný stavěcí materiál.

Pro prvotní testování je zvolen materiál polystyren Krasten 154. Tento materiál má velmi podobné tepelné a viskozitní vlastnosti jako ABS, takže výsledky ze simulací lze aplikovat i pro tento materiál. Rozdíl je pouze v mechanických vlastnostech. Navíc tento materiál je transparentní, takže je snadnější kontrola vzniku vzduchových bublin a je vhodnější pro testování.

ABS

Akrylonitrilbutadienstyren zkráceně ABS je amorfni termoplastický průmyslový kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození. Plast je tuhý, houževnatý, málo nasákový, zdravotně nezávadný. Je odolný vůči kyselinám, luhům, olejům, uhlovodíkům a tukům. [12]

Tab. 3 Vybrané vlastnosti materiálu ABS [25]

Obecné	
Hustota	1,04 g/cm ³
Index toku (210°C, 10kg)	20 g/10min
Mechanické vlastnosti	
Napětí na mezi kluzu	45 MPa
Tažnost	10 %
Modul pružnosti v tahu	2300 MPa
Teplotní vlastnosti	
Tepelná vodivost	0,17 W/mK
Koeficient délkové roztažnosti	95·10 ⁻⁶ /K
Bod tání	110 °C
Tvarová stálost za tepla	80 °C
Max. teplota dlouhodobá	95 °C
Max. teplota krátkodobá	100 °C
Min. teplota použití	-30 °C

Polystyren Krasten 154

Krasten 154 je standardní polystyren s vynikajícími optickými vlastnostmi, leskem, vyváženými reologickými vlastnostmi a tepelnou odolností. Používá se zejména pro vstřikování, lze ho použít i pro vytlačovací procesy. Materiál je bezbarvý, průhledný a je výborný k vyzkoušení navržené vytlačovací hlavy. [24]

Tab. 4 Vybrané vlastnosti materiálu Krasten 154 [24]

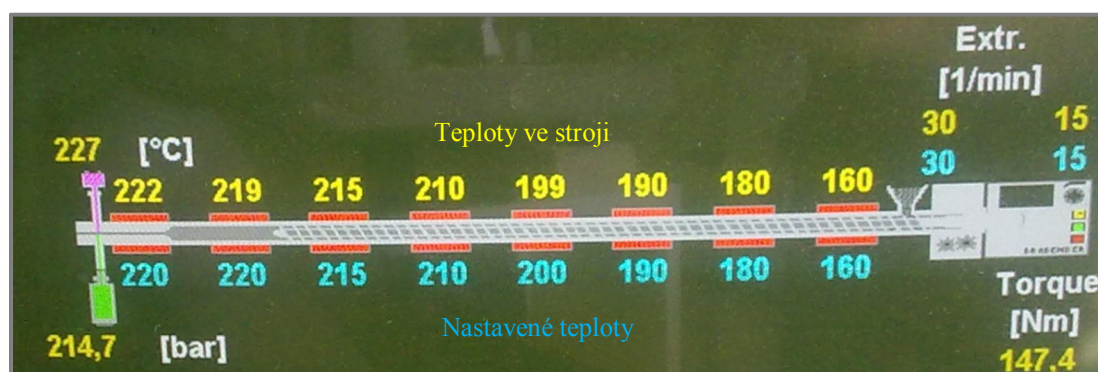
Obecné	
Hustota	1,05 g/cm ³
Index toku (200°C, 5kg)	10 g/10min
Mechanické vlastnosti	
Napětí na mezi kluzu	55 MPa
Tažnost	3 %
Modul pružnosti v tahu	3200 MPa
Teplotní vlastnosti	
Tepelná vodivost	0,17 W/mK
Koeficient délkové roztažnosti	80·10 ⁻⁶ /K
Bod tání	100 °C
Tvarová stálost za tepla	86 °C
Max. teplota dlouhodobá	70 °C
Max. teplota krátkodobá	80 °C

4.5 Zavádění do výroby

Pro uvedení vytlačovacího stroje do provozu a zavedení výroby, je potřeba nejprve zajistit potřebné parametry důležité pro bezproblémový chod. Pro vytlačovací stroj je to zejména dosažení požadovaných teplot závislých na zpracovávaném polymeru, dodávání dostatečného množství materiálu, zajištění tlaku na vstupu do vytlačovací hlavy, který zvládne protlačit požadovaný profil přes tokový kanálek trysky.

Pro zpracovávání různých druhů plastů jsou jednotlivé hodnoty teplot ve vytlačovacím stroji nastaveny různě.

Pro polystyren Krasten byly při experimentování na vytlačovacím stroji nastaveny následující hodnoty. (Obr. 52)



Obr. 52 Nastavení vytlačovacího stroje

Před začátkem vytlačování je potřeba kromě vytlačovacího stroje dostatečně zahřát i vytlačovací hlavu společně s kalibrační částí, protože v tokových kanálcích zůstává z předchozího používání ztuhlý polymerní materiál. Zahřátím vytlačovací hlavy dojde k tavení polymeru a při dostatečné teplotě je možné spustit vytlačovací proces. Pro vyhřívání vytlačovací hlavy je používána vodní temperační jednotka, která zvládá pod tlakem ohřívat vodu až na 140 °C. Tato voda nejprve ohřívá vytlačovací hlavu a po ustálení vytlačovacího procesu lze postupně teplotu snižovat.

4.6

4.6 Manipulace, čištění a údržba vytlačovací hlavy

Vytlačovací hlavy jsou drahé a velmi přesné součásti, které vyžadují opatrné zacházení a častou péči a údržbu. Při špatném zacházení může dojít k závadě, která může vyústit v neplánované a drahé přerušení výroby, nebo může znehodnotit vytlačovaný profil a tím dojde ke ztrátě velkého množství již vyrobené zakázky.

Hlavní příčinou poškození vytlačovacích hlav je lidská chyba, převážně neopatrné nebo přímo špatné zacházení při údržbě a čištění nebo při připevňování k vytlačovacímu stroji.

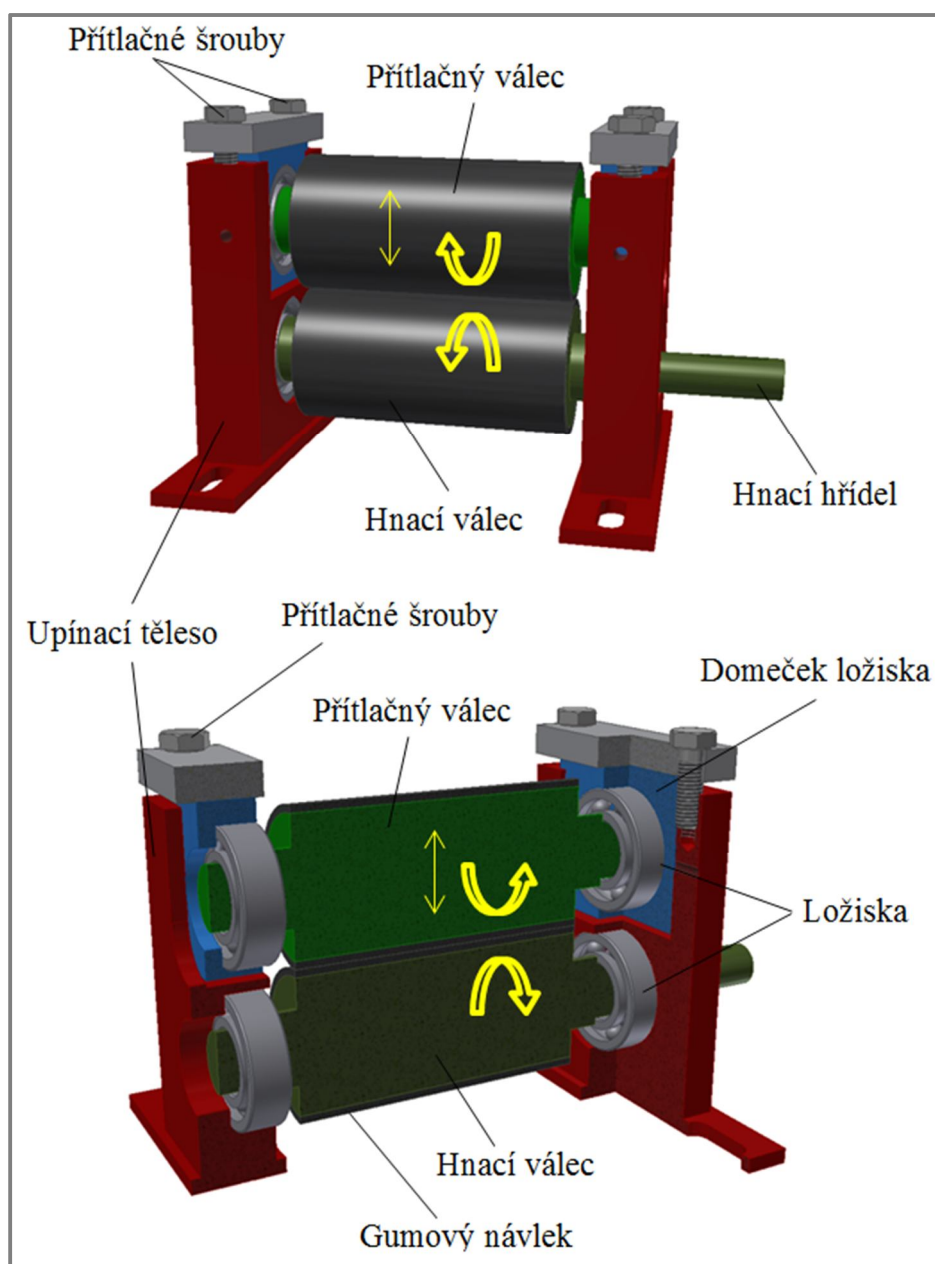
Vytlačovací hlava by měla být odpojována a rozmontována pouze ve vyhřátém stavu, kdy je možné se bez poškození oddělit od zbytkového plastu. Je tedy potřeba pracovat rychle a bezpečně. Hrozí zde riziko vzniku popálenin, je proto nutné používat ochranné rukavice.

Vytlačovací hlavu je doporučeno kompletně rozložit, vyčistit a zkontrolovat přibližně každých 6 měsíců. Plast, který zůstává v tokovém kanálku, může být odstraněn vytažením nebo pomocí měkké škrabky. Pro čištění tokového kanálku se nesmí používat ocelové škrabky, aby nedošlo k poškození leštěného povrchu.

Kromě manuálních metod čištění, je možné použít solné lázně, ve kterých horký dusičnan solný (ohřátý přibližně na 400 – 500 °C) rozloží a odnese zbytkový polymer. Tento proces nelze použít, pokud je na površích použito chromové plátování. U podobných procesu je důležité zjistit, jestli vysoké teploty neovlivní materiálové vlastnosti vytlačovací hlavy. [6]

4.7 Odtah

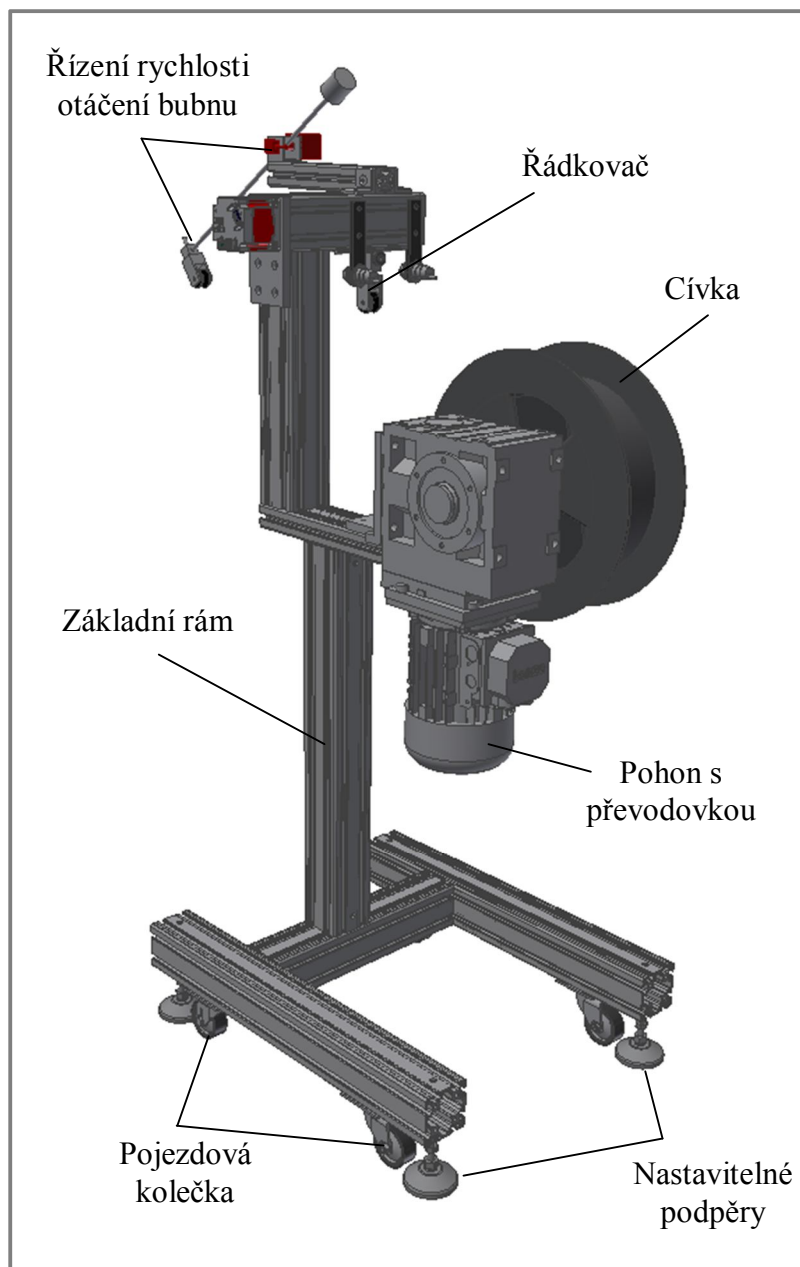
Pro zajištění automatického odebírání vytlačovaného plastu jsou navrženy dodatečné zařízení (odtah a navíjení). Odtahovací zařízení je navrženo jako jednoduchý válcový odtah. Jedná se o dva válce potažené gumovým návlekm pro lepší unášecí sílu, které jsou k sobě dotahovány pomocí šroubů. Spodní válec je hnaný přes výstupní hřídel s drážkou pro pero a je pevně uložen ve dvojici ložisek zasazených do upínacího tělesa připevněného k pracovnímu stolu. Ložiska druhého válce, který slouží jako přítlačný, jsou zasazeny do domečků a ty jsou vloženy do vodících drážek upínacího tělesa. Přítlačný válec lze nastavit na různou vzdálenost od hnaného válce vložím podložky mezi upínací těleso a domečky pro ložiska, tím vzniká mezera pro různě velké odtahované profily. Jako pohon je použit stejnosměrný elektromotor s možností regulace otáček pomocí potenciometru.



Obr. 53 Odtahovací zařízení

4.8 Navíjení

Navíjení je poslední ze zařízení pro zpracování vytlačovaného drátu. Jde o zařízení, které navíjí drát na připravenou cívku. Pro správné a přesné navíjení je potřeba zajistit proměnné otáčky cívky podle množství navinutého drátu, protože se zvyšuje navíjecí obvod po jednom řádku. Dále je potřeba zajistit vedení drátu do správného místa při řádkování, k tomu slouží tzv. tanečník.

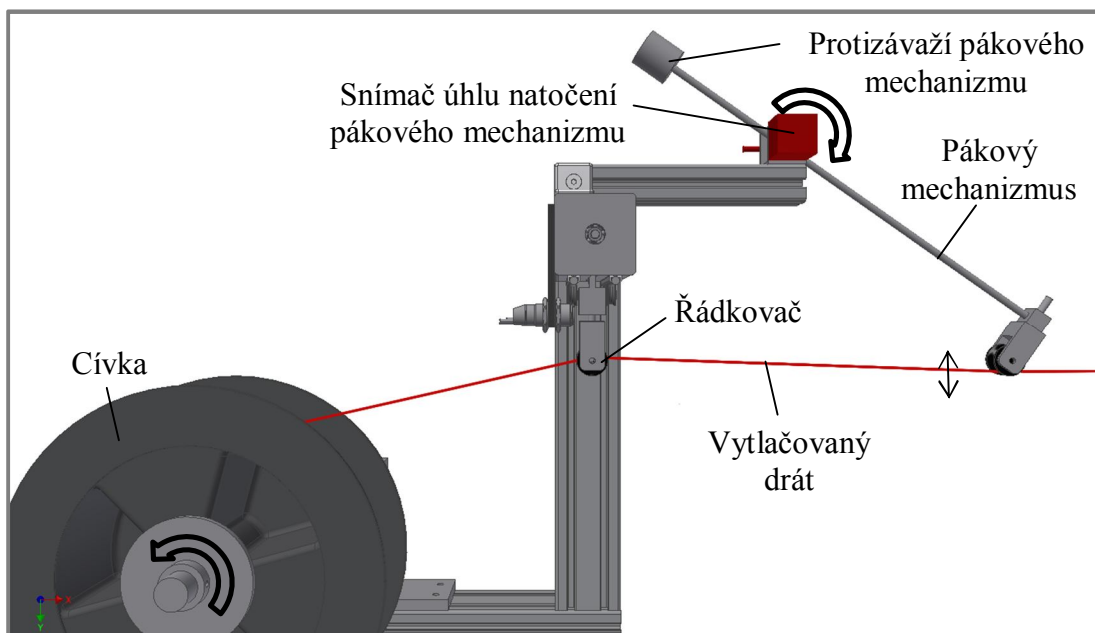


Obr. 54 Univerzální navíjecí zařízení

Konstrukční návrh (Obr. 54) se v tomto případě skládá ze základního rámu sestaveného z hliníkových stavebních profilů. Pro zajištění mobility jsou k rámu připevněny pojezdová kolečka a pro případ stabilního a vodorovného umístění je na spodku rámu umístěna čtveřice výškově nastavitelných podpěr. Rotace cívky je

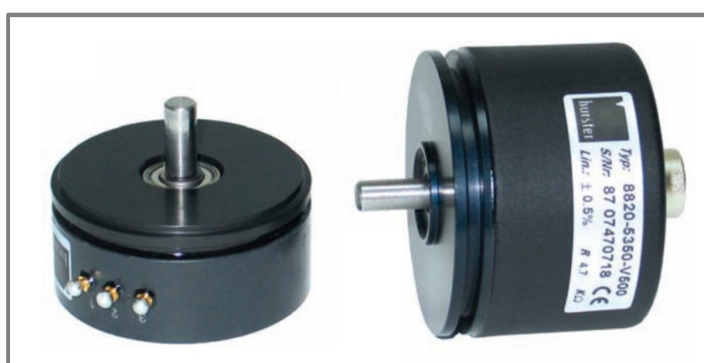
pomocí elektromotoru s čelní převodovkou o výkonu 0,37 kW pro rychlost navíjení až 20 m/min s možností navíjet různě velké profily.

Ovládání rychlosti otáčení cívky je pomocí pákového mechanismu (Obr. 55), který se opírá o podávaný vytlačovaný materiál. Podle napnutí drátu se pákový mechanismus naklání okolo senzoru, který snímá natočení. Pokud je drát příliš napnutý cívka zpomalí rychlost navíjení, když je rychlost navíjení pomalá vytlačovaný drát se prověsí a senzor pákového mechanismu předá příkaz ke zvýšení otáček.



Obr. 55 Pákový mechanismus navíjecího zařízení

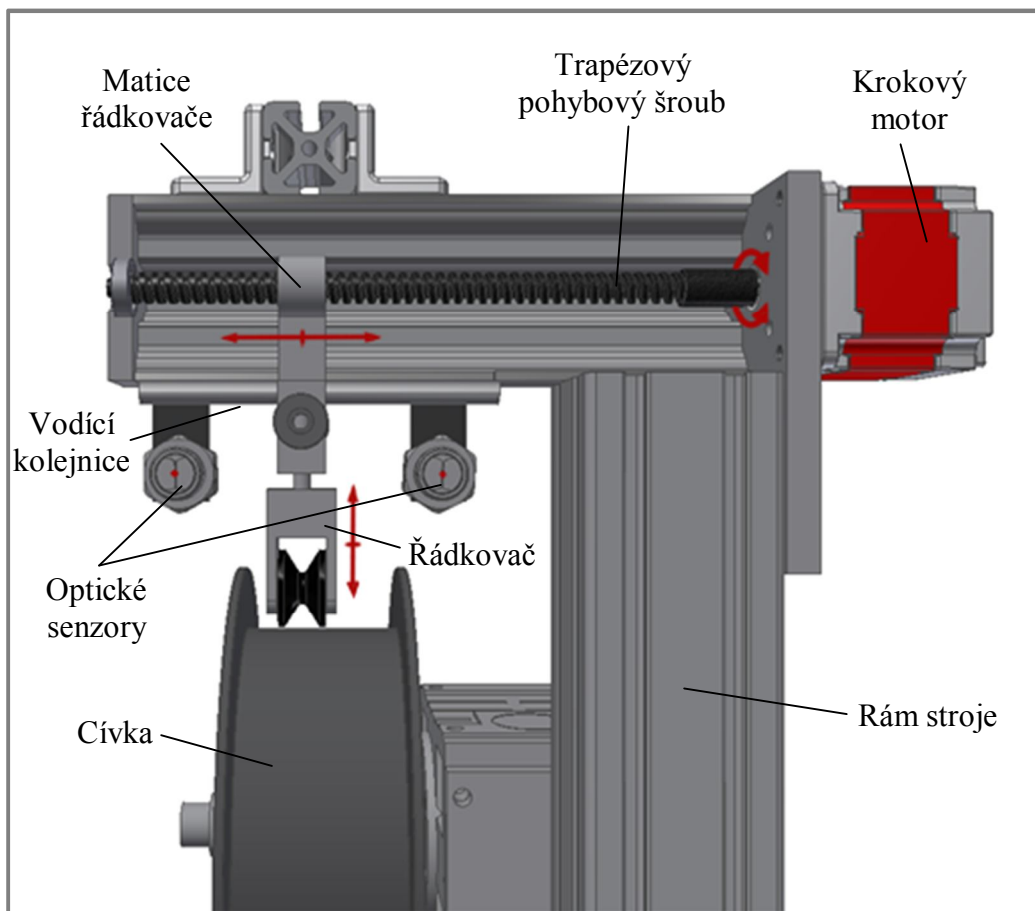
Senzor pro pákový mechanismus je zvolen potenciometrický snímač úhlu natočení (obr. 56). Technická data a popis jsou ke stažení v odkazu [10].



Obr. 56 Potenciometrický snímač úhlu natočení [10]

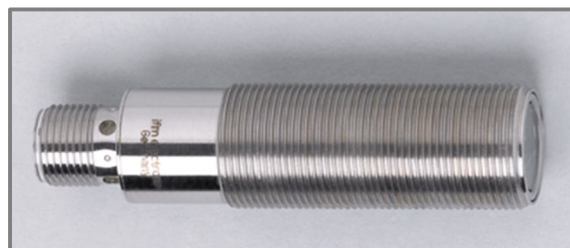
Řádkovací mechanismus (Obr. 57) je ovládán krokovým motorem napojeným na optické senzory, které lze nastavit podle šířky cívky pro navíjení. Řádkovač jezdí mezi těmito senzory a při protnutí jednoho ze senzorů motor otočí smysl otáčení. Krokový motor otáčí trapézovým pohybovým šroubem a tím je unášena matice s řádkovačem. Řádkovač je veden po dvojici kolejnič připevněných

k rámu. Vedení drátu je pomocí kolečka s drážkou umístěnou ve vidlici, kterou lze výškově nastavit.



Obr. 57 Řádkovací mechanismus navíjecího zařízení

Optické senzory zvolené pro řádkovací mechanismus jsou reflexní světelné snímače (Obr. 58). Tyto snímače slouží k přímé detekci objektů. Vysílač a přijímač světelného paprsku je umístěn v jednom pouzdře. Senzor vyzařuje světlo, které se od objektu, který má být detekován odrazí a odražené světlo je přijato přijímačem. Vyhodnocen je příjem odraženého světla od objektu. [8]

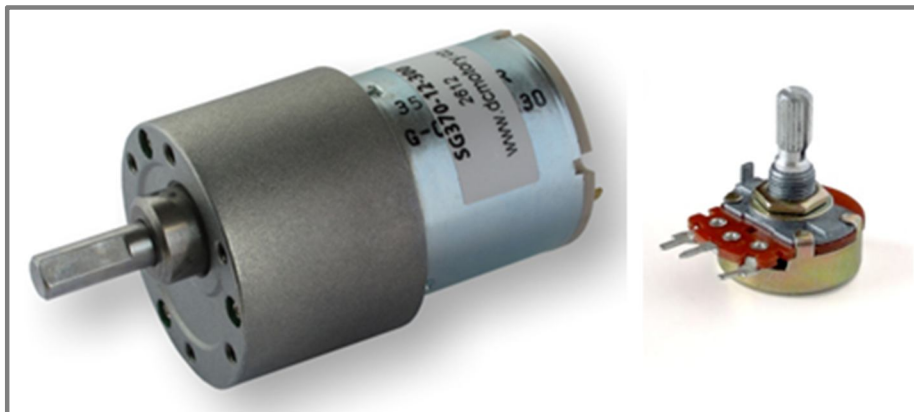


Obr. 58 Optický senzor OGH302 [8]

Tato varianta řešení je cenově a výrobně náročná, ale umožňuje využití v širším spektru pracovního nasazení. Rychlost navíjení je pro účely navržené vytlačovací hlavy příliš vysoká. Proto je ponechána tato varianta pro pozdější rozšíření výrobních a zpracovatelských možností.

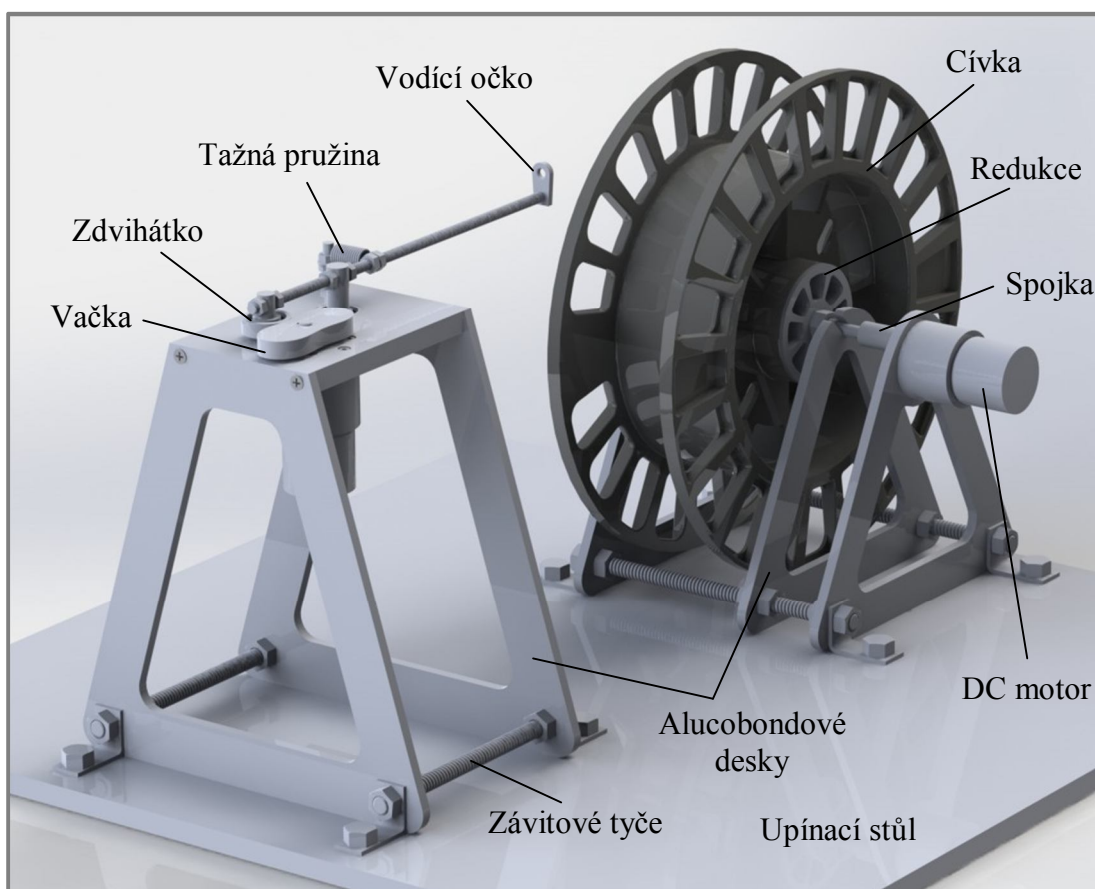
Navíjení s vačkou

Navržena byla ještě druhá varianta určená přímo pro navíjení vytlačovaného drátu průměru 3 mm jako cenově dostupnější varianta. Rotace cívky a rychlost navíjení je řízena ručně pomocí stejnosměrného motoru s čelní převodovkou a potenciometru.

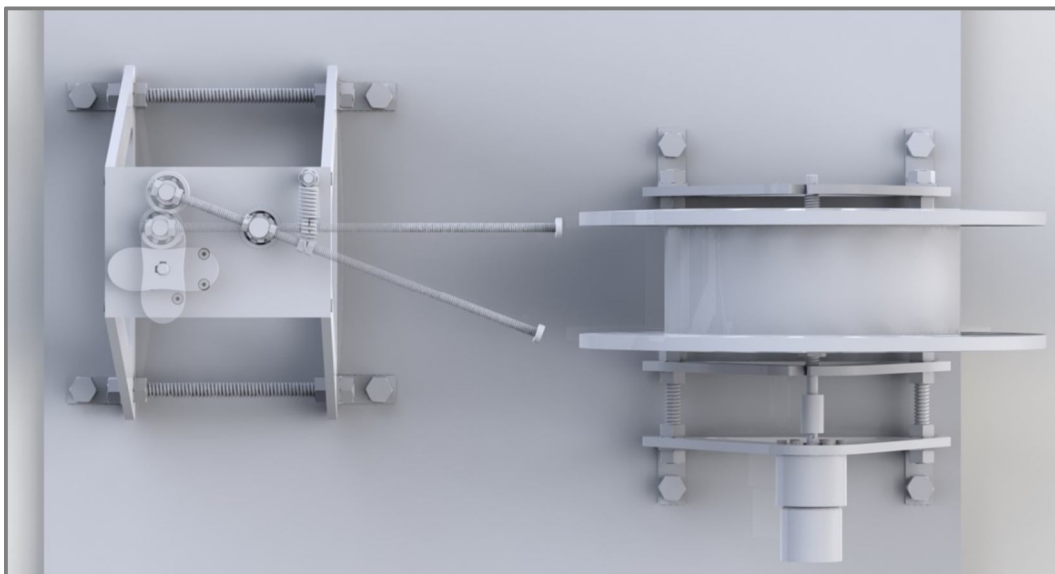


Obr. 59 DC motor a potenciometr [27]

Řádkovač je řešen pomocí vačkového mechanismu, který svojí rotací pohybuje zdvihátkem umístěným na jednom konci pákového mechanismu. Na druhém konci je připevněno vodící očko, které udává směr navíjenému drátu. Pro zpětný pohyb zdvihátka je použita tažná pružina. Stejně jako u cívky je použit stejnosměrný motor s potenciometrem pro řízení rychlosti rotace vačky.

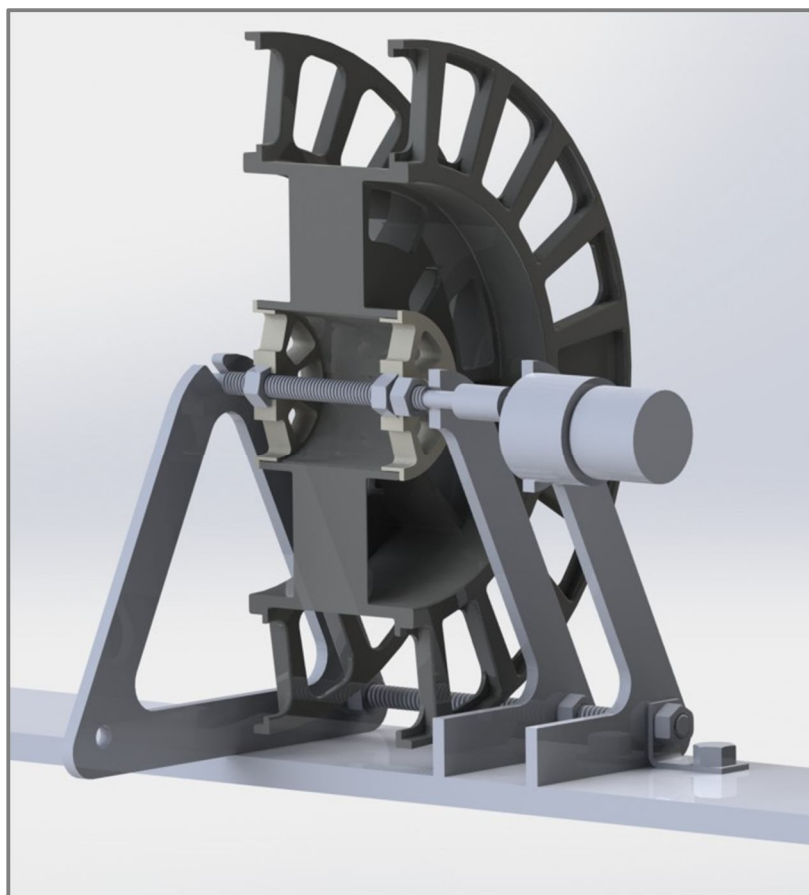


Obr. 60 Navíjení s vačkou



Obr. 61 Krajní polohy řádkovacího mechanismu

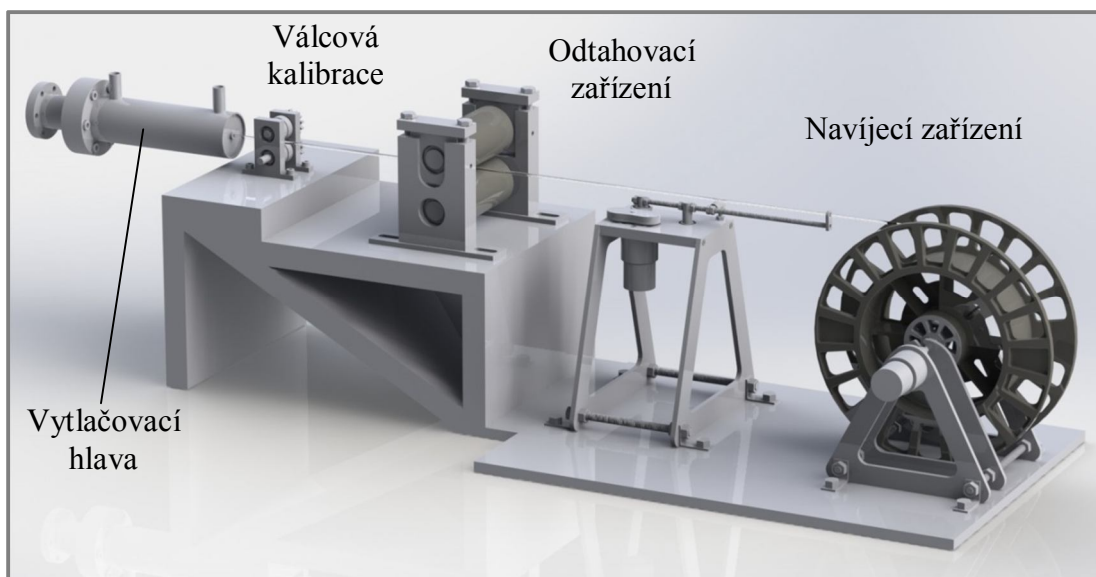
Tato levná varianta je sestavena ze závitových tyčí, které smontované s alucobondovými deskami (dva hliníkové krycí plechy s plastovým jádrem) tvoří základní rámy pro řádkovací a navíjecí mechanismy. Motor vačky, pákový mechanismus a upínání tažné pružiny jsou připevněny na dřevěné desce. Vačka a redukce cívky na hnací hřídel jsou vytištěny na 3D tiskárně z ABS plastu.



Obr. 62 Redukce pro navíjecí buben

Redukce pro cívku mají tvarově zasazené matice, které jsou proti sobě dotaženy na hnací hřídeli a jsou zajištěny kontramaticí. Dotažením těchto redukci dojde k upnutí cívky. Pro snadnou výměnu cívky jsou do alucobondových desek vyrobeny drážky, kterými lze celou cívku odebrat. Potřeba je pouze uvolnit spojku motorku s hnací hřídelí.

V současném návrhu není připojen žádný elektronický ovládací systém, který by korigoval rychlosti motorků. Ovládání je pouze s ručními korekcemi. Pro případ nižších rychlostí vytlačování s nutností navíjet pomaleji než dovoluje snížení napětí na potenciometru je doporučeno přidat ozubené převody mezi elektromotorek a hřídel cívky a mezi elektromotorek a hřídel vačky.



Obr. 63 Návazné členy vytlačovacího stroje

5 DISKUZE

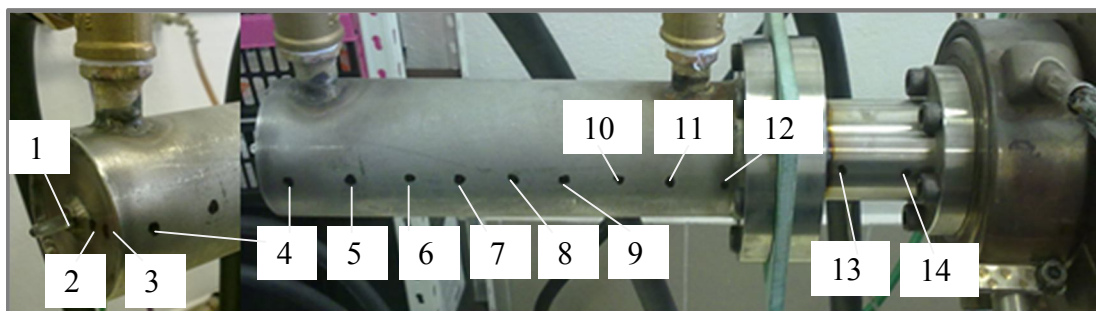
5.1

5.1 Experimentální ověření

První testování na přímém vytlačovacím stroji ukázalo, že předpokládané rychlosti vytlačování 0,1 kg/h, se kterou bylo počítáno při simulacích, nelze dosáhnout. Výkon stroje není dostatečný, aby zajistil potřebný tlak pro protlačení vytlačovaného drátu. S klesající teplotou taveniny se zvýšil odpor proti tečení a stroj nezvládl udržet požadovanou rychlost vytlačování. Docházelo k úplnému zastavení vytlačování a zatuhnutí plastu v trysce i při maximální teplotě temperace 140°C. Z měření teplotního rozložení pomocí kontaktního teploměru bylo také zjištěno, že je potřeba v simulacích zvýšit koeficient odvodu tepla do okolí.

Ověření teplotního rozložení

Měření bylo provedeno pomocí kontaktního teploměru vloženého do trysky a v bodech uvedených na obr. 64. Teplota vody v temperačním dílu byla nastavena na 140°C. Bod 1. je na vnitřní ploše tokového kanálku trysky, body 2 až 12 jsou na obalu temperační části a body 13, 14 jsou na vstupu a výstupu připojovací části.



Obr. 64 Teplotní rozložení při teplotě 140 °C

Pozn. k obr. 64

1. 139 °C, 2. 119 °C, 3. 116 °C, 4. 118 °C, 5. 119 °C, 6. 121 °C, 7. 121 °C, 8. 122 °C, 9. 123 °C, 10. 122 °C, 11. 122 °C, 12. 123 °C, 13. 125,5 °C, 14. 158 °C

Měření ukazují, že uvnitř trysky je teplota udržována na 140°C. Povrchové teploty v bodech 2 až 12 jsou oproti předpokladům nižší, to je způsobeno větším odvodem teplot do okolí, než je zadáno v okrajových podmínkách simulací. V bodech 13 a 14 dochází také vlivem lepšího odvodu tepla ke snižování teploty oproti předpokladu. Po upravení a zpřesnění okrajových podmínek podle výsledků experimentu byla provedena nová simulace.

Okrajové podmínky:

Vytlačovaný materiál – Polystyren Krasten

Průměr vytlačovaného drátu – 3 mm

Teplota taveniny na vstupu – $T_t = 230$ °C

Rychlost proudění na vstupu – $f = 0,05$ kg/h

Teplota temperačního média – $T_{tem} = 140$ °C,

Koeficient přestupu tepla v chladicí nádrži – $HTC_1 = 500$ W/m²K

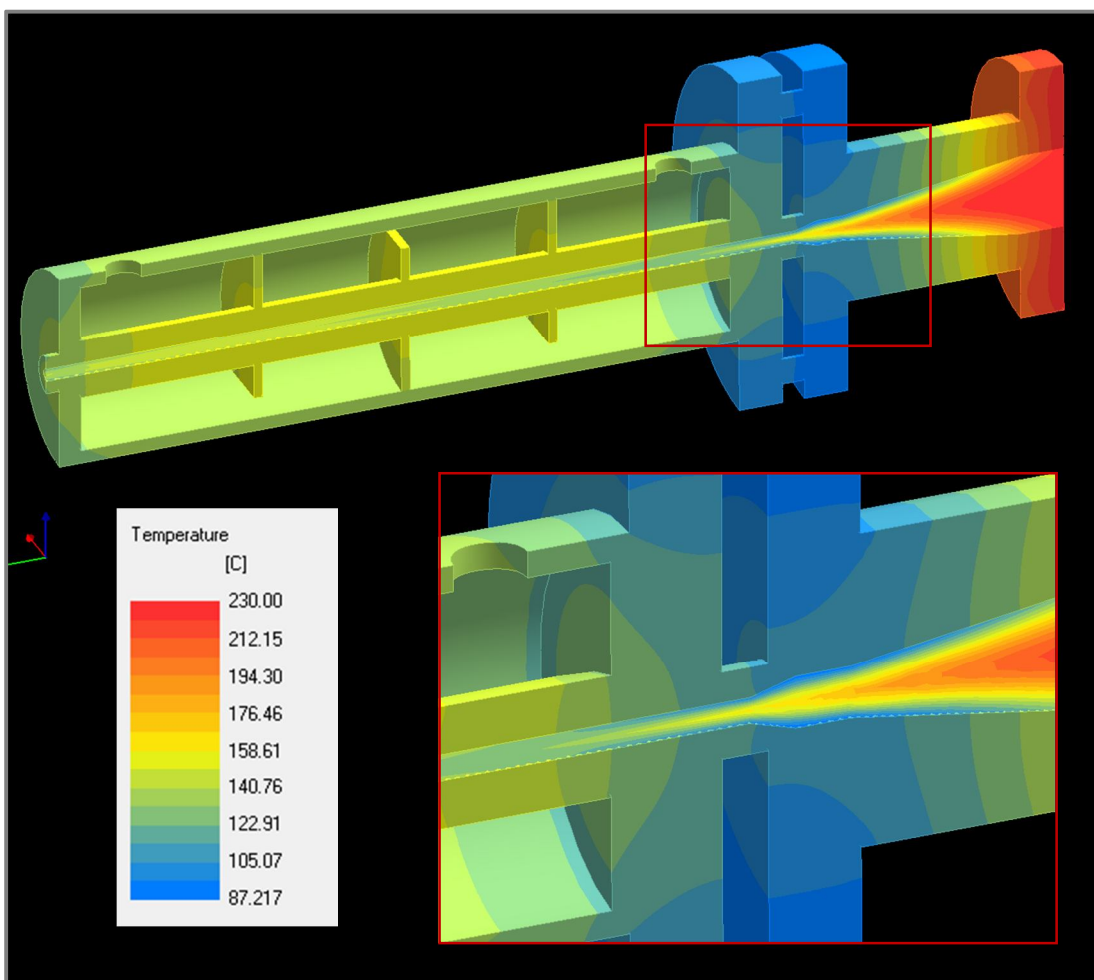
Rozhraní tokového kanálu a vytlačovaného plastu – $HTC_2 = 1137$ W/m²K

Ohřev od vytlačovacího stroje – $T_{str} = 230$ °C

Teplota okolí – $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

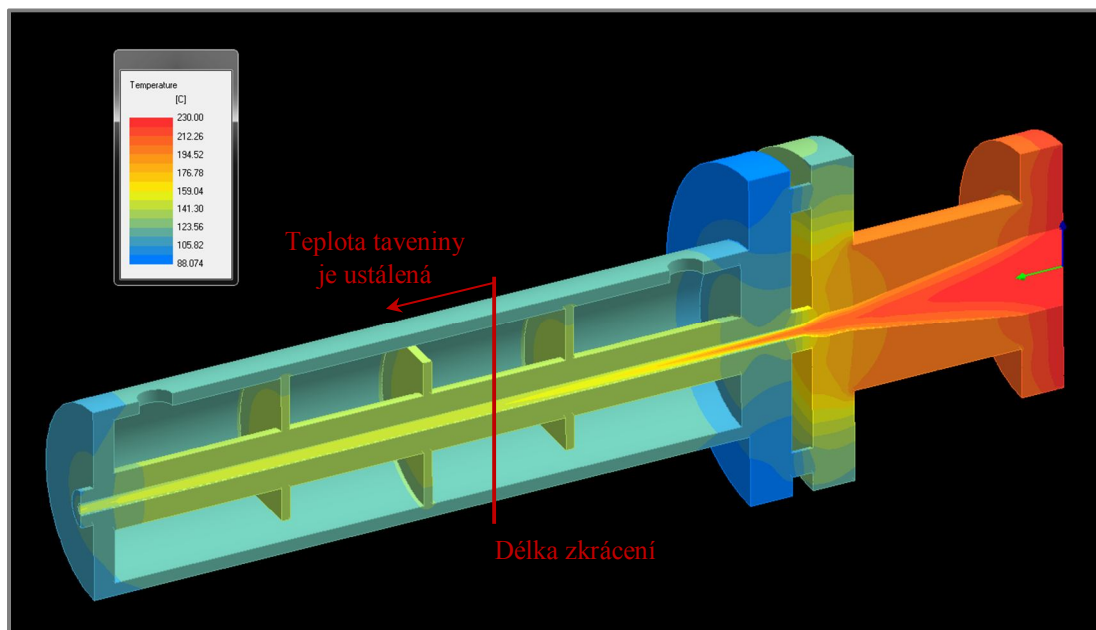
Koeficient přestupu tepla do okolí – $\text{HTC}_3 = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$

Materiál ocelové mřížky – nerezová ocel (tepelná vodivost $\lambda = 15 \text{ W/mK}$)



Obr. 65 Simulace s upravenými okrajovými podmínkami

Po zvýšení koeficientu přestupu tepla do okolí, teplotní rozložení v simulaci se blíží naměřeným teplotám z experimentu. Výsledek ukazuje, že předpokládané vyhřívání přípojovacího dílu před tepelnou izolací od vytlačovacího stroje je nedostačující. Teplota v místě spoje přípojovacího a temperačního dílu (detail obr. 65) je nižší, než je teplota temperace a pravděpodobně zde může docházet k zvyšování odporu proti vytlačování, to má za následek zpomalení rychlosti vytlačování a zamrznutí proudu taveniny. Přípojovací díl je potřeba dodatečně přehřívat. V další simulaci bylo přidáno do okrajových podmínek vytápění na válcové ploše přípojovacího dílu.



Obr. 66 Simulace s upravenými okrajovými podmínkami s dodatečným ohřevem

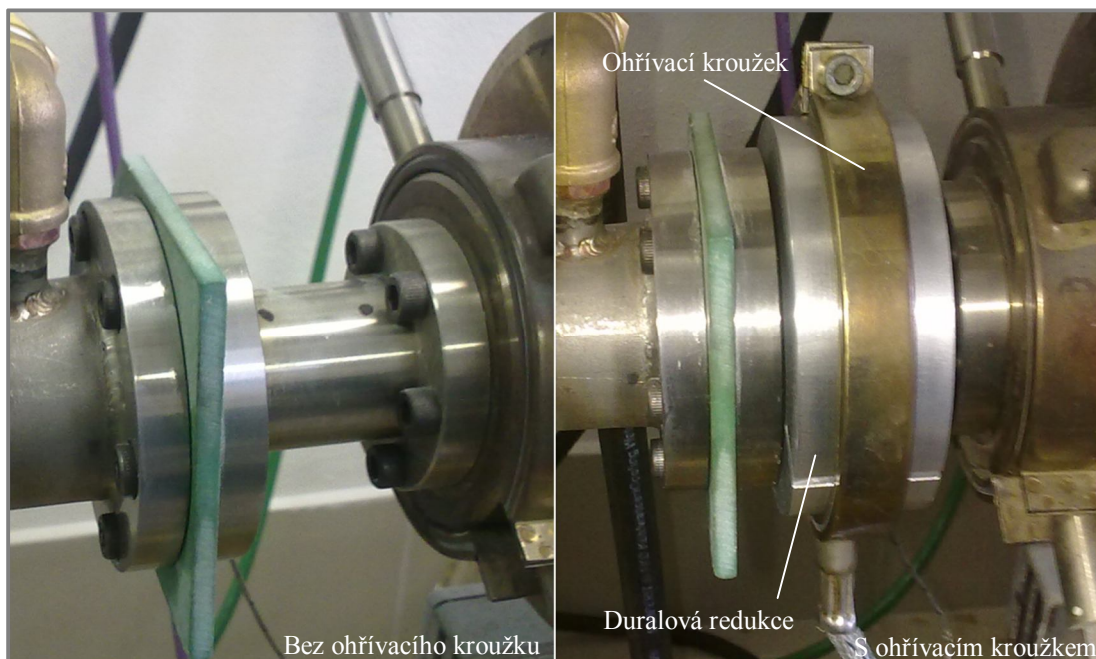
Dodatečné vyhřívání ukazuje odstranění tepelných nedostatků v proudu taveniny v místě spoje temperační a přípojovací části. Nicméně výkonnost stroje stále nedokáže dosáhnout požadované rychlosti vytlačování a tak podle výsledků simulací je přistoupeno ke zkrácení vytlačovací hlavy za cenu snížení produktivity výroby. Zkrácení temperační komory je provedeno na délku 65 mm (červená čára obr. 66). V simulacích je vidět, že od této délky již při rychlosti vytlačování 0,05 kg/h nedochází k teplotním změnám a vzniká zde pouze odpor proti vytlačování, který způsobuje zastavování toku.

5.2

5.2 Úpravy konstrukce

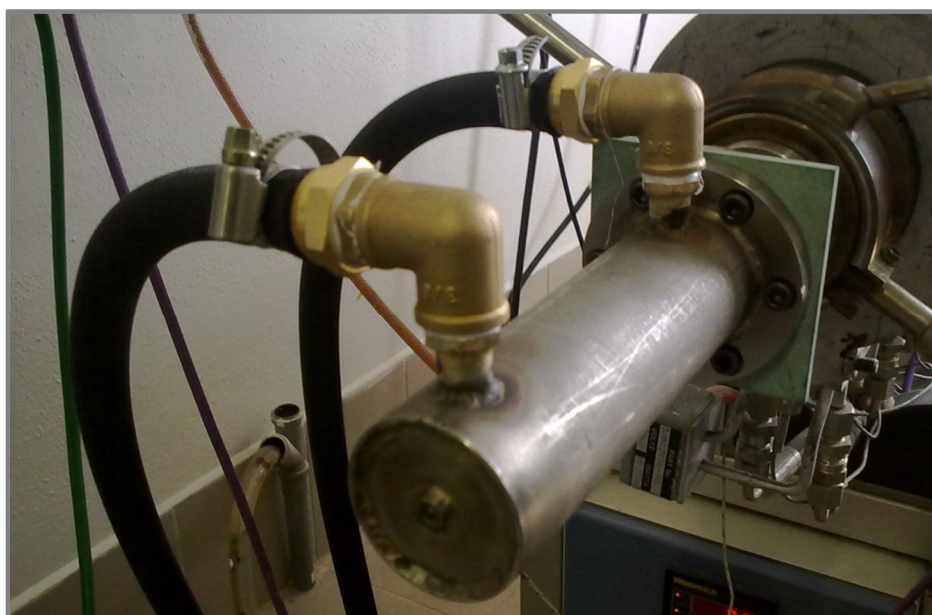
Po otestování vytlačovací hlavy byly navrženy úpravy konstrukce, které by měly zlepšit univerzálnost použití, zajistit lepší kontrolu nad teplotním rozložením a zajistit větší bezpečnost.

Při testování se objevil problém, že teplota v přípojovací části byla nedostatečná, to způsobovalo špatné viskózní vlastnosti plastu v kuželovitém kanálku a mělo za následek zastavování toku taveniny. V simulačních úlohách se předpokládalo, že zdroj tepla z vytlačovacího stroje a z ohřáté plastové taveniny bude dostatečně silný, aby si tento díl udržel požadovanou teplotu. Bohužel přestup tepla dostatečný nebyl. Pro zajištění snadnější kontroly a zaručení požadované teploty je potřeba přidat elektrický odporový ohřívací kroužek. Ohřívací kroužek, který je připojen k vytlačovacímu stroji je použitelný pouze pro velké průměry od 90 mm, proto je potřeba také přidat redukci, přes kterou je teplo předáváno do přípojovací části vytlačovací hlavy. Redukce je navržena z duralového materiálu, který má výbornou tepelnou vodivost. Redukce je trubka s vnějším průměrem 92 mm a vnitřním průměrem 36 mm, aby bylo možné bezdemontážní přidání tohoto segmentu, je tato trubka podélně rozpůlena. Ohřívací kroužek poté drží redukci pohromadě. (obr. 67)



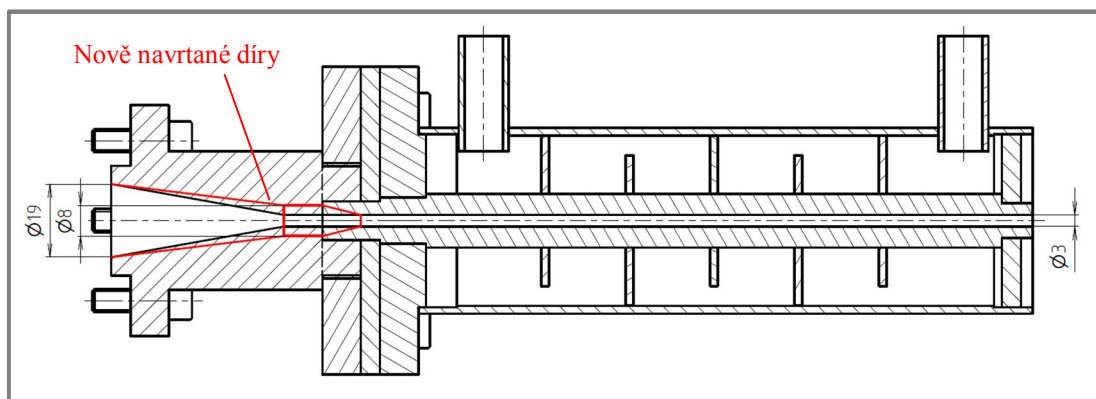
Obr. 67 Ohřivací kroužek s redukcí

Z hlediska větší bezpečnosti byly na ústí nádrže s chladicí kapalinou přidány kolena a přípojky pro hadice. Pracovní teplota vody je potřeba na začátku vytlačovacího procesu navýšit až na 140°C . Aby se voda při tak velké teplotě nevypařila, je potřeba navýšit tlak. Při používání temperační jednotky za vyšších tlaků vyvstala obava o dostatečné zajištění hadic, které byly pouze nasazeny na hladké ústí stažené sponou. Přidány byly normalizované přípojky pro používané hadice, a aby nedocházelo při vyšších teplotách k deformacím a ohýbání hadic, byly použity kolenové spojky, které hadice nasměrují vhodnějším směrem.



Obr. 68 Přípojky temperační části

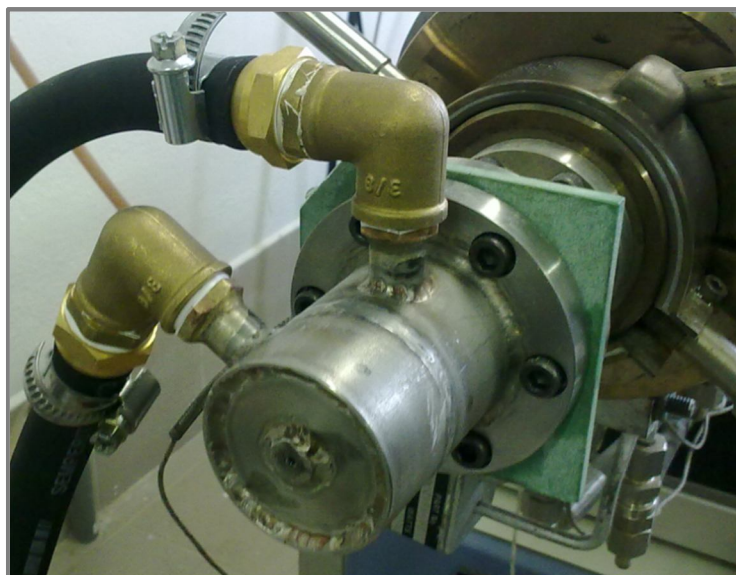
Pokud by stroj měl být používán pro vytlačování různých průměrů drátů je potřeba upravit konstrukci. Kalibrační část s tryskou je potřeba vyrobit podle rozměrů vytlačovaného drátu. Připojovací část lze modifikovat, aby umožňovala použití pro širší spektrum vytlačovaných rozměrů. Potřeba je změnit rozměr díry kuželového kanálku připojovacího dílu a při výrobě trysky temperační části přidat kužel, který redukuje díru na požadovaný rozměr. Připojovací díl je doporučeno využívat pro vytlačování profilů do maximálního průměru 8 mm. Pro příčné vytlačování lze použít stejného principu.



Obr. 69 Úprava připojovacího dílu pro vytlačování drátů do průměru 8 mm

Zkrácení vytlačovací hlavy

Maximální pracovní tlak 250 barů je nedostatečný pro udržení rychlosti vytlačování 0,1 kg/h na délce temperace 150 mm. Po testech a nových simulacích s pomalejší rychlostí vytlačování bylo zvoleno zkrácení temperační části za cenu snížení produktivity výroby na 0,05 kg/h.



Obr. 70 Zkrácená vytlačovací hlava

Zkrácení bylo provedeno na délku temperace 65 mm. Přípojka výstupu chladicí kapaliny z temperační jednotky bylo potřeba umístit 45° oproti vstupní přípojce (Obr. 70).

5.3 Zkoušky zkrácené vytlačovací hlavy

Zkoušky probíhaly s polymerním materiálem polystyren Krasten 154. Nejprve byl spuštěn vytlačovací proces a teplota temperace byla nastavena na teplotu 140°C, kdy bylo zajištěno bezproblémové vytlačování. Postupným snižováním teploty temperace a změnou tlaku ve vytlačovacím stroji bylo testováno chování vytlačovaného drátu. Podle rychlosti vytlačování bylo zvoleno vhodné nastavení.

Tab. 5 Rychlost vytlačování podle teploty temperace a vytlačovacího tlaku

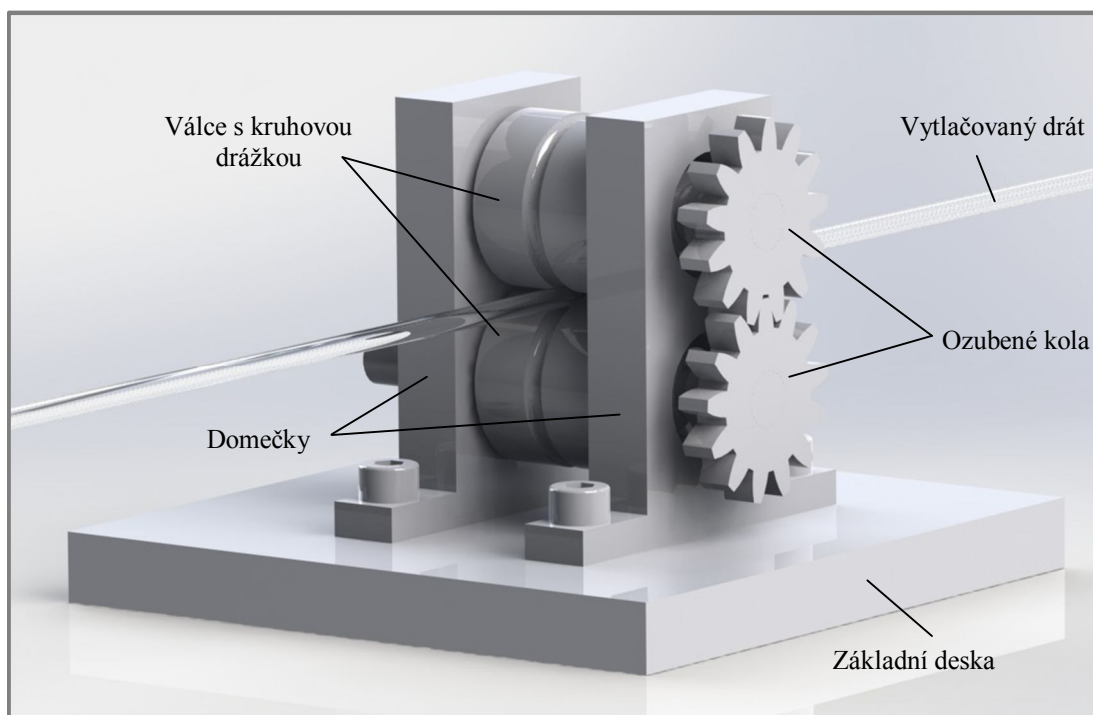
Teplota temperace [°C]	Tlak ve vytlačovacím stroji [bar]	Rychlost vytlačování [kg/h]
140	135	0.61
135	150	0.32
130	170	0.04
128	200	0.22
126	195	0.029
125	205	0.031
125	180	0.017
124	217	0.025
123	213	0.018
122	240	0.017
120	220	0.011
119	239	zastaveno
115	240	zastaveno

Snižováním teploty nastává zpomalování vytlačovací rychlosti, až k teplotě 120 °C. Pod touto teplotou dochází k zamrznutí toku v trysce temperační jednotky. Tlak stroje nedokáže uvolnit ztuhlý materiál od stěny vytlačovací trysky. To bohužel poukazuje na nemožnost zchlazení a kalibrace s použitím temperační jednotky připevněné přímo na vytlačovací hlavu. Vytlačovaný materiál musí mít minimální teplotu 120 °C kdy je plastový materiál ve formě kaučukovité hmoty s menším odporem než je ztuhlý plast.

Dále bylo testováno chování vytlačovaného materiálu v rozmezí teplot 120 °C až 130 °C, kdy byl plastový materiál v kaučukovitém stavu. Ukázalo se, že nejproduktivnější teplotou zpracování je teplota 130 °C při tlaku 170 barů. Při této teplotě nesmí dojít k navýšení tlaku ve stroji nebo dojde k povolení odporu proti vytlačování, rychlost vytlačování vzroste nad rámec schopnosti temperačního dílu zchladit vytlačovaný drát. Druhou výhodnou teplotou temperace se ukázala teplota 125 °C při tlaku 205 barů. Tato varianta je bezpečnější, protože zde nehrozí povolení odporu proti vytlačování zvýšeným tlakem.

Výhodou vytlačování plastového materiálu v kaučukovitém stavu je teplota blízko teploty skelného přechodu. Není potřeba používat dodatečné chlazení do chladicích nádrží. Ke zchlazení a konečné solidifikaci dochází na vzduchu poměrně těsně za výstupem z vytlačovací hlavy, v závislosti na teplotě temperace a rychlosti vytlačování. Nevýhodou je nutnost použití dodatečné kalibrace rozměru vytlačovaného drátu. Při výstupu plastu za vytlačovací hlavou dochází k mírnému nárůstu objemu za hubicí a je potřeba definovat přesný tvar. Plastový materiál v kaučukovité formě po nárůstu za hubicí si dokáže sám o sobě udržet svůj tvar a zároveň je s použitím vnější síly tvárný. Tyto podmínky vyhovují pro použití

válcové kalibrace (Obr. 71). Dva válce s drážkou kruhového tvaru by zajistili dodatečnou kalibraci a zvýšení přesnosti výroby.

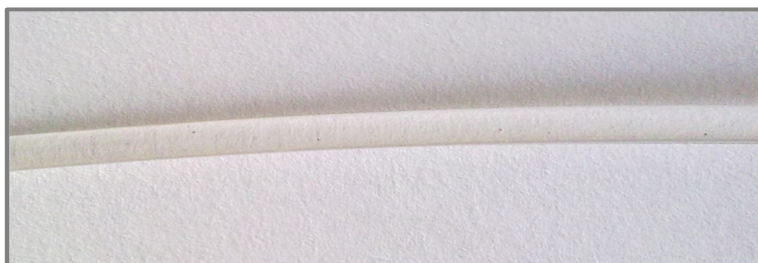


Obr. 71 Válcová kalibrace

Při teplotách nad 130 °C ztrácí temperační část význam. Dochází k uvolnění odporu proti vytlačování, proud taveniny prochází vytlačovací hlavou příliš rychle a nestíhá se ochladit. Dochází k velkému nárůstu za hubicí, proud taveniny si nedokáže udržet svůj tvar, je potřeba použít dodatečné chlazení a kalibraci.

Kontrola vzniku vzduchových kapes

Při vytlačování za teplot blízko bodu skelného přechodu a dochlazení na vzduchu vakuoly nevznikají (Obr. 72), protože snížení teploty taveniny není tak drastické jako při chlazení do chladicí vany. Vyzkoušeno bylo vytlačování bez temperace s výstupem do chladicí nádrže. Na obrázku 73 jsou vidět vzniklé vakuoly při rychlém chlazení.



Obr. 72 Zchlazený drát s použitím temperačního systému



Obr. 73 Zchlazený drát s použitím chladicí nádrže

5.4 Zhodnocení

5.4

Koncept vytlačovací hlavy s temperační částí, ve které by docházelo k úplnému zchlazení a k zafixování konečného požadovaného rozměru vytlačovaného drátu, nelze použít na vytlačovacím stroji, na kterém byly prováděny experimenty. Maximální tlak vytlačovacího stroje 25 MPa je nedostatečný pro vytlačení ztuhlého plastového drátu přes trysku vytlačovací hlavy s dostatečně produktivní a efektivní výrobou. Koncept je dobře využitelný, pokud je plastový materiál temperován na teplotu těsně nad bodem skelného přechodu. V tomto případě není potřeba používat dalších zařízení na zchlazení výrobku, jako jsou například poměrně rozměrné chladicí nádrže. Dochlazení na teplotu, kdy je zaručena rozměrová stálost plastu, proběhne na vzduchu krátce za výstupem z vytlačovací hlavy. V tomto místě, kde je plastový materiál v kaučukovitém stavu, je potřeba umístit válcové kalibrační zařízení, které by dostatečně zpřesnilo výrobu. Efektivita výroby je kvůli nízkému maximálnímu tlaku ve vytlačovacím stroji a zkrácení temperační části oproti předpokladu nižší.

V případě dalšího zkoumání konceptu zchlazení a kalibrace vytlačovaného drátu přímo ve vytlačovací hlavě je doporučeno vyzkoušet návrh na výkonnějším stroji s vyšším tlakem. Možnost je i vyzkoušet mazání tokového kanálku. Potřeba je přivádět na začátek temperačního dílu mazivo pod tlakem, které by mohlo pomoci snížit odpor proti vytlačení v ztuhlém stavu. Za pokus by stálo vyzkoušet i jiné plastové materiály. Existuje velké množství plastů, s různými vlastnostmi, které jsou pro vytlačování problémové. Například polyamidy jsou v podobě taveniny velmi tekuté a nedokáží si při výstupu z vytlačovací hlavy udržet svůj tvar. Koncept zchlazení polyamidu ve vytlačovací hlavě by tento problém vyřešil. Samozřejmě je potřeba také vyzkoušet jiné průměry vytlačovaného drátu. S rostoucím průměrem bude potřeba prodlužovat temperační část, tím se ale bude zvyšovat odpor proti vytlačení a je možné, že pro větší průměry nebude tento koncept použitelný.

6 ZÁVĚR

Vytlačování plných profilů provází problematika chlazení a vznik vzduchových kapes uvnitř vytlačovaného výrobku. Klasické způsoby vytlačování do chladicích nádrží s průvlastovými kalibry jsou nepoužitelné. Současný stav řešení problematiky vytlačování plných profilů je v použití vakuových kalibrací, nebo chladicích nádrží s postupným ochlazováním. Tato řešení jsou cenově poměrně náročná, a proto vznikl návrh řešení s temperačním dílem a zkouškami pro zchlazení vytlačovaného výrobku přímo ve vytlačovací hlavě. Tím by odpadla nutnost použití dalších zařízení pro chlazení a kalibrace.

Návrh variant temperačního dílu a výběr optimální varianty byl proveden pomocí simulací v programu Virtual Extrusion Laboratory. Výsledky těchto simulací pomohli z termodynamického hlediska určit možnosti tepelného rozložení ve vytlačovací hlavě.

Zvolená konstrukce vytlačovací hlavy s temperační částí byla vyzkoušena na dvoušnekovém vytlačovacím stroji na chemické fakultě VUT v Brně. Zkoušky probíhaly s různými teplotami temperace a sledovalo se chování vytlačovaného plastového drátu. Zkoušky ukázaly, že koncept úplného zchlazení vytlačovaného drátu ve vytlačovací hlavě je na zkoušeném vytlačovacím stroji nefunkční. Při teplotách temperace kdy materiál ztuhl, docházelo k zamrznutí, zastavení toku v trysce a tlak stroje nebyl dostatečný, aby zvládl drát protlačit. Zkoušky, ale také ukázaly, že je možnost temperačního systému využít pro temperace, kdy teplota materiálu je těsně nad bodem skelného přechodu a materiál je v kaučukovitém stavu. V tomto stavu je materiál možné protlačit a zároveň je teplota dostatečně nízká, aby nemuselo být použito dalších chladicích zařízení. K úplnému ztuhnutí a zchlazení dochází na vzduchu těsně za výstupem z vytlačovací hlavy. V tomto stavu, ale dochází k mírnému nárůstu objemu za tryskou. Temperační díl nelze pokládat za kalibrační a je potřeba použít dodatečnou kalibraci.

Pro koncept temperační a zároveň kalibrační vytlačovací hlavy, kde je materiál ochlazen pod teplotu skelného přechodu, je doporučeno provést další zkoušky s upravenou konstrukcí. Potřeba je snížit odpor proti vytlačování, když dojde k ztuhnutí materiálu v trysce. Vytlačovací hlavu je možné doplnit o systém mazání tokového kanálku pomocí přívodu maziva pod tlakem. Mazání by mohlo snížit tření v tokovém kanálku a umožnit vytlačování v ztuhlém stavu.

Přínosem této práce je konstrukce vytlačovací hlavy se systémem chlazení, která umožňuje vytlačování plných profilů bez vzniku vzduchových kapes ve výrobku. Odpadá nutnost použití rozměrných chladicích nádrží či vakuových kalibrací. Pro kalibraci je navržena jednoduchá válcová kalibrace, která doplňuje vytlačovací linku. Další doplňky pro vytlačovací linku jsou navrženy odtahovací a navíjecí zařízení pro zajištění automatického odebírání materiálu.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RAUWENDAAL, Chris J. *Understanding extrusion*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2010, xi, 231 s. ISBN 978-3-446-41686-4.
- [2] MICHAELI, Walter. *Extrusion dies for plastics and rubber: design and engineering computations*. München: Hanser, 2003. 362 s. ISBN 978-3-446-22561-9
- [3] GILES, Harold F, WAGNER, John R, *Extrusion: the definitive processing guide and handbook*. Norwich, NY: William Andrew, c2005, xviii, 542 s. ISBN 978-0-8155-1711-5.
- [4] SOVA, Miloš et al. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. Základní dílo včetně 6. aktualizace - aktuální stav: duben 2001*. Praha: Dashöfer, 2001. 1 sv. (v různém stránkování). ISBN 80-86229-15-7.
- [5] Technologie II online [online] 2009 [cit. 2012-05-30]. Zpracování plastů. Dostupné z:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm>
- [6] RAUWENDAAL, Chris J., ESCOBAR, M. *Troubleshooting the extrusion process: A systematic approach to solving plastic extrusion problems*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2010, xii, 194 s. ISBN 978-1-56990-470-1.
- [7] KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1989. 637 s.
- [8] IFM electronic – sensorika, měření, [online] 2013 [cit. 2013-03-12]
Dostupné z:
<http://www.ifm.com/ifmcz/web/pmain/010_050_030.html>
- [9] GREGORY, S. Interesting and involved process of plastic extrusion [online] 2010. [cit. 2012-12-01] Dostupné z:
<<http://ezinearticles.com/?The-Interesting-and-Involved-Process-of-Plastic-Extrusion&id=5267132>>
- [10] Technická data potenciometrického úhlového snímače, [online] 2013 [cit. 2013-03-12] Dostupné z:
<http://www.burster.com/fileadmin/Documents/Products/Data_Sheets/Section_8/8820_EN.pdf>
- [11] Bc. PELIKÁN, P. *Návrh a realizace vytlačovací hlavy na profily*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2011. 70 s. Vedoucí práce Ing. Jakub Černý
- [12] HOLUB, P. *Vytlačování plastů: Vliv povrchových úprav stroje a nástroje na vytlačovací proces*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2010. 71 s. Vedoucí práce doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
- [13] Zpracovatelské inženýrství polymerů - Vytlačování [online] 2010 [cit. 2013-02-05] Dostupné z:
<http://web.ft.utb.cz/cs/docs/1_VYTILA_OV_N_ZI_-_A_Kalendova.pdf>
- [14] Finite Solution Incorporated web [online] 2012, [cit. 2013-03-20]
Unit 8 Heat transfer Coefficient, Dostupné z:
<<http://www.finitesolutions.com/SOLIDCastWorkbook/Unit%208.pdf>>
- [15] ESI – Extrusion services, Inc. [online] 2011 [cit. 2013-03-11]
Dostupné z:
<<http://www.esi-extrusion.com/>>

- [16] The plastic extrusion proces for tube, hose, pipe and rod [online] 2013, [cit. 2013-02-12] Dostupné z: <<http://www.streamlineextrusion.com/files/manuals/paper4.pdf>>
- [17] Labara – obrábění elektroizolačních materiálů [online], 2013 [cit. 2013-04-15] Dostupné z: <<http://www.labara.cz/cs/glastherm>>
- [18] Katalog firmy Techno Trend[online] 2013, [cit. 2013-04-15] Dostupné z: <http://www.technotrend.cz/_katalog/4_1_Formy.pdf>
- [19] OSSWALD, T., HERNÁNDEZ, O., JUAN, P. *Polymer Processing - Modeling and Simulation*. Hanser Publishers, 2006. 631 s. ISBN 978-1-56990-398-8
- [20] Fibotrading s.r.o, výroba a zpracování izolačních materiálů [online], 2012 [cit. 2013-04-15] Dostupné z: <<http://www.fibotrading.cz/izolace/prumysl-zpracovani-plastu>>
- [21] Techseal, Těsnící a izolační prvky [online] 2013 [cit. 2013-04-15] Dostupné z: <<http://www.techseal.cz/firma/files/sortiment/ptfe/ptfe2.pdf>>
- [22] Extrusion plastics presented by Davis Standard, *What is Extrusion?* [online] [cit. 2012-08-22] Dostupné z: <<http://www.plastics.com/extrusion-what-is-pg2.html>>
- [23] The Engineering Tool Box, Resources, tools nad basic information for engineering and design of technical application, [online] 2013 [cit. 2012-11-11] Dostupné z: <http://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficient-d_434.html>
- [24] Materiálové a technické data polymeru Krasten 154 [online] 2013 [cit. 2013-01-12] Dostupné z: <<http://www.berrutiplastics.com/joomla/images/productFiles/K154-2009-aj.pdf>>
- [25] Materiálové a technické vlastnosti polymeru ABS [online] 2013 [cit. 2013-01-12] Dostupné z: <<http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2110&lng=1>>
- [26] Fleming Polymer testing and consultancy [online] 2013 [cit. 2013-01-12] Dostupné z: <<http://www.flemingptc.co.uk/case-studies/>>
- [27] Stejnsměrný motor série SG370 s čelní převodovkou [online] 2013 [cit. 2013-04-05] Dostupné z: <<http://www.dcmotory.cz/dc-motory-celni-prevodovka/serie-sg370.html>>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

$3D FEM$	- finite element method, metoda konečných prvků
$A [m^2]$	- plocha přestupu tepla
ABS	- akrylonitrilbutadienstyren
$apod.$	- a podobně
$D [mm]$	- průměr válce
DPH	- hrubý domácí produkt
$e [mm]$	- šířka cesty šneku
$F [kg/h]$	- rychlost vytlačování
FCM	- Farrel Continuous Mixer
$h [mm]$	- hloubka kanálu
$HTC [W/m^2K]$	- koeficient přestupu tepla
$HTC_1 [W/m^2K]$	- koeficient přestupu tepla v chladícím kanálu
$HTC_2 [W/m^2K]$	- rozhraní tokového kanálu a vytlačovaného plastu
$HTC_3 [W/m^2K]$	- koeficient přestupu tepla do okolí
$Kč$	- koruna česká
$PA 66$	- polyamid 66
$PTFE$	- polytetrafluorethylen
$Q [W]$	- je tepelný tok na vstupu, nebo ztrátový tepelný tok
$Q1 [m^3/s]$	- výtlačný tok
$Q2 [m^3/s]$	- tlakový tok
$Q3 [m^3/s]$	- tok vřelí
$Q4 [m^3/s]$	- tok příčný
$Ra [\mu m]$	- drsnost povrchu
$t [mm]$	- hloubka závitu
$T_{tem} [^{\circ}C]$	- teplota temperace
$T_o [^{\circ}C]$	- teplota okolí
$T_{oh} [^{\circ}C]$	- teplota ohřívacího kroužku
$T_{str} [^{\circ}C]$	- ohřev od vytlačovacího stroje
$T_t [^{\circ}C]$	- teplota taveniny na vstupu
$W [mm]$	- šířka závitu
$\delta [mm]$	- velikost vůle mezi válcem a šroubovicí šneku
$\lambda [W/mK]$	- tepelná vodivost
$\varphi [^{\circ}]$	- úhel stoupání závitu
$\Delta T [K]$	- rozdíl teplot mezi pevnou látkou a okolní kapalinou

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

- Obr. 1** Jednošnekový vytlačovací stroj s hlavou pro vytlačování trubek
- Obr. 2** Záplavové krmení
- Obr. 3** Hladovějící krmení
- Obr. 4** Nucené krmení
- Obr. 5** Tavné krmení
- Obr. 6** Zóny vytlačovacího stroje
- Obr. 7** Mechanismus tavení v plastifikační zóně
- Obr. 8** Tok taveniny ve šneku při tavení plastu
- Obr. 9** Stejný a protiběžný smysl otáčení
- Obr. 10** Ukázky vytlačovacích hlav
- Obr. 11** Rozdělení vytlačovacích hlav podle polohy os
- Obr. 12** Způsoby spojení vytlačovací hlavy s pracovním válcem
- Obr. 13** Průvlaková kalibrace
- Obr. 14** Přetlaková kalibrace
- Obr. 15** Vakuová kalibrace
- Obr. 16** Chladicí vana
- Obr. 17** Odtahovací zařízení
- Obr. 18** Navíjecí zařízení
- Obr. 19** Narůstání za hubicí
- Obr. 20** Poruchy toku
- Obr. 21** Vznik vzduchových kapes
- Obr. 22** Deformace multi-lumen trubice s příčkou při chlazení
- Obr. 23** Koncepční návrh vytlačovací hlavy
- Obr. 24** Model tokového kanálku pro simulaci
- Obr. 25** Okrajové podmínky
- Obr. 26** Simulace samotného toku pro délku chlazení 30 mm
- Obr. 27** Simulace samotného toku pro délku chlazení 100 mm
- Obr. 28** Simulace samotného toku pro délku chlazení 150 mm
- Obr. 29** První varianta temperačního systému
- Obr. 30** Okrajové podmínky 1. varianty
- Obr. 31** Simulace vytlačovacího procesu 1. varianty
- Obr. 32** Druhá varianta temperačního systému
- Obr. 33** Okrajové podmínky 2. varianty
- Obr. 34** Simulace vytlačovacího procesu 2. varianty
- Obr. 35** Třetí varianta temperačního systému
- Obr. 36** Okrajové podmínky 3. varianty
- Obr. 37** Simulace vytlačovacího procesu 3. varianty
- Obr. 38** Konstrukční uzly
- Obr. 39** Výstup z jednošnekového vytlačovacího stroje
- Obr. 40** Připojovací konstrukce pro příčné vytlačování
- Obr. 41** Příčná vytlačovací hlava
- Obr. 42** Boční pohled na dvoušnekový vytlačovací stroj
- Obr. 43** Usměrnění do jednoho toku
- Obr. 44** Připojovací mechanismus přímého vytlačování pro větší hlavy
- Obr. 45** Připojovací mechanismus přímého vytlačování pro menší hlavy
- Obr. 46** Spojení vytlačovací hlavy a temperační části
- Obr. 47** Spojení vytlačovací hlavy a temperační části

- Obr. 48** Přívod a odvod chladicí tekutiny
- Obr. 49** Tepelně izolační deska Glastherm
- Obr. 50** Tepelně izolační materiály CosTherm
- Obr. 51** Tepelně izolační PTFE desky
- Obr. 52** Nastavení vytlačovacího stroje
- Obr. 53** Odtahovací zařízení
- Obr. 54** Univerzální navíjecí zařízení
- Obr. 55** Pákový mechanismus navíjecího zařízení
- Obr. 56** Potenciometrický snímač úhlu natočení
- Obr. 57** Řádkovací mechanismus navíjecího zařízení
- Obr. 58** Optický senzor OGH302
- Obr. 59** DC motor a potenciometr
- Obr. 60** Navíjení s vačkou
- Obr. 61** Krajní polohy řádkovacího mechanismu
- Obr. 62** Redukce pro navíjecí buben
- Obr. 63** Ná vazné členy vytlačovacího stroje
- Obr. 64** Teplotní rozložení při teplotě 140 °C
- Obr. 65** Simulace s upravenými okrajovými podmínkami
- Obr. 66** Simulace s upravenými okrajovými podmínkami s dodatečným ohřevem
- Obr. 67** Ohřívací kroužek s redukcí
- Obr. 68** Přípojky temperační části
- Obr. 69** Úprava připojovacího dílu
- Obr. 70** Zkrácená vytlačovací hlava
- Obr. 71** Válcová kalibrace
- Obr. 72** Zchlazený drát s použitím temperačního systému
- Obr. 73** Zchlazený drát s použitím chladicí nádrže

10**10 SEZNAM TABULEK****Tab. 1** Technická data dodávaných materiálů Glastherm**Tab. 2** Technická data dodávaných materiálů CosTherm**Tab. 3** Vybrané vlastnosti materiálu ABS**Tab. 4** Vybrané vlastnosti materiálu Krasten**Tab. 5** Rychlost vytlačování podle teploty temperace a vytlačovacího tlaku**11****11 SEZNAM PŘÍLOH**

Výkres sestavy - Přímá vytlačovací hlava	A2-DIP-09/00
Výkres součásti - Připojovací část	A4-DIP-09/01
Výkres součásti - Tryska	A2-DIP-09/02
Výkres součásti - Příruba připojovací části	A4-DIP-09/03
Výkres součásti - Příruba chladiče	A4-DIP-09/04
Výkres součásti - Chladič předeek	A4-DIP-09/05
Výkres součásti - Chladič obal	A4-DIP-09/06
Výkres součásti - Ústí chladiče	A4-DIP-09/07
Výkres součásti - Teplotně izolační deska	A4-DIP-09/08
Výkres součásti - Přepážka	A4-DIP-09/09
Výkres sestavy - Příčná vytlačovací hlava	A2-DIP/2-03/00
Výkres součásti - Připojovací část	A3-DIP/2-03/01
Výkres součásti -Zadní část	A4-DIP/2-03/02
Výkres součásti - Vodicí váleček	A4-DIP/2-03/03
Výkres sestavy – Navíjecí zařízení	A2-DIP/3-00/00
Výkres sestavy – Navíjecí zařízení s vačkou	A2-DIP/4-00/00
Výkres sestavy – Odtahovací zařízení	A3-DIP/5-01/00
Kusovník – Odtahovací zařízení	A4-DIP/5-01/01
Výkres sestavy – Válcová kalibrace	A3-DIP/6-00/00