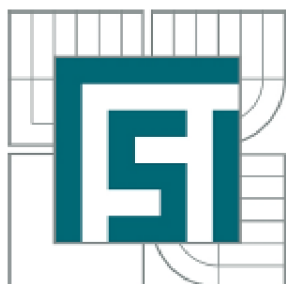




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO EMBLÉMU AUTOMOBILU

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR PLASTIC CAR EMBLEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MOJMÍR BOMBERA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Mojmír Bombera

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

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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 technologie výroby plastového emblému automobilu**

v anglickém jazyce:

### **Design of manufacturing technology for plastic car emblem**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru vypracovat rešerši pro posouzení efektivity výroby plastového a kovového dílce, provést návrh technologického postupu a konstrukci vstříkovací formy na plastový dílec včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je posouzení efektivity výroby plastového dílce použitím technologie vstříkování do forem s následným pokovením při porovnání s technologií tlakového lití kovového dílce na základě aspektu vlivu geometrie dílce, velikosti výrobní série a ekonomických účinků, dále provedení komplexního návrhu technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastový emblém automobilu podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.



## **ABSTRAKT**

BOMBERA Mojmir: Návrh technologie výroby plastového emblému automobilu.

Projekt, vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru 2307 předkládá návrh technologie výroby plastového emblému automobilu. Na základě literární studie problematiky byly porovnány různé technologie vhodné pro výrobu. Jde o tlakové lití slitiny hliníku a technologii vstřikování plastů. Plastový výlisek je následně pokoven, aby bylo docíleno tzv. metalického vzhledu. Součástí projektu je návrh vstřikovací formy včetně technologických výpočtů a ekonomický rozbor.

Klíčová slova: Plasty, vstřikování plastů, pokovování, tlakové lití kovů

## **ABSTRACT**

BOMBERA Mojmir: Design of manufacturing technology for plastic car emblem.

The project elaborated in scope of engineering studies branch 2307. The project is submitting design of production technology of car emblem. Different manufacturing technologies have been compared based on study of technical literature. Most suitable technologies have been chosen such as pressure die casting, especially aluminum alloys and plastic injection molding. Plastic part is metal plated afterwards in order to get desired metal look. Part of this project is injection molding tool design inclusive technical, technological and economic analysis.

Keywords: Plastics, injection molding, metal plating, pressure die casting

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BOMBERA Mojmir: *Návrh technologie výroby plastového emblému automobilu*. Brno, 2013. 70 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Buhumil Kandus. Dostupný z WWW: <[ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace)>.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24.05.2013

.....  
Mojmír Bombera

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilovi Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2. HLINÍK.....</b>	<b>10</b>
2.1. Historie hliníku .....	11
2.2. Tlakové lití .....	12
2.2.1. Stroje pro tlakové lití .....	12
2.2.2. Formy pro tlakové lití .....	13
<b>3. PLASTY.....</b>	<b>17</b>
3.1. Historie plastů .....	18
3.2. Druhy plastů a jejich základní vlastnosti .....	20
3.2.1. Termoplasty .....	20
3.2.2. Reaktoplasty.....	22
3.2.3. Elastomery .....	24
3.3. Zkoušení vlastností plastů.....	25
3.3.1. Mechanické vlastnosti.....	25
3.3.2. Tvarová stálost při zahřívání.....	26
3.3.3. Vlastnosti důležitých plastů .....	26
<b>4. POKOVÁNÍ PLASTŮ.....</b>	<b>29</b>
4.1. Pokovování ve vakuu.....	29
4.1.1. Vakuové pokovování .....	29
4.1.2. Katodové rozprašování .....	30
4.2. Chemické pokovení .....	30
4.3. Galvanické pokovení .....	32
4.4. Fyzikální a fyzikálně - chemické pokovování .....	34
<b>5. VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....</b>	<b>35</b>
5.1. Vstřikovací cyklus .....	36
<b>6. VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>40</b>
6.1. Násobnost formy.....	41
6.2. Vtokový systém .....	43
6.2.1. Rozváděcí kanály .....	43
6.4.2. Ústí vtoku.....	43
6.4.3. Horké trysky .....	44
6.3. Temperace formy .....	45
6.4. Odvzdušnění formy.....	47
6.5. Simulace vstřikování plastů .....	48
<b>7. VSTŘIKOVACÍ FORMA PRO EMBLÉM.....</b>	<b>51</b>

7.1. Volba materiálu .....	51
7.2. Základní technologické výpočty .....	51
7.2.1. Stanovení průměru rozváděcích kanálků a dráhy toku taveniny .....	52
7.2.2. Minimální plnicí tlak .....	53
7.2.3. Výpočet předběžného vstřikovaného objemu .....	53
7.2.4. Výpočet času cyklu .....	53
7.3. Dělicí rovina, úkosy, rozmístění ve formě .....	56
7.4. Vtok .....	56
7.3. Chlazení .....	57
7.4. Vyhazování .....	57
7.5. Rám formy .....	58
7.6. Vstřikovací lis .....	58
7.7. Pokovování dílu .....	60
<b>8. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>61</b>
8.1. Ekonomické zhodnocení .....	61
8.2. Technické zhodnocení .....	64
<b>9. ZÁVĚR .....</b>	<b>65</b>
<b>Seznam použitých zdrojů</b>	
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b>	
<b>Seznam příloh</b>	

## 1. ÚVOD

Diplomový projekt, se zabývá výběrem vhodné technologie pro výrobu emblému automobilu. Na základě velikosti, tvaru, požadovaných vlastností a počtu kusů jsou jako vhodné technologie vybrány vstřikování plastů a tlakové lití hliníkové slitiny.

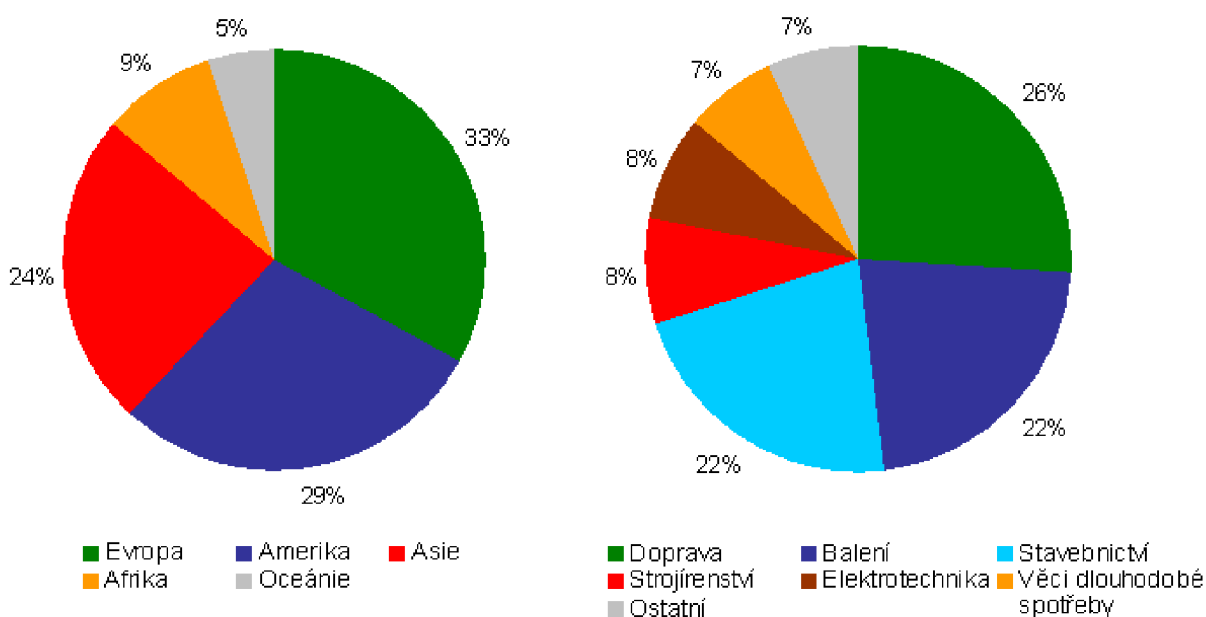
V rešeržní části jsou základní informace o hliníku a jeho zpracování pomocí tlakového lití. Hliník je velmi rozšířený materiál, používáný snad ve všech oblastech. Nejznámější je určitě hliníková slitina dural. Ta se pro svoje vlastnosti využívá hlavně v leteckém průmyslu. Pro emblém je plně dostačující běžná slitina hliníku AlSi10Mg, určená k tlakovému lití. Následuje přehled plastů, jejich vlastností a možnosti zpracování vstřikováním. V posledních letech plasty odhodily status „doplňkových“ materiálů a patří mezi plnohodnotné konstrukční materiály. V řadě aplikací jsou dnes schopny nahrazovat kovy, jako třeba hliník a zinek. Jejich spotřeba neustále roste. Největší odběratelé jsou automobilový průmysl, stavebnictví, elektronika a obaly. Teoretická část končí pokovováním.

V praktické části, je na základě provedených technologických výpočtů, vypracován konstrukční návrh vstřikovací formy pro emblém, včetně výrobního výkresu sestavy, matrice a razníku. Je také vybrán akrylonitrilbutadienstyren (ABS), jako vhodný materiál pro emblém a patřičný vstřikovací lis. V technicko - ekonomickém zhodnocení, jsou shrnuty technické aspekty ovlivňující výběr technologie. Výběr správné technologie je také podpořen určením ekonomicky výhodnější varianty.

## 2. HLINÍK

Hliník je velmi lehký kov, stříbrné barvy, hojně používaný v elektrotechnice, je dobrým vodičem. V podobě různých slitin se využívá hlavně v leteckém průmyslu.

V přírodě se hliník vyskytuje pouze ve sloučeninách. V zemské kůře je třetím nejčastějším prvkem a předpokládá se, že ji tvoří asi z 8 %. Nejběžnější horninou na bázi hliníku je bauxit. Obvykle jsou součástí další příměsí, jako oxidy křemíku, titanu, železa a dalších. Dále kryolit, minerál, které je hojně využívám při elektrolytické výrobě hliníku [1].



Obr. 2.1 Světová primární produkce hliníku a světová spotřeba hliníku [7]

Díky dobré chemické odolnosti a nízké hmotnosti se kovový hliník využívá pro drobné mince, kuchyňské nádoby a přístroje. V podobě tenké fólie je hliník znám jako alobal. Ve stavebnictví jsou z extrudovaných hliníkových profilů vyráběny okna a dveře. Hliník společně se stříbrem tvoří velmi tenkou folii, která funguje jako záznamové médium v kompaktních discích (CD). Pro dobrou elektrickou vodivost, je kovový hliník používán pro elektrické vodiče, ty jsou v poslední době pro mnoho nevýhod, jako křehkost, lámavost, zahřívání a zvětšování objemu, vytlačovány vodiči z mědi [1].

Významnější využití má hliník ve formě slitin. Nejznámější a nejvýznamnější slitinou je dural. Dural je slitina hliníku, hořčíku, mědi a manganu. Oproti čistému hliníku má větší pevnost a tvrdost, při zachování nízké hmotnosti. Zůstává i značná odolnost vůči korozi. Dural našel uplatnění v leteckém a automobilovém průmyslu, při výrobě jízdních kol, žebříku atd. [1].



## 2.1. Historie hliníku

Po kyslíku a křemíku je hliník nejrozšířenějším prvkem v přírodě, přesto na své objevení čekal až do počátku 19. století. O jeho existenci svět informoval anglický chemik, všeměl a objevitel řady chemických prvků Sir Humphry Davy. Tento zakladatel elektrochemie, ale ještě nedokázal prvek izolovat. To se podařilo až dánskému chemikovi Hansu Christianu Ørstedovi (Oersted) roku 1825. Výroba byla ovšem příliš drahá, což neumožnilo rozšíření hliníku. Na rozdíl od železa, nelze totiž elementární hliník jednoduše metalurgicky vyredukovat z rudy. Za způsob, jak vyrábět hliník levněji, vděčíme francouzskému chemikovi Henrymu Sainte-Claire Deville. Část zásluh můžeme připsat i francouzskému císaři Napoleonovi III., který dal mladému badateli, který "dokázal vyrábět z hlíny stříbro", k užívání rozsáhlé prostory v chemické továrně. Císař byl hliníkem nadšen, představoval si jeho užití na zbraně a pancíře pro vojáky, viděl děla a pušky o třetinu lehčí. Při ceně hliníku 2500 franků, což byla cena srovnatelná se zlatem, byl ale spíše pro knenotníky než pro zbrojíře. Horlivost s jakou se Deville snažil zvýšit výkonnost své továrny, byla až neuvěřitelná. Podařilo se mu nahradit draslík, levnějším sodíkem. V Grónském kryolitu objevil ještě lacinější surovinu. Využil objevu elektrolýzy, o který se zasloužil německý fyzik Bunsen a postavil první tavící pec na tomto principu [1].

Jako přes noc se objevil bauxit. Surovina, která byla známa již téměř 50 let, kdy byla nalezena u jihofrancouzského města Les Baux de Provence. Těsně po jeho objevu bylo známo i jeho složení, to že ho z poloviny tvoří oxid hlinitý, podíl oxidu železitého a vody. Levné výrobě hliníku tak již nestálo nic v cestě a začali vznikat továrny i v jiných státech jako v Anglii, Spojených státech nebo Německu. S rostoucí výrobou klesala samozřejmě cena, která se zastavila na 180 francích za kilogram [4].

### Výroba

Technologie výroby se již prakticky nezměnila, stejně jako vstupní suroviny. Výroba je dost neekologická, při zpracování 4 tun bauxitu vzniknou až 3 tuny odpadu. Spotřebává příliš mnoho energie, uvádí se, že až 3 x více, než při výrobě plastu a asi 25 x více než při výrobě skla. Mimo to je mnohem náročnější na spotřebu vody, než druhé dvě uvedené komodity. Současná roční výroba hliníku z bauxitu se pohybuje kolem 130 mil. tun. Největšími producenty bauxitu jsou Austrálie, Brazílie, Jamajka, Guinea a Čína [7].

Na 1 tunu hliníku je třeba přibližně:

- 2.5 tuny až 4 tuny bauxitu
- 2 tuny kyslíčnicku hlinitého
- 75 kg až 80 kg kryolitu
- 600 kg až 650 kg anodové hmoty
- 18 000 kWh až 20 000 kWh elektrického proudu

Čistota získaného hliníku je přímo úměrná čistotě použitých surovin a pečlivosti pracovníků. Běžně je dosahováno čistoty 99.5 % až 99.75 % Al. Hliník o čistotě až 99.99 % Al se potom získává elektrolytickou rafinací [3].

Elektrolytickou cestou zpracovaný hliník, se v tzv. houskách zpracovává v tavárnách na slévárenské slitiny pro výrobu odlitků, nebo na desky a čepy pro výrobu tvářených polotovarů. Tvářené polotovary jsou dodávány ve formě plechů, pásů, pruhů, kotoučů, folií, tyčí, trubek nebo drátů [3,7].

Na našem území byla výroba hliníku zahájena v roce 1933 hliníkovými plechy, pokračovala v roce 1953 výrobou primárního hliníku v hliníkárně ve Ždiaru nad Hronom (výroba zde byla ukončena v roce 1998). Dnes na našem území žádná hliníkárna nestojí [3].

## 2.2. Tlakové lití

Tlakové lití kovů se řadí mezi metody přesného lití. Touto metodou jsou vyráběny odlitky velmi přesné, tenkostěnné, tvarově velmi složité a s dobrou kvalitou povrchu. Hmotnost a rozměry odlitku jsou limitovány pouze velikostí liciho stroje. Běžně jsou odlévány hliníkové odlitky s hmotností, která přesahuje 20 kg. Rozměrová přesnost odlitku se pohybuje mezi  $\pm 0.05$  mm až  $\pm 0.5$  mm, tloušťka stěn je maximálně 6 mm a pro tloušťku žeber se udává 0.8 násobek tloušťky stěny. Menší tažnost a podpovrchová poróznost, to jsou příklady nedostatků odlitků, které vznikly metodou tlakového lití [2].

Základem tlakové lití kovů je dělená, minimálně dvoudílná, kovová forma. Základ formy tvoří dutina, které přesně kopíruje tvar odlitku, vtokový systém a většinou také zasouvateľná jádra. Roztavený kov plní dutinu uzavřené formy pod vysokým tlakem a pod stejným tlakem také kov následně ve formě tuhne a mění se v odlitek. V ČR jsou technické parametry pro tlakové odlitky a formy řízeny normou ČSN 04 6515. Díky této metodě je dosaženo vysokého využití kovu současně s minimální hmotností odlitků a značného snížení potřeby následného obrábění. Materiálem jsou slitiny zinku, slitiny hliníku s přísadou křemíku a mědi, dále slitiny hořčíku, slitiny mědi a zinku, některé bronzky a další. Tyto materiály dělíme dle teploty tavení do následujících 3 základních skupin [2]:

- Slitiny Sn, Pb a Zno 450 °C
- Slitiny Al, Mg do 660 °C
- Slitiny Cu do 1 000 °C

Tlakové lití kovů má ve srovnání s kokilovým a nízkotlakým litím nejvyšší pořizovací náklady, především na stroj a formu, ale při vysoké produktivitě dosahuje nejnižších provozních nákladů. Hospodárnost využití této metody koresponduje tedy se sériovostí výroby a také s povahou odlitku [2].

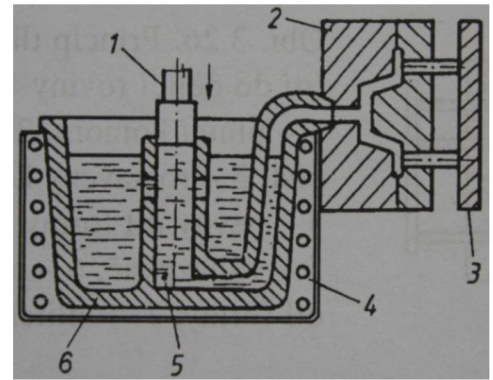
### 2.2.1. Stroje pro tlakové lití

Stroje pro tlakové lití musí zabezpečovat několik podstatných věcí, především uzavření formy, vstříknutí kovu nastavitelným tlakem a rychlostí, ztuhnutí kovu v daném čase, následné otevření formy, vyjmutí jader a také samotného odlitku z formy. Dostatečné uzavření formy je nezbytné pro zabránění vniku roztaveného kovu do dělící roviny a také k dodržení požadovaných rozměrů vyráběného odlitku. Kov se vstříkuje pod tlakem 10 MPa až 100 MPa, v čase nepřesahujícím 0.6 s a rychlostí  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  až  $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , která se ovládá hydraulickým škrtícím ventilem. Nejdůležitějším faktorem pro kvalitu odlitku je vstříkovací tlak, který působí ve třech fázích. Nejprve je tlak nižší, aby mohlo dojít k úniku nežádoucího vzduchu z formy. V další fázi prudce roste a roztavený kov rychle plní formu. Poslední, třetí fáze, je tzv. dotlak, kdy tlak působí na tuhnoucí kov vyplňující dutinu formy. V současné době mají lici stroje programově řízený lici cyklus s automatickým dávkovačem kovu [2].

### Stroje s teplou komorou

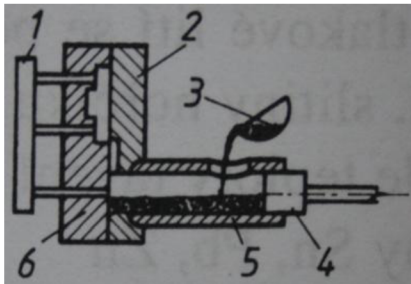
Jsou vhodné pro menší odlitky a pro lití nízkotavitelných slitin. Cyklus lití je automatizován, tlak kovu v plnicí komoře dosahuje až 10 MPa. Roztavený kov je tlačěn pístem, nebo stlačeným vzduchem z tavicího kelímku přímo do formy, obr. 2.2 [2].

1 – píst, 2 – forma, 3 – vyhazovač,  
4 – pec, 5 – tlaková plnicí komora,  
6 – tavicí kelímek



Obr. 2.2 Tlakové lití s teplou komorou [2]

### Stroje se studenou komorou



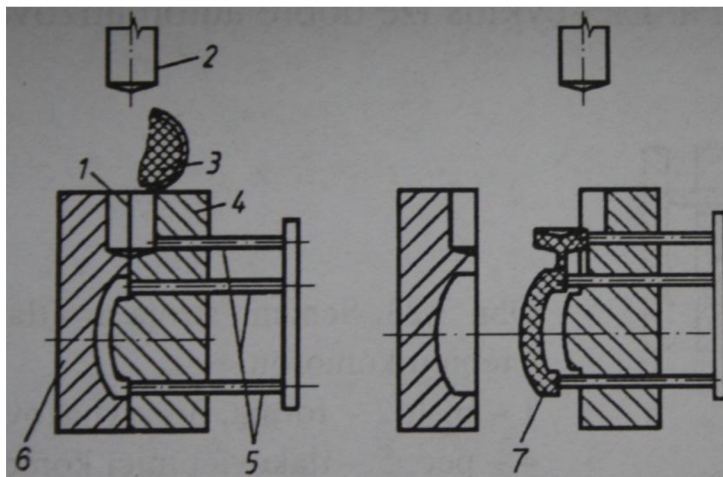
Slouží k lití slitin s vyšší teplotou tavení, tavení kovu probíhá v kelímku mimo lis. V případě potřeby odlitku s vyšší hmotností, kolem 25 kg, se využívá lisů se studenou horizontální komorou, která umožňuje požadované zvětšení objemu litého materiálu, obr. 2.3 [2].

1 – vyhazovač, 2 – pevný díl formy, 3 – kelímek, 4 – plnicí píst, 5 – tlakový válec, 6 – pohyblivý díl formy

Obr. 2.3 Postup tlakové lití s horizontální studenou komorou [2]

### Stroje s komorou v dělicí rovině formy

Jsou určeny pro lití kovů s vysokou teplotou tavení, především pro lití mosazi. Slitina plní komoru v těstovitém stavu, aby neprotekla nařiznutím, ještě před působením pístu, obr. 2.4 [2].

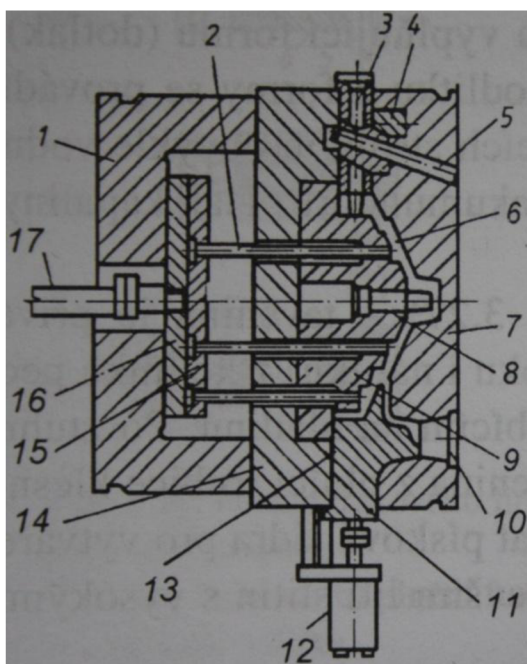


1 – plnicí komora,  
2 – plnicí píst,  
3 – roztavený kov,  
4 – pevný díl formy,  
5 – vyhazovač,  
6 – pohyblivý díl formy,  
7 – odlitek

Obr. 2.4 Princip tlakové lití do dělicí roviny [2]

#### 2.2.2. Formy pro tlakové lití

Jak již bylo zmiňováno dříve, velkou nevýhodou tlakového lití je počáteční vysoká investice do formy. Na životnosti formy se podepisuje především druh litého materiálu a také složitost, požadovaná hladkost a přesnost vyráběného odlitku. V případě lití zinkových slitin se počítá se životností formy kolem 180 000 odlitků, u hliníkových slitin pak 120 000 odlitků a u lití mosazi je to nejméně, přibližně 60 000 odlitků. Hlavní díly formy viz obr. 2.5 [2].



- 1 – upínací skříň, 2 – vyhazovač,
- 3 – pohyblivé jádro,
- 4 – vložka zámku jádra,
- 5 – kolík ovládání jádra,
- 6 – dutina formy,
- 7 – pevný díl formy,
- 8 – pevné jádro, 9 – pevná vložka,
- 10 – dutina pro nástavec tlakové komory,
- 11 – pohyblivé jádro, 12 – tahač jádra,
- 13 – dělicí rovina,
- 14 – pohyblivý díl formy,
- 15 – vodící deska, 16 – opěrná deska,
- 17 – táhlo válce vyhazovače

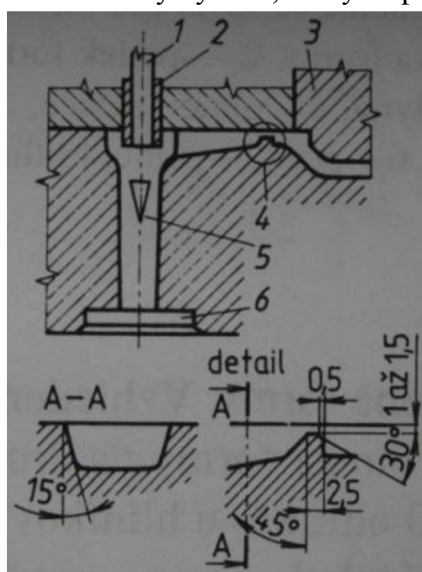
Obr. 2.5 Provedení deskové formy [2]

### Návrh formy

Pro návrh formy jsou nejdůležitější informace o odlitku a o stroji. U odlitku je to především materiál, rozměry, tvar, složitost, sériovost a také přesnost. U stroje nás zajímají rozměry upínacích ploch, ovládání vyhazovačů, způsob, tvar, poloha a rozměry plnicího nástavce [2].

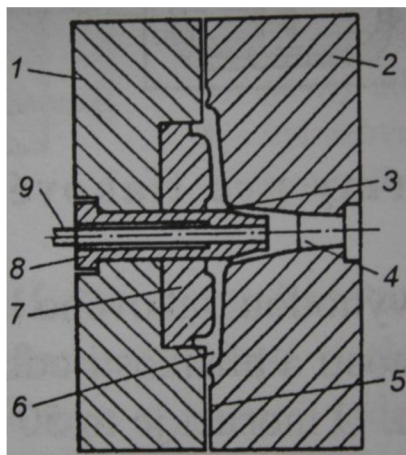
Návrh formy se skládá s následujícími kroky:

- Z rozměrů odlitku, zvětšeného o smrštění se určí rozměry dutiny.
- Dle způsobu plnění, vyhazování odlitků a vtokových zbytků, zakládání a vysouvání jader, se definuje nejvhodnější poloha dělicí roviny a dutiny ve formě.
- Vtokový systém, který dopravuje taveninu do dutiny formy, příklady jsou obr. 2.6 a obr. 2.7.



- 1 – vyhazovač,
- 2 – rozdělovač,
- 3 – vložka,
- 4 – vtokové naříznutí,
- 5 – vtokový kůl,
- 6 – připojení plnicí komory

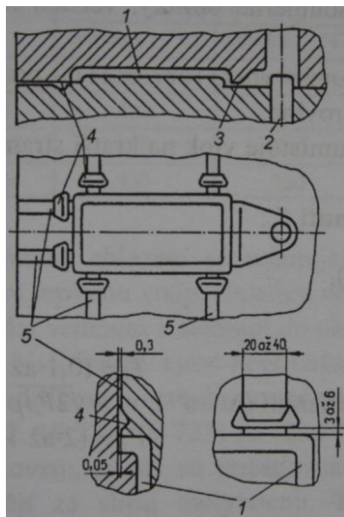
Obr. 2.6 Vtokové naříznutí [2]



- 1 – pohyblivý díl formy,
- 2 – pevný díl formy,
- 3 – prstencové nařiznutí,
- 4 – vtokový kůl,
- 5 – odvzdušňovací kanál,
- 6 – dutina formy,
- 7 – vložka,
- 8 – čep,
- 9 – vyhazovač

Obr. 2.7 Středový vtok [2]

- Vyhazovací systém. Volí se tak, aby byl odlitek nesen pohyblivou částí formy při jejím otevírání a zároveň aby nedocházelo k jeho deformování při vytahování jader z formy.
- Odvzdušnění formy. Jedná se o soustavu odvzdušňovacích kanálků a jamek vytvářených v dělicí rovině a po obvodu dutiny, viz obr. 2.8.



- 1 – dutina formy,
- 2 – rozdělovač,
- 3 – vtokové nařiznutí,
- 4 – přetok,
- 5 – odvzdušňovací kanál

Obr. 2.8 Odvzdušnění formy [2]

- Návrh chlazení formy.
- Dílce formy, které přicházejí do styku s roztaveným proudícím kovem, je vhodné vyrobit jako vyměnitelné vložky.
- Určení materiálu pro formu, jádra a jednotlivé vložky.
- Způsob výroby jednotlivých odlitků.

Ty části formy, které přicházejí do styku s roztaveným proudícím kovem, jsou namáhány tepelně i mechanicky během pracovního cyklu a to vlivem rychlé změny teplot. Vznikající napětí zde způsobuje únavu materiálu, které končí trhlinkami. Negativní účinky na životnost formy má také vnitřní přetlak taveniny, uzavírací síla a proud kovu, který vymílá dutinu formy. Dělicí rovina formy se primárně navrhuje jako rovinná, při opravě se pak jednoduše přebrousí. U slitin hliníku se počítá se smrštěním 0.5 % až 0.75 % a 0.5 % u slitin zinku. Rozměry odlitku, které jsou kolmé na dělicí rovinu a stejně tak rozměry ploch odlitku, které



jsou tvořeny vložkami, nebo posuvnými díly, se pohybují v toleranci maximálně 0.3 mm. Vhodný úkos pro výsuvná jádra a vložky je 1 : 50 až 1 : 100. Vyhazovače, které slouží k vyhození odlitku z pohyblivé části formy, jsou upevněny na upínací desce a ovládány speciálním mechanickým či hydraulickým zařízením, nebo narážkami na stroji. Teplo z tuhnutí slitiny je odváděno povrchem dutiny formy. Forma proto obsahuje chladicí kanálky, které jsou nejčastěji rovnoběžné s dělicí rovinou, kopírují tvar odlitku a jsou umístěny u nejteplejších míst. Při zpracovávání hliníkových slitin je nejvhodnější teplota formy 250 °C [2].

K ochlazení formy je potřeba odebrat množství tepla:

$$q_c = m_o [c(t - t_o) + l] \text{ [J]} \quad (2.1)$$

kde

$m_o$  - je hmotnost odlitku [kg],

$c$  - měrný tepelný obsah [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] – Tab. 2.1,

$t$  - teplota taveniny [°C] – Tab. 2.1,

$t_o$  - teplota ztuhlého odlitku [°C] – Tab. 2.1,

$l$  – skupenské teplo slitiny [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] – Tab. 2.1,

*Tab. 2.1 Střední hodnoty teplot taveniny a odlitku, měrného tepelného obsahu slitin a skupenského tepla [2]*

Slitina	Teplota		Měrný tepelný obsah $c$ [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Skupenské teplo $l$ [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]
	taveniny $t$ [°C]	odlitku $t_l$ [°C]		
<b>Al - Si</b>	600	400	1 130.4	376.8
<b>Zn - Al</b>	420	350	393.6	113
<b>Mg - Al</b>	620	350	1 046.7	359.5
<b>Cu - Zn</b>	930	720	389.4	209.3













Vstupní teplotou vody, nebo rychlostí průtoku můžeme řídit účinnost chlazení. Vodou je odváděno až 0.25  $q_c$ , zbytek odchází sáláním a přechodem přes vedení do okolního vzduchu.

Části forem, které nejsou opotřebovávány roztaveným kovem, se vyrábějí z nízkolegovaných a uhlíkových ocelí. Oceli třídy 19, např.: 19 420, 19 430, 19 552, 19 720, 19 723 jsou používány jako material, pro části forem namáhané tekutým kovem. Formy pro lití ocelí se vyrábějí ze slitin molybdenu. Díky dalším operacím jako je nitridování, chromování, zušlechťování a leštění patřičných částí formy, je možné dodatečně zvýšit její trvanlivost [2].

### 3. PLASTY

Plasty jsou uměle vyrobené, organické látky, nejčastěji sloužící jako konstrukční, nebo textilní materiály. Základní látkou pro jejich výrobu jsou jednoduché uhlovodíky. Tyto uhlovodíky jsou spojené polymerací, polykondenzací, nebo polyadící do makromolekulárních látek. Prvotní surovinou pro získání uhlovodíků je ropa, případně zemní plyn. Plasty také kromě uhlíku a vodíku obsahují kyslík, dusík, chlor a fluor. Uhlík bývá ve struktuře uhlovodíků někdy nahrazován křemíkem (silikony) a vodík chlorem (např. u PVC), nebo fluorem (např. v teflonu). Příklady použití plastů a jejich vlastností ukazuje obr. 3.1 [6].

Výrobky z plastů se již staly součástí našeho každodenního života. Jejich přítomnost si v některých případech ani neuvědomujeme. Setkáváme se s nimi v automobilech a dalších dopravních prostředcích, tvoří části mobilních telefonů, počítačů a většiny spotřební elektroniky. Jsou hojně využívány jako obaly pro potraviny a jiné zboží a třeba jako kloubní náhrady ve zdravotnictví. V posledních letech se objevují studie, které poukazují na zdravotní závadnost plastů. Plasty nejsou přímo nebezpečné, ale některé mohou za určitých podmínek vylučovat nebezpečné látky. Trendem posledních let je vývoj a užívání bioplastů. Bioplasty jsou na pohled stejné jako běžné plasty. Jejich odlišnost je především v možnosti biologické degradace, nejsou tedy takovou zátěží pro přírodu. Základní surovinou je kukuřice, či některé obiloviny. Vyrábí se z nich hlavně tašky, talíře, příbory a další věci na jedno použití.

Tabulka: Typické vlastnosti a použití plastů				
malá hustota: 0,9 až 1,4 kg/dm <sup>3</sup> (kromě teflonu $\rho = 2,2 \text{ kg/dm}^3$ )	nádoby, díly automobilů, letadel a svítidel			
podle druhu tvrdé a pevné, tvárné za tepla nebo elastické	části strojů, pneumatiky, izolace, rukojeti, kryty strojů			
elektrické, tepelné a zvukové izolace	rukojeti, izolace elektrických zařízení a kabelů, tepelné izolace			
odolné proti povětrnostním a chemickým vlivům	nádoby na chemikálie, potrubí, armatury, ochranné vrstvy			

Obr. 3.1 Typické vlastnosti a použití plastů [6]

Typické vlastnosti plastů:

- nízká hustota, nevedou elektrický proud, tepelně izolují
- odolné proti povětrnostním a chemickým vlivům

- hladký dekorativní povrch, výroba plastových dílů je levná
- použitelné jen při nižších teplotách
- částečně hořlavé, výrazně nižší pevnost ve srovnání s kovy
- nejsou odolné vůči některým rozpouštědlům
- omezená recyklovatelnost, podle druhu tvrdé, elastické, nebo plastické

### 3.1. Historie plastů

Za otce velké rodiny plastů můžeme považovat anglického vynálezce Alexandra Parkese. Tomu se v roce 1855 ze směsi chloroformu a ricinového oleje podařilo vyrobit „umělou slonovinu“, dle vynálezce pojmenovanou parkesin. Tento materiál uchvátí laiky i odbornou veřejnost na průmyslové výstavě v Londýně v roce 1862, kde za tuto „látku tvrdou jako rohovinu, ale ohebnou jako kůže“ obdržel bronzovou medaili [8].

Povzbuzen prvním úspěchem, pustil se do dalšího bádání a přivedl na svět další plasty. Většina z nich neměla velký komerční úspěch, stejný osud měl i první parkesin. Z Parksových objevů vyčnívá jen jeden – celuloid. Dnes již tímto termínem označujeme celou skupinu termoplastů, které vznikají reakcí nitrocelulózy s kafrem. Parkes ho poprvé získal jako tuhý zbytek po odpaření rozpouštědla z fotografického kolodia (roztok nitrocelulózy v etheru a ethanolu). Parkes si založil vlastní společnost a začal s průmyslovou výrobou. Koncentrovaný roztok nitrocelulózy se přivedl do zařízení, kde se za zvýšené teploty a tlaku odpařila velká část rozpouštědla. Poté se přidala barviva a pevná hmota tvárná za tepla byla na světě. Ač byl celuloid skvělý vynález, Parkes nebyl v podnikání příliš úspěšný a brzy zkrachoval. Na jeho činnost navázal Daniel Spill. Ve své firmě Xylonite produkoval materiál podobný parkesinu, ale úspěchu také nedosáhl. Za zdokonalení výroby vděčíme Johnu Wesley Hyattovi, který se snažil nalézt materiál pro výrobu kulečnickových koulí, ty byly vyráběny z dosti drahé slonoviny. Jako vstupní suroviny použil plátno, slonovinový prach, šelak (přírodní živice, z výměšků červce lakového, který jím chrání své larvy před nepříznivými vlivy okolí) a již dobře známé kolodium. V roce 1870 si pak spolu se svým bratrem Isaihou nechali patentovat výrobu materiálu podobného slonovině s přísadkou nitrocelulózy a kafru. Protože před nimi i Parkes a Spill používali kafr při svých experimentech, vedl tento patent ke sporům mezi vynálezci. Až bratři Hyattovi stanovili přesná množství kafru na plastifikaci nitrocelulózy. Po dlouhých sporech se Spillem se v roce 1870 oficiálně objevuje název „Celluloid“. Kromě kulečnickových koulí se celuloid začal používat i na pravítka, ping - pongové míčky nebo vložky do límečků. Od konce 80. let 19. století našli různé druhy celuloidu uplatnění ve filmovém průmyslu. S rozvojem celuloidových filmů se rozvinul i fotografický průmysl, začal se vyrábět kinofilm (24 / 36 mm). Celuloidový film rychle vytlačil drahé fotografické desky. Vynikající vlastnosti celuloidových filmů, jako průhlednost, pružnost, možnost nanášení fotocitlivé vrstvy, krutě vyvažovala schopnost celuloidu výborně hořet a to i bez přístupu vzduchu [8].

Na konec 19. století datujeme i zahájení výroby umělých textilních vláken. Prvními umělými vlákny bylo umělé hedvábí. Již od pradávna se člověk snažil vyrábět vlákna jako housenka bource morušového, až moderní věda ale dokázala chemickým rozbořením určit složení listů moruše, který je tvořen především celulózą. Přírodní hedvábí navíc obsahuje dusík. Tak vznikla myšlenka obohatit celulózu atomy dusíku. Působením kyseliny dusičné byl získán nitrát celulózy a z jejího viskózního roztoku již šlo vytáhnout vlákna, která bylo možné po vysušení využít v textilním průmyslu. V roce 1884 Hilaira de Cordonnet připravil první



vlákno z regenerované celulózy a první výroba nitrátového hedvábí z nitrocelulózy byla zahájena roku 1891. Tento materiál byl velmi snadno hořlavý, byl postupně vytlačen měďnatým hedvábím, což byly první prakticky použitelná regenerovaná celulózová vlákna. Zdokonalováním postupů výroby dovedlo vynálezce až k výrobě viskózových vláken, které se staly strategickou surovinou zejména v době světových válek, při nedostatku přírodní bavlny [8].

Na přelomu 19. a 20. století začal s plasty experimentovat belgický chemik Leo Hendrik Baekeland. Hned svůj první vynález fotografický papír „Velox“ dokázal dobře prodat společnosti Eastman Kodak a za utržené peníze vybudoval novou laboratoř. Plasty vyráběné do té doby byly složeny z velkých molekul celulózy, Baekeland začal používat nový druh velkých molekul. Jeho snahou bylo vyvinout nehořlavou dráhu pro bowling, který se v té době stával velkým hitem. Přišel na to, že fenolová pryskyřice, kterou při svých pokusech využíval, má mnohem širší uplatnění, pokud slouží jako přísada. Při zvýšené teplotě míchal fenol a formaldehyd, ty spolu exotermicky reagovali za vzniku pryskyřice. Zjistil, že vstupní suroviny jsou v této hmotě vázány různými způsoby s poměrně složitou prostorovou strukturou. Po odstranění vody vzniklé při reakci pak získal měkkou tvarovatelnou hmotu, kterou si nechal v roce 1909 patentovat pod názvem bakelit. Bakelit řadíme do rodiny reaktoplastů, které nelze opětovným zahřátím tvarovat. Baekeland si uvědomil velký potenciál bakelitu, navíc fenol potřebný k jeho výrobě byl do té doby jenom odpadem při destilaci kamenného uhlí. Bakelit našel široké uplatnění. Pro svou nehořlavost a dobré izolační vlastnosti byl využíván na izolátory v elektrotechnice, spousta z nás ještě pamatuje bakelitový telefon, kliky u dveří a oken, vypínače, zásuvky a mnohé další. Velkou výhodou bakelitu byla nízká cena. Z výsluní začal ustupovat po 2. světové válce [8, 9].

Po první světové válce se objevuje masivnější výroba vinylových plastů – PVC, polyethylen a zejména polystyren. PVC bylo poprvé připraveno již koncem 19. století. Dnes masově vyráběný plast dlouho nemohl najít komerční uplatnění. V roce 1931 Waldo Semon pracoval na spojování přírodního kaučuku s kovem. Spojení těchto materiálů se mu sice nikdy nepodařilo, ale při výzkumu zahříval PVC v rozpouštědlech s vysokým bodem varu a podařilo se mu vyrobit měkčené PVC. Objev byl dlouho považován za kuriozitu až do 2. světové války, kdy nahradilo nedostatkový přírodní kaučuk při výrobě pneumatik a strategický význam mělo i při elektroizolaci kabelů. V 50. letech 20. století pak byly ještě vyvinuty další typy tvrdého (neměkčeného) PVC, které se dnes používají jako náhrada kovu při výrobě trubek, potrubí a rour. Koncem 50. let pak přichází první okenní profily z PVC. Polyethylén poprvé spatřil světlo světa v roce 1891, kdy Hans von Peckmann zahříval diazomethan a tím se mu ho podařilo syntetizovat. Na zvládnutí této syntézy průmyslově se čekalo až do roku 1931. Od roku 1939 se průmyslově vyrábí i nízkohustotní (rozvětvený) polyetylén, od roku 1954 se objevuje vysokohustotní polyetylen. Styren monomer, který je základem polystyrenu, byl izolován již v roce 1839 Eduardem Simonem, jeho uložený vzorek náhodně polymerizoval a materiál, bez kterého si dnes téměř nedokážeme představit život, byl na světě. Tento objev ale čekal až do roku 1931 na praktické využití. Jeho průmyslovou výrobu zahájil německý chemický koncern IG Farben (tato průmyslová konglomerátní společnost vznikla v roce 1925 a zakládající členové byly firmy jako BASF, Bayer, AGFA). Před druhou světovou válkou přišel profesor Dr. Otto Bayer, z Centra výzkumu v Leverkusenu, s další skvělým plastem a to s polyuretanem. Patent obdržel v roce 1937, ale praktické aplikace se dočkal až od roku 1952. Tento polymer dnes najdeme ve velké škále lepidel, pružných pěn, textilních vláknech zejména sportovních oděvů či rámování autoskel. Pěnový polyuretan je pak znám po celém světě pod značkou molitan. A můžeme pokračovat dále a dále, protože rodina plastů je nemalá a velké množství jejich členů má zajímavou historii [9].

## 3.2. Druhy plastů a jejich základní vlastnosti

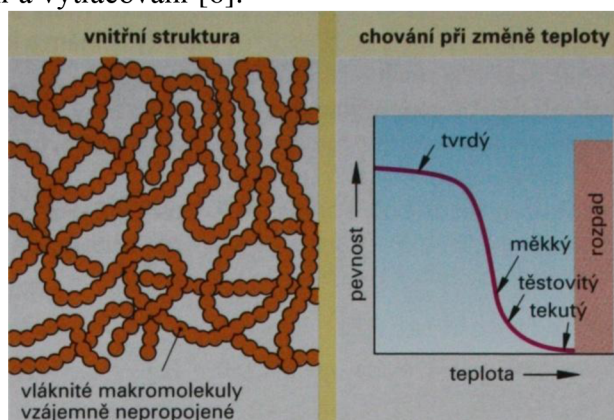
Plasty můžeme rozdělit do 3 skupin:

- Termoplasty
- Reaktoplasty
- Elastomery

### 3.2.1. Termoplasty

Obsahují velmi dlouhé molekuly ve tvaru tenkých vláken, které nespojují chemické vazby. Pevnost a soudržnost je zde docílena hustým propletením těchto vláken, vzájemným třením a adhezí. Termoplasty jsou tuhé a elastické při pokojové teplotě, se zvyšující se teplotou se zvětšuje jejich elasticita, která se mění na plasticitu a následně na tekutý stav. Vlastnosti termoplastu se vrací po ochlazení.

Termoplasty reprezentují největší skupinu plastů. Existuje velké množství druhů s velmi odlišnými vlastnostmi. Termoplasty se dají také dobře svařovat a tvářet za tepla. K výrobě dílů se používá vstřikování a vytlačování [6].



Obr. 3.2 Termoplasty [6]

### Polyetylen (PE)

Je bezbarvý, má voskovitý vzhled, malý třecí odpor, je tvarově pevný do 80 °C, odolný proti kyselinám a louhům, velmi rozšířený plast s nízkou výrobní cenou. Známe ho ve dvou formách:

Nízkohustotní PE (igelit, PE - LD), který je tuhý, slouží k výrobě nádob, trubek, nádrží, či ložiskových kroužků.

Vysokohustotní PE (mikrotén, PE - HD), který je měkký, odolný, ohebný, slouží k výrobě nejtenčích sáčků, smršťovacích fólií a hadic [6].



Obr. 3.3 Výrobky z PE [6]

### Polypropylen (PP)

Je podobný PE - LD, tvarově stálý do 130 °C. Používá se k výrobě dílů pro osobní automobily, palivové nádrže a nádrže praček [6].

### Polyvinylchlorid (PVC)

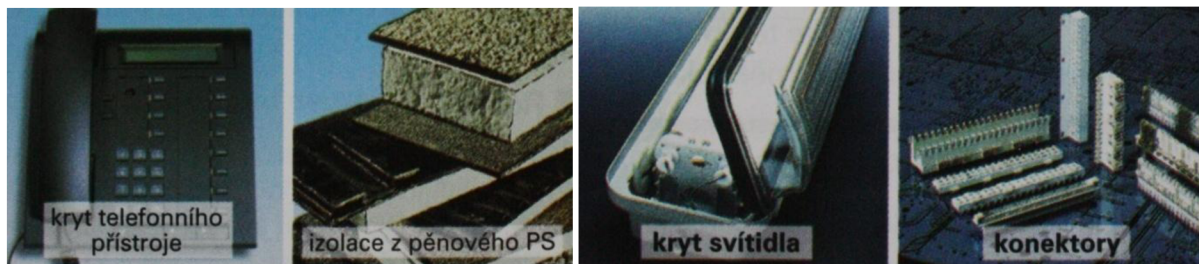
Je to bezbarvý materiál, který je odolný proti chemikáliím. Neměkčený PVC (PVC - P) je tvrdý, houževnatý a těžko zlomitelný. Používá se pro odpadní trubky, kryty, okenní rámy a vodní armatury. Měkčený PVC (PVC - U) je elastický jako kůže nebo pryž. Využívá se k výrobě umělé kůže, hadic, holínek, izolace a pláště kabelů. Z důvodu používání ftalátů k měkčení, se nesmí využívat ve zdravotnictví a k výrobě hraček [6].



Obr. 3.4 Výrobky z PE [6]

### Polystyrén (PS)

Čistý je citlivý na náraz, tvrdý a křehký. Polystyrén je odolný proti slabým louhům a kyselinám, má hladký povrch. Nejznámější je pěnový polystyrén (PS - E). Je napěněný plynem a tvoří pevnou pěnovou hmotu s uzavřenou porézní strukturou. Má výborné tepelně - izolační vlastnosti. Nejčastěji se využívá k výrobě izolačních desek a jako transportní obal pro citlivé přístroje [6].



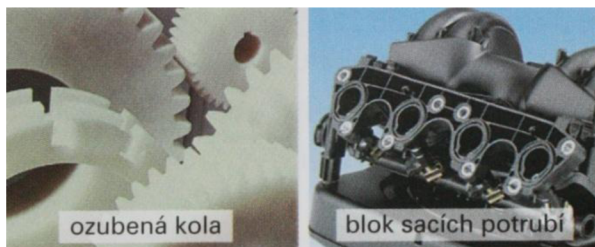
Obr. 3.5 Výrobky z PS a PC [6]

### Polykarbonát (PC)

Má velkou pevnost, houževnatost, odolnost proti rozbití rázem a zředěným i organickým kyselinám. Je stálý při změnách teploty a na světle, čirý jako sklo, vysoce hořlavý, má vhodné izolační elektrické vlastnosti a je dobře zpracovatelný vstřikováním. Slouží jako náhrada okenního skla, krytů svítidel a jako pravítka pro rýsování [6].

### Polyamid (PA)

Polyamid má hladký povrch s malým třením, mléčně bílou barvu, je tvrdý, houževnatý a odolný proti rozpouštědlům a chemikáliím. Slouží k výrobě ozubených kol, ložiskových pánví, vodících lišt a sacích potrubí u osobních automobilů. Nylon a silon jsou polyamidová vlákna z hexametyldiamidu a kyseliny adipové. Aramid (aromatický polyamid), známý jako kevlar, slouží k výrobě velmi pevných lan a především neprůstřelných vest [6].



Obr. 3.6 Výrobky z PA [6]

### Polymethylmetakrylát (PMMA)

PMMA více známý pod označením plexisklo, nebo umaplex je čirý jako sklo, bezbarvý a nezkrsluje průhled. Je tvrdý, odolný proti rozbití a houževnatý. Má dobrou odolnost vůči zředěným kyselinám, louhům a atmosférickým vlivům. Naopak není odolný proti horké vodě,



acetonu, alkoholům, benzínu a aromatickým uhlovodíkům. Hustota je srovnatelná s polykarbonátem. Nejčastěji jsou z PMMA vyráběny ochranné brýle, průhledné kryty a kryty zadních světel automobilů [6].



Obr. 3.7 Výrobky z PMMA a POM [6]

### Polytetrafluoretylen (PTFE)

Teflon, to je další a rozšířenější pojmenování tohoto měkkého, ohebného, houževnatého, otěruvzdorného a mléčně bílého materiálu, s hladkým povrchem a voskovým vzhledem. Má velkou teplotní stálost od - 150 °C do 280 °C. Nevadí mu většina chemikálií. Využívá se pro těsnění, povlaky, mazivo, pánve ložisek a také povrch nádobí [6].

### Polyoximetylen (POM)

POM má hladký, proti otěru odolný povrch, mléčnou, bílou barvu. Je velmi pevný, tuhý a tvrdý i při nízkých teplotách a dobře obrobitelný. Díky jeho pružnosti je vhodný pro západkové spoje. Odolný proti louhům, slabým kyselinám a také rozpouštědlům. Je to materiál pro ozubená kola, články řetězů a západkové spojovací díly [6].

### Polybutylentereftalát (PBT)

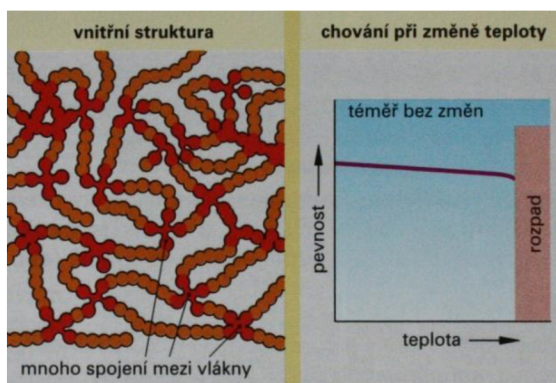
Má barvu slonové kosti, velkou tuhost, hladký otěruvzdorný povrch, tvarovou stálost, rozměrovou stálost do 140 °C, je odolný proti mazivům, rozpouštědlům a pohonným hmotám. Podobně jako POM je dobře obrobitelný. Různá pouzdra, desky plošných spojů a kryty elektrických přístrojů, to jsou příklady využití [6].



Obr. 3.8 Výrobky z PBT [6]

### 2.2.2. Reaktoplasty

Pro někoho je tato skupina známa pod některým starším označením, jako duroplasty, duromery, nebo termosety. Obsahují velmi dlouhé molekuly ve tvaru tenkých vláken, které na



Obr. 3.9 Reaktoplasty [6]

rozdíl od termoplastů spojují chemické vazby. Reaktoplast se rozpadá po překročení kritické teploty a to bez předchozího změknutí. Termoplasty se nedají svařovat ani tvářet za tepla. Při zvýšené teplotě jsou tvarově stálejší a pevnější než termoplasty, své vlastnosti si drží až do 220 °C, v závislosti na druhu [6].

Jsou dodávány v konečné podobě, připravené k použití ve formě desek, profilů a hotových dílů, nebo v podobě složek, pro výrobu spoje, povrchu, nebo dílu. Základní složku tvoří nejčastěji tekutá pryskyřice ve formě lepidla, tmelu, nebo odlévacího materiálu. Tužidlo je druhá složka. Společně díky chemickým reakcím vytvoří vytvrzený reaktoplast. Další cestou jak dosáhnout vytvrzení je kromě chemické reakce také zvýšený tlak, nebo teplota [6].

### Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP)

První zástupce reaktoplastů je bezbarvý, sklovitě čirý s lesklým povrchem. Odolný proti pohonným hmotám, zředěným kyselinám a louchům. V tekutém stavu dobře zatékající a přilnavý. Nejčastěji využívaný jako lepidlo na kovy, hmota pro odlévání modelů, materiál pro výrobu vláken, tvrdé laky a pojivo pro lamináty s tkaninou ze skelných vláken, obr. 3.10 [6].



Obr. 3.10 Výrobky z UP [6]

### Epoxidové pryskyřice (EP)

Jsou bezbarvé až medově žluté, houževnaté, tvrdé a elastické. Odolné teplotně do 180 °C, dále odolné proti rozpouštědlům, roztokům solí, louchům a slabým kyselinám. Epoxidové pryskyřice dobře zatékají do forem a lepí kovy, proto jsou také používány jako lepidla, laky, zalévací hmoty, pojivo slévárenských formovacích směsí a pojivo laminátů se skelnými vlákny [6].

### Polyuretanové pryskyřice (Polyuretany)

Průhledné a medově žluté materiály známé také jako PUR. Podobně jako epoxidové pryskyřice odolné proti louchům, slabým kyselinám, rozpouštědlům a roztokům solí. Dají se napěnit a jsou dobře přilnavé. Dle druhu mohou být od gumově elastických až po tvrdé a elastické. K výrobě kladek, ozubených kol a pánví ložisek slouží tvrdé PUR. Ze středně tvrdého PUR se produkují ozubené řemeny, nárazníky a tlumiče nárazů. Měkké PUR se používají jako těsnění, nebo výplně kabelů. Pěnový PUR dle stupně vytvrzení slouží jako tvrdá pěna, měkká pěna, tepelné tlumení a výplň čalounění. Molitan je běžný název pro měkčený pěnový PUR. Pro vnitřní čalounění osobních automobilů se používá integrální pěna PUR, absorbující dobře nárazy. Sedadlo vzhledu kůže, s kompaktním povrchem a pěnovým jádrem, je možné vyrobit jako jeden díl obr. 3.11 [6].



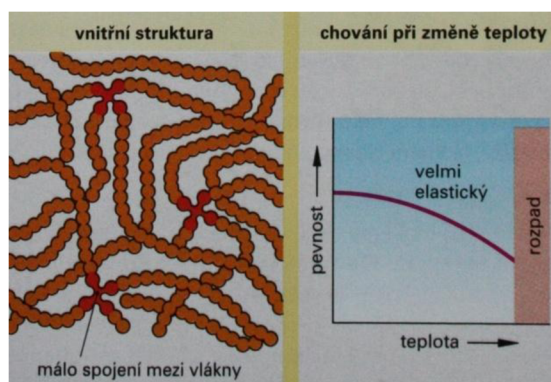
Obr. 3.11 Výrobky z PUR [6]



### 3.2.3. Elastomery

Stejně jako termoplasty a reaktoplasty jsou tvořeny velmi dlouhými molekulami ve tvaru tenkých vláken, které jsou v tomto případě řídce propojeny chemickými vazbami. Tato struktura umožňuje několikanásobné natažení, aniž by se po uvolnění tahu, projevila deformace změnou původních rozměrů. Na základě hustoty propojení jsou elastomery měkce pružné, např. gumová vlákna v textilním průmyslu, nebo tvrdě pružné, např. hokejový puk.

Elastomery lehce měknou s rostoucí teplotou, elastické vlastnosti se téměř nemění. Překročením kritické teploty dojde k rozpadu elastomeru. Elastomery jsou elastické, za tepla se nedají svařovat ani tvářet. Lidově se této skupině materiálů říká guma, odborně potom pryž [6].



Obr. 3.12 Elastomery [6]

#### Přírodní pryž (NR, nature rubber)

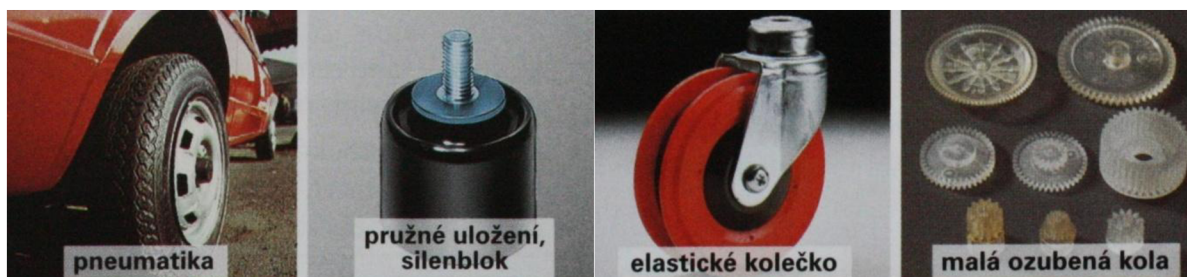
Získává se z přírodního kaučuku, který vytéká po naříznutí z kaučukovníku. Takto získaná přírodní pryž má nejlepší pružnost, kterou si zachovává i při snížené teplotě. Je přiměsí do suroviny sloužící k výrobě pneumatik, míčů, obuvi a mazací gemy. Dnes se většina pryže vyrábí synteticky ze styren - butadien kaučuku, akryl - butadien kaučuku, chlor - prenového kaučuku, silikonového kaučuku, nebo také z polyuretanového kaučuku [6].

#### Butadienstyrenový kaučuk (SBR)

Tento kaučuk je odolný proti otěru, stárnutí, zvýšené teplotě a je velmi pružný. Je to nejpoužívanější pryž pro běžné účely, téměř celá produkce končí jako součást pneumatik. Typické složení materiálu na pneumatiky je 42 % SBR, 18 % NR, 28 % sazí a 12 % ostatních přísad. Z SBR pryže se dále vyrábí těsnící kroužky, manžety a tlumiče otřesů (silenbloky) [6].

#### Silikonový kaučuk (SIR, styren isoprene rubber, VMQ)

Silikonový kaučuk je mléčně bílý, odpuzující vodu i lepidla, odolává mazacím olejům, naopak není odolný proti luhům, rozpouštědlům a koncentrovaným kyselinám. Je elastický do  $-40^{\circ}\text{C}$  a tepelně odolný do  $180^{\circ}\text{C}$ . Může být tuhý elastický, nebo měkký elastický. Slouží jako výchozí materiál pro těsnění, těsnící manžety a také např. kosmetické podkožní výplně. V roztocích jako voděvzdorné a izolační nátěry [6].



Obr. 3.13 Výrobky z SBR a PUR-T [6]

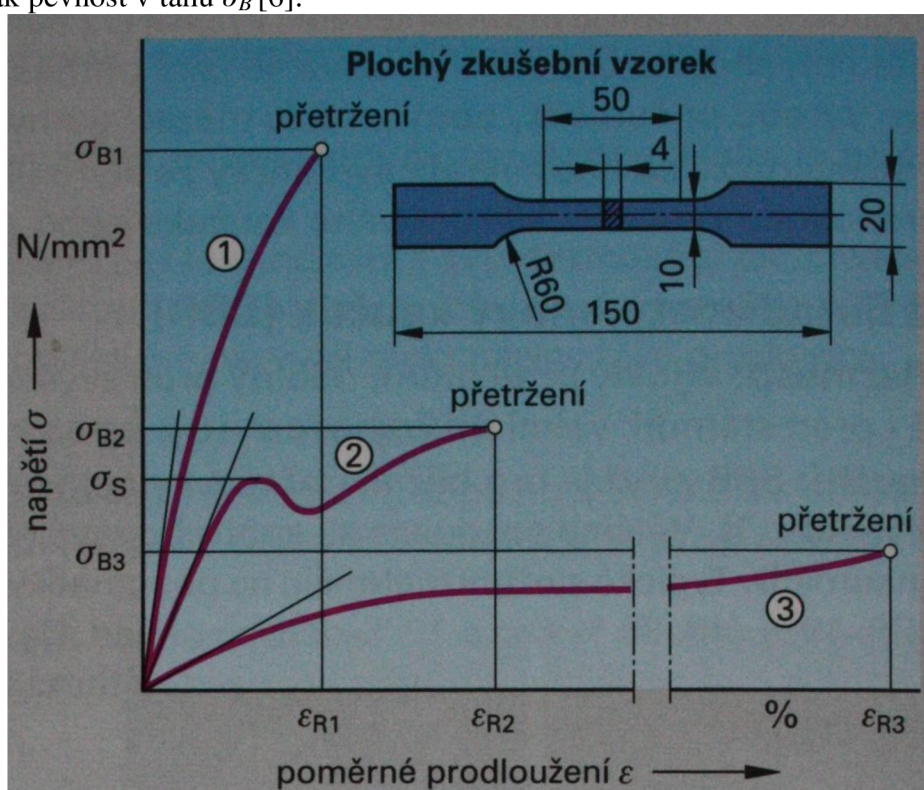
## Termoplastické polyuretanové elastomery (PUR - T)

U této skupiny je možné využití technologie vstřikování do forem, nebo vytlačování k výrobě produktů a to díky vhodným termoplastickým vlastnostem. Jsou chemicky stálé, vyrobitelné s rozdílnou tvrdostí a odolné proti otěru. Ozubená kola a bruslařské boty jsou vyráběny z tvrdého a elastického PUR - T. Měkký elastický PUR - T se používá na hadice, těsnící manžety a pláště kabelů, příklady užití obr. 3.13 [6].

### 3.3. Zkoušení vlastností plastů

#### 3.3.1. Mechanické vlastnosti

K provádění pevnostních (tahových) zkoušek plastů, se používá stejných strojů a postupů jako u tahové zkoušky kovů. Na zkušební vzorku se měří tahová síla a prodloužení, z naměřených hodnot se vytváří diagram, obr. 3.14. Ze smluvního diagramu je možné odečítat parametry vztažené k výchozímu průřezu vzorku, jako tažnost  $\epsilon_R$  (do přetržení) a pokud se vyskytuje, tak pevnost v tahu  $\sigma_B$  [6].



Obr. 3.14 Diagramy zkoušky tahem různých plastů [6]

Na základě mechanických vlastností dělíme plasty do třech základních skupin:

- Tvrdé tuhé plasty, nejdůležitějším parametrem je zde pevnost v tahu  $\sigma_B$ . Typický zástupce této skupiny je PMMA, neměkčený PVC a polystyren. Na obr. 3.14 znázorněny jako křivka 1.
- Tvrdé pružné (ohebné) plasty, které mají výraznou mez kluzu  $\sigma_S$  v tahovém diagramu. Příkladem je polyamid a vysokohustotní polyetylen. Na obr. 3.14. znázorněny pod křivkou 2.
- Gumové elastické plasty s velkou tažností  $\epsilon_R$ . Sem patří především butadienový kaučuk a nízkohustotní polyetylen. Křivka 3 na obr. 3.14.

Neméně podstatnou materiálovou konstantou je modul pružnosti v tahu  $E$ , který vyjadřuje tuhost materiálu jako poměr napětí a poměrného prodloužení ( $E = \sigma/\epsilon$ ). Na obr. 3.14, odpovídá strmosti tahové křivky v jejím počátku.

Tečení plastů (creep), neboli pomalá plastická změna tvaru, při malém, ale trvalém zatížení. Zde se využívá dlouhodobá tahová zkouška. Testovaný vzorek je několik týdnů až měsíců zatížen stálou tahovou silou, výsledkem je časový průběh prodloužení.

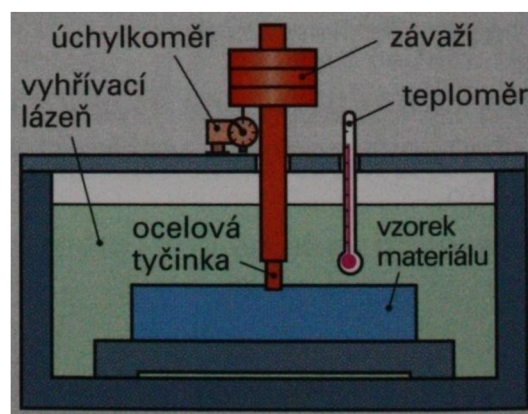
U zkoušení tvrdosti plastů můžeme také sledovat podobnost se zkoušením kovů. Používá se vtlačování kuličky, jako u Brinellovy zkoušky tvrdosti kovů, další metodou je vtlačování hrotu, tzv. Shoreho zkouška [6].

### 3.3.2. Tvarová stálost při zahřívání

Vicatova teplota měknutí je horní krátkodobě přípustná teplota, při které se ještě nezhorsí mechanické vlastnosti (neklesne pevnost) pod přípustnou mez.

Zkouška tvarové stálosti se provádí pomocí ocelové tyčinky s plochým hrotem o průřezu  $1\text{ mm}^2$  a při tlaku  $50\text{ N}$  na rovný povrch testovaného plastu. Zkouška probíhá ve vyhřívané komoře, kde dochází ke zvyšování teploty z pokojové, rychlostí  $50\text{ }^\circ\text{C}$  za hodinu. Vicatova teplota měknutí VST B/50, je teplota při které se zkušební ocelová jehla vmáčkne  $1\text{ mm}$  hluboko do zkoušeného materiálu, obr. 3.15.

Teplota dlouhodobé trvanlivosti je nejvyšší teplota, při které si plast zachovává alespoň poloviční pevnost po dobu  $20\,000$  hodin, tedy více než 2 roky [6].



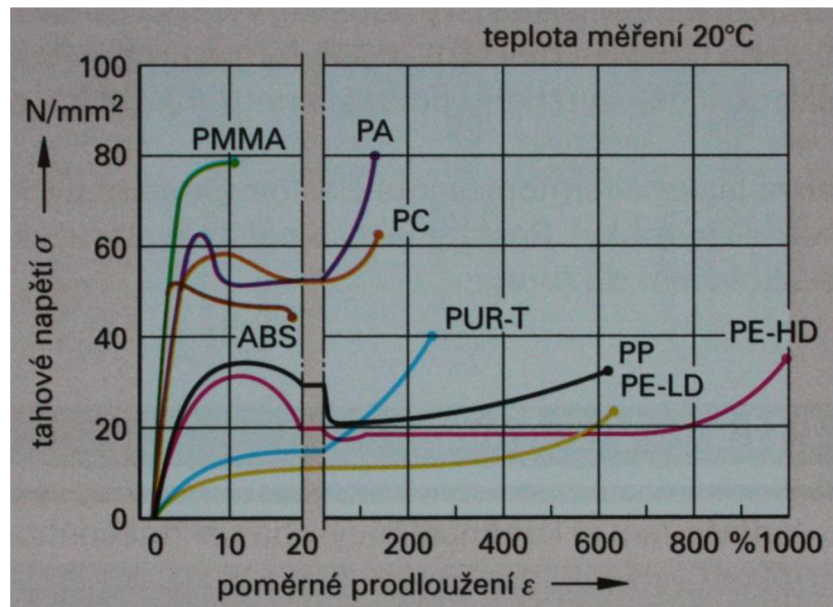
Obr. 3.15 Měření Vicatovy teploty měknutí [6]

### 3.3.3. Vlastnosti důležitých plastů

#### Pevnost v tahu, mez kluzu

Obr. 3.16 ukazuje tahové charakteristiky pro různé druhy plastových materiálů. Tvrdé a tuhé plasty jako polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polymethylmetakrylát (PMMA) a např. některé kopolymery polystyrenu (ABS), mají pevnost v tahu mezi  $50\text{ MPa}$  až  $80\text{ MPa}$ . Méně pevné plasty, jako polyetylen (PE), polypropylen (PP), nebo polyuretan (PUR-T), mají pevnost v tahu od  $30\text{ MPa}$  do  $40\text{ MPa}$ . Vedle toho pevnosti ocelí v tahu jsou od  $300\text{ MPa}$  do  $1500\text{ MPa}$ , samozřejmě v závislosti na konkrétním typu oceli. Z toho vyplývá, že samotné plasty, mohou sloužit jen jako materiály pro málo zatížené konstrukční díly. Podstatně lepších hodnot dosahují kompozitní materiály s plasty a skleněnými, karbonovými (uhlíkovými), nebo kevlarovými (aramidovými) vlákny. Takové materiály se pevností v tahu již blíží, někdy i vyrovnají nelegovaným ocelím [6].

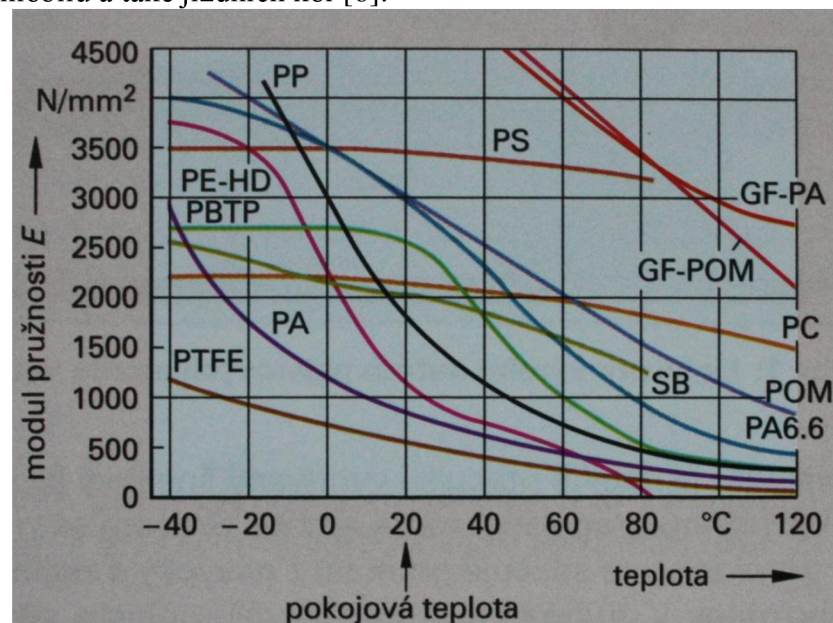




Obr. 3.16 Diagramy zkoušky tahem různých plastů [6]

### Tuhost (pružnost)

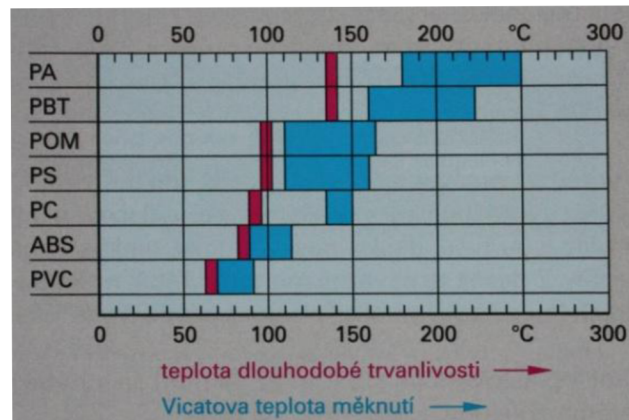
Modul pružnosti v tahu  $E$ , který charakterizuje tvarovou tuhost materiálu při pokojové teplotě, má u různých plastů hodnoty od 500 MPa do 3500 MPa, obr. 3.17. Tato hodnota však rychle klesá s rostoucí teplotou. Při pohledu na hodnoty pevnosti ocelí, které se pohybují kolem 210 000 MPa, je patrné, že nezpevněné plasty se nehodí na mechanicky velmi zatěžované konstrukční díly. Kompozitní plastové materiály vyztužené pevnými vlákny, jako polyamidy se skelnými vlákny (GF-PA), mají mnohem větší modul pružnosti v tahu  $E$ , tedy i tuhost. Dále mají větší odolnost proti tečení a malou hustotu, přibližně  $2 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . To jsou vlastnosti, díky kterým se tyto kompozitní plastové materiály hojně využívají při výrobě letadel, osobních automobilů a také jízdních kol [6].



Obr. 3.17 Teplotní závislost modulu pružnosti ( $E$ ) různých plastů [6]

### Stálost při vyšších teplotách

Obr. 3.18 ukazuje teplotu dlouhodobé trvanlivosti a Vicatovu teplotu měknutí, pro nejběžnější plastové materiály. Jak je možné vidět, u Vicatovy teploty měknutí, je velké rozpětí a to od přibližně 70 °C u PVC, až po 200 °C u polyamidů (PA) [6].



Obr. 3.18 Teplotní stálost plastů [6]

Pomocí dalších zkoušek jsou získávány tyto vlastnosti plastů:

- Teplota vzplanutí a hořlavost
- Odolnost proti působení ovzduší, stárnutí a chemickým vlivům
- Tření s jinými materiály
- Zkřehnutí při nízkých teplotách
- Elektrické izolační vlastnosti
- Nasáklivost ve vodě

## 4. POKOVOVÁNÍ PLASTŮ

Pokovováním plastů dochází ke změně vzhledu a také vlastností. U některých výrobků je požadován tzv. kovový vzhled. Jinde je zase potřeba elektrická vodivost, vyšší tvrdost, odolnost proti různým chemikáliím, nebo např. snížit navlhavost a další. Kombinují se tak výhody plastů s kovy. Ne všechny plasty jsou vhodné pro pokovení, plast musí být schopen vytvořit základ pro kovovou vrstvu. Nejlepších výsledků je dosahováno s ABS, PP a PVC. Největší uplatnění nachází pokovování plastů v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Metody pokovování plastů jsou podobné jako ty u pokovování kovů. Nejpoužívanějšími metodami je chemické a galvanické pokovování, katodové naprašování, naprašování ve vakuu a žárové stříkání kovů.

### 4.1. Pokovování ve vakuu

Rozlišujeme dvě metody, tou rozšířenější je odpařování kovů, v některých zdrojích pod názvem naprašování či vakuové pokovování. Druhou, méně užívanou metodou je katodové rozprašování (naprašování) kovů. Principem obou metod jsou atomy kovu, nebo molekuly sloučenin, které ve vakuu kondenzují na povrchu pokovovaného plastu [24].

#### 4.1.1. Vakuové pokovování

Princip odpařování kovu za vysokého vakua je znám již dlouho a metoda vakuového pokovování patří k nejběžnějším průmyslovým metodám při pokovování plastických hmot. Základem metody je odpařování materiálu ve vysokém vakuu a následná kondenzace par na povrchu předmětu. Pokovovaný předmět, se spolu s kovem vloží do uzavřeného prostoru s vysokým vakuem. Kov se za pomoci zdroje ohřeje na odpařovací teplotu. Následný pohyb atomů kovu se řídí zákony prostorového sálání. Odpařené atomy kovu kondenzují na povrchu plastické hmoty a tvoří souvislý povlak. Tento povlak je velmi tenký, často méně než 1  $\mu\text{m}$ , bývá proto ještě chráněn transparentním lakem [24].

Nanášet lze většinu kovů a mnoho kovových sloučenin. Kovy musí mít co největší čistotu a teplota odpařování musí být nižší než tavná teplota u odpařovacího zdroje. Většinou jsou ve tvaru drátů, či pásků, musí být dobře odmaštěny a zbaveny povrchových nečistot. Hliník je často používán k pokovování plastických hmot. Je dostupný, levný, dodává zrcadlově lesklý povlak a snadno se odpařuje. Následný povlak je odolný proti korozi. Jeho odrazivost je kolem 92 %, téměř totožná hodnota se stříbrem, které dosahuje až 94 %. K odpařování je potřeba hliník s čistotou alespoň 99,8 %. Kousky hliníku ve tvaru písmene U se zavěšují na odpařovací tělísko. Kromě hliníku se používá měď, kadmium, selen, vizmut, slitiny hliníku s mědí, cínem, hořčíkem a manganem [23, 24].

Vakuové pokovování probíhá podle následujícího pracovního postupu:

- Předběžná úprava povrchu – jde především o odmaštění, sušení a odplynování. Odmaštění je důležité k odstranění maziv používaných při lisování. K jejich odstranění se používá organických rozpouštědel, někdy také stačí voda se saponátem.
- Nanášení základní lakové vrstvy – výrobky z plastických hmot není pro běžné použití nutné dále upravovat, což je jejich výhoda naproti materiálům jako kov či dřevo. Zde ovšem základní laková vrstva slouží k zakrytí mikroskopického zdrsnění a na jejím správném nanesení závisí kvalita následného pokovování.
- Pokovení ve vakuu – do pokovovací komory se vloží kousky kovu určené k odpařování na wolframové tělísko. Dále se vloží držáky s plastovými nalakovanými výrobky a odčerpá se vzduch, k vytvoření potřebného vakua. Odpařovací tělísko se

zahřívá, v případě použití hliníku dojde při 659 °C k jeho roztavení a smáčení odpařovacího tělíska. Pro začátek odpařování je nutná teplota lehce pod 1000 °C. Proces odpařování trvá 5 s až 10 s. Odpařovací tělíska se nechá vychladnout, pak teprve dojde k postupnému zrušení vakua následnému vyjmutí již pokovených výrobků.

- Nanášení vrchní lakové vrstvy – nanesený kovový povlak je velmi tenký, nemá vlastní trvanlivost a není odolný proti oděru a jinému poškození. Chrání se proto následnou lakovou vrstvou. Pro stříbrný lesk se používá transparentní a vodojasný lak, který má dobrou odolnost proti vlhkosti, nárazu, odírání a rozpouštědlům.
- Barvení vrchní lakové vrstvy – v případě, že je požadováno jiné zbarvení, než má kovový film, je výrobek v poslední fázi ještě nabarven. Je možné dosáhnout vzhledu barevných a drahých kovů, např. zlato, měď atd. nebo libovolného barevného odstínu.

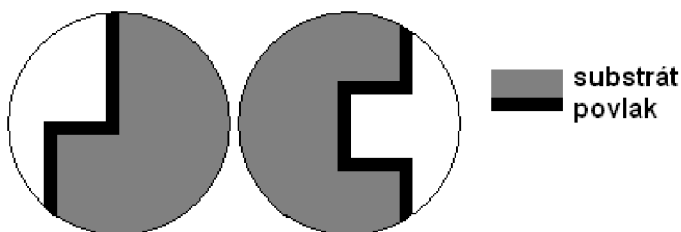
#### 4.1.2. Katodové rozprašování

Tato metoda je spíše okrajová, je velmi pomalá a nemohou se nanášet všechny kovy jako u vakuového pokovování, např. hojně používaný hliník. Používá se v případech, kdy je nutné přesně kontrolovat tloušťku nanášené kovové vrstvy a která má být zároveň velmi tenká. Tato metoda je také vhodná pro nanášení kovů, které se obtížně odpařují, jako je platina a nikl. Katodové rozprašování funguje na principu rozpadu katody elektrickým výbojem ve vakuu. Elektronickým bombardováním jsou z katody uvolňovány atomy kovu. Ty mají negativní náboj, jsou proto unášeny k anodě. Na součásti, která je umístěna mezi katodu a anodu, potom kov kondenzuje. Vakuum potřebné k této metodě je o několik řádů nižší, než vakuum potřebné pro vakuové pokovení [23].

#### 4.2. Chemické pokovení

Je to jeden z nejstarších způsobů pokovování plastických hmot a patří zároveň k nejjednodušším. Je vhodný zejména u předmětů, které se například díky své členitosti obtížně pokovují jinými způsoby a dále u předmětů, kde je nutné základní kovový povlak dále elektrolyticky pokovit. Tato metoda, využívá znalostí z fotografické praxe, že některé chemické látky dokáží vyredukovat mikroskopické částičky kovu z jejich roztoků nebo sloučenin. Podstatou je tedy vylučování kovu na materiál méně ušlechtilý (nebo méně ušlechtilý kov) vlivem rozdílu potenciálů v roztoku, nebo je kov vyredukován ze soli tohoto kovu pomocí redukčního činidla. Chemicky se jedná o oxidačně redukční reakce - kov je redukován za současné oxidace druhé látky. A mezi reagujícími látkami dochází při reakci k přesunu elektronů [23, 24].

Látky nazýváme oxidačním činidlem pokud jsou schopny odevzdat kyslík nebo přijmout elektrony (např. ionty stříbrné, měďnaté nebo nikelnaté). Naopak jako redukční činidlo označujeme látky, které kyslík přijímají a naopak odevzdávají elektrony (např. ionty cínaté,



železnaté). Různou míru schopnosti přijímat nebo odevzdávat elektrony u oxidačních a redukčních činidel nazýváme aktivitou. Poměr aktivit roztoků kovových solí a roztoků redukčních látek určuje rychlost redukce [23, 24].

Obr. 4.1. Rovnoměrnost tloušťky kovového povlaku při chemickém pokovení [23]

Obecně můžeme rozlišit dva způsoby chemického pokovení –

klasický a sorpční. U klasického způsobu smícháme oba roztoky a začne probíhat reakce. Kov se vyredukuje na všech plochách předmětů i na stěnách nádoby a současně se zakalí roztok. Největší část vyredukováného kovu ale zůstane v roztoku a je nutné ho pomocí filtrace nebo usazování získat zpět. Sorpční metoda vyžaduje úpravu povrchů plastických hmot funkčními skupinami, které jsou schopné chemicky vázat ionty kovu či komplexy. V sorpční lázni proběhne výměna iontů mezi kovem a funkční skupinou nanesenou na plastu. Aplikací laků odolného proti aktivačnímu činidlu lze pokovovat pouze určitá místa povrchu. Rozdíly mezi oběma metodami jsou zejména v přilnavosti kovového povlaku, kdy u metody sorpční dosahujeme bezprostředním spojením řetězců makromolekul s kovem větší přilnavosti než u klasické metody, kdy je přilnavost dána pouze velikostí fyzikální, adhezní síly. Sorpční metoda je hospodárnější protože se vyredukuje pouze ionty kovu, které jsme chemicky nasorbovali do povrchu, kdežto u klasické metody se redukuje všechny ionty v roztoku a pouze část z nich ulpí na povrchu předmětu. Klasická metoda je použitelná na téměř všechny plastické hmoty, u sorpční metody je skupina použitelnosti menší. U obou metod dosáhneme rovnoměrného pokovení povrchu prvků, v rozmezí 40 nm až několik  $\mu\text{m}$ . Nejčastěji se plasty chemickými způsoby pokovují mědí, niklem, ale i stříbrem a zlatem [24].

O výsledné jakosti kovového povlaku rozhoduje kvalita úpravy povrchu plastické hmoty, která se provádí před vlastním pokovováním. Tyto úpravy v sobě spojují požadavky na finální výrobek a vlastnosti plastické hmoty. Pro konkrétní plasty a účely použití se technologické postupy liší, většinou jsou jednodušší. Technologické postupy pokovování sorpční a klasickou metodou se od sebe liší jen v pár bodech [23].

Technologický postup chemického pokovení klasickou metodou:

- Lakování – je důležité pro dosažení brilantního lesku kovového povlaku. Kovový povlak totiž odhalí nerovnosti, pórovitost a další nedokonalosti povrchu plastické hmoty. Po dokonalém odmaštění nanášíme lak v tloušťce dle požadované kvality povrchu.
- Matování – provádí se mechanicky nebo chemicky. Užívá se tam, kde je nutné dalšího elektrolytického pokovení již vytvořeného základního kovového povlaku, kdy potřebujeme dosáhnout maximální přilnavosti k nosnému materiálu. Matováním zdrsíme povrch plastu, přitom jsou odstaněny různé nálitky či nerovnosti, zaoblí se ostré hrany apod. Mechanické matování se provádí velmi jednoduše broušením například smirkovým papírem, pemzou či brusnou pastou. U větších výrobků se užívá otryskávání například křemenným pískem apod. Chemické matování se provádí spíše u menších předmětů, kdy se jejich povrch naleptá rozpouštědly, louhy nebo kyselinami. Volíme takové typy chemických látek, které povrch dokáží současně i odmastit. Chemické látky naruší povrch do nejmenší hloubky.
- Čištění a odmašťování povrchu – povrch se zbavuje jakýchkoli nečistot, mastnoty, prachu a dalších nečistot například po mechanickém zdrsňování. Tato část je zvláště důležitá, protože nečistoty způsobují nesouvislý či skvrnitý povlak, který je navíc méně přilnavý. Zkouška dokonalého odmaštění a vyčištění se provede jednoduchým oplachem výrobku vodou, kdy povrch zůstane stejnoměrně mokrá a dokonale smáčivý.
- Zcitlivování – někdy se setkáme spíše s názvem aktivace nebo očkování či senzibilování. Tento krok je společný pro všechny způsoby pokovování (pro vakuové i galvanické pokovování). Nejčastěji se na povrch plastu nanese tenká vrstva ušlechtilého kovu, užívá se stříbro nebo palladium. Opět záleží na typu plastické

hmoty a účelu. Zcitlivování se někdy provádí ponorem do vodného roztoku činidla. Aby bylo dosaženo rovnoměrného kovového povlaku s maximální přilnavostí, je třeba přebytek zcitlivovacího činidla důkladně opláchnout. Někteří autoři doporučují plastickou hmotu vystavit účinkům organokovových halogenidů ze skupiny křemíku, titanu a cínu. Aktivaci lze provést také pomocí vysokofrekvenčního plasmového paprsku. Při tomto způsobu se vysokou frekvencí aktivují plyny, jako např. argon, kyslík či dusík, a vzniklé ionty, radikály a neutrální částice jsou urychlovány směrem k povrchu plastu. Při použití paprsku dojde současně k odstranění oxidů a organických látek z povrchu plastu a odpadá chemické matování povrchu.

- Pokovování

Sorpční metoda se od klasické liší jen v několika málo bodech. Úprava povrchu zahrnuje u sorpční metody většinou pouze odmaštění a aktivaci [24].

Technologický postup chemického pokovení sorpční metodou:

- Předběžná úprava povrchu – obsahuje odmašťování, předbotnění a potisk ochranným lakem. Úprava zahrnuje některý z těchto postupů nebo jejich kombinaci. Odmašťování je stejné jako u klasické metody. Předbotnění se užívá u některých plastických hmot ke snížení doby aktivace. Jako botnadlo se používá třeba toluen nebo xylen. Lak aplikujeme v případě, že potřebujeme pokovovat pouze částí povrchu
- Aktivace – probíhá například sulfonací či hydrolyzou. Při sulfonaci se účinkem kyseliny sírové, olea, kysličníku sírového nebo kyseliny chlósírové nahrazuje vodík v organické sloučeniny sulfoskupinou ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ). Hydrolyzou nejčastěji vznikají hydroxylové ( $-\text{OH}$ ) a karboxylové ( $-\text{COOH}$ ) skupiny, které jsou také schopné sorbovat ionty kovů. Hydrolyzace probíhá působením louhů i kyselin na povrch plastických hmot s esterovou vazbou. Aktivace povrchu může proběhnout i jinými způsoby, které vedou k vytvoření skupin  $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ,  $\text{PHO}_2\text{H}$ ,  $>\text{NH}$ ,  $\equiv\text{N}$  apod.
- Oplach proudící vodou
- Sorpce kovových iontů – Provádíme ji ponorem, oplachem nebo stříkáním. Je to vratná reakce, která probíhá až do ustavení rovnovážného stavu mezi koncentrací iontů v roztoku a v aktivovaném povrchu plastické hmoty. Vnější vzhled aktivovaného povrchu se sorpcí nezmění. Po odstranění přebytků roztoku krátkým oplachem destilovanou vodou pokračujeme.
- Redukce kovových iontů – roztok je na rozdíl od klasické metody rozdělen. Redukci provádíme ponorem, stříkáním nebo oplachem. Důvodem je vznik reakčních zplodin v aktivované vrstvě. Tyto zplodiny zabraňují přesunu elektronů, tím i průběhu reakce. Nejvyšší koncentrace je na rozhraní roztoku a aktivované vrstvy, z tohoto důvodu je vhodnější používat při redukci stříkání nebo oplach. Ponor provádíme v proudícím roztoku
- Oplach proudící vodou
- Konečná úprava povrchu

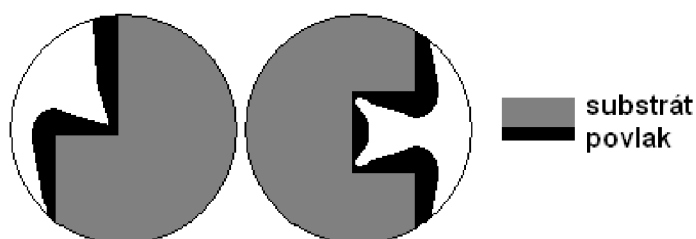
### 4.3. Galvanické pokovení

Principem je stejně jako u chemického pokovování pohyb elektronů v lázni, které zde není vyvoláno aktivitou redukční a oxidační látky, ale elektrickým proudem. V galvanické lázni



(elektrolitu) se při určitém napětí stejnosměrného proudu vloženém mezi dvě kovové desky začnou pohybovat ionty k těmto deskám. Ionty kovu, tj. kationty, se pohybují k záporně nabitě desce (katodě). Při kontaktu s ní přijímají elektrony, přejdou do elektroneutrálního, atomového stavu, to znamená redukují se a vytvoří souvislý kovový povlak. Anionty proudí ke kladně nabitě desce (anodě). Při kontaktu s ní elektrony ztrácejí a pak reagují s vodou nebo rozpouštějí kovovou anodu [23].

Podmínky za kterých elektrolýza probíhá ovlivňují kvalitu vyloučeného kovu. Rozhodující jsou například složení lázně a koncentrace solí v ní, teplota, tvar předmětů, vzdálenost elektrod ale také druh kovu. Tloušťka kovové vrstvy je odvislá od doby průchodu elektrického proudu. Matematicky lze množství vyloučeného kovu vyjádřit pomocí Faradayových zákonů. Přičemž zde platí přímá úměra s množstvím prošlého proudu a nepřímá úměra mocnosti iontů. Kovové vrstvy, které vzniknou galvanickým pokovením nemají stejnou tloušťku po celém povrchu, větší nárůst je na hranách (viz obr. 4.2) [23].



Obr. 4.2. Rovnoměrnost tloušťky kovového povlaku při galvanickém pokovení [23]

Důležitou podmínkou pro pokovování touto metodou je, že pokovovaný předmět musí být vodivý. Kovy tuto podmínku splňují, ale plasty jsou díky svým vlastnostem spíše dobrými izolátory. Jak již bylo naznačeno u chemického pokovení, je nutné je před galvanickým pokovením upravit. Pro předúpravu se používá

vakuové či chemické pokovování, nanáší se vodivé laky, lze použít metodu naprášení grafitu nebo kovů a další. Aby se výrazněji projevil pozitivní vlastnost kovu, mezi které můžeme zařadit elektrickou vodivost, odolnost proti korozi či tvrdost, potřebujeme povlak tloušťky nad 1 mikron. Povlaky vytvořené vakuově nebo chemicky nedosahují tloušťky přes 1  $\mu\text{m}$ . U galvanického pokovení se tloušťka vrstvy pohybuje kolem 25  $\mu\text{m}$  – 35  $\mu\text{m}$  [23].

Elektrolýza vodných roztoků neprobíhá většinou tak jednoduše jak bylo popsáno na začátku. Při vylučování kovu na katodě se vylučují i další kovy, zejména vodík, který je z elektrochemického hlediska rovněž kovem. Pokud jsou v elektrolytickém roztoku obsaženy soli několika kovů, vylučují se jako první kovy s nekladnějším potenciálem a poté postupně kovy s potenciálem méně ušlechtilým [24].

Přilnavost kovu s plastickou hmotou, díky rozdílným chemickým podstatám těchto materiálů, je většinou tvořena fyzikální, mechanickou vazbou mezi molekulami kovu a makromolekulami plasty. Po pokovovaném prvku očekáváme, že kovový povlak zůstane na povrchu i při proměnlivých teplotách a vlhkostech. Rozdílná tepelná roztažnost plastů a kovů může vést k narušení přilnavosti a odloupení kovové vrstvy. Tomuto nežádoucímu jevu lze do jisté míry zabránit zdrsněním povrchu plastů, či použitím sorpčního způsobu pokovování apod. [23, 24].

### Technologický postup galvanického pokovování:

- Úprava povrchu – základní vodivá vrstva, kterou jsme na prvku vytvořili musí být dostatečně přilnavá, s dostatečnou tloušťkou a musí vykazovat stejnoměrnou vodivost. Přilnavost je často nejslabším místem, není jednoduché vytvořit dobré spojení plastické hmoty a vodivé vrstvy. Je to problém všech způsobů pokovování a klíčem je vždy důkladné odmaštění. Základní vodivou vrstvou užívanou pro elektrolytické pokovování je často stříbro, dále pak měď a nikl.

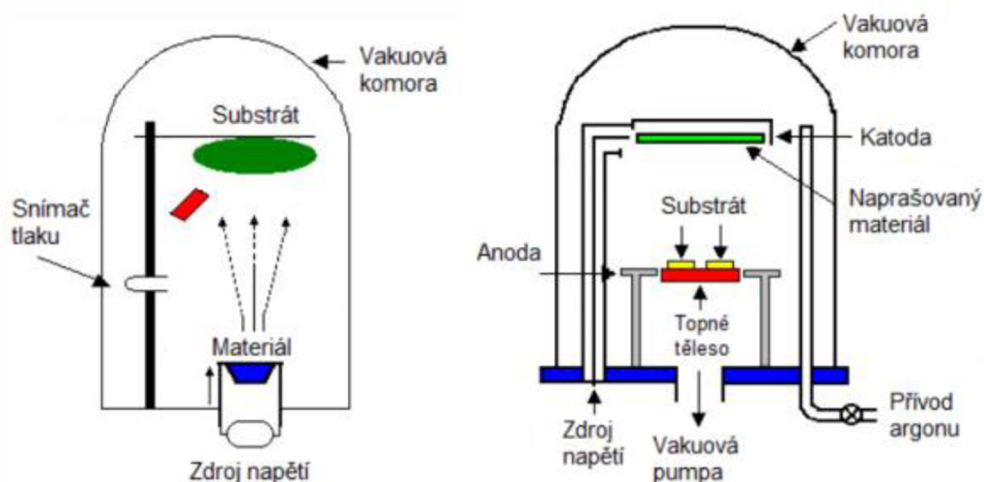
- Elektrolytické vytváření mezivrstvy – vodivý povlak dosahuje tloušťky pouze několik desetin  $\mu\text{m}$ , za mokra ho lze snadno poškodit. Není vhodné hned prvky vkládat do galvanické lázně s běžnou proudovou teplotou a složením, protože by mohl být jejich povrch naleptán či by mohl popraskat. V bezpečnějších podmínkách vytvoříme tzv. mezivrstvu o tloušťce (5 - 10)  $\mu\text{m}$  například z mědi nebo niklu.
- Elektrolytické vytváření konečné vrstvy kovu a jeho

#### 4.4. Fyzikální a fyzikálně - chemické pokovování

Tyto metody pokovování řadíme k modernějším metodám pokovování. Řadíme sem úpravy povrchů plastů napařováním nebo katodovým napařováním požadovaného kovu. Pro další zlepšení vlastností se pak užívají různé další kombinace chemických a fyzikálně - chemických reakcí [23, 24].

Napařování probíhá za tlaků  $10^{-3}$  Pa, do kovu přivádíme takové množství tepla, aby došlo k natavení kovu. Tuhá či kapalná fáze přeměněná na páru se pak na jiném místě kondenzuje na podložce. Vše probíhá ve vakuové komoře, popřípadě je komora vyplněna inertním plynem, aby se zabránilo oxidaci a reakce proběhla v kratším čase. Pro ohřev materiálu se dnes využívá obloukového výboje. Vlastnosti povlaků jsou závislé na výrobních podmínkách a vstupních materiálech. Při napařování ve vakuu získáme ideálně rovnoměrný povlak malé tloušťky a s vysokým leskem. Zdokonalením metody je využití ionizace látky a urychlení ionizovaných částic k povrchu předmětu vložením záporného napětí. Není poté problém vytvářet i povlaky na tvarově komplikovanějších výrobcích [23, 24].

Napařování je souborem chemických reakcí probíhajících v plynné fázi. Za určitého tlaku a současného dodávání energie vznikají na rozhraní plynné a pevné fáze těkavé produkty, ale také dále využitelné pevné látky vhodných vlastností. V závislosti na poměru parciální tlaku reakčních plynů v okolí podložky a rovnovážných parciálních tlaků (tzv. stupni přesycení). Dle teploty pak reakce proběhne homogenně v plynné fázi a vznikne prášek nebo krystalický aglomerát, nebo reakce proběhne heterogenně a na povrchu podložky se vytvoří povlak nebo vrstva sloučeniny. Monokrystalického povlaku dosáhneme při malém přesycení a vysoké teplotě, při klesající teplotě se povlak stane postupně polykrystalický až amorfni. Vlastnosti povlaků jsou odvislé od typu přechodové zóny mezi podložkou a povlakem a od struktury povlaku. Existuje velké množství metod napařování. Pro plasty se využívá metody PVD (physical Vapour Deposition). Při této metodě je třeba zajistit dostatečnou ionizaci par kovu, reaktivního a inertního plynu při pracovní teplotě, rovnoměrné rozdělení iontů v prostoru i na povrchu základního materiálu [23, 24].



Obr. 4.3 Vlevo napařování, vpravo napařování [23]



## 5. VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Plasty jsou zpracovávány řadou nejrůznějších technologií. Daný způsob závisí nejen na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu, ale také na tvaru a funkci výrobku, kterou má hotový výrobek následně splňovat. Jedním ze způsobů, jak rozdělit technologie zpracování plastů, je vztah mezi plastem vstupujícím do procesu a výsledným produktem tohoto výrobního procesu [5]:

- **tvářecí technologie** – sem spadají technologie, při kterých se zásadním způsobem mění tvar výchozího materiálu, jinými slovy dochází k nemalému přemístování částic materiálu. Tvářeni je doprovázeno působením teploty, tlaku nebo obou faktorů současně. Nejznámější je vstřikování, dále vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, nebo vypěňování a další. Výsledkem může být jak konečný produkt, tak i polotovar určený dalšímu zpracování.
- **tvarovací technologie** – u těchto technologií jsou již zpracovávány polotovary a ve hmotě dochází k malému přemístování částic. Může a nemusí se zde uplatňovat vliv zvýšeného tlaku a teploty. Patří sem výroba dutých těles, ohýbání trubek, tvarování desek, spojování a spékání plastů, nebo obrábění plastů.
- **doplňkové technologie** – úprava hmoty před zpracováním (míchání, hnětení, sušení, granulace, předeřev, atd.), nebo naopak úprava finálních výrobků potiskováním, různé nátěry a další. Do této skupiny je také někdy řazena recyklace.

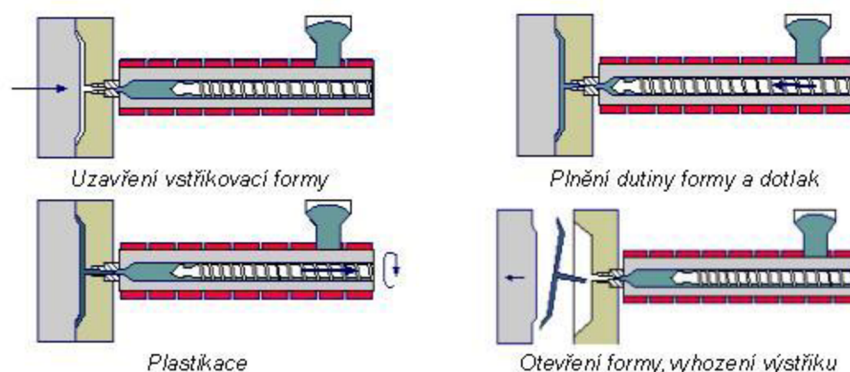
Cesta od surového materiálu, k hotovému výrobku, někde vede přes všechny tři výše uvedené skupiny. Výchozí materiál, tvar a velikost výrobku, tolerance na výrobku, nástroj a stroj jsou nejběžnější faktory ovlivňující volbu nejvhodnější technologie. Volba správného výrobního procesu je velmi důležitá, neboť se podstatně odráží na konečné ceně výrobku a také produktivitě [5].

Zpracovávání plastů probíhá při takových termodynamických podmínkách, které jim umožňují získat žádoucí tvar, současně za předpokladu zachování jejich fyzikálních a mechanických vlastností. Kvůli přesunům hmoty u tvářecích technologií, je nutné u plastu dosáhnout kaučukovitě elastického stavu, nebo viskózně tekutého stavu. Teplota je vyšší, čím větší přesuny hmoty jsou požadovány, ale pouze do výše teploty rozkladu zpracovávaného materiálu [5].

Vstřikování plastů je nejrozšířenější a nejpoužívanější technologií určenou ke zpracování plastů. Je možné ho použít na většinu druhů termoplastů. Reaktoplasty a kaučuky jsou touto technologií zpracovávány jen v omezené míře. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností [5].

Princip spočívá ve vstříknutí předem daného množství zpracovávaného materiálu, velkou rychlostí, do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek a to z pomocné tlakové komory. Tato tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a vstřikovaného materiálu je neustále během cyklu doplňován. Důvody pro které je vstřikování tak oblíbené a hojně využívané, jsou především krátký čas cyklu, možnost výroby složitých součástí s velmi dobrou povrchovou úpravou a dobrými tolerancemi rozměrů. Jednou z největších nevýhod v porovnání s ostatními zpracovatelskými metodami u plastů je vysoká pořizovací cena a dlouhá doba nutná pro výrobu forem, dále potřeba použití strojního zařízení, které je několikanásobně větší v porovnání s vyráběným dílem [5].

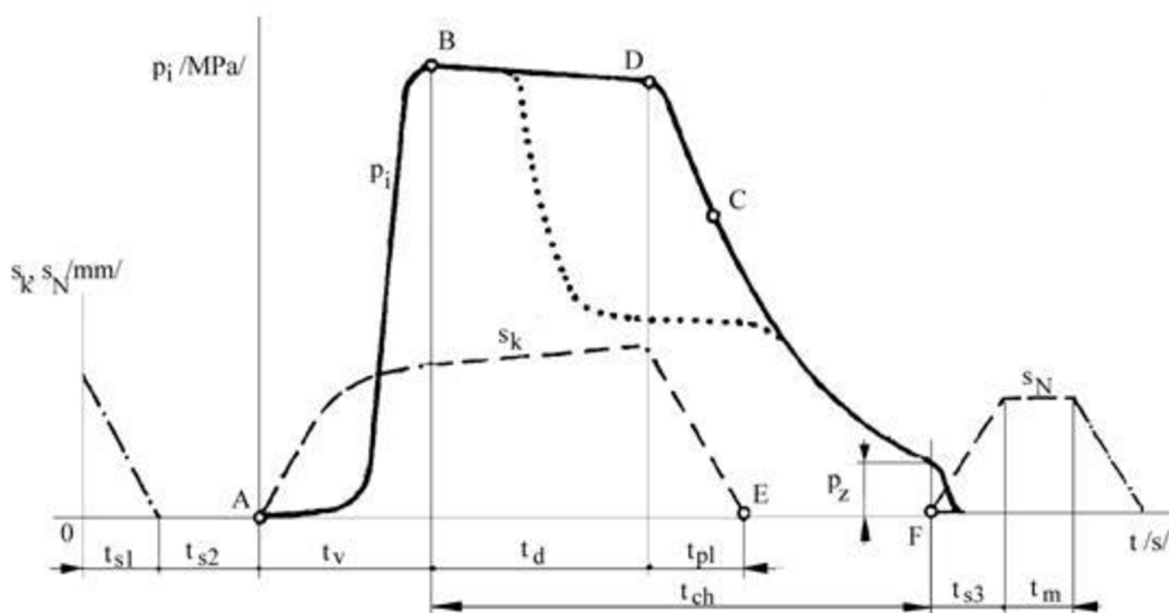
Postup vstřikování plastů je následující: plast ve formě granulí je odebírán z násypky pracovní částí vstřikovacího stroje tj. šnekem, nebo pístem. Za současného působení topení a tření plast v tavicí komoře taje a vzniká tzv. tavenina. Ta je následně vstřikována do dutiny formy, vyplní ji a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze, která zabezpečí snížení rozměrových změn a smrštění. Plast, ve formě taveniny s vysokou teplotou, ochlazuje, kdy teplo přechází do formy, ztuhne v konečný výrobek. Poslední fáze je vyhození, kdy se forma otevře a výrobek je vyhozen z formy a celý cyklus začíná od začátku. Celý proces vstřikování je sled přesně daných, po sobě jdoucích operací, kdy plast prochází teplotním cyklem [5].



Obr. 5.1 Vstřikovací cyklus [5]

## 5.1. Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je často posuzován a formulován jako závislost tlaku v dutině formy na čase, z pohledu zpracovávaného plastu. Tento tlak se označuje  $p_i$  a nazývá se vnitřní tlak. Vnější tlak, označovaný  $p$ , představuje tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku [5].



Obr. 5.2 Průběh vnitřního tlaku během vstřikování,  $s_k$  – pohyb šneku,  $s_n$  – pohyb nástroje [5]

Vstřikovací cyklus začíná otevřenou formou a prázdnou dutinou vstřikovací formy. V čase nula dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, forma se nejprve zavře, tzn., že se pohyblivá část formy přisune k pevné a forma se uzamkne. K přisouvání formy je třeba jen relativně malá přisouvací síla, zatímco uzavírací síla je výrazně vyšší. To je z důvodu zabránění otevření formy při vstřikování vlivem tlaku taveniny. Následný pohyb šneku v tavicí komoře začíná plnit dutinu vstřikovací formy roztavenou hmotou. Šnek se v této fázi neotáčí a slouží pouze jako píst. Tlak dosahuje maximálních hodnot po naplnění dutiny formy taveninou a následném stlačení [5].

Ihned po vstupu do dutiny formy, začíná tavenina chladnout a předávat své teplo vstřikovací formě. Chlazení končí otevřením formy a vyjmutím hotového výlisku. Rozlišujeme dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení závisí na mnoha faktorech, nejvíce na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Rztavená hmota během chladnutí zmenšuje svůj objem a smršťuje se. Aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy, k tomu slouží tzv. dotlak. Ten může být stejně vysoký po celou dobu jako maximální tlak, nebo se může být po několika sekundách snížen a následné chladnutí probíhá již při sníženém tlaku. Z toho důvodu dělíme dotlak na izobarický a izochorický. Před čelem šneku musí zůstat určitý objem plastu, na který bude šnek působit, jinak není dotlačování možné. Z důvodu tepelné degradace hmoty nesmí být tento objem moc velký, nejčastěji méně než jednonásobek průměru šneku [5].

Plastikace nové dávky plastu začíná po dotlaku. Šnek otáčením pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, kterou následně plastifikuje a vtačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu a vzniká tzv. protitlak neboli zpětný tlak, který působí na dobu plastifikace a tím i na kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Plast je během plastifikace ohříván nejen převodem tepla ze stěn válce, ale i třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a také díky hnětací práci šneku, která se mění v teplo. V případě samouzavíratelné trysky, může plastifikace probíhat i při otevřené formě. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku označovaného  $p_z$ . Pod tímto tlakem se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích. U křehkých hmot mohou končit i samovolným praskáním výstřiku. Možností jak omezit zbytkový tlak je zkrácení doby dotlaku, nebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchladnutí výstřiku dojde k otevření formy a výstřik je vyhozen z formy [5].

### **Popis a vliv jednotlivých časů vstřikovacího cyklu**

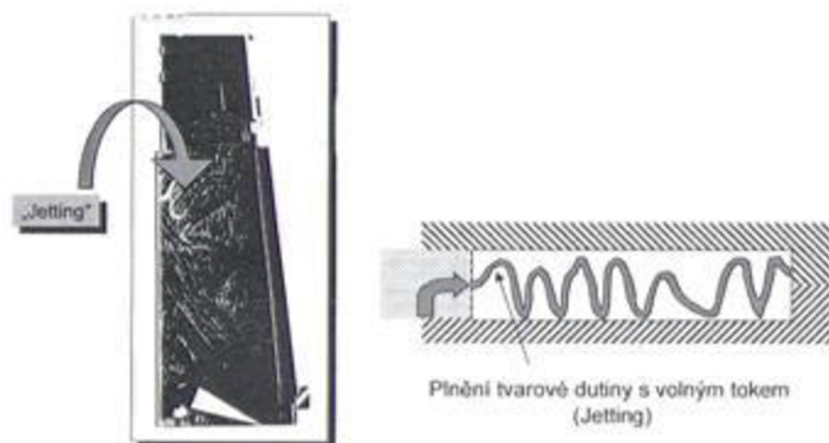
Každý úsek vstřikovacího cyklu má různou dobu trvání a bývá ovlivňován mnoha faktory jako je geometrie výstřiku, technologické podmínky vstřikování a další [5].

### **Strojní časy**

Snahou je minimalizovat strojní časy. Jednou z možností je zvýšení rychlosti pohybující se formy. Moderní stroje nemají rychlost stejnou po celé dráze. U zavírání se forma nejprve pohybuje velkou rychlostí, před dosednutím formy se rychlost sníží, aby nedošlo k poškození formy nárazem a obě části formy na sebe lehce dosedly. Při otevírání formy je také rychlost nejprve vysoká, ale před dojezdem formy na doraz dojde kvůli plynulému vyhození výrobku z formy ke snížení rychlosti. Součet strojních časů  $t_{s1}$ ,  $t_{s2}$ ,  $t_{s3}$  se dnes pohybuje řádově v sekundách. Strojní doby  $t_{s1}$  a  $t_{s3}$  závisí tedy na rychlosti pohybující se formy, ale také na dráze, kterou musí forma urazit. Ta je dána rozměrem výstřiku ve směru otevírání formy. Velikost musí být dostatečná pro vyjmutí výrobku z formy [5].

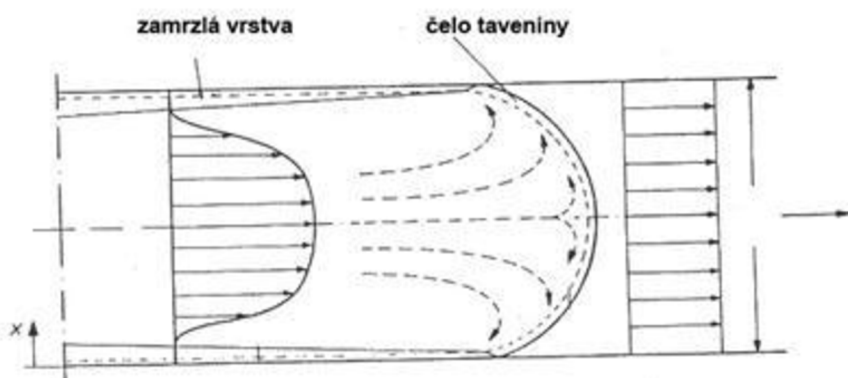
### Doba vstřikování

Čas plnění dutiny formy  $t_v$  je dán rychlostí pohybu šneku, teplotou taveniny a vstřikovacím tlakem  $p$ . Dále také teplotou formy, objemem výstřiku, jeho geometrickým tvarem, vtokovou soustavou a druhem použitého plastu. Vysoká vstřikovací rychlost příznivě ovlivňuje orientaci makromolekul, ale v případě přehřátí dojde k degradaci materiálu. Doba plnění se podle hmotnosti vylisku pohybuje od zlomku sekundy do několika sekund. Vstřikovaná tavenina se stykem s chlazenou formou ochlazuje a ztrácí tekutost. Materiál musí vtékat do formy postupně, aby tavenina nevtékala do formy volným tokem, obr. 5.3 [5].



Obr. 5.3 Plnění volným tokem [5]

Při laminárním toku je teplota formy 3 x nižší, než je teplota taveniny, obr. 5.4. Stykem se stěnou formy tavenina okamžitě tuhne, tvoří vrstvu nepohyblivé hmoty a současně i vrstvu tepelné izolace. Plastické jádro s nízkou viskozitou umožňuje další průtok taveniny do dutiny formy, která se potom roztéká směrem ke stěnám, až do zaplnění tvarové dutiny formy. Zvyšováním viskozity ke stěně formy se zvedá rychlost v plastickém jádru a dochází k zakřivení čela. Tlak klesá směrem ke stěně formy [5].



Obr. 5.4 Laminární tok taveniny plastů [5]

### Doba dotlaku

Naplněním tvarové dutiny formy začíná stlačování hmoty, během něhož prudce stoupne tlak a rychlost naopak náhle klesne. Pro zamezení vzniku tlakové špičky, zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku, k vysokému namáhání formy, které by mohlo skončit až jejím prohnutím, tzv. dýchnutím, je nutné včas snížit vstřikovací tlak a přepnout na tzv. dotlak. Impulsem

prodotlak je dráha šneku, vstřikovací čas, tlak ve formě anebo tlak v hydraulice. Doba dotlaku  $t_d$  ovlivňuje především průřez vtokového kanálu a trvá od několika sekund do desítek sekund. Smyslem dotlaku je kompenzace smrštění během chladnutí dodávkou materiálu do formy, jinak by mohlo dojít ke vzniku propadlin a staženin. Průběh dotlaku lze u většiny dnešních lisů optimalizovat [5].

### **Doba plastikace**

Doba plastikace  $t_{pl}$  je čas potřebný k zplastikování dávky plastu, rovnoměrnému zhomogenizování a umístění dávky před čelo šneku. Velikost zplastikované dávky musí naplnit tvarovou dutinu formy a vtokového systému, zároveň také kompenzovat změnu objemu, která nastane důsledkem smrštění. Roztavení jedné dávky obstarává asi z 66 % tření hmoty při hnětení a zbytek zajistí teplo z elektrického odporového topení [5].

### **Doba chlazení**

Doba chlazení  $t_{ch}$  je časově nejnáročnější část cyklu, začíná na několika sekundách u tenkostěnných výstřiků a může dosáhnout i několika minut u výlisků tlustostěnných. Účinným chlazením formy se zkracuje na minimum. Samotné chladnutí začíná již během fáze vstřikování a následného dotlaku. Během chladnutí se mění hodnoty stavových veličin, jako tlaku, měrného objemu a teploty. Průběh chladnutí se podepisuje na struktuře, tj. orientaci, krystalizaci, vnitřním pnutím, ale také na kvalitě povrchu, zejména pak lesku výlisku [5].

### **Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku**

O mechanických a fyzikálních vlastnostech výstřiku a o jeho kvalitě rozhoduje druh plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje. Jednotlivé parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem. Z hlediska volby druhu plastu má na vlastnosti výstřiku vliv [5]:

- rychlost plastikace polymeru, která by měla být co nejkratší
- tekutost (reologické vlastnosti) plastu, která má být dostatečná a nesmí se měnit příliš rychle s teplotou
- dostatečná tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot
- uvolňování těkavých látek
- co nejnižší velikost vnitřního pnutí
- smrštění plastu

Z technologických parametrů jsou to:

- vstřikovací tlak, který ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, vnitřní pnutí, smrštění, orientaci makromolekul a atd.
- teplota taveniny ovlivňující (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smrštění, tlakové ztráty, dotlak, atd.)
- teplota formy (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a na charakteru výrobku, ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění, atd. – z technologického hlediska má být co nejvyšší, hlavně u semikrystalických plastů),
- rychlost plnění dutiny formy má být co nejvyšší, je však nutné kontrolovat teplotu taveniny, aby nedošlo k degradaci hmoty, nevýhodou je i vysoká orientace makromolekul,
- výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí).

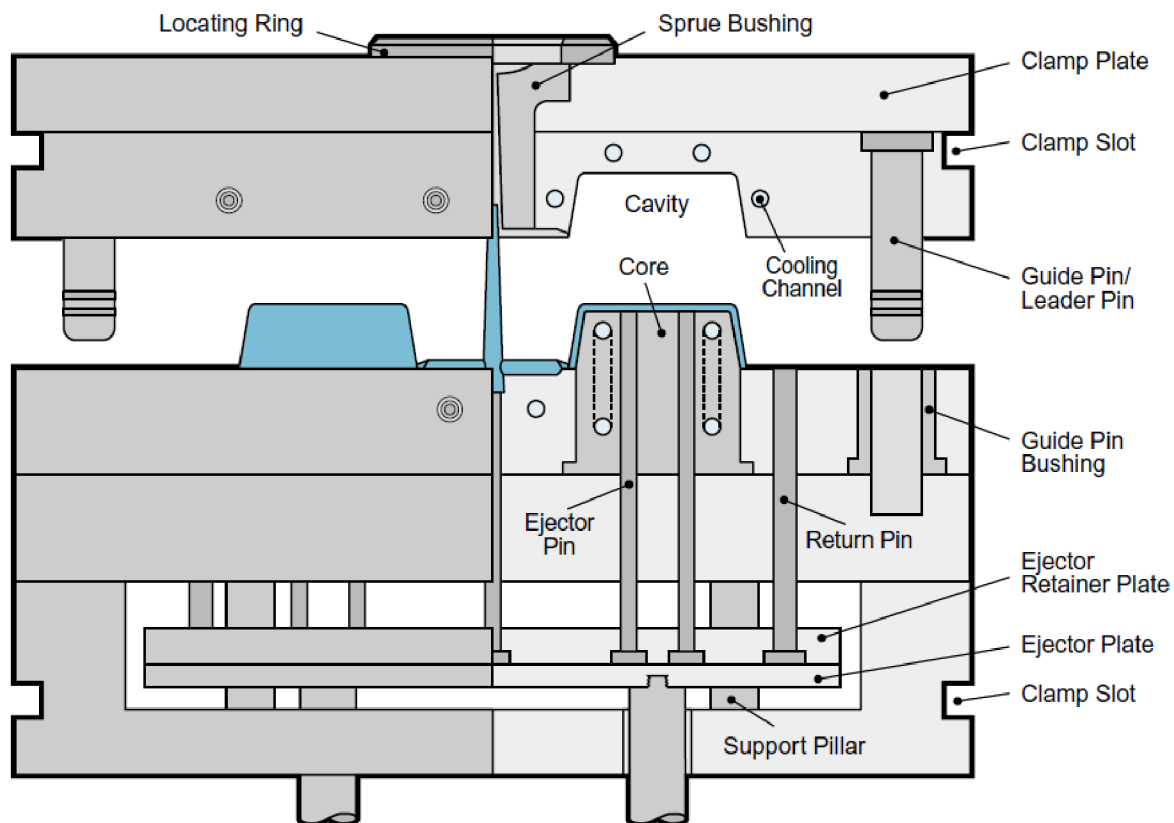
## 6. VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je dělicí rovinou rozdělena do dvou částí, pevné a pohyblivé. Pevná část formy slouží k plnění tvarové dutiny roztaveným plastem, pohyblivá část zajišťuje následné vyhození vylisku z formy. Každá vstřikovací forma se skládá z několika základních stavebních prvků: upínací desky, tvarové desky, tvarové vložky (matrice a razník), vyhazovací desky, vedení, vyhazování, vtoková vložka a středící kruh, viz. obrázek 6.1. Pro tyto díly jsou s oblibou používány tzv. normálie. Díky stavebnicovému systému je možné získat formu odpovídající potřebám vylisku. Nejrozšířenější jsou normálie od firem Hasco, DME, Meusburger, Strack, Steinel, DME a Fodesco. Pro konstrukci forem se již mnoho let používá téměř výhradně počítačů a CAD/CAM/CAE software. Mezi nejznámější patří Catia, ProEngineer, Unigraphics, Solidworks, Inventor, Cadmould, Powermill a další.

Materiál pro výrobu forem je dán požadovou životností, tedy počtem výstřiků. Pro malé a prototypové série, do 10 000 vylisků, se formy vyrábí z hliníku. Vyšší počty kusů jsou pak vyráběny ve formách z oceli. V případě obrovských serií, je ocel, především u tvarových částí ještě následně upravena pro větší odolnost. K výrobě forem se využívá technologie třískového obrábění, broušení, elektroerozivního drátového řezání a elektroerozivního jiskření. Jiskří se tvarové části formy a to grafitovými, nebo měděnými elektrodami.

### **Konstrukce formy má následující posloupnost:**

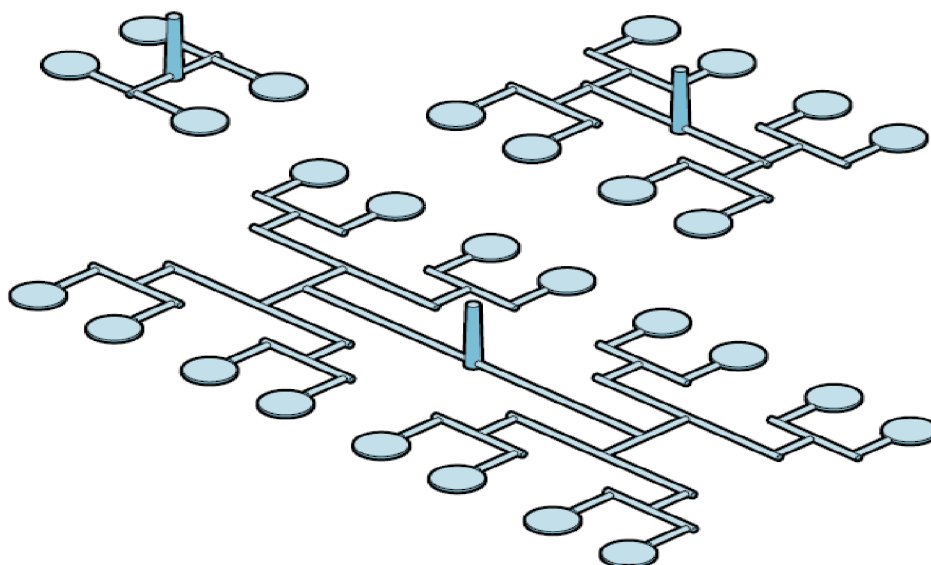
- kontrola dat, případně převod do kompatibilního CAD formátu
- kontrola odformovatelnosti vylisku
- definování dělicích křivek, určení pevné a pohyblivé strany formy
- aplikace smrštění vylisku
- vtoky, jejich typ, počet a pozice ve formě
- určení velikosti rámu, tvarových vložek, tahačů a atd.
- chlazení
- vyhazovače, počet a pozice v závislosti na tvaru vylisku
- definice středících elementů, dle tvaru vylisku velikosti formy
- tvorba výkresové dokumentace a výroba samotné formy



Obr. 6.1 Forma a její základní části [17]

## 6.1. Násobnost formy

Jedná se o údaj určující počet vylisků vytvořených během jednomu cyklu. Pro velké, přesné, nebo tvarově složité se volí násobnost jedna. U menších dílů spotřebního rázu, kde se vyrábí miliony kusů, např. víčka na plastové lahve, může být násobnost i 96. Nejběžnější jsou násobnosti: 1, 2, 4, 8, 16, 32, atd.. V případě vylisku, který má levou a pravou variantu, se můžeme setkat s násobnosti 1+1, kdy se levá i pravá varianta vyrábí v jedné formě [14].



Obr. 6.2 Příkladů násobnosti formy [17]

Násobnost formy může určovat:

### Vstřikovací kapacita lisu

$$n = \frac{0,8 \cdot M_c}{M \cdot A} [-] \quad (6.1)$$

kde:

$M_c$  - vstřikovací kapacita [g]

$M$  - hmotnost výstřiku [g]

$A$  - koeficient vtokového zbytku (1.05-2)

### Plastikační výkon lisu

$$n = \frac{0,8 \cdot Q_p \cdot 1000 \cdot t_c}{A_v \cdot G \cdot 3600} [-] \quad (6.2)$$

kde:

$Q_p$  - plastikační výkon [ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$t_c$  - doba cyklu [s]

$A_v$  - koeficient vtokového zbytku (1.05-2)

$G$  - hmotnost výstřiku [g]

### Uzavírací síla lisu

$$n = \frac{0,8 \cdot F}{S \cdot p_v} [-] \quad (6.3)$$

kde:

$F$  - uzavírací síla stroje [MN]

$S$  - plocha dutin a kanálův dělicí rovině kolmá na směr uzavírací síly [ $\text{m}^2$ ]

$p_v$  - vstřikovací tlak [MPa]

### Termínová násobnost

$$n = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} [-] \quad (6.4)$$

kde:

$N$  - celková požadovaná produkce [ks]

$t_c$  - celková doba cyklu [s]

$T_p$  - doba produkce [hod]

$K$  - koeficient využití času [0.7 – 0.9]

### Optimální násobnost formy

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{N_f \cdot t_c \cdot K_p}{K_{af} \cdot 3600}} [-] \quad (6.5)$$

kde:

$K_p$  - provozní náklady formy [Kč]

$t_c$  - doba cyklu [s]

$N_f$  - celková produkce životnosti formy [ks]

$K_{af}$  - míra amortizace formy

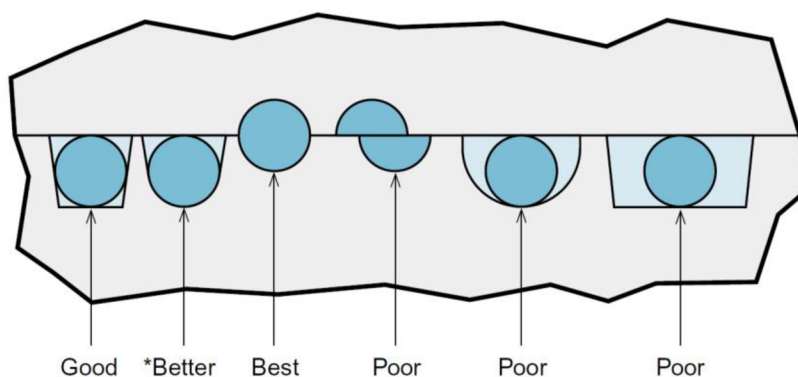


## 6.2. Vtokový systém

Vtoková soustava zajišťuje přesun taveniny z plastifikační komory do dutiny formy. Je ovlivňována počtem a pozicemi tvarových dutin, materiálem plastu a také zda bude studená, nebo budou použity horké trysky [16, 19].

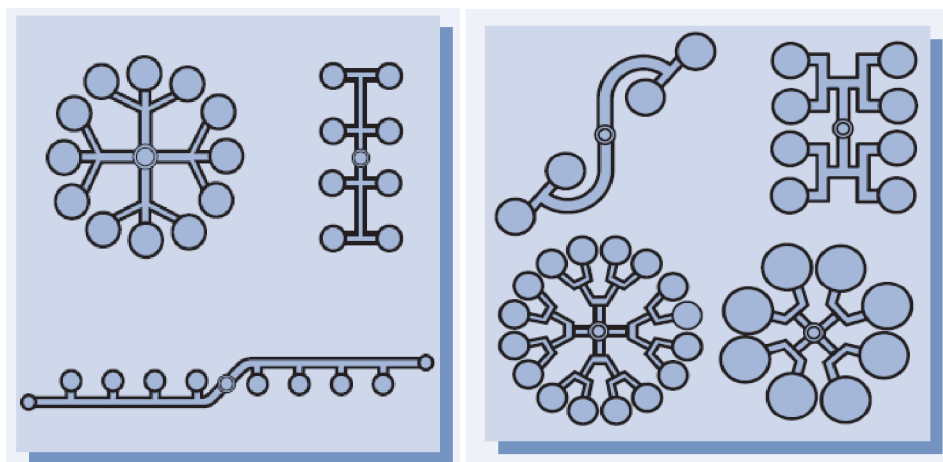
### 6.2.1. Rozváděcí kanály

Navrhují se, aby poměr obvodu kanálu k ploše kanálu, byl co nejmenší. Tím je zaručen nízký hydraulický odpor při průtoku taveniny kanálem [16, 19].



Obr. 6.3 Běžně používaná tvary rozváděcích kanálů [17]

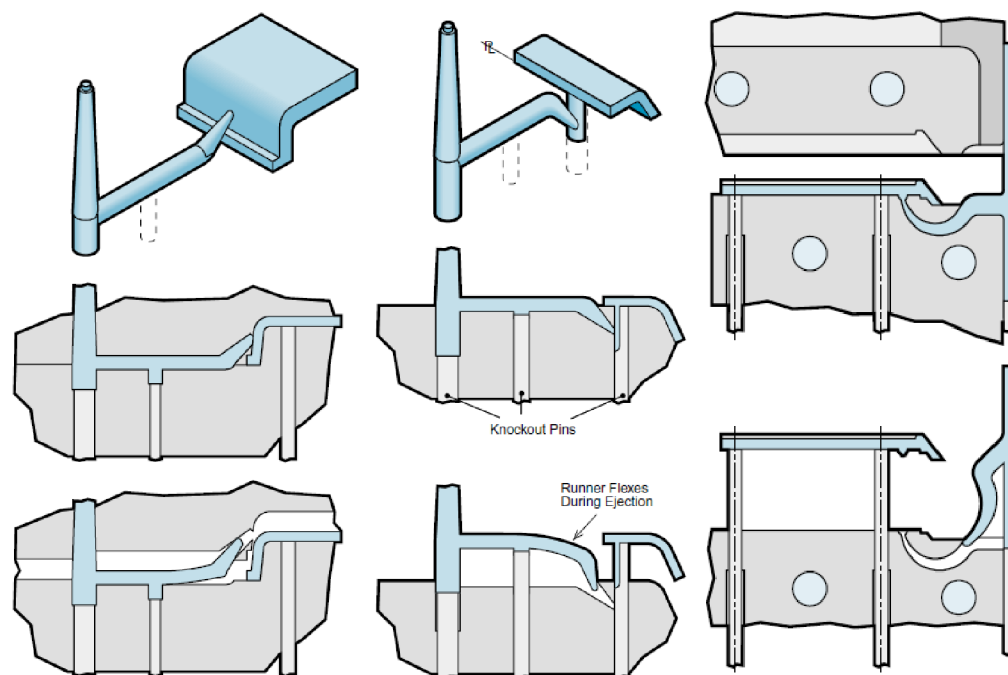
U vícenásobných forem mají být kanály co nejkratší, nejlépe stejně dlouhé pro všechny dutiny. Cílem jsou stejné tlakové podmínky, nutné především u výlisků rozměrově přesných. Při malých výliscích a velkých násobnostech forem tak vzniká velký odpad právě z rozvodných kanálů [16, 19].



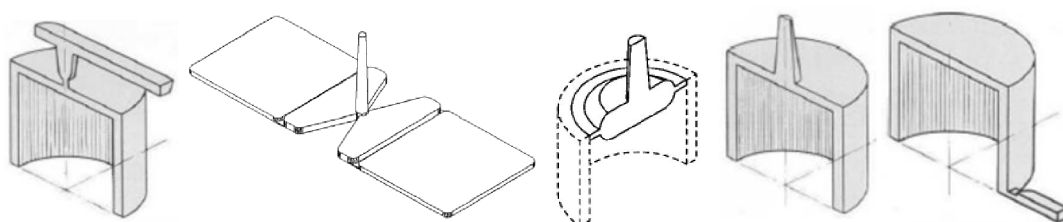
Obr. 6.4 Rozváděcí kanály, špatně a dobře vybalancované [18]

### 6.4.2. Ústí vtoku

Vtok bývá směřován do nejtlustší stěny výlisku, ovlivňuje orientaci makromolekul, musí zabránit studeným spojům a být snadno oddělitelný od výstřiku. Velikost ústí vtoku má vliv na působení dotlaku, mělo by umožňovat jeho působení po maximální možnou dobu a omezit tak objemové kontrakce. Nejpoužívanější je tunelový a obloukový tunelový, někdy nazýván banánový vtok, obr. 6.5. Pro zvláštní případy se užívá bodový, kuželový, boční, talířový a např. filmový vtok, obr. 6.6 [16, 19].



Obr. 6.5 Tunelový a banánový vtok [17]



Obr. 6.6 Vtok bodový, filmový, taliřový, kuželový a boční [19]

### 6.4.3. Horké trysky

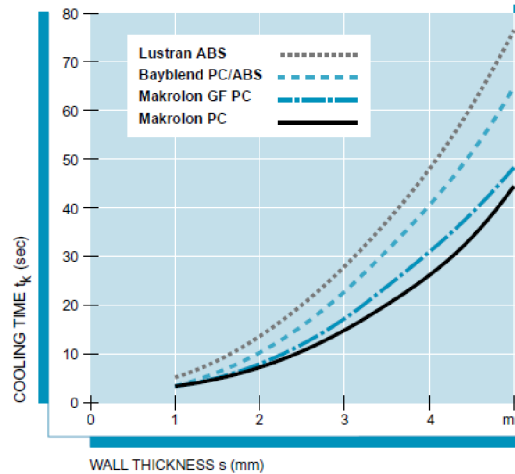
Horké trysky jsou sice cenově náročnější, ale na druhé straně zkracují dobu vstřikovacího cyklu, snižují tlakové ztráty a spotřebu materiálu. Mají vlastní regulaci teploty, jsou snadno vyměnitelné v případě poškození vtokového systému, odpadá odstraňování vtokových zbytků. Horké trysky nabízí spousta firem, jako Hasco, Synventive, Mold-masters, PSG, Incoe a mnoho dalších obr. 6.7 [16, 19].



Obr. 6.7 Horká tryska [20]

### 6.3. Temperace formy

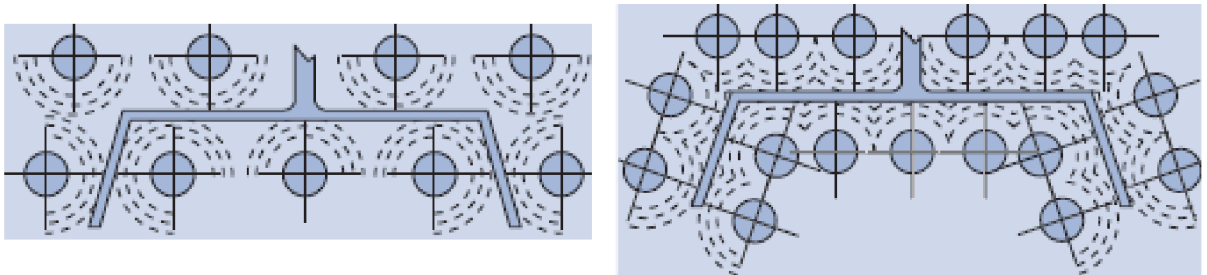
Tavenina, která plní dutinu formy, je zde ochlazována na vyhazovací teplotu. Nejprve se forma ohřeje na požadovanou teplotu, stejnou během celého vstřikování. Teplo následně přivedené taveninou, je nutné odvést, pokud možno v nejkratším čase. Temperační systém formy proto ovlivňuje kvalitu výlisku a zajišťuje jeho optimální tuhnutí [21].



Obr. 6.8 Přibližná doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny [17]

#### Chlazení vodou

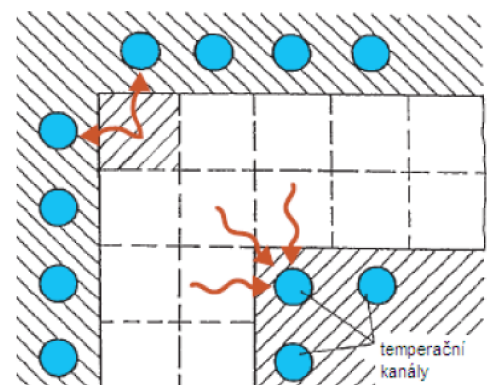
Kanály s cirkulující vodou jsou nejpoužívanějším způsobem chlazení forem. Voda má lepší tepelné vlastnosti než olej, je levná, ekologicky nezávadná, nehořlavá a dosahuje vyššího specifického výkonu než olej. Nevýhodou je nejednotné složení vody, které může způsobovat vodní kámen, nebo naopak korozi temperačních kanálů [21].



Obr. 6.9 Rozmístění temperačních kanálů, vlevo špatné, vpravo vhodné [18]

Při návrhu chlazení je potřeba dodržovat následující pravidla:

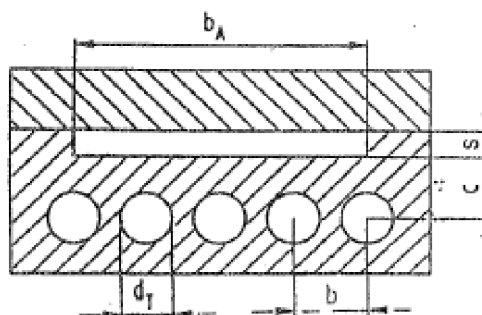
- vodu přivádět do nejtlustšího místa, aby se ve směru toku zmenšoval teplotní rozdíl
- umístit tak, aby se výlisek chladil rovnoměrně
- velikost průtočného průřezu nesmí narušit pevnost součásti
- co nejblíže k tvarové dutině formy
- vyvarovat se mrtvým koutům, kde se usazují nečistoty, které jsou počátkem koroze



Obr. 6.10 Chlazení rohu [21]

Tab. 6.2 a obr. 6.11 Hodnoty temperančních kanálů dle tloušťky stěny vylisku [15]

Tloušťka stěny [mm]	c [mm]	b [mm]	$d_T$ [mm]
0 – 1	10 – 14	10 – 12	5 – 6
1 – 2	10 – 20	12 – 16	6 – 8
2 – 4	20 – 25	16 – 22	8 – 10
4 – 6	25 – 32	22 – 28	10 – 12
6 – 8	32 – 42	28 – 36	12 – 16
8 – 12	42 – 55	36 – 50	16 – 20

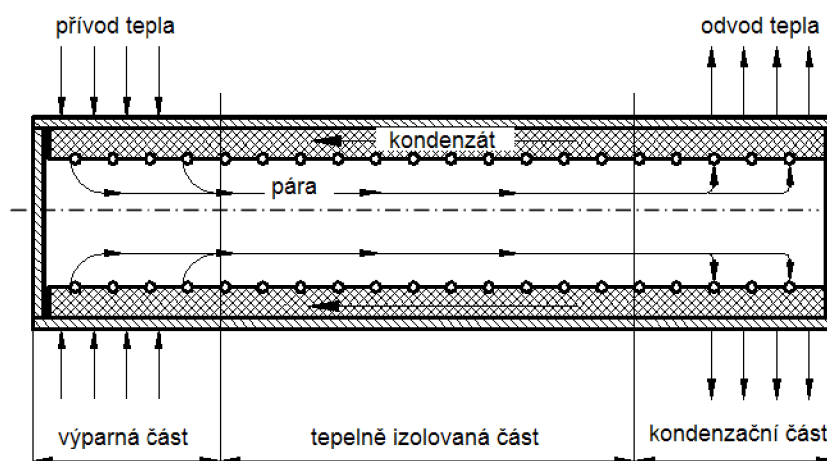


### Vysoce tepelně vodivé materiály

Nacházejí uplatnění při výrobě členitých výrobků. Jsou to slitiny Cu, Be, Co. Zlepšují odvod tepla z nástroje, snižují rozdíl teplot ve formě, umožňují zatečení taveniny v méně dostupných místech a ovlivňují strukturu vylisku.

### Tepelné trubice

Tepelná trubice je součást válcového, nebo kuželového tvaru, průměru 3 mm až 16 mm a délky 50 mm až 300 mm. Plášť je tvořen z hliníku, mědi nebo oceli. Jako teplonosné médium slouží čpavek, freon, metylalkohol, nebo voda. Jejich pracovní rozsah se pohybuje v rozmezí  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Princip popisuje obr. 6.12.

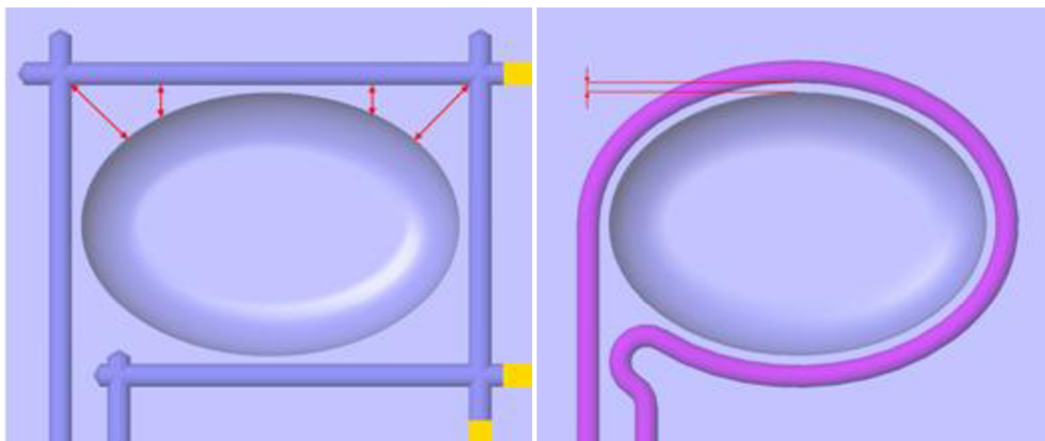


Obr. 6.12 Princip tepelné trubice [21]

### Konformní chlazení

Chladicí okruh, který kopíruje povrchový tvar vylisku v nejkratší možné vzdálenosti od stěny vylisku. Výrobní technologií je DMLS - Direct Metal Laser Sintering. Je možné jej aplikovat

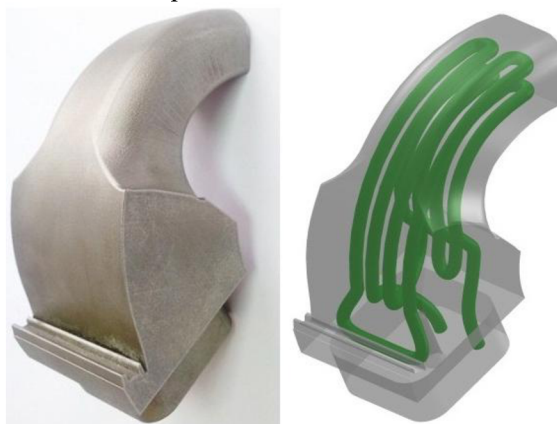
do nových forem, nebo při opravě formy. Chladicí kanály konformního chlazení lze ošetřit antikorozií povrchovou úpravou [22].



Obr. 6.13 Klasický vrtaný chladicí okruh a konformní chlazení [22]

Přínos Konformního chlazení:

- snížení chladicího cyklu až o 50 %
- snížení deformací výlisku
- homogenní odvod tepla z dutiny formy
- optimalizace chladicího okruhu dle výlisku ne dle výrobních možností
- absolutní volnost při návrhu tvaru a průběhu chladicího okruhu

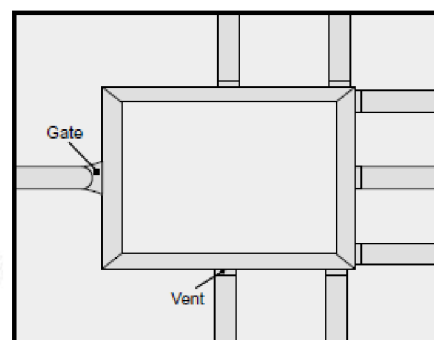
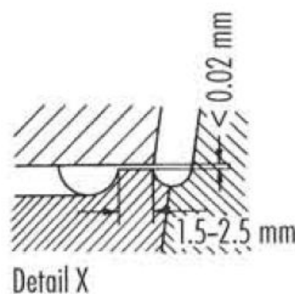
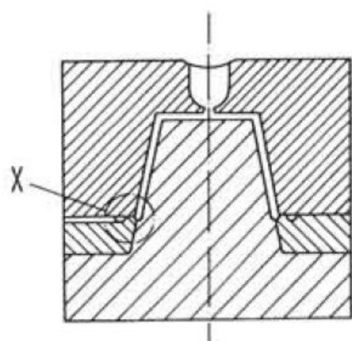


Obr. 6.14 Příklad aplikace konformní chlazení [22]

#### 6.4. Odvzdušnění formy

Během plnění formy roztaveným plastem musí být zajištěn dostatečný odvod vzduchu z dutiny formy. V případě špatného odvzdušnění vznikají ve výlisku bubliny, nebo dojde k jeho spálení, tzv. Dieselův efekt. Větší rychlost plnění znamená účinnější odvzdušnění. Zejména pro tenkostěnné výlisky je rychlost plnění kritická, může docházet k zamrznání čela taveniny. Některé tenkostěnné výlisky s výrobním cyklem 2 s až 4 s, mají odvzdušněnou celou horní plochu výlisku. Při vstřikování silikonových elastomerů je dutina formy běžně odvakuována [21].



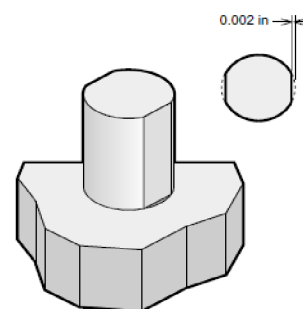


Obr. 6.13 Umístění a tvar odvzdušnění [23]

Obr. 6.14 Umístění odvzdušnění [17]

### Místa odvzdušnění

U jednoduchých výlisků se spoléhá na zkušenosti konstruktéra. Odvzdušnění se udělá spíše menší a po prvním zkoušení formy se případně zvětší. V případě tvarově složitých výlisků, navíc v kombinaci s několika vtoky, je nutné zajistit analýzu plnění příslušným CAE softwarem. Odvzdušňovací kanálky samozřejmě nesmí způsobovat přetoky na výlisku. Příklady umístění a tvaru odvzdušňovacích kanálků znázorňuje obr. 6.13 a obr. 6.14, možnost odvzdušnění vyhazováků pak obr. 6.15 [21].



Obr. 6.15 Odvzdušnění vyhazováků [17]

Na základě praxe byly získány přibližné hloubky odvzdušňovacích kanálků pro různé materiály:

- PBT a PA – do 0.03 mm
- PE, PP, POM a PO – do 0.04 mm
- PS, PC a PMMA – do 0.05 mm
- Plasty plněné sklem – 0.03 mm až 0.05 mm

Šířka odvzdušňovacích kanálků je 3 mm až 6 mm, dle materiálu.

## 6.5. Simulace vstřikování plastů

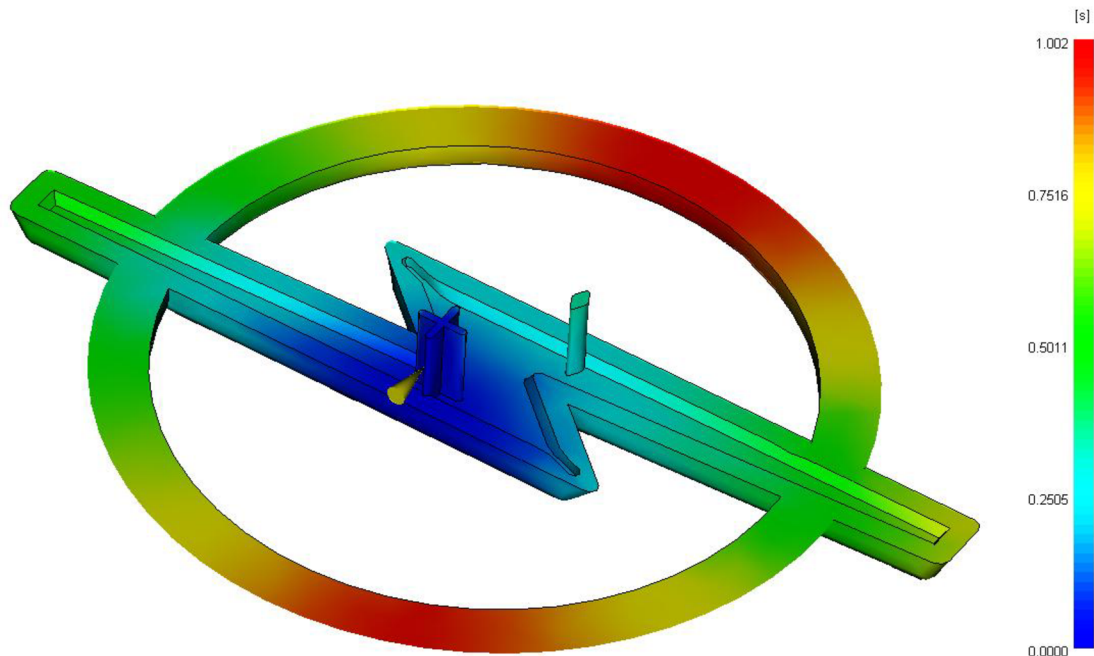
V poslední době jsou nové výrobky uváděny na trh v kratších a kratších intervalech. Pro výrobce to ale znamená méně času na design dílu, návrh, výrobu a zkoušení formy. Zároveň je kladen důraz na cenu a vysokou kvalitu, proto dochází k častějšímu nasazování CAE softwaru. Mezi takové programy patří Moldflow, Moldex3D, Cadmould, SolidWorks Plastics a mnoho dalších.

Získáme tak analýzy:

### Plnění

- predikce slabých míst v konstrukci dílu a formy

- návrh optimální polohy vtoku - minimalizace zamrzání taveniny a uzavírání vzduchu ve stěně dílu
- optimalizace polohy studených spoju - zlepšení pevnosti a vzhledu dílu
- odhalení míst s uzavíráním vzduchu - optimalizace odvzdušnění formy (odstranění Diesel efektu)
- orientace vláken a její vliv na finální tvar a vlastnosti dílu
- přehřívání materiálu vlivem smykového namáhání - prevence degradace materiálu



Obr. 6.16 Čas plnění

### Dotlak

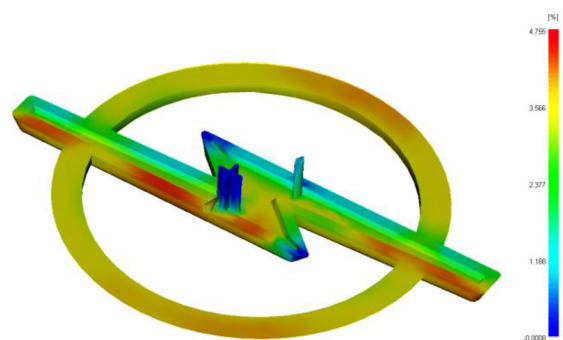
- proverení designu vtokové soustavy a polohy vtokového ústí
- návrh optimální doby a velikosti dotlaku - prevence vzniku lunkru a povrchových vad, snížení deformací

### Chlazení

- optimalizace chlazení
- vyhodnocení efektivity jednotlivých chladících kanálů
- návrh úpravy formy pomocí tepelně vodivých vložek
- možnost simulace technologie Heat and Cool

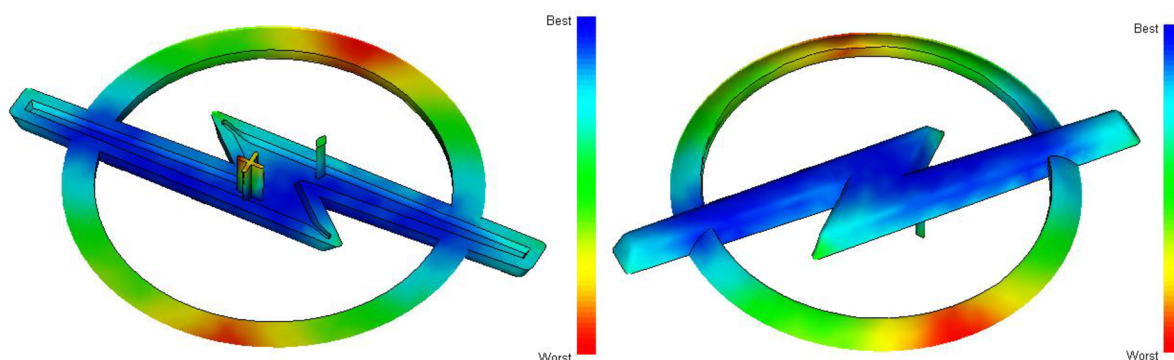
### Deformace

- určení deformace dílu před výrobou
- analýza příčin deformace - optimalizace konstrukčních, materiálových a výrobních podmínek
- export deformovaného dílu do CAD softwaru
- animace deformace dílu



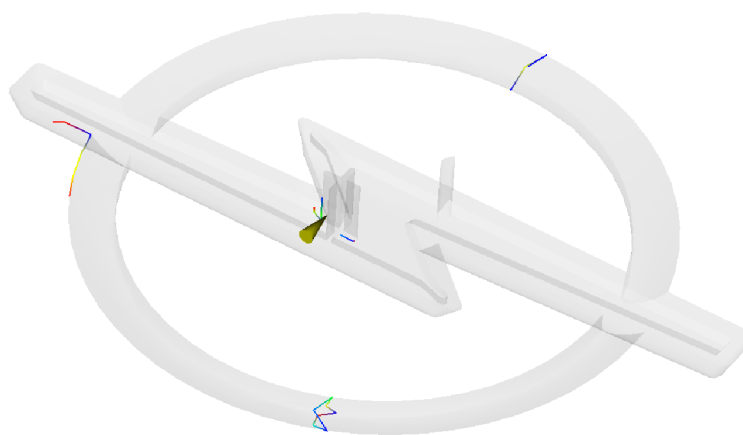
Obr.6.17 Vtažení

Tyto programy mohou být použity konstruktéry, již při samotném designu plastového dílu. Umožňují tak odstranění případných problémů, např. studené spoje na nežádoucích místech, propady, nedotečení materiálu atd., již ve fázi vývoje výrobku.



*Obr. 6.18 Vhodné umístění vtoku*

Především u tvarově složitých dílu, navíc s proměnlivou tloušťkou stěny je proces tečení taveniny ve formě velmi komplikovaný a složitý jev. Nelze se proto spoléhat pouze na znalosti konstruktéra forem a je téměř nutností využití některého ze simulačních programů. Lze tak optimalizovat proces vstřikování dílu, délku cyklu, identifikovat a odstranit případné potíže, ještě před samotným vyrobením formy a předejít tak finančně náročným opravám hotové formy. Většina programů umožňuje simulaci celé soustavy formy. Obrázky 6.16 až 6.19 ukazují výsledky analýz pro emblém.



*Obr. 6.19 Studené spoje*



## 7. VSTŘIKOVACÍ FORMA PRO EMBLÉM

### 7.1. Volba materiálu

Nejvhodnějším materiálem pro naši aplikaci je materiál z široké skupiny ABS. Patří totiž mezi běžně používané, cenově dostupné a především je lze výborně pokovovat. Zástupcem jsou materiály firmy BASF, Terluran® GP-35 a Terluran® GP-22. Z tabulky 7.1 je vidět, že oba plasty mají téměř totožné základní mechanické i procesní vlastnosti. Jediným větším rozdílem je tok taveniny dle ISO 1133, kde Terluran® GP-35 dosahuje lepších hodnot [10].

Tab. 7.1 Základní vlastnosti materiálů Terluran® GP-22 a GP-35 [10]

	Terluran® GP-22	Terluran® GP-35
<b>Hustota [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1.04	1.04
<b>E - Modul pružnosti v tahu [Mpa]</b>	2300	2300
<b>Tok taveniny ISO 1133 [cm<sup>3</sup> · 10min<sup>-1</sup>]</b>	19	34
<b>Smrštění [%]</b>	0.4 – 0.7	0.4 – 0.7
<b>Teplota taveniny [°C]</b>	220 - 260	220 - 260
<b>Teplota formy [°C]</b>	30 - 60	30 - 60

Vybrán byl Terluran® GP-35, který je určený pro následné pokovování a pro stejnou aplikaci jej používá i firma Škoda u svých automobilů, jak znázorňuje obr. 7.1.



Obr. 7.1 Ukázka užití materiálu Terluran® GP-35, mřížka i pokovený emblém [10]

### 7.2. Základní technologické výpočty

#### Fyzikální vlastnosti dle CAD aplikace

hmotnost výlisku = 3.09 g

objem výlisku = 2 973 mm<sup>3</sup> = 2.973 cm<sup>3</sup>

plocha průmětu výlisku do dělicí roviny = 1 295 mm<sup>2</sup>

#### Stanovení praktické násobnosti

Praktická násobnost je dána z grafu závislosti  $n_p = f[N]$ , viz příloha. Sérii  $N = 500\,000$  ks odpovídá násobnost  $n_p = 4$ .

### 7.2.1. Stanovení průměru rozváděcích kanálků a dráhy toku taveniny

Průměr rozváděcích kanálku získáme ze vztahu:

$$D_K = D' \cdot K_1 \cdot K_2 [\text{mm}] \quad (7.1)$$

kde:

$D'$  – průměr z tabulky 7.2.

$K_1$  – koeficient tekutosti materiálu, pro ABS, PE, PA, PS a PP se  $K_1 = 1$

$K_2$  – koeficient délky rozváděcího kanálku, tabulka 7.3.

$$D_K = 3.56 \cdot 1 \cdot 1 = 3.56 \text{ mm}$$

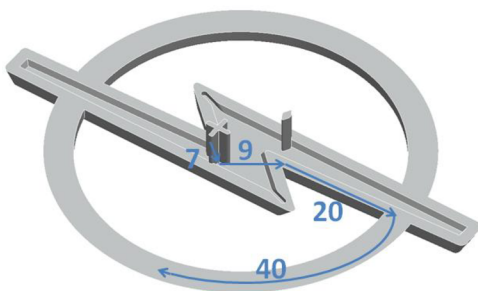
Tab. 7.2  $D' f(G,s)$ , Průměr  $D'$  v závislosti na hmotnosti a tloušťce stěny výstřiku [23]

$G$ – hmotnost výstřiku [g]	$s$ – tloušťka stěny výstřiku [mm]						
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
0	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
0 - 10	2.55	3.06	3.56	4.05	4.55	5.04	5.54
10 - 16	2.59	3.09	3.59	4.09	4.57	5.06	5.56
16 - 25	2.63	3.14	3.64	4.13	4.62	5.1	5.59
25 - 40	2.72	3.22	3.73	4.21	4.69	5.16	5.64
40 - 63	2.84	3.35	3.86	4.34	4.79	5.25	5.72
63 - 100	3.04	3.55	4.08	4.53	4.96	5.4	5.85

Tab. 7.3 Koeficient délky rozváděcího kanálku  $K_2$  [23]

Délka kanálku $L$ [mm]	$K_2$	Délka kanálku $L$ [mm]	$K_2$
0 - 20	1	100 - 150	1.2
20 - 40	1.04	150 - 200	1.29
40 - 70	1.08	200 - 250	1.39
70 - 100	1.12	250 - 300	1.51

#### Délka dráhy toku taveniny



Dráha toku taveniny:

$$f = 7 + 9 + 20 + 40 = 76 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Obr. 7.2 Délka toku taveniny

Stanovení maximální vypočtové délky toku taveniny:

$$L = m_t \cdot s^{n_t} [\text{mm}] \quad (7.3)$$

kde:

$m_t$  – koeficient dráhy toku taveniny plastu, pro ABS  $m_t = 90$

$s$  – průměrná tloušťka stěny plastového dílce [mm]

$n_t$  – exponent dráhy toku taveniny plastu, pro ABS  $n_t = 1.73$

$$L = 90 \cdot 2^{1.73} = 298.555 \cong 299 \text{ mm}$$

Pro zaplnění dutiny formy musí být splněna podmínka:

$$L > f \quad (7.4)$$

$$299 > 76 \text{ mm, podmínka je splněna}$$

### 7.2.2. Minimální plnicí tlak

Minimální plnicí tlak je dán vztahem:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f \cdot s^{-1.6} [\text{MPa}] \quad (7.5)$$

kde:

$K_f$  – faktor schopnosti tečení taveniny plastu, pro ABS  $K_f = 0.23 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^{-1}$

$s$  – průměrná tloušťka stěny plastového dílce [mm]

$n_t$  – exponent dráhy toku taveniny plastu, pro ABS  $n_t = 1.73$

$$p_f = 3 \cdot 0.23 \cdot 76 \cdot 2^{-1.6} = 17.298 \cong 17.3 \text{ MPa}$$

Musí platit:

$$p_v > p_f \quad (7.6)$$

kde:

$p_v$  – doporučený vstřikovací tlak, pro ABS  $p_v = 65 \text{ MPa}$  až  $155 \text{ MPa}$

$$65 \text{ MPa} > 17.3 \text{ MPa, podmínka splněna}$$

### 7.2.3. Výpočet předběžného vstřikovaného objemu

Předběžný vstřikovaný objem získáme ze vztahu:

$$V_D = n_p \cdot (V + V_K) + 2 \text{ až } 3 [\text{cm}^3] \quad (7.7)$$

kde:

$n_p$  – praktická násobnost

$V$  – objem vylisku [ $\text{cm}^3$ ]

$V_K$  – předběžný objem rozváděcího kanálku [ $\text{cm}^3$ ]

$$V_D = 4 \cdot (2.973 + 1) + 2 = 17.892 \cong 17.9 \text{ cm}^3$$

### 7.2.4. Výpočet času cyklu

**Výpočet času chlazení vylisku v dutině formy**

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) [s] \quad (7.8)$$

kde:

$s$  – průměrná tloušťka stěny plastového dílce [mm]

$a_{eff}$  – měrná tepelná vodivost použitého plastu [ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ], pro ABS  $0.08 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$T_M$  – teplota taveniny plastu [ $^{\circ}\text{C}$ ], pro ABS  $240 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_W$  – teplota formy [ $^{\circ}\text{C}$ ], pro ABS  $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_E$  – střední vyhadzovací teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ], pro ABS  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$t_k = \frac{2^2}{\pi^2 \cdot 0.08} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{240 - 45}{80 - 45} \right) = 7.63 \cong 7.7 \text{ s}$$

### Čas vstřikování plastu

Dobu vstřikování  $t_v$  můžeme určit z příslušných tabulek, jako je tab. 7.2, nebo spočítat pomocí vzorce 7.9.

$$t_v = 0.04 \cdot V_d^{0,834} \log\left(\frac{\eta}{10}\right) \text{ [s]} \quad (7.9)$$

kde:

$\eta$  – viskozita při smykové rychlosti  $1000 \text{ s}^{-1}$  [Pa · s]

Tab. 7.4 Hodnoty vstřikovacích času, dle objemu a viskozitě [14]

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ] přes-do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskoz ní materiál	Středněviskoz ní materiál	Vysokoviskoz ní materiál
1 – 8	0,2 - 0,4	0,25 - 0,5	0,3 - 0,6
8 – 15	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75
15 – 30	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75	0,75 - 0,9
30 – 50	0,6 - 0,8	0,75 - 1,0	0,9 - 1,2
50 – 80	0,8 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,8
80 – 120	1,2 - 1,8	1,5 - 2,2	1,8 - 2,7
120 – 180	1,8 - 2,6	2,2 - 3,2	2,7 - 4,0
180 – 250	2,6 - 3,6	3,2 - 4,5	4,0 - 5,5
250 – 500	3,6 - 4,8	4,5 - 6,0	5,5 - 7,5

Dle tabulky 7.2 odpovídá vstřikovanému objemu a středněviskozovnímu materiálu hodnota  $t_v = 0,6 \text{ s}$ .

### Čas vstřikovacího cyklu

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_k + t_3 + t_4 \text{ [s]} \quad (7.10)$$

kde:

$t_c$  – celková doba vstřikování [s]

$t_1$  – doba uzavření formy (1 - 1,5) [s]

$t_2$  – doba přisunutí vstřikovací jednotky 0,5 [s]

$t_v$  – doba vstřikování [s]

$t_k$  – doba chlazení [s]

$t_3$  – doba otevření formy a vyhození výstřiku (1 - 1,5) [s]

$t_4$  – prodleva (0,5) [s]

$$t_c = 1,5 + 0,5 + 0,6 + 7,7 + 1,5 + 0,5 = 12,3 \cong 13 \text{ s}$$

### Termínová násobnost formy

Násobnost formy podle velikosti dodávky určuje vzorec 6.4. Výrobní série  $N = 500\,000 \text{ ks}$ , termín  $T_p = 720 \text{ hod.}$  (1 měsíc a třisměnný provoz).

$$n = \frac{500\,000 \cdot 13}{720 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 3,134$$

Násobnost formy volím 4, to odpovídá požadovaným velikostem dodávek, tvarové složitosti a rozměrům výlisku.

### Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje

$$C_p = \frac{4 \cdot n \cdot \rho \cdot (V + V_K)}{t_c} [\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (7.11)$$

kde:

$\rho$  – hustota materiálu [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ], pro ABS  $\rho = 1.04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

$$C_p = \frac{4 \cdot 4 \cdot 1.04 \cdot (2.973 + 1)}{13} = 5.085 \cong 5.1 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$$

### Minimální přidržovací síla vstřikovacího stroje

$$F_p = 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot p_v \cdot A [\text{kN}] \quad (7.12)$$

kde:

$A$  – Plocha průmětu dílů a vtoků do dělicí roviny [ $\text{mm}^2$ ]

$$F_p = 1.1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 90 \cdot 1355 = 536.58 \cong 537 \text{ kN}$$

### Optimální průměr šneku vstřikovacího stroje

$$7.5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10.5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (7.13)$$

kde:

$D_S$  – průměr šneku [mm], výrobní řady: 20 mm, 22mm, 25 mm, 30 mm, ...

$$7.5 \cdot \sqrt[3]{18} < D_S < 10.5 \cdot \sqrt[3]{18}$$

$$19.655 < D_S < 27.517$$

Vyhovuje průměr šneku  $D_S = 22 \text{ mm}$ .

### Délka dráhy pohybu šneku pro vstříknutí dávky

$$L_S = \frac{V_D \cdot 4 \cdot 10^3}{\pi \cdot D_S^2} [\text{mm}] \quad (7.14)$$

$$L_S = \frac{18 \cdot 4 \cdot 10^3}{\pi \cdot 22^2} = 47.351 \cong 47 \text{ mm}$$

Zároveň musí být splněna podmínka:

$$1 \cdot D_S < L_S < 3 \cdot D_S \quad (7.15)$$

$$1 \cdot 22 < L_S < 3 \cdot 22$$

$$22 < 47 < 66$$

Podmínka je splněna,  $L_S = 47 \text{ mm}$  vyhovuje.

### Otáčky šneku pro plastikaci

$$n_S = \frac{60 \cdot v \cdot 10^3}{\pi \cdot D_S} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7.16)$$

kde:

$v$  – maximální obvodová rychlost šneku [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $v = 0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$n_s = \frac{60 \cdot 0.9 \cdot 10^3}{\pi \cdot 22} = 781.306 \cong 781 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

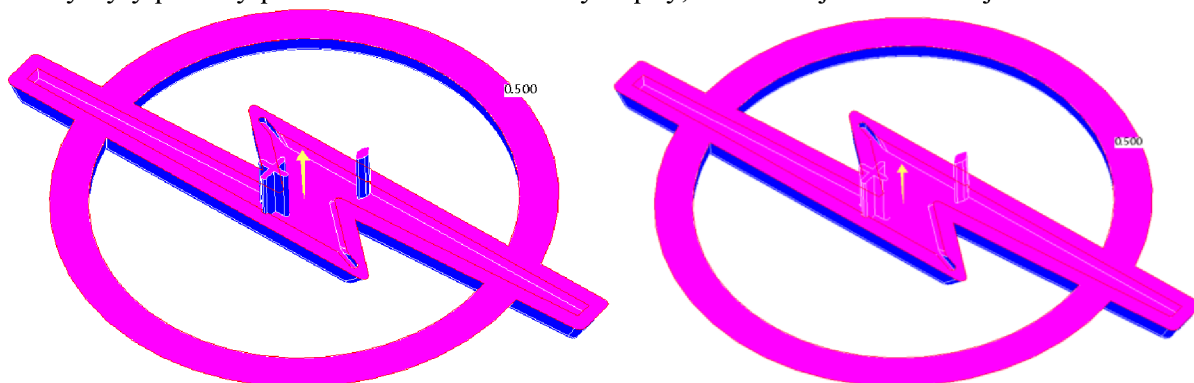
**Vstřikovací rychlost**

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} [\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (7.17)$$

$$v_s = \frac{18}{0.6} = 30 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

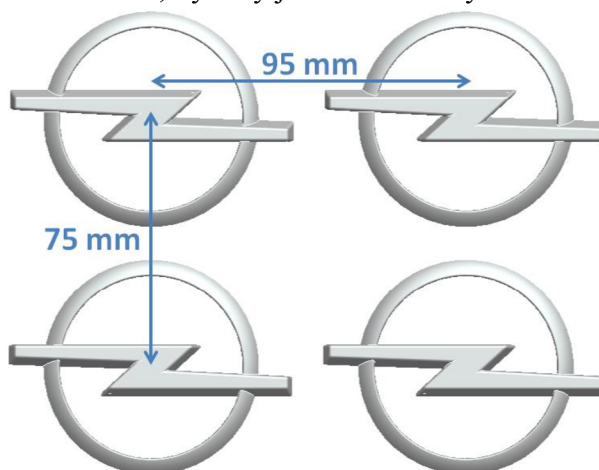
### 7.3. Dělicí rovina, úkosy, rozmístění ve formě

Dělicí rovina je největší rovná plocha na spodní straně emblému, na obr. 7.3 červenou barvou. Na stejné straně výlisku je také ústí vtoku a vyhazovače, jde tedy o pohyblivou stranu formy. Úkosy byly přidány pouze na dva montážní výstupky, a to 0.5 ° jak znázorňuje obr. 7.3.



Obr. 7.3 Analýza úkosů před a po užití funkce draft v CAD aplikaci

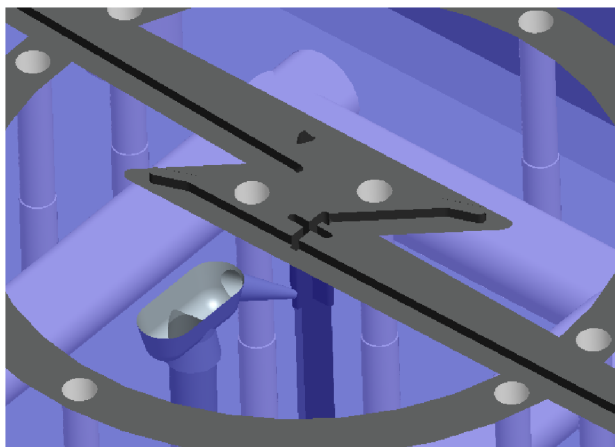
Forma byla určena jako 4 - násobná, výlisky jsou rozmístěny do čtvercového pole, obr. 7.4.



Obr. 7.4 Rozložení výlisku ve formě

### 7.4. Vtok

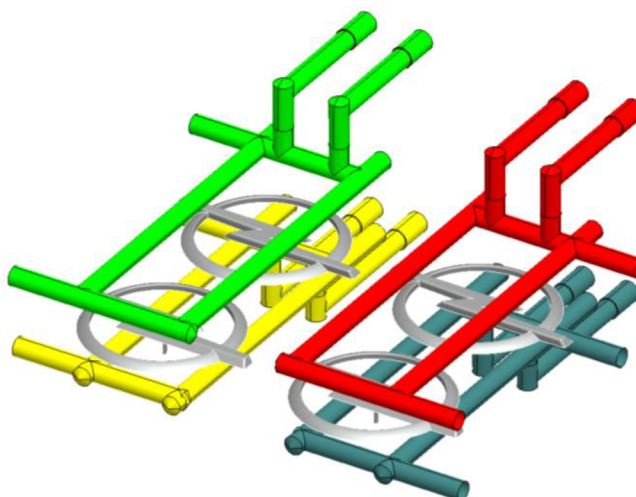
Pro dosažení lepší kvality výstřiku, je doprava roztaveného plastu do tvarové dutiny formy řešena horkým vtokem. Konkrétně systém firmy Hasco, který se skládá z rozváděcí desky H106/2/90x140/26 (příloha č. 5), vtokové vložky Z 1055/1/16x36/6 a čtyř trysek Z101/27 x 49/0.8 (příloha č. 6). Ústí vtoku je vedeno do montážního výstupku na spodní straně emblému, z důvodu kvality povrchu nemůže být vedeno do pohledové strany. To znamená, že horká tryska není vedena přímo do výlisku, ale do malého rozváděcího kanálku, zakončeného tunelovým vtokovým ústím, viz obr. 7.5.



Obr. 7.5 Vtokové ústí

### 7.3. Chlazení

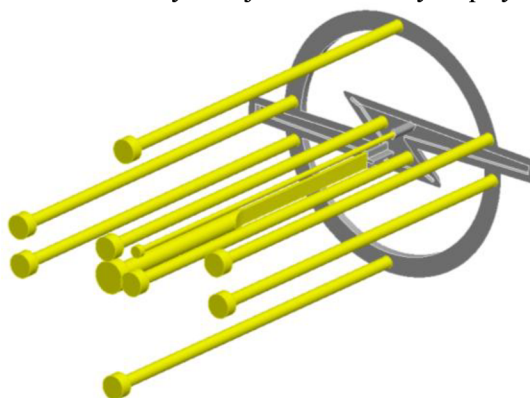
Temperance formy je prováděna vodou proudící v běžně používaných vrtaných kanálech. Kanály mají průměr 8 mm a tvoří sedm okruhů. Dva v matici, dva v razníku, dva v razníkové desce a jeden v matriční desce. Rozložení chladicích kanálů ve tvarových deskách ukazuje obr. 7.6.



Obr. 7.6 Chladicí okruhy ve tvarových vložkách

### 7.4. Vyhazování

K vyhození vylisku z formy jsou použity standartní vyhazovače od firmy Hasco. šest vyhazovačů o průměru 3 mm je rozmístěno po obvodu a uprostřed vylisku. Jeden plochý vyhazovač a jeden o průměru 1.4 mm vyhazují montážní výstupky na emblému, viz obr. 7.7.

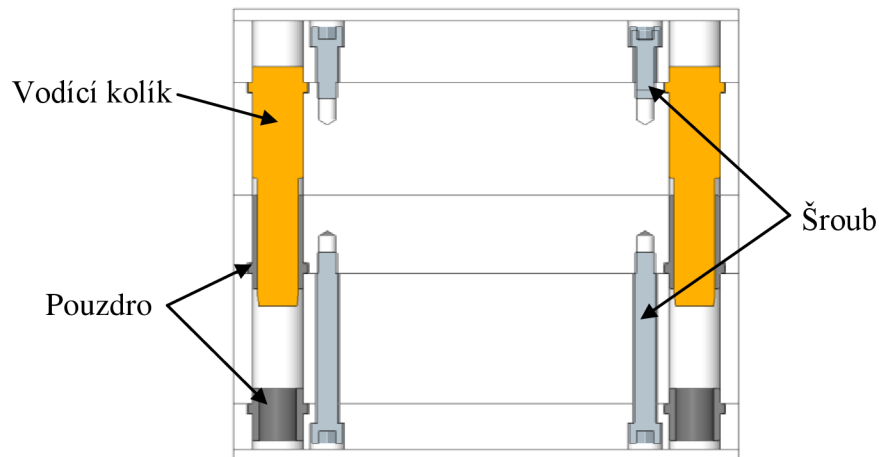


Obr. 7.7 Rozmístění vyhazovačů



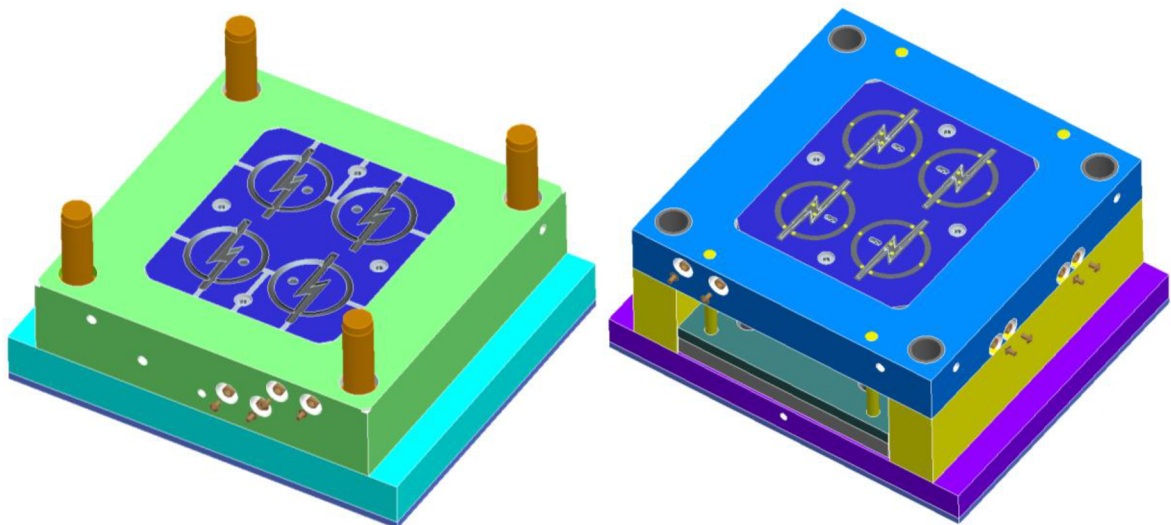
## 7.5. Rám formy

Celý rám formy včetně vedení, pouzder, středících kroužků, a šroubů je sestaven s normálí od firmy Hasco. Velikost formy je 296 mm x 346 mm, výška 265 mm včetně izolace. Na obr. 7.8 je zobrazeno vedení, pouzdra a šrouby spojující desky formy.



Obr. 7.8 Vedení formy spojení desek

Rámové desky, včetně těch tvarových, jsou vyrobeny z uhlíkové nástrojové oceli 1.1730. Tvarové vložky a vyhazovací desky jsou vyrobeny z nástrojové, chrom - mangan - molybdenová ocelis výbornou prokalitelností 1.2312. Na obr. 7.9 je vidět pohyblivou a pevnou část formy.



Obr. 7.9 Vlevo pevná, vpravo pohyblivá část formy

## 7.6. Vstřikovací lis

Vstřikovací lis nesmí být malý, ale ani moc velký. V případě malého lisu, který nesplňuje některé technologické parametry, bude výroba nemožná. Velký lis je naopak zbytečně předdimenzovaný a výroba není optimální. K výběru vhodného lisu slouží dříve vypočtené základní technologické parametry, viz tab. 7.5. Důležitým faktorem při výběru lisu je také samozřejmě velikost vstřikovací formy, která musí být menší než vzdálenost mezi vodícími sloupy lisu a potřebné otevření formy pro vyhození vylisku.

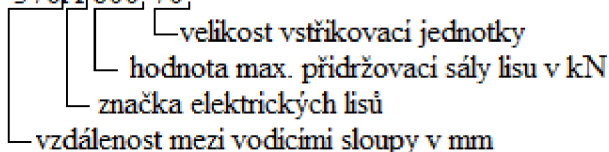
Tab. 7.5 Parametry lisu, požadované a skutečné [Příloha č. 3]

Parametr	Vypočet	Lis
Přidržovací síla $F_p$ [kN]	537	max. 600
Průměr šneku $D_s$ [mm]	22	18 / 22 / 25
Vzdálenost mezi vodícími sloupy [mm]	296 x 346	370 x 370
Otevření [mm]	100	max. 300
Plastikační kapacita $C_p$ [kg · hod <sup>-1</sup> ]	5.1	max. 5.5
Vstřikovací kapacita $C_v$ [cm <sup>3</sup> ]	17.9	max. 34



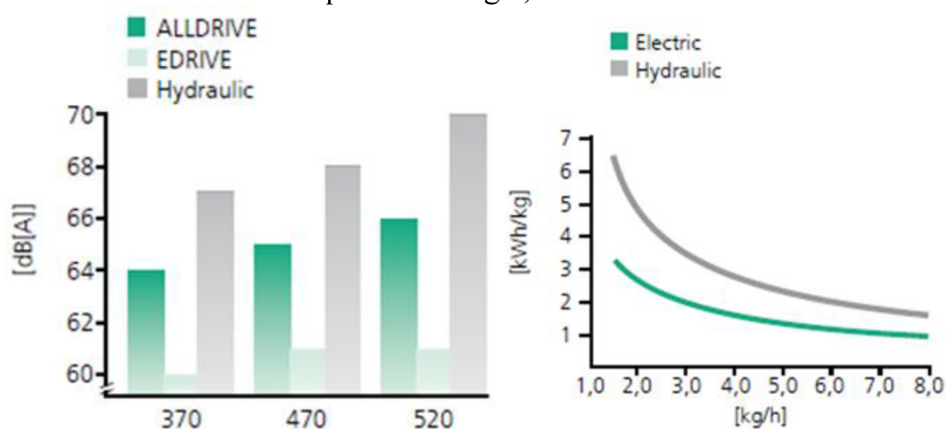
Obr. 7.10 Vstřikovací lis Arburg Allrounder 370A [Příloha č. 3]

Všechny potřebné parametry splňuje vstřikovací lis Allrounder 370 od firmy Arburg. Konkrétně typ Allrounder 370A 600-70



Detailní specifikace lisu viz příloha č. 3.

V současnosti se do popředí dostávají místo lisů hydraulických, lisy elektrické. Jejich výhody jsou především v nižší hlučnosti a spotřebě energie, viz obr. 7.11.



Obr. 7.11 Grafy hluku a spotřeby energie u ele. a hydraulického lisu [příloha č. 3]

## 7.7. Pokovování dílu

Z důvodu požadavku na lesklý kovový vzhled, bude emblém následně pokoven. Výlisek nesmí být v době mezi vyhozením z formy a pokovením nijak poškozen, poškrabán a nesmí na něm být viditelné otisky prstů. Následná úprava pokovením tyto neduhy nezakryje, ale naopak ještě zviditelní. Zde je tedy na zvážení použití bezobslužného zařízení pro vyjmutí výlisku z formy a umístění do přepravního boxu. K pokovení plastového emblému je použit chróm, aplikovaný technologií galvanického pokovení. Tím je dosaženo nejen metalického vzhledu, ale i lepších mechanických vlastností emblému, viz obr. 7.12.

Galvanické pokovení se skládá z následujících hlavních kroků:

- naleptání povrchu roztokem kyseliny chromsírové
- aktivace palladiem, případně jiným ušlechtilým kovem
- chemickou redukcí na povrchu vzniká vrstva niklu
- ke zlepšení vodivosti je vyloučena vrstva immersní mědi
- následuje vícenásobná niklová vrstva
- nakonec vrstva chrómu

Výrobek projde včetně oplachovacích stanic až 40 různými lázněmi. Emblém je následně nutné chránit před poškozením a ušpiněním povrchu.



*Obr. 7.12 Pokovený emblém*

## 8. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Je nutné vzít v úvahu hned několik parametrů, jako je velikost a složitost výrobku, přesnost, mech. vlastnosti, vzhled, počet kusů a celkovou nákladovost.

### 8.1. Ekonomické zhodnocení

Cílem je vybrat variantu s nejnižšími celkovými náklady na výrobu. Ty jsou součtem fixních a variabilních nákladů. Jednotlivé nákladové položky řadíme do fixních, nebo variabilních nákladů podle toho, zda se mění či nemění s velikostí produkce. Fixními náklady jsou tedy odpisy, nájemné, pojistné, palivo, náklady na přípravu výroby, část mzdových nákladů a část nákladů na energie. Variabilní náklady jsou přímé mzdy, přímý materiál a ostatní přímé náklady. Pro výpočet celkových nákladů slouží vzorec:

$$C_c = FC + n_v \cdot Q [\text{Kč}] \quad (8.1)$$

kde:

$Q$  – počet výrobků [ks]

$FC$  – fixní náklady [Kč]

$n_v$  – variabilní náklady na jednotku produktu [Kč]

Jednotlivé výrobní varianty se obvykle liší fixními a variabilními náklady. Pokud má jedna z variant nižší fixní i variabilní náklady, je určení výhodnější varianty velmi jednoduché. Většinou jsou vyšší fixní náklady doprovázeny nižšími náklady variabilními. V takovém případě určíme:

- variantu, která má pro dané podmínky nejnižší celkové náklady
- hranici objemu výroby, kde je daná varianta výhodnější než varianty ostatní

Vycházíme z předpokladu, že náklady varianty A i B jsou si rovny:

$$C_{CA} = C_{CB} \quad (8.2)$$

Dosažením vzorce pro výpočet celkových nákladů dostaneme:

$$FC_A + n_{vA} \cdot Q_A = FC_B + n_{vB} \cdot Q_B \quad (8.3)$$

Mezní množství, při kterém jsou celkové náklady stejné, získáme za předpokladu, že  $Q_A = Q_B$ . Dle požadovaného množství vybíráme variantu s nižšími celkovými náklady.

$$Q_{AB} = \frac{FC_A - FC_B}{n_{vB} - n_{vA}} [\text{ks}] \quad (8.4)$$

#### Násobnost vstříkovací formy a náklady

Fixní náklady zde reprezentují cenu formy. Variabilní náklady jsou především náklady za lisování, viz tab. 8.1. U lisování se počítá se zmetkovitostí 1 %. Cena materiálu není přičtena, díky horkým tryskám se objem vtokových kanálků nemění. Je požadováno 500 000 ks.

Tab. 8.1 Náklady v závislosti na násobnosti formy

Násobnost formy	Fixní náklady [Kč]	Variabilní náklady na 1 kus [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
1	248 680	3.22
2	355 400	1.62
4	562 120	0.98

$$C_{c1} = 248\,680 + 3.22Q_1$$

$$C_{c2} = 355\,400 + 1.62Q_2$$

$$C_{c4} = 562\,120 + 0.98Q_4$$

Porovnání násobnosti formy:

$$1 = 2 : 248\,680 + 3.22Q_1 = 355\,400 + 1.62Q_2$$

$$-106\,720 = -1.6Q_{12}$$

$$Q_{12} = 66\,700 \text{ ks}$$

$$1 = 4 : 248\,680 + 3.22Q_1 = 562\,120 + 0.98Q_4$$

$$-313\,440 = -2.24Q_{14}$$

$$Q_{14} = 139\,928.6 \text{ ks}$$

$$2 = 4 : 355\,400 + 1.62Q_2 = 562\,120 + 0.98Q_4$$

$$-206\,720 = -0.64Q_{24}$$

$$Q_{24} = 323\,000 \text{ ks}$$

Z výpočtů je patrné, že pro počet 0 ks až 66 700 ks je nejvýhodnější 1 – násobná forma, pro 323 000 ks a více kusů je to forma 4 – násobná.

### Násobnost formy pro tlakové lití a náklady

Fixní náklady zde také reprezentují cenu formy. Variabilní náklady jsou především náklady za lisování. Požadovaný počet vyrobených kusů je 500 000, viz tab. 8.2.

Tab. 8.2 Náklady v závislosti na násobnosti formy

Násobnost formy	Fixní náklady [Kč]	Variabilní náklady na 1 kus [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
1	1 040 060	12.22
2	915 840	6.9
4	791 060	4.12

$$C_{c1} = 1\,040\,060 + 12.22Q_1$$

$$C_{c2} = 915\,840 + 6.9Q_2$$

$$C_{c4} = 791\,060 + 4.12Q_4$$

Z tab. 8.2 je zřejmé, že varianta se 4 – násobnou formou má nižší fixní i variabilní náklady a je tedy nejvýhodnější.

### Náklady na výrobu forem

Cena formy je rozpočítaná na jeden kus emblému a je pro požadované množství 100 000 ks, 500 000 ks a 1 000 000ks, viz tab. 8.3.



Tab. 8.3 Náklady na formu

Počet kusů [ks]	Vstřikovací forma [Kč · ks <sup>-1</sup> ]	Tlakové lití slitiny hliníku [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
100 000	3.25	3.22
500 000	1.12	1.58
1 000 000	0.94	1.45

### Náklady na produkci emblému

Náklady na lisování jsou rozpočítány na jeden kus emblému a jsou pro požadované množství 100 000 ks, 500 000 ks a 1 000 000ks, viz tab. 8.4. Jsou započteny náklady na stroj, energie, mzdy dělníků atd., není započítána cena materiálu.

Tab. 8.4 Náklady na produkci emblému

Počet kusů [ks]	Produkce z plastu [Kč · ks <sup>-1</sup> ]	Produkce ze slitiny hliníku [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
100 000	1.65	7.04
500 000	0.98	4.12
1 000 000	0.49	3.14

### Náklady na pokovování

Cena za pokovování se skládá z ceny speciálního držáku a z ceny samotného nanášení kovu, to tvoří více než 95 % ceny, viz tab. 8.5. U pokovování se počítá se zmetkovitostí 5 %.

Tab. 8.5 Náklady na pokovování

Počet kusů [ks]	Pokovování plastu [Kč · ks <sup>-1</sup> ]	Pokovování slitiny hliníku [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
100 000	12.3	11.7
500 000	12.15	11.55
1 000 000	12.075	11.475

### Celkové náklady na emblém

Cena za pokovování se skládá z ceny speciálního držáku a z ceny samotného nanášení kovu, to tvoří více než 95 % ceny, viz tab. 8.6. U pokovování se počítá se zmetkovitostí 5 %.

Tab. 8.6 Celkové náklady na emblém

Počet kusů [ks]	Plastový emblém [Kč · ks <sup>-1</sup> ]	Emblém ze slitiny hliníku [Kč · ks <sup>-1</sup> ]
100 000	0.3 + 3.25 + 1.65 + 12.3 = 17.5	0.5 + 3.22 + 7.04 + 11.7 = 22.46
500 000	0.3 + 1.12 + 0.98 + 12.15 = 14.55	0.5 + 1.58 + 4.12 + 11.55 = 17.75
1 000 000	0.3 + 0.94 + 0.49 + 12.075 = 13.805	0.5 + 1.45 + 3.14 + 11.475 = 16,57

V případě dodávky 500 000 kusů je cena za emblém vyrobený z ABS a následně pokovený 14.55 Kč. Cena za emblém vyrobený ze slitiny hliníku AlSi10Mg je 17.75 Kč. Rozdíl v ceně jednoho emblému je tedy 3.2 Kč, což je 1 600 000 Kč při 500 000 kusech.

## **8.2. Technické zhodnocení**

### **Materiál**

Hliníková slitina AlSi10Mg má proti Terluranu GP35 větší hustotu, lepší mechanické vlastnosti a větší rozmezí teplot, při kterých je použitelná. Hliníková slitina je tedy „lepší“ materiál. Velkou výhodou hliníku, stejně jako u ostatních kovů je téměř 100 % recyklovatelnost. Některé plasty se v současnosti také recyklují, ale zdaleka ne v takové míře jako kovy.

### **Technologie výroby dílu**

V případě hliníkové slitiny AlSi10Mg je to technologie tlakového lití, v případě Terluranu GP35 vstřikování. Obě technologie jsou dostatečně přesné a mohou být dimenzovány na potřebné množství. Vyžadují speciální nástroj, tzv. formu. Její konstrukce je pro tlakové lití i vstřikování velmi podobná, skládá se z tvarové dutiny, vtokového systému, chlazení, a vyhazování. Principy obou technologií jsou také velmi podobné, roztavený materiál je dopraven do tvarové dutiny formy, kde tuhne na tzv. vyhazovací teplotu a následně je z formy vyhozen. Rozdíl je v životnosti forem. Slitiny hliníku roztavené až na 600 °C, poměrně rychle zničí tvarovou část formy. Počítá se z životností kolem 120 000 zdvihů, u plastů je běžně dosahováno i 1 000 000 zdvihů. Samotné lisování dílu je u vstřikování jednodušší a rychlejší. Nejsou potřeba tak vysoké teploty, většina plastů potřebuje k roztavení teploty mezi 200 °C až 300 °C. Dalším faktorem je dostupnost technologií. Zatímco počet lisoven plastů neustále roste, firmy zabývající se litím kovů spíše zanikají. Technologie galvanického pokovování je pro hliníkovou slitinu AlSi10Mg i pro ABS Terluran GP35 téměř shodná, liší se jen v některých krocích technologického postupu.

## 9. ZÁVĚR

Tato diplomová práce předkládá porovnání dvou technologií vhodných pro výrobu emblému automobilu. Jde o technologie tlakového lití slitiny hliníku a vstřikování plastů. V první, rešeršní části je seznámení s hliníkem, jako konstrukčním materiálem. Další části jsou věnovány tlakovému lití kovů, plastům, jejich rozdělení, základním mechanickým vlastnostem a vstřikování plastů. Poslední rešeršní část ukazuje možnosti povrchové úpravy výrobků pokovováním. Již zde jsou patrné výhody technologie vstřikování plastů. Vybraná hliníková slitina AlSi10Mg má výrazně lepší mechanické vlastnosti než ABS. Obě technologie vyžadují speciální nástroj, formu. Konstrukce forem je podobná, rozdíl je především v životnosti. U forem pro tlakové lití slitin hliníku se počítá s životností tvarových částí formy kolem 100 000 zdvihů, u vstřikování plastů je běžně dosahováno 1 000 000 zdvihů. Produkce emblému z plastu je také rychlejší a energeticky méně náročná. K pokovení emblému je použita metoda galvanického pokovování. Postup je pro plast i slitinu hliníku velmi podobný.

V praktické části diplomové práce byl vypracován návrh konstrukce vstřikovací formy. Materiál pro emblém je Terluran GP35 od firmy BASF. Jde o ABS, tedy běžně dostupný, levný a především vhodný pro následné pokovování. Byly spočítány základní technologické parametry pro násobnost, čas cyklu, vstřikovací rychlost, potřebná přidržovací síla a další. Forma byla určena jako 4 - násobná, s horkými tryskami a rozvodem od firmy Hasco. Rám formy je řešen normáliemi také od firmy Hasco. Závěr kapitoly se věnuje výběru vhodného vstřikovacího lisu. Byl vypracován výkres sestavy formy, matrice a razníku viz příloha.

Poslední část diplomové práce se věnuje ekonomickému porovnání obou výše popsaných metod. Téměř ve všech hodnocených faktorech je plast a vstřikování ekonomicky výhodnější než tlakové lití slitiny hliníku. Rozdíl je v řádech korun za jeden emblém, záleží na celkové produkci.

V případě, že nejsou horší mechanické vlastnosti plastů problémem, je plast a jeho následné zpracování výhodnější než slitiny kovu. Následným pokovováním získáme v některých oblastech nepostradatelný metalický vzhled a také lepší odolnost proti otěru a UV záření.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Wikipedie: *Hliník* [online]. 2012 [citováno 2013-01-01]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hliník>
- [2] ŘASA Jaroslav, HANĚK Václav, KAFKA Jindřich. *Strojírenská technologie 4*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství Scientia, 2003. 505 s. ISBN 80-7183-284-7
- [3] *Hliník* [online]. 2012 [citováno 2013-01-01]. Dostupné z WWW: <http://www.trideniodpadu.cz/trideniodpadu.cz/Hlinik.html>
- [4] *Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování*[online]. 2012 [citováno 2013-01-01]. Dostupné z WWW: <http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>
- [5] TUL. *Technologie 2: Vstřikování plastů* [online]. 2012 [citováno 2013-02-01]. Dostupné z WW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [6] DILLINGER Josef a kol. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství Europa-Sobotáles cz, 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1
- [7] *Hliník*[online]. 2012 [citováno 2013-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.hlinik.net/index.html>
- [8] Wikipedie: *Plast*[online]. 2012 [citováno 2012-12-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Plast>
- [9] Historie chemie: *Výroba syntetických vláken*[online]. 2012 [citováno 2012-12-20]. Dostupné z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/tov/vyrobasyntetvlekn.html>
- [10] BASF. *Metal-coated plastics: Electroplatable ABS available worldwide* [online]. 2010 [citováno 2013-02-10]. Dostupné z WWW:[http://www.basf.de/basf2/html/plastics/englisch/pages/presse/04\\_372.htm](http://www.basf.de/basf2/html/plastics/englisch/pages/presse/04_372.htm)
- [11] *Moldex3D/eXplorer- brána do světa 3d simulace vstřikování plastů*[online]. 2010 [citováno 2013-02-15]. Dostupné z WWW:<http://www.plasticportal.cz/cs/moldex3dexplorer-brana-do-sveta-3d-simulace-vstrikovani-plastu/c/294>
- [12] MM. *3D Nástroj pro simulaci vstřikování plastů* [online]. 2009 [citováno 2013-02-15]. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/3d-nastroj-pro-simulaci-vstrikovani-plastu.html>
- [13] PlasticsTechnology. *Mold filling simulation: what, when, why, how*[online]. 2011 [citováno 2013-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.ptonline.com/articles/mold-filling-simulation-what-when-why-how>
- [14] BOBČÍK a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 1999. 135s

- [15] BOBČÍK a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, II. Díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 1999. 120s
- [16] ŘEHULKA Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON, 2005. 226s. ISBN 80-86604-18-7
- [17] BAYER. *Part and mold design*[online]. 2006 [citováno 2013-03-05]. Dostupné z WWW: <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?f=10247629-D94D-FDDD-B63BB6BDC92B451A>
- [18] DSM. *Design guide*[online]. 2009 [citováno 2013-03-06]. Dostupné z WWW: [http://www.dsm.com/en\\_US/downloads/dep/designbroch05USweb.pdf](http://www.dsm.com/en_US/downloads/dep/designbroch05USweb.pdf)
- [19] VSTŘIKOVACÍ FORMY – vtoková soustava[online]. 2010 [citováno 2013-03-10]. Dostupné z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c8/V S.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/V S.pdf)
- [20] MOLD MASTERS. *Hot runners*[online]. 2012 [citováno 2013-03-12]. Dostupné z WWW: [http://www.en.moldmasters.com/media/resources/Hot%20Runner%20Design%20Fundamentals%20\(ENG\).pdf](http://www.en.moldmasters.com/media/resources/Hot%20Runner%20Design%20Fundamentals%20(ENG).pdf)
- [21] VSTŘIKOVACÍ FORMY – temperanční systém[online]. 2010 [citováno 2013-03-11]. Dostupné z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/c6/TS.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf)
- [22] INNOMIA – *Konformní chlazení*[online]. 2012 [citováno 2013-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>
- [23] ROTREKL, Bedřich, Karel HUDEČEK a Jaroslav KOMÁREK. *Povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 252 s. ISBN DT 678.029.7
- [24] ROTREKL B., TAMCHYNA J., a DITRYCH Z.. *Zpracování plastických hmot - Pokovování*. SNTL, 1966. 212s.
- [25] JUROVÁ Marie a kolektiv. *Výrobní procesy řízené logistikou*. Bizbooks, 2013. 260s. ISBN 978-80-265-0059-9
- [26] BRYCE M. Douglas. *Plastic Injection Molding...mold design and construction fundamentals*. SME, 2009. 320s. ISBN 0-87263-459-7
- [27] ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8)
- [28] MENGES, Georg, Walter MICHAELI and Paul MOHREN. *How to Make Injection Molds*. 3rd edition. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. 612 s. ISBN 1-56990-282-8
- [29] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
$A$	$[\text{mm}^2]$	Plocha průmětu dílů a vtoků do dělicí roviny
$a_{\text{eff}}$	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	Měrná tepelná vodivost použitého plastu
$Av$	$[-]$	Koeficient vtokového zbytku
$c$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	Měrný tepelný obsah
$C_p$	$[\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}]$	Minimální plastikační kapacita vstřikovacího stroje
$D'$	$[\text{mm}]$	Průměr roz. kanálků podle hmotnosti výlisku
$D_K$	$[\text{mm}]$	Průměr rozváděcích kanálků
$D_S$	$[\text{mm}]$	Průměr šneku
$E$	$[-]$	Modul pružnosti v tahu
$\varepsilon_R$	$[\text{Pa}]$	Tažnost
$F$	$[\text{N}]$	Uzavírací síla stroje
$f$	$[\text{mm}]$	Dráha toku taveniny
$F_p$	$[\text{kN}]$	Přidržovací síla vstřikovacího stroje
$G$	$[\text{g}]$	Hmotnost výstřiku
$K$	$[-]$	Koeficient využití času
$K_1$	$[-]$	Koeficient tekutosti materiálů
$K_2$	$[-]$	Koeficient délky rozváděcího kanálku
$K_{af}$	$[-]$	Míra amortizace formy
$K_f$	$[-]$	Faktor schopnosti tečení taveniny plastu
$K_p$	$[\text{Kč}]$	Provozní náklady formy
$l$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	Skupenské teplo slitiny
$L$	$[\text{mm}]$	Výpočtová délka toku taveniny
$L_S$	$[\text{mm}]$	Délka dráhy pohybu šneku pro vstříknutí dávky
$M$	$[\text{g}]$	Hmotnost výstřiku
$Mc$	$[\text{g}]$	Vstřikovací kapacita
$m_o$	$[\text{kg}]$	Hmotnost odlitku
$m_t$	$[-]$	Koeficient dráhy toku taveniny plastu
$n$	$[-]$	Násobnost formy
$N$	$[\text{ks}]$	Celková požadovaná produkce
$N_f$	$[\text{ks}]$	Celková produkce životnosti formy
$n_p$	$[-]$	Praktická násobnost formy
$n_S$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Otáčky šneku pro plastikaci
$n_t$	$[-]$	Exponent dráhy toku taveniny plastu
$pf$	$[\text{MPa}]$	Minimální plnicí tlak
$p_v$	$[\text{MPa}]$	Vstřikovací tlak
$q_c$	$[\text{J}]$	Teplo
$Q_p$	$[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$	Plastikační výkon
$S$	$[\text{m}^2]$	Plocha dutin a kanálův dělicí rovině
$s$	$[\text{mm}]$	Průměrná tloušťka stěny plastového dílce
$s_k$	$[\text{s}]$	Pohyb šneku
$s_n$	$[\text{s}]$	Pohyb nástroje
$t$	$[\text{°C}]$	Teplota taveniny
$t_1$	$[\text{s}]$	Doba uzavření formy
$t_2$	$[\text{s}]$	Doba přisunutí vstřikovací jednotky
$t_3$	$[\text{s}]$	Doba otevření formy a vyhození výstřiku
$t_4$	$[\text{s}]$	Prodleva
$t_c$	$[\text{s}]$	Doba cyklu




$t_c$	[s]	Čas vstřikovacího cyklu
$T_E$	[°C]	Střední vyhazovací teplota
$t_k$	[s]	Chlazení vylisku
$T_M$	[°C]	Teplota taveniny plastu
$t_o$	[°C]	Teplota ztuhlého odlitku
$T_p$	[hod]	Doba produkce
$t_v$	[s]	Čas vstřikování
$T_W$	[°C]	Teplota formy
$V$	[cm <sup>3</sup> ]	Objem vylisku
$V_D$	[cm <sup>3</sup> ]	Vstřikovaný objem
$V_K$	[cm <sup>3</sup> ]	Předběžný objem rozváděcího kanálku
$v_S$	[mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	Vstřikovací rychlost
$\eta$	[Pa · s]	Viskozita při smykové rychlosti 1000 s <sup>-1</sup>
$\rho$	[g · cm <sup>-3</sup> ]	Hustota
$\sigma_B$	[Pa]	Pevnost v tahu
$Q$	[ks]	Počet kusů
$n_v$	[Kč]	Variabilní náklady na jednotku produktu
$FC$	[Kč]	Fixní náklady

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list Terluran GP22
- Příloha 2 Materiálový list Terluran GP35
- Příloha 3 Technická specifikace vstřikovacího lisu Arburg Allrounder 370A
- Příloha 4 Technická specifikace rozváděcí desky pro horké trysky Hasco
- Příloha 5 Technická specifikace vstřikovací trysky Hasco
- Příloha 6 Graf pro určení násobnosti formy
- Příloha 7 Výkres sestavy vstřikovací formy
- Příloha 8 Kusovník pro vstřikovací formu
- Příloha 9 Výkres matrice
- Příloha 10 Výkres razníku
- Příloha 11 Výkres výlisku - emblém

## Příloha 1. Materiálový list Terluran GP22

<b>Product Information</b>	<b>Terluran<sup>®</sup> GP-22</b>	 The Chemical Company
04/2005		
<b>ABS</b>		

### Product description

Easy-flow, general purpose injection moulding grade with high resistance to impact and heat distortion; intended for a wide range of applications, particularly in the housings sector.

### Physical form and storage

Terluran® is delivered in the form of cylindrical or spherical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm<sup>3</sup>. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film or delivery in silo trucks. In dry areas with normal temperature control, Terluran® pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. Under poor storage conditions, Terluran® absorbs moisture, but this can be removed by drying.

### Product safety

No adverse effects on the health of processing personnel have been observed if the products are correctly processed and the production areas are suitably ventilated.  
For styrene, alpha-methylstyrene, acrylonitrile, and 1,3-butadiene the maximum allowable workplace concentrations must be observed according to the pertaining national regulations. In Germany, the following limit values are valid (Oct. 2002): styrene, MAK-value: 20 ml/m<sup>3</sup> = 88 mg/m<sup>3</sup>; alpha-methylstyrene, MAK-value: 100 ml/m<sup>3</sup> = 480 mg/m<sup>3</sup>; acrylonitrile, TRK-value: 3 ml/m<sup>3</sup> = 7 mg/m<sup>3</sup> and 1,3-butadiene, TRK-value: 5 ml/m<sup>3</sup> = 11 mg/m<sup>3</sup>.  
According to EU directive 67/548/EWG, Annex I and TRGS 905 (Oct. 2002), acrylonitrile and 1,3-butadiene are classified as carcinogenic, category 2 ('substances which should be regarded as if they are carcinogenic to man') and 1 (substances known to be carcinogenic to man), respectively.  
Experience has shown that during appropriate processing of Terluran with suitable ventilation the values obtained are well below the limits mentioned above. TRGS 402 (Germany) can be used for determining and assessing the concentrations of hazardous substances in the air within working areas.  
Inhalation of gaseous degradation products, such as those which may arise on severe overheating of the material or during pumped evacuation, must be avoided. Further information can be found in our Terluran safety data sheets. These can be requested from the Styrenics Infopoint, phone +49 621 60-4 14 46, fax: +49 621 60 46006 or by e-mail: styrenics.infopoint@basf-ag.de


### Note

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

Typical values <sup>1)</sup> at 23°C	Test method <sup>2)</sup>	Unit	Values
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	<b>ABS</b>
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	<b>1040</b>
Filler content: Glass fiber (GF)	-	%	-
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	similar to ISO 62	%	<b>1</b>
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	<b>0.22</b>
<b>Processing</b>			
Processing: Injection moulding (M), Extrusion (E), Blow moulding (B)	-	-	<b>M</b>
Melt volume-flow rate MVR	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	<b>19</b>
Temperature	ISO 1133	°C	<b>220</b>
Load	ISO 1133	kg	<b>10</b>
Pre-drying: Temperature	-	°C	<b>80</b>
Pre-drying: Time	-	h	<b>2 - 4</b>
Melt temperature, injection moulding	-	°C	<b>220 - 260</b>
Mould temperature, injection moulding	-	°C	<b>30 - 60</b>
Moulding shrinkage, free, longitudinal	-	%	<b>0.4 - 0.7</b>
<b>Flammability</b>			
UL94 rating at 1.6 mm thickness	UL 94	class	<b>HB</b>
Automotive materials (thickness d >= 1mm)	-	-	<b>+</b>
<b>Mechanical Properties</b>			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	<b>2300</b>
Yield stress, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	<b>45</b>
Yield strain, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	<b>2.6</b>
Nominal strain at break, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	<b>10</b>
Flexural strength	ISO 178	MPa	<b>65</b>
Charpy impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>180</b>
Charpy impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>100</b>
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	<b>26</b>
Izod notched impact strength (-30°C)	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	<b>8</b>
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	<b>22</b>
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	<b>8</b>
Izod notched impact strength, method A (23°C)	ASTM D 256	J/m	<b>300</b>
Ball indentation hardness	ISO 2039-1	MPa	<b>97</b>
Force	ISO 2039-1	N	<b>358</b>
Duration	ISO 2039-1	s	<b>30</b>
<b>Thermal properties</b>			
HDT A (1.80 MPa), measured using dried specimens	ISO 75-1/-2	°C	<b>99</b>
HDT B (0.45 MPa), measured using dried specimens	ISO 75-1/-2	°C	<b>103</b>
Vicat softening temperature VST/A/50	ISO 306	°C	<b>105</b>
Vicat softening temperature VST/B/50	ISO 306	°C	<b>96</b>
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	<b>80</b>
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-4/°C	<b>0.8 - 1.1</b>
Thermal conductivity	DIN 52812-1	W/(m K)	<b>0.17</b>
<b>Electrical properties</b>			
Relative permittivity (100Hz)	IEC 60250	-	<b>2.9</b>
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	<b>2.8</b>
Dissipation factor (100 Hz)	IEC 60250	E-4	<b>48</b>
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	<b>79</b>
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	<b>1E13</b>
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	<b>1E13</b>
Electric strength K20/P50, d = 0.6 - 0.8 mm	IEC 60243-1	kV/mm	<b>37</b>
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	<b>600</b>
Comparative tracking index, CTIM, Test liquid B	IEC 60112	-	<b>225</b>

Footnotes  
<sup>1)</sup> If the product definition doesn't state otherwise.  
<sup>2)</sup> Specimens according to CAMPUS.

## Příloha 2. Materiálový list Terluran GP35

<b>Product Information</b>	<b>Terluran<sup>®</sup> GP-35</b>	 <b>BASF</b> The Chemical Company
04/2005		

### Product description

Easy-flow injection moulding product with good ductility, intended for mouldings with thin walls and/or adverse flow length to wall ratio.

### Physical form and storage

Terluran® is delivered in the form of cylindrical or spherical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm<sup>3</sup>. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film or delivery in silo trucks. In dry areas with normal temperature control, Terluran® pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. Under poor storage conditions, Terluran® absorbs moisture, but this can be removed by drying.

### Product safety

No adverse effects on the health of processing personnel have been observed if the products are correctly processed and the production areas are suitably ventilated.  
For styrene, alpha-methylstyrene, acrylonitrile, and 1,3-butadiene the maximum allowable workplace concentrations must be observed according to the pertaining national regulations. In Germany, the following limit values are valid (Oct. 2002): styrene, MAK-value: 20 ml/m<sup>3</sup> = 86 mg/m<sup>3</sup>; alpha-methylstyrene, MAK-value: 100 ml/m<sup>3</sup> = 480 mg/m<sup>3</sup>; acrylonitrile, TRK-value: 3 ml/m<sup>3</sup> = 7 mg/m<sup>3</sup> and 1,3-butadiene, TRK-value: 5 ml/m<sup>3</sup> = 11 mg/m<sup>3</sup>.  
According to EU directive 67/548/EWG, Annex I and TRGS 905 (Oct. 2002), acrylonitrile and 1,3-butadiene are classified as carcinogenic, category 2 ("substances which should be regarded as if they are carcinogenic to man") and 1 (substances known to be carcinogenic to man), respectively.  
Experience has shown that during appropriate processing of Terluran with suitable ventilation the values obtained are well below the limits mentioned above. TRGS 402 (Germany) can be used for determining and assessing the concentrations of hazardous substances in the air within working areas.  
Inhalation of gaseous degradation products, such as those which may arise on severe overheating of the material or during pumped evacuation, must be avoided. Further information can be found in our Terluran safety data sheets. These can be requested from the Styrenics Infopoint, phone +49 621 60-4 14 46, fax: +49 621 60 46006 or by e-mail: styrenics.infopoint@basf-ag.de

### Note

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

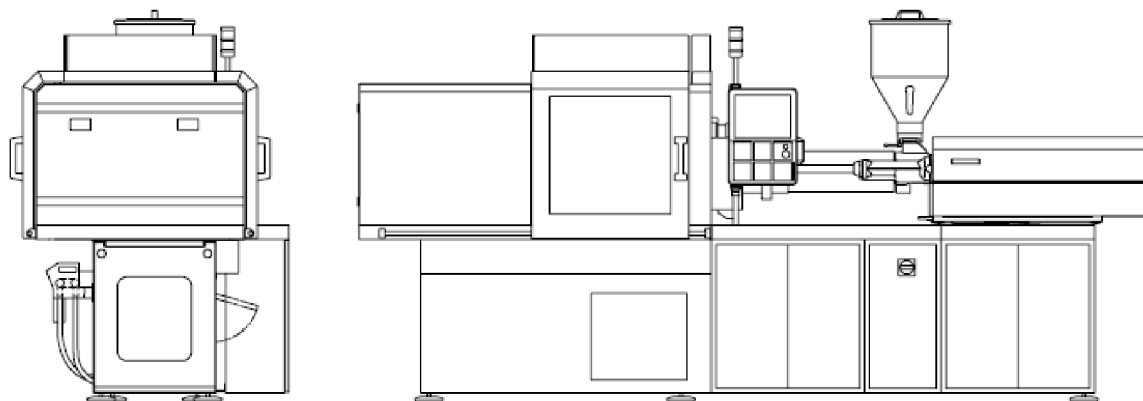
Typical values <sup>1)</sup> at 23°C	Test method <sup>2)</sup>	Unit	Values
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	<b>ABS</b>
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	<b>1040</b>
Filler content: Glass fiber (GF)	-	%	-
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	similar to ISO 62	%	<b>0.95</b>
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	<b>0.24</b>
<b>Processing</b>			
Processing: Injection moulding (M), Extrusion (E), Blow moulding (B)	-	-	<b>M</b>
Melt volume-flow rate MVR	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	<b>34</b>
Temperature	ISO 1133	°C	<b>220</b>
Load	ISO 1133	kg	<b>10</b>
Pre-drying: Temperature	-	°C	<b>80</b>
Pre-drying: Time	-	h	<b>2 - 4</b>
Melt temperature, injection moulding	-	°C	<b>220 - 260</b>
Mould temperature, injection moulding	-	°C	<b>30 - 60</b>
Moulding shrinkage, free, longitudinal	-	%	<b>0.4 - 0.7</b>
<b>Flammability</b>			
UL94 rating at 1.6 mm thickness	UL 94	class	<b>HB</b>
Automotive materials (thickness d >= 1mm)	-	-	<b>+</b>
<b>Mechanical Properties</b>			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	<b>2300</b>
Yield stress, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	<b>44</b>
Yield strain, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	<b>2.4</b>
Nominal strain at break, 50 mm/min	ISO 527-1/-2	%	<b>12</b>
Flexural strength	ISO 178	MPa	<b>65</b>
Charpy impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>125</b>
Charpy impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	<b>90</b>
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	<b>22</b>
Izod notched impact strength (-30°C)	ISO 180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	<b>7</b>
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	<b>19</b>
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	<b>7</b>
Izod notched impact strength, method A (23°C)	ASTM D 256	J/m	<b>240</b>
Ball indentation hardness	ISO 2039-1	MPa	<b>99</b>
Force	ISO 2039-1	N	<b>358</b>
Duration	ISO 2039-1	s	<b>30</b>
<b>Thermal properties</b>			
HDT A (1.80 MPa), measured using dried specimens	ISO 75-1/-2	°C	<b>94</b>
HDT B (0.45 MPa), measured using dried specimens	ISO 75-1/-2	°C	<b>99</b>
Vicat softening temperature VST/A/50	ISO 306	°C	<b>102</b>
Vicat softening temperature VST/B/50	ISO 306	°C	<b>95</b>
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	<b>80</b>
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-4/°C	<b>0.8 - 1.1</b>
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	<b>0.17</b>
<b>Electrical properties</b>			
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	<b>1E13</b>
Electric strength K20/P50, d = 0.6 - 0.8 mm	IEC 60243-1	kV/mm	<b>38</b>

Footnotes  
1) If the product definition doesn't state otherwise.  
2) Specimens according to CAMPUS.



### Příloha 3. Technická specifikace vstřikovacího lisu Arburg Allrounder 370A

A E H S GOLDEN EDITION V T



**ALLROUNDER 370 A**

Technical data

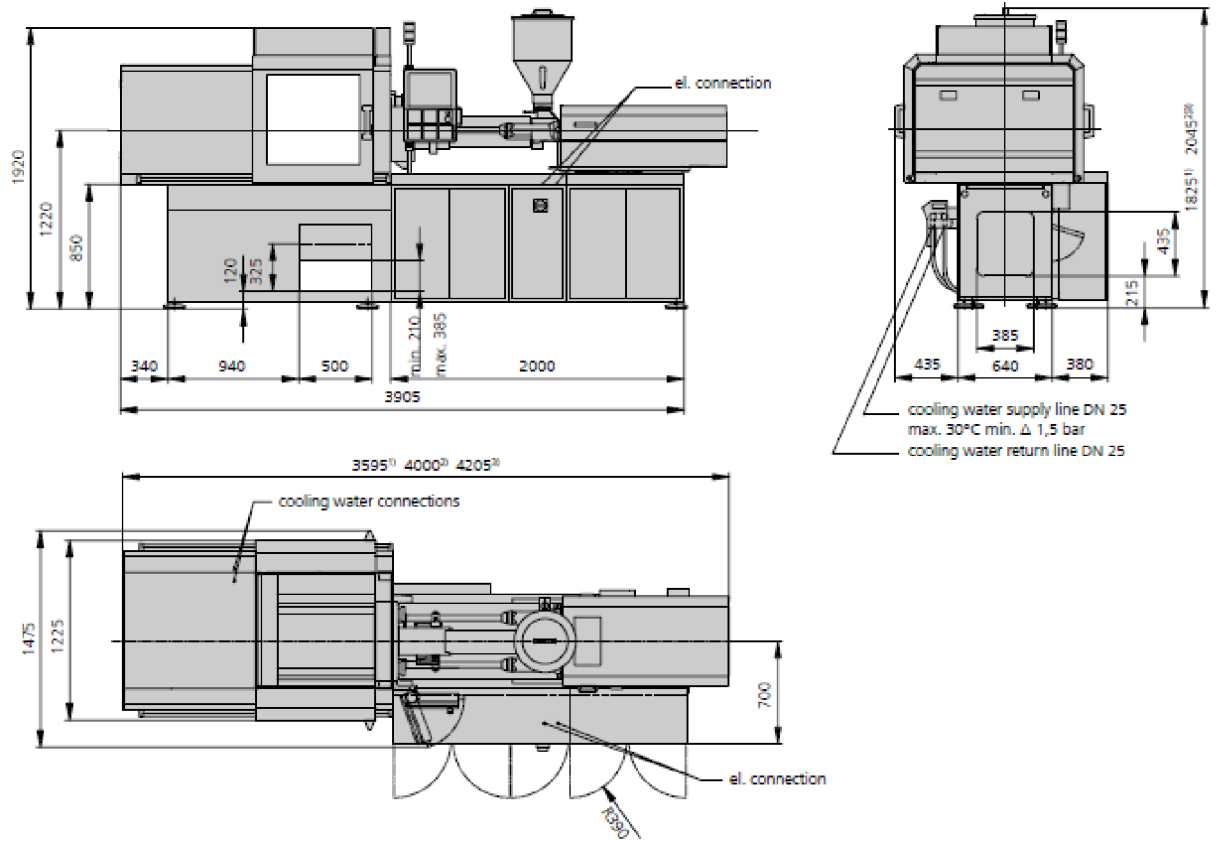
**Tie bar distances: 370 x 370 mm**

**Clamping forces: 500, 600 kN**

**Injection unit (according to EUROMAP): 70, 170, 290**

**ARBURG**

www.arburg.com



1) Dimensions are valid for injection unit 70  
 2) Dimensions are valid for injection unit 170  
 3) Dimensions are valid for injection unit 290

Machine model		370 A	370 A	370 A
EUROMAP size indication <sup>1)</sup>		500-70   600-70	500-170   600-170	500-290   600-290
<b>Clamping unit</b>				
Clamping force	max. kN	500   600	500   600	500   600
Mould protection force	min. kN	0,5-40	0,5-40	0,5-40
Opening stroke	max. mm	300	300	300
Mould height	mm	200-400	200-400	200-400
Daylight	max. mm	500-700	500-700	500-700
Distance between tie bars	mm	370 x 370	370 x 370	370 x 370
Platen size (hor. x vert.)	mm	510 x 510	510 x 510	510 x 510
Weight of mov. mould half	max. kg	360	360	360
Ejector force	max. kN	25	25	25
Ejector stroke	max. mm	100	100	100
<b>Drives, other</b>				
Dry cycle time for opening stroke <sup>3)</sup>	s- mm	1,0-250   0,8-250	1,0-250   0,8-250	1,0-250   0,8-250
Total connected load <sup>2,4)</sup>	kW	17   17	24   24	24   25
Colour: plastic coated, structure light gray / mint green / canary yellow				
<b>Control cabinet</b>				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
<b>Injection unit</b>				
		70	170	290
Screw diameter	mm	18 / 22 / 25	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40
Effective screw length	L/D	24,5 / 20 / 17,5	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	90	120	150
Calculated injection volume	max. cm <sup>3</sup>	23 / 34 / 44	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188
Shot weight	max. g PS	21 / 31 / 40	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172
Material throughput <sup>5)</sup>	max. kg/h PS	4,1 / 5,5 / 6,5	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5
	max. kg/h PA 6.6	2,1 / 2,8 / 3,3	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5
Injection pressure	max. bar	2500 / 2000 / 1550	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Holding pressure	max. bar	2000 / 1600 / 1240	2300 / 1600 / 1170	2180 / 1600 / 1220
Injection flow	max. cm <sup>3</sup> /s	76 / 114 / 147	148 / 214 / 290	212 / 288 / 376
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	45 / 55 / 63	50 / 60 / 70	51 / 60 / 69
Screw torque	max. Nm	90 / 110 / 120	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430
Nozzle contact force	max. kN	50	50	50
Nozzle retraction stroke	max. mm	230	300	300
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	3,75 / 3	8,8 / 4	5,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,3	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	25	50	50
<b>Machine dimensions and weights of the basic machine</b>				
Net weight	kg	3600	3740	3800
Electrical connection (pre-fused) <sup>2,4)</sup>	A	63	80	80

1) 1st figure: clamping force (kN)

2nd figure: max. dosage volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

2) Values refer to 400 W/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine

The connection value can be increased by additional options which may make 2 separate supply lines necessary (motor + controller/heating)

3) According to EUROMAP for basic machine

4) Depending on number of axis drives

5) Deviations are possible depending upon process settings and material type

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.

### Control system and control cabinet

- SELOGICA direct control system (touchscreen user interface for direct data access)
- Available in different languages
- Language change
- Operator authorisation via chip card
- Cycle sequence programming with symbols
- Cycle step display in sequence diagram
- Cycle time diagram
- Swivelling monitor unit, central on the operator's side, with colour monitor
- Process graphics for injection speed, screw stroke and injection pressure
- Quality assurance program with fault evaluation and monitoring chart
- Optimisation and user help, follow-up functions at program end, for freely programmable parameter pages, selectable units
- "Set-up Assistant" module for menu-guided setup
- Modular control cabinet design with self-recognition of plug-in circuit board system
- Operating modes:
  - Set up
  - Freely programmed test run
  - Reconfiguration
  - Automatic purging and dosing
- Monitoring of the mechanical mould and machine sequence for complex applications
- Extended clamping programme
- Production control with nominal temperature value control, programmable alarm cycles, programmable switch-on/switch-off sequences as well as time-controlled automatic switch-on/off in second programming level for follow-up batch
- Equipment for switchover to holding pressure via injection pressure, material pressure with different pressure transducers, or

- via external switch signal
- Data record management via Compact Flash
- Visual warning signal (warning lamp)
- Visual/audible warning signal (flashing light/siren)
- Printer interface for hard copy, data record and quality protocol
- Port for PC keyboard
- Interfaces for: plotter, robotic system according to EUROMAP 67, reject part weighing scale, photoelectric barrier, host computer, (OPC UA) AQC, colouring unit, LSR dosing system, INJECT-ER, container change, wiper unit (brush), THERMOLIFT, hot runner unit and temperature control units for moulds and cylinders
- Socket combination 1 CEE, 1 Schuko 230 V
- Socket combination 1 CEE, 1 Schuko or 3 CEE, 3 Schuko 230 V with external supply line
- 1 additional electric heating regulation circuit for the nozzle
- Electric heating regulation circuits for moulds (adaptive) (3, 6, 9, 12, 15, 18, 24); mould heating fused at 10 A
- Fuses for mould heating 16 A
- 4 or 8 freely programmable inputs/outputs
- Core pull programs in many versions integrated in the SELOGICA control system
- Special processes such as compression injection moulding and mould venting, variotherm temperature control, intrusion, marbling
- Monitoring: Freely-programmable position monitoring
- Many individual options for special processes

### Machine base and hydraulic system

- Free standing machine base on anti-vibration pads
- Ergonomic protection cover with free access to mould and nozzle

- Space for peripheral devices within floor space
- Guidance of mould and injection unit motion with precise guidance on a stable machine frame
- Cooling water distributor with 4 free, manually adjustable cooling circuits
- Additional manually adjustable cooling circuits
- Programmable and controlled cooling circuits
- Central cooling water supply via pipe distributor on the fixed and/or moving mould mounting platen with several manually adjustable cooling circuits
- 1 temperature control circuit on the fixed and movable mould mounting platen, connection option for two temperature control devices
- 1 or 2 central shut-off valves for cooling water (supply and/or return)
- Conveyor belt (electrically driven), height-adjustable in 3 steps, can be integrated into the machine base with or without a sorter unit
- Integrated heat exchanger for cooling the servo motors
- Machine-side mould change device with electric hoist to facilitate mould installation

### Clamping unit

- Compact servo electric symmetrical 5-point double toggle system
- Precise and stable guidance of the toggle driven platen
- Easy accessibility to the ejector thanks to external toggle lever
- Central lubrication for toggle lever and spindle system (for low-maintenance operation)
- Automatic mould height adjustment to accommodate various minimum mould heights, adjustment travel directly programmable via the SELOGICA controller
- Automatic clamping force control for constant clamping forces.

- Heat expansion of the mould is fully compensated
- Highly precise and repeatable mould positioning thanks to electro-mechanical servo drive
- Vertical support of the movable mould platen
- Closing and opening profiles are programmable in 5-stages
- Programmed mould protection with monitoring of mould protection force and time. Follow-up functions: open or stop following 1 or 2 activations of mould protection. Freely-programmable start and end (e.g. for spring moulds)
- Automatic ramp course during switchover to a lower speed and during stopping of machine movements
- Hydraulic ejector with rapid release coupling is integrated into the clamping system
- Hydraulic ejector: Forces and speeds, multiple stroke (up to 10) and ejector advanced at end of cycle are programmable
- Hydraulic ejector for simultaneous movements regulated with servo valve
- Electro-mechanical servo drive for ejector system, position controlled for simultaneous drive movements
- Mould monitoring via plate safety mechanism
- Hydraulic core pulls with rapid connect coupling on the movable mould platen
- Hydraulic core pull, movement profiles and pressure hold manually adjustable
- Hydraulic core pull, simultaneous movements regulated
- Core pulls with electro-mechanical servo drive
- Hydraulic unscrewing units for threaded cores in one or two directions of rotation for mounting on fixed or movable clamping platen. Restricted ejector stroke
- Unscrewing unit with electro-

- mechanical servo drive for 2-direction threaded cores for installation on the movable clamping platen for ultra-precise positioning and reproducibility. Restricted ejector stroke
- Attachment option for robotic system
- Mechanical rapid clamping system with mould support to facilitate mould installation
- Power-operated safety gate, programmable opening time
- Increase of the mould installation height
- Mould blow unit with pressure relief valve
- Sorter unit (SELECTRON)
- Mechanical mould closing protection

#### Injection unit

- Central injection unit, can be repositioned and swivelled as a complete assembly
- Plasticising module with universal screw, central coupling and adaptive temperature regulation, available in different diameters
- Thermoplastic cylinder with universal screw in wear resistant execution
- Thermoplastic cylinder, in highly wear resistant version
- Plasticising module for processing thermoset, elastomer and silicone materials
- Thermoplastic screws for special applications, e.g. self-dyeing (mixing section), PVC (shear-sensitive), POM, PA (semi-crystalline)
- Hydraulic nozzle advance, programmable nozzle contact force
- Programmable nozzle speeds (advance 2, retract 1 stage) and advance and retract delay
- Monitored nozzle contact
- Continuous nozzle contact possible during the entire cycle
- Programmable nozzle contact force
- Regulated nozzle contact force
- Servo-electric nozzle advance

- movement with hydrostatic power transmission
- Regulated injection speed profile, 5-stage programmable with injection delay
- Position-regulated screw via servo electric direct drive
- Force- and position-controlled screw movement for highly dynamic, precise and repeatable movements, direct measurement of the injection force via sensor, precise and reproducible regulation of back pressure and holding pressure
- Injection movement with highly dynamic electromechanical servo drive
- Mechanical implementation of injection and dosing movement in an enclosed transmission housing for a long service life
- Injection process control with external sensor
- Measurement, display and monitoring of the injection time, switchover volume and switchover pressure
- Switch over to holding pressure as a volume or time dependent function
- Material cushion monitoring
- Holding pressure profile regulated via polygon with 10 base points
- Programmable delay times for all movements
- Screw circumferential speed display
- Positive and negative programmable back pressure
- Dosage time display with programmable dosage time monitoring
- Dosage possible before or after nozzle retraction
- Material decompression with programmable decompression speed, before and after dosage
- Dosage with electro-mechanical servo drive and gear reduction, energy-saving
- Open nozzle with screw-in tip

- Needle type shut off nozzle, spring force actuated
- Needle type shut off nozzle, hydraulically actuated
- Zone-dependent monitoring of heating circuits for continuity, short circuit and defective sensors
- Temperature monitoring with release tolerance range and zone-dependent monitoring tolerance
- Automatic temperature reduction can be selected in case of fault or after automatic switch off
- 50 litre corrosion proof stainless steel material hopper, movable to a blocking and emptying position
- Granulate feed zone temperature programmable and regulated with monitoring

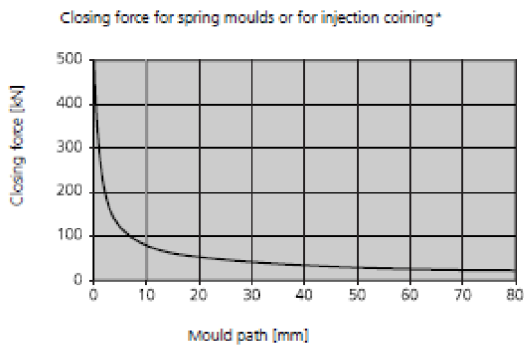
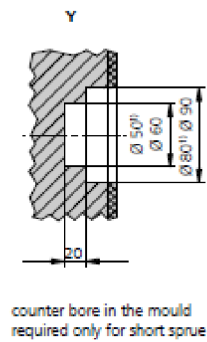
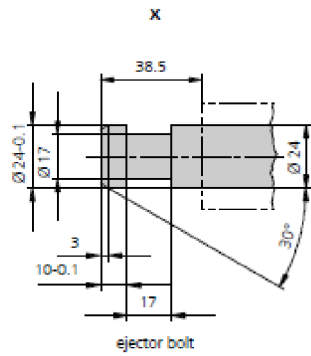
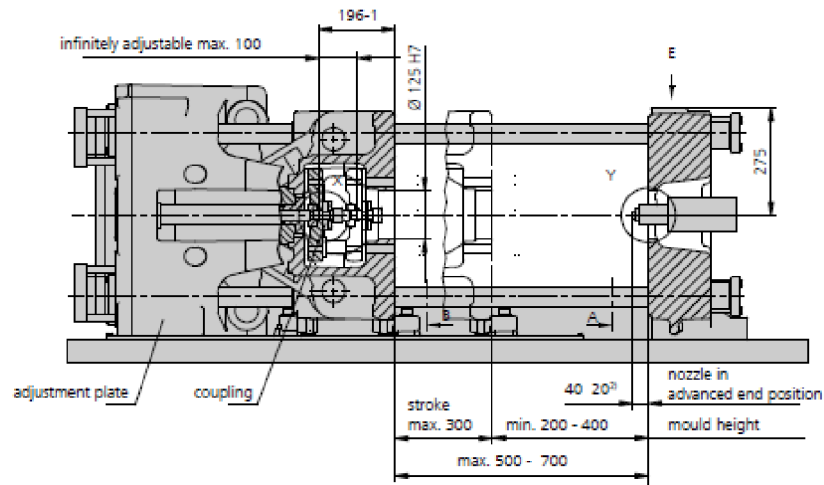
#### Regulated parameters

- Control cabinet temperature
- Plasticising cylinder temperature (adaptive)
- Screw rotation speed
- Injection flow or injection speed
- Holding pressure
- Ejection force for simultaneous movements
- Ramped movement of mould and ejector to end position
- Ramp control sequence for movement to nozzle end position
- Back pressure
- Mould position and speed
- Ejector position and ejector speed
- Electrical mould heating circuits (adaptive)
- Mould cooling circuits
- Internal cavity pressure or screw chamber pressure (external sensor)
- Nozzle contact pressure
- Screw position
- Granulate feed zone temperature
- Temperature of drive motors for injection, dosage and mould

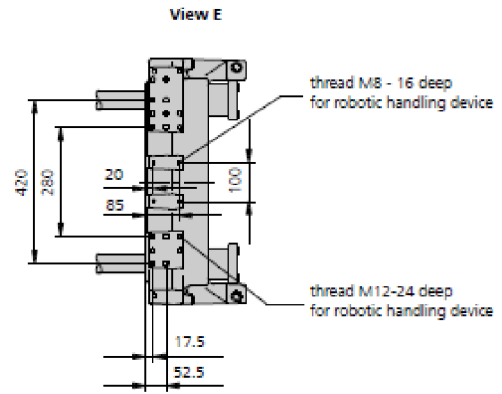
#### Robotic systems

- INTEGRALPICKER V: vertical sprue picker operating from above, servo-electric drive
- MULTILIFT H: robotic system operating horizontally from the rear of the machine with servo-electric Z-axis (other axes driven pneumatically)
- MULTILIFT SELECT: Pre-configured robotic system operating vertically from above, with three servo-electrically driven axes
- MULTILIFT V: versatile robotic system operating vertically from above with three servo-electrically driven axes (longitudinal and transverse installation possible)
- Six-axis robotic system with SELOGICA user interface: Fully integrated, flexible part management

- Basic machine
- Options



\* automatic clamping force adjustment up to 20 kN



- 1) Dimensions are valid for injection unit 70
- 2) Dimensions for thermoset moulds





Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)										
Injection units according to EUROMAP		70	70	70	170	170	170	290	290	290
Screw diameter	mm	18	22	25	25	30	35	30	35	40
Polystyrene	PS	21	31	40	54	77	105	97	132	172
Styrene heteropolymerizates	SB	20	31	39	53	76	103	95	129	168
	SAN, ABS <sup>1)</sup>	20	30	39	52	74	101	93	126	165
Cellulose acetate	CA <sup>1)</sup>	24	35	45	61	87	119	109	148	194
Celluloseacetobutyrate	CAB <sup>1)</sup>	22	33	42	56	81	110	101	138	180
Polymethyl methacrylate	PMMA	22	32	42	56	80	109	100	136	178
Polyphenylene oxide, mod.	PPO	19	29	37	50	72	98	90	122	160
Polycarbonate	PC	22	33	42	57	81	111	102	139	181
Polysulphone	PSU	23	34	44	58	84	115	105	143	187
Polyamides	PA 6.6, PA 6 <sup>1)</sup>	21	31	40	53	77	104	96	131	171
	PA 6.10, PA 11 <sup>1)</sup>	19	29	37	50	72	98	90	122	160
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	26	39	50	66	96	130	120	163	213
Polyethylene terephthalate	PET	25	37	48	64	92	126	115	157	205
Polyethylene	PE - LD	16	24	30	41	59	80	73	100	130
	PE - HD	16	24	31	42	60	82	76	103	134
Polypropylene	PP	17	25	32	43	62	84	77	105	137
Fluoropolymerides	FEF, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	33	50	65	86	124	169	155	211	276
	ETFE	29	44	57	76	109	148	136	185	242
Polyvinyl chloride	PVC - U	25	38	49	65	94	127	117	159	208
	PVC - P <sup>1)</sup>	23	35	45	60	87	118	108	147	192

1) average value

#### ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia,

Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to [www.arburg.com](http://www.arburg.com).

© 2012 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



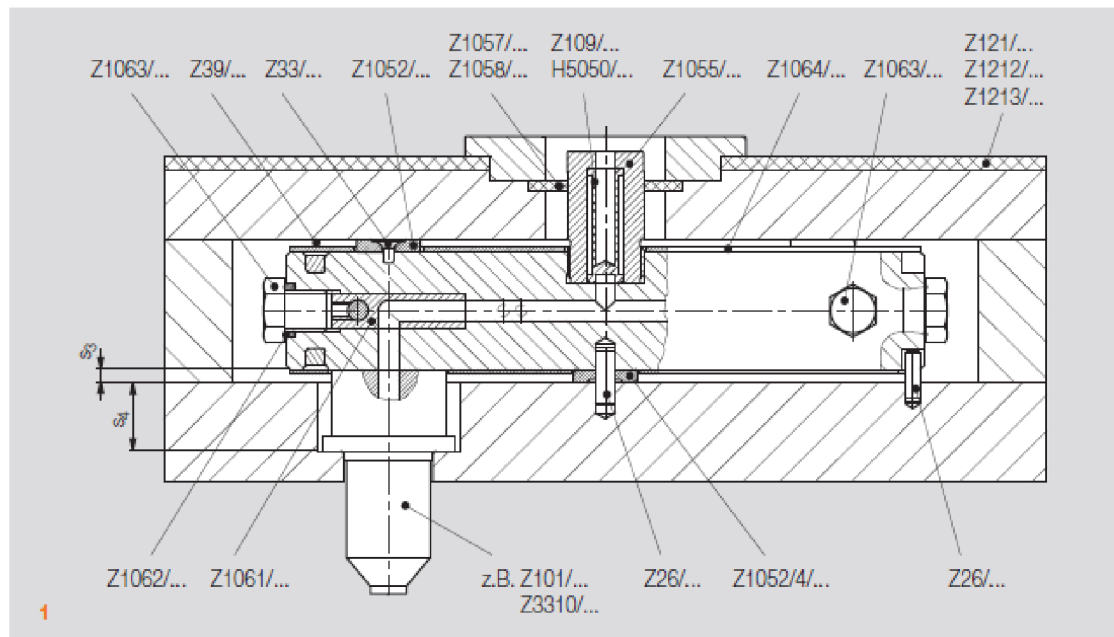
**ARBURG GmbH + Co KG Quality:**  
DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified



Einbauhinweise

Mounting instructions

Instructions de montage



- Für die düsenseitige Aufspannplatte vorzugsweise die Stahlqualität 1.2312 verwenden, um ein Eindrücken der Distanzscheiben Z1052/... zu vermeiden.
- Die Blöcke H106/...; H10600/... zur Verringerung der Wärmeabstrahlungsverluste mit den Reflektorplatten Z1064/... ausrüsten.
- Zur Verringerung des Wärmeabflusses zur Maschinenaufspannplatte die Wärmeisolerplatte Z121/..., Z1212/... oder Z1213/... verwenden.
- Umlenkungen und Bohrungsübergänge innerhalb der Blöcke verrunden.
- Als Verbindung zwischen Block und Kavität vorzugsweise HASCO-Heißkanaldüsen verwenden.
- Der Übergangsbereich der Steigbohrung zwischen Heißkanal und Düse ist vorzugsweise mit einer 60° Senkung zu versehen.
- Zur statischen Stabilisierung des Heißkanalsystems in axialer Verlängerung der zentralen Angießbuchse (Zwischenbuchse) Z1055/... die Distanzscheibe Z1052/4/... verwenden.
- Die Senktiefe  $s_4$  berechnet sich aus der Höhe des Düsenkopfes abzüglich der Distanzscheibenhöhe  $s_3$ . Dieses Maß sollte vorzugsweise auf Null gearbeitet sein.

- For the clamping plate on fixed side preferably the steel grade 1.2312 has to be used, to avoid an impression of disc Z1052/...
- To minimize heat losses the manifold blocks H106/...; H10600/... are to be covered with reflector sheets Z1064/...
- To reduce heat transfer into machine platen the insulating sheets Z121/..., Z1212/... or Z1213/... are to be installed.
- Channel turns and crossings inside the manifold are to be smoothly rounded.
- HASCO Hot runner nozzles are recommended as linkage between manifold and cavity.
- The transition region of the gating hole between hot runner and nozzle should preferably be fitted with a 60° countersunk.
- Opposite of the central sprue bushing (distributor bushing) Z1055/... the distance disc Z1052/4/... is to be placed to avoid deflection of manifold.
- The sunk depth  $s_4$  is calculated from the height of the nozzle head less the distance disc height  $s_3$ . This dimension should preferably be worked as zero.

- Pour la plaque de fixation du côté injection, utiliser de préférence la qualité d'acier 1.2312 afin d'éviter un enfoncement des rondelles d'écartement Z1052/...
- Equiper les blocs distributeurs H106/... et H10600/... de réflecteurs Z1064/... afin de réduire les pertes de dissipation thermique.
- Utiliser les plaques isolantes Z121/..., Z1212/... ou Z1213/... afin de réduire le débit de chaleur vers le plateau de la machine.
- Arrondir les dérivations et les passages l'intérieur du bloc distributeur.
- Utiliser de préférence les buses à canal chaud HASCO comme élément de guidage de la coulée entre le bloc chaud et la cavité.
- La zone intermédiaire de l'alésage vertical entre canal chaud et buse doit être muni de préférence d'un logement à 60°.
- Utiliser la rondelle d'écartement Z1052/4/... afin d'obtenir une stabilisation statique du système à canal chaud dans le prolongement axial de la buse d'injection (reçu de buse de presse) Z1055/... centrale.
- La profondeur  $s_4$  est calculée sur la base de la hauteur de la tête de buse, moins l'épaisseur de rondelle d'entretoise  $s_3$ . Cette cote doit de préférence est usinée vers zéro.

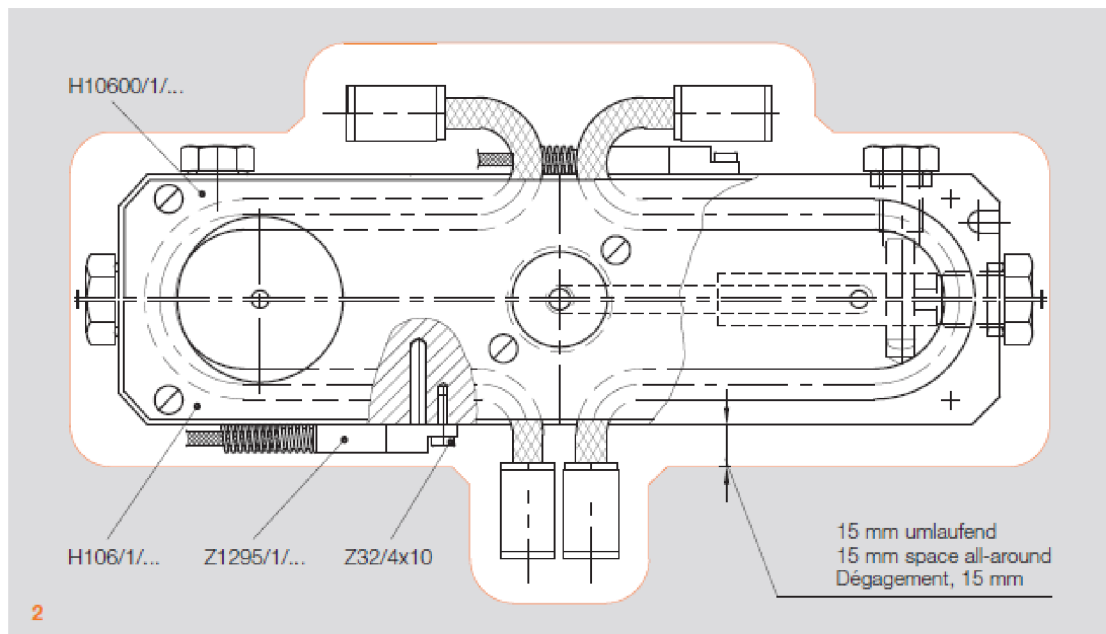


Bild 1

- Durchbiegungen vermeiden durch Abstützen jeder Düse auf der Gegenseite mit Distanzscheibe Z 1052/... aus Titan. Sie gewährleisten bei hoher mechanischer Festigkeit einen minimalen Wärmeabfluss.
- Die Heißkanaldüsen für das jeweilige Werkzeug in dem Maß Düsenauflagebund/Heißkanalverteilerblock (Maß „h<sub>2</sub>“) exakt abstimmen.
- Verunreinigungen der Schmelze durch Einbau des Filtereinsatzes Z 109/... oder H 5050/... vermeiden. (Angaben aus Info zu Z 109, H 5050 beachten!)
- Bei Verwendung der Angießbuchsen (Zwischenbuchsen) Z 1055/... ab einer Gesamtlänge von 56 mm und bei der Verarbeitung technischer Kunststoffe vorzugsweise Heizmanschette Z 1134/... verwenden. Der integrierte Thermofühler ermöglicht eine optimale Regelung.

Bild 2

- Den Verteilerblock komplett umrahmen, um große Konvektionseffekte zu vermeiden.
- Zur Temperaturüberwachung dient der Thermofühler Z 1295/1/... Er sitzt seitlich am HK-Verteilerblock.

Fig. 1

- To avoid deflection, the opposite manifold face from each nozzle position should be supported by spacer disc Z 1052/... The spacers are made of Titanium with high strength and allow only low heat transmission towards the clamping plate.
- The hot runner nozzles are to be ground exactly to same height (Dimension "h<sub>2</sub>") before assembling of hot runner system.
- HASCO-filter cartridge Z 109/... or H 5050/... is to be mounted to prevent contamination of melt. (Take note of data from info Z 109, H 5050!)
- If sprue bushings (distributor bushings) Z 1055/... are used with a total length exceeding 56 mm and when processing technical plastics, it is recommended to use heater band Z 1134/... The built-in thermocouple provides for optimum temperature control.

Fig. 2

- Manifold is to be completely surrounded by bolster plate to avoid convection effects.
- The thermocouple Z 1295/1/... is used for exact temperature control. It is positioned sideways of the manifold.

Fig. 1

- Pour éviter les fléchissements mettre en face de chaque buse une rondelle d'écartement Z 1052/... Les rondelles étant en titane, elles garantissent un écoulement thermique minimal tout en conservant une résistance mécanique élevée.
- Adapter avec précision les buses à canal chaud pour le moule concerné en fonction des dimensions de la plaque d'assise et du bloc distributeur (cote «h<sub>2</sub>»).
- Monter le filtre HASCO Z 109/... ou H 5050/... pour éviter les impuretés dans la coulée. (Tenir compte des indications visées dans l'info concernant la Z 109, H 5050!)
- En cas d'utilisation de buses d'injection (reçu de buses de presse) Z 1055/... à partir d'une longueur totale de 56 mm et dans le cadre du traitement des plastiques techniques, utiliser de préférence le collier chauffant Z 1134/... Le thermocapteur intégré permet un réglage optimal.

Fig. 2

- Encadrer intégralement le bloc distributeur afin d'éviter des effets de convection trop importants.
- Le thermocapteur Z 1295/1/... assure le contrôle de la température. Il est situé sur le côté du bloc distributeur HK.

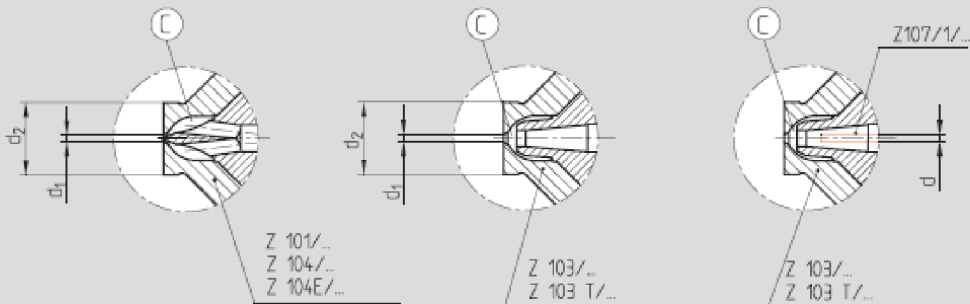
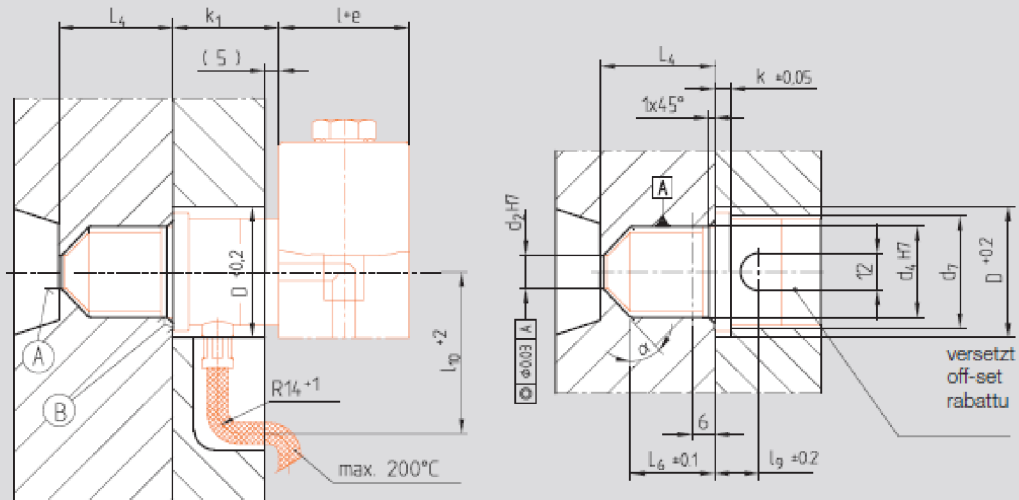
Einbaumaße

Mounting dimensions

Cotes de montage

Einbau mit Heißkanal Z 10600/...; Z 106/...  
 Mounting with manifold block Z 10600/...; Z 106/...  
 Montage avec canal chaud Z 10600/...; Z 106/...

Einbau als Zentraldüse  
 Mounting as central nozzle  
 Montage en tant que buse centrale



Nr./No.	Typ	D	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>4</sub>	k	k <sub>1</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>6</sub>	l <sub>q</sub>	l <sub>10</sub>	d <sub>7</sub>	α
Z101/...	27...	30,8		0,8-1,2	8	22	4	22	27	18,3	9	63	29	45°
	32...	38,8		1,2-1,8	10	25		29	32	21,3	10,8	72	34	51°
	38...	44,8		1,5-2,5	12	28	5	34	41	29,9	11,2		40	50°
	45...	52,8		2,5-3,5	14	35	6	32	56	42	12	77	47	
	56x112/...	62,8		3-4,5	16	42	8	44	68	49,9	14,2	80	58	
Z103/... Z103T/...	27...	30,8	2-3	1,2	8	22	4	22	27	18,5	9	63	29	45°
	32...	38,8		1,5	10	25		29	32	21,3	10,8	72	34	51°
	38...	44,8		2	12	28	5	34	41	29,9	11,2		40	50°
	45...	52,8		3	14	35	6	32	56	42	12	77	47	
	56x 81/... 56x112/...	62,8		1,5-2,5	16	42	8	44	37	18,8	12,2	80	58	
Z104/... Z104E/...	32...	38,8		3,5				68	49,9	14,2				
	32...	38,8		1,5	10	25	4	29	32	21,3	10,8	72	34	51°
	38...	44,8		2	12	28	5	34	41	29,9	11,2		40	50°
	45...	52,8		3	14	35	6	32	56	42	12	77	47	
56x112/...	62,8	3,5	16	42	8	44	68	49,9	14,2	80	58			

**Příloha 6.** Praktická násobnost formy  $n_p = f(N)$  [14]

