

Technická univerzita v Košiciach  
Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie

# Zlievarenstvo neželezných kovov

Návody na cvičenia

*doc. Ing. Peter Futáš, PhD. – prof. Ing. Alena Pribulová, CSc. –  
doc. Ing. Jozef Petrik, PhD. – Ing. Andrea Junáková, PhD.*

Košice, 2020

Autori: doc. Ing. Peter Futáš, PhD.  
prof. Ing. Alena Pribulová, CSc.  
doc. Ing. Jozef Petřík, PhD.  
Ing. Andrea Junáková, PhD.

Recenzenti: prof. Ing. Marcela Pokusová, PhD.  
Ing. Imrich Jelč, CSc.

Za odbornú stránku učebného textu zodpovedajú autori.

ISBN

978-80-553-3507-0

## OBSAH

Úvod .....	4
Ochrana a bezpečnosť pri práci v laboratóriu .....	5
1. Zloženie a výpočet vsádzky .....	7
1.1 Materiálová bilancia čistej výroby v zlievarni .....	9
1.2 Výpočet zloženia vsádzky .....	10
1.3 Legovanie a riedenie .....	15
1.3.1 Legovanie zliatin .....	15
1.3.2 Riedenie zliatin .....	17
2. Tavenie hliníkových zliatin .....	19
3. Stanovenie plynatosti Al zliatiny .....	27
4. Skúšky zabiehavosti Al zliatiny .....	30
5. Návrh technologického postupu výroby odliatku .....	33
5.1 Vypracovanie technologického postupu .....	33
5.1.1 Určenie technologičnosti konštrukcie súčiastky zo zlievarenského hľadiska .....	34
5.1.2 Určenie polohy odliatku vo forme. Voľba deliacej roviny .....	34
5.1.3 Prídavky na opracovanie. Dovoľené odchýlky rozmerov .....	35
5.1.4 Presnosť modelového zariadenia. Medzné odchýlky rozmerov a tvaru modelového zariadenia. Akostné triedy .....	36
5.1.5 Technologické prídavky. Zlievarenské úkosity. Zaoblenia .....	38
5.1.6 Určenie otvorov, ktoré sa nebudú predlievať .....	40
5.1.7 Voľba čapov, jadier a známkov na modeli .....	40
5.1.8 Stanovenie vôle medzi čapom jadra a známkou na modeli .....	44
5.1.9 Voľba formovacích rámov .....	48
5.1.10 Návrh a výpočet vtokovej sústavy .....	49
5.1.10.1 Výpočet vtokovej sústavy pre odliatky zo zliatin na báze Cu .....	58
5.1.10.2 Výpočet vtokovej sústavy pre odliatky zo zliatin na báze Al a Mg .....	64
5.1.11 Určenie počtu a veľkosti náliatkov .....	74
5.1.11.1 Výpočet objemu náliatkov .....	78
5.1.11.2 Určenie počtu náliatkov .....	83
5.1.11.3 Odstránenie náliatkov. Podnáliatkové vložky .....	84
5.1.12 Chladítka .....	85
5.1.13 Výpočet vztlakovej sily a zaťaženia formy .....	86
Literatúra .....	88

## Úvod

Návody na cvičenia z predmetu „Zlievarenstvo neželezných kovov“ sú určené pre poslucháčov 1. ročníka inžinierskeho štúdia zamerania zlievarenstvo. Časť cvičení je zameraná na výpočet množstva vsádzkových surovín, ako aj prípravy, spracovania a hodnotenia zlievarenských zliatin neželezných kovov. Tieto cvičenia okrem získania praktických skúseností v zaobchádzaní s tekutým kovom umožňujú štúdium kvality taveniny, mechanických vlastností, štruktúrnej stavby a rozsahu a druhu zlievarenských chýb odliatku. V rámci technológie výroby odliatku z neželezných kovov sa študenti oboznámia so zvláštnosťami technologického postupu výroby odliatku z týchto zliatin a ich praktickou aplikáciou pri rozpracovaní technologického postupu výroby konkrétneho odliatku.

## Ochrana a bezpečnosť pri práci v laboratóriu

Práca v zlievarenskom laboratóriu, tak ako aj v samotnej zlievarni, kladie zvýšené nároky na organizovanie ochrany a bezpečnosti pri práci. Pre prácu v zlievarenskom laboratóriu sa musia okrem platných predpisov ochrany a bezpečnosti práce dodržiavať osobitné ustanovenia, s ktorými sú študenti oboznámení na prvom cvičení v danom semestri. Zúčastnení potvrdzujú školenie bezpečnosti práce svojim podpisom.

Pri práci v zlievarenskom laboratóriu je študent povinný:

1. riadiť sa pokynmi vedúceho cvičenia,
2. dodržiavať predpisy a pokyny v zmysle školenia o bezpečnosti pri práci,
3. používať pridelené ochranné pomôcky,
4. okamžite hlásiť vedúcemu cvičenia všetky prekážky v práci a poruchy zariadení,
5. ak sa vyskytne úraz, ihneď to hlásiť vedúcemu cvičenia.

Študentom sa zakazuje:

1. manipulovať so zariadením v laboratóriu alebo s pomôckami bez poučenia a súhlasu vedúceho cvičenia,
2. vzdialiť sa mimo pracoviska bez súhlasu vedúceho cvičenia,
3. bez súhlasu vedúceho cvičenia vykonávať iné práce, než ktoré mu cvičiaci určil,
4. používať mobilné telefóny.

Kritickým miestom z hľadiska nebezpečenstva vzniku úrazu je príprava tekutého kovu (tavenie) a samotný proces odlievania.

Najčastejším úrazom sú popáleniny. Ich príčinou je neopatrnosť pri ručnom dovsádzkovaní materiálov do pece, pridávaní rôznych prísad do pece, neopatrnosť pri odlievaní kovu z pece, pri skladaní a odlievaní foriem.

Pred vsádzkovaním je nutné skontrolovať výmurovku pece, panvy alebo kvalitu téglika. Tieto nesmú byť poškodené, musia byť dobre vysušené.

Pri práci s tekutým kovom je nutné postupovať veľmi opatrne. Kov nesmie prísť do styku s vlhkom, hrdzou a pod. Do pece sa nesmie vsádzať materiál pokrytý ľadom alebo snehom, uzavreté krabice, rúry a iné, pretože môže dôjsť k výbuchu

a rozstreku tekutého kovu. Pre uvedené dôvody je potrebné vsádzkové suroviny a všetky ostatné prísady predhrievať, prípadne sušiť.

Pri transporte sa kov nesmie rozlievať po podlahe a nesmie sa odlievať do formy mimo miest na to určených.

V prípade, že z formovacích zmesí po odliatí unikajú plyny (CO), tieto je nutné zapáliť. Ak sa odliatky uvoľňujú z formy ručne, ich teplota nesmie presahovať 50 – 60°C.

## 1. ZLOŽENIE A VÝPOČET VSÁDZKY

V súčasnosti sa do zlievarni neželezných kovov dodávajú hotové zliatiny priamo z hutí. Zliatiny z čistých kovov sa v zlievarni pripravujú len zriedka, no i napriek tomu je výpočet vsádzky ako aj legujúcich prísad veľmi dôležitý.

Ak sa pri príprave zliatiny používajú čisté kovy, vsádzky obyčajne pozostáva z týchto hlavných zložiek:

- a) čistý kov v potrebnom pomere,
- b) vratný materiál (vlastný zlievarenský odpad),
- c) kupovaný odpad (starý kov),
- d) prídavok, ktorým je nutné nahradiť straty niektorých zložiek vsádzky, ktoré sa viac prepalujú (napr. Zn),
- e) dezoxidačné prísady.

Ak sa pripravuje tavba z dodaných hotových zliatin, vsádzka sa skladá z týchto zložiek:

- a) kupovaná hotová zliatina,
- b) vratný materiál,
- c) cudzí kupovaný odpad,
- d) prídavok, ktorým je nutné nahradiť straty niektorých kovov vzniknuté prepalom,
- e) dezoxidačné prísady.

*Vratný materiál* – v každej zlievarni sa na odliatky využije len určité množstvo kovu obsiahnutého vo vsádzke. Zvyšná časť kovu pripadá na náliatky, vtoky, zbytky, nepodarky a rozstreky a tvorí **vlastný odpad**. Materiál tohto odpadu predstavuje určitú stratu. Aby táto strata nebola ešte väčšia, musí sa odpad znovu spracovať, t.j. vrátiť do pece pri ďalších tavných. Preto sa mu hovorí „vratný materiál“. U rôznych zliatin je množstvo vratného materiálu rôzne. U zliatin, ktoré vyžadujú mohutné náliatky a komplikované vtokové sústavy, je jeho množstvo väčšie. So zvyšujúcim sa množstvom vzniknutého odpadového materiálu sa samozrejme zvyšujú i výrobné náklady odliatkov, pretože k dosiahnutiu určitej váhy odliatku je potrebné taviť väčšie množstvo kovu. Pri tom sa tiež spotrebuje i väčšie množstvo paliva alebo energie, stratí sa viacej materiálu prepalom atď. Preto je použitie vratného materiálu hospodársky nutné a vratný materiál sa stáva nevyhnutnou zložkou vsádzky.

Určitá časť kovu sa taktiež stratí úplne, dezoxidáciou kovu pri vysokej teplote a oxidy kovu prechádzajú do trosky alebo unikajú ako plyn alebo dym (napr. Zn), alebo tvoria akýsi popol na hladine kovu. Tomuto stratovému podielu sa hovorí prepál.

**Prepál** – je rozdiel medzi váhou jednotlivých zložiek vsádzky a výťažkom tekutého kovu, ktorý predstavuje odliatky, náliatky, vtoky a rôzne zvyšky. Tento prepál vzniká oxidáciou kovu, jeho vyparovaním a stratou kovu v troske. To je čistý prepál, ktorý zahŕňa všetky tzv. **nevratné straty**, t.j. také, z ktorých sa kov dá získať iba hutníckym spracovaním alebo sa nedá získať vôbec.

Straty kovu, ktoré vznikajú napr. rozstrekom alebo pri čistení odliatkov sa dajú vrátiť späť a opätovne použiť - **vratné straty**.

Prepál sa obyčajne nezisťuje pri peci, ale sa stanoví ako rozdiel medzi váhou jednotlivých zložiek vsádzky a čistými odliatkami, ku ktorým propočítavame všetky vratné odpady, t.j.:

- náliatky a vtoky,
- zbytky,
- nepodarky, pokiaľ nie sú započítané medzi odliatkami, napr. pred vytriedením zmätkov,
- triesky vznikajúce pri odrezávaní náliatkov,
- piliny,
- rozstreky kovu pri peci a pri odlievaní.

Prepál zistený týmto spôsobom je obyčajne o niečo väčší než sú čisté straty vzniknuté pri tavení, pretože sa obyčajne pri tavení nezaznamenajú všetky vratné straty. Hospodársky je však veľmi dôležité nielen všetky vratné straty evidenčne zachytiť, ale i skutočne kov v nich obsiahnutý zachrániť. Takýto kov by sa obyčajne so smetím, s opotrebovaným pieskom a pod. úplne stratil.

Ak sa nezachytia vratné straty v rozstreku, pilinách a trieskach, vychádza pri zisťovaní prepálu uvedeným spôsobom prepál príliš vysoký, ktorý neposkytuje správny prehľad o práci tavičov pri peci.



Aby sa prepal v peci čo najviac obmedzil, je potrebné sa pri tavení riadiť týmito zásadnými pravidlami:

1. Dodržiavať predpísané poradie vsádzkovania pri vsádzaní materiálu do pece.
2. Dodržiavať správne teploty predpísané stanoveným technologickým postupom.
3. Používať ochranný kryt alebo tavidlo.
4. Pridávať kovy s nízkym bodom tavenia vo forme predzliatin.
5. Dobre robiť dezoxidáciu.
6. Nepredlžovať dobu, po ktorú kov zostáva v peci.

### **1.1 Materiálová bilancia čistej výroby v zlievarni**

Príklad výpočtu bilancie čistej výroby a prepalu v zlievarni dokumentuje **tab. 1**. Prepal nie je rovnaký ani u všetkých zliatin ani u všetkých kovov obsiahnutých v jednej zliatine. Niektoré kovy sa buď oxidujú ľahšie, alebo sú pri teplote roztavenej zliatiny viacej prchavé. Tieto potom unikajú zo zliatiny ako plyny ktoré sa nad hladinou kovu zlučujú so vzdušným kyslíkom na oxidy. Takým kovom je napr. Zn, ktorého bod varu je 906 °C.

Mosadze, ktorých dôležitou zložkou je práve zinok, sa pred odlievaním zahrievajú na podstatne vyššiu teplotu. Pri teplote okolo 1150 °C sa zinok vyparuje z kovového kúpeľa a uniká najprv ako plyn, ale pri styku s kyslíkom zo vzduchu sa oxiduje na ZnO, ktorý uniká v podobe bieleho dymu. Meď, druhá zložka mosadzi, sa však oxiduje omnoho horšie a netvorí prchavý oxid. Preto v mosadzi ubúda hlavne zinok.

**Tab. 1** Bilancia výroby, odpadov a prepalov v zlievarni

1. Celková vsádzka za obdobie podľa vsádzkovej knihy .....	A kg
2. Zistenie čistej výroby:	
expedované odliatky za obdobie za obdobie podľa .....	B kg
inventúra odliatkov koncom obdobia v expedícii a vo všetkých štádiách výroby .....	C kg
<hr/>	
B + C .....	D kg
odčítanie inventúry odliatkov začiatkom obdobia v expedícii a vo všetkých štádiách výroby .....	E kg
<hr/>	
čistá výroba odliatkov $D - E =$ .....	<u>F kg</u>
3. Zistenie vratného materiálu:	
náliatky, vtoky, zbytky, nepodarky i vrátené podľa preberacej knihy skladu kovov ..	B <sub>1</sub> kg
inventúra náliatkov atď. koncom obdobia vo všetkých štádiách výroby .....	C <sub>1</sub> kg
<hr/>	
odčítanie inventúry náliatkov atď. začiatkom obdobia vo všetkých štádiách výroby .....	E <sub>1</sub> kg
<hr/>	
vratný materiál celkom $B_1 + C_1 - E_1$ .....	<u>F<sub>1</sub> kg</u>
4. Zistenie nevrátnych strát (prepal)	
vypočíta sa rozdielom $A - F - F_1 - F_2$	
Zostavenie:	
celková vsádzka .....	A kg ..... 100 %
čistá výroba .....	F kg ..... $\frac{F \cdot 100}{A}$ % vsádzky
vratný materiál .....	F <sub>1</sub> kg ..... $\frac{F_1 \cdot 100}{A}$ % vsádzky
využiteľný odpad .....	F <sub>2</sub> kg ..... $\frac{F_2 \cdot 100}{A}$ % vsádzky
prepal = $A - F - F_1 - F_2 = G$ .....	G kg ..... $\frac{G \cdot 100}{A}$ % vsádzky
<b>Poznámka:</b> nepodarky sa zisťujú podľa záznamov kontroly a vyjadrujú sa buď v % váhy čistých odliatkov alebo v % kusov čistých odliatkov	

## 1.2 Výpočet zloženia vsádzky

Ak chceme vyrobiť zliatinu s určitým zložením, musíme predovšetkým presne vypočítať vsádzku. K tomu samozrejme musíme poznať presné zloženie surovín, ktoré máme k dispozícii, musíme vedieť, ktoré kovy v zliatine sa pri tavení v danej taviacej peci prepalujú a aký je tento prepal veľký.

*Príklady postupu výpočtu vsádzky:*

**Pr. 1:** Má sa vyrobiť 100 kg mosadze Ms58 z odpadu kujnej mosadze bez použitia vratného materiálu. Prepal Zn je 2 %.

	Cu, %	Zn, %
Predpis zloženia zliatiny .....	58	42
Prídavok na prepal Zn (2 % z 42) .....		0,84
<hr/>		
Celkovo na 100 kg mosadze je potrebné .....	58	42,84

*Zloženie vsádzky:*

na 58 kg Cu je potrebné pridať mosadzný odpad rovnakého zloženia:

58 x 100 / 68, t.j. ....	85,3 kg	58	27,30
potrebné pridať rozdiel Zn .....	15,54 kg		15,54

Vsádzka bude pozostávať z:     85,40 kg mosadzného odpadu  
   15,54 kg hutného Zn

	kg Cu	kg Zn
a obsahuje celkovo .....	58	42,84

**Pr. 2:** Má sa vyrobiť 100 kg mosadze Ms58 z odpadu kujnej mosadze a 30 % vratného materiálu.

	Cu, %	Zn, %
Predpis zloženia zliatiny .....	58	42
Prídavok na prepal Zn (2 % z 42) .....		0,84
<hr/>		
Celkovo na 100 kg mosadze je potrebné .....	58	42,84

*Zloženie vsádzky:*

30 kg vratný materiál rovnakého zloženia .....

17,40	12,60
-------	-------

Rozdiel Cu bude dodaný odpadom z kujnej mosadze, t.j.

$$58 - 17,4 = 40,6$$

K tomu je potrebné 40,6 x 100 / 68, t.j. 59,9 kg

40,6	19,30
------	-------

Zvyšok Zn sa dodá hutným Zn, t.j. 10,94 kg ..... 10,94

Vsádzka bude pozostávať z: 30 kg vratného materiálu  
59,90 kg mosadzný odpad  
10,94 kg hutný Zn

	kg Cu	kg Zn
a obsahuje celkovo .....	58	42,84

**Pr. 3:** Má sa vyrobiť 100 kg bronzu s 10% Sn, 0,5% Pb, 2% Zn, zvyšok je Cu. Vsádzka pozostáva z 31 % vratného materiálu. Na dezoxidáciu treba použiť fosforovú meď v množstve 0,5%.

	Cu	Sn	Pb	Zn
Predpis zloženia zliatiny .....	87,5	10	0,5	2

*Zloženie vsádzky:*

31 kg vratný materiál rovnakého zloženia .....	27,125	3,1	0,155	0,62
6,9 kg Sn .....		6,9		
0,345 kg Pb .....			0,345	
1,38 kg Zn .....				1,38
0,5 kg fosforová meď .....	0,5			
59,875 kg Cu .....	59,875			

100 kg vsádzky celkovo obsahuje .....	87,5	10	0,5	2
---------------------------------------	------	----	-----	---

Obsah P vo fosforovej medi sa pri výpočte zanedbáva, pretože P väčšinou vyhorí a v zliatine budú len jeho stopové množstvá. Počíta sa s ním len v tom prípade, keď fosfor tvorí legujúcu zložku zliatiny.

**Pr. 4:** Má sa vyrobiť 100 kg hliníkového bronzu s 10% Al, 2% Fe, zvyšok je Cu za použitia 30% vratného materiálu. Hliník sa pridáva vo forme predzliatiny s 50% Cu a 50% Al, prepál Al je 3%. Železo sa pridáva vo forme predzliatiny s 10% Fe a 90% Cu.

	Al	Fe	Cu
Predpis zloženia zliatiny .....	10	2	88

Prídavok na prepál Al (3 % z 10) .....	0,3		
<hr/>			
Celkovo na 100 kg bronzu je potrebné .....	10,3	2	88
<hr/>			
<i>Zloženie vsádzky:</i>			
30 % vratný materiál rovnakého zloženia .....	3	0,6	26,4
14,6 kg predzliatiny s 50 % Al, 50 % Cu .....	7,3		7,3
14 kg predzliatiny s 10 % Fe, 90 % Cu .....		1,4	12,6
41,7 kg Cu .....			41,7
<hr/>			
100,3 kg vsádzky obsahuje celkom .....	10,3	2	88,0

Z uvedených príkladov je jasný postup pri výpočte vsádzky.

V prvom riadku sa vždy napíše predpis zloženia zliatiny v % alebo v kg na 100 kg zliatiny.

V druhom riadku sa napíše potrebný prídavok na prepál kovov v % vsádzky.

Tretí riadok je súčet prvého a druhého riadku a udáva, čo a v akom množstve musí byť vo vsádzke obsiahnuté. Potom sa počítajú jednotlivé zložky vsádzky. Uvedie sa váha odpadu, ktorý chceme spracovať.

Ak sa jedná o vratný materiál tej istej zliatiny (väčšinou sa tak používa na tavenie), predpokladá sa normálne zloženie zliatiny a uvedie sa obsah kovov v ňom obsiahnutom v kg. Ak sa použije vratný materiál z inej príbuznej zliatiny, vyčíslí sa obsah prvkov v kg podľa zloženia tejto zliatiny.

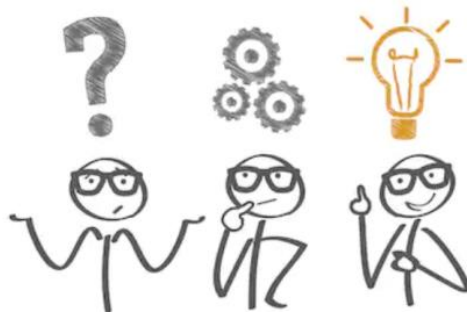
Ak sa pridáva tiež kupovaný odpad (starý kov), treba prepočítať skutočný alebo pravdepodobný obsah prvkov v zliatine. Ak sa má vyrobiť zliatina presného zloženia, odpovedajúceho norme alebo požadovanému predpisu, musí byť známe presné zloženie tohto odpadu.

Ako posledné sa prepočítavajú prísady. Tie sú buď čisté kovy alebo predzliatiny, v ktorých je požadovaná prísada zriedená iným kovom.

Nakoniec sa zisti aké množstvo hlavného kovu sa musí pridať, aby jeho obsah odpovedal predpisu.

**Príklady na riešenie:**

1. Má sa vyrobiť 100 kg bronzu s 15% Sn, 1,5% Pb, 4% Zn, 2% Fe a zvyšok je Cu. Vsádzku tvorí 35% vratného materiálu. Na dezoxidáciu bude použitá fosforová meď (0,5 kg). Prepál Zn je 4 %. Fe sa pridáva vo forme predzliatiny  $\text{CuFe}_{20}$ .
2. Má sa vyrobiť 100 kg mosadze Ms45 z odpadu kúnej mosadze Ms73 a 40% vratného materiálu. Prepál Zn je 3%.
3. Vypočítajte zloženie vsádzky pre 450 kg zliatiny  $\text{AlSi}_{10}\text{Cu}_5\text{Mn}_2\text{Mg}$ . Ako vsádzkový materiál použite: vratný materiál 30%, predzliatiny  $\text{AlMn}_{50}$ ,  $\text{AlMg}_{30}$ ,  $\text{AlSi}_{20}$ , čisté kovy.
4. Vypočítajte zloženie vsádzky pre 900 kg zliatiny  $\text{AlSi}_{10}\text{Mg}_3\text{Mn}_2$ . Ako vsádzkový materiál použite: vratný materiál 50%, predzliatiny  $\text{AlMn}_{10}$ ,  $\text{AlSi}_{30}$ , čisté kovy.



## 1.3 Legovanie a riedenie

### 1.3.1 Legovanie zliatin

Legovanie je proces pridávania legúr do kovu za účelom zlepšenia jeho vlastností. Zliatiny obsahujú jeden alebo viac legujúcich prvkov.

Okrem legúr sa v zliatine môžu vyskytovať aj prímеси a iné cudzorodé látky, ktoré sú nežiadúce a nevieme ich v priebehu výrobného procesu odstrániť. Prímеси nepriaznivo vplyvajú na vlastnosti materiálu a preto musia byť ich obsahy potlačené na minimálnu hodnotu. Obsahy legúr a prímеси v zliatinách stanovujú normy, vymedzujú ich rozsahy pre každý druh zliatiny.

Pri posudzovaní vplyvu jednotlivých prvkov na vlastnosti je potrebné zohľadniť ich použitie. Príkladom je napr. prítomnosť Cu v Al zliatinách. Pri zliatinách so zvýšenými požiadavkami na pevnosť, je obsah Cu okolo 4 % vítaný, pretože tým výrazne stúpajú pevnostné vlastnosti. Naopak pri zliatinách, u ktorých je požadovaná zvýšená koróziivzdornosť, je aj nepatrný obsah Cu škodlivý. Chemické zloženie zliatin je preto normované podľa ich využitia. Normy uvádzajú maximálnu koncentráciu prímеси a minimálnu a maximálnu koncentráciu legúr.

Pri výpočte množstva legúr vychádzame zo zmiešavacieho pravidla:

$$m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + \dots + m_n \cdot c_n = m \cdot c \quad (1)$$

kde:  $m_n$  – hmotnosť zliatiny (predzliatiny) [kg]

$c_n$  – koncentrácia prvku v zliatine (predzliatine) [%]

$m$  – celková hmotnosť zliatiny [kg]

$c$  – výsledná koncentrácia prvku v zliatine [%]

*Príklad výpočtu množstva predzliatiny na dolegovanie:*

**Pr. 1:** Vypočítajte koľko predzliatiny AlSr5 musíme dolegovať do 1800 kg taveniny zliatiny AlSi7Mg03, aby sme v nej zvýšili obsah Sr z 0,015 % na 0,030 %.

Pri výpočte vychádzame z rovnice (1):

$$m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + \dots + m_n \cdot c_n = m \cdot c$$

kde:  $m_1 = 1800$  kg

$c_1 = 0,015$  %

$$m_2 = x \text{ kg AlSr5}$$

$$c_2 = 5 \% \text{ (koncentrácia Sr v predzliatine AlSr5)}$$

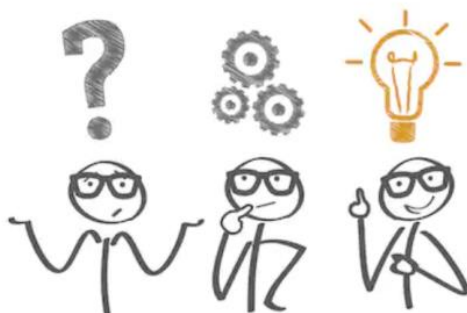
$$c = 0,03 \% \text{ (výsledná koncentrácia Sr v zliatine)}$$

$$\begin{aligned} (1800 \cdot 0,015) + (m_2 \cdot 5) &= (1800 + m_2) \cdot 0,03 \\ 27 + 5 \cdot m_2 &= 54 + 0,03 \cdot m_2 \\ 4,97 \cdot m_2 &= 27 \\ m_2 &= \underline{\underline{5,4 \text{ kg AlSr5}}} \end{aligned}$$

Do natavenej predzliatiny AlSi7Mg03 (1800 kg) na zvýšenie obsahu Sr na hodnotu 0,030 % potrebujeme 5,4 kg predzliatiny AlSr5.

### *Príklady na riešenie:*

1. V peci máme 550 kg zliatiny AlSi7Mg. Po kontrolnej analýze sme zistili obsah Mg 0,1 %. Výsledný obsah Mg má byť 0,2 %. Aké množstvo predzliatiny AlMg5 musíme dolegovať, aby sme dosiahli požadovaný obsah Mg.
2. Aké množstvo zliatiny s obsahom kremíka 95 % musíme pridať k 1800 kg tekutého hliníka s obsahom 0 % Si, aby výsledná zliatina obsahovala 13 % Si.
3. Máme vyrobiť zliatinu AlSi12Mn. Po chemickej analýze sme zistili obsah Mn 0,1 %. Výsledný obsah Mn má byť 0,3 %. V peci máme 1800 kg taveniny. Aké množstvo predzliatiny AlMn10 máme pridať na zvýšenie obsahu Mn.
4. Vyrábame zliatinu AlSi13, ktorá má predpísaný obsah Si 10 – 13 % a Mn 0,3 – 0,5 %. Kontrolná analýza ukázala obsah Mn 0,15 %. Je potrebné urobiť dolegovanie. Na legovanie použijeme Dursalit Mn75. Množstvo zliatiny v peci je 1800 kg.
5. V natavenej zliatine máme z kontrolnej analýzy obsah Mn 0,2 %. Vo vyrábanej zliatine má byť obsah Mn 0,45 %. Je nutné urobiť dolegovanie. Použijeme predzliatinu AlMn10. V peci máme 1900 kg zliatiny.





### 1.3.2 Riedenie zliatin

Pri výrobe zliatin, kde vsádzka pozostáva z odpadov môže byť problém v nehomogenite vsádzky a v neurčitosti jej chemického zloženia. Často až po roztavení vsádzky výsledok analýzy určí jej kvalitu. Chemické zloženie zliatiny často nezodpovedá požadovanej norme. Musíme posúdiť možnosť korekcie riedením taveniny. Tu je potrebné poznať vzťahy medzi percentom obsahu a hmotnosťou prvku. Do úvahy sa berie aj vplyv teploty (zvýšenie, výdrž na teplote) v procese rafinácie. Ide predovšetkým o obsah Mg, ktorý vyhorieva, naopak zvyšovaním výdrže na teplote dochádza k stúpaniu obsahu Fe. Podľa výsledku chemickej analýzy sa rozhodneme pre riedenie alebo odliatie tavby ako zmätkovitej. Postupuje sa podľa schémy:

1. Dôkladne sa porovná a posúdi výsledok kontrolnej analýzy s odpovedajúcou normou. Ak chemické zloženie vyhovuje, pristúpi sa k ďalšiemu dávkovaniu.
2. Pri prekročení normy je dôležitá koncentrácia prvku. Platí zásada, že najťažšie je riedenie nižších koncentrácií. Rozdielne je riedenie o desatinu percenta pri obsahu 0,2 % a pri obsahu 10 %.

#### *Príklad výpočtu riedenia zliatiny:*

**Pr. 1:** V peci je natavených 1000 kg Al zliatiny. Kontrolná analýza ukázala vyšší obsah Mn. Norma stanovuje max. 0,45 % Mn, analýza ukázala 0,5 % Mn. Treba sa rozhodnúť, či sa tavba bude riediť a koľko z nej sa musí odliat.

1000 kg Al zliatiny .....	100 %
x kg Mn .....	0,5 %
<hr/>	

$$x = (1000 \cdot 0,5) / 100 = 5 \text{ kg}$$

V peci sa nachádza 5 kg Mn, norma predpisuje max. 0,45 %, čo predstavuje 4,5 kg v tavenine. V tavenine máme o 0,5 kg Mn viac ako je požadované. 0,5 kg je desatina z 5 kg. Z toho vyplýva, že musíme odliat 1/10 tavby.

- odleje sa 1/10 tavby, čo je 100 kg
- ostane 900 kg

900 kg Al zliatiny .....	100 %
x kg Mn .....	0,5 %
<hr/>	

$$x = (900 \cdot 0,5) / 100 = 4,5 \text{ kg}$$

Odliatím 100 kg taveniny sa znížil obsah Mn na 4,5 kg, percento ale zostalo rovnaké, t.j. 5 %. Ak k tavenine pridáme 100 kg čistého Al, obsah Mn zostane rovnaký, t.j. 4,5 kg. Týchto 4,5 kg ale bude v 1000 kg taveniny, čo predstavuje 4,5 % Mn.

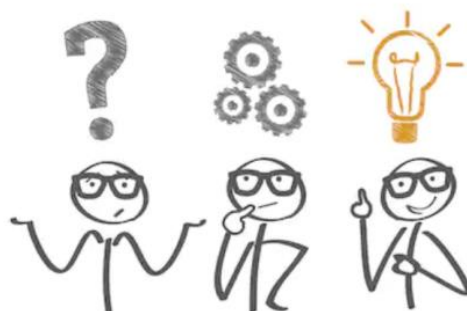
Zriedením sa dosiahlo požadované chemické zloženie, podmienkou ale je, že materiál, ktorý sme použili na zriedenie nesmie obsahovať Mn a musí byť dostatočná kapacita pece.

Po výpočte sa rozhodne riedení, alebo odliatí tavby ako zmätku. Zohľadní sa pri tom množstvo nataveného materiálu, jeho cena a hmotnosť.

Pri výrobe zliatin STN 42 4330 a STN 42 4331 sú problémové koncentrácie Zn a Cu. V zliatine STN 42 4330 sú maximálne prípustné koncentrácie Cu a Zn 0,05 %. V zliatine STN 42 4331 Cu+Zn = 0,1 %. Napr. pri vsádzke 1000 kg a koncentrácii Cu 0,1 % sa musí odliat polovica tavby, t.j. 500 kg.

#### **Príklady na riešenie:**

1. V peci je základná vsádzka 2500 kg. Kontrolná analýza ukázala vyšší obsah Zn (0,3 %). Norma stanovuje max. koncentráciu 0,2 %. Treba sa rozhodnúť, či sa tavba bude riediť a koľko z nej sa má odliat. Kapacita pece je 2800 kg.
2. V peci je vsádzka 1500 kg. Kontrolná analýza ukázala vyšší obsah Mn. Norma stanovuje max. 0,45 %, analýza ukázala 0,7 % Mn. Musíme sa rozhodnúť, či sa tavba bude riediť a koľko sa musí odliat. Kapacita pece 2000 kg.
3. V peci máme 1500 kg zliatiny. Kontrolná analýza ukázala vyšší obsah Mg. Norma stanovuje max. 0,55 %, analýza ukázala 0,7 %. Musíme sa rozhodnúť, či sa tavba bude riediť a koľko z nej sa musí odliat. Kapacita pece 200 kg.
4. V peci je vsádzka 1500 kg. Kontrolná analýza ukázala vyšší obsah Mn. Norma stanovuje obsah Mn 0,3 - 0,45 %, analýza ukázala 0,7 % Mn. Musíme sa rozhodnúť, či sa tavba bude riediť, ak nie tak koľko z nej musíme odliat ako zmätko. Kapacita pece 2000 kg.



## 2. TAVENIE HLINÍKOVÝCH ZLIATIN

Vlastné tavenie Al zliatin sa robí za prísneho dodržiavania stanovených postupov, aby sa zabránilo pohlcovaniu plynov a oxidácii kovu.

Pri tavení platia tieto pravidlá a zásady:

- taveninu nikdy neprehrievať nad 770°C, pretože nad ňou dochádza k prudkému rastu schopnosti taveniny pohlcovať vodík
- používať vždy len čistý vsádzkový materiál
- pri tavení v téglikových peciach používať nepopraskané tégle bez nárastov
- vsádzku dávať len do predohriatych nístejí, tegľov a pod.
- kontrolovať teplotu po natavení
- pri prostriedkoch na ošetrovanie tavenín nesmie presiahnuť vlhkosť 0,1 % (naplynenie taveniny)

*Ciele laboratórneho cvičenia:*

- výpočet vsádzky (výpočet množstva očkovača, modifikátora, rafinačných prísad),
- oboznámiť sa s technológiou tavenia v odporovej peci,
- metalograficky vyhodnotiť mikroštruktúru natavenej zliatiny.

### A) Vsádzkový materiál na tavenie Al zliatin v odporovej peci

Ako vsádzkový materiál sa použije:

- Al zliatina STN 42 4330, STN 42 4331 alebo STN 42 4334. Chemické zloženie zliatin je uvedené v **tab.2**, **tab. 3** a **tab. 4**. Porovnanie zliatin so zahraničnými materiálmi je v **tab. 5**.
- očkovač AlTi5B1
- modifikátor AlSr5
- rafinačná soľ AlCuAB6

**Tab. 2** Chemické zloženie zliatiny AlSi12Mn podľa STN 42 4330

Si	Mn	Cu	Fe	Mg	Ti	Zn
<b>hm. %</b>						
11,00 – 13,00	0,10 – 0,14	max. 0,10	max. 0,60	max. 0,10	max. 0,15	max. 0,15

**Tab. 3** Chemické zloženie zliatiny AlSi10MgMn podľa STN 42 4331

Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Cu
<b>hm. %</b>						
9,00 – 10,50	0,25 – 0,45	0,10 – 0,40	max. 0,50	max. 0,10	max. 0,10	max. 0,05

**Tab. 4** Chemické zloženie zliatiny AlSi7MgTi podľa STN 42 4334

Si	Mg	Ti	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
<b>hm. %</b>							
6,50 – 7,50	0,25 – 0,45	0,10 – 0,20	max.0,10	max.0,30	max.0,10	max.0,05	max.0,10

**Tab. 5** Porovnanie materiálov podľa STN so zahraničnými normami

Slovensko	ISO	EURO	Nemecko	Veľká Británia	USA
STN 42 4330	ISO 3522	EN 1706	DIN 1725 T.2	BS 1490	ASTM B85
STN 42 4331	ISO 3522	EN 1706	DIN 1725 T.2 DIN 1725 T.5	-	ASTM B85 ASTM B108
STN 42 4334	ISO 3522	EN 1706	DIN 1725 T.2 DIN 1725 T.5	-	ASTM B 26

### **B) Tavenie Al zliatin**

Na tavenie sa bude používať elektrická odporová taviaca pec T15 (**obr. 1**).

Technické parametre pece:

- vonkajší priemer            Ø 1000 mm
- príkon                            8 kW
- taviaci výkon                 20 kg Al.h<sup>-1</sup>
- max. pracovná teplota    1000 °C



**Obr. 1** Elektrická odporová pec T15

Pec má vnútorný priestor v tvare valca. Je určená pre vkladanie vsádzky zvrchu. Ohrevné špirály sú uložené v žliabkoch. Na reguláciu teploty sa používa PID regulátor CAL 3200 (výkon vyhrevných elementov sa riadi striedavým zapínaním a vypínaním príkonu). Teplota, ktorú udáva pec, je teplota nameraná snímačom v ohrevnom priestore, teda to nie je teplota taveného materiálu.

Na tavenie Al zliatin sa používa grafitový téglik s ochranným náterom.

***Výpočet množstva očkovačla, modifikátora a rafinačnej soli***

Vypočítajte množstvo očkovačla, modifikátora a rafinačnej soli pre vsádzku, ktorá má hmotnosť 3,5 kg. Tavenina má byť očkovaná množstvom očkovačla 55 ppm AlTi5B1 (pozn.: ppm – počet gramov očkovačla alebo modifikátora na jednu tonu taveniny), modifikovaná množstvom modifikátora 40 ppm AlSr5 a predpísané množstvo rafinačnej soli AlCuAB6 je 1 kg na 1 tonu vsádzky.

***Výpočet:***

Množstvo očkovačla:

$$\begin{array}{r}
 55 \text{ g} \dots\dots\dots 1000 \text{ kg} \\
 x \text{ g} \dots\dots\dots 3,5 \text{ kg} \\
 \hline
 x = 3,5 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,1925 \text{g AlTi5B1}
 \end{array}$$

Množstvo modifikátora:

$$\begin{array}{r}
 40 \text{ g} \dots\dots\dots 1000 \text{ kg} \\
 y \text{ g} \dots\dots\dots 3,5 \text{ kg} \\
 \hline
 y = 3,5 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 0,14 \text{g AlSr5}
 \end{array}$$

Množstvo rafinačnej soli:

$$\begin{array}{r}
 1000 \text{ g} \dots\dots\dots 1000 \text{ kg} \\
 z \text{ g} \dots\dots\dots 3,5 \text{ kg} \\
 \hline
 x = 3,5 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 3,5 \text{g AlCuAB6}
 \end{array}$$

## Návrh technológie tavenia Al zliatin

Postup tavenia v odporovej peci má tieto etapy:

1. Kontrola pecného priestoru, ohrevné špirály, či nie sú poškodené alebo zanesené, téglik musí byť očistený a ošetrený ochranným náterom.
2. Do vyhriateho pecného taviaceho téglika sa navádzajú suché a odmastené ingoty (bločky) Al zliatin.
3. Po vložení vsádzky do pece a jej natavení sa teplota stabilizuje na 730 °C.
4. Tavenina sa upraví:
  - a) predpísaným množstvom očkovača AlTi5B1,
  - b) predpísaným množstvom modifikátora AlSr5,
  - c) predpísaným množstvom rafinačnej soli AlCuAB6

Je nutné dodržiavať teplotný režim taviac, **tab. 6**.

**Tab. 6** Teplotný režim taviac

T <sub>očkovania</sub>	T <sub>modifikovania</sub>	T <sub>rafinácie</sub>	T <sub>liatia</sub>
°C			
730 ± 5	730 ± 5	730 ± 5	730 ± 5

5. Pred odlievaním sa z povrchu taveniny stiahne troska a nasleduje odlievanie do pieskových, kovových alebo keramických foriem s použitím alebo bez použitia keramického filtra.
6. Po stuhnutí taveniny vo forme sa odliatky vyberú. Z odliatku sa odstránia vtokové sústavy, náliatky a pripravujú sa vzorky na metalografické hodnotenie štruktúry.

### C) Metalografické hodnotenie štruktúry

Metalografické hodnotenie štruktúry Al zliatin sa vykonáva podľa STN 42 0491. Hodnotenie spočíva v stanovení parametrov jednotlivých fáz a štruktúrnych súčastí, **tab. 7**.

Štruktúra sa hodnotí na odobratých vzorkách alebo priamo na odliatkoch. Vzorky sa odoberajú:

- z vhodného miesta na odliatku,
- zo skúšobného kusa priliateho k odliatku
- z oddelene odlievaného kusa na zisťovanie mechanických vlastností zliatin.

**Tab. 7** Hodnotené parametre štruktúrnych fáz a súčastí

Štruktúrna fáza alebo súčasť	Parameter		Číslo etalónovej rady
	Názov	Označenie	
Dendrity $\alpha$ – fázy	obsah	D0 – D75	1a, 1b
	veľkosť	L	podľa skutočných rozmerov
	jemnosť	T1 – T9	2
$\beta$ – fáza (eutektický Si)	tvar	I až V	3
	rozloženie	A až C	4
	veľkosť	-	podľa skutočných rozmerov
Fázy obsahujúce ďalšie prvky	druh	-	podľa chemického zloženia
	tvar	1 až 5	5
	rozloženie	a až e	6
	veľkosť	-	podľa skutočných rozmerov
<p><b>Poznámka:</b> <math>\alpha</math>-fáza – je tuhý roztok Al s rôznym obsahom ďalších prvkov vylúčený ako biele dendritické útvary.  <math>\beta</math>-fáza – (eutektický Si) je tuhý roztok Si s rôznym obsahom ďalších prvkov  <b>Eutektikum</b> – zmes <math>\alpha</math> a <math>\beta</math> – fázy (tmavé útvary)</p>			

Miesta odberu sa volia s ohľadom na štruktúru anizotropiu zliatin. Ak sa odliatky tepelne spracovávajú, odoberajú sa vzorky z odliatkov až po tepelnom spracovaní. Štruktúra sa hodnotí v 1/3 až 1/4 hrúbky steny prierezu.

#### **Príprava vzorky na metalografické hodnotenie štruktúry**

Vzorka sa pripraví ručným brúsením za mokra brúsnyimi papiermi a leštením diamantovou pastou. Nasleduje leptanie 0,5 % roztokom kyseliny fluorovodíkovej (HF) po dobu 15 až 20 sekúnd.

Najčastejšie používané leptadlá pre zliatiny AlSi dokumentuje **tab. 8**.

**Tab. 8** Používané leptadlá pre zliatiny Al-Si

Leptadlo	Zloženie	Druh leptania
Dix – Keller	10 ml HF, 15 ml HCl, 25 ml HNO <sub>3</sub> , 950 ml H <sub>2</sub> O	čierno – biele leptanie
0,5 % HF	100 ml H <sub>2</sub> O, 0,5 ml HF	čierno – biele leptanie
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 100 ml H <sub>2</sub> O	čierno – biele leptanie
Weck – Al	4 g KMnO <sub>4</sub> , 1 g NaOH, 100 ml H <sub>2</sub> O	farebné leptanie
MA	100 ml HNO <sub>3</sub> , 100 ml etylalkoholu, 2 až 2,5 g (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	farebné leptanie

### *Čierno – biele leptanie*

Leptaním sa na povrchu výbrusu vytvorí mikroreliéf, ktorý dáva odlišné zobrazenie fáz a medzifázových rozhraní v odrazenom svetle. Použitím čierno – bieleho leptania u zliatin Al-Si môžeme pozorovať základnú štruktúru tvorenú kremíkovým eutektikom a dendritmi  $\alpha$  – fázy. Použitím čierno – bieleho leptania sú viditeľné, ale slabo rozlíšiteľné aj ostatné fázy vystupujúce v zliatinách Al-Si, napr. čierne ihlice  $\text{FeSiAl}_5$ .

### *Farebné leptanie*

Farebné leptanie je jedným z druhov vyvolania farebného kontrastu založené na reakcii povrchu metalografického výbrusu a leptadla. Výsledkom je transparentný film plniaci funkciu interferenčného povlaku. Pri štruktúrálnej analýze zliatin na báze Al-Si sa farebné leptanie používa na zvýšenie kontrastu medzi jednotlivými fázami. V štruktúre sa nachádzajú železité fázy, fázy  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , fázy, ktoré vytvára základná matrica s očkovadlami a modifikátormi, tieto sa odlišne sfarbiajú.

### *Vyhodnotenie mikroštruktúry*

Mikroštruktúra sa vyhodnocuje z fotografie získanej zo svetelného mikroskopu NEOPHOT 32 (**obr. 2**).



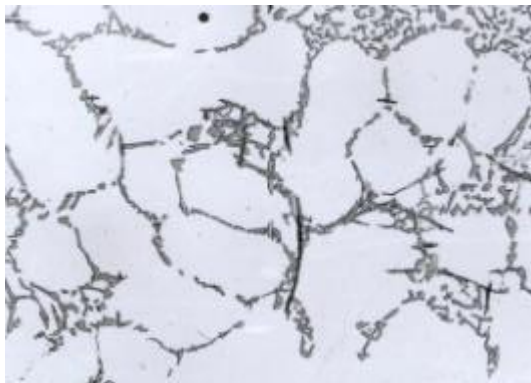
*Obr. 2 Svetelný mikroskop NEOPHOT 32*

Mikroštruktúry rôzne ovplyvnených Al zliatin sú zobrazené **obr. 3**. Mikroštruktúra nemodifikovaného a neočkovaného silumínu (**obr. 3a**) bola tvorená dendritmi  $\alpha$  – fázy (svetlé miesta) a doštičkami eutektického kremíka (v rovine metalografického

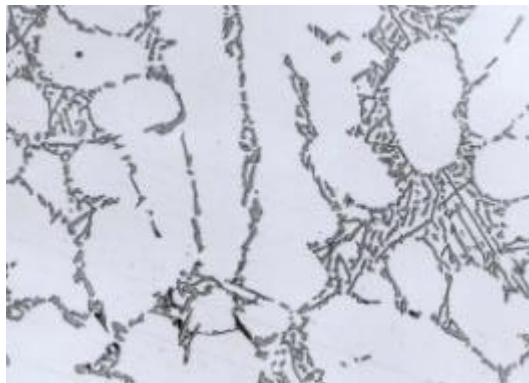


výbrusu sú pozorované ako rôzne rozložené krátke ihlice s výraznými kontúrami). Na okrajoch dendritov  $\alpha$  - fázy je zaznamenaný výskyt eutektického kremíka aj v tvare hranatých zrn. Tento výskyt zrn eutektického kremíka je spôsobený tým, že zliatina už vo východiskovom stave obsahuje určité množstvo Sr a je tzv. predmodifikovaná.

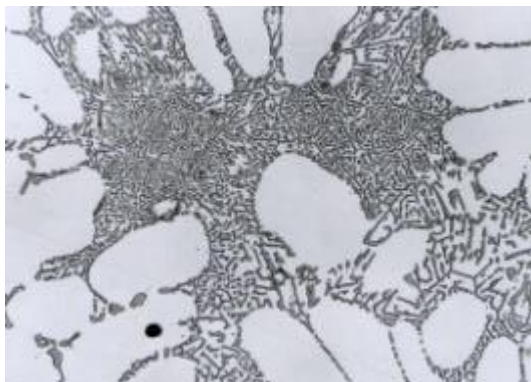
Cieleným modifikovaním dochádza k postupnej morfolologickej zmene eutektického kremíka a tento je pozorovaný v rovine metalografického výbrusu ako rôzne zrná. Pri nedostatočnom množstve modifikátora (20 a 30 ppm – **obr. 3b**) sú zrná hranaté s klesajúcim podielom ihlíc eutektického kremíka. Optimálne modifikovaný silumín (40 ppm Sr – **obr. 3c**) má eutektický kremík v tvare prevažne dokonale oblých zrn s lokálnym výskytom hranatejších zrn na okraji dendritov  $\alpha$  - fázy. Po prekročení optimálneho množstva modifikátora je eutektický kremík pozorovaný v tvare zhrubnutých hranatých zrn (ide o tzv. premodifikovaný stav – 50 až 60 ppm Sr – **obr. 3d**).



a) 0 % Sr



b) 20 ppm Sr



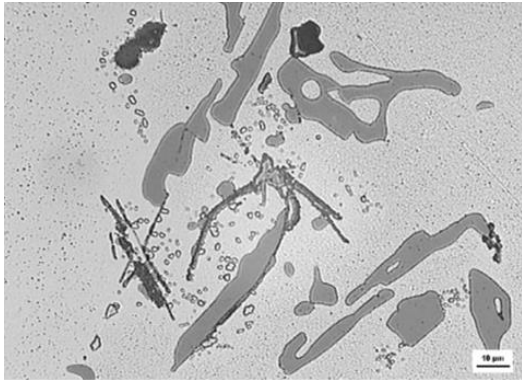
c) 40 % Sr



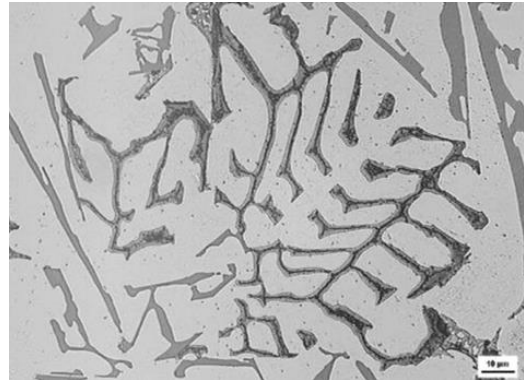
d) 60 ppm Sr

**Obr. 3** Mikroštruktúra silumínu  $AlSi_7MgTi$ , lept. 0,5% HF, zv. 200x

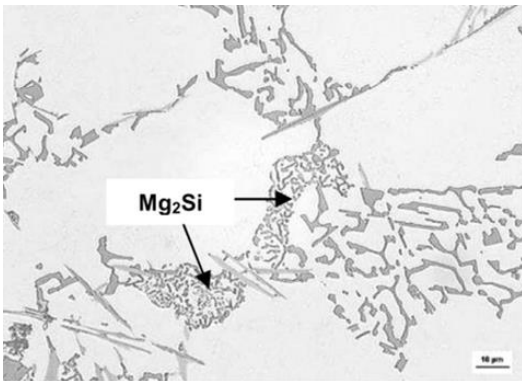
Príklady rôznych intermetalických fáz v zliatine AlSi9Cu3 sú uvedené na **obr. 4**.



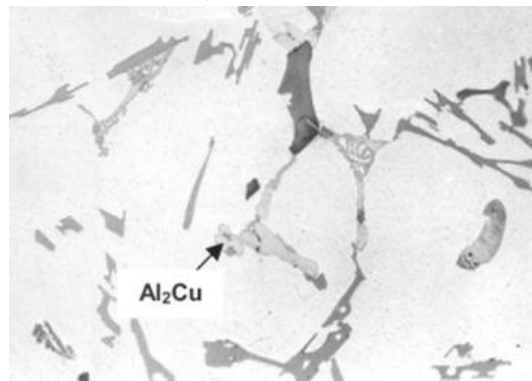
a) Intermetalická fáza  $Al_5FeSi$ , lept. Dix-Keller



b) Intermetalická fáza  $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ , lept. 0,5 % HF



c) Intermetalické fázy na báze Mg, lept.  $HNO_3$

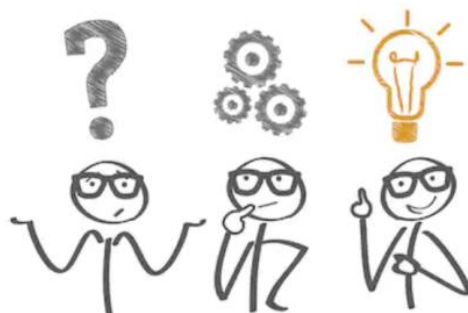


d) Intermetalické fázy na báze Cu, lept. NaOH

**Obr. 4** Intermetalické fázy v zliatine AlSi9Cu3

#### D) Úlohy cvičenia

1. Vypočítať vsádzku.
2. Pripraviť vzorky na hodnotenie metalografickej štruktúry.
3. Vyhodnotiť účinok očkovania, modifikovania, rafinácie a prípadne filtrácie na mikroštruktúru odliatej Al zliatiny.

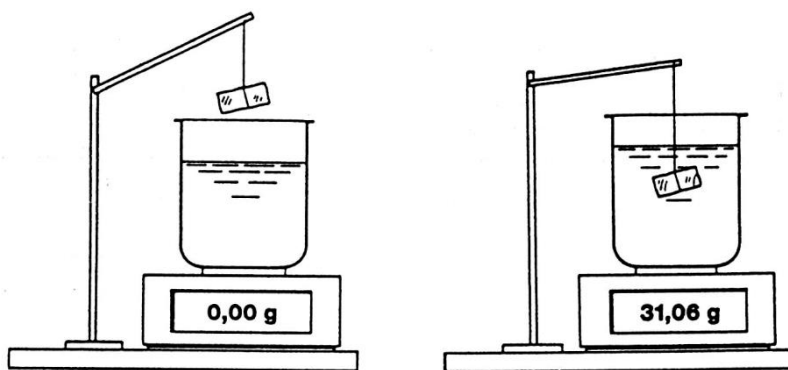


### 3. STANOVENIE PLYNATOSTI AL ZLIATINY

Naplynenie sa obvykle určuje tzv. metódou dvojitého váženia. Princípom metódy je porovnávanie hustoty vzoriek zliatiny, ktoré stuhli pri atmosférickom tlaku s vzorkou, ktorý stuhol za podtlaku. Využíva sa tu Sievertsov zákon, podľa ktorého je v kove za podtlaku nižšia rozpustnosť vodíka a preto sa pri tuhnutí vylúči viac vodíkových bublín ako pri atmosférickom tlaku. Bublíny ostávajú v kove uzatvorené a tým znižujú jeho hustotu.

#### *Pracovný postup pre stanovenie plynatosti Al zliatiny:*

1. Odobratie vzorky z hodnotenej zliatiny z taviacej pece a jej odliatie do dvoch skúšobných kelímkov (kovový, keramický alebo z pieskovej zmesi – podľa výrobcu) s objemom 40 – 80 ml.
2. Jedna vzorka sa nechá stuhnúť pri atmosférickom tlaku a druhá vzorka sa nechá stuhnúť za určeného podtlaku vo vákuovej komore.
3. Hustota vzorky, ktorá stuhla pri atmosférickom tlaku  $\rho_{vz\ atm}$  a vzorky, ktorá stuhla vo vákuu  $\rho_{vz\ vak}$  sa zistí vážením na vzduchu a po ponorení do kadičky s destilovanou vodou s využitím princípu Archimedovho zákona. Pri vážení vo vode je vzorka zavesená na závesnom zariadení tak, že váha registruje iba prírastok hmotnosti vody vytlačenej objemom ponorenej vzorky, **obr. 5**.



*Obr. 5 Princíp váženia vzorky*

4. Výpočet hustoty vzorky stuhnutej pri atmosférickom tlaku a vzorky za podtlaku sa robí nasledovne:
  - a) na digitálnych váhach sa odváži vzorka v suchom stave a získame jej hmotnosť G.
  - b) potom sa odváži kadička naplnená destilovanou vodou a získame hmotnosť K + V.

- c) do kadičky s vodou sa ponorí vzorka (obr. 5). Po ustálení ukazovateľa váh, sa odčíta celková hmotnosť  $G + K + V$  (vzorka + kadička + dest. voda)
- d) z rozdielu hmotnosti sa vypočíta  $G_V = (G + K + V) - (K + V)$
- e) zistí sa objem vody vytlačenej vzorkou:

$$V_V = \frac{G_V}{\rho_V} \text{ [cm}^3\text{]}$$

kde:  $G_V$  – hmotnosť vody [g]

$\rho_V$  – hustota vody [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]

- f) zistí sa skutočná hustota vzorky:

$$H_S = \frac{G}{V_V} \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$$

kde:  $G$  – hmotnosť vzorky [g]

$V_V$  – objem vody [ $\text{cm}^3$ ]

5. Obsah vylúčeného plynu je rovný rozdielu merných objemov oboch vzoriek.

$$V_H = \frac{1}{\rho_{vz\ vak}} - \frac{1}{\rho_{vz\ atm}} \text{ [m}^3\text{H}_2\text{/ kg Al]}$$

6. Z hustôt  $\rho_{vz\ atm}$  a  $\rho_{vz\ vak}$  sa určí tzv. „*index hustoty*“ (z nemeckého „Dichte Index“ označovaný ako DI).

$$DI = \frac{(\rho_{vz\ atm} - \rho_{vz\ vak})}{\rho_{vz\ atm}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

7. Teoretická hustota kovu zo vzorky sa zistí z chemického zloženia pomocou spektrometra. Z percentuálneho obsahu jednotlivých prvkov vo vzorke sa vypočíta priemerná hustota pomocou váženého priemeru:

$$H_T = \frac{\sum \%Al \cdot \rho_{Al} + \%Si \cdot \rho_{Si} + \%Cu \cdot \rho_{Cu} + \%Fe \cdot \rho_{Fe} + \dots}{\sum \%Al + \%Si + \%Cu + \%Fe + \dots} \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}$$

8. Plynatosť kovu  $P_V$  sa zistí porovnaním teoretickej a nameranej hustoty kovu predmetnej vzorky.

$$P_V = \left(1 - \frac{H_S}{H_T}\right) \cdot 100\% [\%]$$

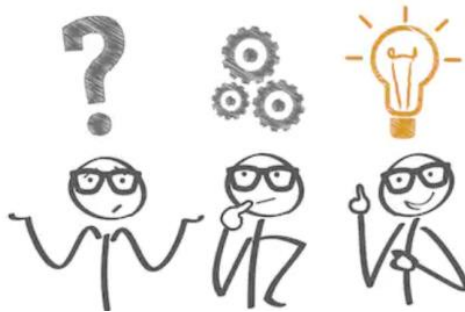
kde:  $H_T$  – teoretická hustota

$H_S$  – skutočná hustota (nameraná)

Pretože vznik plynových bublín úzko súvisí s prítomnosťou cudzích zárodokov, index hustoty vyjadruje súhrnný vplyv obsahu plynov a oxidických vtrúsenín, teda skutočný sklon zliatiny k vzniku bublín.

### Úlohy cvičenia

1. Nataviť Al zliatinu v odporovej peci.
2. Zistiť chemického zloženie odobratej vzorky.
3. Vypočítať teoretickú hustotu vzorky.
4. Zistiť skutočnú hustotu vzorky.
5. Zistiť plynatosť (index hustoty) natavenej zliatiny.



#### 4. SKÚŠKY ZABIEHAVOSTI AI ZLIATINY

Zabiehavosť je technologickou vlastnosťou zliatin a je závislá od fyzikálno-chemických vlastností zliatiny (povrchové napätie, pevnosť oxidickej blany, interval tuhnutia a pod.), od stavu zliatiny (modifikovaná a nemoifikovaná), podmienok liatia (teplota liatia, materiál formy).

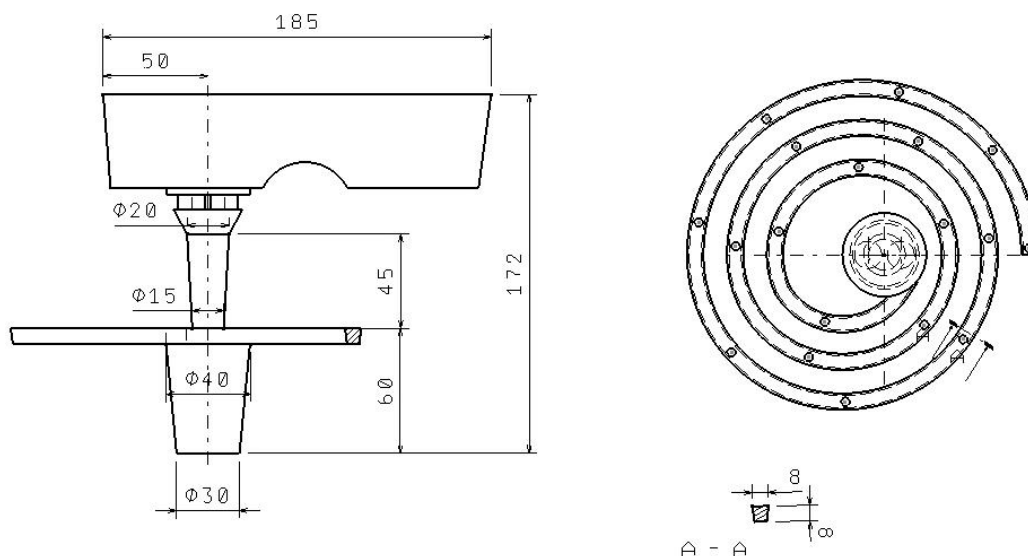
Najväčší význam pre zabiehavosť v rámci jednej zliatiny má teplota liatia.

Pre zhodnotenie zabiehavosti sa používajú rôzne technologické skúšky. Výsledky meraní sú porovnateľné len pre určitú skúšku zabiehavosti pri dodržaní rovnakých podmienok formovacej a liacej techniky. Hodnoty zabiehavosti namerané pre určitú zliatinu pri rôznych teplotách liatia slúžia na zostrojenie kriviek zabiehavosti. Zostrojené krivky sú vodítkom pre voľbu vhodnej teploty liatia pre odliatok určitej konštrukcie. Pre získanie uceleného názoru na chovanie sa zliatiny v dutine formy sa používa viacero typov skúšok zabiehavosti.

Skúšky zabiehavosti je možné rozdeliť na:

- skúšky jednotyčové
- skúšky viactyčové
- skúšky premenlivého prierezu

*Skúšky jednotyčové* sú najrozšírenejšie a z nich najpoužívanejšia je *Curyho špirála* s vtokom na vnútornom konci špirály, **obr. 6**. Celková dĺžka špirály je cca 1050 mm, čo je dosiahnuté 3,5-násobným otočením okolo osi.



**Obr. 6** Curyho špirála

Zabiehavosť sa vyjadruje ako dĺžka zabehnutej špirály v mm. Aby sa nemusela celá dĺžka merať, sú na hornej ploche špirály umiestnené výstupky v 50 mm vzdialenostiach. Odlievajúci tvar špirály je lichobežníkového tvaru. Zloženie a vlhkosť formovacej zmesi má odpovedať pomerom výroby odliatku. Zvlášť dôležité je presné meranie teploty liatia pri skúške.

Pre kontrolu zabiehavosti pri výrobe odliatkov do kokíl sa používa Curyho špirála odlievajúca do dvojdielnej (prípadne viacdielnej) kovovej formy, ktorá musí byť vytemperovaná.

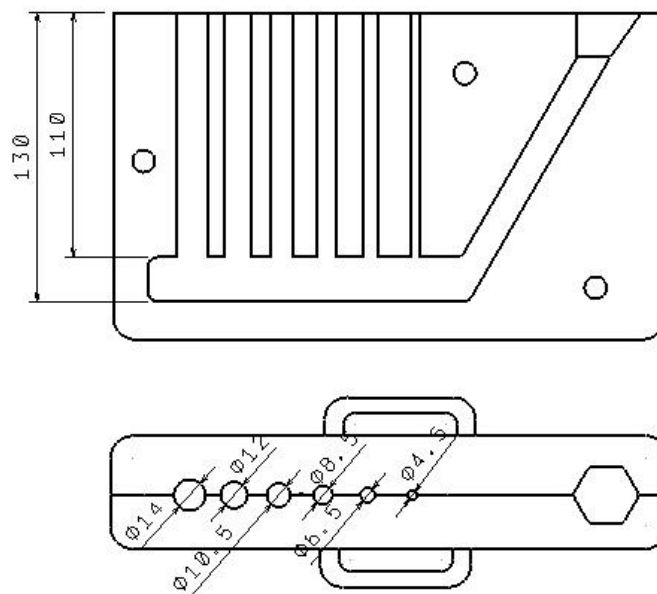
*Skúšky viactyčové* sú charakterizované tým, že tyče sú usporiadené vertikálne, plnia sa zdola pri premenlivej tlakovej výške, ktorá sa v priebehu liatia znižuje. Tieto skúšky umožňujú zistiť zabehnutie stien odliatku rôznej hrúbky a tak zohľadniť vplyv povrchovosti odliatku.

Kokila – harfa (lýra) (**obr. 7**) používaná na skúšku zabiehavosti vo vertikálnom smere sa pred odlievaním predohrieva na 120 °C. Kokila má v rade 6 tyčí (stúpačiek, vertikálnych kanálov) s priermi  $D_1 = 4,5$  mm,  $D_2 = 6,5$  mm,  $D_3 = 8,5$  mm,  $D_4 = 10,5$  mm,  $D_5 = 12$  mm,  $D_6 = 14$  mm. Koeficient zabiehavosti zliatiny sa následne určí zo vzťahu:

$$Y_z = \frac{L_1}{S_1} + \frac{L_2}{S_2} + \frac{L_3}{S_3} + \frac{L_4}{S_4} + \frac{L_5}{S_5} + \frac{L_6}{S_6} [mm^{-1}]$$

kde: L – výška stĺpca zliatiny v tyči [mm]

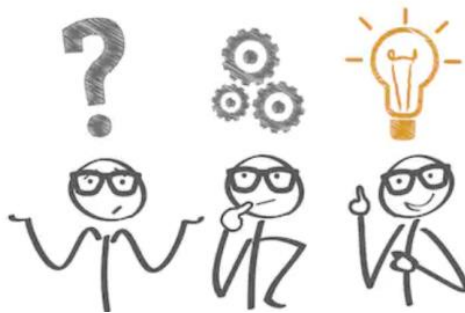
S – prierez vertikálneho kanála [mm<sup>2</sup>]



**Obr.7** Vertikálna skúška (harfa)

### Úlohy cvičenia

1. Odsledovať vplyv teploty liatia na zabiehavosť pre rôzne skúšky zabiehavosti Al zliatiny.
2. Odliať špirálovú skúšku pri šiestich rôznych teplotách Al zliatiny (680°C, 700°C, 720°C, 750°C, 780°C, 830°C).
3. Odliať vertikálnu skúšku pri šiestich rôznych teplotách Al zliatiny (680°C, 700°C, 720°C, 750°C, 780°C, 830°C).
4. Zostrojte krivky vplyvu zabiehavosti na teplote a zdôvodnite ich.





## 5. NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY ODLIATKU

Technologický postup výroby odliatku je dôležitým úsekom prípravy výroby a slúži k výrobe modelového zariadenia, k určovaniu technológie výroby formy a odlievaniu. Okrem toho je podkladom pre kalkuláciu a ekonomický rozbor, pre určenie spotreby materiálov, určenie profesií a počtu pracovníkov, nárokov na strojné zariadenie a pod.

Podkladom pre vypracovanie technologického postupu slúžia základné údaje požiadavky objednávateľa:

- strojnicky výkres súčiastky, na ktorom sa uvádza názov súčiastky, materiál (STN, EN, ...), teoretická hmotnosť, požadovaná presnosť odliatku,
- počet objednávaných kusov.

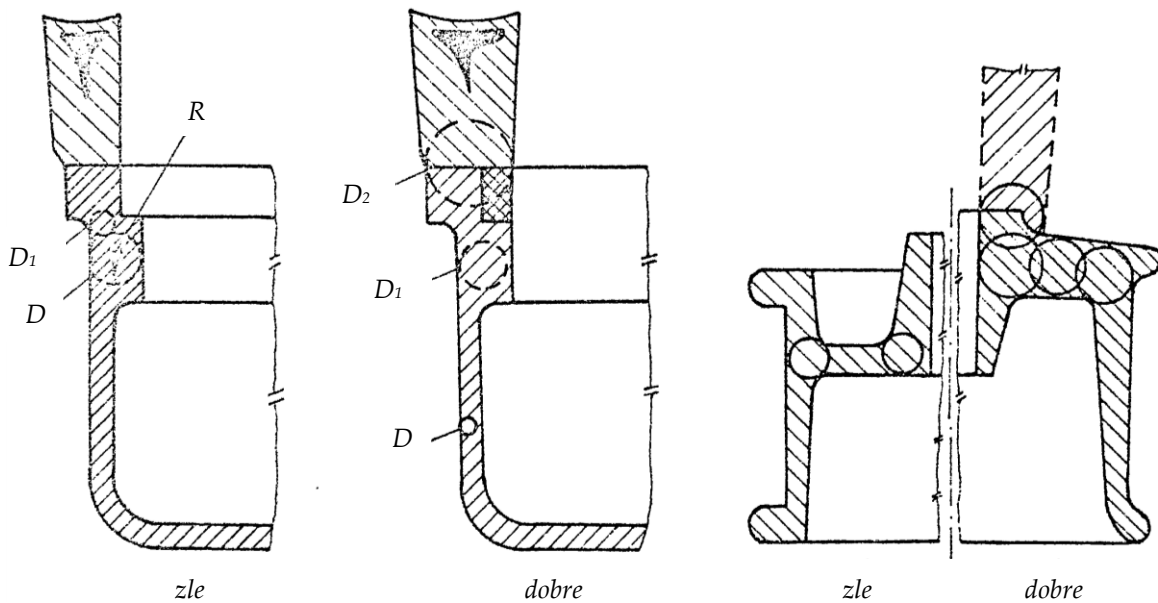
### 5.1 Vypracovanie technologického postupu

Vypracovanie technologického postupu a zlievarenského postupového výkresu pozostáva z nasledujúcich krokov:

1. Určenie technologicnosti konštrukcie súčiastky zo zlievarenského hľadiska.
2. Určenie polohy odliatku vo forme. Voľba deliacej roviny.
3. Prídavky na opracovanie. Dovoľené odchýlky rozmerov.
4. Presnosť modelového zariadenia. Medzné odchýlky rozmerov a tvaru modelového zariadenia. Akostné triedy.
5. Technologické prídavky. Zlievarenské úkosy. Zaoblenia.
6. Určenie otvorov, ktoré sa nebudú predlievať.
7. Voľba čapov, jadier a známkov na modeli.
8. Stanovenie vôle medzi čapom jadra a známkou na modeli.
9. Voľba formovacích rámov.
10. Návrh a výpočet vtokovej sústavy.
11. Určenie počtu a veľkosti náliatkov.
12. Chladítka.
13. Výpočet vztlakovej sily a zaťaženia formy.

### 5.1.1 Určenie technologicnosti konštrukcie súčiastky zo zlievarenského hľadiska

Konštrukcia súčiastky súvisí s technologicnosťou odliatku v zmysle možnosti priameho náliatkovania tepelných uzlov, môže sa určiť napríklad pomocou vpísaných kružníc (**obr. 8**).



*Obr. 8 Určenie technologicnosti súčiastky pomocou vpísaných kružníc*

### 5.1.2 Určenie polohy odliatku vo forme. Voľba deliacej roviny

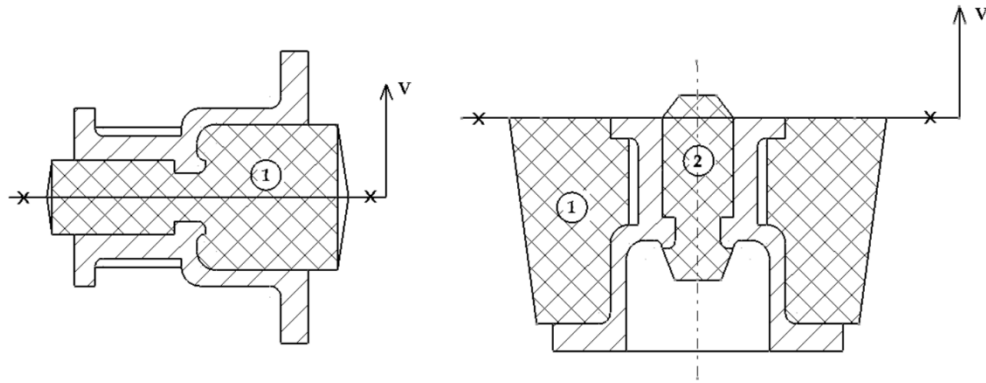
Poloha odliatku vo forme a deliaca rovina určujú v značnej miere postup výroby odliatku. Pri voľbe smeru formovania platia všeobecné zásady:

- funkčné plochy odliatku je výhodnejšie umiestniť v spodnej časti formy,
- časti s hrubšími prierezmi z hľadiska kladne usmerneného tuhnutia je výhodnejšie umiestniť do vršku formy (zvlášť pri výrobe odliatkov z materiálov s veľkou hodnotou objemového zmraštenia),
- výška dopadu prúdu taveniny musí byť čo najmenšia.

Deliaca rovina určuje spôsob vytvorenia vonkajšieho obrysu odliatku (použitie nepravých jadier), miesto zaústenia vtokovej sústavy, členitosť modelu, použitie voľných častí a pod (**obr. 9**).

Z hľadiska hospodárnosti výroby (minimálna prácnosť ohľadom na charakter výroby) deliaca rovina má zaistiť:

- minimálne členenie modelu,
- jednoduchosť vyberania modelu z formy a vkladania jadier do formy.



Obr. 9 Členenie modelu v závislosti od deliacej plochy

### 5.1.3 Prídavky na opracovanie. Dovoľené odchýlky rozmerov

Prídavok na opracovanie je hrúbka vrstvy materiálu na odliatku, pridávaná na plochu, ktorá má byť obrobená. Rozlišuje sa menovitý a skutočný prídavok.

**Menovitý prídavok** sa predpisuje na postupovom výkrese a určuje sa podľa STN 01 4980 a na jeho veľkosť má vplyv:

- druh odlievaného materiálu
- presnosť výroby a jej charakter
- základný a smerodajný rozmer
- poloha obrábanej plochy

**Základný rozmer „Z“** je prvý rozmer určujúci veľkosť prídavku na opracovanie. Je to vzdialenosť najvzdialenejších obrobených plôch alebo čiar rovnobežných s danou plochou alebo najväčšia vzdialenosť dvoch protiľahlých bodov na obrobenom povrchu.

**Smerodajný rozmer „S“** je rozmer, ktorý spoločne so základným rozmerom určuje veľkosť prídavku na opracovanie. Je to najväčší merateľný rozmer uvažovanej časti odliatku, ktorý leží v robine kolmej na smer základného rozmeru. Na horných vodorovných plochách sa volia prídavky o 30 až 50% väčšie ako predpisuje STN 01 4980.

Prídavky sa zakreslia do postupového výkresu plnou červenou čiarou a reze sa vyšrafujú. Veľkosť prídavku sa udáva číslom, polomery kótou.

*Skutočný prídavok* je prídavok nameraný na hrubom odliatku a je vymedzený odchýlkami STN 01 4470, ktorá určuje dovolené odchýlky kótovaných rozmerov, tvaru, polohy a rôznych nerovností povrchu hrubých odliatkov. Norma rozlišuje: menovitý rozmer – rozmer predpísaný na výkrese odliatku a skutočný rozmer – rozmer nameraný na hrubom odliatku. Rozdiel medzi skutočným a menovitým rozmerom nesmie byť väčší ako odchýlka daná touto normou. Pri nedodržaní dovolenej tolerancie rozmerov sa odliatok hodnotí ako chybný. Rozmerová tolerancia platí pre všetky plochy odliatku okrem tých miest, kde zostali zvyšky po náliatkoch a vtokovej sústavy. Veľkosť odchýlok je určená: stupňom presnosti odliatku, menovitým rozmerom, smerodajným rozmerom (najväčší merateľný rozmer odliatku v ploche kolmej na menovitý rozmer).

#### *5.1.4 Presnosť modelového zariadenia. Medzné odchýlky rozmerov a tvaru modelového zariadenia. Akostné triedy*

V súvislosti so stupňom presnosti odliatku súvisí i stupeň presnosti modelového zariadenia, ku ktorému patria modely, jadrovníky, voľné časti, šablóny a modelové dosky. Medzi presnosťou podľa STN 01 4470, platnou pre odliatky a STN 01 4471, platnou pre modelové zariadenia platí vzájomný vzťah uvedený v **tab. 9**.

*Tab. 9 Súvislosť rozmerovej presnosti odliatku a modelového zariadenia*

Stupeň presnosti hrubého odliatku – STN 01 4470	Stupeň presnosti modelového zariadenia – STN 01 4471
. 1	. 21
. 2	. 22
. 3	. 23 a . 11
. 4	. 12
. 5 a . 6	. 13

Menovitý rozmer modelu je rozmer predpísaný na postupovom výkrese, resp. na postupovom výkrese odliatku. K nemu sa vzťahujú medzné odchýlky rozmeru a tvaru modelového zariadenia (STN 01 4471). Okrem toho rozmery modelu sa upravujú o predpísanú mieru lineárneho zmraštenia zliatiny. To znamená, že menovitý rozmer modelu sa rovná súčtu menovitého rozmeru odliatku a prídavku na opracovanie v príslušnom merítku na zmraštenie, **tab. 10**.

**Tab. 10** Priemerné hodnoty zmraštenia zliatin

Typ zliatiny	Zmraštenie [%]	
	voľné	brzdené
<b>Zliatiny neželezných kovov:</b>		
- cínové bronzy	1,4 – 1,6	1,2 – 1,4
- ostatné bronzy	1,7 – 2,3	1,4 – 2,0
- kremíková mosadz	1,6 – 1,8	1,5 – 1,7
- mangánová mosadz	2,0 – 2,3	1,8 – 2,0
- Al – Mg	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2
- Al – Si	0,9 – 1,2	0,8 – 1,0
- Al – Cu	1,3 – 1,5	1,2 – 1,3
- Mg – zliatiny	1,35 – 1,9	1,0 – 1,6

Zmraštenie je zmenšenie objemu, resp. rozmerov stuhnutého a vychladnutého odliatku oproti objemu dutiny formy, resp. rozmerom formy. Hodnota lineárneho zvraštenia sa udáva v % na postupovom výkrese odliatku červenou farbou nad pečiatkou.

Skutočný rozmer je rozmer nameraný na modelovom zariadení. Tento rozmer sa nesmie líšiť od menovitého rozmeru viac ako o toleranciu dovolenú STN 01 4471. Za dodržanie dovolených tolerancií zodpovedá modeláreň zlievarne.

Materiál modelového zariadenia určí modeláreň podľa požiadavky na akostnú triedu modelového zariadenia. Akostnú triedu modelového zariadenia predpisuje postupár na postupovom výkrese odliatku alebo na sprievodnej karte skúšobného odliatku.

Pri voľbe akostnej triedy rozhodujúcimi činiteľmi sú:

- veľkosť modelu
- tvar modelu
- charakter výroby
- presnosť odliatku

Modelové zariadenie je zaradené do štyroch akostných tried:

**I. trieda** – požaduje sa veľmi vysoká trvanlivosť a presnosť kovových a drevených modelov, alebo modelov z umelých hmôt. Modely I. akostnej triedy slúžia k výrobe odliatkov . 3 a . 4 stupňa presnosti podľa STN 01 4471.

**II. trieda** – požaduje sa presné dokonalé prevedenie modelov pre malosériovú alebo opakovanú výrobu. Modely II. akostnej triedy slúžia k výrobe odliatkov . 4 a . 5 **stupňa presnosti** podľa STN 01 4471.

**III. trieda** – bežné modely vyrobené z mäkkého dreva na výrobu menšieho počtu opakujúcich sa objednávok odliatkov. Modely III. Akostnej triedy slúžia k výrobe odliatkov . 4 a . 5 **stupňa presnosti** podľa STN 01 4471.

**IV. trieda** – hrubé modely s hrubými stenami len pre jednorazovú výrobu odliatkov. Sú vždy jednoduché, ľahko sa dajú rozobrať a použiť na výrobu ďalších modelov. Do tejto triedy patria šablóny a kostrové modely. Modely IV. akostnej triedy slúžia k výrobe odliatkov . 6 **stupňa presnosti** podľa STN 01 4471.

### 5.1.5 *Technologické prídavky. Zlievarenské úkosy. Zaoblenia*

*Technologický prídavok* nie je normalizovaný. Určuje ho technológ pre každý prípad uváženia, i keď tento prídavok v podstatnej miere závisí od použitej technológie výroby odliatkov. Názory jednotlivých odborníkov sa tu v mnohých prípadoch rozlišujú. Technologický prídavok sa používa za účelom vylepšenia zlievarenskej technológie a zníženia prácnosti pri výrobe odliatku.

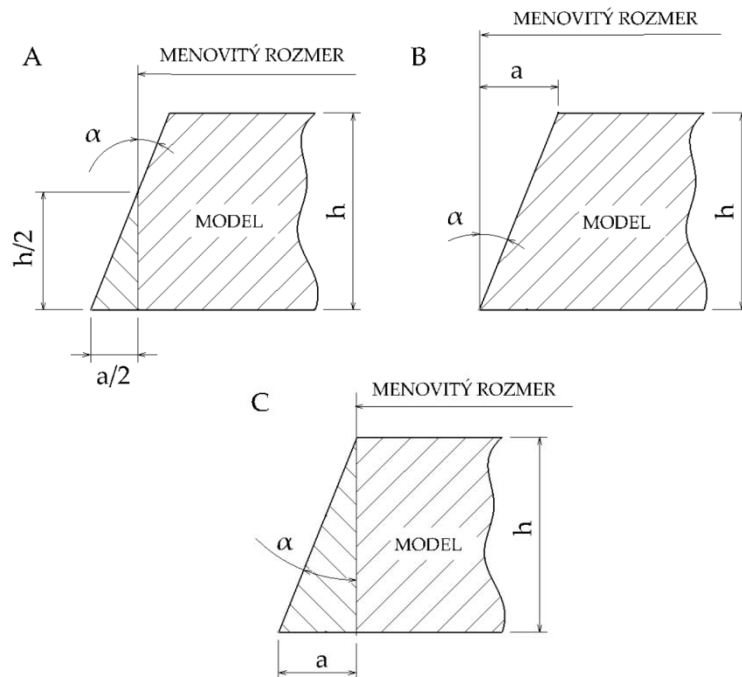
Sú známe tieto typy technologických prídavkov:

- zosilnenie steny podľa pravidla vpísaných kružníc za účelom dosiahnutia usmerneného tuhnutia a zvýšenia hutnosti odliatku
- zosilnenie steny pre zvýšenie zabiehavosti tekutého kovu, čo sa používa u tenkostenných odliatkov z materiálov s horšou zabiehavosťou
- zosilnenie steny za účelom zmenšenia deformácií
- úprava tvaru odliatku odľahčením, rôznym zoslabením prierezov v miestach väčšieho nahromadenia materiálu, tepelných uzlov za účelom zníženia výskytu riedin, stiahnutí a pod.
- úprava tvaru odliatku za účelom odstránenia voľných častí, resp. zmenšenia počtu jadier a pod.

*Zlievarenský úkos* sa robí na stenách modelu, formy a odliatku z dôvodov konštrukčných alebo technologických.

*Konštrukčný úkos* (STN 04 2021) sa robí na súčiastke a príslušnom modeli z konštrukčných dôvodov (udáva konštruktér).

**Technologický úkos** (STN 04 2021) sa robí na modeli z technologických dôvodov za účelom ľahšieho vyberania modelu alebo jeho častí z formy. Udáva sa uhlom  $\alpha$  v stupňoch, alebo ako hodnota „a“ v mm na výšku modelu „h“ mm. Norma rozlišuje úkosy A, B, C, **obr. 10**.

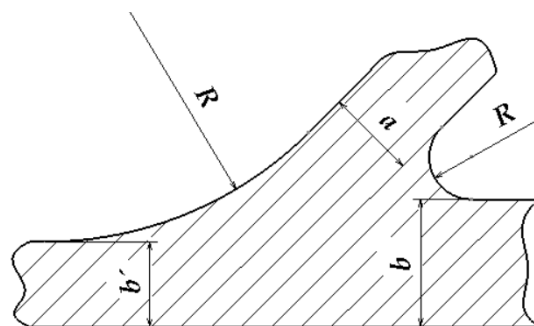


**Obr. 10** Technologické úkosy A, B, C

Hodnoty „a“ a „ $\alpha$ “ sa určia podľa STN 04 20 21 v závislosti od rozmeru modelu, materiálu modelu, materiálu modelu a spôsobu formovania (ručné, strojné).

Veľkosť zlievarenských úkosov nie je zahrnuté v dovolených odchýlkach rozmerov odliatku (STN 01 4470) a modelu (STN 01 4471).

**Zaoblenia** sa zhotovujú na modeloch za účelom plynulých prechodov od jednej steny k druhej, čím sa zabraňuje drobeniu formovacej zmesi pri vyberaní modelu z formy a znečisteniu dutiny formy pieskom. Odstraňuje sa pripečenie zmesi v rohoch formy a zlepšuje sa vonkajší vzhľad odliatku ako aj zmenšenie tepelných uhlov.



**Obr. 11** Zaoblenia v ostrých a tupých uhloch odliatku

Zaoblenia v ostrých a tupých uhloch sú znázornené na **obr. 11**. Polomer zaoblenia sa volí v medziach 1/5 až 1/3 aritmetického priemeru dvoch spájajúcich sa hrúbok stien odliatku:

$$R = \frac{1}{3} \cdot \frac{a + b}{2} [mm]$$

kde: a, b – hrúbky stien vytvárajúcich uhol

Vypočítaná hodnota sa zaokrúhli do najbližšej hodnoty typizovaných zaoblení: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 mm.

### **5.1.6 Určenie otvorov, ktoré sa nebudú predlievať**

Otvory v odliatkoch pod určitú veľkosť sa neodlievajú a to z dôvodov hospodárnosti výroby: je výhodnejšie odliať plné steny a otvor potom vyvrtáť. Podľa STN 01 4470 sa otvory nemusia predlievať, keď:

$$d \leq 0,3 \cdot h + 10 [mm]$$

kde: d – priemer otvoru predpísaný na strojníckom výkrese + prídavok na opracovanie (ak sa povrch otvoru opracováva)  
h – výška otvoru vrátane prídavku na opracovanie

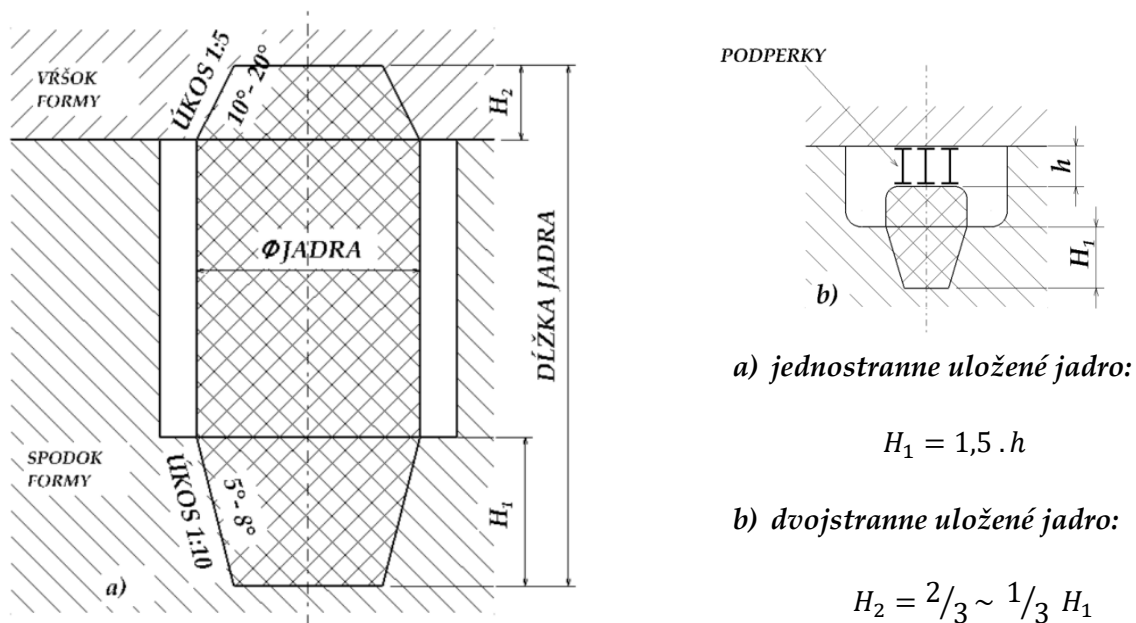
Otvory, ktoré sa nepredlievajú sa na výkrese vyšrafujú červenou farbou.

### **5.1.7 Volba čapov, jadier a známkov na modeli**

Všetky ostatné dutiny a otvory v odliatku (okrem tých, ktoré je nevhodné neodlievať) sa odlievajú pomocou jadier.

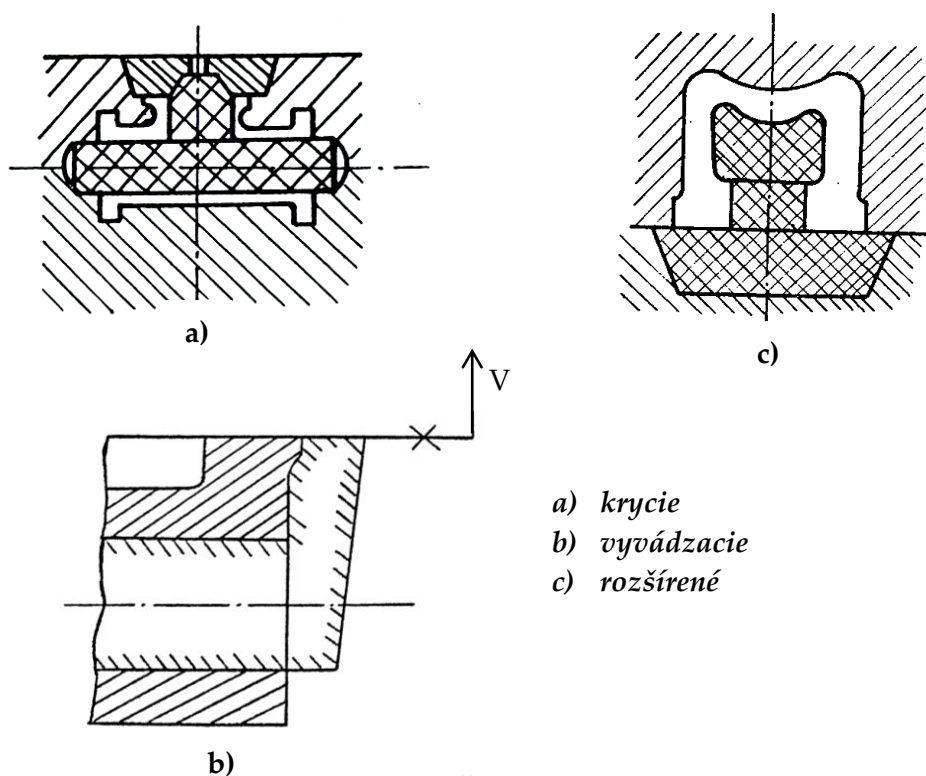
Za účelom dodržania rozmerovej presnosti odliatku, jadro je opatrené čapmi, ktorými sa ukladá do lôžka vo forme odformovaného známku na modely. Jadro môže byť uložené jednostranne (jedným čapom), obojstranne (dvoma čapmi) alebo viacstranne. Pre menšie jadrá sa rozmery čapov vyhľadávajú v príslušných tabuľkách. Podľa konštrukcie sa čapy rozdeľujú na vodorovné, zvislé a špeciálne. Os vodorovných čapov leží v deliacej rovine formy, pričom čapy v spodnej polovici formy sa robia dlhšie s menším úkosom (1:10 alebo 5 až 8°) ako čapy vo vrchnej polovici formy (1:5 alebo 10 až 20°), **obr. 12 a**. Pre zvislé jadrá, výška ktorých je menšia ako priemer, postačí len spodný čap, **obr. 12 b**. V tomto prípade sa jadro proti vztlaku zaistí podperkami.





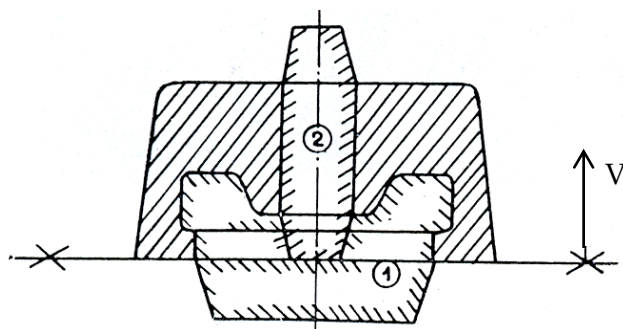
Obr. 12 Zvislé jadro

Špeciálne čapy sú: vyvádzacie, rozšírené, krycie (obr. 13) a pod.



Obr. 13 Špeciálne čapy

Pre vytvorenie zložitej dutiny v odliatku sa použije viac jadier do seba vložených, z ktorých každé musí byť opatrené vlastnými čapmi. Jadrá na výkrese označíme farbami v tomto poradí: zelená, modrá, hnedá, fialová, oranžová, žltá a očísľujeme ich v poradí ukladania do dutiny formy, obr. 14.



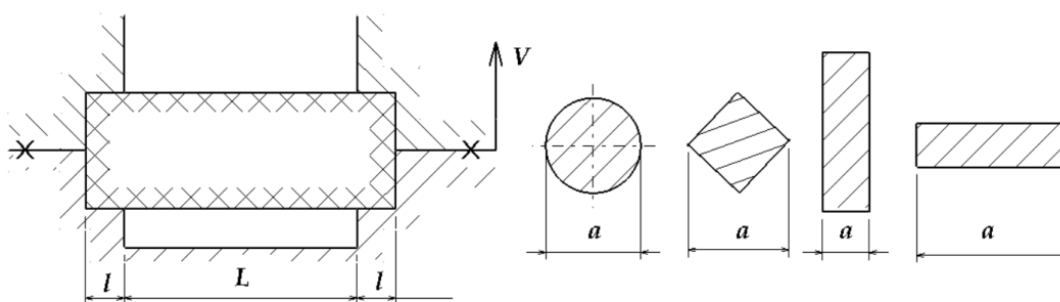
Obr. 14 Použitie viac jadier pre vytvorenie dutiny v odliatku

Čap jadra sa zakreslí do výkresu plnou čiarou rovnakej farby ako celé jadro. Vnútorňý obvod jadra sa v reze vyšrafuje krátkymi čiarami, je možné i šrafovanie krížikovaním, ak to vyžaduje prehľadnosť výkresu. Kótujú sa úkosy a výška (dĺžka) čapu.

Rozmery čapov jadier sú totožné s rozmermi príslušnej časti jadrovníka, v ktorom sa jadro vyrába a sú uvedené v **tab. 11** a **tab. 12**.

Tab. 11 Dĺžka čapov vodorovných jadier

Dĺžka jadra L [mm]	Dĺžka čapu l pre šírku a [mm]									
	do 50	51 100	101 160	161 250	251 400	401 650	651 1000	1001 1600	1601 2500	cez 2500
do – 50	20	25	30	35	-	-	-	-	-	-
51 – 100	30	35	40	45	50	-	-	-	-	-
101 – 200	35	40	50	60	70	80	-	-	-	-
201 – 400	40	50	65	80	95	110	130	-	-	-
401 – 700	-	60	75	90	110	130	155	180	-	-
701 – 1200	-	-	90	110	130	155	180	210	240	-
1201 – 2000	-	-	-	130	155	180	210	240	280	330
2001 – 3000	-	-	-	-	180	210	240	280	330	380
nad – 3000	-	-	-	-	-	240	280	330	380	540



$l$  – dĺžka čapu [mm]

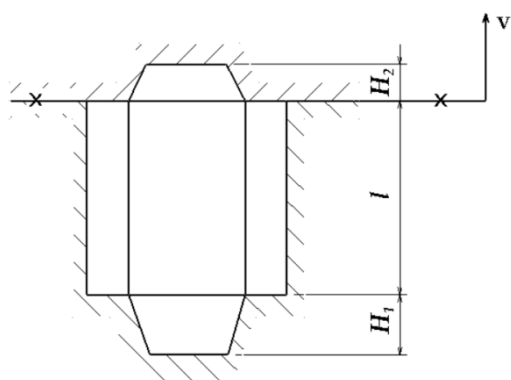
$a$  – šírka jadra [mm]

$L$  – dĺžka jadra bez čapov [mm]

U vodorovných jadier rovnakého prierezu uložených dvoma čapmi sa dĺžka čapov určí v závislosti od dĺžky jadra podľa **tab. 12**.

**Tab. 12** Dĺžka čapov u zvislých jadier

Výška jadra l [mm]	Dĺžka čapu H <sub>1</sub> pre priemer alebo strednú šírku [mm]									
	do 50	51 100	101 160	161 250	251 400	401 650	651 1000	1001 1600	1601 2500	cez 2500
do – 50	30	30	30	35	40	-	-	-	-	-
51 – 100	-	35	40	40	45	50	-	-	-	-
101 – 200	-	45	50	60	60	70	80	-	-	-
201 – 400	-	-	60	70	80	80	90	100	120	-
401 – 700	-	-	80	90	100	100	110	120	120	140
701 – 1200	-	-	-	100	100	120	120	140	140	160
1201 – 2000	-	-	-	140	140	150	150	160	170	190
2001 – 2500	-	-	-	-	170	170	180	180	200	220
nad – 2500	-	-	-	-	200	200	210	220	230	250



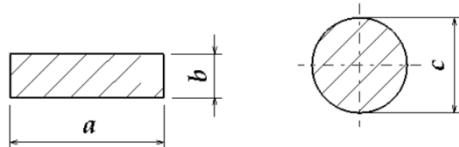
$l$  – výška jadra bez čapov, mm

$H$  – dĺžka čapu, mm

$d_2$  – priemer alebo stredná šírka jadra, mm

$$d_2 = \frac{a + b}{2}$$

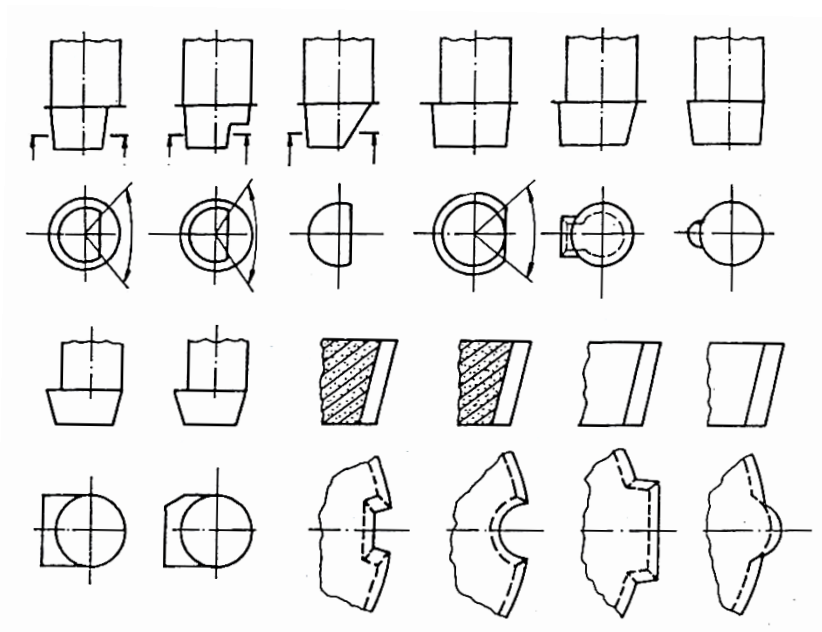
$$H_2 = \frac{2}{3} \sim \frac{1}{3} H_1$$



Dĺžka čapu sa môže zmenšiť o 35 %, ak sa jadro zaistí podperkami alebo iným spôsobom.

U zvislých jadier sa určí dĺžka čapu podľa výšky jadra a priemeru alebo strednej šírky jadra, **obr. 12**.

**Zámky jadier – zámok čapu jadra** – je to konštrukčná úprava tvaru čapu zamedzujúca pootočeniu jadra proti požadovanej polohe. Príklady pre zvislé spodné čapy jadier sú uvedené na **obr. 15**.



**Obr. 15** Príklady zámkov zvislých spodných čapov jadier

Hlavnou funkciou spodných zvislých čapov je zaistenie polohy jadra v spodnej polforme pri zakladaní jadier.

Horné zvislé čapy slúžia pri skladaní foriem pomocou vodiacich kolíkov k správne umiestneniu jadra v prípade, že jadro je na niektorú stranu vyklonené po predchádzajúcom uložení v spodnej polforme. Horné čapy sú dlhšie ako spodné.

### 5.1.8 Stanovenie vôle medzi čapom jadra a známkou na modeli

Aby nedošlo k poškodeniu formy pri vkladaní jadier, a aby vkladanie jadier bolo rýchle a ľahké, medzi čapom a lôžkom vyformovaným známkou sa urobí vôľa. Pre stanovenie vôle medzi čapom jadra a známkou modelu sú potrebné tieto údaje:

- druhu formy (surová, sušená)
- druh jadra (surové, sušené)
- rozmery jadra a rozmery dotykových plôch

To znamená, že najprv je nutné zvoliť formováciu a jadrovú zmes a až potom pristúpiť k stanoveniu vôle, pričom zmesi je potrebné voliť v závislosti od druhu odlievaneho materiálu, veľkosti odliatku, resp. jadra, požadovaného stupňa presnosti odliatku a pod.

### **Stanovenie vôle**

Zlievarenská vôle **F** je medzera medzi dotykovými plochami formy a jadra. Musí byť taká veľká, aby zaistila ľahké vkladanie jadier do formy a skladanie formy a zároveň nesmie ovplyvniť rozmerovú presnosť odliatku viac ako v prípustných toleranciách.

Z hľadiska presnosti výroby sa rozlišuje **zlievarenská menovitá** a **zlievarenská skutočná vôle**.

**Zlievarenská menovitá vôle** je predpísaná na postupovom výkrese a je zahrnutá do rozmerov modelového zariadenia.

**Skutočná zlievarenská vôle** je daná skutočnými rozmermi nameranými medzi dvoma dotykovými plochami jadra a formy alebo medzi jadrami po ich vložení do formy.

Rozmerové hodnoty skutočnej vôle sa líšia od rozmerov menovitej vôle, čo je dané stupňom presnosti výroby modelového zariadenia.

Pri použití vysušených jadier je potrebné zvýšiť zlievarenskú vôle o tzv. **manipulačnú vôle f**. Manipulačná vôle je súčasťou zlievarenskej vôle a má zabrániť vzájomnému treniu dotykových plôch formy a jadra pri manipulácii s nimi.

Vôle pre výrobu odliatku na surovo (surové formy a jadrá) je daná vzťahom:

$$F = f \quad [\text{mm}]$$

Vôle pre výrobu odliatku na sucho (sušené formy a jadrá) je daná vzťahom:

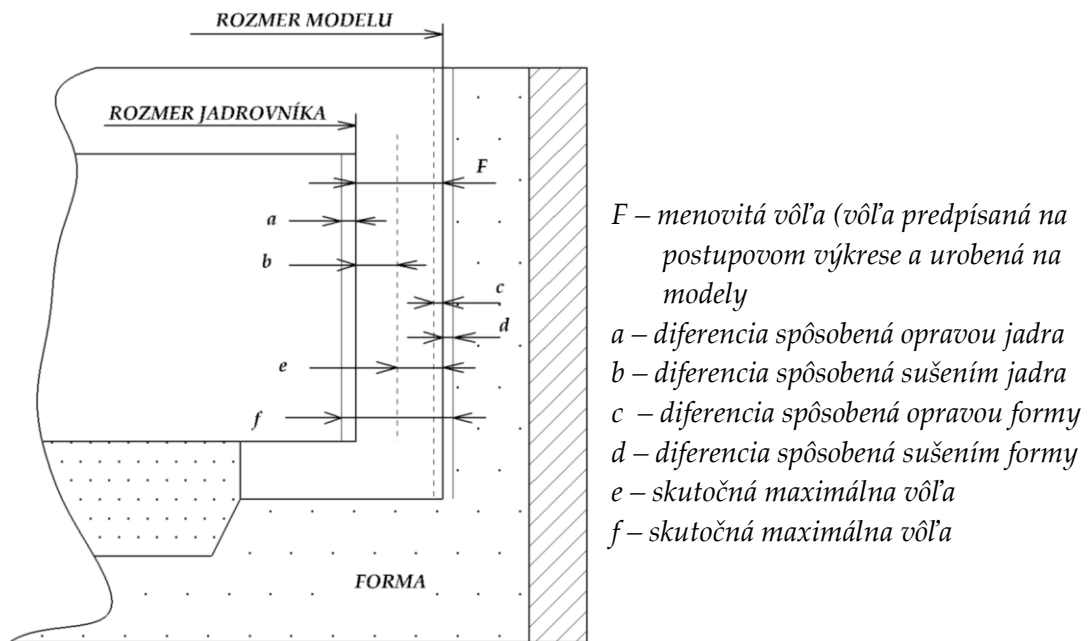
$$F = f + \frac{Z_j + Z_f}{2} \quad [\text{mm}]$$

kde: **F** – menovitá zlievarenská vôle [mm]

**f** – manipulačná vôle [mm]

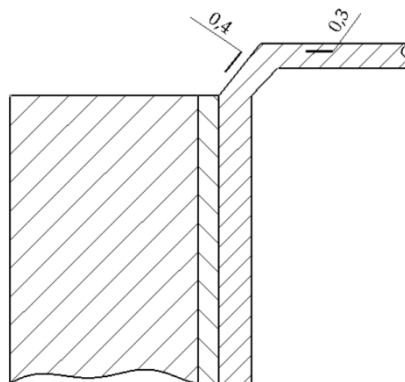
**Z<sub>j</sub>, Z<sub>f</sub>** – trvalé rozmerové diferencie spôsobené skúšaním jadier a foriem [mm]

Na **obr. 16** sú schématicky znázornené definície vôľe.



**Obr. 16** Definície zlievarenských vôľi

Vôľa medzi čapom jadra a známkou na modeli sa vo výkrese udáva kótou, **obr. 17**. Poloha hrubšej úsečky kóty udáva, či bude vôľa v jadrovníku alebo na známke modelu.



**Obr. 17** Kótovanie vôľe medzi čapom jadra a známkou na modeli

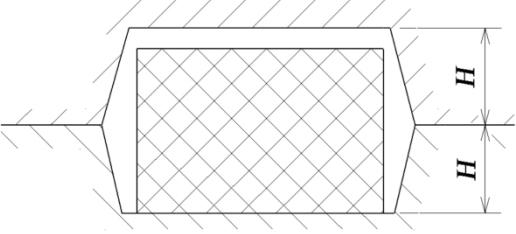
## Úkosy čapov a známok

Úkosy u vodorovných jadier sa určia v závislosti od výšky čapu podľa **tab. 13**.

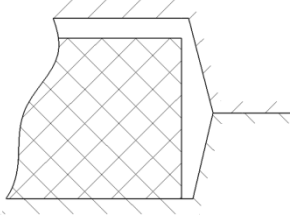
**Tab. 13** Bočný a čelný úkos v závislosti od výšky čapov

Výška čapu $H$ [mm]	Bočný úkos	Čelný úkos
do 100	1 : 30	1 : 15
101 – 200	1 : 40	1 : 20
201 – 500	1 : 60	1 : 30
501 – 1000	1 : 80	1 : 40
nad 1000	1 : 100	1 : 50

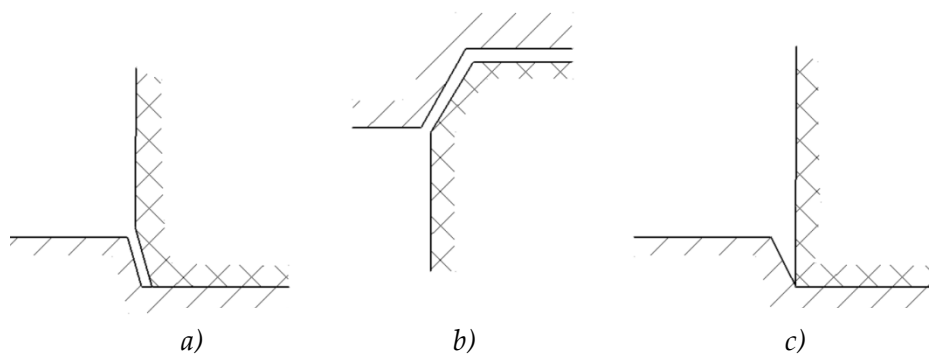


bočný úkos



čelný úkos

Pri zvislých čapoch sa prevedie úkos v spodku formy 1:10, vo vršku formy 1:5, **obr. 18 (a, b)**. V prípade, že sa na čape úkos nevykoná, potom úkos spodných známok modelu je 1:20, **obr. 18 (c)**.



**Obr. 18** Úkosy zvislých čapov

### 5.1.9 Volba formovacích rámov

Rozmery formovacích rámov sa určujú podľa STN 04 4011. Pritom sa vychádza z maximálnych rozmerov modelu a minimálnych dovolených vzdialeností modelu od formovacieho rámu, **tab. 14**.

**Tab. 14** Minimálne prípustné vzdialenosti modelu od rámu

Druh formy		Vzdialenosti min. [mm]			Medzi jednotlivými modelmi	
		od mod. k form. rámu	od mod. k vršku rámu	od mod. k spodku rámu	spodok	víšok
Formy odlievané za surova	malé	20 – 30	35 – 60	50 – 75	0,3 výšky modelu v polovici formy	0,5 výšky modelu v polovici formy
	stredné	50 – 75	75 – 100	100 – 125		
Sušené formy	stredné	75 – 125	100 – 150	100 – 150	75	125
	veľké	150 – 200	150 – 250	150 – 250	-	-

Postup pri voľbe rozmerov formovacích rámov je nasledovný:

1. podľa výkresu sa zistia maximálne rozmery modelu vrátane známkok:

$$\text{dĺžka} - \text{šírka} - \frac{\text{výška vo vrchnej časti}}{\text{výška v spodnej časti}}$$

2. k týmto rozmerom sa pripočítajú vzdialenosti podľa údajov v **tab. 14**, na základe čoho sa určia minimálne rozmery rámov:

$$\text{dĺžka} - \text{šírka} - \frac{\text{výšku}}{\text{výšku}}$$

3. k nájdenej dĺžke alebo šírke (v závislosti od rozmiestnenia vtokovej sústavy) sa pripočítajú približné rozmery vtokovej sústavy
4. na základe získaných rozmerov sa podľa normy zvolia najoptimálnejšie rozmery formovacích rámov (**obr. 19**).

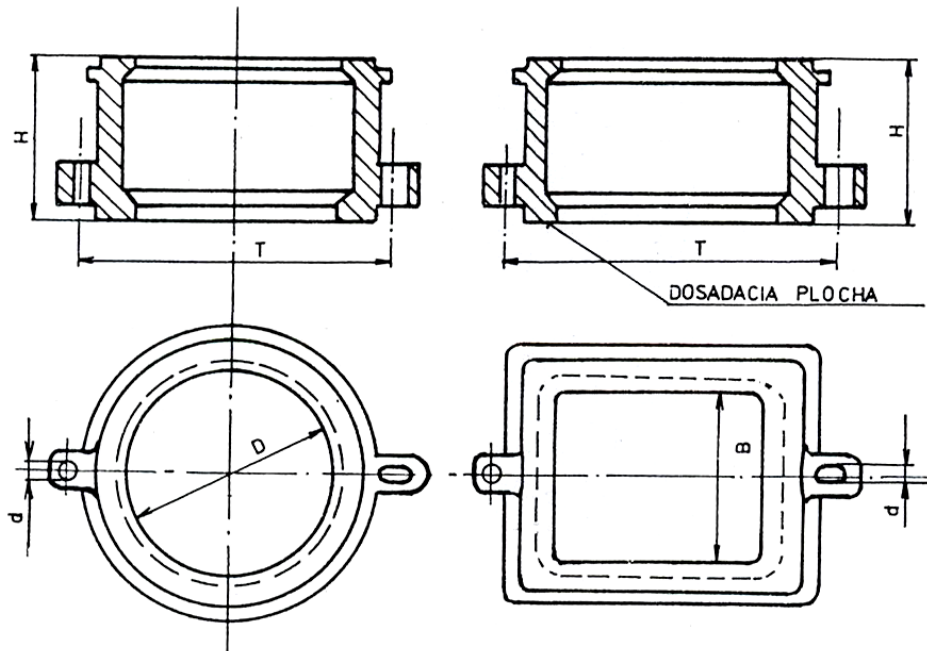


Do technologického postupu sa udávajú tieto základné údaje:

- svetlá dĺžka L
- svetlá šírka B
- svetlá výška H
- rozteč T
- rozmery otvorov pre vodiace kolíky d

V prípade použitia formovacích rámov s rovnakým pôdorysom, ale rôznou výškou sa udá výška vrchného a spodného rámu, napr.:

450 x 450 x 180 / 200



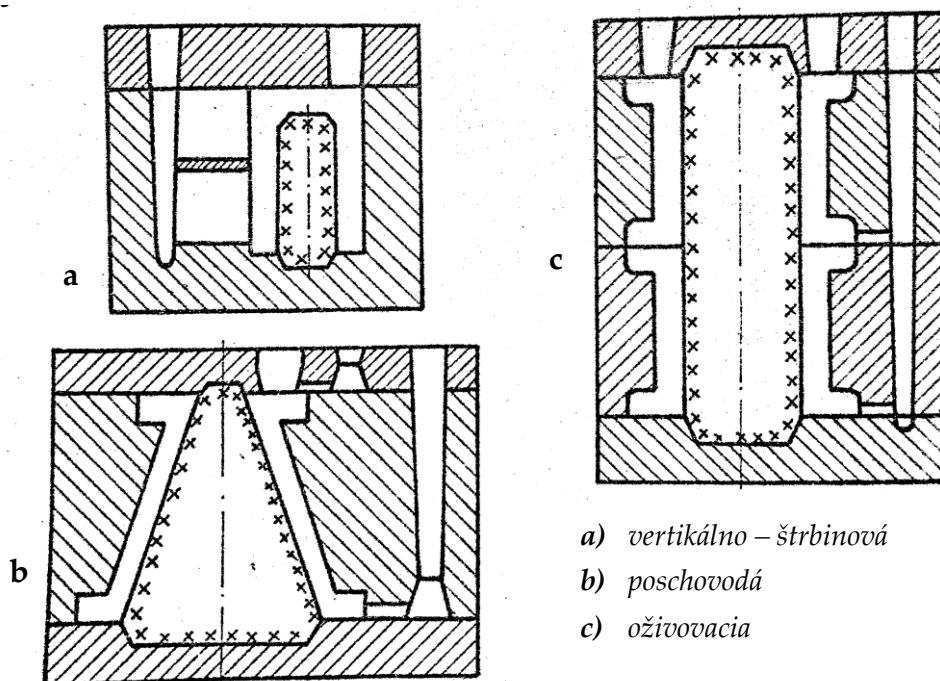
Obr. 19 Formovacie rámy

### 5.1.10 Návrh a výpočet vtokovej sústavy

Úlohou vtokovej sústavy je vyplniť dutinu formy takou rýchlosťou a v takom mieste, aby sa zaistilo usmernené tuhnutie, na minimum sa obmedzila oxidácia, strhávanie vzduchu, plynov a iných nekovových vtrúsenín do vnútra odliatku, aby sa umožnilo vyplávanie aj napriek tomu zachytených nečistôt, a aby nedošlo k erózií formy tekutým kovom.

Do dutiny formy sa kov musí dopraviť kľudne, bez vírenia a rozstrekovania, ale dostatočne rýchle, aby horúci kov stačil vyplniť dokonale dutinu formy.

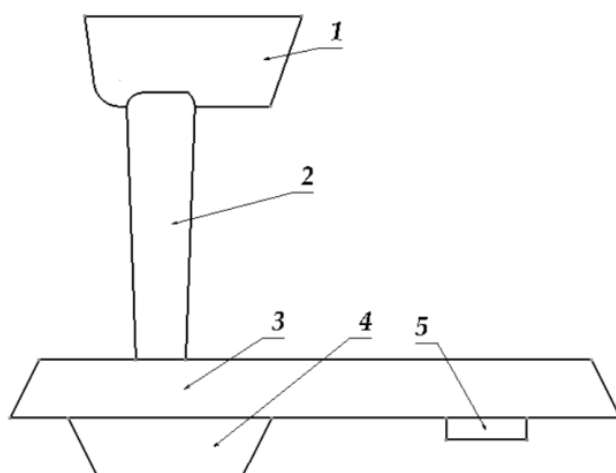
Pri výrobe vysokých odliatok za účelom dosiahnutia kľudného plnenia formy a racionálneho rozloženia teplôt sa používa vertikálno-štrbinová (lišťová), poschodová, príp. oživovacia vtoková sústava (**obr. 20**), pričom pre tenkostenné veľkorozmerné odliatky je zvlášť vhodná lišťová vtoková sústava.



a) vertikálno – štrbinová  
 b) poschodová  
 c) oživovacia

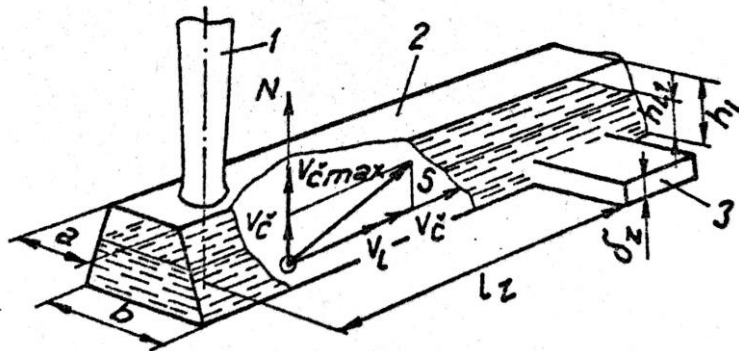
**Obr. 20** Typy vtokových sústav

Základné prvky vtokovej sústavy sú znázornené na **obr. 21**.



**Obr. 21** Vtoková sústava

1. **Lejacia jamka** – jej úlohou je zaistiť neprerušovanú dodávku tekutého kovu do vertikálnych kanálov vtokovej sústavy, zachytiť trosku a iné nečistoty. Lejacia jamka musí byť po celú dobu liatia vyplnená na určitú výšku ( $h_j = H_j - 20$  až  $30$  mm). Pre malé odliatky sa používajú lieviky, prípade jednoduché lejacie jamky, ktoré sa vyrežú priamo vo forme. Pre veľké zložité odliatky lejacie jamky sa formujú podľa modelu a sú vybavené rôznymi konštrukčnými prvkami za účelom zvýšenia efektívnosti zachytenia trosky.
2. **Vtokový kanál** – slúži pre dopravu tekutého kovu z lejacej jamky do sústavy horizontálnych kanálikov. Obvykle je kruhového prierezu, ktorý sa smerom dolu znižuje. Zníženie rýchlosti taveniny vo vtokovom kanále je možné zvýšením hydrodynamických odporov proti prúdeniu (napr. použitie vtokového kanálu s niekoľkonásobnou zmenou smeru, obdĺžnikového prierezu a pod.).
3. **Lapač trosky** – slúži na ukludnenie tekutého kovu pred jeho vstupom do záverov a pre zachytenie trosky, oxidov a iných nečistôt. Výška a dĺžka odtroskovacieho systému súvisí s fyzikálno-chemickými vlastnosťami zliatiny a trosky. Silové pomery v lapači trosky sú schématicky znázornené na **obr. 22**.



**Obr. 22** Výška taveniny v lapači trosky na začiatku plnenia formy (pohyb častice v horizontálnom prúde taveniny)

Pre zachytenie trosky nachádzajúcej sa na povrchu taveniny (na začiatku plnenia lapača trosky) je potrebné, aby  $h_{L1} > \bar{\sigma}_Z$ , čo je možné dosiahnuť pomerne vysokou rýchlosťou plnenia, avšak nesmie rýchlosť prekročiť určitú kritickú hodnotu  $V_{Lmax}$ , aby sa troska nevytvárala v samotnom lapači. Výška hladiny taveniny  $h_{L1}$  v lapači trosky sa vyjadruje vzťahom:

$$h_{L1} = \sqrt[3]{\frac{V_L^2 \cdot F_L^2}{g \cdot B^2}}$$

kde: B – šírka lapača trosky, pre lapač lichobežníkového prierezu

$$B = \frac{a + b}{2}$$

a, b – rozmery vrchnej a spodnej základne

$$F_L = h_{L1} \frac{a + b}{2}$$

Odtroskovací systém po vyplnení musí zaistiť:

- vyplávanie častíc ku stropu v určitej vzdialenosti  $L_Z$  (vzdialenosť od vt. kanálu od zárezu),
- vylúčenie nasávania častíc cez zárezy do pracovnej dutiny formy.

Rýchlosť vyplávania častíc vplyvom vztlakovej sily je daná vzťahom:

$$V_{\check{c}} = 2 \sqrt{\frac{d_{\check{c}}}{3 \cdot C} \cdot \frac{\gamma_{zl} - \gamma_{\check{c}}}{\gamma_{zl}} \cdot g}$$

kde:  $d_{\check{c}}$  – priemer častice

$\gamma_{zl}, \gamma_{\check{c}}$  – merná hmotnosť zliatiny a trosky

C – koeficient odporu; je funkciou Re – čísla

pri  $d_L \geq 10 d_{\check{c}}$      $C \cong 1$ ,  $d_L$  – priemer prúdu taveniny

Rýchlosť častice v smere pohybu taveniny sa rovná rýchlosti taveniny. Aby častica stačila vyplávať na dĺžke  $L_Z$ , doba horizontálneho pohybu  $\tau_h$  (rýchlosť taveniny) nesmie byť menšia ako doba vertikálneho pohybu  $\tau_v$  (vztlaková sila), t.j.  $\tau_h \geq \tau_v$ , čo je možné vyjadriť vzťahom:

$$L_Z \geq h_L \frac{1,2 V_L}{V_{\check{c}max}}$$

### *Výpočet $L_z$ :*

$d_\varepsilon$  je cca 0,002 m

*Priemerné hodnoty  $\gamma$  [kg.m<sup>-3</sup>] zliatin:*

Al zliatiny (640 – 760 °C) 2400 [kg.m<sup>-3</sup>]

Mg zliatiny (640 – 800 °C) 1640 [kg.m<sup>-3</sup>]

Sn bronzy (900 – 1200 °C) 8600 [kg.m<sup>-3</sup>]

Al bronzy (1100 – 1200°C) 7500 – 8100 [kg.m<sup>-3</sup>]

mosadze (1000 – 1100°C) 8500 [kg.m<sup>-3</sup>]

*Priemerné hodnoty  $\gamma$  [kg.m<sup>-3</sup>] trosky:*

Al zliatiny 1800 [kg.m<sup>-3</sup>]

Mg zliatiny 1350 [kg.m<sup>-3</sup>]

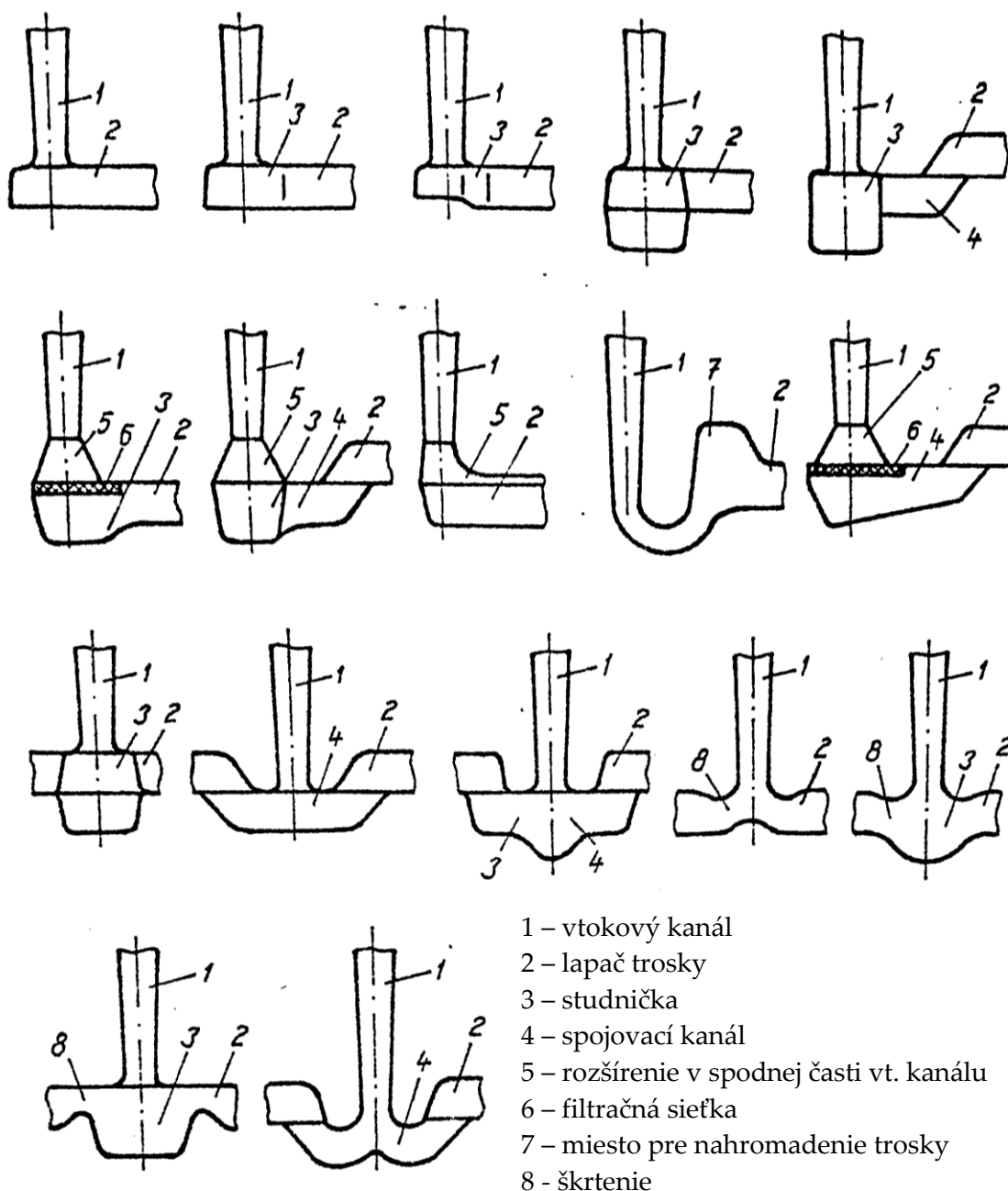
Cu zliatiny 2100 [kg.m<sup>-3</sup>]

$V_{\dot{c}max}$	$L_z$
Al zliatiny 0,081 m.s <sup>-1</sup>	14,7 h <sub>L</sub> V <sub>L</sub>
Mg zliatiny 0,069 m.s <sup>-1</sup>	17,4 h <sub>L</sub> V <sub>L</sub>
Cu zliatiny 0,12 m.s <sup>-1</sup>	10,0 h <sub>L</sub> V <sub>L</sub>

Z uvedeného vyplýva, že čím je väčšia rýchlosť prúdenia taveniny v lapači trosky, tým je väčšia dĺžka  $L_z$ . Aby troska nevnikala do zárezu musí byť splnená podmienka:

$$h_L : \sigma_z \geq 3,25 \text{ (minimálne)}$$

4. **Prehĺbenie (studnička)** – pre zmiernenie dynamického účinku voľne padajúceho prúdu taveniny. Rôzne typy tohto konštrukčne dôležitého prvku sú znázornené na **obr. 23**.



Obr. 23 Schéma spojenia vtokového kanálu a lapača trosky

5. **Zárezy** – sú posledným článkom vtokovej sústavy, sú „prietočné“ s malou pravdepodobnosťou zachytenia vtrúsenín, preto rýchlosť taveniny v nich musí byť čo najnižšia.

Spôsob napojenia zárezov na lapač trosky sú znázornené na **obr. 24**. Zárezy sa začínajú plniť tekutým kovom až po vyplnení lapača trosky na určitú výšku (h<sub>LI</sub>, **obr. 22**). Proti predčasnému vnikaniu taveniny do zárezov pôsobia sily povrchového napätia a hydraulické odpory spojené so zmenou smeru.

Hodnota metalostatického tlaku ( $h_{L1}$ ), potrebná na prekonanie týchto síl je daná vzťahom:

$$h_{L1} = \frac{2 \cdot \sigma}{\delta_z \cdot \gamma \cdot g} \cdot \cos\varphi$$

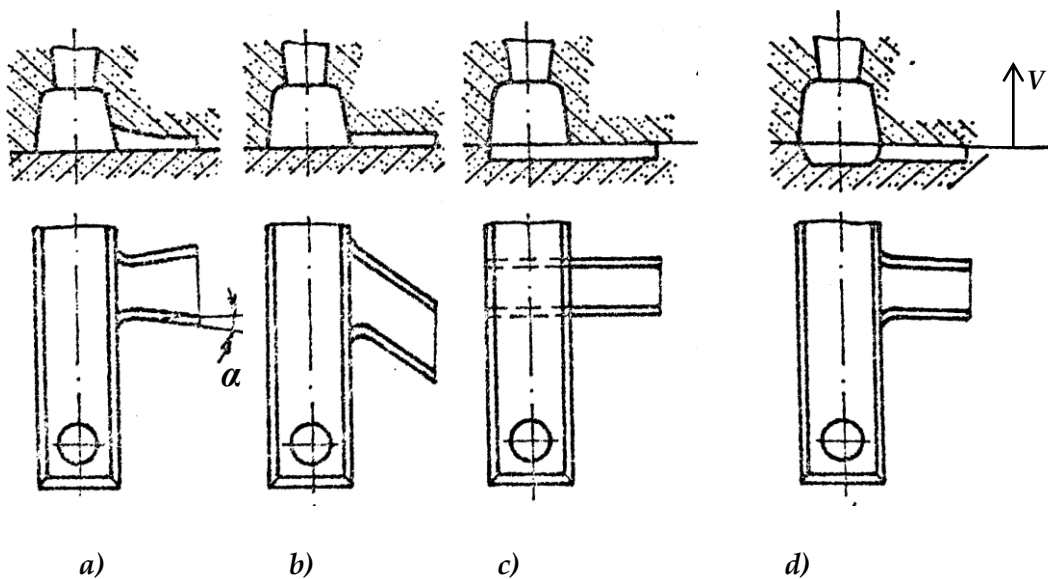
kde:  $\sigma$  – povrchové napätie

pre Al – zliatiny  $\sigma = 0,82 \text{ N.m}^{-1}$

pre Mg – zliatiny  $\sigma = 0,53 \text{ N.m}^{-1}$

pre Cu – zliatiny  $\sigma = 1,18 \text{ N.m}^{-1}$

$\varphi$  – uhol zmáčania, Al a Mg – zliatiny nezmáčajú formu,  $\cos\varphi = 1$



- a* – LT (lapač trosky) a zárezy sú v jednej polovici formy. Zárez je usporiadaný kolmo k LT a rozširuje sa v smere k odliatku; pri LT hrúbka zárezu je väčšia
- b* – LT a zárez sú usporiadané pod tupým uhlom a sú v jednej polovici formy
- c* – LT a zárez sa nachádzajú v rôznych poloviciach formy
- d* – časť LT, na ktorú je napojený zárez je usporiadaná v spodnej časti formy

**Obr. 24** Schéma napojenia lapača trosky a zárezov

Minimálne hodnoty  $h_{L1}$  v závislosti od  $\sigma_z$ , potrebné na prekonanie odporu síl povrchového napätia sú uvedené v **tab. 15**.

**Tab. 15** Minimálne hodnoty  $h_{L1}$  v závislosti od  $\delta_z$

$\delta_z$ [mm]	3	4	5	6	10	12	14
$h_{L1}$ [mm]	23	17	14	12	7	6	5

Výpočet vtokovej sústavy pozostáva z určenia plôch priečných prierezov a konštrukčných rozmerov vtokového kanálu, lapača trosky a zárezov. Výpočet začína určením najužšieho prierezu. Pre neželezné kovy je to spodný prierez vtokového kanálu ( $F_{ks}$ ). Na základe zvoleného pomeru  $F_K : F_L : F_Z$  sa určujú súčtové plochy prierezov ostatných prvkov vtokovej sústavy.

Základným vzťahom pre výpočet najužšieho prierezu (nezávisle od typu zliatiny a vtokovej sústavy) je:

$$F = \frac{Q}{v} [cm^2]$$

kde:  $F$  – plocha najužšieho prierezu,  $cm^2$

$Q$  – prietokové množstvo,

$$Q = \frac{V}{\tau} [cm^3 \cdot s^{-1}];$$

$V$  – objem surového odliatku,  $cm^3$

$\tau$  – doba liatia, s

$$Q = \frac{m_s}{\tau \cdot \rho} [kg \cdot s^{-1}];$$

$m_s$  – hmotnosť surového odliatku, kg

$\rho$  – merná hmotnosť zliatiny  $kg \cdot m^{-3}$

$v$  – rýchlosť prúdenia taveniny,  $cm \cdot s^{-1}$

$$v = \mu \sqrt{2 \cdot g \cdot H} [cm \cdot s^{-1}]$$

$\mu$  – koef. prietokových strát

$g$  – zemské zrýchlenie,  $cm \cdot s^{-2}$

$H$  – metalostatický tlak, cm

Po dosadení  $Q$  a  $v$  dostaneme:

$$F = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{m_s}{\mu \cdot \tau \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} [cm^2]$$

Surová hmotnosť odliatku „ $m_s$ “ je hmotnosť odliatku vrátane vtokovej a náliatkovej sústavy. Možno ju vyjadriť vzťahom:

$$m_s = \frac{m_h}{\% \text{ využitia}} \cdot 100$$

kde:  $m_h$  – hrubá hmotnosť odliatku



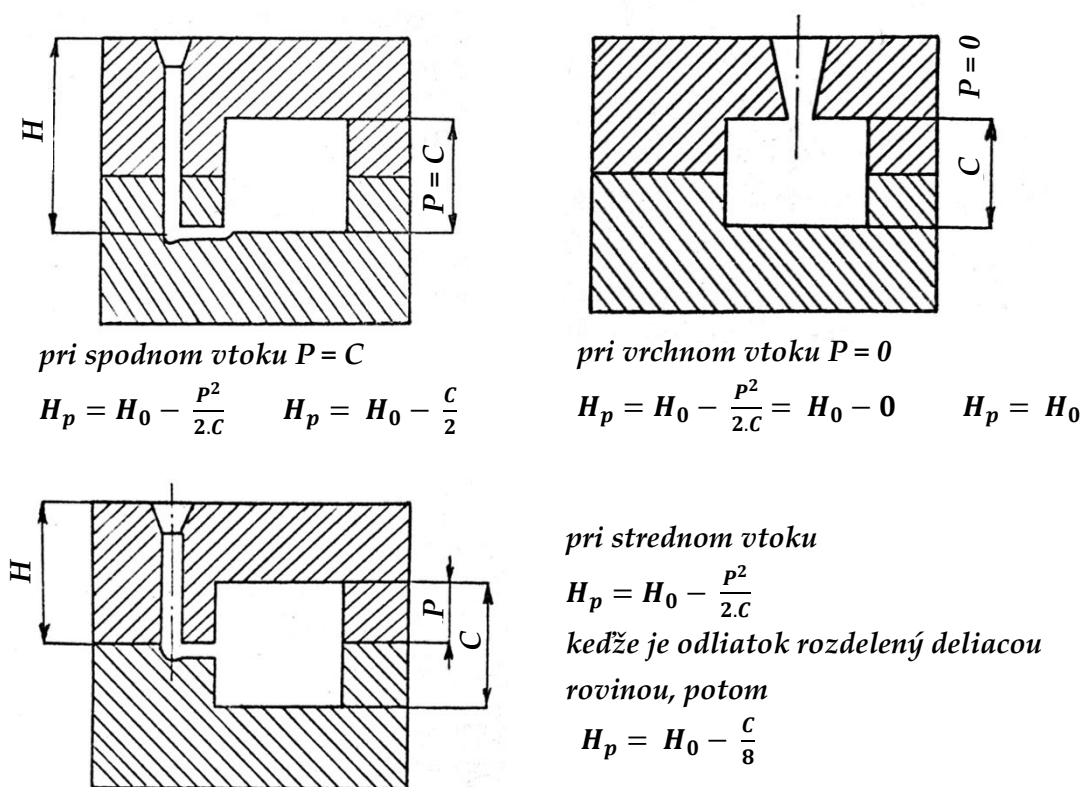
Rozdiel medzi hmotnosťou surového a hrubého odliatku vyjadrený v % určuje stupeň využitia tekutého kovu (**tab.16**).

**Tab. 16** Priemerné využitie tekutého kovu v % pri odliavaní do pieskových foriem

Náliatky	Zliatiny Cu	Zliatiny Al a Mg
otvorené	40 – 60	45 – 75
otvorené s izolačným zásypom	45 – 65	50 – 75
otvorené s exotermickým zásypom	55 – 75	65 – 85
otvorené s exotermickým obkladom a zásypom	80 – 85	80 – 90

Koeficient prietokových strát  $\mu$  sa volí pre tenkostenné zložené odliatky v rozmedzí 0,3 – 0,4; pre hrubostenné odliatky 0,7 – 0,8. V typizovaných vtokových sústavách je súčiniteľ  $\mu$  zahrnutý v konštrukcii týchto sústav, prípadne sa robí korekcia hodnoty  $\mu$  v určitom prvku vtokovej sústavy.

Metalostatický tlak je závislý od zaústenia vtokového zárezu, **obr. 25**.



**Obr. 25** Schéma pre výpočet metalostatického tlaku

Pri odliavaní vrchom sa  $H$  rovná rozdielu výšky hladiny taveniny v ležacej jamke do vtokového zárezu a je konštantný od začiatku až do ukončenia liatia. Tento vtok je možné použiť ak spád kovu nie je väčší ako 100 mm.

Pri odlievaní spodom sa metalostatický tlak mení v priebehu plnenia formy. Je správne pri výpočte uvažovať s najnižšou hodnotou  $H$ .

Doba liatia, resp. doba plnenia formy sa v praxi určuje z hmotnosti odliatku, pričom odliatky sú rozdelené do skupín podľa prevládajúcej hrúbky steny. Podľa Dieterta vzťah medzi skutočným časom odlievania a druhou odmocninou hmotnosti surového odliatku je:

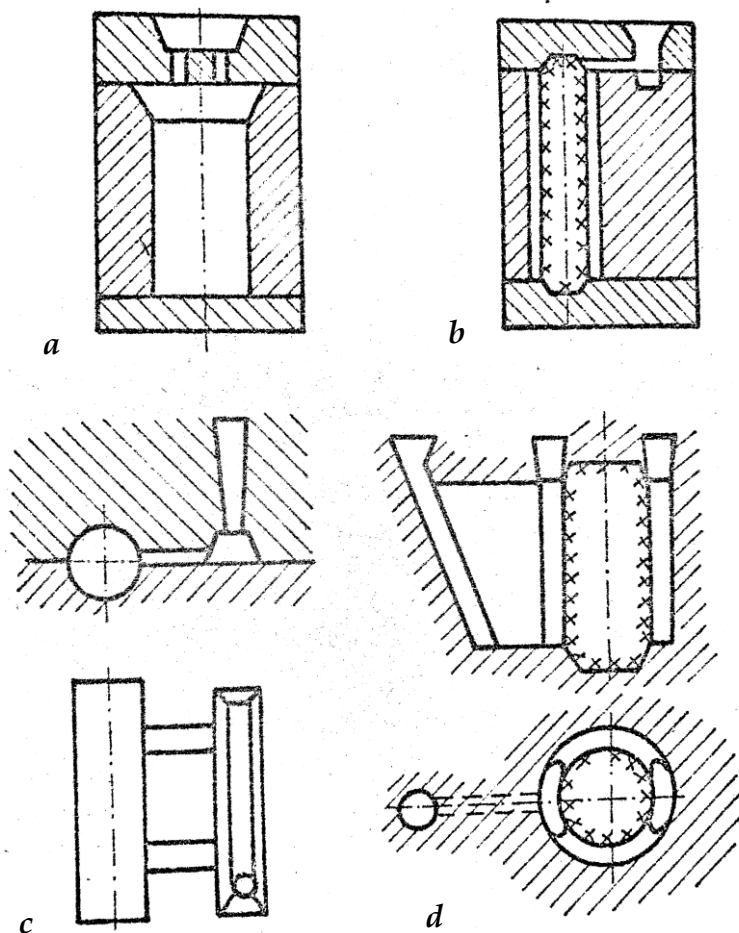
$$\tau \cong s \cdot \sqrt{m_s} \quad [s]$$

Hodnota koeficientu úmernosti „ $s$ “ (získaná na základe praktických skúseností) sa volí v závislosti od hrúbky steny:  $\bar{\sigma} = 3 - 4 \text{ mm } s = 1,63$ ;  $\bar{\sigma} = 5 - 8 \text{ mm } s = 2,20$  atď.

#### 5.1.10.1 Výpočet vtokovej sústavy pre odliatky zo zliatin na báze Cu

Zliatiny na báze Cu sa odlišujú fyzikálno-chemickými vlastnosťami, čo je potrebné zohľadniť pri navrhovaní konštrukcie a výpočte rozmerov vtokovej sústavy.

Cínové, olovené bronzy, jednoduché mosadze, mangánové mosadze a meďno-niklové zliatiny, t.j. zliatiny, na povrchu ktorých sa nevytvára oxidický povlak, je možné odlievať cez pomerne jednoduché vtokové sústavy bez zložitého odtroskovacieho systému. Hlavnou požiadavkou v tomto prípade je kľudné plnenie dutiny formy. Pri výrobe odliatkov jednoduchej konštrukcie sa môže použiť horná sprchová vtoková sústava cez náliatok (**obr. 26 a**) alebo horná vtoková sústava priamo do odliatku (**obr. 26 b**). Ak sa nepoužijú náliatky, kompenzácia objemových zmien v teplotnom intervale ( $t_{\text{liatia}} - t_{\text{solidu}}$ ) sa realizuje z vtokovej sústavy. Zárezy v takýchto sústavách majú veľkú plochu prierezu, čím sa zaistí, že tavenina v záreze stuhne až po stuhnutí odliatku. Spodné, bočné zaústenie tekutého kovu a vertikálno-štrbinová vtoková sústava sa používa pri výrobe odliatkov zložitej konštrukcie (**obr. 26 c, d**).



Obr. 26 Schématické znázornenie vtokových sústav pre odliatky zo zliatin medi

Pre odliatky zo zliatin, vytvárajúcich na svojom povrchu nerozpustné oxidy (hliníkové, kremíkové, berýliové bronzy, legované mosadze), sa používajú rozvetvené, rozširujúce sa veľmi zložité vtokové sústavy pri spodnom alebo sífónovom zaústení tekutého kovu do pracovnej dutiny formy. Kľudné plnenie formy sa zaisťuje zväčšením pomeru plôch priemerov prvkov vtokovej sústavy v smere k odliatku:

$$F_K : F_L : F_Z = 1 : 2 : 3; 1 : 2 : 4; 1 : 2,5 : 6,5 \text{ a iné.}$$

Na výpočet vtokových sústav sa používa vzťah:

$$F_K = \frac{m_s}{\mu \cdot \tau \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} \text{ [cm}^2\text{]}$$

resp.:

$$F_K = \frac{m_s}{\mu \cdot \tau \cdot \beta \cdot \sqrt{H}} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (1)$$

kde:  $m_s$  – surová hmotnosť odliatky, kg

$\mu$  – koef. prietokových strát ( $\mu < 1$ )

$\tau$  – doba liatia, s

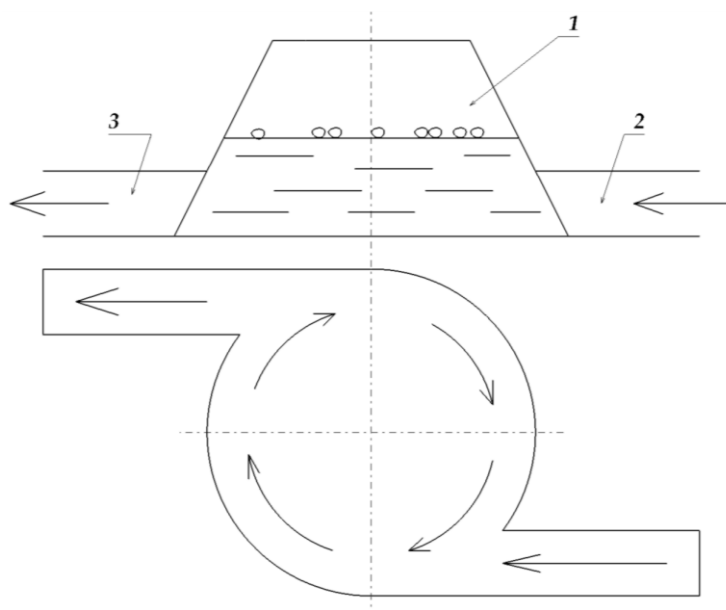
$\beta$  – pre zliatiny Cu  $\beta = 0,34$

pre zliatiny Al  $\beta = 0,10$

pre zliatiny Mg  $\beta = 0,07$

H – metalostatický tlak, cm

Za účelom zvýšenia účinnosti zachytenia trosky a oxidov sa často používa odstredivý lapač trosky (najmä pri odlievaní hliníkových bronzov), **obr. 27**. Tavenina vteká a vyteká z lapača trosky tangenciálne a z jeho bočného povrchu, čo spôsobuje rotáciu taveniny vedľa osi lapača trosky. Vplyvom odstredivej sily sa sústreďujú ľahšie nekovové vtrúseniny v osi rotácie (v oblasti nižšieho tlaku).



1 – odstredivý lapač trosky

2 – spojovací kanál (vstupný)

3 – spojovací kanál (výstupný)

**Obr. 27** Schéma jednovetvového odstred'ovania lapača trosky

Pri výpočte rozmerov spojovacích kanálov sa používa vzťah:

$$\frac{(a + b) \cdot h}{2} = K \cdot F_K$$

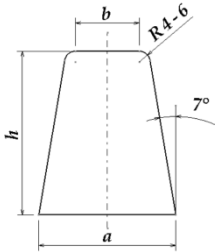
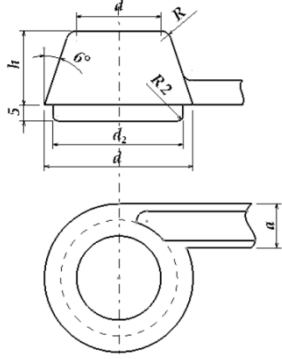
kde: a, b – spodná a vrchná základňa lichobežníka, mm

h – výška prierezu, mm

k – koeficient závislý od počtu vstupných spojovacích kanálov

Všetky rozmery spojovacích kanálov sa vyjadrujú cez rozmery spodnej základne „a“ podľa **tab. 17**. Rozmery odstredivého lapača trosky sa volia podľa empirického vzťahu v závislosti od rozmeru spojovacieho kanála (**tab. 17**).

**Tab. 17** Voľba rozmerov spojovacích kanálov a lapača trosky

Schéma	Spojovací kanál				Lapač trosky			
	K počet vetiev	a	b	h	K počet vetiev	a	b	h
	$\frac{1,2}{4}$	$0,5 \cdot \sqrt{F_K}$	0,6.a	1,5.a	$\frac{1,5}{2}$	$0,85 \cdot \sqrt{F_K}$	0,75.a	1,2.a
	$\frac{1,2}{2}$	$0,7 \cdot \sqrt{F_K}$			$\frac{2,5}{2}$	$1,1 \cdot \sqrt{F_K}$		
	1	$0,9 \cdot \sqrt{F_K}$			1,5	$1,2 \cdot \sqrt{F_K}$		
	1,2	$0,85 \cdot \sqrt{F_K}$	0,75.a	0,95.a	4	$2 \cdot \sqrt{F_K}$	0,75.a	1,2.a
	1	$1,2 \cdot \sqrt{F_K}$		0,8.a				
	$\frac{2}{2}$			0,95.a				
	$\frac{1,2}{2}$	$1,2 \cdot \sqrt{F_K}$						
	2	$1,55 \cdot \sqrt{F_K}$						
	<b>Odstredivé lapače trosky</b> Rozmery sa volia podľa empirických vzťahov v závislosti od rozmeru základne spojovacích kanálov, mm: $d = 3,2 \cdot a \otimes d_1 = 2,6 \cdot a \otimes d_2 = 3,2 \cdot a - 4 \otimes h_1 = 2,6 \cdot a \otimes R_1 = 0,1 \cdot a$							

Častým prvkom vtokovej sústavy pri výrobe odliekov zo zliatin na báze medi sú keramické cedítka, príp. kovové sievky, pričom ich rozmery a rozmery podsieťových dutín a nadsieťových lapačov trosky musia byť v súlade s rozmermi ostatných prvkov vtokovej sústavy, t.j. s vypočítaným rozmerom  $F_K$ .

U vertikálno-štrbinových vtokových sústav je najužším prierezom prierez zárezu spojujúci horizontálny a vertikálny lapač trosky. Preto sa podľa vzťahu (1) vypočíta  $S_z$ , pričom hodnota koeficientu „s“ vo vzťahu  $\tau = s \cdot \sqrt{m}$  sa volí podľa **tab. 18** v súlade s hrúbkou steny odlieku.

**Tab. 18** Koeficient „s“ v závislosti od hrúbky steny odliatku „ $\delta$ “

$\delta$ [mm]	Sn - bronzy	Ms, Al - bronzy
6	0,64	0,97
7 – 10	0,70	1,05
11 – 15	0,75	1,12
16 – 20	0,80	1,20
41 – 60	1,10	1,65
> 60	1,20	1,80

Z vypočítanej plochy  $S_z$  sa určí plocha horizontálneho lapača trosky  $S_{Lh} = (1,5 \text{ až } 2,0) \cdot S_z$ ; plocha vtokového kanála  $S_{KS} = (1,2 \text{ až } 1,5) \cdot S_z$ ; plocha vertikálneho lapača trosky  $S_{Lv} = (0,2 \text{ až } 0,3) \cdot S_s$  ( $S_s$  – plocha štrbiny), pričom  $S_{Lv}$  nesmie byť väčšia ako  $S_K$  ( $S_{Lv} \leq S_K$ ) a plocha štrbiny má byť väčšia ako plocha zárezu ( $S_s > S_z$ ). Šírka (hrúbka) štrbiny v spodnej časti nemá byť menej ako 5 mm a vo vrchnej časti menej ako 3 mm pri podmienke, že hrúbka štrbiny nie je väčšia ako minimálna hrúbka steny odliatku.

Veľkosť liacej jamky sa určuje na základe sekundárneho prietokového množstva „ $Q$ “ vychádzajúceho z hmotnosti odliatku „ $m$ “ a doby liatia „ $\tau$ “:

$$Q = \frac{m}{\tau} \quad [kg \cdot s^{-1}]$$

Objem liacej jamky sa vypočíta:

$$V_j = k \cdot Q \quad [kg]$$

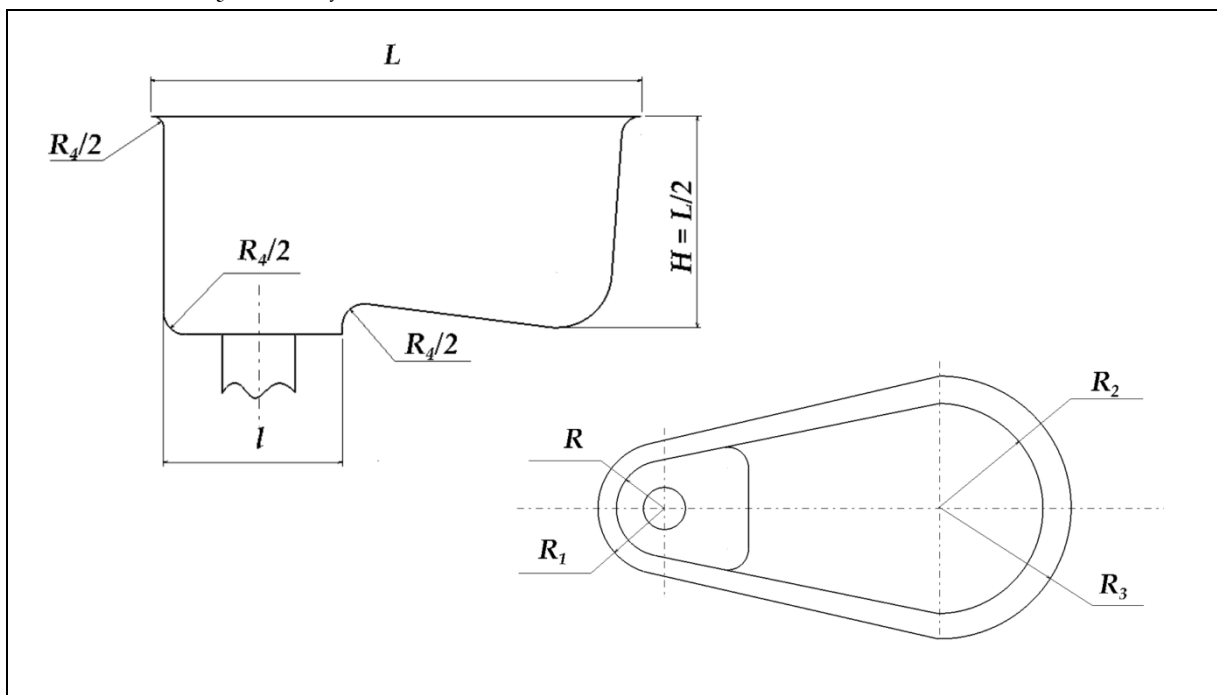
kde:  $k$  – koef. zohľadňujúci reláciu objemu lejacej jamky a sekundárneho prietokového množstva, **tab. 19**.

**Tab. 19** Koeficient „ $k$ “ vo vzťahu  $k$   $Q$

$Q$ [ $kg \cdot s^{-1}$ ]	$k$	$Q$ [ $kg \cdot s^{-1}$ ]	$k$	$Q$ [ $kg \cdot s^{-1}$ ]	$k$
< 1	1,3	32 – 39	3,3	67 – 73	5,7
1,1 – 2,5	1,5	40 – 44	3,5	74 – 80	5,9
2,6 – 7,0	2,2	45 – 49	3,8	81 – 90	6,0
7,1 – 21,0	2,6	50 – 54	4,6	91 – 125	6,1
22 – 27	2,7	55 – 60	5,0	126 – 200	6,5
28 – 31	3,1	61 – 66	5,3	> 200	7,5

Konštrukčné rozmery liacej jamky sú uvedené v **tab. 20**.

**Tab. 20** Rozmery liacich jamiek v mm



$v$ [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	$V_j$ [kg]	L	l	R	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$			
< 3	4,5	140	48	20	25	45	40	16			
3 – 4	8	160	60	25	30	50	45	19			
4 – 5	10	180	65	30	35	55	50	22			
5 – 6	12	190	75	35	40						
6 – 7	14	200				85	37	45	60	53	25
7 – 8	20	220	65	57	28						
8 – 9	22	230	70	62							
9 – 10	25	240	90	37	45	75	67	30			
10 – 12	30	260	95			41	45	85	77	32	
12 – 14	34	270	100	45	55				90	78	34
14 – 16	40	280	110			50	60	95		80	36
16 – 18	45	300									
18 – 21	50	310	120	53	65	100	88	40			
21 – 24	60	330									
24 – 28	75	350	130	57	70	110	98	42			
28 – 32	95	380				70	80	120	107	45	
32 – 36	115	420	140	130	117						48
36 – 40	130	430	150			85	118	50			
40 – 45	140	450	160	75	90	135			120	52	

### 5.1.10.2 Výpočet vtokovej sústavy pre odliatky zo zliatin na báze Al a Mg

Pri výpočte vtokových sústav pre Al a Mg zliatiny sa vychádza z určenia optimálnej rýchlosti taveniny v pracovnej dutine formy.

Podstata výpočtu zohľadňuje najdôležitejšie vlastností Al a Mg zliatin v nadväznosti na výslednú akosť odliatku:

1. Vytvorenie oxidu na povrchu prúdiacej taveniny o určitej pevnosti, pričom u zliatin na báze Al, pevnosť oxidického povlaku závisí od teploty prehriatia a spôsobu modifikácie zliatiny (modifikátory na báze Na znižujú pevnosť oxidického povlaku).
2. Vysoká tepelná vodivosť.
  - a) vlastnosť určuje maximálne dovolenú rýchlosť prúdenia taveniny v pracovnej dutine formy (únosnú turbulenciu), t.j. režim plnenia formy,
  - b) vlastnosť určuje minimálne dovolenú rýchlosť plnenia, t.j. rýchlosť, pri ktorej sa tavenina v žiadnom mieste formy neochladí pod teplotu nulovej tekutosti v priebehu plnenia, príp. pod teplotou dokonalého spojenia jednotlivých podielov prúdiacej taveniny. Teplota dokonalého spojenia (pod pojmom „spojenie“ sa tu rozumie spojenie prúdov taveniny pohybujúcich sa v protismeroch, na povrchu ktorých je prítomná oxidická blana) je vyššia ako teplota nulovej tekutosti. Na splnenie podmienok určených oboma vlastnosťami zliatin je potrebné dodržať rýchlosť taveniny vo forme  $v$ :

$$U_{f \max} > U_f > U_{f \min}$$

Režim plnenia dutiny formy môže byť turbulentný alebo laminárny v závislosti od Re-čísla:

$$Re = \frac{4 \cdot v \cdot R}{\vartheta} = \frac{v \cdot d}{\vartheta}$$

- kde:  $R$  – hydraulický polomer kanálu v určitom priereze ( $R = S/P$ ,  $S$  – plocha prierezu prúdu taveniny,  $m^2$ ;  $P$  – obvod tohto prierezu,  $m$ )  
 $v$  – priemerná rýchlosť taveniny v sledovanom priereze,  $m \cdot s^{-1}$   
 $d$  – priemer kanálu,  $m$   
 $\vartheta$  – kinematická viskozita,  $m^2 \cdot s^{-1}$



Pri konštantnej hodnote  $\vartheta$  dovolená turbulencia taveniny vo forme je určená hodnotou súčinu rýchlosti taveniny v kanále a hydraulického polomeru tohto kanálu, čo vyplýva zo vzťahu:

$$v \cdot R = \frac{Re_{max}}{4} \cdot \vartheta$$

Kritická hodnota  $Re$  čísla (pri ktorých je ešte turbulencia únosná) pre Al a Mg zliatiny sú uvedené v **tab. 21**.

**Tab. 21** Maximálne dovolené hodnoty  $Re$

Vtokový kanál	Lapač trosky	Zárezy	Forma	
			jednoduchá	zložitá
43500	28000	7800	2600	780

Z  $Re$  čísla uvedeného v **tab. 21** vyplýva, že rýchlosť prúdenia taveniny v smere k pracovnej dutine formy sa musí znižovať, čo sa dosahuje zväčšením prierezu prvkov vtokovej sústavy v smere k odliatku:  $F_K : F_L : F_z$ .  $Re$  čísla určujú maximálnu dovolenú rýchlosť prúdenia:

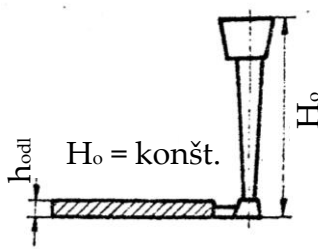
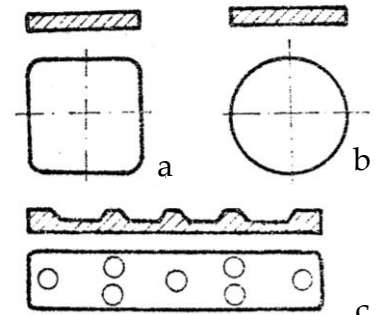
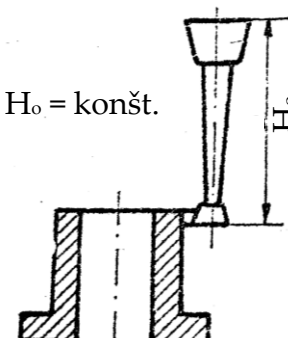
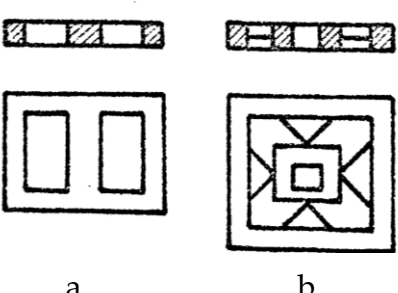
- vo vtokovom kanáli  $v_{kmax} \quad 65 : Re_K$
- v lapači trosky  $v_{lmax} \quad 42 : Re_l$
- v záreze  $v_{zmax} \quad 12 : Re_z$
- v pracovnej dutine formy  $v_{fmax} \quad (1,2 - 3,9) : Re_f$

Hodnota  $v_{fmin}$  je závislá od tepelne-fyzikálnych (teplota liatia, merné teplo zliatiny, teplota formy,  $b_f$  formy) a hydraulických (konštrukcie odliatku, počtu náliatkov, zaústenia tekutého kovu a pod.). Všetky tieto faktory pôsobia komplexne a menia sa s časom.

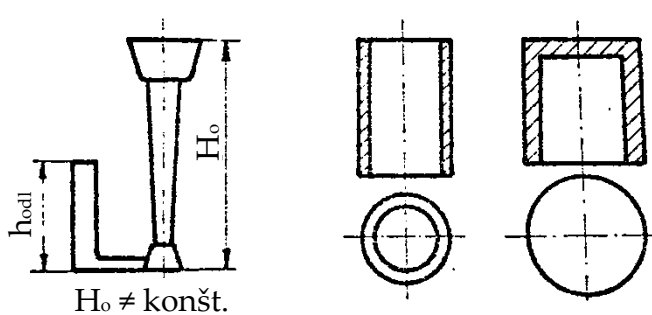
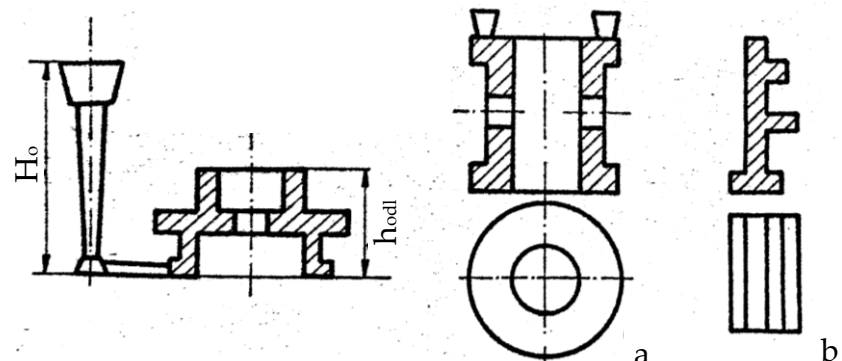
Z hydraulického hľadiska odliatky sa rozdeľujú do dvoch základných skupín (I., II.) a v závislosti od zložitosti konštrukcie do podskupín (1a, 1b, 2a, 2b), **tab. 22**.

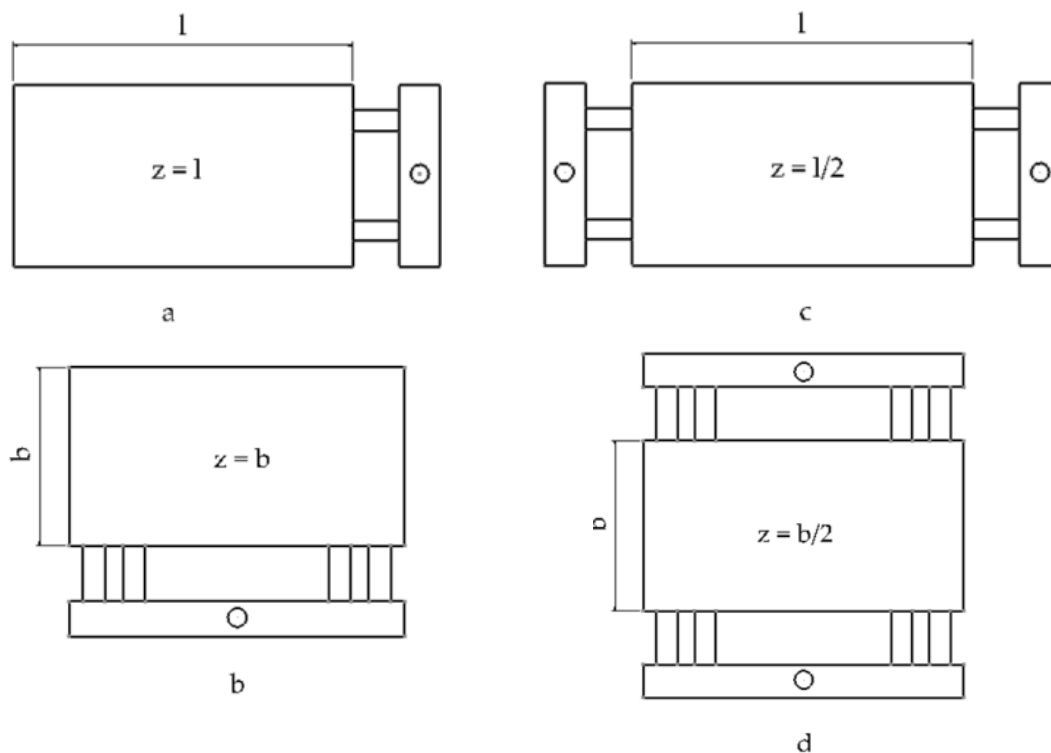
Vyčlenenie nebezpečných miest v odliatku z hľadiska vzniku studených spojov a nezabehnutí sa realizuje v súlade s **obr. 28** (pred odliatky skupiny I, **tab. 22**) a podľa **obr. 29** (pre odliatky skupiny II, **tab. 22**).

Tab. 22 Klasifikácia odliatkov podľa konštrukcie a spôsobu odlievania

Technol. skupina	Spôsob zaústenia zárezov do formy a poloha odliatku	Technol. podskupina	Typ odliatku
1	2	3	4
1	 <p><math>H_o = \text{konšt.}</math> <math>h_{odl} &lt; H_{odl}</math></p>	1a	 <p>Odliatky jednoduché</p> <p>Ploché odliatky typu dosiek, krytov a pod., ktoré nemajú príruby a iné vystupujúce časti, spôsobujúce zmeny smeru taveniny</p>
	 <p><math>H_o = \text{konšt.}</math></p>	1b	 <p>Odliatky zložité</p> <p>Odliatky, ktoré nepatria do podskupiny 1a a tiež odliatky s vrchným zaústením, pri plnení ktorých môžu vzniknúť víry</p>

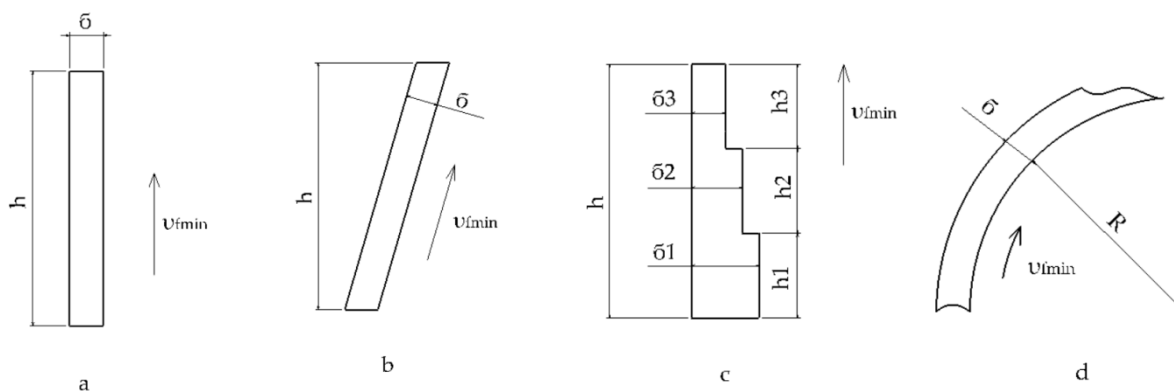
Pokračovanie *tab. 22*

Technol. skupina	Spôsob zaústenia zárezov do formy a poloha odliatku	Technol. podskupina	Typ odliatku
1	2	3	4
2a			
			
<p>Všetky odliatky s vertikálno-štrbinovým a spodným zaústením (ktoré nepatria k I. skupine), metalostatický tlak v priebehu plnenia sa podstatne mení  <math>H_0 \neq \text{konšt.}</math>, <math>v_f \neq \text{konšt.}</math></p>		<p>Ploché odliatky typu dosiek, krytov a pod., ktoré nemajú príruby a iné vystupujúce časti, spôsobujúce zmeny smeru taveniny</p>	
2b			
			
		<p>Odliatky, ktoré nepatria do podskupiny 2a, pri plnení ktorých môžu vzniknúť víry</p>	



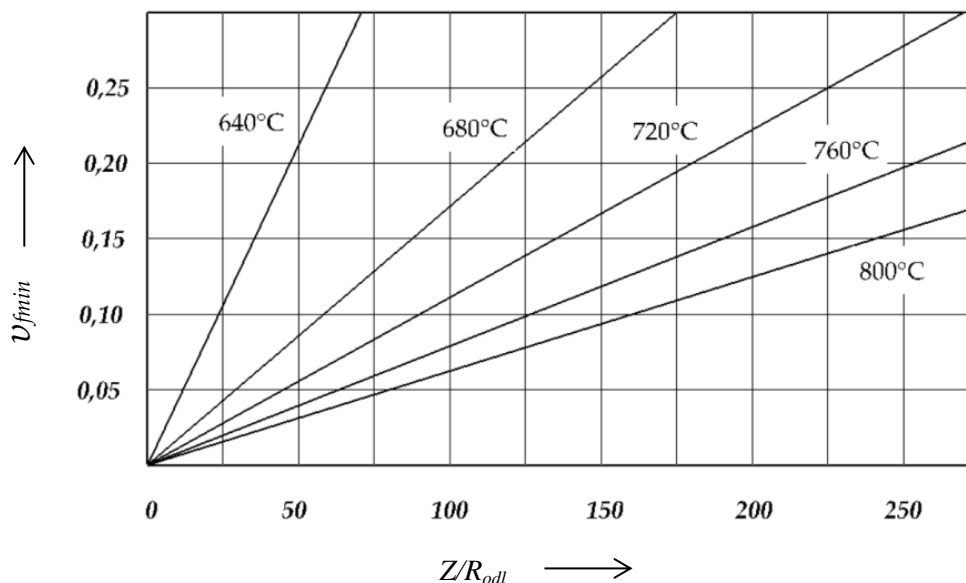
a, c – zaústenie tekutého kovu z jednej, príp. dvoch strán po šírke odliatku  
 d, b – zaústenie tekutého kovu z jednej príp. z dvoch strán po dĺžke odliatku

**Obr. 28** Schéma na určenie  $Z$  pri rôznom zaústení taveniny do formy



**Obr. 29** Vyčlenenie nebezpečných úsekov v odliatku II. skupiny z hľadiska jeho zabehnutia

Výpočet  $v_{fmin}$  pre odliatky I. skupiny sa uskutočňuje podľa **obr. 30** (platný pre bežnú pieskovú formu), na základe určenia  $z$  **obr. 28** a výpočtu  $R_{odl}$ .



$R_{odl}$  – relatívny rozmer odliatku

$$R_{odl} = \delta_{odl} / 2 \text{ [m]}$$

**Obr. 30** Závislosť  $v_{fmin}$  [m.s-1] od  $Z/R_{odl}$

Pre odliatky II. skupiny pre výpočet  $v_{fmin}$  sa používajú rôzne empirické vzťahy zohľadňujúce  $b_i$ , teplotu prehriatia a pod., na základe ktorých vypočítané hodnoty sú zhrnuté v **tab. 23**. Údaje z **tab. 23** platia pre  $\delta_{odl} > 4$  mm,  $h_{odl}$  do 150 mm,  $t_{liat} = 720$  °C. Pri znížení  $t_{liat}$  o 30 až 50 °C sa zvyšuje  $v_{fmin}$  o 15 %, pri zvýšení  $t_{liat}$  o 30 až 50 °C  $v_{fmin}$  sa zníži cca o 10 %.

Spôsoby zvýšenia  $v_{fmin}$ :

- zvýšenie teploty liatia (je možné len do teploty 760 °C)
- voľba inej konštrukcie vtokovej sústavy, napr. štrbinový zárez
- použitie náteru (napr. acetylénová sadza a hexachlóretán s hrúbkou 0,05 až 0,2 mm dovoľuje znížiť teplotu liatia o 50 až 60 °C a  $v_{fmin}$  o 25 až 35 %, najvyšší efekt je pre tenkostenné odliatky s  $\delta_{odl} < 12$  mm)

**Principiálne podmienky pre výpočet vtokovej sústavy:**

1. Zvolená rýchlosť plnenia pracovnej dutiny formy taveninou musí zaistiť dokonalé vyplnenie formy pri dovolenej turbulencii.
2. Rozmery a konštrukcia prvkov vtokovej sústavy musia zaistiť postupné zníženie turbulencie v smere k odliatku (rozširujúca sa vtoková sústava).
3. Zvolená rýchlosť plnenia pracovnej dutiny formy taveninou musí zaistiť dokonalé vyplnenie formy pri dovolenej turbulencii.

Tab. 23 Minimálne rýchlosti ( $\text{cm.s}^{-1}$ ) stúpania taveniny vo forme

Typ odliatku		$h_{odl}$ [mm]	Pri hrúbke steny odliatku [mm]										
			4	5	6	7	8	10	12	15	20	25	30
Pre zložité odliatky	$v_{fmin} = 0,22 \frac{\sqrt{h_{odl}}}{\delta_{odl} \cdot \ln \frac{t_{liat}}{380}}$	100	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,1	0,9	0,8	0,55	0,44	0,37
		150	3,4	2,7	2,2	1,95	1,7	1,36	1,13	0,91	0,68	0,54	0,45
		200	3,9	3,1	2,6	2,25	1,97	1,57	1,3	1,05	0,78	0,63	0,52
		300	4,8	3,9	3,2	2,75	2,4	1,9	1,6	1,28	0,96	0,77	0,64
		400	5,5	4,4	3,7	3,15	2,75	2,2	1,84	1,47	1,1	0,88	0,71
		500	6,25	5,0	4,18	3,57	3,1	2,5	2,1	1,67	1,25	1,0	0,83
		600	6,8	5,45	4,55	3,9	3,4	2,7	2,26	1,8	1,36	1,09	0,9
		800	7,9	6,3	5,25	4,5	3,9	3,15	2,6	2,1	1,57	1,25	1,05
		1000	8,75	7,0	5,8	5,0	4,37	3,5	2,9	2,3	1,75	1,4	1,17
	1500	10,7	8,6	7,2	6,15	5,36	4,3	3,58	2,86	2,14	1,71	1,43	
Pre ploché odliatky	$v_{fmin} = \left( \frac{h_{odl}}{2,09 \cdot \delta_{odl} + 4,2} \right)^{1,25}$	100	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,27	0,2	0,17
		200	3,0	2,3	2,1	1,9	1,6	1,2	1,0	0,9	0,6	0,5	0,4
		300	4,7	3,6	3,0	2,5	2,7	1,8	1,7	1,4	1,3	0,8	0,7
		350	6,0	4,3	3,7	3,2	3,0	2,3	2,0	1,9	1,8	0,9	0,8
		400	7,7	5,4	4,6	3,8	3,5	3,0	2,6	2,4	2,0	1,1	0,9
		500	11,2	8,8	7,4	6,0	5,2	3,7	3,4	2,8	2,7	1,5	1,3
		600	15,7	13,3	11,3	9,4	6,6	5,7	4,4	4,0	3,4	1,9	1,6
		800	18,0	14,9	13,6	12,3	9,5	7,4	6,2	4,9	3,7	2,7	2,3
		1000	23,7	19,7	18,0	16,2	12,5	9,7	8,2	6,4	4,8	3,6	3,1
		1500	39,4	32,6	29,7	26,9	20,8	16,2	13,7	10,7	8,1	6,0	5,1

4. Rozmery a konštrukcia prvkov vtokovej sústavy musia zaistiť postupné zníženie turbulencie v smere k odliatku (rozširujúca sa vtoková sústava).
5. Regulácia turbulencie v pracovnej dutine formy je možná len reguláciou rýchlosti taveniny, t.j. zmenou hodnoty  $Q_f$  ( $Q_f = v_f \cdot S_f$ ;  $S_f = \text{konšt.}$  a je určená konštrukciou odliatku).
6. Regulácia režimu prúdenia taveniny vo vtokovom kanáli je možná zmenou tak rýchlosti taveniny, ako aj hodnoty hydraulického polomeru, t.j. zmenou rozmerov a konštrukcie prvkov vtokovej sústavy.
7. Rozmery vtokovej sústavy musia byť čo najmenšie, aby hospodárnosť výroby bola čo najvyššia.

**Postupnosť stanovenia údajov pre výpočet:**

1. Na základe výkresu súčiastky, v závislosti od jej rozmerov, hmotnosti, konštrukcii, priemernej hrúbky steny, polohy vo forme pri odlievaní, sa určuje miesto zaústenia tekutého kovu (spodný vtok, bočný, vrchný) a teplotu odlievania.
2. Na základe zvoleného spôsobu zaústenia tekutého kovu sa zvolí typ konštrukcie vtokovej sústavy (**obr. 31**, určí sa dĺžka lapača trosky, spôsob spojenia lapača trosky s vtokovým kanálom, umiestnenie vtokových kanálov, počet zárezov, pomer  $S_K : S_L : S_Z$  (**tab. 24**), spodný priemer vtokového kanála  $d_{ks}$  (alebo  $a \times b$ , ak prierez vtokového kanálu je obdĺžnik)(**tab. 25**).
3. Určíť parametre formy a odliatku:

- a) začiatočný metalostatický tlak (**obr. 32**)

$$H_o = h_j + h_k$$

kde:  $h_j$  – výška taveniny vo vtokovej jamke. Závislosť medzi výškou vtokovej jamky  $H_j$  a výškou vtokového kanálu je v nasledovnej relácii:

$H_j$ , cm	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$h_k$ , cm	do 15	15-20	25-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-120	120-150

- b) priemerný metalostatický tlak  $H_p$  sa určuje len pre odliatky II. skupiny, (**tab. 22**) podľa **obr. 32**:

$$H_p = H_o - \frac{h_{odl}}{2}$$

$h_{odl}$  – výška odliatku od osi zárezu

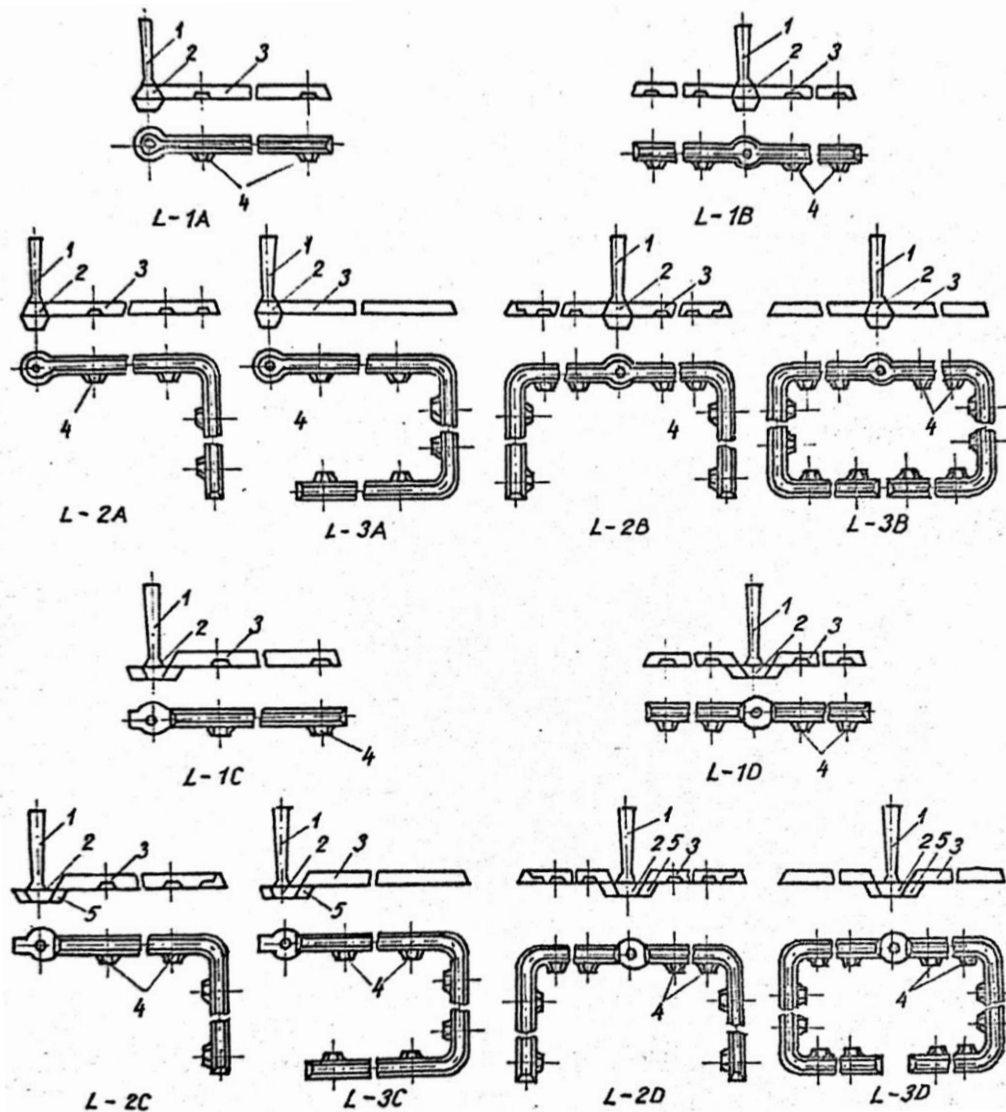
- c) plocha najväčšieho prierezu pracovnej časti formy  $S_f$  na úrovni zaústenia taveniny, príp. nad touto úrovňou (rez A-A, **obr. 32**),

d) úplný obvod  $P_f$  plochy  $S_f$ , vrátane vonkajšieho a vnútorného obrysu odliatku (**obr. 32**):

$$P_f = a + a' + \dots + f + f'$$

e) prevládajúca hrúbka steny odliatku:  $\delta_{odl}$ ,

f) max. dĺžka prúdu taveniny  $Z$  (**obr. 28**) od zárezu do stretnutia s prúdom pohybujúcim sa oproti (určuje sa len pre odliatky I. skupiny, **tab. 22**).



1-*vt. kanál*, 2-*studnička*, 3-*odtroskovák*, 4-*zárezy*, 5-*zásobník kovu*

L-1A, 2A, 3A – sústavy jednoduchej konštrukcie s jednovetvovým odtroskovákom

L-1B, 2B, 3B – sústavy jednoduchej konštrukcie s dvojvetvovým odtroskovákom

L-1C, 2C, 3C – sústavy so zásobníkom kovu a jednovetvovým odtroskovákom

L-1D, 2D, 3D – sústavy so zásobníkom kovu a s dvojvetvovým odtroskovákom

L-1 – priamy odtroskovák

L-2 – odtroskovák s 1 zmenou smeru

L-3 – odtroskovák s 2 zmenami smeru

**Obr. 31** Typová konštrukcia vtokových sústav

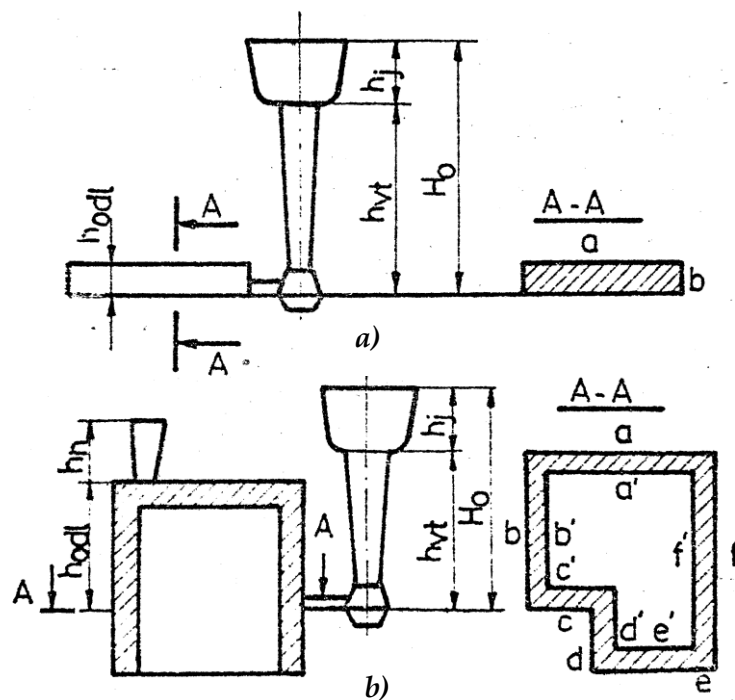


Tab. 24 Doporučené pomery  $S_K : S_L : S_Z$

Hmotnosť odliatku (bez náliatku) [kg]		$S_K : S_L : S_Z$			
		výška odliatku [mm]			
Al	Mg	< 150	150 – 450	450 – 750	> 750
< 5	< 3,5	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3		
5 – 10	3,5 – 7	1 : 2 : 2	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3
10 – 20	7 – 14	1 : 2 : 3	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4
20 – 40	14 – 28	1 : 2 : 4	1 : 3 : 3	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4
40 – 70	28 – 50	1 : 2 : 4	1 : 3 : 4	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
70 – 150	50 – 100	1 : 3 : 4	1 : 3 : 5	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5
> 150	> 100	1 : 4 : 4	1 : 4 : 5	1 : 4 : 6	iné

Tab. 25 Doporučené rozmery spodného prierezu vtokového kanála v závislosti od výšky  $h_{odl}$  a jeho hmotnosti „m“

Ø vtokového kanála	Priečný prierez	Plocha [cm <sup>2</sup> ]	$h_{odl}$ (vrátane náliatkov) [mm]	m (vrátane náliatkov) [kg]
d [mm]	a x b [mm]			
10	13 x 6	0,78	< 200	< 10
12	16 x 7	1,13	< 1000	ľubovoľné
14	19 x 8	1,54	< 850	
16	20 x 10	2,01	< 750	10 až 20
18	21 x 12	2,54	< 650	
20	26 x 12	3,14	< 550	
22	29 x 13	3,8	< 400	20 až 50
24	30 x 15	4,52	< 350	
26	31 x 17	5,3	< 300	
28	32 x 19	6,2	< 250	50 až 100
30	32 x 22	7,07	< 200	



*a* – odlievanie pri konštantnom metalostatickom tlaku (I. technologická skupina odliatkov)

*b* – odlievanie pri premennom metalostatickom tlaku (II. technologická skupina odliatkov)

**Obr. 32** Schéma umiestnenia odliatku vo forme (pre výpočet  $H_0$ ,  $h_{vt}$ ,  $P_f$ ,  $S_f$ ,  $v_f$ )

4. Určiť konštrukčné rozmery vtokovej sústavy a liacej jamky.

### 5.1.11 Určenie počtu a veľkosti náliatkov

Objemové zmeny pri tuhnutí zlievarenských zliatin sú doprevádzané vznikom stiahnutí a riedin v odliatkoch. Aby sa zabránilo vzniku uvedených chýb odliatky sú opatrené náliatkami. Vhodné umiestnenie náliatkov sa určuje podľa tvaru a rozmerov odliatku tak, aby sa tekutý kov z náliatku dosadzoval do celého odliatku v priebehu zmrašťovania pri tuhnutí.

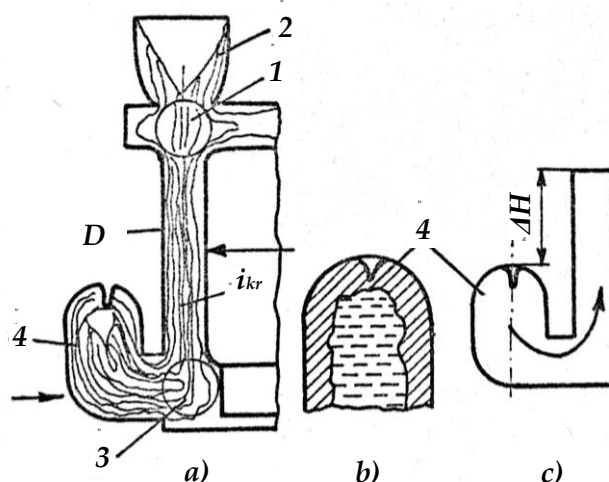
Zmrašťovanie je zmenšenie objemu, resp. rozmerov stuhnutého a vychladeného odliatku oproti objemu dutiny formy, resp. rozmerov formy. V praxi sa zmrašťovanie udáva v percentách.

I keď sa na prvý pohľad môže zdať, že návrh náliatkov je technologickou záležitosťou, je potrebné sa otázkou vhodného tvarovania odliatku s ohľadom na objemové zmeny pri tuhnutí zaoberať už pri konštrukcii súčiastky, a to tak z hľadiska vytvorenia podmienok pre potlačenie stiahnutí a riedin, tak i s ohľadom na hospodárne využitie kovu a zníženie pracnosti pri úpravách odliatku po odliatí.

Tepelný uzol je miestne nahromadenie kovu v odliatku, ktorý môže byť spôsobený zosilnením stien, stykom dvoch, príp. viacerých stien a pod. Doba tuhnutia tepelného uzlu je väčšia ako priľahlých stien následkom väčšieho modulu tuhnutia:  $M_u > M_s$ . Modul tuhnutia vyjadruje pomer objemu tepelného uzla (objemu steny) ku povrchu tohto objemu. Podľa polohy (z hľadiska smeru tuhnutia) tepelné uzly sa rozdeľujú na *neprekážajúce v usmernenom tuhnutí* odliatku ako celku (tepelné uzly sú najvyššie položenou časťou odliatku) a na *narušujúce usmernené tuhnutie*.

Uzly I. typu sa zneškodňujú priamym náliatkovaním – odliatok je technologickej koštrukcie, tepelné uzly II. typu sa zneškodňujú obtiažnejšie – odliatok je netechnologickej koštrukcie. Technologičnosť koštrukcie je možné určiť jednoduchou metódou „*vpísaných kružníc*“ – *Hauersova metóda* (obr. 8). Priemer vpísanej kružnice do časti odliatku je v súlade s dobou tuhnutia tejto časti, t.j. modulom tuhnutia. Ak priemer vpísaných kružníc sa zväčšuje v smer nahor, odliatok tuhne kladne usmernene, t.j. koštrukcia je technologická. V opačnom prípade je koštrukcia netechnologická a odliatok predstavuje koštrukčný celok pozostávajúci z (obr. 33):

- tepelného uzla (1, 3)
- steny odliatku nad tepelným uzlom (3): dosadzovacia (D), je sprostredkovateľom transportu taveniny z náliatku (2) do tepelného uzla (1 a 3). Túto funkciu plní tak dlho pokiaľ sa v nej nespoja izotermy tuhnutia. Od tohto okamihu tepelný uzol (3) tuhne izolovane od náliatku (2) usporiadaného nad D stenou.



1 – priamo náliatkovateľný tepelný uzol, 2 – priamy neprietočný náliatok,  
3 – nepriamy tepelný uzol, 4 – bočný náliatiok, D – dosadzovacia stena

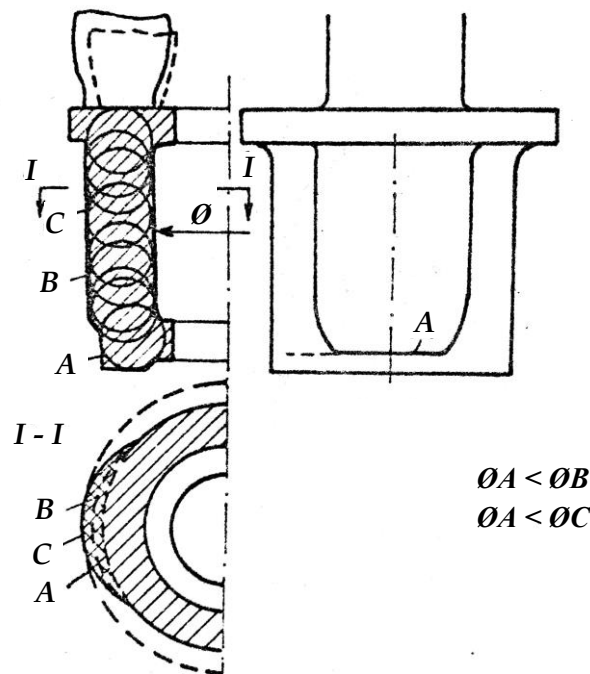
**Obr. 33** Tepelné uzly v odliatku a ich náliatkovanie

Pre zneškodňovanie tepelných uzlov v odliatkoch netechnologickej konštrukcie sú zaužívané spôsoby, podstatou ktorých je zväčšenie stupňa usmernenosti tuhnutia:

- celkové zväčšenie s odstupňovaním hrúbky dosadzovacej steny v smere ku náliatku – zlievarenské prídavky odstraňované pri opracovaní,
- použitie bočného uzavretého náliatku,
- použitie vnútorných alebo vonkajších chladítok,
- konštrukčná úprava súčiastky.

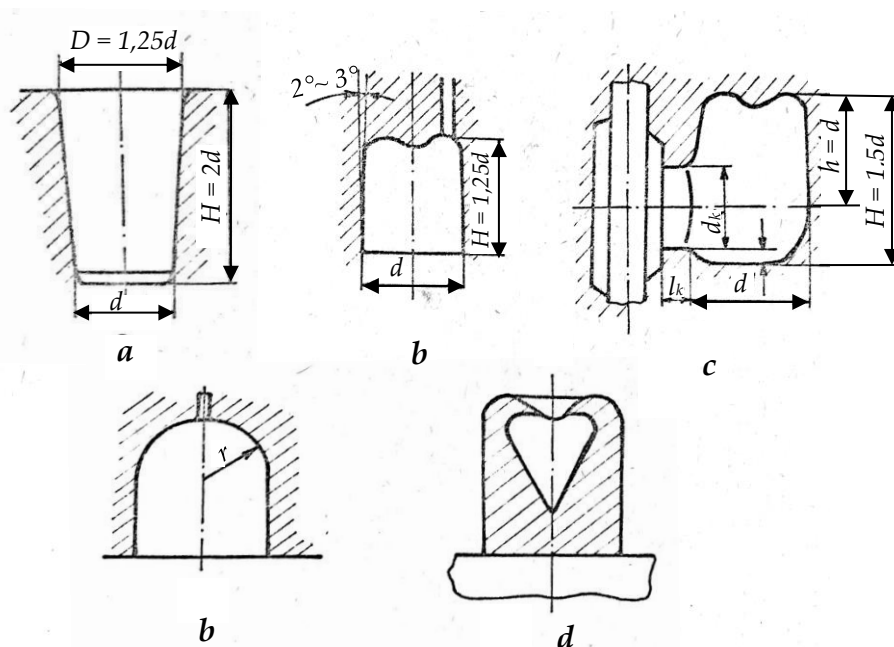
Podstata použitia zlievarenského prídavku je v zlučovaní nenáliatkovateľného (spodného) uzla s náliatkovateľným uzlom (**obr. 34**). Spôsob prevedenia: do spodného uzla sa vpiše kružnica, ktorá sa vyvedie do náliatku (po vonkajšom alebo vnútornom obryse odliatku) pri sústavnom zväčšení priemeru. Získaná hrúbka steny zaisťuje usmernené tuhnutie, t.j. náliatok zneškodňuje oba tepelné uzly (len za podmienky potrebného objemu náliatku).

Táto metóda zneškodňovania tepelného uzla je jednoduchá, ale pokiaľ sa nedohodne s objednávateľom o zahrnutí prídavku do konštrukčnej úpravy súčiastky, je spojená s vyššími nákladmi na opracovanie.



**Obr. 34** Zlučovanie nenáliatkovateľného (spodného) a náliatkovateľného (vrchného) tepelného uzla pomocou Hauerovej metódy

Bočný uzavretý atmosférický náliatok je spojený s tepelným uzlom pomocou krčka (obr. 35). Začína účinkovať po spojení izoteriem tuhnutia v dosadzovacej stene odliatku nezávisle od účinku horného náliatku. Do tejto doby funkciu zásobníka tekutého kovu pre celý odliatok (vrátane bočného náliatku) plnil iba horný náliatok.



Obr. 35 Priamy (a, b) a bočný (c, d) náliatok

Účinnosť bočného náliatku je nižšia (potvrďuje sa to pomerne malou stiahnutinou v náliatku, cca 5% jeho objemu). Účinnosť je možné zvýšiť ak sa použije prilahlý (prietochý) bočný náliatok.

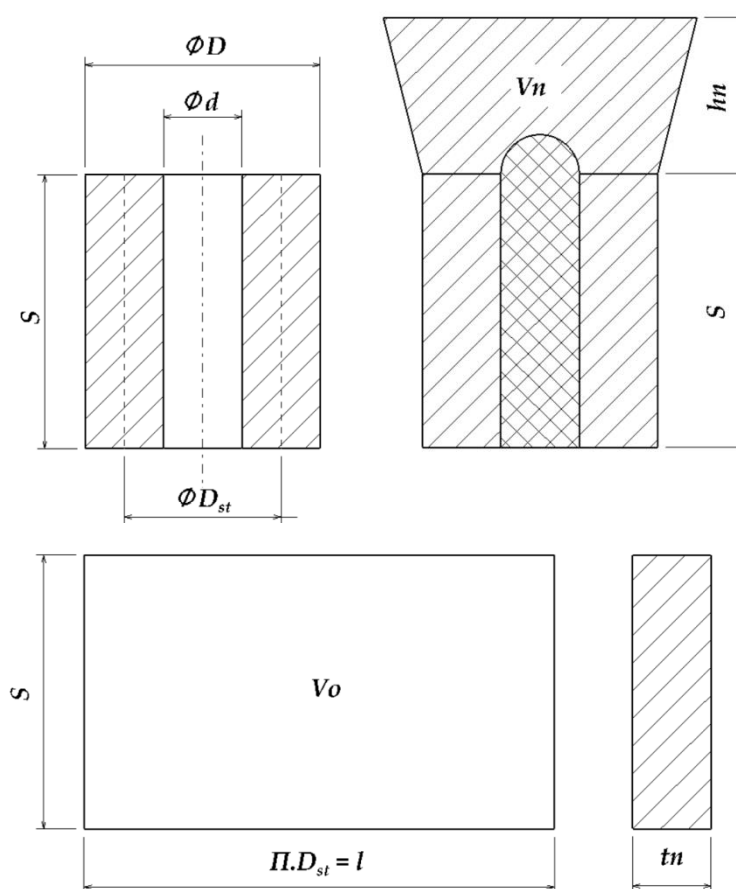
Atmosférický tlak v uzavretom náliatku sa zaisťuje pomocou priedušného jadierka, ktoré sa vyhotovuje z keramickej hmoty alebo z jadrovej zmesi s nízkou plynotvornou a vysokou prepúšťacou schopnosťou.

Pre správnu funkciu bočného náliatku sú dôležité aj rozmery krčka, t.j. platí  $\tau_n > \tau_k > \tau_{od}$ .

### 5.1.11.1 Výpočet objemu náliatkov

Pre výpočet objemu náliatkov sa používa viacero metód, ktoré zohľadňujú fyzikálno-chemické vlastnosti materiálu odliatku a formy.

Pre zjednodušenie výpočtu je možné odliatky roztriediť do skupiny dosák alebo tyčí (u tyčí je šírka menšia ako trojnásobná hrúbka). Takýmto roztriedením sa zjednoduší zložitý tvar odliatku. Napríklad odliatky puzdier, ložísk atď., sa rozvinú do tvaru dosky, **obr. 36**.



**Obr. 36** Spôsob náliatkovania puzdra na základe jeho rozvinutia

Pretože skutočný odliatok chladne dlhšie v dôsledku koncentrácie tepla v centre, po rozvinutí sa upraví „účinná“ hrúbka steny podľa rovnice:

$$t_n = k \cdot t$$

kde:  $t$  – skutočná hrúbka [mm]

$k$  – súčiniteľ

V **tab. 26** sú uvedené hodnoty súčiniteľa  $k$ . Súčiniteľ  $k$  je tým väčší, čím je otvor dutiny menší.

**Tab. 26** Hodnoty súčiniteľa „ $k$ “

Ø otvoru [mm]	$k$
0,5	1,17
1,0 t	1,14
2,0 t	1,02
4,0 t	1,00

Veľkosť náliatku sa vypočíta podľa vzťahu:

$$h = d = N \cdot \sqrt[3]{\frac{x \cdot \beta}{1 - x \cdot \beta} \cdot V_o} = N \cdot \sqrt[3]{\frac{x \cdot \beta}{(1 - x \cdot \beta) \cdot \rho} \cdot m_o}$$

kde:  $N$  – súčiniteľ pomeru výšky náliatku  $k$  jeho priemeru ( $h/d$ )

$x$  – súčiniteľ nehospodárnosti odliatku

$\beta$  – súčiniteľ objemového zmrašťovania odlievaného materiálu v intervale medzi teplotou liatia a teplotou solidu

$V_o$  – objem odliatku, resp. objem náliatkovanej časti odliatku [ $m^3$ ]

$m_o$  – hmotnosť odliatku, resp. hmotnosť náliatkovanej časti odliatku [kg]

$\rho$  – merná hmotnosť odlievaného materiálu  $kg/m^3$  v okamžiku tuhnutia

Hodnoty súčiniteľa  $N$  sú uvedené v **tab. 27**.

**Tab. 27** Súčiniteľ  $N$  v závislosti od pomeru ( $h/d$ )

$(h/d)$	$N$		$(h/d)$	$N$	
	náliatok			náliatok	
	otvorený	zatvorený		otvorený	zatvorený
1,0	1,08	1,15	2,0	0,87	0,89
1,1	1,06	1,11	2,5	0,80	0,82
1,2	1,02	1,07	3,0	0,72	0,76
1,3	1,00	1,04	4,0	0,68	0,70
1,4	0,96	1,01	5,0	0,62	0,65
1,5	0,92	0,985	6,0	0,54	0,60

V prípade použitia otvoreného atmosférického náliatku tvaru rovnostranného valca  $h = d$ , potom  $(h/d) = 1$ .

Z **tab. 27** súčiniteľ  $N$  pred odmocninou sa rovná 1,08.

V prípade použitia uzatvoreného náliatku tvaru valca ukončeného polgouľou, u ktorého  $h = d$  hodnota súčiniteľa  $N$  pred odmocninou bude 1,15.

Po určení rozmerov náliatku sa jeho objem vypočíta podľa **tab. 28**.

**Tab. 28** Objem náliatku v závislosti od jeho typu

(h/d)	Typ náliatku		(h/d)	N	
	valcový otvorený $V_n$	valec + ½ gule uzatvorený $V_n$		valcový otvorený $V_n$	valec + ½ gule uzatvorený $V_n$
1,0	0,785 d <sup>3</sup>	0,654 d <sup>3</sup>	2,0	1,570 d <sup>3</sup>	1,439 d <sup>3</sup>
1,1	0,864 d <sup>3</sup>	0,732 d <sup>3</sup>	2,5	1,963 d <sup>3</sup>	1,831 d <sup>3</sup>
1,2	0,946 d <sup>3</sup>	0,810 d <sup>3</sup>	3,0	2,255 d <sup>3</sup>	2,224 d <sup>3</sup>
1,3	1,021 d <sup>3</sup>	0,890 d <sup>3</sup>	4,0	3,140 d <sup>3</sup>	2,908 d <sup>3</sup>
1,4	1,099 d <sup>3</sup>	0,968 d <sup>3</sup>	5,0	3,925 d <sup>3</sup>	3,794 d <sup>3</sup>
1,5	1,178 d <sup>3</sup>	1,046d <sup>3</sup>	6,0	4,710 d <sup>3</sup>	4,578 d <sup>3</sup>

Z numerických metód je najčastejšie používaná metóda podľa Pribyla. Je založená na dvoch základných rovniciach:

$$\frac{V_n}{V_{sst}} = X$$

kde:  $V_n$  – objem náliatku [m<sup>3</sup>]

$V_{sst}$  – objem sústredenej stiahnutiny v tomto odliatku [m<sup>3</sup>]

$X$  – súčiniteľ nehospodárnosti

Hodnoty súčiniteľa nehospodárnosti  $X$  sú uvedené v **tab. 29**.

**Tab. 29** Súčiniteľ nehospodárnosti  $X$

Náliatok	$X$
Podtlakový	12
Atmosférický otvorený	9,0 až 12,0
Atmosférický uzatvorený	7,5 až 9,0
Vysokotlakový	5,5 až 7,5
Izolovaný	4,0 až 5,5
Exotermický	3,0 až 4,0



Výpočet sústredenej stiahnutiny sa robí podľa vzťahu:

$$V_{sst} = (V_o + V_n) \cdot \beta$$

kde:  $V_{sst}$  – objem sústredenej stiahnutiny v tomto odliatku [ $m^3$ ]

$V_o$  – objem odliatku [ $m^3$ ]

$\beta$  – súčiniteľ objemového zmraštenia

Hodnoty súčiniteľa  $\beta$  sú uvedené v **tab. 30**.

**Tab. 30** Súčiniteľ objemového zmraštenia  $\beta$

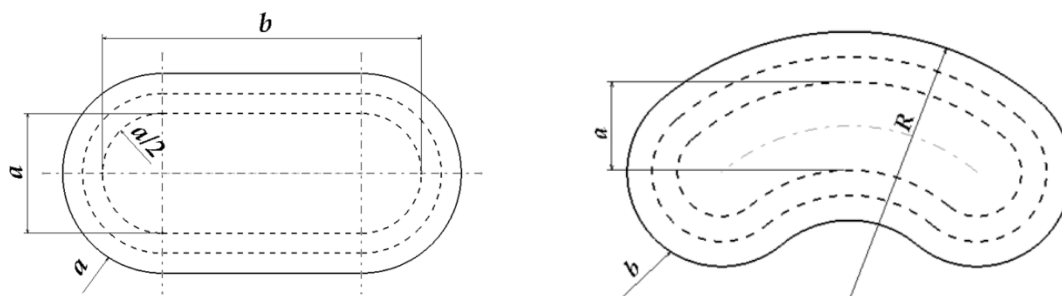
Odlievaná zliatina	$\beta$
zliatiny Cu	0,035 až 0,045
zliatiny Al	0,040 až 0,050
zliatiny Mg	0,030 až 0,060

Konečný výpočtový vzorec pre objem náliatku má potom tvar:

$$V_n = \frac{X \cdot \beta}{1 - X \cdot \beta} \cdot V_o$$

Za  $V_o$  v prípade samostatného tepelného uzla dosadzujeme objem uzla  $V_{tu}$ .

Tvar náliatku prispôsobujeme odliatku, napr. pri náliatkování vencov kolies viac vyhovujú náliatky oválneho resp. segmentového tvaru, **obr. 37**.

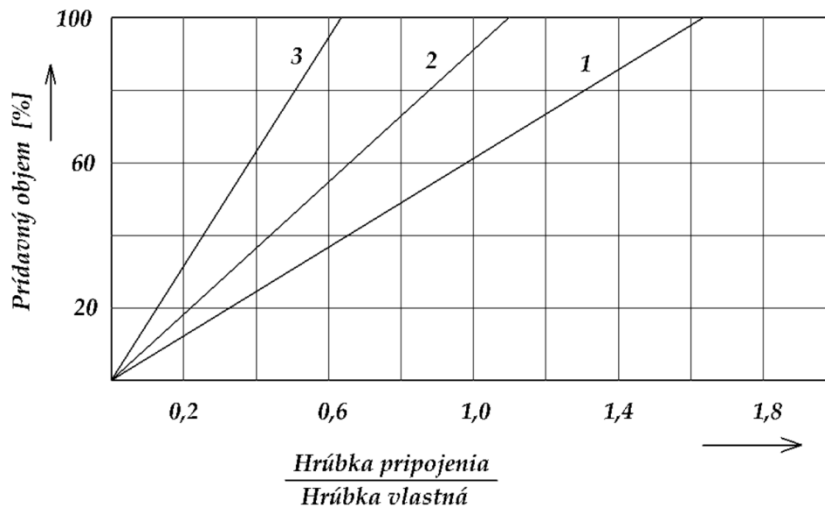


**Obr. 37** Náliatky *a* – oválneho, *b* –segmentového tvaru

Objem oválneho náliatku sa vypočíta podľa vzťahu:

$$V_n = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot h}{h} + (a - b) \cdot a \cdot h$$

Pripojením tenkých častí k náliatkovému uzlu sa doba tuhnutia predĺži minimálne, a preto aj minimálne vzrastie objem kovu potrebný k doplneniu náliatku. Pri pripojení k náliatkovanej časti odliatku hmotnejších častí sa doba tuhnutia zreteľne predĺži, a preto sa musí zväčšiť objem náliatku o tzv. „prídavný objem“. Prídavný objem náliatku sa volí podľa diagramu na **obr. 38**.



- 1 – doska doplňuje tyč
- 2 – tyč doplňuje tyč, resp. doska doplňuje dosku
- 3 – tyč doplňuje dosku

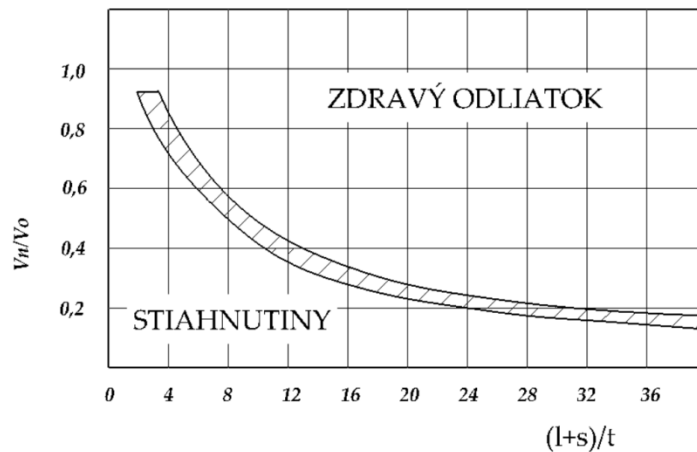
**Obr. 38** Určenie prídavného objemu náliatku

Celkový objem náliatku sa vypočíta:

$$V_{celk.n.} = V_n + \% V_{pr.}$$

kde:  $V_n$  – vypočítaný objem  
 $\%V_{pr}$  – prídavný objem náliatku

Prídavný objem náliatku (zvlášť pri oceľových odliatkoch) sa skontroluje podľa diagramu na **obr. 39**.



$(l+s)/t$  – tvarový faktor  
 $l$  – dĺžka náliatkovanej časti  
 $s$  – šírka náliatkovanej časti  
 $t$  – hrúbka náliatkovanej časti

Obr. 39 Akosť odliatku v závislosti  $V_n / V_o$  a tvarového faktoru

### 5.1.11.2 Určenie počtu náliatkov

Počet náliatkov sa stanovuje podľa počtu tepelných uzlov v odliatku. Skutočnú doplňovaciu vzdialenosť náliatku možno určiť z nasledujúcich vzťahov.

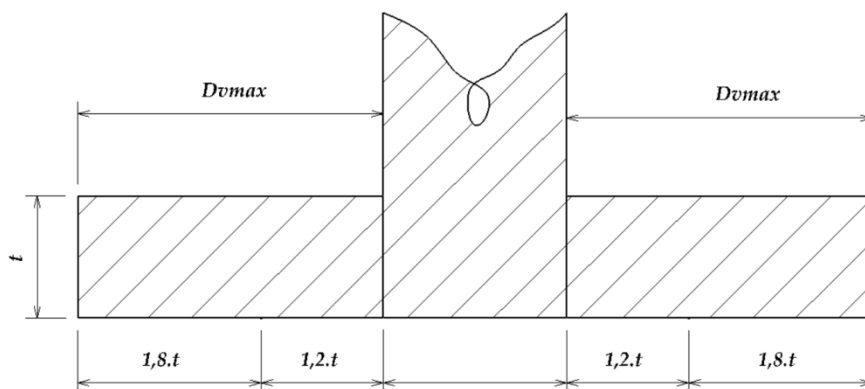
Pre odliatky tvaru tyče:

$$D_{V_{\max}} = 3,0 \cdot t \quad [mm]$$

kde:  $D_{V_{\max}}$  – vzdialenosť od náliatku [mm]

$t$  – hrúbka náliatku [mm]

Ako vidieť z obr. 40, náliatok pôsobí na obe strany, pričom rozmer  $D_{V_{\max}}$  je súčtom vzdialeností pôsobenia „teplého“ náliatku a ochladzujúceho sa konca odliatku.



Obr. 40 Účinná doplňovacia vzdialenosť u tyče

Samostatná doplňovacia vzdialenosť dvoch náliatkov na odliatku tyče je:

$$D_{Vmax} = 2 \cdot 1,2 \cdot t \quad [mm]$$

Pre odliatky tvaru dosák je najväčšia vzdialenosť od náliatku do konca odliatku daná vzťahom:

$$D_{Vmax} = 4,5 \cdot t \quad [mm]$$

pričom maximálna vzdialenosť medzi dvoma náliatkami je:

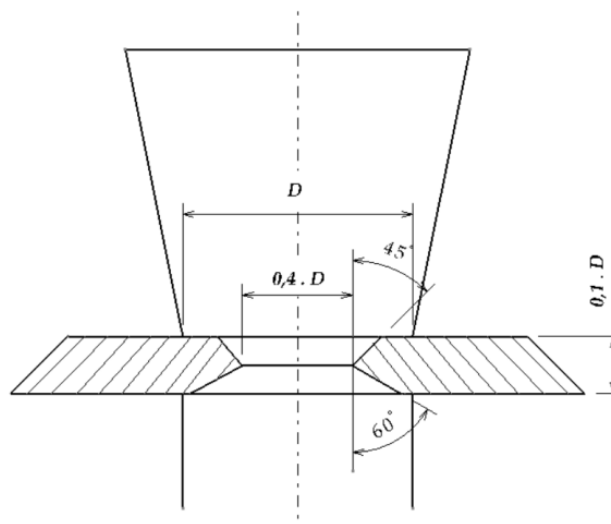
$$D_{Vmax} = 4,0 \cdot t \quad [mm]$$

### 5.1.11.3 Odstránenie náliatkov. Podnáliatkové vložky

Z hotového odliatku sa náliatky odstraňujú:

- urážaním,
- upálením kyslíkoacetylenovým plameňom,
- odrezaním na pásových alebo kotúčových píloch.

Pre ľahšie odstránenie náliatku sa vkladá medzi odliatok a náliatok podnáliatková vložka (**obr. 41**). Podnáliatkové vložky sú tenké keramické vložky (dosky) s úzkym otvorom (krčkom). Rozmery krčku a hrúbka dosky sa volia v závislosti od priemeru spodnej základne náliatku (**obr. 41**).



**Obr. 41** Podnáliatková vložka

Pri použití podnáliatkových dosiek náliatkov sa ľahko odrazí kladivom a vyčnievajúci zvyšok sa zabrusí.

### 5.1.12 Chladítka

U zložitejších odliatkov s tepelnými uzlami, ktoré sa dajú ťažko náliatkovať sa používajú chladítka (**obr. 42**).

Chladítka môžu byť:

- vonkajšie
- vnútorné

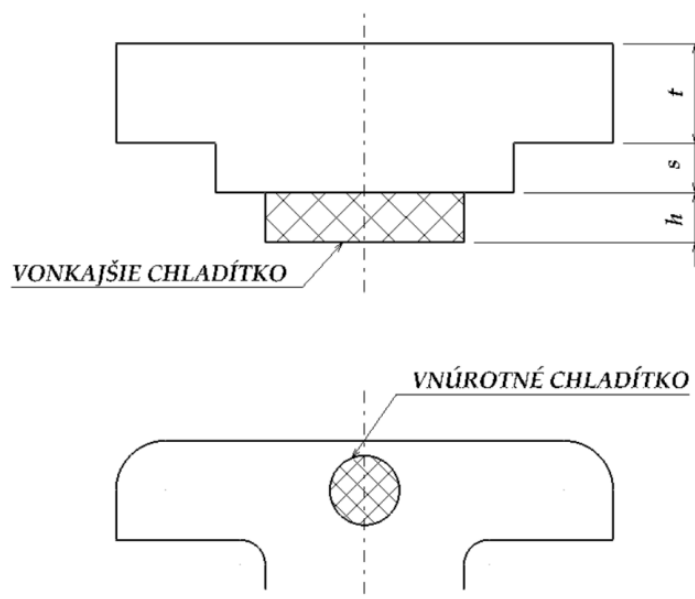
Vonkajšie chladítka sa používajú v podobe liatinových alebo oceľových doštičiek. Hrúbka vonkajšieho chladítka sa volí približne podľa vzťahu:

$$h = k \cdot \left( s + \frac{t}{2} \right)$$

k – koeficient (0,3 – 0,5).

Chladítka nesmú siahať až na okraj chladenej plochy, aby na hranách nedošlo k prasklinám.

Vnútorné chladítka sa používajú v podobe klincov zapichnutých do stien formy, s priemerom rovnajúcim sa max. 1/3 priemeru zosilnenej časti odliatku, alebo v podobe pocinovaných oceľových drôtov, stočených do špirál.



**Obr. 42** Chladítka vonkajšie a vnútorné

### 5.1.13 Výpočet vztlakovej sily a zaťaženia formy

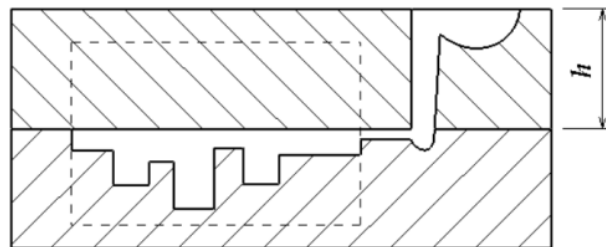
Vztlaková sila je tlak taveniny pôsobiaci na vršok formy.

1. V najjednoduchšom prípade, kedy je odliatok situovaný v dolnej polforme a je bez jadra (obr. 43 a):

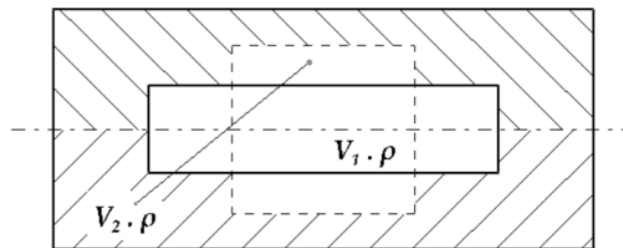
$$P = F \cdot h \cdot \rho$$

kde:  $F$  – plocha odliatku v deliacej rovine [ $\text{m}^2$ ]

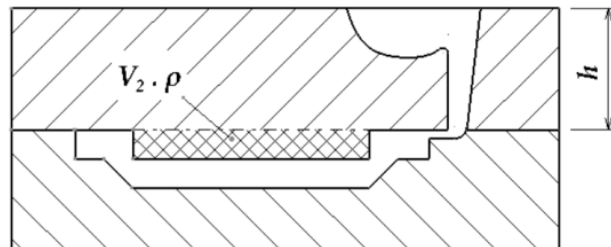
$\rho$  – merná hmotnosť kovu [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]



a)



b)



c)

Obr. 43 Schéma pre výpočet vztlakovej sily

2. V prípade, keď v dutine formy sa nachádza jadro (**obr. 43 b**) k sile P sa pripočíta vztlak  $P_1$ , ktorým je jadro odľahčované:

$$P_1 = V_1 \cdot \rho$$

kde:  $V_1$  – objem jadra [ $m^3$ ]

$P_1$  – vztlak jadra

3. Keď niektorá časť odliatku sa nachádza vo vršku formy (**obr. 43 b**), vztlak sa zmenší o hmotnosť tejto časti odliatku:

$$P_2 = V_2 \cdot \rho$$

kde:  $V_2$  – objem časti odliatku vo vršku formy

4. Keď vršok formy zasahuje do spodnej časti (**obr. 43 c**) zvýši sa vztlak o hmotnosť kovu vytlačeného kovom:

$$P_3 = V_3 \cdot \rho$$

kde:  $V_3$  – objem časti odliatku vo vršku formy

Celková vztlaková sila sa rovná:

$$P = F \cdot h \cdot \rho + V_1 \cdot \rho - V_2 \cdot \rho + V_3 \cdot \rho$$

Proti tomuto celkovému vztlaku pôsobí hmotnosť vrchného rámu, ktorá sa však neuvažuje. Preto sa forma musí zaťažiť o 30 až 50% väčšou hmotnosťou ako je vypočítaný celkový vztlak.

## Literatúra

- [1] Pribulová, A., Vasková, I., Bartošová, M., Futáš, P.: Tavenie a rafinácia hliníkových zliatin, Košice, 2006
- [2] Bolibruchová, D., Pastirčák, R., Sládek, A.: Zlievarenská metalurgia nežeľezných kovov, Žilina, 2005
- [3] Bolibruchová, D., Pastirčák, R., Sládek, A.: Zlievarenská metalurgia - nežeľezné kovy, Návody na cvičenia, Žilina, 2005
- [4] Tillová, E., Chalupová, M.: Využitie hlbokého leptania pri štúdiu morfológie eutektického kremíka, Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B - The Jan Perner Transport Faculty 7, 2001
- [5] Gedeonová, Z., Vondrák, V.: Kontrola kvality odliatkov, Alfa Bratislava, 1983
- [6] Petřík, J., Tompoš, T.: Spôsobilosť skúšky zabiehavosti horizontálnou metódou, Slévárenství, LVIII, s. 99 – 103, č. 1 – 2, 2010
- [7] Grígerová, T.: Návody na cvičenia z predmetu zlievarenstvo nežeľezných kovov, VŠT Košice, 1986
- [8] Malik, J., Futáš, P.: Technická príprava výroby odliatkov, Košice, 2006



Názov: Zlievarenstvo neželezných kovov (návody na cvičenia)  
Autori: © doc. Ing. Peter Futáš, PhD., prof. Ing. Alena Pribulová, CSc.,  
doc. Ing. Jozef Petřík, PhD., Ing. Andrea Junáková, PhD.

Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach  
Rok: 2020  
Strán: 89  
Náklad: 50 ks  
Vydanie: prvé

ISBN 978-80-553-3507-0