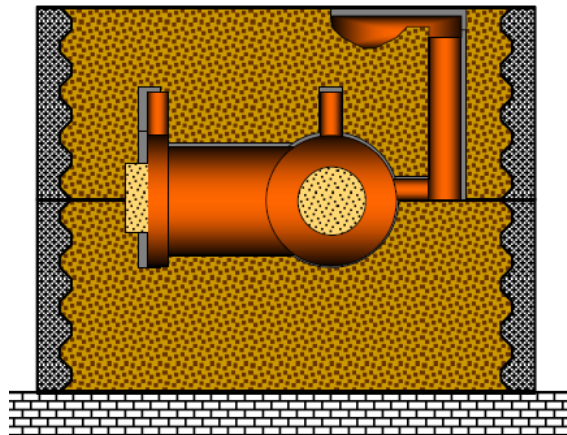


LJEVARSTVO 2011



UVOD

Lijevanje - postupak (engl. Casting, njem. Giesserei) – taljenje metala, ulijevanje u kalup pod utjecajem gravitacije ili druge sile, te skrućivanje. Kalupna šupljina oblikuje odljevak.

Odljevak - proizvod (engl. Casting, njem. Giessprodukt)

PREDNOSTI:

- Složena geometrija vanjskog i unutarnjeg dijela
- Moguće je dobiti dimenzijski točan oblik (net-shaped) ili približno točan oblik (near net shaped)
- Moguće proizvesti vrlo velike odljevke
- Bilo koji metal
- Moguća masovna proizvodnja
- Velik raspon dimenzija – od 1g do 250 tona

NEDOSTACI:

- Ograničenja u mehaničkim svojstvima, poroznost
- Dimenzijska točnost, kvaliteta površine
- Opasnosti u proizvodnji
- Utjecaj na okoliš



PRIMJENA ODLJEVAKA

Najvažniji partneri ljevačke industrije su:

1. Automobilska industrija
2. Strojogradnja
3. Građevinska industrija i strojevi
4. Medicina
5. Brodogradnja
6. Tračnička vozila
7. Energetika
8. Zrakoplovna i svemirska industrija
9. Lijevanje umjetničkih skulptura

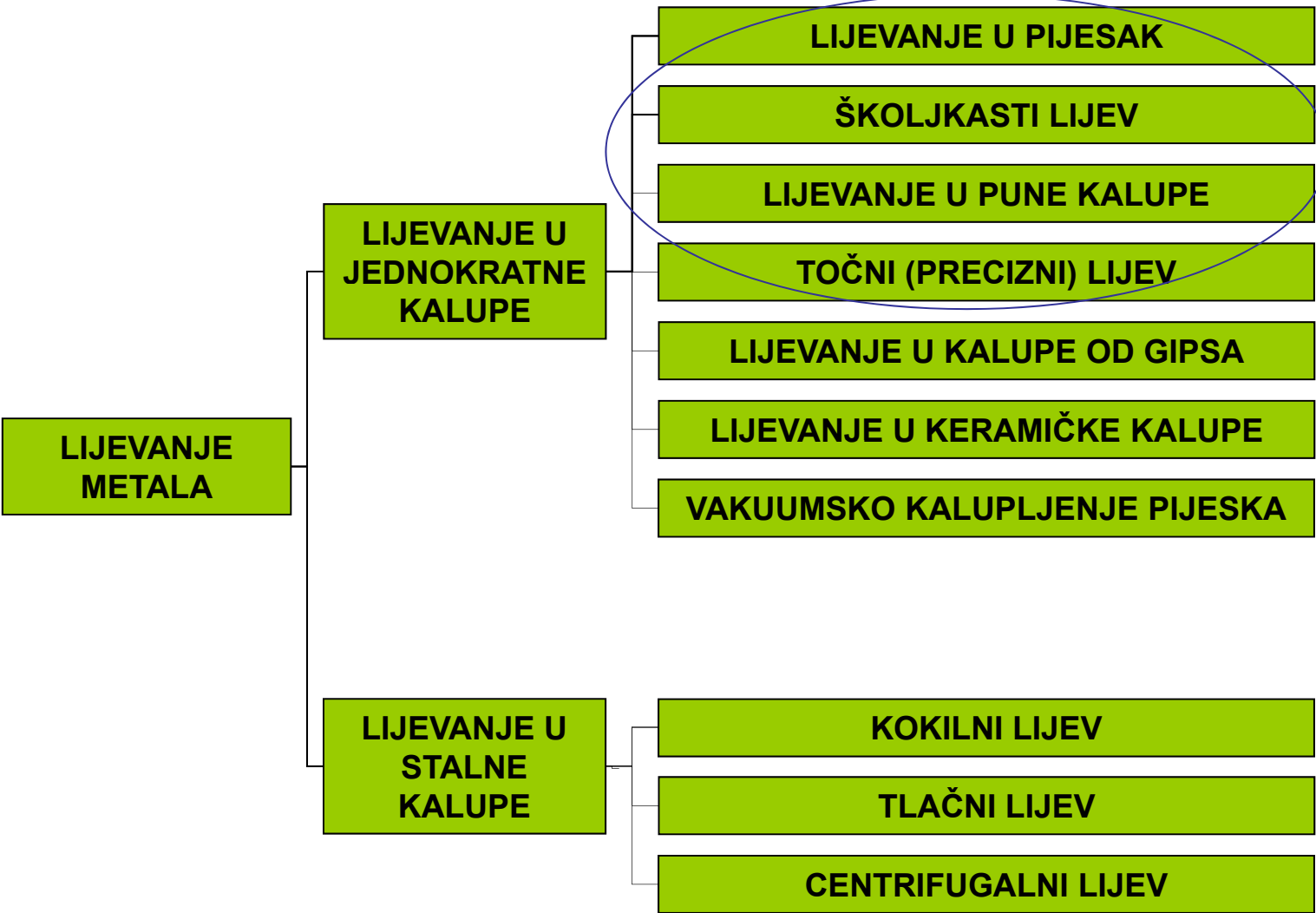
Najveća primjena je u automobilskoj industriji sa 40% željeznog lijeva i 80% aluminijskog lijeva.

U jedan automobil ugrađeno je više od 100 odljevaka.

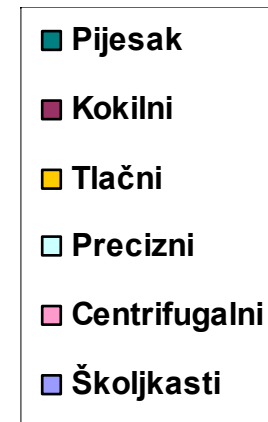
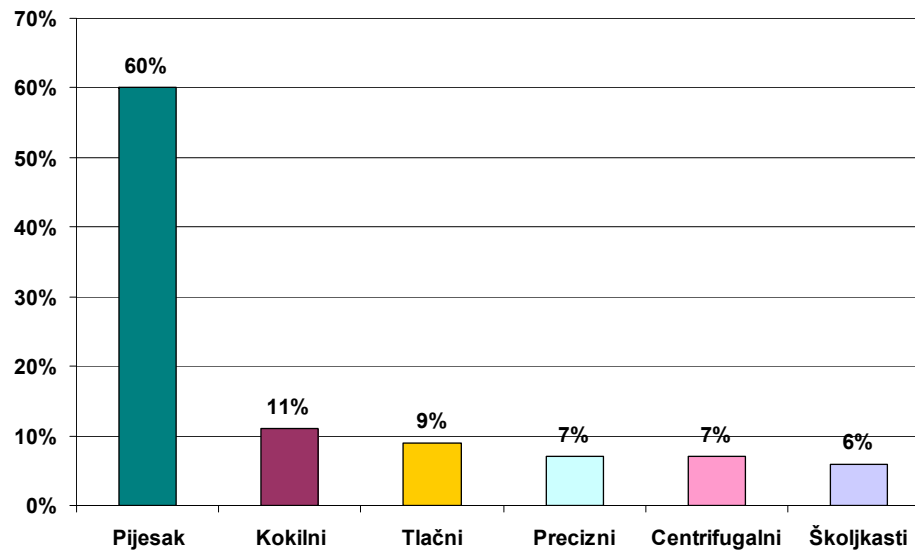
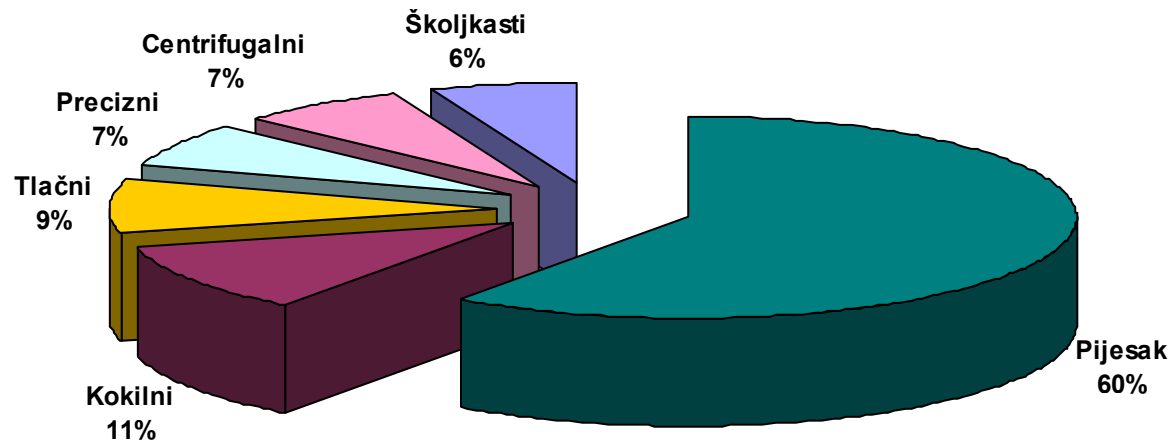
Većina tehničkih sklopova, nezamisliva je bez odljevaka.



KLASIFIKACIJA PROCESA LIJEVANJA METALA



Udjeli pojedinih ljevačkih postupaka-SAD 2009 (po masenom udjelu odlivenog metala)



PREGLED

Ljevaonica je pogon opremljen za:

- proizvodnju kalupa
- taljenje i obradu taline
- provođenje postupka lijevanja
- čišćenje i obradu odljevaka
- antikorozivnu zaštitu

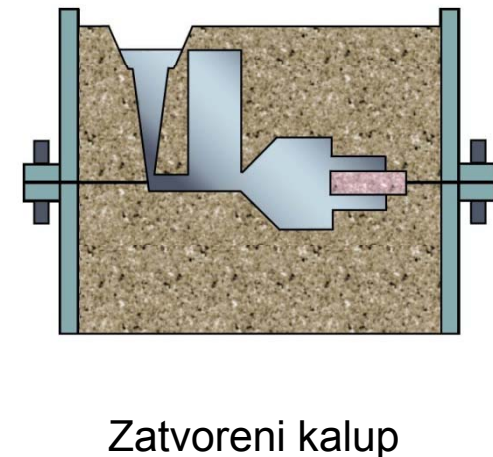
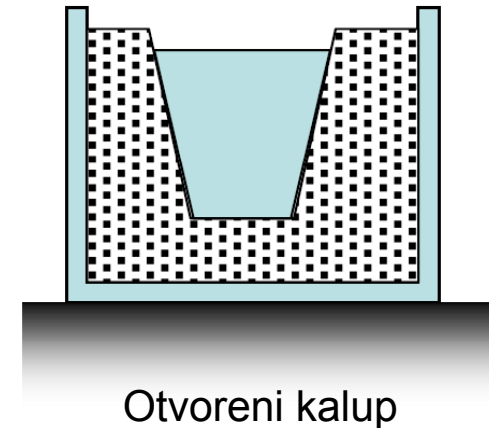
Ljevač je radnik u ljevaonici

Otvoreni kalup – za jednostavne odljevke

Zatvoreni kalup – za složene odljevke

Prolaz za rastaljeni metal – uljevni sustav koji vodi u kalupnu šupljinu

Dvije vrste kalupa – jednokratni i stalni



DVIJE GLAVNE KATEGORIJE

1. Postupci s **JEDNOKRATNIM KALUPIMA**
 - kalupe je potrebno nakon lijevanja uništiti kako bi se izvadio odljevak
 - Kalupni materijali – pijesak, gips i slični materijali + vezivo+dodaci
 - Za složenije oblike odljevaka – konstrukcijskih elemenata

Pješčani lijev (Dalekovod)



Točni (precizni) lijev (HS Produkt)



2. Postupci sa **STALNIM KALUPIMA** – kalup se koristi puno puta za proizvodnju velikog broja odljevaka – stalni kalup naziva se kokila

- Kalup je izrađen od metala ili rjeđe od grafita za čelične odljevke
- Ograničen oblik odljevka
- Trajni kalupi su isplativiji u visokoserijskoj proizvodnji

Tlačni lijev (Lipovica)



Nepomični dio



Pomični dio kalupa



Odljevak – rebra radijatora

OSNOVNA OBILJEŽJA KALUPA

Kalup:

gornjak (engl. Cope) i
donjak (engl. Drag)

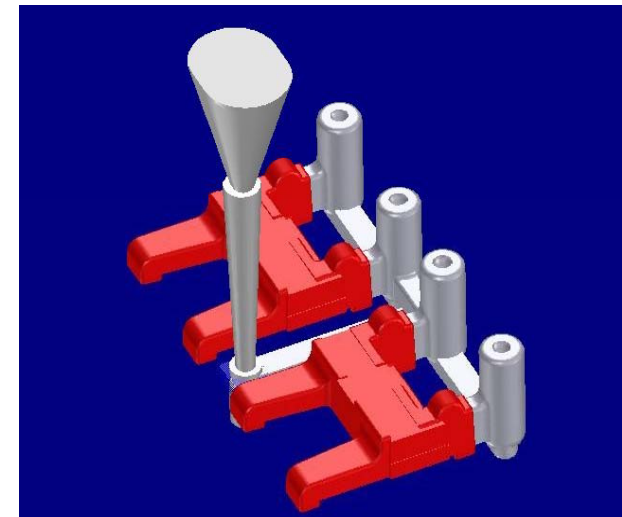
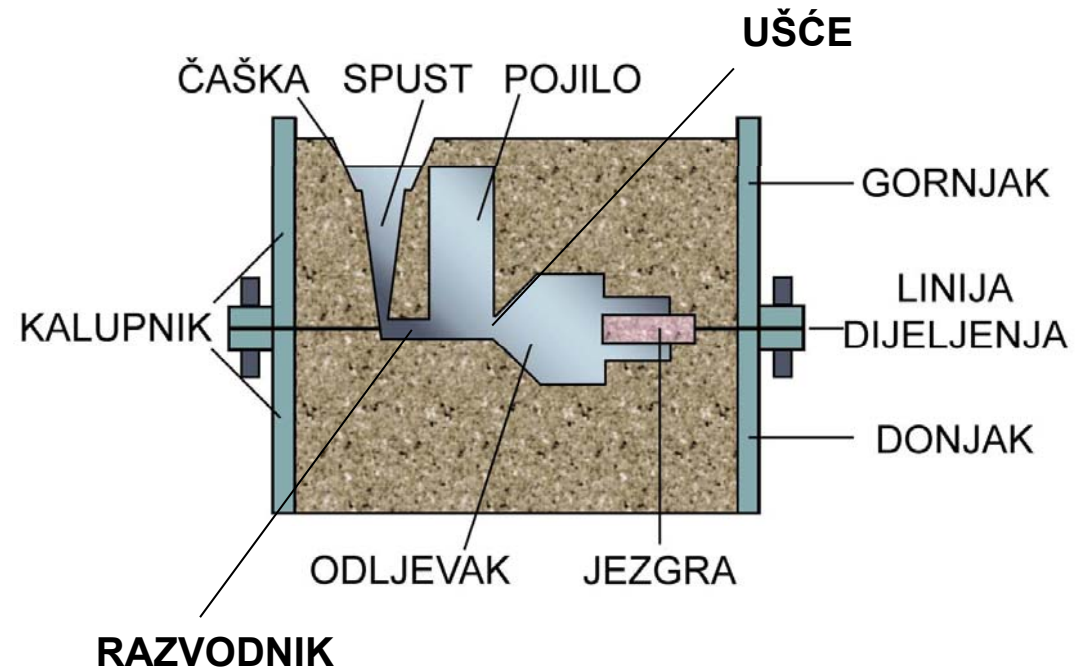
Kalupnik – posuda, okvir

Razdjelna linija – linija koja
razdvaja gornjak i donjak

Model – kalupna šupljina

Uljevni sustav – čaška, spust,
razvodnik, ušće

Pojilo – izvor taline kako bi se
nadoknadio materijal jer
tijekom skrućivanja dolazi
do smanjenja volumena



KORACI PRI LIJEVANJU

Oblikovanje kalupne šupljine

- Kalupna šupljina oblikuje se sabijanjem kalupne mješavine oko modela
- Model (koji je većih dimenzija od konačnog proizvoda radi smanjenja volumena tijekom skrućivanja) se uklanja iz kalupa
- Kalupna mješavina je vlažna i sadrži vezivo kako bi zadržala oblik

Jezgre u kalupnoj šupljini

- Kalupna šupljina- vanjska površina odljevka
- Jezgre se polažu u kalup kako bi tvorile unutarnju geometriju odljevka
- Kod lijevanja u piješćane kalupe i jezgre se izrađuju od pijeska.

Uljevni sustav – kanal kroz koji rastaljeni metal teče u kalupnu šupljinu

Spustom talina stiže do razvodnika, zatim razvodnikom do ušća kroz koje ulazi u kalupnu šupljinu

- Na vrhu spusta nalazi se čaška koja umanjuje prskanje i turbulentno strujanje

Pojilo – spremnik rastaljenog metala kojim se nadoknađuje promjena volumena (stezanje) tijekom skrućivanja

- Pojilo treba biti oblikovano tako da skrućuje nakon skrućivanja odljevka

TALJENJE I ULJEVANJE

- Potrebno je metalu dovesti dovoljnu količinu energije kako bi se rastalio i zagrijao do potrebne temperature pregrijanja
- Ukupno potrebna energija

$$H = \rho V [C_s (T_m - T_o) + H_f + C_l (T_p - T_m)]$$

ρ – gustoća

V – volumen

C_s – specifična toplina za krutinu

C_l – specifična toplina za tekuću fazu

T_m – temperatura taljenja

T_o – početna temperatura

T_p – temperatura ulijevanja

Faktori koji utječu na lijevanje

- **Temperatura ulijevanja** (u odnosu na temperaturu taljenja)
- **Brzina ulijevanja**
 - Pre sporo – metal skrućuje prerano i ne popuni kalup
 - Prebrzo – dolazi do turbulencija
- **Turbulencije**
 - Ubrzavaju stvaranje oksida
 - Dovode do erozije kalupa
 - Poroznosti?

ANALIZA ULIJEVANJA

- Bernoullijeva jednađba za bilo koje dvije točke taline koja teče

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Ako pretpostavimo da nema gubitaka pod utjecajem trenja kao ni promjene tlaka

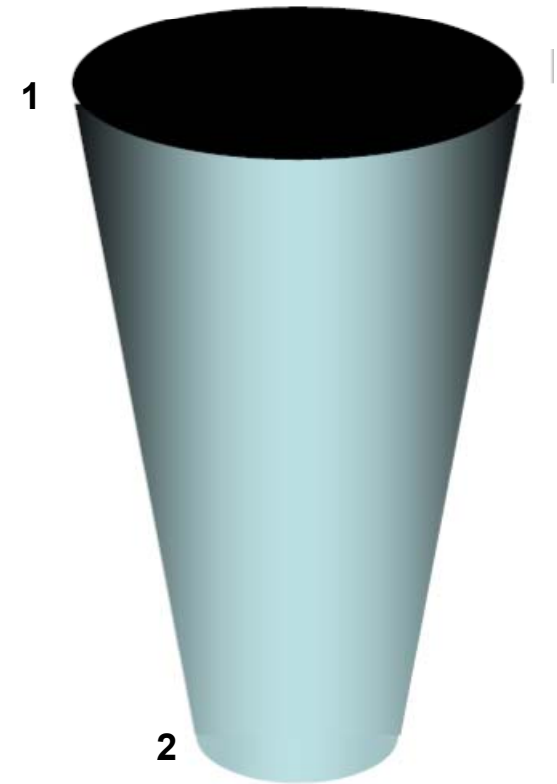
$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

- Ako točku 2 uzmemo kao referentnu ($h_2=0$, $v_1 = 0$)

$$h_1 = \frac{v_2^2}{2g} \quad v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

- Jednađba kontinuiteta $Q = v_1A_1 = v_2A_2$

- Vrijeme punjenja kalupa (t_{PK}) $t_{PK} = \frac{V}{Q}$



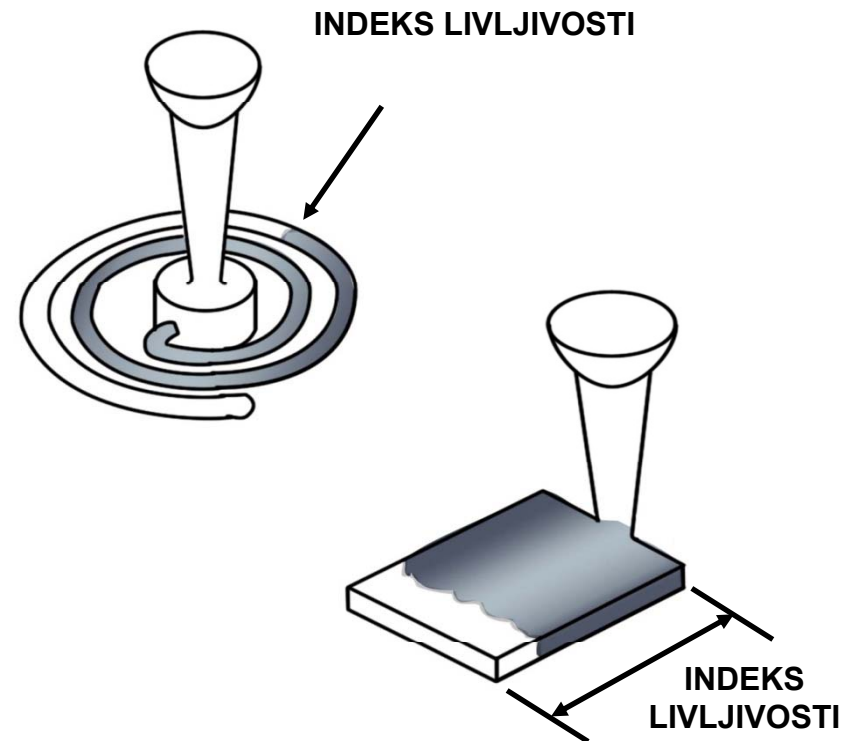
LIVLJIVOST

- **Livljivost** je sposobnost taline da popuni kalup prije skrućivanja

Čimbenici koji utječu na livljivost:

- Temperatura ulijevanja
- Sastav metala
- Viskoznost, ν
- Gubici topline na okoliš
- Specifična toplota taljenja
- Skrućivanje
- Viši Re , veća sklonost turbulentnom strujanju
- Reynoldsov broj: $Re = \frac{v \cdot Dh}{\nu}$
 - lamelarno strujanje do $Re=2\ 000$
 - prijelazno strujanje do $Re=20\ 000$
 - turbulentno strujanje $Re>20\ 000$

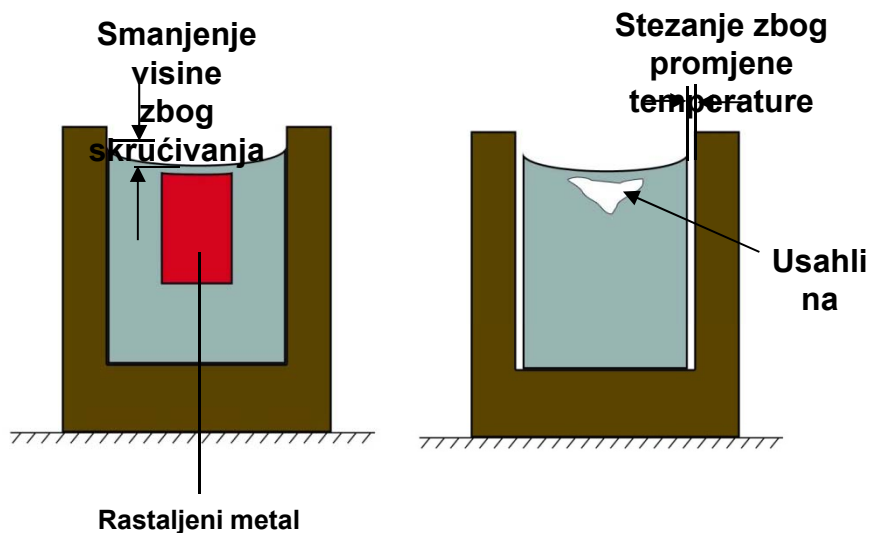
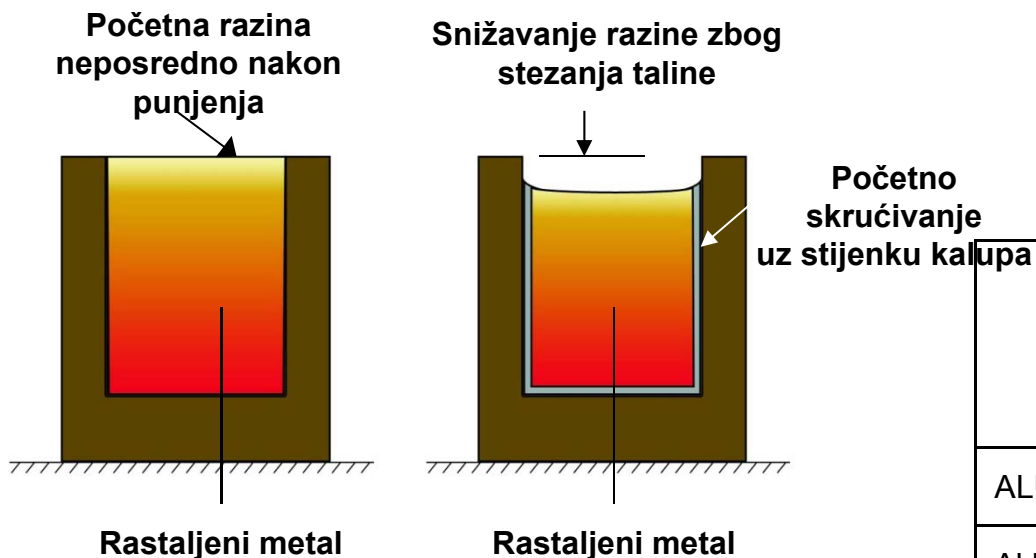
Dh -hidraulički promjer kanala
 ν - brzina strujanja



Test livljivosti - Schey, 2000

Čisti metali – dobra livljivost
Legure – ne tako dobra livljivost

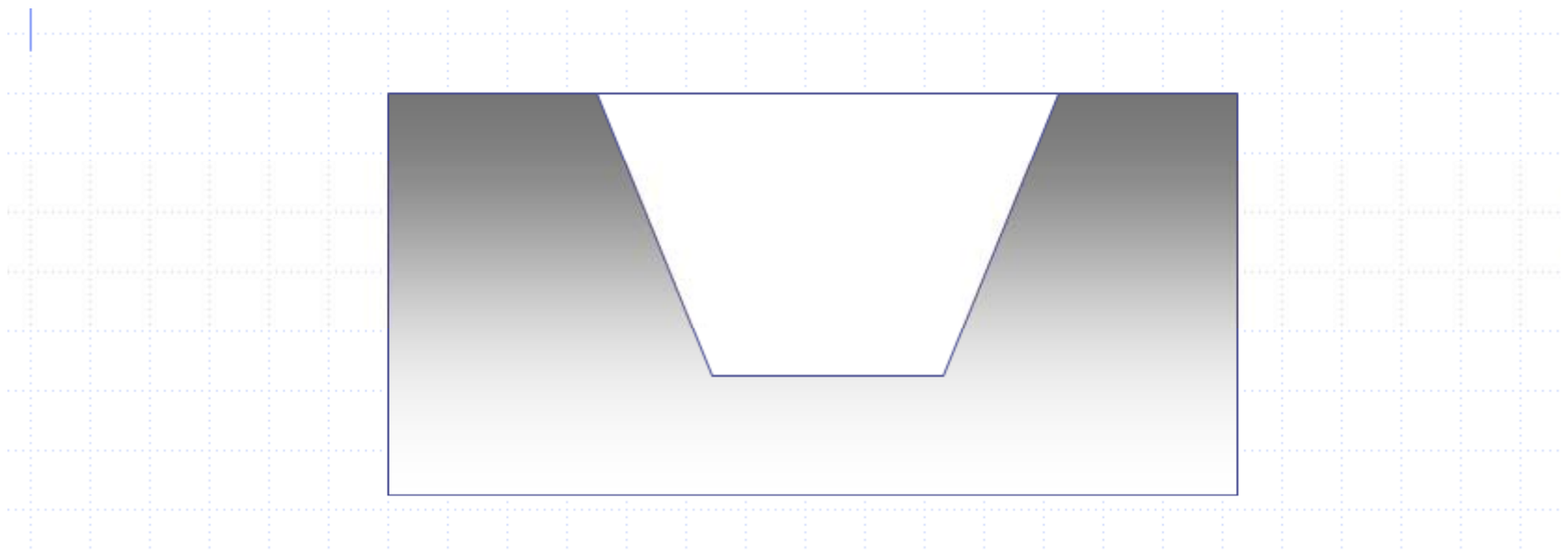
STEZANJE METALA KOD SKRUĆIVANJA I HLAĐENJA



METAL	STEZANJE	
	PRI SKRUĆIVANJU	PRILIKOM HLAĐENJA
ALUMINIJ	7%	5,6%
AI LEGURE	7	5
SIVI LIJEV	1,8	3
SIVI LIJEV S VISOKIM UDJELOM C	0	3
LIJEVANI ČELIK S NISKIM UDJELOM C	3	7,2
BAKAR	4,5	7,5
BRONCA	5,5	6

*Iznimka je sivi lijev s visokim udjelom ugljika kod kojeg tijekom završnog stadija skrućivanja zbog grafitizacije dolazi do fazne pretvorbe koja uzrokuje povećanja volumena.

.....



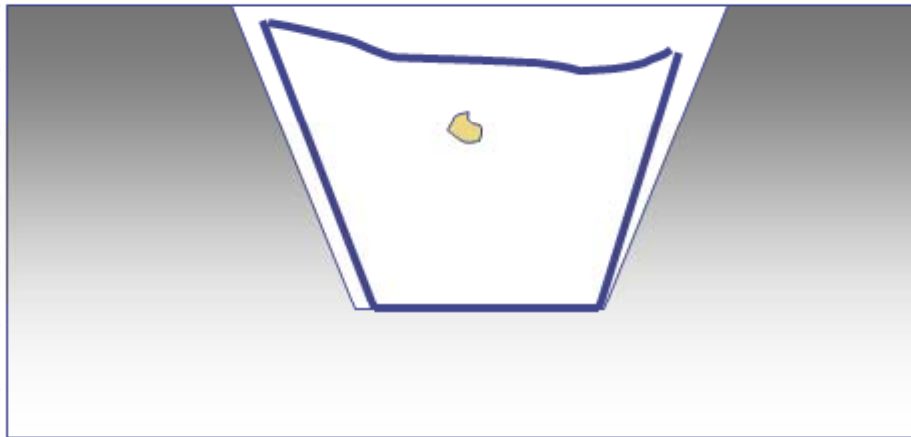


Table 12.1

Normal Shrinkage Allowance for Some Metals Cast in Sand Molds

Metal	Percent
Gray cast iron	0.83 – 1.3
White cast iron	2.1
Malleable cast iron	0.78 – 1.0
Aluminum alloys	1.3
Magnesium alloys	1.3
Yellow brass	1.3 – 1.6
Phosphor bronze	1.0 – 1.6
Aluminum bronze	2.1
High-manganese steel	2.6

1. LIJEVANJE U PJEŠĆANE KALUPE (PJEŠĆANI LIJEV)

- Najrašireniji postupak lijevanja
- Dimenzije odljevaka mogu biti od malih do vrlo velikih
- Veličine serija od jednog komada do milijunskih serija
- Koristi se kalup izrađen od pijeska

•MODEL I JEZGRE

- **Modeli** - u komadu, od više dijelova, na jednoj modelnoj ploči za gornjak i donjak, posebna modelna ploča za gornjak, posebna za donjak
- **Jezgre** – oblikuju unutrašnju površinu odljevka

•KALUPI

- Pijesak pomiješan s vodom i vezivom (glina – bentonit)
- Tipična mješavina: 90% pijeska, 3% vode, 7% gline i dodaci
- (dodaci pijesku) Služe za povećanje čvrstoće i/ili propusnosti

KALUPI

PIJESAK – vatrootporan materijal, podnosi visoke temperature

VELIČINA I OBLIK ZRNA PIJESKA

- SITNO ZRNO – bolja kvaliteta površine odljevka
- KRUPNIJE ZRNO – bolja propusnost za plinove tijekom ulijevanja
- NEPRAVILAN OBLIK ZRNA – zbog međusobnog uklještenja zrna kalupi su čvršći ali je smanjena propusnost

VRSTE KALUPA

- KALUP OD VLAŽNOG PIJESKA
 - mješavina pijeska, gline i vode;
 - Naziva se engleski “*Green sand*” jer sadrži vlagu prilikom ulijevanja
- KALUP OD SUHOG PIJESKA
 - umjesto gline sadrži organska veziva
 - Kalup se prije ulijevanja peče kako bi mu se povećala čvrstoća
- POVRŠINSKI OSUŠEN KALUP
 - površina kalupne šupljine od vlažnog pijeska suši se pomoću plamenika ili lampi do dubine od 10 – 25 mm

POSTUPAK IZRADA ODLJEVAKA U PJEŠĆANOM KALUPU

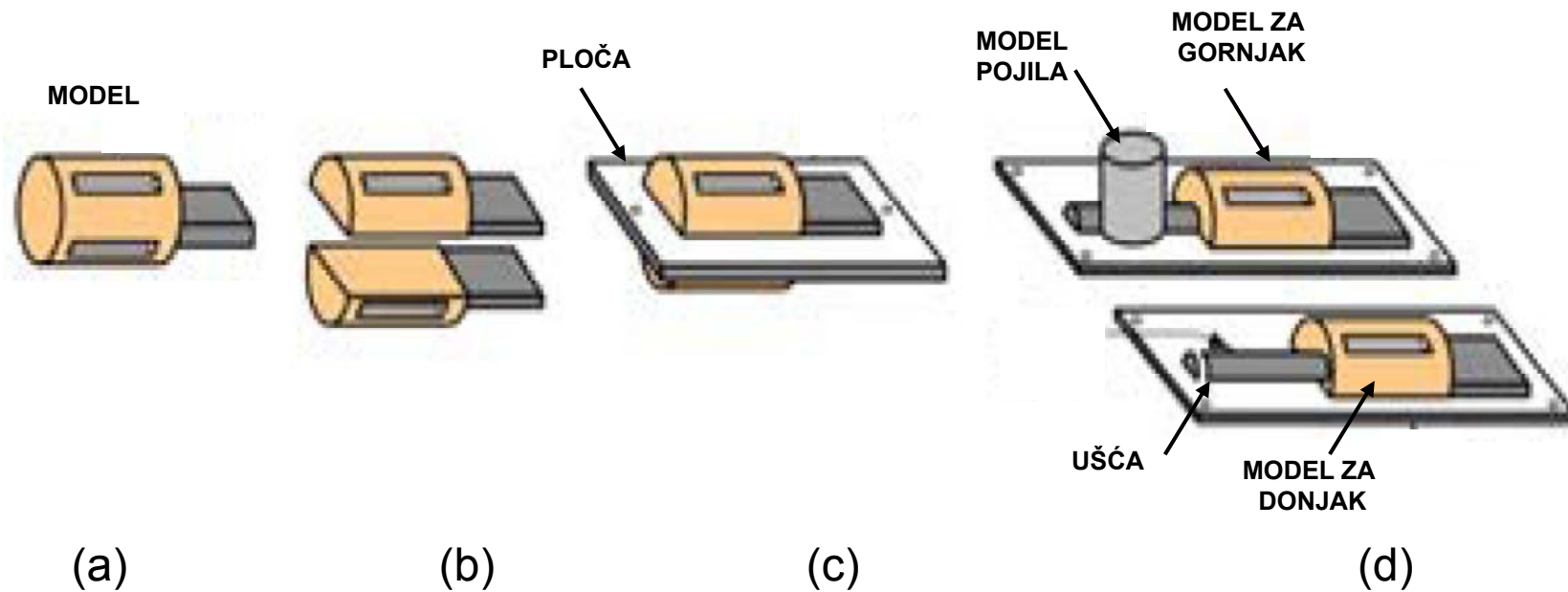
- Kalupna šupljina oblikuje se nabijanjem pijeska oko modela
- Kalup se najčešće sastoji od dva dijela
- Kalup treba sadržavati ušća i pojila, odnosno uljevni sustav
- Ako se želi oblikovati šupljina unutar odljevka koriste se jezgre
- Za svaki odljevak potrebno je napraviti novi kalup
- može se dogoditi da u jednom kalupu istovremeno lijevamo više komada

PROIZVODNI PROCES U LJEVAONICI

1. Rastaljeni metal ulijeva se u pješčani kalup
2. Metal skrućuje
3. Kalup se istresa kako bi se izvio odljevak
4. Odljevak se čisti i pregledava
5. (Po potrebi) primjenjuje se naknadna toplinska obrada kako bi se poboljšala svojstva odljevka



VRSTE MODELA ZA PJEŠĆANE KALUPE



- (a) jednodijelni model
- (b) Višedijelni model
- (c) Višedijelni model na istoj modelnoj ploči za gornjak i donjak
- (d) Model za gornjak na modelnoj ploči za gornjak,
model za donjak na ploči za donjak



Model i uljevni sustav za gornjak



Model za donjak

Modeli i jezgre (MIV Varaždin)



Automatska kalupna linija



dozator
pijeska

model

kalupnik



Stavljanje
utega prije
ulijevanja

Ručna kalupna linija



Sabijanje kalupne mješavine



Umetanje jezgri
Slike (MIV Varaždin)

Automatska kalupna linija - MIV



Donjaci s jezgrama



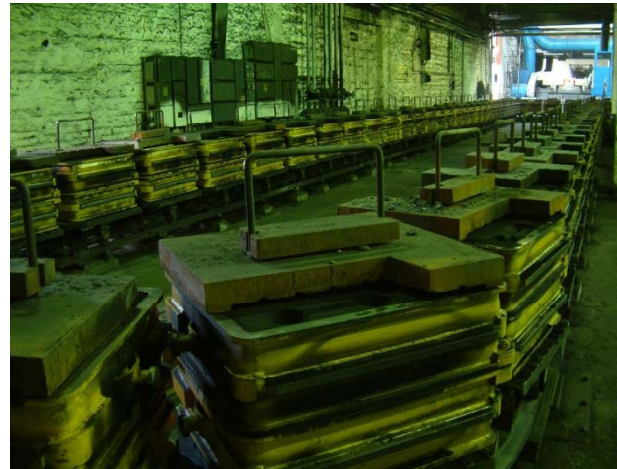
Stavljanje gornjaka



Stavljanje utega



Uljevanje



Hlađenje



Fazonski komad

Ručno kalupljenje velikih odljevaka (MIV)

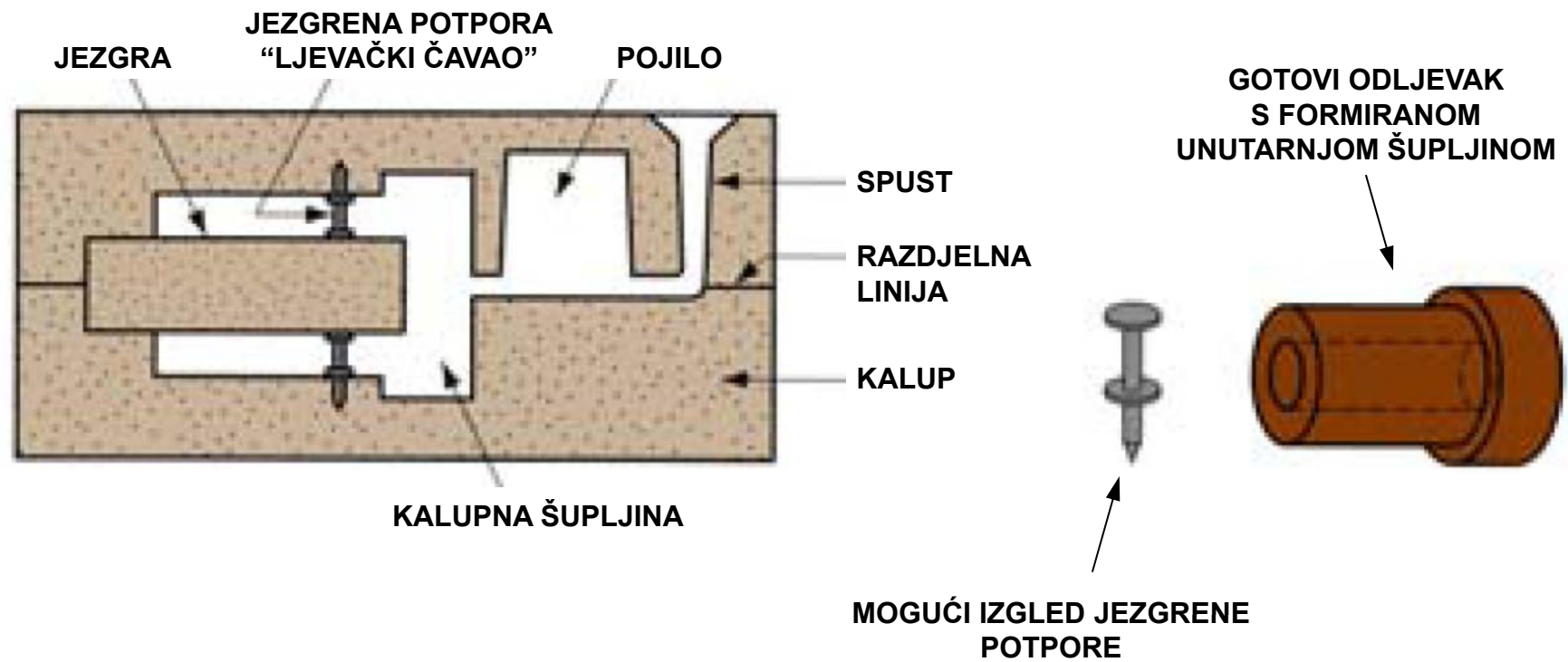
Dobava kalupne
mješavine

Model

Nanošenje
premaza

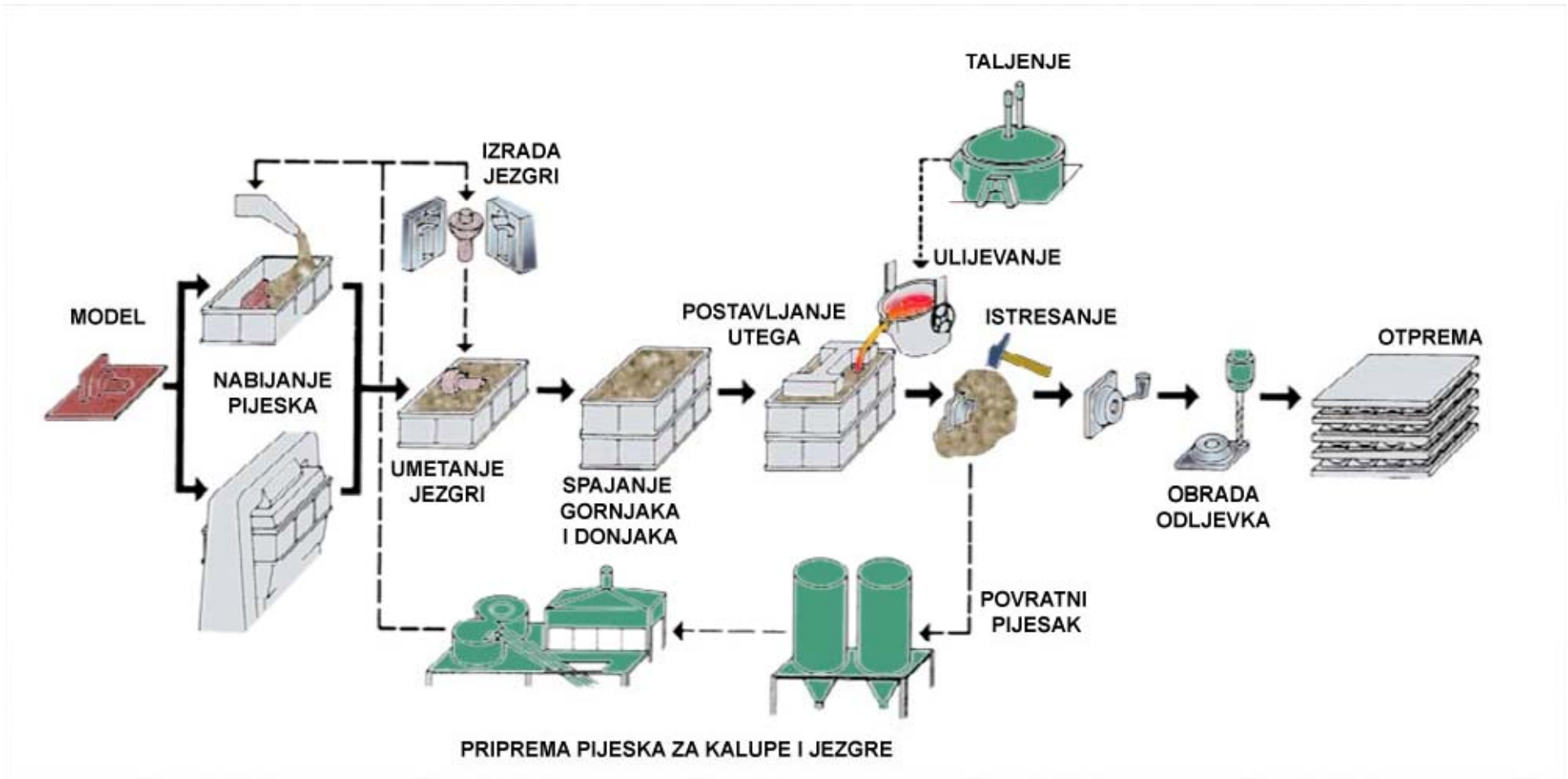


KALUPNA ŠUPLJINA SA JEZGROM



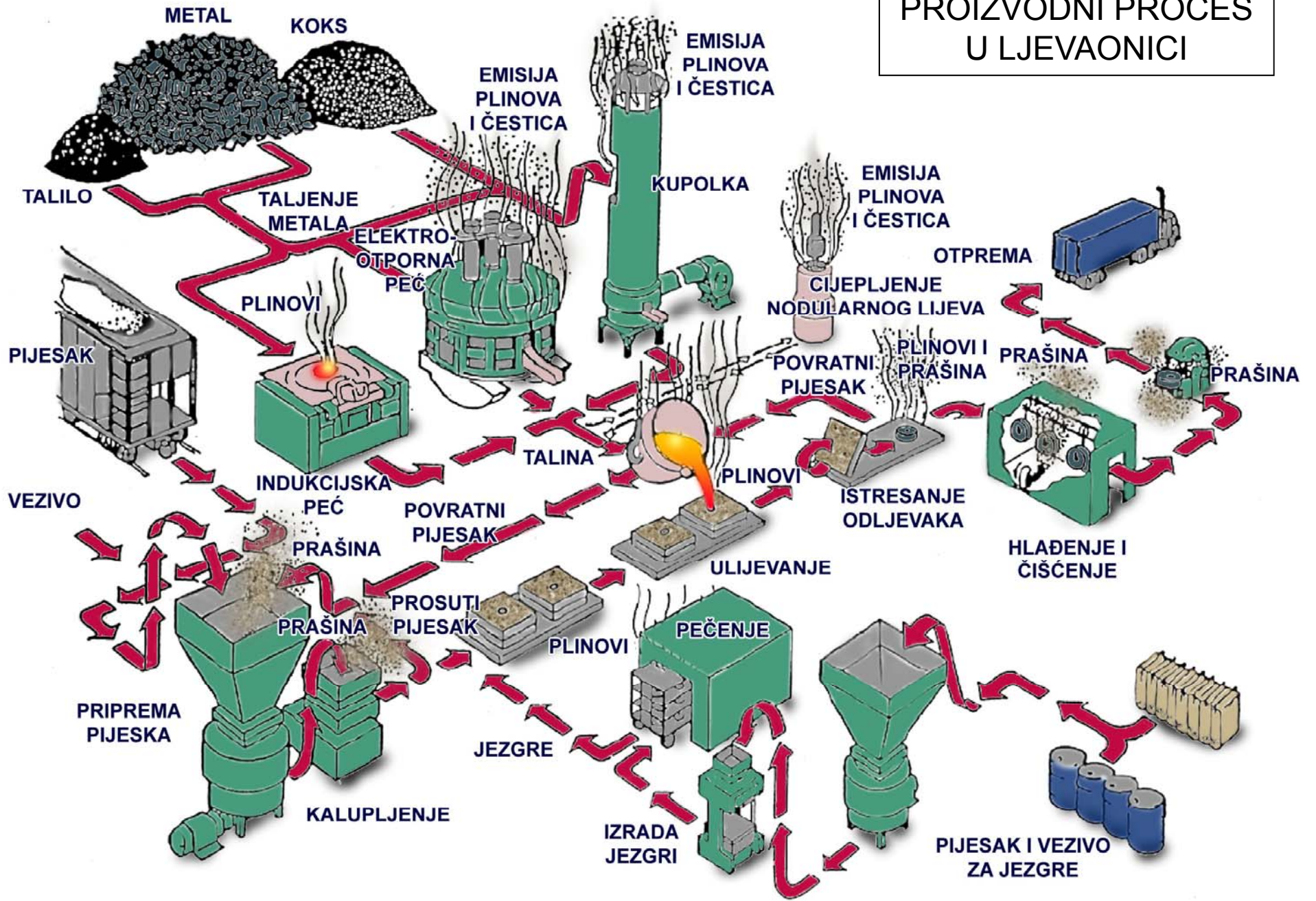
POŽELJNA SVOJSTVA PJEŠĆANIH KALUPA

- **ČVRSTOĆA** – za osiguranje postojanosti oblika i otpornost eroziji
- **PROPUSNOST** – za omogućavanje prolaza vrućih plinova i zraka kroz šupljine u pijesku
- **TOPLINSKA STABILNOST** – kako ne bi došlo do pucanja kalupa prilikom dodira s talinom
- **SPOSOBNOST URUŠAVANJA** – sposobnost da se napravi prostor kako bi se odljevak mogao stezati bez pojave pukotina
- **MOGUĆNOST PONOVRNOG KORIŠTENJA** – može li se pijesak istresen iz kalupa koristiti za izradu novog kalupa? DA. Povremeno je potrebna regeneracija pijeska.



PROIZVODNI PROCES U LJEVAONICI

PROIZVODNI PROCES U LJEVAONICI

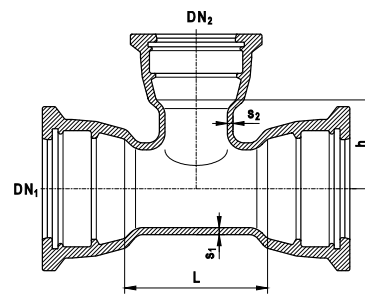
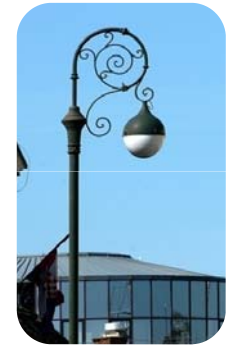


PRIMJERI ODLJEVAKA U PIJEŠĆANE KALUPE (MIV)

Armatura



Javne površine



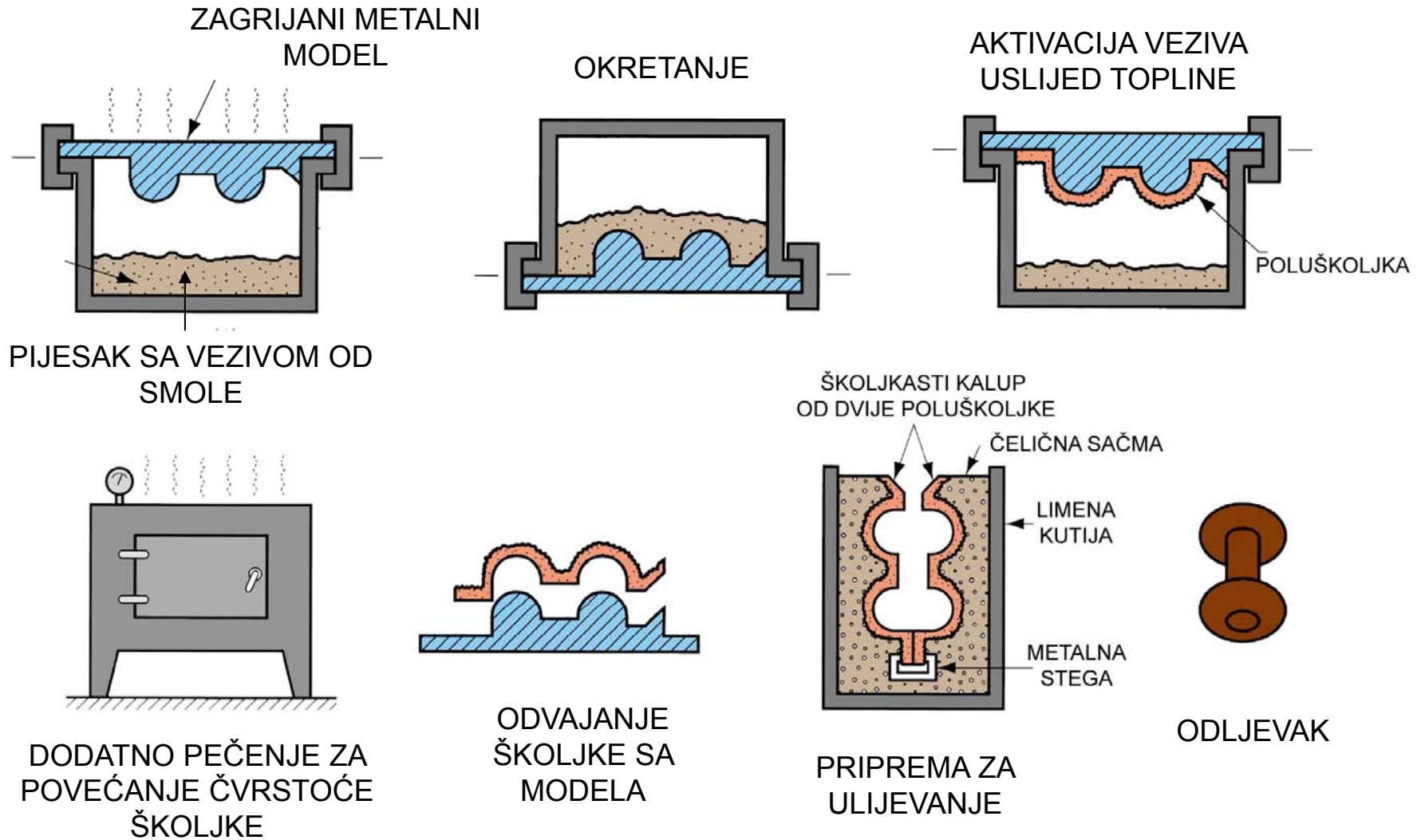
Fazonski komadi



2. OSTALI POSTUPCI LIJEVANJA U JEDNOKRATNE KALUPE

1. ŠKOLJKASTI LIJEV
2. VAKUUMSKO KALUPLJENJE
3. LIJEVANJE U PUNE KALUPE
4. PRECIZNI (TOČNI) LIJEV
5. LIJEVAJE U GIPSANE/KERAMIČKE KALUPE

1. POSTUPAK IZRADE KALUPA ZA ŠKOLJKASTI LIJEV eng. "Shell"



ŠKOLJKASTI LIJEV

PREDNOSTI

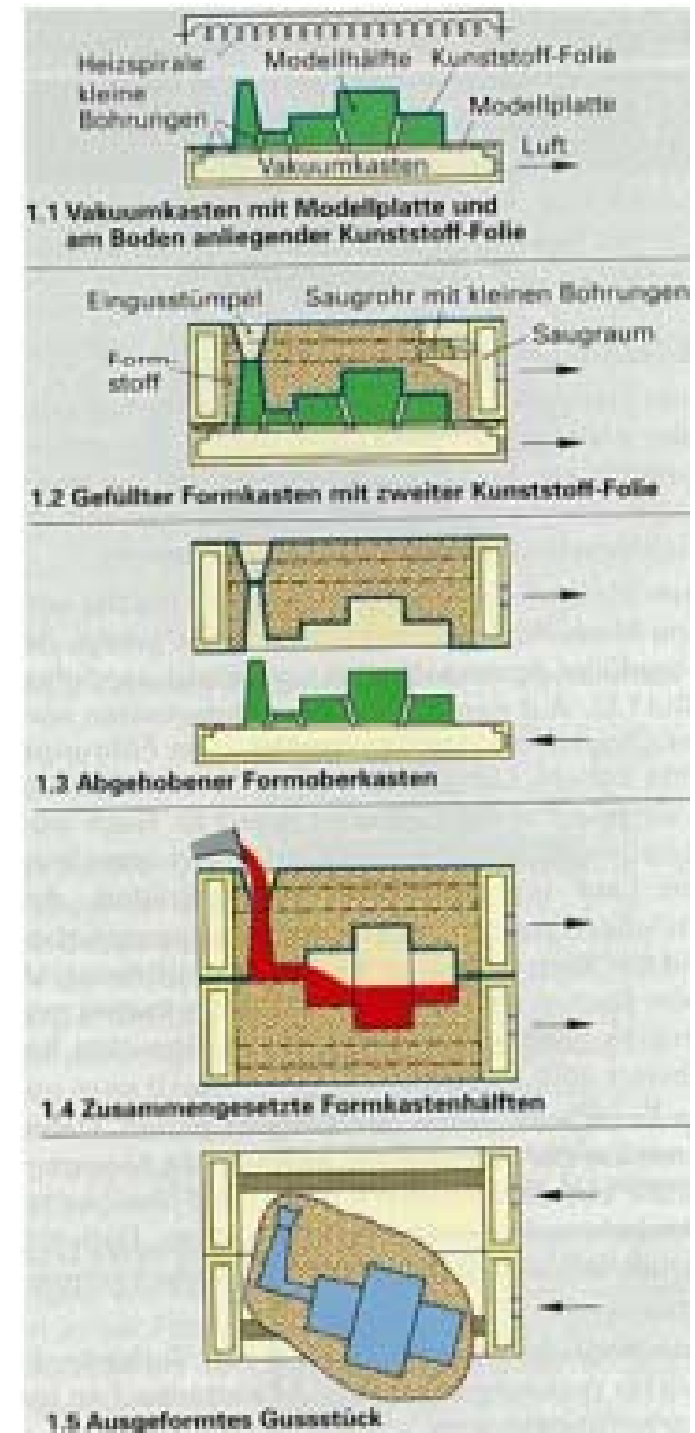
- Glatka površina kalupne šupljine omogućava lakše tečenje litine i bolju kvalitetu površine odljevka
- Visoka dimenzijska točnost
- Dorada često uopće nije potrebna
- Zbog urušljivosti kalupa ne dolazi do pojave pukotina na odljevku
- Može se mehanizirati za velikoserijsku proizvodnju

NEDOSTACI

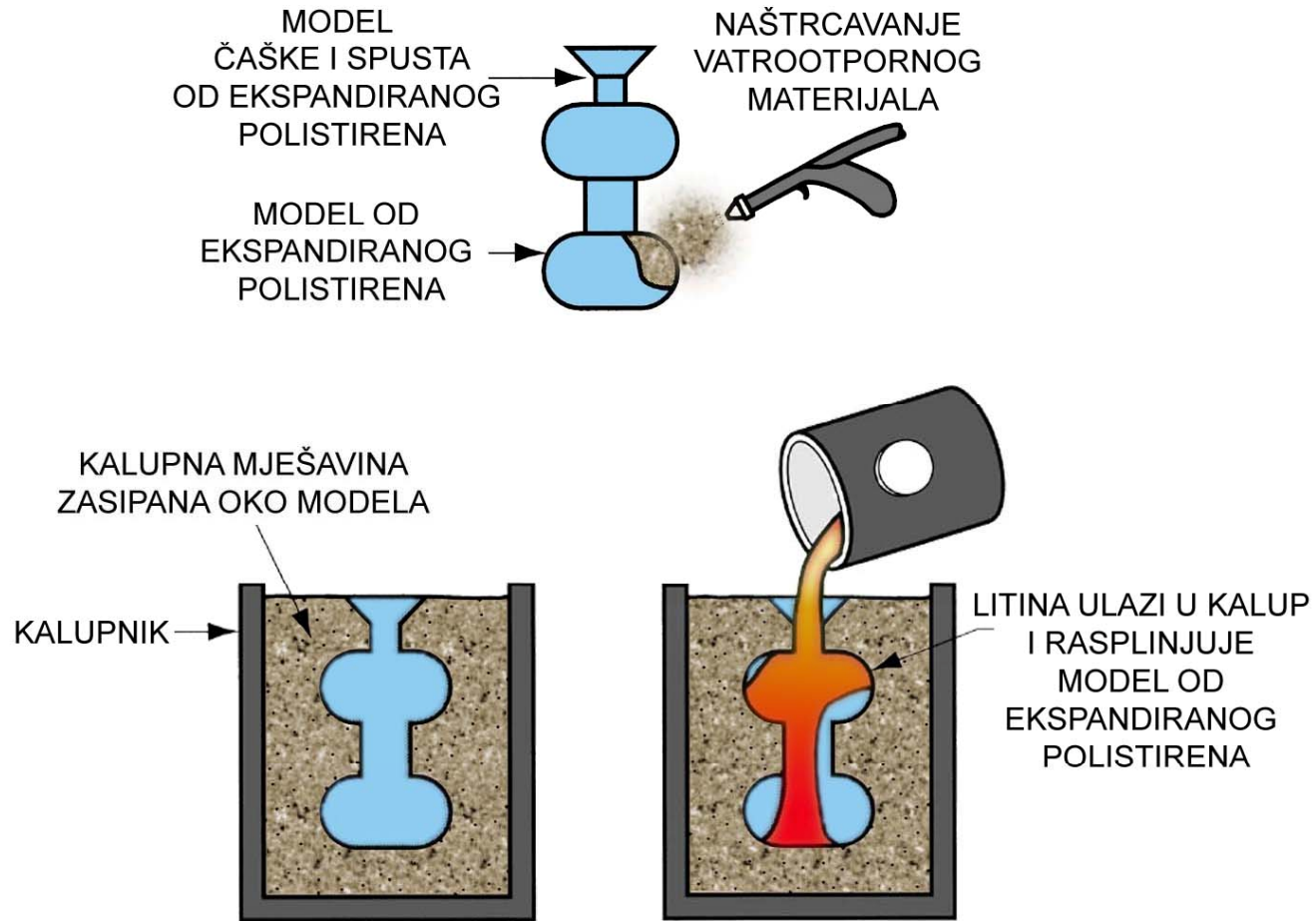
- Skuplji metalni modeli
- Nije primjenjivo za manje serije ili pojedinačnu proizvodnju

2. VAKUUMSKO KALUPLJENJE

Koristi se zagrijana folija koja se stavi preko modela donjaka. Kad se folija ohladi napuni se kalupnik pijeskom. Gornja strana pijeska također se prekrije folijom. Sada se vakuumira pijesak, tako da folije i dalje prijanjaju na pijesak i tako definiraju oblik kalupne šupljine. Isto se napravi i sa gornjakom. Za vrijeme uljevanja i gornjak i donjak su vakuumirani. Nakon skrućivanja vakuum se isključi i odljevak s priljevcima ispadne van.



3. POSTUPAK LIJEVANJA U PUNI KALUP



LIJEVANJE U PUNE KALUPE

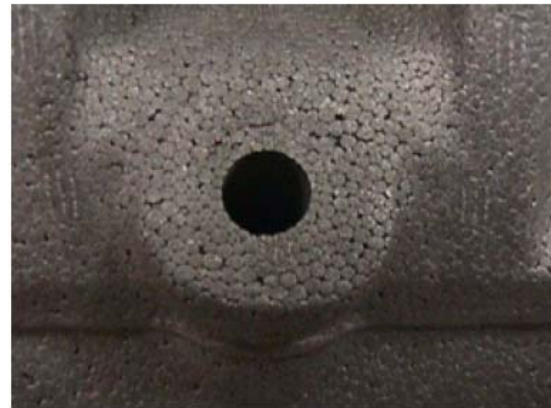
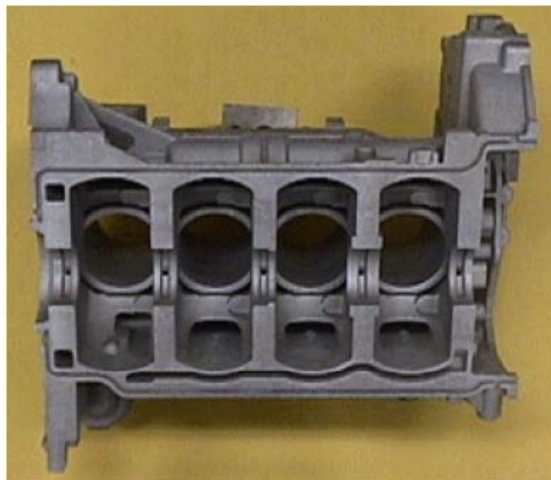
PREDNOSTI

- Model nije potrebno uklanjati iz kalupa
- Izrada kalupa je jednostavnija i brža od izrade pješčanog kalupa jer nisu potrebna dva dijela kalupa
- Automatizacija za masovnu proizvodnju automobilskih motora (blok, glava)

NEDOSTACI

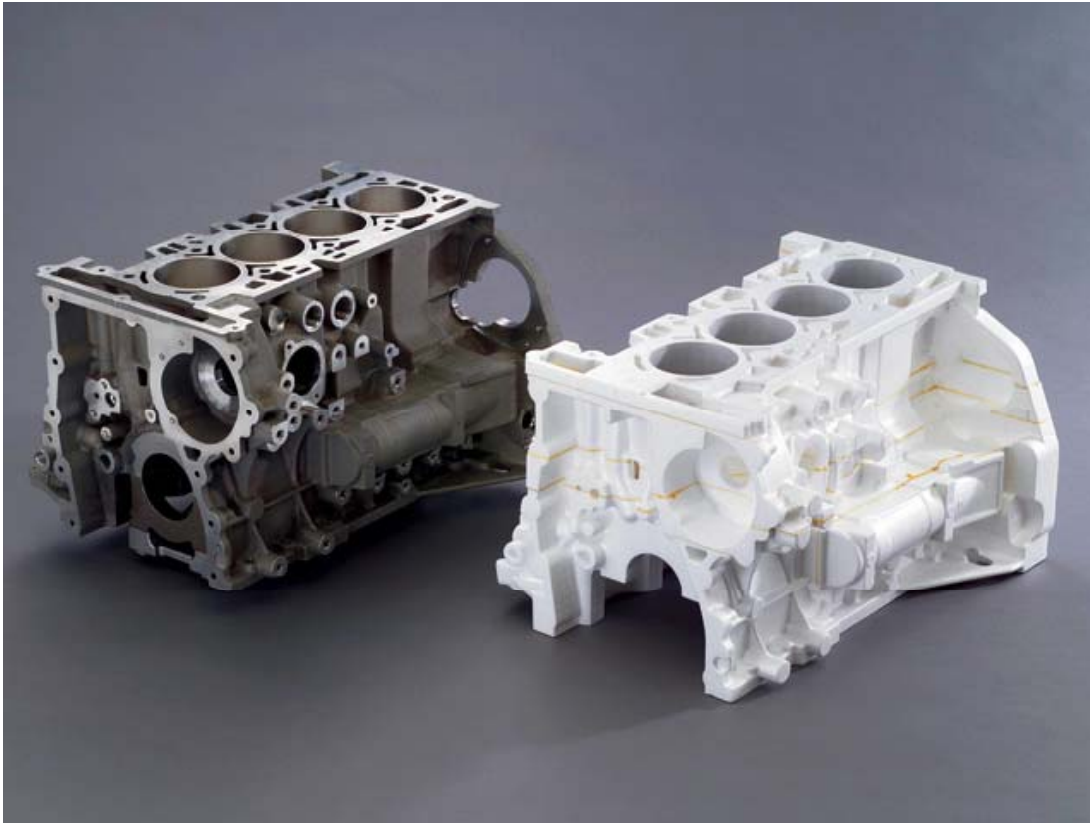
- Za svaki odljevak potreban je novi model
- Ekonomska opravdanost postupka znatno ovisi o proizvodnoj cijeni modela

Blok
motora



Detalj
modela od
polistirena

LIJEVANJE U PUNE KALUPE



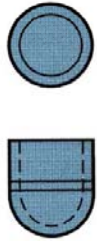
BLOK MOTORA – ODLJEVAK - MODEL



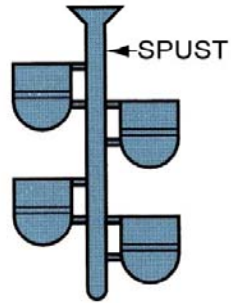
MODEL

4. POSTUPAK IZRADE KALUPA ZA PRECIZNI (TOČNI) LIJEV

VOŠTANI
MODEL



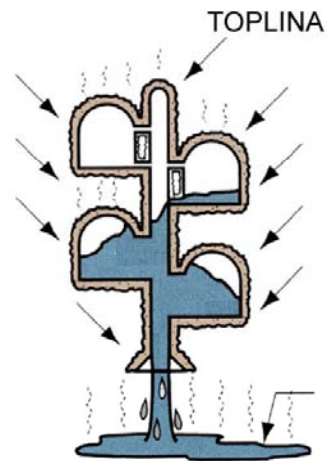
MODELNI
SKLOP



URANJANJE
U KERAMIČKU
SUSPENZIJU



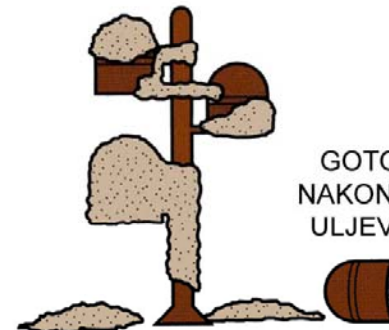
VOŠTANI MODEL
OBLOŽEN VEĆIM
BROJEM SLOJEVA
KERAMIKE I PIJESKA



ZAGRIJAVANJE KALUPA
RADI ODSTRANJIVANJA
VOSKA I OTVRDNJAVANJA
ŠKOLJKE



ULIJEVANJE
METALA



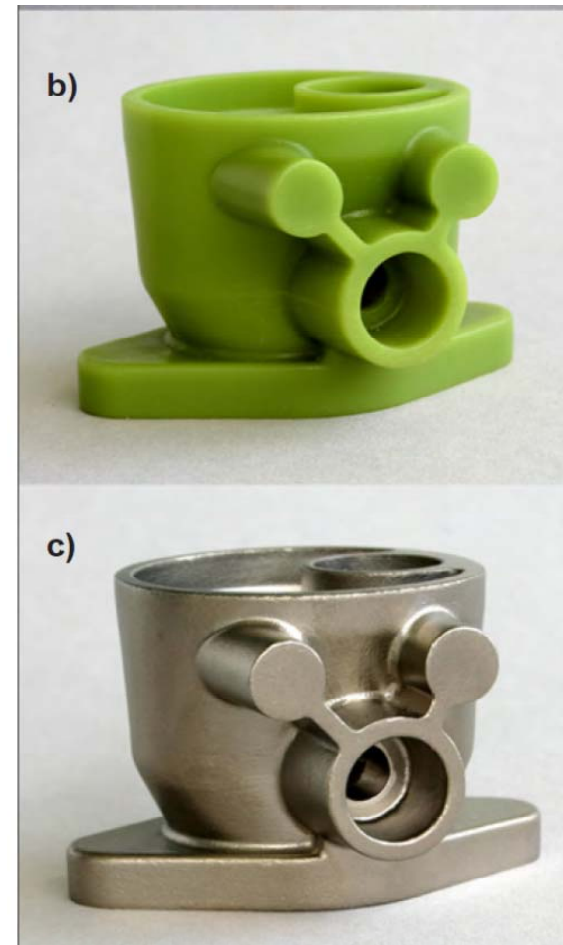
GOTOVI ODLJEVAK
NAKON ODREZIVANJA
ULJEVNOG SUSTAVA

ISTRESANJE
ŠKOLJKE

PRECIZNI (TOČNI) LIJEV



Model od voska



odljevnik

PRECIZNI LIJEV

PREDNOSTI

- Moguće odliti dijelove velike složenosti
- Dobra dimenzijska točnost i kvaliteta površine
- Vosak se najčešće može sakupiti za ponovno korištenje
- Ovo je postupak kojim se dobiva gotov dio i dodatna obrada najčešće nije potrebna (“net shaped” postupak)

NEDOSTACI

- Velik broj koraka prilikom proizvodnje
- Relativno skup postupak

Odljevci s
uljevnim
sustavom
(grozd)



Precizni lijev - razni odljevci

5. LIJEVANJE U GIPSANI KALUP

- Postupak jednak lijevanju u pijesak jedino što se umjesto pijeska koristi gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Smjesa gipsa i vode prelijeva se preko plastičnog ili metalnog modela kako bi se dobio kalup

PREDNOSTI

- Dobra dimenzijska točnost i kvaliteta površine
- Mogućnost dobivanja tankih poprečnih presjeka na odljevku

NEDOSTACI

- Vlaga iz gipsa uzrokuje sljedeće probleme:
 - Kalup je potrebno peći kako bi se uklonila vlaga jer može prouzročiti greške na odljencima
 - Kod prevelikog pečenja kalup gubi čvrstoću, a vlaga uzrokuje greške
- Gipsani modeli ne podnose previsoke temperature

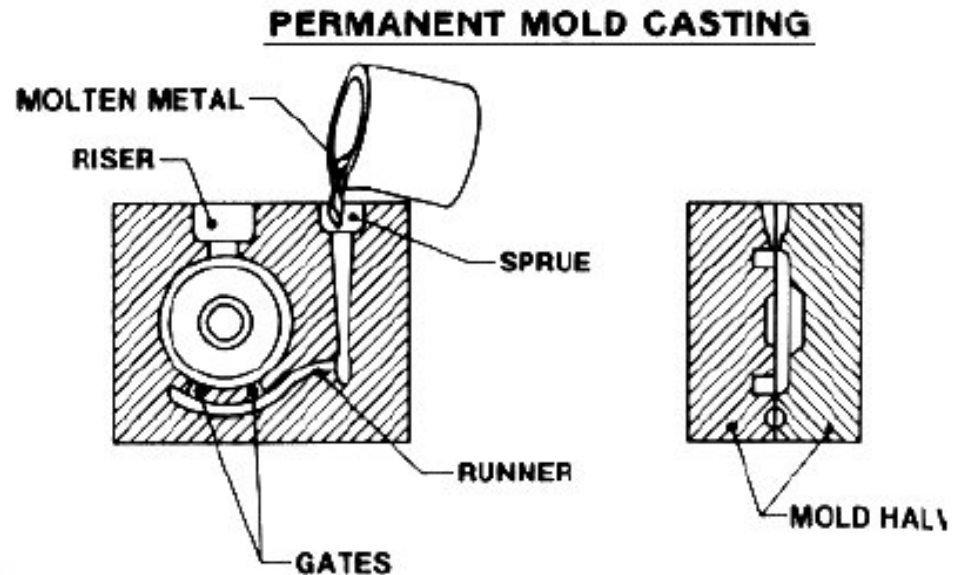
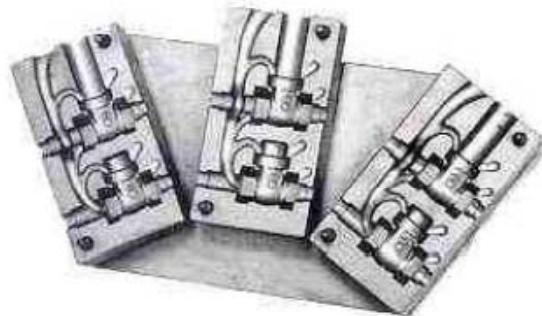
LIJEVANJE U STALNE KALUPE

OSNOVNE POSTUPKA LIJEVANJA U STALNE KALUPE - KOKILE

- Koristi se dvodijelni metalni kalup – kokila, oblikovan za lako i precizno otvaranje i zatvaranje
- Materijal kokile:
 - Čelik ili sivi lijev - za lijevanje legura nižeg tališta (aluminij, bronca, mjed, magnezij)
 - Vatrootporni materijali - za lijevanje čelika(rijetko)

POSTUPCI LIJEVANJA U KOKILE

- Lijevanje u polukrutom stanju
- Niskotlačno lijevanje
- Vakuumski lijev
- Tlačni lijev
- Centrifugalni lijev



Gravitacijsko lijevanje u kokile

POSTUPAK LIJEVANJA U KOKILE

Metali koji se lijevaju:

Al, Mg, legure bakra, sivi lijev

Osnovni koraci postupka:

- Zagrijavanje kokile
- Prskanje ili premazivanje kalupa
- Ulijevanje i skrućivanje
- Otvaranje kokile i vađenje odljevka

PREDNOSTI

- Dobra dimenzijska točnost i kvaliteta površine
- sitnozrnata struktura uslijed brzog skrućivanja

NEDOSTACI

- Nije moguće izraditi odljevke velike složenosti oblika
- Skup kalup

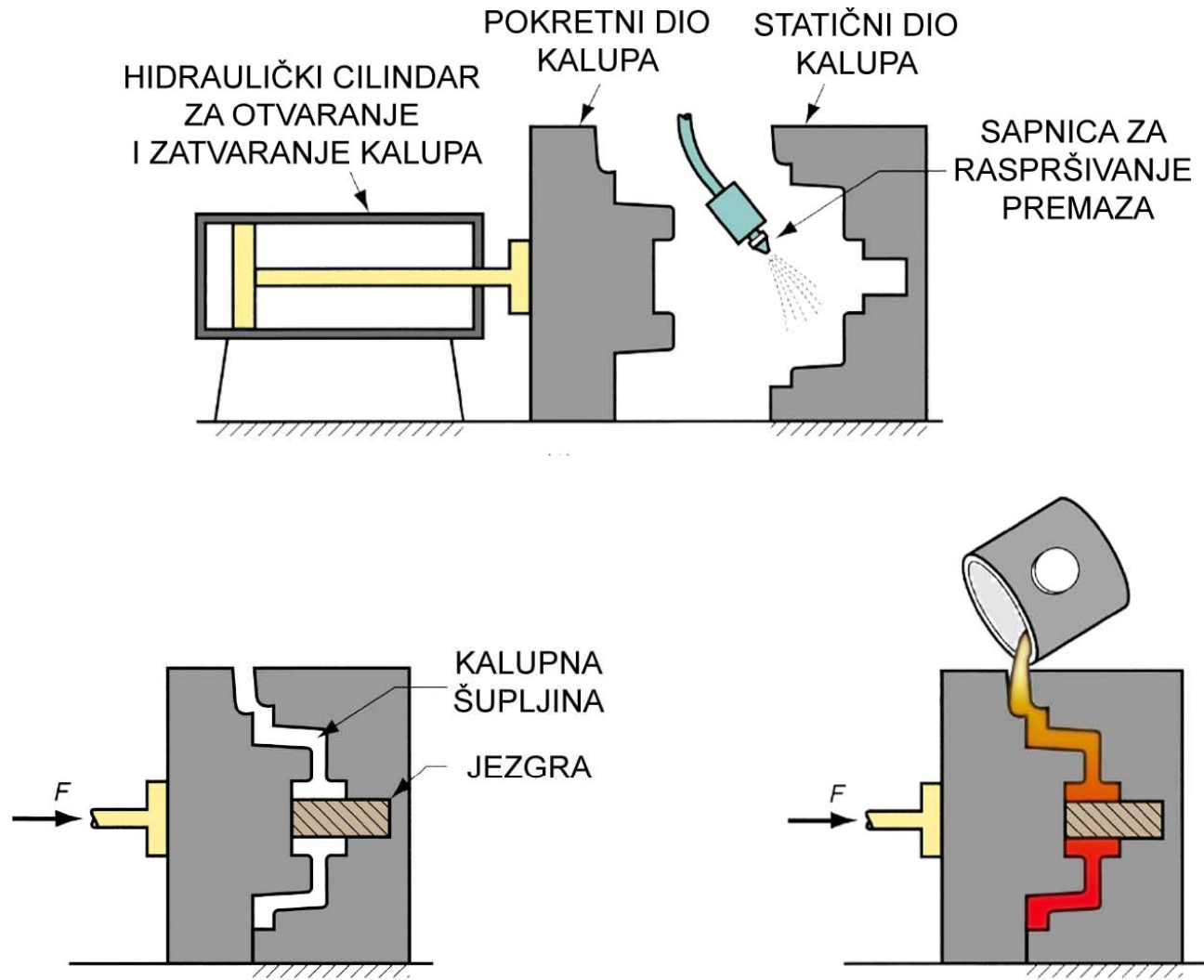
Primjeri primjene:

Kućišta pumpi, odljevci za zrakoplovnu industriju, klipovi motora, kućišta projektila...

Klip motora



GRAVITACIJSKO LIJEVANJE U STALNE KALUPE (KOKILE)



KOKILNI LIJEV

PREDNOSTI

- Dobra dimenzijska točnost i kvaliteta površine
- Brzo skrućivanje zbog ulijevanja u hladni metalni kalup rezultira finijom strukturom, tj. proizvode se čvršći odljevci

OGRANIČENJA

- uglavnom ograničeno na legure nižeg tališta
- Jednostavnija geometrija odljevka u odnosu na odljevke u jednokratnim kalupima zbog potrebe da se kokila otvara
- Skupe kokile

Zbog visokog troška kalupa, proces je namijenjen za automatiziranu velikoserijsku proizvodnju

TLAČNI LIJEV

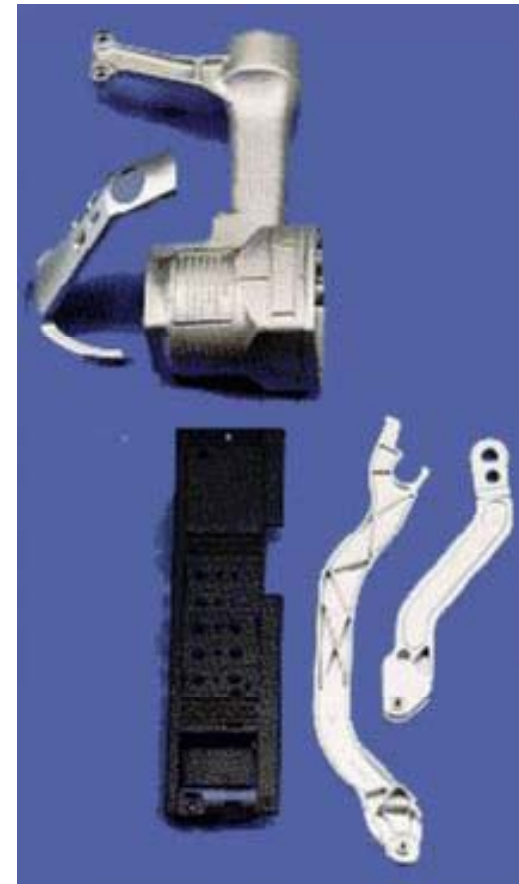
Talina se pod visokim pritiskom (7-350 MPa) utiskuje u kalupnu šupljinu eng. "die". Pritisak se zadržava za vrijeme skrućivanja.

POSTUPAK U "VRUĆOJ KOMORI"

- (pritisak 7-35 MPa)
- Pogon za utiskivanje je uronjen u talinu
- Metali niskog tališta: olovo, cink, kositar i magnezij

POSTUPAK U "HLADNOJ KOMORI"

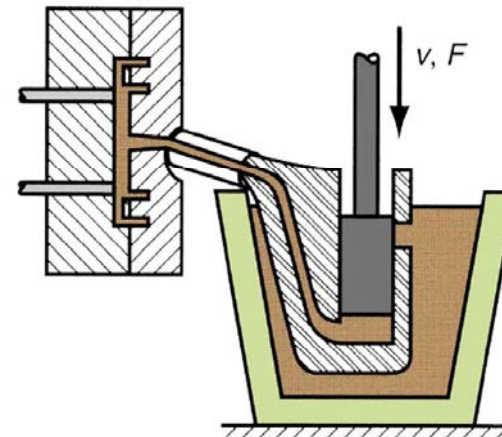
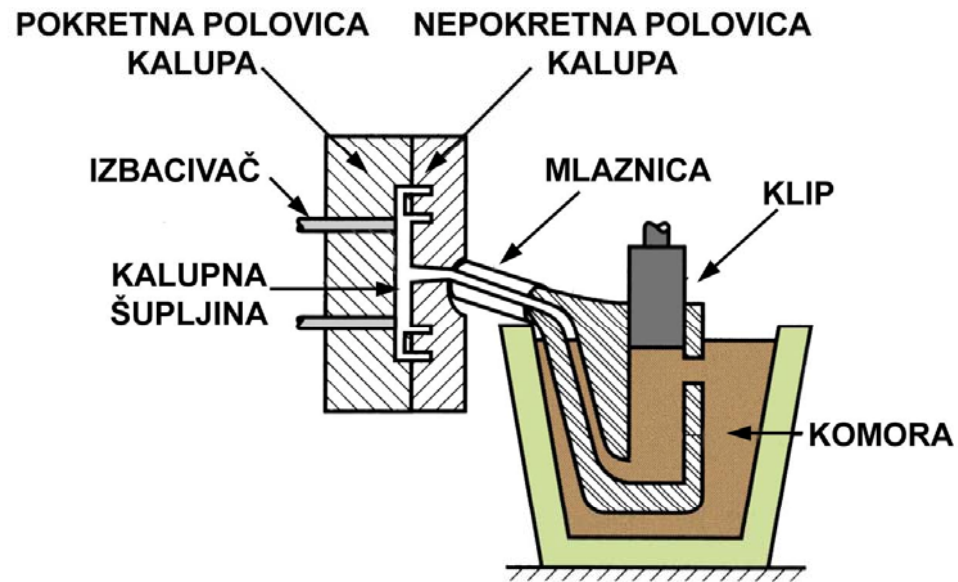
- (pritisak 14 – 140 MPa)
- Vanjska posuda za talinu
- Metali: aluminij, mjed, magnezij



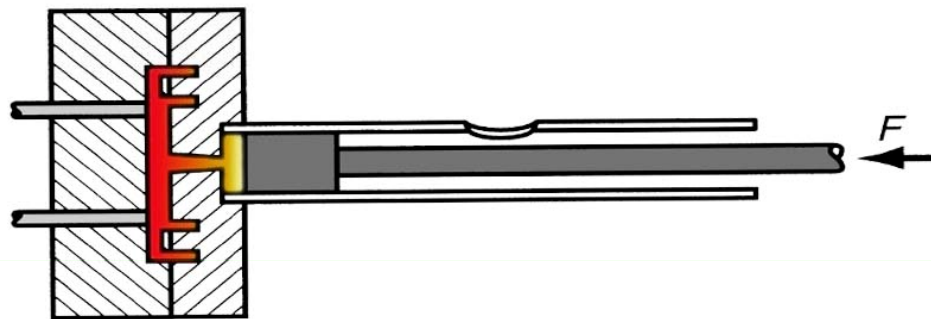
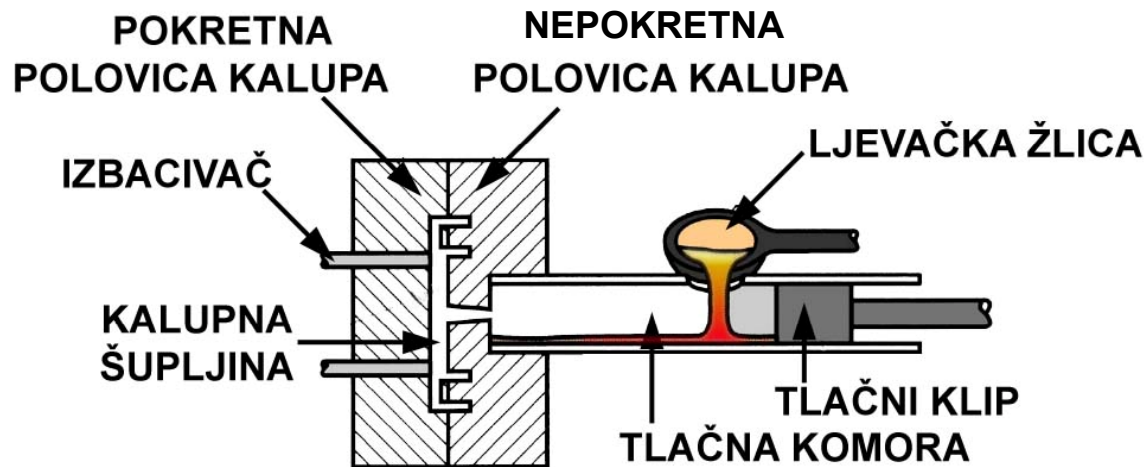
TLAČNI LIJEV

- Kokile se izrađuju od alatnog čelika, čelika za kalupe, maraging čelika, volframa ili molibdena.
- S jednim ili više *gnijezda*
- Kokila se podmazuje te ima ugrađene izbacivače za izbacivanje odljevka iz kalupa
- Kalup ima izrađene oduške za izlaz zraka
- Stvara se srh koji je potrebno odstraniti

TLAČNI LIJEV U TOPLOJ KOMORI



TLAČNI LIJEV U HLADNOJ KOMORI

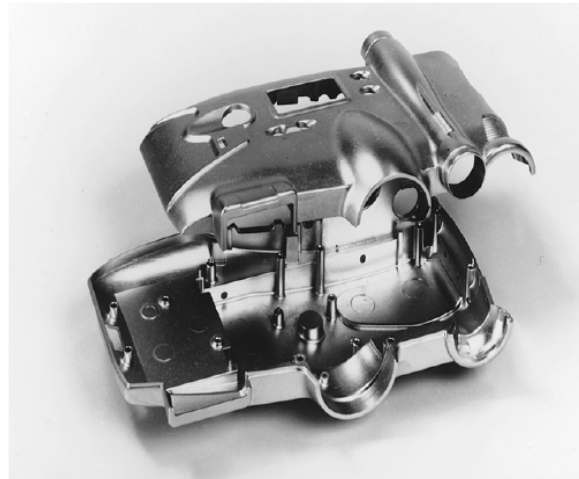


PREDNOSTI

- Visoka produktivnost
- Ekonomičan kod velikoserijske proizvodnje
- Uske tolerancije
- Visoka kvaliteta površine
- Mogući tanki presjeci
- Zbog brzog hlađenja formira se struktura sa sitnim zrnom te visoke čvrstoće

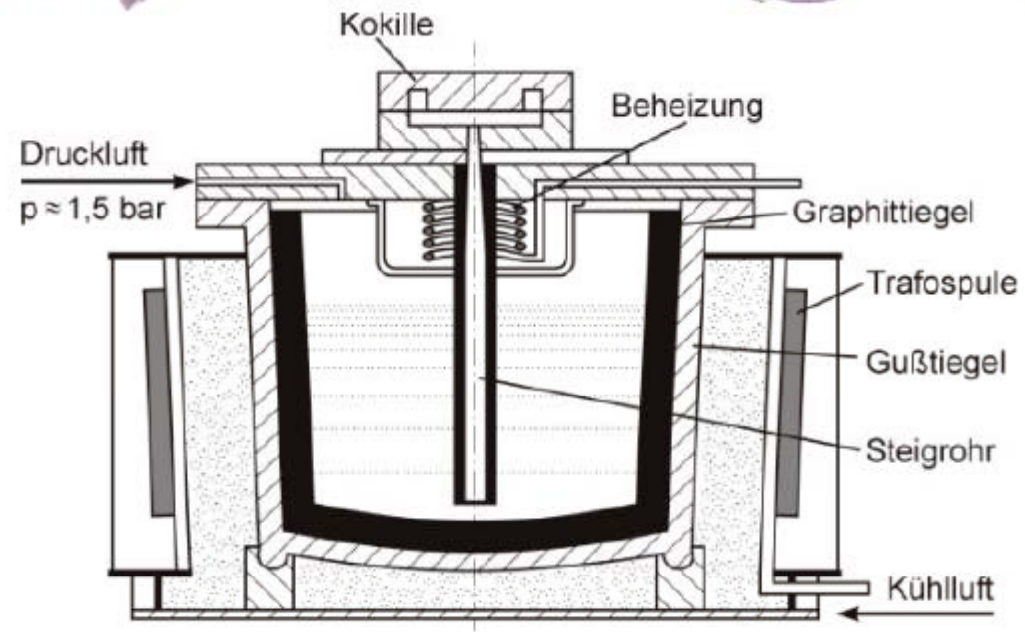
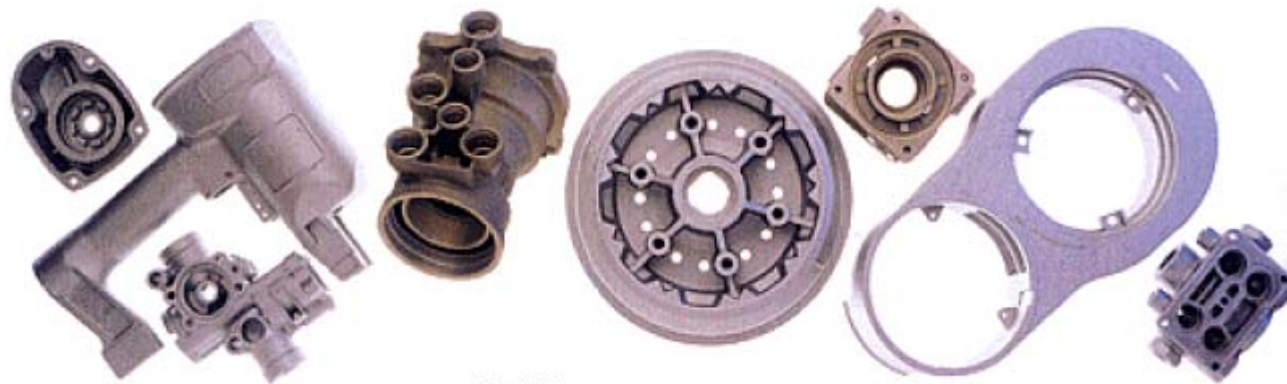
NEDOSTACI

- Općenito ograničeno na metale nižeg tališta
- Geometrija (oblik) odljevka mora omogućiti izbacivanje iz kalupne šupljine

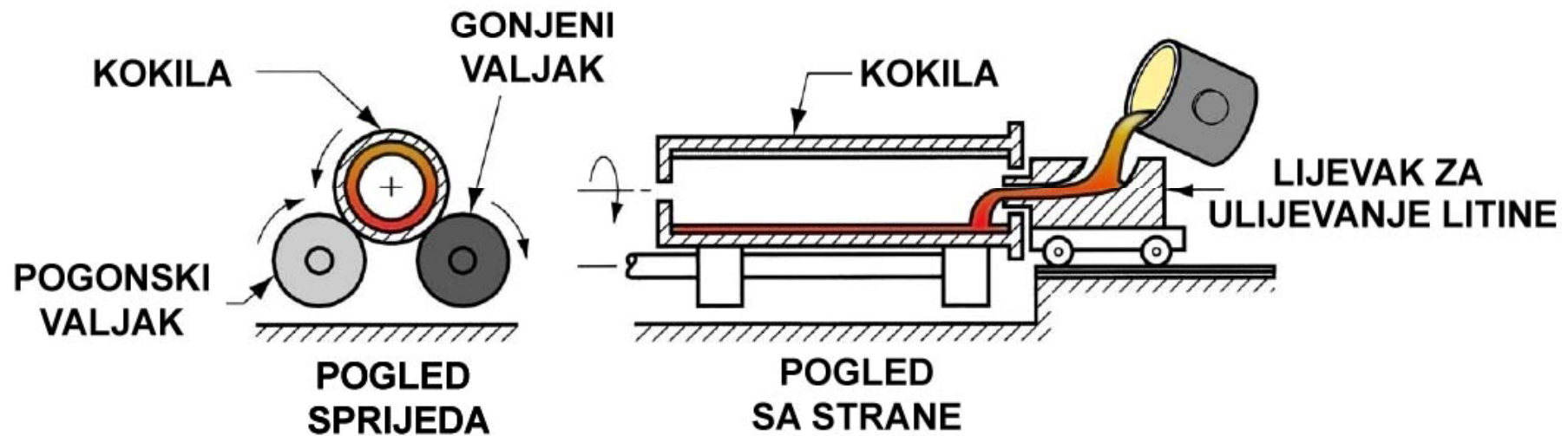


Odljevak dobiven tlačnim ljevom

NISKOTLAČNI KOKILNI LIJEV

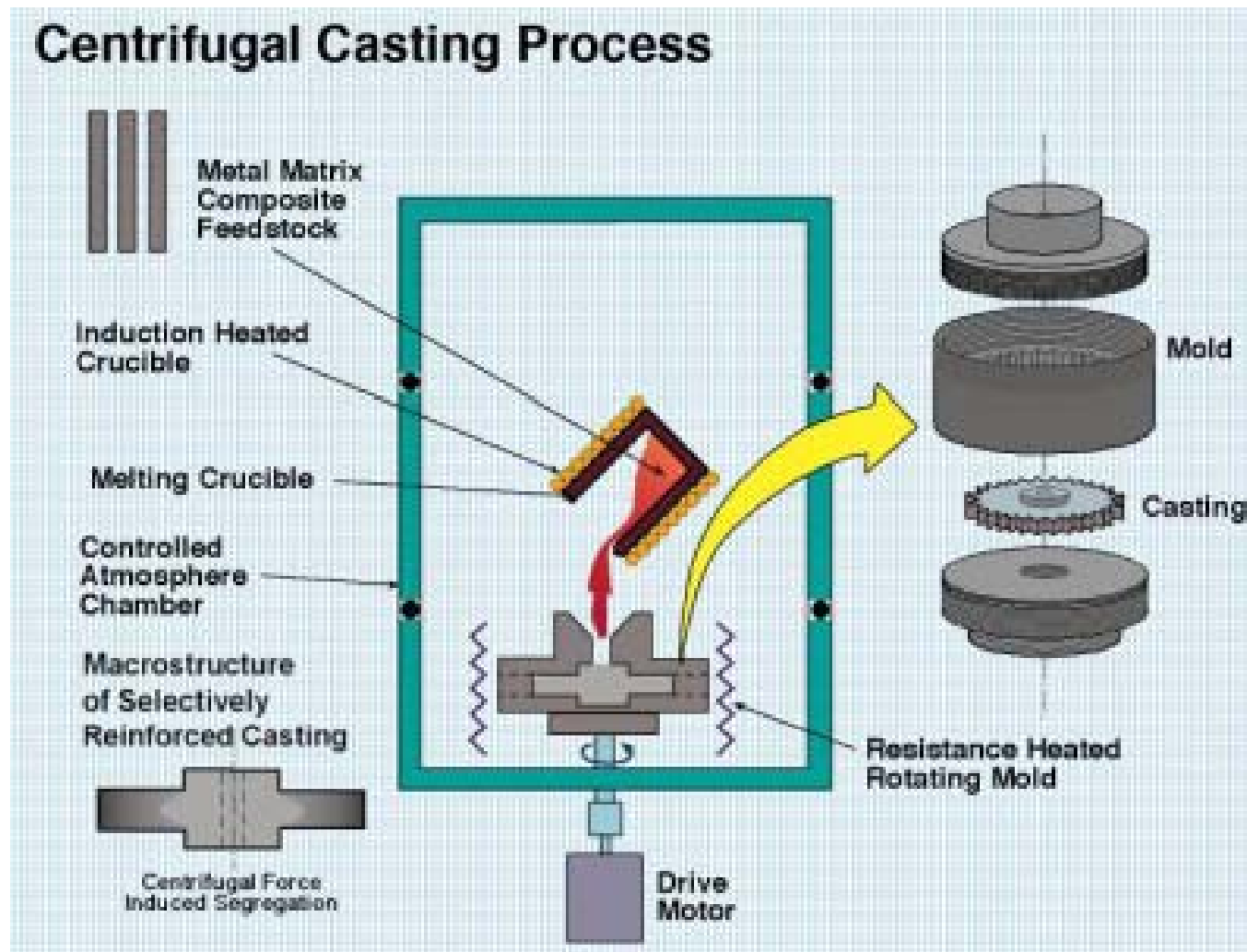


3.3.CENTRIFUGALNI LIJEV



-Vodoravna os rotacije kalupa, proizvodnja [cilindričnih dijelova](#), unutarnja površina uvijek cilindrična, a vanjska može biti šesterokut, osmerokut itd.

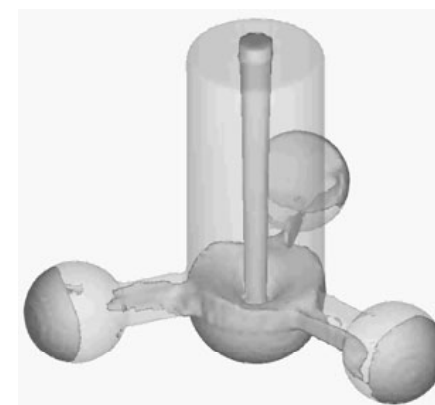
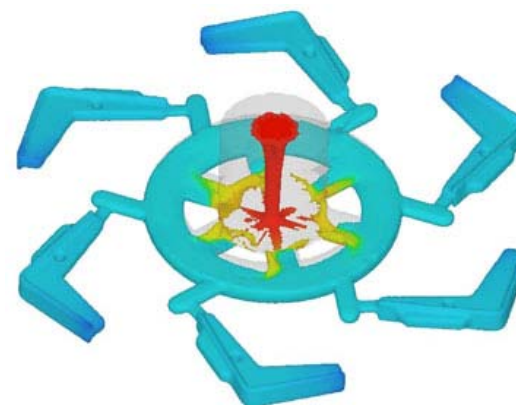
CENTRIFUGALNI LIJEV S OKOMITOM OSI ROTACIJE KALUPA



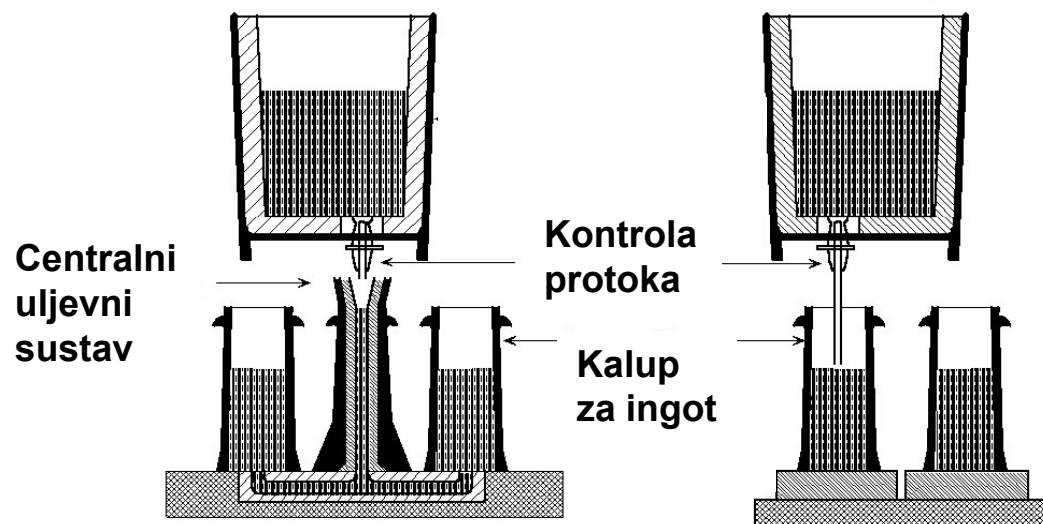
CENTRIFUGALNI LIJEV ZA CILINDRIČNE ODLJEVKE



CENTRIFUGALNI LIJEV S ULJEVNIM SUSTAVOM ZA OSTALE ODLJEVKE



Lijevanje ingota, metalnih odljevaka za naknadno valjanje ili kovanje

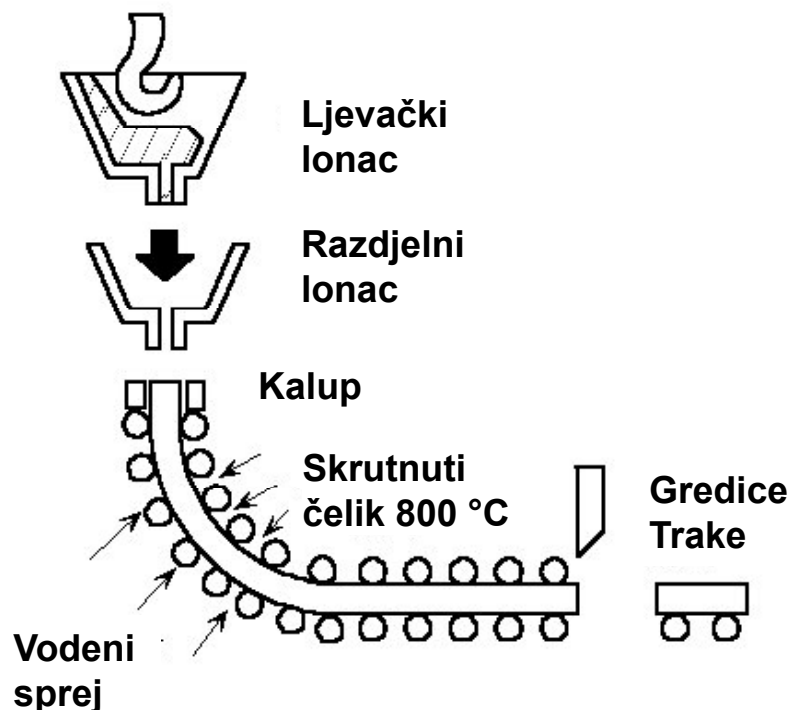


Lijevanje ingota je diskontinuirani proces. Trajni kalupi za ingote popunjavaju se individualno i to uljevanjem s gornje strane ili kroz uljevni sustav.

Veličina ingota ovisi o kapacitetu primarnih valjaka za naknadno valjanje. Veličina ingota može iznositi 4 do 30 t i više ako su predviđeni za kovanje. Ingot ostaje u kalupu dok ne završi skrućivanje.

Neprekinuto lijevanje metala, lijevanje u neograničenoj duljini

Kontinuirani lijev



Razvijen zbog složene pripreme kokila za ingote, njihovih ograničenja u dimenzijama i visokog udjela materijala za kompenzaciju usahlina u pojilima.

Rastaljeni metal uljeva se u otvorenu bakrenu kokilu hlađenu vodom. Odvođenjem topline talina skrućuje od rubova prema sredini i pomicanjem prema dolje nastaje beskonačna metalna gredica ili traka. Za ubrzanje hlađenja koristi se sekundarno hlađenje vodenim sprejom.

Gredice se režu na određenu mjeru i nakon toga ako je površina dobre kvalitete prolaze kroz peć i odlaze na vruće valjanje i tako nastaje potpuno kontinuirani proces proizvodnje proizvoda od čelika. Mogu se ljevati i aluminijske i bakrene legure.

Na ovaj način proizvodi se 80-90% čelika u zapadnom svijetu.

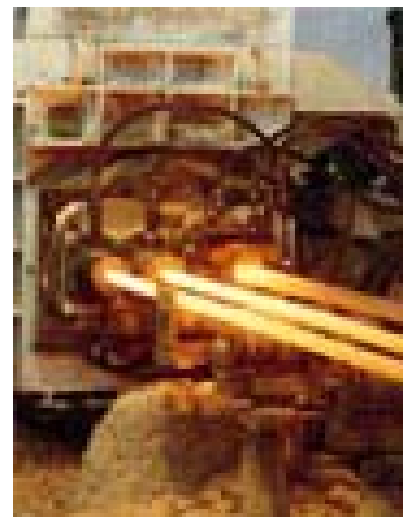
Prednosti u odnosu na ingote: smanjenje gubitaka metala na pojila, veća produktivnost, bolja prilagodba oblika za daljnje preoblikovanje (valjanje).

Kontinuirani lijev

trake



cijevi



TALIONIČKE PEĆI

Za taljenje metala i održavanje taline do ulijevanja koriste se:

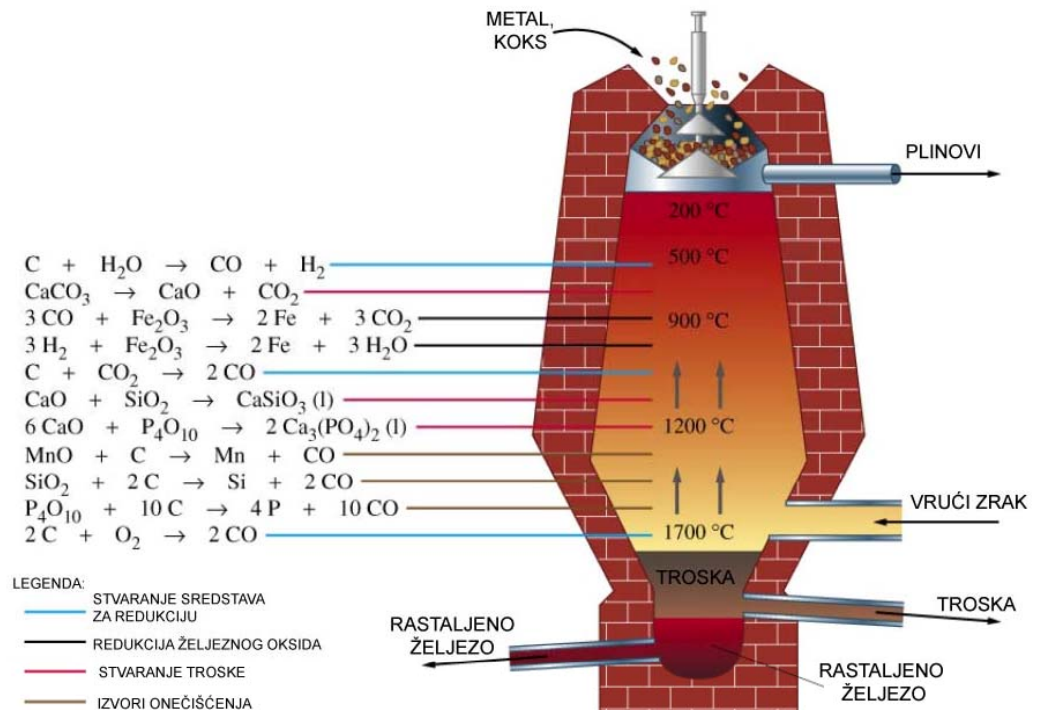
1. Kupolke
2. Plamene peći
3. Peći s loncem
4. Elektrootporne i elektrolučne peći
5. Indukcijske peći.



1. KUPOLKE

Vertikalne cilindrične peći opremljene žlijebom za izlivanje pri dnu.

- Visoka učinkovitost, ekonomična za serijsku proizvodnju
- Koriste se samo za **željezne lijevove**
- Zasip, koji se sastoji od željeza, koksa, talila i eventualnih legirnih elemenata, ubacuje se u peć kroz vratašca koja su smještena na manje od pola visine peći i s gornje strane.





kupolka

2. PLAMENE PEĆI

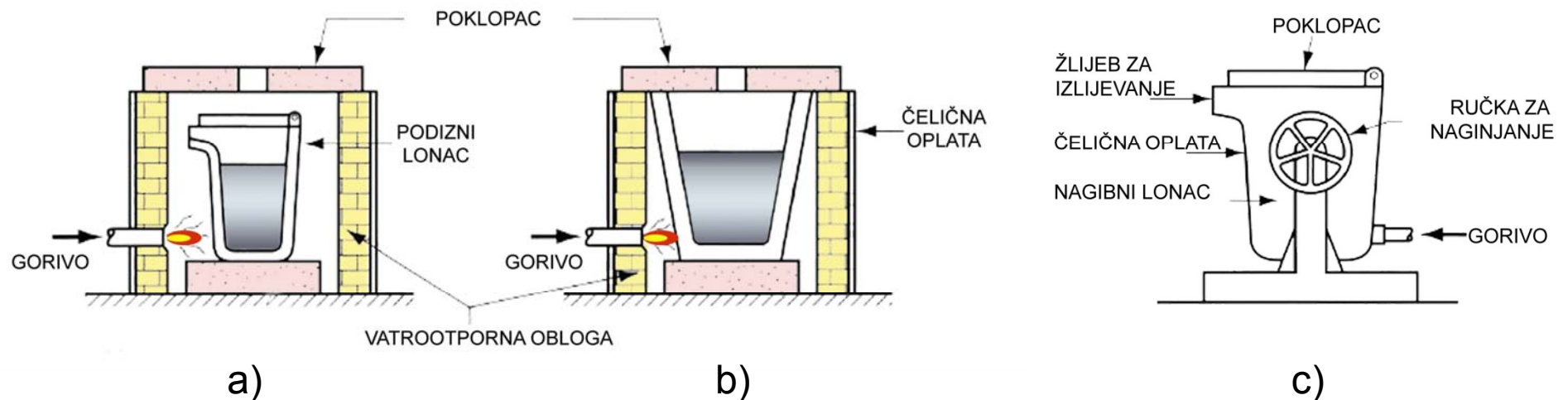
Manje peći jamskog tipa u kojima se zasip direktno ugrijava plamenicima na zemni plin, propan ili loživo ulje smještenim u stranici peći.

- Krov peći pomaže taljenje reflektirajući plamen prema zasipu
- Na dnu peći je otvor za ispuštanje rastaljenog metala
- Uglavnom se koriste za neželjezne metale kao što su legure bakra ili aluminija

3. PEĆI S LONCEM

U peći s loncem metal nije u neposrednom dodiru s gorivom.

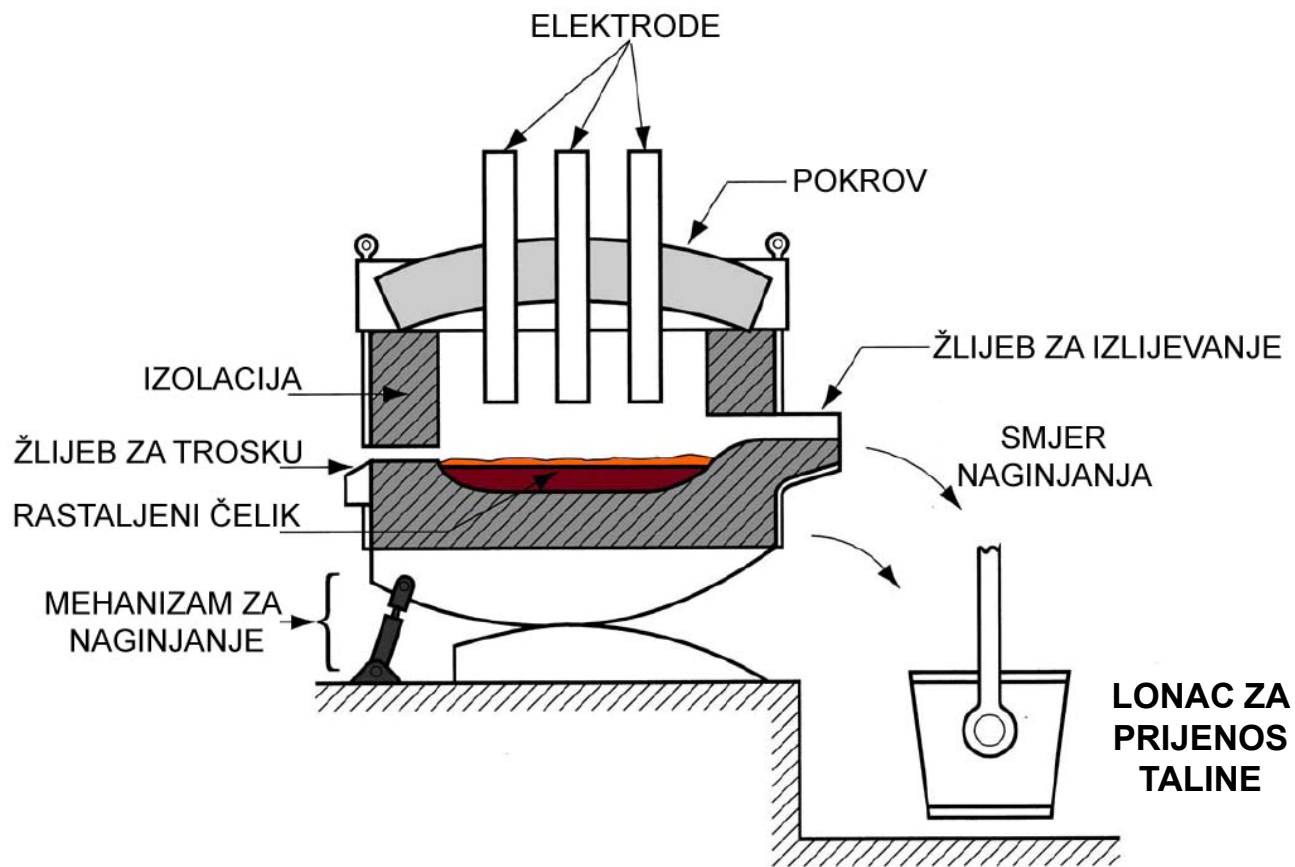
- Nazivaju se i indirektne peći na gorivo
- Lonac je izrađen od vatrootpornog materijala ili čelika za rad na visokim temperaturama
- Koristi se za neželjezne legure bakra (bronce, mjedi), cinka i aluminija
- U ljevaonicama se koriste tri tipa ovih peći:
 - a) S podiznim loncem
 - b) Sa statičnim loncem
 - c) S nagibnim loncem.

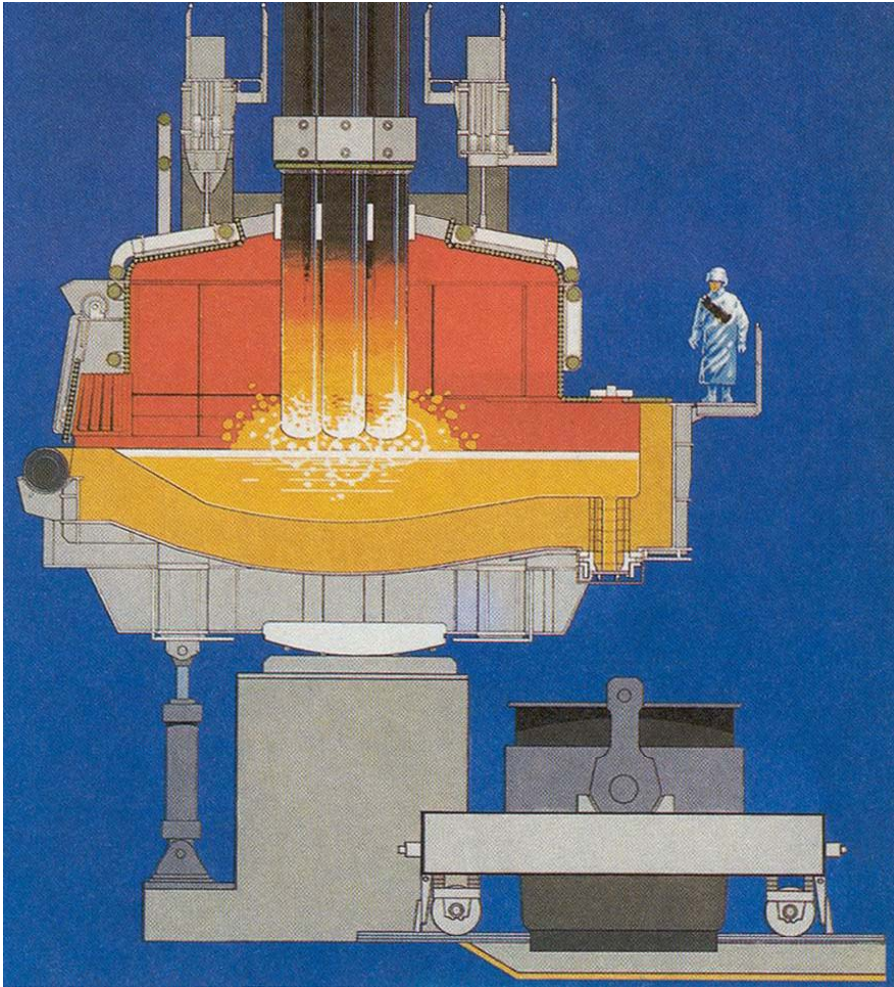


4. ELEKTROLUČNE PEĆI

Metal se tali toplinom dobivenom od električnog luka.

- Velika potrošnja energije, ali je moguće konstruirati peći za visoke kapacitete
- Prvenstveno se koriste za taljenje čelika





ELEKTROLUČNA PEĆ

5. INDUKCIJSKE PEĆI

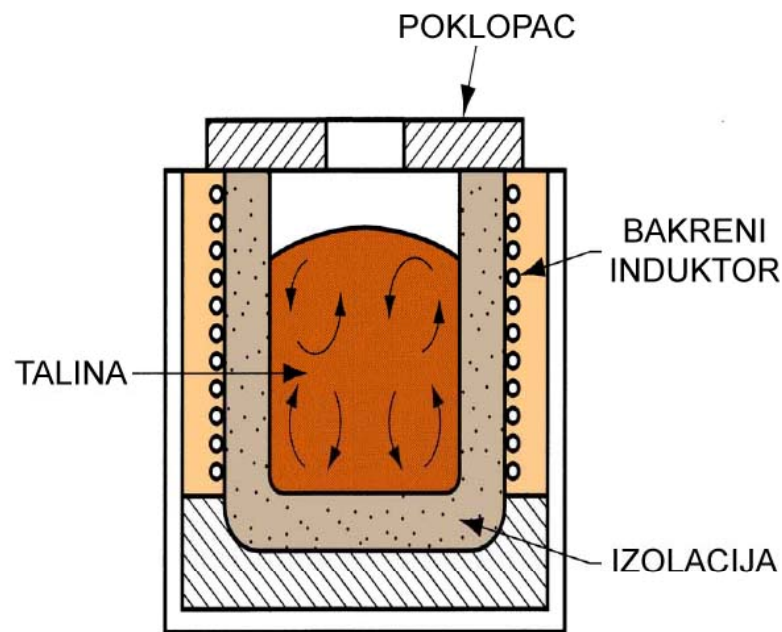
Prolaskom izmjenične struje kroz zavojnicu peći (induktor) inducira se magnetsko polje u materijalu (koji se tali).

Inducirana struja uzrokuje brzo ugrijavanje i taljenje.

Elektromagnetska sila istovremeno uzrokuje miješanje rastaljenog metala.

Kako metal nije u dodiru s grijačim tijelom, moguće je dobro kontrolirati okolnu atmosferu, što rezultira talinom visoke kvalitete i čistoće.

Koristi se za taljenje čelika, željeznih ljevova i aluminijskih legura.



INDUKCIJSKA PEĆ KAPACITETA 30 kg ČELIKA



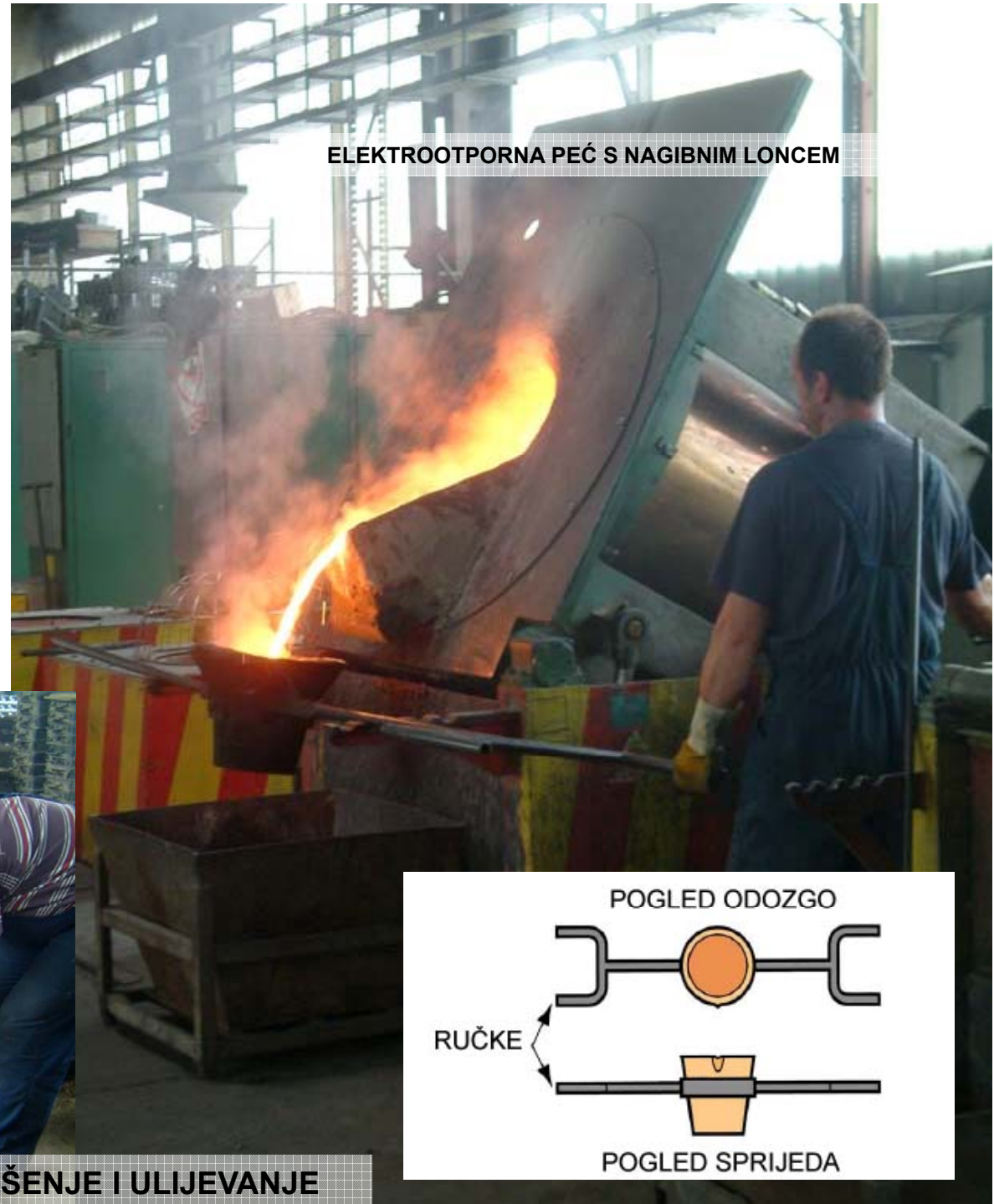


INDUKCIJSKA PEĆ KAPACITETA 5000 kg ČELIKA

LJEVAČKI LONCI

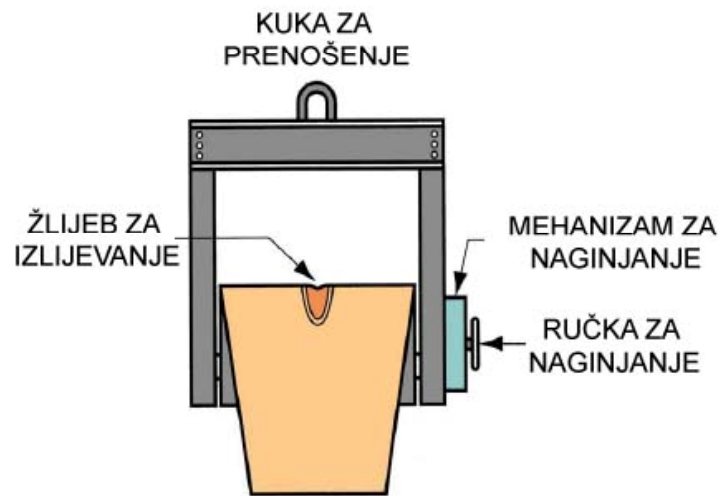
Talina se od peći do kalupa prenosi loncima ili ljevačkim žlicama za prenošenje i ulijevanje.

Transport taline i postupak ulijevanja može se vršiti ručno ili prijenosnim sredstvima (dizalicama, viličarima) ovisno o stupnju mehanizacije i količini taline koja se prenosi.



LJEVAČKI LONAC ZA RUČNO PRENOŠENJE I ULIJEVANJE

VELIKI LJEVAČKI LONAC ZA PRENOŠENJE TALINE



LJEVAČKA ŽLICA NA AUTOMATSKOJ LJEVAČKOJ LINIJI

KONTROLA KVALITETE ODLJEVAKA

Nakon završetka svih faza izrade, kontroliraju se karakteristike odljevaka koje utječu na njegovu upotrebljivost.

Ovisno o namjeni odljevka, različiti su i zahtjevi kvalitete.

Kod odljevaka gdje se zahtjeva samo točnost osnovnog oblika, provodi se **vizualna kontrola**.

Ukoliko postoje zahtjevi za dimenzijsku točnost, provodi se **kontrola mjerenjem**, dok je za ostala svojstva, kao što su kemijski sastav, mehanička svojstva, struktura, nepropusnost, potrebno provesti **laboratorijska ispitivanja** npr. analizu kemijskog sastava, ispitivanje mikrostrukture, mehanička ispitivanja, ispitivanje pod tlakom i dr.

GREŠKE NA ODLJEVCIMA

U tehnološkom procesu proizvodnje odljevaka, postupcima koji se provode i materijalima koji se koriste nalazi se mnogo potencijalnih mjesta nastanka greške. Veze između uzroka i posljedica te mogućnost međudjelovanja različitih uzroka nastanka škarta vrlo su složene.

Jedan uzrok može izazvati više različitih pogrešaka, a ista greška može biti prouzrokovana djelovanjem različitih uzroka ili njihovom kombinacijom.

Zadatak ispitivanja pogrešaka sastoji se u što jasnijem definiranju vrste pogreške, uzroka njenog nastajanja i sukladno tome razvijanju potrebnih protumjera.

Današnjim razvijenim **metodama simulacija ulijevanja i skrućivanja** moguće je ostvariti znatne uštede, jer se greška otkriva na virtualnom modelu još u fazi tehnološke razrade, te ju je moguće (u većini slučajeva) izbjeći pravilnim preoblikovanjem uljevnog sustava (ili modela).

Postoji više klasifikacija vrsta pogrešaka. Tako greške možemo podijeliti **prema postupku lijevanja ili izgledu pogreške**.

Greške na odljencima prema postupcima lijevanja dijele se na:

- greške do kojih može doći kod bilo kojeg postupka lijevanja
- greške karakteristične za lijevanje u pijesak.

PODJELA GREŠAKA NA ODLJEVCIMA PREMA IZGLEDU

Prema izgledu, pogreške se mogu klasificirati:

- u 7 osnovnih **razreda** (oznaka velika slova A-G)
- svaki razred je podijeljen u **skupine**
- skupine pogrešaka u podijeljene su u **podskupine**
- a unutar podskupina navedene su **pojedinačne greške**

Oznaka pojedinačne pogreške sadrži slovo razreda, broj skupine, broj podskupine i broj pogreške (npr. A112 – oznaka za žilice).

Razredi grešaka:

A – Metalne izrasline

B – Šupljine

C – Prekinuti odljevak

D – Površinski nedostaci

E – Nepotpuni odljevak

F – Netočnost mjera i oblika

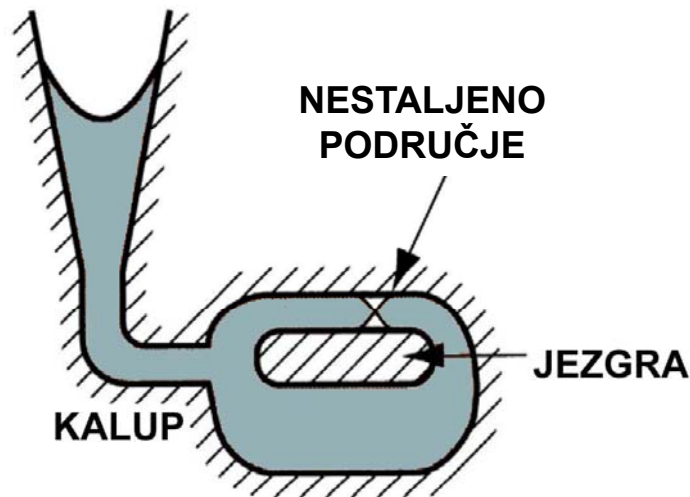
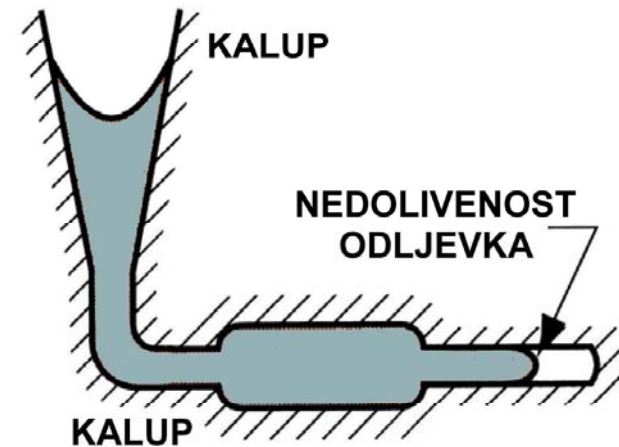
G – Uključci i heterogenosti.

GREŠKE NA ODLJEVCIMA

NEDOLIVENOST ODLJEVKA

Odljevak se skrutnuo prije nego je litina u potpunosti ispunila kalupnu šuplinu.

MJERE POMOĆI: povišenje temperature ulijevanja, promjena oblika ili veličine ušća, koristiti leguru bolje livljivosti.



NESTALJENO PODRUČJE

Litina je s više strana tekla u kalupu (npr. oko jezgre), ali zbog preranog skrućivanja nije došlo do potpunog staljivanja metala.

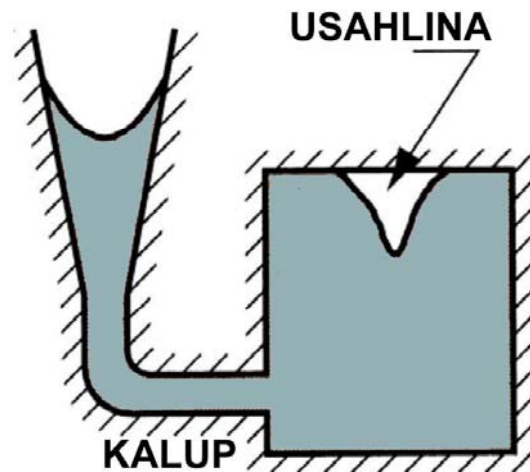
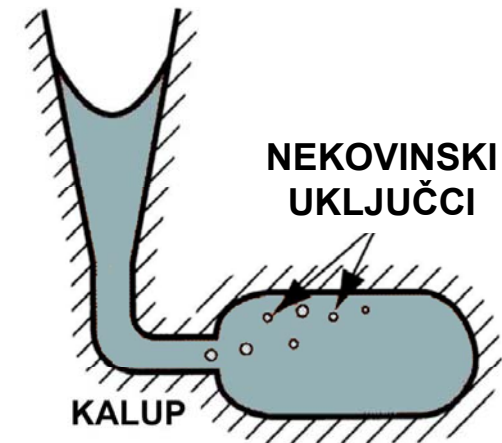
MJERE POMOĆI: Iste kao i kod nedolivenosti odljevka.

GREŠKE NA ODLJEVCIMA

NEMETALNI UKLJUČCI

Uključci imaju sastav troske, tj sastoje se od oksida sulfida i drugih nemetalnih spojeva, netopivih u talini. Mogu biti okruglasti ili u obliku strija.

MJERE POMOĆI: Smanjenje udjela elemenata sklonih oksidaciji, skraćivanje trajanja skrućivanja, uklanjanje troske prije ulijevanja.

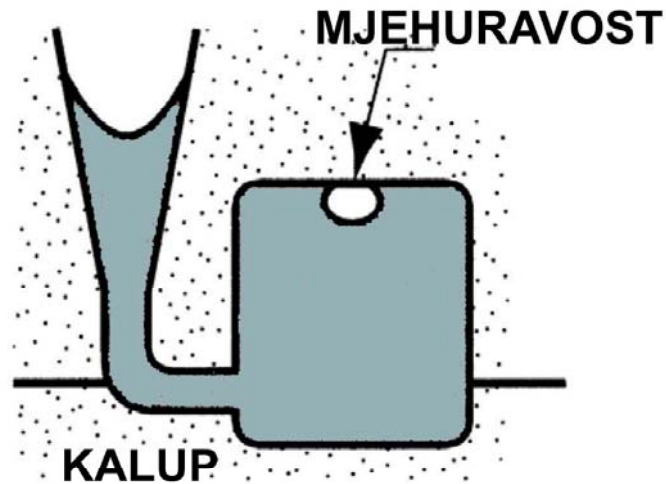


USAHLINA

Usahlina se može pojaviti kao uleknuće na površini odljevka ili unutar odljevka, a nastaje zbog stezanja materijala prilikom skrućivanja i hlađenja te nedostatka litine koji bi kompenzirao razliku volumena u području koje posljednje skrućuje.

MJERE POMOĆI: Osiguranje usmjerenog skrućivanja prema mjestu posljednjeg skrućivanja, proračunavanje pojila, uporaba egzotermnih pojila, postavljanje hladila.

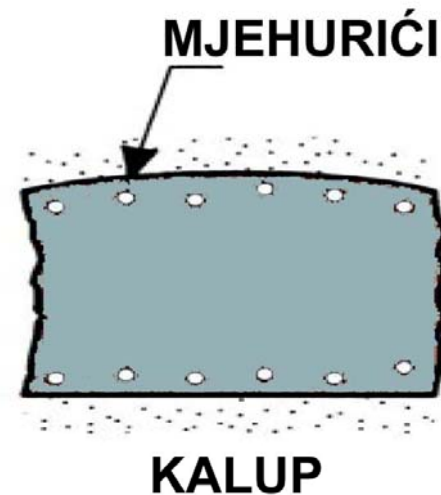
GREŠKE NA ODLJVCIMA KARAKTERISTIČNE ZA LIJEV U PIJESAK



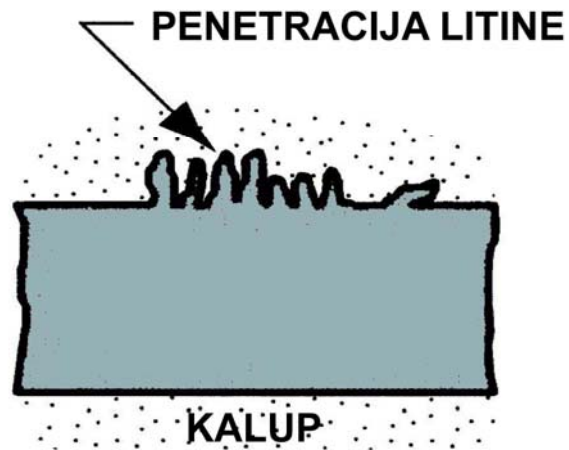
MJEHURAVOST

Zbog visoke temperature ulijevanja metala dolazi do otpuštanja plinova iz kalupne mješavine koji ostaju zarobljeni ispod površine odljevka. Može doći do formiranja većih mjehura ili puno sitnih mjehurića.

MJERE POMOĆI: Upotrebljavati čišće kalupne materijale, smanjiti udio čeličnog otpada u zasipu, smanjiti udio vlage u pijesku...



GREŠKE NA ODLJVCIMA KARAKTERISTIČNE ZA LIJEV U PIJESAK



PENETRACIJA LITINE

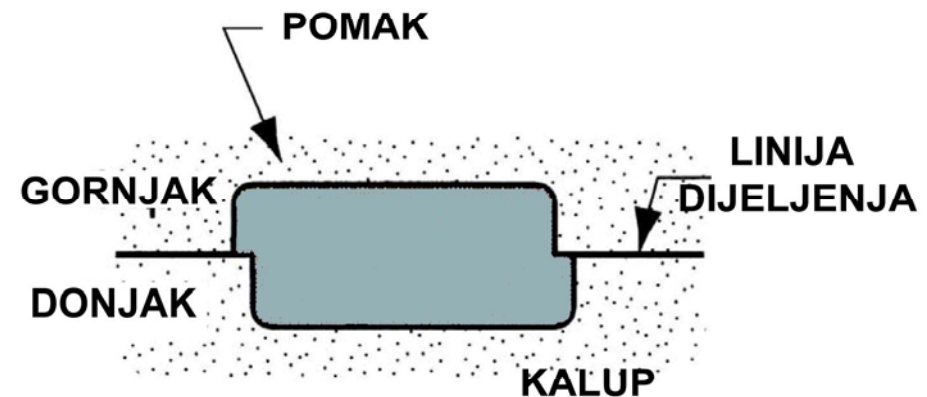
Kod metala visoke tečljivosti (malog viskoziteta), na mjestima jakog zagrijavanja kalupa i slabe zbijenosti pjeska, može doći do penetracije litine u pijesak kalupa ili jezgre, pa se materijal odljevka na kraju sastoji od mješavine metala i pjeska.

MJERE POMOĆI: Uporaba finijeg pjeska, povećanje udjela veziva, premazivanje kalupa, sniženje temperature ulijevanja...

POMAK

Prilikom sklapanja donjaka i gornjaka može doći do bočnog pomaka dvaju dijelova modela, kalupa ili pomaka jezgre uzrokujući tako na liniji dijeljenja stepenasti oblik pogreške na odljevku.

MJERE POMOĆI: Tehnološka disciplina pri centriranju modela, kalupa i jezgri.



METALI ZA LIJEVANJE

Željezne ljevačke legure

Željezni lijev:

-Sivi lijev, nodularni lijev, bijeli lijev,

Čelični lijev:

- Viša temperatura ulijevanja, manja livljivost, veća čvrstoća i žilavost, zavarljivost

Neželjezne ljevačke legure

Lagani metali – Teški metali

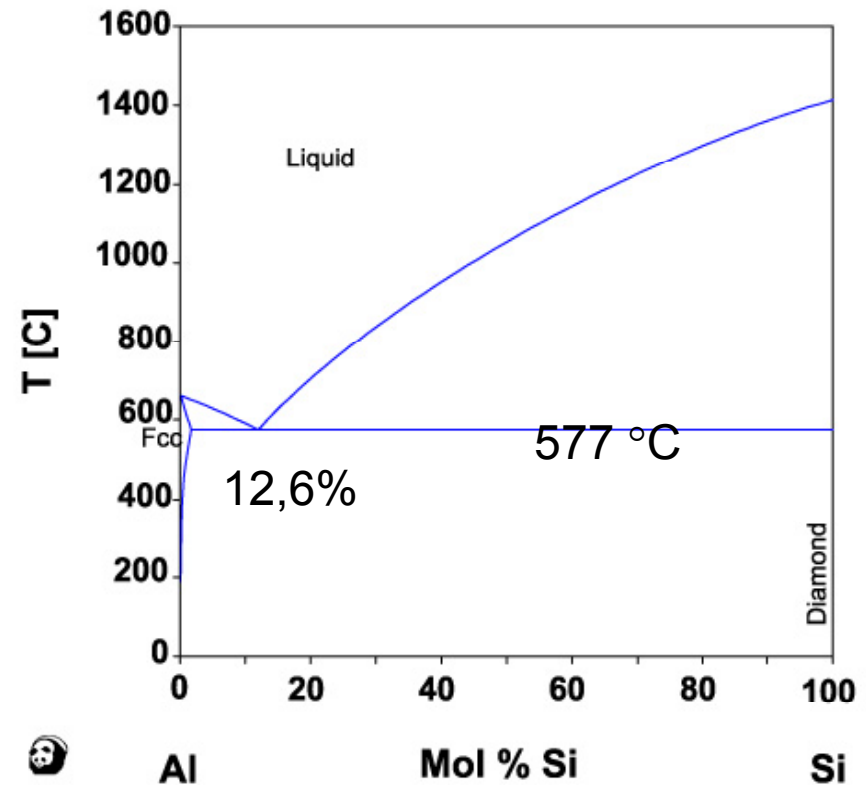
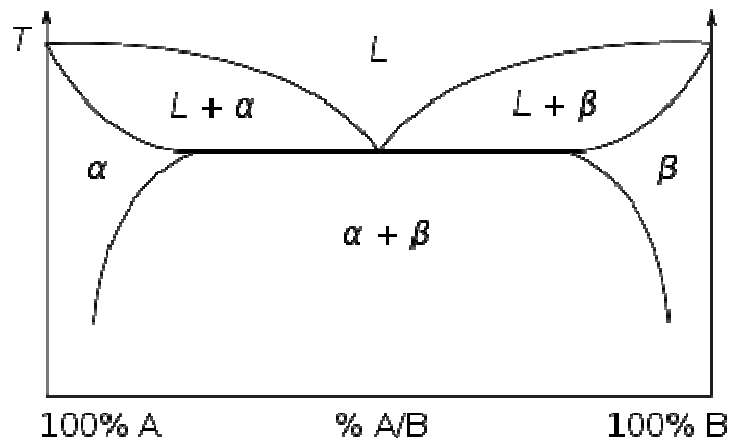
- Aluminijske, magnezijske, kositrene, bakrene, legure cinka, legure nikla, legure titana

Table 1.2: Major cast metals

METAL	USE	CHARACTERISTICS	APPLICATIONS
Grey Iron	54%	Heat resistance, damping, low cost, high fluidity, low shrinkage.	Automobile cylinder block, clutch plate, brake drum, machine tool beds, housings
Ductile Iron	20%	Strength, wear and shock resistance, dimensional stability, machinability.	Crank shafts, cam shafts, differential housing, valves, brackets, rollers.
Aluminum	12%	Strength to weight ratio, corrosion resistance.	Automobile pistons, oil and fuel pumps, connecting rod, clutch housings.
Steel	9%	Strength, machinability, weldability	Machine parts, gears, valves
Copper base	2%	High ductility, corrosion resistance.	Marine impellers, valves, hydraulic pump parts.
Zinc base	1%		

METALI ZA LIJEVANJE

- Većina odljevaka izrađena je od legura, a ne čistih metala
 - Legure je lakše lijevati, a svojstva odljevaka su bolja



Calculated Al-Si phase diagram assessed by Murray and McAlister

NIMS

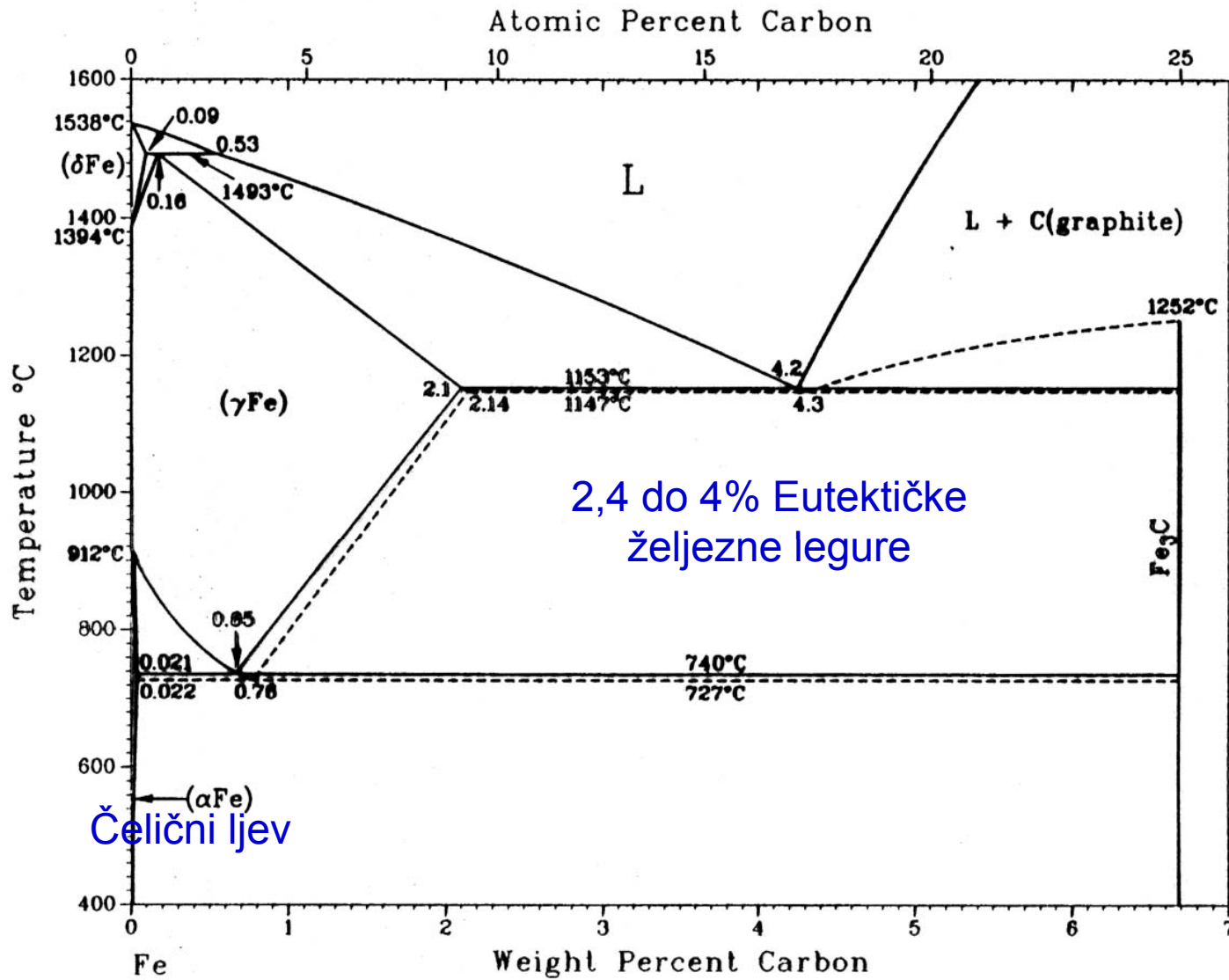
4-13% Si - dobra ljevačka svojstva

ŽELJEZNE LJEVAČKE LEGURE

ŽELJEZNI LIJEV

- Najvažniji od svih ljevačkih materijala
- Masa proizvedenih odljevaka od lijevanog željeza veća je od mase odljevaka od svih ostalih ljevačkih metala zajedno
- Vrste: sivi lijev, nodularni (žilavi) lijev, bijeli lijev, kovkasti lijev i legirano lijevano željezo
- Ovisno o kemijskom sastavu temperatura ulijevanja iznosi $\sim 1400^{\circ}\text{C}$

FAZNI DIJAGRAM ŽELJEZO UGLJIK



ŽELJEZNE LJEVAČKE LEGURE

ČELIK

- Povoljan konstrukcijski materijal radi dobrih mehaničkih svojstava
- Postupcima lijevanja moguće je dobiti složenu geometriju
- Poteškoće u lijevaonicama čelika:
 - Visoka temperatura lijevanja čelika (viša nego za bilo koju drugu ljevačku leguru) $\sim 1650^{\circ}\text{C}$
 - Na visokim temperaturama čelik je podložen oksidaciji pa je potrebno spriječiti doticaj taline sa zrakom
 - Čelik je relativno slabo livljiv

NEŽELJEZNE LJEVAČKE LEGURE

ALUMINIJ

- Uglavnom dobre livljivosti
- Niže temperature lijevanja (temperatura taljenja aluminija iznosi 660°C)
- Svojstva:
 - Mala gustoća
 - Moguće postići različitu čvrstoću ovisno o toplinskoj obradi
 - Jednostavna obrada postupcima odvajanjem čestica

NEŽELJEZNE LJEVAČKE LEGURE

BAKRENE LEGURE

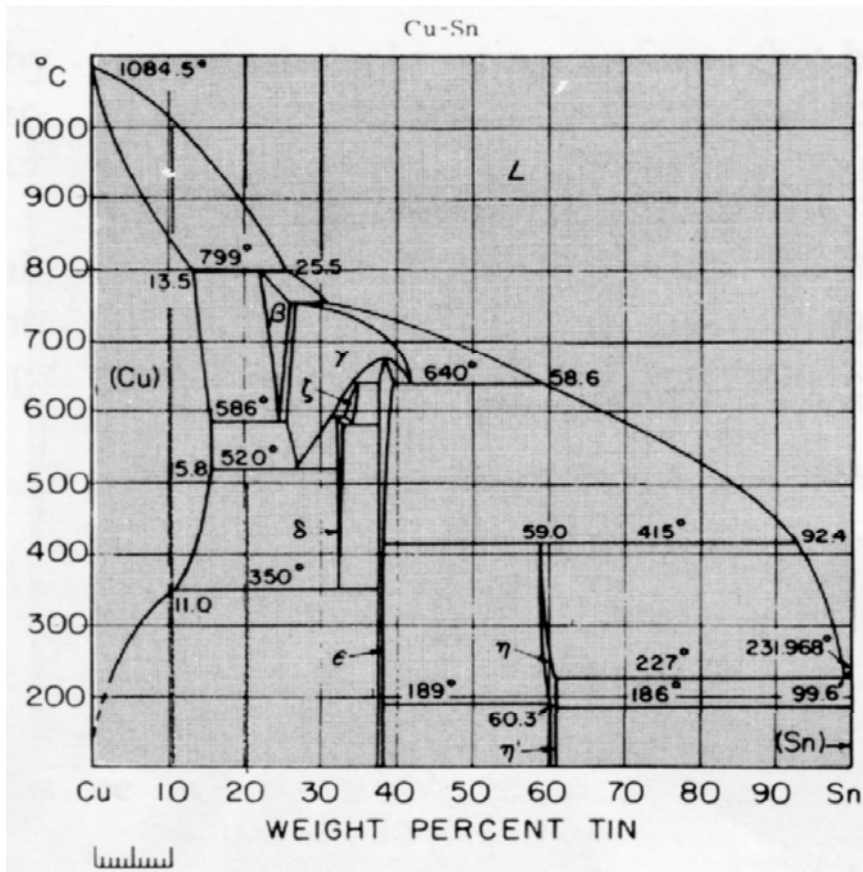
BAKAR $T_t=1083^{\circ}\text{C}$

- Bakrene legure uključuju: mjedi $T_t=900$ do 940°C
i bronce $T_t=950^{\circ}\text{C}$
- Svojstva:
 - Korozijska otpornost
 - Lijep izgled
 - Dobra ležajna svojstva
- Ograničenja: visoka cijena bakra
- Primjena: klizni ležaji, lopatice brodskih vijaka, dijelovi pumpi, ukrasni elementi

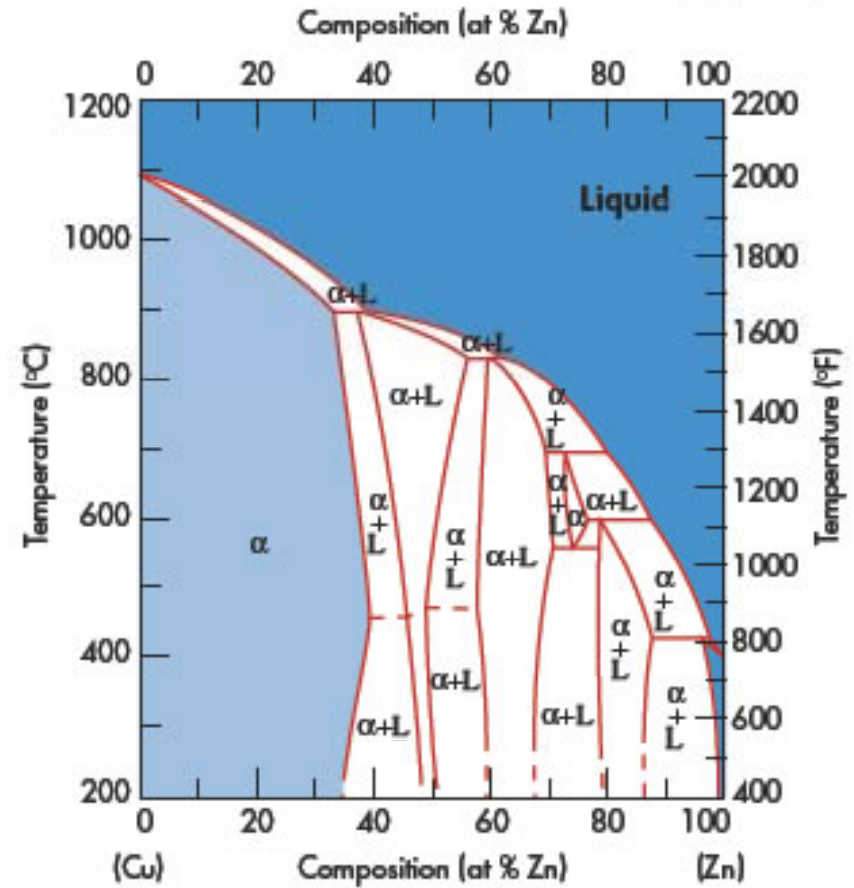
BRONCA

FAZNI
DIJAGRAM

MJED



COPPER vs ZINC PHASE DIAGRAM (typical)



NEŽELJEZNE LJEVAČKE LEGURE

LEGURE CINKA

- Visoka livljivost
- Lijevanje u kokile
- Niska temperatura taljenja, 419°C
- Dobra tecljivost omogućava jednostavno lijevanje
- Svojstva:
 - Ne smije se izlagati trajnom opterećenju zbog niske čvrstoće puzanja

MEHANIČKA SVOJSTVA VAŽNIH LIJEVAČKIH LEGURA

Tabelle 2.2: Gegenüberstellung der mechanischen Eigenschaften wichtiger Gusswerkstoffe

Gusswerkstoff	Zugfestigkeit R_m [MPa]	0,2-Dehngrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A_5 [%]	Brinellhärte HB
Gusseisen mit Lamellengraphit	100 ... 450	-	-	100 ... 275
Gusseisen mit Vermiculargraphit	310 ... 620	240 ... 420	1 ... 10	130 ... 280
Gusseisen mit Kugelgraphit	350 ... 1400	220 ... 1200	1 ... 15	140 ... 480
Temperguss	270 ... 570	170 ... 350	3 ... 12	130 ... 380
Stahlguss	380 ... 780	200 ... 640	6 ... 30	-
Aluminiumguss	100 ... 240	40 ... 220	1 ... 10	30 ... 130
Magnesiumguss	150 ... 260	80 ... 150	1 ... 18	40 ... 85
Kupferguss	170 ... 640	60 ... 250	4 ... 30	27 ... 150

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA: **JEDNOSTAVNOST GEOMETRIJE**

- Iako je lijevanjem moguće izraditi složene oblike, jednostavna geometrija doprinosi livljivosti
- Izbjegavanjem složene geometrije:
 - Izrada kalupa je jednostavnija
 - Smanjena je potreba za upotrebom jezgri
 - Povećava se čvrstoća odljevka

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA: **UGLOVI**

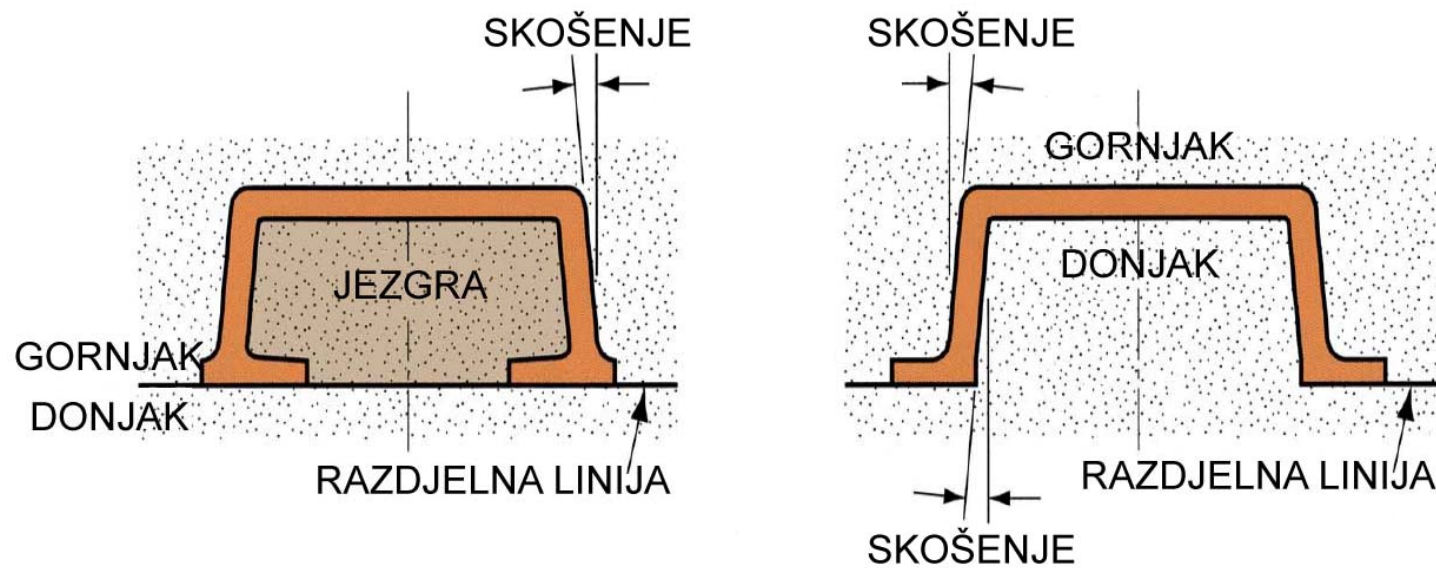
- Oštre kuteve i uglove treba izbjegavati jer predstavljaju izvore koncentracije naprezanja koji mogu izazvati vruće pukotine i napukline
- Na unutarnjim uglovima treba konstruirati skošenja, a na oštrim bridovima radijuse

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA: **SKOŠENJA**

- Skošnja kod **jednokratnih** kalupa olakšavaju vađenje **modela** iz kalupa
- Kod **stalnih** kalupa skošnja pomažu lakšem vađenju **odljevka** iz kalupa
- Slična skošnja treba konstruirati kod metalnih jezgri

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA:

- Manjim preinakama konstrukcije moguće je izbjeći upotrebu jezgri



a) Izvorna konstrukcija

b) preoblikovana (redizajnirana)
konstrukcija

Primjer promjena konstrukcije radi izbjegavanja korištenja jezgre

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA: **TOČNOST DIMENZIJA I KVALITETA POVRŠINE**

Značajne razlike točnosti dimenzija i kvalitete površine odljevaka postižu se ovisno o postupku lijevanja:

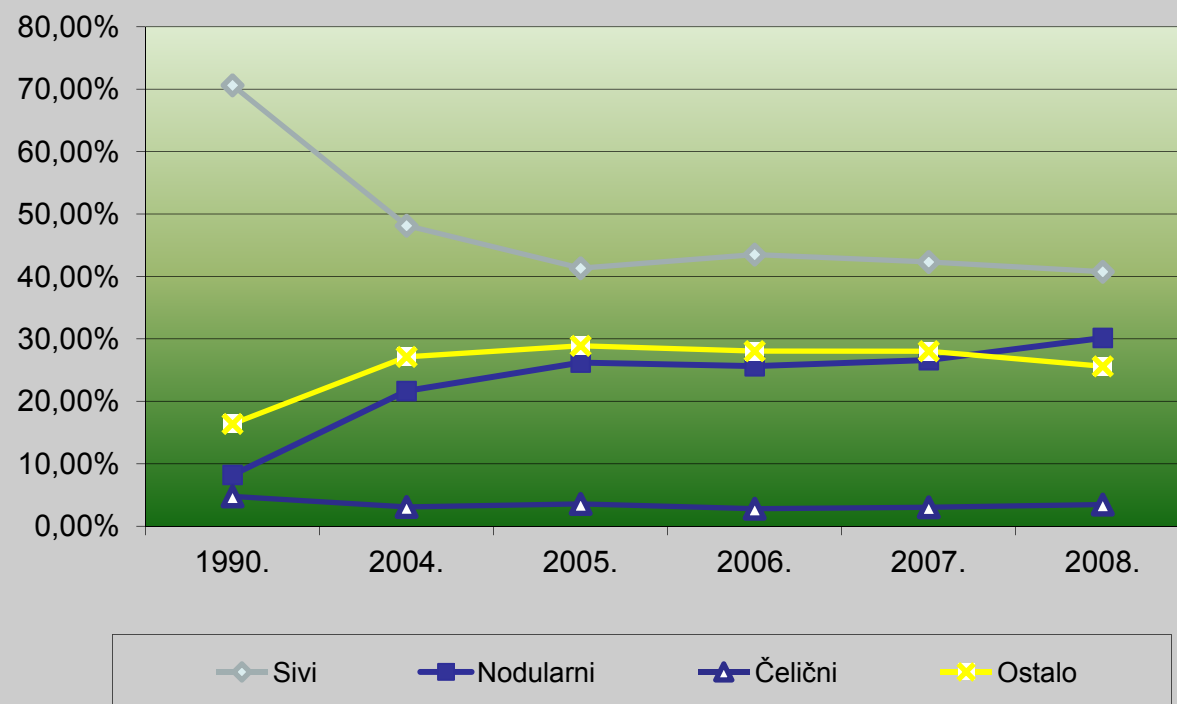
- Lijevanjem u pijesak postiže se slaba točnost dimenzija i kvaliteta površine
- Preciznim i tlačnim lijevom postiže se visoka točnost dimenzija i odlična kvaliteta površine

RAZMATRANJA PRI OBLIKOVANJU ODLJEVKA: **DODACI ZA OBRADU**

- Gotovo sve odljevke lijevane u pijesak potrebno je dodatno obrađivati postupcima odvajanja čestica kako bi se postigle tražene dimenzije pojedinih dijelova odljevka
- Na površinama odljevka gdje će biti potrebna dodatna obrada potrebno je predvidjeti višak materijala tzv. dodatak za obradu
- Kod lijevanja u pijesak dodatak uobičajeno iznosi 1,5 – 3 mm.

Vrsta odljevaka (000 t)	1990.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.
Sivi	65216	27173	25748	30971	31853	29528
Nodularni	7583	12227	16336	18243	20026	21849
Čelični	4414	1734	2219	2000	2286	2517
Ostalo	15131	15315	18010	19965	21100	18554
Ukupno	92344	56449	62313	71179	75265	72448

Proizvodnja ljevanih proizvoda u RH (1990.-2008.)



Struktura ljevaonica u RH

	Broj ljevaonica	Broj zaposlenih
Velike	2	1180
Srednje	10	1700
Male	54	920
Ukupno	66	3800



Ljevaonice iznad 50 zaposlenih

Ljevaonica	Broj zaposlenih
Varaždin	680
Požega	495
Benkovac	290
Bjelovar	230
Čakovec	160
Virovitica	140
Kutina	140
Osijek	130
Karlovac	110
Daruvar	110
Slavonski Brod	110
Duga Resa	80
Donja Bistra	55
Zagreb	55