

**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO  
LABORATORIJA ZA TEHNOLOGIJE PLASTIČNOG  
DEFORMISANJA**

**Prof dr Dragiša Vilotić**

# **MAŠINE ZA INJEKCIJONO PRESOVANJE**



**Novi Sad, oktobar 2008.**

## 1. UVOD, KONSTRUKCIJA I FUNKCIJA

Prva mašina za injekciono presovanje izgrađena od strane H. Bucholz-a, pojavila se 1921. godine, i imala je klipnu plastifikaciju. Zatvaranje alata bilo je ručno, a pokretanje klipa pneumatsko. Mašina je bila horizontalne izvedbe.

Mašine sa pužnom plastifikacijom pojavile su se 1956. godine (H. Beck) i imale su iste osnovne funkcije (agregate) kao i današnje mašine, mada je slična mašina bila patentirana 1905 (Vorraber) i ostala neispravna čitavih 50 godina.

Poseban pečat u razvoju ovih mašina dala je nemačka industrija, takođe i američka, a određena dostignuća su prisutna u zemljama trećeg sveta (Korea, Kina) koji uspješno kopiraju i koriste evropska dostignuća.

Mašina za injekciono presovanje definiše se kao uređaj (postrojenje) diskontinualnog – cikličnog dejstva koji omogućuje primarno oblikovanje predmeta od makromolekularnog materijala. Oblikovanje se izvodi u kalupu pod dejstvom pritiska. Materijal se iz cilindra kroz kanale dovodi do kalupne šupljine koju popunjava i u kojoj se hladi. Nakon toga sledi otvaranje kalupa i izbacivanje gotovog komada.

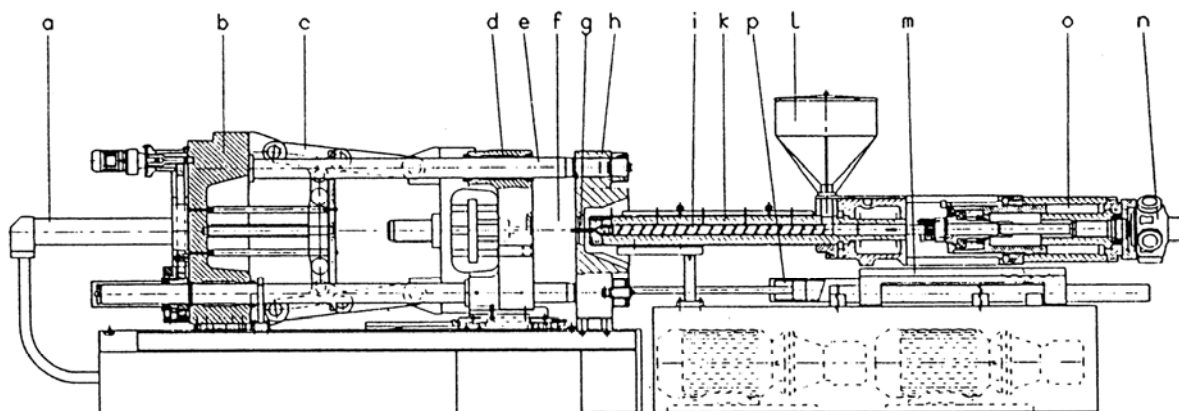
Vrlo važni podsklopovi ovih mašina su:

- ❖ Jedinica za ubrizgavanje
- ❖ Jedinica za zatvaranje kalupa

Takođe su važne i:

- ❖ Pogonska jedinica
- ❖ Kontrolno upravljačka jedinica
- ❖ Sistem za hlađenje

Na slici 2 prikazani su svi vitalni agregati i delovi jedne mašine za injekciono presovanje.



Slika 2. Mašina za injekciono presovanje (pogled u preseku) a: Hidraulični cilindar sa polužnim zatvaranjem, b: zadnja prihvatna ploča, c: Poluga, d: Pokretna ploča, e: Vođice, f: Prostor za kalup, g: Mlaznica, h: Nepokretna ploča, i: Puž sa neizmenično pravolinijskim kretanjem, k: Cilindar, l: Levak, m: Vođica inekcione jedinice, n: Rotacioni pogon puža, o: Hidraulični inekcioni cilindar, p: Cilindar za pomeranje inekcione jedinice; Mašina je bazirana na pogonskoj jedinici sa elektro motorom i hidrauličnim pumpama

Ova mašina (firme »Engel«) je horizontalne izvedbe, a postoje i mašine sa vertikalnim uređajem za zatvaranje.

Kontrolna jedinica kod ovih mašina jedno vreme se nalazila van mašine u posebnom ormanu, a u poslednje vreme, ovaj važan podsistem nalazi se integrisan u kućištu same mašine.

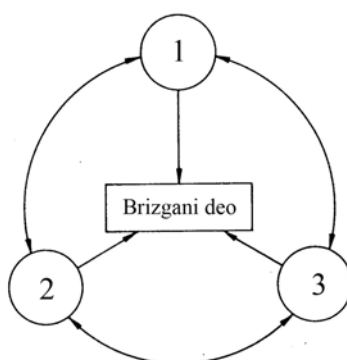
Hidraulični sistem mašine ima ekstremnu važnost i ne tretira se kao posebna jedinica jer je integrisan u druge sisteme (jedinice) mašine.

Pristupačnost mašine za snabdevanje (ubacivanje) komponentama (npr. metalnim ulošcima) i vađenje obratka je takođe veoma važno. U tom smislu primenjuje se Nemačko-Austrijski sistem koji je baziran na podeli mašine u tri nivoa:

- ❖ Otvaranje (uzdužno ili bočno) radi izbacivanja obratka
- ❖ Sistem za pomeranje jedinice za ubrizgavanje.

Kompletna oprema za injekciono presovanje (*slika 3*) sastoji se od:

1. Mašine za injekciono presovanje
2. Alata za oblikovanje
3. Uređaja za temperiranje.



*Slika 3. Obradni sistem za injekciono presovanje*

Ova tri sistema su bitna za kvalitet proizvoda, a u direktnoj su vezi sa osnovnim parametrima procesa:

- ❖ Pritisak
- ❖ Temperatura
- ❖ Brzina presovanja

Odluka o vrsti sirovog materijala za izradu proizvoda donosi se u fazi razvoja i dizajna proizvoda i tehnologije, a što odlučujuće utiče na konačnu cenu proizvoda (*slika 4*).

Faza razvoja i dizajna danas je poduprta sa CAE metodom (informacione tehnologije). Na ekonomičnost proizvodnje značajno utiču pomoćne operacije i spoljna oprema, npr. sušenje, transport, mešanje, separacija, izbacivanje, naknadne operacije i dr.

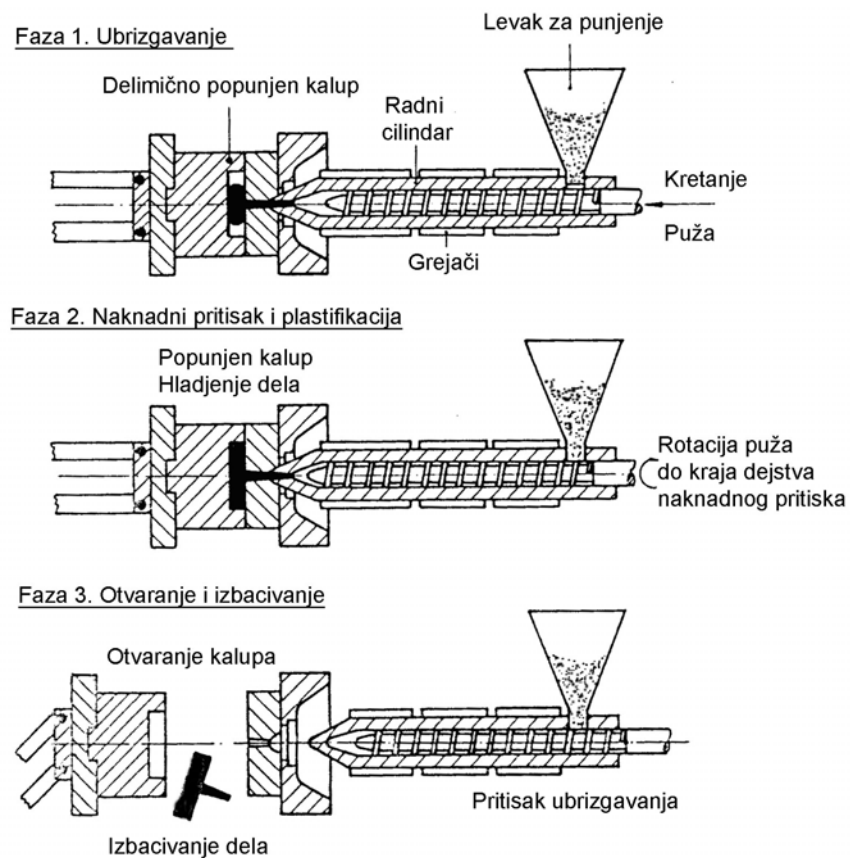
Mašina za injekciono presovanje je centralna jedinica obradnog sistema, a u ovom poglavlju će pažnja biti posvećena upravo njoj.

Osnovna funkcionalna šema ove mašine data je na *slici 5*, a proces oblikovanja se odvija kroz sledeće faze:

- ❖ Doziranje preko levka za punjenje. Polazni materijal može biti u obliku praška, granula, paste, traka itd. Za svaki od materijala mora postojati dobar slobodni dotok u radni cilindar. S tim u vezi važnu ulogu ima veličina preseka grla levka što se mora blagovremeno predvideti.
- ❖ Transport i zagrevanje materijala obavlja se istovremeno. Transport i zagrevanje materijala obavlja se istovremeno. Transport se vrši pomoću puža. Zagrevanje

materijala nastaje zbog toplote iz grejača i usled trenja o zidove cilindra prilikom transporta. Usled nagomilavanja materijala na izlazu cilindra materijal je pod visokim pritiskom koji gura puž unazad. Kada se pri vrhu cilindra nakupi dovoljna količina rastopljene mase okretanje puža se zaustavlja.

- ❖ Ubrizgavanje sledi nakon što se zabravi alat i dizna jedinice za ubrizgavanje nasloni na ulivnu čauru alata. Proces ubrizgavanja izvodi se aksijalnim pomeranjem klipa pomoću hidro cilindra. Pod dejstvom pritiska rastopljeni materijal ulazi u ulivne kanale i preko ušća dospeva u kalupnu šupljinu.
- ❖ Hlađenje obradka izvodi se pomoću rashladnih kanala u alatu kroz koje struji rashladni fluid. Zbog skupljanja obradka potrebno je obezbediti naknadni pritisak.

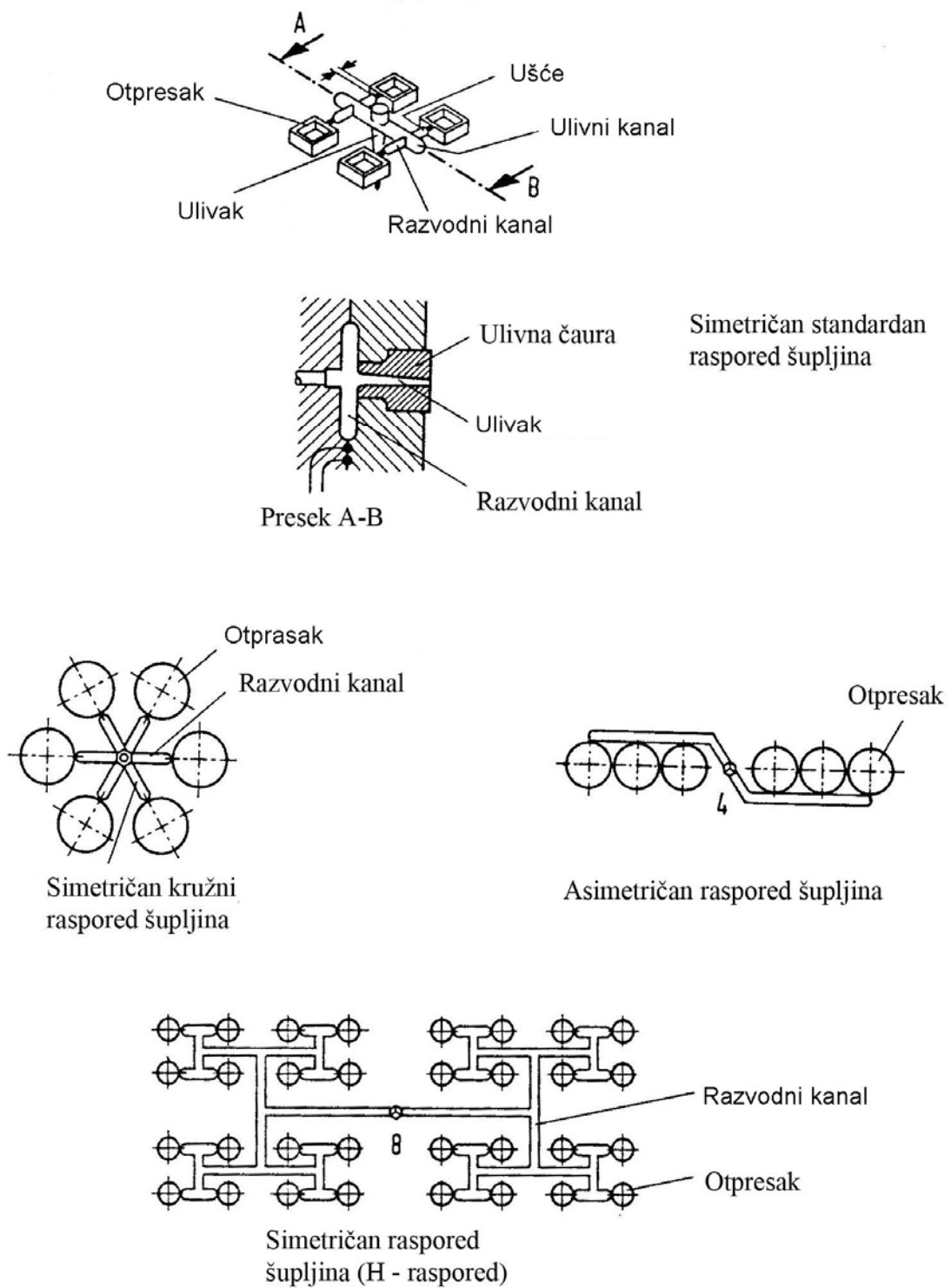


Slika 5. Tri faze inekcionog presovanja

- ❖ Izbacivanje otpreska izvodi se nakon hlađenja
- ❖ Plastifikacija nove količine materijala izvodi se paralelno sa fazom hlađenja.

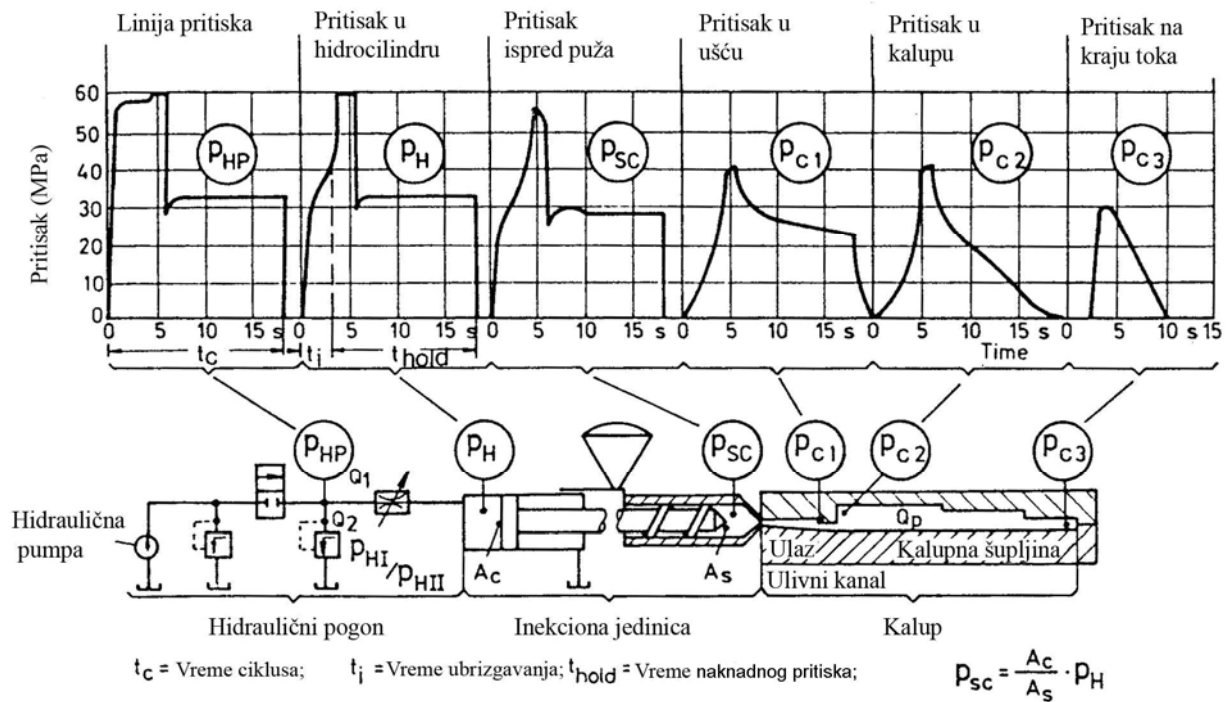
Elementi ulivnog sistema dati su na slici 6.





Slika 6. Elementi ulivnog sistema za inekciono presovanje

Dinamika procesa prikazana je na slici 7.



Slika 7. Kretanje pritiska u odnosu na vreme u različitim segmentima sistema za inekciono presovanje

$p_{HP}$  – pritisak pumpe

$p_H$  – pritisak u hidrocilindru

$p_{SC}$  – pritisak ispred puža, sličan sa  $p_H$  uz pad zbog trenja za (do 10%) obično 3 ÷ 5%

$p_{C1}$  – pritisak u ušću

$p_{C2}$  – pritisak u kalupu

$p_{C3}$  – pritisak na kraju toka

Profili pritiska  $p_{HP}$ ,  $p_H$ ,  $p_{SC}$  su slični

$$p_{SC} = p_H \cdot \frac{A_C}{A_S}$$

Profili pritiska u ulivnom sistemu i unutrašnjosti kalupa se razlikuju od istog u hidrauličnom sistemu i na vrhu puža. Razlozi za to su prigušenje pritiska i hlađenje obratka.

Primer (slika 7) pokazuje da se očvršćavanje obratka dešava pri različitim vrednostima lokalnog pritiska. Druga nehomogenost se odnosi na različite temperature rastopljene mase i kalupa. Temperatura materijala menja se od izlaza iz cilindra pa do krajnje tačke obratka, a na to utiče veliki broj faktora.

Sve što se dešava u toku procesa inekcionog presovanja memorisano je u gotovom proizvodu. Svaki otpresak u sebi sadrži memorijsku sliku pritiska i temperature koja se odražava na različite aspekte kvaliteta (oblik, dimenzije, homogenost strukture, boju...).

Za stvaranje kvalitetnog proizvoda neophodno je praćenje-kontrola relevantnih parametara procesa tokom ciklusa inekcionog presovanja.

## 2. PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

U predhodnom poglavlju uopšteno je prikazan proces injekcionog presovanja, sa osnovnim fizičkim zakonitostima procesa (pritisak i temperatura).

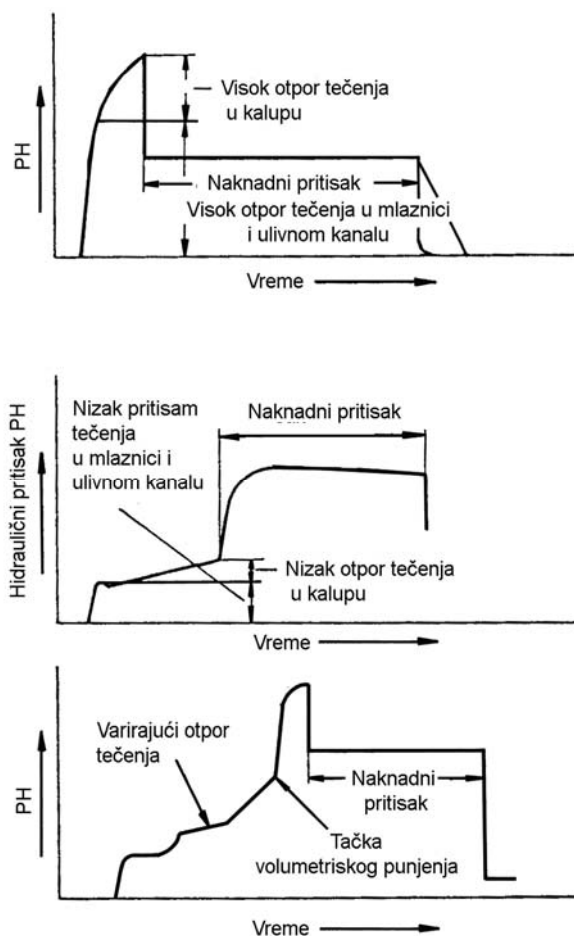
Parametri procesa direktno utiču na kvalitet otpreska te se njihove vrednosti moraju pratiti i održavati u toku radnog ciklusa. Radi njihovog pravilnog shvatanja potrebno je, najpre, da se pravilno terminski definišu, što je urađeno standardnom Evropske zajednice (EEC-European Economic Community). Ti standardi poznati su pod nazivom EUROMAP.

### 2.1 Pritisak

Kod injekcionog presovanja prisutne su različite vrednosti pritiska tokom vremena u različitim tačkama sistema.

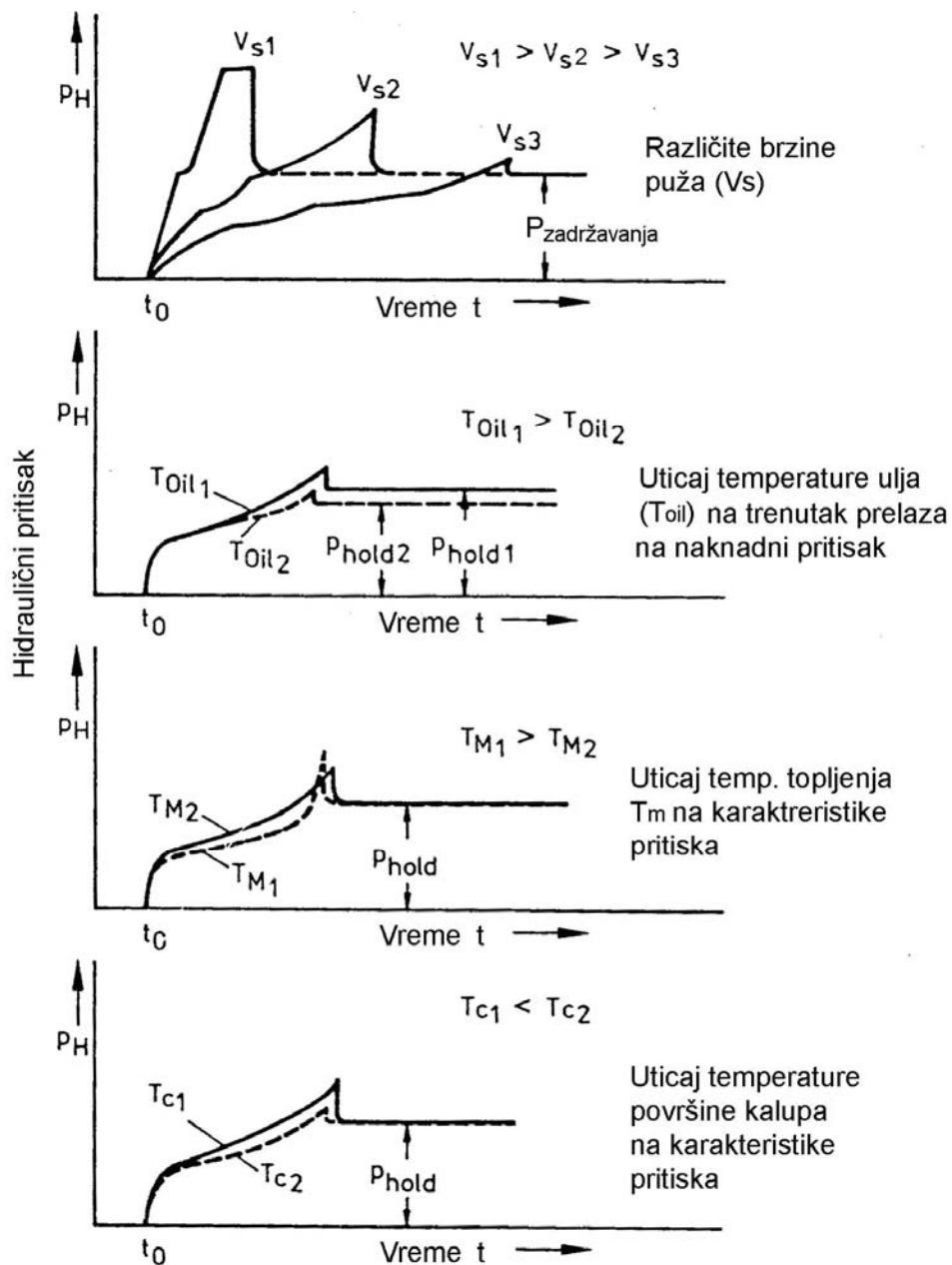
#### *Hidraulični pritisak*

je pritisak u pogonskom sistemu mašine potreban da se savladaju otpori u dizni, ulivnom sistemu i otpori tečenja u kalupu. Sličan je sa pritiskom na čelu puža. Generalno naglo raste u kratkom vremenskom periodu u skladu sa otporima tečenja rastopljenog polimera. Zavisnost hidrauličnog pritiska od otpora tečenja u ulivnom sistemu data je na *slici 8*.



*Slika 8. Uticaj otpora tečenja na hidraulični cilindar  
gore: visok otpor tečenja  
centar: niski otpori tečenja u dizni i ulivnom sistemu  
dole: promenljiv otpor tečenja*

Na slici 9 prikazan je uticaj različitih faktora na hidraulični pritisak ( $p_H$ ):



Slika 9. Profil pritiska u hidrauličnom cilindru. Dejstvo različitih parametara na  $P_H$

$v_s$  = brzina puža u aksijalnom pravcu

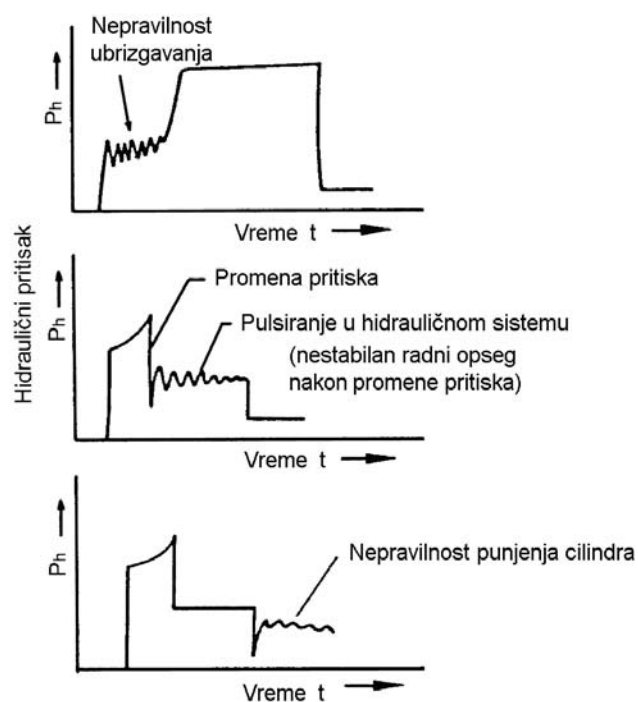
$T_{oil}$  = temperatura ulja

$T_M$  = temperatura polimera

$T_c$  = temperatura površine kalupa

Uticaj temperature ulja na pritisak  $p_H$  vezan je sa uticajem na viskoznost. Kod više temperature niža je viskoznost pa su manji hidraulični gubici i viši hidraulični pritisak.

U radu mašine dolazi do pulsiranja pritiska u pojedinim fazama ciklusa (*slika 10*).

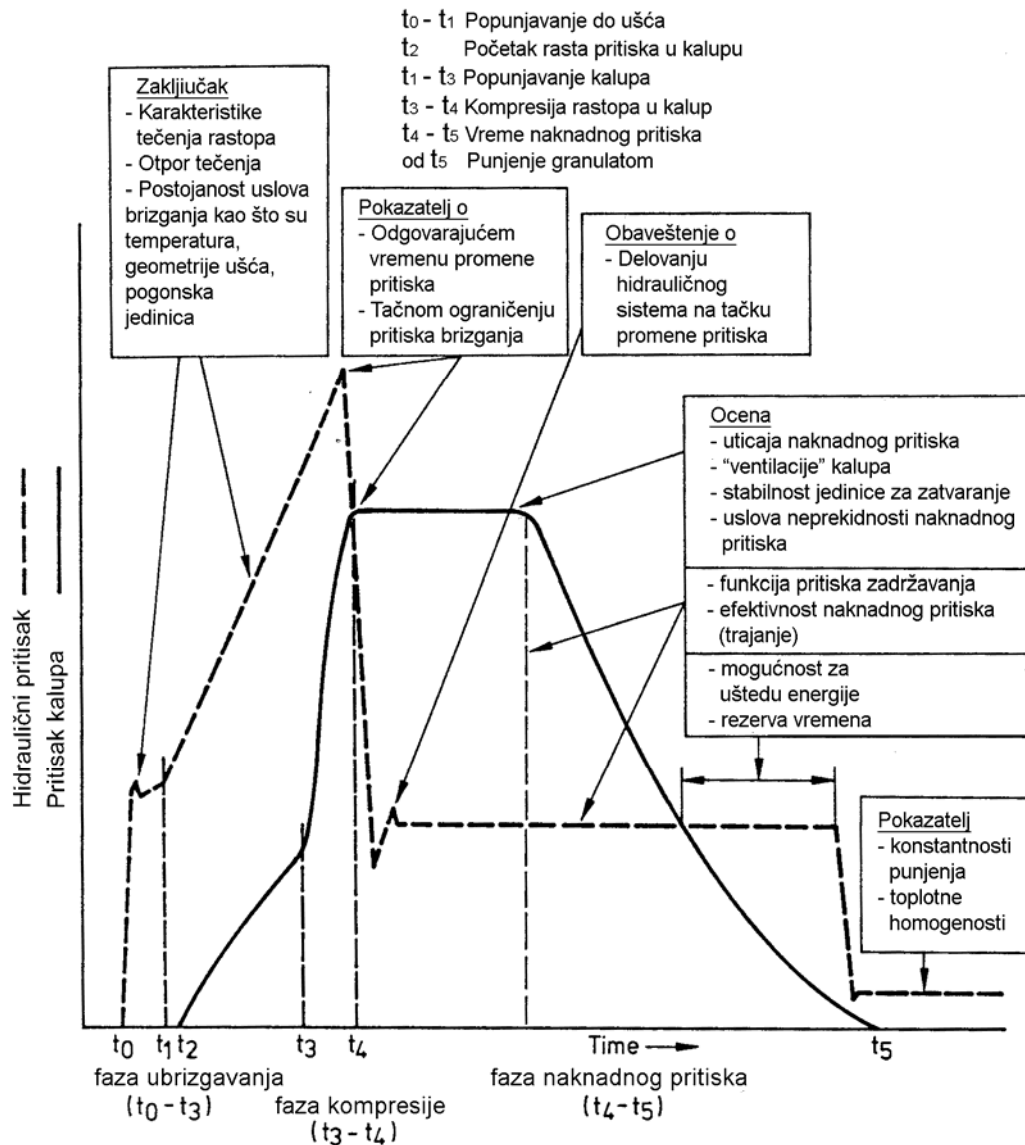


*Slika 10. Razlozi pulsiranja hidrauličnog pritiska*

Zbog važnosti  $p_H$  preporučuje se njegovo merenje i praćenje tokom radnog ciklusa.

Profil pritiska na čelu puža sličan je sa  $p_H$ , a razlika postoji u fazi naknadnog delovanja. Ovaj pritisak ( $p_S$ ) je za 5-10% niži od pritiska  $p_H$ . Merenje  $p_H$  je jednostavnije od merenja pritiska rastopljenog polimera na čelu puža.

Očitavanje tj. praćenje  $p_H$  nije garancija za poznavanje (predviđanje) pritiska u kalupnoj šupljini (slika 11).



Slika 11. Informacije dobijene iz zapisa hidrauličnog pritiska u cilindru za ubrizgavanje i kalupu

$t_0 - t_3 \rightarrow$  ubrizgavanje

$t_3 - t_4 \rightarrow$  kompresija

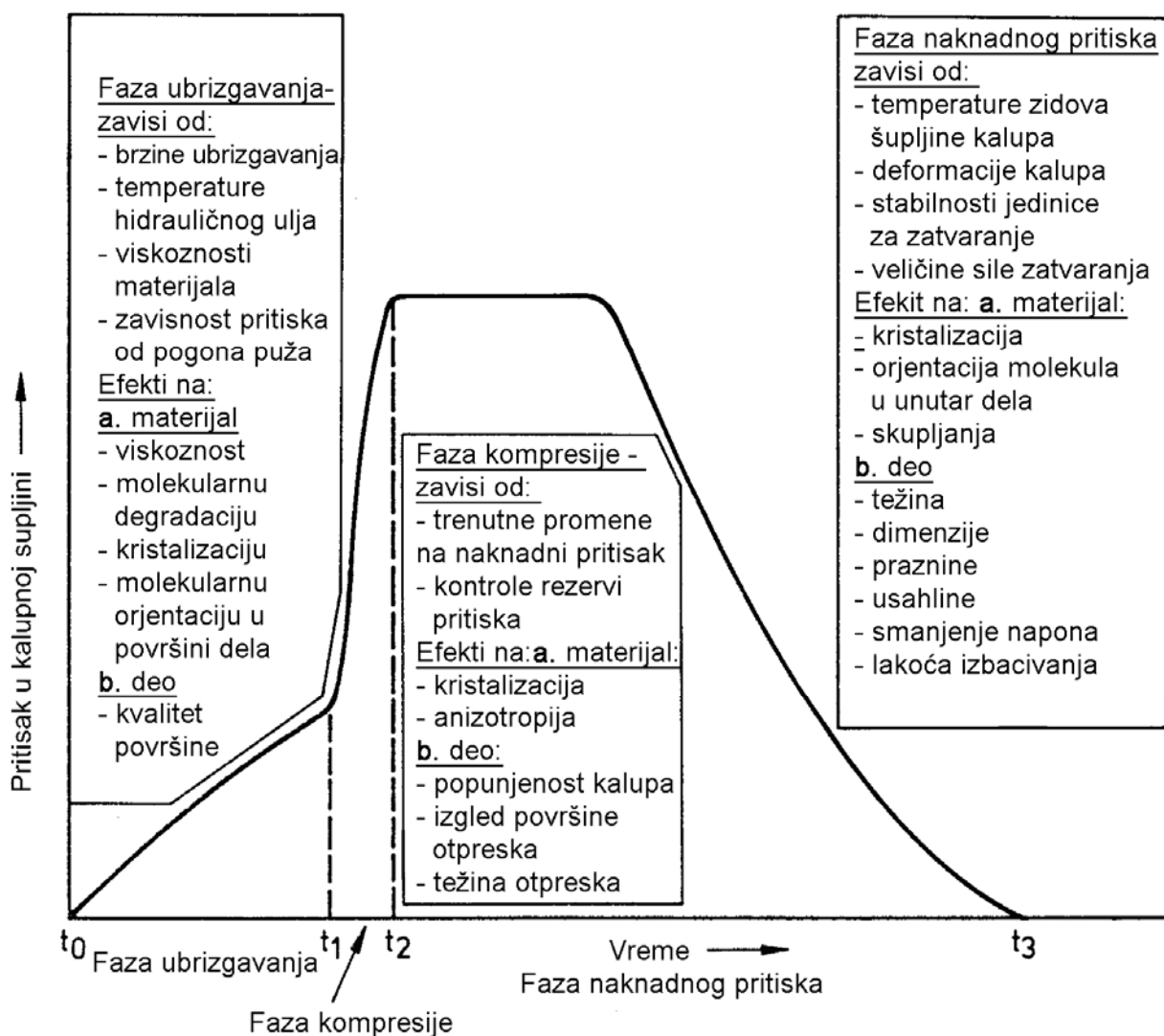
$t_4 - t_5 \rightarrow$  držanje pod opterećenjem (naknadni pritisak)

## Pritisak u kalupu

Analiza procesa injekcionog presovanja stvara uslove i podloge za kontrolu procesa. Merenje pritiska vrši se pomoću mernih sondi naprevljenih od mernih traka ili na bazi piezo-električnih elemenata. Da bi se izbegla oštećenja obratka merne sonde ne smeju narušavati površine kalupa.

Na snimljenom dijagramu pritiska u kalupu u zavisnosti od vremena (*slika 12*) uočavaju se tri segmenta, odnosno faze:

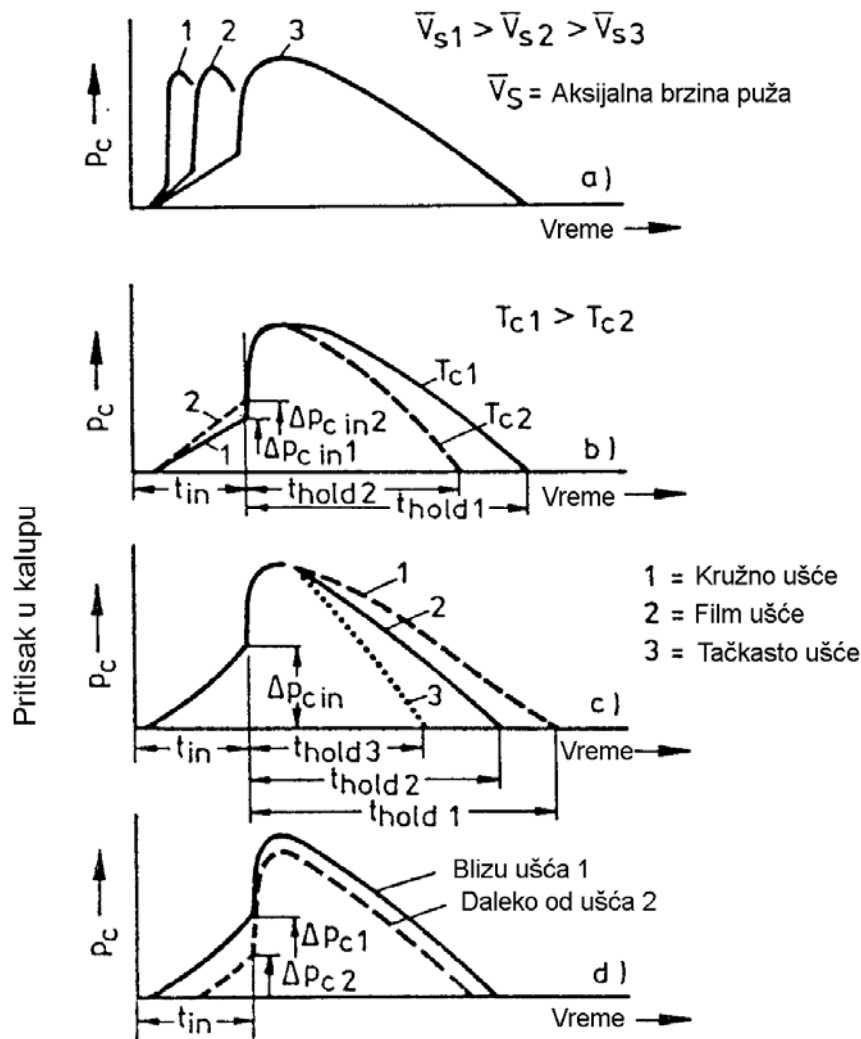
1. punjenje kalupa (ubrizgavanje)
2. kompresija polimera
3. zadržavanje pod pritiskom



Slika 12. Dijagramu pritiska u kalupu u zavisnosti od vremena

Ove faze su u određenoj vezi sa kvalitetom otpreska. Faza ubrizgavanja utiče na izgled obratka, faza naknadnog pritiska utiče na dimenzije obratka. Pritisak u fazi ubrizgavanja zavisi od otpora u dizni i ulivnom sistemu ali ne utiče bitnije na proces oblikovanja. Kompresioni i naknadni pritisak (*faza 2 i 3*) su važniji za proces oblikovanja.

Profil pritiska u kalupu ukazuje i na eventualne probleme i teškoće u procesu. Previsok pritisak u fazi kompresije ukazuje na ozbiljne probleme. Rezultat je nekorektno postavljenog prelaza na niži pritisak, a stvara lošiji otpresak. Zbog toga se trenutak snižavanja pritiska mora podešavati.



Slika 13. Profili pritiska u kalupu zavisi od a: Aksijalne brzine ( $V_s$ ), b: Temperature kalupa ( $T$ ), c: Geometrije ulaza, d: Razdaljine senzora pritiska od ulaza

Na slici 13 pokazan je uticaj pojedinih parametara na pritisak u kalupu:

- uticaj brzine aksijalnog pomeranja puža u fazi ubrizgavanja – odražava se na pritisak u fazi kompresije
- veća temperatura kalupa omogućuje propagiranje pritiska u kalupu
- oblik ušća značajno utiče na profil u fazi naknadnog pritiska.

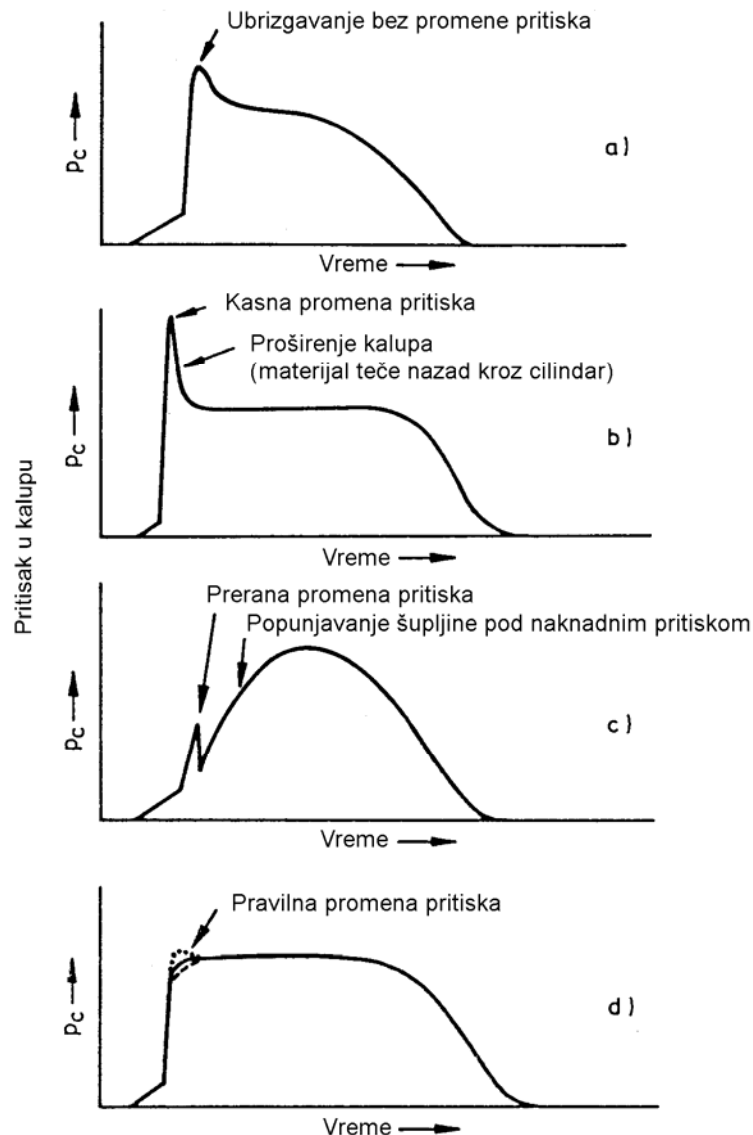
Sve ovo pokazuje da je za dobijanje kvalitetnog otpreska potrebno pratiti pritisak u kalupu.



### Promena pritiska (switch-over)

Ova promena vrši se od pritiska kompresije na naknadni pritisak koji je niži. Moguće varijante promene pritiska (slika 14) su:

- ubrizgavanje bez svičovanja (kod dugačkih i tankih otpresaka sa malim ušćem)
- ubrizgavanje sa kasnom promenom pritiska (pojavljuje se neželjena smičuća orijentacija u obratku zbog povratnog tečenja polimera)
- ubrizgavanje sa preranom promenom pritiska
- ubrizgavanje sa optimalnom promenom pritiska



Slika 14. Profil pritiska u kalupu u zavisnosti od pozicije tačke promene naknadnog pritiska

U slučaju preranog svičavanja pritiska (slika 14c) ubrizgavanje se nastavlja sa naknadnim (nižim) pritiskom, što smanjuje brzinu strujanja pri brizganju i izaziva određene greške na površini otpreska.

Promena pritiska vrši se u zavisnosti od:

- ❖ vremena
- ❖ hoda
- ❖ pritiska u kalupu
- ❖ sile zatvaranja

1. Promena pritiska u zavisnosti od vremena.

Ovaj način promene pritiska vrši se samo na osnovu predhodno utvrđenog vremenskog perioda koji se meri u odnosu na početak ubrizgavanja. Ne uzima u obzir nikakve druge faktore. Ovo je najlošija varijanta promene pritiska i ne preporučuje se.

2. Promena pritiska u zavisnosti od hoda.

Vrši se na osnovu informacije o aksijalnom hodu puža. Ovakav način promene pritiska takođe može biti problematičan jer ne uzima u obzir aktuelne parametre procesa

3. promena pritiska u zavisnosti od pritiska u kalupu.

Promena pritiska vrši se u momentu dostizanja zadate vrednosti pritiska u kalupu, što predstavlja najbolju varijantu. To podrazumeva permanentno merenje pritiska u kalupu. Međutim, i ovaj način promene pritiska ne može da uzme u obzir uticaj drugih parametara kao što je temperatura rastopa, temperatura ulja, brzina puža itd.

4. promena pritiska na osnovu sile zatvaranja.

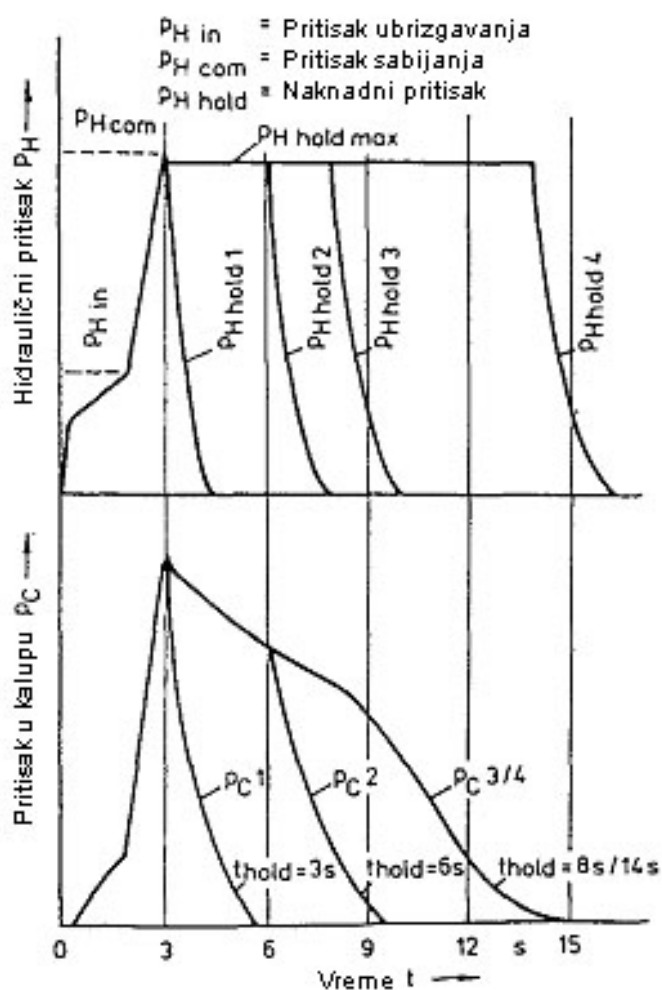
Promena pritiska u kalupu utiče na silu zabravljivanja, pa se trenutak promene pritiska može vezati za trenutak pojave određenog opterećenja. To podrazumeva permanentno praćenje sile zatvaranja, koja se meri pomoću elektronskih dinamometara (merne trake) ugrađenih na alatu ili polugama mehanizma za zatvaranje.

## Naknadni pritisak

Nakon faze ubrizgavanja započinje faza hlađenja tokom koje je potrebno obezbediti delovanje naknadnog pritiska, kako bi se nadomestila dodatna količina rastopa zbog skupljanja materijala usled hlađenja.

Veličina i dužina trajanja naknadnog pritiska ima značajan uticaj na izgled, dimenzije i kvalitet proizvoda.

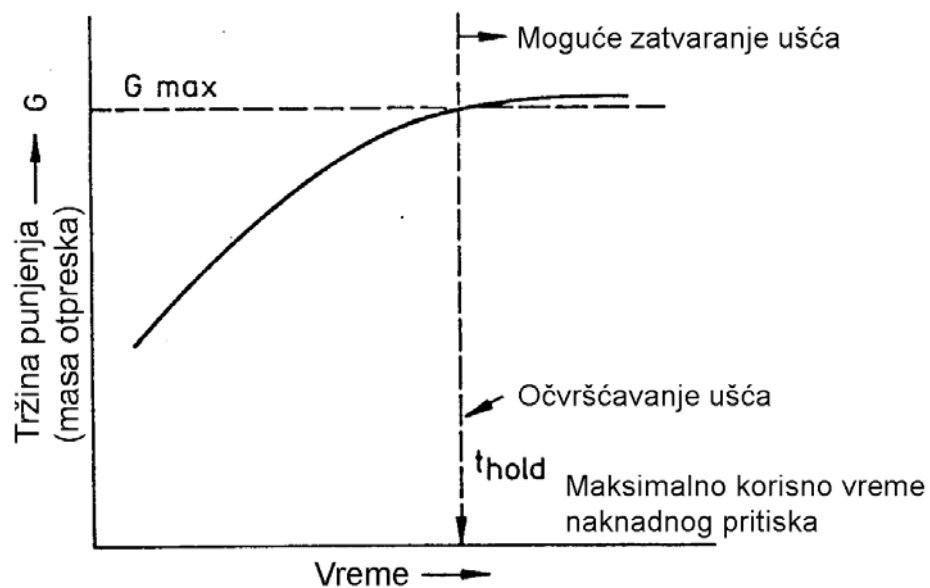
Veličina naknadnog pritiska može se utvrditi praćenjem dimenzija i izgleda površina otpreska – obradak ne sme imati manje dimenzije i ulegnuća na površinama. Dužina trajanja naknadnog pritiska je često problematična i mora se podešavati. Nakon očvršćavanja rastopa u ušću šupljine prestaje razlog za delovanjem naknadnog pritiska (slika 16).



Slika 15. Profil pritiska u hidrauličnom sistemu i kalupnoj šupljini u zavisnosti od dužine trajanja naknadnog pritiska

Slika 15 pokazuje profil hidrauličnog pritiska ( $p_H$ ) u zavisnosti od vremena. Donji deo slike prikazuje uticaj vremena zadržavanja ( $t_{hold}$ ) na profil pritiska u kalupu.

Bez merenja pritiska u kalupu ne može se utvrditi maksimalni efekat naknadnog pritiska.



Slika 16. Zavisnost mase otpreska od vremena trajanja naknadnog pritiska

Slika 16 pokazuje da posle maksimalnog vremena delovanja naknadnog pritiska, dalje zadržavanje ne utiče na težinu otpreska.

## 2.2. Temperatura

Značajan uticaj na injekciono oblikovanje imaju:

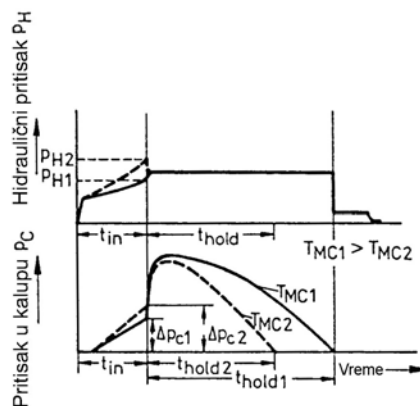
1. temperatura rastopa
2. temperatura ulja u hidrauličnom sistemu
3. temperatura kalupa

### 2.2.1. Temperatura hidrauličnog ulja

Energetski gubici u ventilima, pumpi i cevovodu zavise od viskoznosti ulja, a viskoznost veoma zavisi od temperature. Zbog toga sva kretanja prilikom injekcionog presovanja zavise od temperature ulja. Radi toga mašina mora imati mogućnost kontrole temperature hidrauličnog ulja pre početka proizvodnje.

### 2.2.2. Temperatura rastopa

Termodinamičke karakteristike rastopa, kao na primer viskoznost, entalpija i specifična zapremina zavise od temperature rastopljenog polimera.

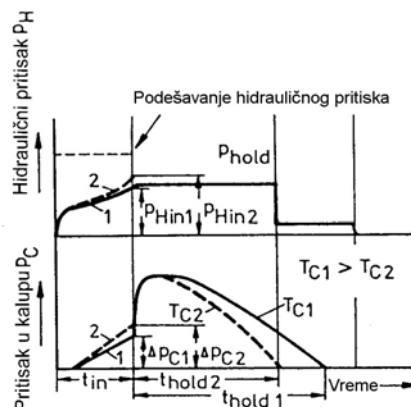


Slika 17. Uticaj temperature rastopa ( $T_M$ ) na profil pritiska u hidrauličnom sistemu i kalupu

Kod veće temperature rastopa ( $T_{MC1} > T_{MC2}$ ) viši je pritisak u kalupu i duže vreme očvršćavanja ušća (slika 17).

### 2.2.1. Temperatura kalupa

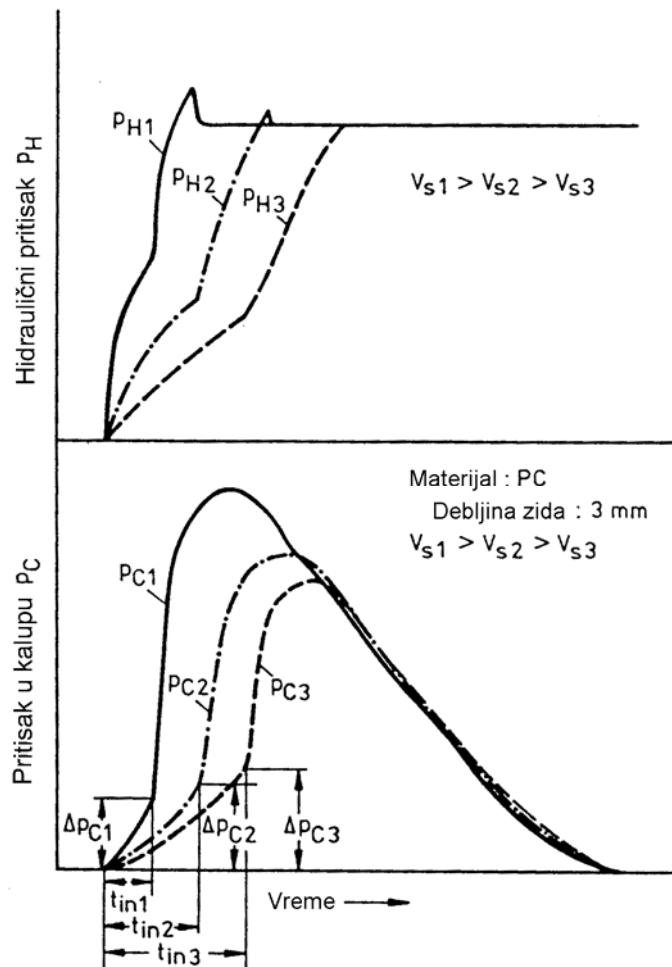
Temperatura kalupa je glavni uticajni faktor ekonomičnosti procesa, tačnosti dimenzija i kvaliteta popunjavanje kalupa. Temperatura kalupa zavisi od sistema hlađenja. Uticaj temperature kalupa na profil pritiska u kalupu ( $p_C$ ) i hidrauličnom sistemu ( $p_H$ ) dat je na slici 18.



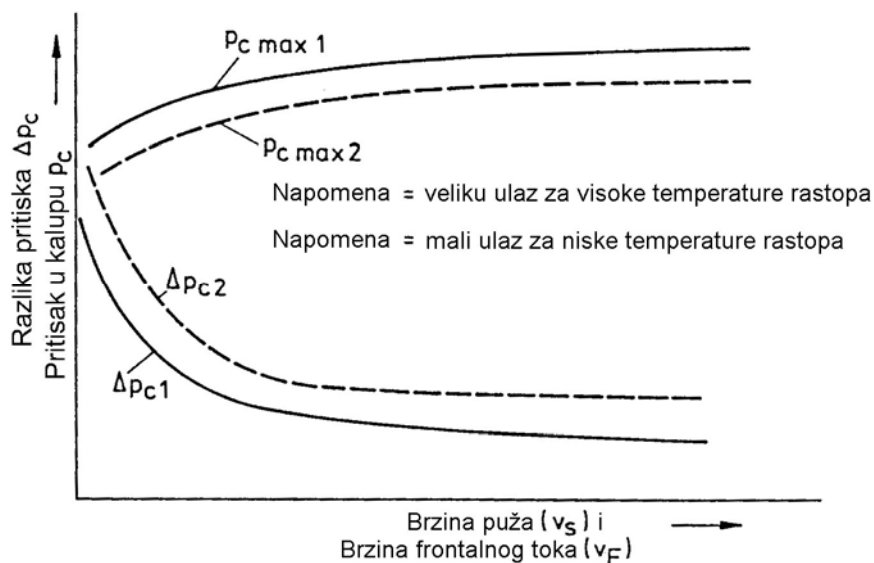
Slika 18. Uticaj temperature šupljine  $T_c$  na hidroilično pritisak i pritisak u kalupu

### 2.3. Brzina puža

Brzina aksijalnog pomeranja puža ima uticaja na proces u fazi ubrizgavanja. Na slici 19 prikazan je uticaj brzine puža na pritisak u kalupu i hidraulični pritisak – porastom brzine puža raste i hidraulični pritisak ( $p_H$ ) i pritisak u kalupu ( $p_C$ ). Pad pritiska u kalupu opada porastom aksijalne brzine puža (slika 20).



Slika 19. Pritisci u hidrauličnom sistemu i kalupnoj šupljini u zavisnosti od brzine puža



Slika 20. Diferencijalni pritisak za vreme ubrizgavanja i maksimalni pritisak u kalupu u funkciji od brzine puža i brzine fronta tečenja

## 2.4. Uticaj tehnologije injekcionog presovanja na osobine obratka

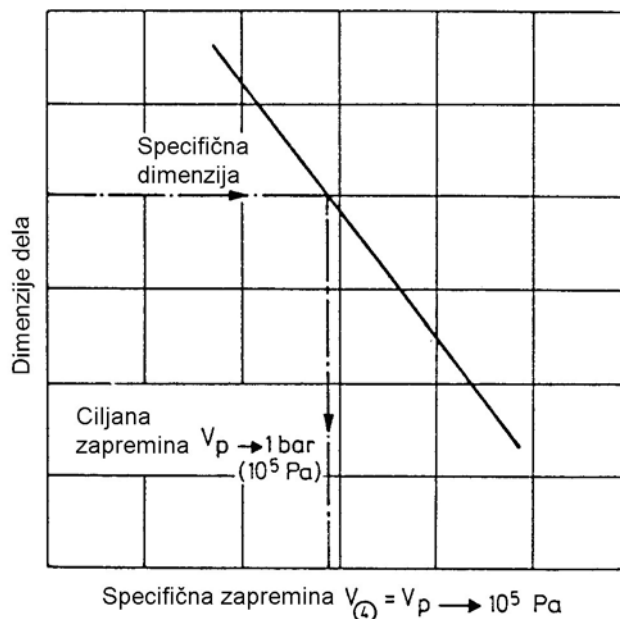
### 2.4.1. Dimenziona stabilnost

Svi predhodno analizirani parametri utiču na dimenzionu stabilnost otpreska (*tabela 1*). Uticaj osnovnih parametara može se sagledati u PVT dijagramu.

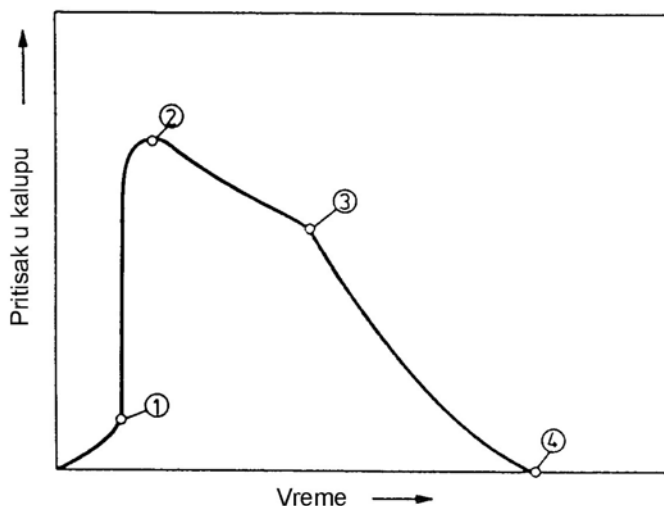
*Tabela 1. Uticaj obrađenih parametara na dimenzije dela*

Parametri procesa	Efekti	Dimenzije dela rezultat od	
		nepromenjive dimenzije kalupa	dimenzije kalupa pod uticajem ventilisanja kalupa
Porast temperature rastopa	(a) porast zapremine (b) bolje prenošenje pritiska	(a)↓ (b)-	(a)- (b)↑
Porast temperature kalupa	Više oslobadjanje temperature	↓	↓
Porast brzine brizganja	Bolji prenos pritiska u toku faze naknadnog pritiska	↑	↑
Porast naknadnog pritiska	Bolja kompresija volumetriskog skupljanja u toku faze hladjenja; bolja kompresija rastopa	↑	↑
Porast vremena naknadnog pritiska	Kao i gore, pre očvršćavanja ulaza	↑	↑
	Posle očvršćavanja ulaza	-	-
Porast deformacije kalupa od pritiska u šupljini	Zaptivalje prostora velikom deformaciom pod uticajem dimenzije oduška	↑	↑
Geometrija ušća: porast preseka ušća	Indirektni efekti, (u odnosu na brzinu brizganja, naknadnog pritiska, temperature topljenja)	↑	↑

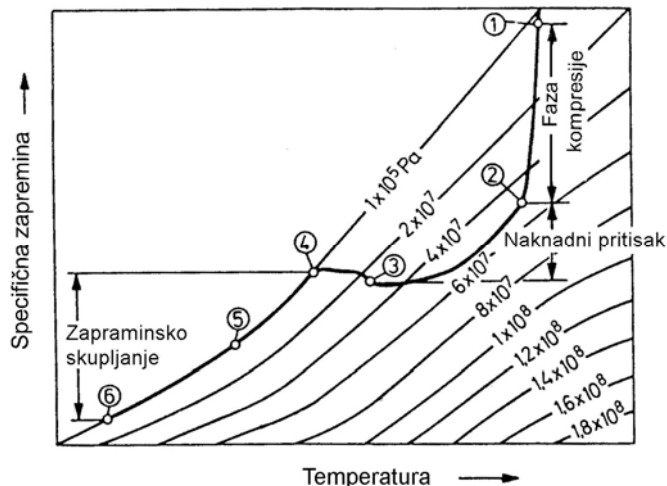
Na slici 21 prikazana je zavisnost između dimenzija obratka i specifične zapremine, koja se zbog linearnosti može odrediti sa malim brojem eksperimenata. Promena stanja rastopa tokom presovanja prikazana je u PVT dijagramu.



Slika 21. Zavisnost između dimenzija obratka i specifične zapremine



Slika 22. Pritisak u kalupu u toku vremena; uticaj parametara i zavisne osobine otpreska



Slika 23. PVT dijagram termoplasta i pad pritiska u kalupu



## 2.5. Mehaničke i fizičke osobine otpresaka

Mehanička i fizička svojstva delova dobijenih injekcionim presovanjem, osobito delova od termoplasta, ne zavise isključivo od hemijskog sastava polaznog materijala i njegovih polaznih osobina. Svojstva otpresaka kao što su čvrstoća, tvrdoća, toplotna distorzija, dimenziona stabilnost, osobine loma, mogu biti više ili niže kod jednog istog polaznog materijala, što zavisi od tehnike proizvodnje.

Osobine delova od termoplasta zavise od:

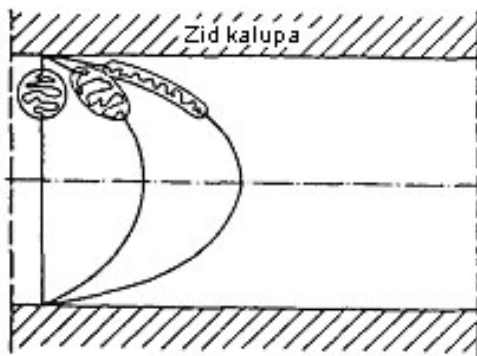
- ✚ orijentacije molekula
- ✚ zaostalih napona
- ✚ stepena kristalizacije
- ✚ orijentacije ispune

Faktori odgovorni za navedene pojave zavise od:

- ✚ vremena boravka materijala u cilindru
- ✚ temperature topljenja
- ✚ intenziteta smicanja u ulivnom sistemu za vreme ubrizgavanja

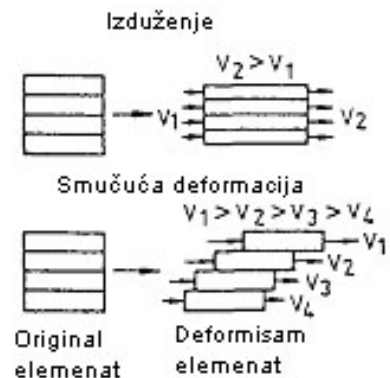
### 2.5.1 Molekularna orijentacija

Molekularna orijentacija predstavlja centriranje (postavljanje) molekularnih lanaca u određenom pravcu. U rastopljenom polimeru makromolekuli imaju randomiziranu orijentaciju. Međutim, pri injekcionom presovanju molekularni lanci zauzimaju posebnu orijentaciju, kao na primer na *slici 24*. Tangencijalni napon veći je u blizini površine kalupa (*slika 25*) što izaziva rastezanje molekularnih lanaca. Materijal se lepi za površinu kalupa, dok se centralna zona kreće brzo. Kada dođe do zastoja orijentisanih molekula, posle određenog vremena moguće je termalno (Brown-ovo) pomeranje, što predstavlja relaksaciju. Vreme relaksacije je nekoliko sekundi na temperaturi injekcionog presovanja.



Slika 24. Formiranje molekularne orijentacije.

Određen kružni deo je deformisan pod uticajem tečenja rastopa, koji je razlog što su molekularni lanci orijentisani direktno sa tečenjem

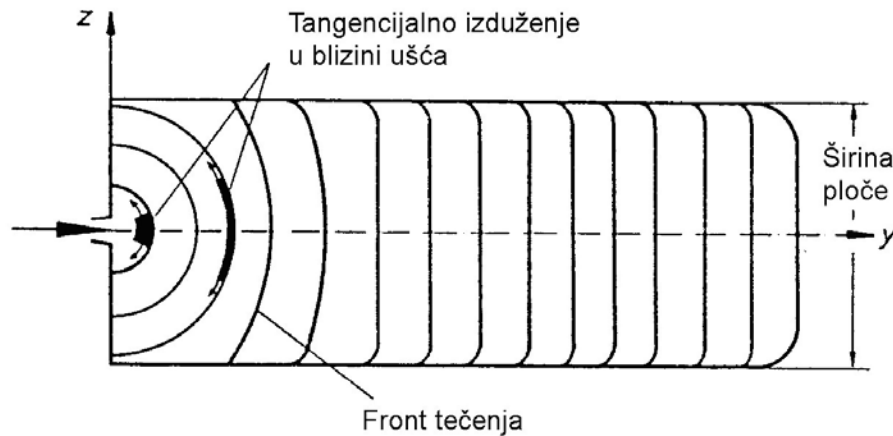


Slika 25. Izduženje i smučuća deformacija elemenata rastopa u zavisnosti od razlike brzine

Suprotno tome, na površini kalupa u deliću sekunde može doći do »zamrzavanja« tankog sloja. Procesi relaksacije i orijentacije molekularnih lanaca odvijaju se uporedo sa skupljanjem, pa se veličina skupljanja uzima kao merilo orijentacije.

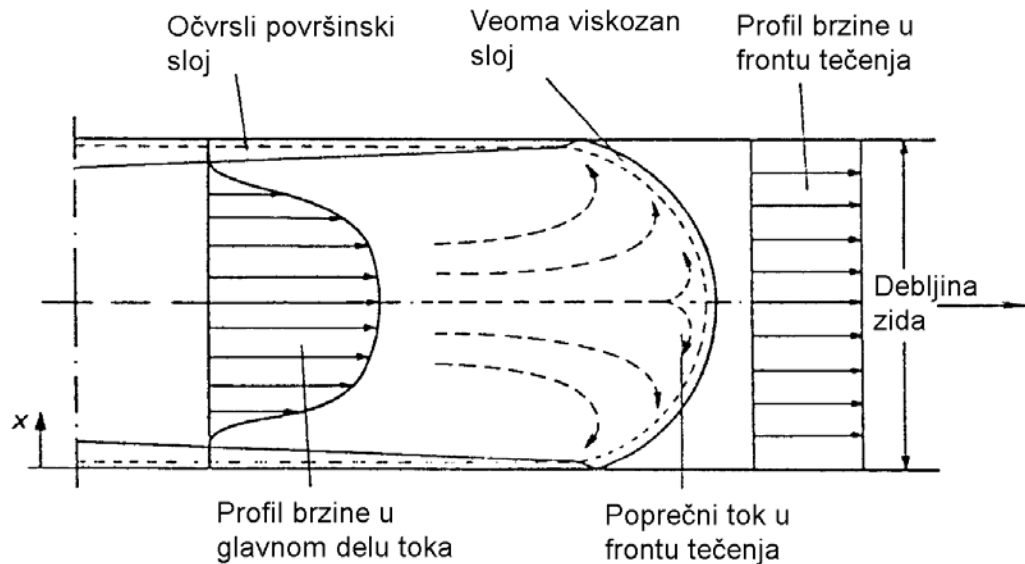
Orijentacija molekula kod injekcionog presovanja zavisi veoma od tangencijalne deformacije i izduženja. Kod ušća (*slika 26*) pojavljuje se radijalno smicanje i tangencijalno zatezanje koje je u stvari biaksijalno (dvoosno). Na nekom rastojanju od ušća gubi se biaksijalno zatezanje (izduženje-razvlačenje), a molekularna orijentacija posledica je smicanja u pravcu toka materijala.

Eksperimenti pokazuju da je molekularna orijentacija najintenzivnija u blizini površine kalupa na kojoj dolazi do lepljenja rastopljenog materijala. Povećanjem debljine čvrstog sloja, maksimum orijentacije pomera se ka centru.



*Slika 26. Oblik fronta tečenja u različitim trenucima za vreme punjenja kalupa*

Na *slici 27* prikazana je molekularna orijentacija i biaksijalno razvlačenje.



*Slika 27. Profil brzine u uzdužnoj prelaznoj oblasti*

Posledica orijentacije molekula je anizotropija osobina materijala otpreska, što je posebno vidljivo kod mehaničkih osobina. Čvrstoća je uvek veća u pravcu orijentacije u odnosu na upravani pravac. U tabeli 2 dati su podaci o uticaju parametara procesa kod injekcionog presovanja na stepen orijentacije i anizotropiju.

Tabela 2. Uticaj parametara prerade na orijentaciju i anizotropiju

Parametri procesa	Efekat	Stepen orijantacije	Anizotropanija
Porast temperature rastopa	Porast vremena otpuštanja	↓	↓
Porast temperature kalupa	Porast vremena opuštanja	↓	↓
Porast brzine brizganja	Veoma tanak površinski sloj Porast vremena opuštanja u jezgru	↓ ↓	↓ ↓
Porast naknadnog pritiska	Sprečavanje opuštanja, porast stepena hlađenja u toku bruzganja rastopa	↑ Unutrašnjost dela	↑
Geometrija			
Porast debljine zida	Mala brzina smicanja, dugo vreme opuštanja	↓	↓
Veoma tanak zid	Traži visoku brzinu ubrizgavanja, pretežna orijentacija u površinskom sloju	↑↑	↑↑
Promenljiva debljina zida	Kao i gore	↑↓	↑
Presek ušća	Indirektni efekti od brzine ubrizgavanja, naknadnog pritiska, temperature rastopa	↑↓	↑↓

## **2.5.2 Zaostali naponi**

Zaostali naponi su unutrašnji (mehanički) naponi koji postoje u komadu bez spoljašnjeg opterećenja. Oni su posledica promene ravnoteže atoma i promene valentnog ugla u molekularnom lancu kao i posledica promene rastojanja između segmenata molekularnog lanca. Deformacija usled zaostalih napona uvek je elastične prirode. Elastične deformacije usled zaostalog napona su znatno manje od elastičnih deformacija na granici tečenja, otprilike oko 10% od naznačene vrednosti.

Unutrašnji naponi u obratku obično su uravnoteženi, a ako to nije slučaj dolazi do njegovog krivljenja. Ovi naponi mogu dovesti čak i do loma pojedinih segmenata obratka. Unutrašnji naponi su posledica orijentacije makromolekularne strukture.

### *2.5.2.1. Naponi hlađenja*

Zaostali naponi su posledica različitog intenziteta hlađenja pojedinih slojeva materijala. Brzo hlađenje rastopljenog materijala u krutoj ljusti dovodi do pojave zatezanja u unutrašnjosti i do kompresije u spoljašnjoj ljusti što može dovesti do odvajanja slojeva materijala.

Žarenje na povišenoj temperaturi može da ubrza post-kristalizaciju. Smicanje rastopa na niskoj temperaturi povećava kristalnost. Posledica orijentacije molekula je stvaranje sferulita. Niska temperatura rastopa i kalupa + smicanje daje uslove za vrlo heterogenu strukturu obratka.

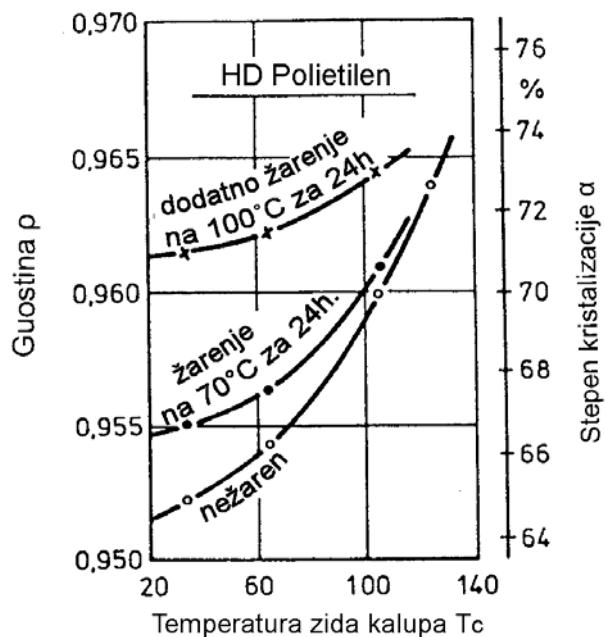
Navedeni efekti u preradi polimera rezultuju često lošim kvalitetom obratka. Generalno rečeno homogena struktura otpreska obezbeđuje bolja mehanička svojstva.

### *2.5.2.2. Zaostali naponi usled popunjavanja kalupa*

Visoki pritisak rastopljenog polimera, kao i naknadni pritisak uslovljavaju preopterećenje centralnog dela obratka, posebno u slučaju velikog ušća koje dozvoljava da taj proces traje duže. Nakon izbacivanja obratka usled rasterećenja na površini se pojavljuju visoki zatezni naponi koji mogu da izazovu pukotine. Prilikom hlađenja ovaj zaostali napon se smanjuje, ali se ne može u potpunosti eliminisati.

### 2.5.2 Kristalnost strukture (stepen kristalizacije)

Kristalizacija plastike je proces dovođenja molekularne strukture polimera u određenu formu. Tako uređene grupe molekula nazivaju se KRISTALITIMA. Oni se ne mogu videti na svetlosnom mikroskopu. Visok stepen kristalizacije obezbeđuje veću tvrdoću, čvrstoću i krutost. Stepem kristalizacije zavisi, primarno od molekularne strukture, kao i od parametara procesa i postproizvodnog tretmana. Temperatura kalupne šupljine ima veliki uticaj na kristalizaciju (slika 31). Visoki nivo hlađenja rezultuje niskom kristalnošću. Brzo ohlađeni delovi imaju nisko transparentnu pokožicu. Kod takvih otpresaka može se očekivati naknadna postprocesna kristalizacija i promena dimenzija.



Slika 31. Stepem kristalizacije i gustina dela u funkciji temperature kalupa

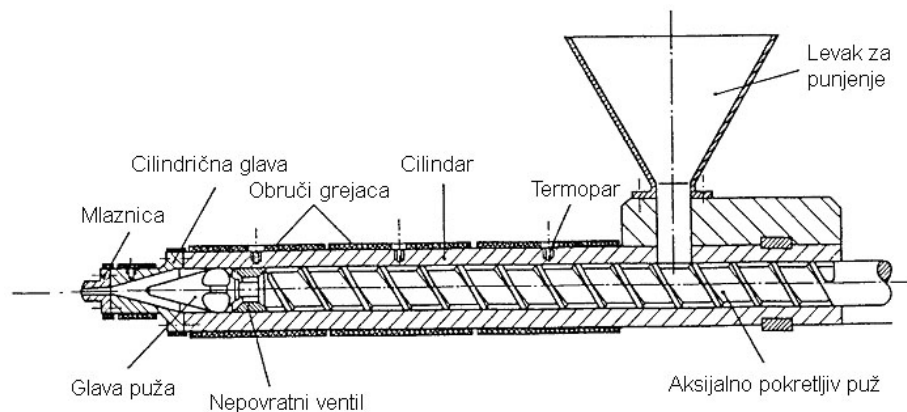
### 3. JEDINICA ZA UBRIZGAVANJE

Jedinica za injekciono ubrizgavanje ima zadatak da prihvati sirovi materijal, da ga zagreje i rastopi, zatim da ga ubrizga u kalup i održi pod naknadnim pritiskom određeno vreme.

Jedinica za ubrizgavanje može biti:

- ✚ jednostepena sa klipom
- ✚ dvostepena sa klipom i pužem sa pužnom plastifikacijom
- ✚ linijska sa aksijalno pomerljivim pužem.

Jednostepena injekciona jedinica sa klipom interesantna je za manje mašine, sa klipom prečnika 10-20mm. Današnje moderne mašine grade se sa aksijalno pomerljivim pužem (*slika 32*).

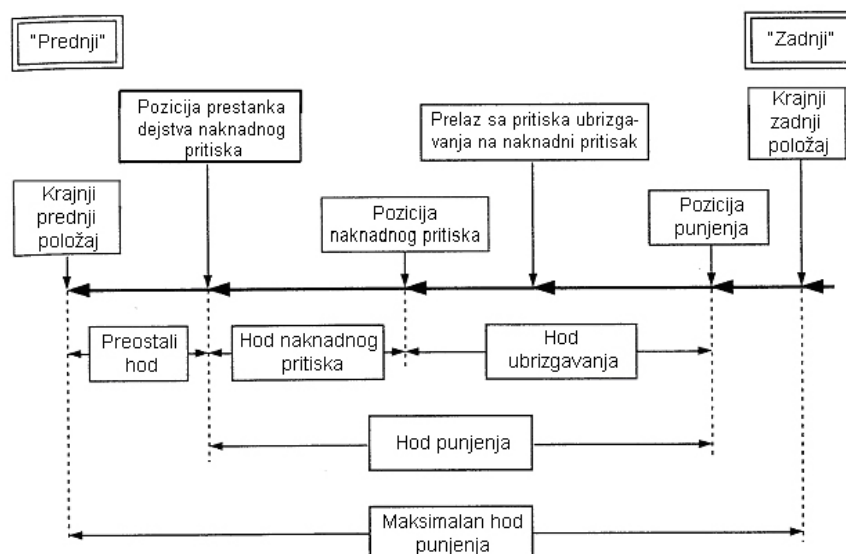


Slika 32. Jedinica za ubrizgavanje

Najvažnije funkcije injekcione jedinice su:

- ✚ pomeranje do kontakta mlaznice i otvora ulivne čaure
- ✚ generisanje kontaktnog pritiska između mlaznice i ulivne čaure
- ✚ rotiranje puža
- ✚ aksijalno pomeranje puža za vreme ubrizgavanja
- ✚ stvaranje naknadnog pritiska

Na *slici 33* prikazan je dijagram hoda puža sa označenim pozicijama pojedinih funkcija u radnom ciklusu.



Slika 33. Pozicija i hodovi aksijalno pomerljivog puža za vreme jednog ciklusa

Osim gore navedenih nezavisnih operacija, moderne mašine snabdevene su i sa:

- ✚ mehanizmom za aksijalno pomeranje puža,
- ✚ simultanim aksijalnim i rotacionim kretanjem puža za presovanje pri rotaciji puža,
- ✚ kontrolom promene hoda, brzine, broja obrtaja puža i pritiska
- ✚ automatskom zamenom jedinice za plastifikaciju u slučaju promene materijala.

### 3.1 Pritisak ubrizgavanja

Pritisak ubrizgavanja je jedan od najvažnijih parametara procesa koji je takođe karakteristika jedinice za ubrizgavanje. Pritisak ubrizgavanja nastaje u rastopljenom materijalu ispred čela puža u fazi ubrizgavanja kada puž ima ulogu klipa. On zavisi od brzine pomeranja puža, rotacije, zatim od procesa popunjavanja kalupa. Nema realnih podataka o njegovom iznosu u fazi ubrizgavanja. Međutim, obično se pritisak ubrizgavanja definiše sa odgovarajućom vrednošću u hidrauličnom cilindru.

Pritisak ubrizgavanja u kratkom vremenskom periodu od baromerarske vrednosti poraste na iznos dovoljan da savlada otpore u dizni, ulivnom sistemu i kalupnoj šupljini. Zbog brzine procesa ubrizgavanja, otpora u dizni i ulivnom sistemu teško je utvrditi veličinu pritiska pri ubrizgavanju (*vidi sliku 8a*). Uticaj pojedinih otpora na pritisak ubrizgavanja prikazan je na *slici 8b i 8c*. *Slika 9* ilustruje profil pritiska u hidrosistemu tokom procesa ubrizgavanja.

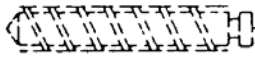
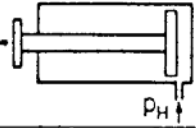




Pritisak u hidrosistemu može se lako meriti. Današnje moderne mašine imaju merne jedinice za pritisak ugrađene u kalup koje daju direktnu informaciju o ovom parametru. Maksimalni pritisak za pojedine materijale dat je u *tabeli 3*.

*Tabela 3. Pritisak ubrizgavanja za pojedine materijale*

Materijal	Pritisak potreban za presovanje (MPa) <sup>a</sup>		
	Lako tečljiv materijal, teška sekcija	Srednje tečljiv materijal, standardna sekcija	Visoko tečljiv materijal, tanak odeljak, malo ušće
ABS	80 - 110	100 - 130	130 - 150
POM	85 - 100	100 - 120	120 - 150
PE	70 - 100	100 - 120	120 - 150
PA	90 - 110	110 - 140	> 140
PC	100 - 120	120 - 150	> 150
PMMA	100 - 120	120 - 150	> 150
PS	80 - 100	100 - 120	120 - 150
Kruti PVC	100 - 120	120 - 150	> 150
Termoseti	100 - 140	140 - 175	175 - 230
Elastomeri	80 - 100	100 - 120	120 - 150

Raspon pritiska je od 700 do 2300 Bara.

Traženi pritisak (*tabela 3*) mora se praktično ostvariti i u fazi plastifikacije pomoću odgovarajućeg kompleta puž-cilindar (*slika 34*) tj. sa odgovarajućim kompresionim odnosom.

Upotreba za obradu:	Pritisak ubrizgavanja (MPa)	Prečnik puža i unutrašnjosti cilindra	Hidraulična jedinica	Stepen kompresije
Specijalne slučajeve	Nijviši pritisak			10-12
Termosete, PC, PMMA i krut PVC pod različitim uslovima	200-250		Kao i gore	9-11
Standardne procese za termoplaste i elastomere	170-180		Kao i gore	7- 9
Lako tečljive materijale i slučaj sa malim otporom tečenja	120-140		Kao i gore	6- 8
Specijalne sličajeve	100-120		Kao i gore	6- 7

Slika 34. Opseg pritiska ubrizgavanja u inekcionoj jedinici

Maksimalni pritisak u cilindru:

$$p_{\max} \cong 1.25 \cdot p_{\text{req}}$$

$p_{\text{req}}$  - zahtevani pritisak (*tabela 3*)

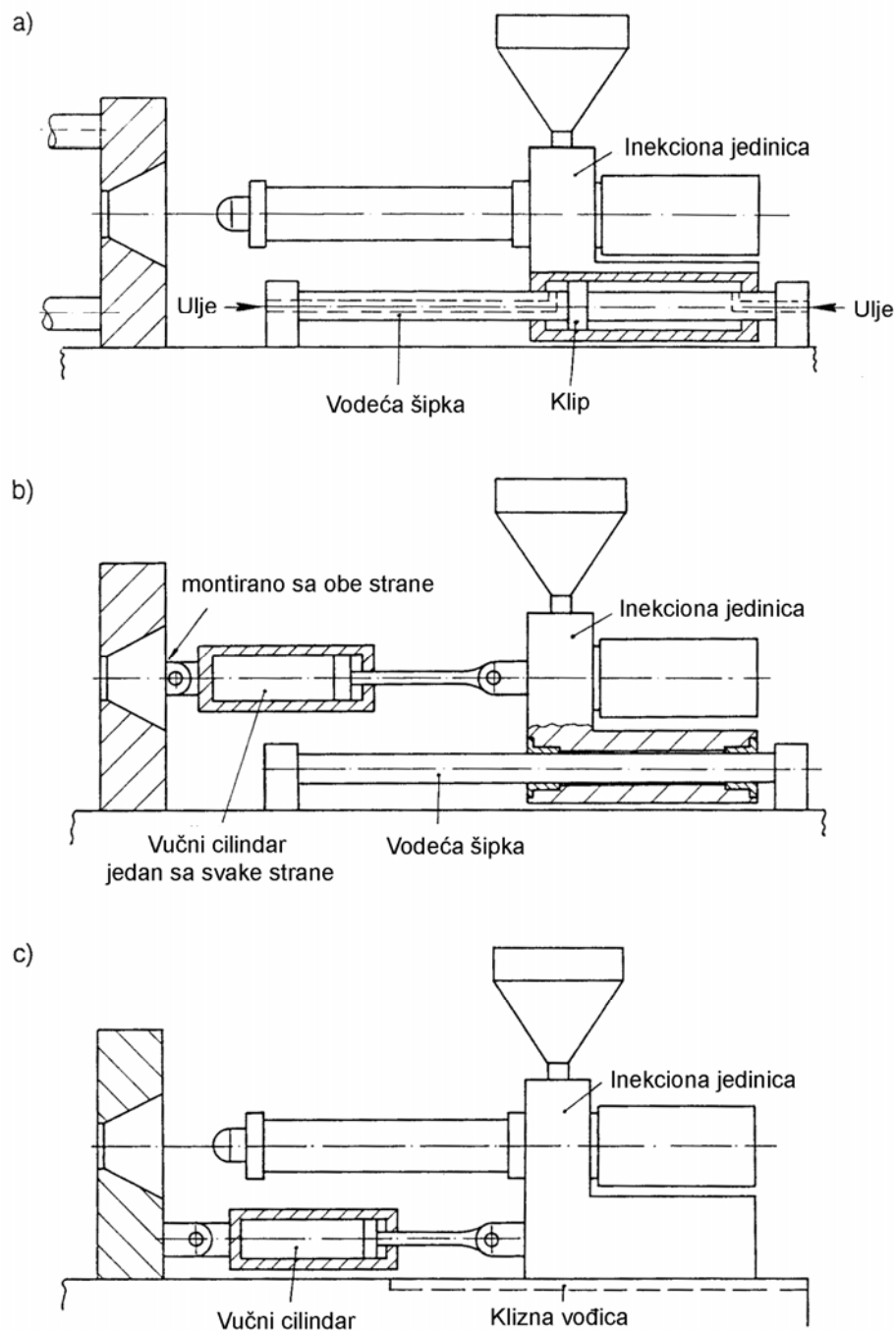


### 3.2 Vođice inekcione jedinice

Standardna konstrukcija mašina je takva da se jedinica za ubrizgavanje nalazi sa desne strane nepokretne ploče. Vođice inekcione jedinice obično su saosne sa osom cilindra. Vođice mogu biti izgrađene kao samostalni stubovi ili u kombinaciji sa klipom odnosno cilindrom (*slika 36a*). Snabdevanje cilindra uljem može se vršiti kroz stubove.

Naprednija varijanta vođica sastoji se od dva pokretna cilindra u istoj ravni sa radnim cilindrom i pužem (*slika 36b*) zbog toga što oni ne proizvode ekscentrično opterećenje i omogućuju centrično naleganje dizne na ulivnu čauru.

Varijanta sa vođicama (*slika 36c*) primenjuje se kod većih mašina zbog velike težine. U ovom slučaju obezbeđeno je vođenje inekcione jedinice u dve ravni.



Slika 36. Vođice inekcione jedinice

Poslednja verzija konstrukcije ima hidraulični cilindar za aksijalno pomeranje puža koji je smešten koaksijalno sa zadnje strane.

Kod svih konstrukcija vođenja injekcione jedinice mora se obezbediti centričnost mlaznice i ulivne čaure. Pomeranje injekcione jedinice mora biti glatko i stacionarno, vrlo često sa velikim brzinama. Za vreme pomeranja injekcione jedinice ne sme biti zaglavljivanja, uvrtanja i drugih devijacija kretanja. Prosečne brzine kretanja injekcionih jedinica date su u *tabeli 4*. U *tabeli 5* date su prosečne vrednosti kontaktne sile (između mlaznice i ulivne čaure) kao i sila zatvaranja. Preporučene vrednosti sprečavaju curenje rastopa na kontaktu mlaznice i ulivne čaure.

*Tabela 4. Brzina kretanja injekcione jedinice*

Sila zatvaranja (kN)	Maksimalna brzina (mm/s)	Minimalna brzina (mm/s)
< 500	300 – 400	20 – 40
501 – 2 000	250 – 300	30 – 50
2 001 – 10 000	200 – 250	40 – 60
> 10 000	200	50 – 100

*Tabela 5. Kontaktna sila između mlaznice i ulivne čaure*

Sila zatvaranja (kN)	Kontaktna sila (kN)
500	50 – 80
1 000	60 – 90
5 000	170 – 220
10 000	220 – 280
20 000	250 – 350

### 3.3 Pogonski sistem za obrtanje puža

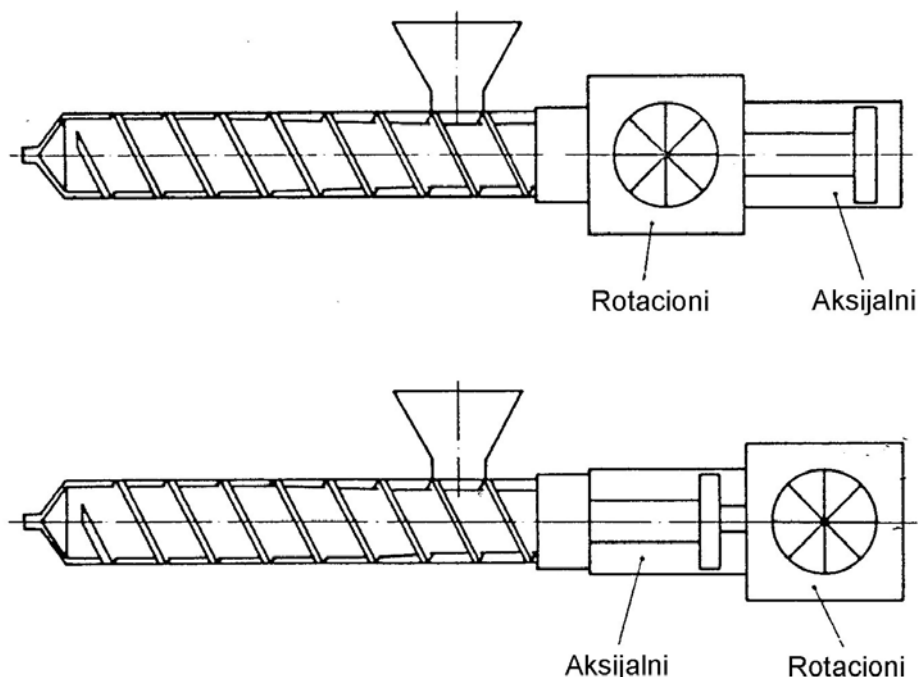
Kod obrade termoplasta 60% energije potrebne za plastifikaciju (a 90% kod termoseta) dobija se trenjem usled obrtanja puža. Zbog toga je prisutna značajna potrošnja energije u fazi punjenja cilindra, pa pogonski sistem mora biti na adekvatan način dimenzionisan i mora raspolagati odgovarajućim obrtnim momentom.

Rotacioni pogonski sistem puža karakteriše se metodom i pozicijom pogona:

- ✚ elektromotor sa reduktorom (puž ili zupčanicu)
- ✚ hidromotor sa reduktorom
- ✚ direktan hidropogon

U pogledu lokacije pogona moguće su dve varijante (*slika 37*)

- ✚ lokacija između puža i hidrocilindra
- ✚ iza hidrocilindra



*Slika 37. Dve mogućnosti lociranja pogona*

#### 3.3.1. Elektromotorni pogon puža

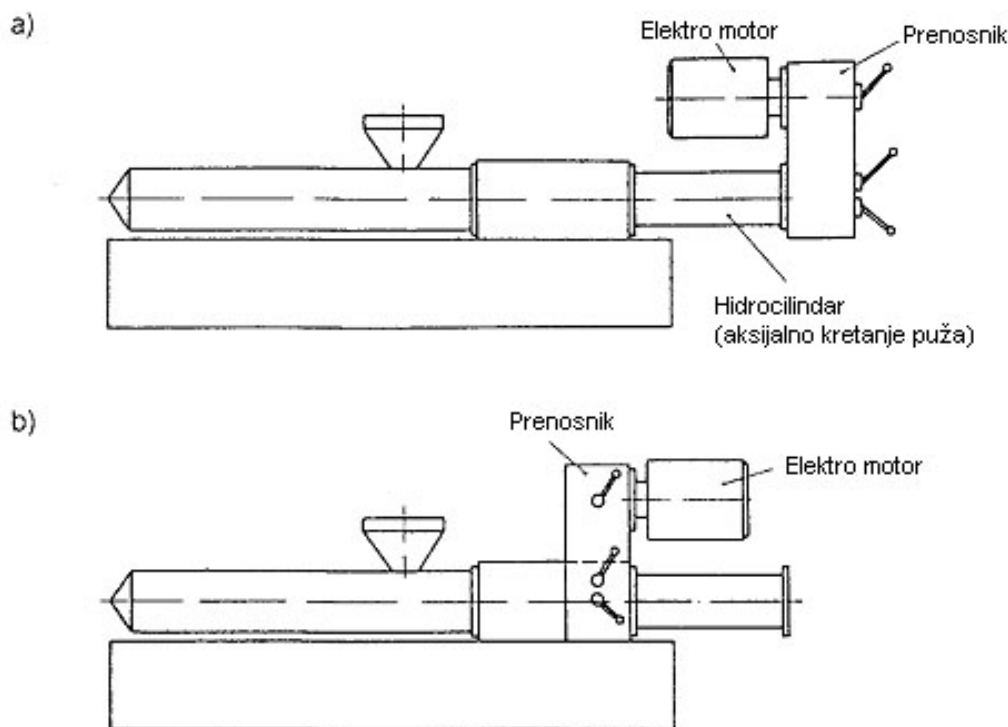
Ovaj pogon retko se koristi za male mašine, po pravilu nalazi primenu kod mašina sa silom zatvaranja preko 15.000 kN (15 MN). U tu svrhu koriste se trofazni elektro motori, u nekim slučajevima oni mogu biti snabdeveni mehaničkom kočnicom. U poslednje vreme primenjuje se direktni elektromotorni pogon, sa trofaznim motorom i frekventnim regulatorom što omogućuje regulaciju broja obrtaja.

Kada presovanje započne, elektromotor dobija signal za startovanje ili se preko spojnice uspostavlja veza sa motorom (koji se neprekidno okreće) i sa pužom. Verzija sa spojnicom poželjna je kod većih mašina.

Elektromotor ima veliki obrtni moment pa mali puževi moraju biti osigurani od preteranog naprezanja specijalnim zaštitnim sistemom. Pogon sa promenjivim brojem obrtaja puža je pogodniji i ima prednost.

Elektromotor sa elektronski upravljanom mehaničkom kočnicom osigurava blagovremeno zaustavljanje puža i sprečava njegovo kontra-obrtanje za vreme ubrizgavanja. Ovo je posebno važno za slučaj cilindra bez nepovratnog ventila.

Varijante elektromotornog pogona date su na slici 38.



Slika 38. Pogonski sistemi za obrtanje puža sa elektro motorom  
 a. Prenosnik pozadi, bez kretanja za vreme ubrizgavanja ili povratka  
 b. Prenosnik između hidrocilindra i puža, kretanje sa pužom

### 3.3.2. Hidraulični pogon puža

Umesto elektromotora često se koristi hidraulični motor za okretanje puža pretvarajući hidrauličnu snagu u mehaničku. ( $p_H \cdot V_H = T \cdot n$ )

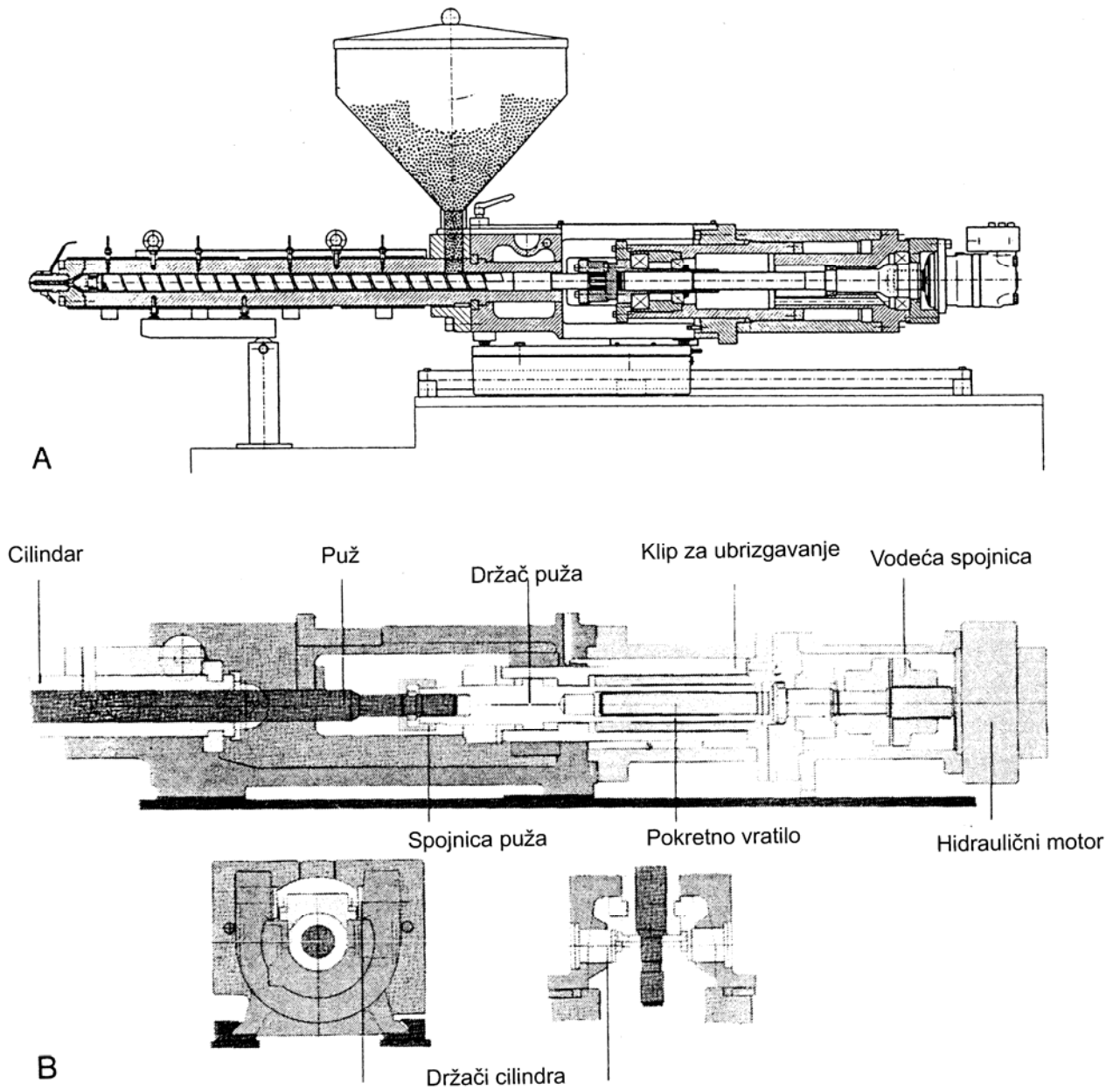
Hidromotor ima konstrukciju koja je slična pumpi.

Tipovi hidromotora su:

- ⚙ zupčasti hidromotor
- ⚙ unutrašnji zupčasti
- ⚙ lopatični
- ⚙ radijalni i aksijalni hidromotor

Za pogon puža prečnika Ø50-200mm uglavnom se koriste sporohodni radijalni klipni motori, koji se karakterišu glatkim radom.

Tačno pozicioniranje puža za vreme ubrizgavanja je veoma važno za kvalitet presovanja. To se može postići ako je masa pokretnog dela mala. To se postiže sa stacionarnim motorom koji se pomoću spojnice povezuje sa pužem (slika 39 a i b). Hidro pogon je toliko lagan da se bez ikakvih posledica može postaviti na injekcionu klupu (jedinicu). Karakteristika male mase pogona puža se gubi ako postoji potreba za reduktorom između elektro- odnosno hidromotora i puža.

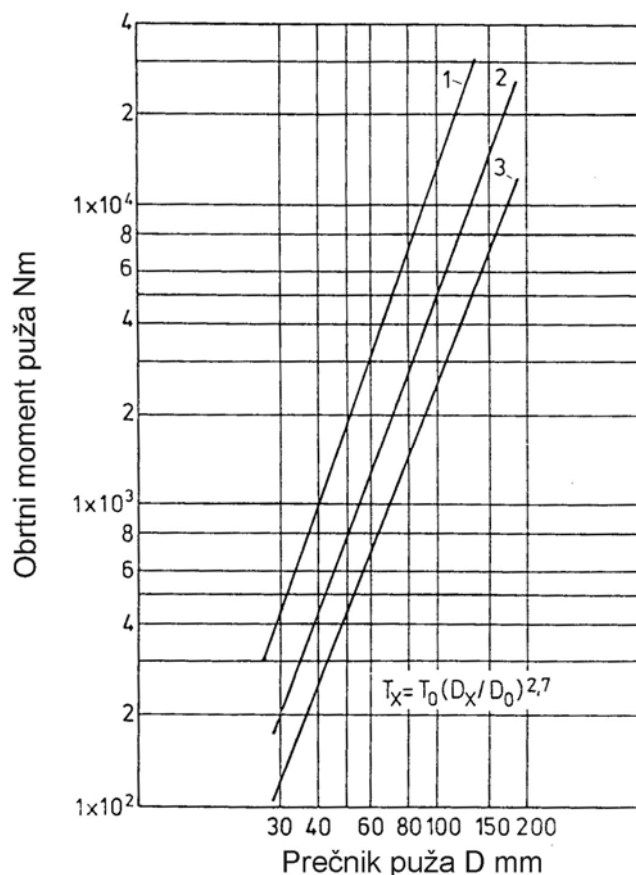


*Slika 39. Hidraulični pogonski puž  
 A: Konvencionalna noseća koaksijalna jedinica sa unutrašnjim klizanjem  
 B: Pomoćni brzo-zatvarajući uređaj za cilindar*

### 3.3.3. Obrtni moment

Rotacioni pogon puža veoma je važan za odvijanje procesa injekcionog presovanja. Obrtni moment i brzina puža utiču na transport, smicanje i homogenizaciju materijala. Dobar pogon puža mora da funkcioniše bez greške i kod velikih prečnika puža, čak i kod krutih materijala kao što su PVC, PC, Acryl, koji su veoma teški za obradu. Pogon puža dobro je dizajniran ako omogućuje i preradu termoseta.

Potreban obrtni moment puža za preradu termoplasta i termoseta može se odrediti iz dijagrama (slika 40).



Slika 40. Zavisnost obrtnog momenta od prečnika puža za dužinu 20 L/D  
1: Termoseti, 2: Termoplasti, 3: PS i PE

Obrtni moment za preradu elastomera približno je jednak istom za preradu termoseta.

Obrtni moment za ma koji prečnik puža određuje se iz jednačine:

$$T_x = T_o \cdot (D_x / D_o)^{2,7}$$

$T_o$  – obrtni moment za izabrani prečnik puža  $D_o$

Snaga potrebna za obrtanje puža:

$$N_s = C \cdot n_s \cdot T_s [KW]$$

$C = 0,001$  – konverzioni faktor

$n_s [s^{-1}]$  – broj obrtaja puža u sekundi

$T_s$  – obrtni moment puža

### 3.3.4. Brzina obrtanja puža

Brzina puža je važan parametar mašine i ulazni parametar procesa injekcionog presovanja. Obimna brzina puža je relevantna za kvalitet rastopljenog materijala. Broj obrtaja puža u funkciji brzine puža:

$$n_s = \frac{60 \cdot v_c}{D \cdot \pi} \quad (2)$$

$v_c$  – obimna brzina puža (iz dijagrama na slici 41)

$D$  – prečnik puža

Brzina puža treba da ispunjava sledeće kriterijume:

1. visoka brzina koristi se za izradu tankozidnih otpresaka za pakovanje od PS, PE, PP,
2. srednja brzina za inženjersku plastiku,
3. mala brzina za termosete i elastomere.

S obzirom na predhodno većina mašina gradi se sa:

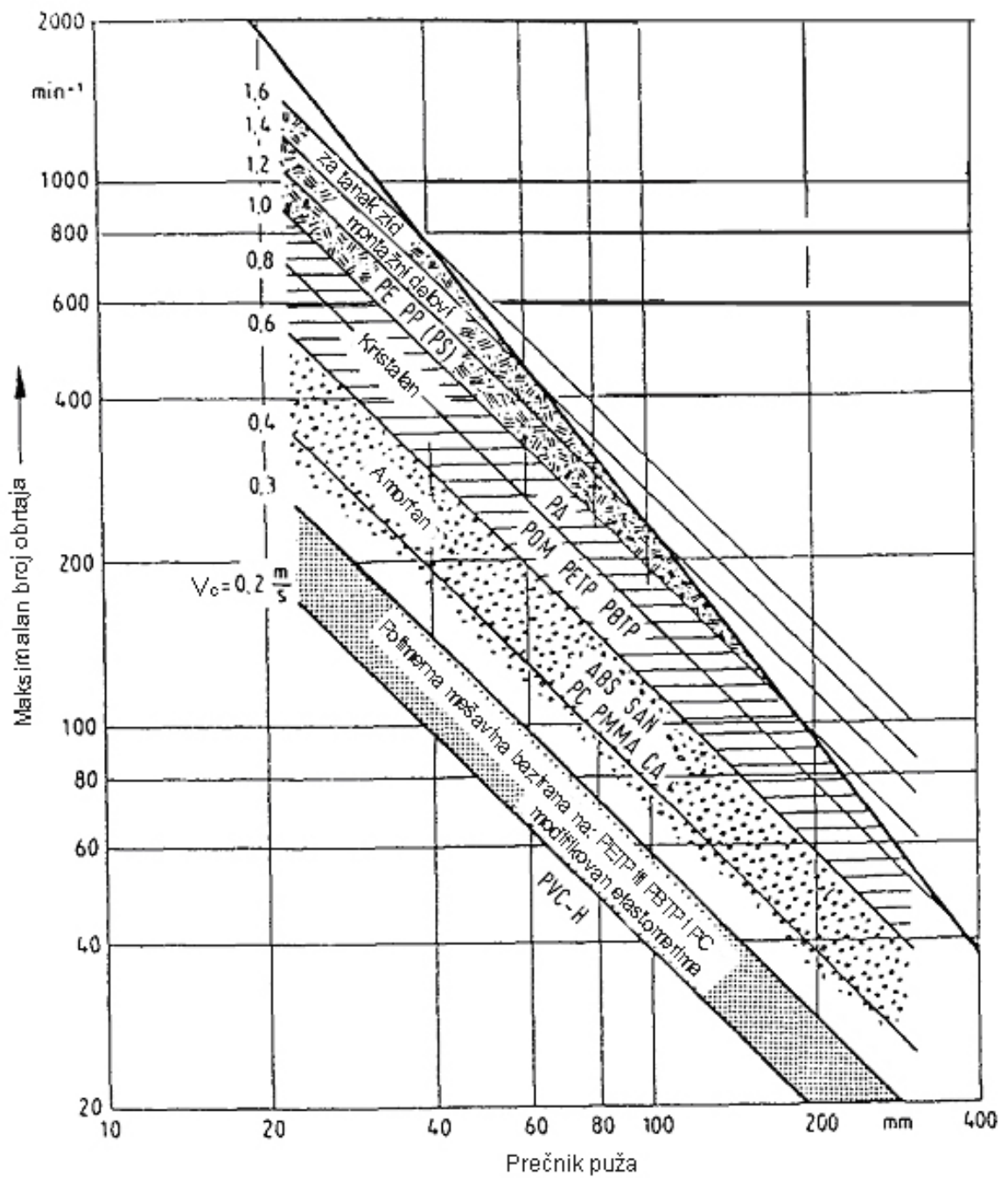
1. sa visokom brzinom tečenja rastopa  $v_c = 0.4 \div 1.5 \text{ m/s}$
2. standardnom brzinom tečenja rastopa  $v_c = 0.2 \div 0.4 \text{ m/s}$
3. niskom brzinom tečenja rastopa  $v_c = 0.05 \div 0.02 \text{ m/s}$

Brzina puža ili odgovarajući broj obrtaja prikazuje se na displeju radi kontrole. Međutim, većina mašina ipak nema mogućnost merenja i prikazivanja ovog parametra. Displej sa podacima podiže kvalitet presovanja.

Kod mašina sa hidromotorom upravljanje, tj. kontrola i podešavanje relevantnih parametara vrlo precizno se izvodi pomoću servo ventila.

Vrlo precizna kontrola brzine puža moguća je i kod trofaznog elektromotora. Ovaj sistem koji nije skup nudi se kod većine mašina, a frekventni regulator izbacuje reduktor iz pogona.

Na slici 41 dati su optimalni podaci za broj obrtaja puža u funkciji prečnika puža i vrste materijala.



Slika 41. Optimalna brzina puža zavisna od prečnika puža i kritične brzine  $V_c =$  obimna brzina



### 3.4 Puž

Kod prvih mašina za injekciono presovanje (oko 1956. godine) puž je imao ulogu da obezbedi brzinu razmene toplote između »vrućeg« cilindra i materijala.

Sadašnje moderne mašine koriste puž sa tri zone sa odnosom dužine i prečnika  $L/D=20:1 \pm 10\%$ . Kraći puž ne obezbeđuje adekvatan kvalitet rastopa. Duži puž od  $24D$  dovodi do degradacije određenog broja polimera iz grupe »inženjerske plastike«.

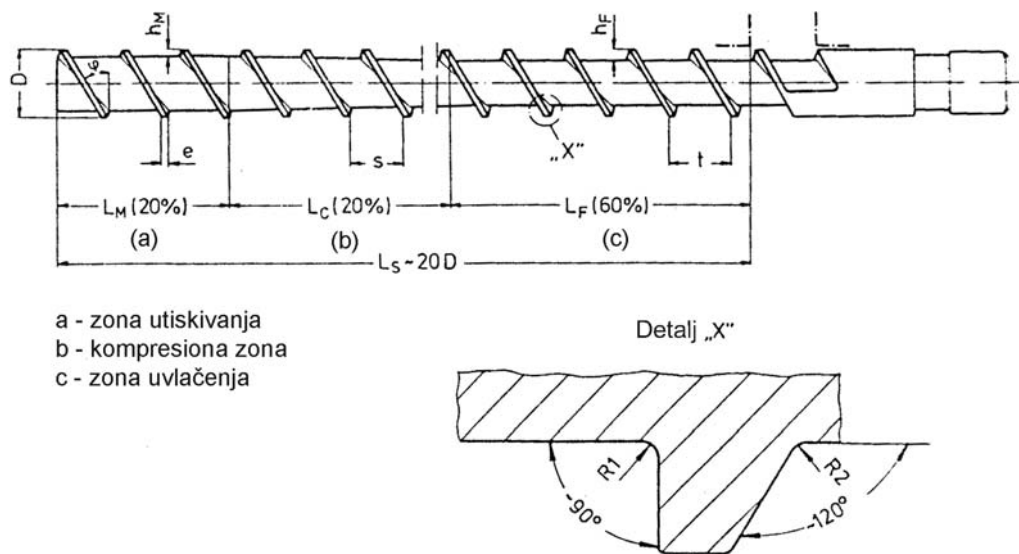
Puževi sa odnosom  $L/D$  od 22-26 primenjuju se kod mašina sa velikom brzinom strujanja, tj. za sektor pakovanje i zato se nazivaju »packing screws«. Oni su obično snabdeveni zonom za mešanje ili kombinacijom sektora za mešanje i smicanje sa dodatkom zone dodavanja.

Sadašnji puž prošao je intenzivan razvoj čiji je rezultat u provom planu mešanje i homogenizacija materijala. Standardna plastika zahteva obimnu brzinu puža od 0,4-1,5 m/s. Za mešanje i homogenizaciju na nižim temperaturama zahteva se da obimna brzina bude 0,1-0,3 m/s.

#### 3.4.1. Standardni puž za termoplaste

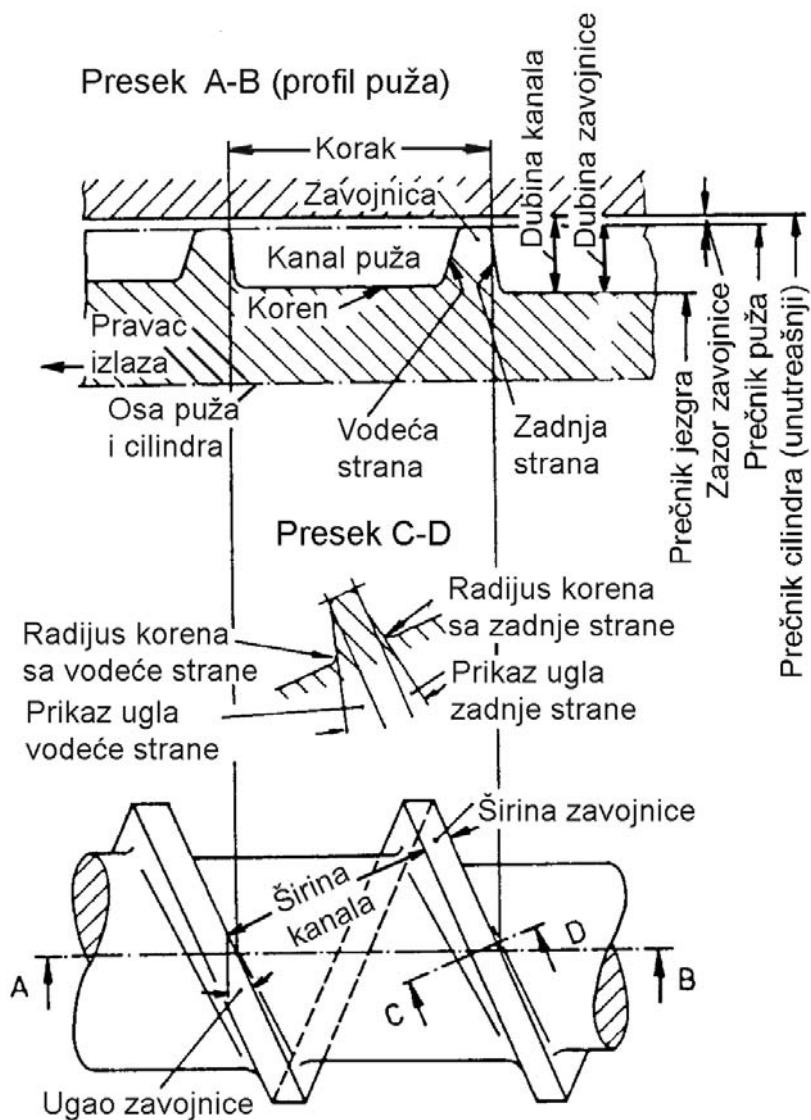
Moderan puž za injekciono presovanje termoplasta prikazan je na slici 42, a na slici 43 prikazani su pojedini delovi puža sa nazivima. Važne dimenzije puža su:

$h_F$  – dubina zavojnice i odnos dubine zavojnice ( $h_F/h_M$ ).



Slika 42. Puž za injekciono presovanje

U tabeli 6 dati su podaci za dimenzije puža prečnika  $\varnothing 30-120$  mm, koje mogu poslužiti kao osnova za konstruisanje puža. Na slici 44 prikazan je dijagram koji daje zavisnost dubine zavojnice puža od prečnika, kao i podatke o stepenu kompresije. Manja dubina zavojnice primenjuje se kod kristalastih termoplasta i nisu podobne za kruti PVC. Standardna dužina puža je  $20 \cdot D [mm]$ , a povećanje ove mere može prouzrokovati degradaciju termoplasta zbog pojačanog trenja.

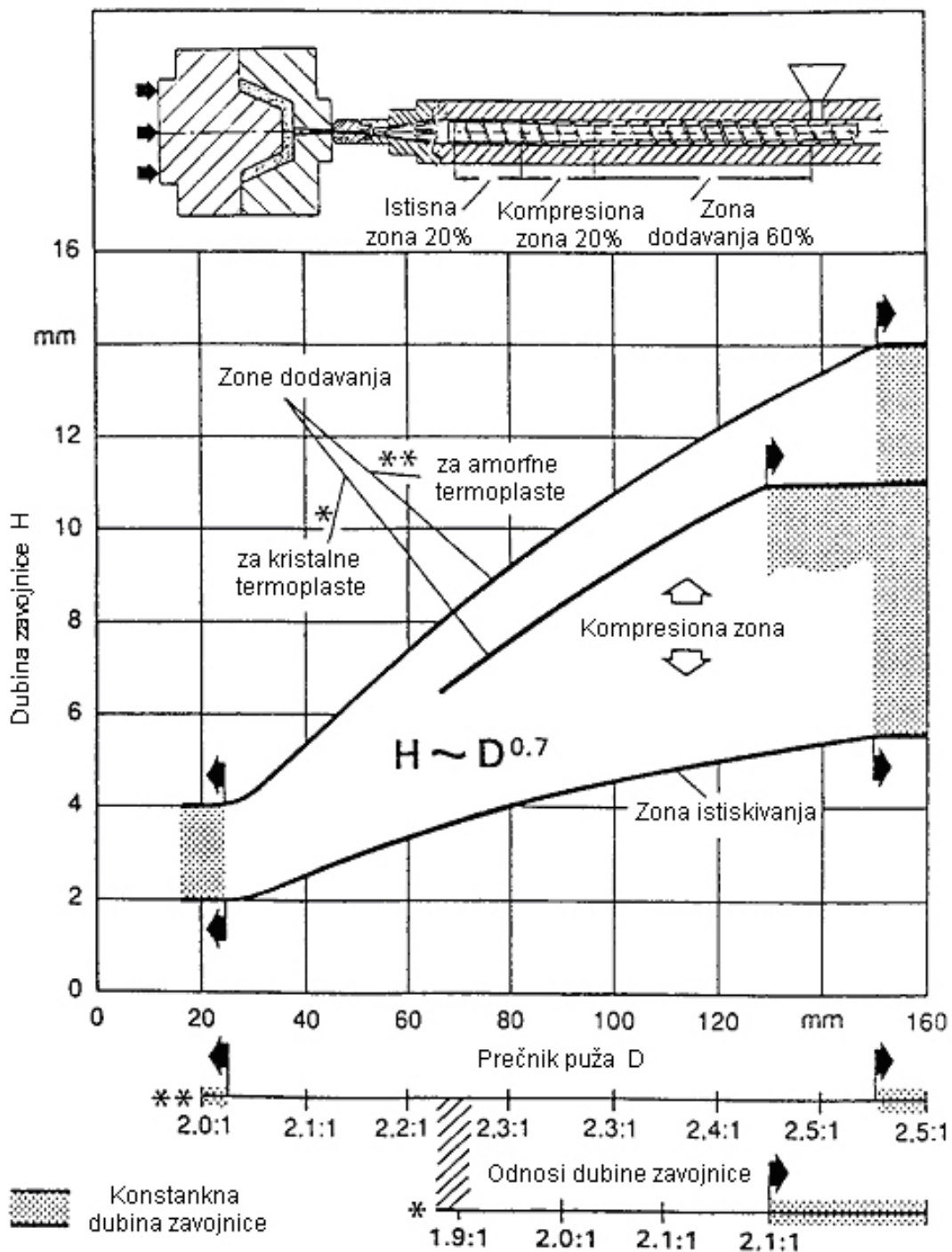


Slika 43. Skica i terminologija delova puža

Tabela 6. Značajne dimenzije (prosečne) puža za preradu termoplasta. Odstupanje za  $\pm 10\%$  je uobičajno.  $L_s$  = korisna dužina puža u saglasnosti sa Evropskim standardima.

Zakornost:  $h_x = h_0(D_x/D_0)^{0.74}$

Prečnik (mm)	Dubina zavojnice (punjenja) $h_f$ (mm)	Dubina zavojnice (merjenja) $h_m$ (mm)	Dubina žljeba (odnos) $h_f/h_m$	Radijalni zazor zavojnice (mm)	Komentari
30	4.3	2.1	2.0 : 1	0.15	Maksimalna hrapavost površine: 2 - 4 $\mu$ m
40	5.4	2.6	2.1 : 1	0.15	
60	7.5	3.4	2.2 : 1	0.15	$R_1 \sim 1 - 4$ mm
80	9.1	3.8	2.4 : 1	0.20	$R_2 \sim 5$ mm (30 - 60 mm dia)
100	10.7	4.3	2.5 : 1	0.20	$R_2 \sim 10$ mm (61-150 mm dia)
120	12	4.8	2.5 : 1	0.25	
> 120	max. 14	max 5.6	max 3 : 1	0.25	Korakt = $D$ (to 0.7 $D$ ) $L_s/t$ uvek oko 20 Širina zavojnice 0.1 $D$ Maksimalni hod punjenja $D$



Slika 44. Zavisnost dubine zavojnice puža od prečnika za preradu termoplasta

Tri standardne zone puža nisu dizajnirane za efikasno mešanje mase. One su uslovno dovoljne za mešanje ili samo bojenje plastike. Ako ipak, takav zahtev postoji tada na pužu moraju biti dodatni elementi za mešanje i smicanje, uz dodatak elemenata za plastifikaciju i Ubrizgavanje. Elementi za smicanje uvek su postavljeni u blizini kompresione zone i zone mešanja u dometu zone istiskivanja.

### **Proračun puža (informativno)**

Uz pretpostavku da je

$$\begin{aligned} L/D &= L_o/D_o \text{ i} \\ p/D &= p_o/D_o \end{aligned} \quad (3)$$

i uz pretpostavku da su temperature rastopa, dinamički pritisak, gustina toplotnog fluksa u zidu cilindra konstantni tada je dubina zavojnice

$$h/h_o = (D/D_o)^{0.74} = t_r/t_{ro} \quad (4)$$

a odnos obimnih brzina

$$n/n_o = (D/D_o)^{0.74} \quad (5)$$

izlazni odnos i konzumacija toplote

$$V/V_o = (D/D_o)^2 = E_H/E_{Ho} \quad (6)$$

odnos obrtnih momenata je

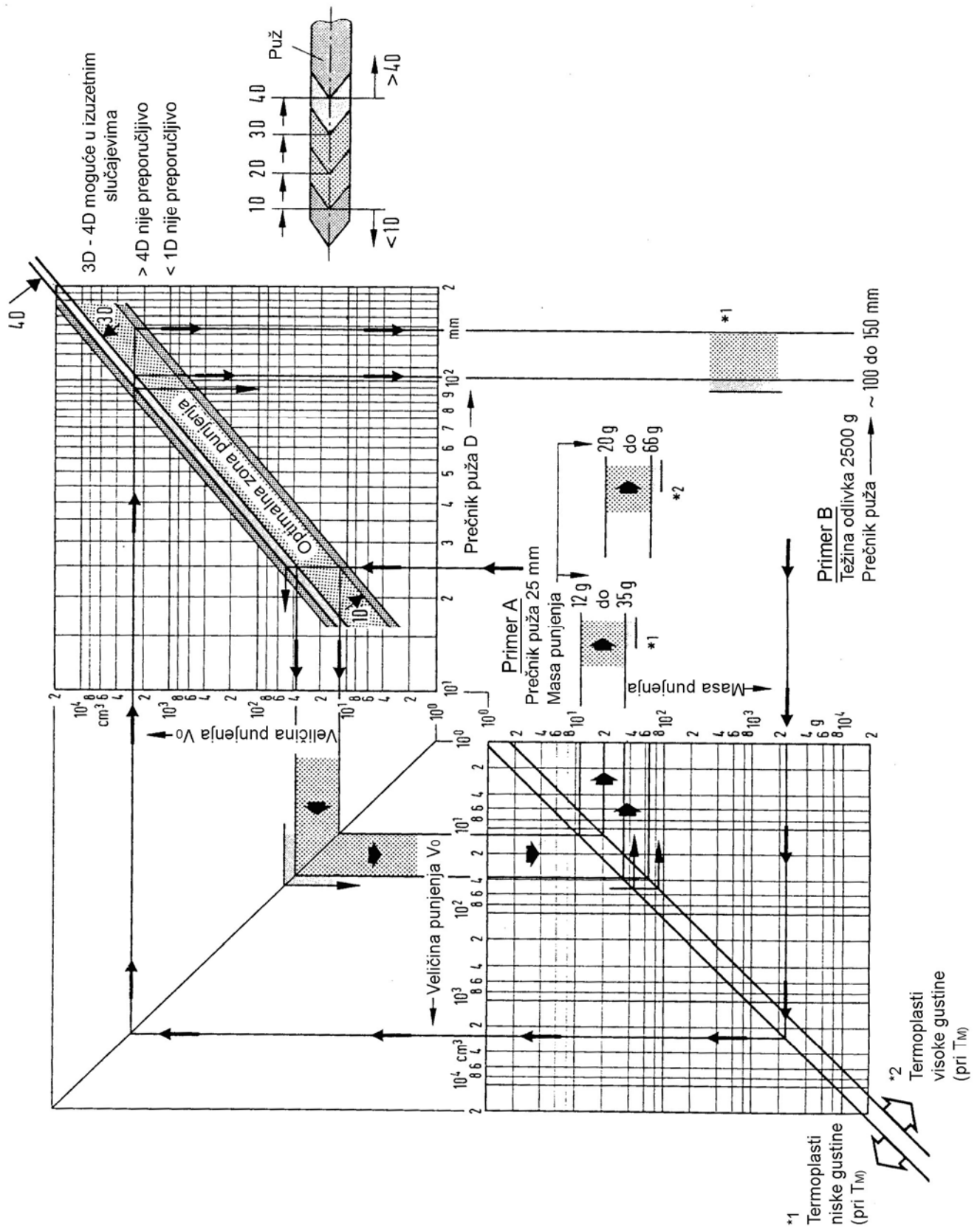
$$T/T_n = (D/D_o)^{2.7} \quad (\text{vidi 3.3.3}) \quad (7)$$

odnos tangencijalnih brzina

$$\gamma/\gamma_o = (D/D_o)^{0.48} \quad (8)$$

Eksponenti u gornjim izrazima ne uzimaju u obzir vrstu materijla. Ako se pokažu neadekvatnim, potrebno ih je eksperimentalno utvrditi.

Na *slici 45* prikazan je nomogram za određivanje prečnika takozvanih velikih puževa.



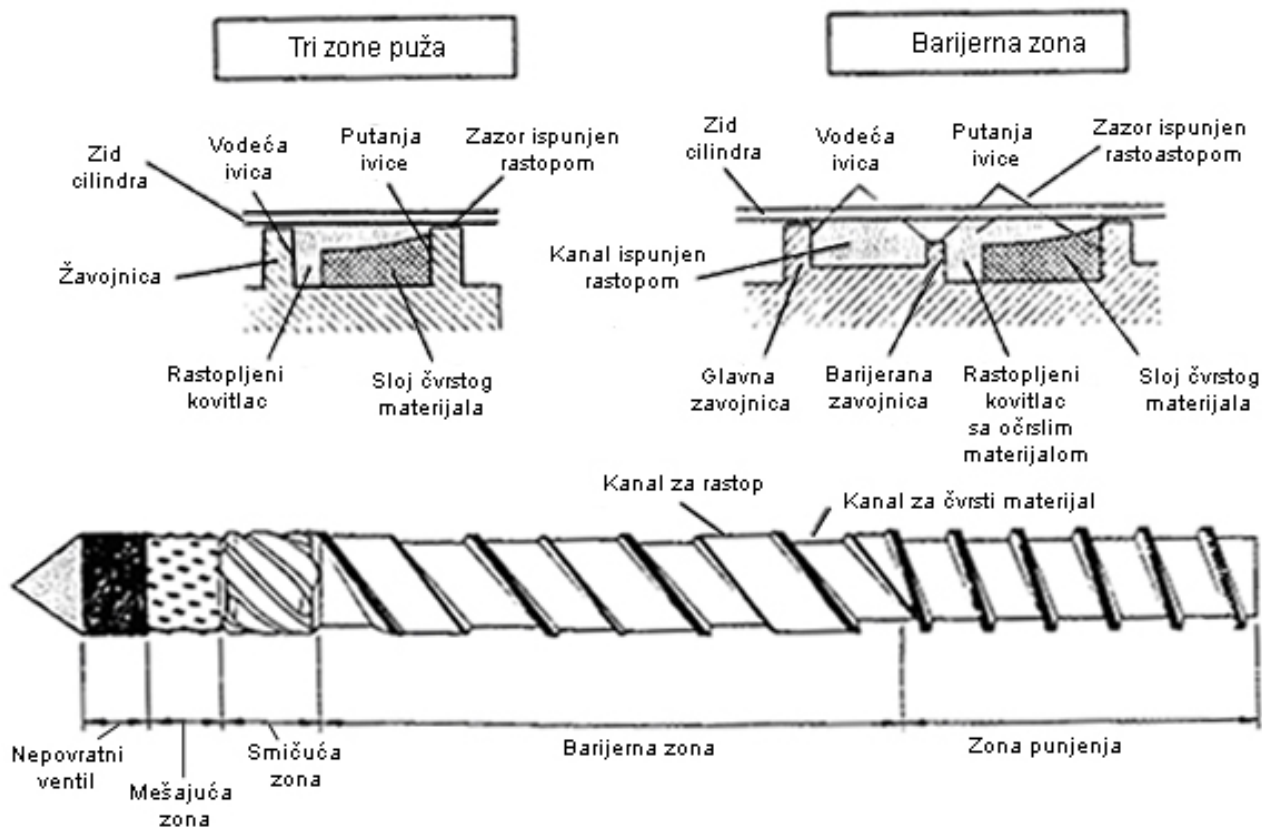
Slika 45. Uzajamna veza između prečnika puža, zapreminu punjenja, gustine i mase ubrizgavanja

### 3.4.2. Specijalni puževi

Ovakve konstrukcije pojavljuju se u slučaju prerade pojedinačnih polimera. Na primer, puž sa relativno plitkom zavojnicom koristi se za preradu Nylona, PBT, PET i POM (*podaci sa slike 44*). Za teže uslove prerade kao što je prerada PS, PE, PP koriste se dugački puževi sa odnosom dužina-prečnik  $L/D=24:1$ .

### 3.4.3. Barijerni (pregrađeni) puž

Kod ove konstrukcije puža posle zone uvlačenja granula nalazi se barijerna zona. (*slika 46*) koja se sastoji od dva razdvojena navoja različite dubine.



Slika 46. Barijera puža sa smičućom i mešajućom zonom

U plićoj zavojnici nalazi se rastopljena masa, a u dubljoj zavojnici nalaze se nerastopljene granule. Na kraju barijerne zone sav materijal se mora rastopiti i ove dve zavojnice se spajaju, a intenzivno mašanje materijala odvija se u smičajnoj zoni i zoni mešanja.

### 3.4.4. Puž za kruti PVC

Plastifikacija običnog PVC-a vrši se standardnim pužem, a specijalni puž koristi se za kruti PVC. Konstrukcija je slična običnom pužu sa dimenzijama datim u *tabeli 7*. Preporučuje se prevlačenje puža i cilindra pa se u tu svrhu preporučuju čelici koji imaju dobru atheziju prevlake.

*Tabela 7. Karakteristične dimenzije (prosečne) puža za preradu tvrdog PVC. Odstupanje  $\pm 10\%$  je uobičajno.  $L_s$  = efektivna dužina puža u saglasnosti sa Evropskim standardima. Zakonitost:  $h_x = h_0(D_x/D_0)^{0.74}$*

Prečnik (mm)	Dubina zavojnice (punjenja) $h_F$ (mm)	Dubina zavojnice (istiskivanja) $h_M$ (mm)	Dubina žljeba (odnos) $h_F/h_M$	Radijalni zazor zavojnice (mm)	Komentari
30	4.5	2.5	1.8 : 1	~0.15	Maksimalna hrapavost površine: $2 \mu m$ $R_1 \sim 3 \text{ mm}$ $R_2 \sim 5-10 \text{ mm}$ (30-50 mm dia) $R_2 \sim 10 \text{ mm}$ (60-100 mm dia) Korak $t = D$ (to $0.8 D$ ) $L_s/t$ 18- 20 Širina zavojnice $0.1 D$ Maksimalni hod punjenja $D$
40	5.5	3	1.8 : 1	~0.15	
60	7.3	4	1.8 : 1	~0.2	
80	9	5	1.8 : 1	~0.2	
100	10.5	5.5	1.9 : 1	~0.2	

### 3.4.5. Puž za ventilirani cilindar

Ventilirani cilindri koriste se za Acryl, CA, CAB i ABS počev od 1965., da bi se ekstrakovala vlaga absorbovana u molekularnoj strukturi polimera. Obično se ne koristi vakuum već para izlazi kroz ventilacione otvore na cilindru. Ove konstrukcije počele su se značajnije razvijati od 1976 do 1986 sa primenom i na druge polimere (PC, Nylon...).

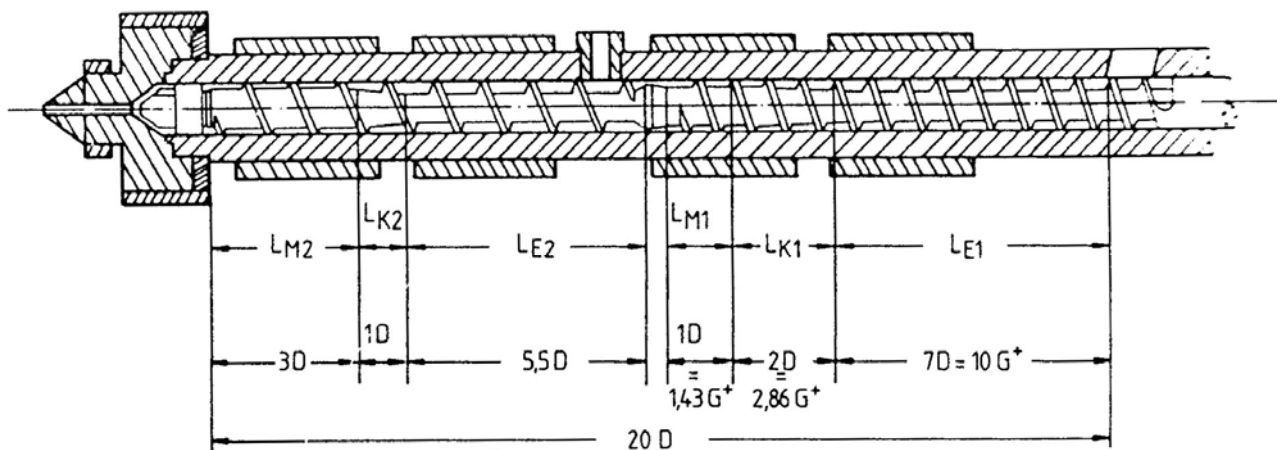
Međutim, postoje i razlozi za odustajanje od degazacije i to su:

- ✚ degradacija i dekolorizacija materijala na mestu degazacije ,
- ✚ problemi oko promene materijala, degradirani proizvodi (čestice) teško se izbacuju,
- ✚ proces degazacije nije moguć sa standardnim pužem,
- ✚ uspešnost degazacije zavisi od klimatskih uslova,

Degazacioni puževi primenjuju se sa  $\varnothing 25-170 \text{ mm}$ , a za konstrukciju postoje tri koncepta:

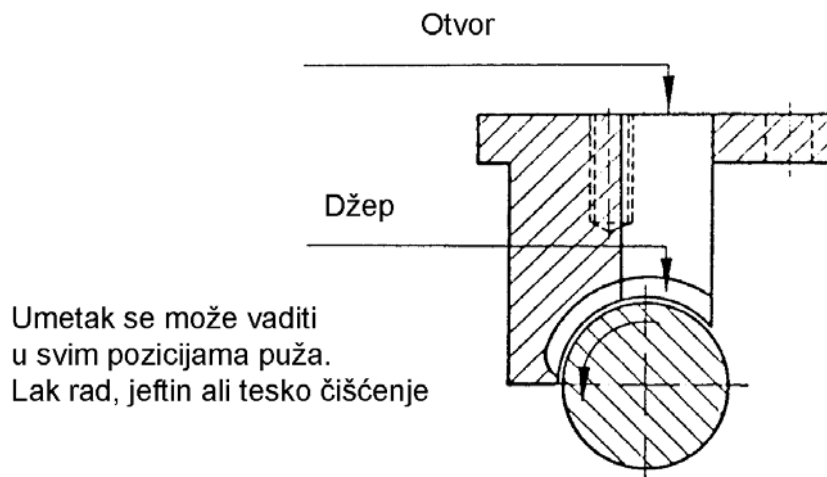
1. dva standardna puža srednje dužine u tandemu  $L_s/D = 2 \cdot (13 \div 16)$
2. puž sa slabim (nedovoljnim) punjenjem (dodavanjem)
3. kratak puž  $L_s/D = 20$

Dugački puževi za degazaciju polako se gube sa tržišta. Konstrukcija dvostepenog puža za degazaciju data je na *slici 47*, a na *slici 48* dat je prikaz ventilacionog džepa. U *tabeli 9* dati su podaci za univerzalni degazacioni puž. Površina ovih puževa treba da je hromirana.



+0.7 D za 25 - 70 mm (LF1+LC1+LM1)  
 +0.8 D za 70 - 130 mm (LF1+LC1+LM1)

Slika 47. Dvostepeni puž sa ventilacionim cilindrom



Slika 48. Dodatak cilindra sa otvorom i džepom

Tabela 9. Dubina zavojnice i zazor puža za ventilirani cilindar sa odnosom L/D odnosom od 20:1.  
 Zakonitost:  $h_x = h_0(D_x/D_0)^{0.7}$

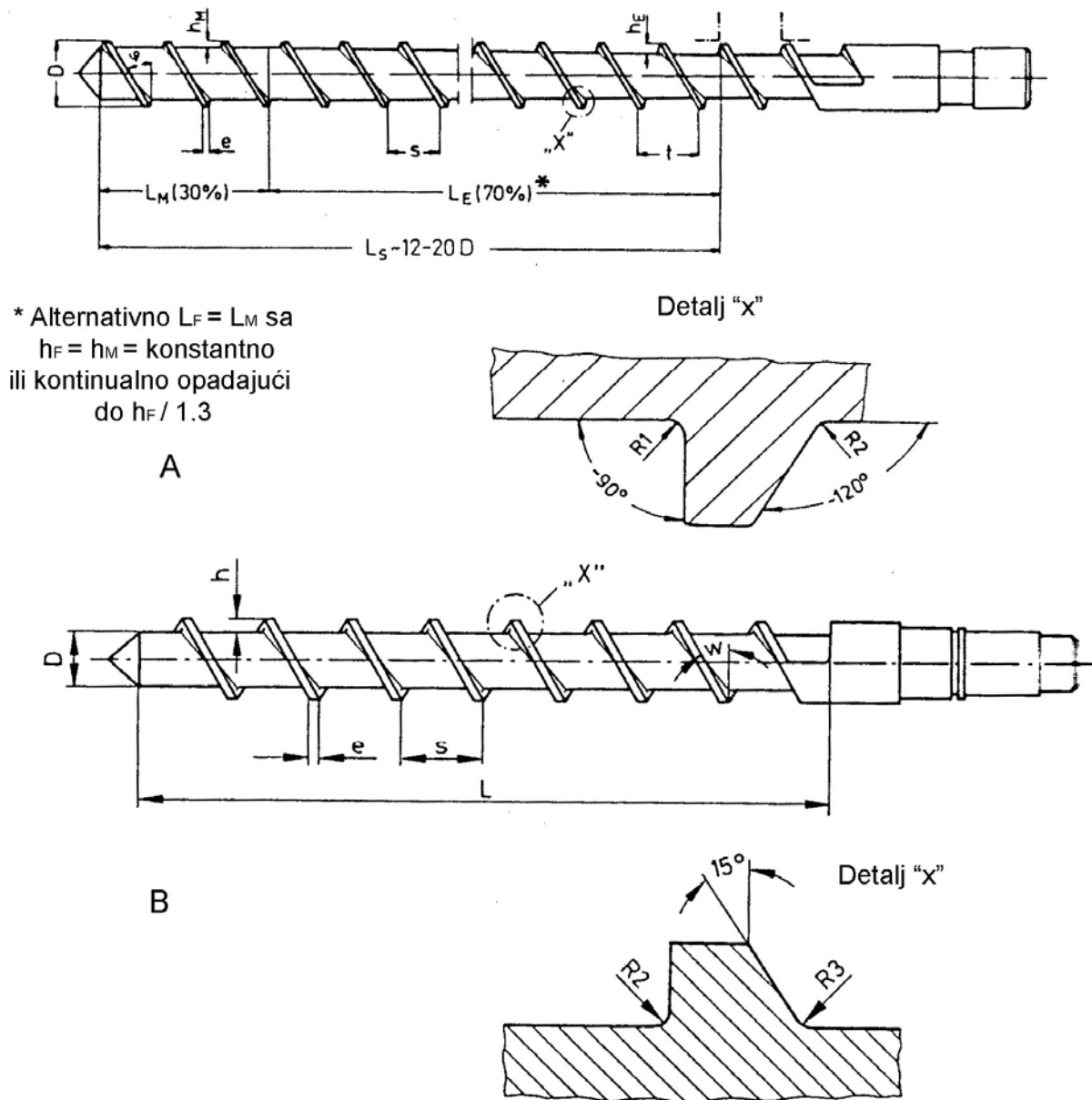
Prečnik (mm)	Dubina zavojnice $h_{11}$	Dubina zavojnice $h_{12}$	Dubina zavojnice odnos	Dubina zavojnice $h_{21}$	Dubina zavojnice $h_{22}$	Dubina zavojnice odnos	Širina zazora oštrice $s_1$
30	4.0	2.0	2.0 : 1	6.3	2.2	2.85 : 1	0.5
50	5.4	2.7	2.0 : 1	9.3	3.2	2.90 : 1	0.8
70	7.0	3.2	2.2 : 1	11.7	3.9	3.00 : 1	1.0
100	9.0	4.1	2.2 : 1	15.1	5.0	3.00 : 1	1.3

$R_1 \sim 2 - 3 \text{ mm}$ ,  $R_2 \geq 10 \text{ mm}$  za više do 60 mm



### 3.4.6. Puževi za termosete

Puževi za preradu termoseta imaju manju dubinu zavojnice i manji odnos dubine kanala nego puževi za termoplaste. Koriste se bez nepovratnog ventila. Komercijalne varijante ovih puževa date su na slici 49. Njihova konstrukcija sprečava prekomerno zagrevanje materijala usled trenja onemogućujući reakciju u zavojnici puža. Zbog toga je odnos dubine zavojnice 1:1 do 1:1,13 u većini slučajeva. Na slici 49 data je konstrukcija sa odnosom 1:1. Dužina ovih puževa je u rasponu  $L_s/D = 12 \div 15$ .



Slika 49. Puž za preradu termoseta

A: Puž sa varirajućom dubinom zavojnice B: Puž sa nepromenljivom dubinom zavojnice

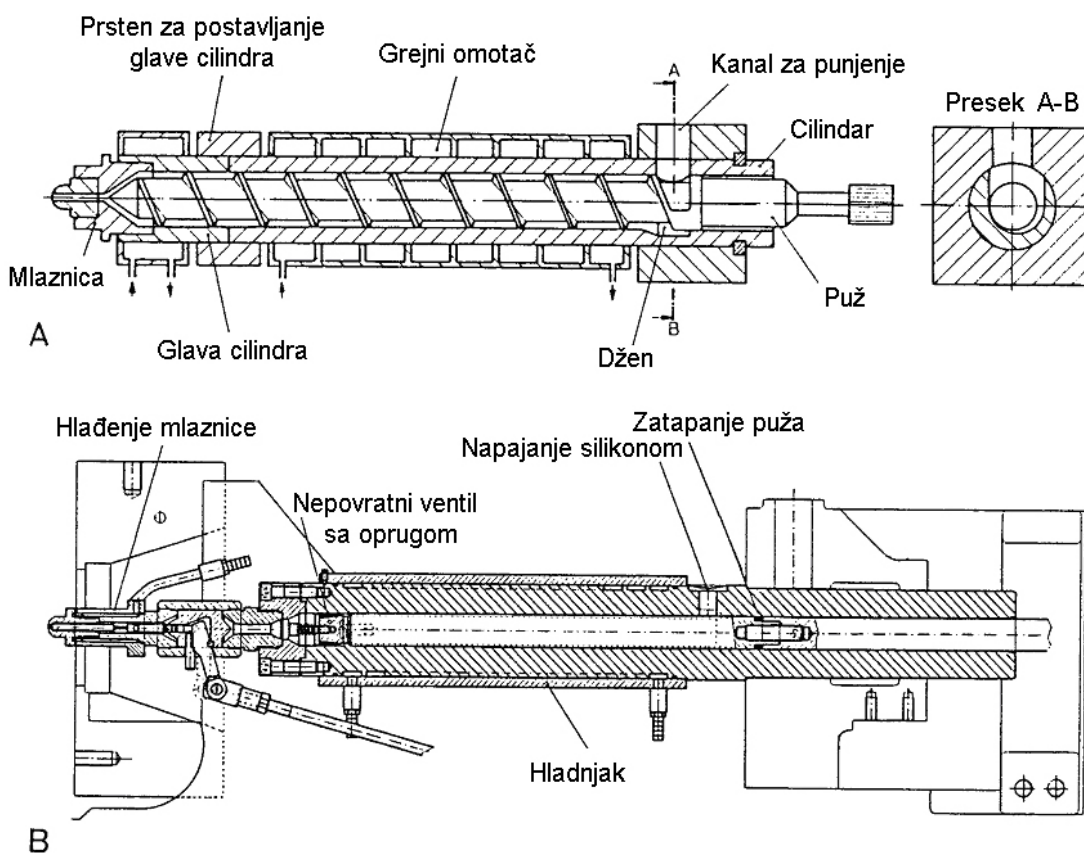
U tabeli 10 dati su podaci za konstrukciju puža za preradu termoseta. Zbog nekorišćenja nepovratnog ventila kod ovih puževa postoji opasnost povratnog toka pa su zbog toga dubina i širina kanala zavojnice vrlo važni. Širina navoja je veća nego kod puža za termoplaste i iznosi  $(0.15 \div 0.2) D_s$ . Ovi puževi izrađuju se od čelika visoke tvrdoće i čvrstoće.

Tabela 10. Karakteristične dimenzije (prosečne) puža za preradu termoseta.  
 Odstupanje  $\pm 10\%$  je uobičajno.  $L_s$  = efektivna dužina puža u saglasnosti sa Evropskim standardima.  
 Zakonitost:  $h_x = h_0(D_x/D_0)^{0.74}$

Prečnik (mm)	Dubina zavojnice (mm)	L/D - odnos	Širina zavojnice (mm)
30	4	12 - 15 ( $\phi 14$ )	4
40	4/4.5	12 - 15 ( $\phi 14$ )	5
50	5/5.5	12 - 15 ( $\phi 14$ )	6
60	7	12 - 15 ( $\phi 14$ )	7
75	8.5	12 - 15 ( $\phi 14$ )	8.5
80	12	12 - 15 ( $\phi 14$ )	12

### 3.4.7. Puž za elastomere

Tehnologija injekcionog presovanja elastomera (gume) primenjuje se još od 1960. godine. Problem transporta materijala kroz cilindar ne postoji ali problem održavanja temperaturnog profila i vremena zadržavanja postoji. Ovi parametri moraju se izabrati na takav način da ne dođe do vulkanizacije u zavojnom kanalu ili dizni. Zbog toga mora postojati kontrola temperature uzduž cilindra (slika 50A). Konstrukcija puža za elastomere slična je konstrukciji na slici 47, a konkretni podaci dati su u tabeli 11.



Slika 50. Jedinica za termosete i elastomere

A: Standardna konstrukcija

B: Cilindar za preradu tečnog silikona (Sistem Engel)

Tabela 11. Karakteristične dimenzije (prosečne) puža za preradu elastomera.  
 Odstupanje  $\pm 10\%$  je uobičajno.  $L_s$  = efektivna dužina puža u saglasnosti sa Evropskim standardima.  
 Zakonitost:  $h_x = h_0(D_x/D_0)^{0.74}$

Prečnik (mm)	Dubina zavojnice (punjenja) (mm)	Dubina zavojnice (tip puža) (mm)	L/D odnos	Dubina zazora (mm)	Komentari
30	5	4.2	12 - 15	~0.1	Korak $t = D$ Peak-to-valley height of surface: 2 - 5 $\mu\text{m}$ $R_1 \sim 2 \text{ mm}$ $R_1 \sim 5 \text{ mm}$ (30 - 50 mm) $R_2 \sim 10 \text{ mm}$ (60 - 100 mm) Odnos dubine zavojnice 1.1 : 1 do 1.3 : 1 Maksimalan put punjenja 4D
40	6.1	5.1	12 - 15	~0.15	
60	8.2	6.9	12 - 15	~0.15	
80	10	8.4	12 - 15	~0.2	
100	11.7	9.7	12 - 15	~0.25	

Kod prerade elastomera koriste se jednostepeni i dvostepeni puževi, kao i klipne jedinice za plastifikaciju. Kratka dužina puža i mala dubine zavojnice koja opada počev sa zonom punjenja. Ovi zahtevi omogućuju da se gumena smeša kvalitetno preraduje. Ako ovo nije ispunjeno, ili ako se povratni pritisak koristi za stvaranje kompresije materijala, temperatura puža se mora kontrolisati da ne bi suviše porasla, pa se zbog toga vrši hlađenje puža pomoću vode koja protiče kroz otvor u pužu. Puž mora imati mogućnost uvlačenja trakaste gume, pa na početku mora imati ulazni džep (slika 50A).

Za bolje smicanje puž mora imati elemente za mešanje i u potisnoj zoni.

Dobro mešanje postiže se sa dužinom kompresione zone od  $L/D=5,5$  uz zonu punjenja  $L/D=4,5$  i promenom zavojnice od 3:1 i ako ima zonu mešanja od  $L/D=5$ .

Elastomeri se često obrađuju bez nepovratnog ventila. Zbog izraženog habanja puža od strane smese preporučuje se visoka tvrdoća kompletnog puža.

### 3.4.8. Puž za preradu silikona

Ponašanje silikona tokom prerade je slično gumi. Međutim, puž za silikon se razlikuje od puža za gumu samo po vitkosti (slight). Dubina navoja se razlikuje po celoj dužini. Njegov kanal je plići u odnosu na podatke iz *tabele 11*. Nepovratni ventil se koristi (*slika 50B*), da bi se sprečio uticaj povratnog pritiska na zonu punjenja.

### 3.4.9. Ostali tipovi puževa

U slučaju injeccionog presovanja keramike, primenjuju se posebne konstrukcije puževa.

### 3.4.10. Habanje i zaštita od habanja

Problem habanja elemenata u jedinici za injekciono presovanje i alatu pojavio se sa preradom tremoplasta ojačavanih sa staklenim vlaknima počev od 1960. godine. U početku ovom problemu nije posvećivana posebna pažnja.

Sa početkom prerade termoseta i gume uvećali su se problemi habanja pa se ovom pitanju morala posvetiti dužna pažnja (1960). Problem se rešavao otvrdnjavanjem puža.

Prerada krutog PVC-a zahtevala je analizu radnog veka elemenata injekcione jedinice zbog intenzivnog habanja. Razvojem novih polimernih materijala problem habanja se sve više komplikovao.

Uvođenje nitriranja za puž i cilindar dalo je dobre rezultate kod tzv. standardne inženjerske plastike.

Od 1979. godine u primeni su jedinice otporne na habanje, a nadalje otpornost na habanje se neprekidno uvećava.

Lokalne slabe tačke u sistemu su:

- ✚ nepovratni ventil,
- ✚ mlaznice,
- ✚ priključna mesta (glava i cilindar, glava i mlaznica...),
- ✚ puž,
- ✚ cilindar,
- ✚ krivine.

### **ZAŠTITA ELEMENATA ZA PLASTIFIKACIJU**

Elementi za plastifikaciju injekcione jedinice stite se od habanja na dva načina:

1. izborom odgovarajućeg materijala i njegovim odgovarajućim tretmanom,
2. pravilnom konstrukcijom elemenata.

Osim toga, nezavisno od gore navedenog, za zaštitu od habanja bitan je i pravilan izbor parametara procesa (pritisak, temperatura, vreme zadržavanja i dr.).

Zaštita od habanja na bazi pravilne konstrukcije podrazumeva primenu preporuka iz datih *tabela 4, 6, i 8*. Na *slici 58* data je pravilna konstrukcija glave cilindra, mlaznice i nepovratnog ventila koja respektuje zaštitu od habanja pri obradi termoplasta. Nepovratni ventil (*slika 54*) daje dobre rezultate. Varijanta sa kuglicom nije dobra.

Pri izboru materijala za delove injekcione jedinice mora se voditi računa o njihovom uparivanju kako bi se efekti habanja smanjili na najmanju meru. U *tabeli 12* prikazan je izbor čelika otpornih na habanje koji se mogu koristiti za izradu pojedinih elemenata.

Nitriranje okaljenog cilindra bez bimetalnog uloška zahteva visok procenat hroma (12-17%) zbog korozione zaštite. Visok procenat ugljenika (C) obezbeđuje visoku tvrdoću i otpornost na abraziju.

Tabela 12. Čelici za delove inekcione jedinice otpornih na habanje

Cilindri	<p>a) Dvometalna presvlaka po rotacionim delovima sa pogodnim legurama: volfram karbid kompoziti, hrom čelik-bor legure, legure nikla sa osnovom od nitriranog čelika sa 12 - 17% Cr</p> <p>b) Podesavajuće skupljanje od linearnog livenja</p> <p>c) Boriranje, samo za male dimenzije</p>
Puževi	<p>a) Visoko legirani, direktno očvršli hromni čelik (prečnik &lt; 60mm i dužinu &lt; 1500 mm) sa 13 - 17% Cr, ponekad naknadno jonsko nitriranje</p> <p>b) Tvrda prevlaka od jon-nitrirane legure čelika sa Stelitom ili nikel-osnovom legure</p> <p>c) Tvrda prevlaka i hrom prevlačenje sa osnovom i</p> <p>d) Boriranje, samo za male dimenzije</p>
Glava cilindra	<p>a) Jonsko-nitrirani visoko-legirani hromirani čelici</p> <p>b) Hrom-nanešen nitrirani čelici</p>
Nepovratni ventil	<p>A. Vrh i sedište</p> <p>Tvrda prevlaka sa hrom-nikel-bor legurom u kojoj su sadržani karbidi</p> <p>a) Visoko-legirani hromirani čelik, najzad jon-nitrirani</p> <p>b) Visoko-hromirani legirani čelici, potpuno-prokaljen</p> <p>B. Klizni prsten</p> <p>Visoko-hromirani legirani čelici, sa dobrom krutošću, potpuno-prokaljen ili visoko-prokaljen, jonsko-nitriran</p> <p>C. Sve ostale komponente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- teško legirajući ili</li> <li>- borirani ili</li> <li>- sa CVD ili PVD deponovanjem</li> </ul>

U poslednje vreme koriste se bimetalni cilindri sa omotačem od konstrukcionog čelika unifromne tvrdoće i uloškom male debljine (1,5-2mm) od visokokvalitetnog materijala.

Za bimetalni cilindar koriste se tri kombinacije čelika:

1. volfram-ugljenični kompozit
2. hrom-molibden
3. gvožđe-bor-nikel legura

Za puž se obično preporučuje niskougljenični legirani čelik (ANSI 4140) sa tvrdoćom od 30Rc.

Za povećanu otpornost na habanje preporučuje se potpuno otvrdnuti alatni vanadijum čelik sa tvrdoćom od 56Rc. Ovo se preporučuje (zbog cene) za puževe prečnika ispod 40mm. Površina puža ojačava se i jonskim nitriranjem (69Rc).

Ostali postupci kao elektro depozicija nikla ili depozicija Ni-Si-C karbida ili depozicija gasne faze (CVD, ili PVD procesi) su bez većeg značaja još uvek.

Glava cilindra je manje izložena habanju od puža. Jonsko nitriranje visoko legiranog hrom čelika i dr. obezbeđuju dobru zaštitu.

Nepovratni ventil – preporuka jonsko nitriranje

Sinterovani delovi imaju visoku otpornost na habanje.

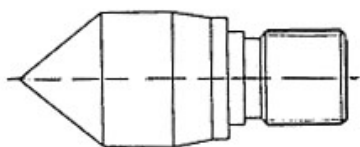
### Zaštita od habanja konstrukcionim merama:

1. izbegavati trenje između metalnih delova (međusobno) i deponovane plastike i metala
2. stvoriti kontaktni pritisak od 400Mpa između cilindra i glave cilindra pomoću zavrtanjske veze
3. izbegavati mrtve uglove u cilindru i glavi cilindra
4. predvideti otvoreni poprečni presek u nepovratnom ventilu od 80-120% od kružnog preseka frontalnog kraja puža
5. primenjivati ojačan oblik zavojnice puža
6. omogućiti na odgovarajućem rastojanju od prstena ventila povećani prečnik na pužu
7. dužina zone doziranja (10-12)D, kako bi se sprečilo da nerastopljeni granulat dospe u kompresionu zonu.

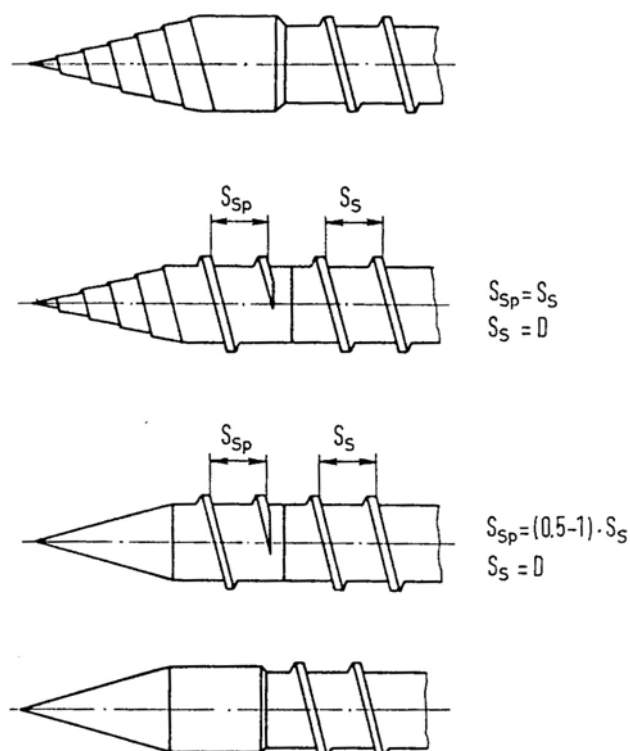
### 3.4.11. Vrh puža

Na vrhu puža prisutan je visok pritisak, pa da bi se umanjio njegov uticaj na povratni tok vrh puža se konstruiše tako da ima ulogu zatvarača. Ovo je naročito važno u fazi ubrizgavanja i naknadnog pritiska. Jedna od varijanti vrha puža data je na slici 52, a radi se sa uglom  $60^{\circ}$  i  $90^{\circ}$ . Kompletno zatvaranje nije moguće sa ovim vrhom.

Za kruti PVC koristi se tzv. otvoreni vrh puža koji omogućuje dobro tečenje i sprečava protivtok (slika 53).



Slika 52. Klasičan vrh puža

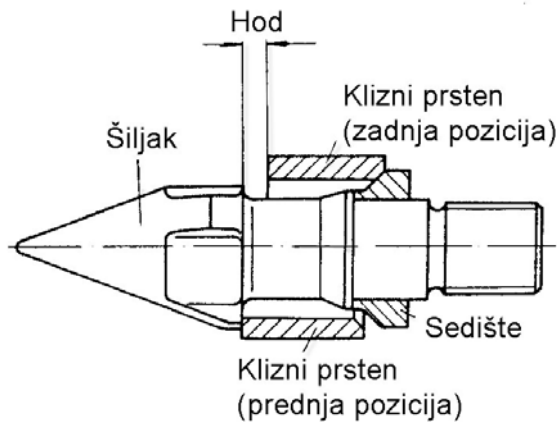


Slika 53. Tipovi vrhova puža za preradu krutog PVC

### 3.4.12. Nepovratni ventil

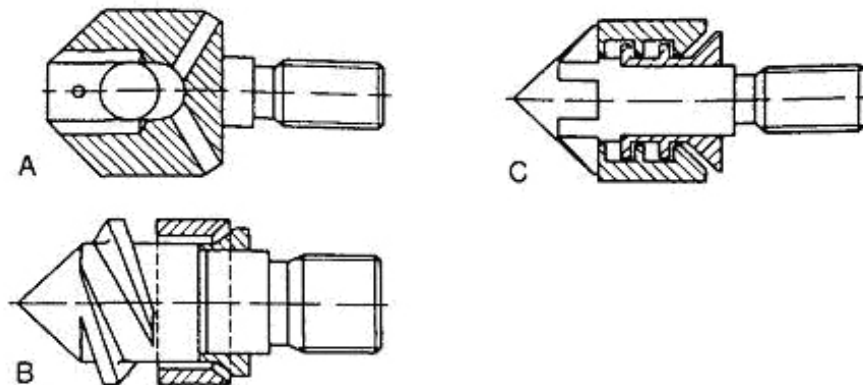
Nepovratni ventil je komponenta koja se nalazi na vrhu puža i onemogućuje protivtok rastopa u fazi ubrizgavanja i naknadnog pritiska. To se postiže brзом promenom (smanjenjem) protočnog preseka što izaziva nagli pad pritiska.

Poprečni presek nepovratnog ventila je 80-120% od kružnog slobodnog preseka na kraju puža. Na *slici 54* prikazana je uobičajena konstrukcija kružnog nepovratnog ventila. Sastoji se od tri dela: vrha puža, sedišta i pokretnog prstena. Konusna zaptivna površina ima ugao od  $45^{\circ}$  do  $60^{\circ}$  u odnosu na osu puža. U otvorenom položaju pokretni prsten je u prednjem položaju.



*Slika 54. Nepovratni prstenasti ventil za termoplaste*

Različite konstrukcije nepovratnog ventila date su na *slici 55*.



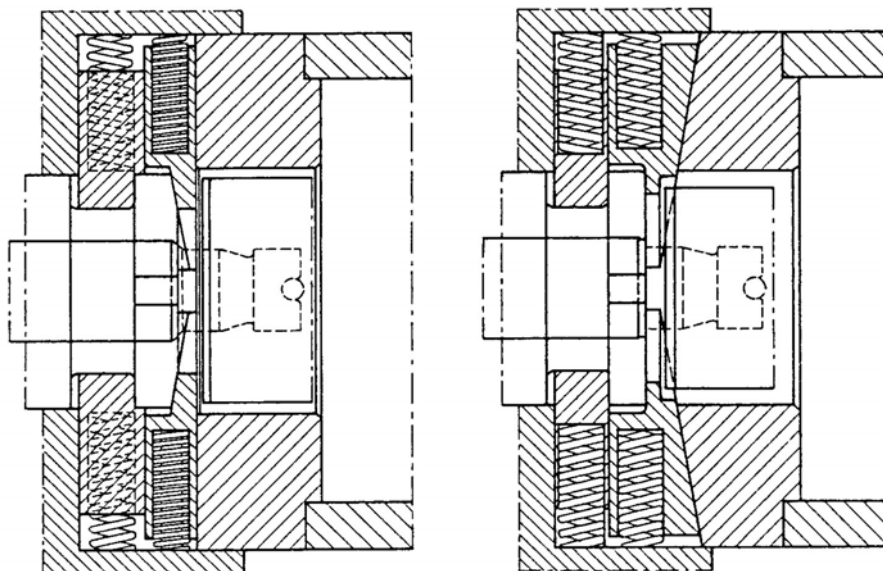
*Slika 55. Nepovratni ventil različite konstrukcije (A, B, C)*

### 3.5 Radni cilindar

Radni cilindar je cev u kojoj se nalazi puž. Zavojnica puža i unutrašnja površina cilindra stvaraju kanal kojim se transportuje materijal. Prema nekim podacima, glavina toplotne energije u procesu injekcionog presovanja, dobija se od grejača koji okružuju radni cilindar, snage  $6 \div 8 W/cm^2$ . Posebnim grejačem snage oko  $4 W/cm^2$  greje se mlaznica na glavi cilindra. Za obezbeđivanje kontinualnog uvlačenja granulata ili drugog materijala, i da bi se sprečilo topljenje materijala na ulazu, nekoliko početnih navoja se HLADI. Temperatura cilindra mora se precizno održavati sa tačnošću od  $\pm 2^0 K$ .

Cilindar mora biti tako izveden da omogući brzu zamenu puža i čišćenje, a na slici 56 prikazan je jedan sistem koji to omogućuje. Na slici 57 prikazan je automatski sistem za brzu zamenu puža.

Za adekvatno punjenje cilindra važan element predstavlja ulazno grlo cilindra, koje mora biti precizno dimenzionisano samo u slučaju visokih izlaznih performansi mašine. Dužina otvora na cilindru je  $(1 \div 2)D$ . Ulazni otvor cilindra može biti kružnog ili pravougaonog oblika. Dužina hladnog dela cilindra je  $(3 \div 5)D$ .



Slika 56. Sistem za brzu izmenu cilindra

Napomena:

1. unutrašnji prečnik cilindra (D) je određen prečnikom puža,
2. spoljašnji prečnik cilindra (d) se određuje na osnovu proračuna čvrstoće.

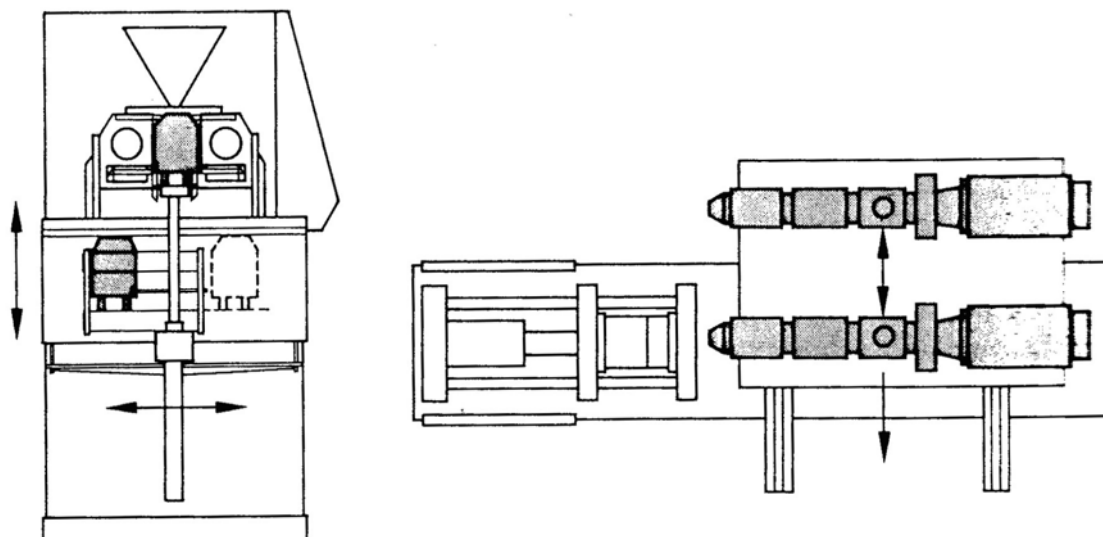
$$\sigma_r = \frac{p \cdot r_u^2}{\sigma_s^2 - r_u^2} \left( 1 - \frac{r_s^2}{r^2} \right) \quad \sigma_t = \frac{p \cdot r_u^2}{r_s^2 - r_u^2} \left( 1 + \frac{r_s^2}{r^2} \right) \quad \sigma_a = \frac{p \cdot r_u^2}{r_s^2 - r_u^2}$$

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_a)^2 + (\sigma_a - \sigma_r)^2}$$

$$(\sigma_{e \max})_{r=r_u} = \frac{\sqrt{3} \cdot r_s^2}{r_s^2 - r_u^2} \cdot p < \sigma_{doz}$$

$$r_s = \sqrt{\frac{\sigma_{doz}}{\sigma_{doz} \cdot \sqrt{3} p}}$$





Izmena cilindra dizanjem uređaja

Izmena plastifikacione jedinice pomoću pokretnog stola

*Slika 57. Sistem za automatsku izmenu cilindra*

Sastavni deo cilindra je glava cilindra koja mora biti čvrsto spojena sa njim (*slika 58*) i na njoj je postavljena mlaznica. Na spojevima na sme doći do curenja rastopa i pri povišenim pritiscima.

Metalni komadići su vrlo nepoželjni u radnom cilindru jer mogu oštetiti puž, cilindar, mlaznicu i dr. Radi toga u grlu levka mora da postoji uređaj za odvajanje eventualnih metalnih komadića.

### 3.6 Mlaznica

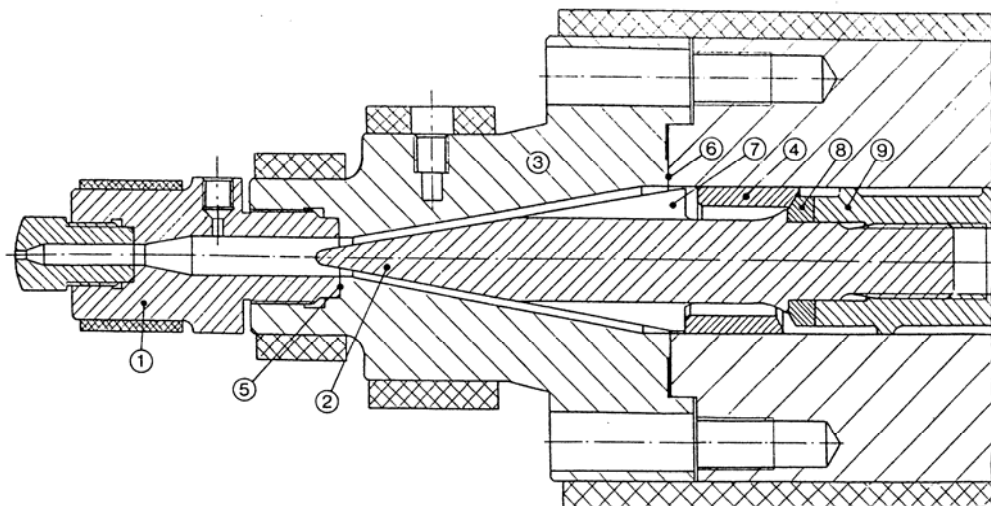
Mlaznica je element jedinice za plastifikaciju koja se dovodi u kontakt sa ulivnom čaurom i obezbeđuje snabdevanje ulivnog sistema sa rastopom. Veliki radijus na kontaktnoj površini mlaznice sprečava habanje u radu i pored visokih vrednosti kontaktnog pritiska. Radijus sfere mlaznice po evropskim standardima iznosi: 10, 15, 20 i 35mm. Međutim, postoje i ulivne čaure sa ravnim kontaktnim površinama koje zahtevaju ravnu površinu mlaznice. Dimenzije mlaznice prema Evropskim normama date su u tabeli 13.

Tabela 13. Sferni radijus i O-dimenzije u saglasnosti sa Evropskim standardima

Sila zatvaranja (kN)	Radijus sfere (mm)			O-Dimenzije (mm)		
	Prerada Termo- plasta	Prerada Termo- seta	Prerada Elasto- mera	Prerada Termo- plasta	Prerada Termo- seta	Prerada Elasto- mera
< 500	10 (35)	10 (35)	10 (35)	3-5	5-8	4-6
500 - 1000	10 (35)	15 (35)	15 (35)	4-6	6-8	5-7
1000 - 5000	15 (35)	20 (35)	20 (35)	5-8	8-10	6-8
5000 - 10000	35	35	35	6-10	8-10	8-10
Više od 10000	35	35	35	10-12	-	-

#### 3.6.1. Otvorena mlaznica

Mlaznica omogućuje vezu između glave cilindra i ulivne čaure. Na slici 58 prikazana je otvorena mlaznica i predstavlja poželjno rešenje, pre svega zbog svoje kratke dužine.

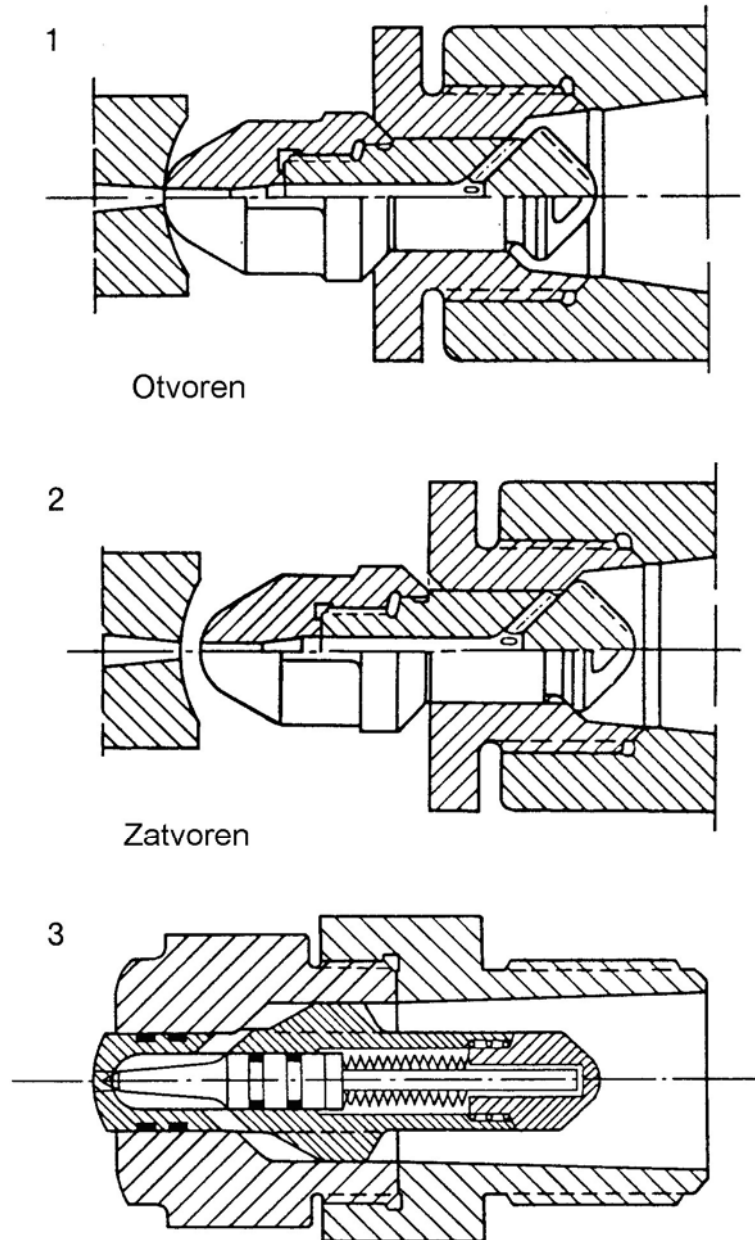


Slika 58. Konstrukcija glave cilindra

1: Mlaznica sa ulazom za vrh puža; 2: Vrh puža; 3: Glava cilindra 4: Klizni prsten; 5: Zaptivanje mlaznice; 6: Zaptivanje glave cilindra; 7: Četiri (ili tri) oklopna krilca; 8: Zaptivni prsten; 9: Puž

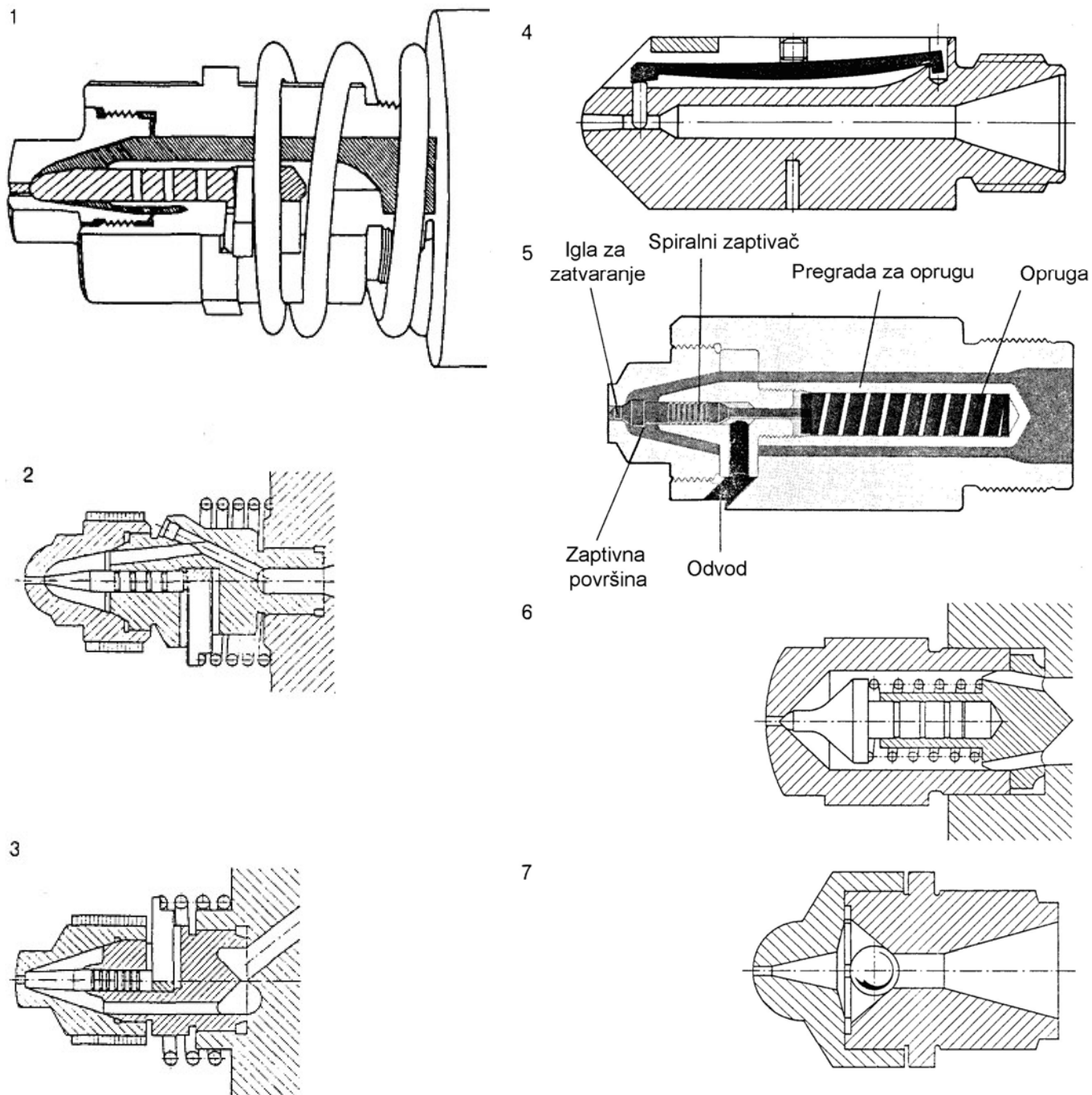
### 3.6.2. Prekidna (samozatvarajuća) mlaznica

Kod ovog tipa mlaznica onemogućeno je tečenje rastopa posle odvajanja mlaznice od ulivne čaure. Na *slici 59* prikazane su osnovne verzije ove mlaznice. One se otvaraju naleganjem na ulivnu čauru, a zatvaraju pri odvajanju od nje i dejstvom pritiska rastopljenog materijala. Na *slici 60* prikazane su samozatvarajuće mlaznice kod kojih se zatvaranje ostvaruje pomoću opruge, a otvaranje pritiskom rastopa. Na *slici 61* prikazane su mlaznice sa spoljašnjim sistemom kontrole otvaranja.

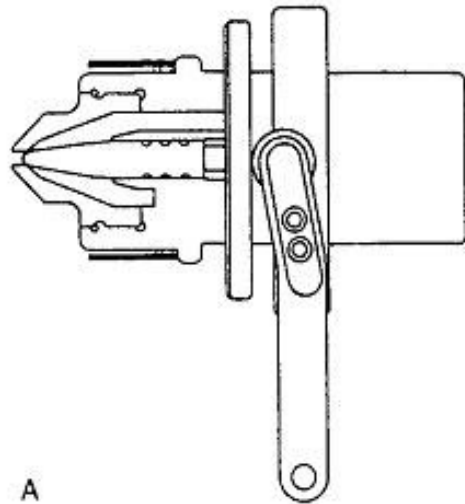


*Slika 59. Prikaz samozatvarajuće mlaznice*

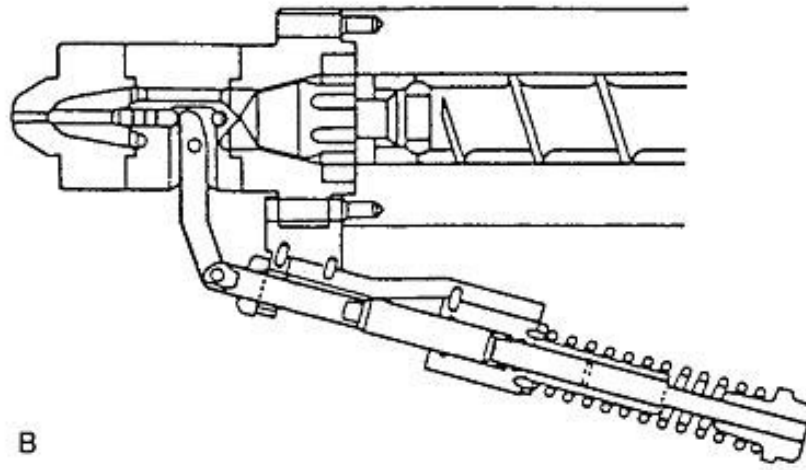
*1 i 2: Otvaranje mlaznice kontaktnim pritiskom; 3: Mlaznica sa oprugom*



*Slika 60. Samozatvarajuće mlaznice sa iglom, i oprugom  
 1 do 4: Sa spoljašnom oprugom; 5 do 7 Sa unutrašnjom oprugom*

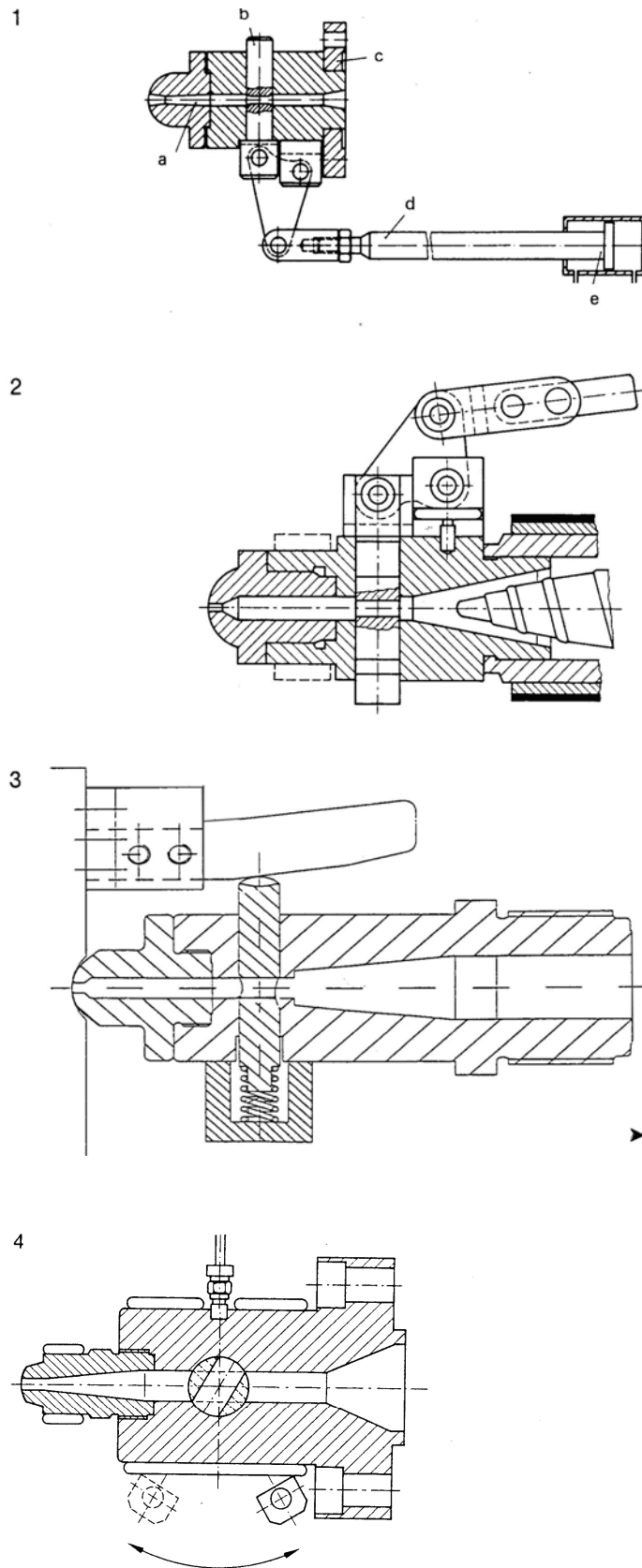


A



B

*Slika 61. Samozatvarajuće mlaznice sa iglom: A- aktiviranje mlaznice polugom;  
B- hidraulično aktiviranje mlaznice*



*Slika 62. Mlaznica sa zasunom*

*1 i 2: Sa hidrauličnim aktiviranjem zasuna:*

*a) Mlaznica; b) Zasun; c) Prirubnica; d) Poluga; e) Hidrocilindar*

*3: Mehaničko aktiviranje zasuna*

*4: Zasun sa obrtnim otvaranjem*

Na *slici 62* prikazane su mlaznice sa kliznim zatvaračem (šiberom) i mlaznice sa rotacionim elementom za otvaranje, odnosno zatvaranje.

U *tabeli 14* dati su podaci o mlaznicama zavisno od vrste materijala koji se brizga.

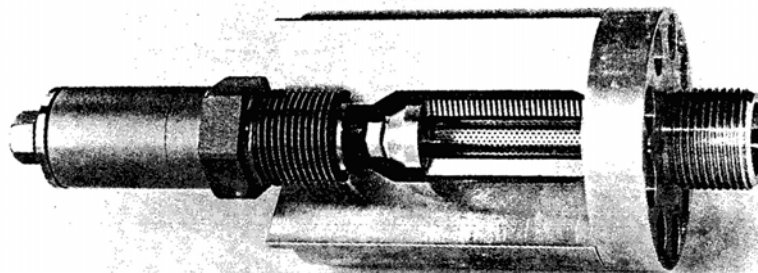
Plastični materijal	Tipovi mlaznice				
	Otvorena mlaznica	Klizna samo-zatvarajuća mlaznica(1)	Igličasta mlaznica sa oprugom(2)	Igličasta hidraulična mlaznica	Hidraulična zasunska mlaznica(3)
ABS	●	○	○	○	○
CA	●	○	○	○	○
CAB	●	○	○	○	○
PA	○	○	○	●	●
PAI	○	○	○	○	●
PBT	○	○	○	●	●
PET	○	○	○	●	●
PC	●	○	○	○	○
PE	●	●	○	○	○
PEEK	○	○	○	○	●
PMMA	●	○	○	○	○
POM	●	○	○	○	○
PP	●	●	○	○	○
PPO	●	○	○	○	○
PPS	○	○	○	○	●
PVC	●	-	-	-	-
SAN	●	○	○	○	○
TSG	-	-	○	●	●
Termoseti	●	-	-	-	-
Elastomeri	●	-	-	-	-

- preporučeno
- moguće
- nepreporučljivo

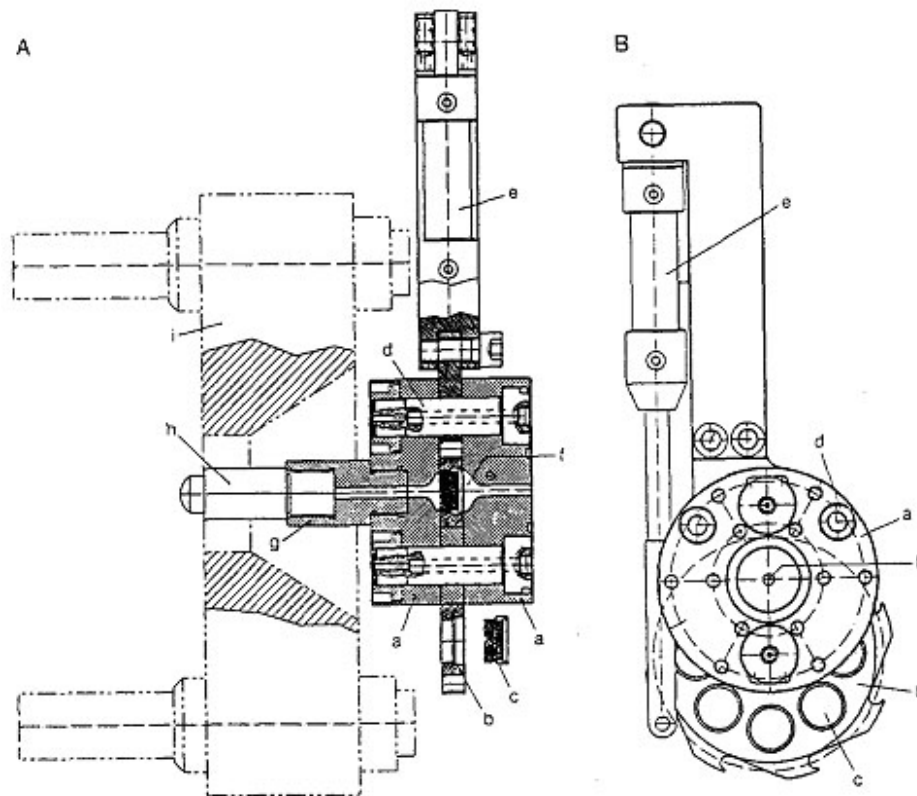
- 1) otporan prema tečenju, losa kontrola temperature
- 2) prigušen, visoko smičući napon
- 3) deo poprečnog kanala = deo poprečne otvorene mlaznice

### 3.6.3. Mlaznice sa filterom

Kod presovanja delova visoke čistoće koriste se mlaznice sa filterom koji odvajaju čestice iz rastopa čija je veličina određena veličinom otvora na filteru. Na taj način sprečava se zagađivanje ulivnog sistema i ušća. Na *slici 63* prikazan je filter sa 1062 otvora prečnika  $\phi 0.5 \div 1mm$ . Zbog velikog ukupnog protočnog preseka kod ove mlaznice ne postoji opasnost od značajnijeg pada pritiska. Čišćenje filtera vrši se povremeno rastavljanjem mlaznice. Na *slici 64* prikazan je sistem za filtriranje koji omogućuje brzu zamenu rešetke.



*Slika 63. Mlaznice sa filterom materijala za delove veličine 0.5 mm, moguće do 1 mm*

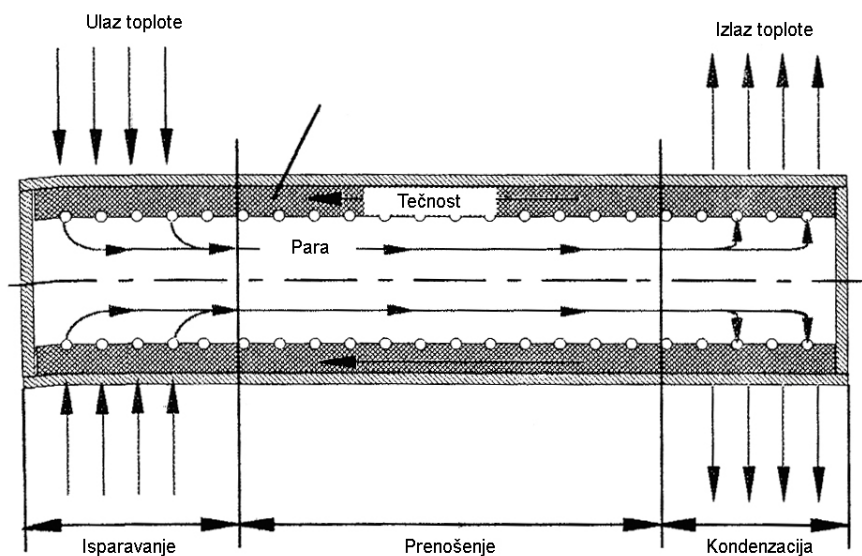


Slika 64. Mlaznica sa okretnim izmenjivim filterom materijala (Geneuss)

A: Pogled u preseku B: Pogled na filter u pravcu tečenja materijala  
 a: Blok filtera; b: Disk filtera; c: Zamenljivi delovi filtera; d: Zavrtnj; e: Hidraulični aktuator;  
 f: Kanal sa proširenjem ka radnim delovima; g: Nastavak mlaznice; h: Mlaznica; i: Nepokretna ploča mašine

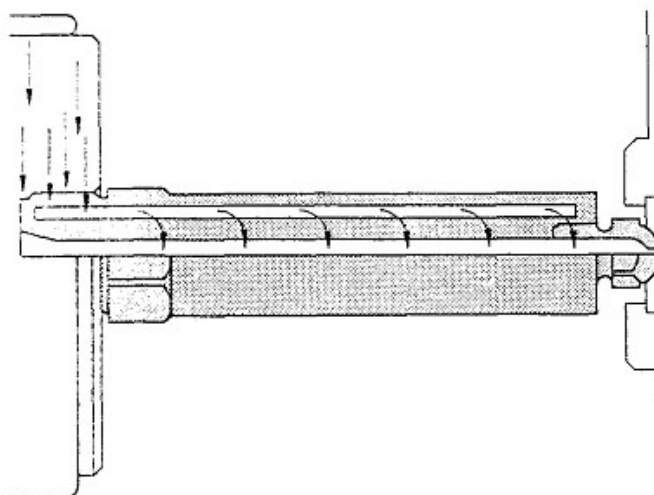
### 3.6.4. Grejanje mlaznice

Na slici 66 prikazana je jedna varijanta grejane mlaznice. Zagrevavanje cevi mlaznice dužina do 250 mm vrši se pomoću toplote iz radnog cilindra. Kod dužih mlaznica (oko 530mm) mora postojati spoljnji izvor toplote za zagrevavanje.



Slika 65. Šematski prikaz grejne cevi: ravnoteža između pare i tečnosti rezultati za izvesni temperaturni balans





Slika 66. Mlaznica sa grejačima i spoljnim grejanim opsegom. Dodatni opseg grejan do značajne dužine koja je potrebna

### 3.7 Oprema injekcione jedinice

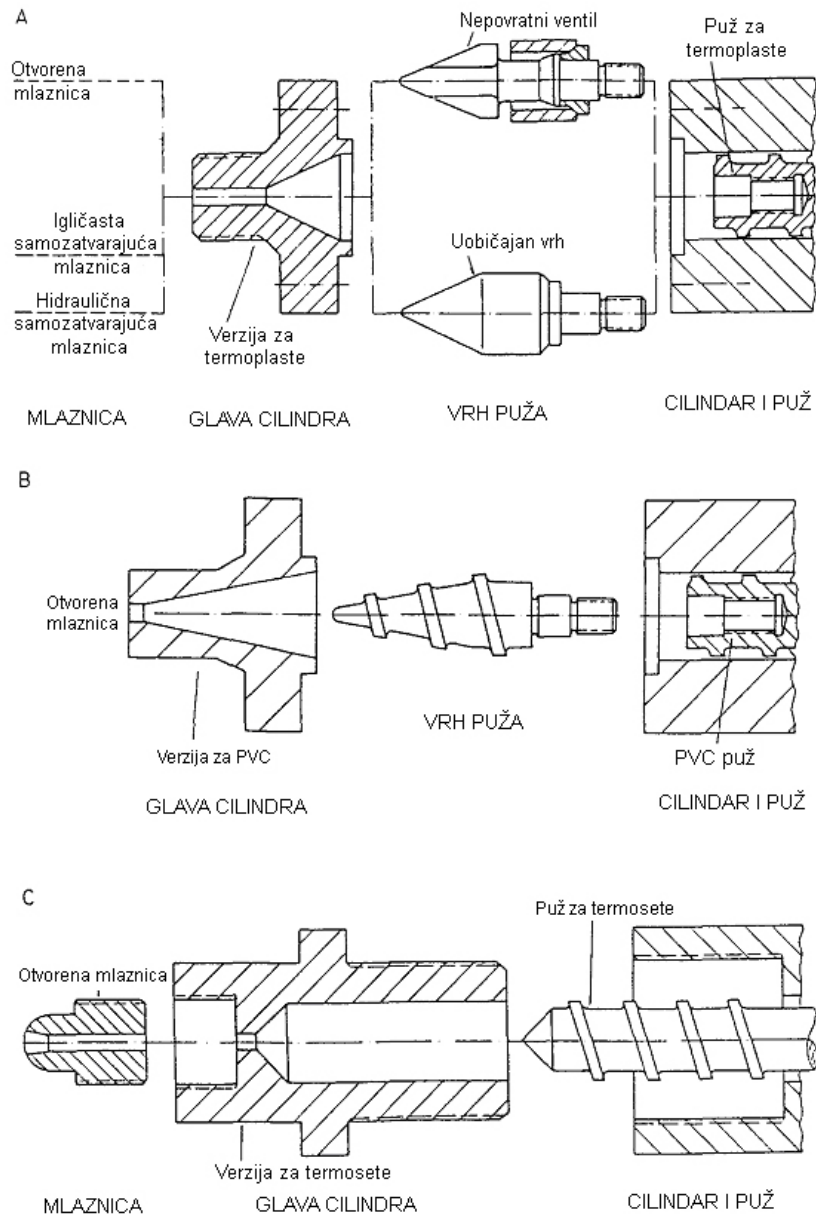
Standardna oprema sa standardnim funkcijama (bez kontrole) injekcione jedinice obuhvata:

- ✚ levak od nerđajućeg čelika sa uređajem za zatvaranje prema cilindru, nadzorno staklo, odzračni otvor za odvod vlage,
- ✚ rotacioni pogon puža,
- ✚ hidraulični (ili pneumatski) injekcioni cilindar,
- ✚ kontrolisano pomeranje injekcione jedinice,
- ✚ kompletna jedinica za plastifikaciju (cilindar, glava cilindra, grejači, mlaznica, puž, nepovratni ventil),
- ✚ instalacija za hlađenje puža (slika 68) sa internim rashladnim sredstvom (A) ili ulazno-izlaznim sistemom (B),
- ✚ zaštitni sistem puža,
- ✚ sistem za obezbeđivanje nepovratnog kretanja puža,
- ✚ sistem za povratno kretanje puža pre ili posle punjenja (granulama),
- ✚ rashladni sistem u zoni punjenja sa potpunom kontrolom,
- ✚ sistem za vođenje mlaznice (centriranje prema ulivnoj čauri),
- ✚ optička kontrola pozicije puža,
- ✚ ventil za rasterećenje naknadnog pritiska,
- ✚ zaštitni sistem u skladu sa regulacijom.

Specijalni sistem (bez kontrole) obuhvata:

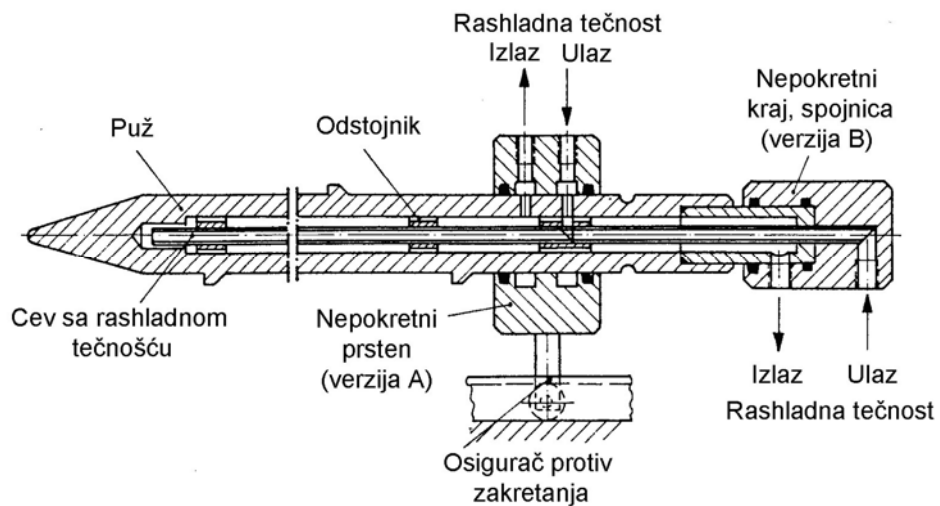
- ✚ jedinica za plastificiranje za PVC (slika 67B), za termosete (slika 67C) i elastomere (slika 50),
- ✚ uređaj za rotacioni pogon puža (elektromehanički ili hidraulični),
- ✚ opcija za priključak akumulatora pri brizganju,
- ✚ samozatvarajuća mlaznica,
- ✚ sistem za promenu sile naslanjanja mlaznice na ulivnu čauru,
- ✚ sistem za kontrolu promene brzine.

Predstavljena lista opreme injekcione jedinice je generalna i može se menjati po želji, zavisno od tehničko-tehnoloških zahteva.



Slika 67. Plastifikaciona jedinica za termoplaste sa glavom cilindra, nepovratnim ventilom, mlaznicom

A: Za termoplaste B: Za krut PVC C: Za termosete



Slika 68. Šuplje jezgro puža sa cevi za rashladnu tečnost sa bočnim ulazom i izlazom (A i B)

## 4. UREĐAJ ZA ZATVARANJE ALATA

Ovaj uređaj omogućuje pomeranje pokretnog dela alata, zatim, obezbeđuje silu zatvaranja, otvaranja alata i zadržavanje u otvorenoj poziciji. Ovaj uređaj sastoji se od vođica (stubova), pokretne i nepokretne traverze i mehanizma za otvaranje, zatvaranje i blokiranje. Sistem za zatvaranje sa alatom predstavlja zatvoreni sistem opterećenja (statički urovnotežen).

Varijante sistema za zatvaranje:

1. mehanički sistem,
2. hidraulični sistem,
3. mehaničko-hidraulični sistem.

Karakteristike najčešće primenjivanih sistema za zatvaranje date su u *tabeli 15*.

Mehanički sistem zatvaranja je superioran u pogledu brzine u odnosu na hidraulični.

Hidraulični sistem ima veće mogućnosti regulacije hoda i smanjene elastične deformacije.

Generalno, ne može se dati prednost ni jednom od sistema za zatvaranje.

*Tabela 15. Sistemi za zatvaranje mašina za inekciono presovanje*

Jedinica za zabavljanje		Zatvaranje i otvaranje	Sila zatvaranja	Maksimalna sila	Podešavanje visine kalupa
Način rada jedinice	Konstrukcija				
Mehanički	Mengele	Mehanički sa osovinom;	Mehanička	Mehanička	Mehanički
	Jedno-polužna	Mehanički ili hidro-mehanički;	Mehanička ili hidro-mehanička	Mehanička	Mehanički
	Dvo-polužna	Hidro-mehanički	Hidro-mehanička	Mehanička	Mehanički
Hidraulični	Direktna hidraulična	Hidraulično	Hidraulična	Hidraulična	Hidraulično i automatski
	Hidraulični sa krutim mehaničkim osobinama	Hidro-mehanički	Hidraulična	Hidraulična	Hidraulično
		Hidro-mehanički	Hidraulična	Hidraulična	Mehanički
Hidraulični cilindar sa obrtnom ručicom; Klip sa hidrauličnim cilindrom	Hidraulični cilindar sa obrtnom ručicom; Klip sa hidrauličnim cilindrom	Hidro-mehanički	Hidraulična	Hidraulična	Hidraulično
		Hidro-mehanički	Hidraulična	Hidraulična	Hidraulično

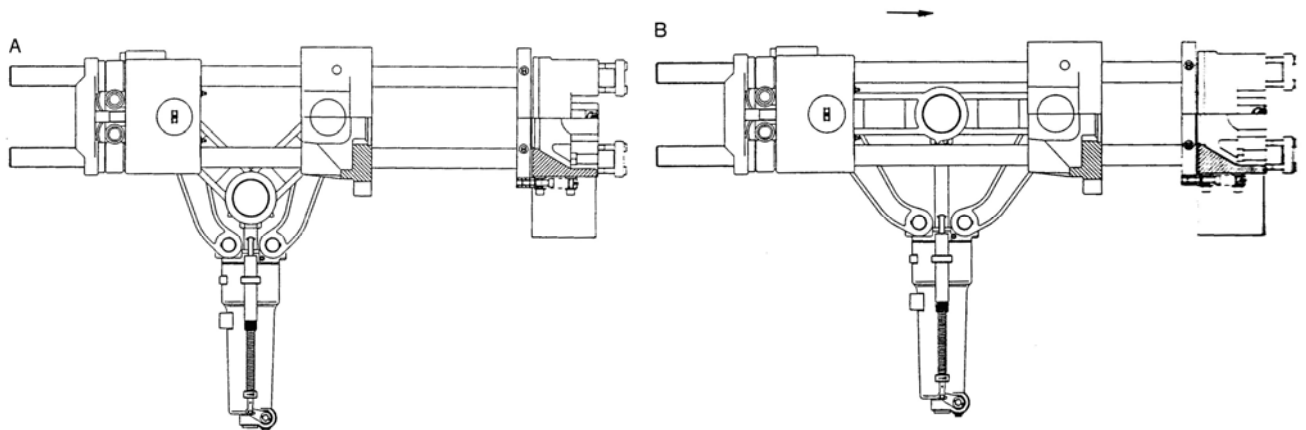
*Napomena: Samo za male mašine*

## 4.1 Mehanički sistem za zatvaranje

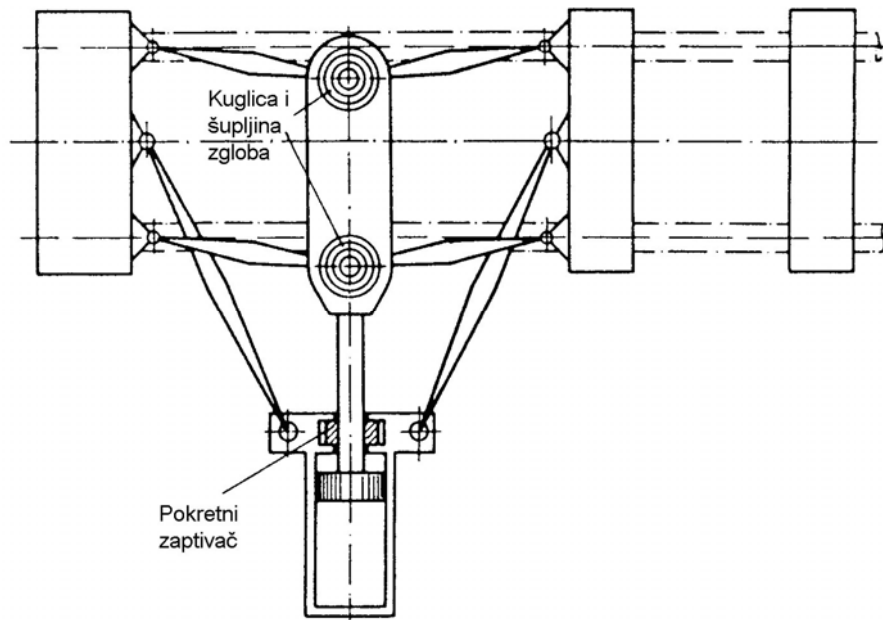
Današnje mašine sa polužnim-mehaničkim sistemom za zatvaranje koriste dvostrani hidraulični sistem za obezbeđivanje sile i kretanja.

Na *slici 69* prikazan je jednopolužni mehanički sistem zatvaranja za male mašine sa silom do 500 KN.

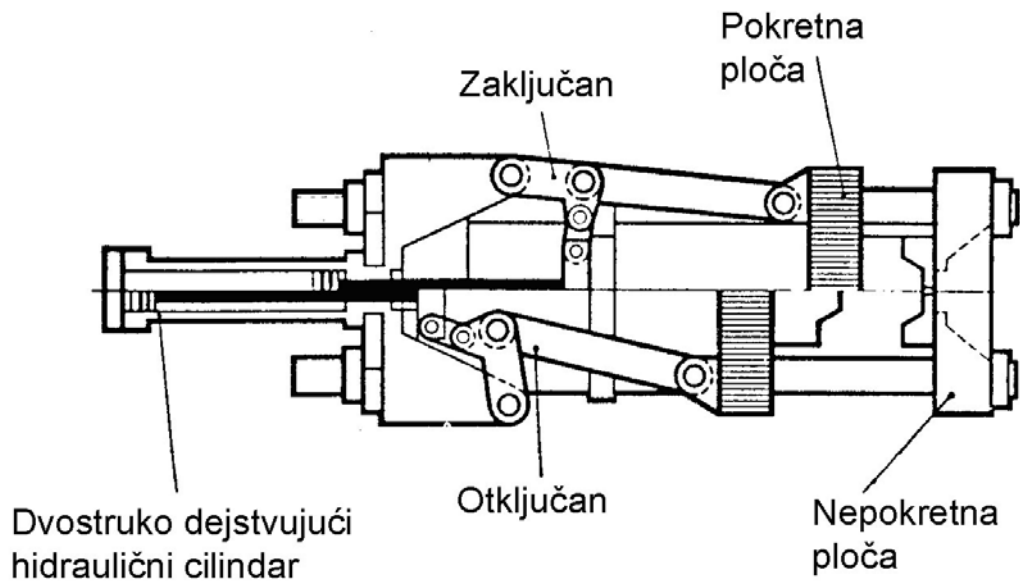
Na *slici 70* je prikazan dvo-polužni sistem koji se primenjuje kod mašina sa silom zatvaranja od 1.000 do 50.000 KN. Konstrukcija na *slici 71* je bolja od prethodne jer ima polužni sistem sa pet tačaka (upoređenje je dato na *slici 72*).



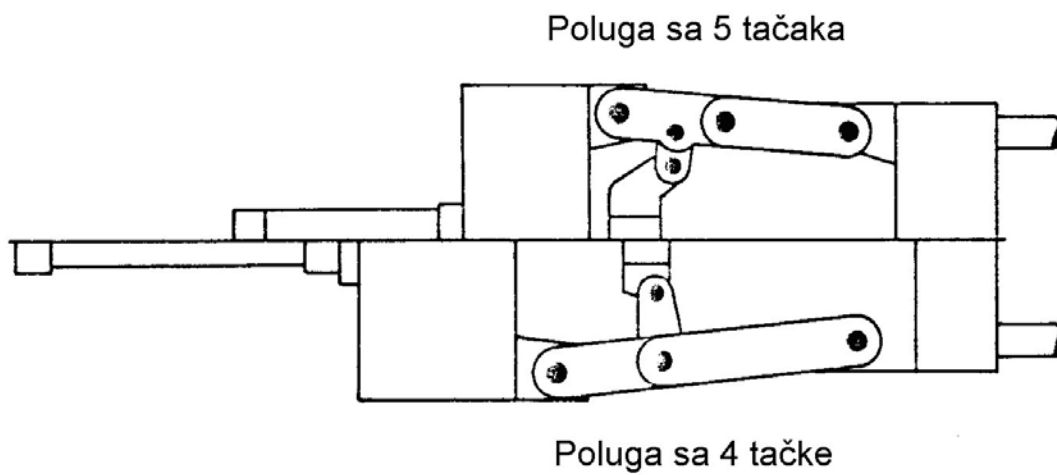
*Slika 69. Jednopolužni mehanički sistem zatvaranja  
A – otvoren položaj B – zatvoren položaj*



*Slika 70. Dvo-polužni sistem zatvaranja sa bočnim pokretačkim cilindrom*



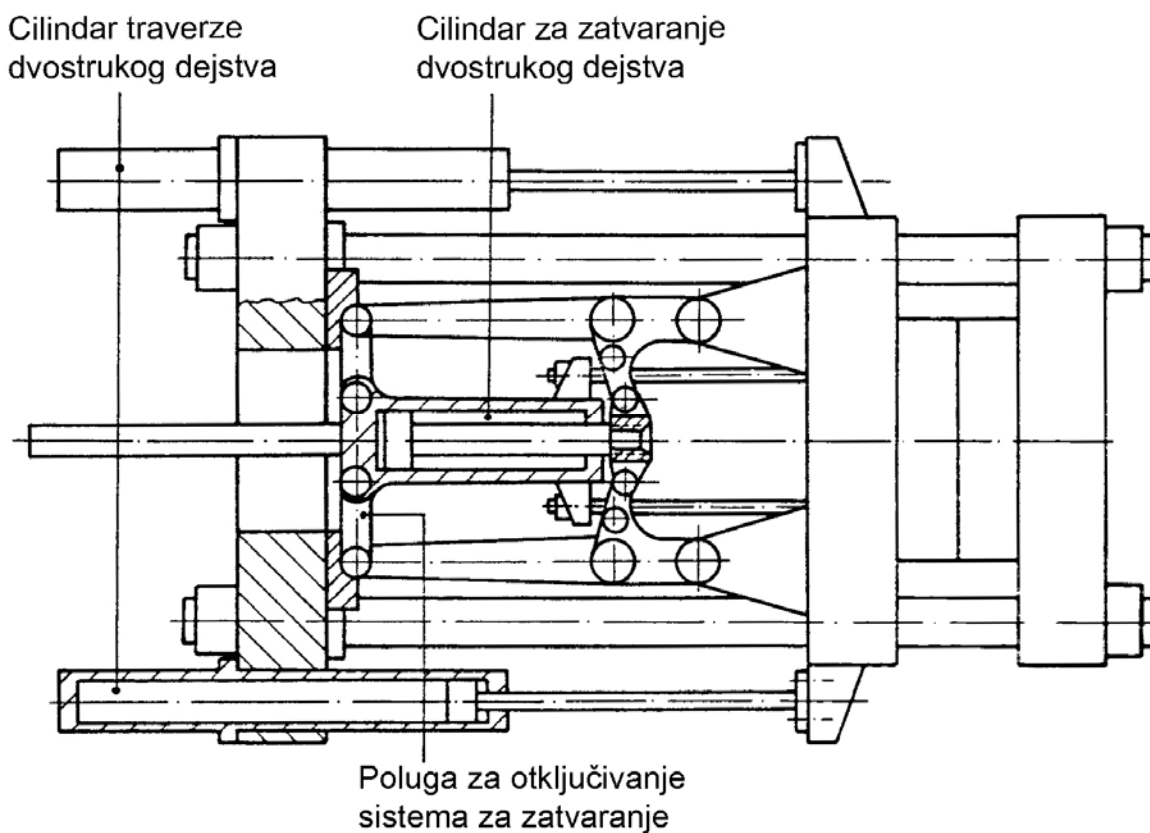
Slika 71. Dvo-polužni sistem zatvaranja sa centralnim pokretačkim cilindrom



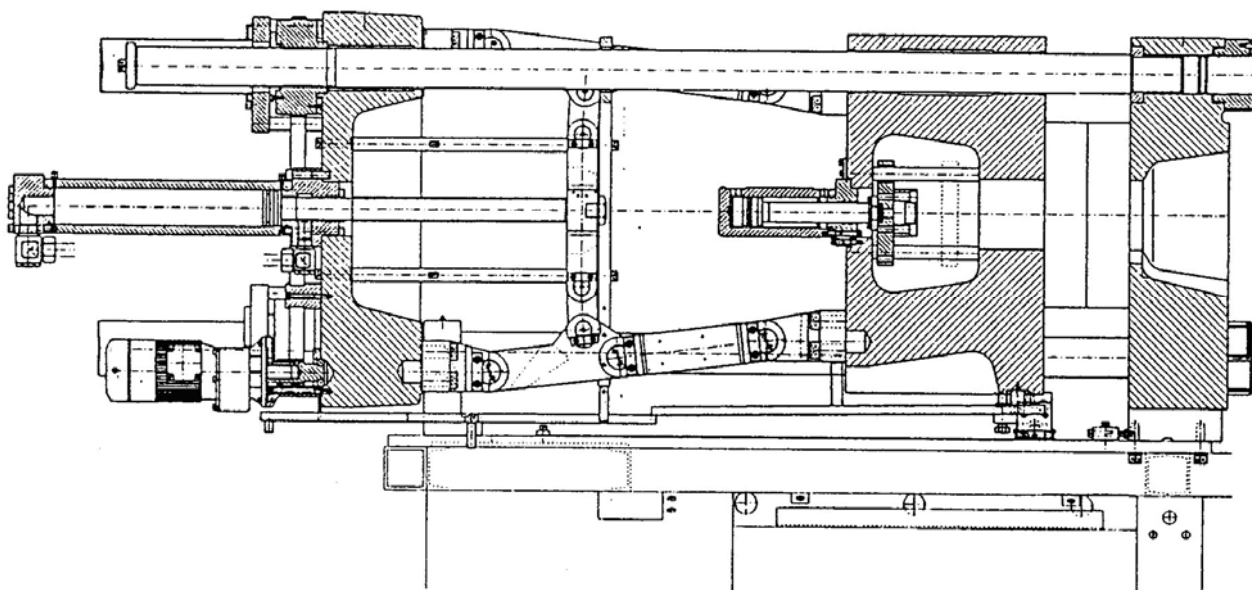
Slika 72. Polužni sistem za zatvaranje, poluga sa 4 tačke u poređenju sa 5 tačaka sa jednakim hodom otvaranja

Podešavanje početne pozicije sistema za zatvaranje vrši se na osnovu dimenzija (visine) kalupa, na dva načina:

1. hidraulično (slika 73)
2. mehanički pomoću zavojnog vretena (slika 74)



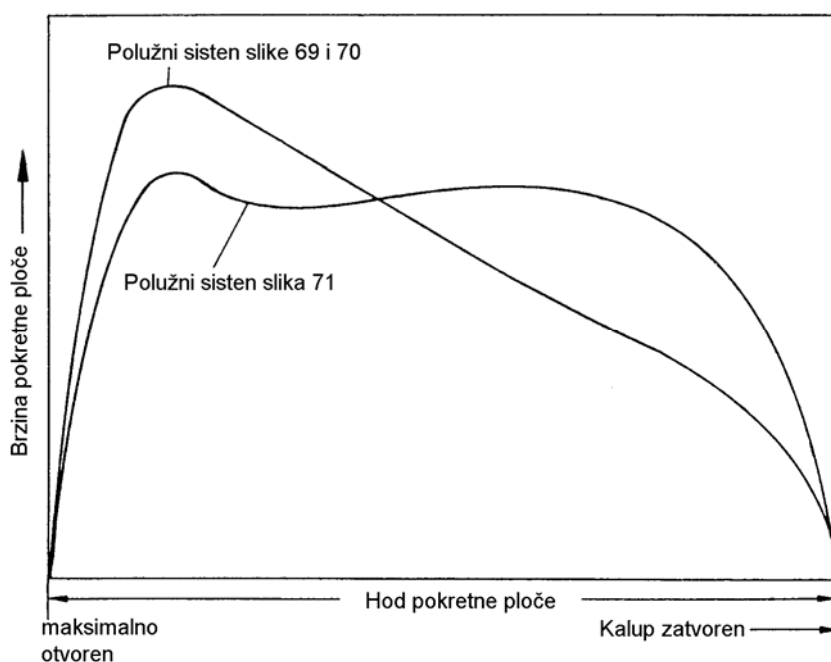
Slika 73. Hidraulično-mehanički sistem za zatvaranje



Slika 74. Centralno podešavanje prostora za alat pomoću zupčastog pogona

#### 4.1.1. Faze rada mehanizma

Mehanički sistem zatvaranja ima određene karakteristike u pogledu dijagrama brzine (slika 75). U fazi zatvaranja pokretanje započinje sa polaganim startom, zatim sledi brzi hod i smanjenje brzine na nulu što obezbeđuje vrlo glatko zatvaranje alata.



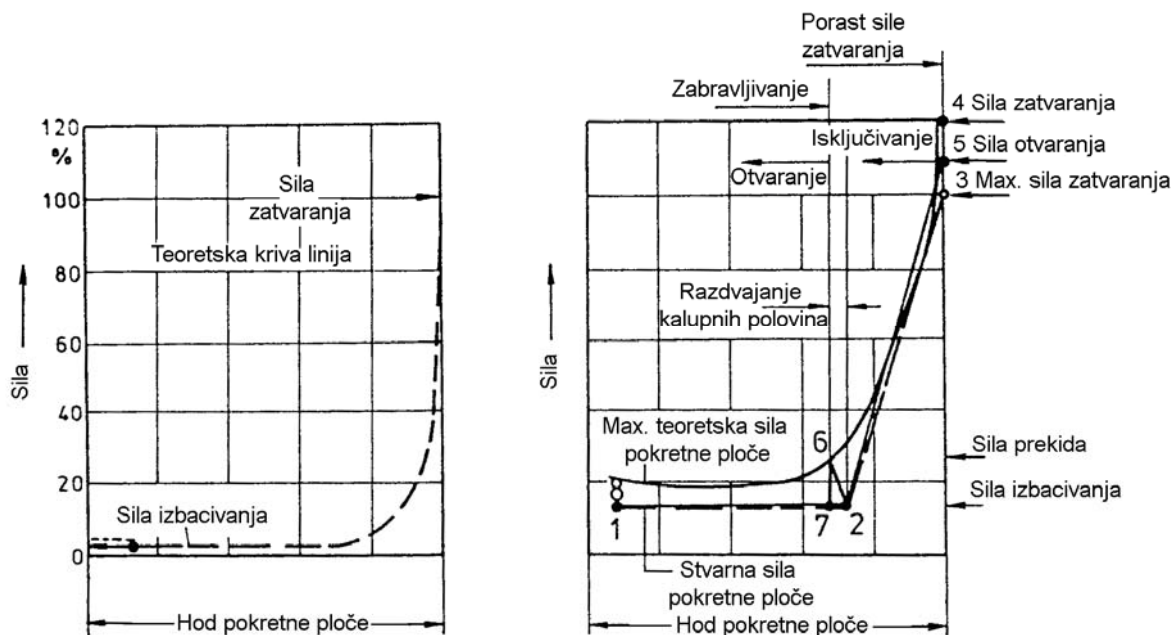
Slika 75. Brzina polužnog sistema za zatvaranje za vreme maksimalnog hoda

Tabela 16. Prosečna brzina pokretne ploče. Maksimalna brzina polužnog sistema za zatvaranje uvećana za faktor do 1,4 do 1,8

Sila zatvaranja (kN)	Maksimalna brzina zatvaranja (mm/s)	Minimalna brzina zatvaranja (mm/s)	Maksimalna brzina otvaranja (mm/s)	Minimalna brzina otvaranja (mm/s)
≤ 500	600 – 1300	80 – 100	600 – 1100	70 – 100
510 – 1000	500 – 1200	80 – 100	500 – 900	60 – 100
1001 – 5000	500 – 800	60 – 80	500 – 700	50 – 80
5001 – 10000	500 – 700	60 – 80	500 – 700	40 – 80
> 10000	500 – 600	40 – 60	400 – 600	40 – 60

Druga važna karakteristika sistema je promena sile u funkciji hoda (slika 76). Grafik levo daje generalnu zavisnost sile, a grafik desno detaljnije opisuje faze:

- 1-2 faza približavanja
- 2-3 kontakt alata, fazu zatvaranja i ukazuje na elastične karakteristike sistema
- 3-4 faza ubrizgavanja, maksimalna sila – sila završavanja mehanizma
- 4-5 hlađenje obratka – pad sile
- 5-6 deblokada sistema
- 6-7 faza otvaranja
- 7-8 pokazuje maksimalni porast u povratnoj fazi zbog trenja. Izbacivanje obratka se dešava između pozicija 7 i 8.

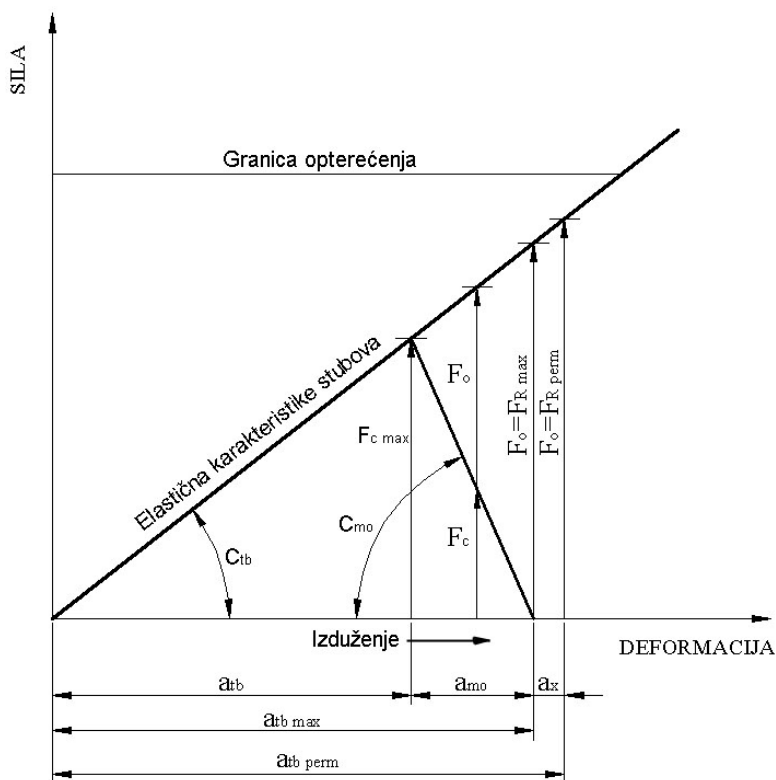


Slika 76. Sile na pokretnoj ploči kod polužnog sistema za zatvaranje

#### 4.1.2. Sila zatvaranja polužnog mehanizma

Maksimalna sila zatvaranja pojavljuje se u potpuno ispruženom položaju poluga, a nastaje usled elastičnosti stubova sistema. Maksimalna sila zatvaranja je najveća sila koju mašina može da proizvede. Vrlo je važna karakteristika mašine jer određuje proizvodne mogućnosti mašine.

Evropski Standardi (Euromap 7) predlažu metodologiju merenja maksimalne sile zatvaranja. Ova sila izaziva maksimalno izduženje stubova  $a_{tbmax}$ . Na slici 77 prikazan je dijagram sile zatvaranja u funkciji izduženja stubova. U dijagramu se vide elastična svojstva stubova i alata. U fazi presovanja stvara se reaktivna sila  $F_R$  (koja je jednaka proizvodu pritiska i površine otpreska).



$F_{c \max.}$  = Maksimalna sila zatvaranja

$F_o$  = Sila otvaranja za vreme ubrizgavanja ili naknadnog pritiska

$F_{R \max.}$  = Maksimalna sila zatvaranja bez sile između polovina kalupa

$F_{R \text{ perm.}}$  = Maksimalna dopustiva sila zatvaranja ograničena da ne bi došlo do curenja

$a_{tb}$  = Izduženje veznih stubova pri  $F_{c \max.}$

$a_{mo}$  = Sabijanje kalupa pri  $F_{c \max.}$

$a_{tb \max.}$  = Izduženje veznih stubova pri  $F_{R \max.}$

$a_{tb \text{ perm.}}$  = Izduženje veznih stubova pri  $F_{R \text{ perm.}}$

$C_{tb}$  = Krutost opruge voznih stubova

$C_{mo}$  = Krutost opruge kalupa



Ova sila dodatno opterećuje stubove, a rasterećuje kalupe tj. smanjuje pritisnu deformaciju kalupa  $a_{mo}$  i povećava izduženje stubova  $a_{tb}$ . Da bi se sprečilo otvaranje kalupa mora biti ispunjen uslov:

$$F_o = F_{R_{max}} \quad \text{i} \quad F_o = F_{R_{perm}}$$

U ovoj fazi izduženje stubova je  $a_{tbmax}$ , a pomeranje površina kalupa je  $a_x$ , koje može da iznosi od 0,05 do 0,1 mm. Rezerva sile stezanja mora iznositi 10%.

#### 4.1.3. Sila otvaranja

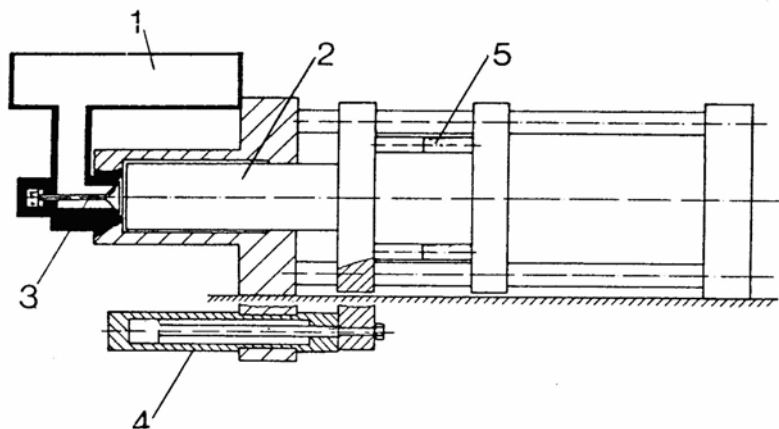
Sila otvaranja je manja od sile zatvaranja mehanizma, a treba da savlada otpore trenja i otpore lepljenja kalupa zbog prisustva obratka u šupljini. U proseku ova sila iznosi 15-30% od sile zatvaranja – detaljnije u tabeli 17. Sila izbacivanja je oko 1-2% od  $F_{Cmax}$ .

Tabela 17. Sila otvaranja i izbacivanja za mašine za inekciono presovanje

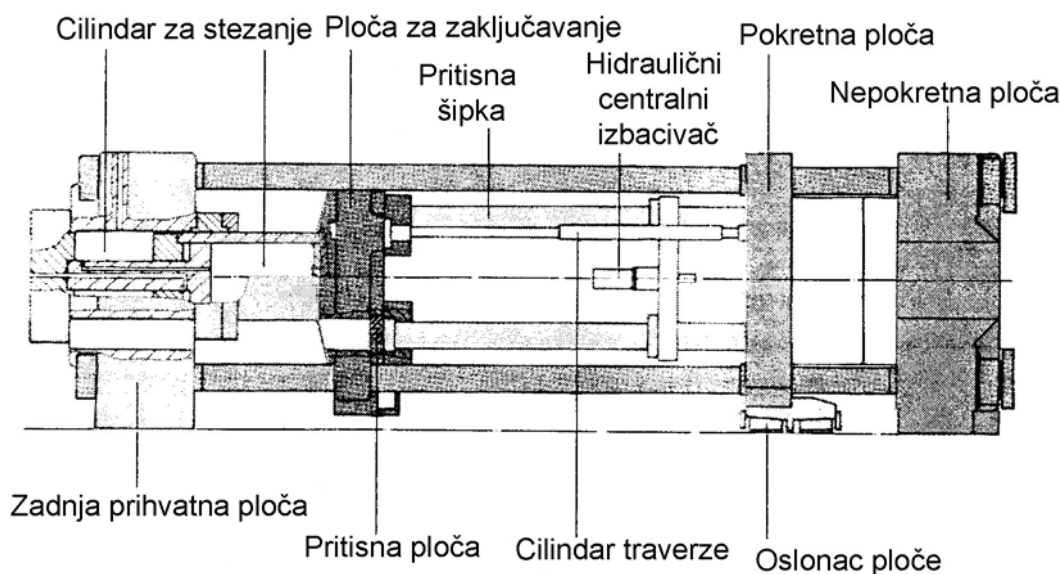
Sila zatvaranja	Nominalna sila otvaranja (Prekidna sila) (kN)		Minimalna sila otvaranja (Sila izbacivanja) (kN)		Sila izbacivanja (kN)
	Polužni sistem	Hidraulični sistem	Polužni sistem direktni	Hidraulični sistem	Hidraulični izbacivač
500	75 – 150	50 – 60	7 – 15	50 – 60	15 – 25
1000	150 – 250	60 – 100	15 – 20	60 – 100	30 – 50
5000	800 – 1200	100 – 200	75 – 100	100 – 200	100 – 150
10000	-	350 – 400	-	200 – 400	150 – 220

## 4.2 Hidraulični sistem za zatvaranje

Zajednička karakteristika ovih sistema je hidrocilindar koji je obično postavljen u centar. Kod nekih konstrukcija klip je čvrsto povezan sa pokretnom pločom (*slika 79*). U hodu približavanja se traverza pokreće pomoću manjeg cilindra 4, a punjenje glavnog cilindra vrši se preko servo ventila 3. Povratni hod obezbeđuju cilindri 4.



*Slika 79. Jedinica za zabavljanje sa centralnom hidrauličnim cilindrom za zatvaranje i odvojenim cilindrima traverze. 1: Rezervoar sa uljem; 2: Centralni hidraulični klip za zatvaranje; 3: Dovodni ventil; 4: Cilindar traverze dvostrukog dejstva; 5: Graničnik za dvo-polužni sistem*

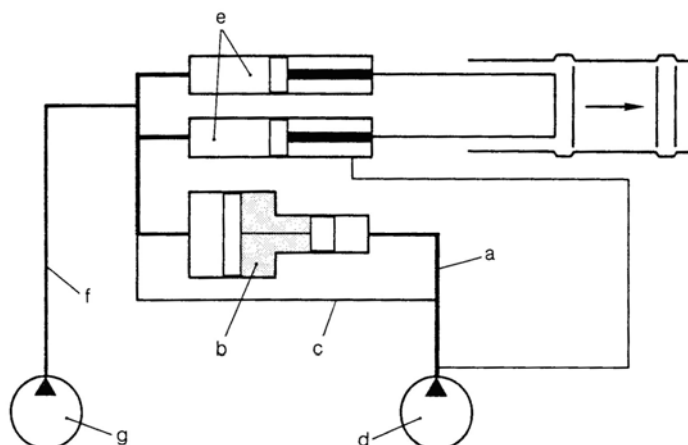


*Slika 80. Jedinica za zatvaranje sa centralnim hidrauličnim cilindrom i mehaničkim zaključavanjem (Kraus Maffei)*

Na *slici 80* prikazana je konstrukcija sistema za stezanje sa mehaničkim zabavljanjem. Pomeranje pokretne ploče izvode cilindri male snage. Silu pritezanja obezbeđuje centralni cilindar i jedan poprečni element uz pomoć kojeg se vrši zabavljanje sistema. Posle odbravljanja pokretna ploča vraća se u početnu poziciju pomoću malih cilindara.

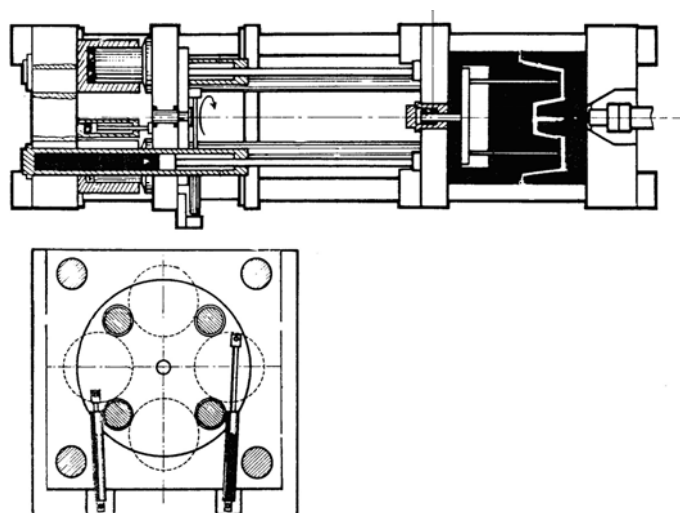
Na *slici 84* prikazan je hidraulični sistem za stezanje sa mehaničkim podsistemom za blokadu, koja se ostvaruje pomoću distantnih šipki i obrtne ploče sa otvorima kroz koje šipke treba da prođu prilikom deblokade.

Za manje mašine (do 500 KN sile stezanja) primenjuje se hidraulični sistem za pomeranje i zabavljanje, sa multiplikatorom protoka (slika 81). U fazi približavanja traverze koristi se pumpa (d) i multiplikator (b), a u fazi stezanja pumpa male snage (g).



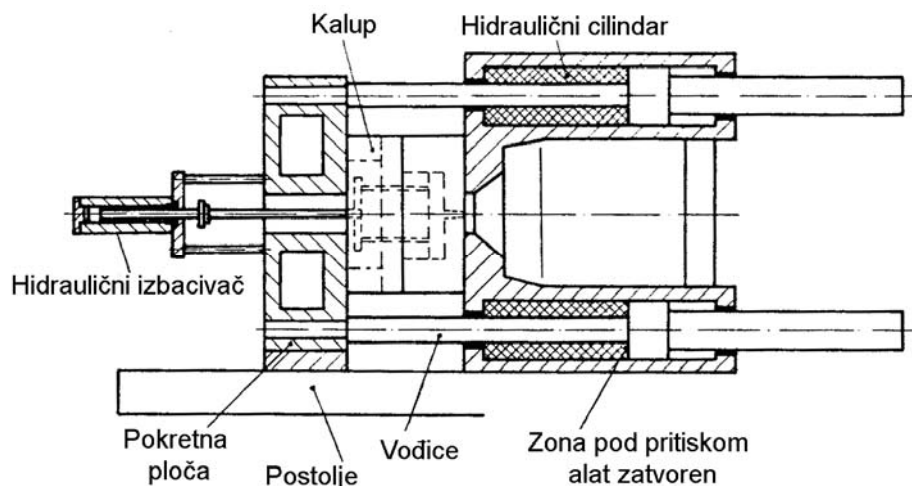
Slika 81. Šema pogona hidraulične jedinice za zatvaranje

a: Brzo zatvaranje sa multiplikovanim protokom; b,c: Direktna veza između pumpe (d) i zatvarajućeg cilindra (e) do porasta sile zabavljanja; f: Pritisak je zadržan pomoću odvojene pumpe (g)



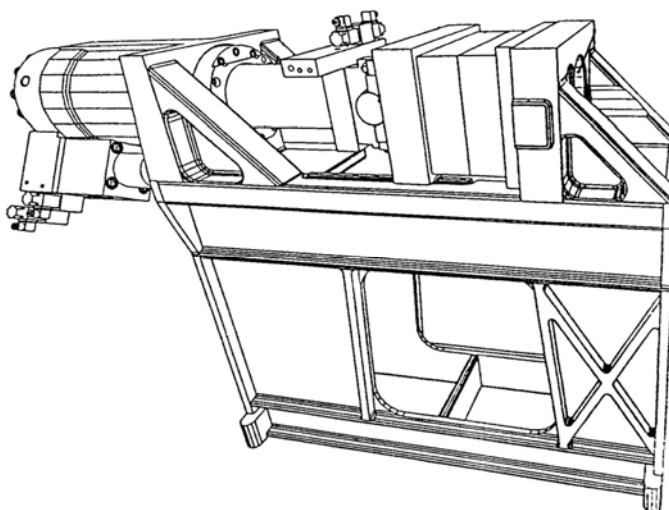
Slika 84. Jedinica za zabavljanje sa nekoliko zatvarajućih cilindara i obrtnih zaključavajućih ploča kroz koje šipke treba da prođu

Na slici 85 prikazan je jedan jednostavan hidraulični sistem sa stezanje, koji je specifičan po tome što vodeći stubovi ujedno predstavljaju klipnjače. Otvaranje alata izvodi se pod pritiskom tečnosti koja se dovodi na suprotnu stranu klipa. Ekonomičnost sistema povećana je time što je omogućena cirkulacija između cilindara.



Slika 85. Odvojena hidraulična jedinica za zatvaranje sa pokretnim vodećim stubovima

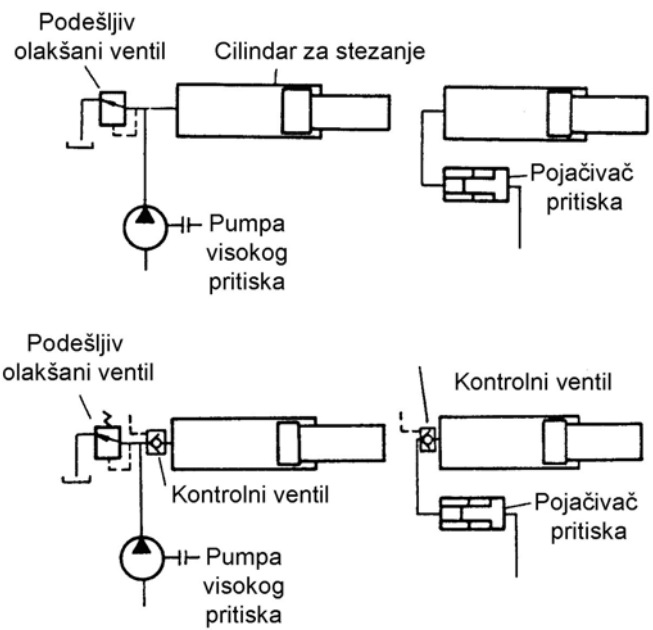
Na slici 86 prikazan je hidraulični sistem za zatvaranje bez vodećih stubova. Umesto njih vođenje se vrši pomoću klizača U-profila.



Slika 86. Jedinica za zatvaranje bez vodećih stubova

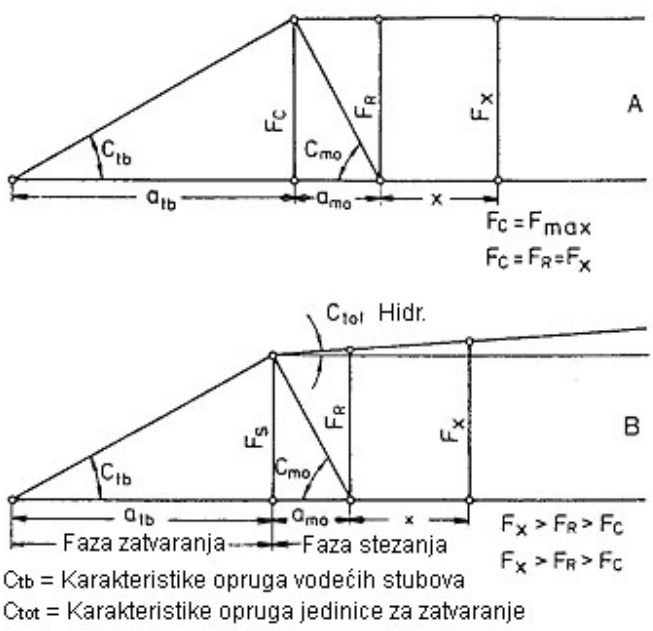
Kod mašina za injekciono presovanje sa hidrauličnim sistemom zatvaranja, brzina pomeranja pokretnog kalupa je približno konstantna, dok kod mašina sa polužnim sistemom zatvaranja se brzina menja od minimalne preko maksimalne pa do nule. Mehanički sistem zatvaranja u principu je brži od hidrauličnog. Ovaj sistem je prihvatljiviji kod visokoproduktivnih mašina. S druge strane, hidraulični sistem zatvaranja je sigurniji kada je u pitanju obezbeđivanje sile stezanja. Na slici 87 prikazane su četiri moguće šeme hidrauličnog sistema zatvaranja:

- a) *gore levo*; stvaranje visokog pritiska i održavanje istog pomoću pumpe visokog pritiska
- b) *dole levo*; stvaranje visokog pritiska pomoću pumpe visokog pritiska i njegovo održavanje kontrolom nepovratnog ventila
- c) *gore desno*; stvaranje i održavanje visokog pritiska pomoću multiplikatora pritiska
- d) *dole desno*; stvaranje visokog pritiska pomoću multiplikatora i održavanje pomoću nepovratnog ventila.



Slika 87. Sistem za stvaranje pritiska za zatvaranje mašina za inekciono presovanje sa potpunim hidrauličnim stezanjem.

Promena sile kod ovih sistema prikazana je na slici 88.



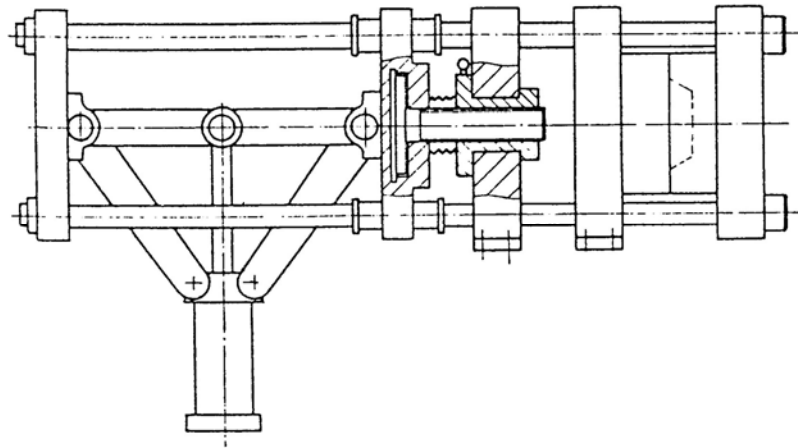
Slika 88. Dijagram sila - deformisanja mašine za inekciono presovanje sa potpunim hidrauličnim zatvaranjem

A: sistem bez kontrolnog nepovratnog sistema – sila je uvek konstantna i nema rezerve povećanja pri presovanju. Kompenzacija pomeranja moguća je ubacivanjem nove količine tečnosti u cilindar.

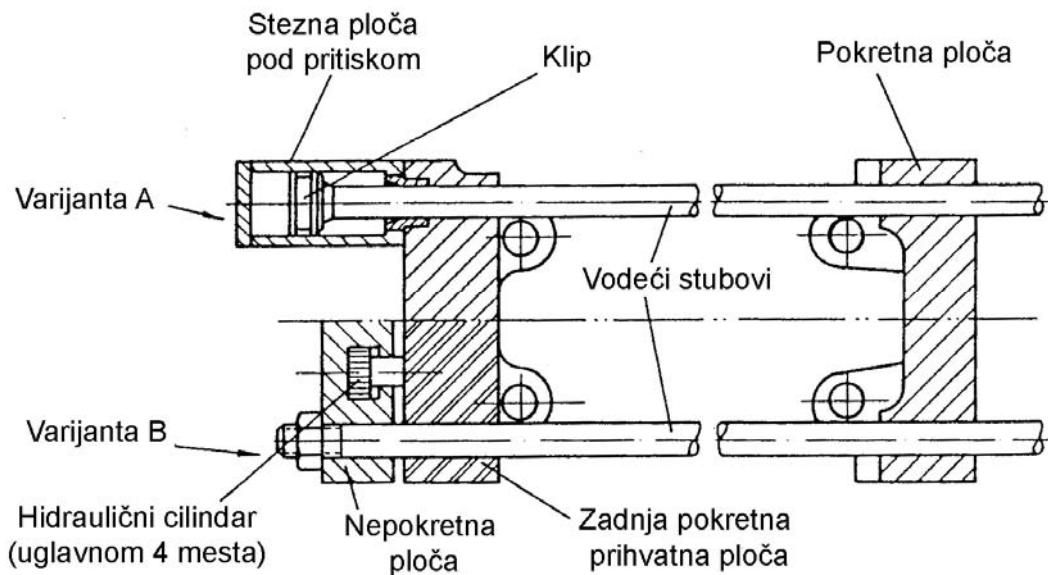
B: sistemi sa kontrolisanim ventilom koji omogućuju povećanje sile tokom presovanja – tj. sistem ima elastična svojstva slična polužnom sistemu zatvaranja.

### 4.3 Kombinovani sistem za zatvaranje

Ovakav sistem je skuplji za izgradnju i na tržištu postoje ostaci ranije izgrađenih mašina ovog tipa. Karakterišu se posebnim operacijama zatvaranja i otvaranja. Polužni sistem, uopšte, koristi se za duge hodove jer je vrlo brz, a kinematske karakteristike imaju prednost u odnosu na hidraulični sistem. Potrebna sila zatvaranja stvara se pomoću hidraulike (slika 89). Neke mašine imaju i po četiri hidrocilindra (slika 90)



Slika 89. Jedinica za stezanje sa kombinovanim mehaničkim (polužno)-hidraulični sistemom za stezanje i centralnim mehaničkim kalupom, visoko podešenim



Slika 90. Jedinica za zatvaranje sa kombinovanim hidraulično-mehaničkim (polužnim) sistemom. Varijanta A, klip na kraju vodećeg stuba; Varijanta B, kratki udarni hidraulični cilindar koji deluje odgore posebno od kraja udarne ploče

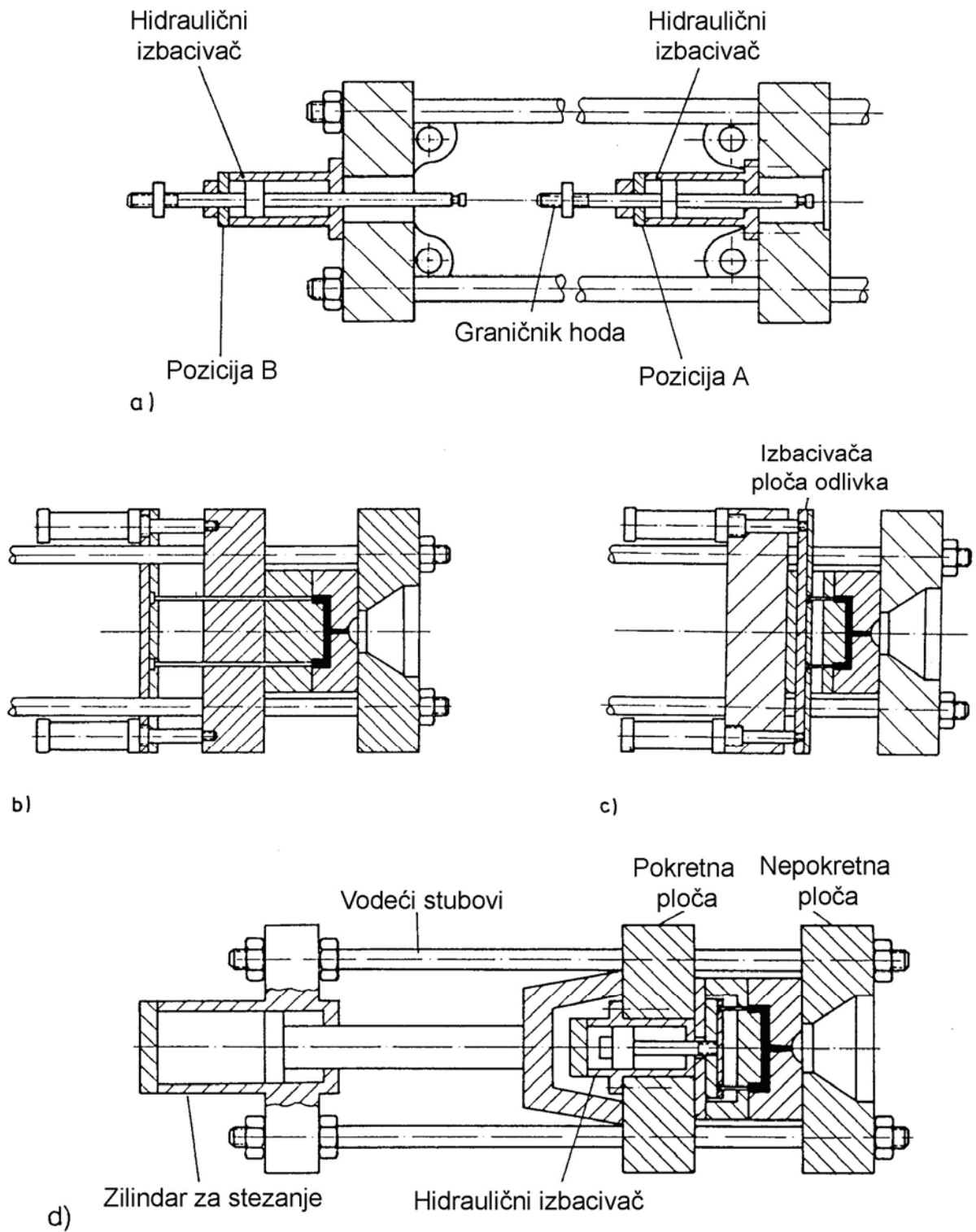
## 4.4 Oprema sistema za zatvaranje

Standardna oprema:

- ✚ komplet za sporo pomeranje
- ✚ uređaj za promenu brzine otvaranja i zatvaranja
- ✚ kontrola brzine za pažljivo stezanje (zaštita kalupa)
- ✚ pozicioniranje pokretne ploče uzduž celog hoda
- ✚ zaštita od nekontrolisanog pomeranja (hidraulična ili električna)
- ✚ sistem za baždarenje sile stezanja
- ✚ zaštita kalupa
- ✚ sistem za izbacivanje – izbacivač
- ✚ kontrola impulsa izbacivača
- ✚ zaštita svih regulacionih sistema
- ✚ vizuelna kontrola prednjeg i zadnjeg položaja
- ✚ pokretna vrata za pomoć operatoru kod mašina sa silom stezanja većom od 5.000 KN
- ✚ lako skidanje najmanje jednog stuba kod mašine sa 4 stuba radi lakšeg montiranja prevelikih kalupa
- ✚ sigurnosni uređaj za vrata.

Opciona oprema:

- ✚ mehanička zaštita od slučajnog (nenamernog) zatvaranja
- ✚ ograničenje hoda sa apsorberima udara
- ✚ hidraulični ili pneumatski sistem izbacivanja (*slika 91*) sa mogućnošću podešavanja hoda i brzine
- ✚ oprema za pokretanje klipa (višenamenski), paralelno ili u sekvencama
- ✚ uređaj za dovođenje izbacivača u početni položaj posle izvršenog izbacivanja
- ✚ sistem za hlađenje ploča mašine
- ✚ automatski sistem za podmazivanje
- ✚ podesivi sistem za namotavanje
- ✚ elektro-hidraulični sistem za podešavanje s obzirom na visinu kalupa (za mašine preko 5.000 KN)
- ✚ kuke za nošenje



Slika 91. Pozicije hidrauličnog izbacivača.

(a) Centralni položaj u pokretnoj ili nepokretnoj traverzi.

(b) Položaj sa strane, pokretanje izbacivača pomoću potporne ploče.

(c) Položaj sa strane, pokretanje izbacivača pomoću potporne ploče u alatu.

(d) Centralni položaj u pokretnoj ploči ili izbacivačkoj kutiji



## 5. POGONSKI SISTEM

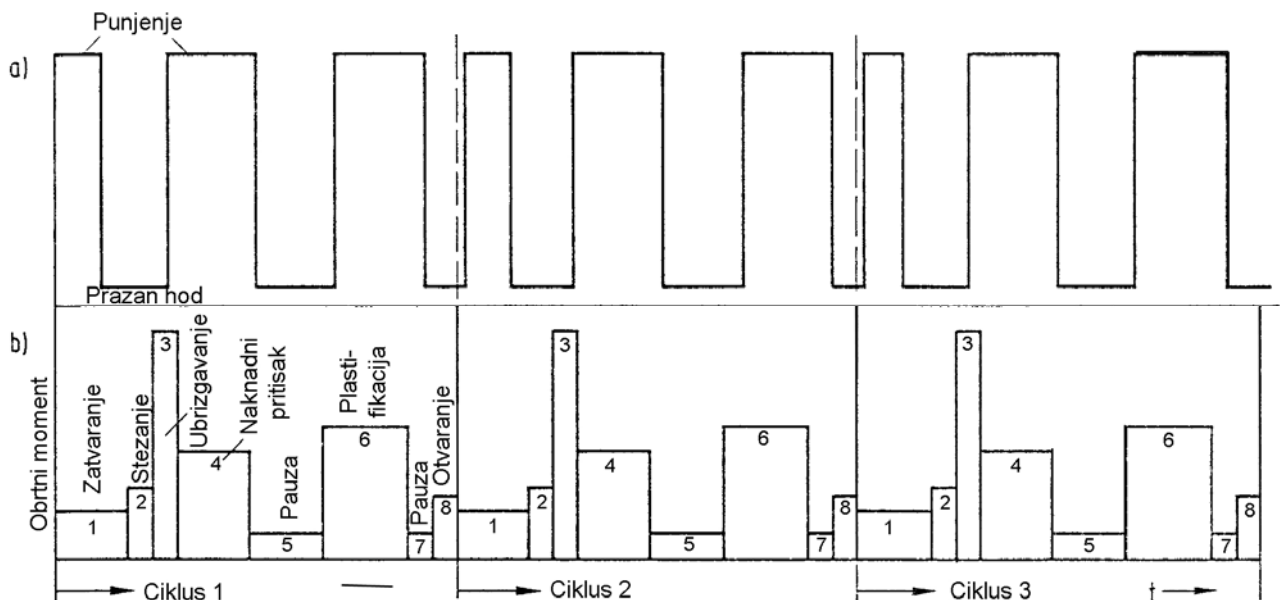
Standardni pogonski sistem mašine za injekciono presovanje sastoji se od jednog elektrohidrauličnog uređaja koga čini elektromotor, pumpa i hidraulični motor. Ranije je široko u upotrebi bio vođeni hidraulični pogonski mehanizam koji sada ima samo istorijski značaj.

Pogonski sistem sastoji se od elektromotora, spojnice, transformatora energije (pumpa i motor) i zupčastog prenosnika. Upotreba pogonskog sistema zavisi od toga da li je u pitanju rotacija ili translacija, a broj lokacija koje zahtevaju pogon određuje generalni dizajn ovog sistema.

### 5.1 Električni pogon

#### 5.1.1. Operacije i obrtni moment

Pogonski sistem mašine za injekciono presovanje u najvećem broju slučajeva, radi u skladu sa inercijom ili u zavisnosti od obrtnog momenta tokom radnog ciklusa. Na slici 92 prikazana je promena obrtnog momenta po fazama radnog ciklusa. Nema bitnije razlike obrtnog momenta kod direktnog elektromotornog pogona i elektrohidrauličnog pogona.



Slika 92. Moment elektro motora za centralnu pumpu hidrauličnog sistema za mašinu za injekciono presovanje: Pumpno-akumulatorski pogonski sistem b: Direktni pumpni pogon

#### 5.1.2. Uslovi zaštite okoline

Ovi uslovi definisani su pravilima NEC (The Nacional Electric Code) i pravilima drugih asocijacija, a odnose se na zaštitu od požara i prašine pri radu elektro motora.

### 5.1.3. Elektromotor

#### 5.1.3.1. Višefazni indukcionni motor

Višefazni kavezni (asinhroni) motori dugo su bili osnova elektromotornog pogonskog sistema zbog konstantnosti brzine tokom operacije i njihove robusne konstrukcije.

Elektromotor ima startni obrtni moment koji je 1,5 puta veći u odnosu na isti pri punom opterećenju pri normalnom naponu. Da bi se startni obrtni moment smanjio kod velikih mašina (preko 370KW) potrebno je smanjiti napon što se postiže pomoću preklopnika »zvezda-trougao«. Na taj način startni obrtni moment iznosi 1/3 od istog pri direktnom napajanju.

Elektromotori mogu da rade i sa vrlo velikim ali kratkotrajnim preopterećenjem koja idu i do 275%.

Broj obrtaja elektro motora zavisi od frekvencije napona i broja polova:

$$N = 120 \frac{f}{P}$$

$f$  – frekvencija

$P$  – broj polova

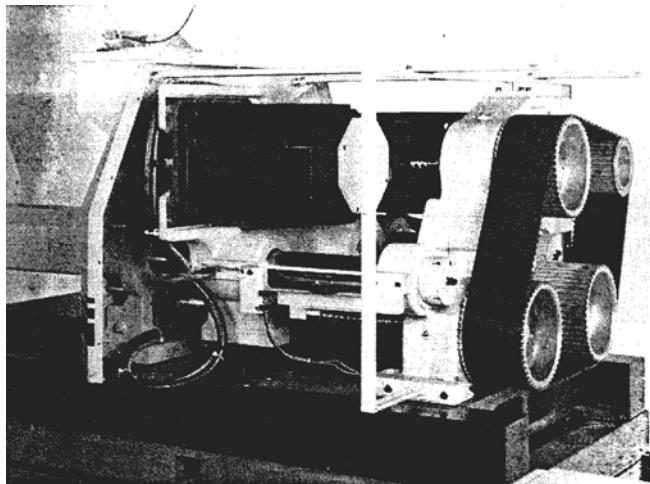
Za promenu broja obrtaja potreban je frekventni konvertor. Ovi uređaji mogu biti tranzistorski i tiristorski.

## 5.2 Elektromehanički pogon

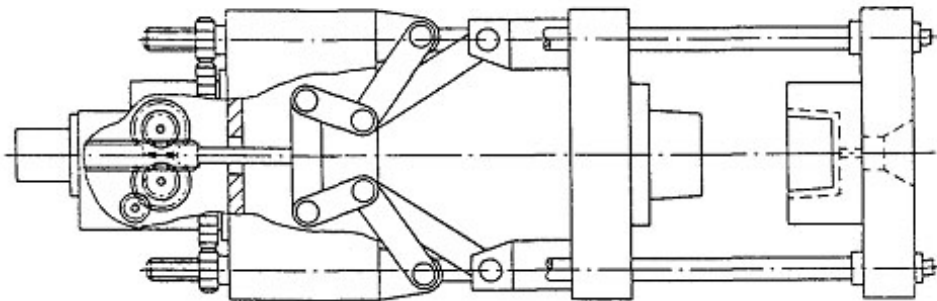
Elektromehanički pogon je praktično nestao sa tržišta 1970. godine zbog neprekidnih funkcionalnih problema. Japanska industrija je 1985. godine ponudila ovakvu vrstu pogona za male mašine sa silom stezanja od 50 ÷ 100KN, kod kojih se primenjuju zupčasti prenosnici i zavojna vretena za obezbeđenje potrebnih kretanja. Ovaj koncept je bio poznat i od ranije, samo je tehnički bio usavršen.

Znatno kasnije (devedesetih godina) na tržištu su se pojavile »električne« mašine za injeksiono presovanje koje je proizveo »Fanuc« - Japan u saradnji sa »Cincinnati Milacron«. Kod ovih mašina rotacija se transformiše u translaciju pomoću zavojnog vretena sa kuglicama. Razvoj trofaznih motora sa frekventnim regulatorom i novih zavojnih vretena doveo je do snažnog razvoja ovih mašina sa silom stezanja od 500 ÷ 3000KN. Pokretanje poluga pri zatvaranju vrši se pomoću zavojnog vretena sa kuglicama. Izbacivač ima svoj motor za pokretanje (slika 94).

Nemačka industrija (Battenfeld; Kloeckner Ferromatik) razvija svoj pogonski sistem za zatvaranje kalupa sa dvostrukim polugama oslonjenim u četiri tačke koje se pokreću pomoću ozubljenih letve. (slika 95).

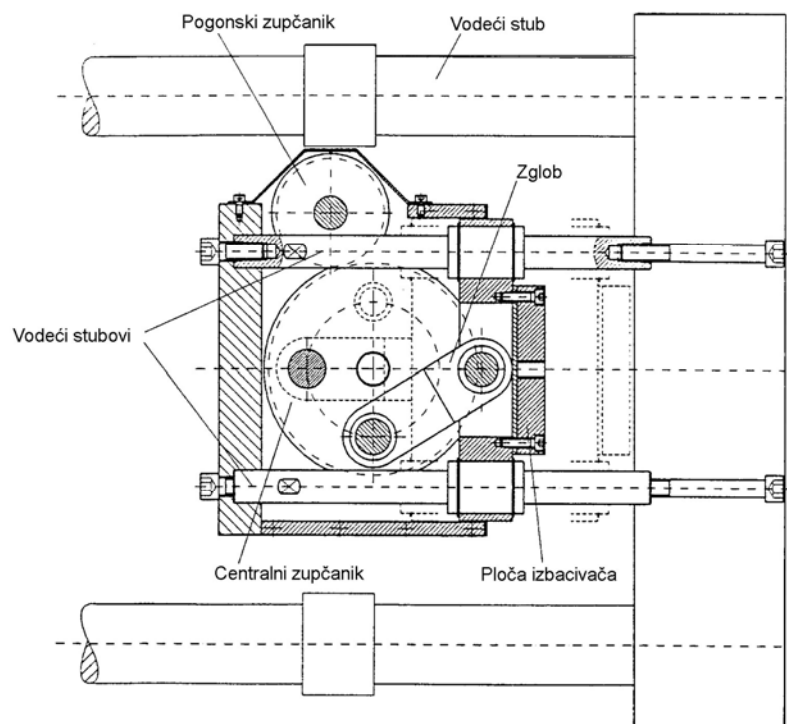


Slika 94. Elektromagnetni pogon inekcione mašine



Slika 95. Pogonski sistem za zatvaranje kalupa sa dvostrukim zupčastim polugama oslonjenim u 4 tačke

Prednost ovog sistema je teorijski limitirana brzina pri zatvaranju i otvaranju. Za pogon izbacivača koristi se poseban elektromotor (slika 96), a sila i brzina izbacivača se unapred programiraju.



Slika 96. Ekscentar pogon izbacivača, početna sila izbacivanja je velika, kao i brzina

## 5.3 Elektro-hidraulični pogon

Za transformaciju električne u mehaničku energiju koriste se i pumpe (klipne, zupčaste, lopatične i dr.). Kod ovog pogona često su u upotrebi hidraulični motori.

### 5.3.1. Hidraulični motori

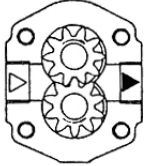


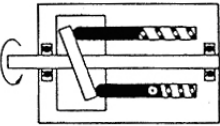
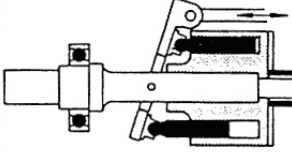
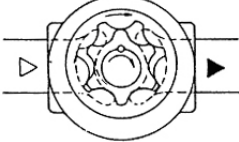
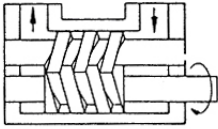
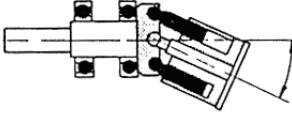
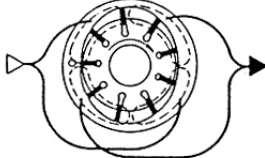
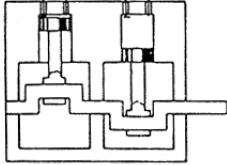
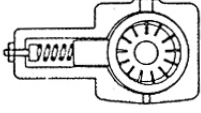
Hidraulični motori su sastavni deo elektro-hidrauličnog pogona. Razlikuju se linearni hidromotori-cilindri i rotacioni hidromotori.

Kod mašina za injekciono presovanje koriste se rotacioni hidro-motori i to najviše za pogon puža.

Karakteristike hidrauličnih motora su:

- ✚ kontinualna regulacija broja obrtaja u širokom opsegu
- ✚ uvek konstantan obrtni moment u celom području broja obrtaja
- ✚ lako ograničavanje obrtnog momenta pomoću kontrolnog ventila i na taj način obezbeđena je i zaštita od loma
- ✚ mala inercija rotacionih delova i lako pokretanje i kočenje
- ✚ mala težina i kompaktna konstrukcija, lako ubrzavanje pogona
- ✚ efikasan uticaj na brzinu

Tipovi motora i karakteristike date su na *slici 98* i *tabeli 20*.

	Pumpa sa konstantnim hodom	Pumpa sa promenljivim hodom
	 Zupčasti motor	 Radialno - klipni motor
 Zupčasti motor sa unutrašnjim zupčanikom	 Aksijalno - klipni motor	 Promenljiv aksijalno - klipni motor
 Unutrašnji zupčasti motor jednozubom razlikom	 Dvostruko pužni motor	 Klipni motor sa kosom pumpom
 Motor sa lopaticama	 Seriski klipni motor	 Motor sa lopaticama

Slika 98. Tipovi hidrauličnih motora

Tabela 20. Karakteristike hidrauličnih motora

Tip pumpe	Kapacitet cm <sup>3</sup> /min	Moment Nm	Opseg pritisa MPa	Brzina rpm
Zupčasti motor	5 – 300	14 – 900	15 – 22	4000 – 800
Motor sa lopaticama	50 – 2300	130 – 6600	14 – 20	1500 – 200
Motor sa oscilujućim lopaticama	60 – 750	140 – 1600	14.5 – 21	1000 – 600
Unutrašnji zupčasti motor	12 – 800	18 – 2000	14 – 18	1600 – 200
Aksijalno - klipni motor	10 – 2000	40 – 8000	25 – 35	6000 – 2000
Radijalno - klipni motor	25 – 23 000	90 – 85 000	25 – 31.5	900 – 80

Osnovni tipovi hidro-motora:

- zupčasti
- lopatični
- lopatično oscilujući (swinging vane)
- interno zupčasti
- klipni (aksijalni i radijalni)

Zupčasti motori imaju sekundarni značaj zbog suvišnog klizanja i niske efikasnosti. Lopatični motori takođe gube značaj zbog pada efikasnosti pri porastu pritiska. Motori sa unutrašnjim ozubljenjem, pre svega se koriste kod malih i srednjih mašina zbog njihovog limitiranog kapaciteta. Aksijalno klipni motori su visokobrzinski hidraulični pogoni koji se uspešno koriste kod malih i srednjih mašina. Kod mašina sa pužem prečnika preko 50mm kombinuju se sa mehaničkim prenosnikom da bi se postigao željeni obrtni moment. To ima za posledicu smanjenu efikasnost, veću buku i veću cenu pogona. Od motora navedenih u tabeli 20 radijalno-klipni ima specijalnu pouzdanost u direktnom pogonu mašina za injekciono presovanje. Ovaj motor (slika 99) sa hidrauličnim uređajem za rasterećenje ima visok hidraulični (volumetrijski) i mehanički stepen iskorišćenja i ekstremno nisku buku u radu. Ovi motori mogu da se koriste u direktnom pogonu puža bez prenosnika (reduktora) za smanjenje broja obrtaja, za puževe od najmanjih do najvećih prečnika. Proizvode se sa konstantnim i promenljivim hodom klipa

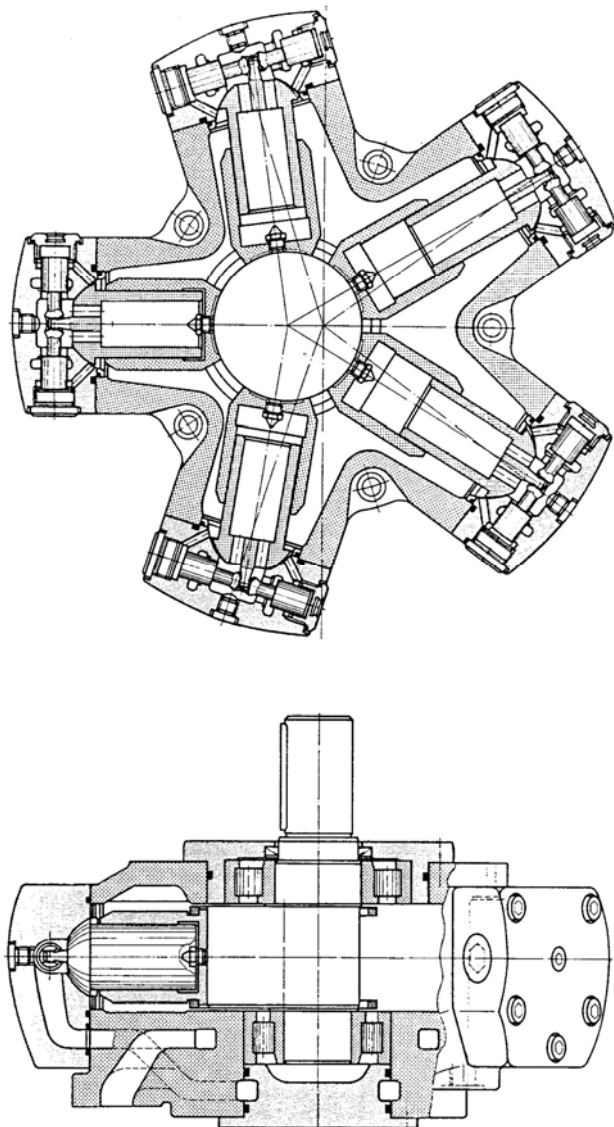
Radijalni motor sa promenljivim hodom omogućuje dobro podešavanje brzine, obrtnog momenta sa dobrim iskorišćenjem instalisane snage.

Ulazna snaga se transformiše u moment i broj obrtaja (ugaonu brzinu) u opsegu 3:1. Hidraulična snaga ostaje konstantna dok se zahtevi u pogledu obrtnog momenta i ugaone brzine mogu podešavati po želji u određenom opsegu; mali moment – velika ugaona brzina i obrnuto (slika 100B). Motor sa promenljivim radijalnim hodom ima veliku prednost u odnosu na motor sa konstantnim hodom klipa.

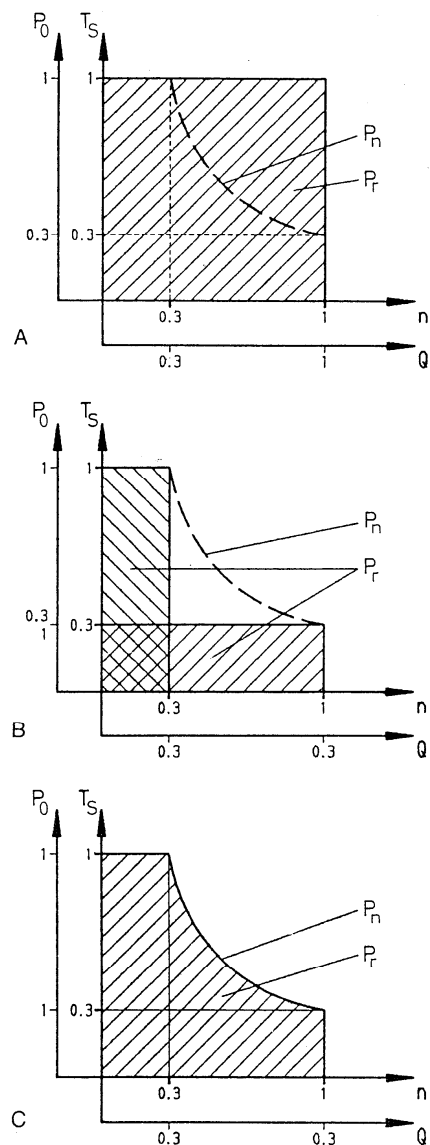
Radijalni klipni motor sa regulacijom hoda praktično ispunjava sve energetske potrebe savremenih mašina za injekciono presovanje. Počev od faze punjenja (dodavanja) sirovog materijala, kada je potrebna velika količina energije, pažljivo dimenzionisana pumpa i motor omogućuju pokretanje puža sa pokrivanjem energetskih zahteva. Gubici protoka i pritiska mogu se podesiti na najmanju meru.

Podešavanje pritiska u pogonskom sistemu omogućuje pumpa.

Na slici 100 prikazane su različite mogućnosti podešavanja obrtnog momenta i broja obrtaja hidrauličnog radijalnog motora.



Slika 99. Radijalno- klipni motor



Slika 100. Motor sa  $T_s$ - $n$  regulacijom (sa promenljivim hodom klipa)

- $P_0$  - Radijalni pritisak
- $T_s$  - Obrtni moment
- $n$  - Broj obrtaja
- $P_n$  - Potrebna (potrebna) snaga
- $P_r$  - Radna (procenjena) snaga
- $Q$  - Protok

- A – Motor konstantnog hoda
- B – Preklopni motor (dva položaja)
- C – Motor promenljivog hoda

### 5.3.2. Hidraulične pumpe

Pumpe su integralni deo pogonskog sistema mašina za injekciono presovanje. Hidraulična pumpa koju pokreće elektromotor obično sa  $n = \text{const.}$ , transformiše električnu energiju u hidrauličnu prema relaciji:

$$k_1 \cdot T_1 \cdot N = K_2 \cdot V \cdot p_H \quad (N \cdot \omega = P \cdot Q = N)$$

$k_1, k_2$  - konstante

T - obrtni moment motora

N - broj obrtaja motora

$p_H$  - pritisak pumpe

V - protok

Pumpe mogu da rade sa takozvanom p-V regulacijom pri konstantnoj snazi elektromotora, što je pogodno za pogon puža, zatim pogon jedinice za zatvaranje, izbacivača i drugih elemenata mašine. Najčešće upotrebljavane pumpe prikazane su na slikama 103 do 110. Na slici 111 prikazani su hidraulični simboli za pumpe i motore. Važni tehnički podaci pumpi datu su u tabeli 21. Pumpe pri radu stvaraju buku koja prema Evropskim standardima ne sme preći granicu od 85dB.

Efikasnost pumpi u pogledu pritiska je oko 90% od maksimalnog. Određeni gubici pritiska mogući su zbog otpora pri usisavanju i usled zagrevanja ulja. U tabeli 21 dat je ukupan stepen korisnog dejstva pumpe, a ne mašine. Stepenn korisnog dejstva mašine za injekciono presovanje je 6-25%.

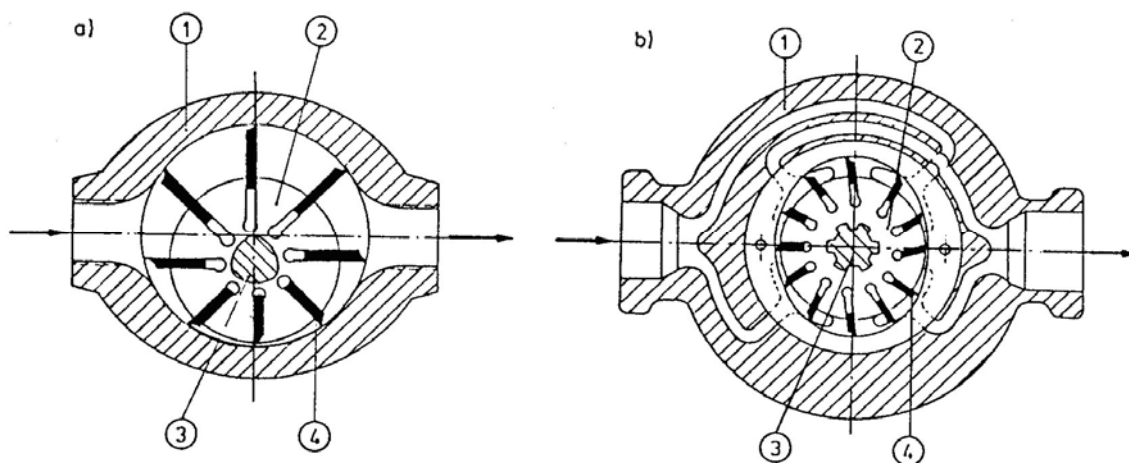
Hidraulične pumpe kod mašina za injekciono presovanje treba da budu postavljene ispod nivoa ulja. To omogućuje da budu postavljene u rezervoar ili još bolje van njega. Brzina na usisnom vodu kod pumpi treba da je do 1,5m/s. Po potrebi na usisnom vodu postavlja se filter radi eliminisanja nečistoća, koje mogu ugrožavati postizanje visokog pritiska.

Pogonski sistem mora biti postavljen tako da obezbedi smanjenje buke u cevima i sistemu uopšte. To se postiže pomoću gumenih podmetača i elemenata za povezivanje cevi. Moderni hidraulični sistemi zahtevaju predgrevanje radne tečnosti pre početka rada, kako bi se obezbedile performanse mašine. Održavanje temperature ulja je neophodno, a obezbeđuje se odgovarajućom regulacijom. Na taj način održava se viskoznost ulja u određenim granicama.

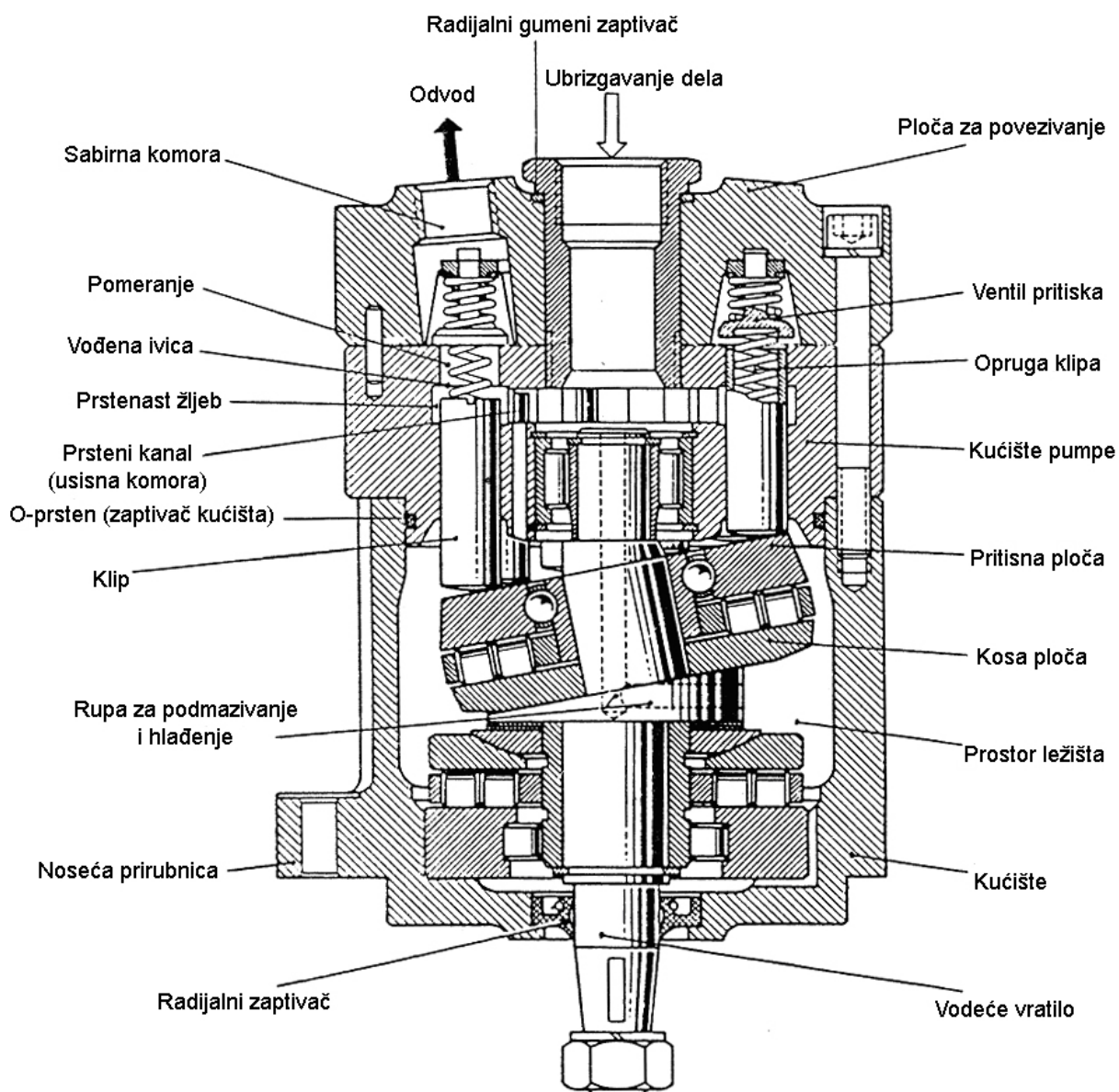
Tabela 21. Ukupni stepen iskorišćenje  $n_{tot}$  i buke  $d(A)$  različitih pumpe i sa različitim pritiscima pri 1500 rpm

Karakteristike		Nepokretna - klipna pumpa				Promenljiva - klipna pumpa			
		Pumpa sa lopaticama	Aksijalno-klipna pumpa	Radijalno-klipna pumpa	Obimna pumpa sa propusnim ventilom	Zupčasta pumpa	Unutrašnja župčasta pumpa	Radijalno-klipna pumpa	Pumpa sa lopaticama
$n_{tot}$	7 MPa	76-85	85-87	85-87	91-92	77-80	90-92	82-86	76-82
	14 MPa	75-84	90-92	87-90	88-90	76-78	88-90	88-90	78-86
	21 MPa	74-82	91-93	87-90	87-88	74-76	87-89	86-88	-
Nivo buke dB(A)	7 MPa	60-70	78-80	76-80	~ 62	74-80	70-73	65-67	65-68
	14 MPa	72-75	80-83	77-81	~ 65	75-82	~ 76	69-71	65-70
	21 MPa	76-80	80-86	79-83	~ 67	76-85	~ 77	72-74	-



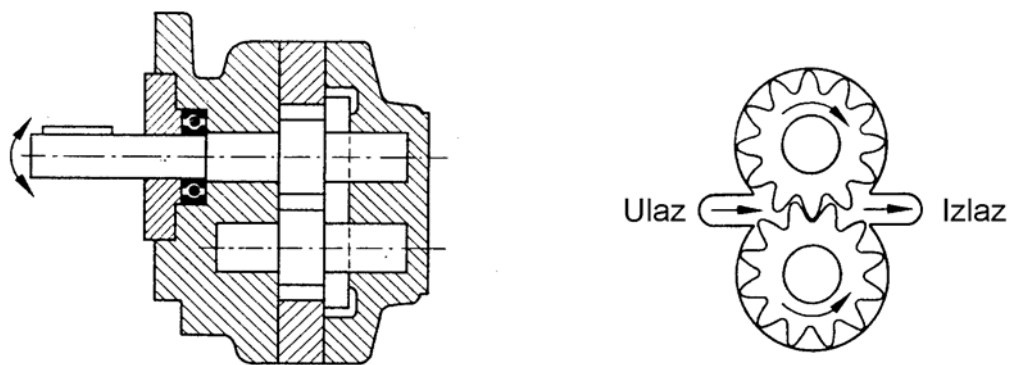


Slika 103. Pumpa sa krilcima 1: Kućište, 2: Rotor, 3: Vratilo, 4: Lopatica  
 a: Pumpa se ekscentrično postavljjenim rotorom;  
 b: Pumpa sa ovalnim satorom

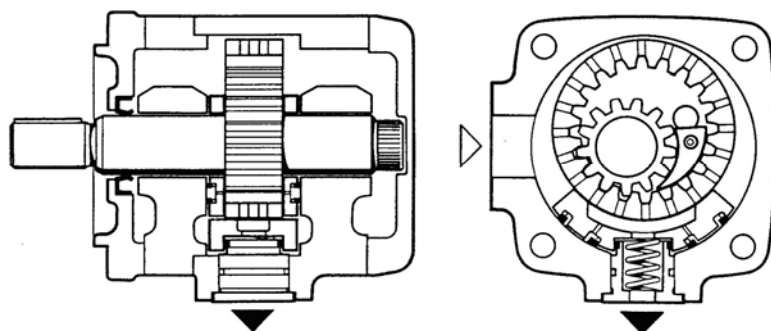


Slika 104. Aksijalna klipna pumpa sa promenljivim hodom

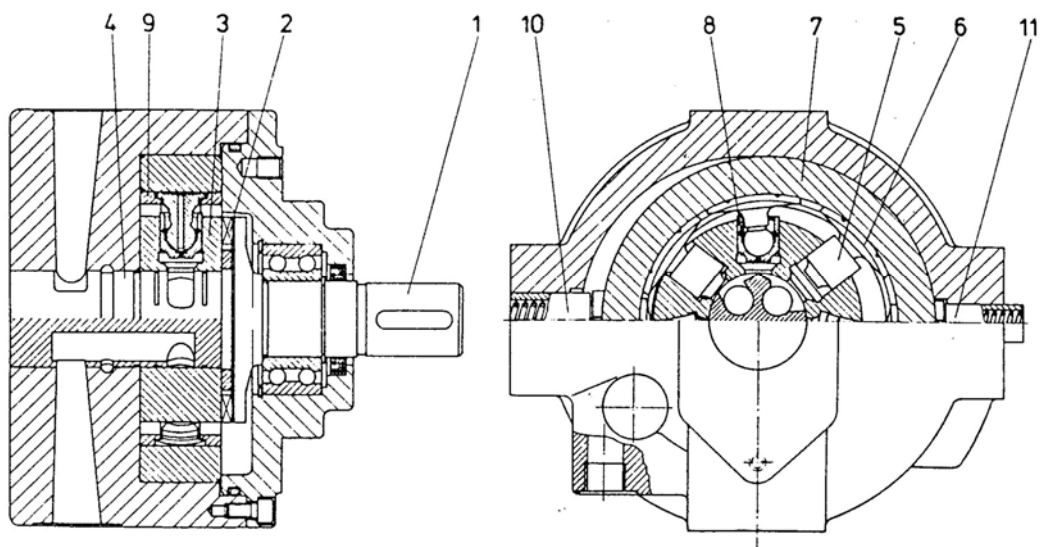




Slika 105. Zupčasta pumpa



Slika 106. Unutrašnja zupčasta pumpa



Slika 110. Radijalno-klipna pumpa promenljivog hoda

1: Pogonsko vratilo, 2: Disk spojnice, 3: Nosač klipa, 4: Kontrolna osovinica, 5: Klip  
6: Pritisne vođice, 7: Vodeći prsten, 8,9: Potisni prsteni, 10,11: Podešavajući klipovi

Pumpe  
Konstantnog hoda

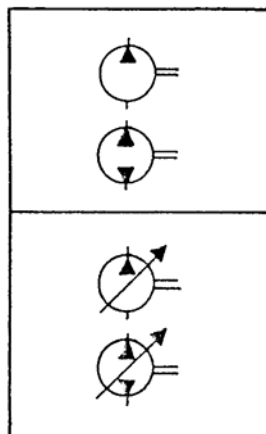
1. izlazni kanal

2. izlazni kanali

Pumpa promenljivog hoda

1. izlazni kanal

2. izlazni kanali



Motori  
Sa konstantnim hodom

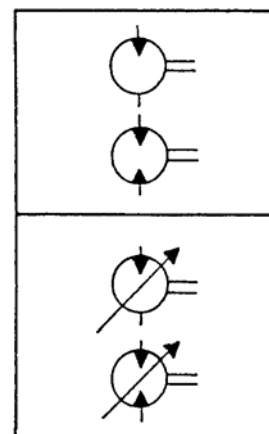
1. ulazni kanal

2. ulazni kanali

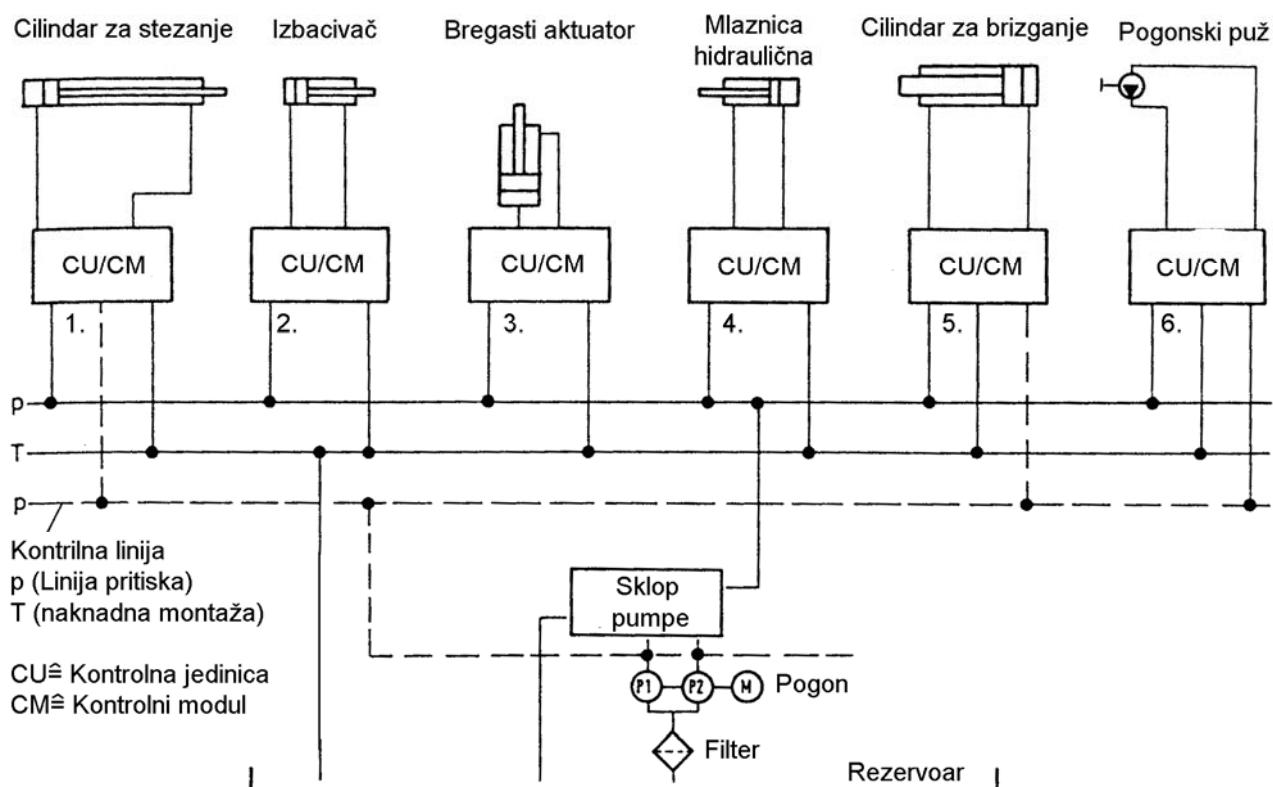
Sa promenljivim hodom

1. ulazni kanal

2. ulazni kanali



Slika 111. Šematski simboli za pumpe i motore konstantnog hoda i pumpe i motore promenljivog hoda promenljivo-pokretna pumpe i motore

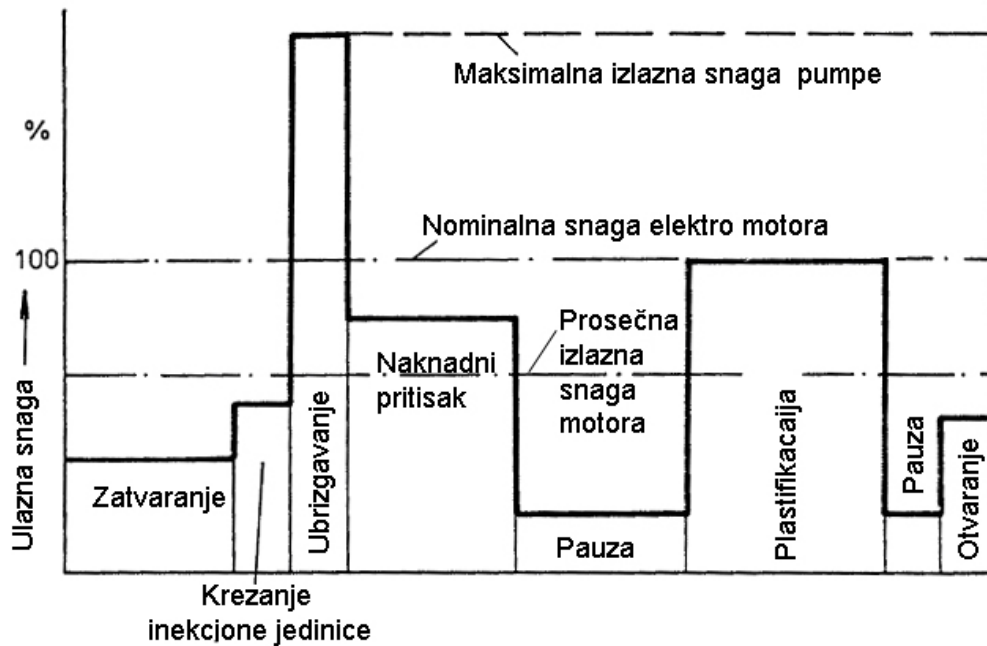


Slika 112. Blok šema hidrauličnog sistema masine za inekciono presovanje  
1. Jedinica za zatvaranje, 2. Izbacivač, 3. Bregasti aktuator, 4. Hidraulična mlaznica,  
5. Inekcioni cilindar, 6. Pogonski puža

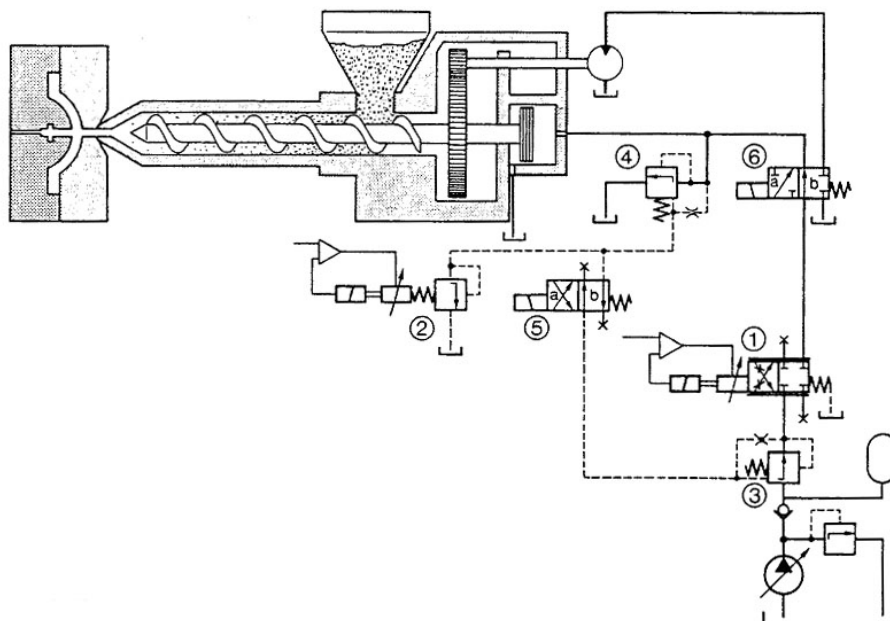
## 5.4 Hidraulični sistem

Sve pogonske jedinice (cilindri, motori) mašine za injekciono presovanje se regulišu pomoću ventila pritiska (proporcionalni ventili) i ventila protoka. Kod ovih mašina postoje visoki zahtevi u pogledu opterećenja i brzina. Za izvođenje određenih operacija potrebna je velika energija tako da elektro-hidraulični pogonski sistem mora da bude pažljivo projektovan za obezbeđenje traženih performansi. Za velika pomeranja jedinica mašine potreban je veliki protok tečnosti (obično sa malim pritiskom). U fazi stezanja (zatvaranja alata) potrebna je velika sila, tj. veliki pritisak i mali protok. Na slici 112 prikazan je blok dijagram mašine u kome su označeni potrošači energije kod pojedinih jedinica (uređaj za zatvaranje, izbacivač, mlaznica.... puž).

Na slici 113 prikazan je procentualni iznos potrošnje energije.



Slika 113. Ulazna snaga mašine za injekciono presovanje za vreme ciklusa upoređena sa nominalnom snagom elektro motora i sa maksimalnom izlaznom snagom pumpe u toku neprekidnog povećanja snage motora



Slika 114. Pogonski sistem inekcione jedinice

Na slici 114 data je šema pogona mašine za injekciono presovanje sa sledećim oznakama:

1. proporcionalni ventil protoka za kontrolu brzine puža
2. ventil za kontrolu protiv-pritiska
3. ventil za redukciju pritiska pri ubrzavanju koji radi u sprezi sa ventilom 2
4. ventil za kontrolu pritiska
5. razvodni ventil sa dva položaja i četiri priključka
6. razvodni ventil za pogon puža

Ovaj sistem može biti različit (modifikovan) od mašine do mašine.

Na slici 114 prikazane su pojedine celine pogonskog sistema mašine za injekciono presovanje.

Gubitak energije u hidrauličnom sistemu predstavlja razliku uložene i iskorišćene energije:

$$E_L = p_p \cdot Q_p - p_o \cdot Q_o$$

$p_p, Q_p$  - pritisak i protok pumpe

$p_o, Q_o$  - pritisak i protok potrosaca

Na osnovu gornjeg izraza proizlazi:

- 1) instalisanje pumpe velike snage je neracionalno pa se predlaže upotreba akumulatora
- 2) zahtev za ulaznu snagu treba da prati uslove iz faze zadržavanja (naknadnog pritiska) i faze plastifikacije, zbog toga što ove dugo traju.
- 3) Redukcija ulazne snage pumpe je nezavisna od zahteva za niskom snagom. Mašine za injekciono presovanje imaju prosečni stepen efikasnosti samo 35%. Gubici energije se kreću od 40-95%.

Proizvođači mašina za injekciono presovanje pokušavaju da konstrukcionim merama utiču na uštedu energije.

Pogonski sistem mašine mora da bude tako izveden da u svim fazama rada obezbedi potrebnu energiju sa minimalnim gubicima. U tom smislu postoje dva pravca:

1. ugradnja velikog broja kontrolnih elemenata koji omogućuju da se svaka faza oblikovanja izvede sa optimalnom energijom, tj. pritiskom i protokom.
2. kontinualna regulacija hidraulične pumpe u skladu sa zahtevima procesa.

Važni (komercijalni) pogonski sistemi su sledeći:

- a) singl pumpa  $Q=\text{const.}$  sa dvopoložajnim razvodnikom,
- b) singl pumpa  $Q=\text{const.}$  sa troležajnim razvodnikom,
- c) dvopoložajna pumpa, sa troležajnim razvodnikom,
- d) pumpa promenljivog kapaciteta (P-Q regulacija),
- e) sistem sa brzom kontrolom protoka sa kontrolnim elektro motorom,
- f) sistem sa akumulatorom.

### 5.4.1. Pumpa sa konstantnim hodom

a) Varijanta sa jednom pumpom (slika 116)

$$\text{Snaga pumpe: } E_p = P_p \cdot Q_p$$

$$\text{Snaga hidromotora: } E_M = P_{req} \cdot Q_M$$

$$\text{Gubici: } E_L = E_p - E_M$$

$P_{req}$  - zahtevani pritisak u motoru

$Q_M$  - protok u motoru

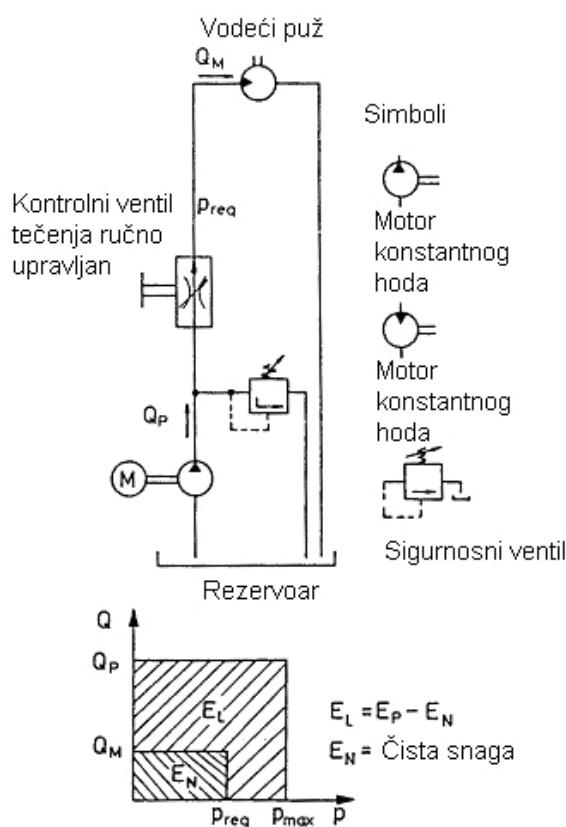
b) Varijanta sa dve pumpe (slika 117)

$$E_{P1} = P_{P1} \cdot Q_1$$

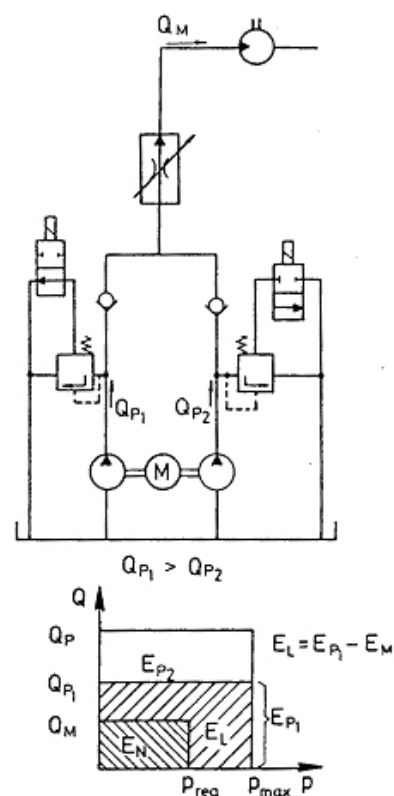
$$E_{P2} = P_{P2} \cdot Q_2$$

$$E_L = E_{P1} + E_{P2} - E_M$$

Pumpe 1 i 2 mogu biti:  $P_{P1} = P_{P2}$  i  $P_{P1} \neq P_{P2}$



Slika 116. Hidraulični pogon puža sa ručno upravljanim ventilom glavnog toka i maksimalnim smanjenjem pritiska u povratnom hodu

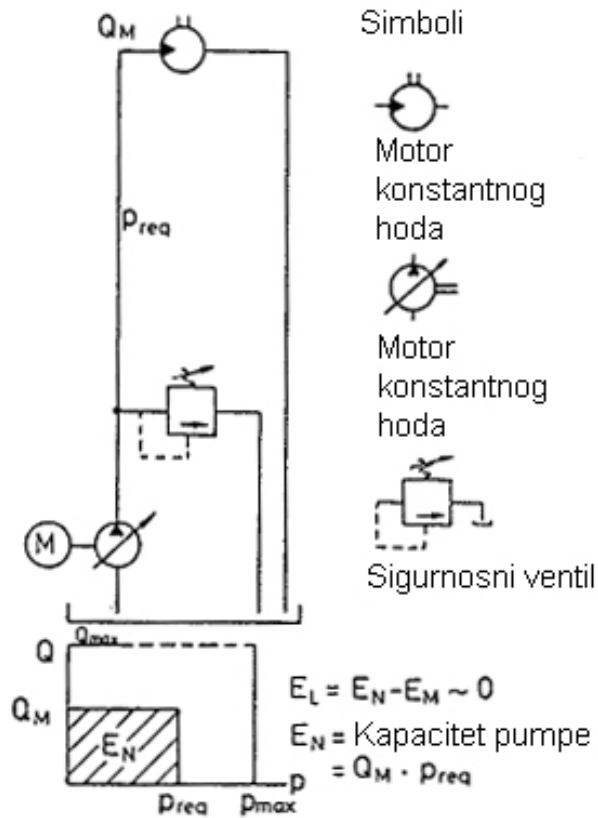


Slika 117. Hidraulični pogon puža sa dva hidromotora konstantnog hoda i ručnim upravljanjem na glavnom vodu

### 5.4.2. Pumpa sa promenljivim hodom klipa

Kod ovakvog pogonskog sistema prisutno je veoma dobro iskorišćenje snage pumpe, jer se regulacijom hoda pumpe postiže optimalan odnos između  $P_p$  i  $Q_p$ , koji odgovara efektivnoj (angažovanoj) snazi puža. Gubici energije u ovom slučaju praktično teže nuli:

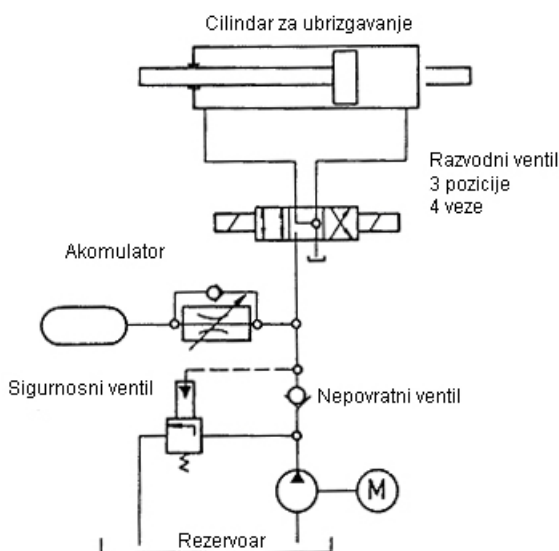
$$E_L = E_p - E_e \approx 0 \quad (18)$$



Slika 118. Pogonski sistem mašine za inekciono presovanje: Snaga za pogon puža obezbeđena od dve pumpe promenljivog hoda

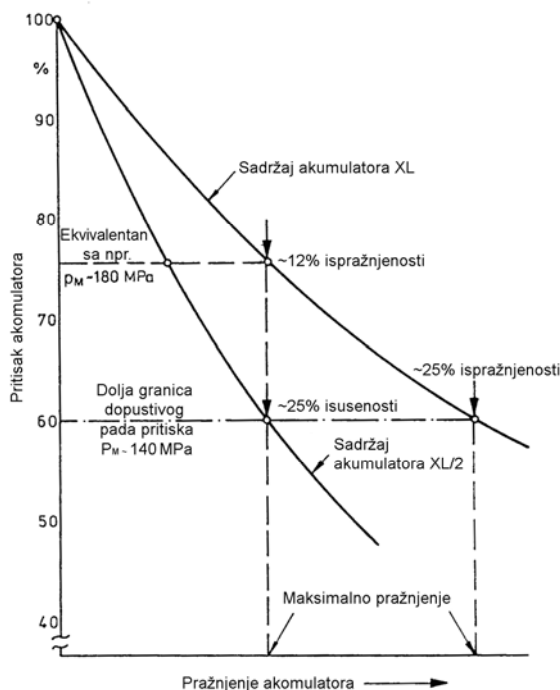
### 5.4.3. Akumulatorski sistemi

Akumulatorske jedinice prisutne su kod savremenih mašina za injekciono presovanje, i predstavljaju rezervoare sa akumuliranom tečnošću određenog pritiska i u određenoj količini. Akumulatori imaju vrlo brzu reakciju. Akumulator se koristi kod ovih mašina u nekim fazama rada, kao npr. za pomeranje injekcione jedinice, za pokretanje izbacivača i vraćanje istih u polazno stanje. Pri pražnjenju akumulatora dolazi do određenog pada pritiska u njemu. Maksimalni pritisak u akumulatoru jednak je pritisku napajanja (pritisku pumpe).



Slika 119. Pumpno-akumulatorski pogonski sistem mašine za injekciono ubrizgavanje

Izbor akumulatora vrši se s obzirom na zahtev koji definišu uslovi presovanja određenog polimera (tabela 3) i s obzirom na činjenicu da pri pražnjenju akumulatora dolazi do pada pritiska (slika 120).



Slika 120. Karakteristike akumulatora

Pritisak na kraju pražnjenja akumulatora mora biti dovoljan da obezbedi ubrizgavanje materijala.

## 5.5 Hidraulična kontrola (upravljanje)

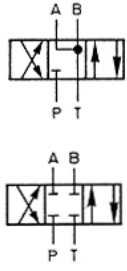
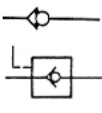
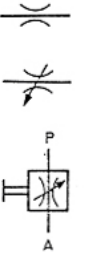
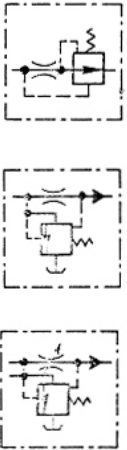
U slučaju kada podešavanje izlazne energije (koja je jednaka  $E = P \cdot Q$ ) nije moguće pomoću pumpe u hidrauličnom sistemu se primenjuju ventili koji to omogućuju. Hidraulični ventili moraju da obezbede snabdevanje svih pogonskih jedinica radnim fluidom odgovarajućeg pritiska u dovoljnoj količini.

Generalno se u hidraulici za upravljanje primenjuju dve vrste ventila:

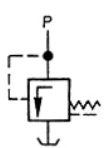
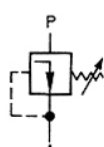
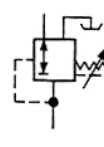
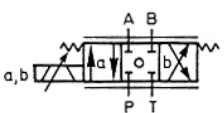
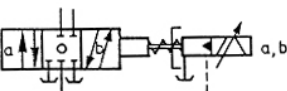
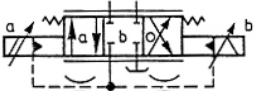
- a) Ventili pritiska
- b) Ventili protoka
- c) Razvodni ventili
- d) Proporcionalni ventili i
- e) servoventili

U tabeli 22 prikazani su hidraulični ventili koji se koriste kod mašina za injekciono presovanje i koji se pomoću simbola prikazuju u hidrauličnim šemama.

Tabela 22.

Komponente	Simbol i funkcija	Delovanje
Razvodni ventil (električni ili elektrohidraulični aktuator)	 <p>Četiri pravca, tri pozicije ventila</p> <p>Četiri pravca, tri pozicije ventila</p>	Kontrola operacija mašina kao što su: start, stop, kretanje u suprotnom smeru
Nepovratni ventil (jedan prevac toka u jednom ili drugom smeru)	 <p>Nepovratni ventil sa oprugom</p> <p>Nepovratni ventil upravljani</p>	Blokiranje toka u jednom pravcu, moguće tečenje u drugom pravcu
Ventil protoka	 <p>Prigušenje sa konstantnim ograničenjem</p> <p>Prigušenje sa promenljivim ograničenjem</p> <p>Prigušenje sa promenljivim ograničenjem, ručno upravljanje</p>	Kontrola brzine aktuatora
Protočni kontrolni ventil, kompenzacija pritiska i temperatura	 <p>Protočni kontrolni ventil sa konstantnim ograničenjem i kompenzacijom pritiska</p> <p>Protočni kontrolni ventil sa konstantnim ograničenjem i ispuštanjem pritiska u rezervoaru</p> <p>Protočni kontrolni ventil sa promenljivim ograničenjem i ispuštanjem pritiska u rezervoaru</p>	Kontrola brzine aktuatora



Komponente	Simbol i funkcija	Delovanje
Sigurnosni ventil	 <p>Ventil ograničenja pritiska</p>  <p>Ventil redukcije pritiska, podešljiv</p>  <p>Ventil redukcije pritiska, podesiv, kapacitet povratnog toka i pražnjenje u rezervoaru</p>	Ograničenje pritiska (sigurnosna funkcija); Podešavanje pritiska (pritisak ubrizgavanja, naknadni pritisak, itd.)
Servo ventil (dozirajući ventil)	 <p>Primer: četiri pravca sa neograničenim podešavanjem, električno pokretanje i centriranje oprugom</p>  <p>Primer: Pet pravaca sa izmenjivim pozicijama, elektrohidraulični pilot pokretač i poravnjavanje oprugom</p>  <p>Primer: četiri pravca ventila sa izmenjivim pozicijama, elektrohidraulični pilot pokretač i centriranje oprugom</p>	Zatvoreni sistem upravljanje za pritisak ubrizgavanja i naknadni pritisak kroz povratnu spregu za kalup ili hidraulični pritisak
Catridge valves	Više funkcionalni kao gore	Više funkcionalni ali sa različitim konstrukcijama

### 5.5.1. Ventili protoka

Ovi ventili služe za upravljanje količinom protoka i smerom proticanja radnog fluida. Dele se na:

- Razvodnici sa digitalnim upravljanjem
- Proporcionalni ventili
- Ventili za probni rad

Aktiviranje ventila može biti ručno, elektromagnetno, pneumatsko, hidraulično, mehaničko...

### 5.5.2. Ventili pritiska (Tabela 22)

Dele se na:

1. ventili za ograničenje pritiska (sigurnosni ventili)
2. ventili za regulaciju pritiska

### 5.5.3. Digitalni upravljački elementi

Kod pumpi sa promenljivim hodom klipa promena (regulacija) pritiska i protoka, po prirodi stvari, vrši se analognim putem. Međutim za preciznije podešavanje P-Q karakteristike bolja je digitalna kontrola (upravljanje), jer omogućuje preciznije definisanje pojedinih veličina i njihovih promena.

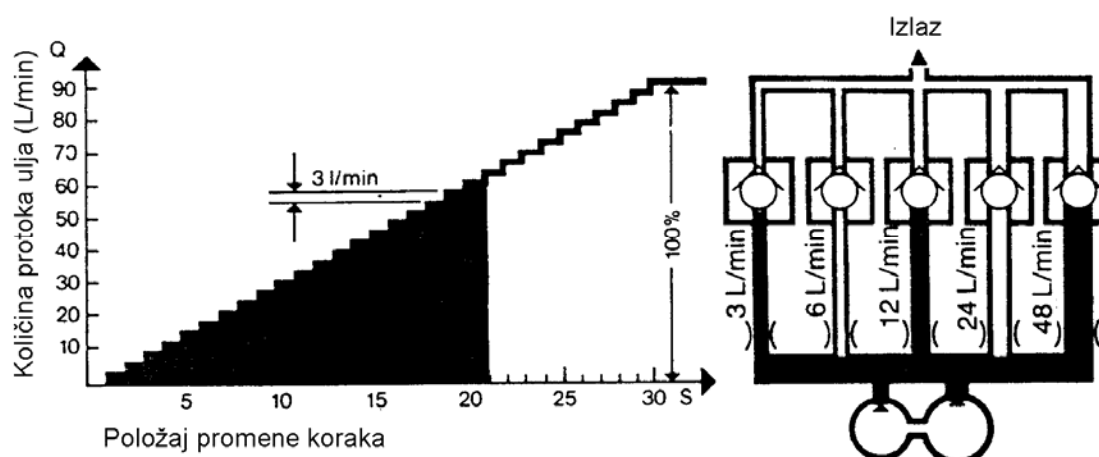
Digitalno upravljanje bazirano je na relaciji:

$$N = 2^n - 1$$

N – broj stepenica

n – broj upravljačkih elemenata

Na slici 126 je za ilustraciju pokazano kako se ostvaruje funkcija upravljanja protokom sa 5 upravljačkih elemenata.



Slika 126. Digitalno upravljanje protokom kombinacijom fiksnih podprotoka

## 5.6 Monitoring uređaji u hidrauličnom sistemu

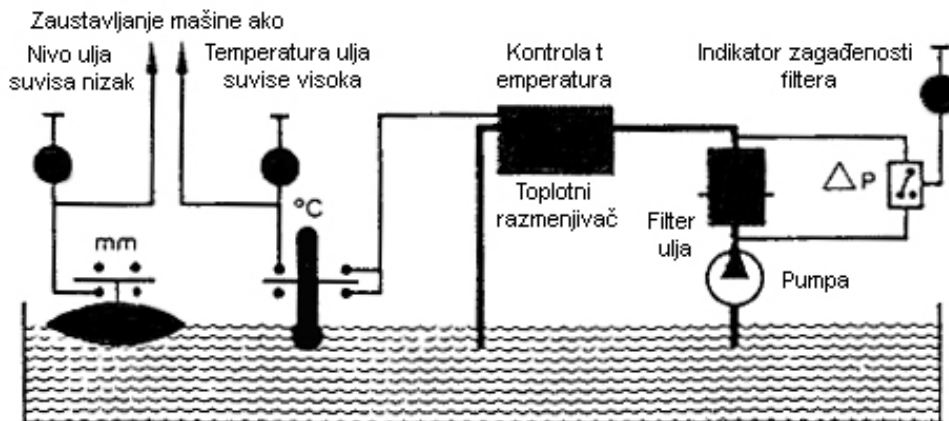
Habanje elemenata hidrosistema, curenje ulja i radni vek mašine zavise od čistoće i temperature radnog fluida u hidrauličnom sistemu. Održavanje kvaliteta radnog fluida obezbeđuje pouzdanost mašine. Filter na usisnoj cevi obezbeđuje čistoću radnog fluida i smanjenje habanja pokretnih hidrauličnih komponenti (klip, cilindar, zaprivke, ventili). U tim uslovima i trenje ostaje konstantno. Danas se za tu svrhu koriste filtri opsega  $5 \div 50 \mu\text{m}$ . Za visokokvalitetne mašine treba koristiti vrlo fine filtere.

Pošto je zazor u upravljačkim elementima manji od  $15 \mu\text{m}$  preporučuje se filter finoće  $2 \div 5 \mu\text{m}$ . Osim toga preporučuje se:

- pri ulivanju ulja u rezervoar izvršiti filtriranje pomoću filtera finoće  $< 5 \mu\text{m}$
- usisni filter  $\sim 25 \mu\text{m}$
- filter punog toka (pored pumpe) ili ispred osetljivog ventila  $\sim 5 \mu\text{m}$

Pošto temperatura ulja utiče na hidraulične performanse i performanse mašine u celini potrebno je da se ona kontroliše i pomoću izmenjivača toplote održava u određenim granicama. Optimalna temperatura ulja je između 40<sup>o</sup> i 50<sup>o</sup>C, što zahteva prethodno zagrevanje ulja pre starta mašine.

Kompletan monitoring sistem prikazan je na slici 127.



Slika 127. Upravljački sistem za nivo, temperaturu, prečišćavanje i zagađenost filtera ulja

## 5.7 Prigušenje buke u hidrauličnom sistemu

U poslednje vreme postignut je značajan napredak u prigušivanju buke kod mašina za injekciono presovanje.

Izvori buke su:

- ventilator elektromotora,
- pumpa,
- hidraulični motor,
- preklopni ventili,
- protok kroz suženja i krivine cevovoda,
- kalupi pri otvaranju i zatvaranju.

Podaci o pumpama koji se koriste kod ovih mašina dati su u *tabeli 21*, sa podacima koji se odnose na nivo buke. Pri tome treba razlikovati kataloške podatke o pumpama od podataka dobijenih testiranjem na mašini. Buka od pumpe ne treba da je viša od 75dB.

Smanjenje buke može se postići sledećim merama:

- smanjenjem broja obrtaja elektro motora,
- montažom pogonskih jedinica na elemente koji amortizuju vibracije,
- primenom fleksibilnih cevi za dovod i odvod ulja,
- korišćenjem ventila koji ne lupaju,
- korišćenjem pravilno dimenzionisanih cevi bez sužavanja, izbegavanjem naglih promena pravaca sa malim radijusima,
- korišćenjem hidrauličnih pumpi i motora sa niskom radnom bukom,
- korišćenjem pumpe potopljene u rezervoar,
- pogonsku jedinicu zatvoriti u zvučno izolovan kavez.

Problem buke uopšte je složen, a ugradnja tihe pumpe ne garantuje da mašina u celini neće biti bučna. Zbog toga konstrukcija cele mašine mora da se optimizira sa aspekta buke.

## 5.8 Stepen korisnog dejstva

Kod mašina za injekciono presovanje postoji velika razlika između uložene i iskorišćene energije, odnosno, stepen korisnog dejstva ovih mašina je prilično nizak. Gubici energije nastaju zbog konverzije ulazne (električne) energije u mehaničku, potom hidrauličnu i na kraju mehaničku. Gubici koji pri tome postoje su:

- a) mehanički od trenja,
- b) hidraulički,
- c) volumetrijski od curenja tečnosti.

$$\eta_{tot} = \eta_{meh} \cdot \eta_{hidr} \cdot \eta_{vol}$$

Za postizanje dobrog ukupnog stepena iskorišćenja potrebno je da svaka jedinica ima visok stepen korisnog dejstva, a to je naročito važno za pumpu i hidromotore. Iskorišćenje takođe zavisi od otpora pri proticanju ulja kroz cevi i ventile (upravljačka jedinica), kao i od elastičnosti cevovoda, stišljivosti fluida, zaptivanja itd. Ukupni stepen iskorišćenja može se predstaviti i na sledeći način:

$$\eta_{tot} = \eta_{conv} \cdot \eta_{contr} \cdot \eta_{trans}$$

$\eta_{conv}$  - stepen korisnog dejstva konverzije energije

$\eta_{contr}$  - stepen korisnog dejstva kontrolnog sistema

$\eta_{trans}$  - stepen korisnog dejstva prenosa energije

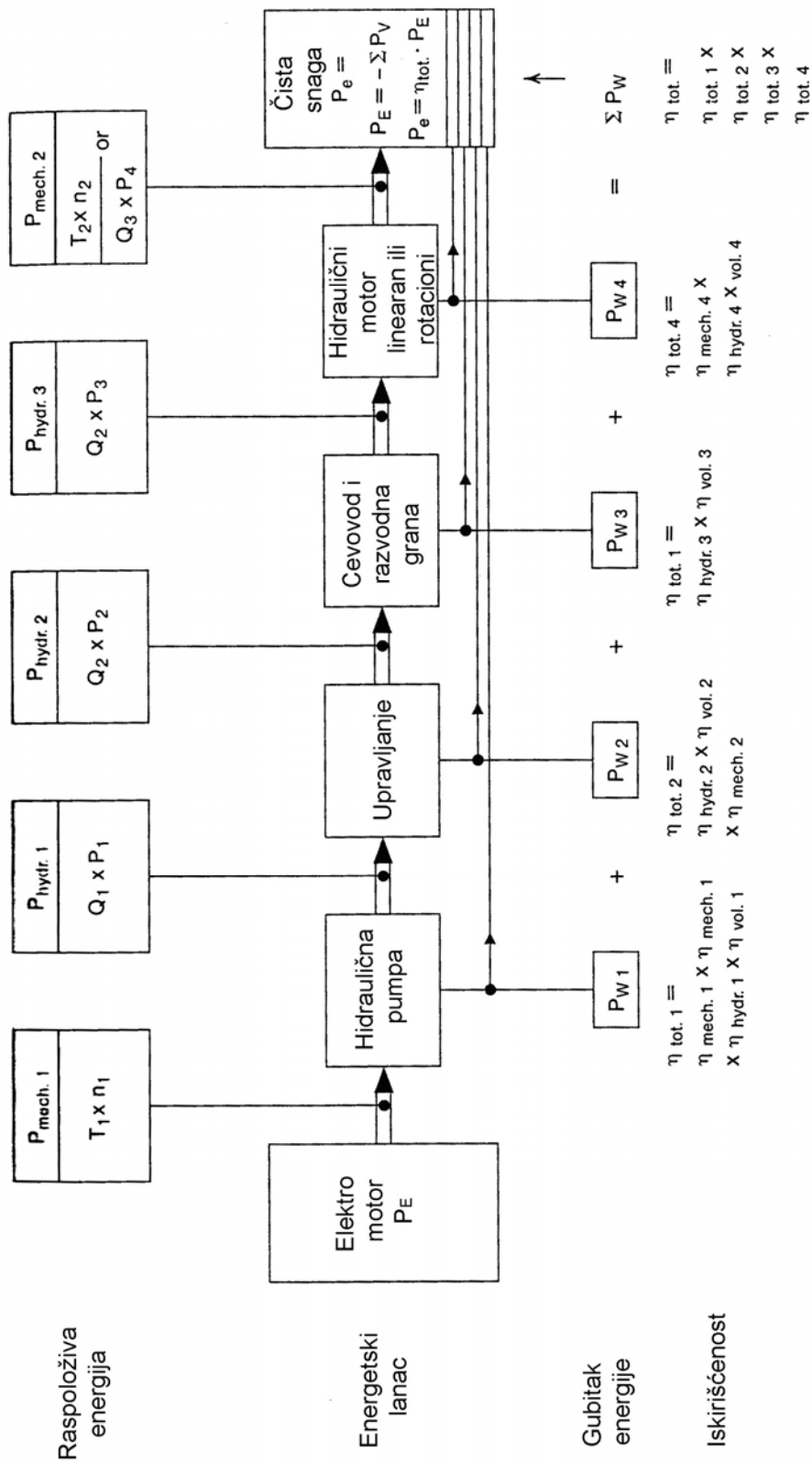
(vidi sliku 128)

Prosečni stepen korisnog dejstva pojedinih komponenti je:

- hidrocilindar  $\eta_{tot} = 61 \div 78\%$
- sporohodni hidromotor  $\eta_{tot} = 51 \div 83\%$
- brzohodi hidromotor  $\eta_{tot} = 52 \div 80\%$
- elektro motor + zupčasti prenosnik  $\eta_{tot} = 82 \div 93\%$

U tabeli 24 dati su podaci o stepenu iskorišćenja pogona u zavisnosti od nivoa opterećenja mašine (0%, 50%, 25%). Stepenu iskorišćenja prenosnog sistema (ventili, cevovod, krivine, filtri...) je od 75-95%. Dijapazon ukupnog stepena iskorišćenja energije je:

$$\eta_{tot} = \eta_{conv} \cdot \eta_{contr} \cdot \eta_{trans} = 8,6 \div 37,2\% \quad (24)$$



Slika 128. Iskorišćenje hidrauličnog pogona mašine za inekciono presovanje

Tabela 24. Iskorišćenje energije hidrauličnih pužno vođenih sistema

$Q_{eff}$  = zahtevana zapremin ulja za pužno vođenje

$P_{eff}$  = traženi pritisak za pužno vođenje,  $N = Q \times p$

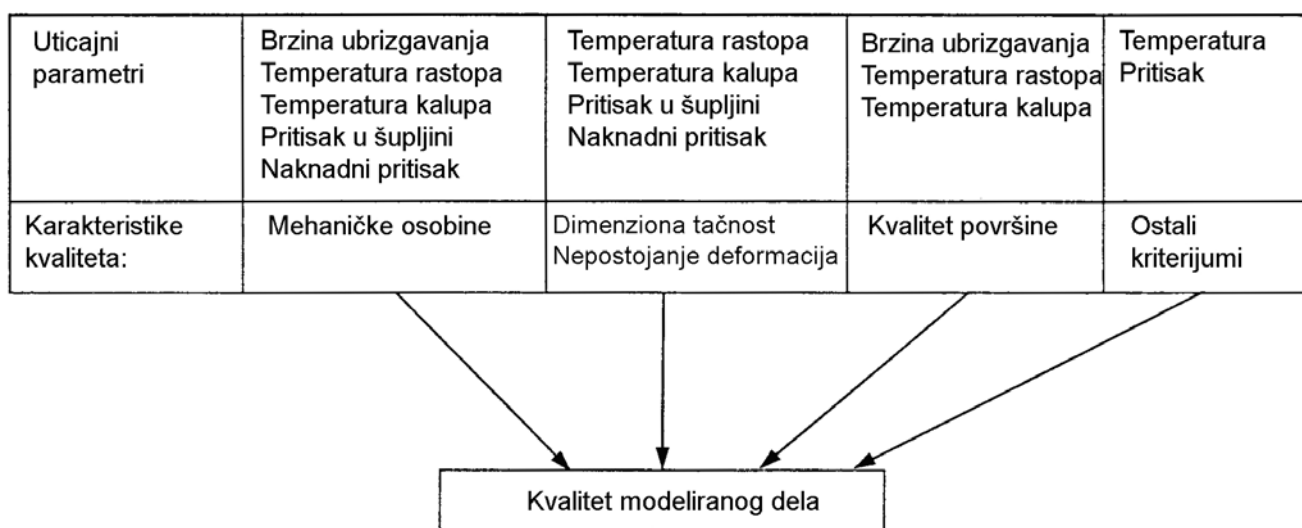
Pogonski sistem	(a) Pojedinačna pumpa sa konstantnim hodom i prigušnim ventilom, ili dvosmernim protočnim ventilom, ili servo ventilom u glavnom vodu	(b) Pojedinačna pumpa sa konstantnim hodom sa srtsmernim ventilom, ili dvosmernim ventilom sa premošćavanjem
Diagram iskorišćenja		
Teoretska iskorisćenost $n_e$	$n_e = \frac{E_N}{E_{fdP \max}}$	$n_e = \frac{E_N}{Q_{fdP} P_{eff}} = \frac{Q_{eff}}{Q_{fdP}}$
$n_e$ sa punim opterećenjem	1	1
$n_e$ sa 50% opterećenja ( $M_t = \max$ , $Q_{eff} = 50\%$ ) ( $P_{eff} = \max$ , $n = 50\%$ )	0.5	0.5
$n_e$ sa 25% opterećenja ( $M_t = 50\%$ , $Q_{eff} = 50\%$ ) ( $P_{eff} = 50\%$ , $n = 50\%$ )	0.25	0.25

(c) Dvostruka pumpa sa konstantnim protokom trostrukim protočnim ventilom $Q_{fdP1} = 4 \times Q_{fdP2}$	(d) Pumpa sa promenljivim hodom sa dvosmernim protočnim ventilom	(e) Pumpa sa promenljivim hodom sa trosmernim protočnim ventilom
$n_e = \frac{E_N}{Q_{fdP1} P_{eff}} = \frac{Q_{eff}}{Q_{cP1}}$	$n_e = \frac{E_N}{Q_{eff} P_{\max}} = \frac{P_{eff}}{P_{\max}}$	$n_e = \frac{E_N}{Q_{vdP} P_{eff}} = 1$
1	1	1
0.625	1 (0.5 with $p = 50\%$ , $Q_{eff} = \max$ .)	1
0.8 (1 if $Q_{fdP1} = Q_{eff}$ )	0.5	1

## 6. SISTEM UPRAVLJANJA

Sistem upravljanja mašine za injekciono presovanje obuhvata (sadrži) sve uređaje koji kontrolišu ulje i temperaturu cilindra, silu zatvaranja, pritisak i protok ulja, na takav način da se ostvari potreban nivo i pravac u toku izvođenja pojedinih sekvenci radnog ciklusa. Takođe važan parametar procesa, koji se ne sme izostaviti je temperatura kalupa koja je bitna za kvalitet otpreska.

Kvalitet otpreska kod injekcionog presovanja određen je sa dva važna parametra procesa: pritisak i temperatura presovanja, dok brzina ima limitiran uticaj (*slika 136*). Sistem upravljanja nadalje mora da omogući logičan redosled u izvođenju pojedinih sekvenci u procesu oblikovanja kao što je zatvaranje i otvaranje kalupa, približavanje injekcione jedinice, otvaranje i zatvaranje mlaznice i pokretanje klipa i dr.



*Slika 136. Efekti kontrolisanih parametara procesa i kvalitet presovanih delova*

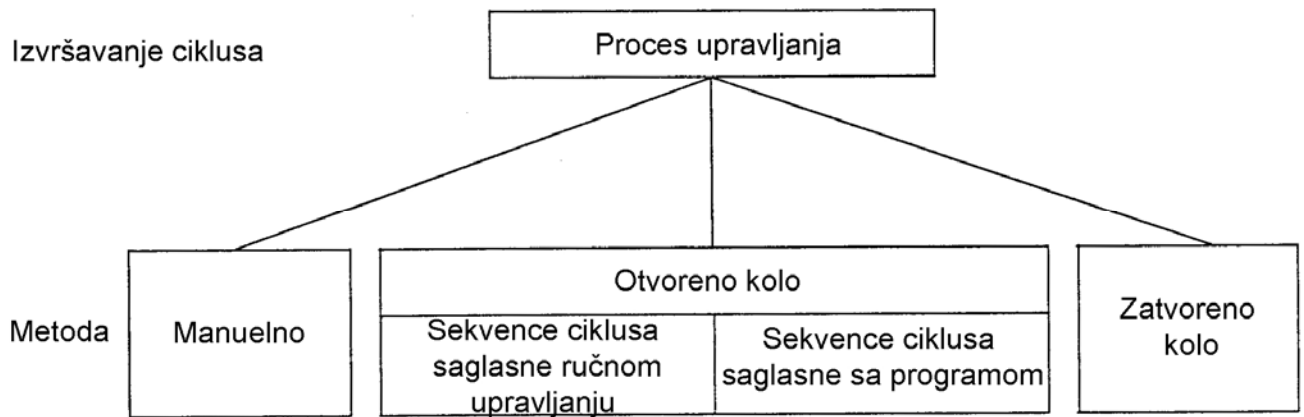
Svi relevantni parametri procesa se zapisuju i memorišu, kako bi praćenje kvaliteta otpreska u funkciji istih bilo efikasnije i lakše te kako bi se po potrebi mogla vršiti korekcija.

Sistem upravljanja ima ulogu nadzora (kontole) procesa sa zadatkom dobijanja kvalitetnog obratka.

Elementi koji služe za upravljanje parametrima procesa imaju svoje upravljačke jedinice (kao npr. kod servoventila koji upravlja protokom, on ima odgovarajući upravljački sistem).

## Metode upravljanja procesom

Na slici 137 prikazani su osnovni sistemi upravljanja kod mašina za injekciono presovanje. Ovo nije najmoderniji upravljački sistem ali je bio korišćen u početku.



Slika 137. Osnovne metode procesa upravljanja procesom injekcionog presovanja

Današnji sistemi upravljanja su:

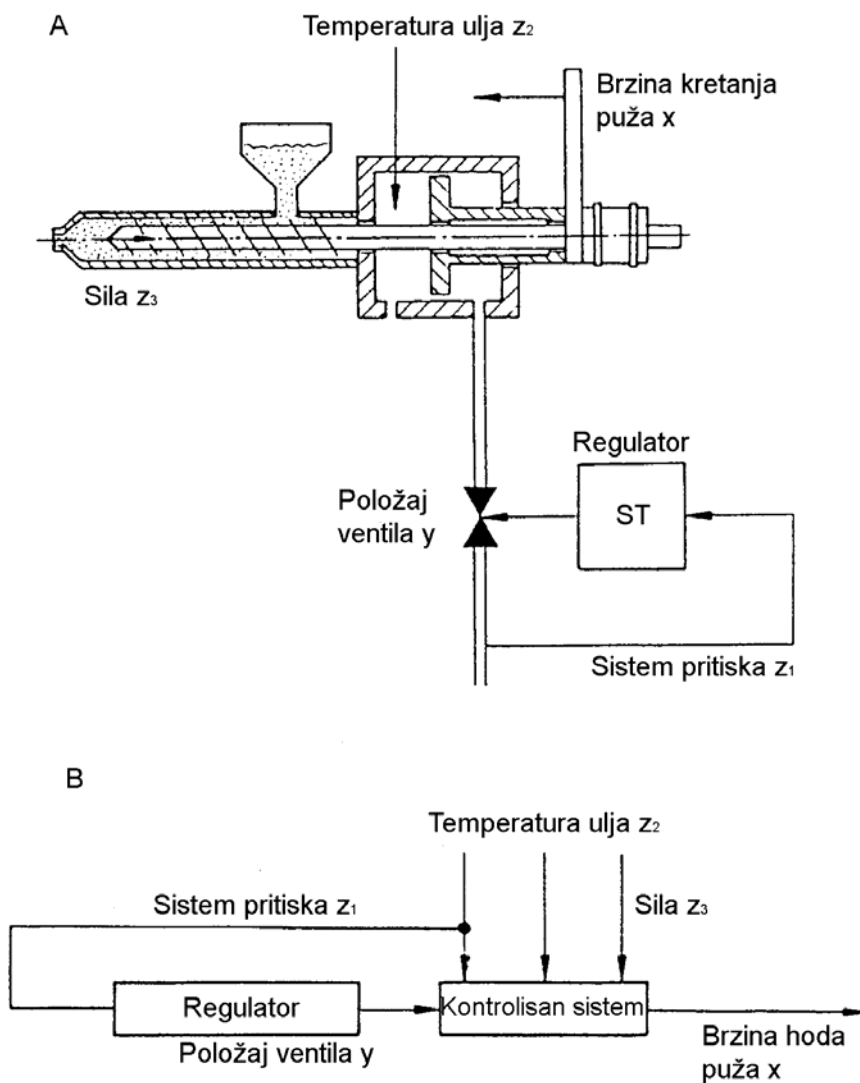
- manuelni sistem upravljanja (kod mini mašina),
- elektromehanički sistem sa prethodnim ručnim podešavanjima,
- elektronsko upravljanje sa manuelnim postavljanjem,
- upravljanje pomoću određenog (definisano) programa,
- open-loop upravljanje važnim parametrima (brzina i pritisak) sa ručno programiranim sekvencama upravljanja,
- programirano open-loop upravljanje,
- closed-loop upravljanje.

Današnje mašine upravljane su mikroprocesorima ili su povezane na centralni server, radi optimiranja parametara procesa i upravljanja mašinom, što predstavlja okvir CIM-a (Computer Integrated Manufacturing)



### 6.1.1. Open-loop control (Upravljanje sa otvorenom petljom)

Ovaj sistem upravljanja omogućuje da se određeni (zadati) parametar održava konstantnim (ili u zadatim granicama) čak i u uslovima kada se drugi uticajni faktori menjaju. Na slici 138 prikazan je sistem upravljanja brzine aksijalnog pomeranja puža (X) u zavisnosti od sistemskog pritiska ( $Z_1$ ), temperature ulja ( $Z_2$ ) i kontra opterećenja ( $Z_3$ ). Ako dođe do promene (npr. pada) pritiska sistem će promenom hoda ventila (Y) omogućiti da brzina puža bude konstantna.



Slika 138. Otvoreno kolo upravljanja brzine kretanja puža  
A: Šema upravljanja B: Blok dijagram upravljanja

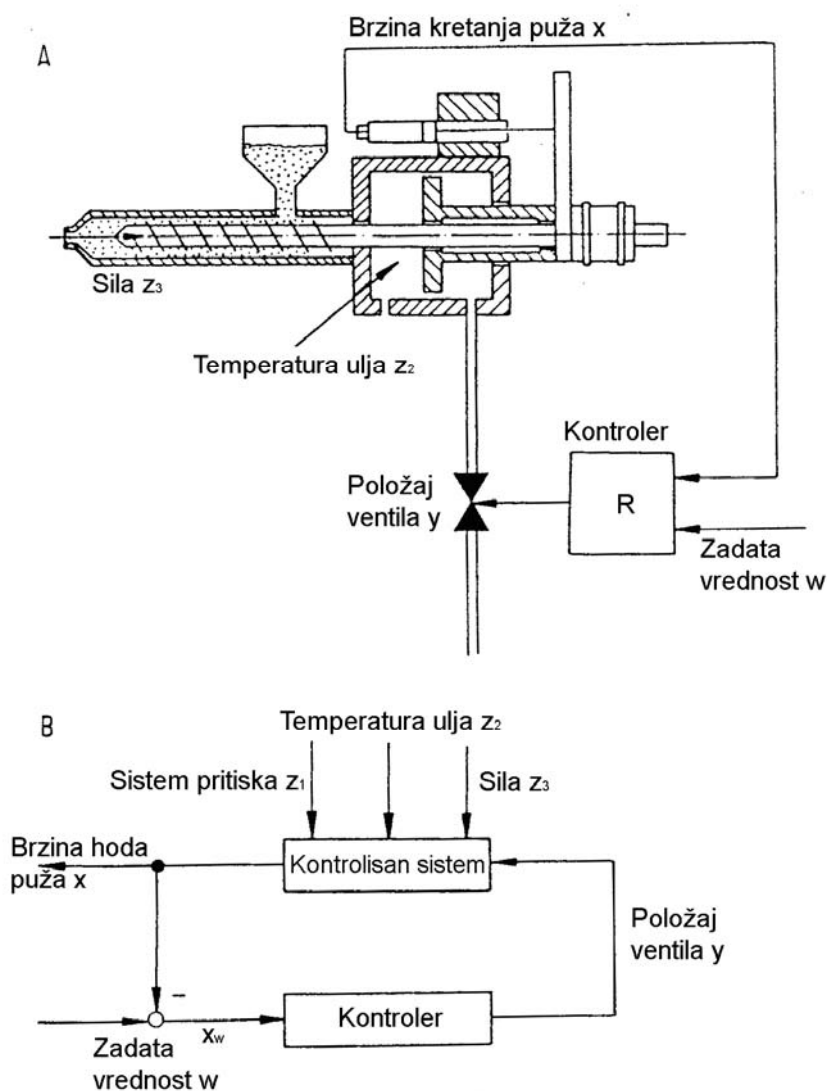
Kombinacija promene druga dva parametra (temperature ulja  $Z_2$  i kontra sile  $Z_3$ ) nije moguća.

### 6.1.2. Closed-loop control (Upravljanje sa zatvorenom petljom)

Zatvoreni sistem upravljanja reaguje na promenu zadate veličine izlaza, na taj način što permanentno kontroliše izlaznu veličinu. Svaka promena izlazne veličine izaziva odgovarajuću korekciju.

Na slici 139 prikazan je sistem upravljanja brzinom puža čija je zadata vrednost  $W$ . Promena relevantnih parametara ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) uzrokuje promenu brzine puža  $W$ . Kontrolno upravljački sistem registruje nastalu promenu i podešava položaj ventila ( $Y$ ) tako da se eliminiše razlika između stvarne vrednosti brzine puža i zadate vrednosti.

Kod zatvorenog sistema upravljanja meri se i podešava izlazna veličina (u ovom slučaju brzina aksijalnog pomeranja puža), a da se pri tome vrednost uticajnih veličina ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) ne meri.



Slika 139. Zatvoreno kolo upravljano brzine kretanja puža  
 A: Šema upravljanja B: Blok dijagram upravljanja

## 6.2 Kontrola temperature

Materijal za obradu injekcionim presovanjem se rastapa i priprema u cilindru mašine. Priprema rastopa ima krucijalni značaj za kvalitet proizvoda. Pri tome, temperature imaju vrlo veliku važnost, a posebno:

- temperatura cilindra,
- temperatura rastopa,
- temperatura hidrauličnog ulja,
- temperatura vodećih stubova,
- temperatura kalupa,
- temperatura toplih kanala,
- u nekim slučajevima i temperatura okoline

Sve ove temperature se mere i kontrolišu tokom vremena.

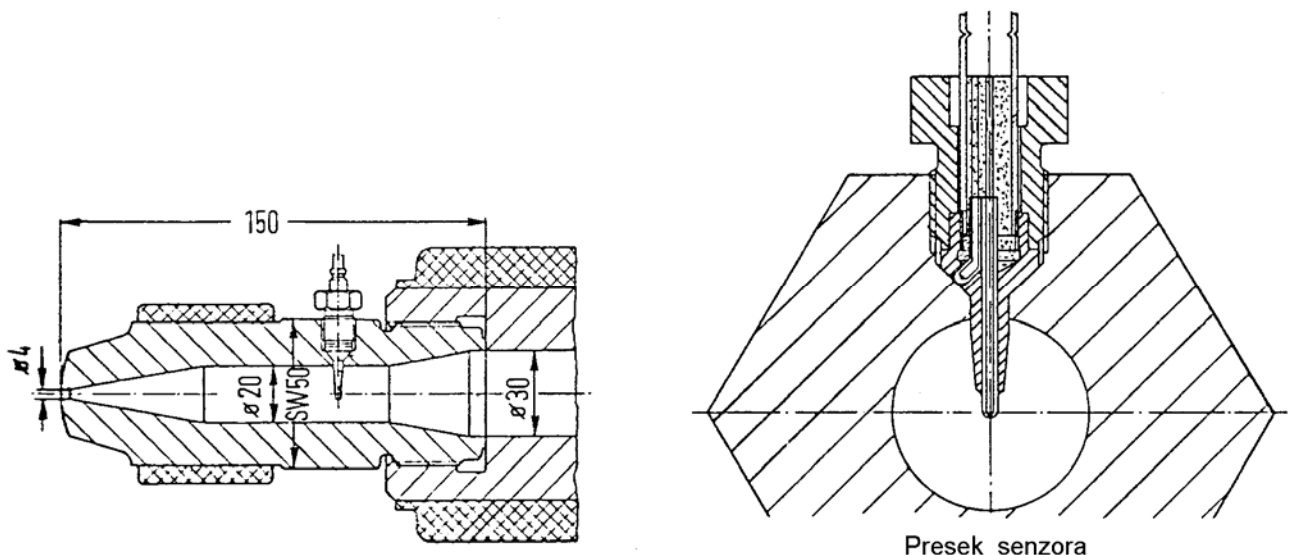
Uniformna i konstantna temperatura rastopa je cilj i osnova za kontrolu i regulaciju mnogih regulacionih krugova i koja zavisi od različitih uticajnih faktora (polazna temperatura materijala, temperatura levka za punjenje, proces punjenja, sam polazni materijal). Procesi injekcionog presovanja zahtevaju da ova temperatura ima optimalan i konstantan nivo.

### 6.2.1. Merenje temperature

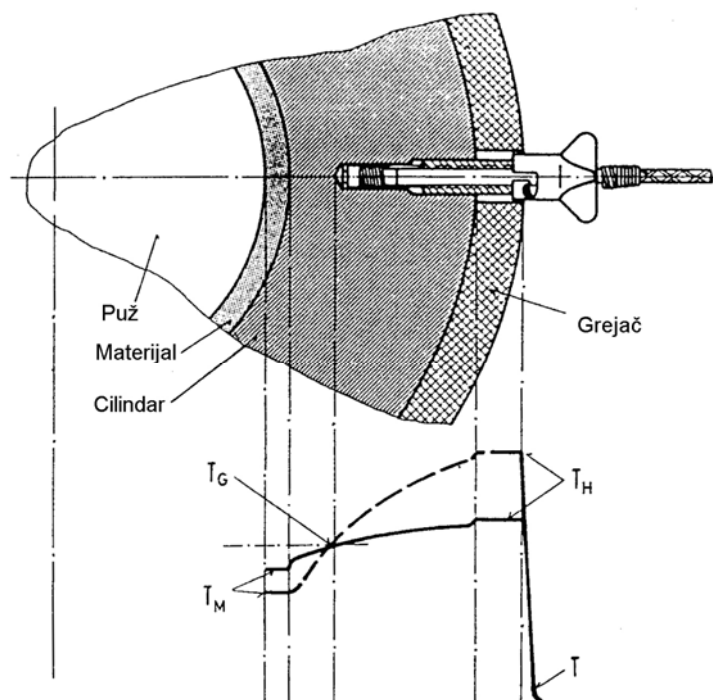
#### 6.2.1.1. Temperatura zida

Temperatura cilindra i kalupa meri se pomoću termoparova ili otporničkog termodetektora (RTD).

Termopar predstavlja pogodnu kombinaciju provodnika (gvožđe-konstantan) sa tačnošću od  $2^{\circ}\text{C}$  pri merenju do  $300^{\circ}\text{C}$ . Sam vrh spoja žica je mesto koje je referentno za merenje temperature. Na slici 140 prikazan je senzor ugrađen u mlaznicu, a na slici 141 prikazana je promena temperature po preseku cilindra.



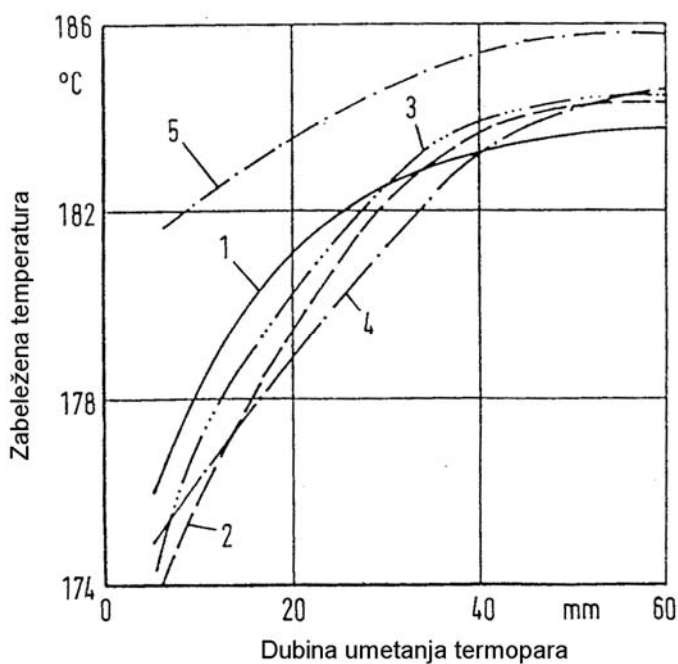
Slika 140. Mlaznica sa ispravno postavljenim temperaturnim senzorom (levo), presek (desno)



Slika 141. Presek cilindra sa profilom radijalnih temperatura za slučaj različitih zahteva zagrevanja: isprekidana linija - viši zahtev ; puna linija - niži zahtev

Moderni elektrootporni senzor za temperaturu (RTD) izrađen je od visokočiste platinske žice čiji se električni otpor vrlo brzo menja sa temperaturom. Ovakav instrument često ima prednost u odnosu na termoparove i dobro se uklapa u električne kontrolere.

Toplotni fluks pri merenju temperature utiče na ukupan rezultat ne samo preko vrha već i preko tela mernog instrumenta, tako da ugradnja instrumenata mora biti pažljivo urađena, kako bi se izbegle greške pri merenju. (vidi sliku 142)

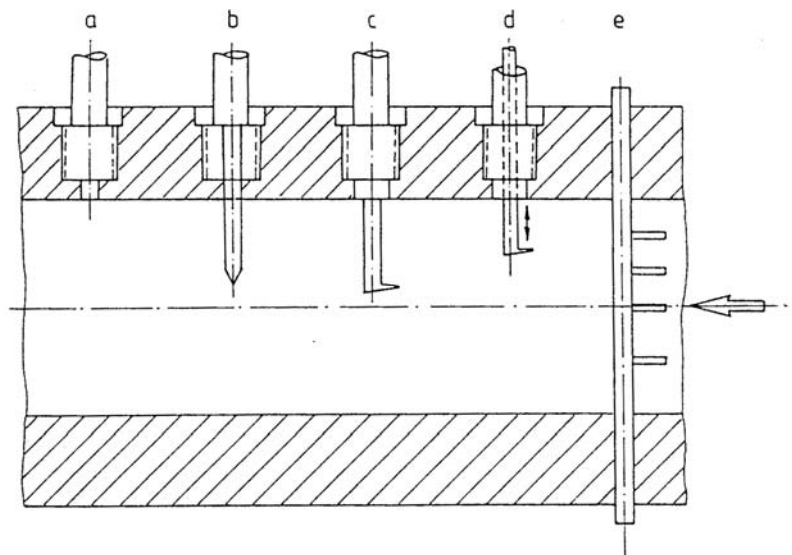


Slika 142. Greška merenja temperature zavisna od vrste termopara i načina ugradnje.  
 1-4: Termopar sa metalnom cevom kao provodnikom toplote - velika greška merenja,  
 5: Termopar sa izolovanim termoparom - mala greška merenja

Za merenje temperature u šupljinama zidova termopara mora biti postavljen—zaštićen čeličnom cevčicom Ø1mm. Zaštita prenosa prenosa toplote uzduž termopara vrši se pomoću specijalne paste.

### 6.2.1.2. Temperatura rastopa

Temperatura rastopa meri se prvenstveno pomoću termopara. Zbog zahteva okoline merenje temperature rastopa vrši se trajno postavljenim senzorima (slika 143).



Slika 143. Principijalne varijante senzora temperature a: Senzor u zidou cilindra, b: Senzor uronjen u rastop, c: Senzor u obliku kuke, d: Padijalno pomerljiv senzor, e: Merenje sa više senzora

Kod ovog merenja postoji problem ometanja tečenja. Topli spoj termopara uvek je na vrhu senzora ili na vrhu kuke senzora (slika 143 c,d,e). Senzori su postavljeni u izotermno polje toka. Dubina uranjanja senzora je  $\left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right)R$ , a obično se primenjuje varijanta uranjanja  $\frac{1}{3}R$ .

### 6.2.2. Kontrola (upravljanje) temperature

Automatizacija mašina iz godine u godinu neprekidno raste, a kontrola temperature je startna tačka za taj razvoj.

Kontrola (upravljanje) temperaturom je mnogostruka:

- kontrola temperature u cilindru,
- kontrola temperature kalupa,
- kontrola temperature hidrauličnog fluida (ulja),
- kontrola temperature rashladnog sredstva.

Zahtevi i kriterijumi kvaliteta:

Zahtevi za kontrolu temperature i njenom tačnošću i dinamikom zavise od sledećih zahteva:

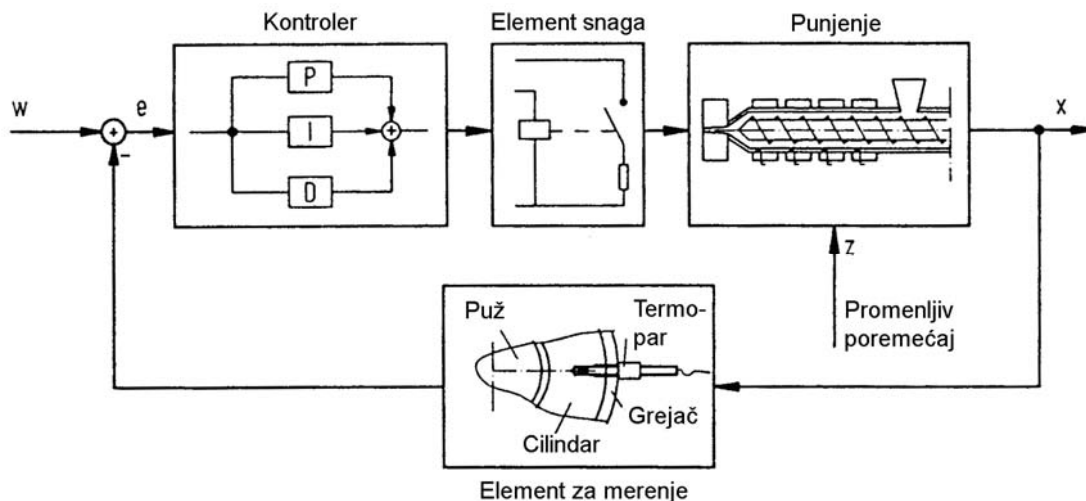
- ✚ kratko vreme odziva,
- ✚ minimalno prebacivanje nominalnih iznosa,
- ✚ visoka stabilnost kruga upravljanja čak i pri varijacijama sistema,
- ✚ prolazno prigušenje,
- ✚ inernost održavanja male temperaturne varijacije.

Današnji kontroleri rade u digitalnom modu pomoću procesora. Rezultati se obrađuju da bi se dobio signal koji reguliše izlaznu snagu na takav način da se temperatura održava u zahtevanim granicama..

Raniji proporcionalni kontroleri nisu omogućivali da temperatura bude u zadatim granicama.

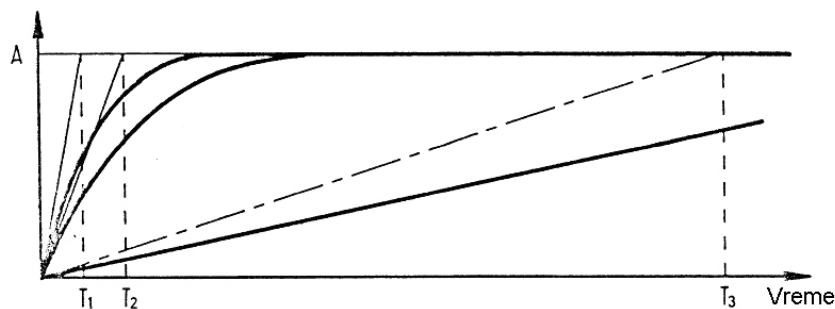
### 6.2.2.1. Konstrukcija i komponente sistema za kontrolu temperature

U nastavku je razmatran sistem regulacije temperature u cilindru. Na slici 144 prikazan je zatvoren sistem kontrole, čiji su esencijalni elementi senzor temperature, kontroler, element snage i jedinica za ubrizgavanje.



Slika 144. Sistem upravljanja temperaturom

MERNI ELEMENTI – odnosno karakteristike njihovog odziva u funkciji vremena, mogu biti različite (slika 145). Vreme odziva senzora zavisi od mase senzora, odnosno od načina ugradnje (može biti uronjen u rastop u obliku kuke...).



$$g(t) = A \cdot (1 - e^{-t/T})$$

- T1 sa termoparom
- T2 sa kukastim senzorom
- T3 sa kliznim uronjenim senzorom

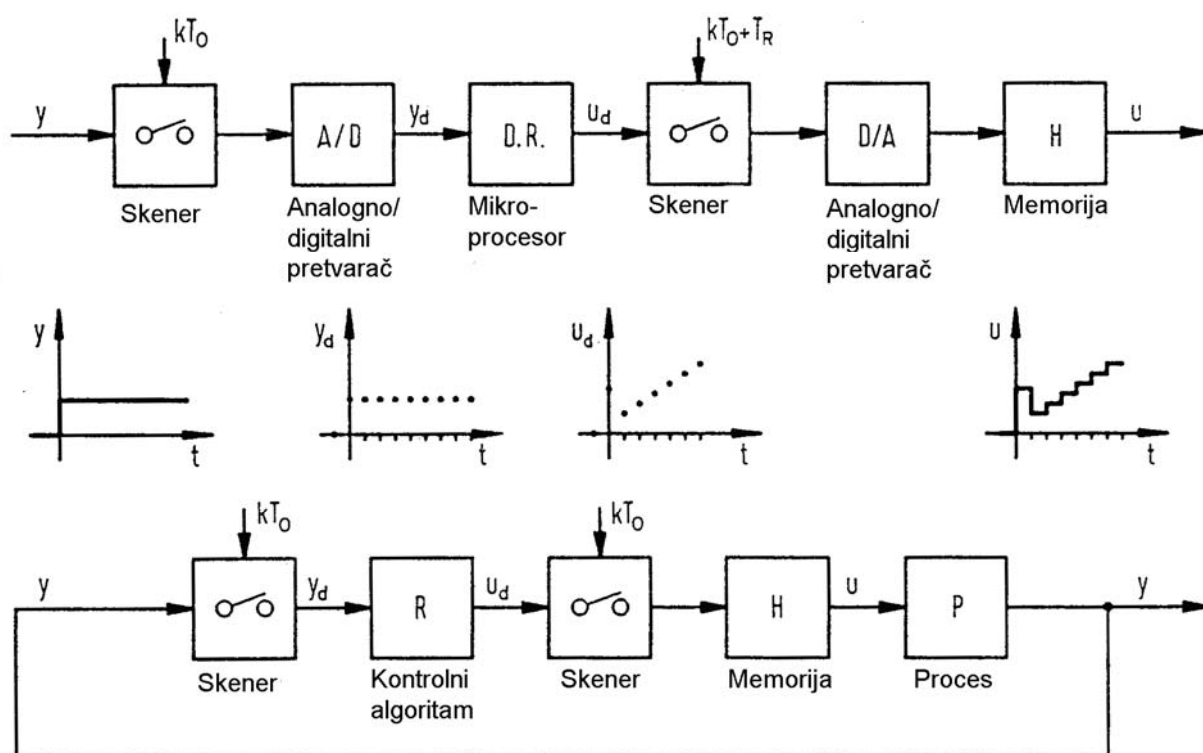
Slika 145. Vreme odziva za različite termosenzore

### 6.2.2.2. Kontrolni algoritmi i parametri

Za kontrolu temperature kod mašina za injekciono presovanje primenjuju se različiti kontrolni sistemi. Ako su izlazne promenjive komercionalnih kontrolera poznate, tada stoje na raspolaganju kontroleri sa standardnim izlazom ( $\pm 10V$ ) ili preklopnici grejača i hladnjaka sa linearnom zavisnošću između kontrolnog elementa i kontrolisane promenjive.

Današnji kontroleri, za razliku od ranijih analognih, su digitalni i imaju procesor. Takvi, digitalni kontroleri, su istovremeno, interfejsi za superviziju – nadzor i upravljanje. Odgovor kontrolera na različite neispravnosti može se unapred programirati i proces preventivno zaustaviti. Takvi procesori se prodaju kao modul sa analognim ulazom za senzor temperature, analognim izlazom za kontrolne elemente, digitalni ulaz i izlaz za beleženje (snimanje) različitih statusa i interfejs za komunikaciju. How-know takvih kontrolera baziran je na njihovom algoritmu i proceduri proračuna optimuma parametara.

U nastavku je data šema (slika 146) i ukratko opisan princip rada PID kontrolera.



Slika 146. Zatvoreno upravljačko kolo sa skener kontrolerom

Ulazni signal je analogan, a scanner ga konvertuje u diskretno zavisnu funkciju od vremena. Brzina skeniranja zavisi od brzine promene ulaznog signala. Temperatura nema brzu promenu u vremenu. Kontrolni algoritam izveden je iz diferencijalne jednačine analognog kontrolera, koja za idealizovan PID kontroler ima oblik:

$$u(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_1} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{d_e(t)}{dt} \right]$$

$K$  - iskustveni koeficijent

$T_1$  - vreme integracije (vreme resetovanja)

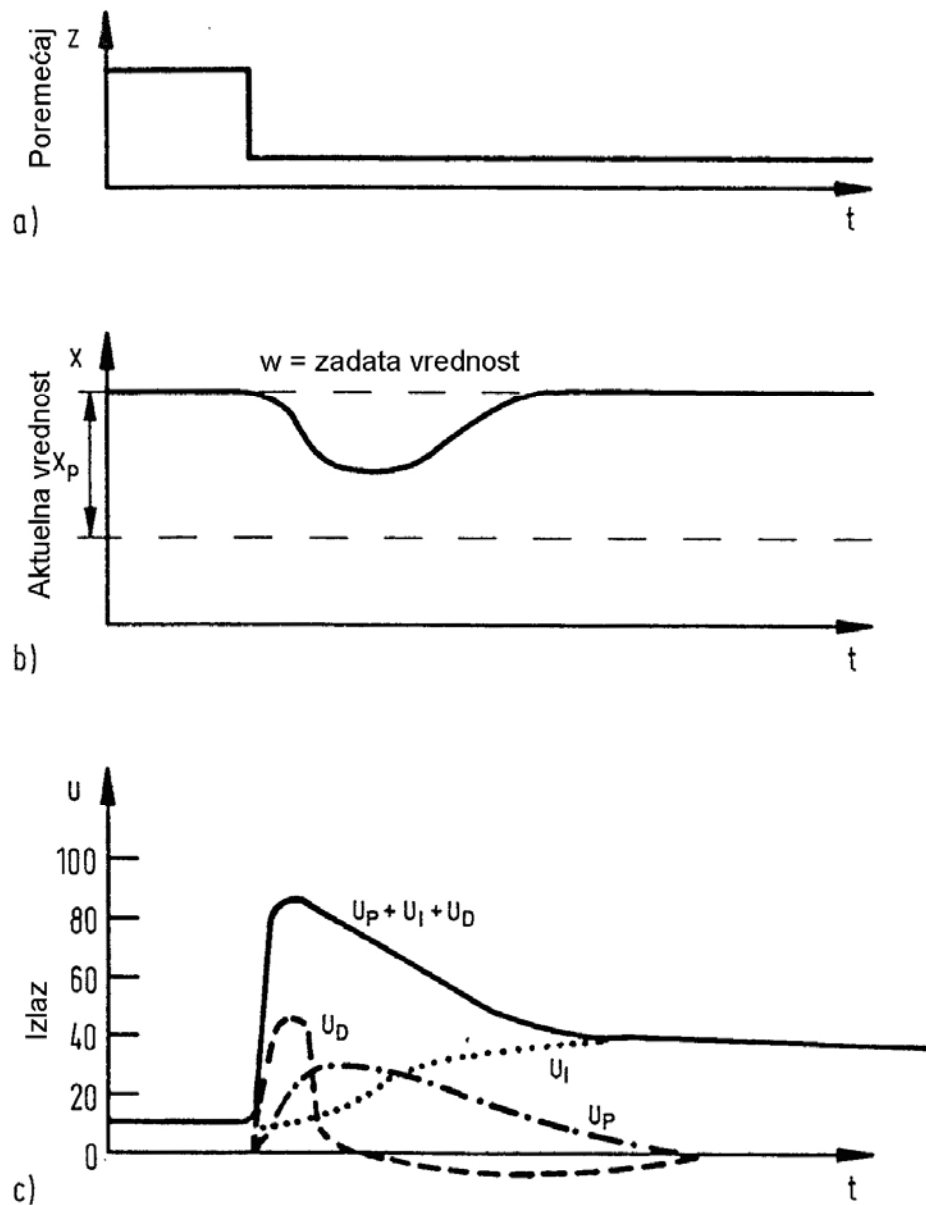
$T_D$  - vreme derivacije - izvoda (intervalno vreme)

U slučaju velike brzine skeniranja gornja jednačina ima sledeće rešenje:

$$u(k-1) = K \left[ e(k-1) + \frac{T_o}{T_i} \cdot \sum e(i) + \frac{T_D}{T_o} (e(k-2)) \right]$$

$$u(k) - u(k-1) = q_o \cdot e(k) + q_1 \cdot e(k-1) + q_2 \cdot e(k-2)$$

$q_o$ ,  $q_1$ ,  $q_2$  mogu biti izvedeni od parametara kontrolera sa stacionarnim funkcijama. Na slici 147 prikazan je tipičan dijagram referentne tačke i aktuelna vrednost posle poremećaja i dejstva PID kontrolera.



Slika 147. Referentne tačke i aktuelna vrednost pod dejstvom PID kontrolera

Moderni kontroleri pomažu korisniku u postavljanju optimalnih parametara pomoću kola za podešavanje.



### **6.2.2.3. Elementi snage (grejači)**

Izlazni signal kontrolera je ili analogni ili digitalni i upućuje se elementu snage. Kontrolni uređaj za elektrootporni grejač su mehanički ili električni releji ili tiristori. Releji generalno, menjaju signal u kvadratni talas što dovodi do dobrog rezultata, sa povoljnom cenom i robusnim elektronskim komponentama zbog potrebe za dugotrajnim opterećenjem. Mehanički releji su najjeftiniji. Elektronske komponente su dobre ali skupe.

Tiristorska varijanta je vrlo kvalitetna ali veoma skupa. Omogućuje vrlo precizno podešavanje izlaznih parametara i skuplja je od varijante sa relejima.

### **6.2.2.4. Pokretanje mašine**

Zagrevanje cilindra mašine vrši se pomoću elektrootpornih grejača. Oni se proizvode u različitim oblicima i sa različitom snagom. Za hlađenje ako je to potrebno koriste se ventilatori. Kontrola temperature sa fluidom prvenstveno se primenjuje kod prerade gume.

Temperatura rastopa uzduž cilindra je promenljiva zbog razvoja (upijanja) različite količine toplotne energije po zonama, što je još povezano i sa pretvaranjem mehaničkog rada (trenja) u toplotu. Temperatura po zonama se može lako kontrolisati ali ako se upravljanje toplotom vrši na osnovu tih podataka može doći do kašnjenja u isključivanju pojedinih segmenata grejača. Zbog toga su pojedini grejači (svaki od grejača) snabdeveni još sa dodatnom zaštitnim termosklopkama koje brzo isključuju napajanje električnom energijom i smanjuju temperaturu. Pri tome se o toj pojavi operater obaveštava alarmom. Dakle, toplotna ravnoteža praznog hoda mašine, narušava se pokretanjem proizvodnje, tj. opterećenjem mašine.

### **6.2.2.5. Konstrukcija i postavljanje grejača i kontrolera**

Podaci o temperaturama, kod današnjih mašina za injekciono presovanje, su memorisani u memoriji mašine i mogu se očitavati i kontrolisati. U slučaju znatnijeg odstupanja aktivira se alarm.

Zagrevanje cilindra vrši se po nezavisnim zonama. Kod mašina sa silom zatvaranja većom od 500 kN postoji pet nezavisnih kontrolisanih kola. Temperatura mlaznice takođe se kontroliše. Grejači cilindra moraju da imaju veliku kontaktnu površinu sa cilindrom. Radi smanjenja gubitaka toplote grejači su spolja pokriveni (izolovani keramikom), što obezbeđuje uštedu od oko 2-3% i dobro snabdevanje toplotom uzduž cilindra. Temperatura okoline može malo da utiče na zagrevanje i promenu toplote rastopa ( $1-2^{\circ}\text{K}$ ). Temperatura rastopa u radijalnom i aksijalnom pravcu je heterogena, što zavisi od konstrukcije puža (dužina puža, dubina zavojnice puža...), zatim od parametara procesa (broj obrtaja puža, aksijalni hod puža...), naknadnog pritiska, zapremine obratka, entalpije polimera, vremena hlađenja itd. Devijacija temperature od  $\pm 30^{\circ}\text{K}$  je moguća, a termička neregularnost od  $\pm (5 \div 10)^{\circ}\text{K}$  se uzima u obzir. Nažalost, mnogi od elaboriranih sistema kontrole, kao npr. kaskadni ili kontroler sa sensorima za kontrolu temperature rastopa, imaju visoku cenu i nisu značajnije prihvaćeni kod mašina za injekciono presovanje.

### **6.2.2.6. Specijalni način kontrole temperature cilindra**

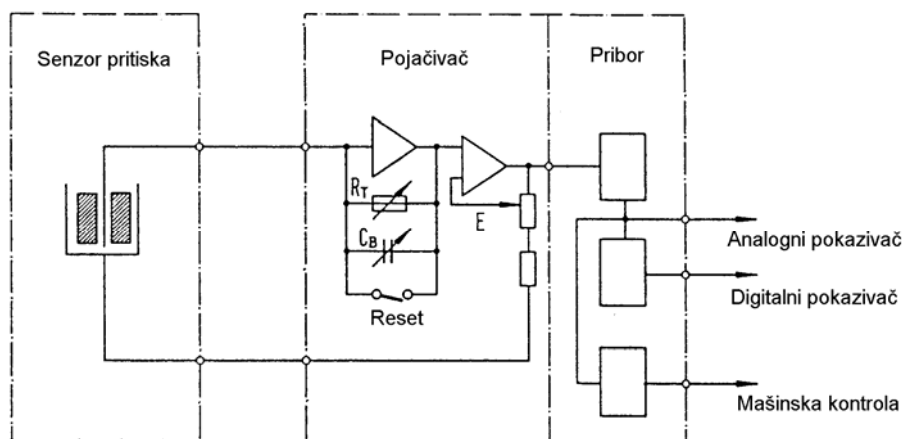
Kod mašina za preradu termoseta, gume i silikona kontrola temperature cilindra vrši se indirektno, preko kontrole temperature fluida koji se koristi za zagrevanje. Ova kontrola bazirana je na pretpostavci brze promene temperature cilindra u funkciji temperature radnog (toplotnog) fluida.

## 6.3 Merenje pritiska

### 6.3.1. Pritisak na vrhu puža

Pritisak na vrhu puža veoma je bitan za odvijanje procesa injekcionog presovanja, odnosno, tečenje rastopa do kalupne šupljine. Profil ovog parametra (dijagram) je podudaran sa profilom hidrauličnog pritiska u cilindru koji obezbeđuje aksijalno pomeranje puža (slika 7).

Za merenje pritiska često se koriste piezoelektrični senzori u sklopu sa odgovarajućim elektronskim sistemom koji je prikazan na slici 148. Analogni signal iz senzora pritiska, koji je proporcionalan pritisku, ali koji je veoma slab, pojačava se u pojačivaču (slika 148), i po potrebi digitalizuje ili prenosi na kontrolnu jedinicu mašine.



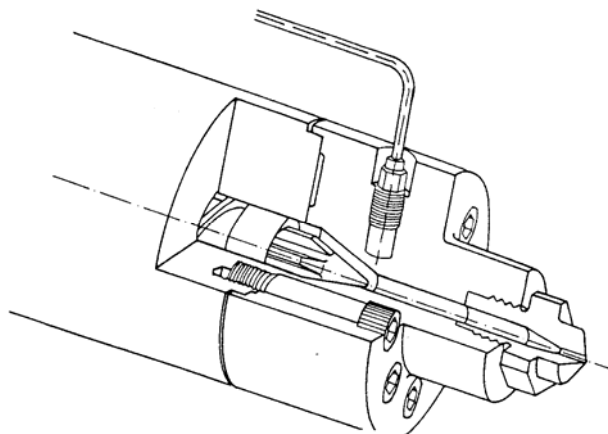
Slika 148. Mereni sistem sa piezoelektričnim senzorom

Piezoelektrični senzor pogodan je za merenje kvazistatičkih i dinamičkih veličina.

Pomoću potenciometra E (slika 148) podešava se izlazni napon iz pojačavača do iznosa od 10V za maksimalno opterećenje.

Senzor za merenje pritiska konstrukciono se postavlja u dve varijante. Prvo rešenje podrazumeva smeštaj senzora u kanal mlaznice, što ima određenih nedostataka zbog ometanja tečenja i zadržavanja očvrslih čestica mase.

Drugo, kvalitetnije rešenje, prikazano na slici 149, prema kojoj je senzor postavljen blizu kontaktne površine mlaznice. Kod ovog rešenja nema problema koji su prisutni u prethodnom, ali postoji problem kalibrisanja sistema, koji se uspešno može rešiti praćenjem pritiska u hidrauličnom sistemu.

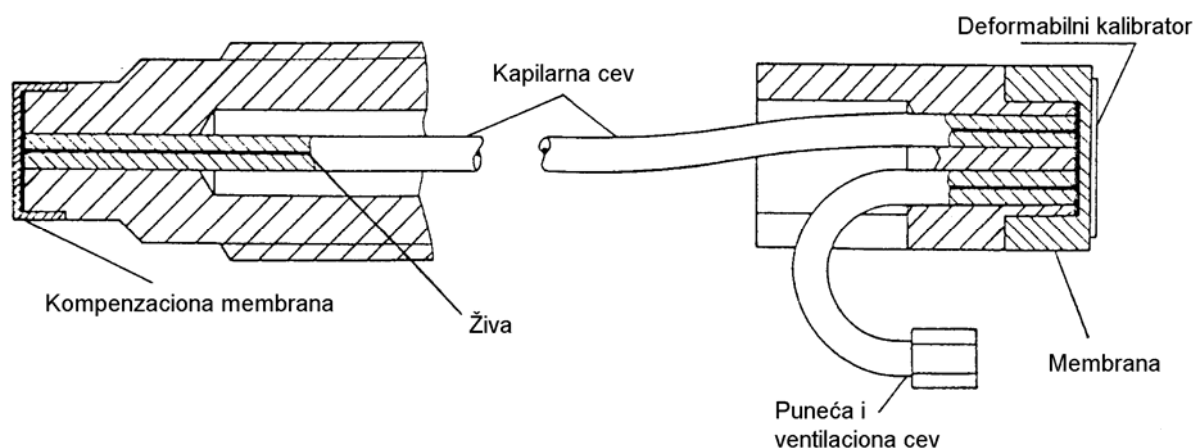


Slika 149. Šematski prikaz umetnutog piezoelektričnog senzora za indirektno merenje pritiska na vrhu puža

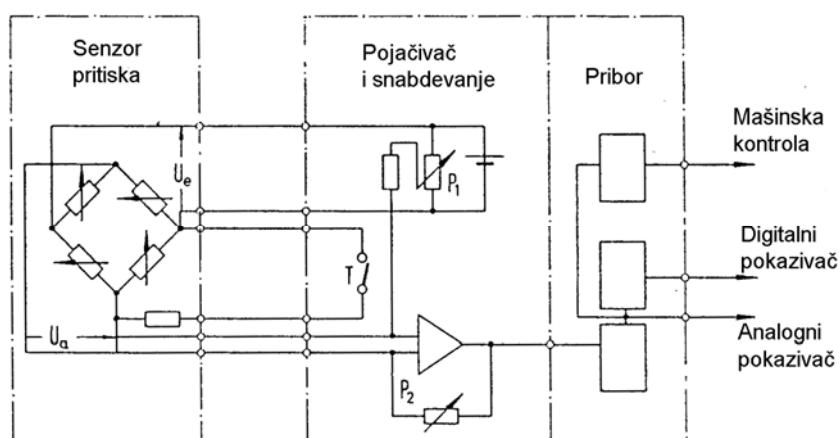
### 6.3.2. Hidraulični pritisak

Dijagram pritiska u hidrauličnom sistemu odražava otpore tečenja rastopa u mlaznici i ulivnom sistemu za vreme procesa injekcionog presovanja. Hidraulični pritisak raste sa povećanjem otpora tečenja rastopa.

Za merenje hidrauličnog pritiska koriste se piezoelektrični senzori, a takođe i senzori sa mernim trakama (slika 150). Senzor se sastoji od metalnog tela na čijem vrhu se nalazi elastična membrana (ispod koje se nalazi metalna rešetka). Na elastičnoj membrani zalepljene su merne trake koje su povezane u Winston-ov most (slika 151). Pod dejstvom pritiska tečnosti, koja se uvodi kroz kapilarnu cev, membrana se elastično deformiše, a sa njom i merne trake. Deformacija mernih traka izaziva promenu električnog otpora, odnosno, struje, koja protiče kroz prethodno izbalansirano kolo (slika 151). Dobijeni električni signal niskog intenziteta se pojačava u pojačivaču, a zatim se može digitalizovati i registrovati ili prikazati kao digitalni ili analogni signal. Prekidač T služi za kalibrisanje sistema. Kalibracija je najbolja ako je moguće direktno uspostaviti vezu između fizičke veličine pritiska i dobijenog odziva.



Slika 150. Senzor za merenje pritiska rastopa na bazi mernih traka (verzija sa kapilarnom cevi)



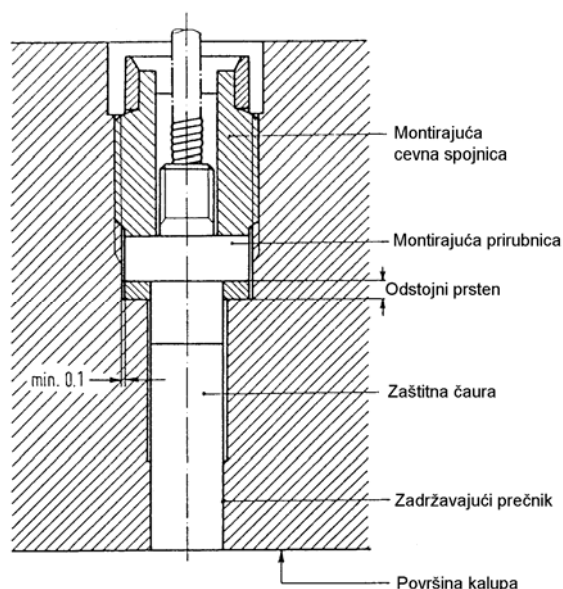
Slika 151. Merni sistem sa mernim trakama (pun most)

### 6.3.3. Pritisak u kalupu

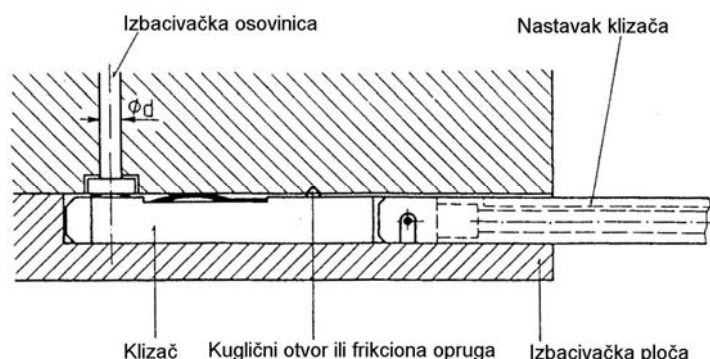
Dijagram pritiska u kalupu koji se koristi za ocenu stanja injekcionog presovanja u kalupu, prvenstveno zavisi od mesta gde je postavljen senzor za merenje pritiska. S tim u vezi treba napomenuti, da senzor neće registrovati pritisak u kalupu tokom kompletnog ciklusa presovanja, već samo od početka stvaranja kontakta rastopa sa senzorom. Za kontrolu pritiska u kalupu najbolje mesto za postavljanje senzora je ušće šupljine, pa za eventualnu kontrolu treba koristiti tu lokaciju. Za praćenje pritiska tokom punjenja šupljine, senzor treba postaviti dalje od ušća u ulivnom kanalu.

Za ovo merenje koristi se takođe piezoelektrični senzor. Senzor, *slika 152*, je svojim donjim krajem u direktnom kontaktu sa rastopljenim materijalom. Opterećenje sa mernog pipka se preko klipa prenosi na piezoelektrični kristal (nije prikazan na slici). Površina mernog pipka mora biti usklađena sa površinom kalupa na mestu merenja pritiska. Merni pipak po pravilu ostavlja otisak na otpresku, pa mesto merenja treba pažljivo birati tako da ne utiče na estetske vrednosti otpreska.

Da bi se eliminisala oštećenja mernog pipka za merenje pritiska u kalupu primenjuje se indirektno merenje preko izbacivača (*slika 153*). Ispod izbacivača se ugrađuje piezoelektrični senzor ili senzor sa mernim trakama. Ovakav senzor posle izvršenog merenja može se izvaditi iz alata.



Slika 152. Direktno merenje unutrašnjeg pritiska sa piezoelektričnim senzorom pritiska



Slika 153. Klizni senzor pritiska sa piezoelektričnim elementom ili sa mernim trakama

## 6.4 Sistem upravljanja

### 6.4.1. Objekti upravljanja

Na slici 155 prikazan je dijagram pritiska u kalupu sa označenim karakterističnim tačkama, koje definišu pojedine faze u procesu presovanja. U dijagramu je takođe, opisan uticaj posmatrane faze na pojedine karakteristike obratka.

Faza punjenja kalupa (ubrizgavanje) utiče na:

- ✚ strukturu površine otpreska,
- ✚ stepen orijentacije strukture,
- ✚ kristalizaciju u površinskom sloju,
- ✚ termičke i mehaničke deformacije.

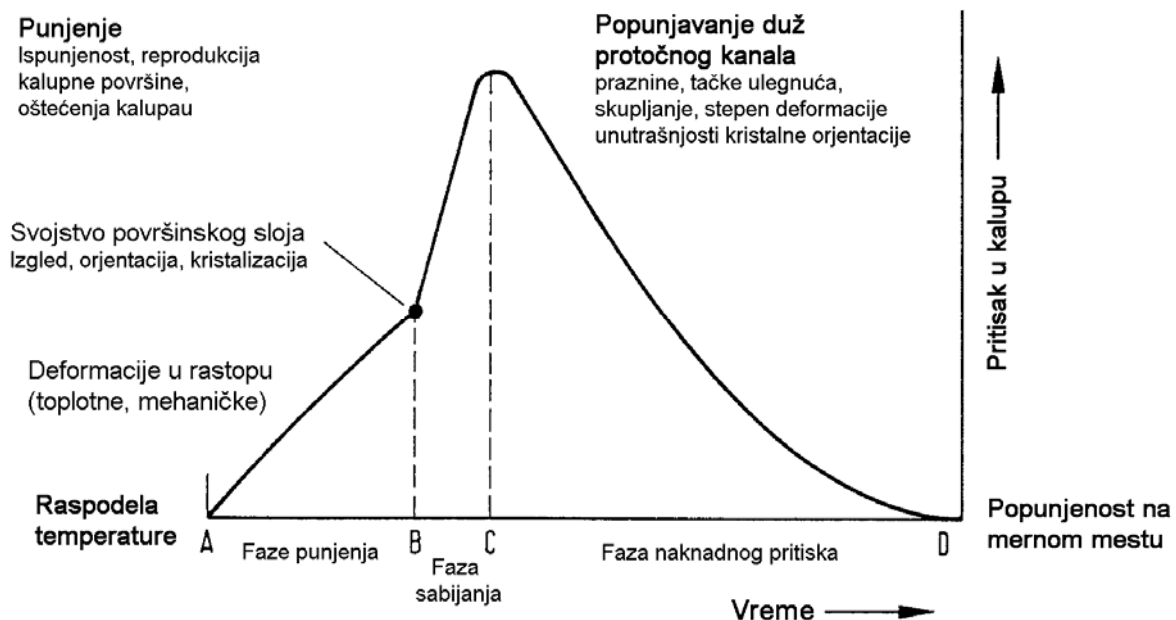
Faza kompresije utiče na:

- ✚ oblik i dimenzije obratka (u odnosu na kalup),
- ✚ pojavu svetlih površina,
- ✚ oštećenja prouzrokovana visokim pritiskom.

Naknadni pritisak utiče na:

- ✚ težinu obratka,
- ✚ skupljanje,
- ✚ kristalnost i orijentaciju strukture (ali manje utiče nego pritisak u fazi kompresije) i to prvenstveno u unutrašnjosti obratka.

Zadatak sistema upravljanja je da održava tražena svojstva otpreska na konstantnom nivou (misli se na svojstva definisana dijagramom na slici 155). Za postizanje tog cilja primenjuje se odgovarajući kontrolno-upravljački sistem.



Slika 155. Dijagram pritiska u kalupu sa osnovnim uticajem na kvalitet trespka

Kod starijih mašina za injekciono presovanje aksijalni hod puža i naknadni pritisak su konstantni. Kod savremenih mašina postoji mogućnost programiranja i podešavanja svih relevantnih parametara procesa i faza, odnosno, tačaka (u P-t dijagramu).

Trenutak prelaza pritiska sa kompresionog na naknadni, standardno je povezan sa hodom puža. Međutim, ima situacija kad je svičovanje pritiska potrebno povezati sa pritiskom u kalupu.

Hidraulični pritisak u fazi kompresije mora biti dovoljan da obezbedi popunjavanje šupljine kalupa. Faza naknadnog pritiska, načelno se odvija sa nižim pritiskom, koji mora biti dovoljan da dopuni kalup rastopom usled skupljanja otpreska.

Radi postizanja ciljeva kvalitetnog presovanja, aksijalna brzina puža kao i naknadni pritisak moraju se kontrolisati. Za dobijanje kvalitetnog obratka hidraulični sistem mašine mora biti pod neprekidnom kontrolom.

#### **6.4.2. Komponente sistema upravljanja**

Sistem upravljanja sastoji se od velikog broja električnih i elektronskih komponenti koje primaju ulazne signale, procesiraju ih i izdaju odgovarajuće komande koje se realizuju pomoću izvršnih elemenata (elemenata snage).

**Ulazni stepen:** točak, poluga, dugme, dodirni preklopnik, granični preklopnik, zaštitni prekidač, izborni prekidač...

**Stepen za procesiranje:** releji, prekidači, tasteri, diode, tranzistori, mikroprocesori i multiprocesori.

**Izlazni (power) stepen:** elektromagneti, elektro motor...

Sve ove komponente moraju blagovremeno i u skladu sa sekvencama ciklusa presovanja da obezbede potreban pritisak, silu i brzinu. Ovi zahtevi kombinuju se sa logičnim akcijama upravljanja hidraulikom (pravac toka, pritisak i protok fluida) i upravljanje sa elektromehaničkim pogonom mašine. Ovakav sistem upravljanja predstavlja open-loop sistem.

Mašine starije generacije imale su sledeće sisteme:

- a) konvencionalni sistem upravljanja sa elektromehaničkim komponentama,
- b) konvencionalni sistem sa solid-state modulom i ventilima sa ručnim upravljanjem za pritisak i brzinu,
- c) konvencionalni sistem upravljanja sa solid-state modulom i daljinski upravljanim proporcionalnim ventilima pritiska,
- d) konvencionalni sistem upravljanja sa solid-state modulom i centralnim upravljanim proporcionalnim ventilima pritiska,
- e) konvencionalni sistem, sa integrisanom digitalnom kontrolom protoka i pritiska sa ili bez centralne jedinice za programiranje.

Nove mašine imaju još:

- f) konvencionalni sistem upravljanja sa integrisanim krugom (kolom) za programiranje pritiska i brzine
- g) procesorska kontrola ciklusa i parametara.

Dodatno svaki sistem upravljanja ima još sistem za kontrolu temperature u cilindru, kalupu i za kontrolu temperature ulja.

### 6.4.3. Poremećaji

Poremećaji kod injekcionog presovanja prouzrokovani su:

- a) Delovanjem čoveka:
  - ✚ neautorizovanim upravljanjem mašinom (nestručno rukovanje),
  - ✚ nekontrolisane korekcije, tj. postavljanje neadekvatnih parametara procesa,
  - ✚ nedostatak uređaja za nadzor.
- b) Delovanjem okoline:
  - ✚ varijacije lokalne temperature,
  - ✚ promena vlage,
  - ✚ kontaminacija
- c) Tehnologijom:
  - ✚ Ponovljivost funkcionisanja mehaničkog, hidrauličnog sistema i sistema upravljanja,
  - ✚ greške u kalupu,
  - ✚ temperatura (cilindra, ulja, kalupa),
  - ✚ različite varijacije u materijalu,
  - ✚ fluidnost materijala, ponašanje pri punjenju.

Uloga sistema kontrole i upravljanja je u tome da, što je moguće više, eliminiše nastale poremećaje i obezbedi kvalitetan otpresak.

### 6.4.4. Metode procesa kontrole – upravljanja

Za većinu sekvenci (faza) injekcionog presovanja primenjuje se open-loop sistem kontrole. Za closed-loop sistem kontrole pogodni su:

- ✚ temperatura cilindra,
- ✚ temperatura ulja (za visoki kvalitet presovanja),
- ✚ temperatura kalupa.

Iznad toga potrebno je kontrolisati:

- ✚ ubrizgavanje,
- ✚ profil pritiska pri kompresiji i naknadni pritisak,
- ✚ silu zatvaranja.

Načelno se može konstatovati da se za procese sa velikim brojem ponavljanja preporučuje se open-loop sistem upravljanja. Za procese sa nesistematičnim poremećajima preporučuje se closed-loop sistem upravljanja.

Tačnost i reproduktivnost (ponovljivost) kod mašina za injekciono presovanje veoma zavisi od hidrauličnih komponenti i metode njihove kontrole.

Digitalna kontrola kod hidraulike daje bolje rezultate i bolju ponovljivost od proporcionalnih ventila sa istim vremenom odziva. Jedino primena servo ventila sa closed-loop sistemom se približava digitalnoj kontroli (za oko 0,5% manja reproduktivnost).

#### 6.4.4.1. Upravljanje pomoću električnih tajmera i sa ručnim upravljanjem pritiskom, protokolom i smerom

Redosled upravljanja u skladu sa ciklusom obezbeđen je pomoću solid-state kontrole ili pomoću procesora. Pritisak, brzina i hod se podešavaju ručno pomoću odgovarajućih ventila.

#### 6.4.4.2. Upravljanje sa centralnim postavljanjem veličina

Kod ovog sistema upravljanja svi parametri procesa se zadaju preko centralnog procesora. Ponovljivost izvođenja procesa je vrlo pouzdana. Uneti parametri se mogu kontrolisati. Međutim, tačnost mašine zavisi od analogno proporcionalnih ventila pritiska i protoka.

#### 6.4.4.3. Sistem upravljanja sa centralnim postavljanjem podataka i digitalnim ventilima pritiska i protoka

Ovakav način upravljanja primenjuje se kod visokozahtevnih procesa gde digitalna tehnika pokazuje određenu prednost u odnosu na analognu. Ponovljivost procesa (ciklusa) je bolja u odnosu na proporcionalne analogne ventile.

#### 6.4.4.4. Kontrola (upravljanje) pritiska ubrizgavanja i naknadnog pritiska

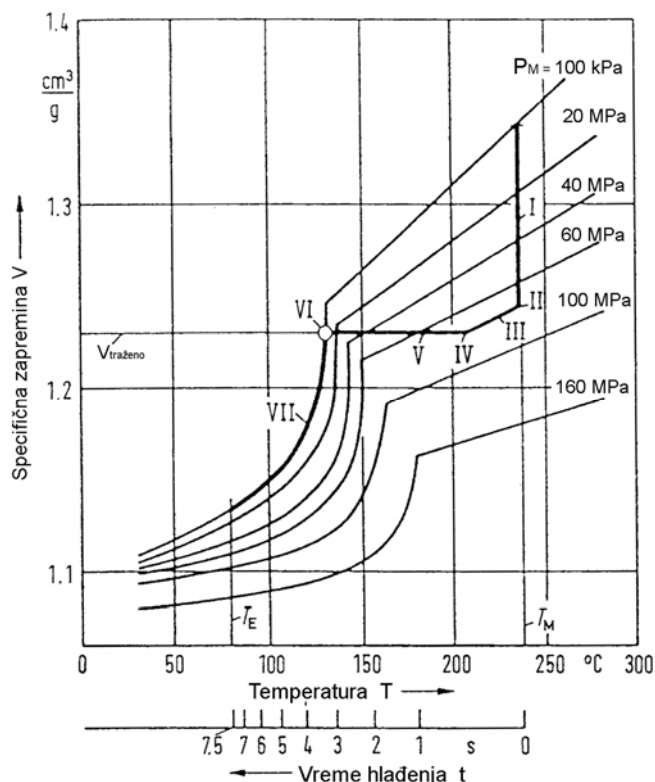
U ovom slučaju koriste se PI i PID kontroleri.

#### 6.4.4.5. Optimizacija naknadnog pritiska pomoću PVT dijagrama

Stepen orijentacije, zaostali naponi i skupljanje, tj. kvalitet otpreska su uvek zavisni od izohornog ( $V=\text{const.}$ ) procesa tj. od njegove kontrole.

Promena stanja otpreska prikazana je na slici 157.

- I. injekciono presovanje sa  $T=\text{const.}$ ,
- II. svičovanje pritiska na iznos naknadnog pritiska,
- III. izobarni proces  $p=\text{const.}$ ,
- IV. početak faze izohornog presovanja – ova faza je odlučujuća za kvalitet otpreska,
- V. izohora  $V=\text{const.}$ , uz pad pritiska,
- VI. tačka dostizanja pritiska okoline (100Kpa). Ova faza nema uticaja na kvalitet obratka, osim što je primetno skupljanje usled pada temperature.



Slika 157. Postupak injekcionog presovanja u P-V-T dijagramu  
 $P_M$ : Pritisak rastopa,  $T_E$ : Temperatura izbacivanja,  $T_M$ : Temperatura rastopa



Mašine sa procesorskim upravljanjem omogućuju ostvarivanje pojedinih tačaka P-V-T dijagrama bez obzira na varijacije temperature rastopa i temperature kalupa, a dobijeni otpresak ima konstantnu težinu.

### 6.4.5. Mikroprocesorska jedinica

Procesor za mašinu za injekciono presovanje napravio je INTEL® 1969. godine.

Programiranjem se procesor snabdeva potrebnim podacima i autonomno donosi odluke na osnovu praćenja pojedinih veličina i postavljenih zahteva. Mašina može biti snabdevena sa više procesora što predstavlja multiprocesorsku tehniku.

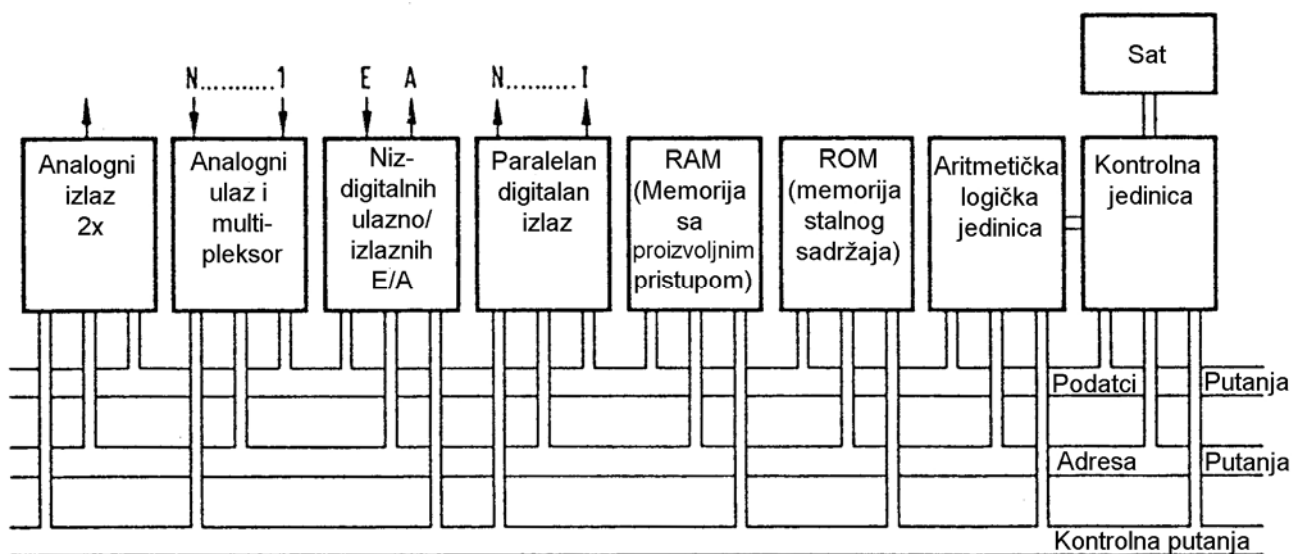
Blok dijagram procesora dat je na *slici 160*. Između procesora i memorije je 16-bitni data bus.

Centralni deo mikroprocesora je CPU jedinica koja kontroliše promenu podataka i aritmetičko logičnu jedinicu sa izvođenjem osnovnih operacija.

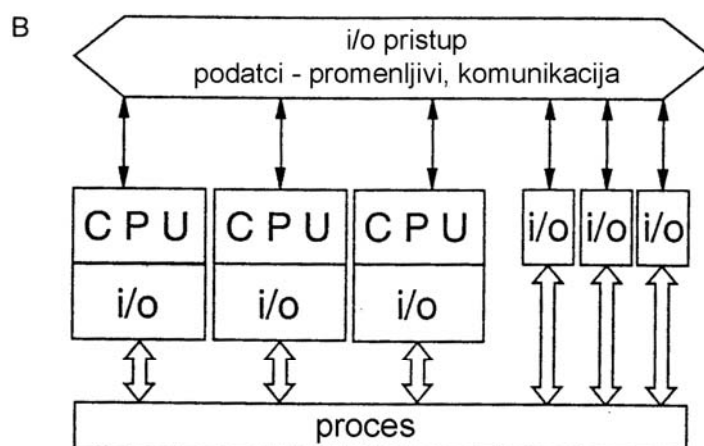
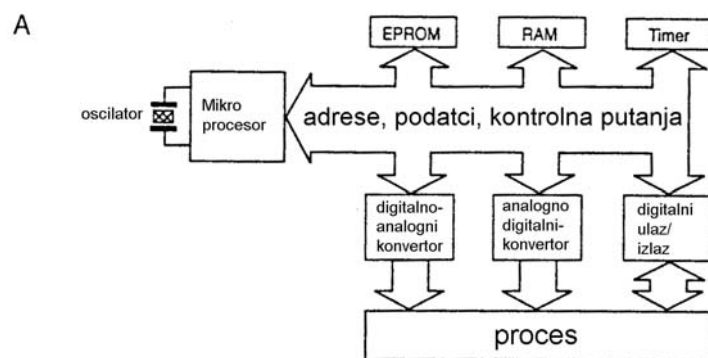
ROM – sadrži fundamentalne podatke i instrukcije.

RAM – memorija čiji se sadržaj može menjati.

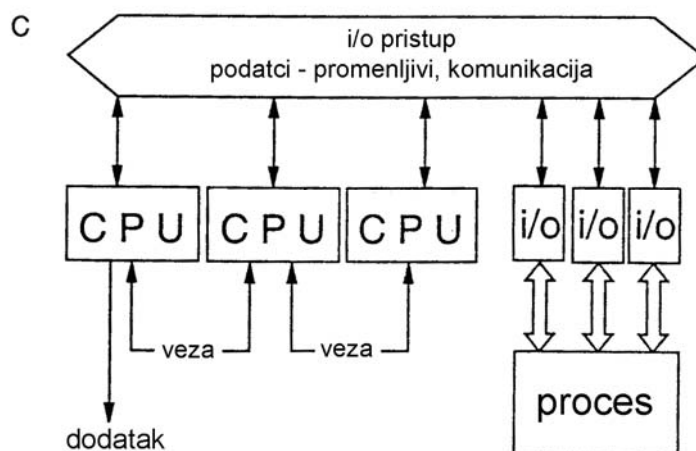
Kod singl mikroprocesora (*slika 161a*) može doći do kašnjenja u reakciji mašine zbog dugog vremena odziva. Da bi se to ubrzalo mašine se snabdevaju sa više mikroprocesora (*slika 161 b, c*).



Slika 160. Struktura mikrokomputera



CPU= centralna izvršna jedinica  
i/o = ulaz / izlaz



CPU= centralna izvršna jedinica  
i/o = ulaz / izlaz

Slika 161. Procesorski sistemi

A : Singl- procesorski sistem, B : Multi-procesorski, C – Transputer sistem

Funkcije mikroprocesora (ili multiprocesora):

- a) Standardne funkcije:
  - ✚ kontrola faza,
  - ✚ tajmer funkcije,
  - ✚ funkcije za pokretanje aktuatora
  - ✚ displej alfa-numeričkih podataka,
  - ✚ nadgledanje limita ventila,
  - ✚ praćenje neistpravnosti

b) Monitoring funkcije:

- ✚ dijagnoza neispravnosti (kvarova),
- ✚ dijalog program,
- ✚ kontrola setup procedure u skladu sa uputstvom,
- ✚ kalkulacije sa podacima,
- ✚ uzimanje ulaznih podataka (od senzora),
- ✚ povezivanje sa centralnim nadzornim sistemom i evaluacija podataka preko centralnog interfejsa,
- ✚ korekcije preko centralne monitoring stanice.

c) Kontrolne funkcije:

- ✚ kontrola temperature u cilindru, rastopu i hidrauličnom ulju,
- ✚ kontrola brzine (puža) i naknadnog pritiska,
- ✚ kontrola energije (filling energy),
- ✚ kontrola svičovanja pritiska (kompresionog na naknadni),
- ✚ sopstvena optimizacija procesa.

Treba naglasiti da prisustvo mikrokompjutera nije garancija da će se proces proizvodnje ponavljati (izvoditi) uvek na isti način. Na ponovljivost mašine utiču brojni faktori od koji se izdvajaju:

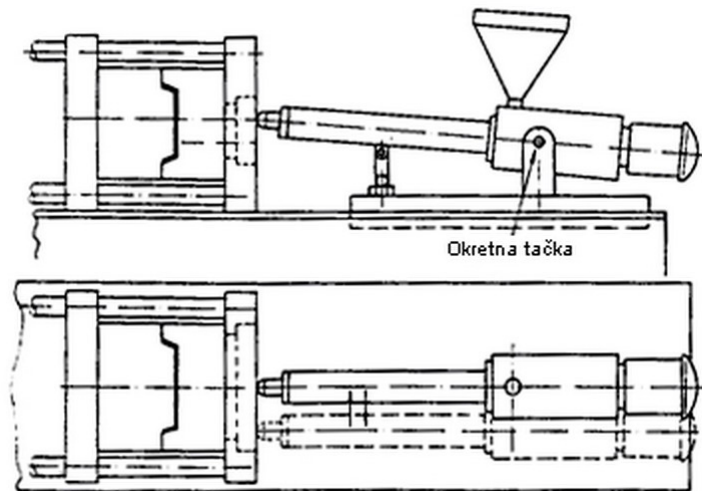
- ✚ ponovljivost početnog položaja ventila i kontrola njihovih karakteristika,
- ✚ konstantnost sile zatvaranja,
- ✚ otpori zbog habanja u jedinici za plastifikaciju, funkcionisanje nepovratnih ventila,
- ✚ konstantnost temperature rastopa,
- ✚ uniformnost materijala,
- ✚ ponovljivost zaptivanja spojeva kalupa, temperatura kalupa, deformacije kalupa,
- ✚ konstantnost uslova ambijenta, posebno temperature.

## 7. VRSTE MAŠINA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

U nastavku su prikazani različiti tipovi mašina koji po svojoj konstrukciji i načinu funkcionisanja na neki način odstupaju od osnovne mašine za injekciono presovanje.

### 7.1 Mašine za presovanje pored centra alata

Ponekad postoji zahtev da osa ulivne čaure bude izvan ose radnog cilindra, što podrazumeva da se cilindar može naginjati za određen mali ugao ili pomerati u horizontalnoj ravni (*slika 167*).



Slaka 167. Nagibni i klizni inekciona jedinica sa povećanim otvaranjem nepokretne ploče

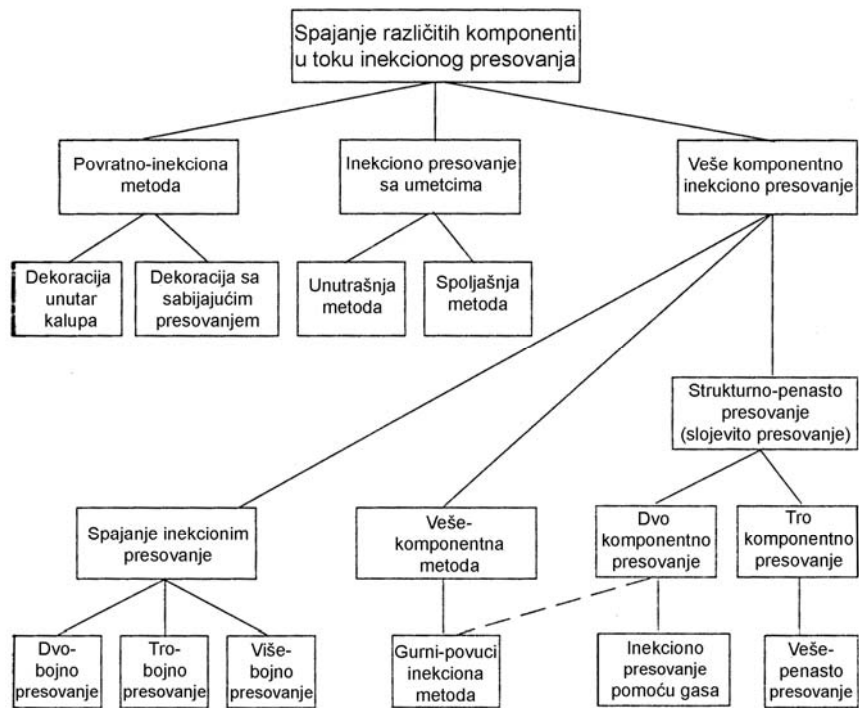
### 7.2 Mašine za izradu višekomponentnih delova

U praksi postoji veliki broj delova koji se sastoje iz više komponenti i predstavljaju kombinaciju metal-plastika ili kombinaciju delova različite boje. Danas su u primeni sledeće varijante materijala:

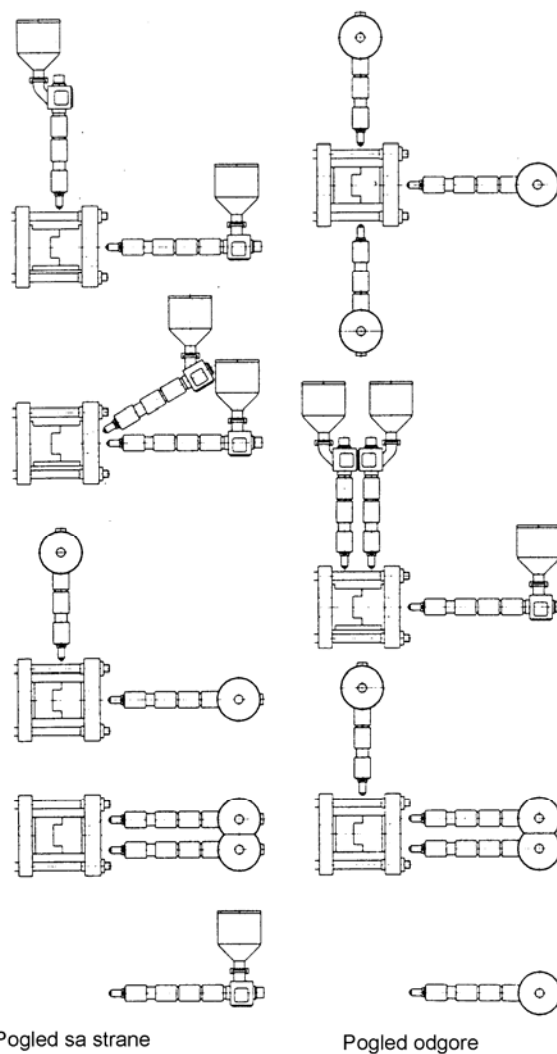
- ✚ materijali sa dve ili više različitih boja,
- ✚ kombinacija čvrstih i mekih materijala,
- ✚ nerazdvojni spoj,
- ✚ oblikovanje sendvič otpresaka, u kombinaciji sa penom i višekomponentnom tehnikom.

Moguće varijante multikomponentnog oblikovanja date su na *slici 168*, a moguće vrste mašina koje se za to koriste date su na *slici 169*. Ove varijante mogu se podeliti u sledeće kategorije:

- ✚ horizontalna konstrukcija sa više inekcionih jedinica postavljenih paralelno ili pod uglom,
- ✚ vertikalna konstrukcija sa vertikalnim uređajem za zatvaranje i bočnom inekcionom jedinicom,
- ✚ mašine sa dve inekcione jedinice i jednom mlaznicom koje omogućuju paralelno ubrizgavanje istovremeno ili naizmenično.



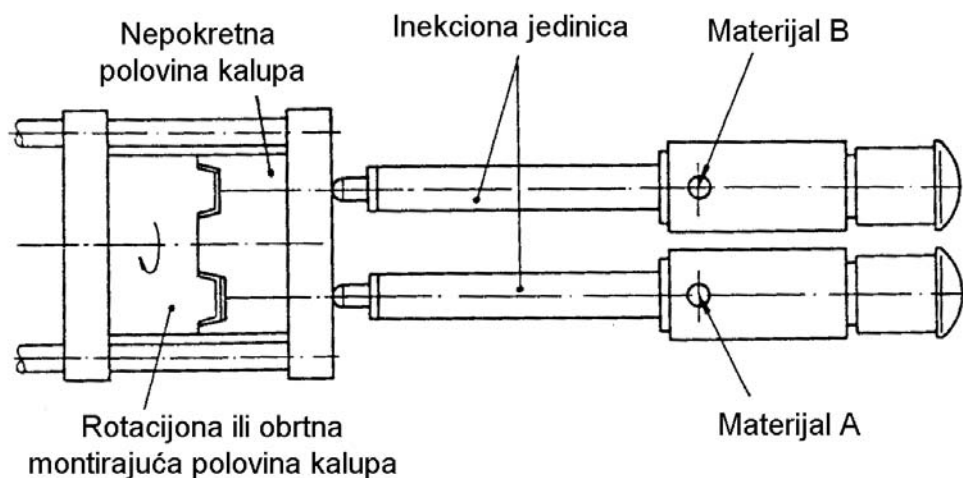
Slika 168. Metode spajanja različitih plastičnih ili plastičnih sa drugim materijalima u toku inekcionog presovanja



Slika 169. Varijacije mašina za inekciono presovanje višekomponentnih otpresaka

### 7.2.1. Mašine horizontalne izvedbe (slika 170)

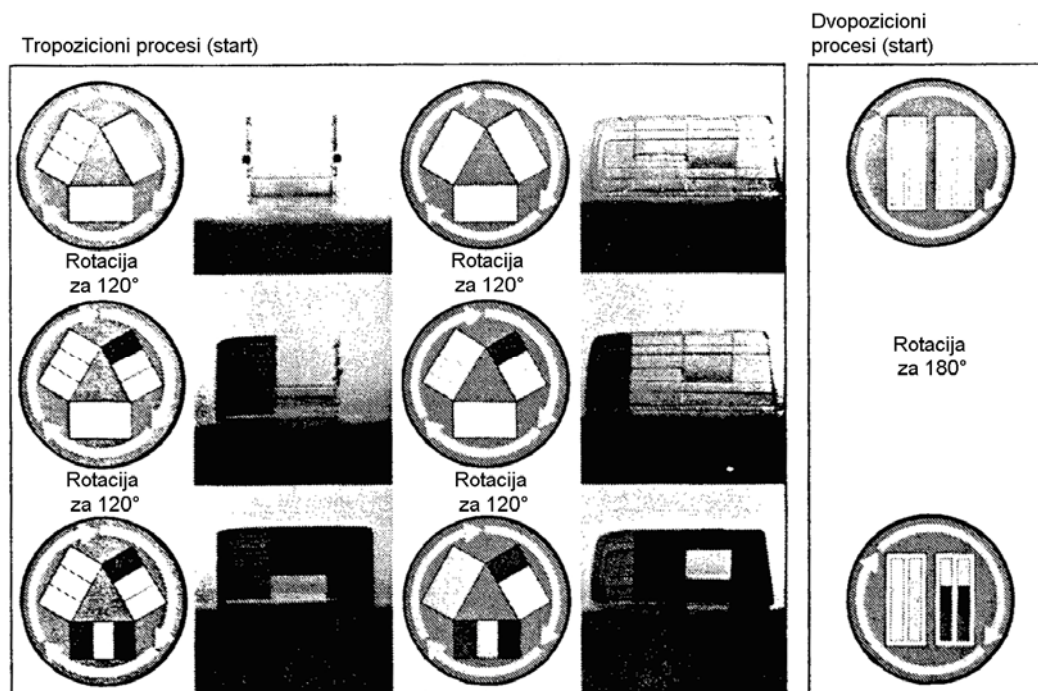
Kod ove mašine postoje dva nezavisna cilindra i alat koji se obrtanjem pokretnog dela dovodi u radni položaj. Obrtanje je moguće u otvorenom položaju alata.



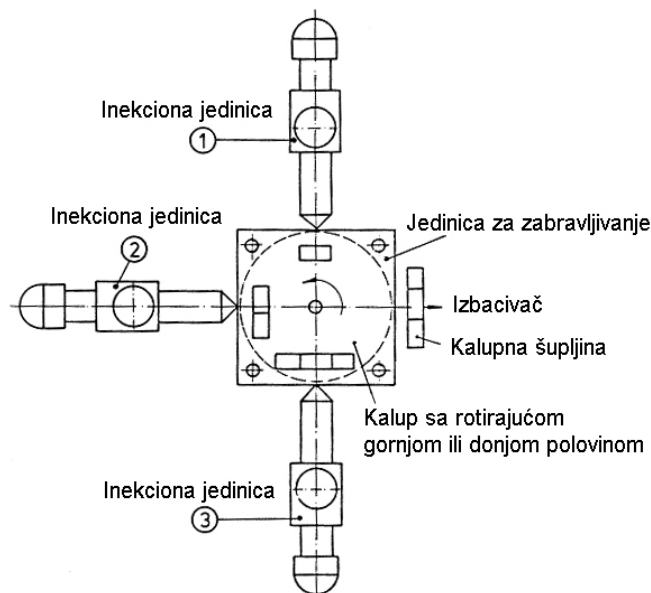
Slika 170. Mašina za inekciono presovanje sa dve inekcione jedinice za dvo-bojno brizganje

### 7.2.2. Mašine vertikalne izvedbe (slika 171)

Ova mašina ima vertikalno postavljenu jedinicu za zatvaranje alata (i horizontalno postavljene radne cilindre). Obrtanjem pokretnog dela alata (oko vertikalne ose) ostvaruje se radni položaj alata (slika 171). Na slici 172 dati su promeri tropozicionog i dvopozicionog multicolor ubrizgavanja.



Slika 172. Upoređivanje tropozicionog sa dvopozicionim procesom presovanja stop svetla automobila. Tropozicioni proces: Istovremeno presovanja sa tri različite boje u tri različite šupljine i naknadna rotacija kalupa za 120°. Dvopozicioni proces: Istovremeno presovanje sa dve različite boje (komponente) u jednoj kalupnoj poziciji i naknadna rotacija za 180°.



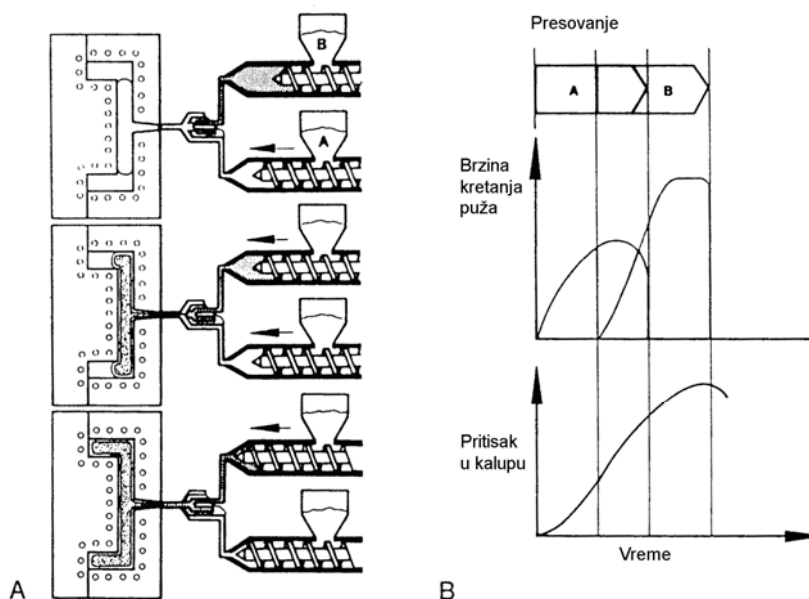
Slika 171. Mašina za višebojno inekciono presovanje sa vertikalnom jedinicom za zavravljivanje, rotirajućim kalupnim polovinama i tri inekcione jedinice

### 7.2.3. Mašine za ko-injekciono presovanje

Ranije mašine za multikomponentno presovanje koristile su isti osnovni materijal (polimer) različite boje na svim pozicijama. Današnje mašine omogućuju kombinovanje različitih materijala kako bi se dobila tražena mehanička, termička i estetska svojstva. Na slici 173 prikazana je mašina za dvokomponentno presovanje, a na slici 174 različite varijante punjenje kalupa – srednja varijanta je optimalna.

Moguće varijante povezivanja mlaznica date su na slici 175. Na slici 176 prikazane su uvećane mlaznice za ovu svrhu, sa programabilnim aktiviranjem ubrizgavanja materijala.

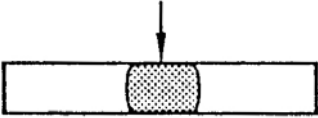
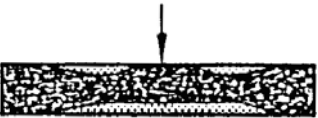
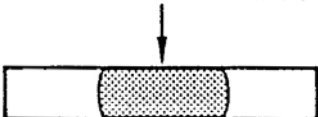
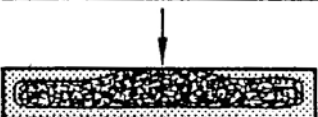
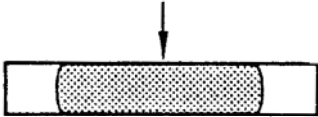
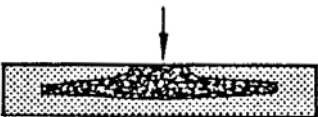


Na slici 177 dat je pregled polimera koji se ko-injekciono presuju sa ocenama adhezivne sposobnosti materijala.



Slika 173. Dvokomponentno inekciono presovanje

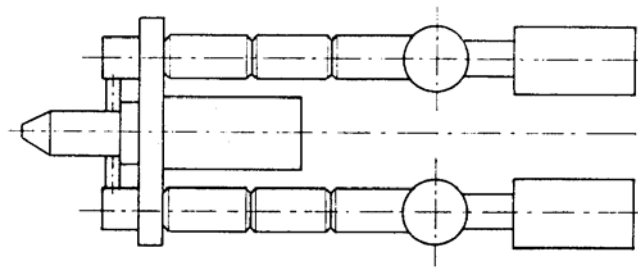
A: Inekciona jedinica sa dva odvojena inekciona elementa za komponente A i B; Prikaz osnovne slike punjenja.

B: Pritisak u kalupu i kretanja puža u toku vremena sa karakterističnim istovremenim fazama

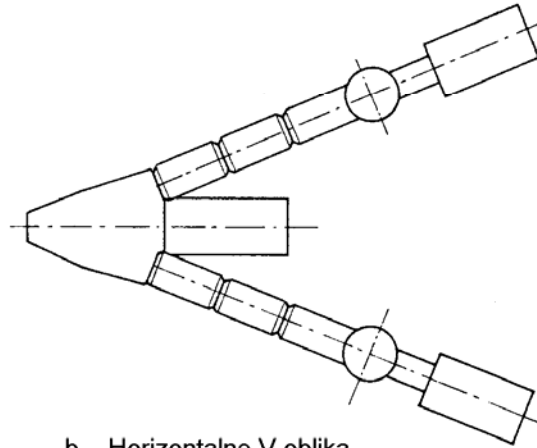
Glavni površinski materijal	Popunjavanje sa dve komponente
 <p data-bbox="440 427 820 495">Količina površinskog materijala za mali <math>FR &lt; FR_{kritično}</math></p>	 <p data-bbox="887 427 1268 528">Jezgro materijala i začetak površinskih pukotina na najdužoj putanji tečenja</p>
 <p data-bbox="440 730 820 797">Količina površinskog materijala za optimalan <math>FR = FR_{kritično}</math></p>	 <p data-bbox="887 730 1268 797">Optimalna distribucija u jezgru materijala</p>
 <p data-bbox="440 999 820 1066">Količina površinskog materijala za veliki <math>FR &gt; FR_{kritično}</math></p>	 <p data-bbox="887 999 1268 1099">Skupljanje na površini materijala gde ne može doći do pomeranja</p>
 Sastav površine $FR$ : Koeficijent popunjenosti  Sastav jezgra $FR_{kritično}$ : Kritičan koeficijent popunjenosti	

Slika 174. Definisane kritičnog koeficijenta popunjenosti

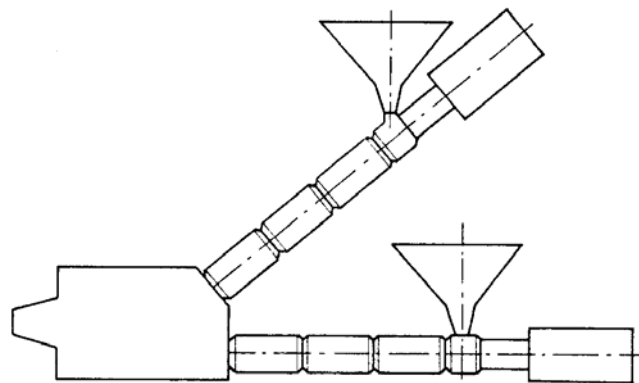




a. Horizontalne paralelne

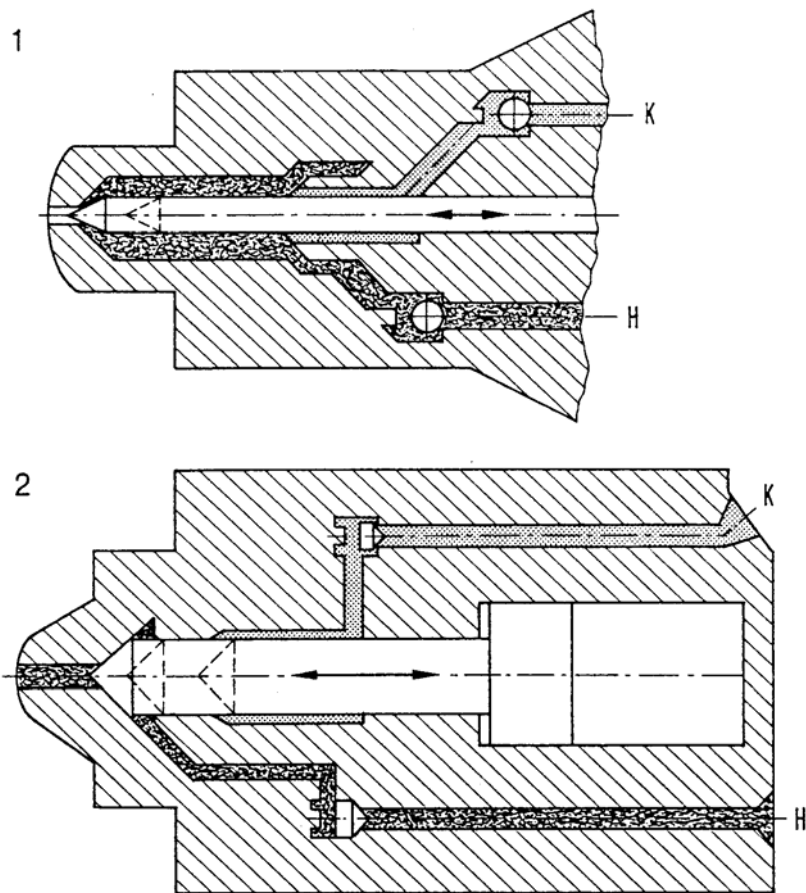


b. Horizontalne V-oblika

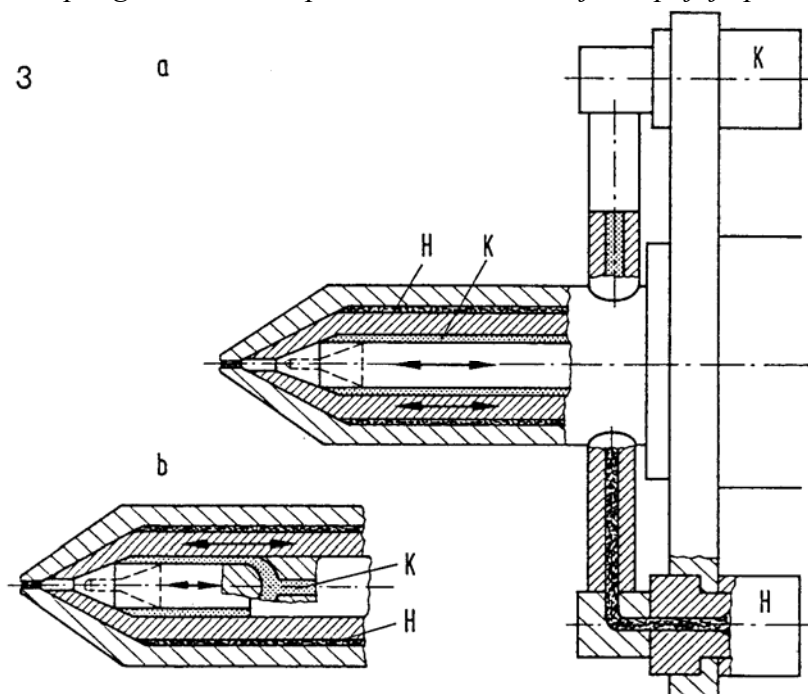


c. Vertikalne V-oblika

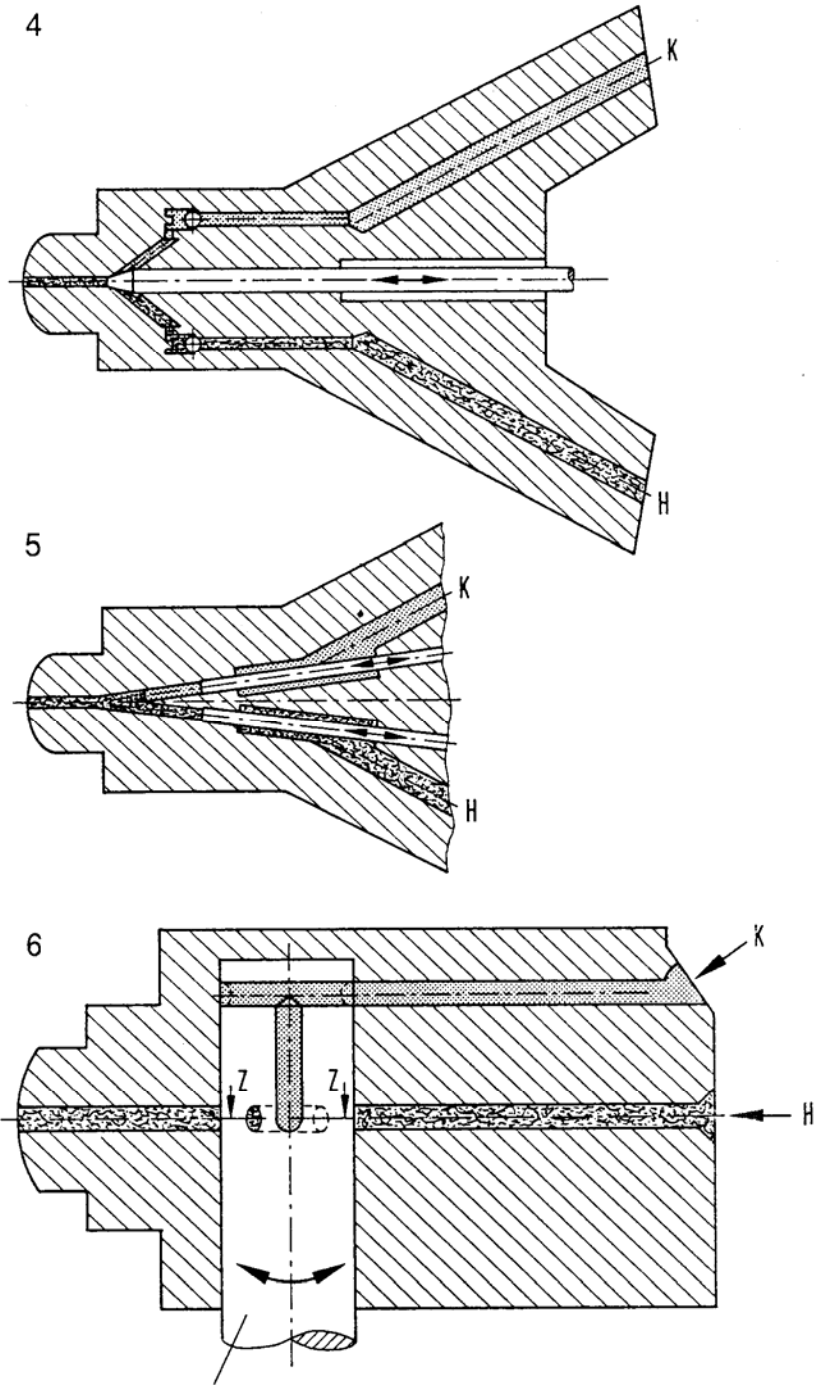
*Slika 175. Različiti rasporedi inekcione jedinice za dvokomponentno presovanje*



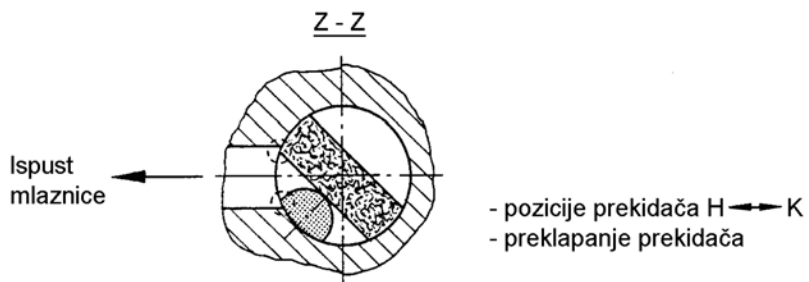
Slika 176a. Konstrukcija mlaznice sa izbornim slobodno-programabilnim istovremenim fazama, tip 1 i 2. Kanal za rastop u glavi mlaznice povezan sa strane, koji se spajaju pre izlaza iz mlaznice.



Slika 176b. Konstrukcija mlaznice sa izbornim slobodno-programabilnim istovremenim fazama, tip 3a i 3b. Koaksijalni kanali za rastop u glavi mlaznici, koji se spajaju pre izlaza iz mlaznice.



3 pozicije: - H,K zatvoreni  
 - H brizganje  
 - K brizganje



Slika 176c.

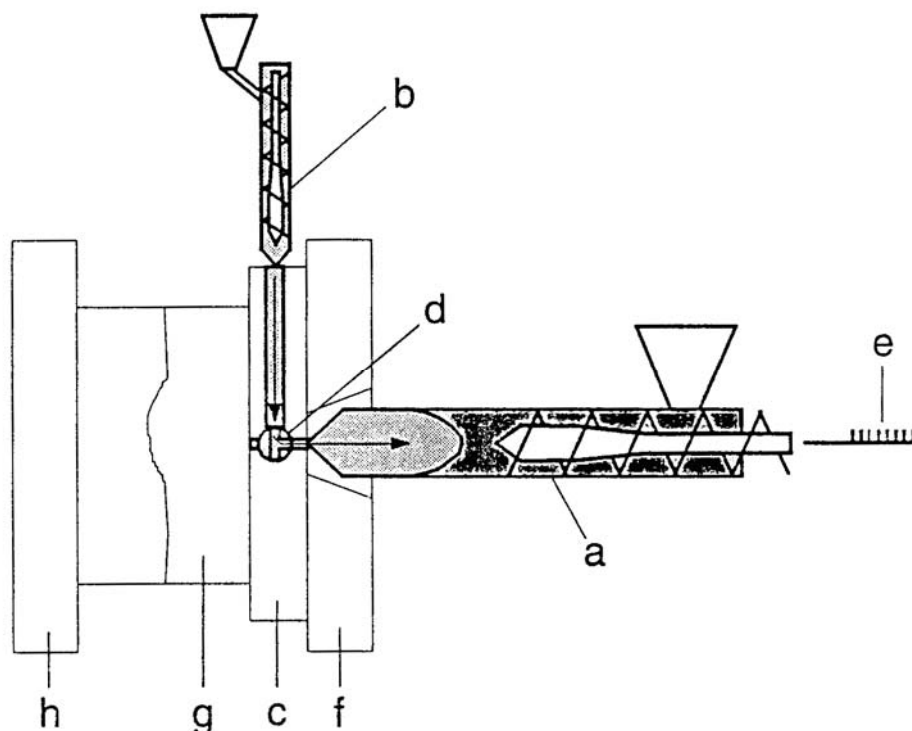
	ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 66	PC	PE-HD	PE-LD	PMMA	POM	PP	PPO mod.	PS-GP	PS-HI	PBTP	TPU	PVC-W	SAN	TPR	PETP	PVAC	PPSU	Mešavina PC + PBTP	Mešavina PC + ABS
ABS	+	+	+				+	◆	◆	+		◆	◆	◆	◆	+	+	+	+		+	○		+	+
ASA	+	+	+	+			+	◆	◆	+		◆	◆	◆	◆	+	+	+	+			○		+	+
CA	+	+	+	○				◆	◆			◆	◆	◆	◆	+	+	+	+						
EVA		+	○	+				+	+			+		+			◆	◆							
PA 6					+	+		○	○			○		◆	◆		+								
PA 66					+	+	○	○	○			○		◆	◆		+								
PC	+	+					○	+	◆	◆	(+)	◆		◆	◆	+	+	+	+		+		+	+	+
PE-HD	◆	◆	◆	+	○	○	◆	+	+	○	○	◆		◆	◆	◆	◆	○	◆					◆	◆
PE-LD	◆	◆	◆	+	○	○	◆	+	+	○	○	+		◆	◆	◆	◆		◆					◆	◆
PMMA	+	+					(+)	○	○	+		○		◆	◆			+	+						
POM								○	○		+	○		◆	◆										
PP	◆	◆	◆	+	○	○	◆	◆	+	○	○	+	○	◆	◆	◆	◆	○	◆		+			◆	◆
PPO mod.	◆	◆	◆									○	+	+	+	◆	◆	◆	◆					◆	◆
PS-GP	◆	◆	◆	+	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	+	+	+	◆	◆	○	◆					◆	◆
PS-HI	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	+	+	+	◆	◆	○	◆					◆	◆
PBTP	+	+	+				+	◆	◆			◆	◆	◆	◆	+	+	+	+		+				
TPU	+	+	+	◆	+	+	+	◆	◆			◆	◆	◆	◆	+	+	+	+		+				+
PVC flex.	+	+	+	◆			+	○		+		○	◆	○	○	+	+	+	+						+
SAN	+	+	+				+	◆	◆	+		◆	◆	◆	◆	+	+	+	+		+	○		+	+
TPR												+									+				
PETP	+						+									+	+		+		+			+	+
PVAC	○	○																	○			+			
PPSU							+																+		
Mešavina PC + PBTP	+	+					+	◆	◆			◆	◆	◆	◆				+		+			+	
Mešavina PC + ABS	+	+					+	◆	◆			◆	◆	◆	◆		+	+	+		+				+

+ dobro spajanje      ◆ ne spojivi      ○ slabo spajanje      (+) ograničeno spajanje

Slika 177. Tablica za određivanje granica spajanja između ko-injekcionih materijala

#### 7.2.4. Mašine za Fi-Fo presovanje (first in – first out)

Kod ove vrste mašina (slika 178) postoje dva cilindra: glavni (a) i pomoćni (b). Mašina omogućuje izradu otpresaka u obliku sendviča od dva različita materijala. Iz pomoćnog cilindra materijal (A) se u određenoj količini ubacuje u glavni cilindar ispred materijala (B). Pokretanjem puža napred najpre se potiskuje materijal (A), a zatim u nastavku materijal (B). Na taj način moguća je izrada obratka tipa sendviča. Jedan od materijala može biti recikliran.



Slika 178. Elementi i funkcija sendvič inekcionog-kalupa jedno-sistemske sa dve jedinice za plastifikaciju (fi-Fo proces)

a: Elementi inekcione jedinice. b: Sekundarni ekstruder. c: Agregat sa vrućim ulivnim sistemom. d: Skretnica. e: Davač pomeranja f: Nepokretna ploča mašine. g: Kalup. h: Pokretna ploča mašine

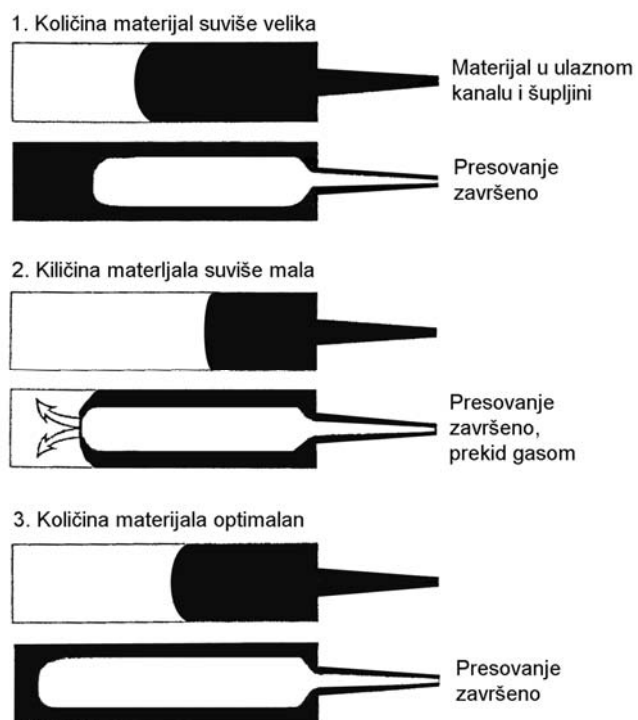
### 7.3 Gas i inekciono presovanje

Upotreba gasa kod inekcionog presovanja omogućuje izradu delova koji se sastoje od segmenata različite debljine (debeli i tanki).

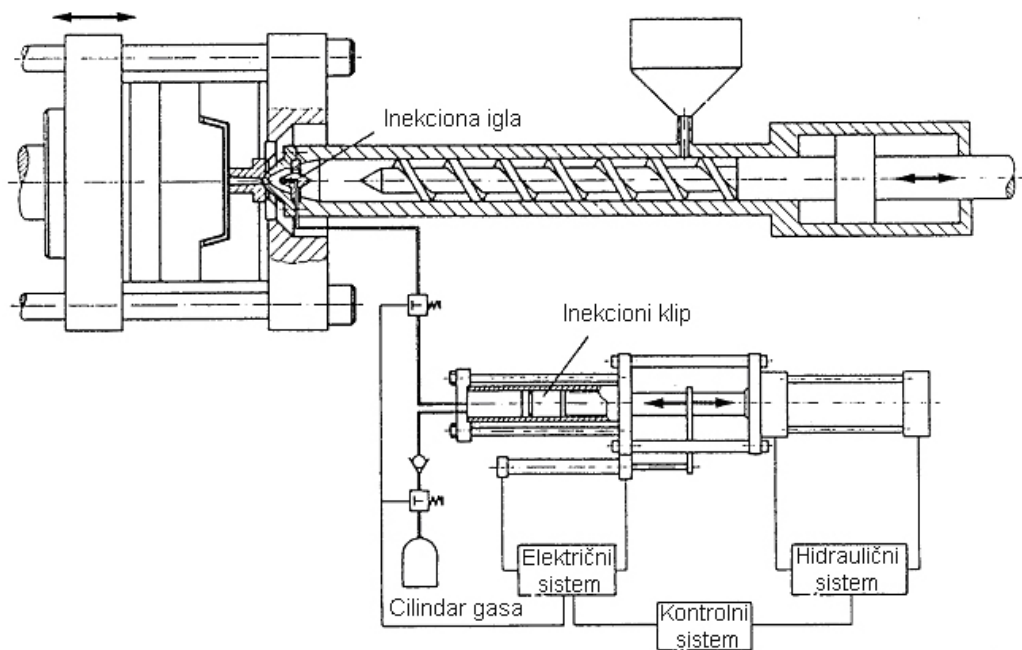
Kod ovog postupka (slika 179) prvo se u kalup ubrizgava određena količina rastopljenog polimera, a potom se uvodi neutralan gas, obično azot. Upotreba vazduha se ne preporučuje jer može doći do stvaranja eksplozivne smeše. Uvođenje gasa sa pritiskom od 30MPa, može se izvršiti na dva načina:

- pomoću klipnog uređaja (slika 180),
- pomoću uređaja sa pumpom - kompresorom (slika 181).

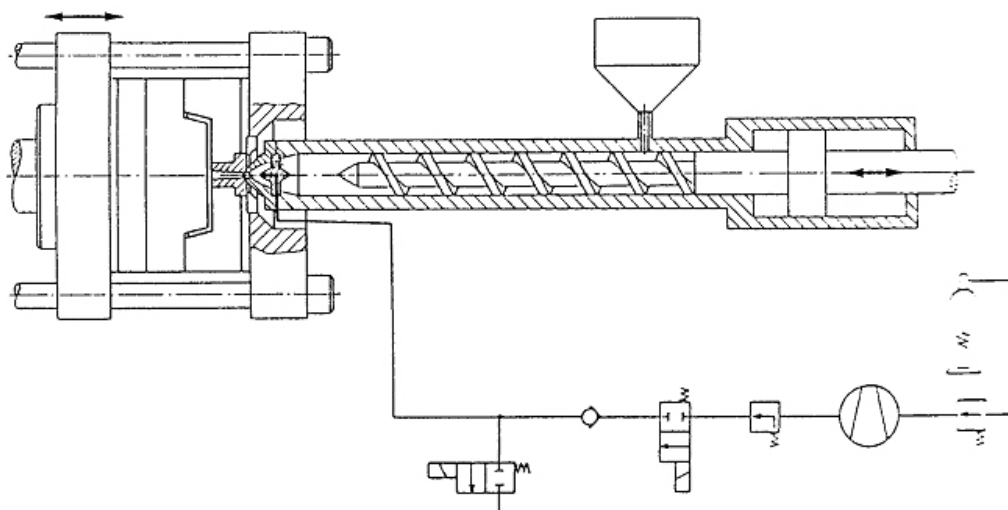
Druga varijanta pokazala se boljom, a omogućuje i snabdevanje više mašina. Kod prve varijante dolazi do pada pritiska zbog ekspanzije koju cilindar ne može da nadoknadi.



Slika 179. Oblikovanje gasnim mehurovima u toku gasom potpomognutog inekcionog presovanja, tri različite količine ubrizganog materijala



Slika 180. Gasom potpomognuta inekciona jedinica, »Cinpres« metoda



Slika 181. Jedinica za gasom potpomognuto presovanje sa pumpom, »Airmold« postupak

Uvođenje gasa može se izvršiti na dva principijelno različita načina:

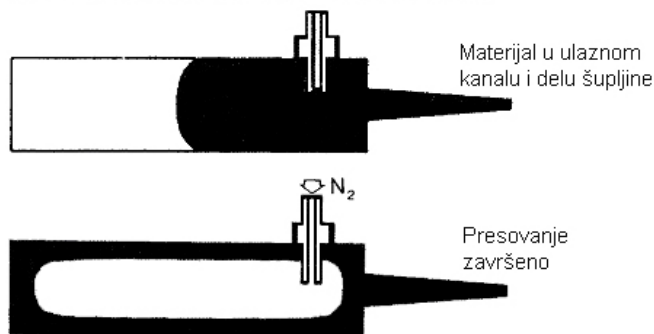
- a) kroz ulivni sistem,
- b) pomoću posebne mlaznice.

Osim toga, na slici 183 su prikazane dve podvarijante uvođenja gasa:

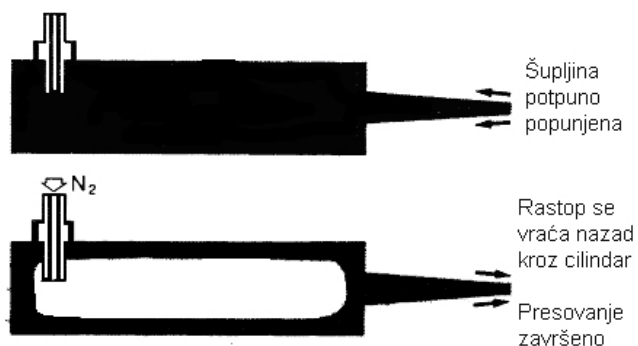
1. istovremeno sa rastopom,
2. u dve faze (prvo rastop pa onda gas).

Stvaranje unutrašnjih šupljina u obratku pomoću gasa je prilično složen zadatak i ne može se u potpunosti kontrolisati. Gas se veoma brzo širi i može dovesti do pojave stanjenja zida obratka. Pri tom važnu ulogu imaju viskoznost i temperatura rastopa.

1. Gasno ubrizgavanje u toku presovanja materijala



2. Gasno ubrizgavanje posle punjenja šupljine



Slika 183. Varijante gasom potpomognuto inekciono presovanje

Ciklus injekcionog presovanja sa gasom je kraći jer je vreme hlađenja kraće zbog manje debljine obratka. Manji je unutrašnji pritisak, pa je manja i sila zatvaranja.

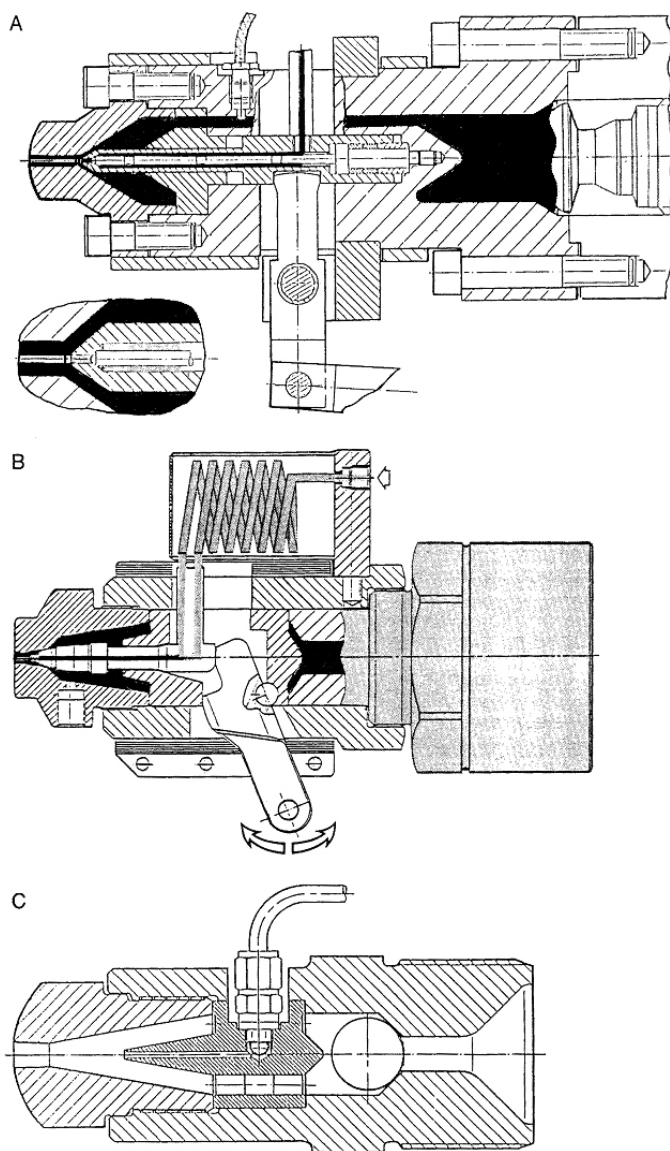
Prednosti injekcionog presovanja uz upotrebu gasa:

- ✚ smanjena težina otpreska,
- ✚ smanjenje vremena hlađenja,
- ✚ niži pritisak i sila zatvaranja,
- ✚ manje krivljenje otpreska, zbog manje orijentacije strukture i niskih zaostalih napona.

Nedostaci ovog postupka:

- ✚ mogućnost oštećenja površine kod velikih poprečnih preseka,
- ✚ pojava površinskih nedostataka na čelu obratka zbog dužih zastoja tj. zadržavanja rastopa ispred puža u kompresionom prostoru,
- ✚ nizak stepen ponovljivosti oblika i dimenzija unutrašnjosti šupljine obratka.

Za ovu vrstu tehnologije koriste se i specijalne mlaznice pomoću kojih se gas uvodi u otpresak (slika 184).



Slika 184. Mlaznice za gasom potpomognuto ubrizgavanje

A: Gasno-rastopna mlaznica, B: Gasno-ubrizgavajića mlaznica, C: Vazbušno-kalupna mlaznica

Ovaj postupak primenjuje se i kod prerade penastih materijala. Kod takvih obradaka spolja je prisutan kompaktan sloj (nalik koži), zidovi su porozni a unutrašnjost šuplja.



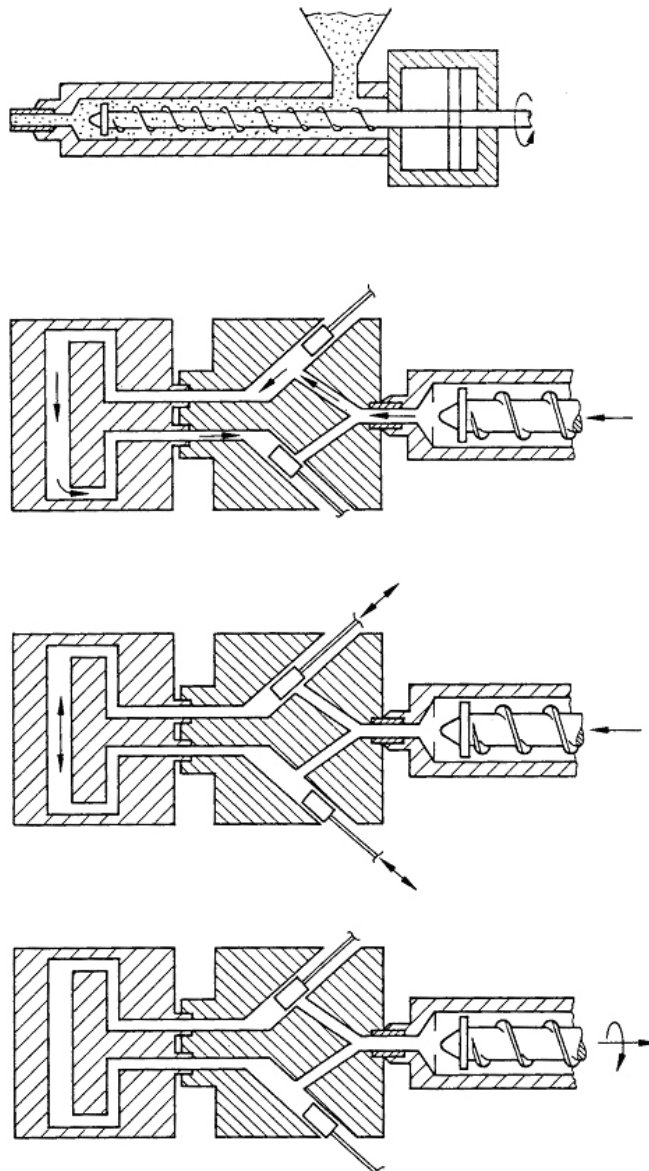
## 7.4 Injekciono presovanje sa pulsiranjem

Kod standardnog injekcionog presovanja određenih materijala, kao na primer LCP i fibera, pojavljuje se problem lošeg kvaliteta zavara pri spajanju frontova rastopljenog materijala. Ova pojava zahteva da se primene određene mere radi poboljšanja čvrstoće zavara i orijentacije molekula u spoju. Određeni rezultati postižu se na taj način da se naknadni pritisak primeni samo na jednoj strani obratka, kako bi se postiglo bolje mešanje i povezivanje materijala u spoju. Drugi način (IKV Achen) je da se vrši vibriranje rastopa između puža i kalupa. Međutim, ovi postupci nisu ekonomski podobni.

### VIŠESTRANO PUNJENJE KALUPA

Kod ovog postupka rastopljeni materijal se deli u više tokova. Pomoću klipova u razdelnim kanalima regulišu se naknadni pritisak, što dovodi do pomeranja rastopa napred/nazad što povoljno utiče na formiranje spoja. Ilustracija ovakvog principa data je na slici 186 gde se ukupan tok materijala deli u dve struje tj. dva kanala, u kojima postoje klipovi koji se hidraulično pokreću na jedan od sledećih načina:

- istovremeno pulsiranje oba klipa ali u suprotnim fazama,
- pojedinačno pulsiranje klipova sa istim fazama,
- istovremeno pulsiranje sa identičnim pritiskom.

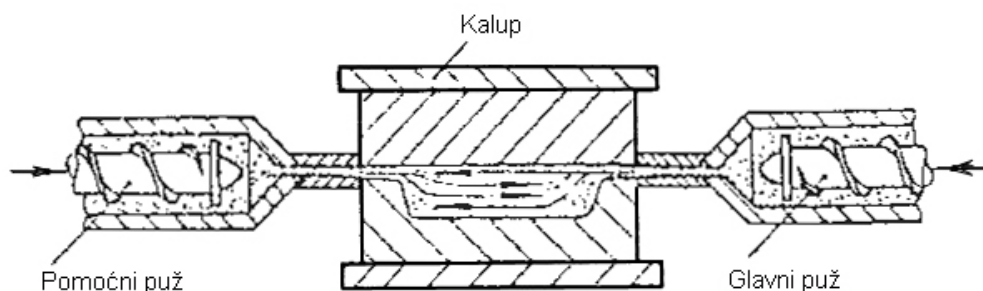


Slika 186. Multi-injekciona tehnika

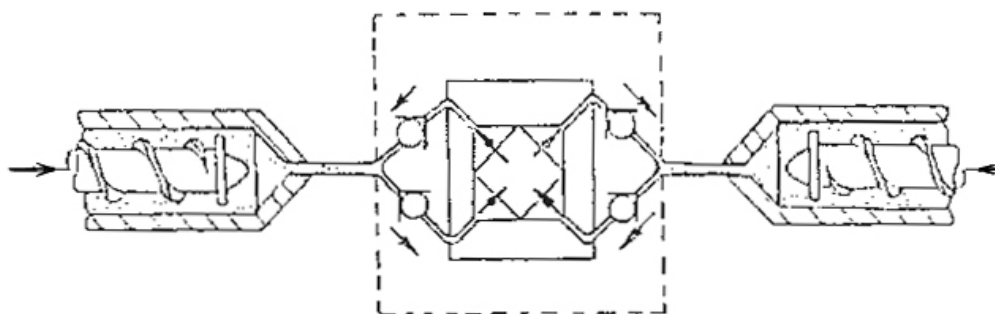
## PUSH-PULL INJEKCIONO PRESOVANJE

Kod ovog postupka presovanja primenjena je varijanta oscilovanja dve ili tri injekcione jedinice. Kalup je povezan sa svakim od cilindara posebno (*slika 187*). Pri tome se prvo aktivira tzv. vodeća injekciona jedinica, a potom druga sa suprotne strane. Zbog toga dolazi do vraćanja (delimično) rastopa u vodeću jedinicu. Postupak se posle nekog vremena ponavlja. Ovaj postupak ima pozitivan uticaj i na orijentaciju makromolekularne strukture.

Ovakav način injekcionog presovanja posebno je važan za delove velikih dimenzija. *Slika 188* ilustruje izradu velikog kvadratnog otpreska uz upotrebu dve injekcione jedinice i posebnog sistema za podelu toka materijala.



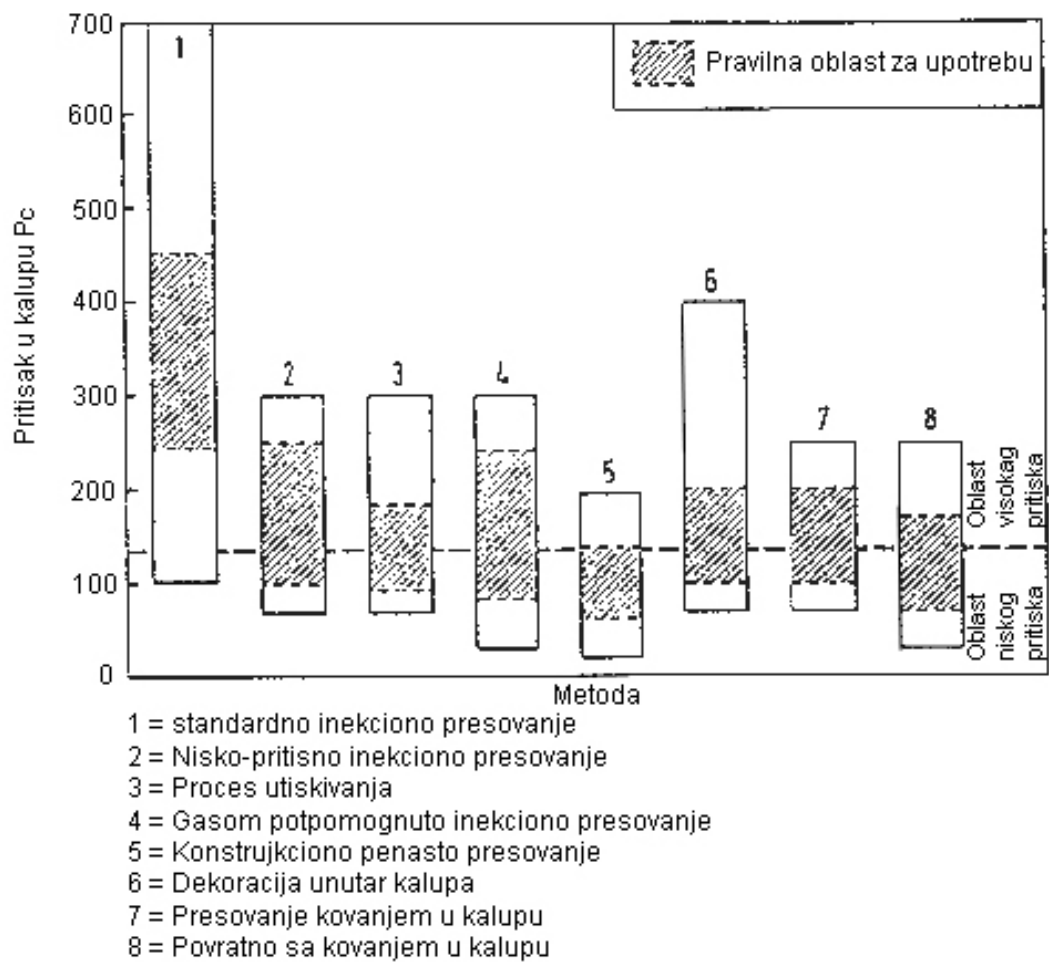
*Sliak 187. «Push-pull» injekciono presovanje*



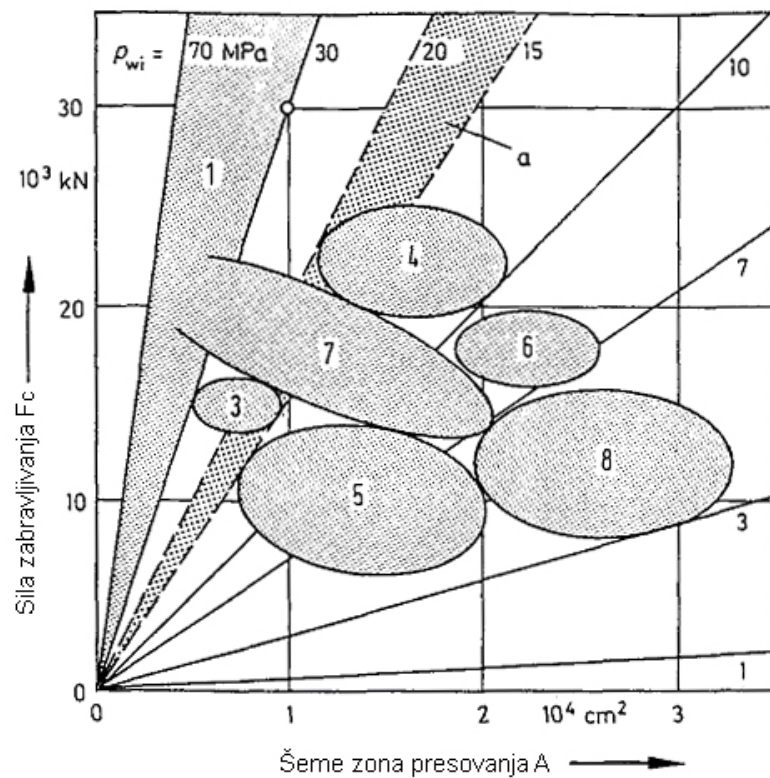
*Sliak 188. Upotreba «push-pull» injekcionog presovanja za delove sa velikim površinama*

## 7.6 Niskopritisno injekciono presovanje

Na *slici 189* prikazana je klasifikacija procesa presovanja sa stanovišta pritiska. Niskopritisno injekciono presovanje je klasičan način presovanja koji je nastao kao posledica mogućih pritiska presovanja. Konvencionalno presovanje sa visokim pritiskom zahteva veliku silu zatvaranja pa je zbog toga površina obratka ograničena. Smanjenjem pritiska presovanja povećava se moguća površina obratka – mogućnosti u tom smislu za pojedine obrade date su na *slici 190*.



Slika 189. Klasifikacija procesa presovanja sa stanovišta pritiska



Sliak 190. Oblast primene različitih metoda obrade zavistan od sile zavravljanja i šeme zona presovanja sa pritiskom u kalupu, kao pokazatelji. a: Granična oblast između visoko i nisko-pritisnog procesa pri 15 do 20 Mpa. Simboli kao na slici 189

### 7.6.1. Injekciono štampanje

Kod ovog postupka finalni oblik obratka dobija se dejstvom sile zatvaranja na predoblikovanom pripremljenom. Zatvaranjem kalupa izvodi se deformacija debljine od 25% do 70%. Mek rastopljeni materijal ne zahteva visoke vrednosti sile zatvaranja, a pravac popunjavanja šupljina u kalupu izvodi se uspešno.

Postupci injektionog štampanja su:

1. injektiono štampanje sa otvorenim kalupom
  - sa minimalnim otvaranjem od nekoliko desetih milimetara,
  - sa otvaranjem od nekoliko milimetara,
  - prethodno + pokretno jezgro u kalupu,
2. injektiono štampanje sa otvaranjem kalupa protivno maloj sili zatvaranja
  - sa minimalnim otvaranjem od nekoliko desetih milimetara,
  - sa otvaranjem od nekoliko milimetara,

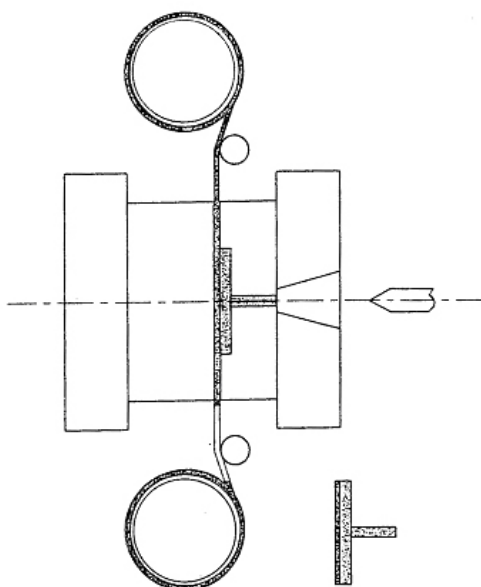
U svim slučajevima ponovno zatvaranje kalupa (uz presovanje) ostvaruje se mehanizmom za zatvaranje. Na taj način obezbeđuje se potreban pritisak presovanja.

Kod ovih postupaka često su u primeni mašine sa hidrauličnim sistemom za zatvaranje kalupa.

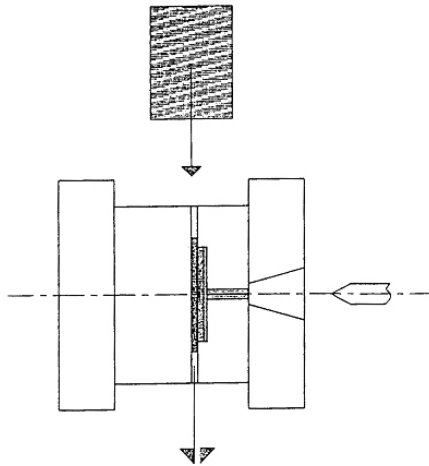
### 7.6.2. Dekorisanje u kalupu

Kod ove tehnologije dekoracija se izvodi na osnovnom materijalu (tkanina, folija...) postupkom injektionog presovanja. Prema *slici 191a* osnovni materijal se odmotava sa donjeg valjka, prolazi kroz alat i namotava na gornji valjak. Prilikom nanošenja polimerne dekoracije traka miruje.

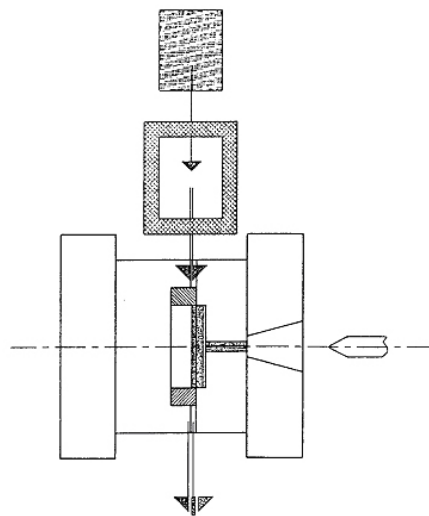
Kod varijante *slika 191b* pripremi su prethodno pripremljene ploče koje se ručno ili automatski ulažu u alat i na njih se nanosi dekorativni sloj postupkom injektionog presovanja. Potom se gotov komad iznosi iz alata. Kod varijante *slika 191c* kao osnova za štampanje – dekorisanje primenjuje se komad tkanine koji je razapet u okviru (ramu). Unošenje rama i iznošenje nakon presovanja obavlja se pomoću robota. Podloga mora biti fleksibilna i mora dozvoljavati 3D-oblikovanje pri presovanju. Višak materijala može se ponovo upotrebiti. Moderne mašine kod ove tehnologije mogu biti snabdevene procesorom za upravljanje. Za velike delove preporučuje se horizontalna izvedba mašine (*slika 192*) koja je u stvari višepoziciona sa obrtnim stolom.



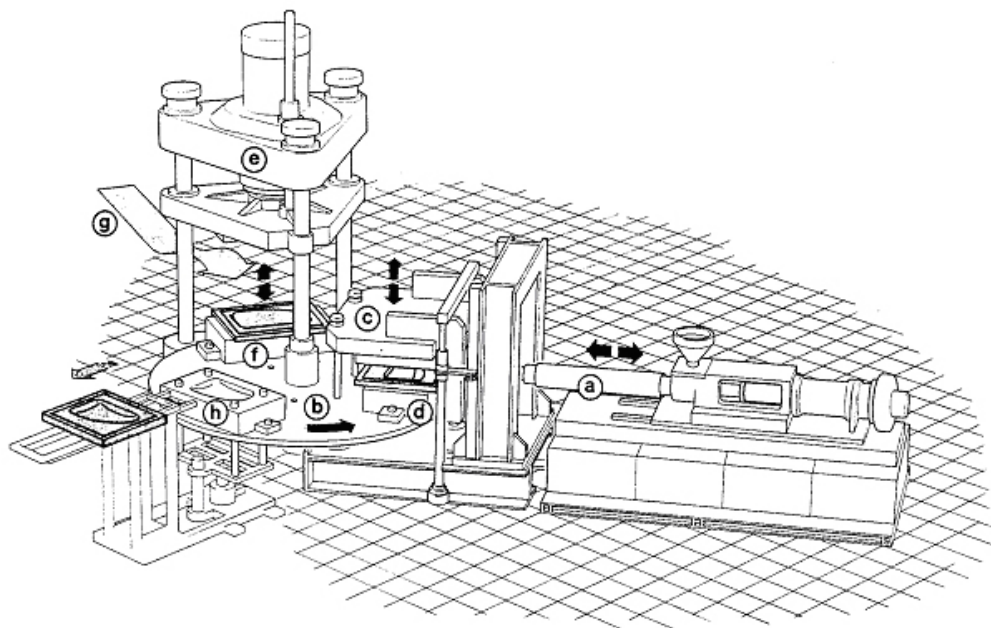
Slika 191A. Dekoracija unutar kalupa: folija iz namotanih rolni



Slika 191B. Dekoracija unutar kalupa: bezbojna folija



Slika 191C. Dekoracija unutar kalupa: bezbojna smeštena u ramu

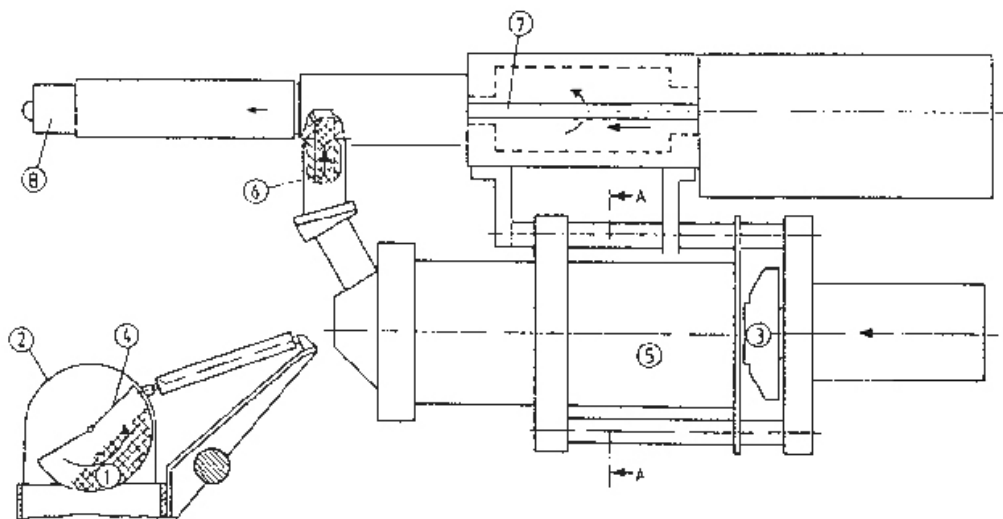


Slika 192. Šematski prikaz instalacije za proizvodnju delova dekoracijom unutar kalupa za velike delove a: Inekciona jedinica mašine za presovanje, b: Rotacioni sto, c: Jedinica za stezanje predforme, d: Kalup predforme, e: Hidraulična presa, f: Kalup, g: Dolaz dekoracione folije, h: Mesto za odlaganje

## 7.8 Injekciono presovanje poliesteru

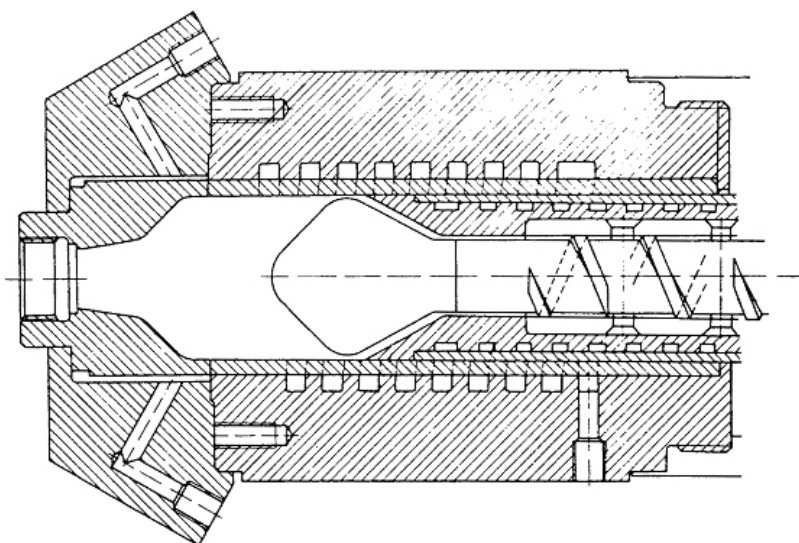
Smeša koja se naziva poliesterom sastoji se od smole, katalizatora, vlakana, mineralnih čestica, boje i sredstava za podmazivanje. Ovakva smeša ima drugačije osobine u odnosu na čiste polimere te od tuda postoje i posebni zahtevi u njihovoj preradi. Uprkos složenom sastavu materijal dobro teče pri presovanju.

Na slici 193 prikazana je mašina za presovanje poliesteru koja se sastoji od injekcione jedinice 7 (gore) i uređaja za pravljenje smeše 5 (dole). Presovanje se vrši pomoću puža sitnijeg koraka. Greške koje se pojavljuju kod presovanja poliesteru mogu nastati na mestima spajanja (zavarivanja) tokova materijala, što se rešava ulivnim sistemima i pogodnim konstrukcijama obratka.



Slika 193. Injekciona jedinica za BMC proces sa punjenjem i uređaj za mešanje  
1: Snabdevanje poliesterom, 2: Rezervoar sa smolom, 3: Klip za mešanje, 4: Uređaj za isključivanje, 5: Cilindar za mešanje, 6: Cev za spajanje, 7: Pužno vratilo, 8: Cilindar i mlaznica

Na slici 195 prikazana je specijalna konstrukcija injekcione jedinice (IKV – Achen) čija je specifičnost u tome što na vrhu puža ima poseban završetak koji služi za ubrizgavanje plastičnih materijala koji sadrže delove vlakana dužine 0,5-2,5mm. Postupak je poznat po nazivu ZMC proces.

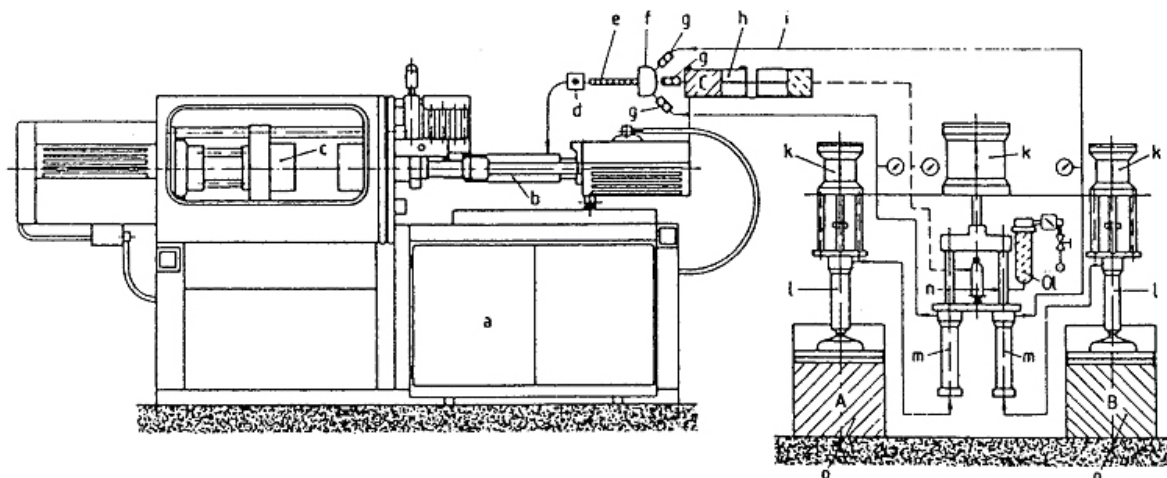


Slika 195. Saosna pužno-klipna plastifikacija i injekciona jedinica za BMC proces usavršen u IKV – Achen, nazvan ZMC postupak



## 7.9 Mašine za preradu tečnih silikona

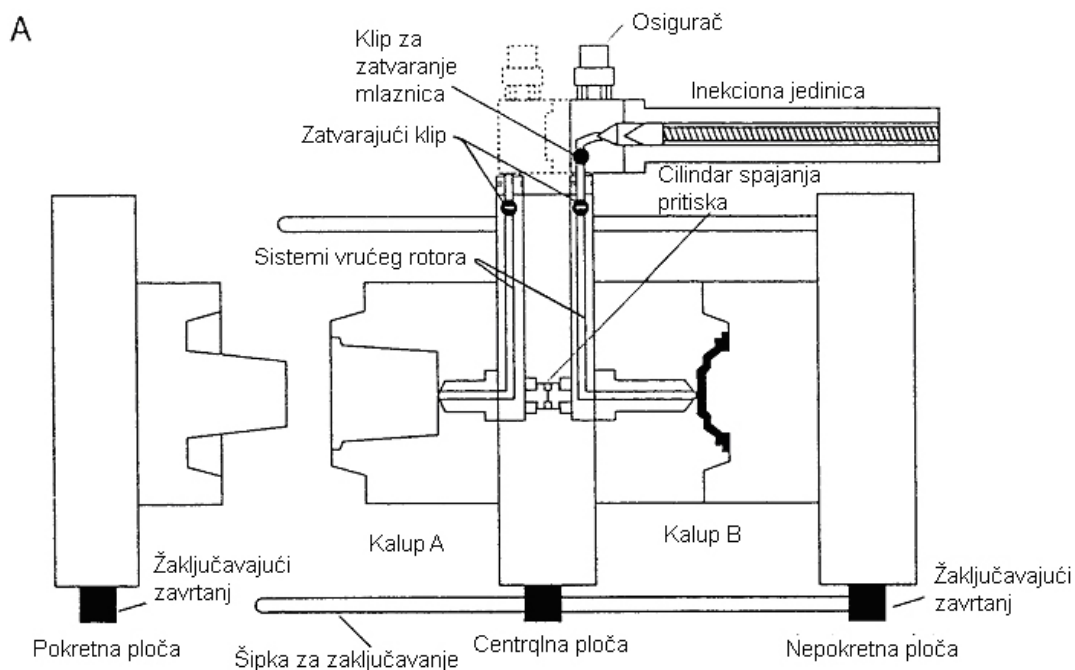
Smeša tečnog silikona se pomoću klipnih pumpi ubacuje u injekcionu jedinicu sa pužem. Ovaj postupak sličan je postupku preradi gume. Radni cilindar se hladi, a alat se u toku rada mora zagrevati (slika 196).

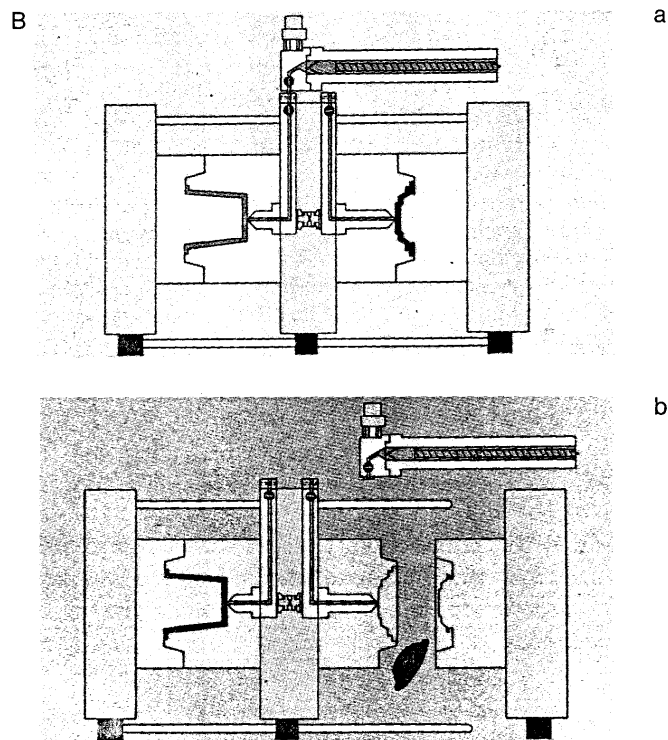


Slika 196. Uređaj za injekciono presovanje za procese sa tečnim silikonom a: Mašina za presovanje, b: Vodom hlađen cilindar sa hidrauličnom isključivajućom mlaznicom i specijalnim pužem, c: Kalup, d: Kuglični ventil pneumatički pokretljiv, e: Nepokretni mikser, f: Komora za mešanje komponenti, g: Kontrolni ventil, h: Jedinica za brzu promenu kutija sa bojom, i: Crevo visokog pritiska, k: Pneumatski cilindar, l: Pumpa za snabdevanje, m: Merna pumpa, n: Merna pumpa za dovoz ulja, o: Skladišne kutije za silikone A i B

## 7.10 Tandem injekcione mašine

Kod ovih mašina jedna injekciona jedinica se koristi za posluživanje dva alata, tj. za naizmeničnu izradu dva različita obratka. Centralna ploča mašine je nepokretna i priključena je na radni cilindar. Levo i desno od nje nalaze se pokretne ploče sa odgovarajućim kalupima. Proces presovanja odvija se u jednom kalupu, dok se drugi za to vreme hladi i to je ušteda vremena. Ove mašine imaju smisla za sile zatvaranja preko 500KN i radne cikuse preko 20s. Rad mašine ilustrovan je na slici 197.





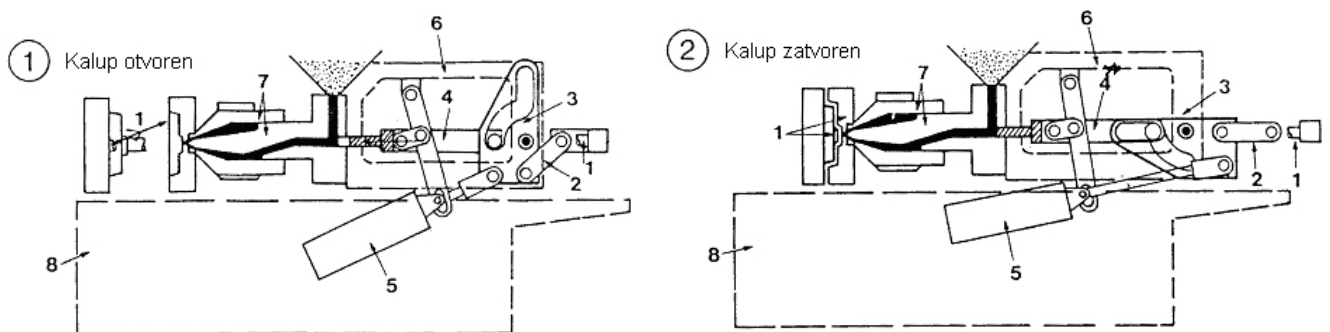
Slika 197. Tandem presovanje

A) generalna šema B) faze rada

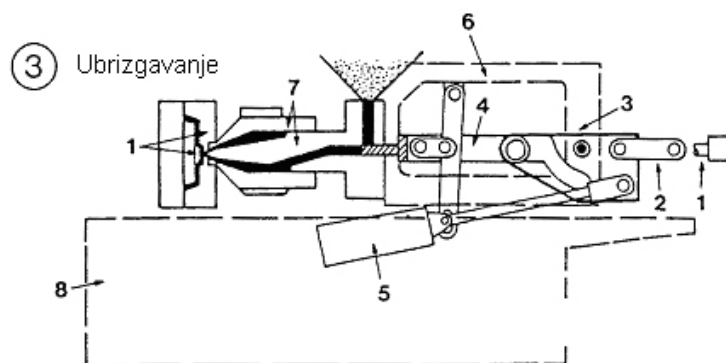
a) zatvorena oba kalupa, presovanje u kalup A, istovremeno hlađenje kalupa B  
 b) otvaranje kalupa A, hlađenje kalupa B

## 7.11 Klipne mašine za injekciono presovanje

Ove mašine kao standardna oprema za injekciono presovanje ustanovljene su još 1955. godine. Rastapanje polimera kod ovih mašina vrši se spoljnom toplotom. Klip može biti u obliku plunžer tipa ili običan klip. Prese sa prečnikom klipa do 20mm rade se prema konstrukciji datoj na slici 198.







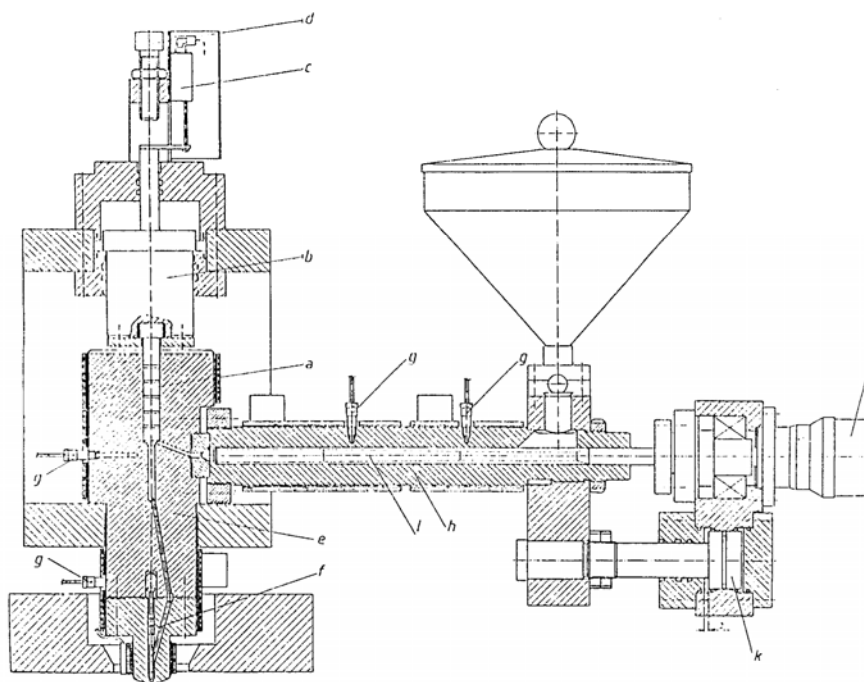
Slika 198. Mala mašina za inekciono presovanje za težine otpresaka do 2.5gm i silom zavravljanja 30 kN sa polužnim sistemom dvostrukog dejstva koji zatvara kalup i pokreće inekcioni potiskivač sa jednim hodom

## 7.12 Dvostepene mašine sa pužnom plastifikacijom i plunđer ubrizgavanjem

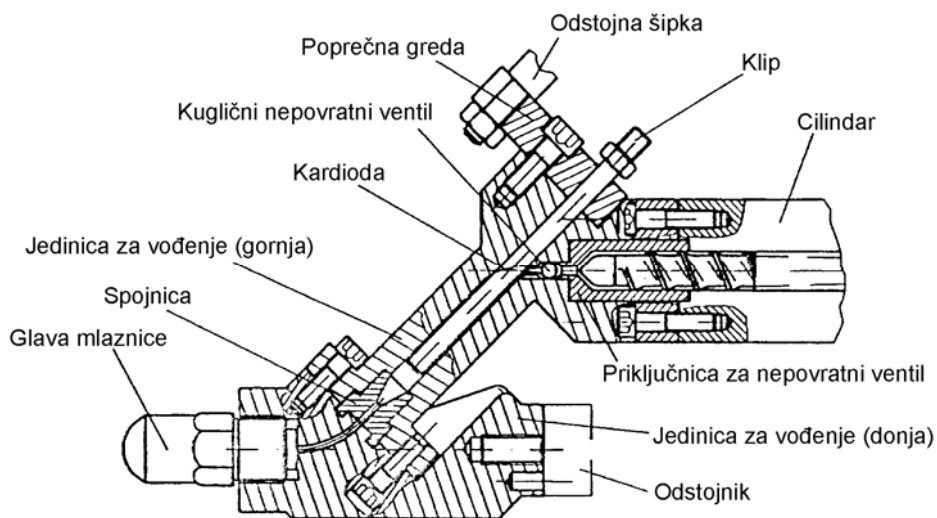
Ove mašine su starije od mašina sa povratnim klipom. Jedno vreme su bile povučene sa tržišta, ali u poslednje vreme opet nalaze primenu. Tipičan primer primene je izrada malih predmeta od penaste plastike. Izrada delova od penastog materijala izvodi se na tri načina:

- standardno (niskopritisno) presovanje,
- oblikovanje uz prisustvo gasa,
- dvokomponentno oblikovanje (površinski sloj u vidu kože, a jezgro penasto)

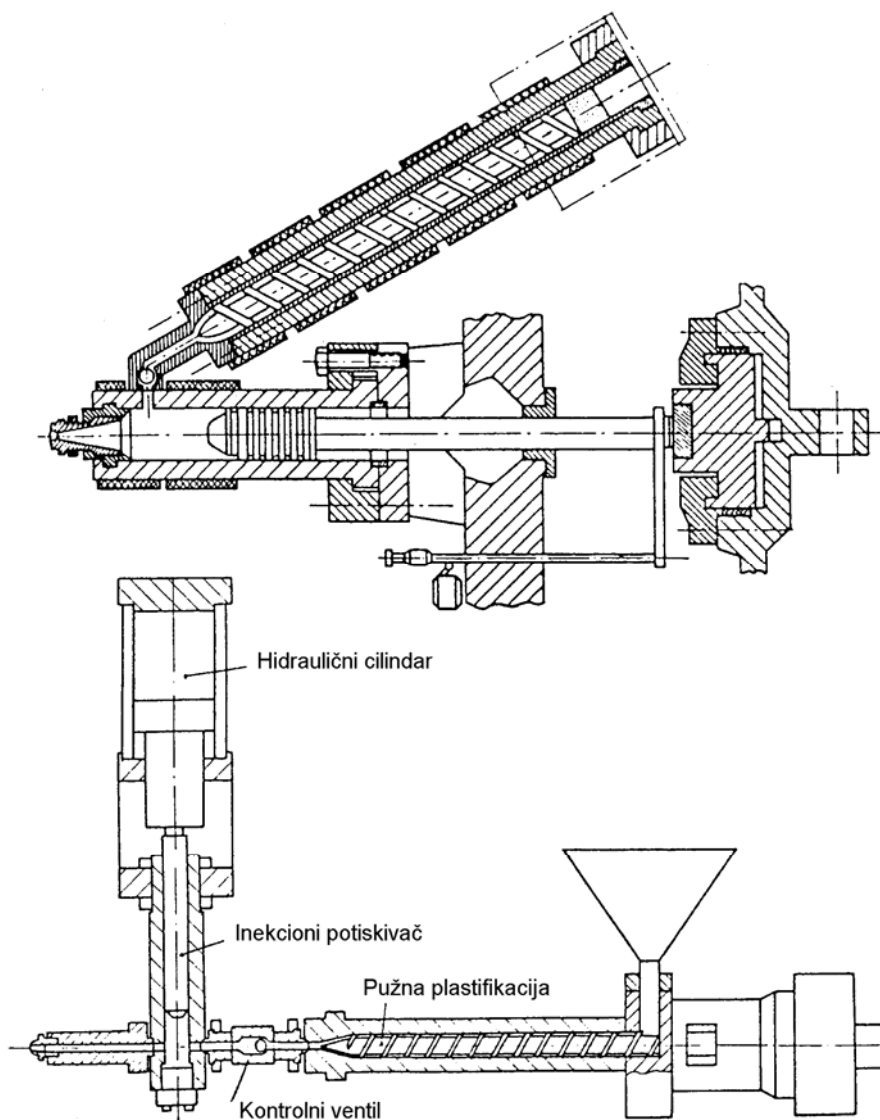
Mašine sa pužnom plastifikacijom i klipnim ubrizgavanjem primenjuju se u tehnologiji oblikovanja gume (slika 204-207). Jedinica za plastifikaciju može biti ispod ili iznad mehanizma za zatvaranje.



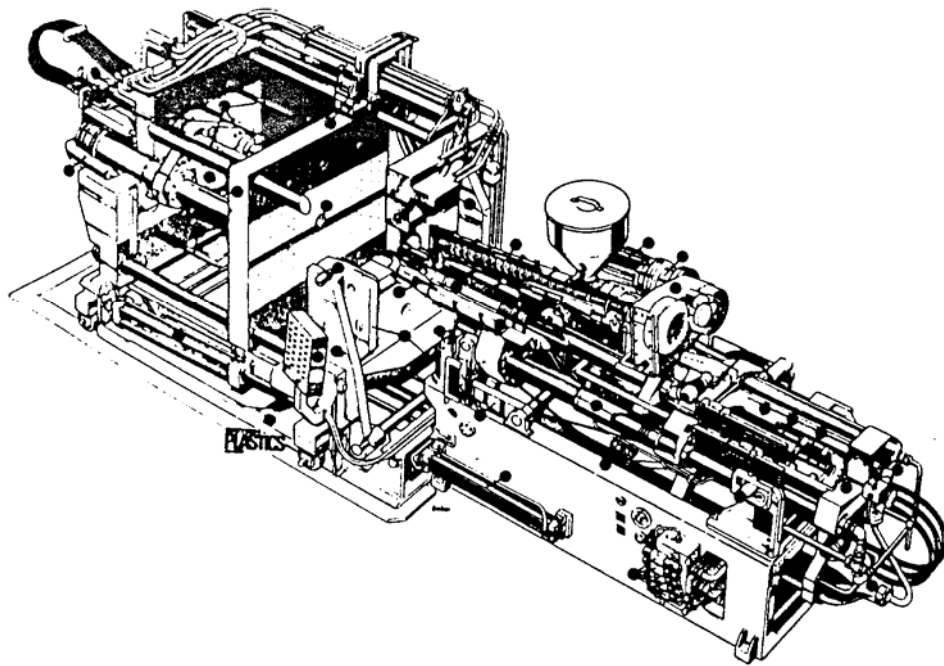
Slika 200. Klipna ubrizgavajuća jedinica sa pužnom predplastifikacijom za kalupe malih delova  
a: Ubrizgavajući klip, b: Hidraulični cilindar, c: Upravljanjem hoda, d: Prekidač, e: Blok cilindra,  
f: Mlaznica, g: Termo-par, h: Cilindar puža, i: Puž, k: Hidraulični cilindar, l: Specijalni puž



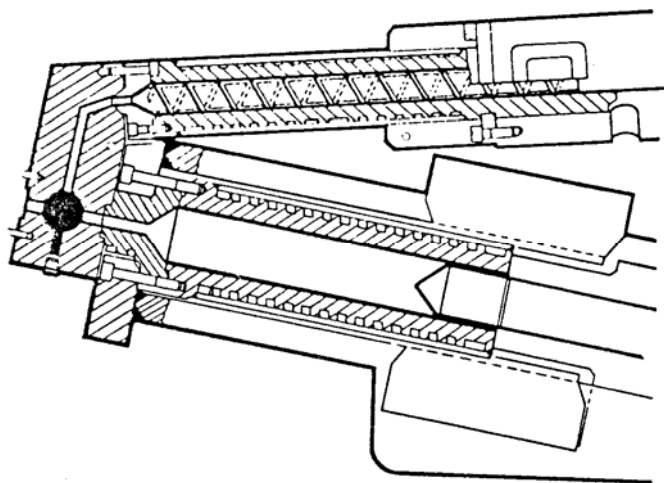
Slika 201. Skica male mašine za inekciono presovanje, pogon saglasan sa »first-in« i »first-out« metodom



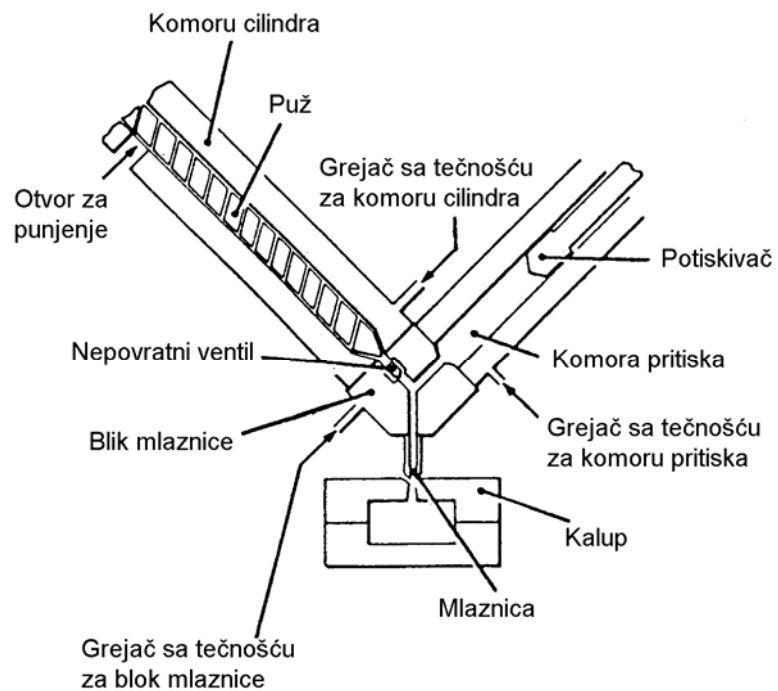
Slika 202. Dvostepena inekciona jedinica sa pužnom plastifikacijom i klipnim potiskivajućim ubrizgavanjem (šematski) Gore: Jedinica sa klipnim potiskivanjem u osi mehanizma Dole: Pužna plastifikacija u osi mehanizma



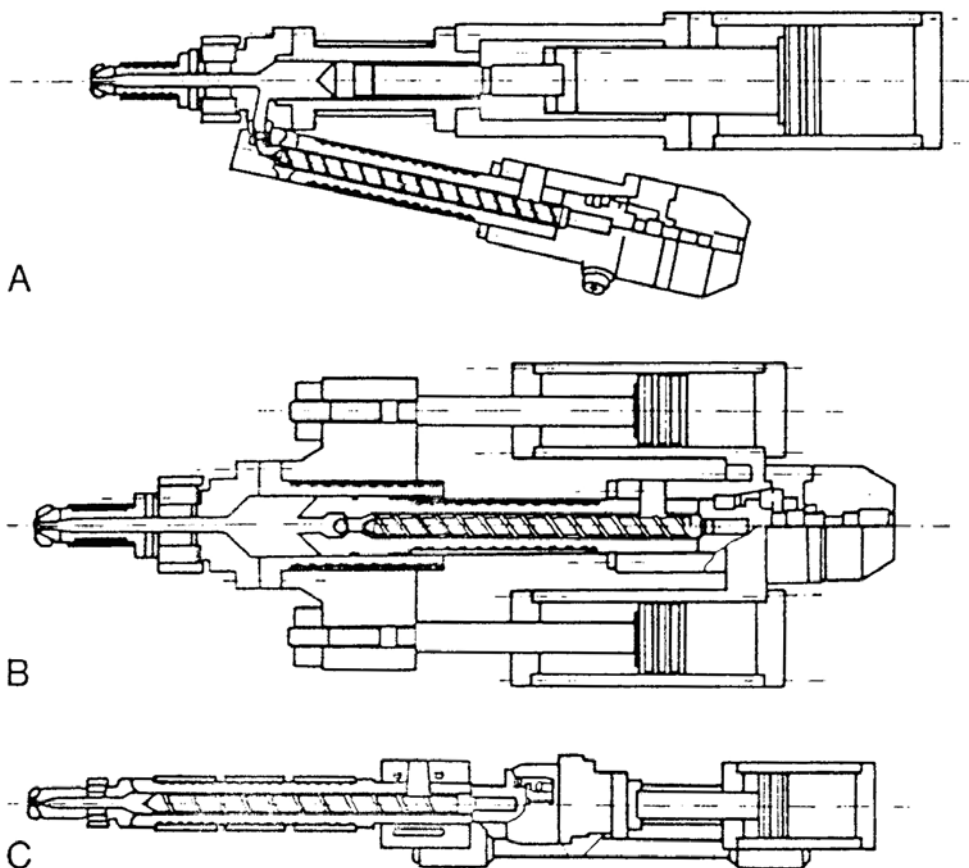
*Slika 203. Specijalna konstrukcija mašine za inekcion presovanje za termoplastima sa sredstvom za pjenjenje. Pužna plastifikacija i klipno ubrizgavanje sa gasnim brojilom pritiska*



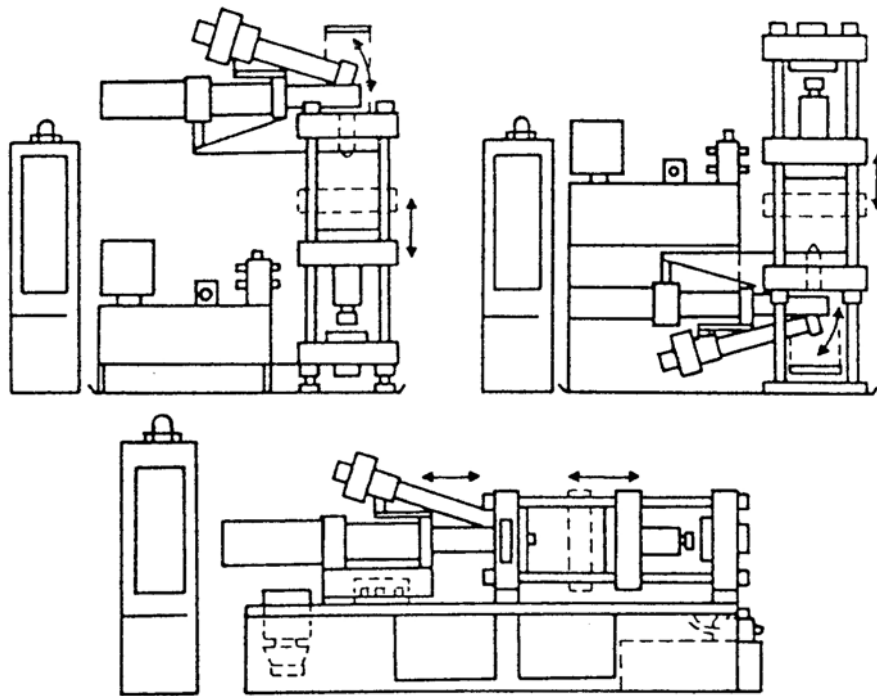
*Slika 204. Presek inekcione jedinice sa pužnom plastifikacijom i klipnim ubrizgavanjem za gumene procese*



Slika 205. Inekciona jedinica za presovanje gume



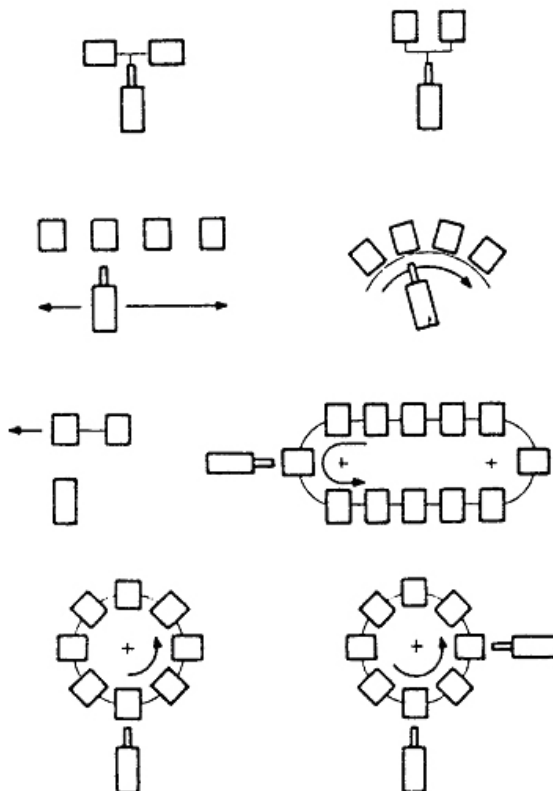
Slika 206. Skice dvostepene inekcione jedinice za presovanje gume  
 A: Nepokretna jedinica sa pužnim potiskivačem za punjenje, B: Puž je postavljen unutar potiskivača, C: Mašina sa aksijalno pokretljivim pužem u istom redu



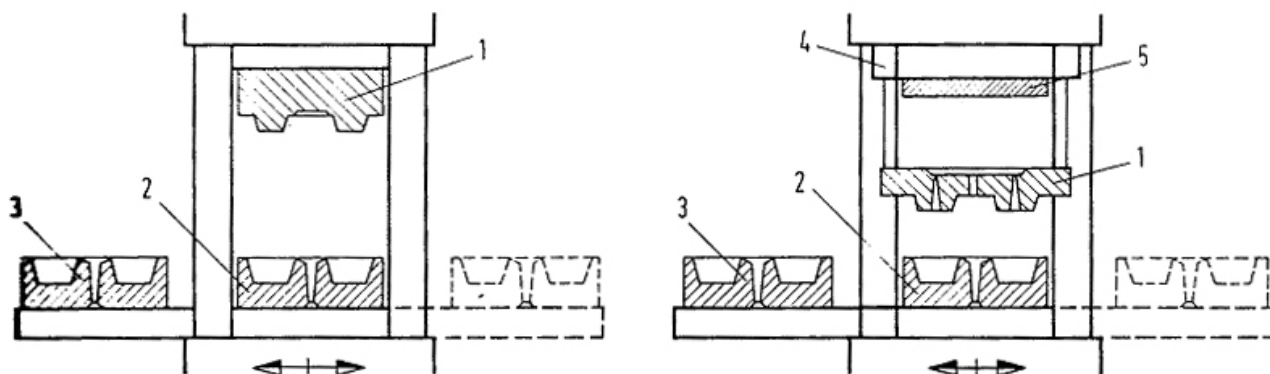
*Slika 207. Skica oblika mašina za inekciono presovanje za presovanje gume*

## 7.13 Višepozicione mašine

Višepozicione mašine koriste se u masovnoj proizvodnji identičnih ili sličnih proizvoda sa približno istim vremenom hlađenja. Za plastomere se koriste mašine revolverskog tipa koje imaju okretnu jedinicu za zatvaranje (slika 211). Ubrizgavanje rastopa vrši se na jednom mestu. Ostale varijate višepozicionih mašina prikazane su na slikama 209, 210, 213.



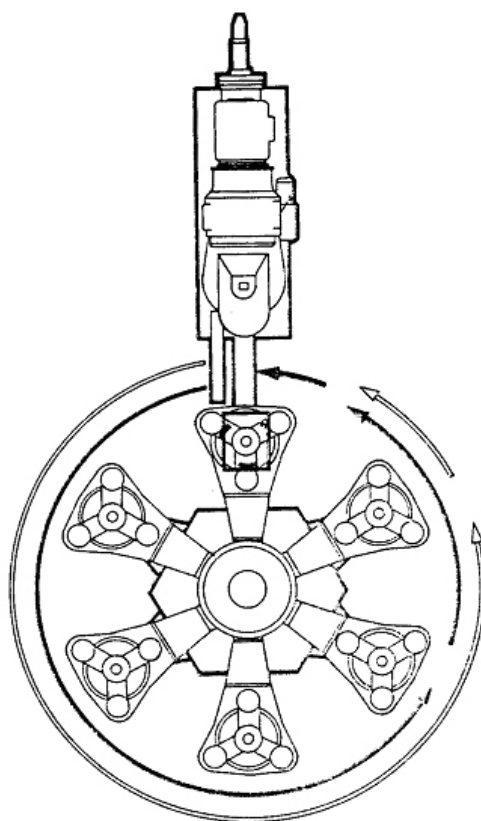
Slika 209. Postavljanje mašina za inekciono presovanje gume



Slika 210. Vertikalna jedinica za završavanje sa jednom gornjom polovinom kalupa i dve donje na kliznim nosačima za operacije po koracima. Dok je jedan komplet kalupa u operaciji, druga polovina kalupa se sprema za presovanje ili se postavljaju umetci

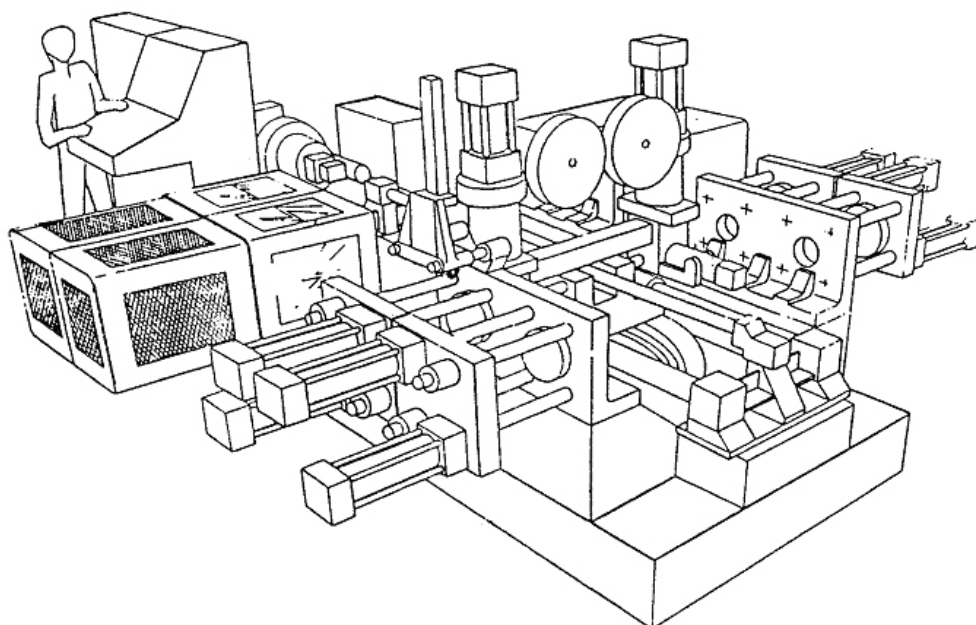
A: Dvodelni kalup u jedinici za završavanje sa kliznim nosačim 1: Gornja polovina kalupa, 2,3: Donje polovine kalupa, Bočno izdvajanje na podeonoj liniji dela ili od dole

B: Trodelni kalup u jedinici za završavanje sa kliznim nosačim 1: Gornja polovina kalupa, 2,3: Donje polovine kalupa,



*Slika 211. Mašina za inekciono presovanje sa obrtnom glavom za nekoliko jedinica za zabravljivanje i tro-stubnom konstrukcijom*

*Jedinica za zabravljivanje sa okretnom glavom i nosačem inekcione jedinice jedne iza druge ili proizvoljno rešenje. Izbacivač je na jednom mestu. Pogodnost za dugačak ciklus hlađenja, bolji za gumu i moguće penaste konstrukcije.*



*Slika 213. Mašina za inekciono presovanje sa osam jedinica za zabravljivanje i dve za ubrizgavanje*

## 8. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE

### 8.1 Veličina mašina

Tehnologija injekcionog presovanja primenjuje se u vrlo širokom dijapazonu dimenzija, tj. mase ili zapremine obratka. Delovi ručnog sata su primer sitnih delova koji se dobijaju ovom tehnologijom. Pojedini zupčanici su toliko mali da se u jedan naprstak može spakovati i 10.000 komada. Na suprot tome, ovom tehnologijom se izrađuju delovi površine veće od 3,5m<sup>2</sup> i mase do 20kg.

Mašine koje se koriste za injekciono presovanje ne mogu da pokriju kompletan asortiman sa jendom jedinicom. Tako na primer za elektro-komponente mase od 1-10g primenjuju se standardne mašine, dok se za delove satova o kojima je gore bilo reči koristi druga oprema.

Mašine sa pužem Ø15 koriste se za delove od 4-12g; sila zatvaranja je od 100-250 KN. Postoje mašine sa silom zatvaranja od 100.000 KN na kojima je moguća izrada delova mase od 70 kg. Ovakve mašine teško bi se mogle nazivati standardnim. Mašine standardne namene imaju kapacitet presovanja od 1g-25kg, a silu zatvaranja do 50.000 KN. Mašine većih dimenzija su nestandardne.

### 8.2 Tehničke karakteristike

Prikazane tehničke karakteristike odnose se na mašine za preradu termoplasta i ne važe za termosete.

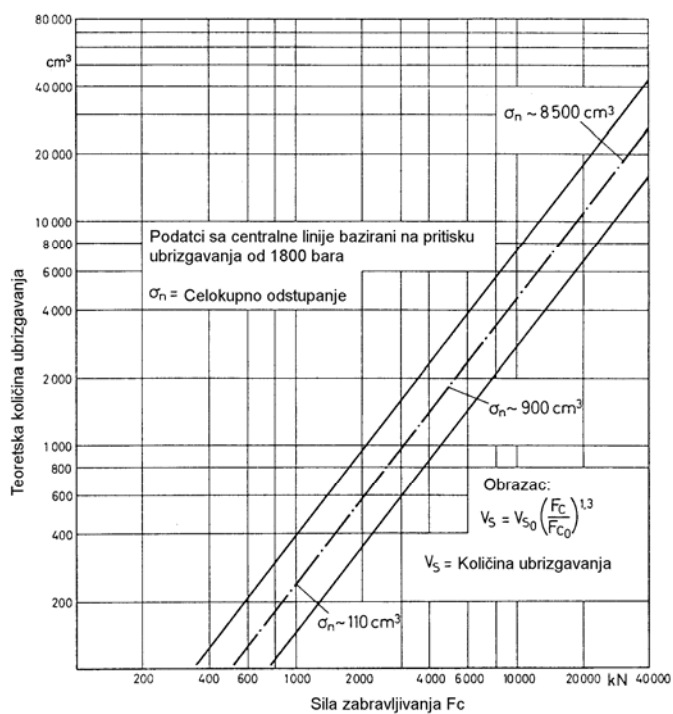
Osnovni tehnički podaci su zapreminski kapacitet i sila zatvaranja. Ove karakteristike proizilaze iz niza pojedinačnih osobina mašine. U tabeli 25 date su tehničke karakteristike mašina za injekciono presovanje i njihove jedinice:

Karakteristike	Jedinica
Ciklus sušenja	s
Brzina oporavka	g/s
Brzina ubrizgavanja	cm <sup>3</sup> /s
Dostupna snaga ubrizgavanja	kW
Snaga ubrizgavanja ili hitca	cm <sup>3</sup> ili g
Moment puža	Nm
Pritisak ubrizgavanja	MPa
Sila zabravljivanja	kN
Sila otvaranja	kN
Ploča/dimenzije ( visina x širina)	mm x mm
Razmak između vođica (horizontalna x vertikalna)	mm x mm
Max./min. razmak među pločama	mm
Max. hod	mm
Odvodni kanal	m <sup>2</sup>
Prostor dna	m <sup>2</sup>
Težina	kg

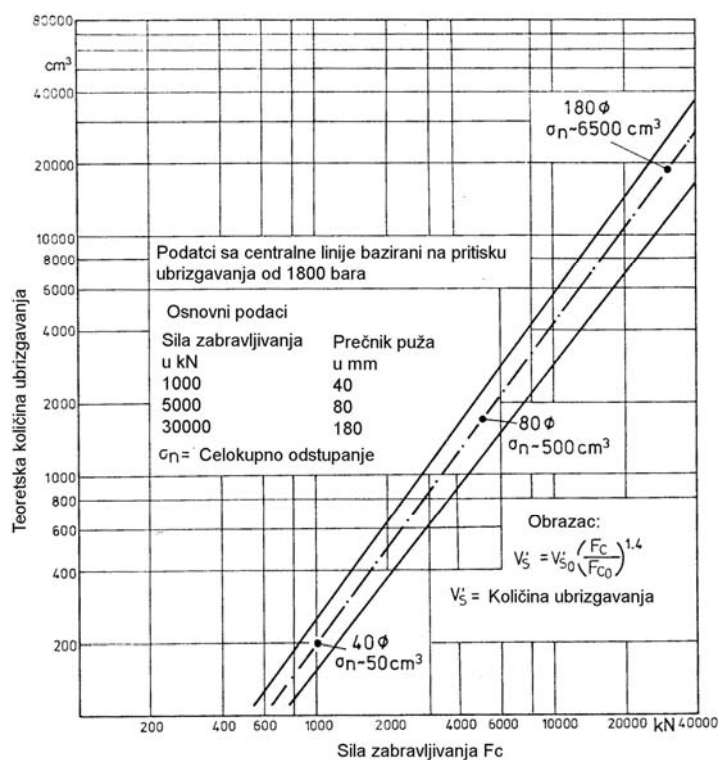
**Zapremina otpreska** – definiše max. količinu materijala koja se ubrizgava u jednom hodu. Direktno zavisi od prečnika puža i max. hoda.

Na slici 215 data je zavisnost ove veličine od sile zatvaranja za US i EURO mašine.



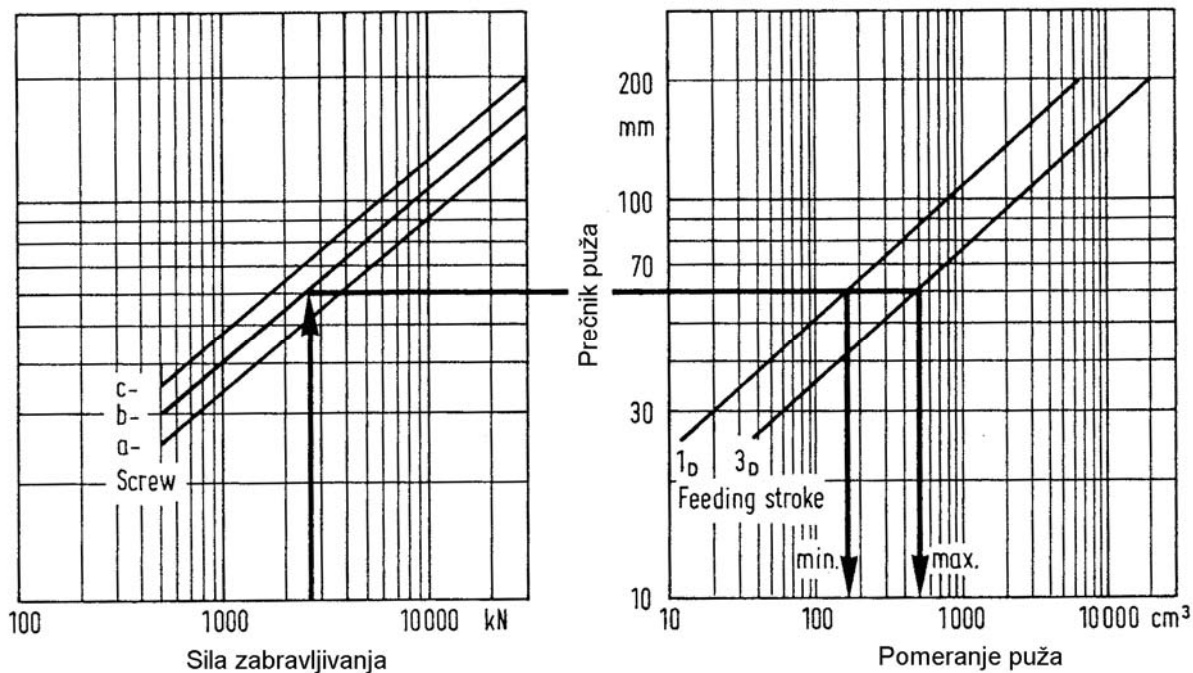


Sliak 215a. Izračunavanje kapaciteta ubrizgavanja nasuprot sile zabavljanja  
 Isprekidana linija = prosečno. US mašine



Slika 215b. Izračunavanje kapaciteta ubrizgavanja nasuprot sile zabavljanja. Isprekidana linija = prosečno. Evropske mašine,  $V'_s =$  teoretska količina ubrizgavanja na  $10^3$  bara ( $10^2$  MPa) pritiska

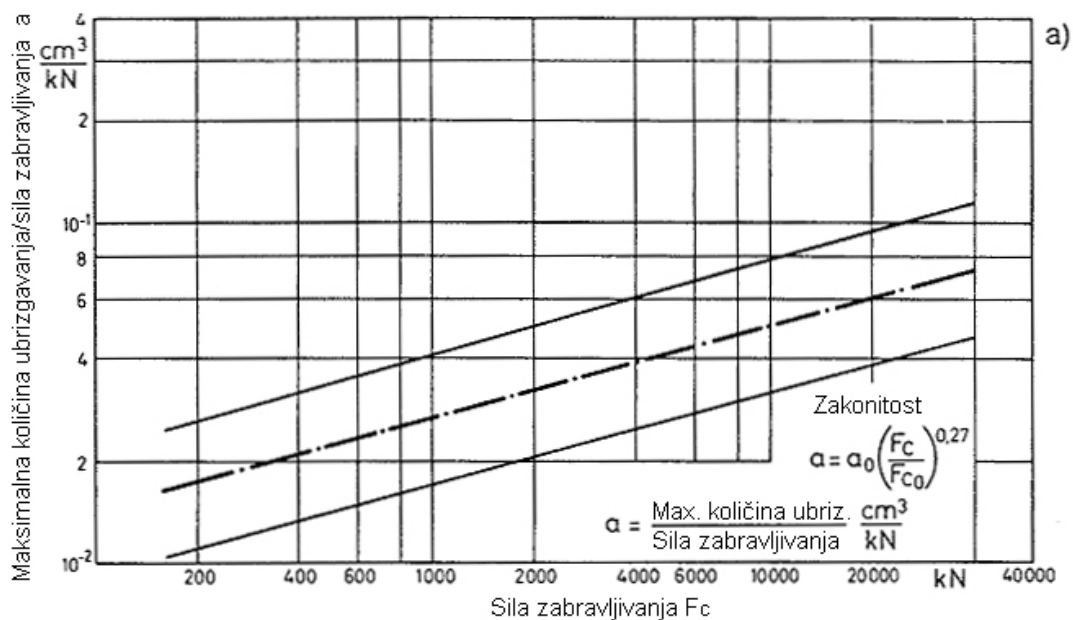
Zavisnost kapaciteta od sile presovanja, uz preporuku prečnika puža data je na slici 216.



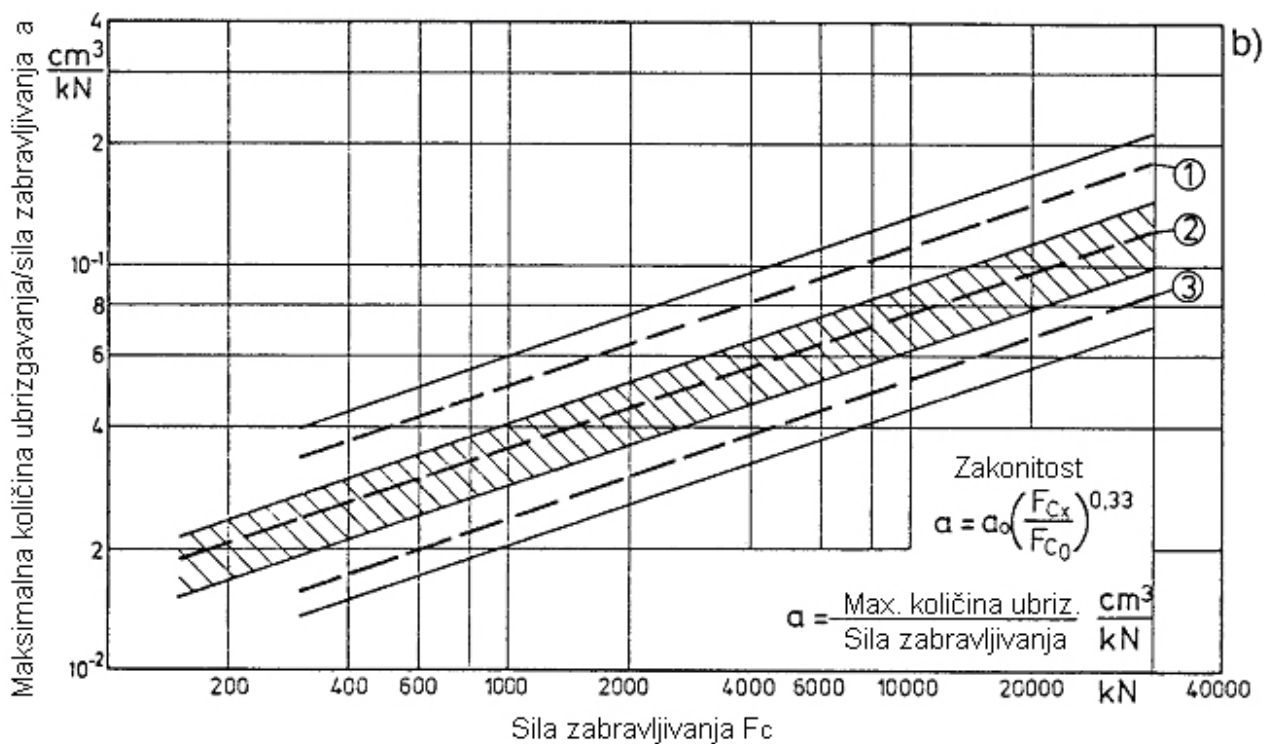
Slika 216. Povezanost između sile zabavljanja, optimalan prečnik puža i maksimum ili minimum upotrebe pomeranja puža (ograničenje hoda punjenja:  $1xD$  i  $3xD$ )

Na slici 217 data je zavisnost specifičnog kapaciteta ( $a$ ) od sile zabavljanja. Specifični kapacitet je odnos zapreminskog kapaciteta i sile zatvaranja.

$$a = \frac{\text{max. zapremina otpreska}}{\text{sila zabavljanja}}$$



Slika 217a. Zavisnost specifičnog kapaciteta od sile zabavljanja (US mašine)

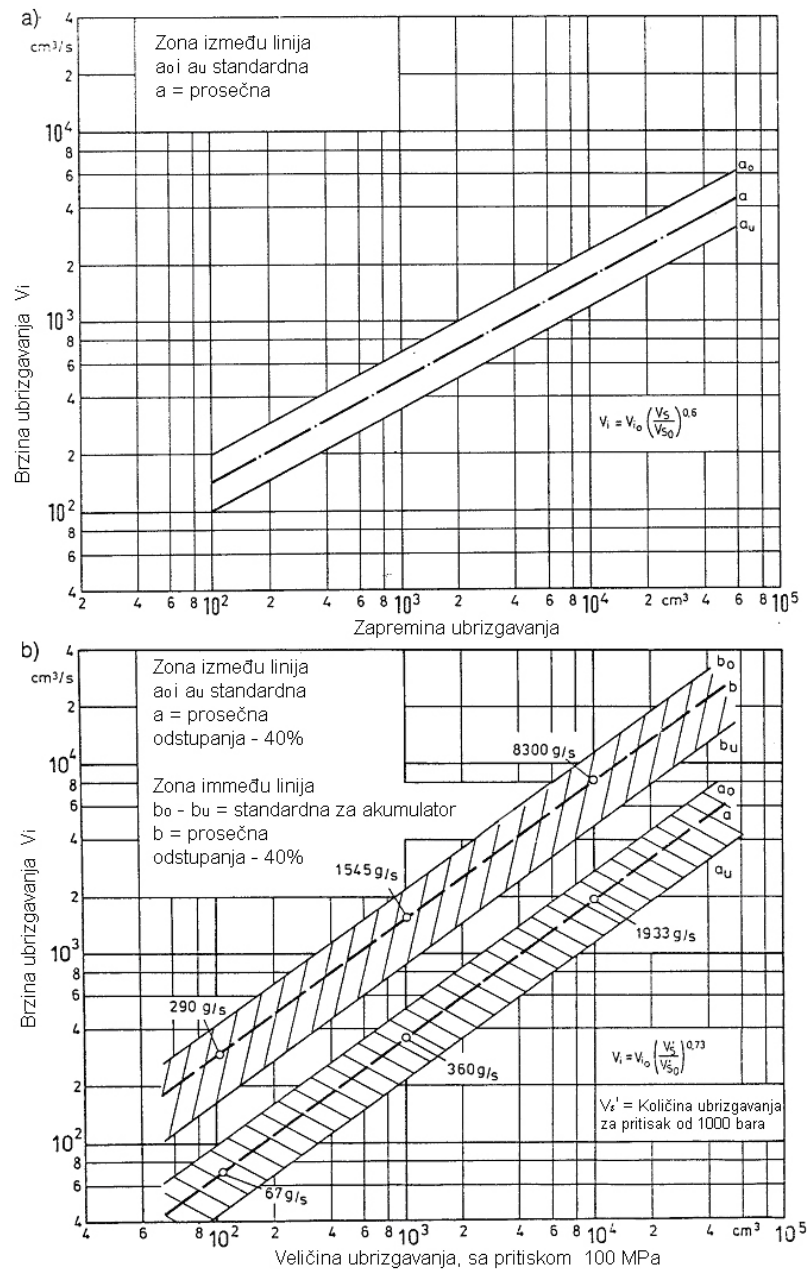


Slika 217b. Zavisnost specifičnog kapaciteta od sile zabravljivanja, (isprekidana linija = prosečna, linije 1,2 i 3 se odnose na različite inekcione jedinice) (Evropske mašine)

Sila zatvaranja (KN)	Kapacitet presovanja (g) <sup>(1)</sup>
1000	200±110 (35)
5000	1600±880 (300)
10.000	4250±2500 (750)
30.000	18300 ÷ 10500 (3500)

(1)važi za slučaj hoda puža 3D, slika 216.

**Brzina ubrizgavanja** – predstavlja zapreminu materijala koja se ubrizgava u jedinici vremena. Ova veličina ima uzlazni karakter sa kapacitetom (slika 218) što proizlazi iz zahteva za sve većim i sve složenijim otprescima.



Slika 218. Brzina ubrizgavanja različitih zapremina ubrizgavanja

a) US mašine, b) Evropske mašin, standardni podaci za brizganje pomoću pumpe (a) ili akumulatora(b)

Raspoloživa snaga presovanja – izražava snagu koja stoji na raspolaganju pri brizganju materijala u kalup. Izračunava se kao:

$$E_i = \frac{\pi d^2 \cdot P_M \cdot S}{4 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot t} [KW]$$

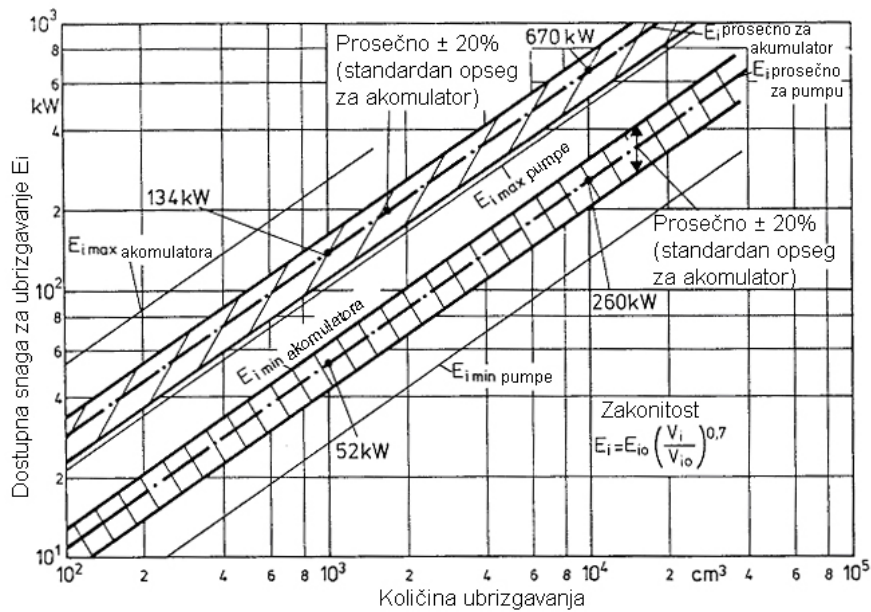
d – prečnik cilindra

$P_H$  – hidraulični pritisak

S – hod klipa

t – vreme potrebno da se ostvari hod S.

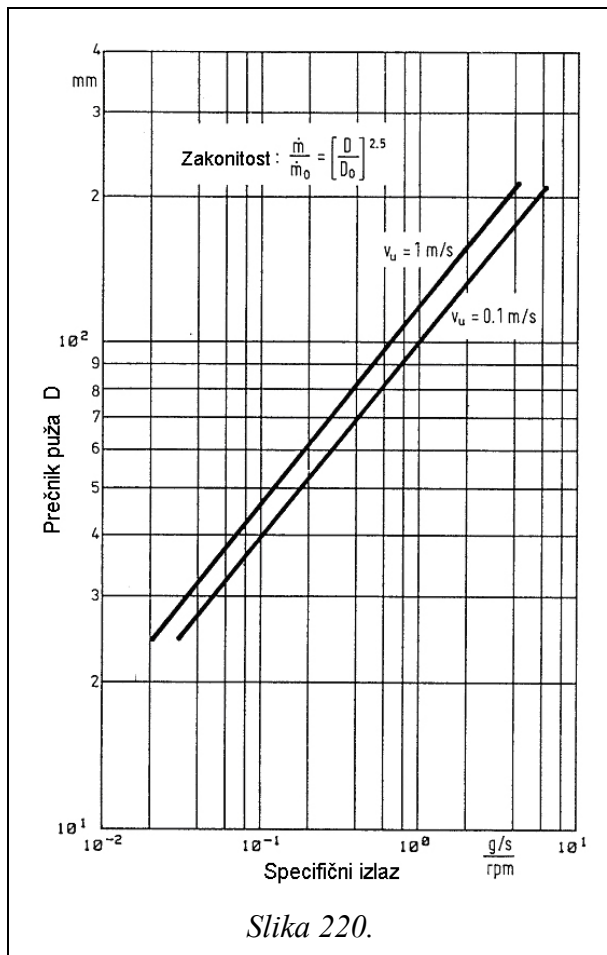
Na slici 219 data je zavisnost snage od kapaciteta mašine.



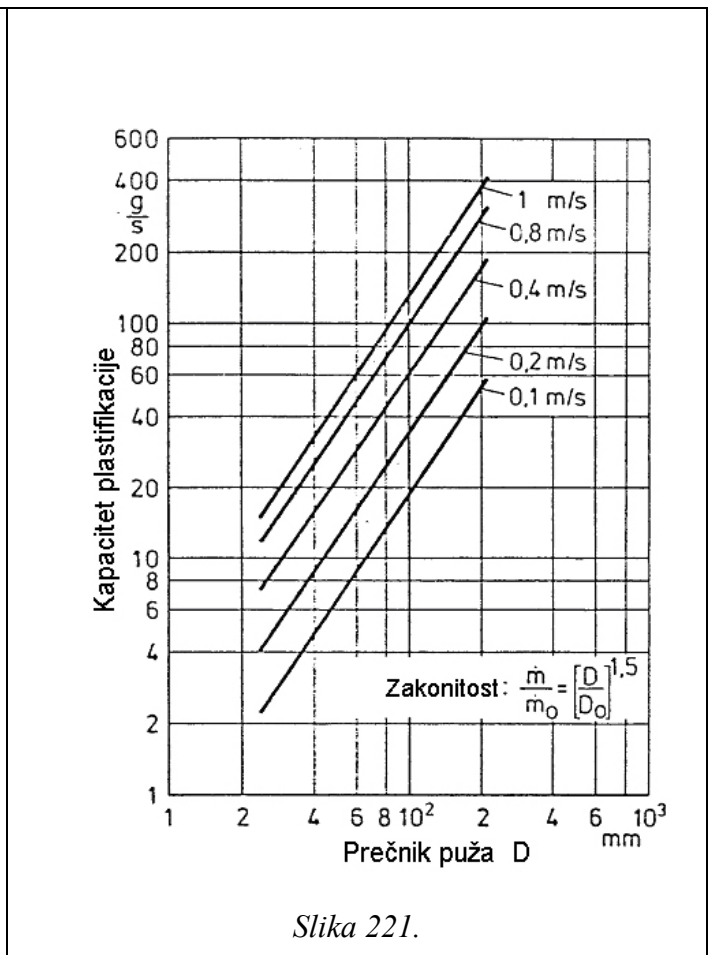
Slika 219. Dostupna snaga za ubrizgavanje ( $E_i$ ) različitih količina ubrizgavanja. Informacije za upućivanje u komercijalne svrhe i pokazivanje brzina (isprekidana linija) i standardan opseg (preko isprekidane) svaki za upotrebu pumpe i akumulatora

**Kapacitet plastifikacije** – ovaj pokazatelj je karakteristika punjenja puža, a zavisi od geometrije puža, obimne brzine, kontrapritiska, konstrukcije nepovratnih ventila i hoda punjenja puža.

Kapacitet plastifikacije može se dobiti kao količnik mase otpreska i vremena punjenja. Ova karakteristika nije stabilna jer zavisi i od vrste polimera. Na slici 220 prikazana je zavisnost prečnika puža i kapaciteta plastifikacije svedenog na broj obrtaja puža i na slici 221 data je zavisnost kapaciteta plastifikacije i prečnika puža.



Slika 220.

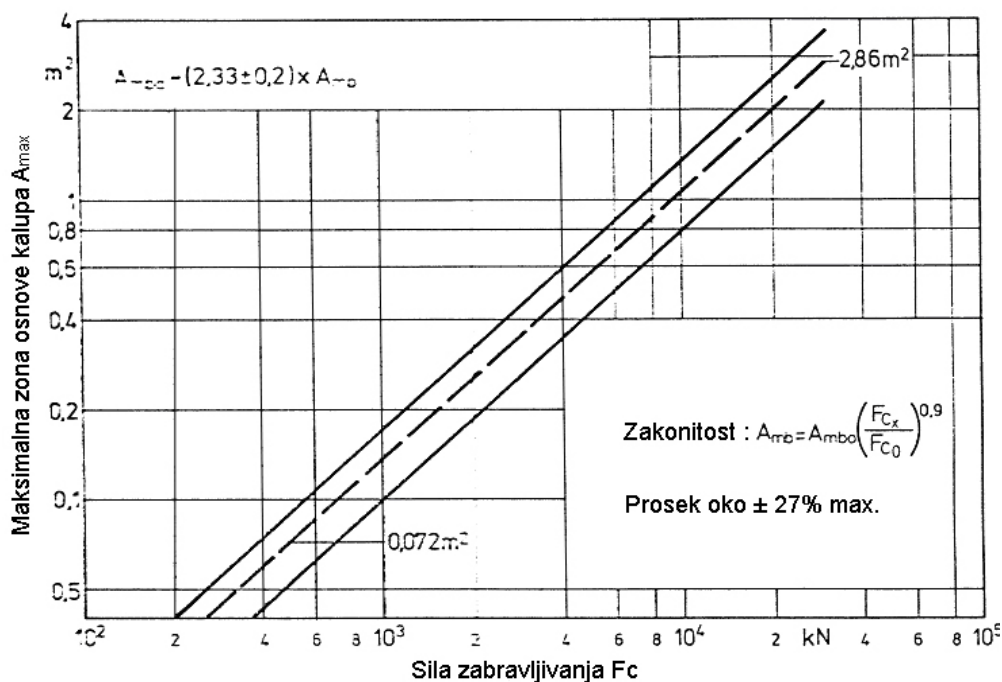


Slika 221.

## 8.2.2. Karakteristike jedinice za zatvaranje

Površina alata definisana je proizvodom razmaka između horizontalnih i vertikalnih stubova. Ovaj podatak je važan za međusobno poređenje mašina.

Veliki razmak između stubova zahteva odgovarajuću debljinu pokretne ploče, u skladu sa čvrstoćom materijala. Krivljenje ploča mora biti manje od 0.2mm na 1m razmaka stubova (vođica) pri delovanju max. sile na relativno maloj površini. Samo vrlo krute ploče mogu da daju odgovarajući kvalitet otpreska. Na slici 222 data je zavisnost max. površine kalupa u funkciji sile zatvaranja.



Slika 222. Maksimalna zona osnovne kalupa različitih sila zabravljivanja.  
Isprekidana linija označava standardan uređaj

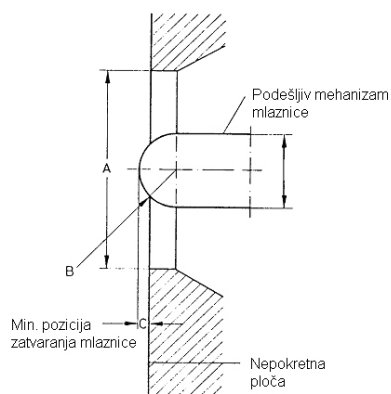
Standardi za položaj mlaznice, dimenzije otvora za vijke i podaci za ploču izbacivača dati su na slikama 223 do 226.

Važan podatak mehanizma za zatvaranje je max. razmak (daylight) između pokretne i nepokretne ploče u otvorenom i zatvorenom položaju mehanizma.

Razmak u zatvorenom položaju određuje minimalnu debljinu (visinu) zatvorenog alata. Na slici 227 dati su podaci o minimalnoj debljini alata u funkciji od sile zatvaranja.

Maksimalni hod otvaranja je hod koji prelazi pokretna ploča. Ovaj hod zavisi od konstrukcije mašine, a određuje maksimalnu visinu otpreska. Podaci o ovoj veličini dati su na dijagramima na slikama 228 a i b.

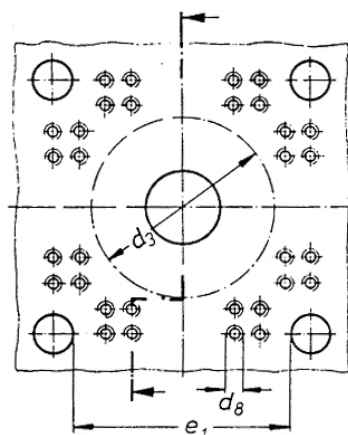




Za veće mašine iznad 750 tona sile završljivanja	Za mašine iznad 750 tona sile završljivanja	Stemi radius *	Min. pozicija zatvaranja mlaznice*
A +.002 -.000	B +.000 -.010	C	
4	5	1/2 or 3/4	3/16

\* B i C zajedničko za oba tipa mašina

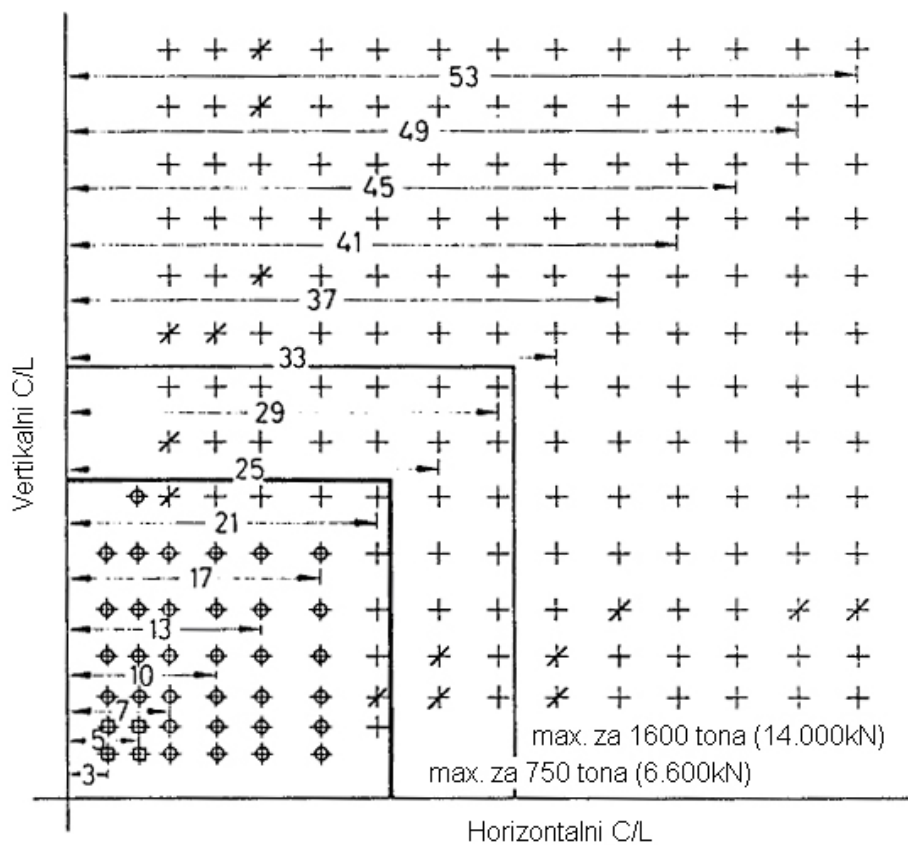
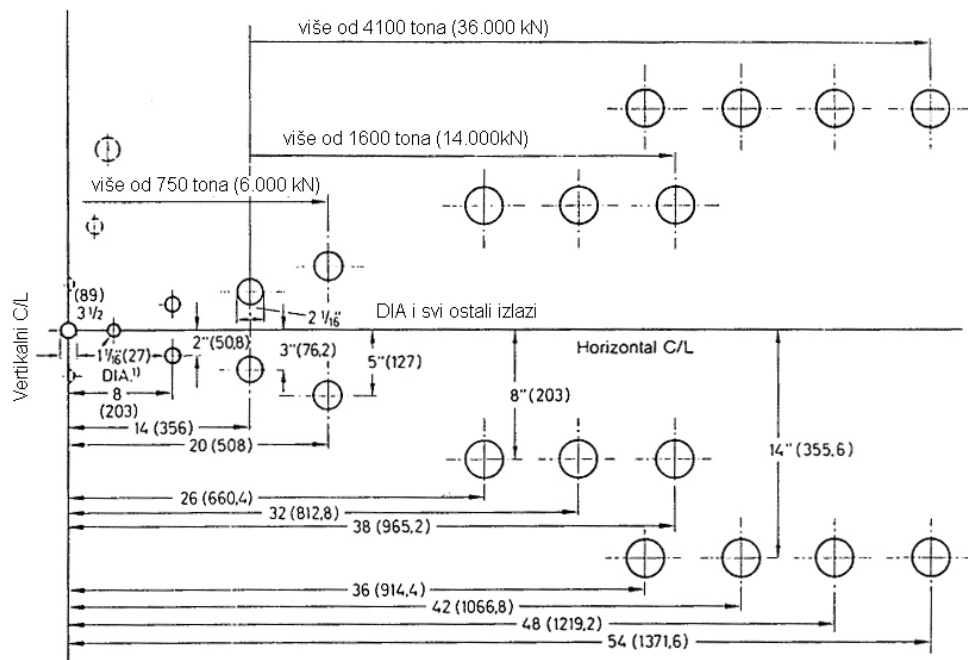
Slika 223a Mehanizam mlaznice i položaj rupe, SPI Standard. Dimenzije su u inčima



Odgovarajući navoj ili urez sa odnosom linija

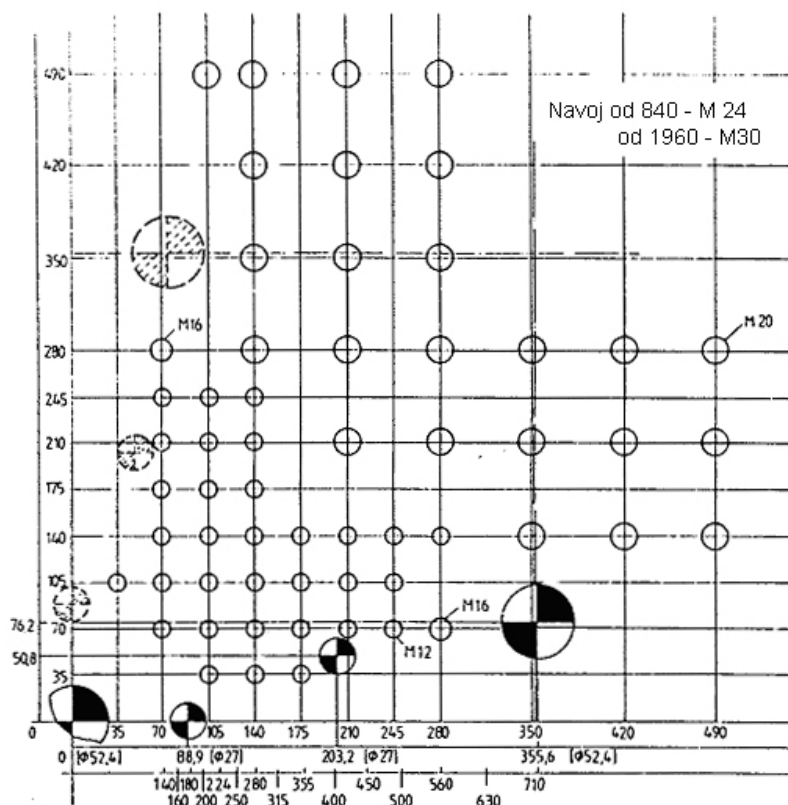
Linije	Veličina navoja		T-žljeb dimenzija (150 R 299) Opseg tolerancije H 12
	d <sub>g</sub>	t	
... > 140	M 12	30	14
140 ... > 210	M 16	40	18
210 ... > 350	M 20	45	22
350 ...	M 24	50	28

Slika 223b. Položaj mlaznice u odnosu na rupu u nepokretnoj ploči, Evropski standard

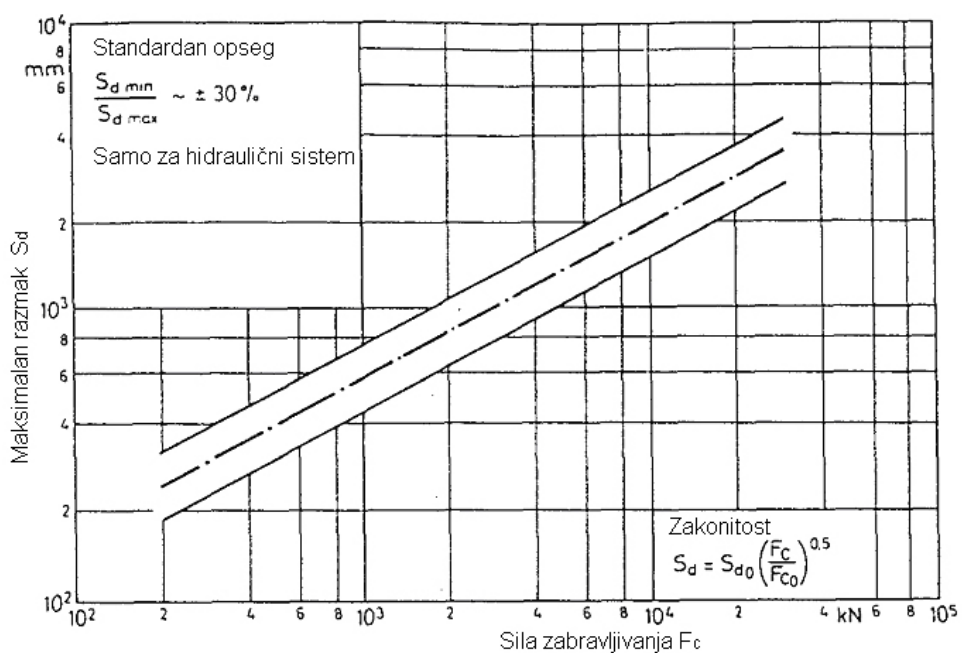


Slika 224. i 225. SPI inekciona mašina standardna - šablon rupa izbacivača. Izbacivač šablona može biti umetnuti duž horizontalne ili vertikalne ose valjka ili kombinacija obe. Dimenzije su u mm.

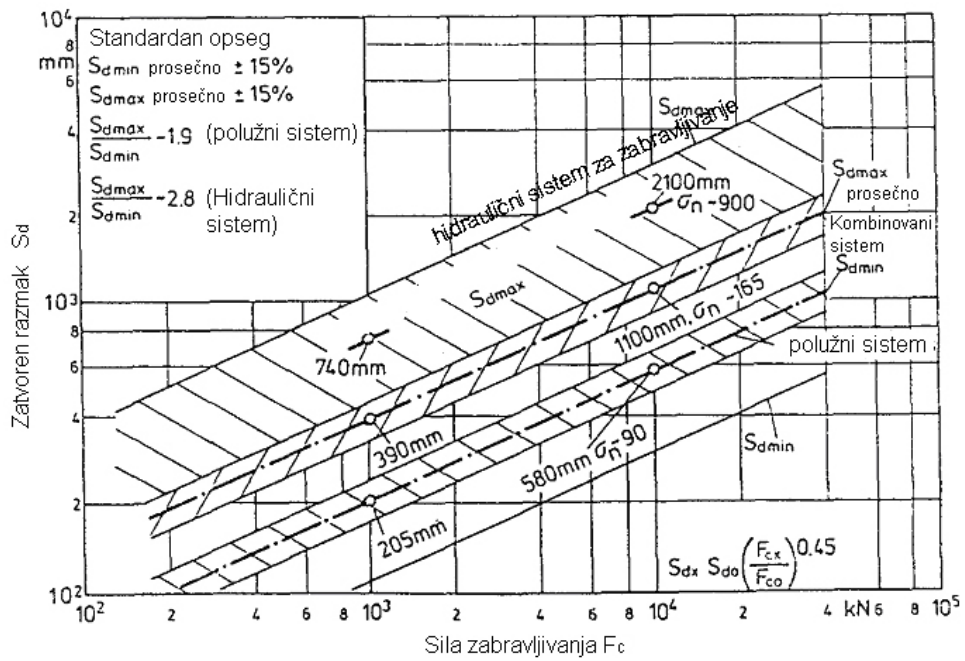




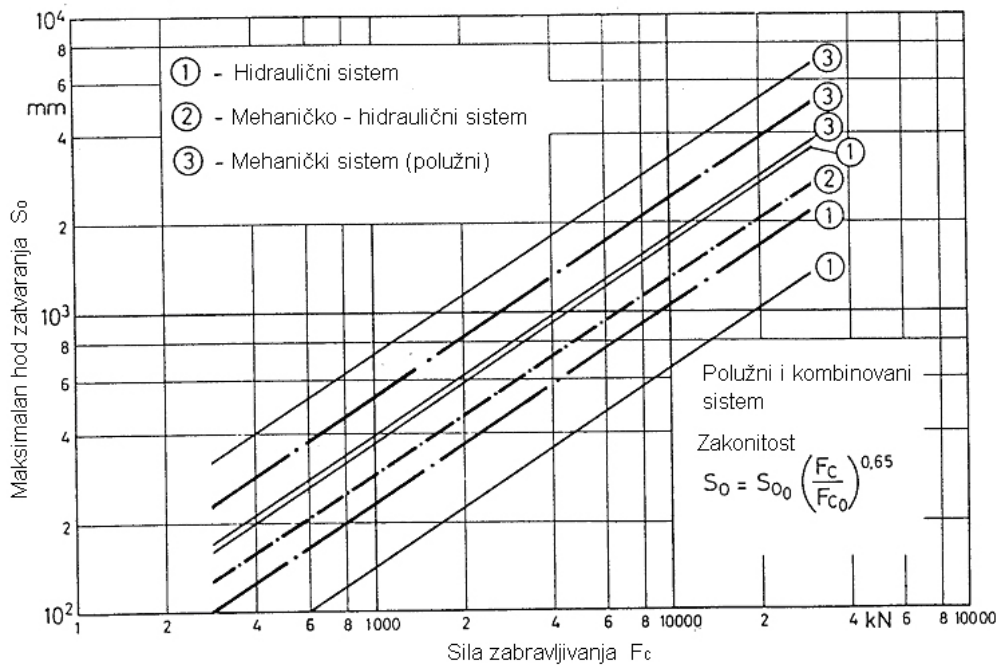
Slika 226. Standardni evropski mehanizam (EUROMAP 2) - šablona rupa izbacivača



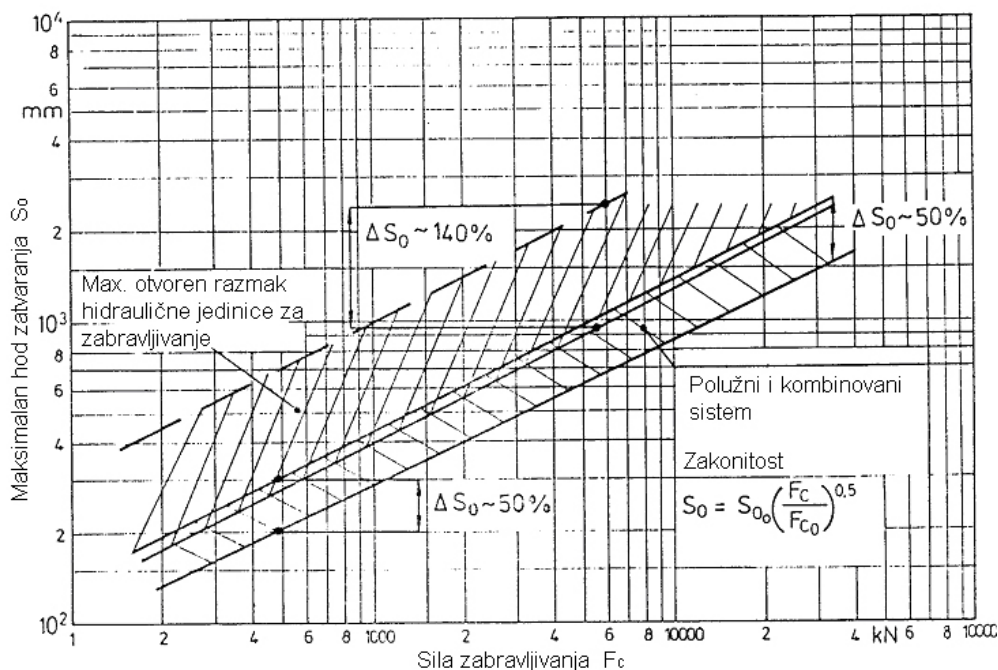
Slika 227a. Razmak nasuprot sile zabavljanja. Isprekidana linija = prosečno. US mašine, maksimalni razmak hidrauličnog sistema



Slika 227b. Razmak nasuprot sile zabravljivanja. Isprekidana linija = prosečno. Evropske mašine, tri tipa sistema za zabravljivanje posebno prikazane; hidraulični – hidraulično mehanički i mehanički (polužni) sistem



Slika 228a. Maksimalan hod zabravljivanja različitih sila zabravljivanja za tri sistema. Isprekidana linija = prosečno, US mašine



Slika 228b. Maksimalan hod zabavljanja različitih sila zabavljanja za tri sistema. Isprekidana linija = prosečno, Evropske mašine

### 8.2.3. Generalni tehnički podaci

Na slici 229 prikazana je zavisnost pogonske snage mašine u funkciji sile zatvaranja. Razlika u instalisanoj snazi mašine postoji zavisno od toga da li je u pitanju pumpni pogon i akumulatorski. Manja pogonska snaga postoji kod mašina sa akumulatorom.

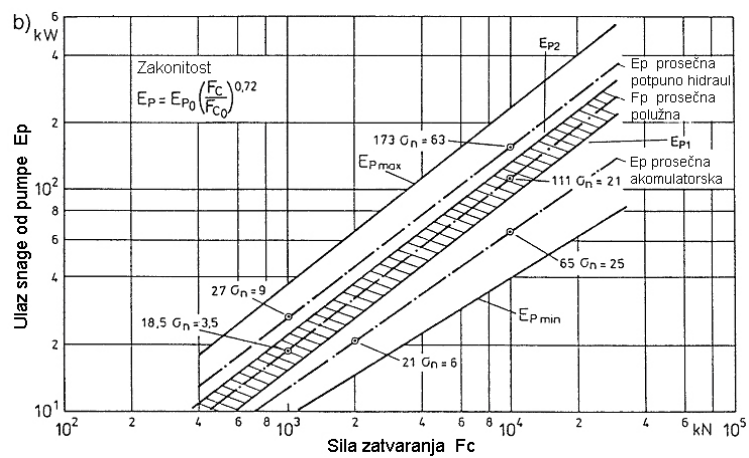
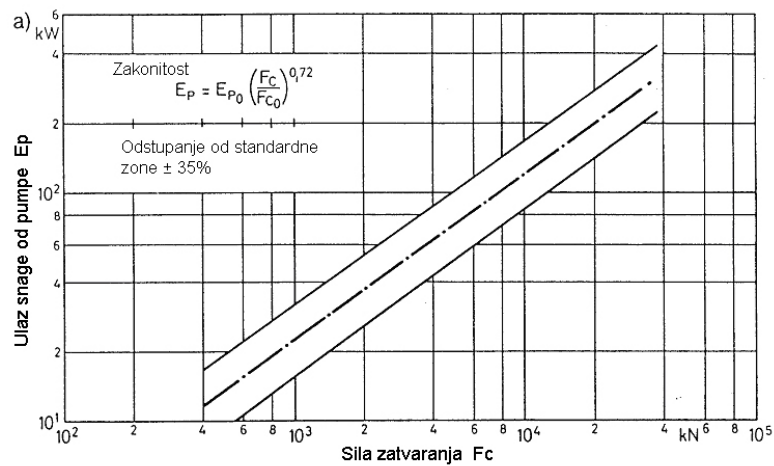
Na slici 230 prikazana je snaga mašine u zavisnosti od zapremine obratka. Ovaj dijagram je važniji i prirodniji. Mašine za preradu termoseta i elastomera imaju za 50% manju snagu.

Osim pogonske snage mašine važan podatak je i snaga za zagrevanje koja može da iznosi od 40-90% snage za pumpu. Kod mašina za preradu termoplasta snaga za zagrevanje je  $0.4 \div 0.5 \frac{KW}{g \cdot s}$  ili  $11.3 \div 14.2 KW$  za svaki  $OZ/s$  i koristi se za plastifikaciju polimera.

Vreme radnog ciklusa je  $0.8 \div 1.4s$  za sitne delove i mašine sa 500-2500 KN sile zatvaranja. U tabeli 26 dati su podaci za radni ciklus.

Na dijagramu na slici 231 dati su podaci o površini poda u zavisnosti od sile zatvaranja.

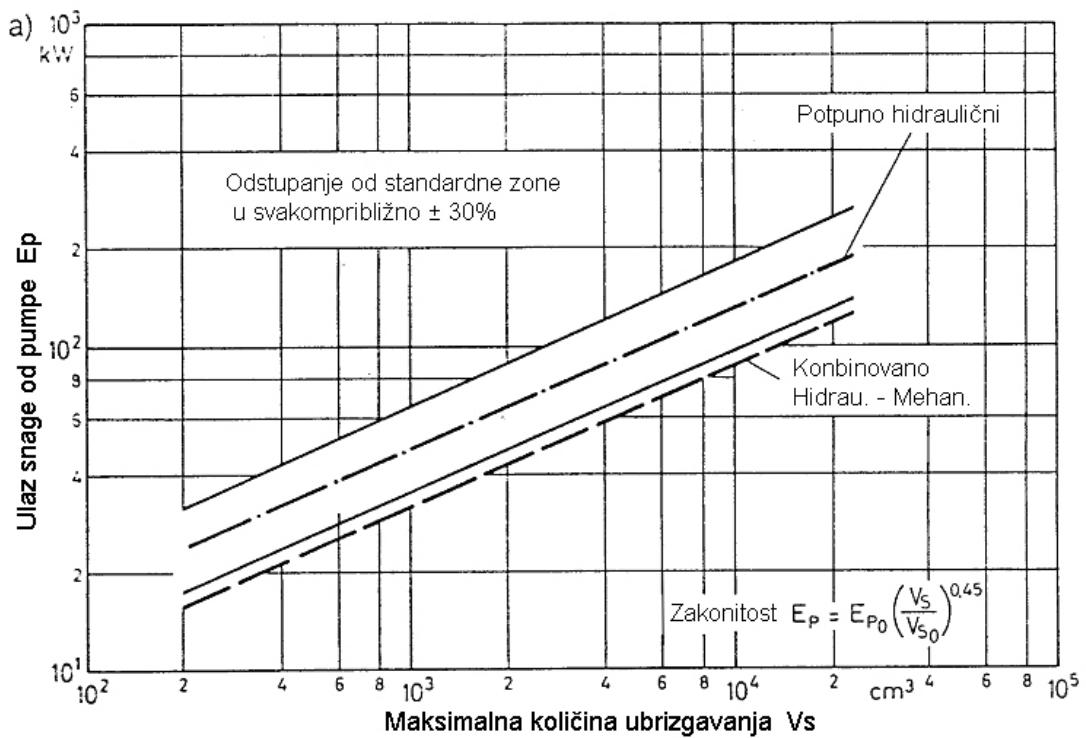
Na slici 232 dati su podaci o težini mašina u zavisnosti od sile zatvaranja.



Sliak 229. Ulazna snaga pumpe u funkciji od sile zatvaranja. Isprekidana linija = prosečna

a) US mašina

b) Evropska mašina.  $E_p$  za mašine sa potpuno hidrauličnom jedinicom za zatvaranje i pumpnim ubrizgavanjem, za mašine sa polužnom jedinicom za zatvaranja ili kombinovani sistem i direktnim pumpnim ubrizgavanjem i mašine za različite sisteme zatvaranja i akumulatorski inekcioni sistem



Slika 230. Ulazna snaga pumpe u zavisnosti od zapremine obratka.

Isprekidana linija = prosečna

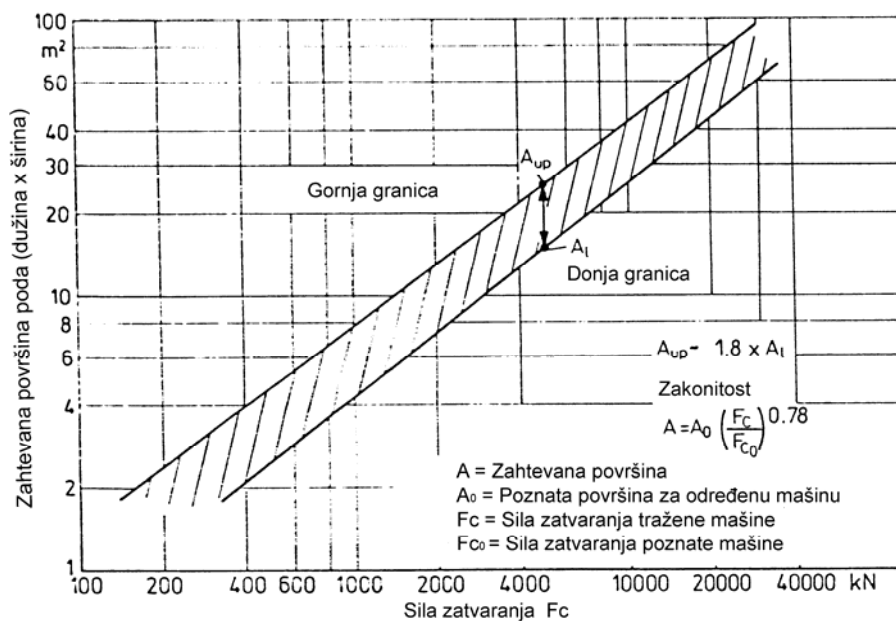
a) US mašine, hidraulično zatvaranje

b) Evropske mašine, standardne zone za tri tipična sistema zatvaranja, potpuno hidraulični, kombinovani i polužni. Pažnja:  $V_s$  = teoretska količina ubrizgavanja na bazi

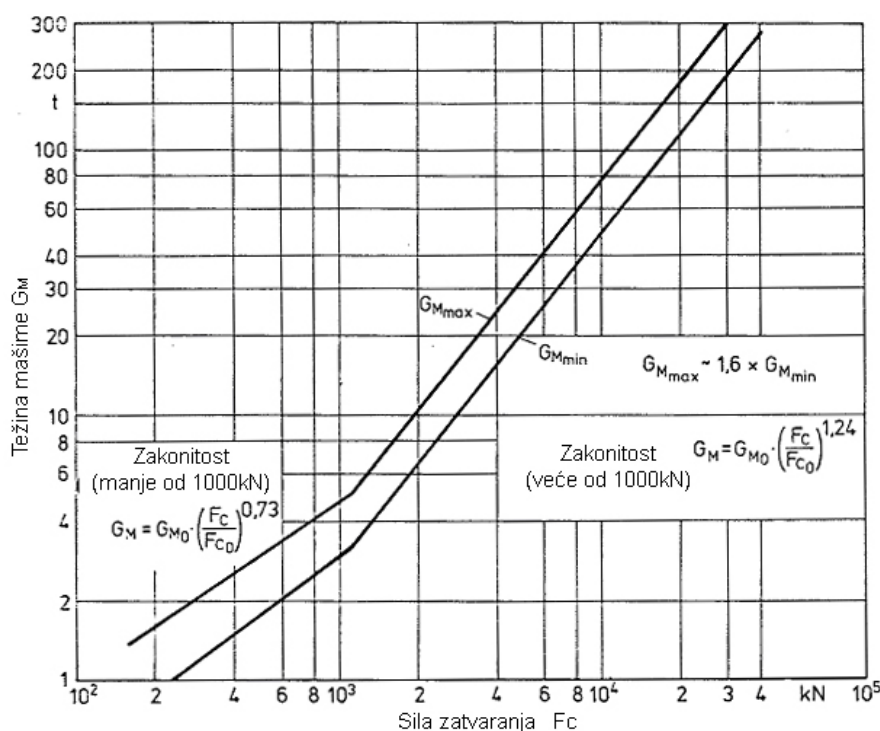
$10^3$  bara ( $10^2$  MPa) pritiska ubrizgavanja

Tabela 26. Ciklus vremena sušenja mašine za inekciono presovanje

Sila zatvaranja (kN)	Ciklus vremena sušenja za preradu	
	Termoplasti (s)	Termoseti i elastomeri (s)
25	0.8-1.8	-
50	0.9-1.5	više od 3
100	1.1-2	više od 6
200	1.7-4	više od 12
500	2 -7	više od 25
1000	5.5-10	-
$\approx 3000$	15 -25	-



Slika 231. Zahtevana površina poda u zavisnosti od sile zatvaranja



Slika 232. Težina mašine u zavisnosti od sile zatvaranja

### 11.3 Razmenjivač toplote

Održavanje temperature kalupa kod injekcionog presovanja je uslov kvaliteta otpreska. Odgovarajuća temperatura kalupa ostvaruje se pomoću izmenjivača toplote (*podaci dati u tabeli 29*). Temperatura u kalupu se kod savremenih mašina neprekidno prati i usklađuje sa nominalnom vrednošću. Važan element u sistemu za hlađenje kalupa je pumpa koja mora imati odgovarajući

protok kako bi se obezbedilo pravilno hlađenje. Cirkulacija rashladne tečnosti fizički se prati sa strane kalupa koji se nalazi na jedinici za zatvaranje.

Kontrola temperature kalupa obezbeđena je pomoću:

- kontrolom temperature rashladne tečnosti iz postrojenja za hlađenje (ulazna temperatura),
- kontrola temperature rashladne tečnosti u kalupu. Temperatura kalupa ostaje konstantna,
- sopstvenim sistemom kontrole i upravljanja sa temperaturom – ovo je najbolji način, čak i u slučaju promenljivih parametara tokom procesa.

Tabela 29. Minimalni zahtevi kod toplotnog razmenjivača za visoko kvalitetne kalupe

Karakteristike	Veličina	Standardno inekciono presovanje		Visoko kvalitetni inekciono presovanje	
		Prenos vrućeg medijuma		Prenos vrućeg medijuma	
		Voda	Ulje	Voda	Ulje
Kapacitet zagrevanja	kW	6	6	6	6
Kapacitet hlađenja	kW	11 kW	6 kW	11 kW	6 kW
Specifični kapacitet zagrevanja	$kW \cdot m^{-2}$	30	25	30	25
Kontrola temperature zone, max.	°C	100	200	100	200
Konstantnost temperature u liniji dovoda	K	±3	±3	±1	±1
Izlaz pumpe 15 L/min.	kPa	200-400	oko 400	oko 700	oko 1000
Zapremina sredstva za hlađenje	L	7-14	7-14	10-20	10-20
Buka	dB(A)	< 75	< 75	< 75	< 75