

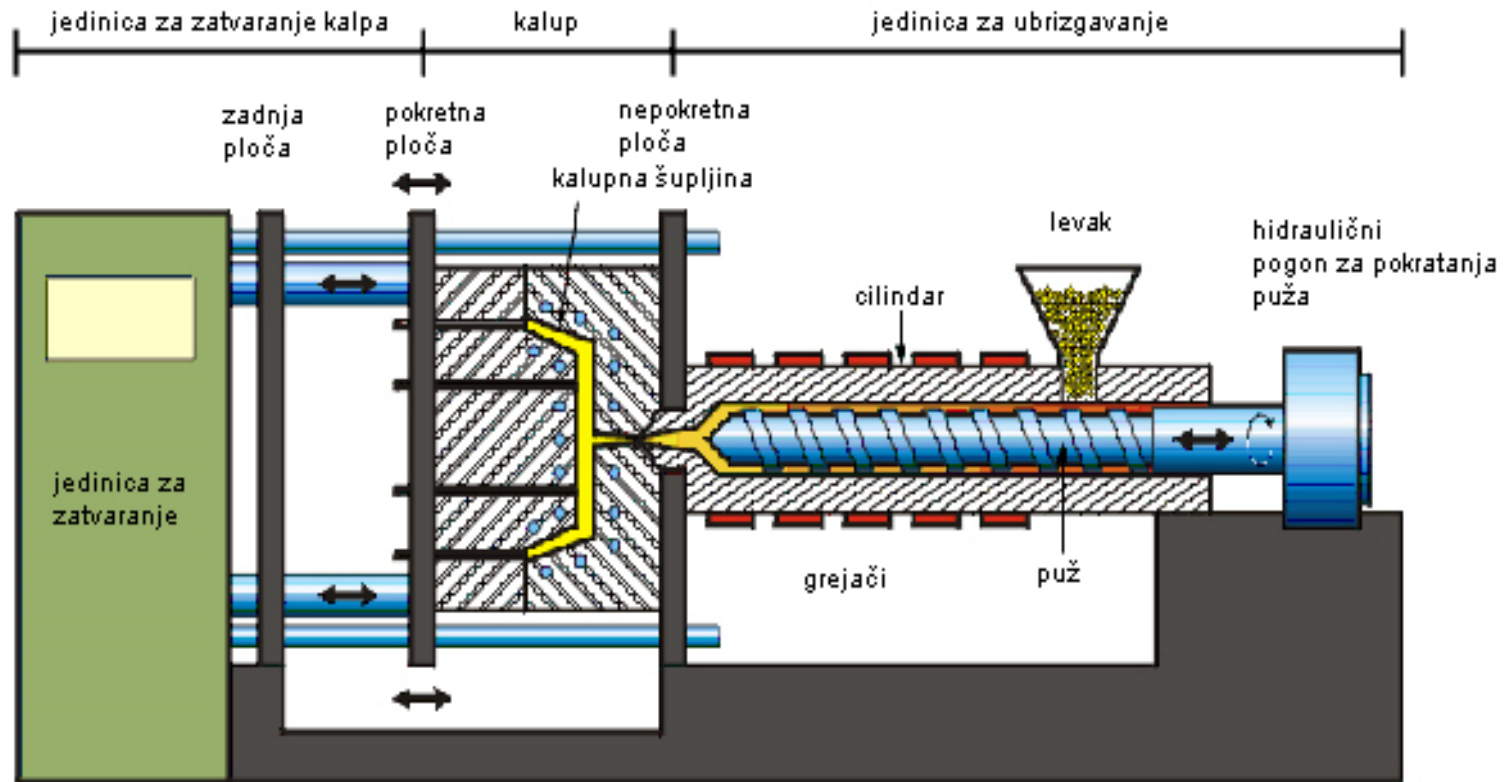
MAŠINE I UREĐAJI ZA PRERADU PLASTIKE

Plastic Injection Machine

by

www.mekanizmalar.com

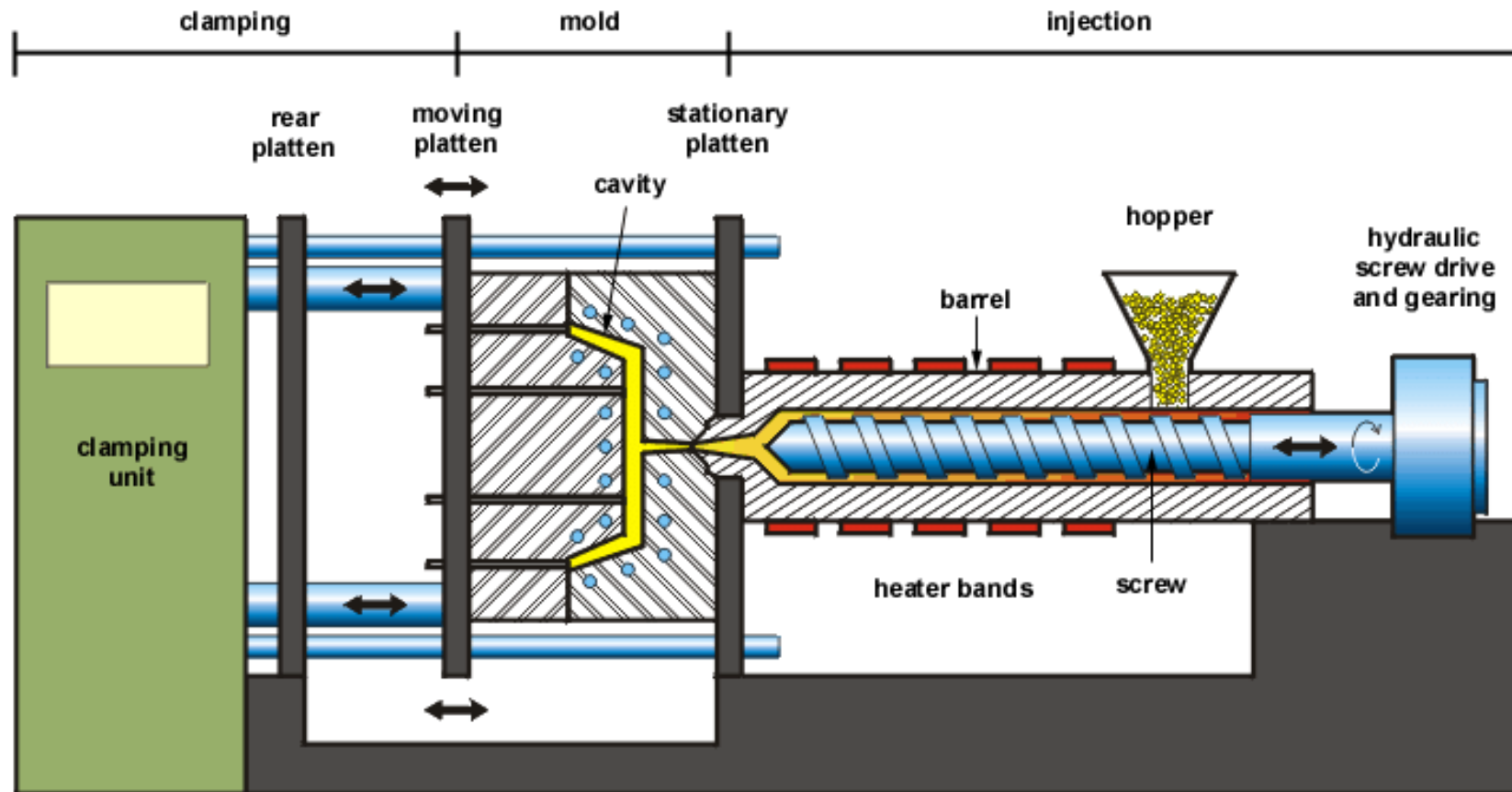
MAŠINA ZA INJEKCIJNO PRESOVANJE



- *Jedinica za ubrizgavanje*
- *Alat-kalup*
- *Jedinica za zatvaranje kalupa*

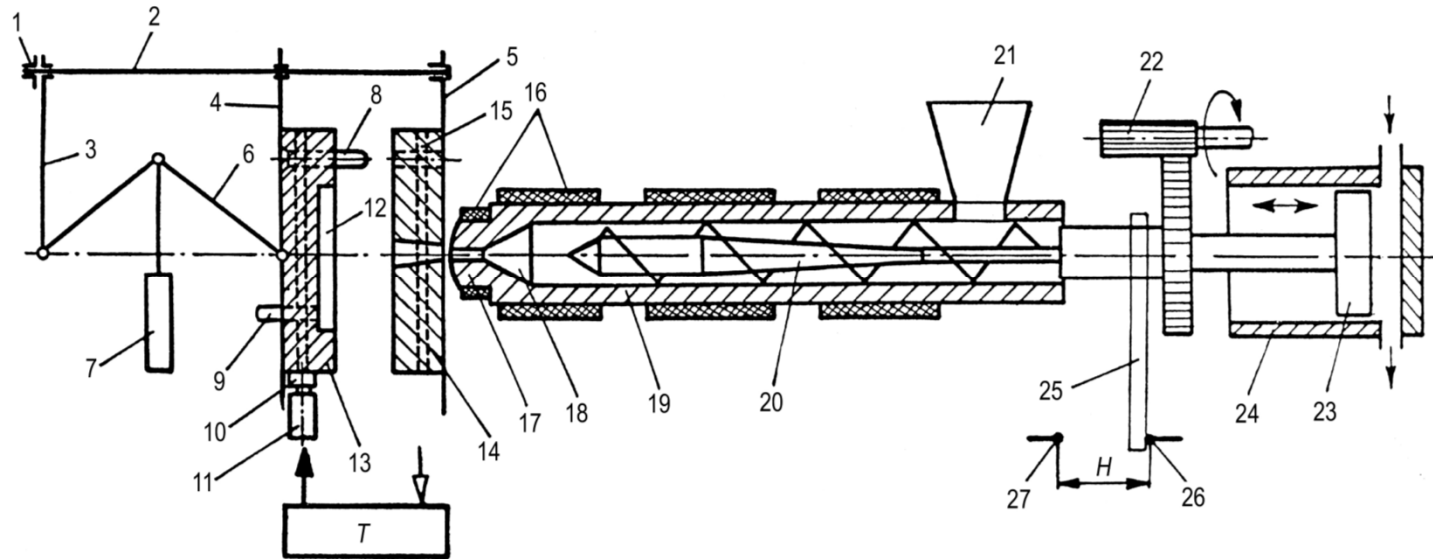
- *Hidraulično-pogonska jedinica*
- *Upravljačko-kontrolna jedinica*
- *Sistem za hlađenje*

INJECTION MOLDING MACHINE



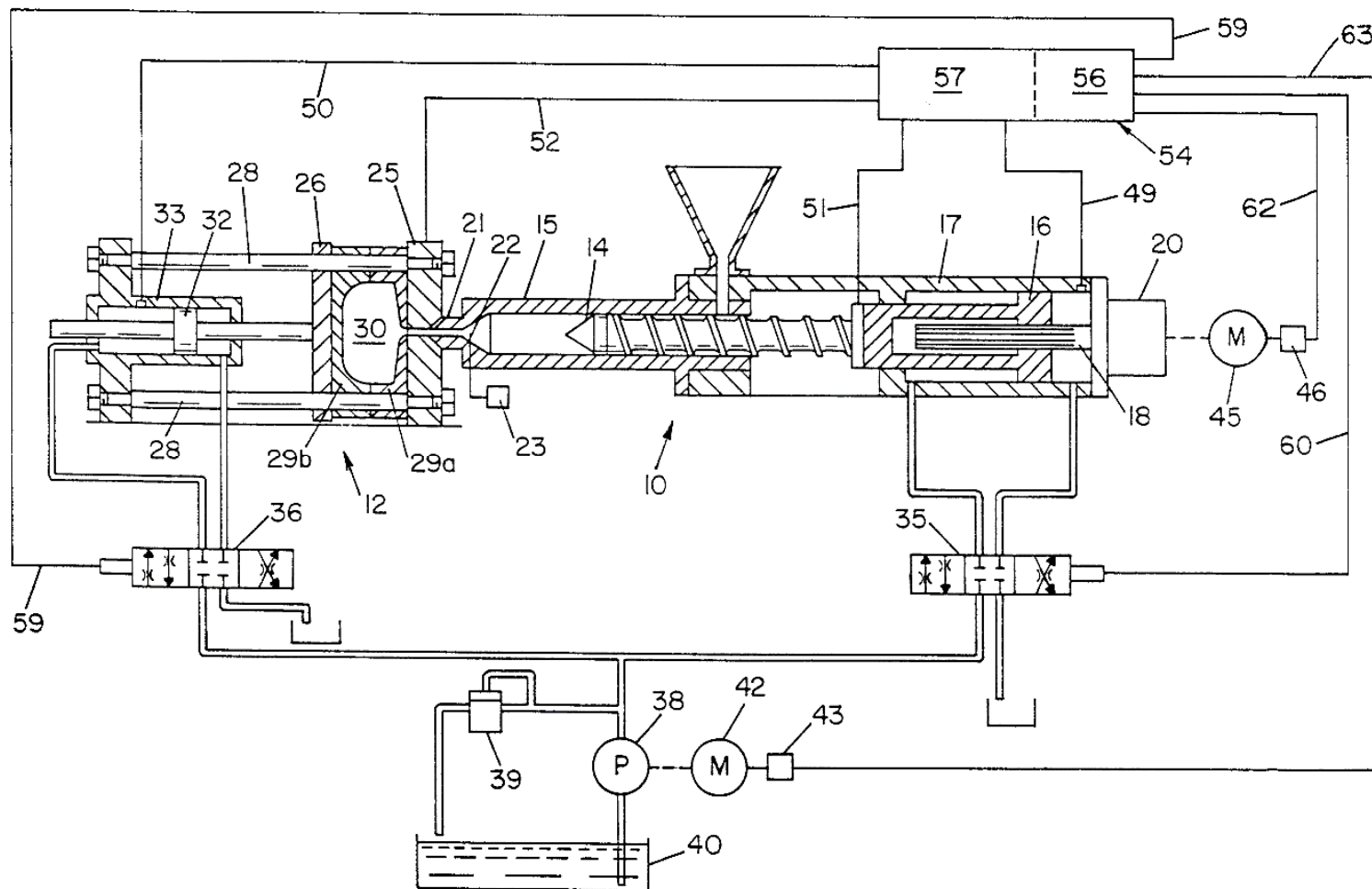
MAŠINA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

- mehanička šema -

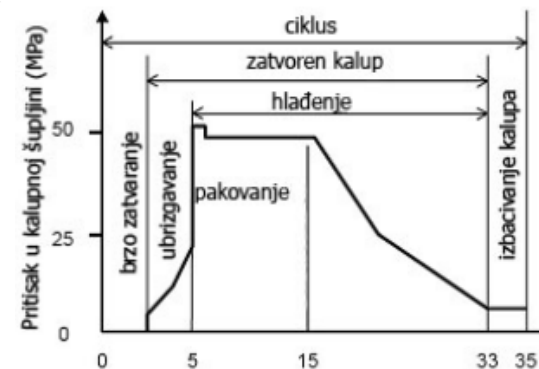
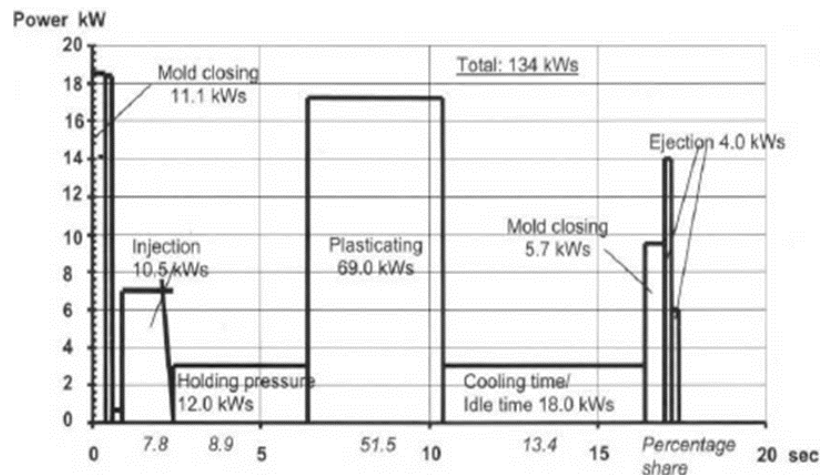
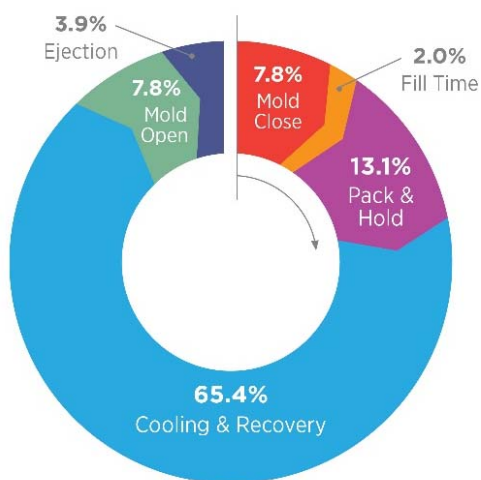
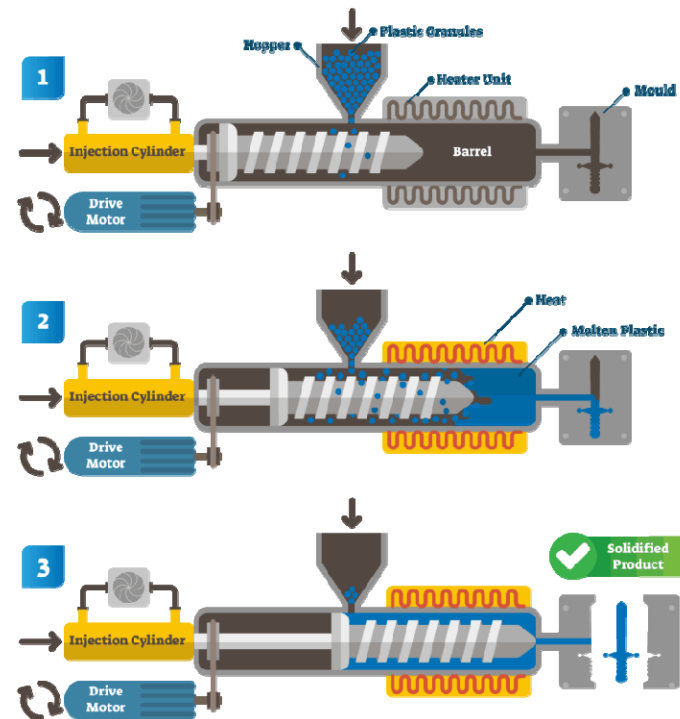
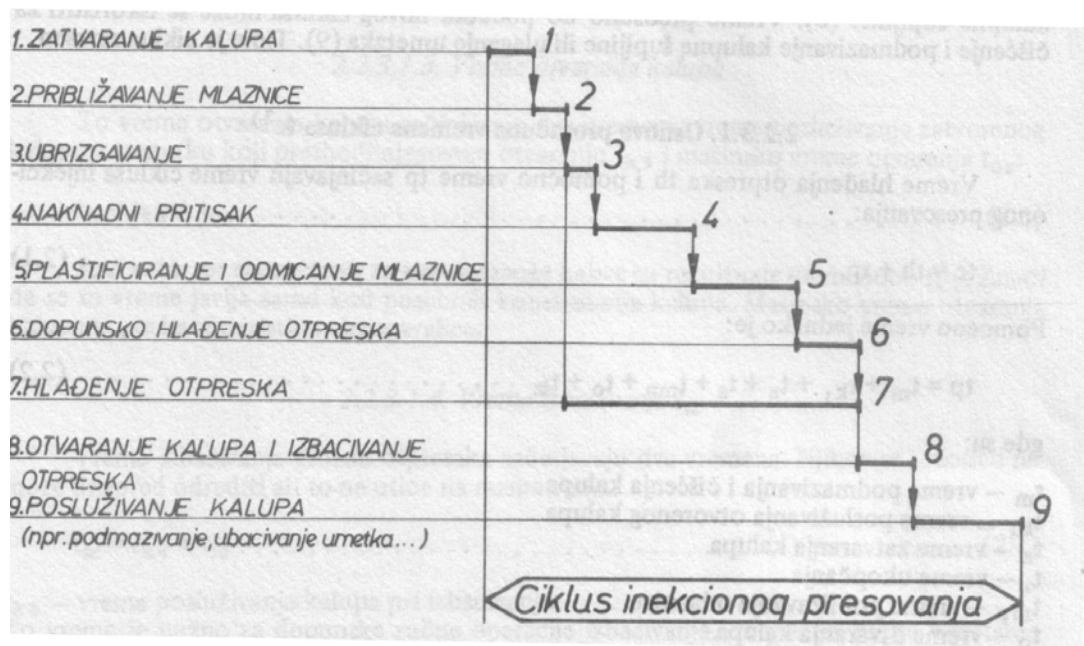


1 – matica za nameštanje visine kalupa, 2 – vodjice pokretnog dela kalupa, 3 – uporna ploča, 4 – pokretni nosač kalupa, 5 – nepokretni nosač kalupa, 6 – ugaone poluge (makaze), 7 – hidraulički cilindar, 8 – vodeći stub, 9 – izbacivači, 10 – priključak, 11 – crevo, 12 – kalupna šupljina, 13 – pokretni deo kalupa, 14 – nepokretni deo kalupa, 15 – kanal za temperiranje, 16 – pojasni grejači, 17 – mlaznica, 18 – sabirnica, 19 – cilindar za topljenje, 20 – pužni vijak, 21 – levak, 22 – pogonski mehanizam pužnog vijka, 23 – hidraulički klip, 24 – cilindar za ubrizgavanje, 25 – pokretački slog – uklopni palac, 26 – stražnja krajnja sklopka, 27 – prednja krajnja sklopka; H – hod pužnog vijka, T – jedinica za temperiranje

Hidraulični sistem mašine za IP



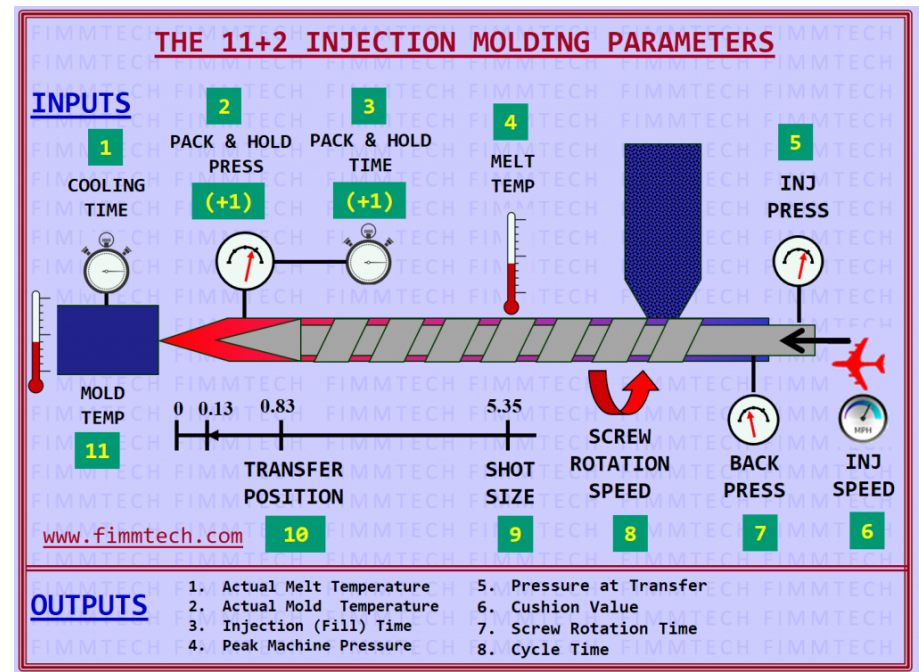
CIKLUS INJEKCIONOG PRESOVANJA



PODEŠAVANJE MAŠINE – PARAMETARA PROCESA

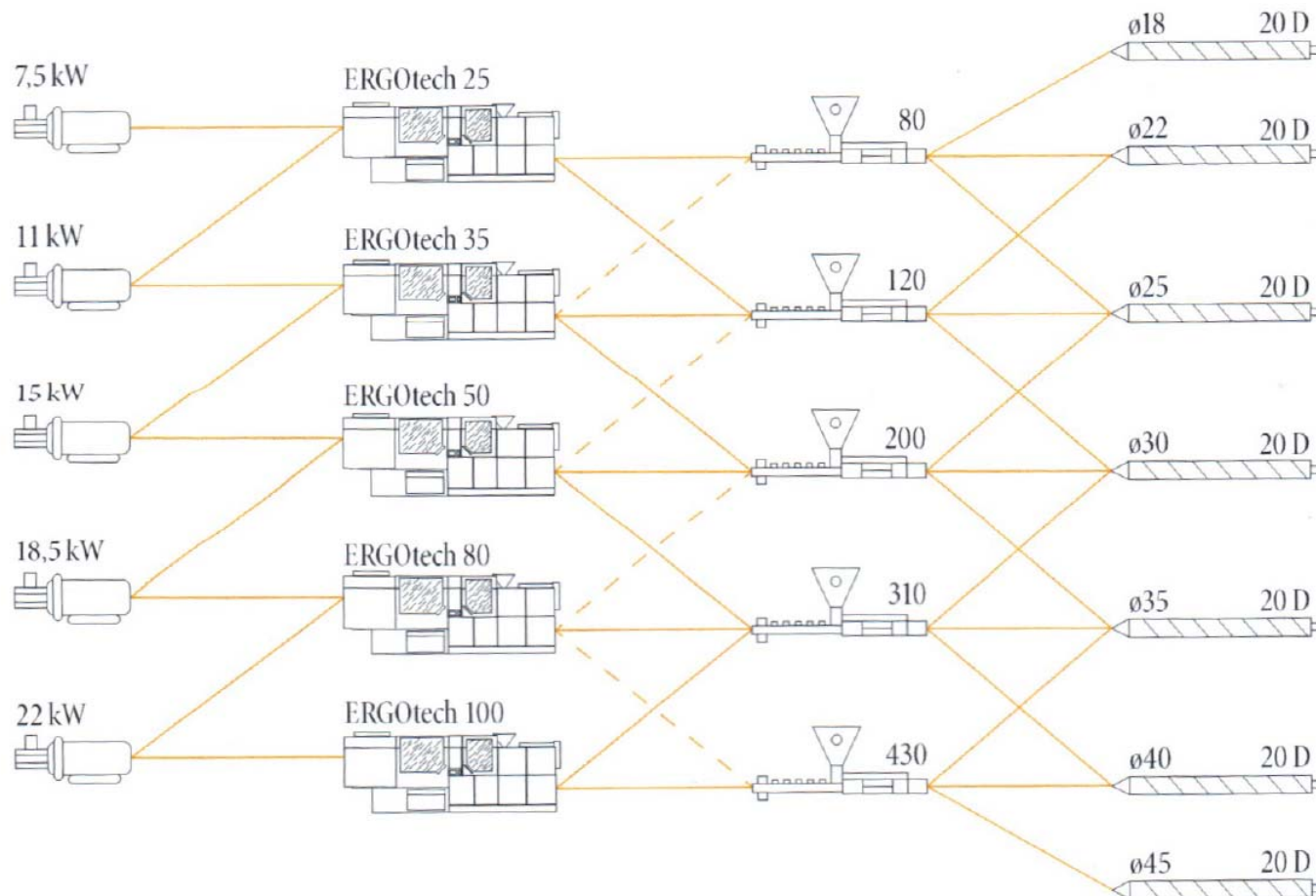
- Za pravilno vođenje procesa brizganja plastike potrebno je poznavati sve podesive parametre mašine i njihov uticaj na konačne osobine proizvoda, kao što su: izgled površine, mehaničke i fizičke osobine, dimenzije itd.
- Svaki parametar koji podešavamo na mašini, ima svoj značaj i svoj uticaj ili na druge parametre ili direktno na kvalitet proizvoda.

1. Set the melt temperature
2. Set the mold temperature
3. Set the switch-over position
4. Set the screw rotation speed
5. Set the back pressure
6. Set the injection pressure
7. Set the holding pressure
8. Set the injection velocity
9. Set the holding time
10. Set ample remaining cooling time
11. Set the mold open time
12. Set the mold opening stroke
13. Set the ejector stroke, start position, and velocity



TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MAŠINA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

- Veličina mašine je izražena veličinama jedinica za zatvaranje i ubrizgavanje, čiji reprezentanti su **sila zatvaranja i prečnik puža**.
- Između ova dva parametra postoji veza! Za određenu veličinu sile zatvaranja obično na raspolaganju postoji više jedinica za ubrizgavanje.



TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MAŠINA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

AUTOMATSKE UBRIZGAVALICE ZA INJEKCIONO PRESOVANJE PLASTOMERA – BELMATIK Belišće

Tehnički podaci	Merna jed.	100/50E	150/80E	250/130E	600/130E	1250/380E	5900/650P
Jedinica za ubrizgavanje							
Prečnik pužnog vijka	mm	35	40	45	60	75	100
Zapremina ubrizgavanja	cm ³	81	125	199	495	1016	3298
Max masa ubrizg. (PS)	10 ⁻³ kg	74	113	180	447	917	2940
Spec.prit.ubrizgav.	bar	1370	1370	1400	1310	1245	1840
Brzina ubrizgavanja	cm ³ /s	71	91	119	224	326	2803 (454)
Odnos prečnika i dužine pužnog vijka	L/D	15	17	20	20	20	20,0
Hod pužnog vijka	mm	85	100	125	175	230	420
Br.okretaja puž.vijka	s ⁻¹	0,25–4,0	0,25–3	0,25–3,66	0,25–3,0	0,25–2,0	0,05–2,16
Jedinica za zatvaranje kalupa							
Sila zatvaranja kalupa	kN	490	785	1275	2255	3725	6500
Sila otvaranja kalupa	kN	19,3	24	40,4	63,5	103,4	715
Dimenzija nosača kalupa	mm	450x450	520x520	620x620	800x800	1000x1000	1300x1300
Hod pomoćnog nosača kal.	mm	265	320	380	520	680	900
Razmak između vodilica	mm	280x280	320x320	365x365	485x485	610x610	820
Max. debljina kalupa	mm	300	370	450	600	750	900
Min. debljina kalupa	mm	100	120	150	200	250	300
Max. hod. hidrauličnog izbacivača	mm	85	100	135	180	240	192
Min. hod. hidrauličnog izbacivača	mm	25	25	25	25	25	–

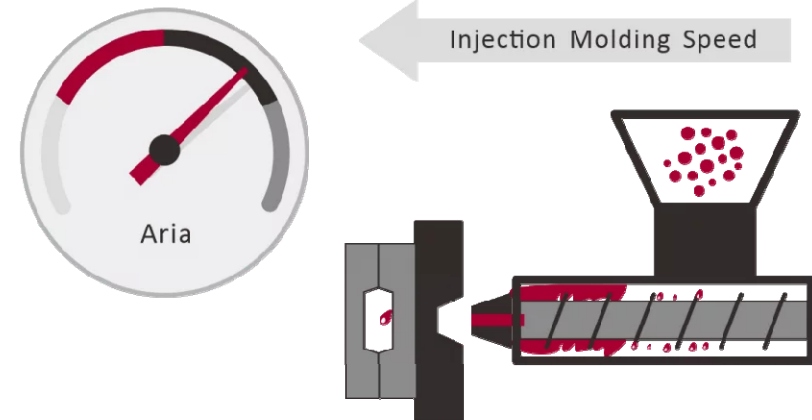
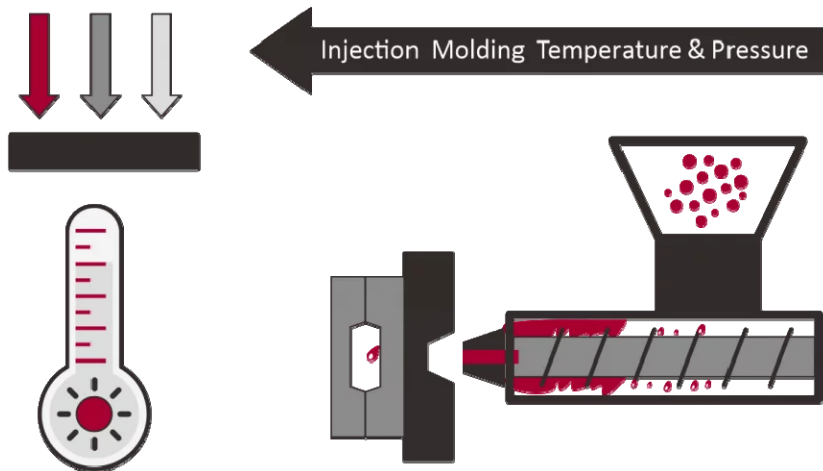
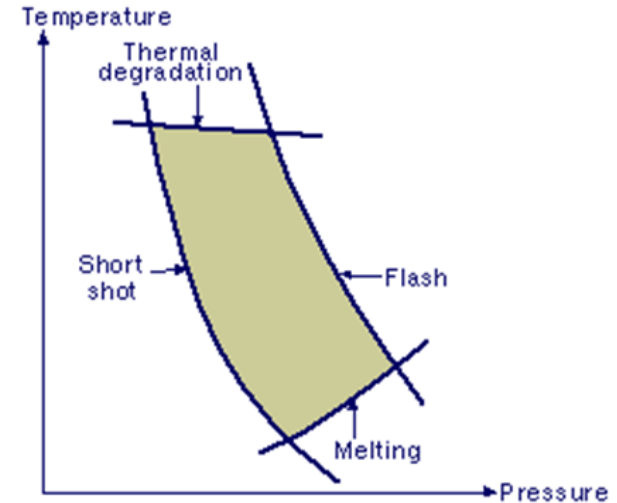
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MAŠINA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE

<i>Veličina</i>	<i>Jedinica</i>
<i>Sila zatvaranja</i>	<i>kN</i>
<i>Hod otvaranja</i>	<i>mm</i>
<i>Dimenzije ploča za alat</i>	<i>mm</i>
<i>Rastojanje između stubova</i>	<i>mm</i>
<i>Instalisana ukupna snaga motora</i>	<i>kW</i>
<i>Snaga motora za pogon hidraulike</i>	<i>kW</i>
<i>Prečnik puža</i>	<i>Mm</i>
<i>Relativna dužina puža L/D</i>	-
<i>Kapacitet ubrizgavanja</i>	<i>cm³</i>
<i>Kapacitet plastifikacije materijala</i>	<i>Kg/h</i>
<i>Maksimalni pritisak ubrizgavanja</i>	<i>bar</i>
<i>Maksimalni protok ubrizgavanja</i>	<i>Cm³/s</i>
<i>Obrtni moment puža</i>	<i>Nm</i>
<i>Gabariti mašine AxBxC</i>	<i>M</i>
<i>Masa mašine</i>	

Injection Unit	Screw diameter, mm	28
	Injection capacity, cm ³	69
	Plasticising capacity, kg/hr	28
	Injection pressure, MPa	243
	Packing pressure, MPa	205
Ejection Unit	Clamping force, tf	80
	Clamping stroke, mm	300
	Mould thickness, mm	200 – 385
	Ejector force, tf	2
	Ejector troke, mm	75
Other	Heating capacity,kW	8.36
	Machine dimensions (L x W x H), m	4.19 x 1.12 x 68
	Machine weight, tonne	3.7

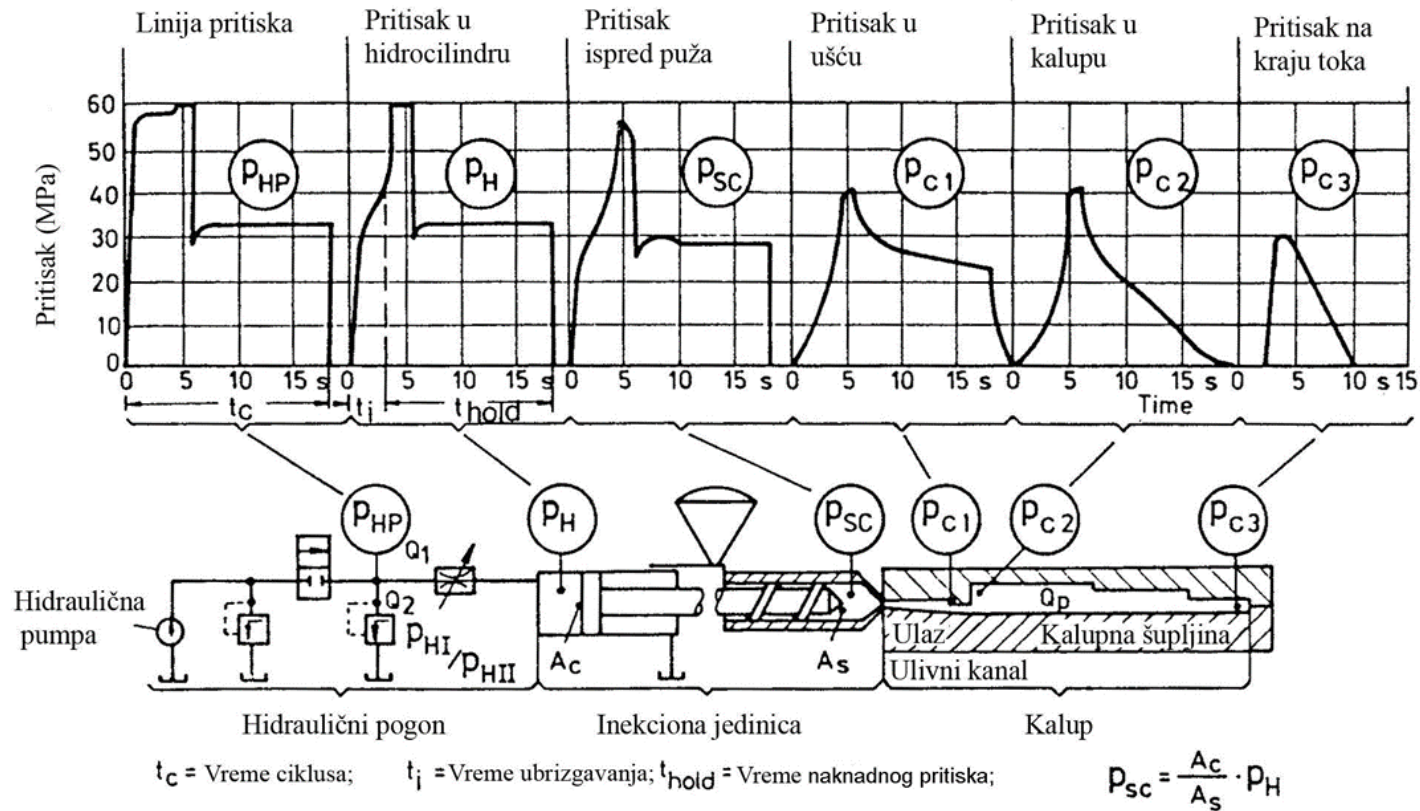
PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

- ❖ Pritisak
- ❖ Temperatura
- ❖ Brzina presovanja
- Hod puža
- Kontra pritisak
- Vreme zadržavanje mase u cilindru



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

PRITISAK



P_{HP} – pritisak pumpe

P_H – pritisak u hidrocilindru

P_{SC} – pritisak ispred puža, sličan sa P_H

P_{C1} – pritisak u ušću

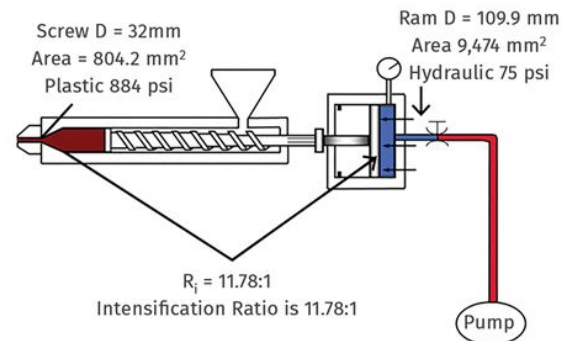
P_{C2} – pritisak u kalupu

P_{C3} – pritisak na kraju toka

Profili pritiska P_{HP} , P_H , P_{SC} su slični

$$P_{SC} = P_H \cdot \frac{A_c}{A_s}$$

Hydraulic vs. Plastic Pressure

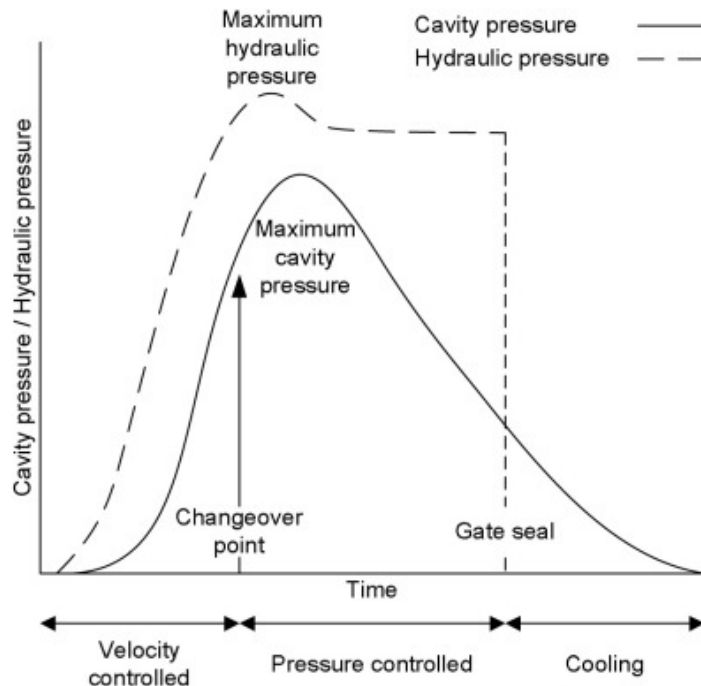


PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

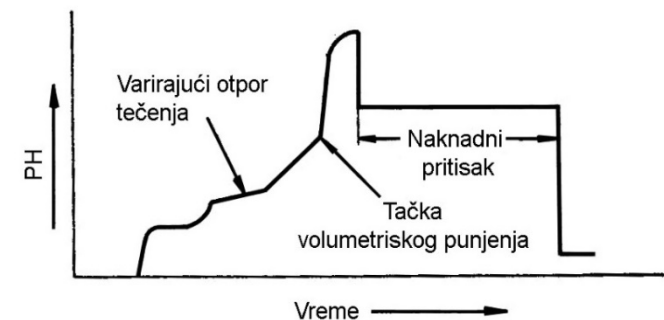
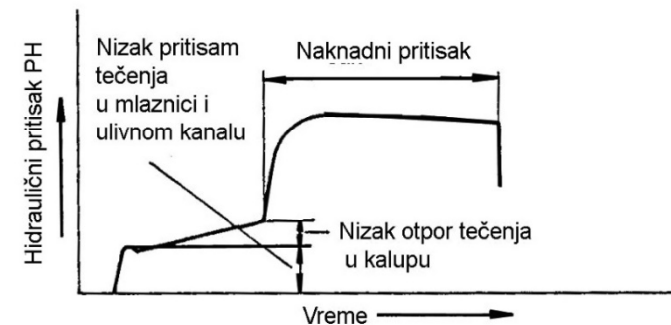
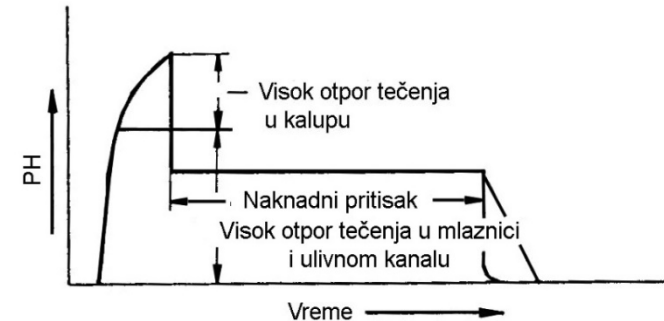
HIDRAULIČNI PRITISAK – PRITISAK UBRIZGAVANJA

Hidraulični pritisak

- *pritisak u pogonskom sistemu mašine potreban da se savladaju otpori u dizni, ulivnom sistemu i otpori tečenja u kalupu*
- *preporučuje se njegovo merenje i praćenje tokom radnog ciklusa*

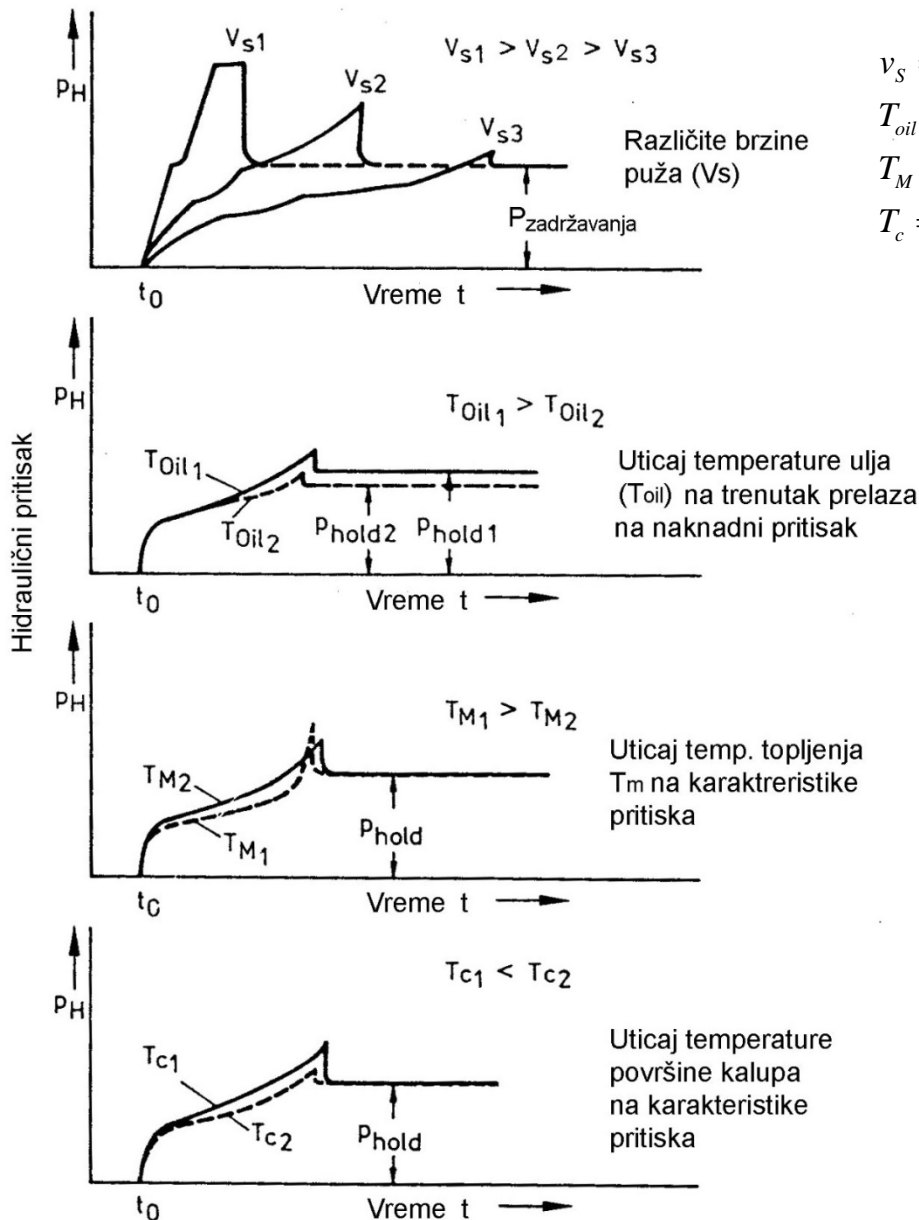


Uticaj otpora tečenja na hidraulični pritisak



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

HIDRAULIČNI PRITISAK – PRITISAK UBRIZGAVANJA

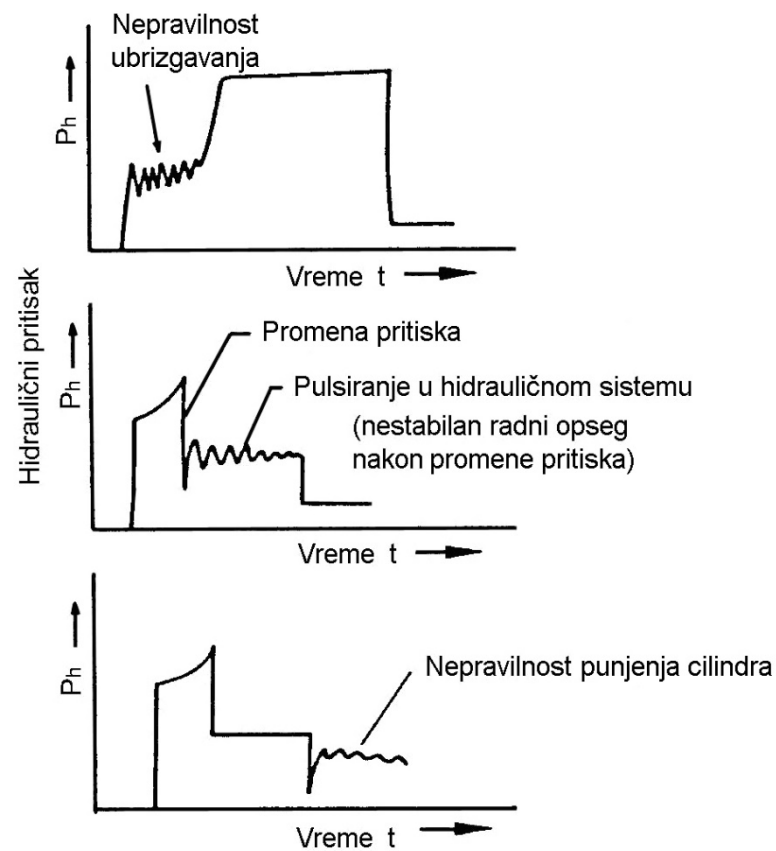


v_s = brzina puža u aksijalnom pravcu

T_{oil} = temperatura ulja

T_M = temperatura polimera

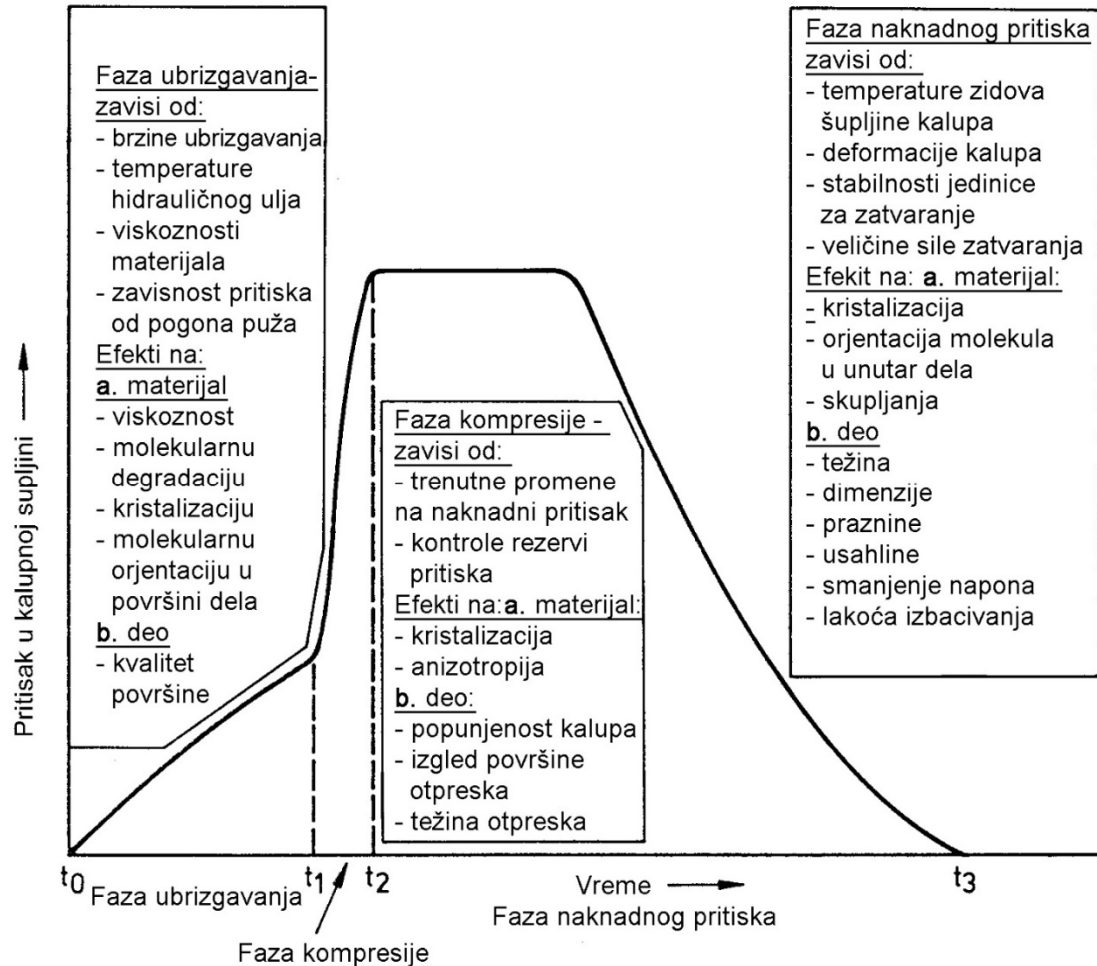
T_c = temperatura površine kalupa



Pulsiranje hidrauličnog pritiska

PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

PRITISAK U KALUPU



- Faza ubrizgavanja utiče na izgled obratka, faza naknadnog pritiska utiče na dimenzije obratka.
- Pritisak u fazi ubrizgavanja zavisí od otpora u dizni i ulivnom sistemu ali ne utiče bitnije na proces oblikovanja.
- Kompresioni i naknadni pritisak (*faza 2 i faza 3*) su važniji za proces oblikovanja.

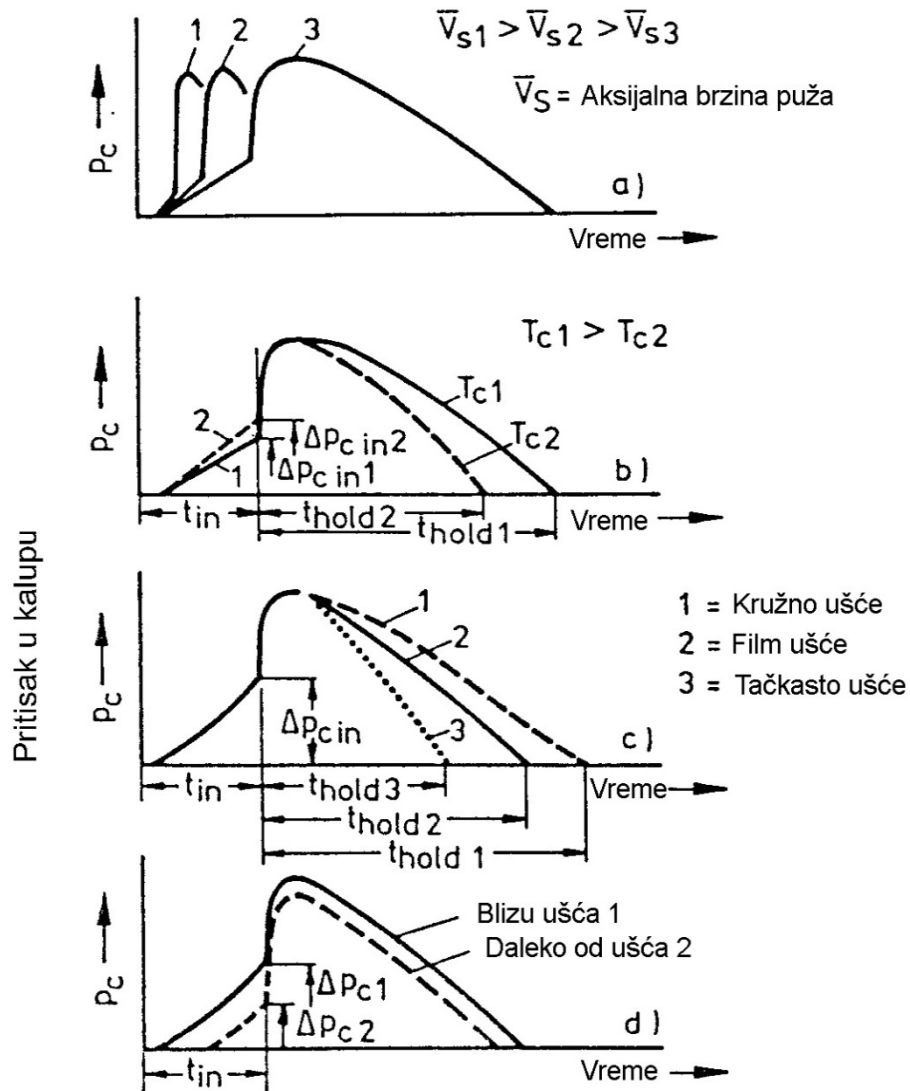
Faza 1 - punjenje kalupa (ubrizgavanje)

Faza 2 - kompresija polimera

Faza 3 - državanje pod pritiskom/dejstvo naknadnog pritiska

PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

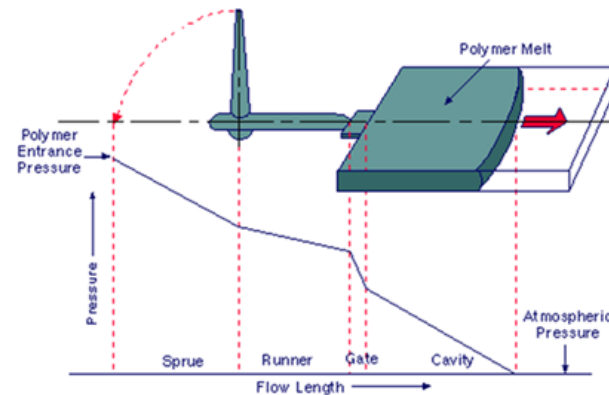
PRITISAK U KALUPU



a) uticaj brzine aksijalnog pomeranja puža u fazi ubrizgavanja – odražava se na pritisak u fazi kompresije

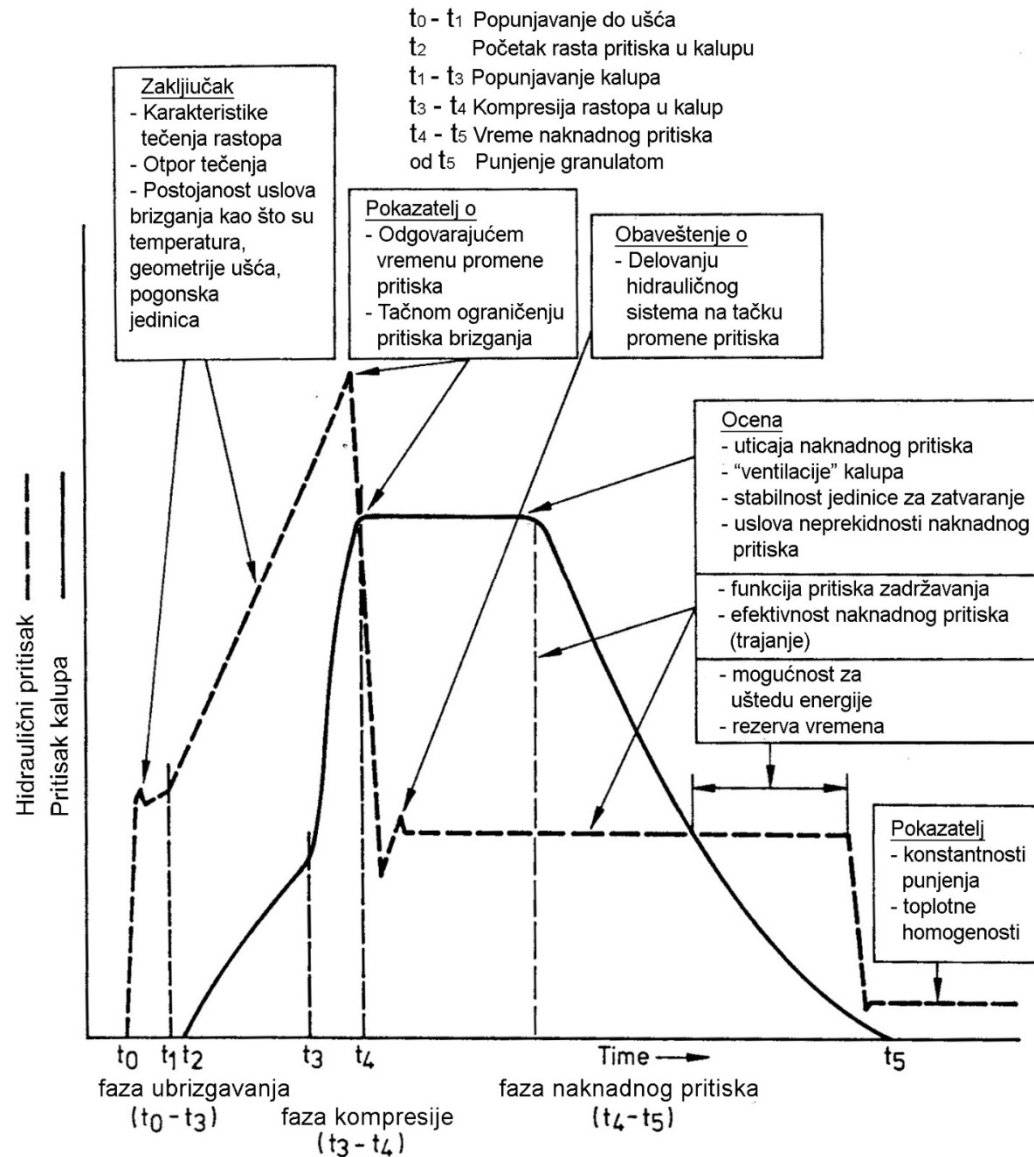
b) uticaj temperature - veća temperatura kalupa omogućuje propagiranje pritiska u kalupu

c) oblik ušća značajno utiče na profil u fazi naknadnog pritiska



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

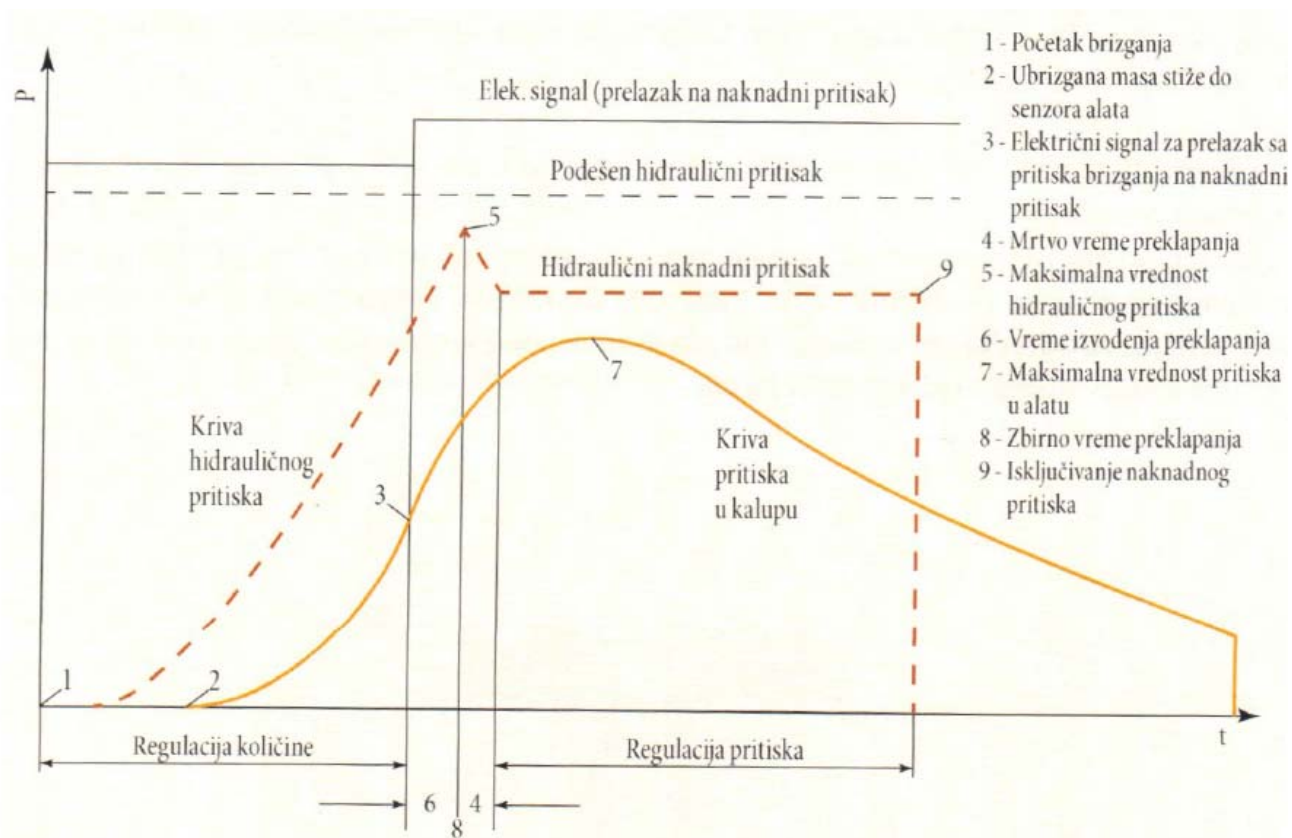
HIDRAULIČNI PRITISAK – PRITISAK U KLUPU



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

- Kada se pod uticajem pritiska brizganja popuni kalup završava se dinamičko punjenje pa je u nastavku procesa potrebno dovesti minimalnu količinu rastopa da se nadomesti prazan prostor koji nastaje zbog skupljanja rastopa tokom hlađenja.
- Za dodatno popunjavanje kalupa potreban je niži pritisak koji nazivamo **naknadni pritisak**.



- ✓ Naknadni pritisak se podešava u visini od 40 do 70 % od pritiska ubrizgavanja
- ✓ Prelazak se obično uradi kod 80 do 98% zapreminske popunjenosti kalupne šupljine.
- ✓ Konstantan ili promenljiv (stepenasti profil)

PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

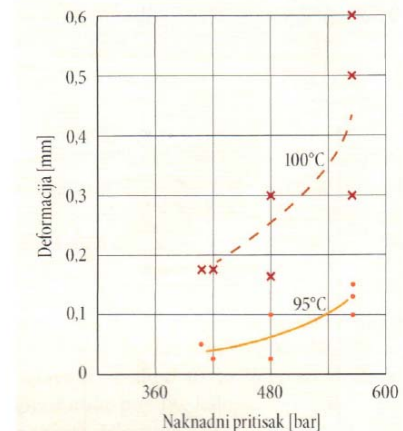
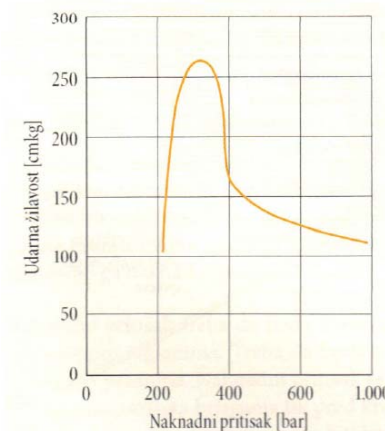
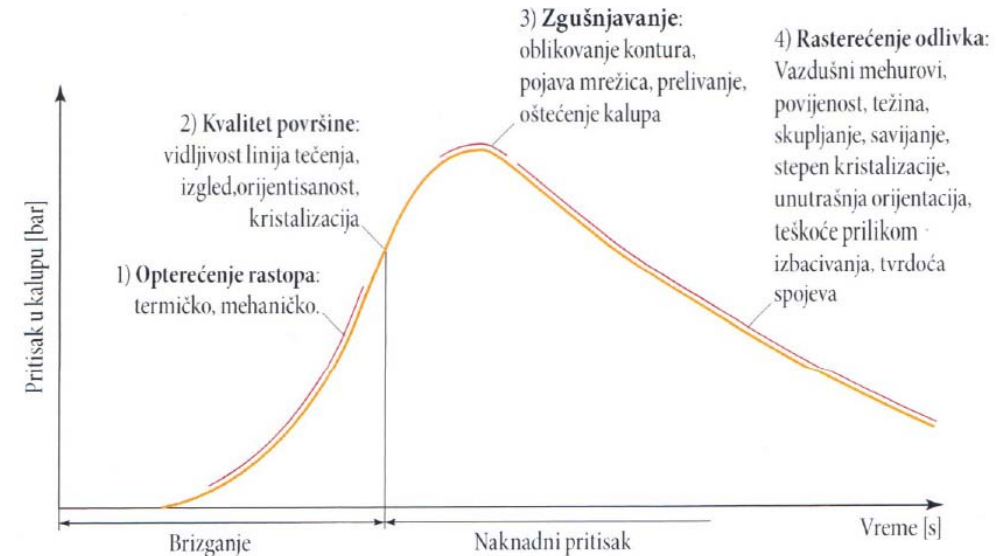
Podešavanje naknadnog pritiska - pravilno moraju biti izabrana **veličina naknadnog pritiska, vremena delovanja naknadnog pritiska, tačka prelaska na naknadni pritisak, kao i temperatura alata i rastopa.**

Previsok naknadni pritisak prouzrokuje:

- veće unutrašnje napone,
- veće deformacije kod toplotnih opterećenja,
- pucanje tokom izbacivanja,
- veće dimenzije,
- veću težinu,
- mreže,
- veće opterećenje/oštećenje alata.

Nedovoljno visko naknadni pritisak prouzrokuje:

- povijenost ,
- nedolivenost ,
- mehuriće,
- manje dimenzije,
- veće skupljanje,
- manju težinu,
- velike fluktuacije od ciklusa do ciklusa.
- iskrivljenost
- neponjenost kalupa



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

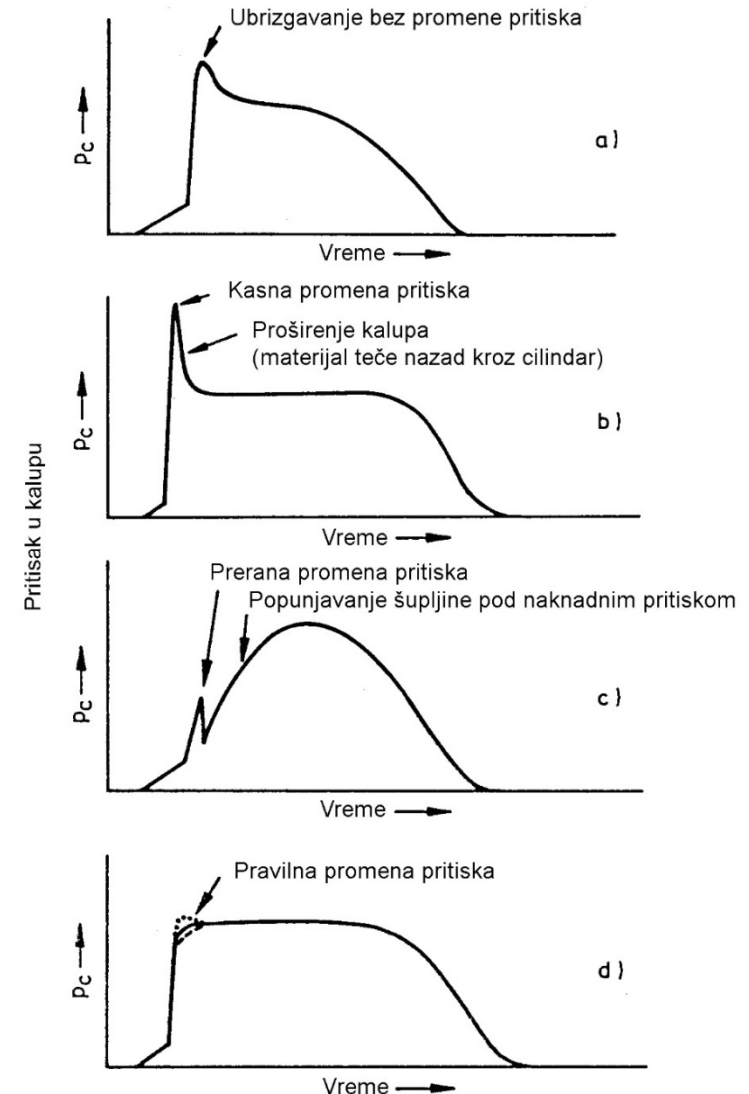
Promena pritiska (switch-over) – prelazak na naknadni pritisak

Promena na naknadni pritisak mora biti pravovremena.

- 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

Promena pritiska vrši se u zavisnosti od:

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



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

Uticaj promene na veličinu pritiska u kalupu

Promena je prerana:

- Moramo ubrizgati veliku količinu mase sa niskim naknadnim pritiskom i malom brzinom.
- Nedovoljna popunjenost kalupa
- Lagani i nekvalitetni proizvodi

Promena je prekasna:

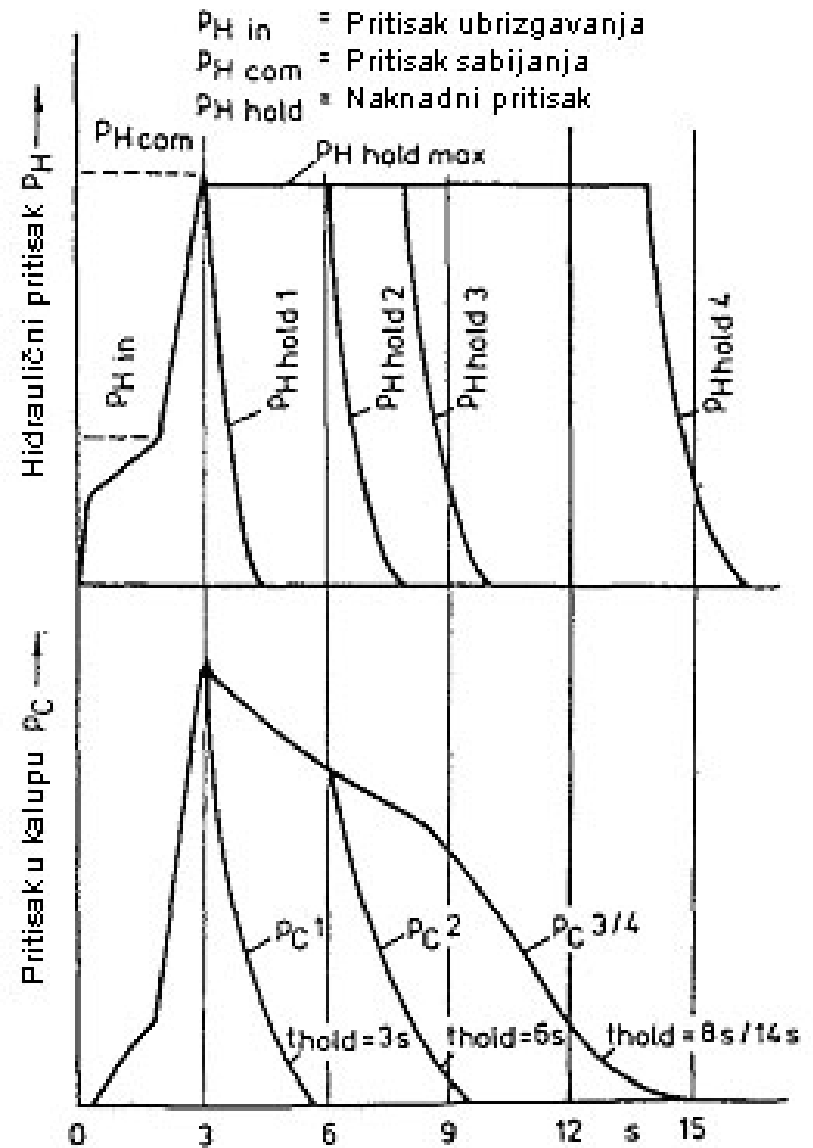
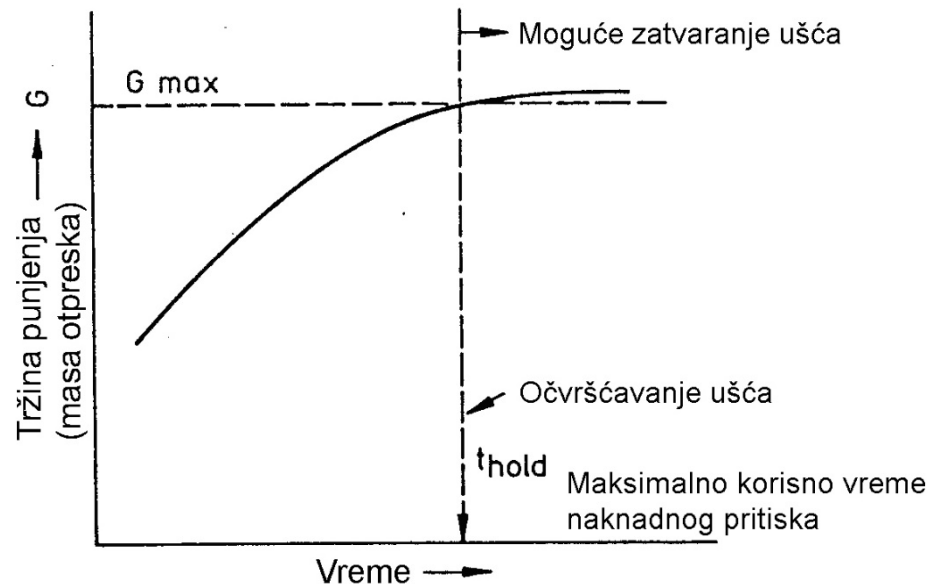
- Prelivanje
- Proizvod s unutrašnjim naponima
- Opasnost oštećenja alata



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

- ❑ 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.



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

Vreme naknadnog pritiska

Vreme naknadnog pritiska treba da bude toliko dugo da se masa u ulivnom otvoru stegne. Nakon stezanja, masa ne može da se vrati nazad u cilindar. Vreme nakon tog stezanja nema nikakav značaj.

Zavisi od ulivnog i debljine proizvoda. Kako se ulivni otvor ne bi stegao pre vremena, sledeći uslovi moraju biti ispunjeni:

- ulivni otvor mora biti dovoljno velik i to od 45 do 75 % debljine zida proizvoda,
- alat mora biti adekvatno zagrejan.

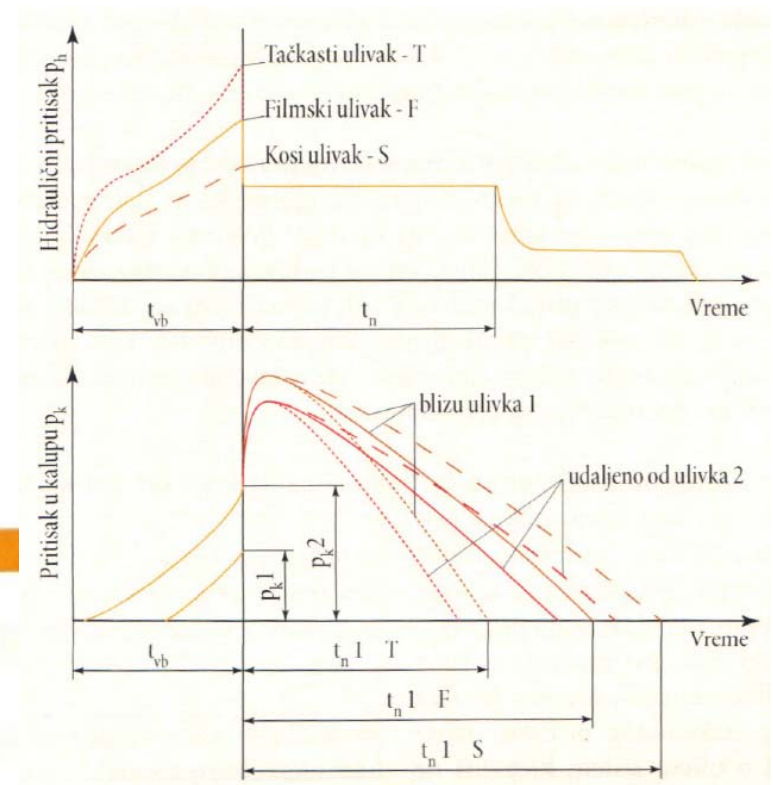
Orientaciono vreme naknadnog pritiska:

- ambalažni proizvodi: 0,1–0,5 s,
- tačkasti odlivak: 0,5–3 s,
 - kosi odlivak: 5–10 s,
 - sočiva debljine 12 do 15 mm: do 120 s.

Efektivno vreme određujemo pomoću:

- vaganja proizvoda
- granične krive pritiska u alatu

	amorfni	delimično kristalni
naknadni pritisak	opada sa vremenom	kostantan
ulazni otvor	zatvoren nakon završenog dinamičkog punjenja	otvoren do kraja kristalizacije
vreme naknadnog pritiska	kratko	dugo
greške	prepunjenost naponski rascepi usahline	izvijenost šupljine



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

NAKNADNI PRITISAK

Kristalni materijali zahtevaju duže vreme delovanja naknadnog pritiska - zavisi od brzine njihove kristalizacije..

Materijal: **Vreme kristalizacije (s/mm debljine)**

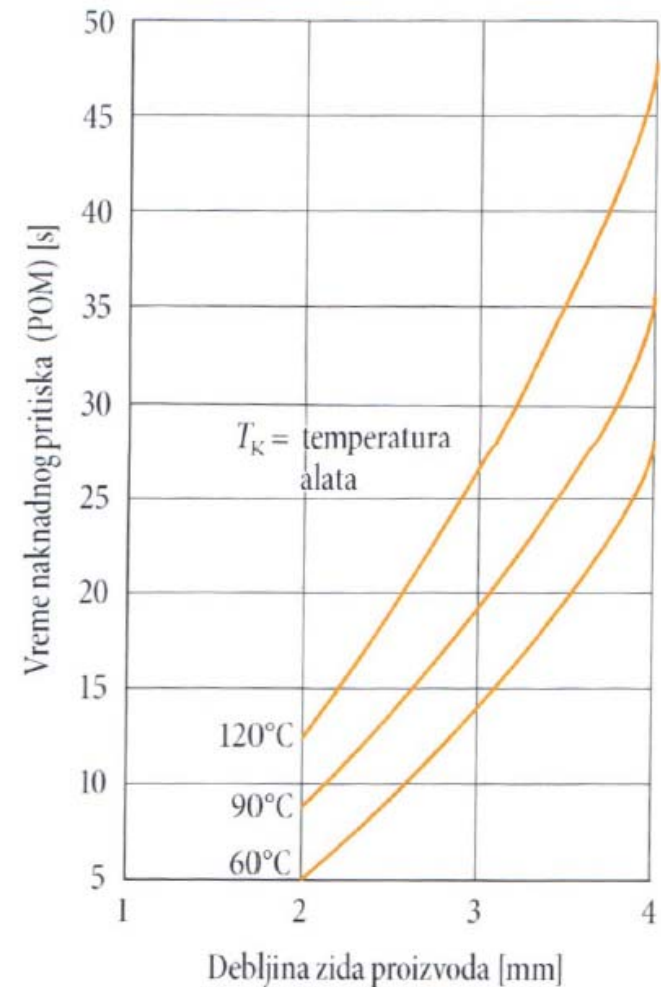
POM	7,5 - 8,5
PA66	3,5 - 4,5
PA66 GF30	2,5 - 3,5
PBTP	3,5 - 4,5
PBTP GF30	2,5 - 3,5

Produženo vreme dejstva naknadnog pritiska

- povećanje težine,
- povećanje debljine,
- smanjenje skupljanja.

Prekratko vreme naknadnog pritiska:

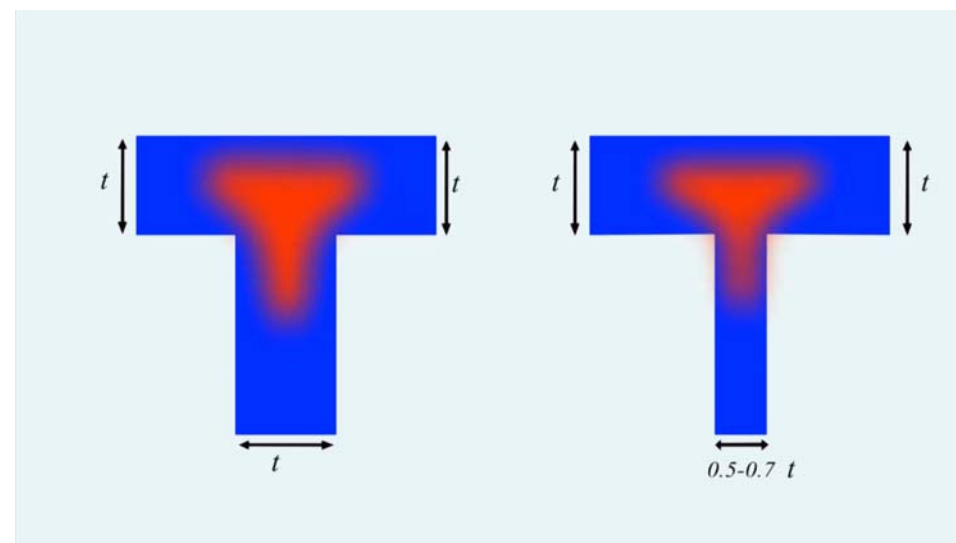
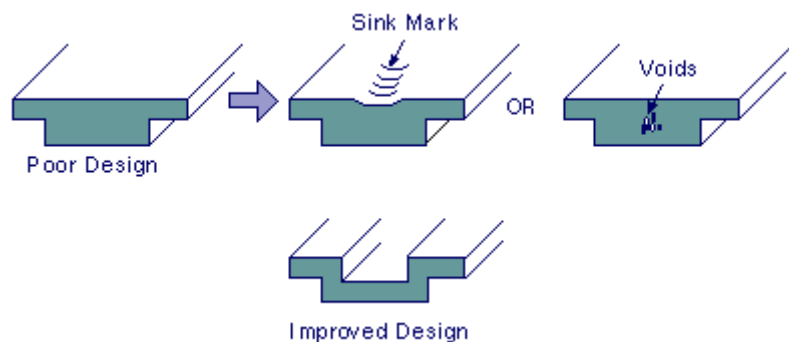
- premalo napunjene proizvode ,
- loše spojeve kod toka mase,
- manje dimenzije,
- veliko variranje dimenzija,
- izvijanje,
- uključke vazduha.
- nepopunjenost kalupne šupljine



Utjecajne veličine		Način djelovanja
Pritisak ubrizgavanja	previsok	pritisak u alatu velik, srh na proizvodu
	preнизak	lagano punjenje kalupa, slaba mjesta u i na proizvodu
	djeluje prekratko	lagano punjenje, prelagani proizvod
	djeluje predugo	težak proizvod, napetosti u proizvodu
Brzina ubrizgavanja, odnosno brzina punjenja	previsoka	manja orijentacija molekula, stvaranje slobodnog mlaza, izgaranja na proizvodu
	premala	slabo zavarivanje strujne mase, šupljikavost, velika temperaturna razlika u masi

Naknadni pritisak	Način djelovanja	
preнизak	usahline (sl.3), udubljena	veliko kolebanje odstupanja i skupljanja, manja težina i premali proizvod
prekratko djelovanje	niži stupanj popunjenja kalupa	
predugo djelovanje	bez djelovanja	
previsok	prepunjeno	

Tablica 1: Djelovanje naknadnog pritiska



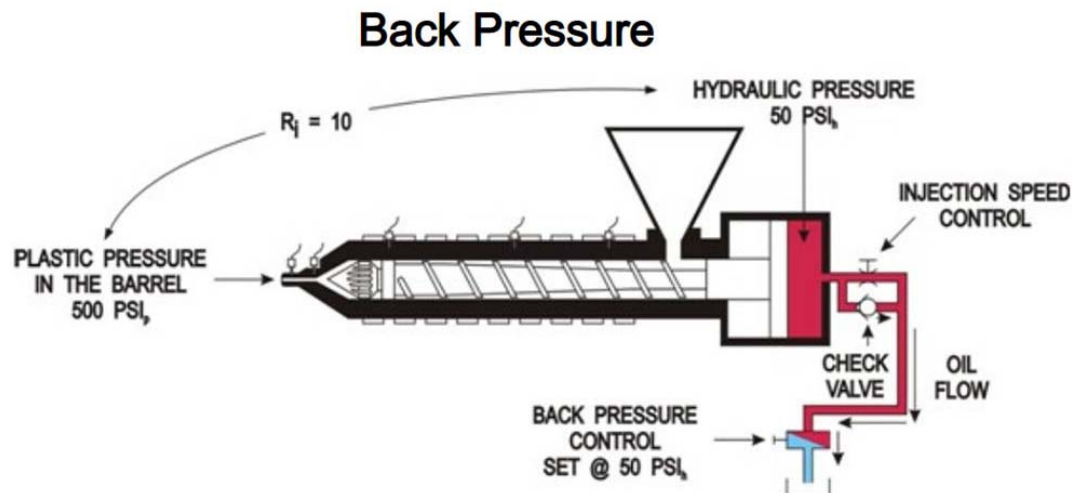
PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

KONTRA PRITISAK

- Kontra pritisak je podešeni pritisak u smeru ose puža koji sprečava da se puž tokom plastifikacije nekontrolisano pomera unazad.
- Ovaj pritisak tokom plastifikacije zgušnjava dovedenu masu, a vazdušni uključci se istiskuju i ne prouzrokuju smetnje tokom brizganja.
- Kontra pritisak ima veliki uticaj na temperaturu rastopa - temperatura rastopa proporcionalna je kontra pritisku (zbog povećanog unutrašnjeg trenja i zbog toga produženog vremena plastifikacije).

Drugi uticaji kontra pritiska:

- ravnomerno dovođenje rastopa bez uključaka vazduha,
- bolja homogenost plastifikovane mase i regulisana temperatura mase,
- konstantna težina proizvoda od brizganja do brizganja,
- umereno povećanje dobro utiče na ravnomerno raspodeljivanje boja u masi.



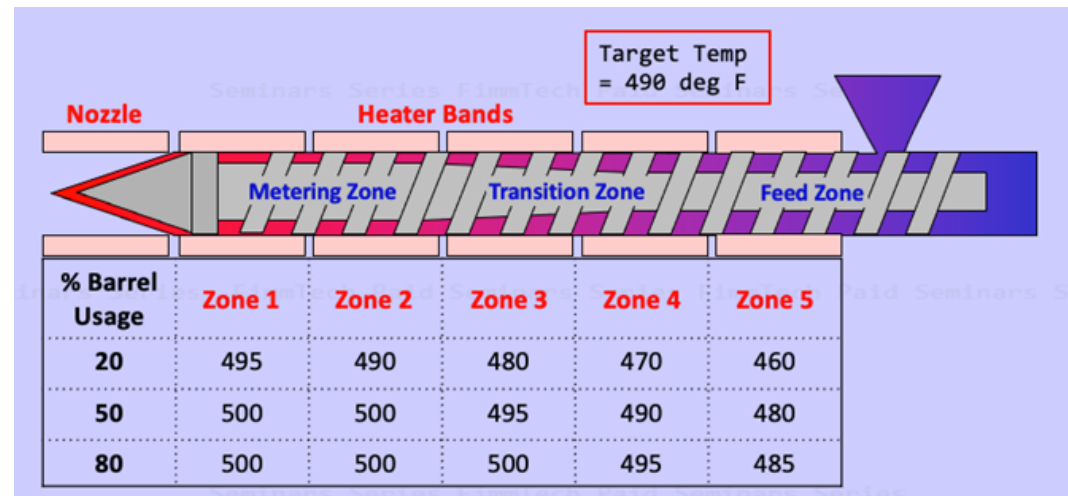
PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

TEMPERATURA

- Konstantnost temperature rastopa bitan je uslov za dostizanje odgovarajućeg kvaliteta proizvoda.
- Sa promenom temperature rastopa menjaju se sve termodinamičke osobine rastopa (viskoznost, specifična zapremina) kao i druge veličine kao što su: kristalisanost, molekulska orijentisanost, mehaničke osobine ulivka kao i njegov spoljašnji izgled.
- Proizvođači mašina i materijala preporučuju za svaki materijal takvo podešavanje temperatura na pojedinim zonama cilindra, da je temperatura rastopa uzduž aksijalne ose cilindra u predelu između mlaznice i zadnjeg položaja vrha puža što ravnomernija.
- Definisane optimalne temperature rastopa kao i donje i gornje dozvoljene temperature rastopa.
- Temperatura rastopa **ispod donje dozvoljene granice** prouzrokuje velika opterećenja delova puža, pa zato dolazi do oštećenja i loma.
- **Prekoračenje gornje temperature rastopa** prouzrokuje kod nekih masa rastvaranje i izlučivanje supstanci štetnih po zdravlje, kao što se događa kod materijala PVC i POM.

Temperature rastopa najviše zavisi od:

- trenja
- grejača
- hod puža,
- kontrapritisak,
- broj obrtaja puža,
- vreme zadržavanja mase u cilindru (vreme ciklusa).

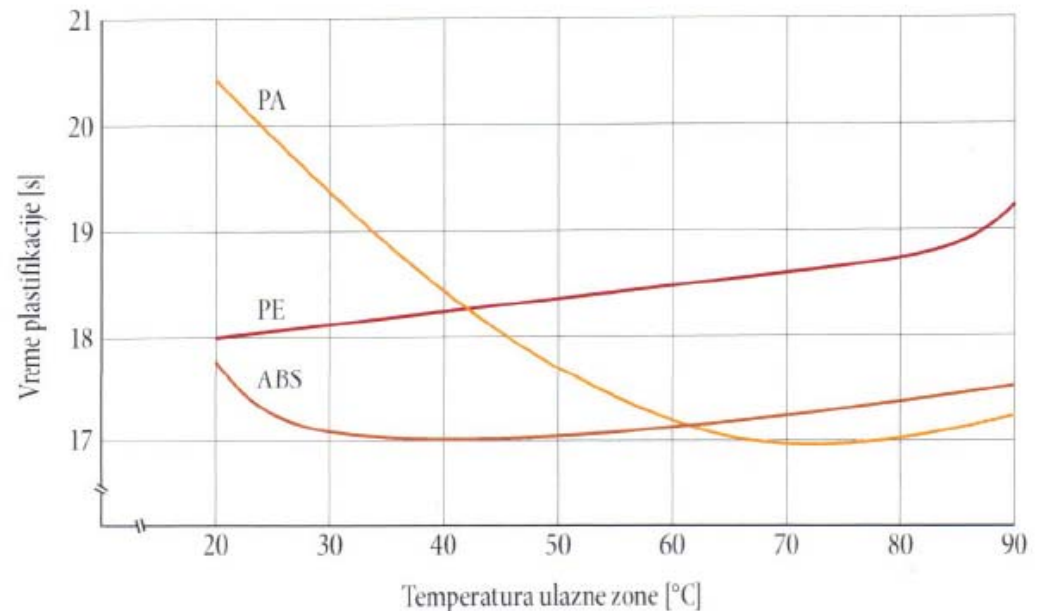


PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

TEMPERATURA

Temperatura ulazne zone

- Direktno utiče na vreme plastifikacije.
- Optimalna temperatura ulazne zone se određuje u zavisnosti od najkraće postignutog vremena plastifikacije i zavisi od vrste materijala
- Kod temperatura ulazne zone oko 60 ° C postoji opasnost skupljenja kamenca u kanalima za hlađenje
- Previsoka temperatura ulazne zone:
 - puž se vrti u mestu ili se usporeno pomera unazad - dovođenje materijala je nedovoljno i otežano.
 - lepljenje granulata u ulaznom levku za materijal
- Nepravilna temperatura ulazne zone se često odražava kao vidljiva greška u obliku crnih tački na površini proizvoda



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

TEMPERATURA

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

Temperatura ulja

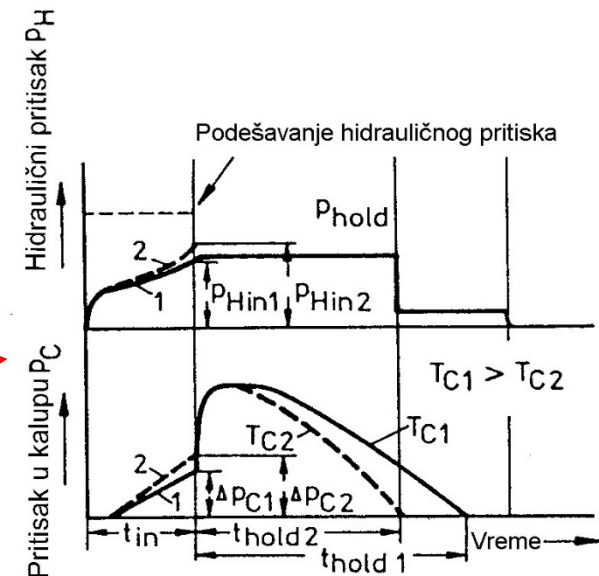
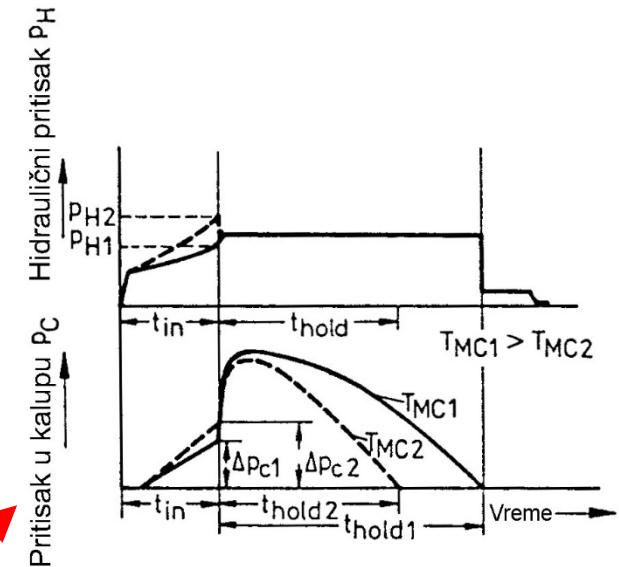
Konstantnost temperature ulja je vrlo značajna za jednakomeran rad hidrauličnih elemenata. Preporučena temperatura hidrauličnog ulja je 45–50 °C

Temperatura rastopa

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

Temperatura kalupa

Temperatura kalupa je glavni uticajni faktor ekonomičnosti procesa, tačnosti dimenzija i kvaliteta popunjavanje kalupa. Temperatura kalupa zavisi od sistema hlađenja!



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

TEMPERATURA

Opšti uticaj temperature rastopa

Povećanje temperature :

bolji tok, bolji prenos pritiska u alatu, potreban manji pritisak brizganja zbog manjeg otpora, kraće vreme zadržavanja mase u cilindru, duže vreme hlađenja.

Previsoka temperatura uzrokuje:

smetnje u ulaznoj zoni, toplotno rastvaranje mase, promenu boje, lošije osobine proizvoda.

Greške na proizvodu zbog previsoke temperature:

posvetljenost, prelivanje, srebrne trake i pruge , smeđe trake, iskrivljenost .

Greške na proizvodu zbog preniske temperature:

Krako punjenje , linije tečenja zbog razlike u debljini zidova i obliku prelaza između zidova, nabrazdana površina (izgled gramofonske ploče), linije livenja .

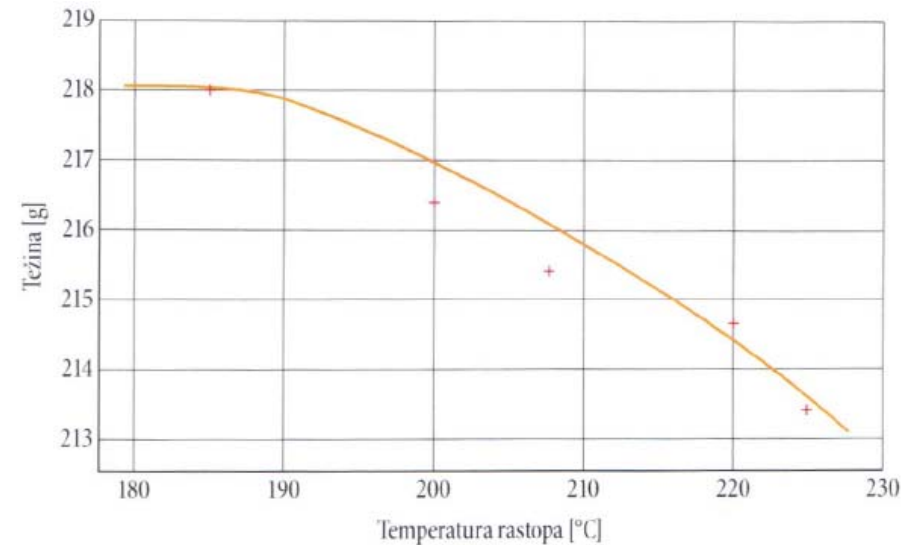


Table 2.1: Recommended processing temperatures for thermoplastics [1 to 3]

Polymer	Abbreviation	Temperatures °C						
		Melt	Feed zone	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Nozzle	Mold
Polyethylene	PE-LD	160–270	20–30	140–200	200–250	220–250	220–270	20–70
	PE-LLD	160–200	20–30	140–160	160–200	180–200	180–200	20–60
	PE-HD	200–300	20–30	140–200	200–300	200–300	20–300	10–90
	PE-UHMW	200–250	20–30	140–200	180–220	200–250	200–250	40–70
Ethylene butylacrylate copol.	EBA	180–240	30–60	150–160	160–220	180–240	180–240	20–60
Ethylene vinylacetate copol.	EVA	130–240	30–40	130–160	130–220	130–240	130–240	10–50
Ethylene vinylalcohol copol.	EVAL (EVOH)	180–220	30–60	150–160	180–220	180–220	180–220	20–40
Polypropylene	PP	200–300	20–30	150–210	210–250	240–290	240–300	20–100
Polystyrene and styrene copolymers	PS	170–280	20–30	150–180	180–230	210–280	220–280	10–60
	SB	190–280	20–30	140–180	180–230	210–280	220–280	30–60
	SAN	200–260	35–45	150–180	200–220	200–250	200–260	30–80
	ABS	200–260	80–100	150–180	200–220	200–250	200–260	40–60
	ASA	220–260	80–100	160–200	200–220	220–250	220–260	40–60
Styrene butadiene styrene copol.	SBS	190–260	35–45	140–180	190–220	190–250	190–260	15–80
Styrene ethylene butadiene styrene copol.	SEBS	190–260	35–45	140–180	190–220	190–250	190–260	15–80
Polyvinyl chloride	PVC-U	170–210	30–40	135–160	165–180	180–205	180–210	20–60
	PVC-P	160–190	40	125–150	150–175	160–190	150–190	20–60
Polychlorotrifluoroethylene	PCTFE	270–280	50–80	250–270	270–280	270–280	270–280	80–130
Fluorinated ethylene propylene copol.	FEP	310–400	100–150	160–250	250–300	310–380	310–400	93–250
Perfluoroalkoxy copol.	PFA	380–400	100–150	170–260	260–300	320–380	380–400	95–230
Ethylene tetrafluoroethylene copol.	ETFE	300–340	100–150	150–250	250–300	300–330	330–340	80–150
Polyvinylidene fluoride	PVDF	230–270	100–120	200–220	220–250	230–260	230–270	60–90
Ethylene chlorotrifluoroethylene copol.	ECTFE	260–300	100–130	150–240	240–270	270–280	280–300	60–120
Polyarylate	PAR	320–370	120–140	240–280	290–350	320–360	320–370	65–130
Polymethylmethacrylate	PMMA	190–290	50–60	135–180	185–225	190–290	190–290	40–80
Polyoxymethylene	POM	180–230	30–40	150–180	180–205	180–230	180–230	40–120
Polycarbonate	PC	270–380	70–90	235–270	270–310	270–380	270–380	80–120

Table 2.1: (continued)

Polymer	Abbreviation	Temperatures °C						
		Melt	Feed zone	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Nozzle	Mold
Polyamide	PA 6	240–290	60–80	210–220	230–260	240–290	240–290	60–100
	PA 66	260–300	60–80	230–240	250–260	260–300	250–300	40–90
	PA610	230–290	60–80	200–210	220–260	230–270	230–290	40–80
	PA612	230–300	60–80	230–240	250–260	260–300	250–300	15–30
	PA11	200–270	60–80	200–240	200–260	200–270	200–270	40–80
	PA12	160–270	60–80	200–240	200–260	200–270	200–270	20–100
	PA46	305–310	80–120	220–240	230–280	250–300	250–310	60–120
	PA6-3-T	250–320	80–120	220–240	240–280	280–300	305–320	70–80
Cellulose acetate butyrate	CAB	180–220	40	130–140	150–175	160–220	160–220	40–80
Cellulose acetate	CA	180–220	40	135–165	140–185	165–200	185–220	40–80
Cellulose propionate	CP	190–230	40	160–190	190–230	190–230	190–230	40–80
Polyphenylene oxide (polyphenylene ether)	PPO (PPE)	230–300	40	220–280	280–300	230–300	230–300	80–105
Polysulfone	PSU	310–390	70	250–270	290–330	310–370	300–390	95–160
Polyarylsulfone	PASU	345–390	70	250–270	300–340	320–370	345–390	140–165
Polyethersulfone	PES	320–390	70	250–270	290–330	320–370	320–390	100–160
Polyphenylene sulfide	PPS	300–370	70	250–260	290–330	300–370	300–370	130–170
Polyetheretherketone	PEEK	360–400	120–140	250–280	340–360	360–390	360–400	120–160
Polymethacrylimide	PMI	270–310	70	220–250	260–300	270–300	270–310	80–150
Polyamideimide	PAI	335–360	120–140	240–260	310–350	335–360	335–360	200–230
Polyetherimide	PEI	340–425	120–140	250–280	320–360	330–400	340–425	65–175
Liquid crystal polymers	LCP	280–400						30–150
Thermoplastic elastomer based on PS PP Polyester Polyurethane	TPE-S (TPS)	175–250	60–80	140–200	170–220	175–250	175–260	10–90
	TPE-O (TPO)	180–220	80–100	140–180	160–200	180–220	180–220	50–80
	TPE-C (TPC)	150–250	80–100	120–200	130–200	150–240	150–250	50–80
	TPE-U (TPU)	190–220	40–60	135–165	140–185	190–220	190–220	40–80
Ionomers (Surlyn®)		290–330	90	90–170	130–215	140–215	140–220	10–30
Poly-4-methyl-1-pentene	PMP	260–320	60–80	240–270	250–280	250–290	250–300	40–60
Polyethylene terephthalate	PET	260–280	60–80	240–250	245–255	250–260	250–260	90–140
Polybutylene terephthalate	PBT	260–280	60–80	230–250	240–250	245–260	245–260	80–140

PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

TEMPERATURA

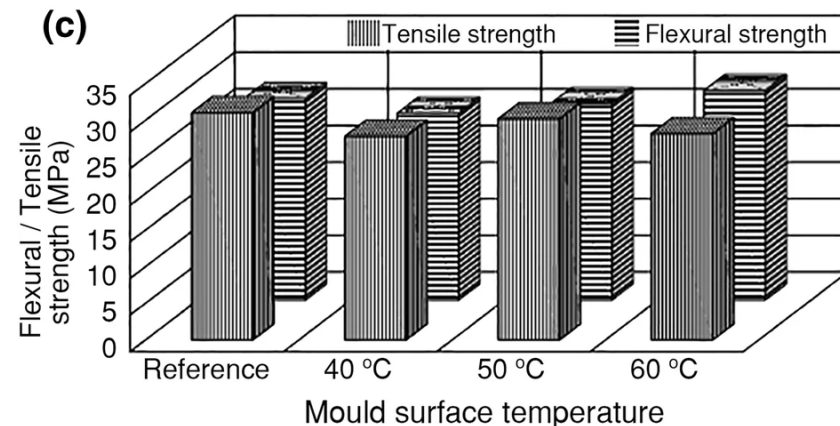
Temperatura alata

Temperatura alata utiče u velikoj meri na izgled površine proizvoda, na uslove vađenja proizvoda i na opšte uslove brizganja.

Za dostizanje dobrog kvaliteta proizvoda mora biti obezbeđena vrlo ujednačena temperatura alata - fluktuacija stvarne temperature alata ne sme biti veća od ± 1 do 2° C .

Povećanje temperature alata znači:

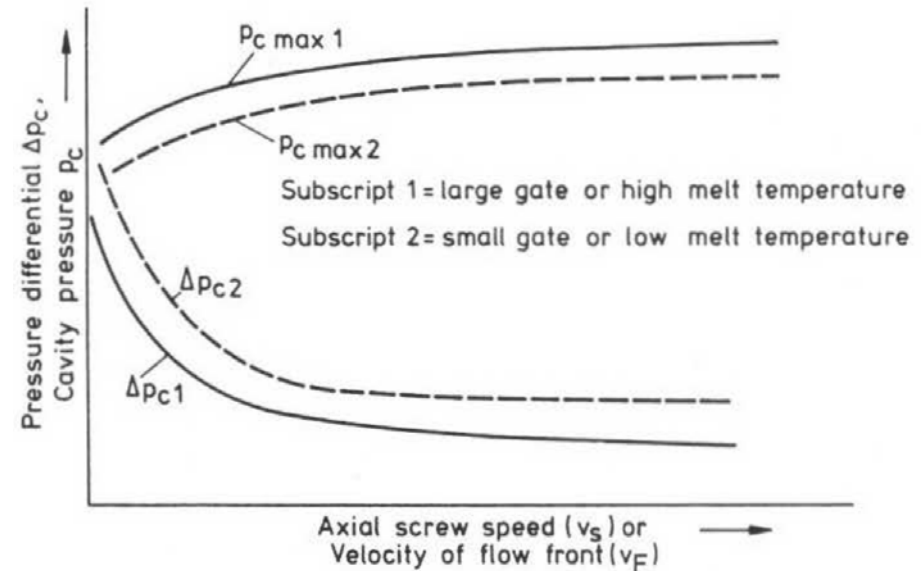
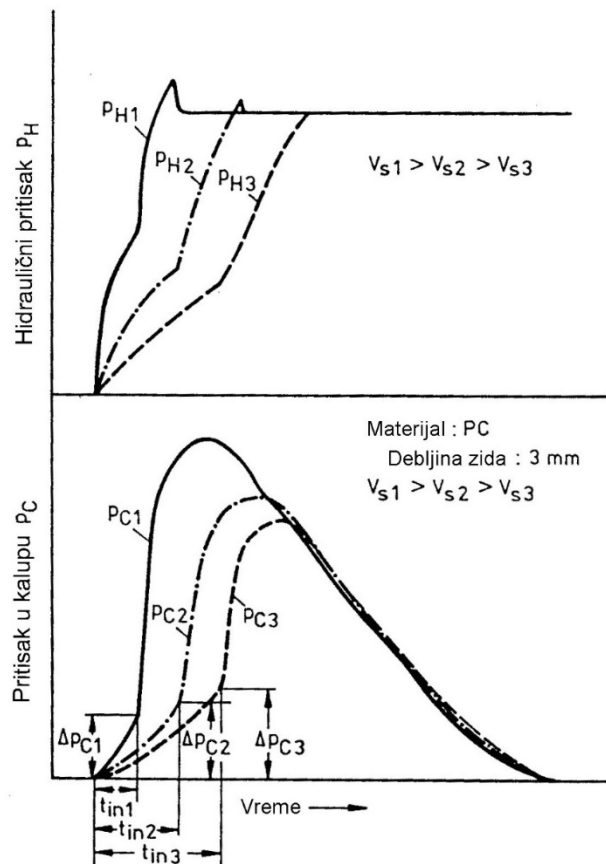
- veće skupljanje, redukcija unutrašnjih napona, ravnomerno skupljanje proizvoda nakon izbacivanja,
- bolju kristalizaciju kod kristalnih materijala i veću dimenzionu stabilnost,
- bolje proticanje mase,
- bolji površinski sjaj,
- bolje spajanje mase pri kontaktu ,
- bolji prenos pritiska,
- naknadni pritisak može da deluje duže vreme, jer je ulivno mesto duže vreme protočno,
- manje naknadno skupljanje kod kristalnih materijala,
- uže tolerancijsko polje,
- duži ciklus.



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

BRZINA PUŽA (AKSIJALNA)

- Brzina i pritisak brizganja su međusobno zavisni (slika levo).
- Aksijalna brzina vrha puža treba da bude od 20 do 200 cm/sek. Kod brzine ispod 20 cm/sek se pojavljuju znaci hlađenja rastopa, a kod brzine iznad 200 nastaju termička oštećenja.
- Pad pritiska u kalupu opada porastom aksijalne brzine puža (slika desno).
- Masa ne sme teći u alat u obliku mlaza , nego u obliku mirnog, jednakomernog ali brzog toka nazvanog miran tok. mlaza



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

BRZINA PUŽA (AKSIJALNA)

Opšta pravila za određivanje brzine brizganja:

Brizganje vršiti pri temperaturi koja onemogućava zamrzavanje makromolekula u prisilno orijentisanom stanju - posledica zamrznutog stanja su unutrašnji naponi koji prouzrokuju pukotine na proizvodu.

Za sprečavanje zamrzavanje makromolekula u orijentisanom stanju brzina brizganja mora biti *dosta velika i optimalno programirana*

Preporuke:

velika brzina: Što je tanji proizvod, brzina punjenja mora biti veća. Kod veće brzine punjenja potreban je niži pritisak punjenja, a tada je i prelivanje manje.

mala brzina: Kod veoma debelih proizvoda koristimo manje brzine kod kojih dostižemo ujednačenije uslove punjenja. Duže vreme brizganja uzrokuje naglo suženje kanala i time velike gubitke pritiska. Zato kanali moraju biti dobro dimenzionisani.

stepenovana brzina: Koristimo je za otklanjanje raznih grešaka usled oštih rubova, različitih debljina, nejednakomernih zidova itd., jer prouzrokuje klizanje rastopa, mladež e zbog preskakanja rastopa , zrake , trake i opekotine na površini proizvoda.

Veća brzina znači:

kraće vreme brizganja, dalji put toka, manji stepen konačne orijentisanosti, jednakomerniju kristalizaciju kristalnih materijala, bolje spajanje kontaktima, manje unutrašnje napone zbog manje temperaturne razlike.

Manja brzina znači:

bolji izgled površine kod debljih proizvoda, nema frikcione toplote, nema smicajnih pojava kod promene uslova toka zbog karakteristika oblikovanja proizvoda.

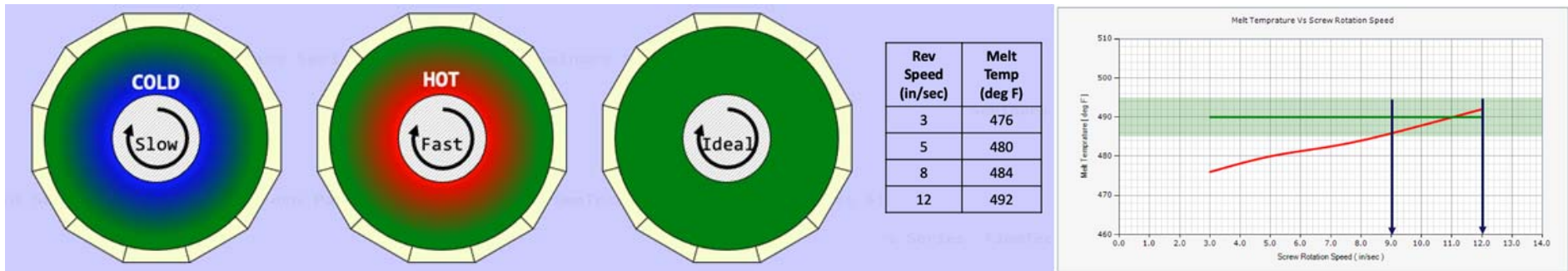
PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

BROJ OBRTAJA PUŽA

- Optimalni broj obrtaja puža i obrtni moment zavise od vrste materijala.
- Za dostizanje homogene mase potrebno je izabrati što niži broj obrtaja.
- Frikciono osetljivi materijali (PVC, tvrdi) zahtevaju nizak broj obrtaja (40 do 50 o/ min - obimna brzina manja od $0,2 \text{ ms}^{-1}$).

Uticaj broja obrtaja puža na temperaturu rastopa

Veliki uticaj na temperaturu rastopa – temp. je veća kod većeg broja obrtaja (veće trenje). Broj obrtaja puža u kombinaciji s hodom puža utiče na **nehomogenost temperature rastopa (temp. gradijenta) rastopa ispred vrha puža.**

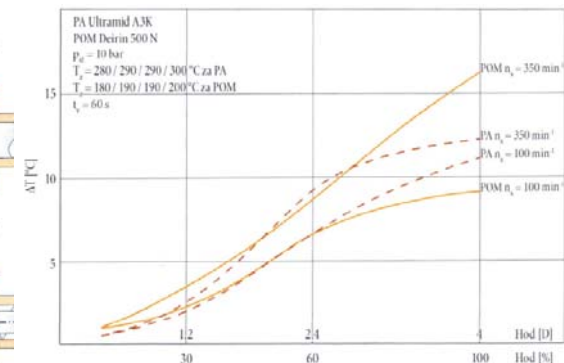
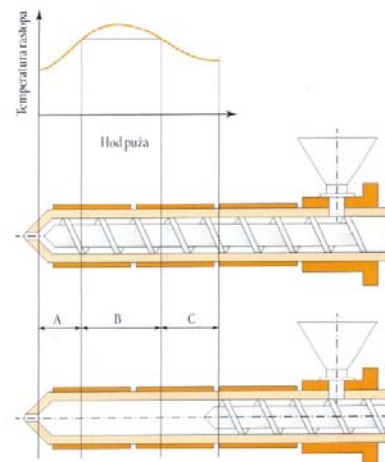


Nizak broj obrtaja znači:

- homogenu masu,
- malu frikcionu toplotu ,
- malu temperaturnu razliku u pogledu na hodom puž

Visok broj obrtaja znači:

- visoku sposobnost plastifikacije,
- veliku frikcionu toplotu ,
- veću temperaturnu razliku u pogledu na hod puža
- veću upotrebu toka.



PARAMETRI INJEKCIONOG PRESOVANJA

VREME HLAĐENJA

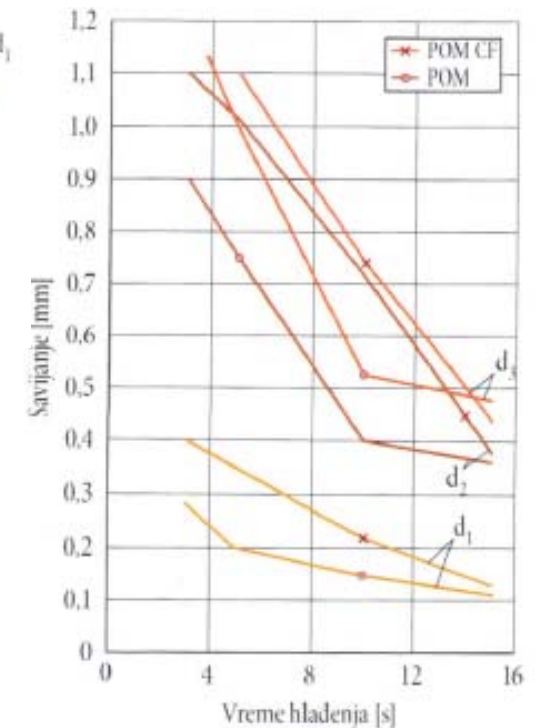
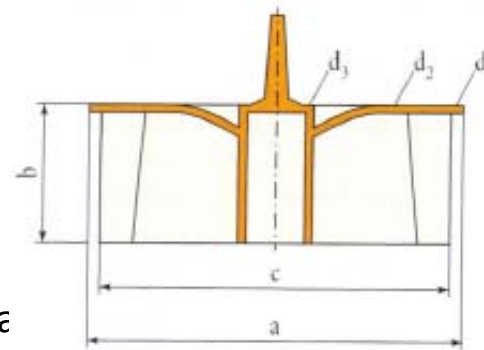
- Vreme hlađenja je vreme koje je potrebno da se rastop u kalupu ohladi do temperature na kojoj je proizvod moguće izbaciti bez oštećenja i deformacija i da dimenzije proizvoda budu u skladu sa zahtevima.
- Hlađenje se odvija u dve faze:
 - hlađenje pod dejstvom naknadnog pritiska,
 - hlađenje od vremena završetka naknadnog pritiska do završenog hlađenja i očvršćavanja proizvoda.
- Zavisí od mnogih karakteristika kao što su vrsta mase, debljina proizvoda, oblik proizvoda, temperatura alata i vrsta sistema za hlađenje.

Utícaj prekratkog vremena hlađenja:

- previsoka konačna temperatura odlivka,
- otisci izbacivača,
- veliko početno i naknadno skupljanje,
- veliko izvijanje, deformacija tokom izbacivanja

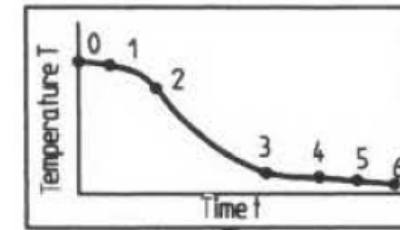
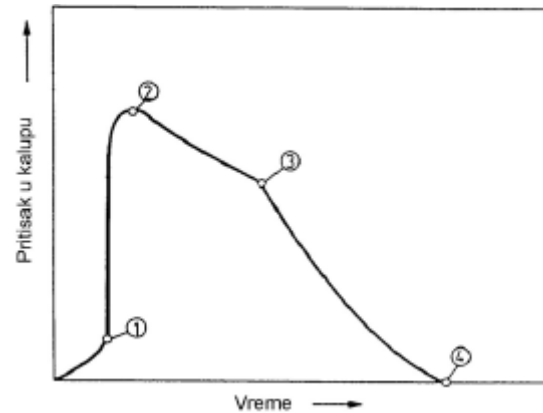
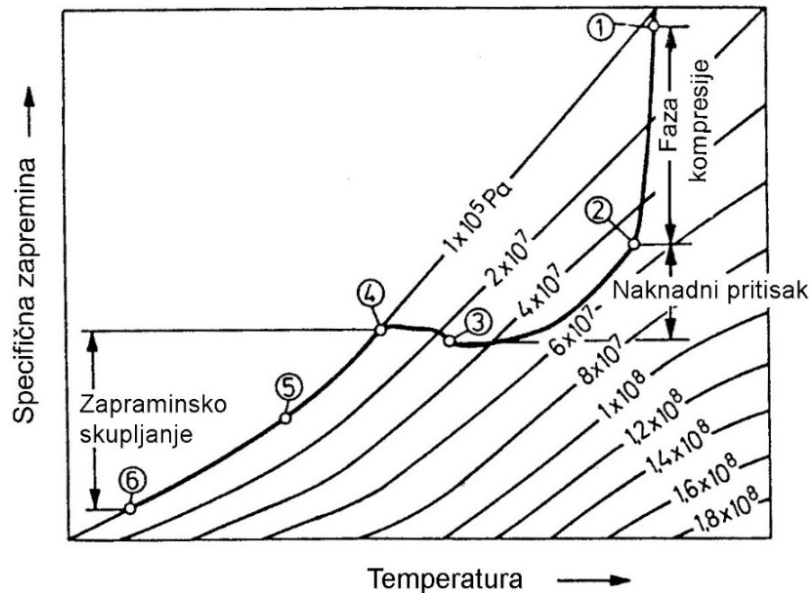
Dugo vreme hlađenja znači:

- duže vreme ciklusa i duže zadržavanje mase u cilindru.

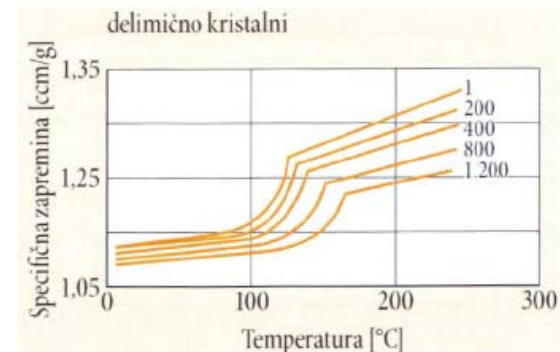
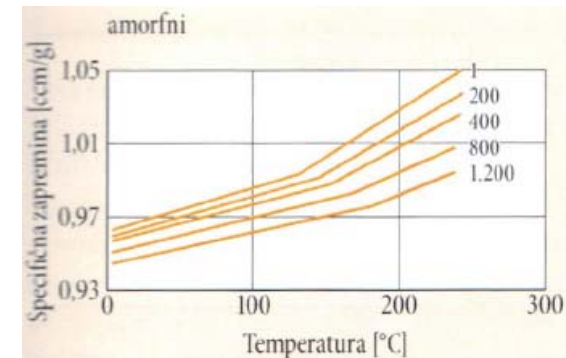


PC	$t = 2,17 \times s^2$	$t =$ vrijeme hlađenja; $s =$ debljina stijenke
PA6, PBT, PELD	$t = 2,64 \times s^2$	
ABS, PS, SAN, PA6,6	$t = 2,82 \times s^2$	
PEHD, PMMA	$t = 3,00 \times s^2$	
PP	$t = 3,67 \times s^2$	
POM	$t = 4,18 \times s^2$	

PVT dijagram u kalupnoj šupljini

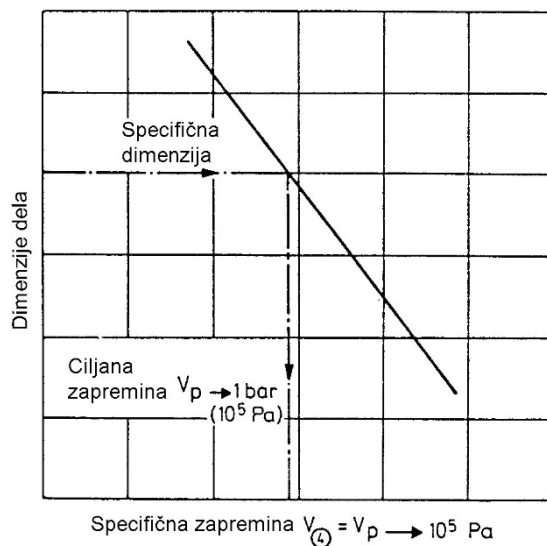


0-1	Zapreminsko punjenje kalupne šupljine. U trenutku 0 otopljeni plastomer dolazi u kontrolnu tačku u kalupnoj šupljini, a pritisak u kalupnoj šupljini raste. Porast pritiska praćen je laganim hlađenjem otopljenog plastomera do trenutka potpunog ispunjavanja kalupne šupljine.
1-2	Komprimovanje. Nakon faze punjenja kalupne šupljine, otopljeni plastomer se komprimuje pomoću naknadnog pritiska. U toj fazi pritisak u kalupnoj šupljini postiže maksimum. Efekti hlađenja rastopljenog plastomera još su uvek vrlo mali.
2-3	Delovanje naknadnog pritiska. Otpresak očvršćuje te se skuplja i odvoja od zida kalupne šupljine. Smanjenje zapremine moguće je nadoknaditi ubrizgavanjem dodatnog rastopljenog plastomera u kalupnu šupljinu. Usled povećanih efekata hlađenja, efektivni presek kroz kojeg je moguće tečenje rastopa je smanjen, pa je pad pritiska kroz ulivni sistem veći.
3-4	Izohorno sniženje pritiska. Kada dođe do potpunog očvršćivanja ušća i rastopa u području kalupne šupljine oko ušća, ubrizgavanje dodatnog rastopa više nije moguće. Stoga dolazi do daljeg izohornog pada pritiska u kalupnoj šupljini (bez promjena u specifičnoj zapremini).
4-5	Hlađenje do vađenja iz kalupne šupljine. Nakon postizanja pritiska u kalupnoj šupljini od 1 bar, dalje sniženje pritiska nije moguće (izjednačio se sa pritiskom okoline), pa se dalje hlađenje otpreska odvija pri izobarnim uslovima.
5-6	Hlađenje do temperature okoline. Otpresak se vadi iz kalupne šupljine u tački 5, i nastavlja se hladiti do temperature izvan kalupa.



UTICAJ TEHNOLOGIJE INJEKCIONOG PRESOVANJA NA OSOBINE PROIZVODA

Dimenziona stabilnost



Parametri procesa	Efekti	Dimenzije dela rezultat od	
		nepromenljive 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 volumetričkog 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 deformacijom pod uticajem dimenzije oduška	↑	↑
Geometrija ušća: porast preseka ušća	Indirektni efekti, (u odnosu na brzinu brizganja, naknadnog pritiska, temperature topljenja)	↑	↑

Mehaničke i fizičke osobine otpresaka

Unutrašnjim strukturne karakteristike otpreska procesa injekcionog presovanja zavise od sledećih parametara procesa:

- ✚ orijentacije molekula
- ✚ zaostalih napona
- ✚ stepena kristalizacije
- ✚ orijentacija ojačavajućih vlakana

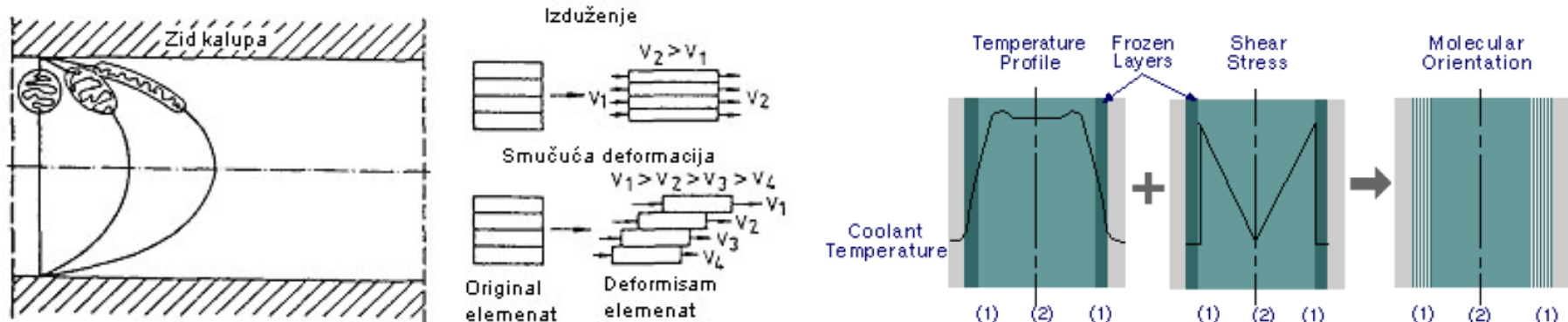
Faktori odgovorni za navedene pojave zavise od:

- ❖ vremena (predugačko) boravka materijala u cilindru
- ❖ temperature (previsoka) topljenja
- ❖ intenziteta smicanja (izraženo) u ulivnom sistemu za vreme ubrizgavanja

Molekularna orijentacija

Centriranje (postavljanje) molekularnih lanaca u određenom pravcu

Termalno (Brown-ovo) pomeranje – relaksacija molekularnih lanaca

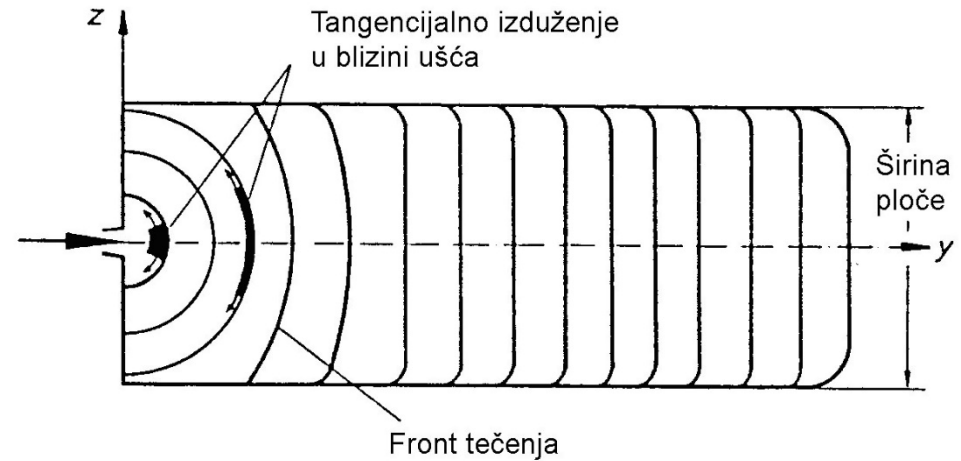


Molekularna orijentacija

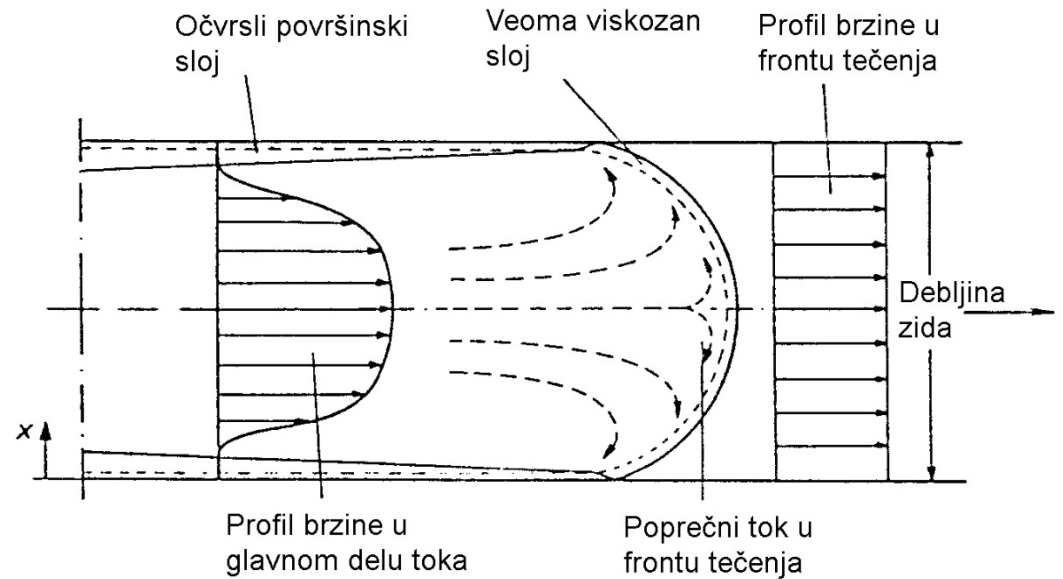
radijalno smicanje i tangencijalno zatezanje



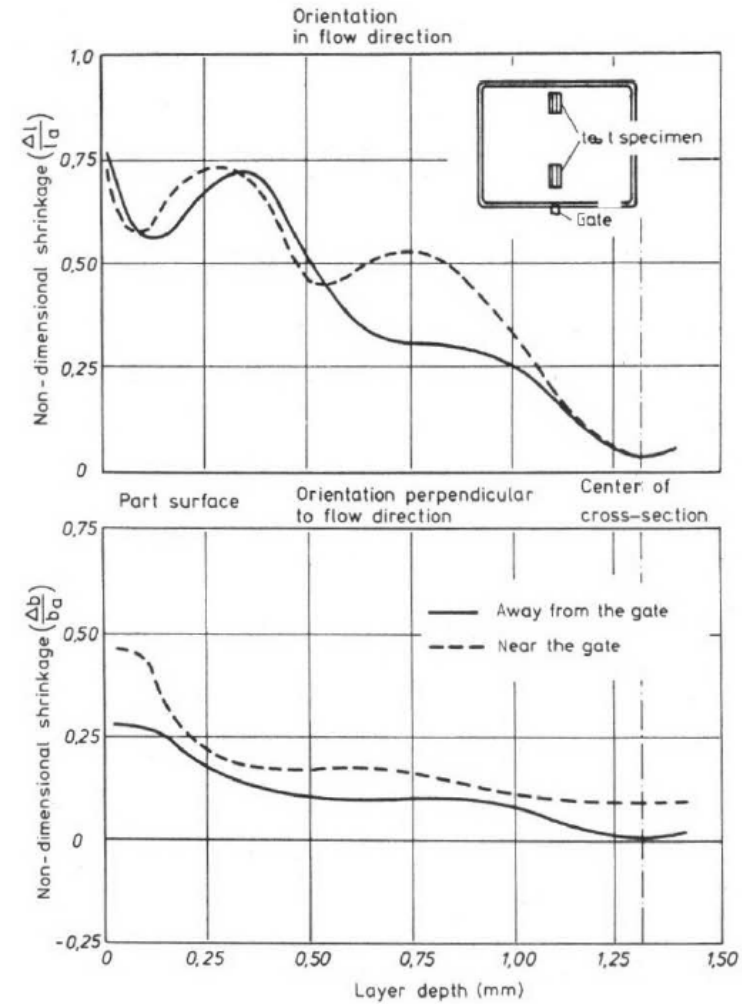
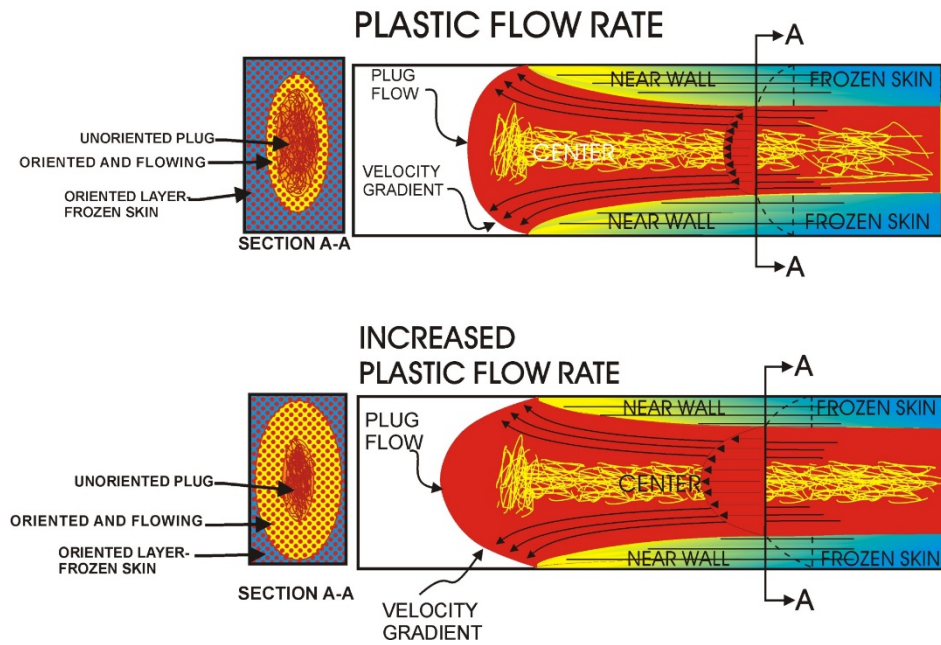
biaksijalno izduženje



molekularna orijentacija najintenzivnija je u blizini površine kalupa na kojoj dolazi do lepljenja rastopljenog materijala



Molekularna orijentacija



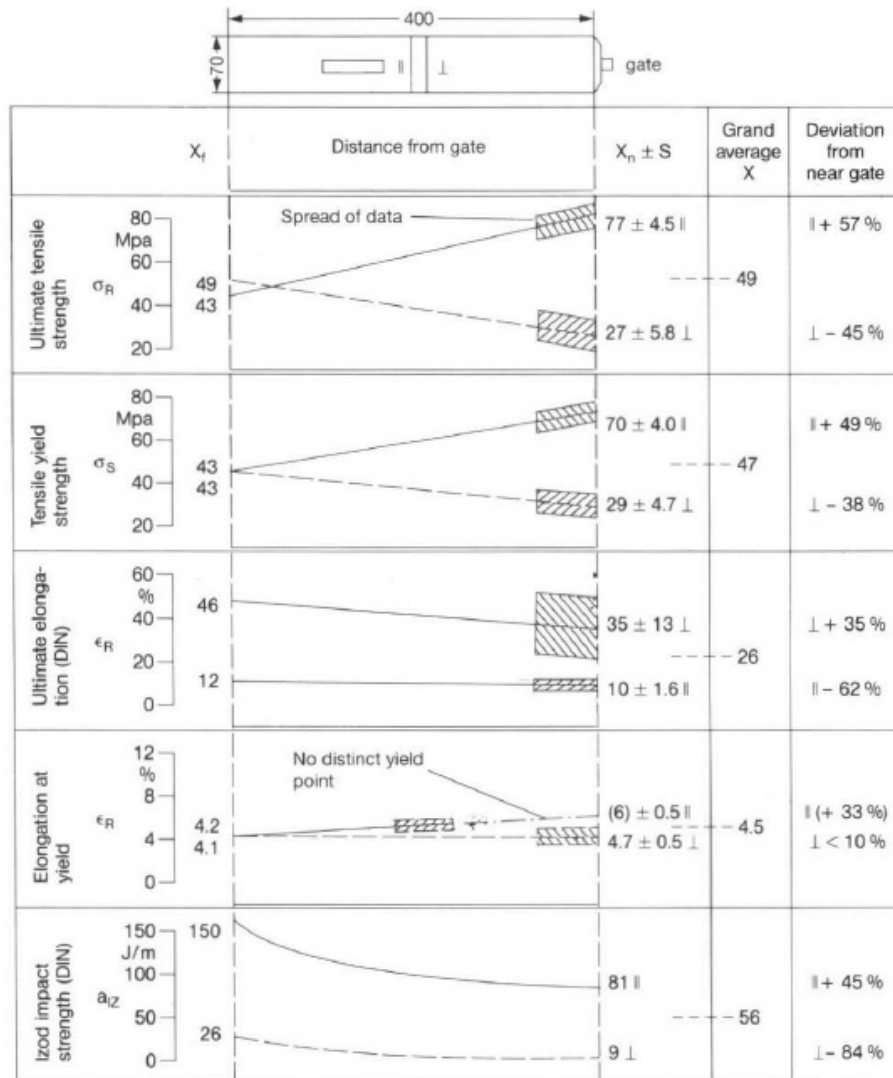
Shrinkage variations in a polystyrene molding: shrinkage close to and away from the gate; top: orientation in flow direction; bottom: perpendicular to flow direction

Molekularna orijentacija

- Posledica - anizotropija osobina materijala otpreska
- Čvrstoća je uvek veća u pravcu orijentacije u odnosu na upravni pravac

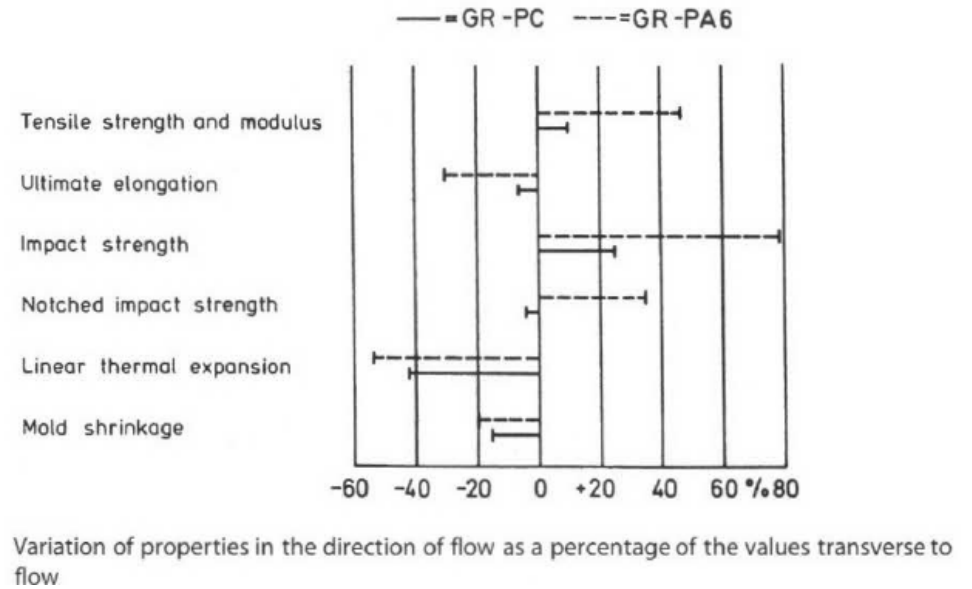
Parametri procesa	Efekat	Stepen orijentacije	Anizotropanija
Porast temperature rastopa	Porast vremena otpuštanja	↓	↓
Porast temperature kalupa	Porast vremena opuštanja	↓	↓
Porast brzine brizganja	Veoma tanak površinski sloj Porast vremena opuštanja u jezgru	↓ ↓	↓ ↓
Porast naknadnog pritiska	Sprečavanje 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	↑ ↓	↑ ↓

Molekularna orijentacija – uticaj na mehaničke karakteristike



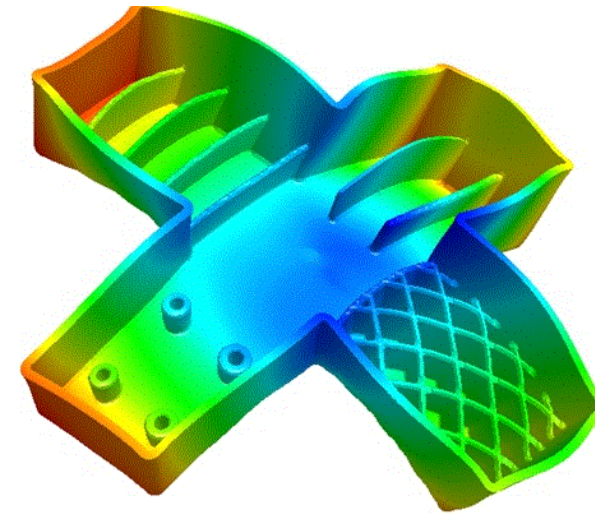
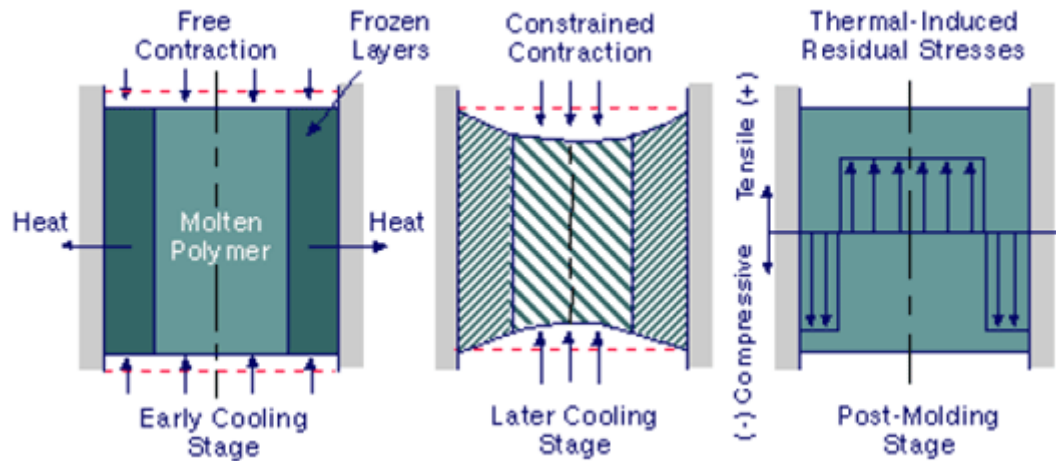
X_f = Result far from gate X_n = Result near gate S = Standard deviation

Mechanical properties of a molded part made of cellulose acetate (CA) in relation to the distance from the gate and the direction of molecular orientation

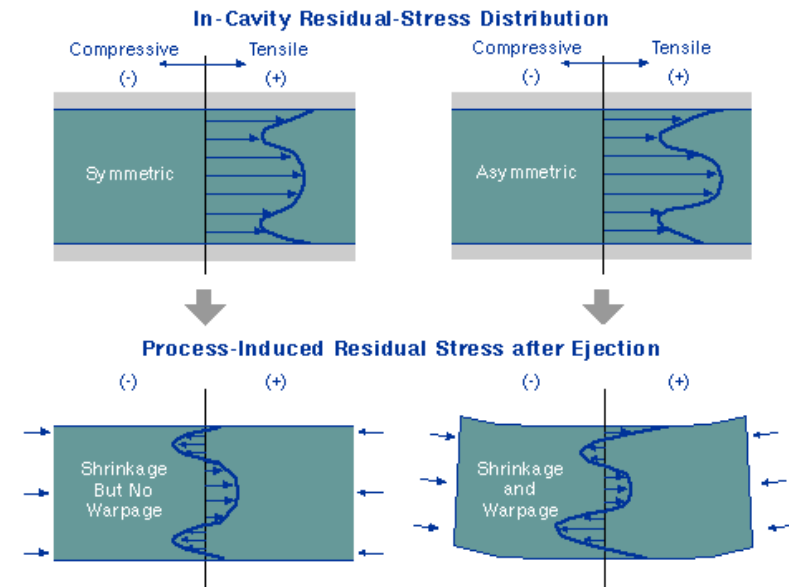
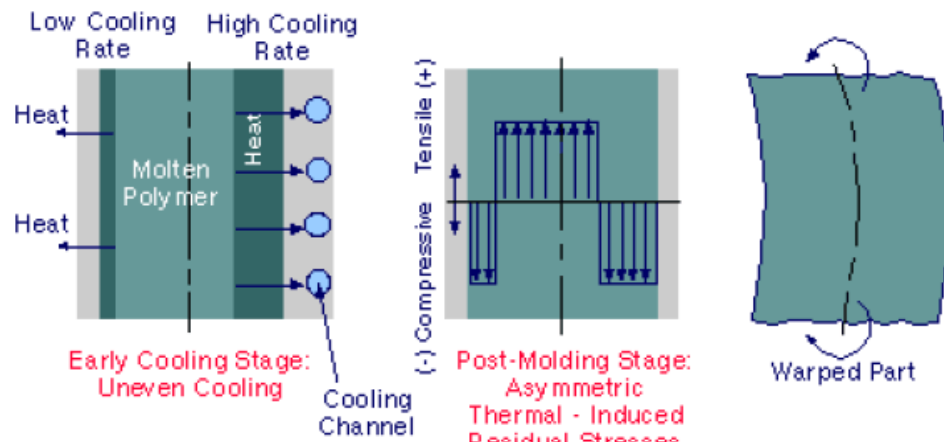


Zaostali naponi

1. Naponi usled nejednake brzine hlađenja - zatezanje unutrašnjih i kompresija spojašnjih slojeva
2. Zaostali naponi usled dejstva naknadnog pritiska (faza pakovanja)



Nesimetrično hlađenje



Zaostali naponi

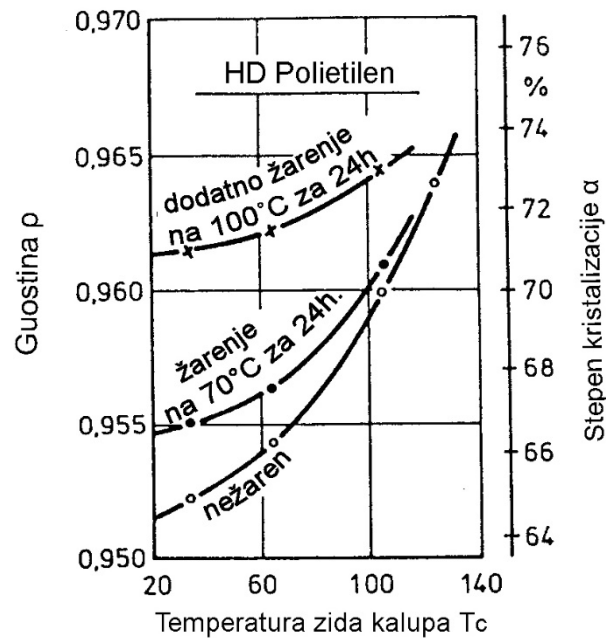
Zaostali naponi usled popunjavanja kalupa

- Visoki pritisak rastopljenog polimera, kao i naknadni pritisak uslovljavaju preopterećenje
- centralnog dela obratka, posebno u slučaju velikog ušća
- 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.

Kristalnost strukture (stepen kristalizacije)

Proces dovođenja molekularne strukture polimera u određenu formu,
Visok stepen kristalizacije obezbeđuje veću tvrdoću, čvrstoću i krutost,
Stepen kristalizacije - primarno od molekularne strukture
- sekundarno od parametara procesa i post-proizvodnog tretmana.

Visoka brzina hlađenja negativno utiče na stepen kristalizacije (mešavina kristalne i amorfne strukture)
Brzo ohlađeni delovi uglavnom imaju transparentnu površinu!
Post-rekristalizacija



Žarenje na povišenoj temperaturi može da ubrza post-kristalizaciju

