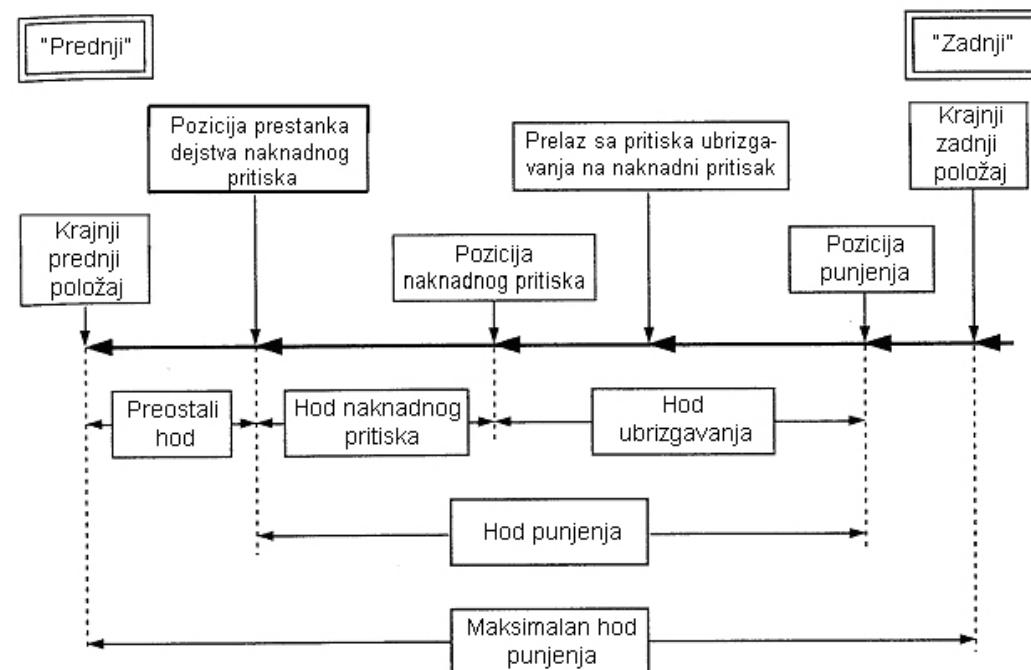
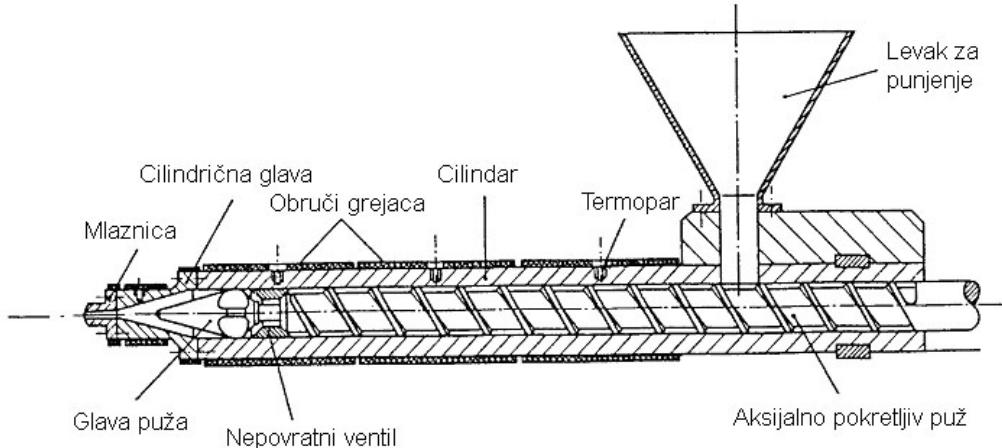


# **MAŠINE I UREĐAJI ZA PRERADU PLASTIKE**

# JEDINICA ZA INJEKCIJONO PRESOVANJE

## Zadaci:

- Prihvatanje materijala
- Zagrevanje
- Plastifikacija
- Ubrizgavanje
- Naknadno presovanje



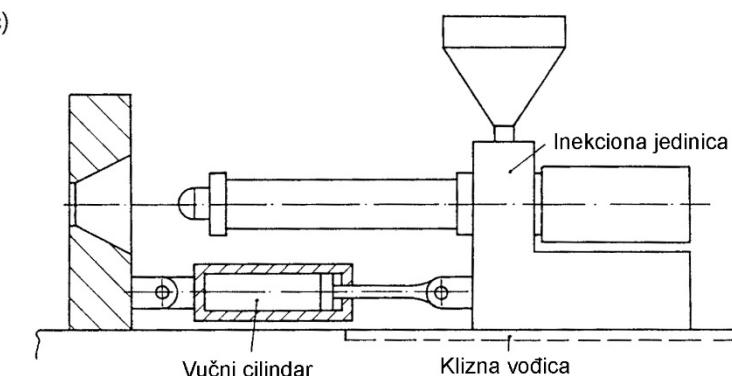
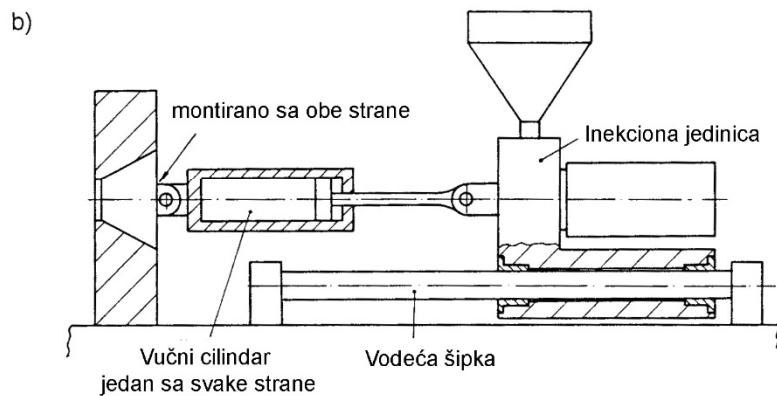
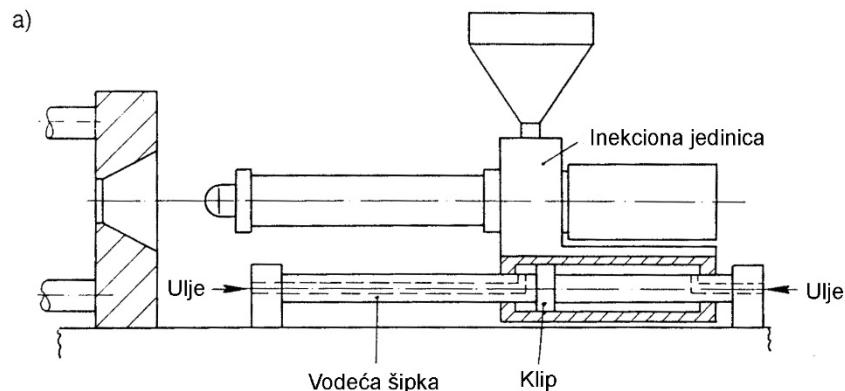
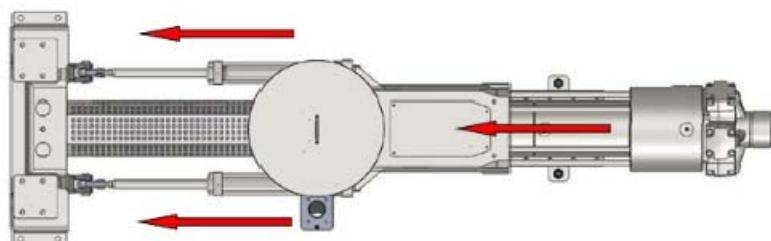
# Vodice – vođenje injekcione jedinice

## Brzina kretanja injeckione 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

## 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



# Pogonski sistem za obrtno kretanje puža

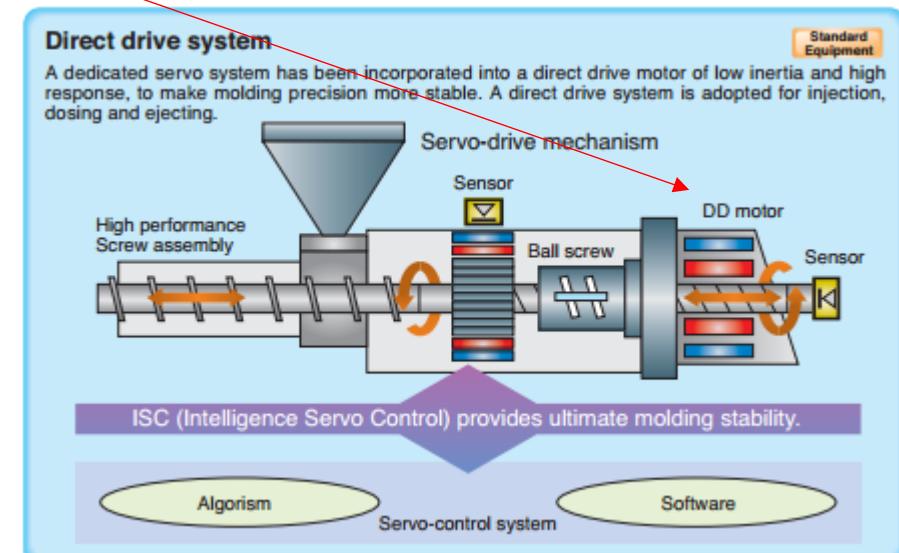
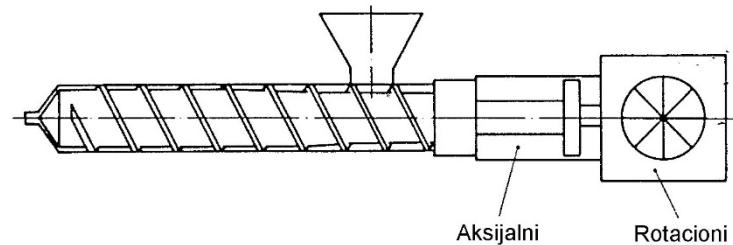
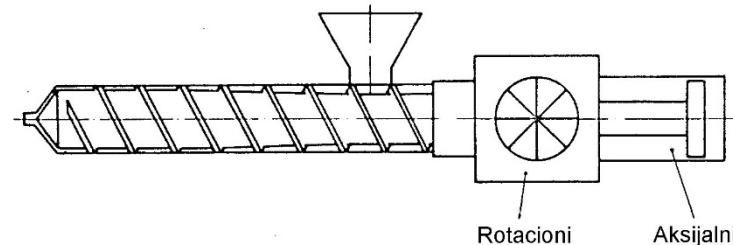
Kod obrade termoplasta 60% energije potrebne za plastifikaciju (a 90% kod termoseta) dobija se trenjem usled obrtanja puža

## Vrste pogonskog sistema:

- elektromotor sa reduktorom (puž ili zupčanici)
- hidromotor sa reduktorom
- direktni hidropogon
- direktni elektro pogon

## Položaj pogonskog sistema:

- lokacija između puža i hidrocilindra
- iza hidrocilindra



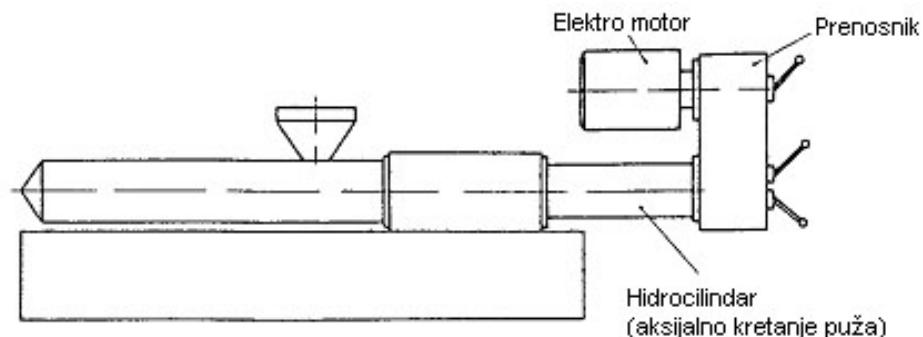
# Pogonski sistem za obrtno kretanje puža

## Elektromotorni pogon puža

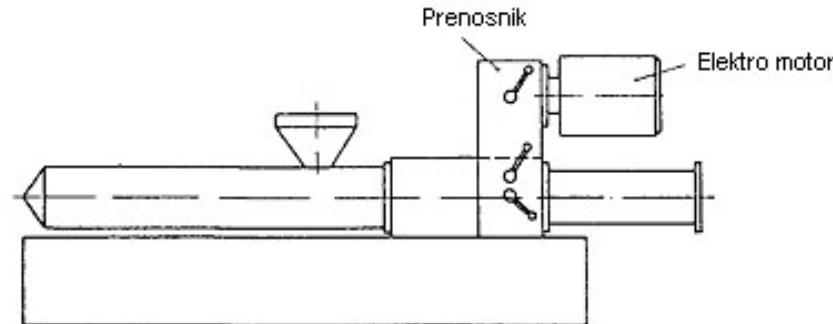
Koristi se kod mašina sa silom zatvaranja većom od 15MN

- Trofazni elektromotori sa i bez mehaničke kočnice
- Trofazni elektromotori sa frekventnim regulatorom za kontrolu brzine puža
- Motori jednosmerne struje

a)



b)



# Pogonski sistem za obrtno kretanje puža

**Plastic Injection Machine**

**by**

**[www.mekanizmalar.com](http://www.mekanizmalar.com)**

# Pogonski sistem za obrtno kretanje puža

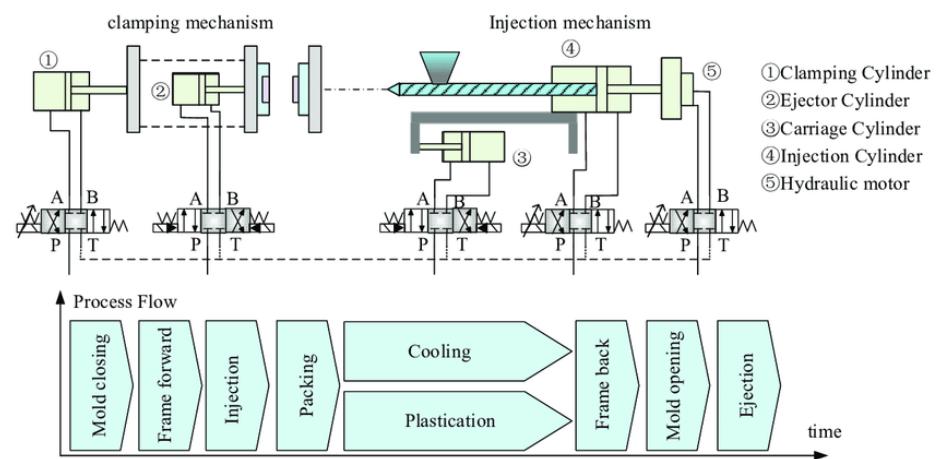
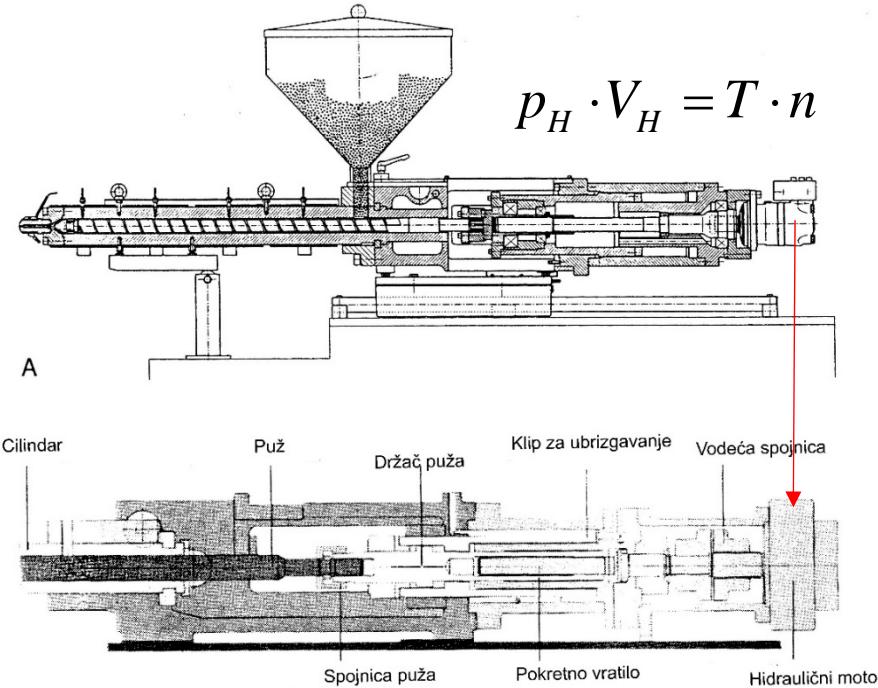
## Hidraulični pogon za obtanje puža

Hidromotor!!!!

Tipovi hidromotora:

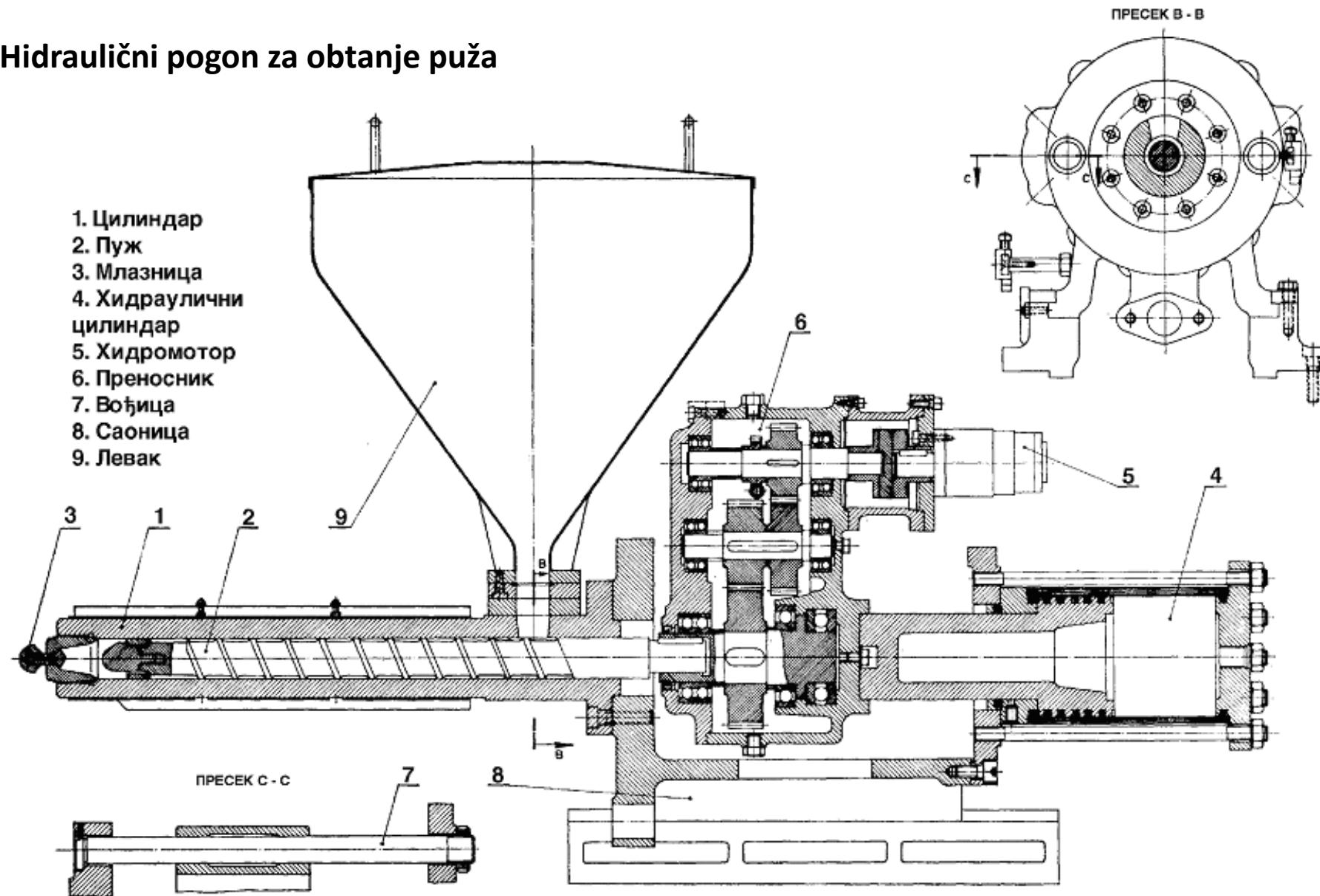
- Zupčasti hidromotor
- Hidromotor sa unutrašnjim ozubljenjem
- Hidromotor sa lopaticama (krilima)
- Radijalni i aksijalni klipni hidromotor

Za pogon puža prečnika Ø50-200mm uglavnom se koriste sporohodni radijalni klipni motori, koji karakteriše glatki rad.



# Pogonski sistem za obrtno kretanje puža

## Hidraulični pogon za obtanje puža



# Najvažnije tehničke karakteristike mašine za injekcionalno presovanje

Proizvođači tehničke karakteristike mašina navode u odnosu na Polistiren (PS)!!!!



Item	Model		
	SUN-150		
Screw diameter STANDARD mm	φ40	φ42	φ45
Screw diameter (Double Alloy) PVC/UPVC/GF mm			
Shot weight(PS) g	220	243	279
Shot weight(PS) oz	7.9	8.7	9.8
Shot volume (Theoretical) cm <sup>3</sup>	245	270	310
Injection pressure kg/cm <sup>2</sup>	1960	1777	1548
Injection Rate cm <sup>3</sup> /sec	111	122	140
Screw Speed rpm	235		
Clamp Tonnage Ton	150		
Toggle stroke mm	350		
Min. Max. Mould Height mm	110 - 485		
Space Between Tie Bars mm	410 × 410		
Ejector stroke mm	115		
Platen Size (L×W) (Approx) mm	605 × 623.5		
Pump motor power kw	15		
Heater power kw	7		
Total wattage kw	22		
Hydraulic system Max pressure kg/cm <sup>2</sup>	140		
Hydraulic oil Reservoir L	205		
Machine dimension(L×W×H) m	4.5 × 1.2 × 1.6		
Net weight(Approx) ton	4.8		

Injection Unit	Screw diameter, mm	28
	Injection capacity, cm <sup>3</sup>	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
Other	Ejector stroke, mm	75
	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

# PRITISAK UBRIZGAVANJA

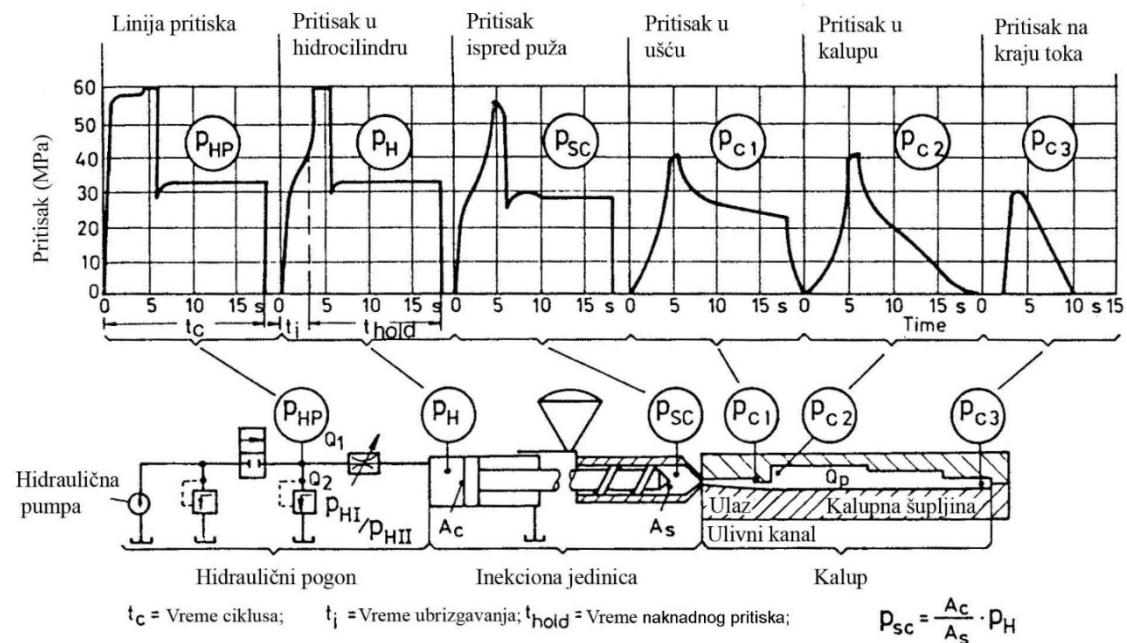
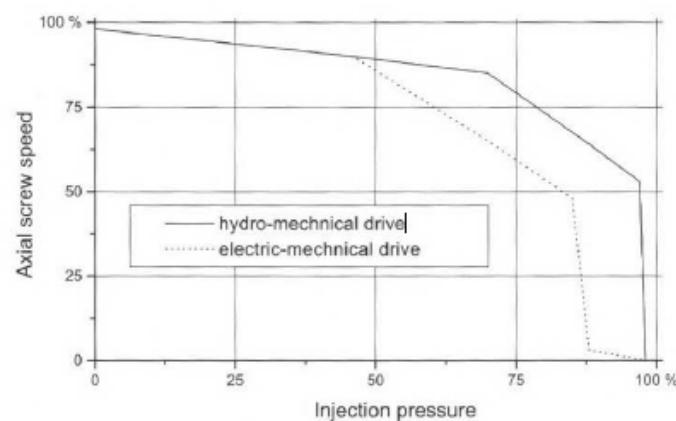
Injection pressure	Pressure during injection that acts on the melt
Machine-side injection pressure	Injection pressure that can be generated by the machine
Maximum injection pressure	Maximum pressure that can be generated by the machine
Local injection pressure	Pressure along the flow path
Momentary injection pressure	Injection pressure at current time
Minimum injection pressure	Minimum injection pressure needed
Step-like injection pressure	Injection under stepped pressure

## Pritisak ubrizgavanja utiče na:

Aksijalnu brzinu puža  
Proces popunjavanja kalupa

Maksimalni pritisak u hidro cilindru:

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



# PRITISAK UBRIZGAVANJA

## 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

Applications	Materials	Injection pressure [bar]	Cavity pressure [bar]	Holding pressure [bar]
Parts with heavy sections	Different materials	800 to 1100	200 to 500	700 to 800
Simple parts	PS, PE, PP	1000 to 1300	250 to 400	400 to 600
Packing application, thin-wall parts	Mostly PE, PS, PP	1300 to 1800	500 to 700	600 to 800
Large flat parts, such as bumpers, dashboards	Mostly PP, blends	1200 to 1500	400 to 500	400 to 500
Technically sophisticated parts	ABS, PA 6, PA 66, PC, PBT	1200 to 1700	300 to 500	400 to 700
Micro-parts	PA, PC, PBT, high-tech plastics	1400 to 1700	500 to 800	400 to 800

## Opseg pritiska ubrizgavanja u inekcionoj jedinici

Upotreba za obradu:	Pritisak ubrizgavanja (MPa)	Prečnik puža i unutrašnjosti cilindra	Hidraulična jedinica	Stepen kompresije
Specijalne slučajeve	Niziviši 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

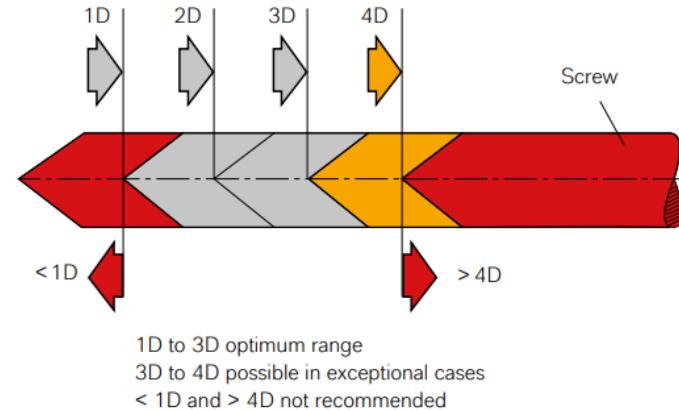
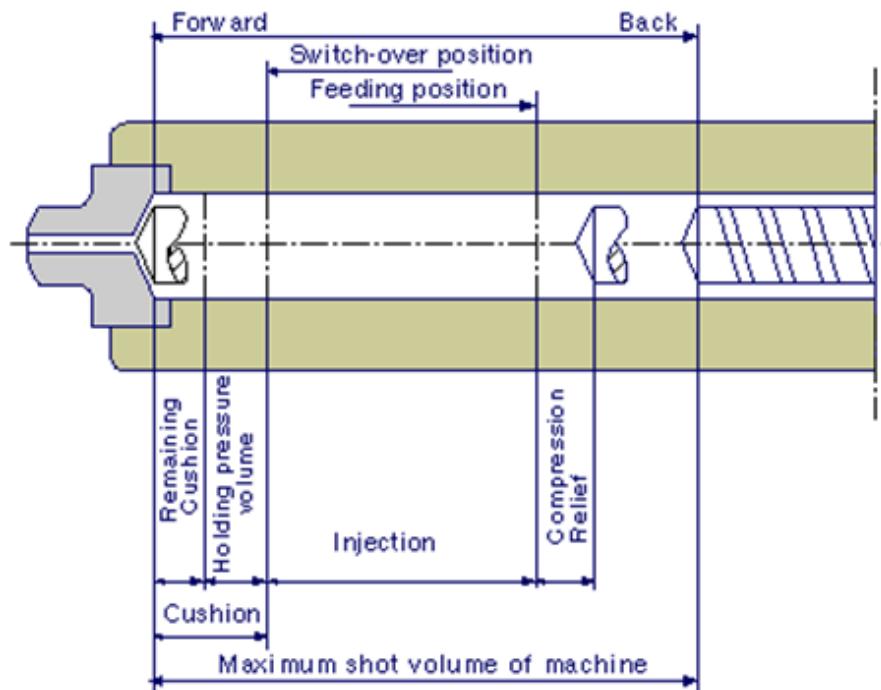
# ***HOD PUŽA, HOD UBRIZGAVANJA***

## ***Feeding stroke, screw stroke, stroke length***

*Proizvođači tehničke karakteristike mašina navode u odnosu na Polistiren (PS)!!!!*

### Izbor optimalnog hoda puža ( $s_{opt}$ )

- Hod puža se često izražava u odnosu na prečnik puža (D) - 1D, 2D, 3D, 4D
- Optimum 1D do 2D
- Sa povećanjem hoda puža povećava se količina gasnih uključaka u rastopu.
- Pri hodu puža  $l > 3D$  povećava se nehomogenost rastopa, degradacija materijala, optičke karakteristike opadaju.

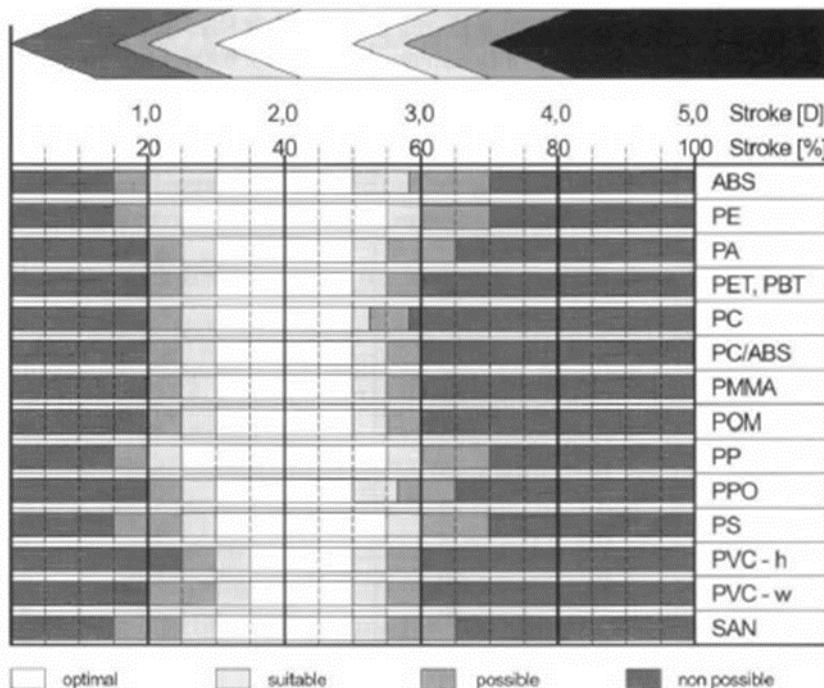


$$LS5 = \frac{W \times 10}{A \times \rho \times \eta} + 5 \text{ mm [0.2 in]}$$

W: Weight of product (g)  
 A: Sectional area of screw ( $\text{cm}^2$ ) [ $\text{in}^2$ ]  
 ρ: Specific weight ( $\text{g/cm}^3$ ) [ $\text{oz/in}^3$ ]  
 η: Injection efficiency  
 ρ×η: PS 0.92 [0.53]  
 PE 0.73 [0.42]  
 PP 0.71 [0.41]

# *HOD PUŽA, HOD UBRIZGAVANJA*

## *Feeding stroke, screw stroke, stroke length*



Material	Feeding stroke as % of total stroke		Feeding stroke in relation to the screw diameter		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Optimum
ABS	15	80	0.7	3.2	1.7 to 2.2
ASA	15	80	0.7	3.2	1.7 to 2.2
CA, CAB	15	75	0.7	3	1.6 to 2.1
PE	10	85	0.4	3.5	1.7 to 2.2
PP	10	80	0.5	3.2	1.7 to 2.2
PS	10	85	0.4	3.5	1.7 to 2.2
PMMA	20	75	1	3	1.5 to 2.0
PVC	20	75	1	3	1.5 to 2.0
PA	10	75	0.5	3	1.5 to 2.0
PC	20	70	1	2.7	1.3 to 1.9
PC blend	25	70	1.3	2.7	1.3 to 1.9
POM	20	75	1	3	1.7 to 2.2
PBT	15	75	0.7	3	1.7 to 2.2
PET	15	75	0.7	3	1.7 to 2.2
PEEK	25	65	1.3	2.7	1.5 to 1.9
PSU	20	75	1	3	1.7 to 2.2
SAN	15	80	0.8	3.2	1.7 to 2.2

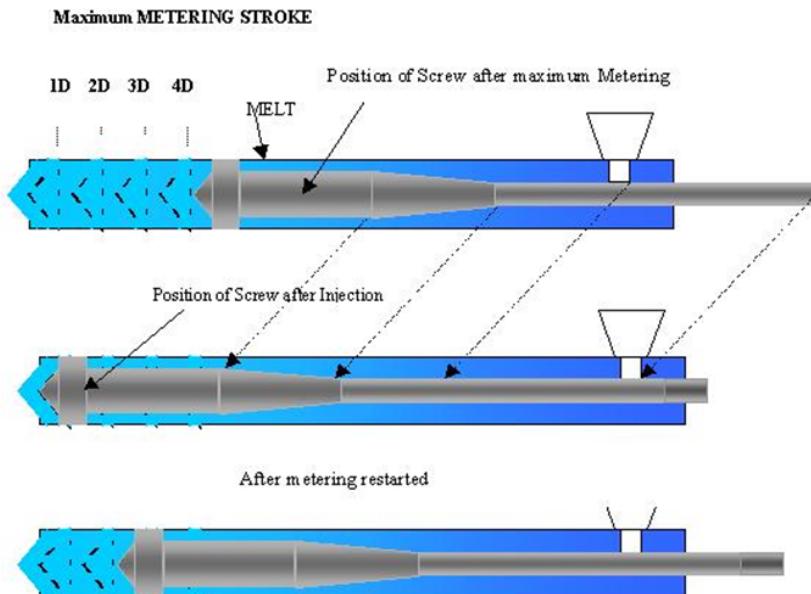
Utilization of plastication stroke for screws with 20 to 22 L/D ratio, three-section screw, max. circumferential screw speed 0.4 m/s (Source: Demag Ergotech, Schwaig/Germany)

# **HOD PUŽA, HOD UBRIZGAVANJA**

## **Feeding stroke, screw stroke, stroke length**

### **Mere za smanjenje gasnih mehurova u rastopu**

- Povećanje povratnog pritiska
- Smanjivanje brzine puža
- Povećavanje temperature zone uvlačenja
- Povećanje mrtve zone (jastuka) za topljenje za 1 D



As metering Stroke increases, effective length of screw (up to feed throat) decreases. This results in variation of SHEARING on the melt & RESIDENCE TIME as the melt moves through the screw and accumulates on metering. Hence IN-HOMOGENEITIES in terms of TEMPERATURE & VISCOSITY in the melt is introduced.

When metering stroke is more than 4D, the variation in HOMOGENEITIES goes beyond the acceptable range. Therefore, more than 3.5D metering stroke is not advisable.

## **ZAPREMINA - MASA (kapacitet) UBRIZGAVANJA** **Injection volume, injection capacity, metering volume (cm<sup>3</sup>)**

Teorijski zapremina ubrizgavanja je maksimalna količina rastopa koja se može ubrizgati u jednom ciklusu i izražava se uncama (oz) za američke mašine, odnosno cm<sup>3</sup> za evropske i azijske mašine!!!!

**Teoretski kapacitet ubrizgavanja (cm<sup>3</sup>) – ne zavisi od vrste materijala!!!!**

$$W_{teor} = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot s$$

D – prečnik puža  
 s – hod puža



No	Material in Barrel	Sp Gr	Shot Capacity (gms)
1	GPPS	1.06	100
2	Nylon 6	1.15	108
3	Acetal	1.42	134
4	30% GF PBT	1.53	144
5	LDPE	0.92	87
6	PP	0.90	85

Clamp unit	Item	Unit	Machine ID						
			100			0.35			3
Injection unit	Clamp force	tf <sup>b</sup>							
Injection unit	Clamp stroke	m							
Injection unit	Ejector force	tf							
Injection unit	Injection capacity	cm <sup>3</sup>	38	78	130	78	162	254	
	Shot volume (PS)	g	35	72	120	72	149	234	
	Max. Inj. pressure	MPa	284	287	174	287	247	158	
	Plasticizing capacity	g/s	6.1	11.1	23	11	23.1	33.3	

**Masa (kapacitet) ubrizgavanja (g) za PS - shot weight, shot capacity, shot size**

Masa (maksimalne) materijala koja se može ubrizgati u kalup u jednom ciklusu.

$$m = k \cdot W_{teor} \cdot \rho$$

W<sub>teor</sub> – teorijski kapacitet ubrizgavanja (cm<sup>3</sup>)

k = 0,7÷0,8

ρ<sub>PS</sub> – gustina materijala (g/cm<sup>3</sup>)

# **ZAPREMINA - MASA (kapacitet) UBRIZGAVANJA**

## ***Injection volume, injection capacity, metering volume (cm<sup>3</sup>)***

- Maximum shot weight

$$Gs_{\max} = (D/2)^2 \times \pi \times s_{\max} \times \rho$$

$s_{\max}$  = installed feeding stroke

- Maximum utilizable shot weight

$$Gs_{\max.\text{util.}} = (D/2)^2 \times \pi \times s_{3D} \times \rho$$

$s_{3D}$  = feeding stroke 3D

- Optimum shot weight

$$Gs_{\text{opt}} = (D/2)^2 \times \pi \times s_{2D} \times \rho$$

$s_{2D}$  = feeding stroke 2D

- Minimum (utilizable) shot weight

$$Gs_{\min}(D/2)^2 \times \pi \times s_{1D} \times \rho$$

$s_{1D}$  = feeding stroke 1D

$\rho$  density (specific gravity) of plastic material

Shot weight as function of screw diameter

Screw diameter [mm]	Shot weight for 3D stroke <sup>1</sup> [g]	Optimum shot weight <sup>1</sup> (tolerance ± 25 %) [g]	Minimum shot weight <sup>1</sup> [g]	Data sheets <sup>1</sup> [g]
18	11.9	8	4	20 to 25
20	16	11	5.5	24 to 27
25	31	21	11	39 to 55
30	54	36	18	84 to 108
40	128	85	42	158 to 220
50	250	167	83	315 to 420
60	433	289	145	590 to 820
70	687	458	229	940 to 1220
80	1025	683	342	1500 to 2120
100	2000	1333	667	3350 to 4420
120	3705	2470	1235	5700 to 7000
140	5496	3664	1832	7900 to 10,500
160	8200	5333	2667	11,600 to 16,000
180	11,680	7787	3894	19,000 to 22,950
200	16,020	10,680	5340	22,000 to 33,000
220	21,325	14,217	7108	28,000 to 41,000
250	31,280	20,853	10,427	44,500 to 61,000
300	43,970	29,300	14,650	58,000 to 80,000

<sup>1</sup> Expressed in terms of a density of 0.85 g/cm<sup>3</sup> (PS); manufacturers' data on specific gravity vary from 0.84 to 0.91 g/cm<sup>3</sup>

*Example:*

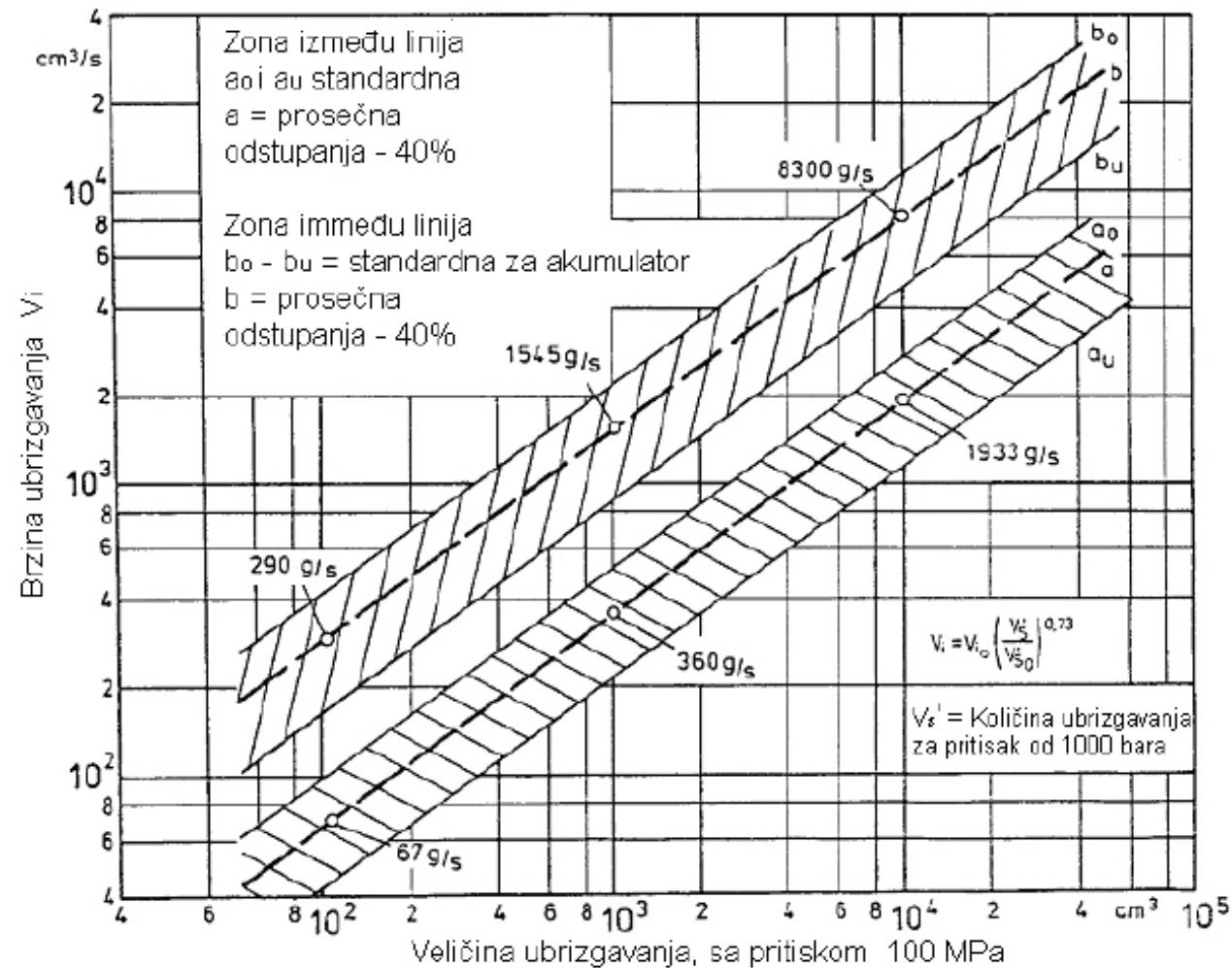
A PS molded part will weigh 1000 g. According to the data sheet value for the machine, this can be managed with a screw of 70 mm diameter (1200 g, and perhaps even by one of 65 mm diameter). To use a feeding stroke of 3D, the screw would need a diameter of 80 mm. For high-quality injection molding, the diameter would have to be 90 mm.

## Brzina ubrizgavanja ( $v_i$ ) – Injection rate (g, $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

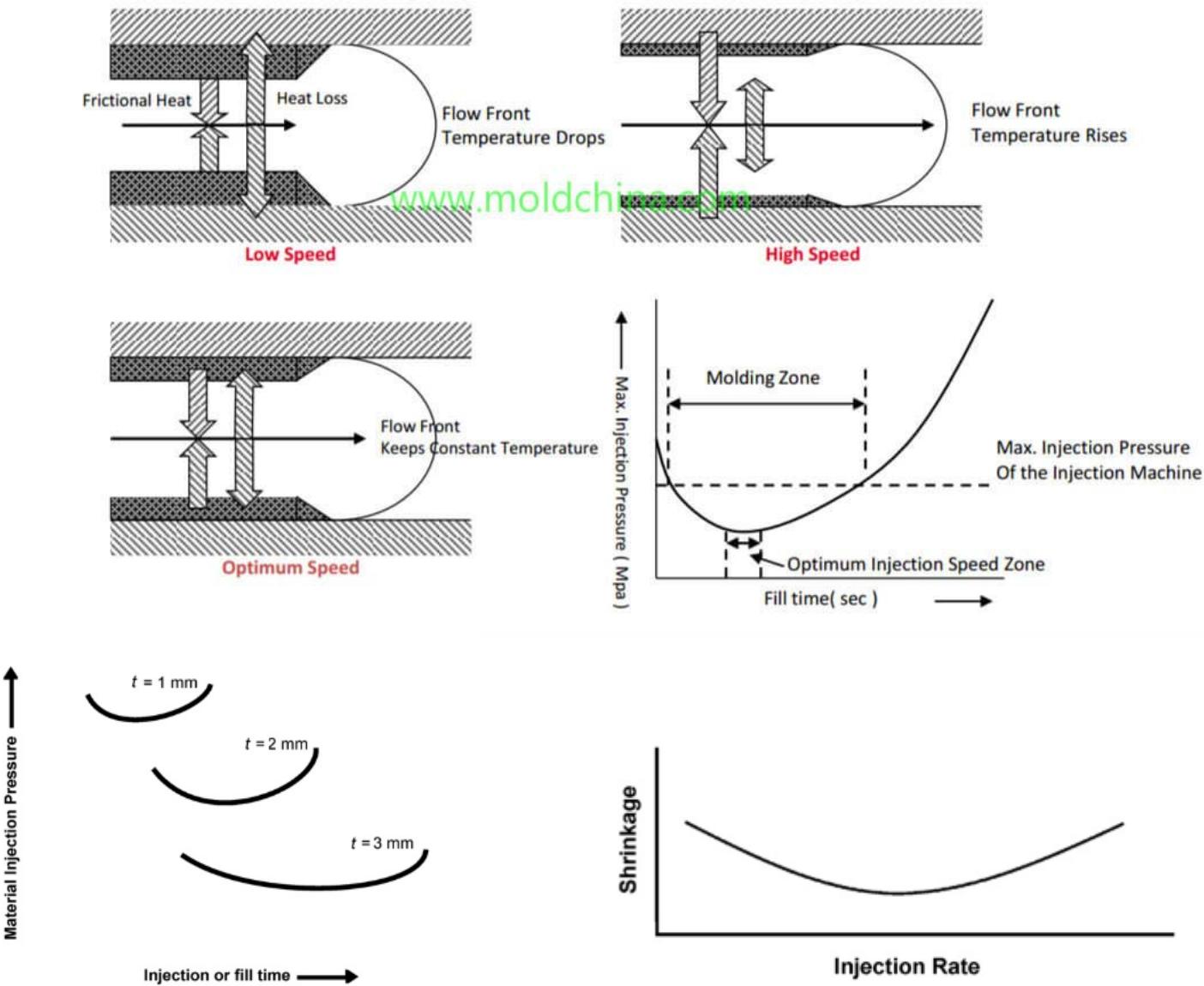
**Brzina ubrizgavanja** – zapremina (masa) materijala koja se ubrizgava u jedinici vremena

$$v_i = \frac{W_{st}}{t} = \frac{m_{st}}{t}$$

$$t = \frac{s}{v_p}$$

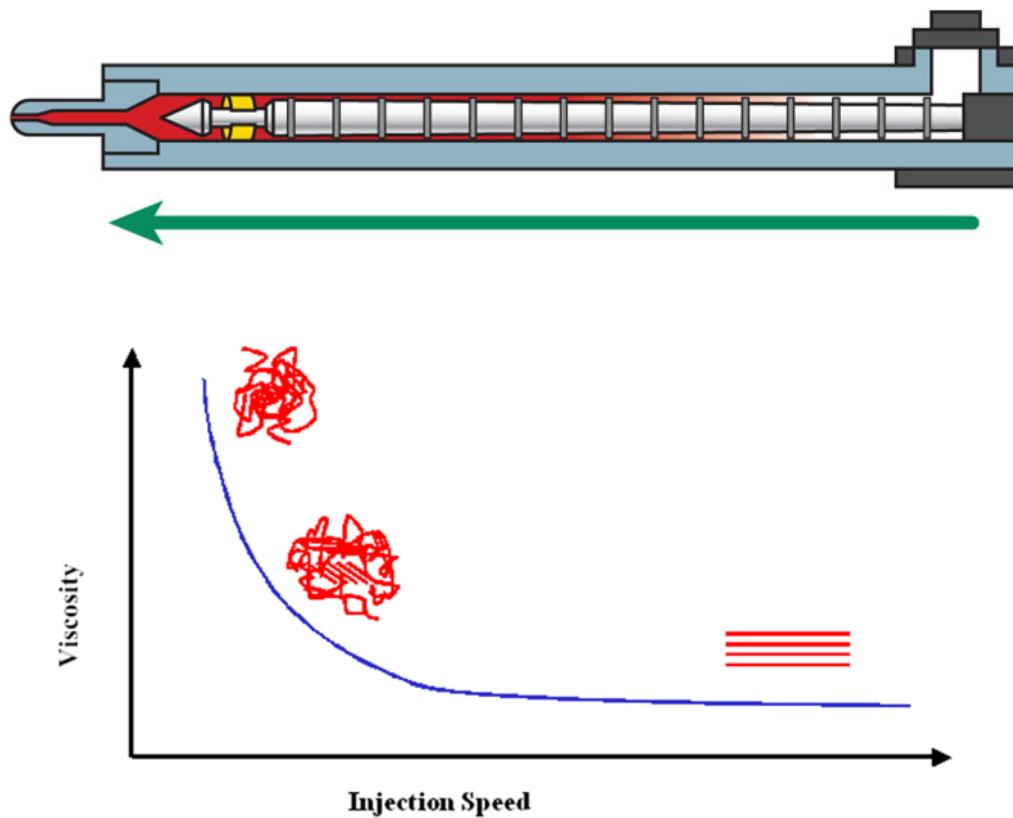


# Brzina ubrizgavanja ( $v_i$ ) – Injection rate (g, $\text{cm}^3/\text{sec}$ )



## AKSIJALNA BRZINA PUŽA ( $v_p$ ) (injection velocity/speed, screw-advance speed )

Range of molded parts	Injection speed [mm/s]
Technical parts, incl. thermosets and rubber	50 to 300
Thin-wall parts	301 to 600
Parts for packaging	500 to 1000



- kod konvencionalnih mašina je u dijapazonu 150 do 250 mm/s

## **AKSIJALNA BRZINA PUŽA ( $v_p$ ) (**injection velocity/speed, screw-advance speed** )**

**Efekti kada početna faza punjenja koristi malu brzinu punjenja:**

- Smanjenje deformacija osetljivih (slabih) delova
- Smanjenje tragova crnih mrlja (sagorevanja) i linija mlaznica na ušću.
- Na kraju punjenja koristi se manja .
- Precizniji tajming za prebacivanje na naknadni pritisak, preciznija kontrola količine materijala pri punjenju i smanjenje deformacije.
- Lakše odstranjivanje gasove i smanjenje kratkih ubrizgaja ili gorenje materijala uzrokovano lošim zaključavanjem izduvnih gasova.
- Može se izbeći previsok porast pritiska u šupljini.

**Efekti velike brzine napredovanja zavrtnja (skraćeno vreme punjenja):**

- Lakše postizanje visoke temperature, smanjenje vidljivih linija zavarivanja i povećanje mehaničke čvrstoće.
- Površina gotovog proizvoda dobija bolji sjaj.
- Povećanje kristalnosti molekularne strukture.
- Temperatura zida kalupa se povećava, a ujednačenost pritiska je poboljšana.
- Smanjinje sile zatvranja.
- Smanjenje slojeva koji se formiraju tokom punjenja kalupa .

# OBIMNA BRZINA PUŽA

## Screw speed/Circumferential speed

Brzina (obimna) puža i oblast primene

- **Velika brzina tečenja rastopa (brzohodni puževi)**  
(kod izrade tankozidnih otpresaka za pakovanje od PS, PE, PP)
- **Srednja brzina tečenja (standardni puževi) - za inženjersku plastiku**
- **Mala brzina tečenja (sporohodni puževi) za termosete i elastomere**

$$v_c = 0.4 \div 1.5 \text{ m/s}$$

$$v_c = 0.2 \div 0.4 \text{ m/s}$$

$$v_c = 0.05 \div 0.02 \text{ m/s}$$

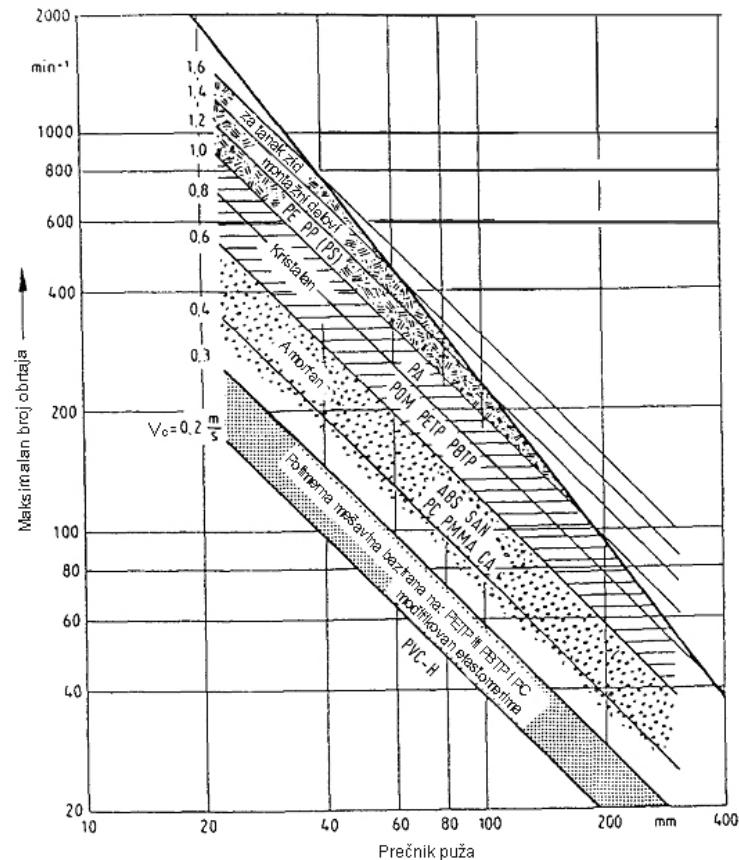
$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n_s}{60} [\text{m/s}]$$

$n_s$  - broj obrtaja puža

$D$  – prečnik puža (m)

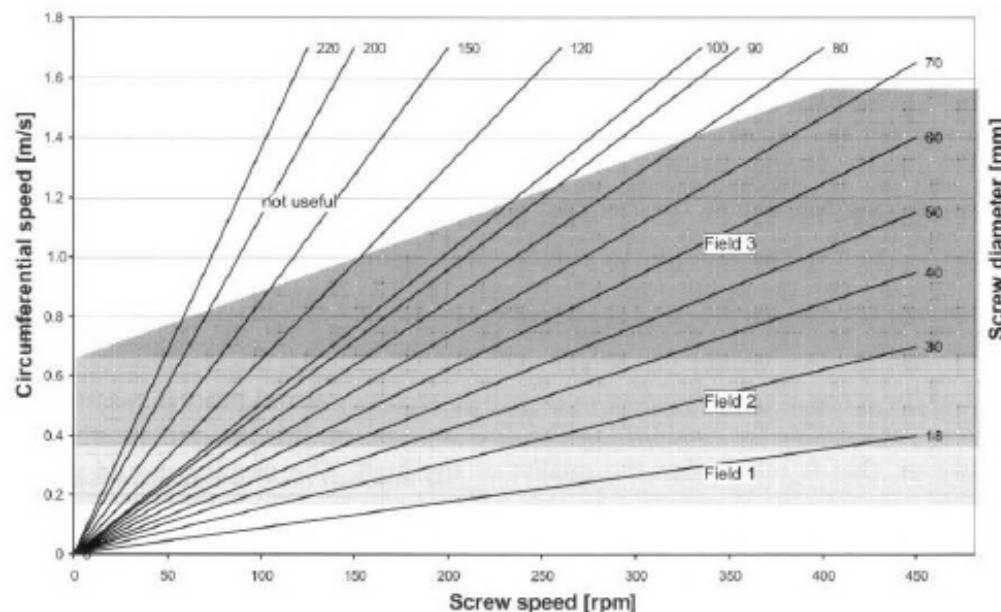
Povećanjem broja obrtaja puža.....

- Brža kompresija materijala
- Povećava se količina toplote generisana usled trenja
- Kraće je vreme zadržavanja materijala u cilindru, slabiji intenzitet topljenja



# OBIMNA BRZINA PUŽA

## Screw speed/Circumferential speed



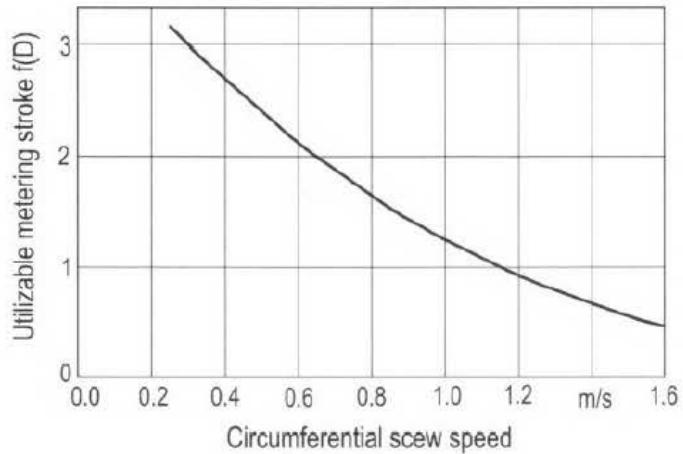
Relationship between screw speed [rpm] and circumferential speed [m/s] for a wide range of screw diameters in fields 1 to 3; field 1 for PVC, blended plastics, elastomers and thermosets; fields 1 and 2 for technical parts; field 3 for injection molding thin-wall parts (packaging).

Recommended circumferential screw speeds

Material	High-quality injection molding $v_u$ [m/s]	Standard injection molding $v_u$ [m/s]	Thin-wall injection molding (packaging) $v_u$ [m/s]
Blended plastics, PVC	0.05 to 0.1	0.1 to 0.2	—
ABS, CAB, PC, SAN, PBT, PET, POM, PA, PPS, PEEK, PAI, PSU	0.05 to 0.15	0.2 to 0.4	—
PS, PE, PP	0.1 to 0.3	0.3 to 0.7	0.6 to 1.5

Table 2.2: Melt temperature, residence time, and circumferential speed recommended for some engineering thermoplastics

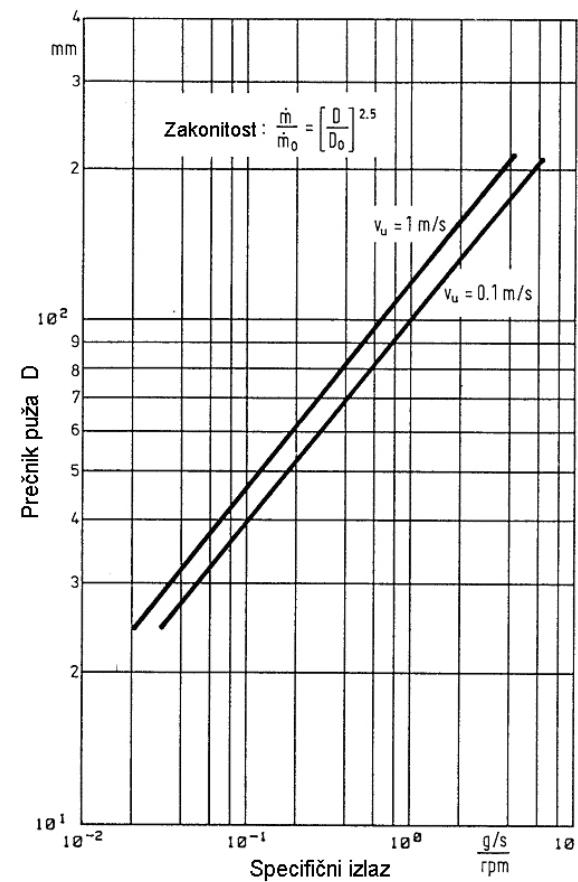
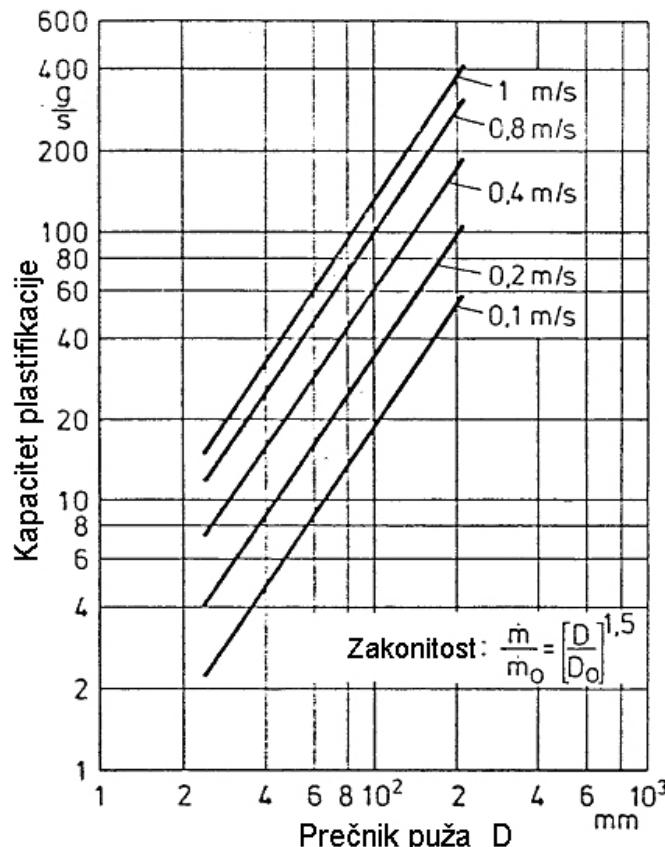
Material	Melt temperature [°C]	Residence time in plastication unit [min]	Circumferential speed [m/s]
ABS	220	4	0.8
	220	10	0.3
	260	4	0.3
PC	280	4	0.8
	280	10	0.3
	320	4	0.3
PA 6	260	4	0.8
	260	10	0.3
	280	4	0.3
PA 66	270	4	0.8
	270	10	0.3
	300	4	0.3



# KAPACITET PLASTIFIKACIJE

## Plasticing capacity/recovery rate

- Količina materijala (plastike) koja se rastopi i homogenizuje u jedinici vremena (lb/hr, kg/hr, g/s).
- Zavisi od geometrije puža, obimne brzine, kontrapritiske, konstrukcije nepovratnih ventila i hoda puža.
- Kapacitet plastifikacije može se dobiti kao količnik mase otpreska i vremena punjenja. Ova karakteristika nije stabilna jer zavisi i od vrste polimera!



# KAPACITET PLASTIFIKACIJE

## Plasticing capacity/recovery rate

Machine manufacturer	Screw diameter	Screw speed	Screw circumferential speed <sup>1</sup>	Plasticizing flow rate
	[mm]	[rpm]	[m/s]	[g/s]
A	80	180	0.75	90
B	80	170	0.72	95.5
C	80	310	1.3	91
C	80	220	0.92	109
D	80	150	0.62	390
E	80	150	0.62	80
F	80	230	0.96	82
G	80	207	0.87	85
G	80	207	0.87	94.5
G	40	395	0.83	27.5
G	40	390	0.82	30
I	40	520	1.09	33
J	40	400	0.84	17.5
J	40	290	0.61	23
J	40	405	0.85	36
J	40	350	0.73	22
K	65	170	0.58	67
K	70	170	0.62	67
K	80	170	0.71	67

# OBRTNI MOMENT NA PUŽU

## Proračun obrtnog momenta

$$T_x = T_o \cdot (D_x/D_o)^{2.7}$$

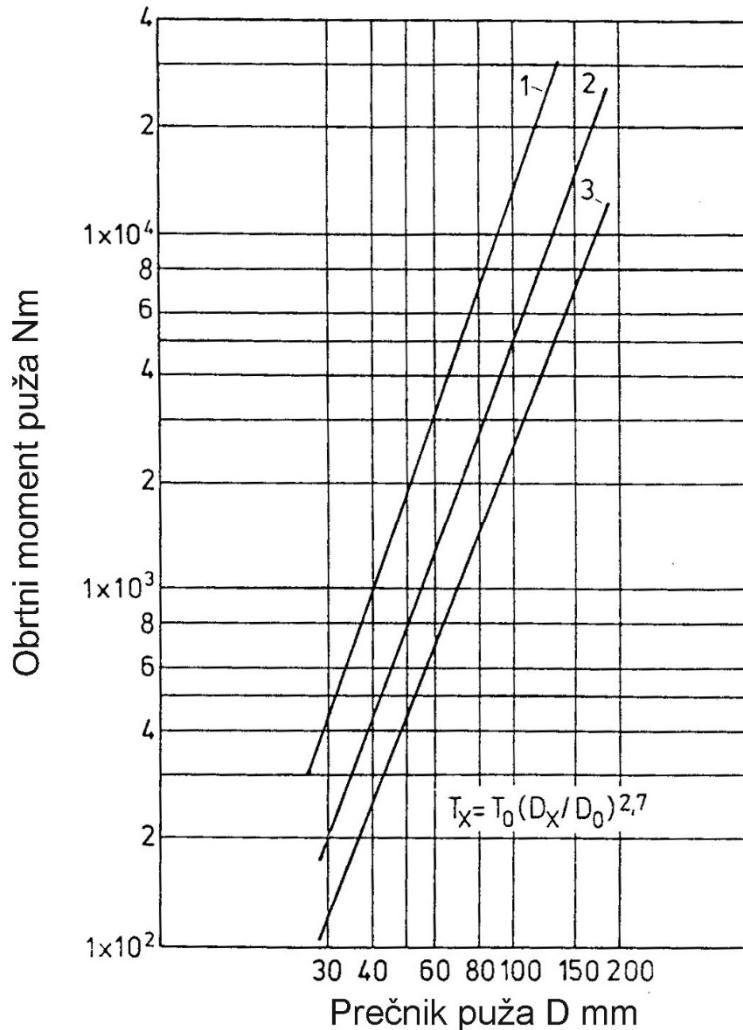
## Snaga potrebna za obrtanje puža

$$N_s = C \cdot n_s \cdot T_s \quad [kW]$$

C = 0,001-faktor konverzije

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

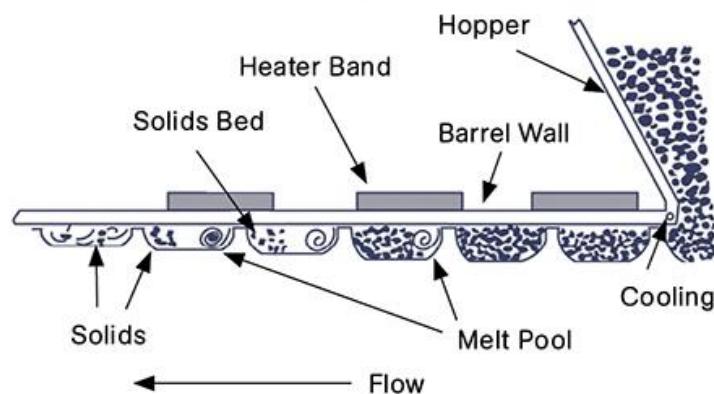
$T_s$  – obrtni moment puža



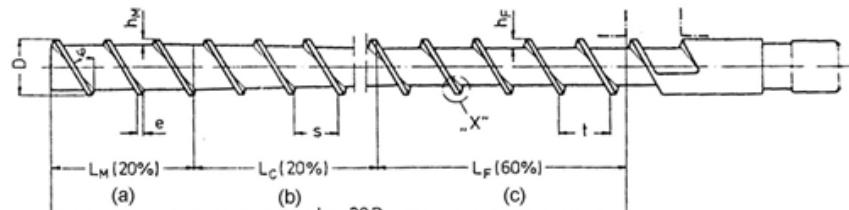
1: Termoseti, 2: Termoplasti, 3: PS i PE

# PUŽNI VIJAK - PUŽ

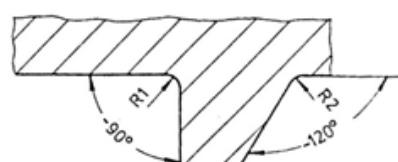
- Prvi put upotrebljen 1956 godine
- Obezbeđuje konstantnu razmenu toplote između tolog cilindra i hladnog materijala
- Plastifikacija, homogenizacija i ubrizgavanje
- Tri zone – zona uvlačenja, kompresiona zona i zona istiskivanja
- Odnos L/D=20:1 ±10% -standardni puž
- Odnos L/D=22:1 – 26:1 –za mašine za pakovanje (dodatne zone) – visokobrzinske mašine
- Aktivna dužina vijka (Evropski i Američki standard)
- 0.4 – 1.5mm/s - obimna brzina pužnog viljka kod standardnih plastomera
- 0.1 – 0.3mm/s - obimna brzina pužnog viljka kod mešavina



# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE



Detalj „X“



a - zona doziranja (metering zone)

b - kompresiona/prelazna zona (compression/transition zone)

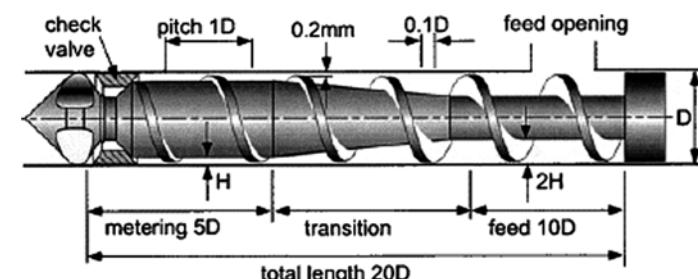
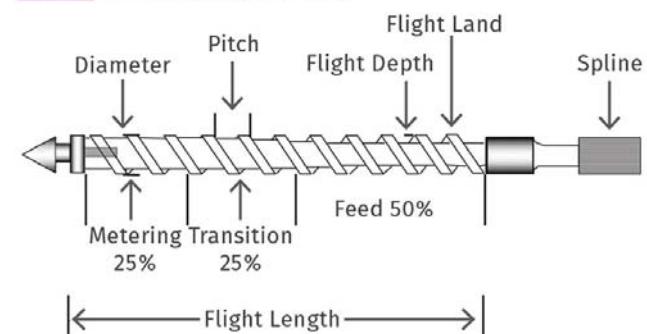
c - zona uvlačenja (feed zone)

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

Zakonitost:  $hx=h_0(D_x/D_0)^{0.74}$

Prečnik (mm)	Dubina zavojnice (punjenja) $h_r$ (mm)	Dubina zavojnice (merenja) $h_m$ (mm)	Dubina žljeba (odnos) $h_r/h_m$	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	Korak $t = D$ (to 0.7 $D$ )
> 120	max. 14	max 5.6	max 3 : 1	0.25	$L_s/t$ uvek oko 20 Širina zavojnice 0.1 $D$ Maksimalni hod punjenja $D$

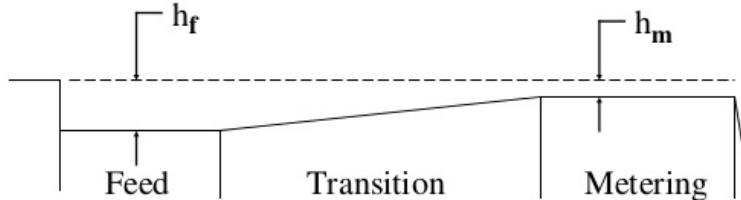
FIG 2 Screw Components



# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE

## Stepen kompresije (compression ratio)

- Odnos dubine prvog navoja u zoni uvlačenja i dubine navoja poslednjeg navoja u zoni doziranja/potiskivanja



$$\text{Compression Ratio (C.R.)} = \frac{h_f}{h_m}$$

- Odgovarajući stepen kompresije puža je ključna komponenta za pravilno topljenje i mešanje plastike.
- Nizak - 1.5 do 2.5:1 – materijali osetljivi na smicanje (PVC)
- Srednji - 2.5 do 3.0:1 – opšte namene
- Visok - 3.0 do 5.0:1 – kristalni materijali (Nylon)

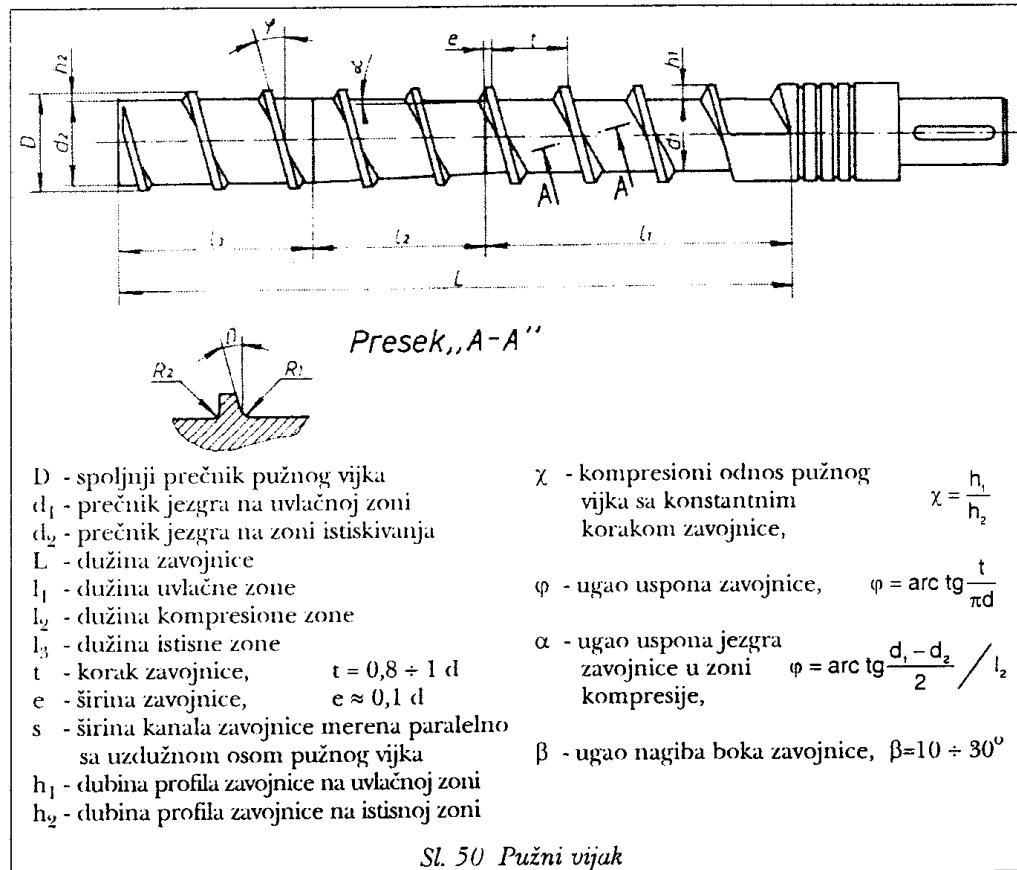
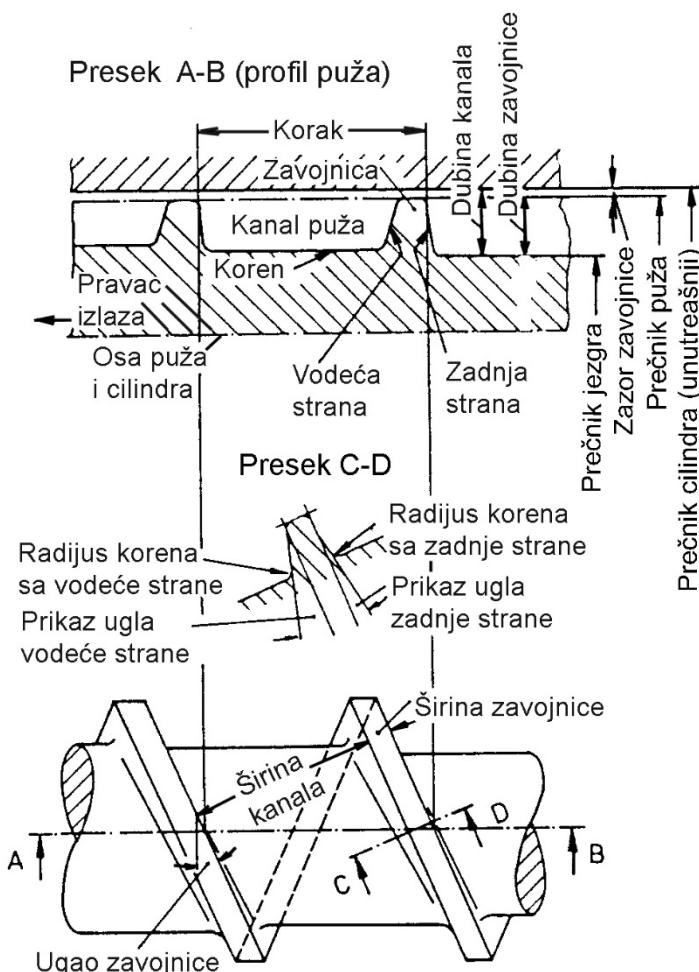
Higher the CR results the following ....

- Veća toplota usled smicanja se prenosi na materijal
- Veća toplotna homogenost rastopa
- Visok potencijal za stvaranje zaostalih naprezanja
- Visoka potrošnja energije

# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE

## Geometrija pužnog vijka kod termoplasta

- Dubina profila zavojnice ( $h_f, h_c, h_m$ ) - manja dubina za kristalne termoplaste
- Dubina kanala

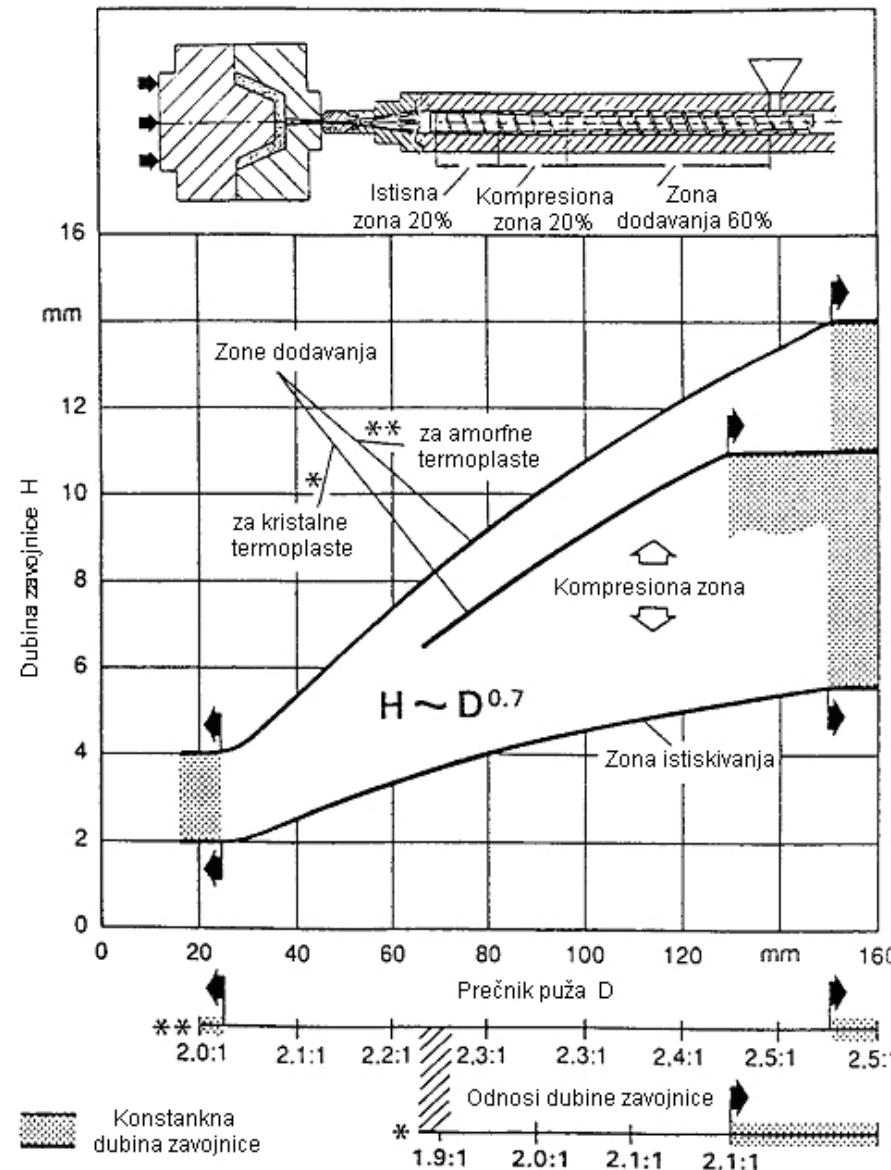


Tab. 14 Preporuke za konstrukciju pužnog vijka (Oznake su date na Sl. 50.)

TERMOPLAST	L/D	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	t	e	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	f
PA, ABS, PMMA, PE, PEEK, LCP	20	12-15 D	1 D	4-5 D	1 D	0,1 D		0,04-0,05 D	2-3
PP, PS, CA, TPE, PVC-mek	20	7-10 D	6-8 D	4-5 D	1 D	0,1 D		0,04-0,05 D	2-4
PVC-tvrdi	20	4-6 D	14-16 D		1 D	0,1 D		0,04-0,05 D	

# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE

Zavisnost dubine zavojnice puža od prečnika za preradu termoplasta



# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE

Proračun geometrije, energetskih zahteva i kapaciteta pužnog vijka

- Poznato:  $L_o$ ,  $h_o$ ,  $p_o$ ,  $D_o$ ;  $L/D=L_o/D_o$  i  $p/D=p_o/D_o$
- Odnos dubine navoja, prečnika pužnog vijka i vremena plastifikacije

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

- Odnos obmnih brzina

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

- Odnos istisnute zapreme i utrošene toplote

$$v/v_o = (D/D_o)^2 = E_H/E_{Ho}$$

- Odnos obrtnih momenata

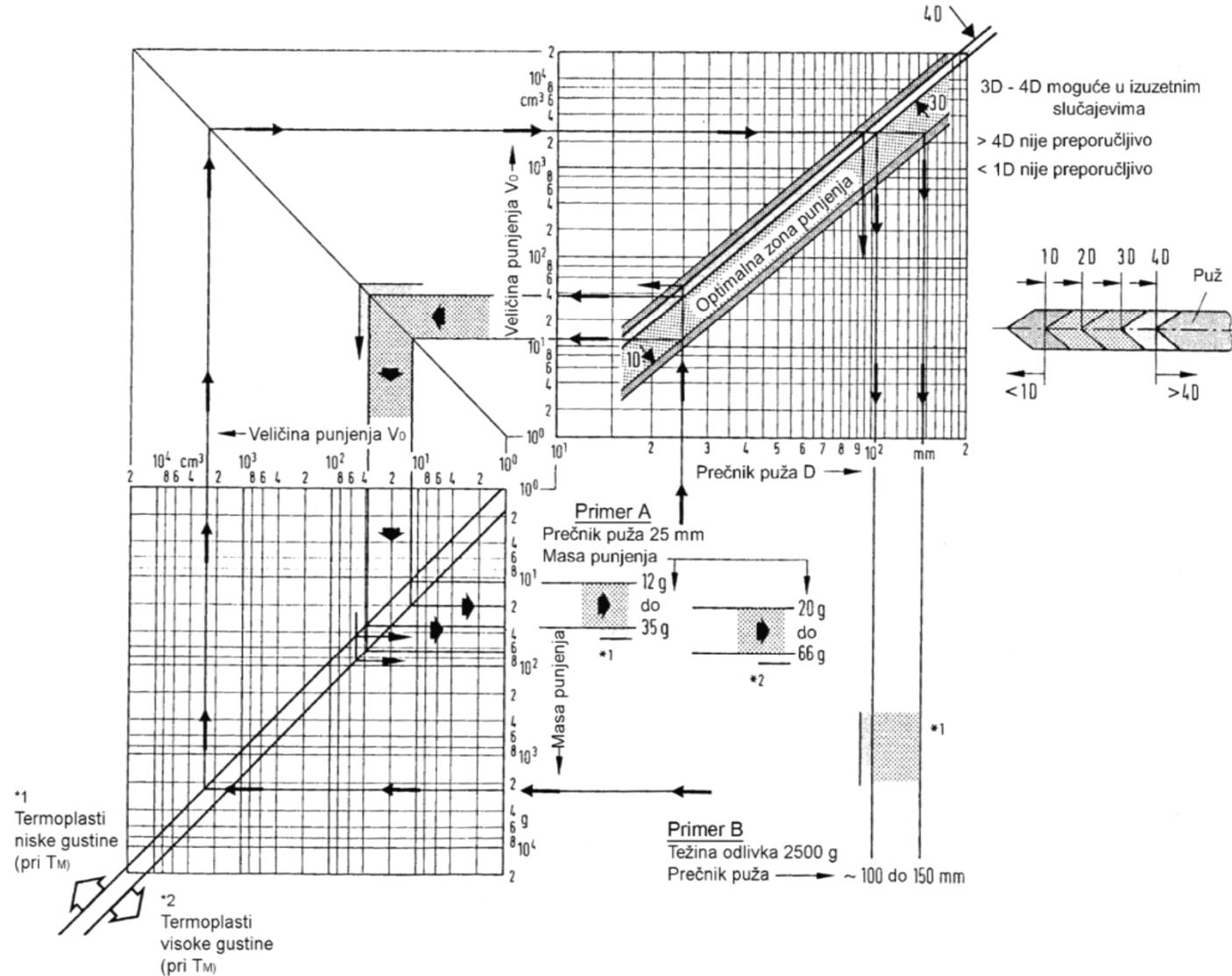
$$T/T_n = (D/D_o)^{2.7}$$

- Odnos tangencijalnih brzina

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

# STANDARDNI PUŽ ZA TERMOPLASTE

*Veza između prečnika puža, zapremine punjenja, gustine i mase ubrizgavanja*



# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

Koriste se za preradu posebnih materijala i u posebnim slučajevima

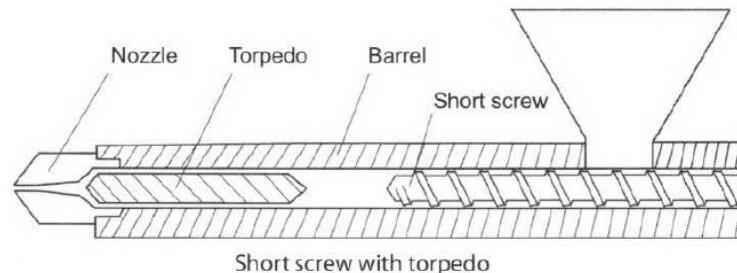
- Za Nylon, PBT, PET i POM se koriste PV za plitkim navojem
- Za CA i CAB se koriste PV sa relativno dubokim navojem
- Kod visookopterećenih puževa pri procesiranju PS, Pe i PP (industrija pakovanja) se koriste PV ekstremno velikih dužina L/D=25:1

Standardni puževi (sa svojim slabim performansama mešanja, nerobusnim transportnim karakteristikama, ograničenom snagom transporta u kombinaciji sa neadekvatnim količinama topljenja i efektom mešanja) mogu se poboljšati posebno dizajniranim puževima – unapređena geometrijama i jedinica za ubrizgavanje.

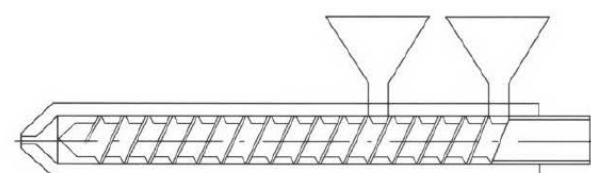
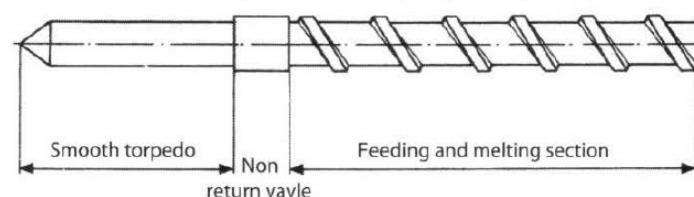
- Varijacije dubine zavojnice
- Smanjena dužina puža
- Duži puževi
- Redukcija punjenja
- Modifikacija korišćenjem elemenata za smicanje i/ili mešanje
- Varijante koje uključuju druge tipove zavojnice, dva- i više kanalne (navoj sa više zavojnica)
- Specijalni uređaji za punjenje u zoni uvlačenja



Plunger injection unit for producing marbled parts (Arburg design)



Marbling screw with long torpedo tip



Double-flighted screw for producing marbled parts using two hoppers for different-colored plastics separated by the maximum feeding stroke distance (Demag Ergotech design)

# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Puževi povećanog kapaciteta plastifikacije

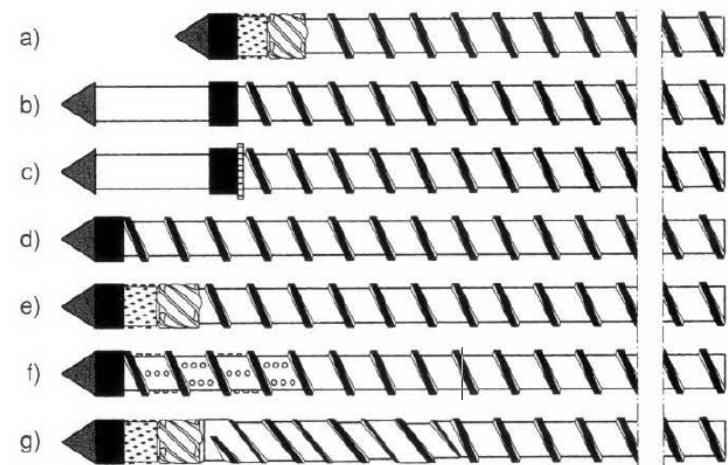
Dalji razvoj puževa za preradu termoplasta se fokusira na ispunjavanje dva zahteva:

- Veći kapacitet plastifikacije za brze proizvodne procese
- Postizanje dobre homogenosti materijala i termičke stabilnosti rastopa za visokokvalitetne proizvode.

Ekstremne brzine puževa se koriste za povećanje kapaciteta plastifikacije, posebno u obradi PS, PE i PP pri izradi ambalaže (industrija pakovanja)

### Konstruktivne mere:

- Primena elementa za smicanje i mešanje na vrhu standarnog puža sa tri zone – približna dužina 20 D (a)
- Montiranje produženog vrha na standardni puž sa tri zone – produžena dužina puža (23D do 25D) (b)
- Montiranje produženog vrha na standardni trodelni puž sa dodatnim prstenom za smicanje kao sedištem za nepovratni ventil (c)
- Producenje puža sa tri zone do 26D (27D) (d)
- Montiranje elementa za smicanje i mešanje na vrhu produženog puža (e)
- Postavljanje pin miksera u zonu doziranja (f)
- Primena barijernog puža (g)
- Korišćenje puževa sa više zavojnica



# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Pužni vijak sa barijerom

- Prvenstveno se koristi kod ekstruzije
- Kapacitet puža je osetljiv na promenu količine rastopljenog materijala
- Koriste se puževi dužine nešto veće od  $L/D=20:1$
- Uspešno se koriste kako za direktno mešanje recikliranog i osnovnog materijala, tako i za bojenje.

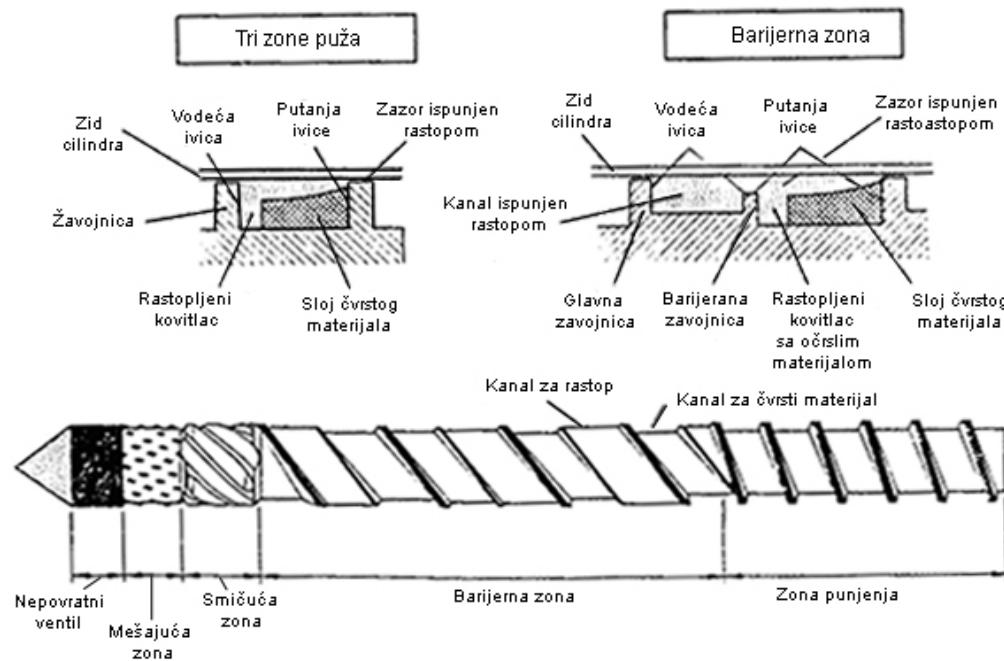
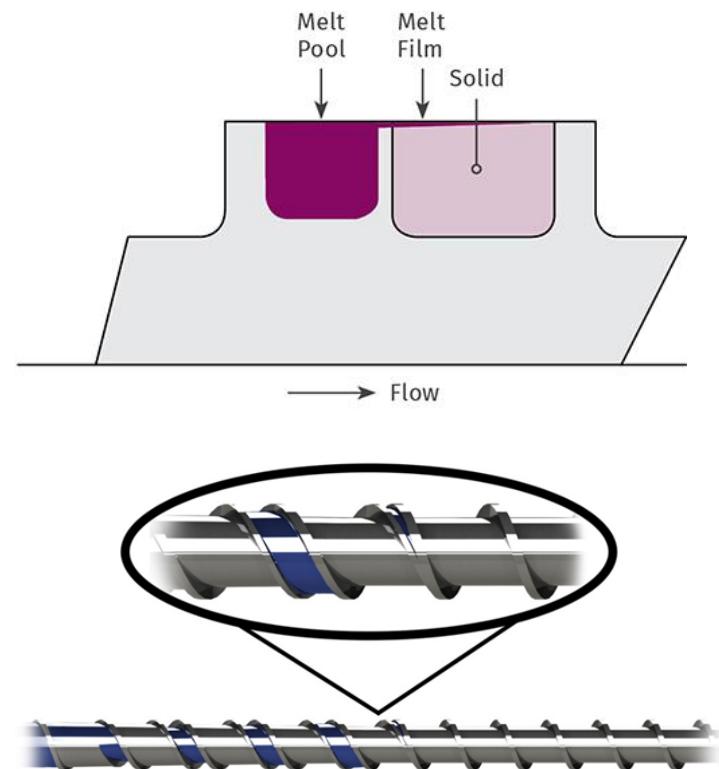
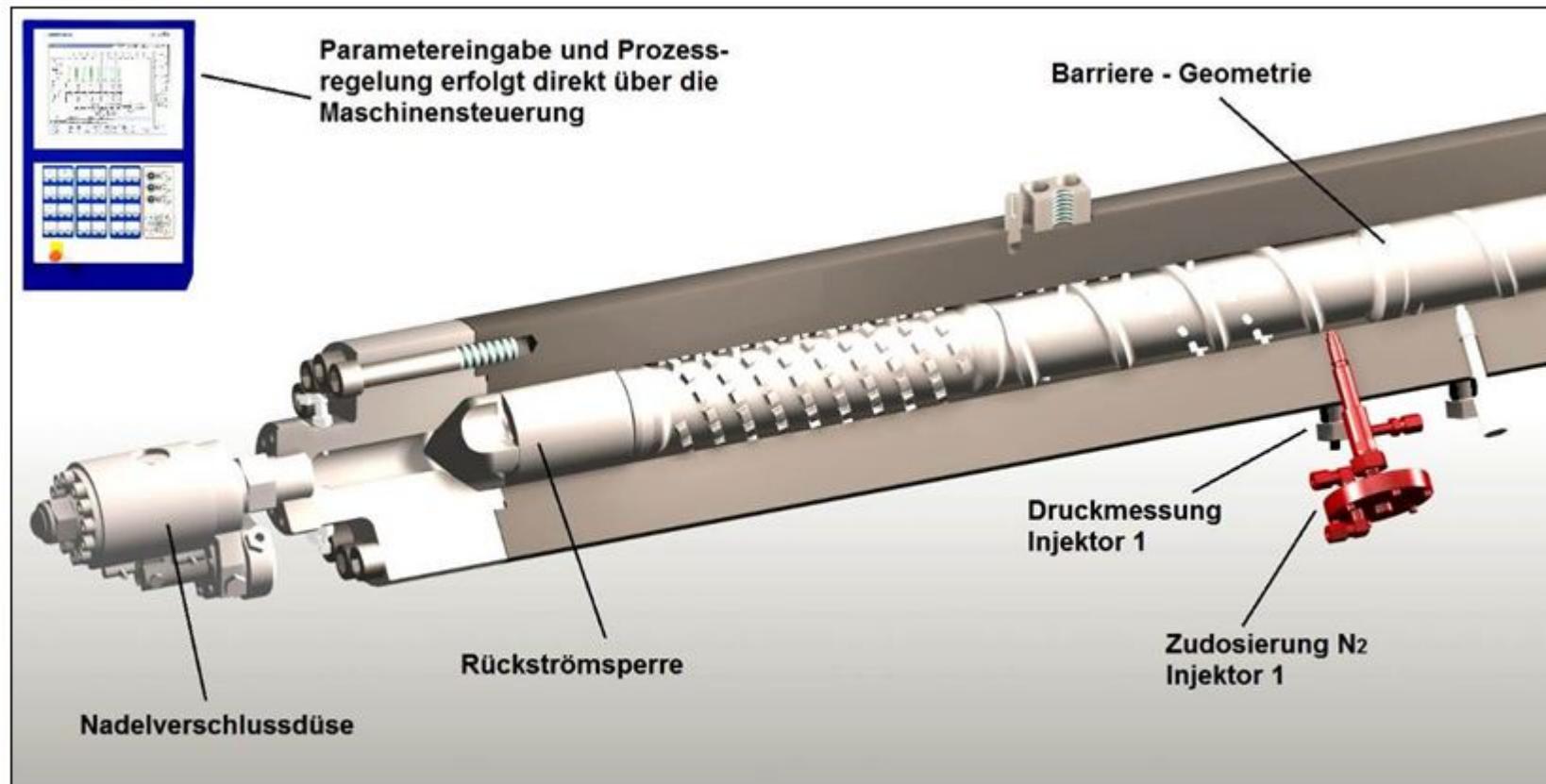


FIG 2 Typical Barrier Screw



# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

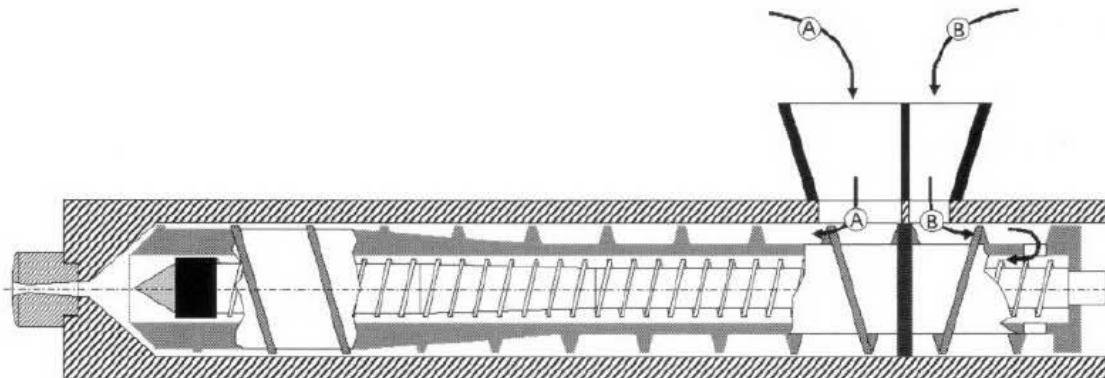
Pužni vijak sa barijerom



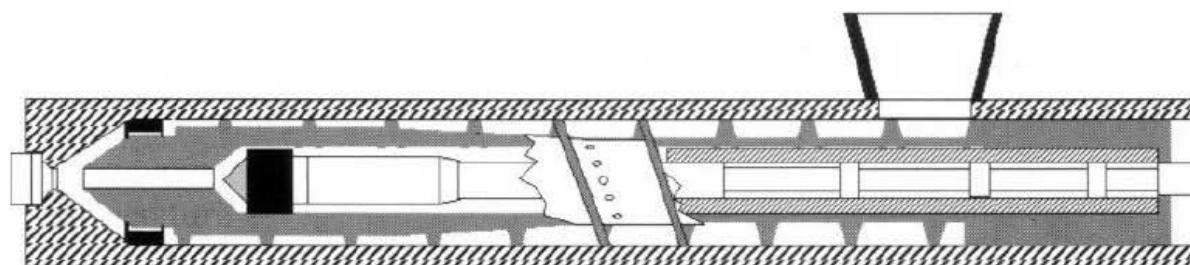
# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Koaksijalni puževi

- Takozvani "Duet" puž je koaksijalna jedinica koja se sastoji od spoljnog transportnog puža i unutrašnjeg puža za ubrizgavanje.
- Plasifikacija i ubrizgavanje su odvojeni.
- Mekše i homogenijeg mešanja rastopljene mase - puž uvek ima istu dužinu transporta i plastificiranja i može polako da rotira jer je velikog prečnik.



Plasticating system with coaxial screws (CKT Tauscha design) screw diameter 60 mm; L/D ratio 7; screw speed 5 to 15 rpm, plunger diameter 28 mm



Plasticating system with coaxial plunger inside the screw (CKT Tauscha design)

# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Pužni vijak za kruti PVC

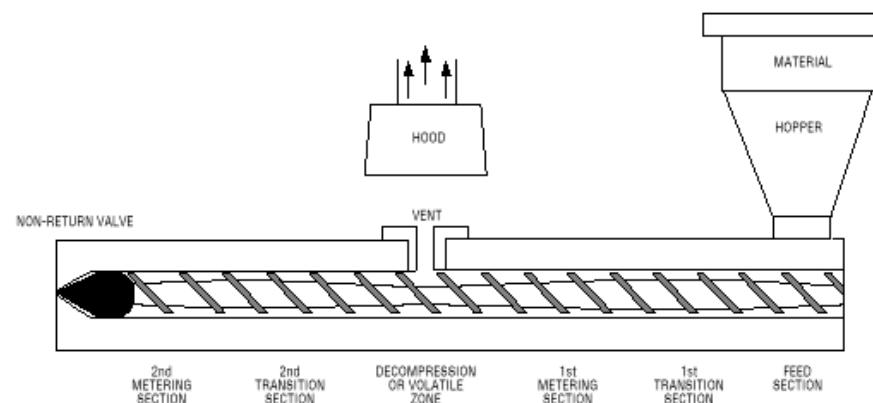
- Za kruti PVC koriste se specijalni puž
- Izrađuju se od čeličnih materijala koji obezbeđuju dobru atheziju u odnosu na prevlaku i koji su otporni na koroziju (Ni, Cr)

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: $2 \mu\text{m}$
40	5.5	3	1.8 : 1	~0.15	$R_1 \sim 3 \text{ mm}$
60	7.3	4	1.8 : 1	~0.2	$R_2 \sim 5-10 \text{ mm}$ (30-50 mm dia)
80	9	5	1.8 : 1	~0.2	$R_2 \sim 10 \text{ mm}$ (60-100 mm dia)
100	10.5	5.5	1.9 : 1	~0.2	Korakt = $D$ (to 0.8 $D$ ) $L_s/t$ 18- 20 Širina zavojnice 0.1 $D$ Maksimalni hod punjenja $D$

# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Puž za ventilirani cilindar

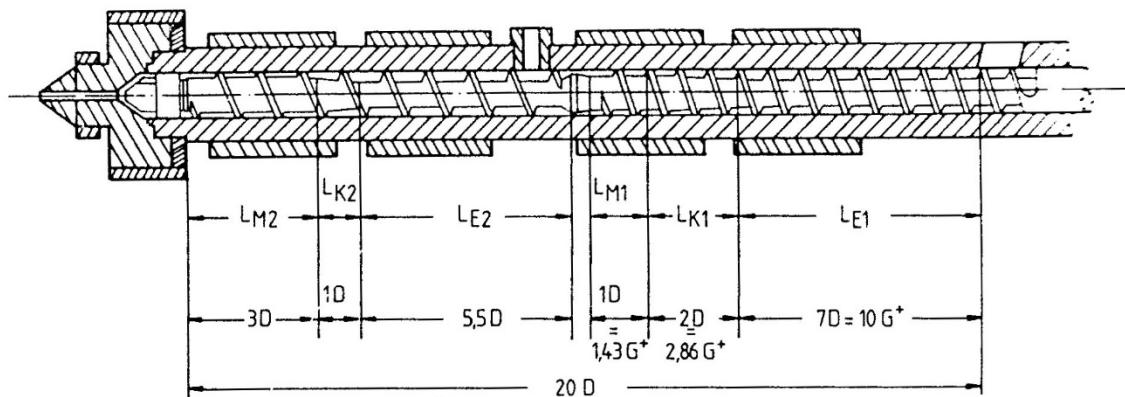
- 1965 god. ventilirani cilindar se uvodi u eksploataciju
- Prvenstveno se koristio za degazaciju i dehidratizaciju kod prerađe Acryl, CA, CAB i ABS, a kasnije i PC, Nylon...
- Nedostatci procesa degazacije:
  - degradacija i dekolorizacija materijala na mestu degazacije
  - problemi oko promene materijala
  - proces degazacije nije moguć sa standardnim pužem
  - uspešnost degazacije zavisi od klimatskih uslova
- Prečnici puževa za degazaciju sa Ø25-170 mm
- Konstrukcioni koncepti:
  - tandem puževi - dva standardna puža srednje dužine  $L_s/D = 2 \cdot (13 \div 16)$
  - puževi sa smanjenim punjenjem
  - kratak puž L/D=20:1
- Kapacitet jedinice za IP manji je 15 do 50% u odnosu na standardne puževe
- Veće opterećenje, površina mora biti otporna na koroziju



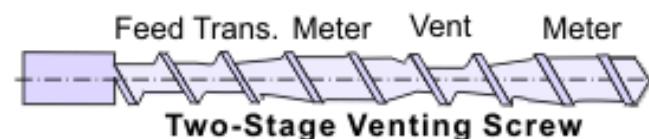
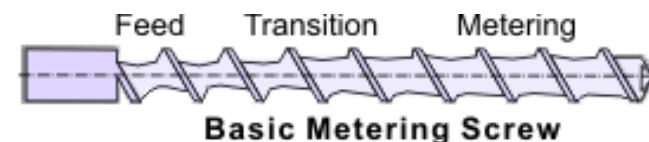
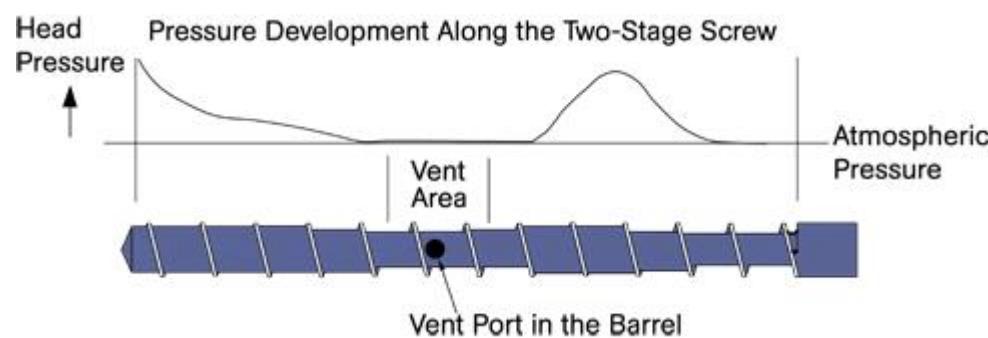
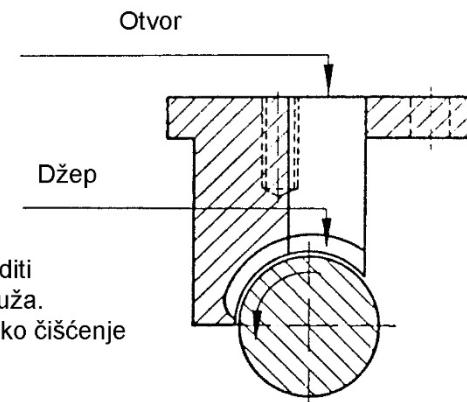
# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Puž za ventilirani cilindar

Dvostepeni puž sa ventilirajućim cilindrom



Umetak se može vaditi  
u svim pozicijama puža.  
Lak rad, jeftin ali tesko čišćenje



# SPECIJALNI PUŽEVI ZA TERMOPLASTE

## Puž za ventilirani cilindar

Geometrijske karakteristike i dimenzioni odnosi puževa za ventilirajuće cilindre

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 oštice $s_1$
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

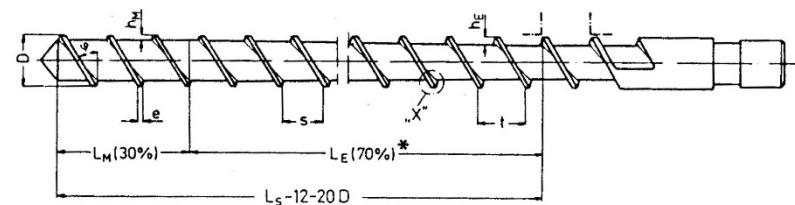
$R_1 \sim 2 - 3$  mm,  $R_2 \geq 10$  mm za više do 60 mm

# PUŽEVI ZA PRERADU TERMOSETA

- Glavne karakteristike puževa za termosete
  - Kraći su i imaju manju dubinu navoja i kanala (zazora) u odnosu na puževe za termoplaste
  - L/D=12:1 do 15:1 za viskozne materijale i 10:1 za BMC, DMC
  - Odnos dubina zavojnice 1:1 do 1:1,3
  - Nemaju nepovratni ventil
  - Konstrukcija puža omogućava prevenciju nepravilnog zagrevanja
  - Veći je povratni tok pa je širina navoja je veća nego kod puževa za termoplaste i iznosi  $(0.15 \div 0.2)D_s$
- 0.5 mm rastojanje između vrha puža i mlaznice-sprečava se polimerizacija
- Grejanje cilindra je pomoću vode (60-90° C)

# PUŽEVI ZA PRERADU TERMOSETA

Geometrijske karakteristike i dimenzioni odnosi puževa za termosete

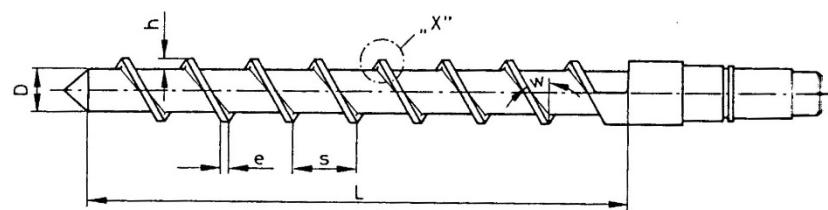


\* Alternativno  $L_F = L_M$  sa  $h_F = h_M = \text{konstantno}$   
ili kontinualno opadajući  
do  $h_F / 1.3$

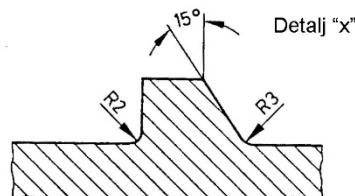
A

$$\text{Zakonitost: } h_x = h_0 (D_x / D_0)^{0.74}$$

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

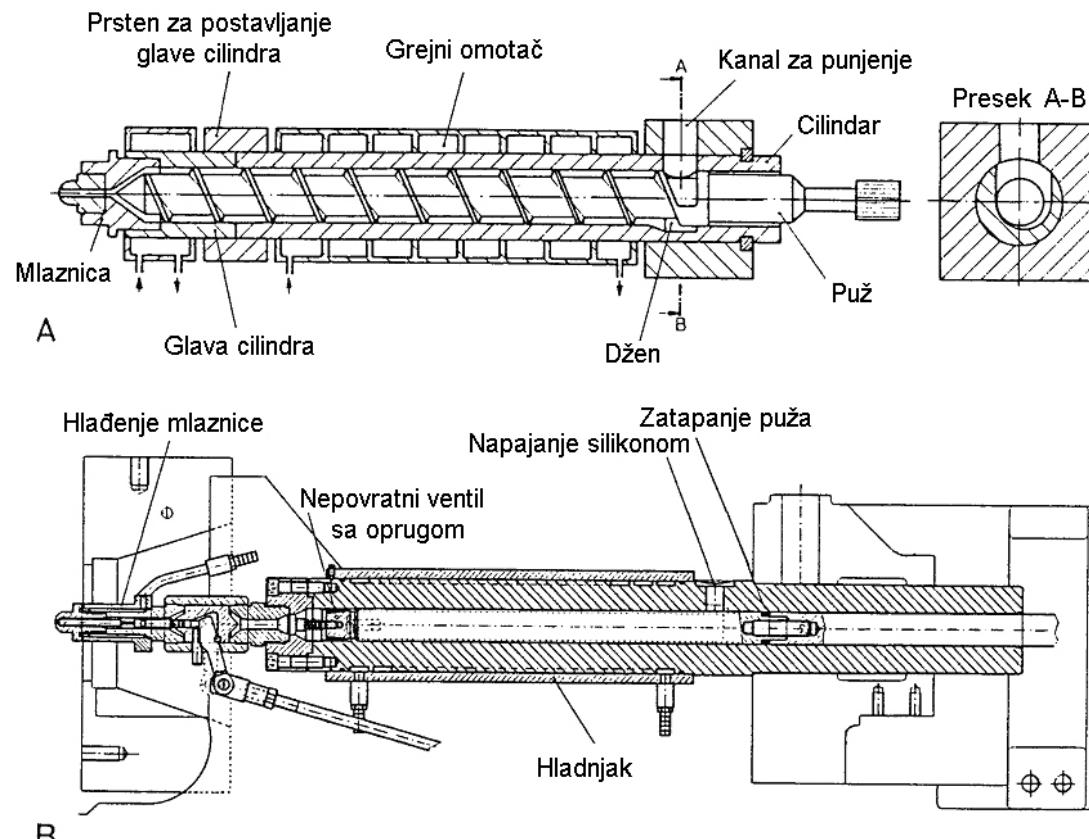


B



# PUŽEVI ZA PRERADU TERMOSETA

Injekciona jedinica za termosete i elastomere



A: Standardna konstrukcija

B: Cilindar za preradu tečnog silikona (Sistem Engel)

# PUŽ ZA ELASTOMERE

- 1960 - konstruisana prva mašine za brizganje elastomera (gume)
- Prisutan problem prevremen vulkanizacije-održavanja temperaturnog profila i vremena zagrevanja
- Kontrola temperature duž cilindra
- Koriste se jednostepeni i dvostepeni puževi, kao i klipne jedinice za plastifikaciju
- Prečnik pužnog vijka je 30 - 120mm
- Puž je kraći u odnosu na standarne i ima malu dubinu navoja koja opada počev od uvlačne zone
- U nekim slučajevima (nepravilno zagrevanje, povratni pritisak ) cilindar se mora hladiti vodom
- U cilindru postoji ulazni džep
- Kompresna zona iznosi L/D=5.5 a zona punjenje L/D=4.5. Odnos dubina zavojnica je 1,1:1 do 3:1, a ako postoji zona mešanja onda je 5:1.
- Pužni viljak obično nema nepovratni ventil.
- Zbog izraženog habanja, puž mora imati visoku tvrdoću.

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

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

## PUŽ ZA PRERADU SILIKONA

- Sličan je pužu za elastomere
- Kod ovih puževa nema promene dubine navoja
- Kanal kod ovih puževa je nešto pliči nego kod elastometra
- Nepovratni ventil se koristi, da bi se sprečio uticaj povratnog pritiska na zonu punjenja

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
40	6.1	5.1	12 - 15	~0.15	Peak-to-valley height of surface: 2 - 5 $\mu\text{m}$
60	8.2	6.9	12 - 15	~0.15	$R_1 \sim 2 \text{ mm}$
80	10	8.4	12 - 15	~0.2	$R_1 \sim 5 \text{ mm} (30 - 50 \text{ mm})$
100	11.7	9.7	12 - 15	~0.25	$R_2 \sim 10 \text{ mm} (60 - 100 \text{ mm})$ Odnos dubine zavojnice 1.1 : 1 do 1.3 : 1 Maksimalan put punjenja 4D

# HABANJE PUŽA I ZAŠTITA OD HABANJA

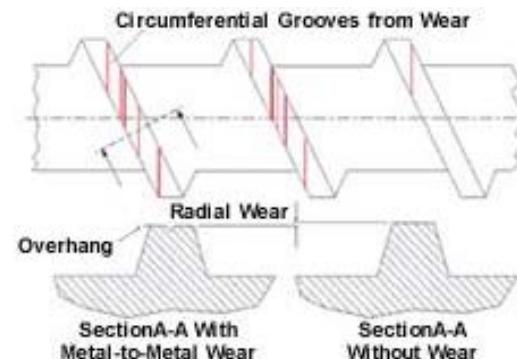
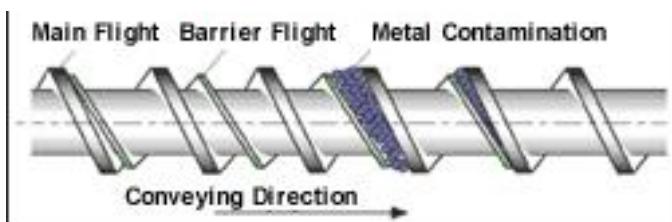
Lokalne slabe tačke u sistemu su:

- Nepovratni ventil,
- Mlaznice,
- Priklučna mesta (glava i cilindar, glava i mlaznica...),
- Puž
- Cilindar
- Krivine

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

1. Izborom odgovarajućeg materijala i njegovim odgovarajućim tretmanom
2. Pravilnom konstrukcijom elemenata

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





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



Za bimetali cilindar koriste se tri kombinacije čelika:

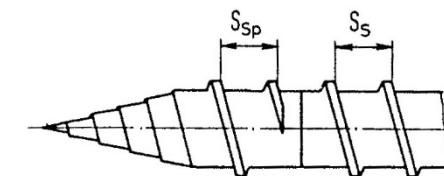
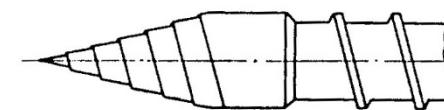
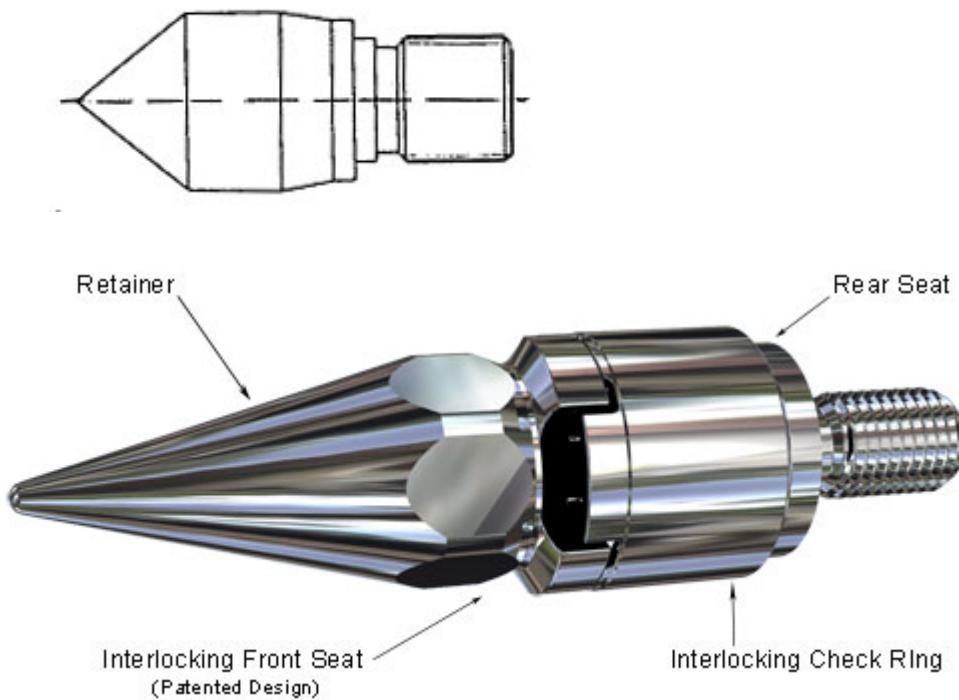
1. volfram-ugljenični kompozit
2. hrom-molibden
3. gvožđe-bor-nikl legura

## Zaštita od habanja konstrukcionim merama:

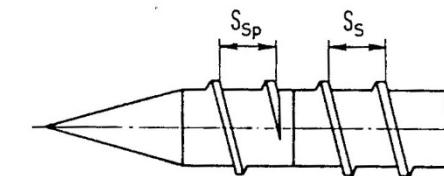
- Izbegavanje trenje između matalnih delova (međusobno) i deponovane plastike i metala
- Kontaktni pritisak od 400Mpa između cilindra i glave cilindra treba ostvariti pomoću zavrtanjske veze
- Izbegavati mrtve uglove u cilindru i glavi cilindra
- Predvideti otvoreni poprečni presek u nepovratnom ventilu od 80-120% od kružnog preseka frontalnog kraja puža
- Primjenjivati ojačan oblik zavojnice puža
- Omogućiti na odgovarajućem rastojanju od prstena ventila povećani prečnik na pužu
- Dužina zone doziranja (10-12)D, kako bi se sprečilo da nerastopljeni granulat dospe u kompresionu zonu.

## Vrh pužnog vijka

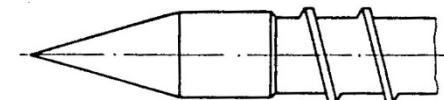
- Sprečava povratni tok (naročto je bitno u fazi brizganja i naknadnog pritiska)
- $60-90^\circ$  - Ugao vrha kod puževa za termosete bez nepovratnog ventila
- Za kruti PVC koristi se tzv. otvoreni vrh puža koji omogućuje dobro tečenje i sprečava protivtok



$$S_{Sp} = S_S$$
$$S_S = D$$



$$S_{Sp} = (0,5-1) \cdot S_S$$
$$S_S = D$$



## Nepovratni ventil

- Onemogućuje protivtok rastopa u fazi brizganja i naknadnog pritiska
- Poprečni presek nepovratnog ventila ne treba da je manji od 80 (120%) od frontalnog preseka kraja puža
- Nepovratni ventil tipa prstena (ugao konusa 45-60°)
  - Vrh puža
  - Sedište
  - Klizni prsten

