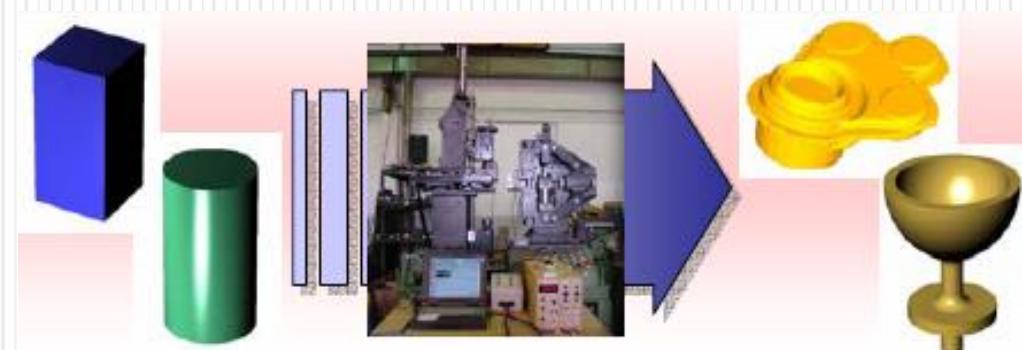


# TEHNOLOGIJA MAŠINOGRADNJE

deo: TEHNOLOGIJA PLASTIČNOG DEFORMISANJA

Doc. dr Mladomir Milutinović



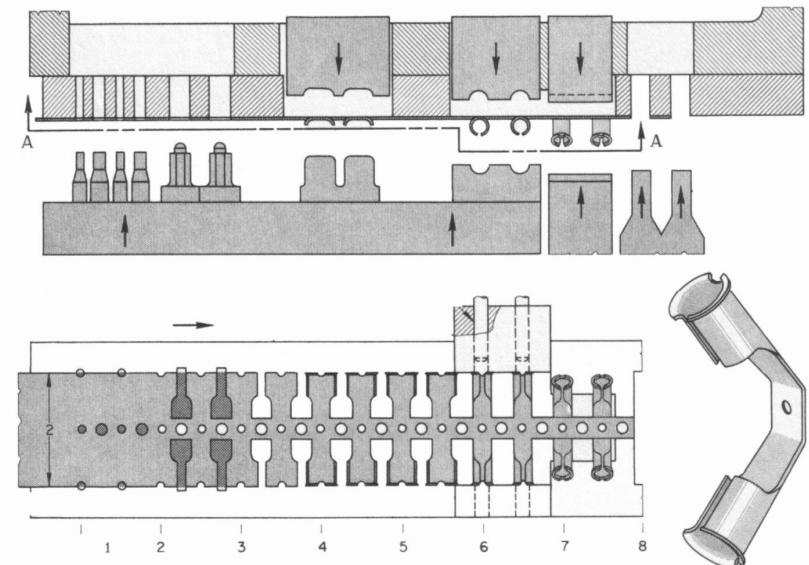
# SAVIJANJE



- Savijanje je tehnologika metoda plastičnog deformisanja koja nalazi ziroku primenu u praksi, kako u uslovima serijske i masovne, tako i u uslovima pojedinačne proizvodnje
- Ovom metodom obrađuje se lim, oice, profili, cevi itd.
- Dimenzijske karakteristike radnog komada kod savijanja kreću se od reda veličine nekoliko milimetara do nekoliko metara
- Savijanje se često izvodi u kombinaciji sa drugim obradama plastičnog deformisanja, kao što su razdvajanje, probijanje i dr.
- U najvećem broju slučajeva savijanja zona plastičnog deformisanja skoncentrisana je na jednu usku oblast zapremine (lokalno deformisanje), mada kod npr. kružnog savijanja cela zapremina pripremka učestvuje u plastičnom deformisanju

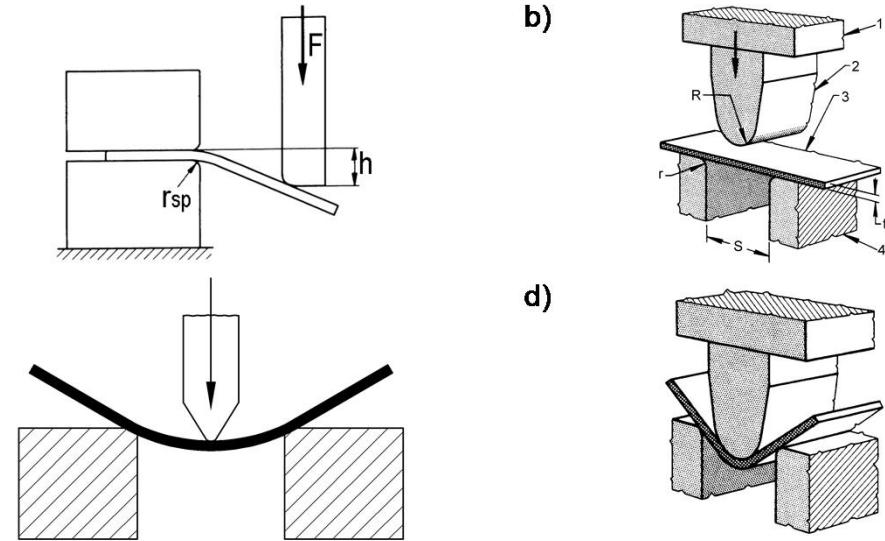
## Osnovne metode oblikovanja savijanjem:

- savijanje na univerzalnim mazinama pomoći specijalnog alata
- profilno savijanje na specijalnim mazinama - abkant presi
- profilno savijanje pomoći u valjaka
- kružno savijanje lima
- kružno savijanje profila
- savijanje uskih traka i oice

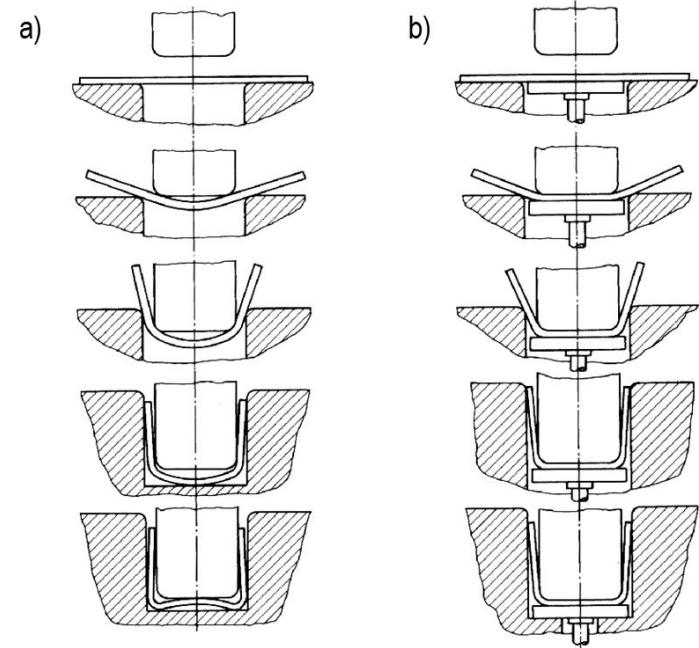


# Vrste savijanja prema konstrukciji alata

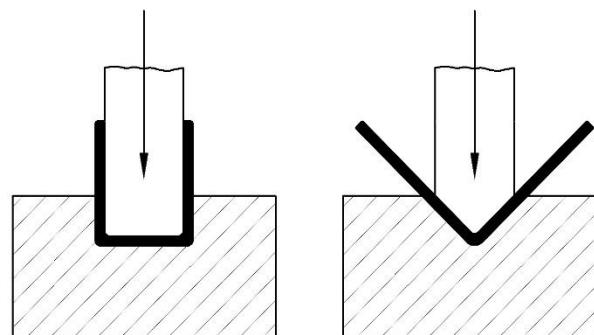
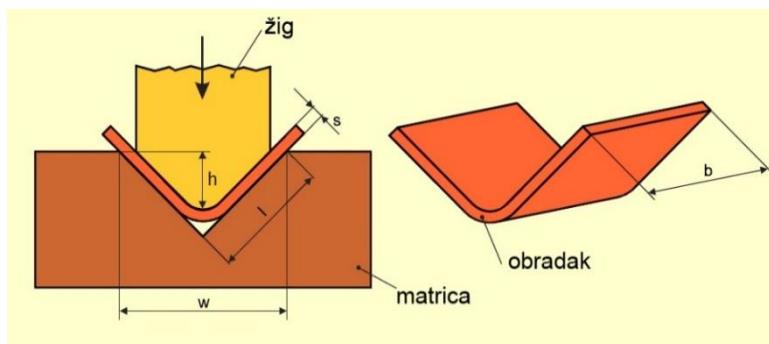
## Slobodno savijanje



1 – oslonac žiga, 2 – žig, 3 – lim, 4 – matrica, R – radijus žiga,  
r – radijus matrice, S – otvor matrice



## Savijanje u kalupu



## Granične vrednosti radijusa savijanja

- „ Pri savijanju postoje određena ograničenja u pogledu veličine radijusa savijanja.
- „ Suvise male vrednosti radijusa savijanja izazivaju vrlo intenzivnu deformaciju i mogu biti uzrok pojave razaranja materijala.
- „ Kod prevelikih vrednosti radijusa savijanja, može se desiti da ne nastane plastična deformacija tj. da deformacija ostane u domenu elastične oblasti.
- „ Optimalna vrednost radijusa savijanja treba da se nalazi između gornjih i donjih vrednosti

$$r_{\min} < r < r_{\max}$$

## Granične vrednosti radijusa savijanja

**Minimalna vrednost** radijusa savijanja pri kojoj neće biti razaranja određuje se s obzirom na stepen deformacije koji odgovara tački  $M_u$  u dijagramu zatezanja i koja iznosi:

$$r_{\min} = \frac{s}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_m} - 1 \right)$$

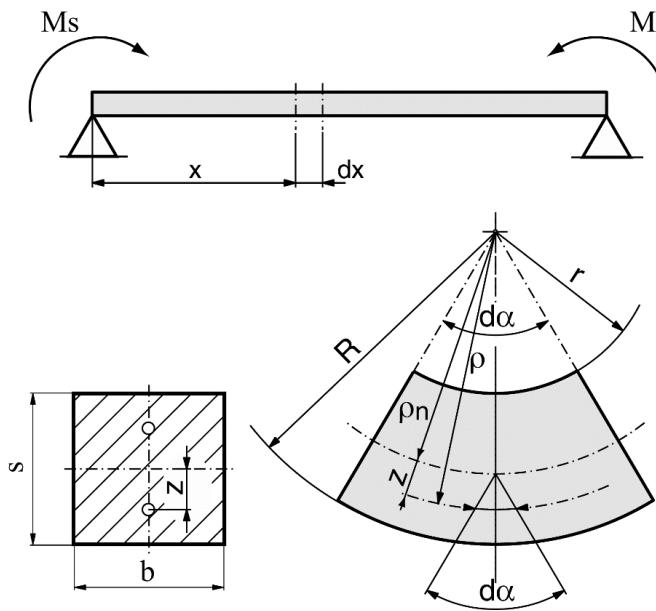
$r_{\min} = c \cdot s$  - za praktičnu upotrebu

Materijal	c
Č.0210	1,5
Č.0300	1,8
Č.0400	2,0
Č.0145	0,5
Č.0147	0,5
Ms 60	0,4
Cu 63 Zn	0,4
Cu 72 Zn	0,3
Cu	0,25

**Maksimalna vrednost** radijusa savijanja određuje se s obzirom na deformaciju na granici razvlačenja  $\left( \varepsilon_v = \frac{R_v}{E} \right)$

$$r_{\max} = \frac{s}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right) = \frac{s}{2} \left( \frac{E}{R_v} - 1 \right) \cong \frac{s}{2} \cdot \frac{E}{R_v}$$

# Deformacije pri savijanju



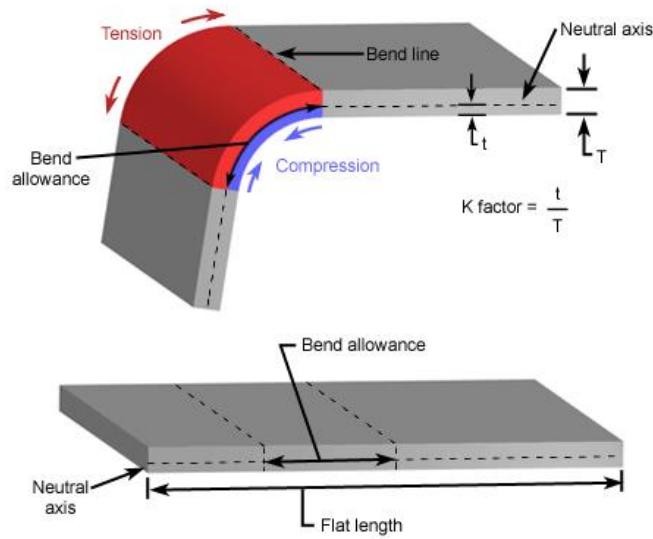
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{z \cdot d\alpha}{\rho_n \cdot d\alpha} = \frac{z}{\rho_n}$$

$$\varepsilon_r = \frac{r - \rho_n}{\rho_n} < 0 \quad \varepsilon_R = \frac{R - \rho_n}{\rho_n} > 0$$

$$d\varphi = \frac{dz}{z} \Rightarrow \varphi = \ln z \Big|_{\rho_n}^R = \ln \frac{R}{\rho_n}$$

$$\rho_n = \sqrt{R \cdot r}$$

$\left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} \varphi = \frac{1}{2} \ln \frac{R}{r}$

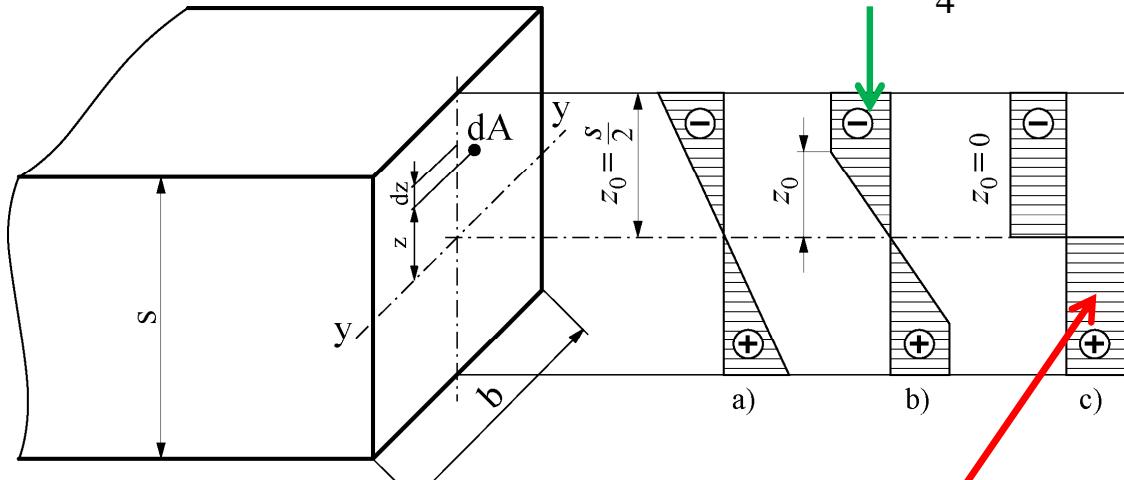


# Deformacije pri savijanju

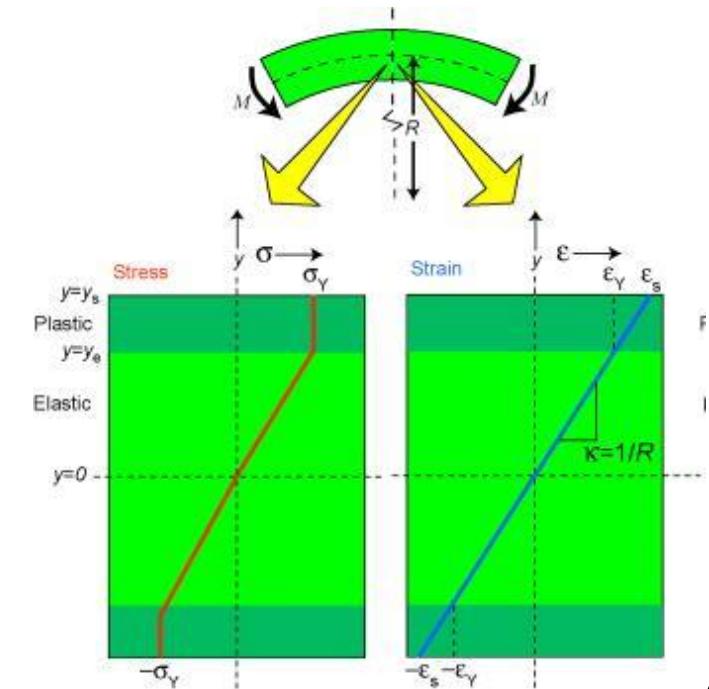
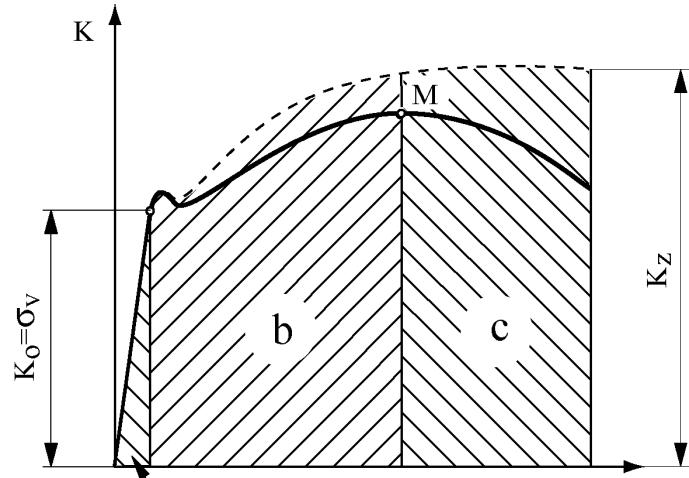
Deformacije pri savijanju mogu biti

- elastične
- elastično-plastične:  $5 \leq \rho_r \leq 200$  i  $R_v < K < R_m$
- plastične:  $\rho_r > 5$  i  $K > R_m$

$$\rho_r = \frac{\rho_n}{s}$$

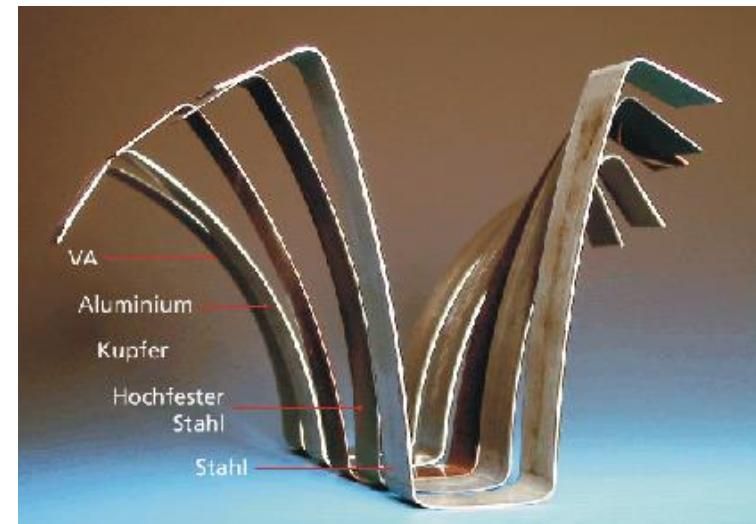
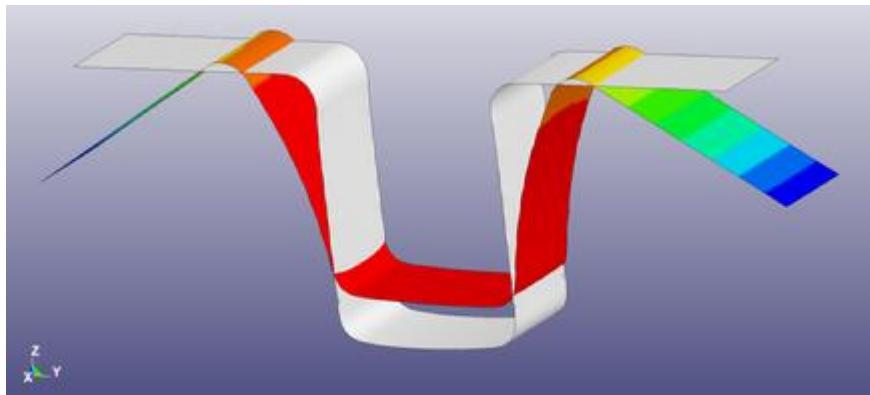


$$M_s = \beta K \frac{b \cdot s^2}{4}$$



# Elastično ispravljanje

- Elastične deformacije postoje u svim procesima obrade deformisanjem
- Njihov značaj za tačnost izrađenog komada veći je ako je ukupna deformacija relativno mala, kao što je slučaj pri oblikovanju savijanjem.
- Obrada lima savijanjem ima znatne specifičnosti u odnosu na ostale tehnološke metode plastičnog deformisanja metala koje proističu, pre svega, iz točnijice da se kod ove obrade, za razliku od npr. zapreminske obrade deformisanjem, ne mogu zanemariti elastične deformacije radnog dela nakon savijanja
- Prilikom koncipiranja, konstrukcije i izrade alata za savijanje neophodno je voditi računa o prirodi i intenzitetu tih povratnih deformacija



# Elastično ispravljanje

Promena ugla kraka obratka usled elastičnog ispravljanja definize se **faktorom elastičnog ispravljanja ( $K_\alpha$ )**

$$K_\alpha = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{u1} + 0.5s}{r_{u2} + 0.5s}$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot K_\alpha$$

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{K_\alpha}$$

$$r_{u1} = \frac{r_{u2}}{1 + \frac{r_{u2} \cdot R_m}{s \cdot E}}$$

$\alpha_2$  . ugao na obratku posle elastičnog ispravljanja

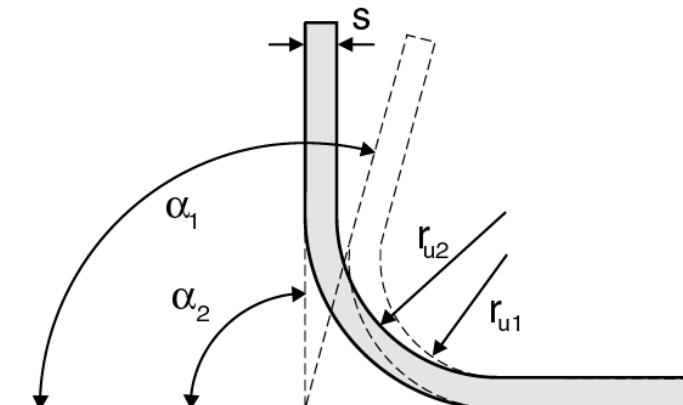
$\alpha_1$  . ugao alata

$r_{u1}$  . radijus alata

$r_{u2}$  . radijus obratka posle elastičnog ispravljanja

$R_m$  . zatezna vrsto a [N/mm<sup>2</sup>]

$E$  . modul elastičnosti [N/mm<sup>2</sup>]



Materijal	Faktor $K_\alpha$	
	$r_{u2}/s = 1$	$r_{u2}/s = 10$
Č 0145	0,99	0,97
Č 0146	0,99	0,97
Č 0147	0,985	0,97
Č 0148	0,985	0,96
Nerđajući austenitni čelik	0,96	0,92
Vatrootporni feritni čelik	0,99	0,97
Vatrootporni austenitni čelik	0,982	0,955
Al 99	0,99	0,98
Al Mg 1	0,98	0,90
Al Mg Mn	0,985	0,935
Al Cu Mg 2	0,91	0,65
Al Zn Mg Cu 1,5	0,935	0,85

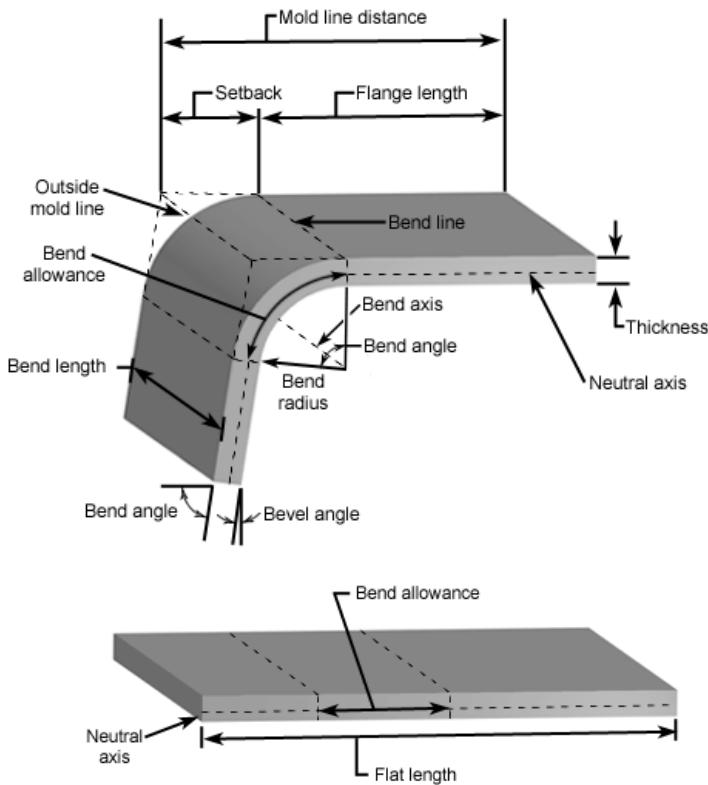
# Razvijena dužina obratka

- Razvijena dužina obratka je dužina neutralne linije deformacije ( $\rho_d$ ), tj. linije koja se dužina tokom savijanja ne menja.
- Dužina pripremka identična je razvijenoj dužini obratka
- Razvijena dužina obratka dobija se sumiranjem dužina pravolinijskih elemenata obratka i dužina krivolinijskih elemenata računatih prema neutralnom radijusu deformacije:

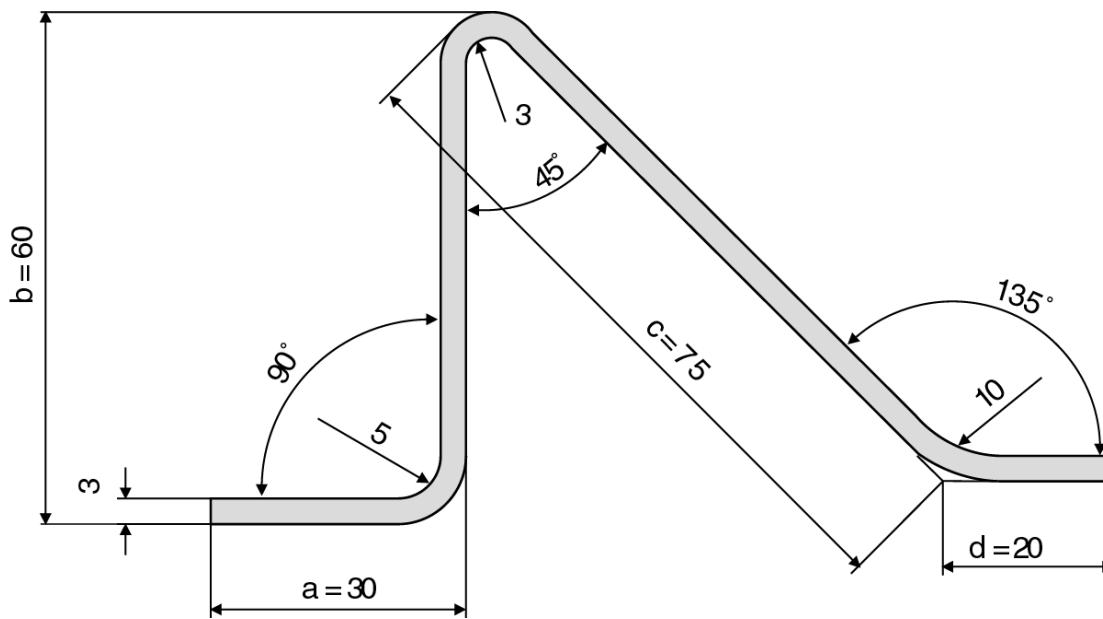
$$L = \sum l_i + \sum \rho_{d_i} \alpha_i$$

$$\rho_d = r + \xi \cdot s$$

r/s	$\xi$	r/s	$\xi$
0.1	0.23	1.0	0.41
0.2	0.29	1.2	0.42
0.3	0.32	1.5	0.44
0.4	0.35	2.0	0.45
0.5	0.37	3.0	0.46
0.6	0.38	4.0	0.47
0.7	0.39	5.0	0.48
0.8	0.40	10.0	0.50



## Razvijena dužina obratka

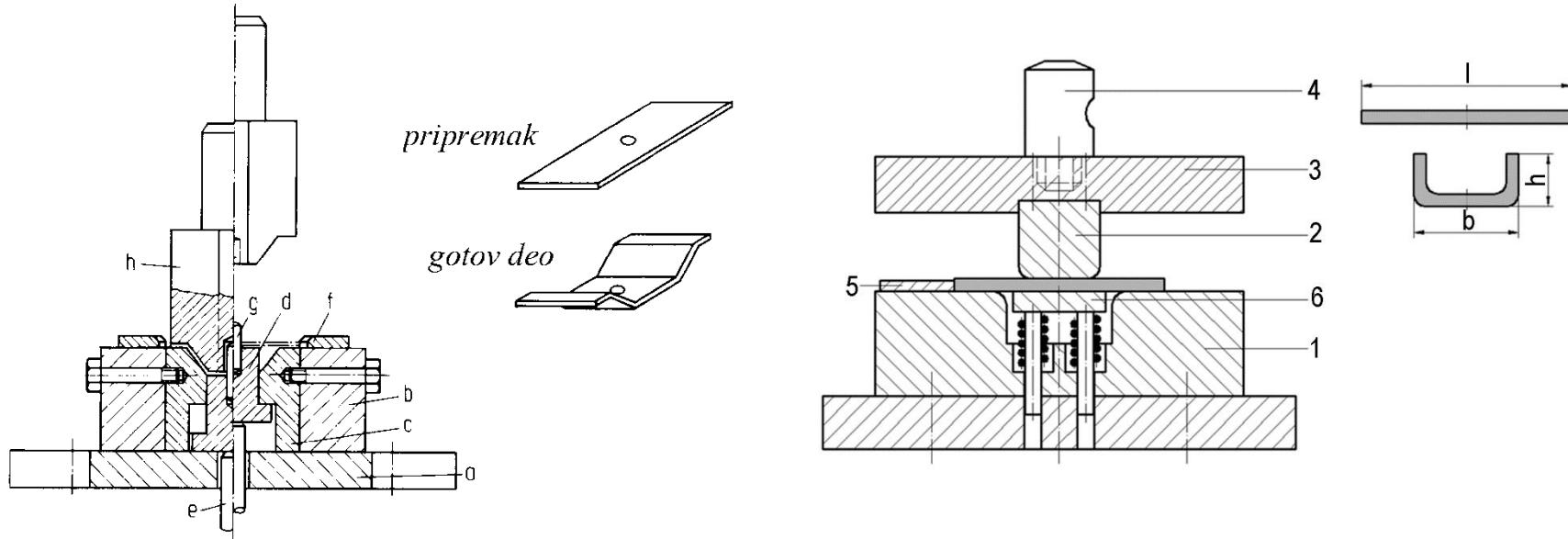


$$L = \sum l_i + \sum \rho_{d_i} \alpha_i$$

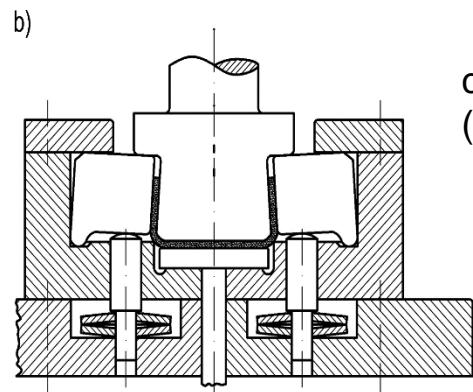
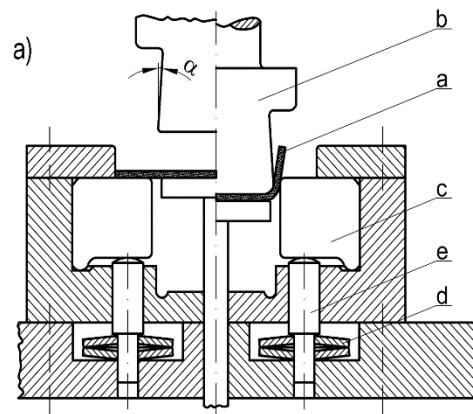
Razvijena dužina  $L = 174,2$  mm

## Savijanje na univerzalnim mašinama pomoću specijalnog alata

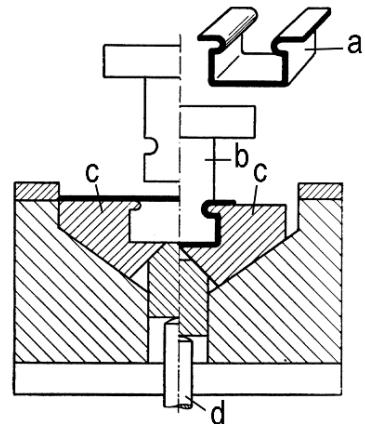
- Specijalni alati za savijanje omogućavaju izradu samo obratka određene geometrije koja je, po pravilu, negativ radnih elemenata alata za savijanje (loga i matrice)
- Oni mogu biti postavljeni na univerzalne mazine koje su najčešće jednostrukog dejstva



Specijalni alat za savijanje - profila pod uglom većim od  $90^\circ$

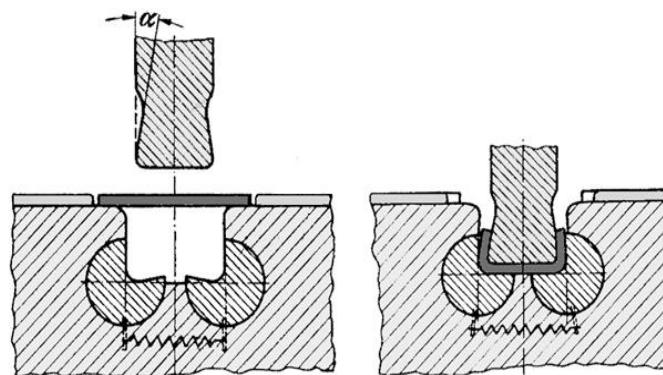


centralni Oig (2), dva bo na Oiga (3), matrica (1) grani nik (4).



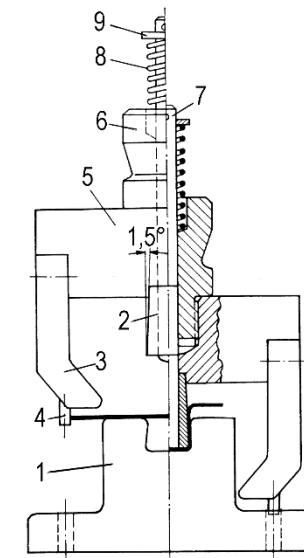
a . gotov deo, b . vertikalni Oig,  
c . horizontalni Oigovi, d . izbaciva

Specijalni alat za savijanje U - profila sa kompenzacijom elastičnog vraćanja



a) po etak procesa

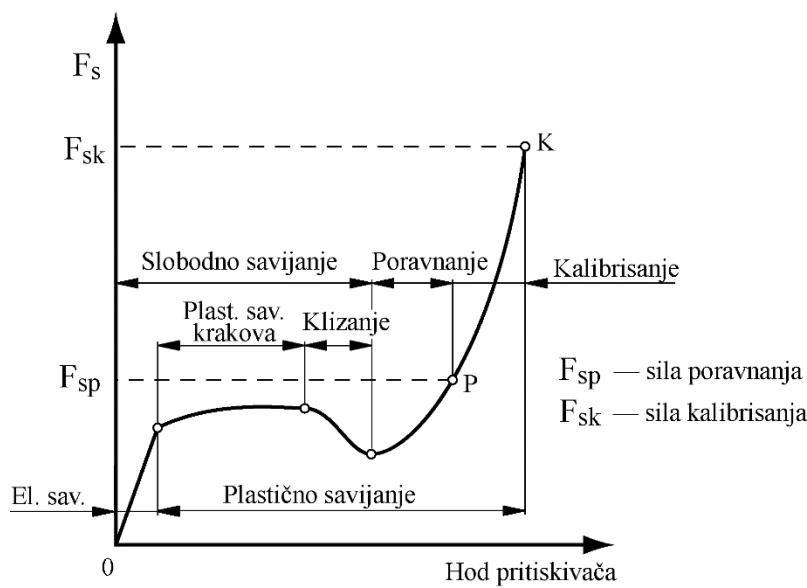
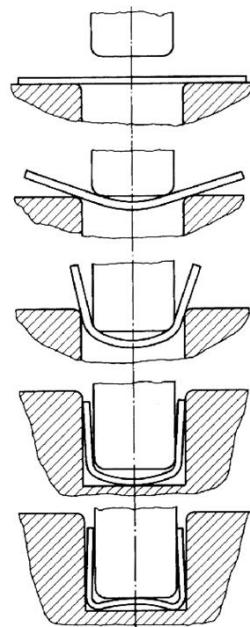
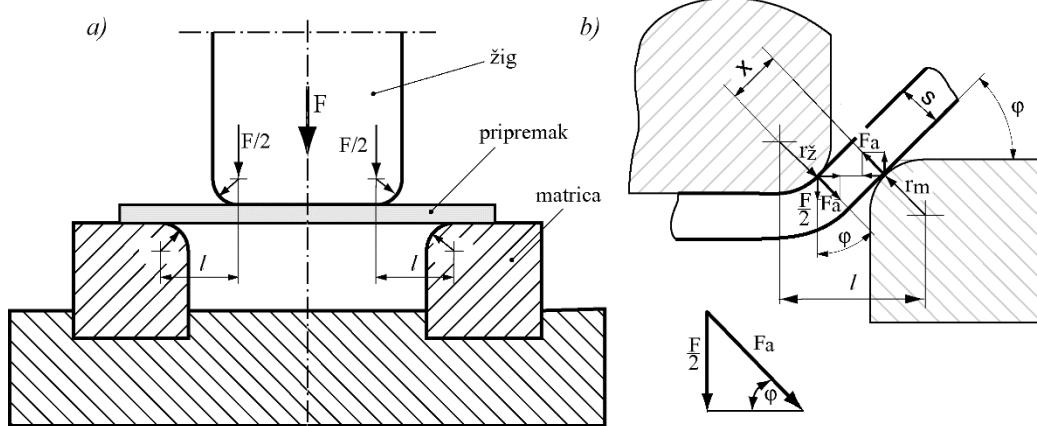
b) zavretak procesa



Specijalni alat sa tri Oiga za savijanje

# Deformaciona sila pri savijanju specijalnim alatima

## Savijanje U i L profila



$$M_s = F_a \cdot x = \frac{F}{2 \cos \varphi} \cdot x$$

$$F_a = \frac{F}{2 \cos \varphi}$$

$$x = (r_{fl} + r_m + s) \frac{(1 - \sin \varphi)}{\cos \varphi} = l \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi}$$

$$F = \frac{2 M_s \cos^2 \varphi}{l(1 - \sin \varphi)} = \frac{2 M_s}{l} (1 + \sin \varphi)$$

$$F_{\max} \left( \varphi = \frac{\pi}{2} \right) = \frac{M_s}{l}$$

$$M_s = \beta K \frac{b \cdot s^2}{4}$$

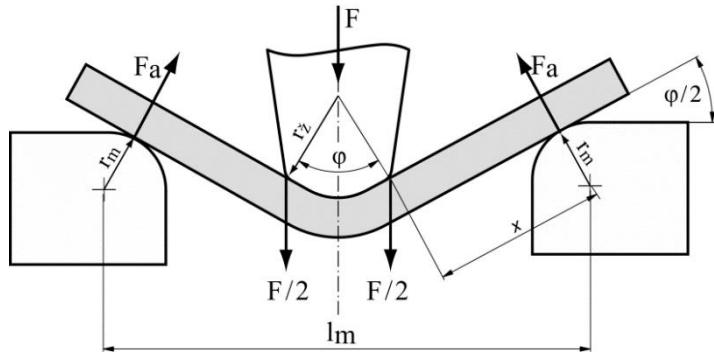
Sila istog savijanja

$$F = \frac{\beta K b \cdot s^2}{1}$$

Ukupna sila savijanja

$$F_u = 1.3 \cdot F + F_r = 1.3 \cdot F + p_r \cdot A_r$$

## Slobodno savijanje V-profila



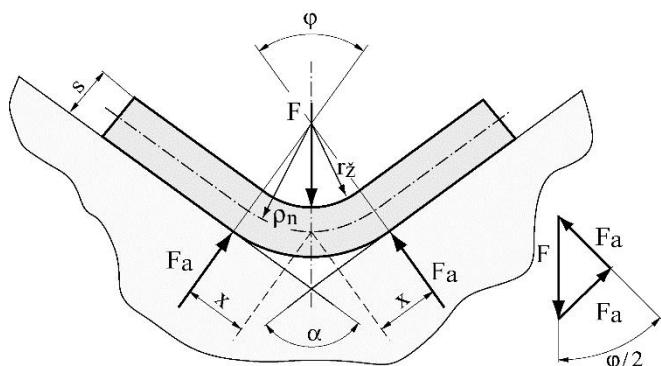
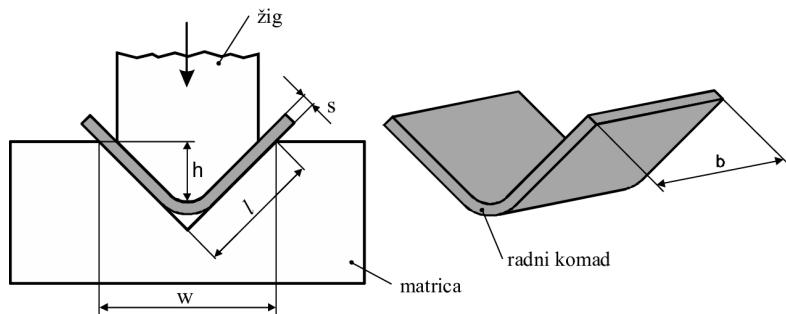
## Savijanje V profila

$$F_a = F / \cos \frac{\phi}{2}$$

$$M_s = F_a \cdot x \quad x = \frac{\frac{l_m}{2} - 1 \sin \frac{\phi}{2}}{\cos \frac{\phi}{2}}$$

$$F = \frac{4 M_s \cdot \cos^2 \frac{\phi}{2}}{l_m - 2 \cdot 1 \cdot \sin \frac{\phi}{2}}$$

## Savijanje V-profila u kalupu



$$F_a = F / 2 \cos \frac{\phi}{2}$$

$$M_s = F_a \cdot x \quad x = \rho_n \cdot \sin \frac{\phi}{2}$$

$$F = \frac{2 M_s \cdot \operatorname{ctg} \frac{\phi}{2}}{r_{fl} + 0,5 s}$$

Ukupna sila savijanja

$$F_u = 1.3 \cdot F + F_r = 1.3 \cdot F + p_r \cdot A_r$$

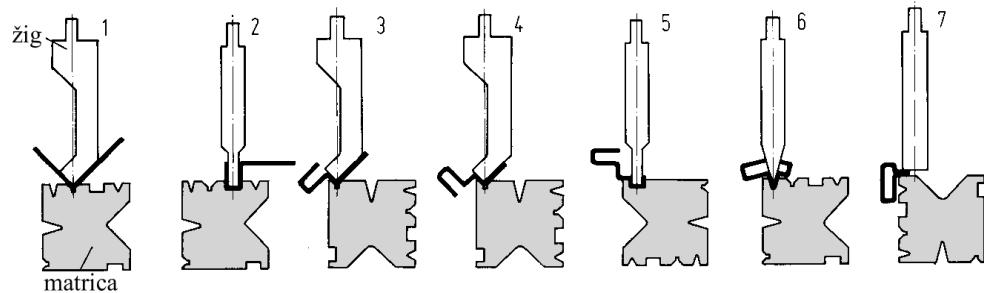
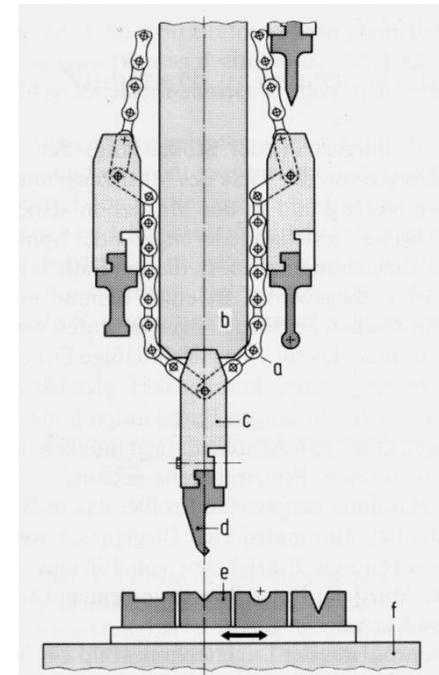
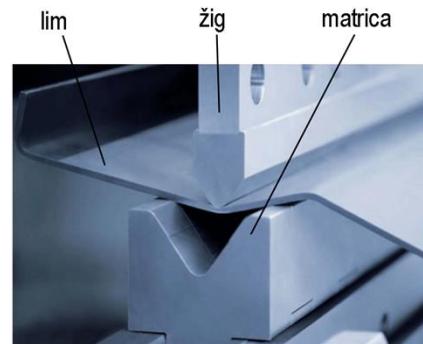
# Profilno savijanje na specijalnim mašinama – abkant presi

Pojedinačna izrada profila velike duljine (do 6 m i više) izvodi se na specijalnim mazinama za profilno savijanje koje su poznate pod nazivom prese za profilno savijanje ili apkant prese

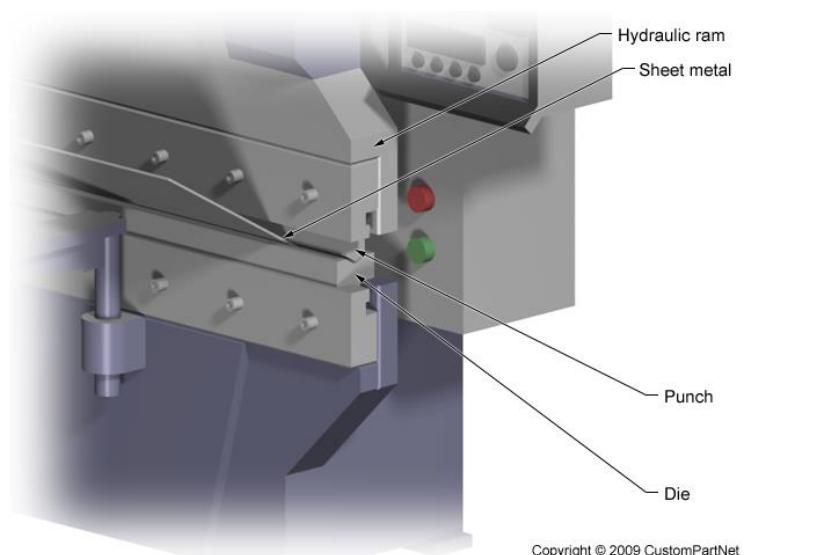
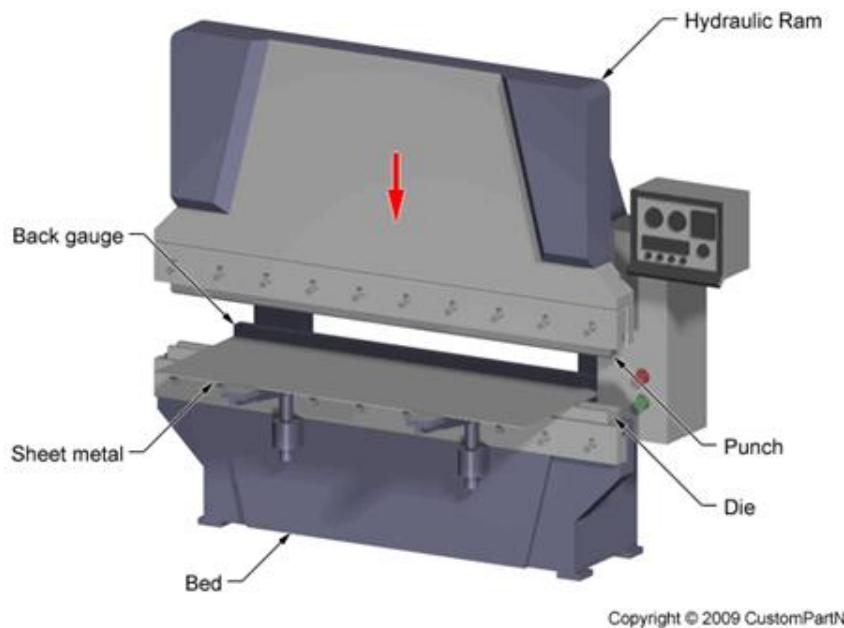
a)



b)

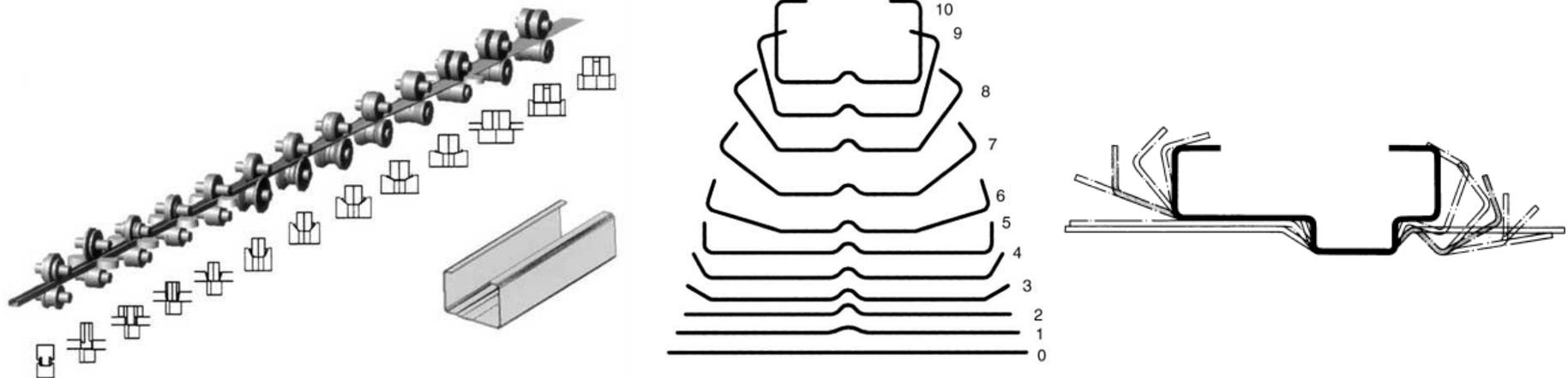


# Profilno savijanje na specijalnim mašinama – abkant presi

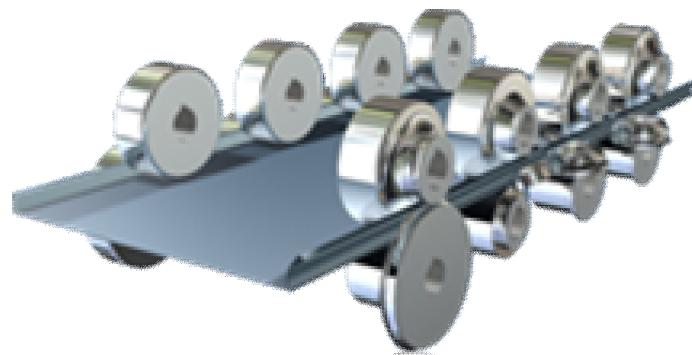
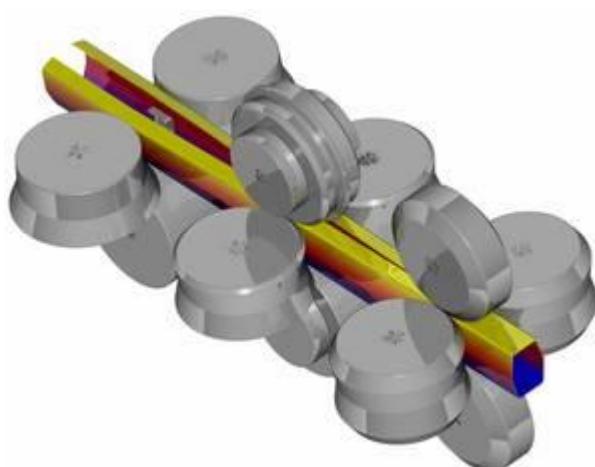
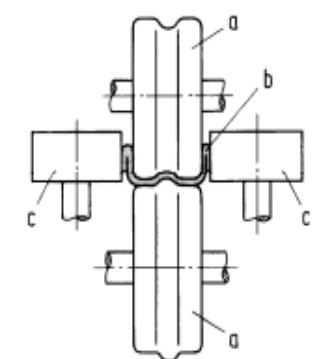
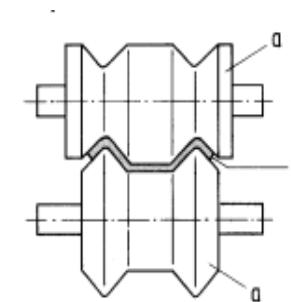
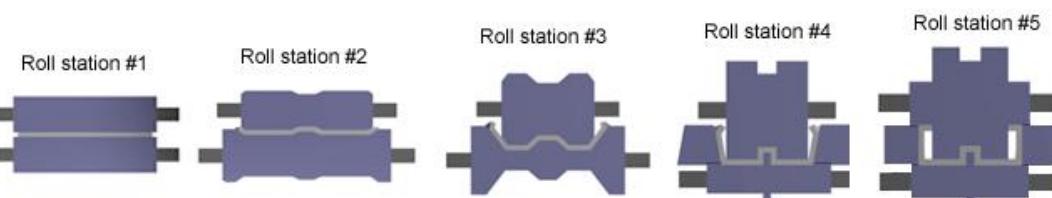
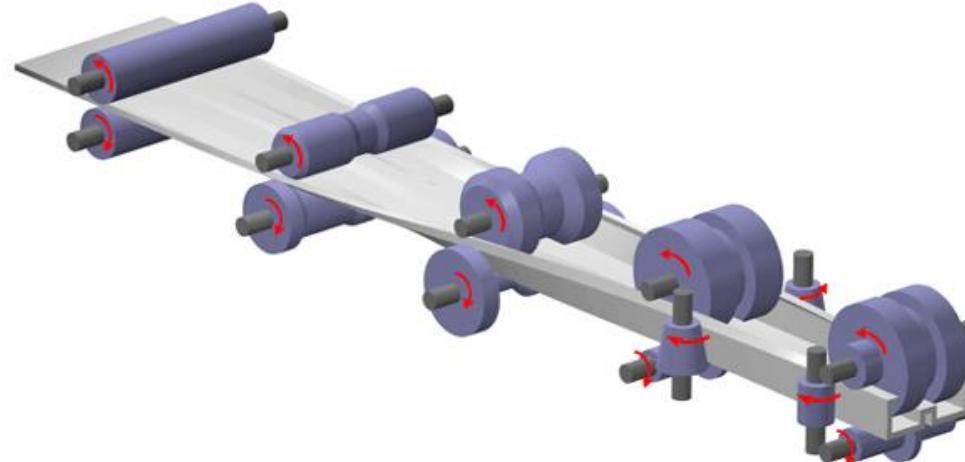


## Profilno savijanje pomoću valjaka

- Izrada profila i talasastih limova postupkom savijanja pomoću valjaka je visokoproduktivna metoda koja se primenjuje u masovnoj proizvodnji
- Proizvodnja se izvodi na mazinama za profilisanje pomoću valjaka u hladnom deformacijom
- To je postupak vizefaznog kontinualnog oblikovanja profila različitog oblika i dimenzija od različitih materijala (elični lim, lim od obojenih metala i njihovih legura, pocinkovani lim, obojeni lim, lim prešvuveni plastim prevlakama, perforirani lim itd.)
- Postupak profilisanja pomoću valjaka je veoma produktivan sa brzinom kretanja obratka i do 180 m/min
- Tehnološki postupak profilisanja lima pomoću valjaka može se kombinovati sa drugim postupcima u istoj proizvodnoj uniji, kao što je na primer, perforiranje lima, uzduzno zavarivanje, lemljenje, prevlačenje, odsecanje i dr.
- Osnovna karakteristika profilisanja pomoću valjaka je postupnost formiranja zadatog oblika (vizefazno oblikovanje) koje se postiže prolaskom obratka kroz veći broj jedinica za savijanje

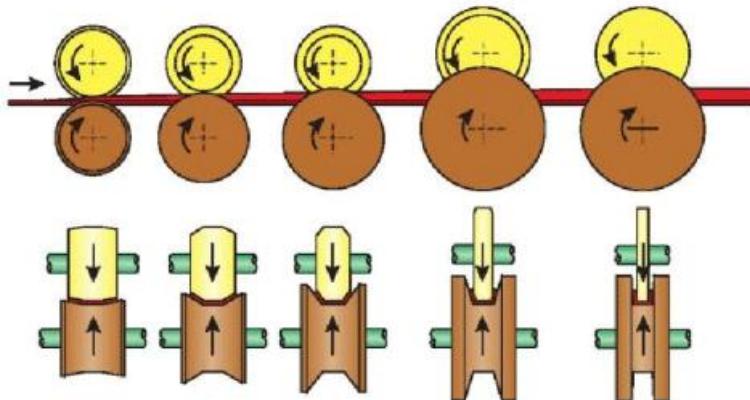


# Profilno savijanje pomoću valjaka



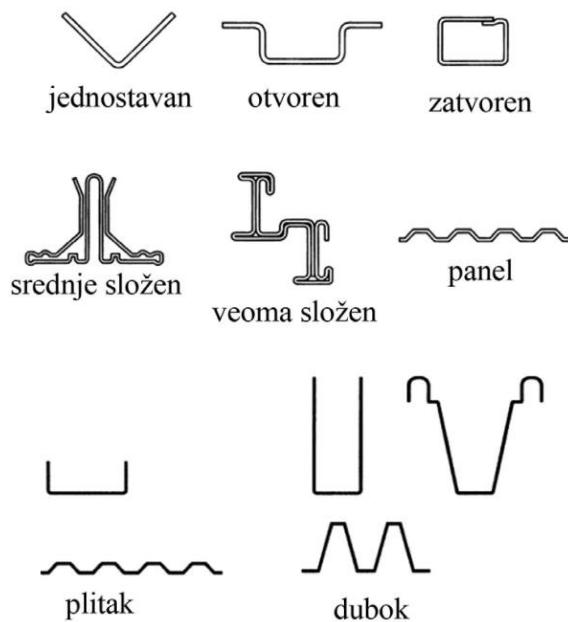
## Profilno savijanje pomoću valjaka

- Karakteristike ovako dobijenih profila i procesa profilisanja su:
  - „ Širok assortiman popre nih preseka profila sa maksimalnom nosivoz u i racionalnim iskoriz enjem materijala.
  - „ Mogu nozt stvaranja lakih konstrukcija.
  - „ Debljina lima je prili no ujedna ena po popre nom preseku obratka.
  - „ Dodatna obrada hladnooblikovanog profila je minimalna i stepen iskoriz enja materijala se kre e do 99,9%.
  - „ Hladno oblikovani profili su oja ani.
  - „ Ta nost dimenzija pop renog preseka profila je viza u odnosu na profile dobijene drugim postupcima.



## Profilno savijanje pomoću valjaka

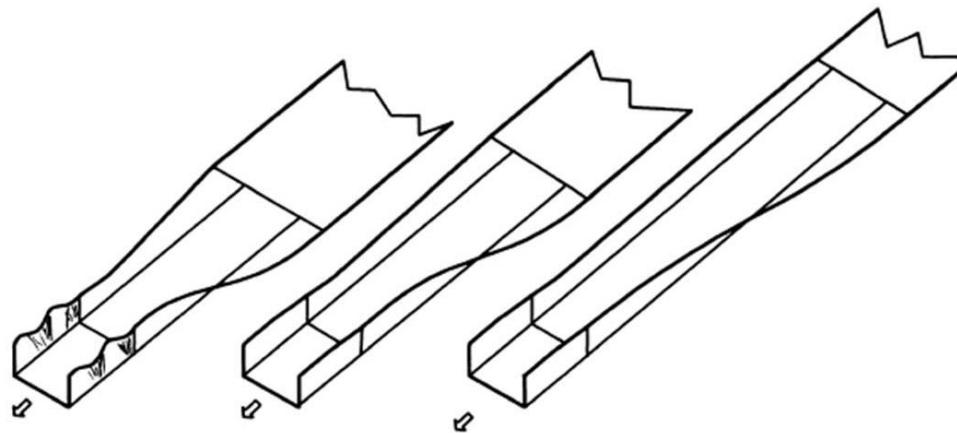
- Oblik poprečnog preseka profila koji se izrađuje savijanjem pomoći u valjka može biti veoma različit
- U principu treba razlikovati dve osnovne grupe ovih elemenata: a) pojedinačne profile ija je širina znatno manja u odnosu na dužinu profila i b) profilisane (talasaste) limove veće širine
- Pojedinačni profili mogu biti: otvoreni i zatvoreni, ravnokraki i raznokraki, kutijasti, koritasti, ugaoni itd.
- Talasasti limovi se izrađuju sa naizmeničnim i pojedinačnim talasima, a osim toga oni mogu imati uzdužna i poprečna ojačanja (orebrenja).



# Profilno savijanje pomoću valjaka

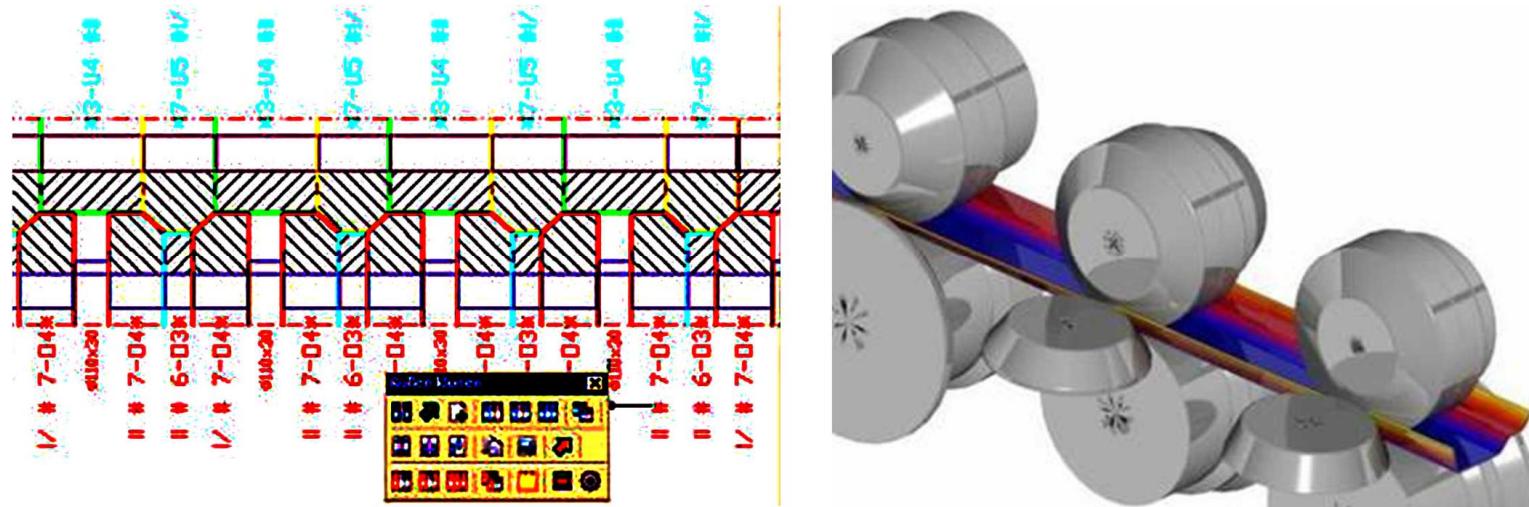
## *Izbor polufabrikata za izradu profila*

- Pripremак за izradу profila је lim odgovaraju e zirine i deblijine koji mo0e biti u obliku traka ili tabli odre ene du0ine ili namotan u bunt kada je upitanju kontinualni proces profilisanja.
- Kvalitet pripremka u pogledu njegovih dimenzija, pre svega debijine i zirine a tako e i u pogledu mehani kih i plasti nih svojstava, bitno uti e na stabilnost procesa profilisanja i kvalitet profila.
- Debljina materijala odre uje zazor valjaka i mora se nalaziti u granicama definisanim standardom.
- Širina pripremka uti e na kona ne dimenzije profila te se i ona mora odr0avati u odre enim granicama
- Profilisanje ner aju ih elika i drugih legiranih elika izvodi se ni0im vrednostima re0ima obrade, pre svega sa smanjenom brzinom u odnosu na niskougljeni ne elike



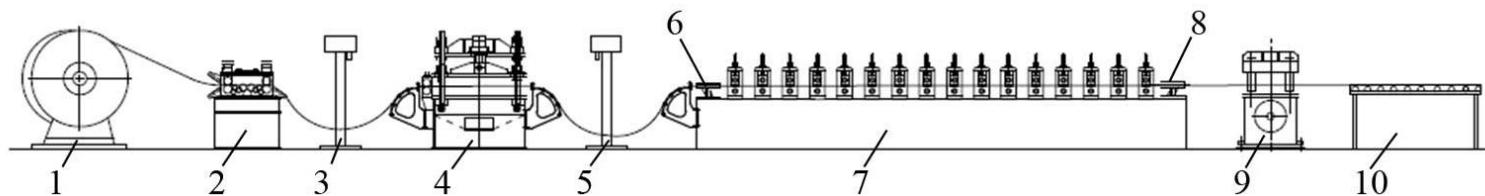
## Profilno savijanje pomoću valjaka

- Konstrukciono oblikovanje valjka vrzi se na osnovu oblika obratka po fazama profilisanja.
- Geometrija obratka u posmatranoj fazi obrade u najvećoj meri definize geometriju valjaka za tu fazu.
- Valjci za prvu fazu obrade moraju biti konstrukciono oblikovani tako da obezbeđuju sigurno uvođenje trake zato se postiće predviđanjem bočnih elemenata na valjku



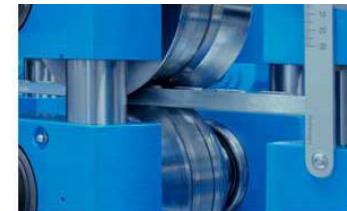
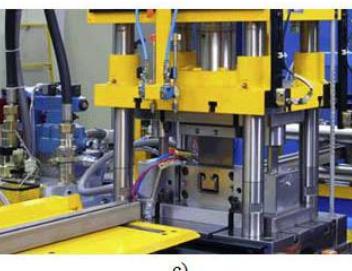
Dizajn valjaka za profilno savijanje pomoću Copra R DataM softvera

# Profilno savijanje pomoću valjaka



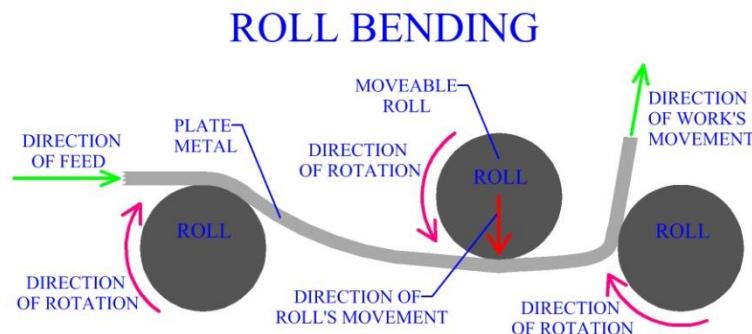
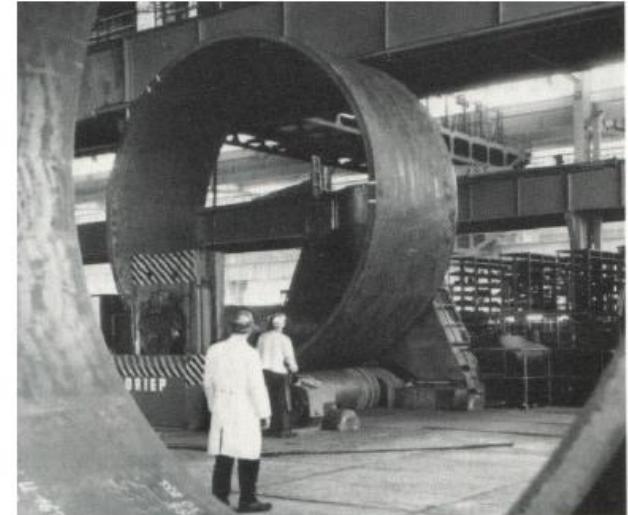
1. Dvostruki odmota lima
2. Mazina za ispravljanje lima sa valjcima
3. Akumulaciona petlja
4. Presa za probijanje i prosecanje
5. Akumulaciona petlja

6. Uređaj za uvođenje lima
7. Mazina za profilisanje
8. Uređaj za ispravljanje profila
9. Leteće makaze za odsecanje profila na zadatu dužinu
10. Sto za paletiranje gotovih profila.



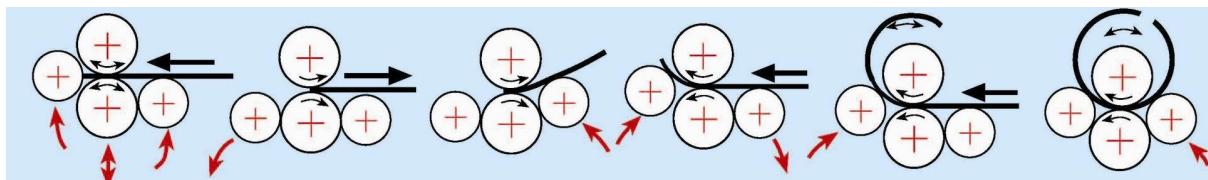
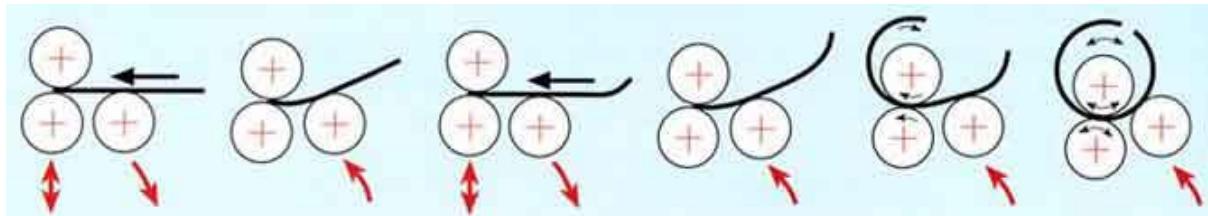
# Kružno savijanje lima

- Kružno savijanje na mazinama sa tri ili četiri valjka omogućuje oblikovanje cilindričnih delova većeg prečnika, na primer, plastičnih rezervoara i slično
- U ovoj vrsti savijanja deformacija ima zapreminski karakter
- Dužina obratka limitirana je dužinom valjaka, a na istoj mazini mogu se oblikovati i konusni obradci
- Debljina lima može dostizati i nekoliko desetina milimetara
- Pripremno savijanje krajeva lima izvodi se tako da pomoći u valjaka



8-in.(203mm) - thick plate cold

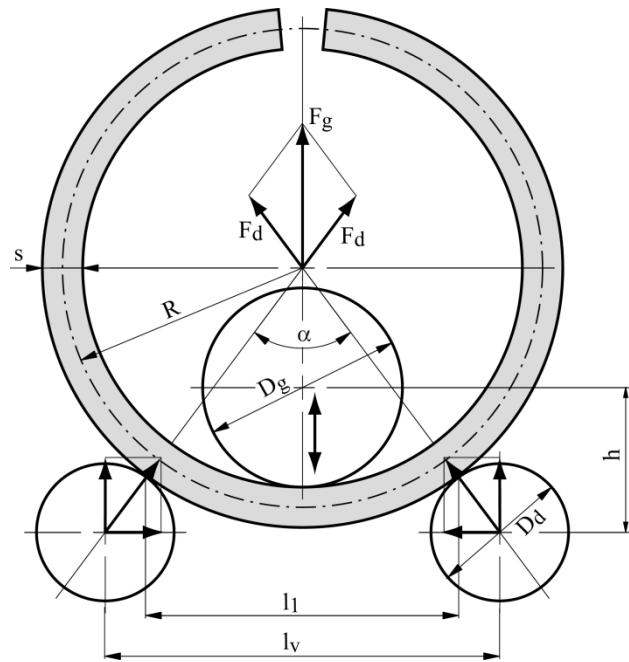
## Kružno savijanje lima



## Kružno savijanje lima

- Kružno savijeni lim ima određeni prenik neutralne linije kada se nalazi u zahvatu sa valjcima ( $\rho_1$ )
- Nakon rasterevanja tj. vađenja iz mazine, zbog elastičnih deformacija taj polupređnik se poveća na ( $\rho_2$ )

$$\rho_2 = \left(1 + \frac{2}{3} \frac{1}{\gamma^3 - \gamma}\right) \cdot \rho_1 \quad \gamma = \frac{E \cdot s}{2\rho_1 \cdot R_v}$$



$$M_s = \frac{R_v \cdot b \cdot s^2}{4}$$

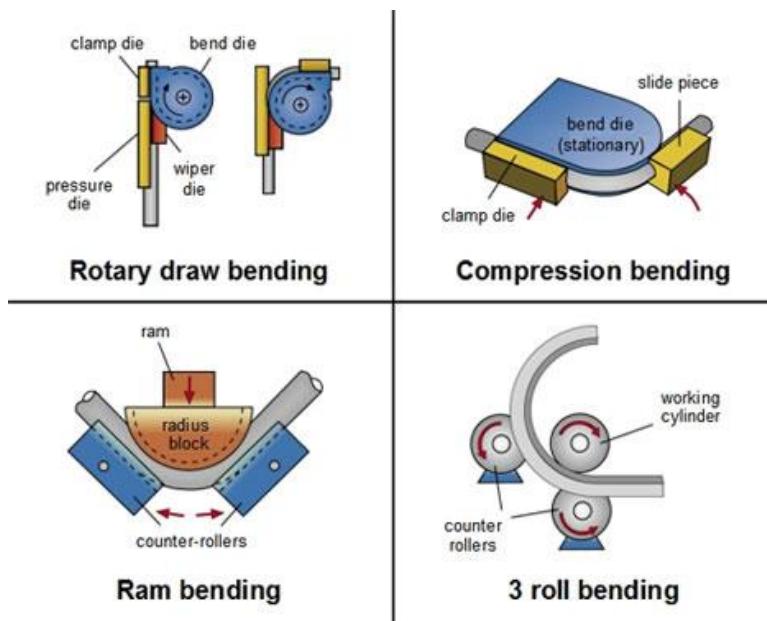
$$F_d = \frac{M_s}{\left(R + \frac{s}{2}\right) \sin \alpha} \quad F_g = \frac{M_s}{\left(R + \frac{s}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha}$$

$$l_v = (1,1 \div 1,3) D_g$$

$$\sin \alpha = \frac{l_v}{2 \left( R + \frac{s}{2} + \frac{D_d}{2} \right)}$$

$$D_d = (0,8 \div 0,9) D_g$$

# Kružno savijanje profila i cevi



	mm.	Ø Min. mm.		mm.	Ø Min. mm.
	100x12 80x20 60x40	Ø 2500 Ø 1400 Ø 1200		60	Ø 1000
	100x35 80x40	Ø 1000 Ø 1000		120x55x7	Ø 800
	50	Ø 1000		100x50x6	Ø 1200
	80x8	Ø 1200		100x3 3x3,65	Ø 3000 Ø 2500
	70x70x7	Ø 1500		70x70x3 60x60x5	Ø 2000 Ø 1600

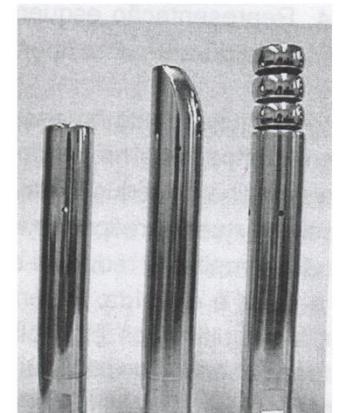
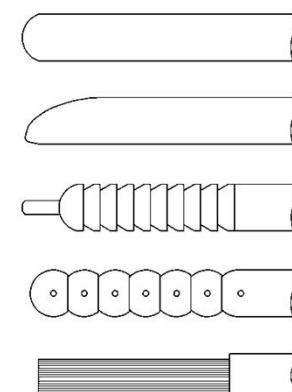
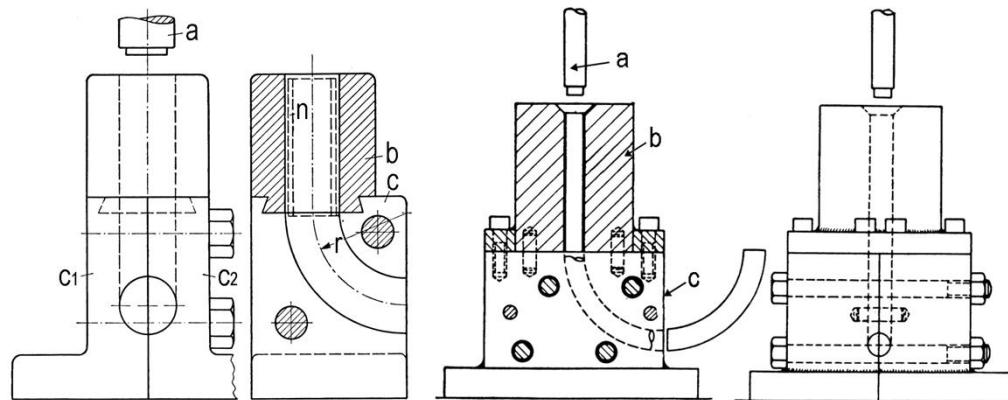
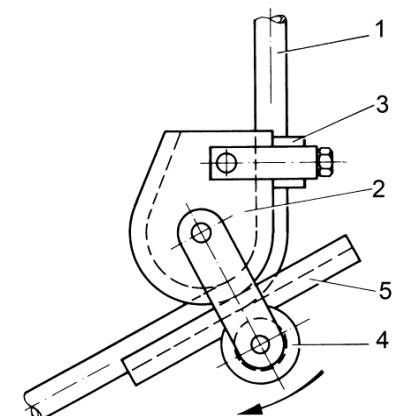
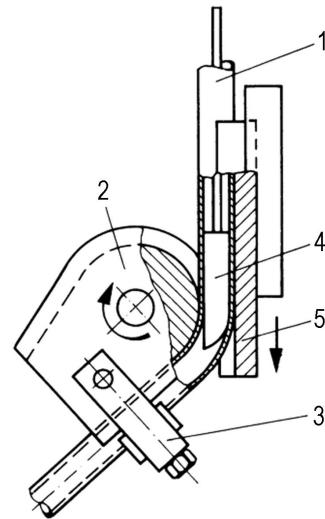
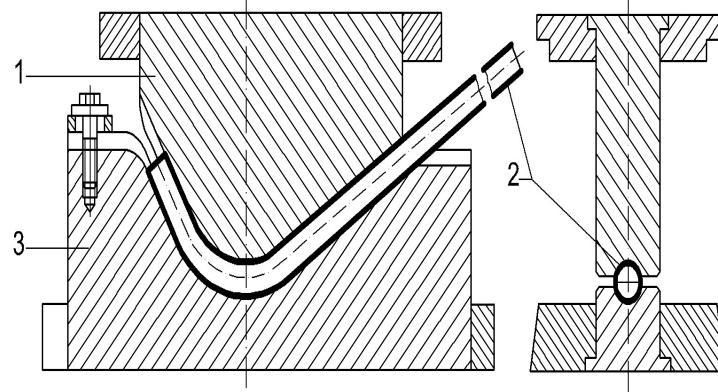


## Kružno savijanje profila i cevi

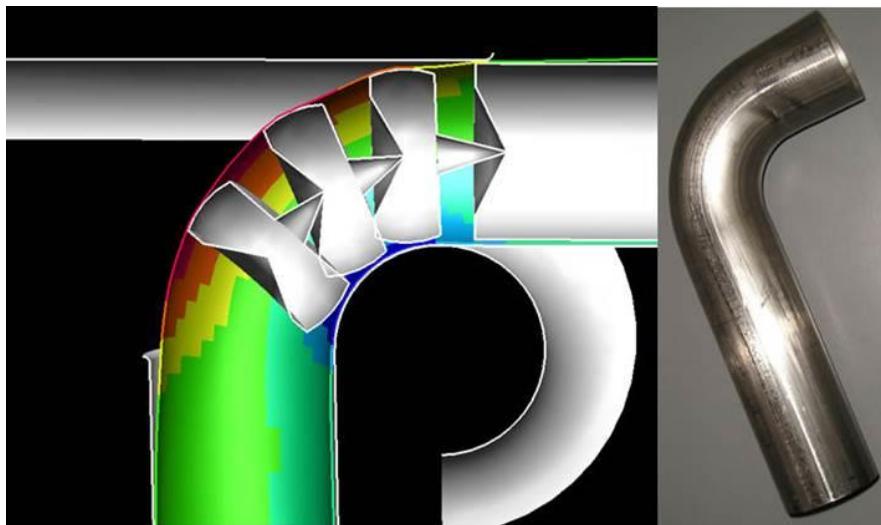
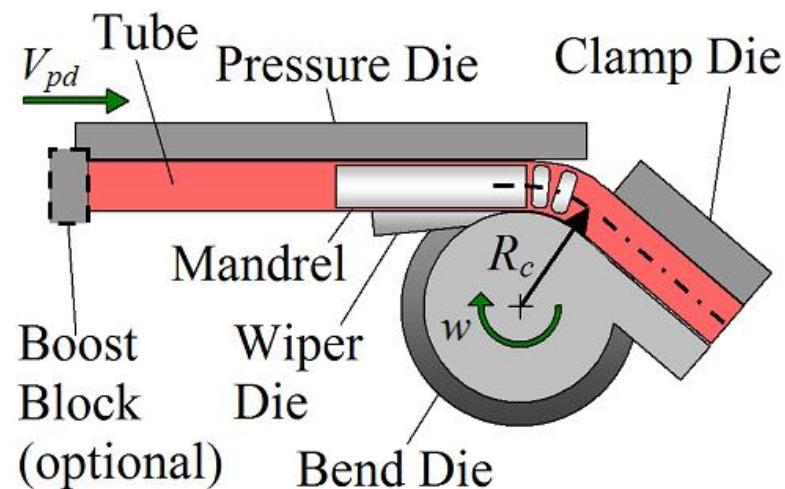


## Alati za savijanje cevi

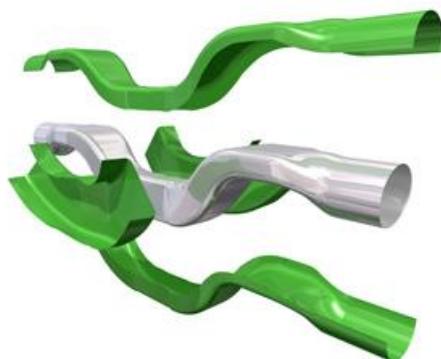
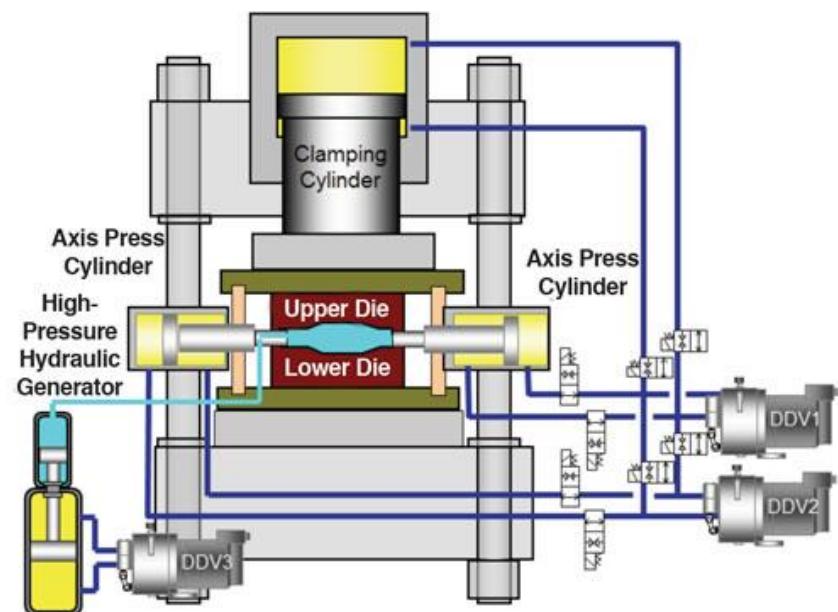
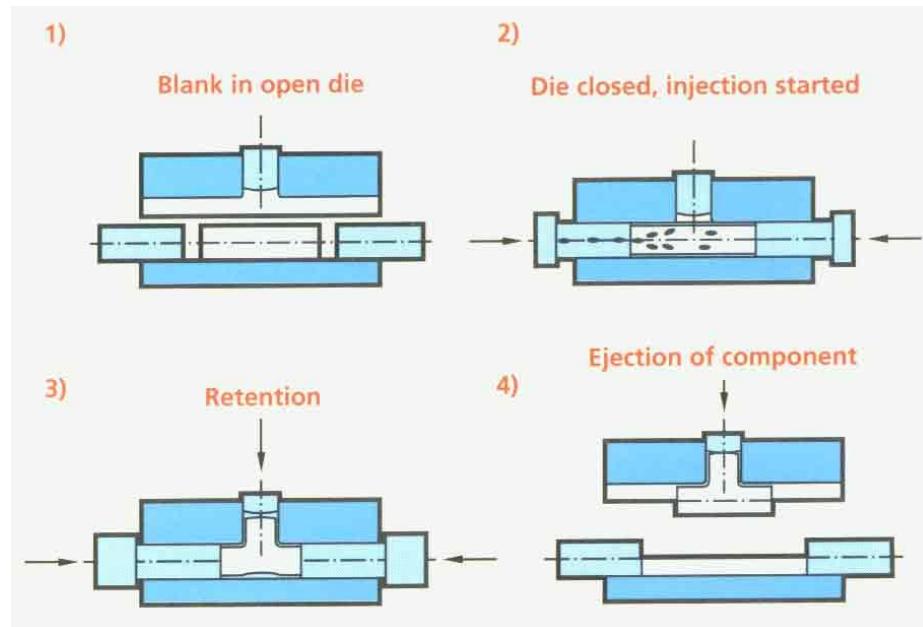
- Poseban postupak savijanja predstavlja savijanje cevi.
- Ovim postupkom od ravne (pravolinijske) cevi moguće je, primenom specijalnih alata, dobiti cev savijenu na određeni radijus



## Alati za savijanje cevi



# Hidro deformisanje cevi

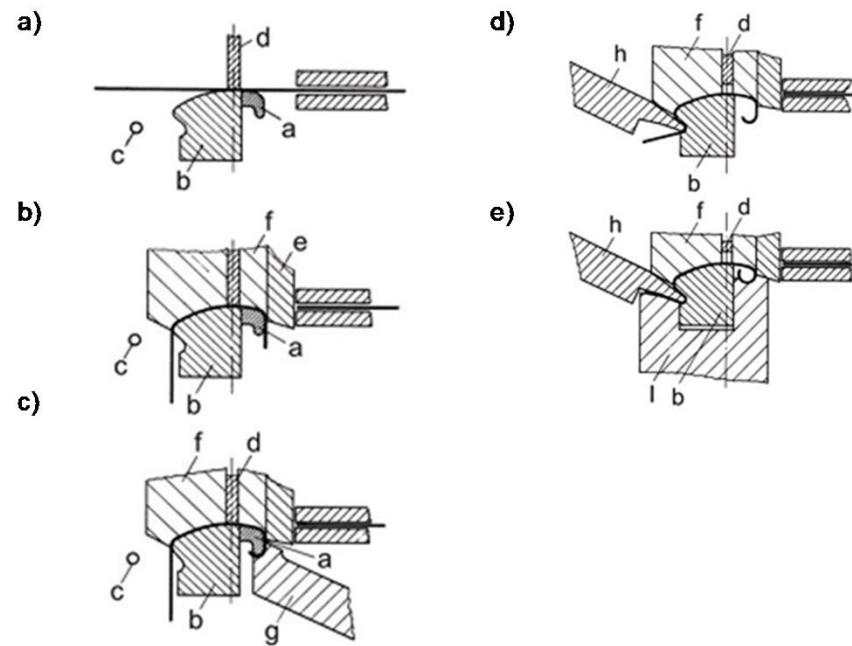
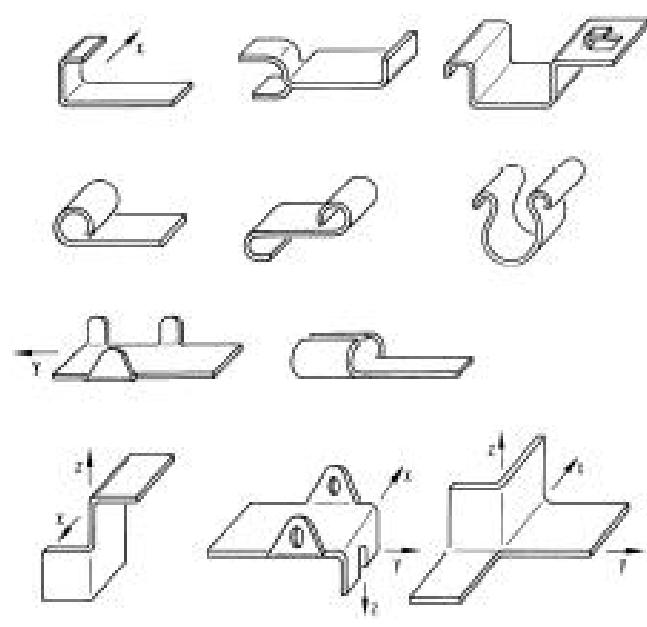


## Specijalni alati na automatima za izradu sitnih delova od žice i trake

- Sitni delovi od žice i uske trake izrađuju se na specijalnim automatskim mazinama koje imaju vize radnih pozicija
- Postupak oblikovanja je vizefazni, radni komad se dobija uzastopnim delovanjem alata koji su postavljeni radikalno u odnosu na materijal, a proizvodnost ovih mazina je i do 300 kom/min



# Specijalni alati na automatima za izradu sitnih delova od žice i trake



## Faze oblikovanja:

- uvlačenje i pridržavanje trake
- odsecanje i savijanje
- savijanje ivica
- savijanje suprotne strane komada
- zavrzno savijanje