

Драгиша Вилотић
Мирослав Планчак



Машине за обраду деформисањем
КРИВАЈНЕ ПРЕСЕ
(CRANK PRESSES)

8 POGONSKI MEHANIZMI KRIVAJNIH PRESA

- Pogonski mehanizam krivajnih presa sastoji se od krutog krivajno-polužnog sistema koji u potpunosti određuje kinematiku, statiku i dinamiku mašine
- Kod prostog krivajnog mehanizma dijagram brzine pritiskivača ima oblik sinusoide i odgovarajući je za jednostavnije operacije deformisanja (odsecanje, probijanje, prosecanje, savijanje i sl.).
- Za glavno i pomoćna dejstva krivajnih presa koriste se krivajno-polužni, bregasti i specijalni pogonski sistemi.

8.1 Krivajno-polužni mehanizmi

- Prema Banketovu, pogonski mehanizmi krivajnih presa dele se u četiri kategorije:
 - univerzalni mehanizmi (prost krivajni mehanizam);
 - mehanizmi za velike sile i male brzine (krivajno-laktasti);
 - mehanizmi sa regulisanom brzinom pritiskivača (složeni mehanizmi) i
 - mehanizmi za dugačke zastoje (mehanizmi sa bregastom pločom).

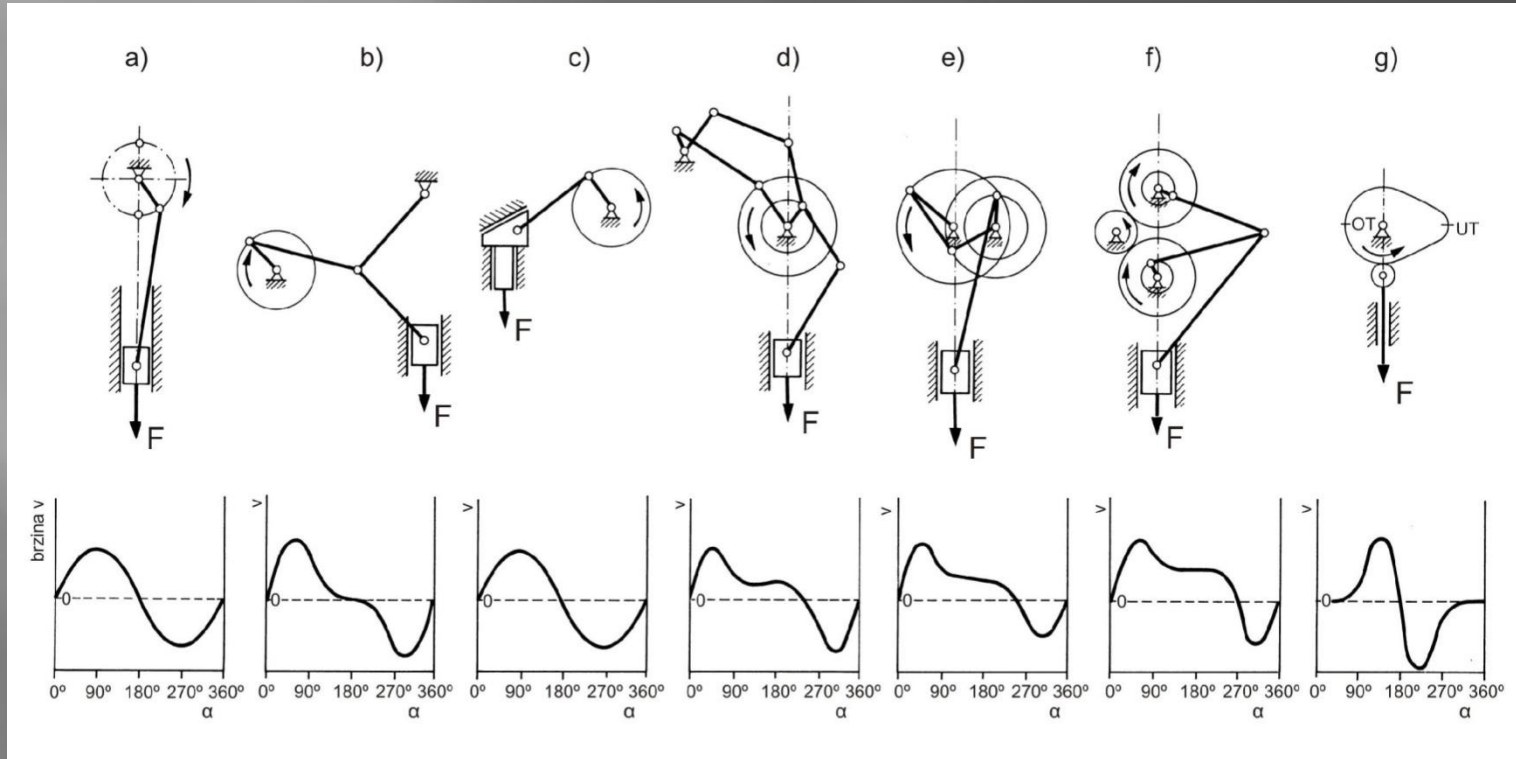
8.1 Krivajno-polužni mehanozmi

- Prema Langeu , mehaničke prese sa ograničenim hodom dele se na:
 1. prese sa krivajnim pogonskim mehanizmom;
 2. prese sa pogonom pomoću bregaste ploče.
- Detaljna podela pogonskih mehanizama prema Langeu:
 1. proste krivajne mehanizme;
 2. krivajno-laktaste mehanizme (višepolužni i višezglobni);
 3. višekrivajne mehanizme.

8.1 Krivajno-polužni mehanozmi

- Najčešće korišćeni pogonski mehanozmi prema Spuru:
 1. Prost krivajni mehanozmi
 2. Prošireni i modifikovani krivajni mehanozmi
 3. Mehanozmi sa bregastom pločom

8.1 Krivajno-polužni mehanozmi



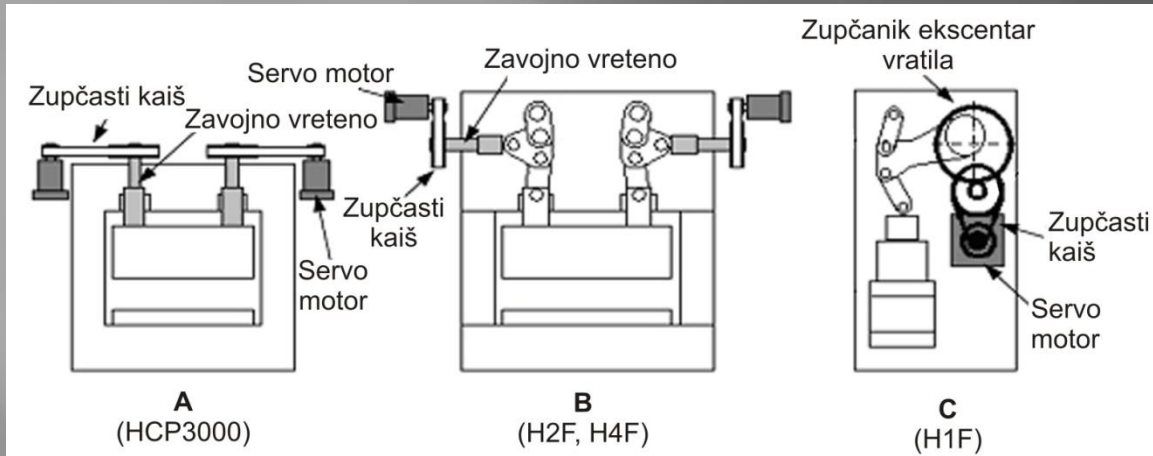
Slika 8.2 Uobičajeni mehanozmi pogona krivajnih presa [7]

a) prost krivajni mehanozmi, b) krivajno-laktasti mehanozmi, c) krivajni mehanozmi sa klinom, d) multilink krivajni mehanozmi, e) vučno-krivajni mehanozmi, f) dvokrivajni mehanozmi sa zajedničkim pogonom, g) bregasti mehanozmi

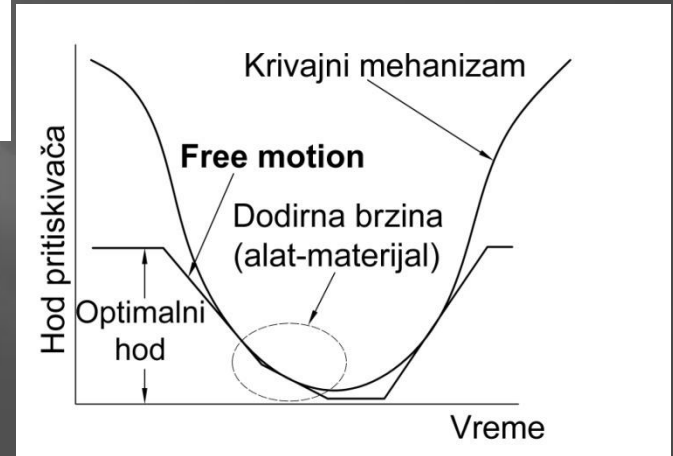
8.2 Specijalni pogonski sistemi

- Specijalni pogonski mehanizmi su razvijeni jer klasični mehanizmi ne mogu da zadovolje sve zahteve u pogledu tehnoloških karakteristika određenih metoda deformisanja
- Osnovna karakteristika novih pogonskih sistema jeste njihova fleksibilnost u pogledu dijagrama brzine pritiskivača i visoka energetska efikasnost.

8.2.1 Servo pogoni

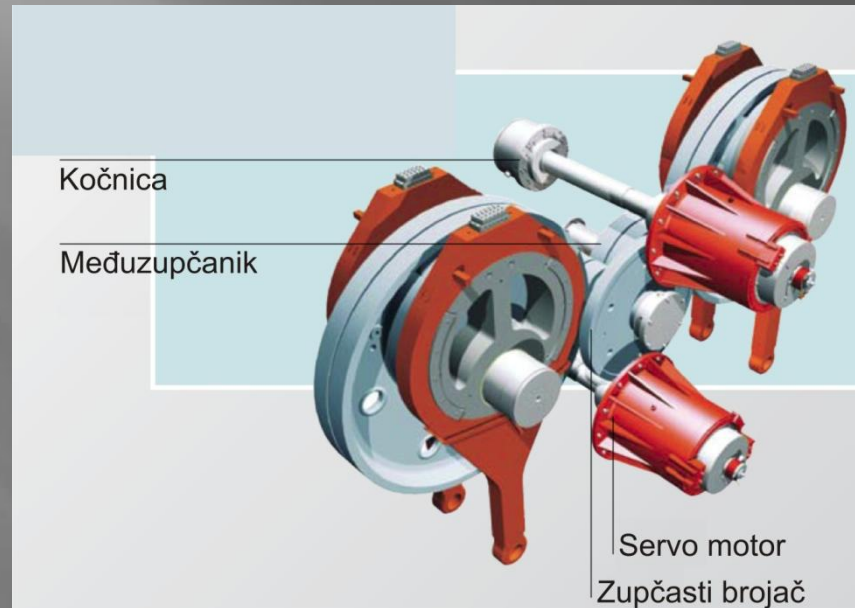


Slika 8.3 Varijante pogona „free motion“ presa *Komatsu* [62]



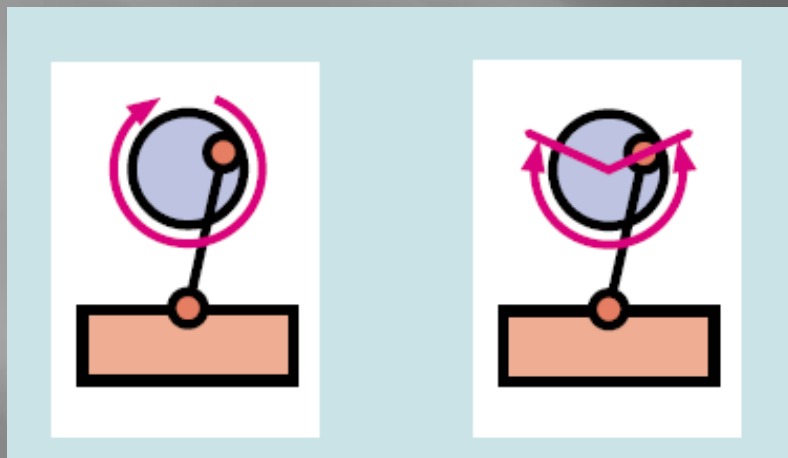
Slika 8.4 Dijagram hoda pritiskivača prese sa servo pogonom *Komatsu* [62]

8.2.1 Servo pogoni

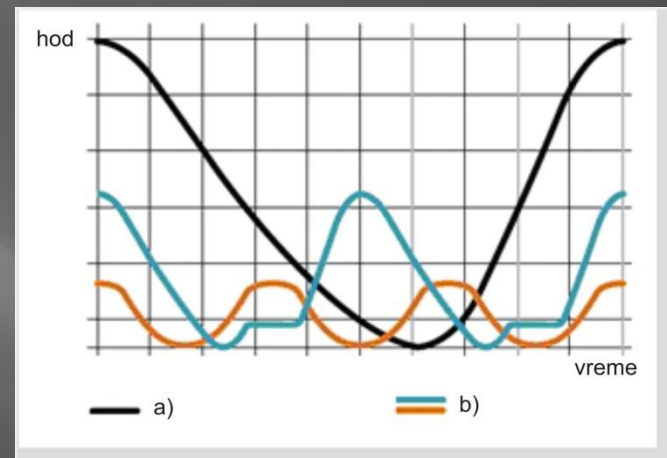


Slika 8.5 Servo pogon, Müller Weingarten

8.2.1 Servo pogoni



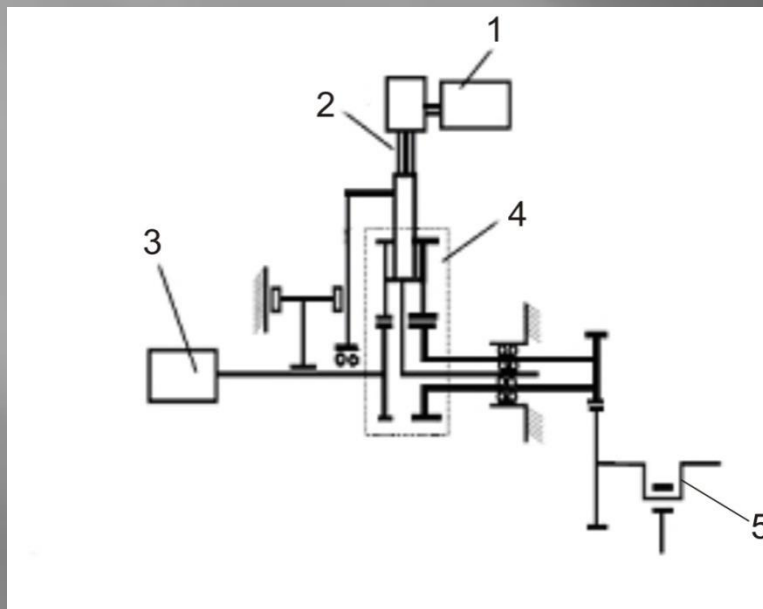
a)



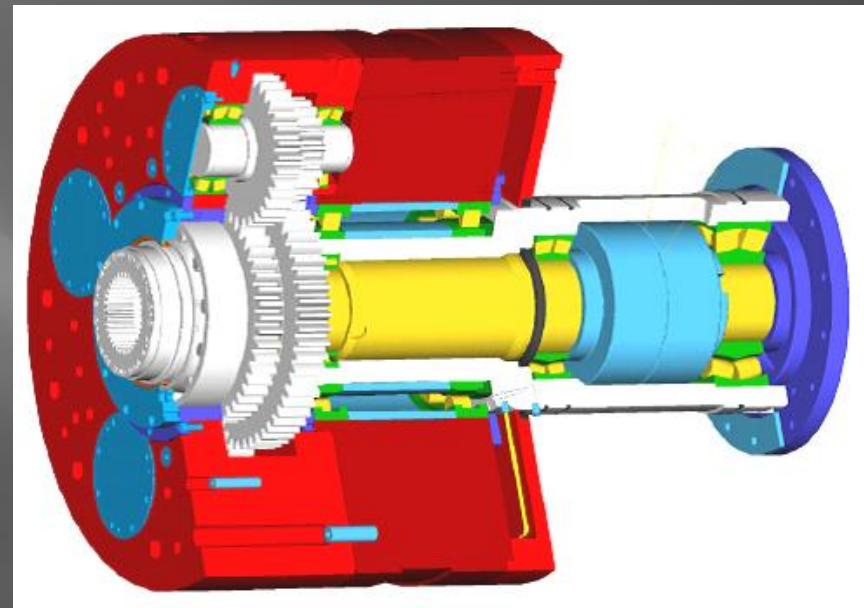
b)

Slika 8.6 Dijagram hoda servo prese *Müller Weingarten* [58]
a) izvođenje kompletnog dvojnog hoda, b) izvođenje dela dvojnog hoda

8.2.2 Pogon sa dodatnim elektromotorom



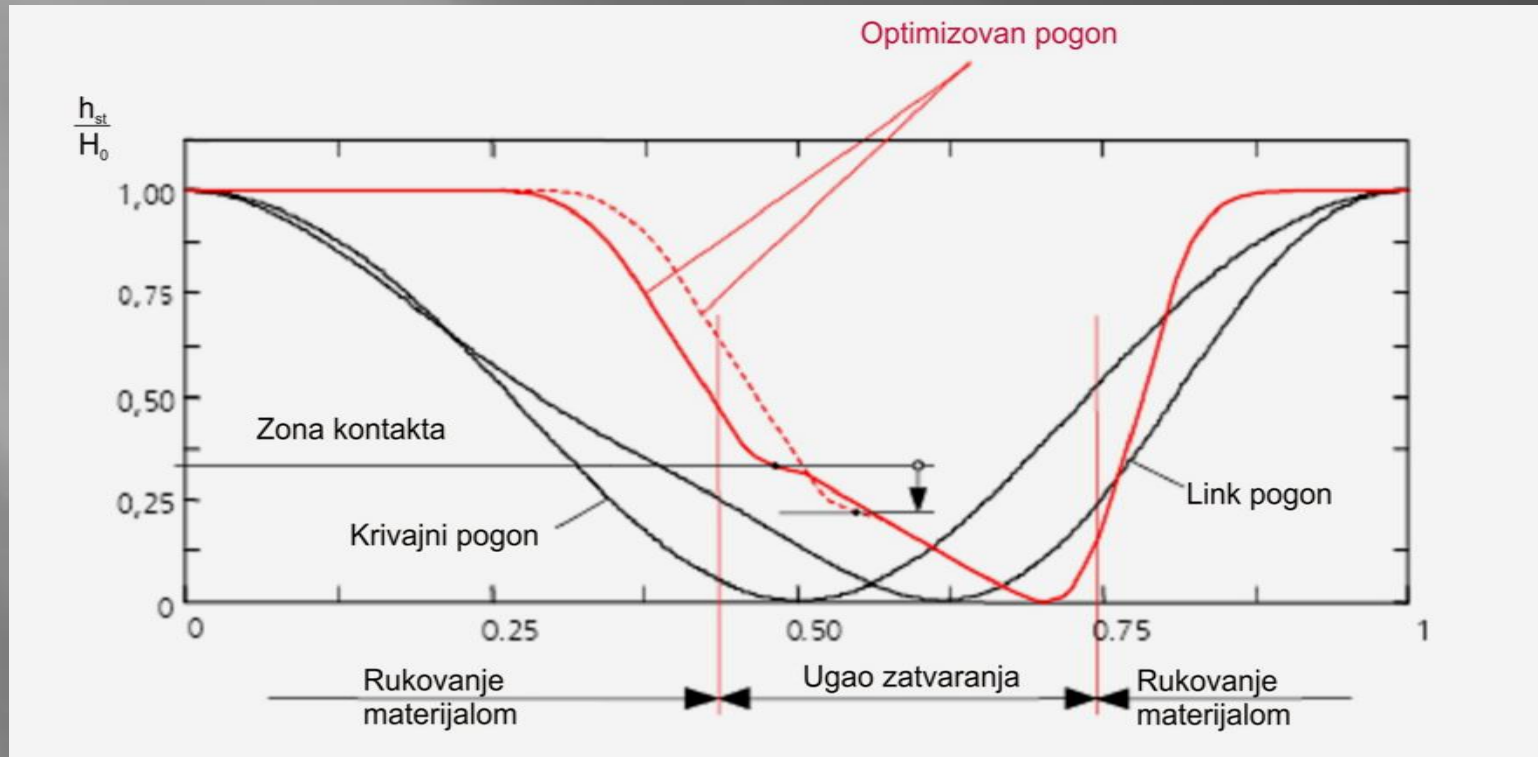
a)



b)

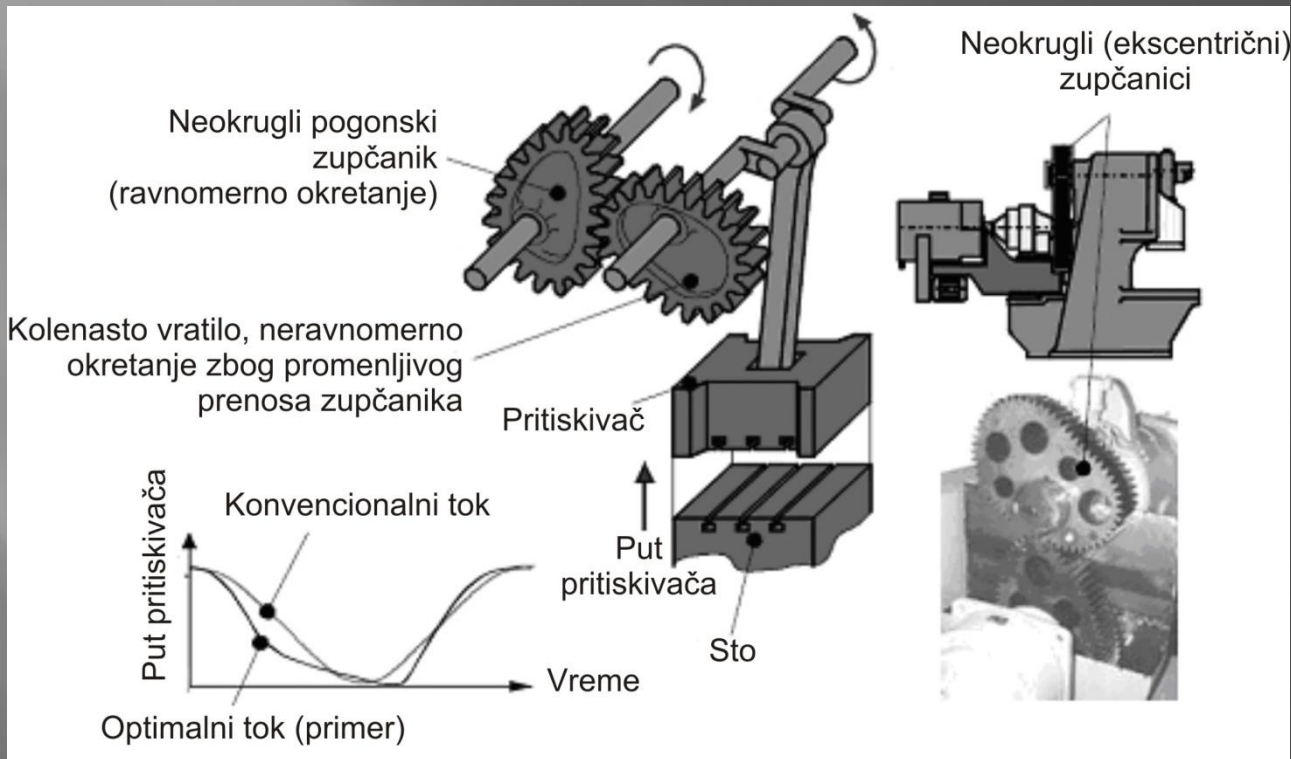
Slika 8.7 Pogonski sistem sa dodatnim elektromotorom (eng. *second drive*) [31]
a) kinematska šema, b) izgled mehanizma, 1 – glavni motor, 2 – kaišni prenosnik, 3 – dodatni motor, 4 – epiciklični prenosnik, 5 – krivajno vratilo

8.2.2 Pogon sa dodatnim elektromotorom



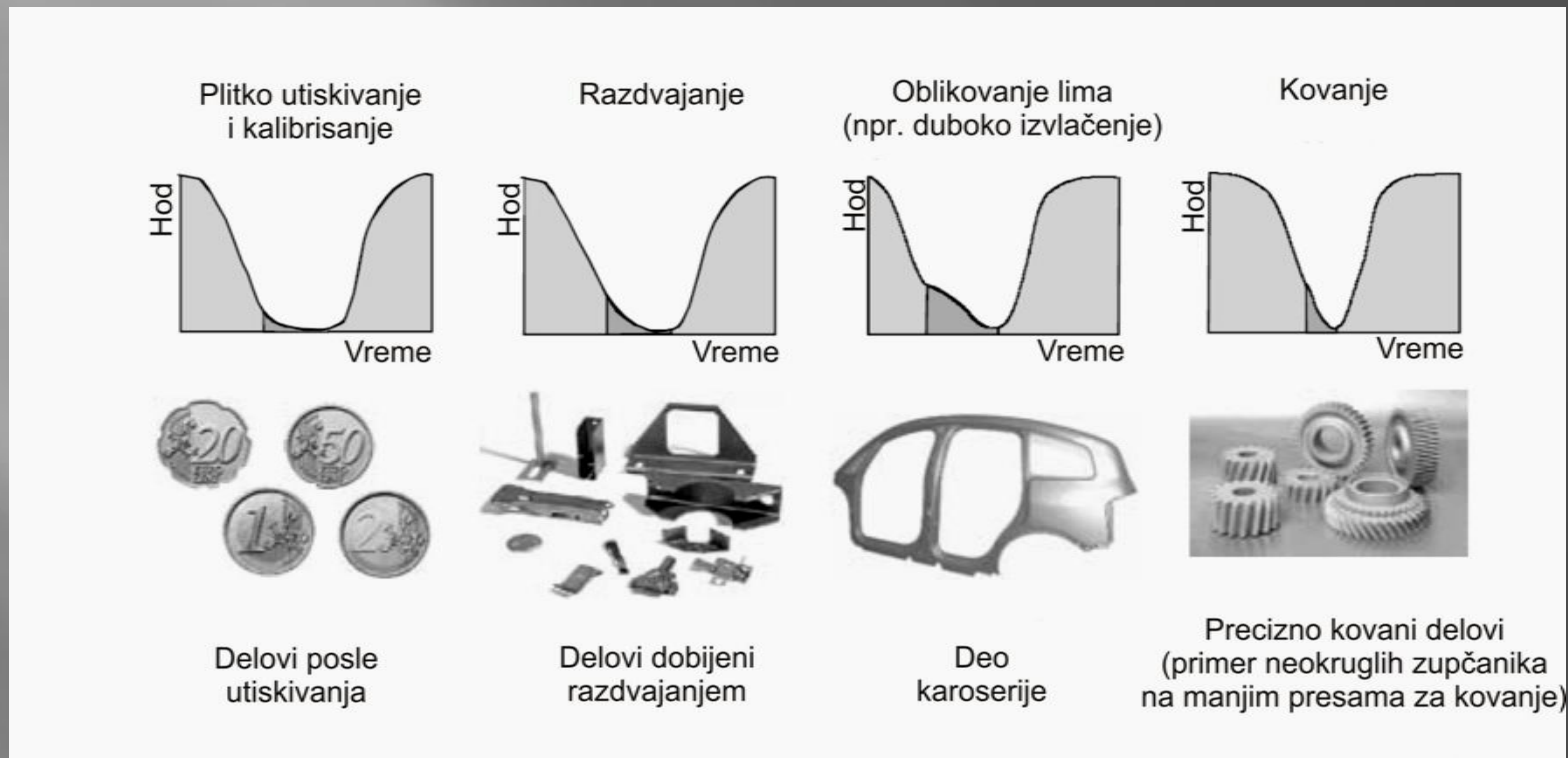
Slika 8.8 Dijagram hoda pogona „second drive”, IWU-Chemnitz [31]

8.2.3 Krivajni mehanizam sa neokruglim zupčanicima



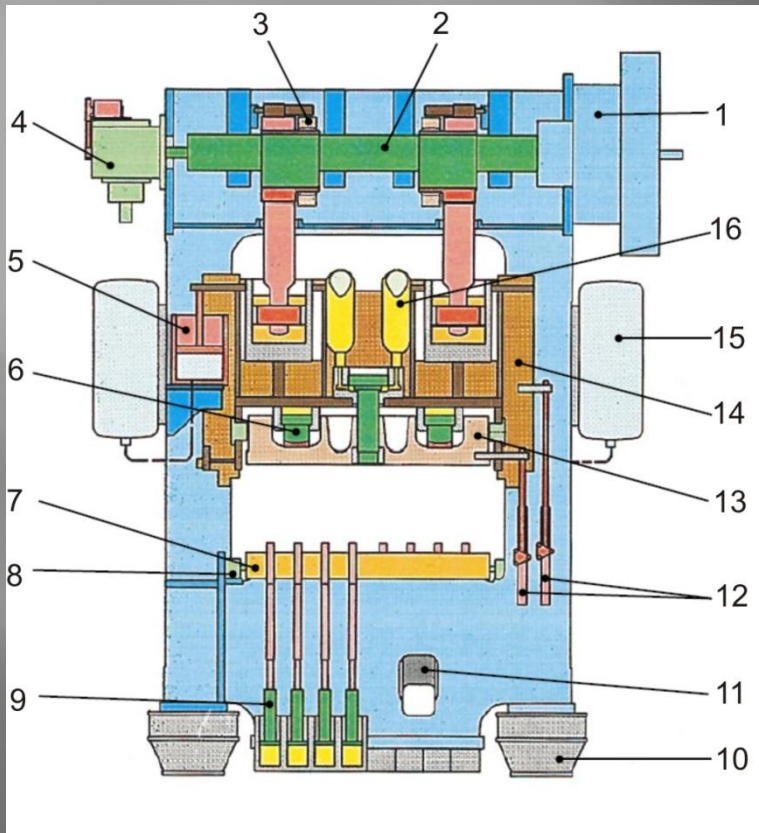
Slika 8.9 Krivajni mehanizam sa neokruglim zupčanicima [12]

8.2.3 Krivajni mehanizam sa neokruglim zupčanicima



Slika 8.10 Primena novog krivajnog mehanizma [12]

8.2.4 Hibridni pogonski sistemi



Slika 8.11 Mehanička presa sa hibridnim pogonskim sistemom, Schuler [10]

1 – spojnica i kočnica, 2 – ekscentarsko vratilo,
3 – uređaj za podešavanje veličine hoda,
4 – pogon dodavača, 5 – balansni cilindar,
6 – hidraulični cilindar, 7 – ploča stola,
8 – uređaj za zamenu ploče stola,
9 – hidraulični jastuk, 10 – apsorber vibracija,
11 – odvod otpada, 12 – senzori hoda pritiskivača,
13 – hidraulično gonjeni pritiskivač, 14 – mehanički gonjeni pritiskivač, 15 – akumulator vazduha,
16 – hidraulični akumulator

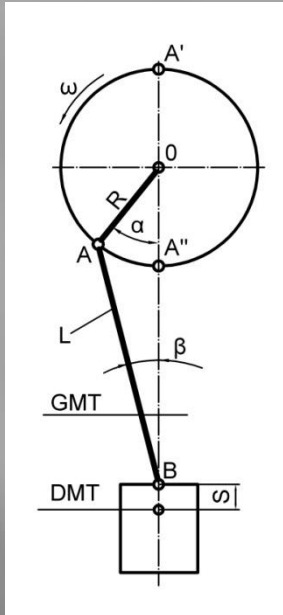
8.2.4 Hibridni pogonski sistemi

- Prednosti pogona su:
 - optimalno podešavanje brzine pritiskivača zahtevima procesa;
 - mogućnost oblikovanja delova veće visine;
 - mogućnost izvođenja operacije utiskivanja sa nepokretnim alatom pod opterećenjem;
 - povećani broj hodova prese u jedinici vremena, na primer, pri dubokom izvlačenju, moguće je ostvariti 16 hodova bez hibridnog pogona, odnosno, 28 sa hibridnim pogonom.

8.3 Kinematika krivajnih mehanizama

- Kinematske karakteristike krivajnih presa zavise od vrste ugrađenog pogonskog mehanizma
- Kinematika krivajnog mehanizma određena je zavisnošću veličine hoda od ugla krivaje na osnovu koje se dobijaju dijagrami brzine i ubrzanja pritiskivača

8.3.1 Prost krivajni mehanizam



a)

Hod tačke B:

$$S = R + L - R \cos \alpha - L \cos \beta = R(1 - \cos \alpha) + L(1 - \cos \beta)$$

$$R \sin \alpha = L \cos \beta$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha}$$

$$S = R \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right]$$

$$\cos \alpha = \frac{2(R - S)(1 + \lambda) + \lambda(S^2 / R)}{2[\lambda(R - S) + R]} = \frac{2(R - S)(R + L) + S^2}{2R(R + L - S)}$$

Brzina pritiskivača:

$$v = \frac{ds}{dt} = R\omega \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

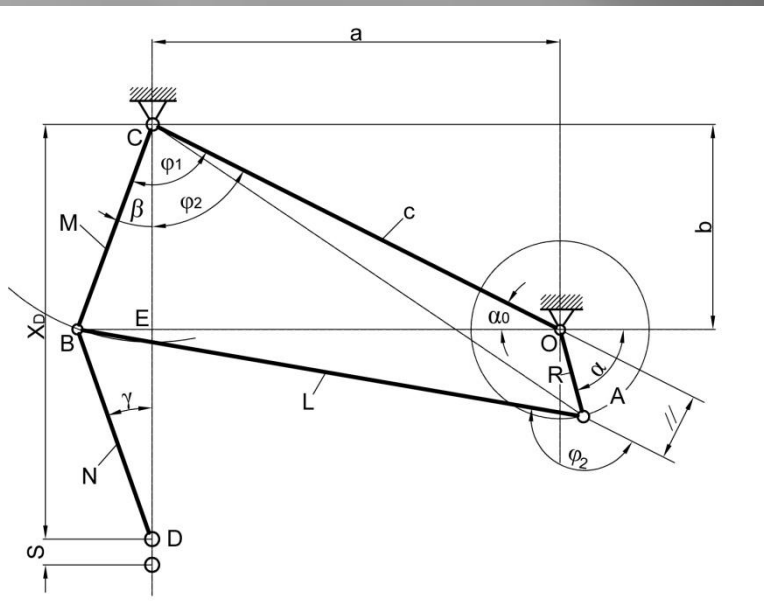
Ubrzanje pritiskivača:

$$a = \frac{dv}{dt} = R\omega^2 (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

Slika 8.12 Prost krivajni mehanizam

a) centralni

8.3.2 Krivajno-laktasti mehanizmi



Slika 8.14 Krivajno-laktasti mehanizam [19]

Hod pritiskivača:

$$S = M \left[(\cos \beta_{min} - \cos \beta) + \frac{1}{\lambda_1} (\cos \gamma_{min} - \cos \gamma) \right]$$

$$M = \overline{BC} \quad N = \overline{BD} \quad \lambda_1 = \frac{M}{N}$$

$$\sin \gamma = \lambda_1 \sin \beta \quad \cos \gamma = \sqrt{1 - \lambda_1^2 \sin^2 \beta} \approx 1 - \frac{1}{2} \lambda_1^2 \sin^2 \beta$$

$$S = M \left[(\cos \beta_{min} - \cos \beta) + \frac{\lambda_1}{4} (\cos 2\beta_{min} - \cos 2\beta) \right]$$

Ugao β :

$$\cos(\beta - \beta_{min}) = \frac{2(M - S)(M + N) + S^2}{2M(M + N - S)}$$

Brzina pritiskivača:

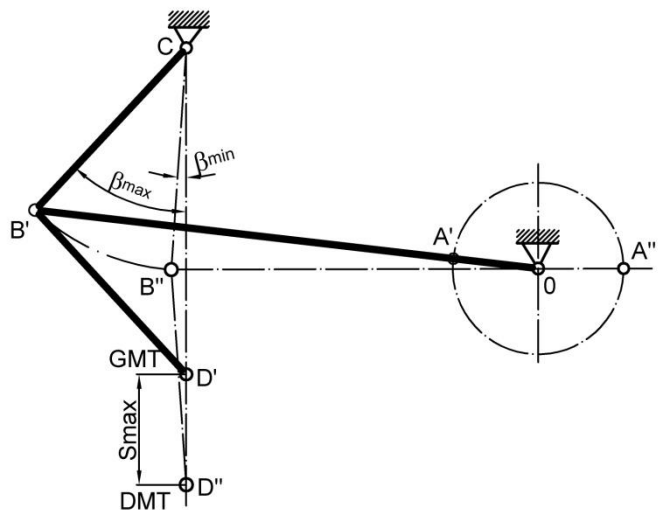
$$v = \omega_1 M \left(\sin \beta + \frac{\lambda_1}{2} \sin 2\beta \right)$$

Ugaona brzina člana M:

$$\omega_1 = \omega \frac{R \sin(\alpha - \alpha_0 - \varphi_2)}{M \sin(\beta + \varphi_0 - \varphi_2)}$$

$$\varphi_2 = 180^\circ + \arctg \frac{R \sin(\alpha - \alpha_0)}{R \cos(\alpha - \alpha_0) + c} - \arccos \frac{L^2 + \overline{AC}^2 - M^2}{2AC \cdot L}$$

8.3.2 Krivajno-laktasti mehanizmi



a)

Hod pritiskivaca:

$$S_{max} = M \left[(\cos \beta_1 - \cos \beta_2) + \frac{\lambda_1}{4} (\cos 2\beta_1 - \cos 2\beta_2) \right]$$

Uglovi:

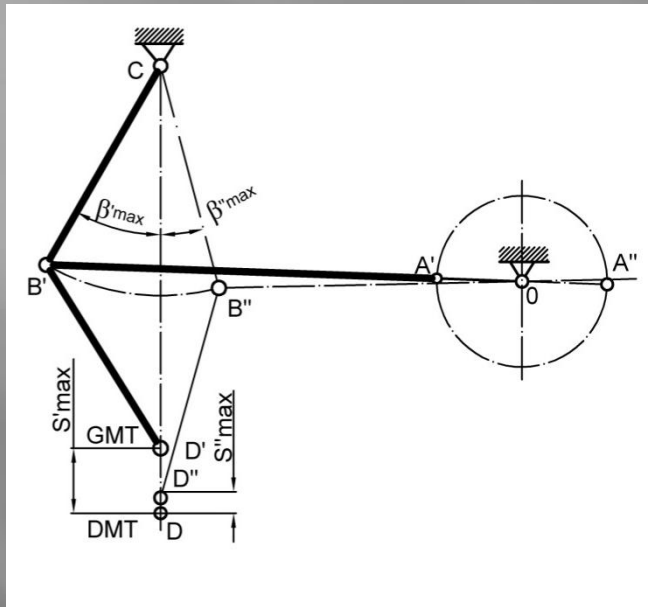
$$\beta_{1,2} = \arccos \frac{M^2 + c^2 - (L \pm R)^2}{2M \cdot c} - \arctg \frac{a}{b}$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{180}{360} - \arccos \frac{(L \pm R)^2 + c^2 - M^2}{2(L \pm R)c} + \arctg \frac{b}{a}$$

Slika 8.15 Podvarijante krivajno-latkastog mehanizma [19]

a) šarnir B ne prelazi vertikalnu osu

8.3.2 Krivajno-laktasti mehanizmi



b)

Slika 8.15 Podvarijante krivajno-latkastog mehanizma [19]
b) šarnir B prelazi vertikalnu osu

Kretanje pritiskivača u dve etape:

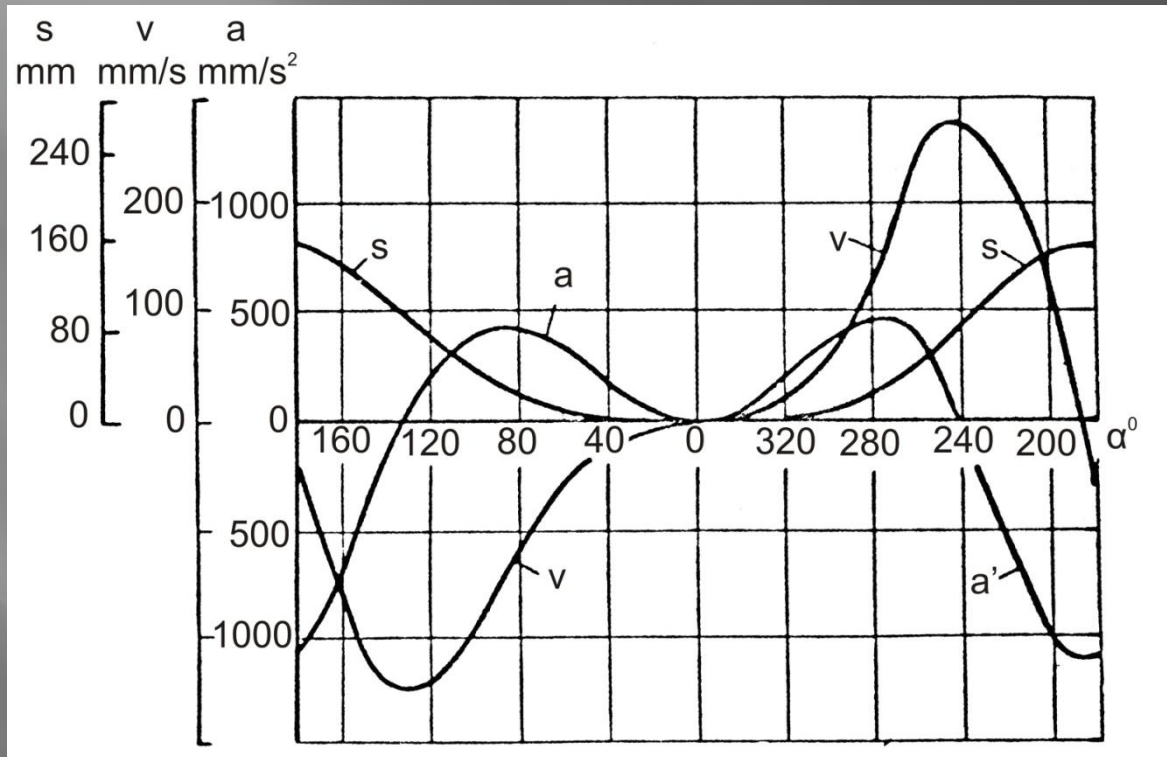
Prva etapa:

$$S'_{max} = M \left[(1 - \cos \beta_{2-1}) + \frac{\lambda_1}{4} (1 - \cos 2\beta_{2-1}) \right]$$

Druga etapa:

$$S''_{max} = M \left[(1 - \cos \beta_{2-2}) + \frac{\lambda_1}{4} (1 - \cos 2\beta_{2-2}) \right]$$

8.3.2 Krivajno-laktasti mehanizmi



Slika 8.16 Kinematske karakteristike krivajno-laktastog mehanizma

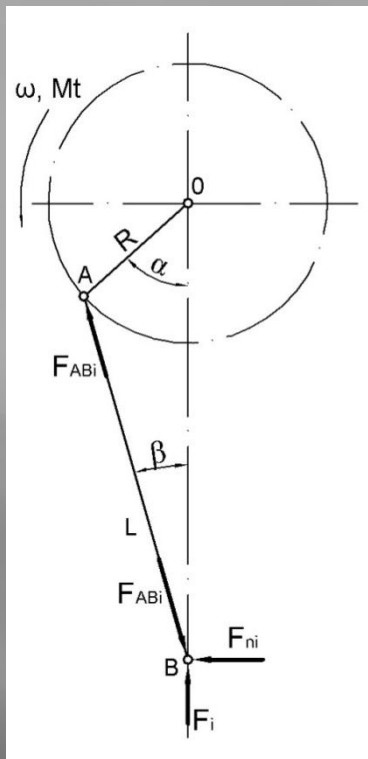
8.4 Opterećenje krivajnih presa

- Za pravilno dimenzionisanje elemenata krivajnih presa potrebno je poznavati opterećenja koja nastaju u radu mašine
- Opterećenje elemenata prese je posledica procesa deformisanja, inercije pokretnih elemenata, gravitacije i sila trenja
- Sile gravitacije i sile inercije u pogonskom mehanizmu krivajnih presa mogu se zanemariti jer su daleko manje od sila koje su posledica procesa deformisanja

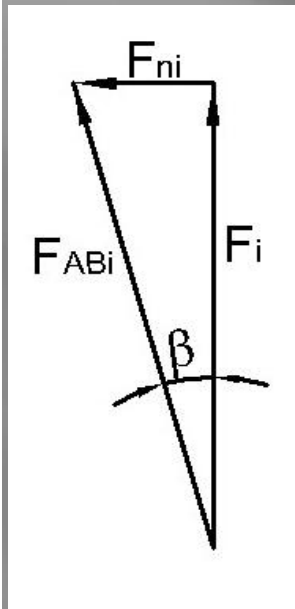
8.4.1 Statički proračun prostog krivajnog mehanizma

- Proračun prostog krivajnog mehanizma izvodi se u dve varijante:
 - idealni mehanizam - mehanizam bez sila trenja;
 - realni mehanizam, kada se u obzir uzimaju i sile trenja

Statički proračun idealnog krivajnog mehanizma



a)



b)

Sila u krivajnoj polugi

$$F_{ABi} = \frac{F_i}{\cos \beta}$$

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha}$$

$$F_{ABi} = \frac{F_i}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha}}$$

$$\cos \beta \cong 1$$

$$F_{ABi} \approx F_i$$

Normalna sila

$$F_{ni} = F_i \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$F_{ni} = F_i \frac{\lambda \sin \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha}}$$

$$F_{ni} = F_i \cdot \sin \alpha$$

Obrtni moment:

$$M_{ti} \cdot d\alpha = F_i \cdot dS \rightarrow M_{ti} = F_i \frac{dS}{d\alpha} = F_i \frac{d}{d\alpha} \left\{ R \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right] \right\}$$

$$M_{ti} = F_i R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

Idealni krak sile:

$$m_i = R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

$$M_{ti} = F_i \cdot m_i$$

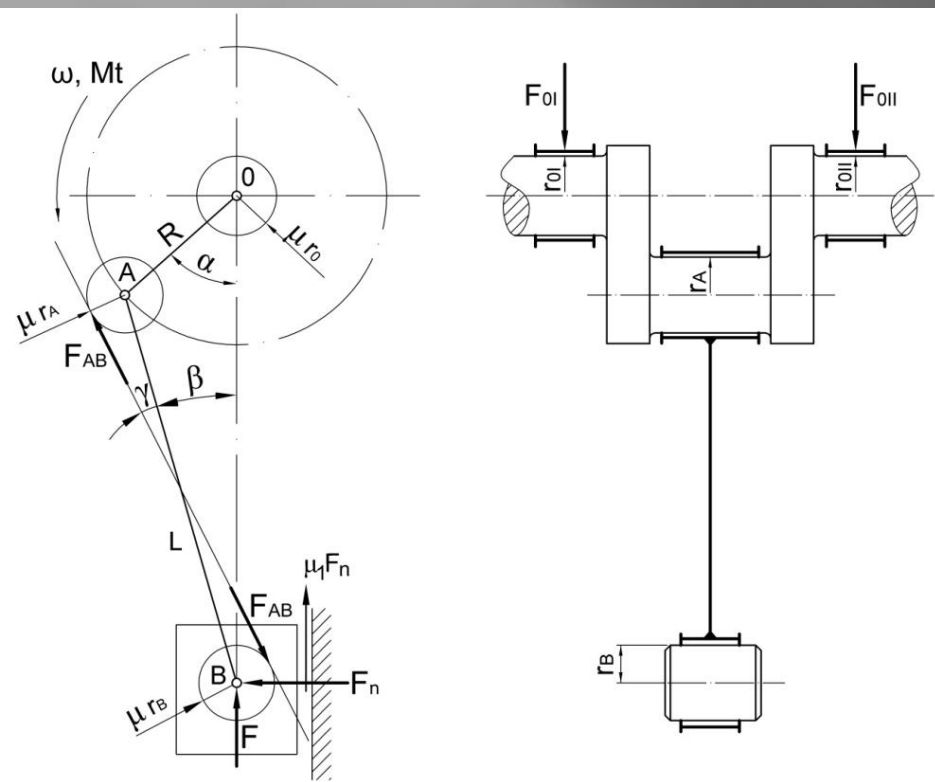
Sila na pritiskivaču:

$$F_i = \frac{M_{ti}}{m_i} = \frac{M_{ti}}{R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)}$$

Slika 8.19 Opterećenje idealnog krivajnog mehanizma [19, 26]

a) sile u idealnom mehanizmu,
b) trugao sila

Statički proračun realnog krivajnog mehanizma



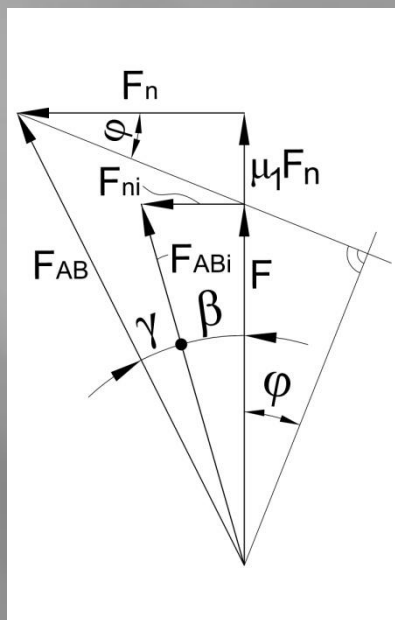
a)

Zbog delovanja trenja u rukavcima A i B, sila F_{AB} zauzima pravac određen uglom γ :

$$\sin \gamma = \mu \cdot \frac{(r_A + r_B)}{L}$$

Slika 8.20 Opterećenje realnog krivajnog mehanizma [19, 26]
a) sile u realnom mehanizmu

Statički proračun realnog krivajnog mehanizma



b)

$$F_{AB} \cdot \cos(\beta + \gamma + \varphi) = F \cdot \cos\varphi \quad F_{AB} = F \frac{\cos\varphi}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)} \quad \varphi = \arctg\mu_1$$

Sila u vođocama pritiskivača:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\beta + \gamma) &= \frac{F_n}{F + \mu_1 F_n} \\ F_n &= F \frac{\operatorname{tg}(\beta + \gamma)}{[1 - \operatorname{tg}(\beta + \gamma)]} \end{aligned}$$

Obrtni moment na krivajnom vratilu:

$$\begin{aligned} M_t \cdot dS &= F \cdot dS + \mu \cdot F_{AB} \cdot r_B \cdot d\beta + \mu \cdot F_{AB} \cdot r_A (d\alpha + d\beta) + \mu \cdot F_{O1} \cdot r_{O1} \cdot d\alpha + \\ &+ \mu F_{O11} \cdot r_{O11} \cdot d\alpha + \mu_1 \cdot F_n \cdot dS \end{aligned}$$

$$M_t = F \frac{ds}{d\alpha} + \mu \cdot F [r_A (1 + \lambda \cos\alpha) + r_B \lambda \cos\alpha + r_O]$$

Krak trenja:

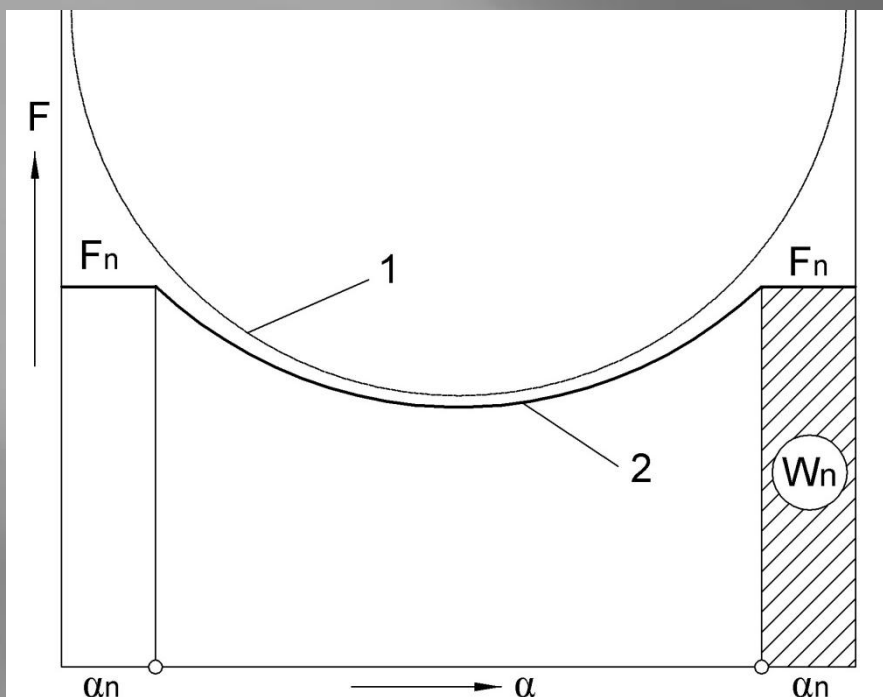
$$m_\mu = \mu [r_A (1 + \lambda) + r_B \lambda + r_O]$$

Sila na pritiskivaču kod realnog mehanizma iunosi:

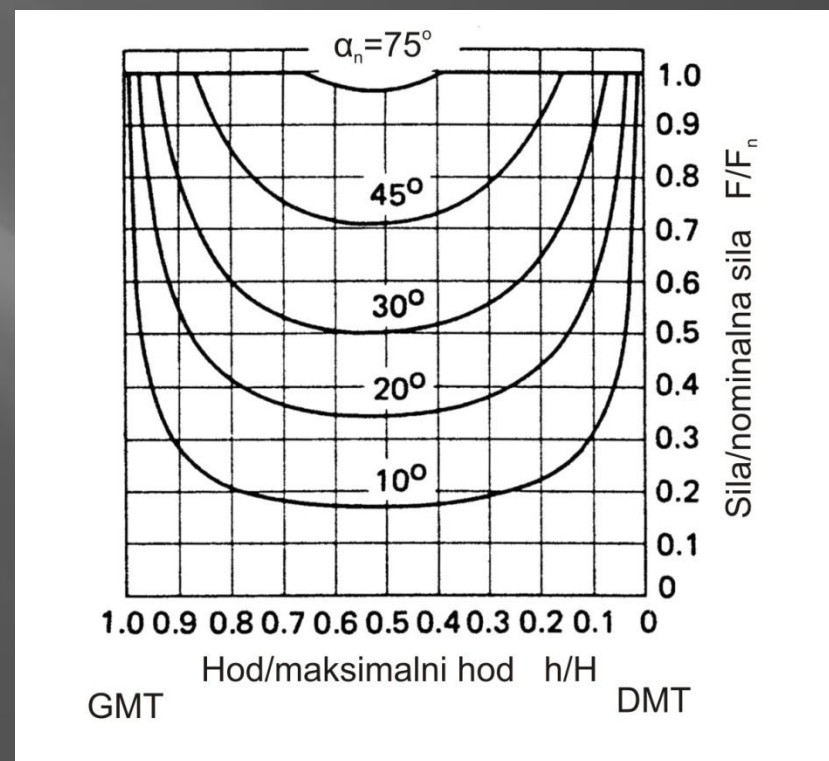
$$F = \frac{M_t}{m_i + m_\mu} = \frac{M_t}{R \left(\sin\alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu [r_A (1 + \lambda) + r_B \lambda + r_O]}$$

Slika 8.20 Opterećenje realnog krivajnog mehanizma [19, 26]
b) dijagram sila

Statički proračun realnog krivajnog mehanizma



Slika 8.21 Sila na pritiskivaču prostog krivajnog mehanizma
1 – idealni mehanizam, 2 – realni mehanizam



Slika 8.22 Dijagram sile krivajnog mehanizma pri $\lambda=0,1$ i pri različitim vrednostima nominalnog ugla krivaje [1]

Nominalni ugao prese

- ▣ Veličina nominalnog ugla α_n zavisi od vrste i namene krivajne prese. Prema Langeu [1], nominalni ugao ima sledeće vrednosti:
 - ▣ prese univerzalne namene 30^0
 - ▣ prese za probijanje i prosecanje 20^0 ;
 - ▣ kovačke prese 10^0 ;
 - ▣ prese za duboko izvlačenje 75^0 ;
 - ▣ prese za istiskivanje 45^0 .

Zakočenje krivajnog mehanizma

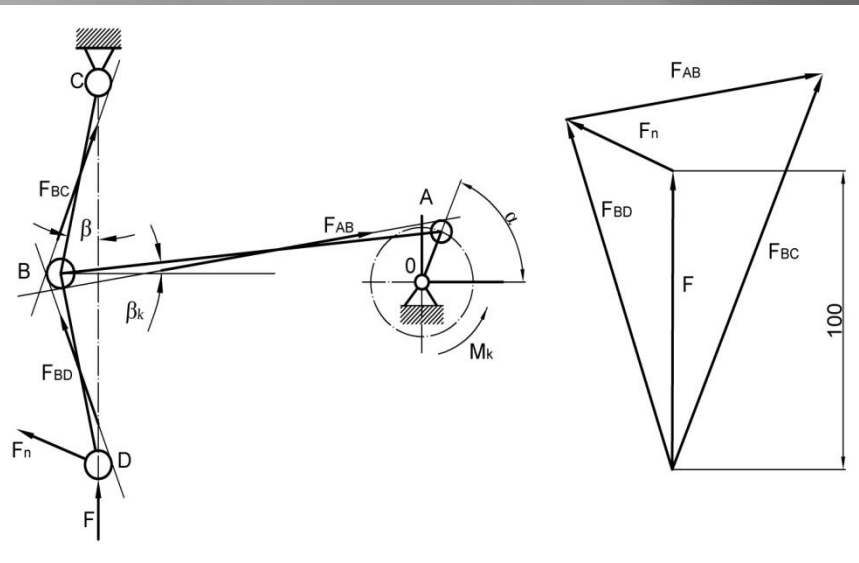
- ▣ Analiza zakočenja stanja krivajne prese je bazirana na balansu energije elastičnih sila i sila trenja:

$$F \cdot ds = F \cdot m_{\mu} d\alpha$$

- ▣ Granični ugao oblasti zakočenja:

$$\alpha_z \leq \frac{m_{\mu}}{R(1 + \lambda)}$$

8.4.2 Statički proračun krivajno-laktastog mehanizma



Slika 8.23 Sile na laktastom mehanizmu

Obrtni moment na krivajnom vratilu:

$$M_t = F_{AB} \cdot (m_i + m_\mu) = F_{AB} \cdot m_k$$

Krak krivajnog mehanizma:

$$m_k = R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu \left[(1 + \lambda \cos \alpha) r_A + \lambda r_B \cdot \cos \alpha + r_o \right]$$

$$M_t = F_{AB} \cdot R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu \left[(1 + \lambda \cos \alpha) r_A + \lambda r_B \cdot \cos \alpha + r_o \right]$$

Sila u tački B

$$F_B = F_{AB} \cdot \cos \beta_k = F_t \cdot \cos \beta$$

Tangencijalna sila:

$$F_t = \frac{M_t^B}{BC} \quad \text{a,} \quad m_k^B = \overline{BC} \left(\sin \beta + \frac{\lambda_1}{2} \sin 2\beta \right) + \mu \left[(1 + \lambda_1) r_B + \lambda_1 r_D + r_c \right]$$

Ukupan obrtni moment na krivajnom vratilu:

$$M_t = 2F \cdot \left(\sin \beta + \mu \frac{d}{BC} \right) \cdot \left\{ R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu \left[(1 + \lambda \cos \alpha) r_A + \lambda r_B \cdot \cos \alpha + r_o \right] \right\}$$

8.4.2 Statički proračun krivajno-laktastog mehanizma

Sila na pritiskivaču:

$$F = \frac{M_t}{\left(\sin \beta + \mu \frac{d}{BC} \right) \cdot \left\{ R \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right) + \mu \left[(1 + \lambda \cos \alpha) r_A + \lambda r_B \cdot \cos \alpha + r_o \right] \right\}}$$

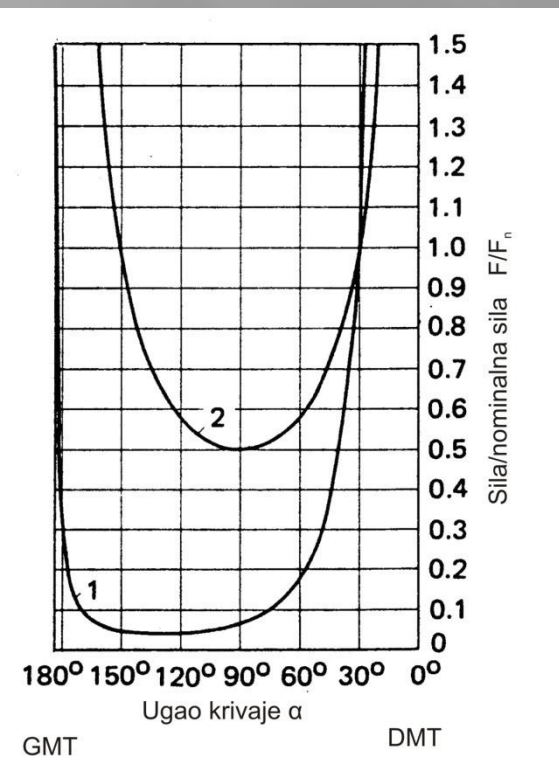
Komponente sile u polugama krivajno-laktastog mehanizma, prema Banketovu, se određuju sledećim izrazima:

$$2F \left(\sqrt{\frac{S}{l}} + 2\mu \frac{r}{l} \right)$$

$$F_{AB} = \frac{2F \left(\sqrt{\frac{S}{l}} + 2\mu \frac{r}{l} \right)}{1 - \frac{\lambda^2}{2} \left(\sin \alpha - \frac{S}{R} \right) - \lambda \left(\sin \alpha - \frac{1}{2} \frac{S}{R} + \mu \frac{r_A - r_B}{R} \right) \left(\sqrt{\frac{S}{l}} + 2\mu \frac{r}{l} \right)}$$

$$F_{BC} = \frac{F \left[1 - \lambda \left(\sin \alpha - \frac{1}{2} \frac{S}{R} + \mu \frac{r_A - r_B}{R} \right) \right]}{1 - \lambda \left(\sqrt{\frac{S}{l}} + 2\mu \frac{r}{l} \right) \cdot \left(\sin \alpha - \frac{1}{2} \frac{S}{R} + \mu \frac{r_A - r_B}{R} \right)}$$

$$F_{BD} = \frac{F}{1 - \frac{S}{2l} - \mu \sqrt{\frac{S}{l}} \cdot \left(1 + \frac{2r}{l} \right)}$$



Slika 8.24 Dijagram sile krivajno-laktaste prese [1]