

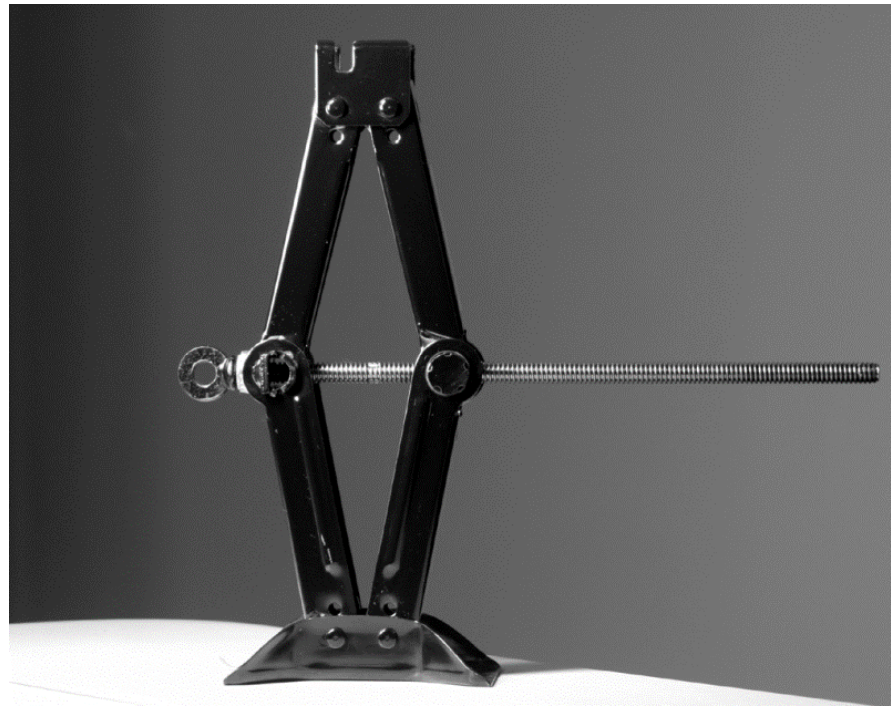
# Навојни преносници



## Подела машинских елемената са завојним површинама:

### ■ према намени

- машински елементи за везу (директну, посредну),
- за претварање кружног кретања у праволинијско,
- специјални машински елементи.



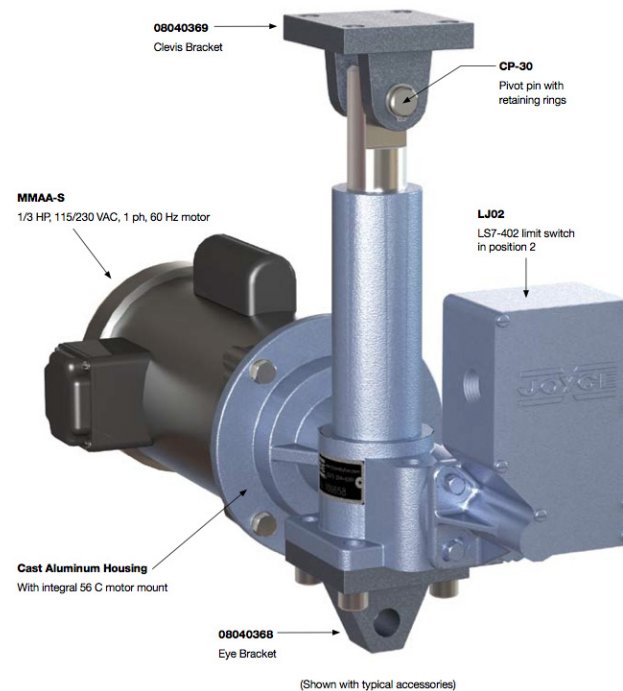
**Навојни преносници** се састоје од вретена (завртња) и навртке и служе за претварање обртног кретања у праволинијско и обратно.

Они имају велику примену у савременој машиноградњи



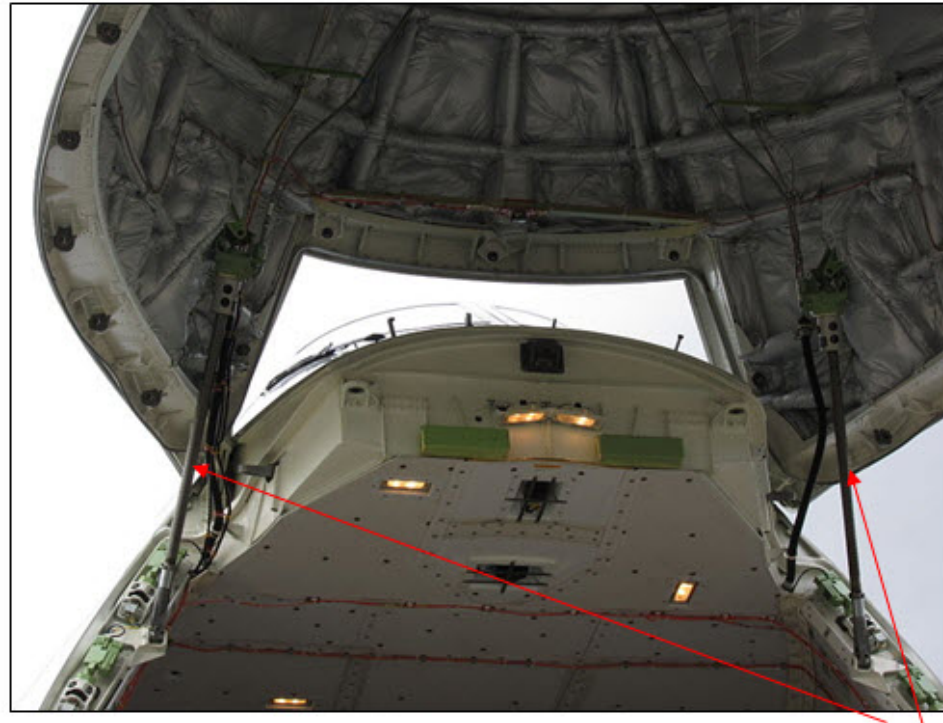
**Навојни преносници** се састоје од вретена (завртња) и навртке и служе за претварање обртног кретања у праволинијско и обратно.

Они имају велику примену у савременој машиноградњи



**Навојни преносници** се састоје од вретена (завртња) и навртке и служе за претварање обртног кретања у праволинијско и обратно.

Они имају велику примену у савременој машиноградњи



**Навојни преносници** се састоје од вретена (завртња) и навртке и служе за претварање обртног кретања у праволинијско и обратно.

Они имају велику примену у савременој машиноградњи, захваљујући својим **предностима**:

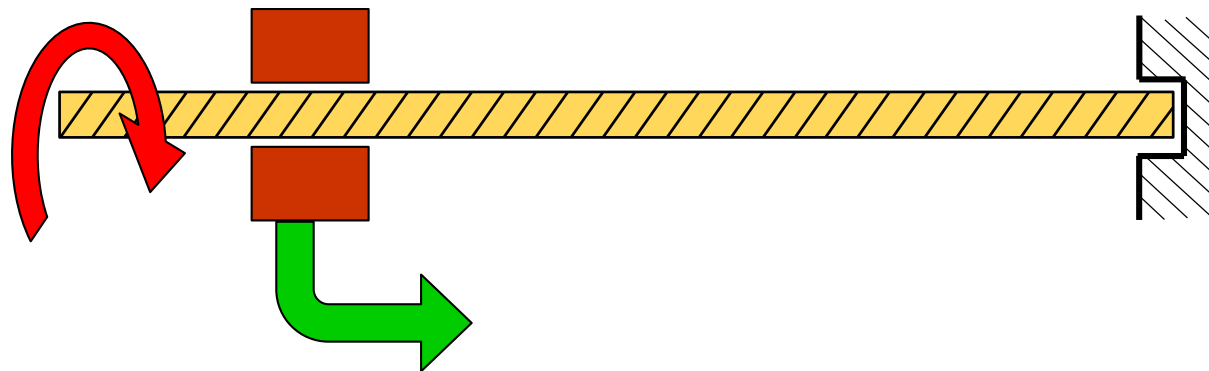
- једноставној конструкцији,
- јефтиној изради,
- малим габаритним димензијама,
- могућношћу самокочења,
- добијање релативно велике силе уз мале моменте, итд.

**Основна мана** класичих навојних преносника је:

- мали степен искоришћења и
- прилично велико хабање спрегнутих површина, које је последица великог трења које се јавља између њих. Код навојних преносника са куглицама тај проблем није присутан.

Код навојних преносника могуће су **следеће комбинације**:

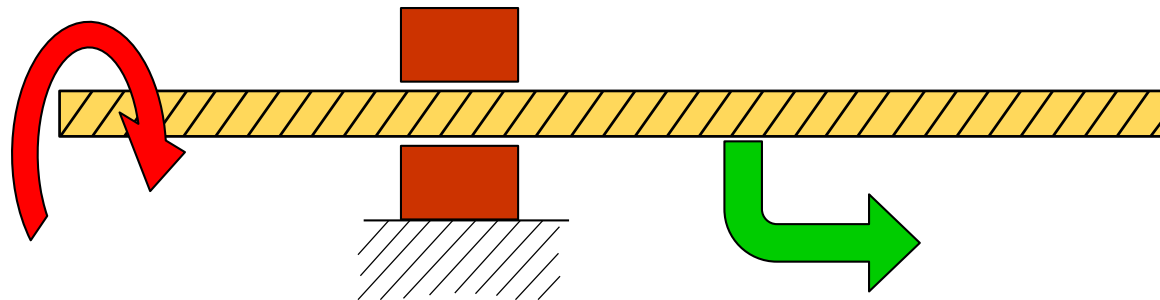
- **вретено се обрће, док се навртка не обрће, али врши аксијално кретање,**
- **вретено се обрће и аксијално помера, док навртка стоји,**
- **навртка се обрће, док се вретено не обрће али врши аксијално кретање и**
- **навртка се обрће и аксијално помера, док вретено стоји.**





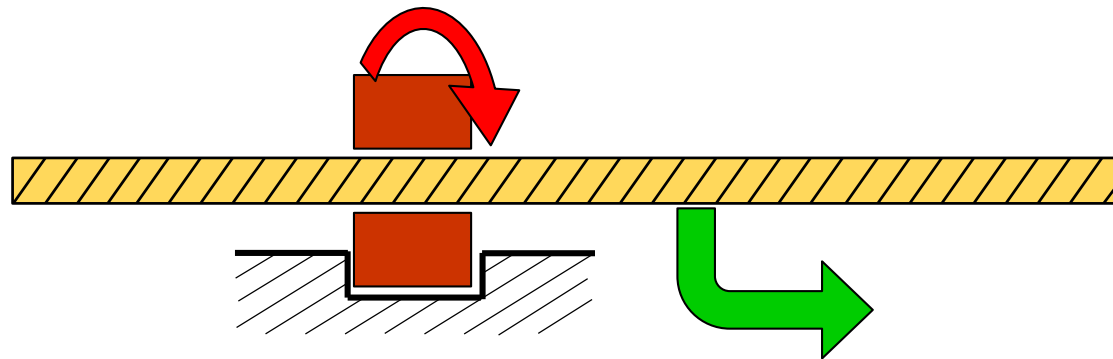
Код навојних преносника могуће су **следеће комбинације**:

- вретено се обрће, док се навртка не обрће, али врши аксијално кретање,
- **вретено се обрће и аксијално помера, док навртка стоји,**
- навртка се обрће, док се вретено не обрће али врши аксијално кретање и
- навртка се обрће и аксијално помера, док вретено стоји.



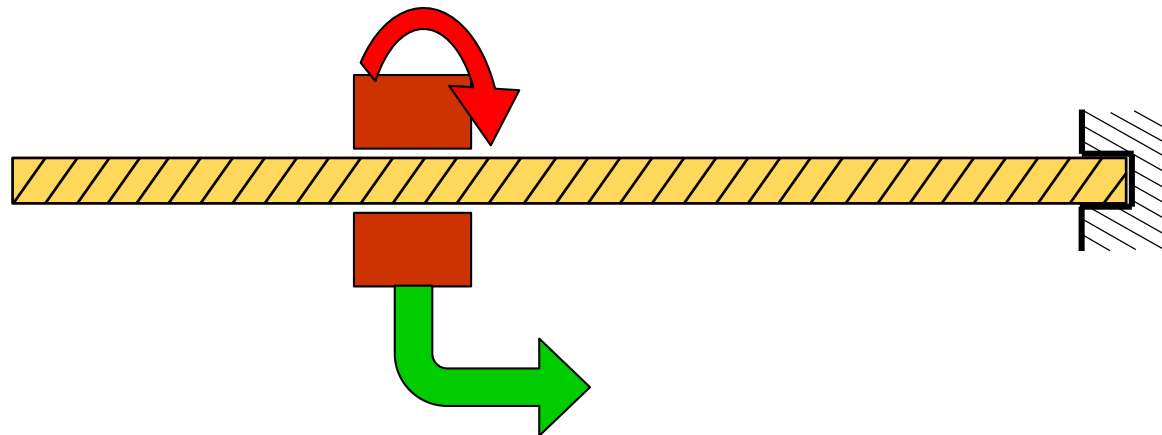
Код навојних преносника могуће су **следеће комбинације**:

- вретено се обрће, док се навртка не обрће, али врши аксијално кретање,
- вретено се обрће и аксијално помера, док навртка стоји,
- **навртка се обрће, док се вретено не обрће али врши аксијално кретање и**
- навртка се обрће и аксијално помера, док вретено стоји.



Код навојних преносника могуће су **следеће комбинације**:

- вретено се обрће, док се навртка не обрће, али врши аксијално кретање,
- вретено се обрће и аксијално помера, док навртка стоји,
- навртка се обрће, док се вретено не обрће али врши аксијално кретање и
- **навртка се обрће и аксијално помера, док вретено стоји.**



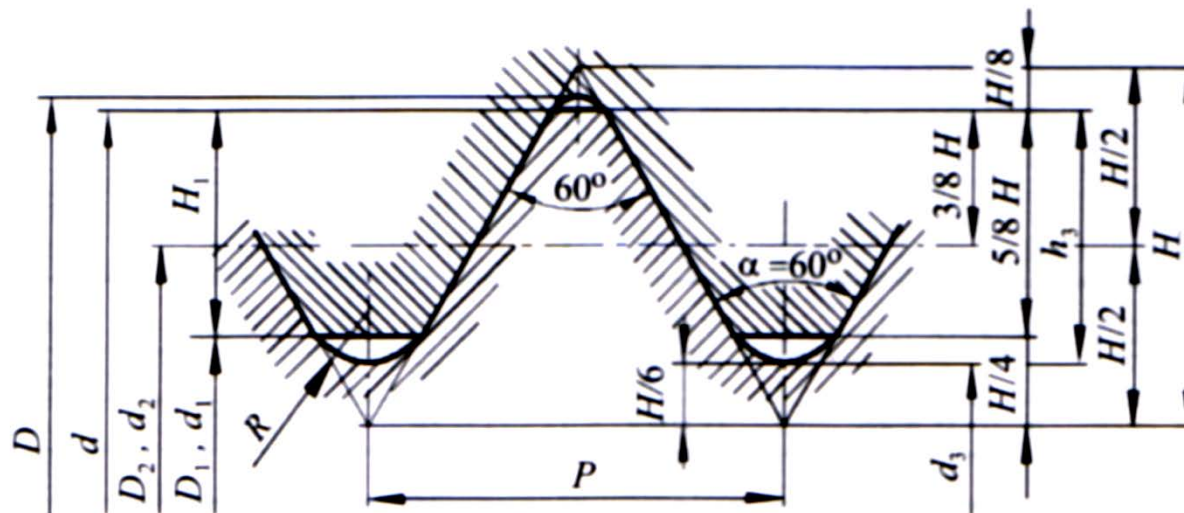
Конструкционо решење навојног преносника зависи од **основних параметара навојног преносника**, у које спадају:

- профил навоја (трапезни, коси, обли, итд.),
- број почетака навоја (једно, дво или вишеструки),
- услов самокочења у раду (са или без самокочења) и
- смер завојнице (десни или леви).

## Профил навоја

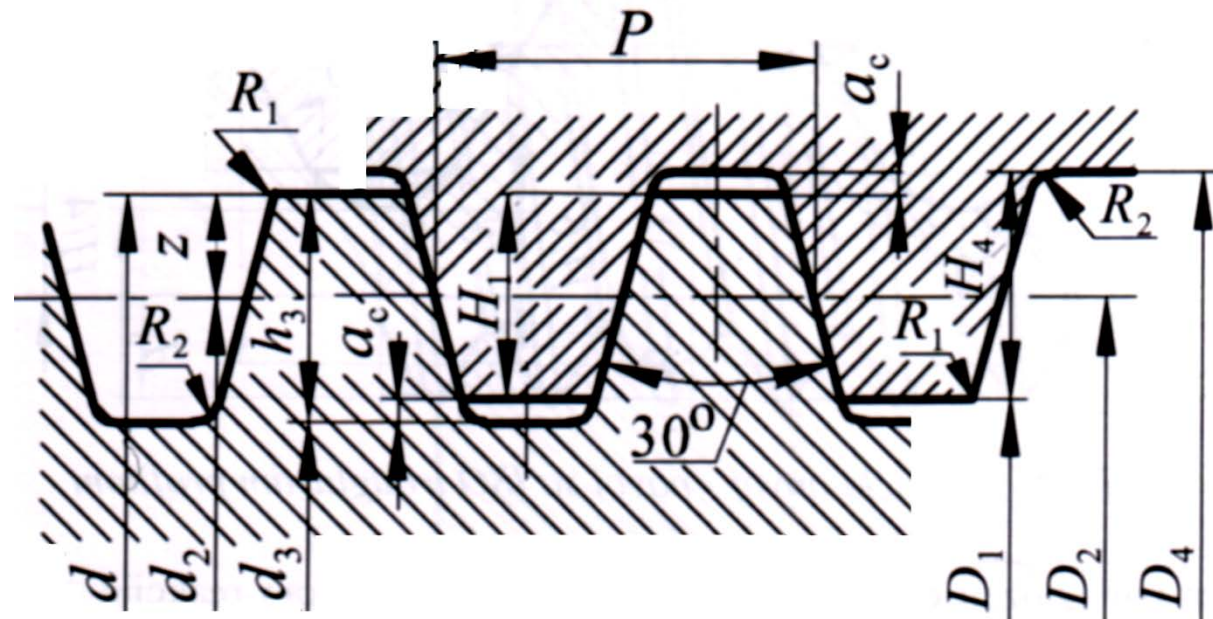
Избор профила навоја врши се у зависности од карактера и смера спољне силе која делује на преносник, услова радне средине (влажност, прашина и сл.) и степена искоришћења преносника.

■ **Троугласти профил** навоја није погодан за навојни преносник услед малог степена искоришћења, мада се он одликује великом чврстоћом.



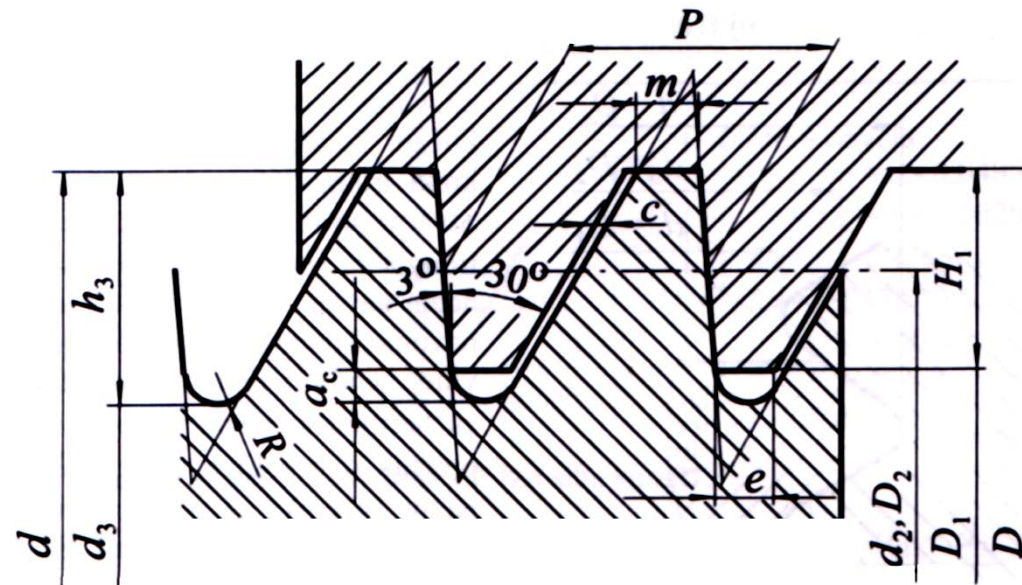
## Профил навоја

■ **Трапезни профил** навоја се одликује великом чврстоћом и прилично великим степеном искоришћења. Погодан је за наизменично променљива оптерећења.



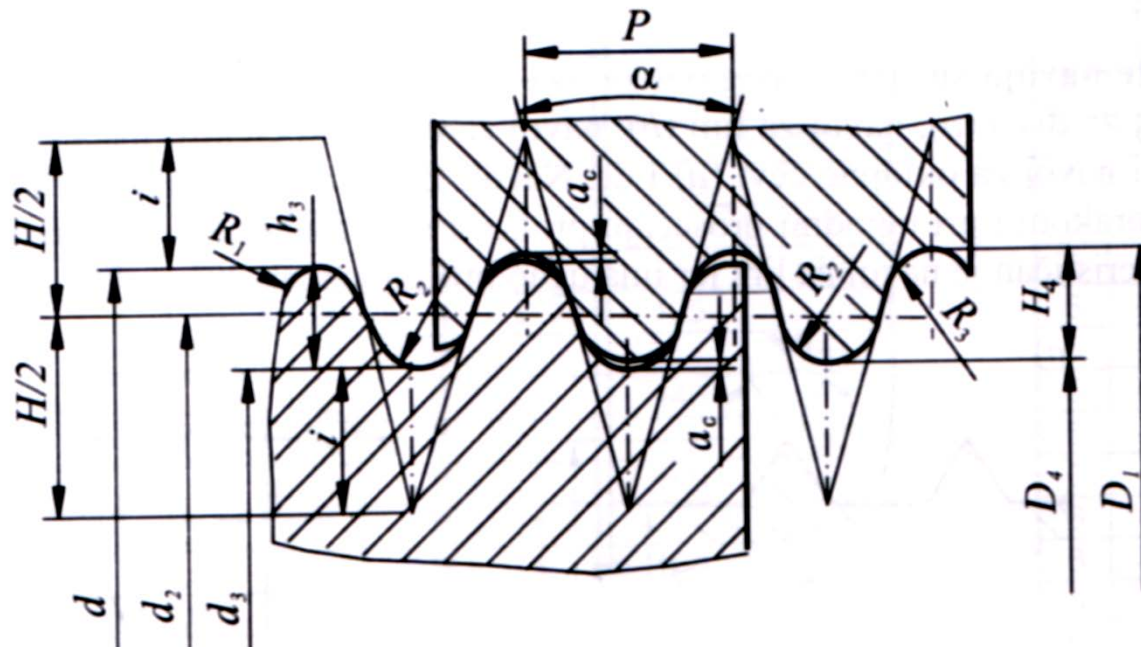
## Профил навоја

■ **Коси профил** навоја има нешто већи степен искоришћења и већу чврстоћу од трапезног навоја, услед заобљеног дна профила (мањи фактор концентрације напона). Ови профили су погодни за једносмерна оптерећења, а посебно у случају ударних оптерећења.



## Профил навоја

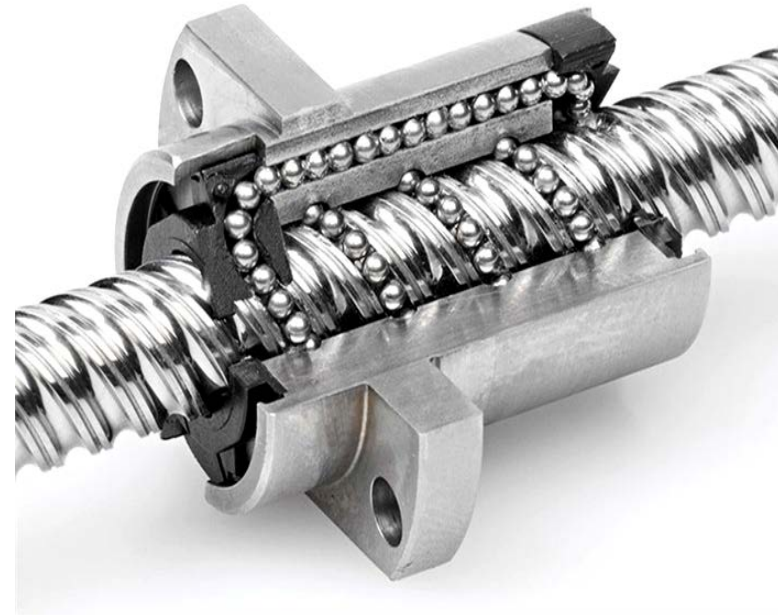
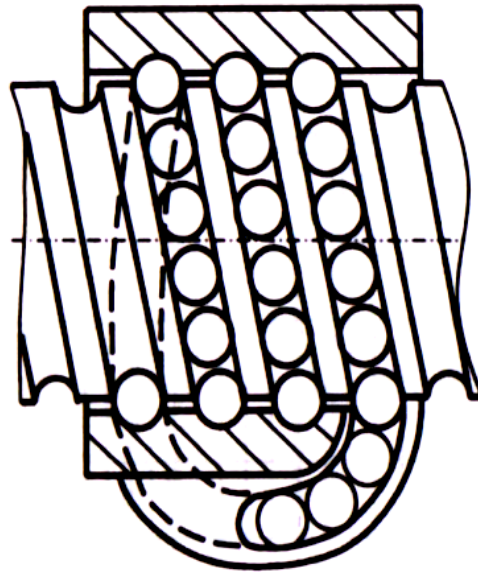
■ **Обли навој**, због малог фактора концентрације напона, има велику чврстоћу, мање је осетљив на корозију и нечистоће, мада има прилично мали степен искоришћења.





## Профил навоја

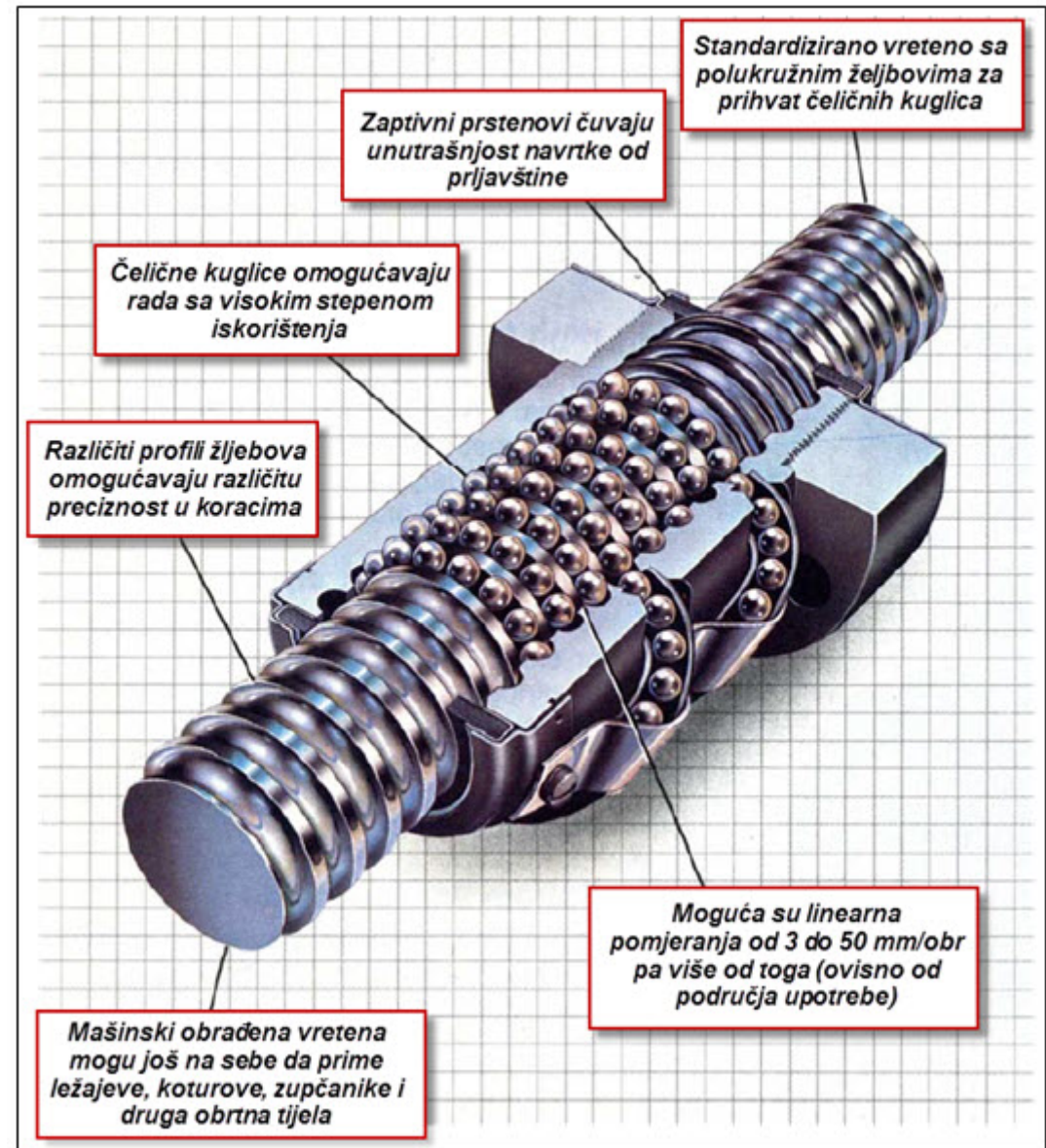
■ **Навоји са куглицама** се користе у циљу смањења трења између додирних површина, тако да се степен искоришћења ових преносника повећава и до 95%. Код ових преносника додир се остварује посредством каљених куглица тако да је код њих отпор трења замењен отпором котрљања. Они су нешто већи и скупљи и зато се користе само у изузетним случајевима.



## Профил навоја

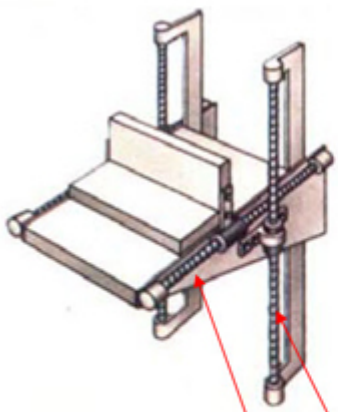
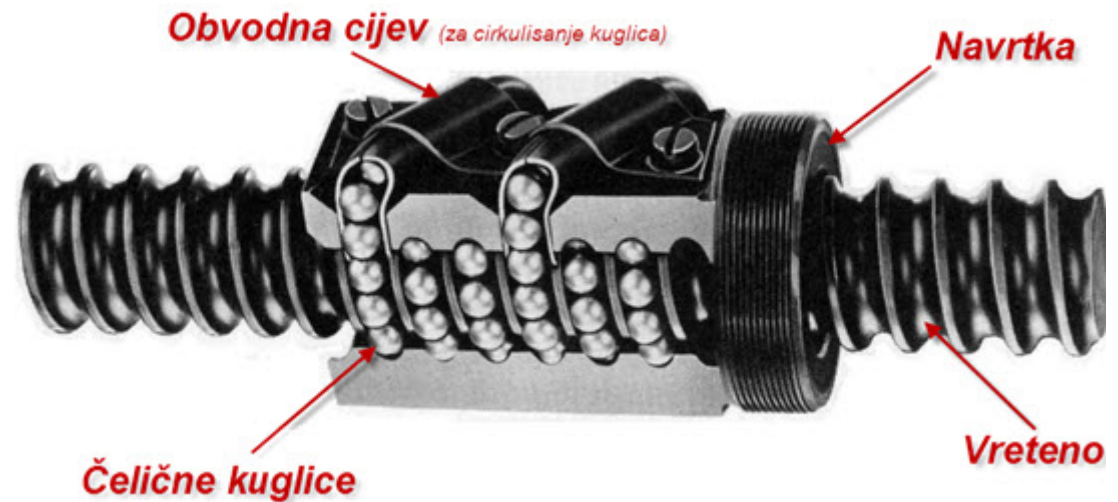
### ■ Навоји са куглицама

Додир се остварује посредством каљених куглица тако да је код њих отпор трења замењен отпором котрљања. Они су нешто већи и скупљи и зато се користе само у изузетним случајевима.

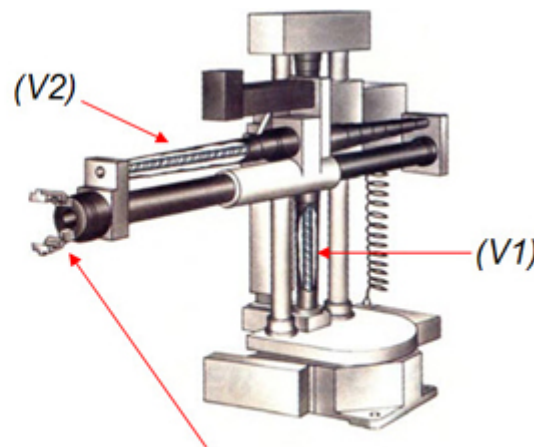


## Профил навоја

### ■ Навоји са куглицама



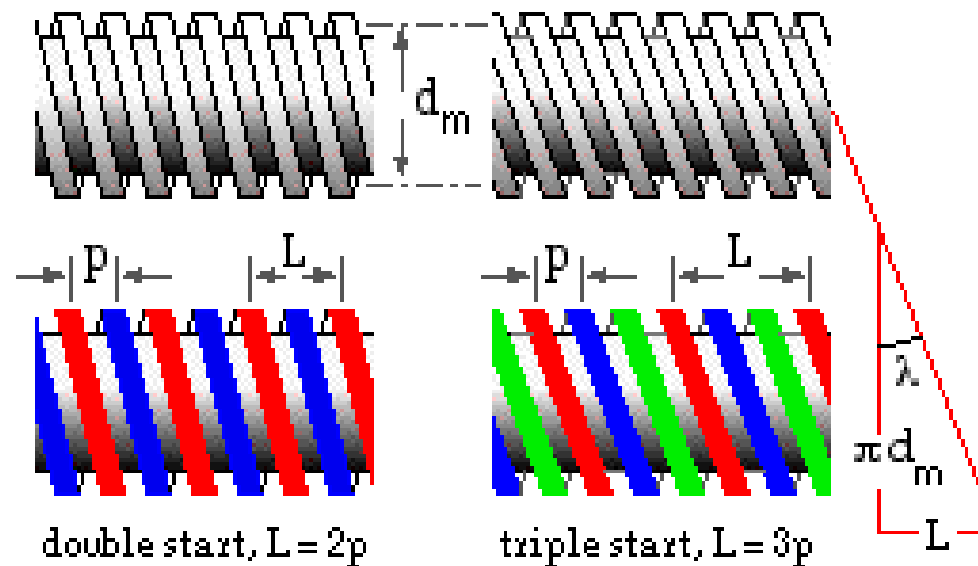
Pozicioniranje obradka po širini i visini putem vretena sa čeličnim kuglicama



Pozicioniranje robotske ruke putem vretena za vertikalno (V1) i horizontalno (V2) pozicioniranje

## Број почетака навоја

- Број почетака навоја ( $z = L / P$ , где је  $L$  - ход навоја, а  $P$  - корак навоја) бира се у зависности од потребне брзине померања навртке или вретена ( $v = L \cdot n$ , где је:  $L$  - ход навоја а  $n$  - број обртаја вретена или навртке) и умногоме утиче на величину силе, односно, обртног момента.



## Услов самокочења

- На самокочивост навојног пара у највећој мери утиче **угао навоја** и он се бира у зависности од намене навојног преносника и величине аксијалне силе коју треба пренети. Да би се остварило самокочење навојног вретена потребно је испунити услов

$$\varphi \leq \rho_n$$

обично је довољно да је  $\varphi \leq 4,5^\circ$ .

- Код навојних преносника, код којих се не захтева самокочење у раду, угао навоја треба да је већи од угла трења, тј.

$$\varphi > \rho_n$$

## Услов самокочења

- Самокочење навојног преносника се, по правилу, обезбеђује једноходим навојем и умереним углом навоја.
- У оквиру самокочивих навоја треба разликовати тзв. **полусамокочиве**, код којих се самокочивост обезбеђује тек након претходног заустављања вретена, док се код **самокочивих** навоја, кочење остварује у раду. У случају да **се не захтева самокочење** треба усвајати веће углове навоја, јер они обезбеђују веће аксијално померање вретена, мада захтевају и веће обртне моменте.

## Услов самокочења

- Да би се могао прорачунати редуковани угао трења навоја

$$\rho_n = \operatorname{arctg} \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

мора се познавати **коэффициент трења ( $\mu$ )** чија вредност зависи од врсте материјала, квалитета обрађене површине и начина подмазивања (за челик по сивом ливу -  $\mu = 0,12$  до  $0,15$  ; за челик по антикорозивном сивом ливу -  $\mu = 0,10$  до  $0,12$  ; за челик по челику -  $\mu = 0,13$  до  $0,17$ ; за челик по бронзи -  $\mu = 0,08$  до  $0,10$ ), као и **угла профила навоја** (код косог навоја рачунати са  $\alpha/2 = 3^\circ$ ).

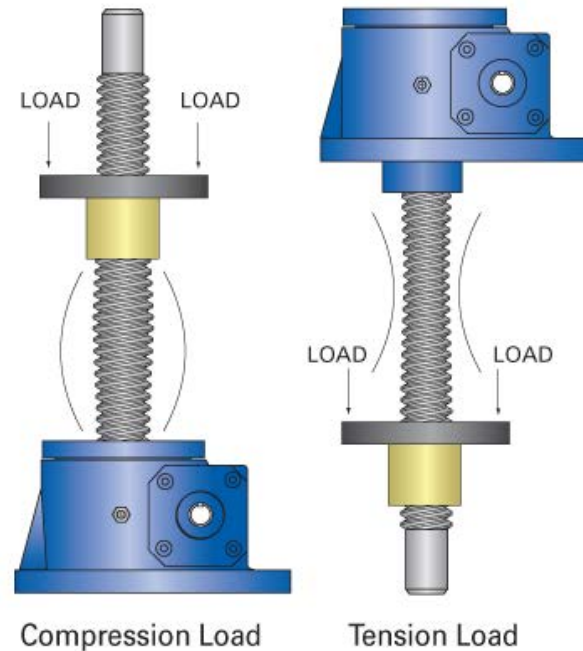
## Смер завојнице

- Смер завојнице се бира у зависности од захтева погона. У случају да нема неких посебних захтева увек се усваја **десни** смер завојнице.



## Оптерећење навојних преносника

- За прорачун навојних преносника потребно је утврдити величину, смер, нападну тачку и карактер дејства оптерећења навојног вретена, навртке и осталих делова преносника, а затим треба дефинисати врсту материјала вретена и навртке.



## Оптерећење навојних преносника

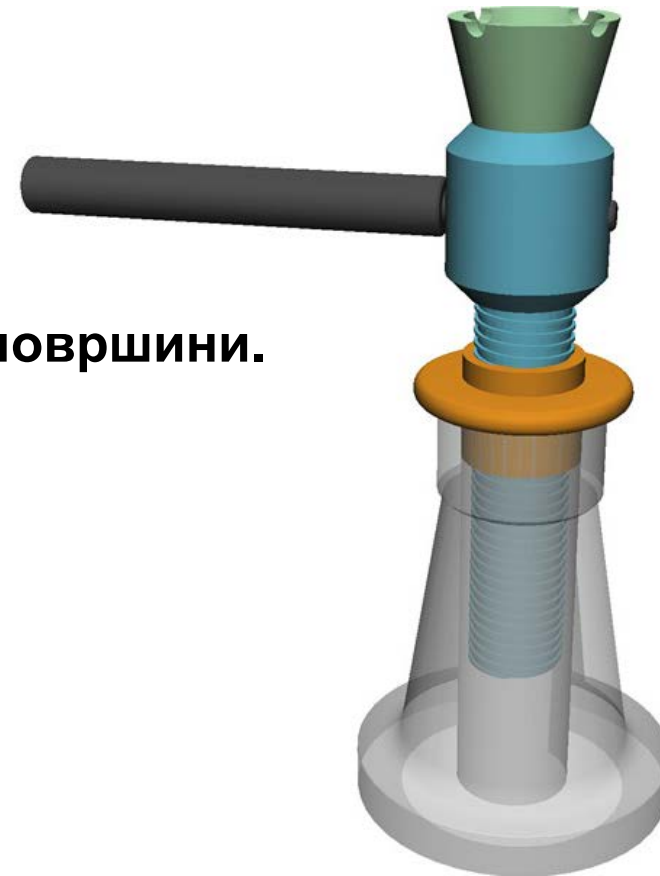
- Подизање терета на ручној дизалици врши се деловањем силе на крају ручице, која образује момент

$$T_p = T_n + T_\mu$$

где је:

$T_n$  - момент у навоју и

$T_\mu$  - момент трења на ослоној површини.



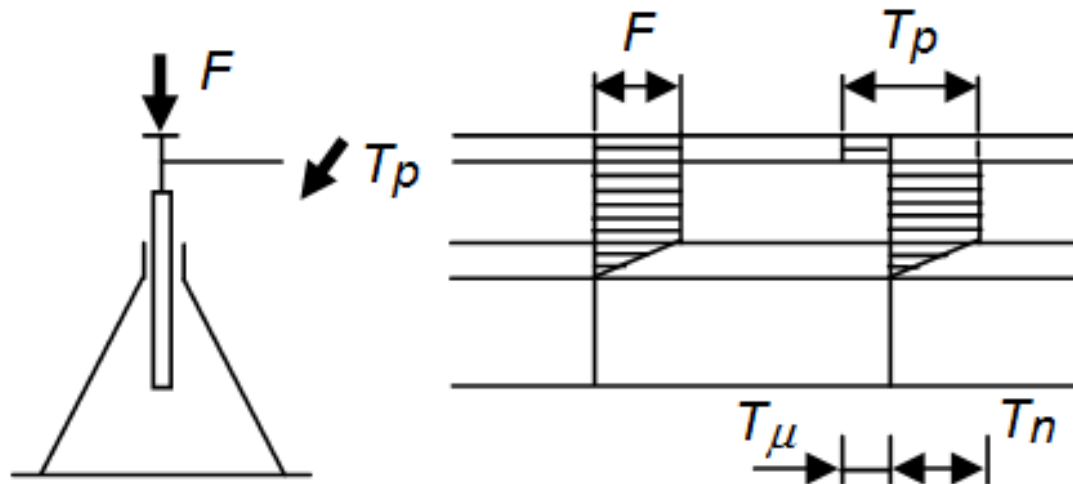
## Оптерећење навојних преносника

Подизање терета на ручној дизалици врши се деловањем силе на крају ручице, која образује момент

$$T_p = T_n + T_\mu$$

$T_n$  - момент у навоју и

$T_\mu$  - момент трења на ослоној површини.



## Оптерећење навојних преносника

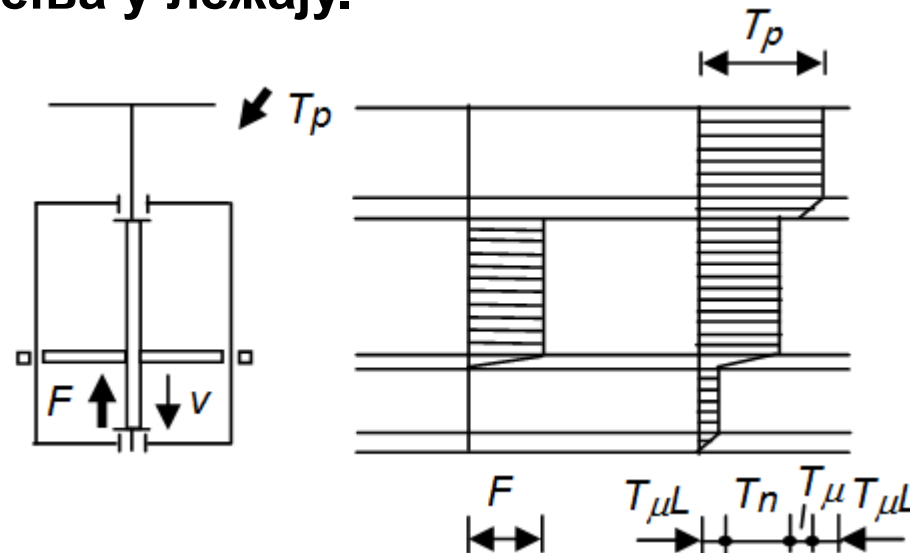
Подизање терета на ручној дизалици врши се деловањем силе на крају ручице, која образује момент

$$T_p = T_n + T_\mu + 2T_{\mu L}$$

$T_n$  - момент у навоју,

$T_\mu$  - момент трења на ослоној површини и

$T_{\mu L}$  - момент трења у лежају.



## Степен искоришћења навојних преносника

■ При подизању терета један део уложене енергије се троши на савлађивање отпора трења, због чега је потребно познавати степен искоришћења навојног преносника, да би се могла дефинисати потребна снага на улазу.

Степен искоришћења се рачуна као

$$\eta_n = \frac{P_i}{P_u}$$

$$P_i = Fv = F r_2 \omega \operatorname{tg} \varphi = F \frac{d_2}{2} \omega \operatorname{tg} \varphi$$

$$P_u = T_p \omega = \frac{Fd_2}{2} \left( \operatorname{tg} (\varphi + \rho_n) + \mu \frac{d_\mu}{d_2} \right) \omega$$

## Степен искоришћења навојних преносника

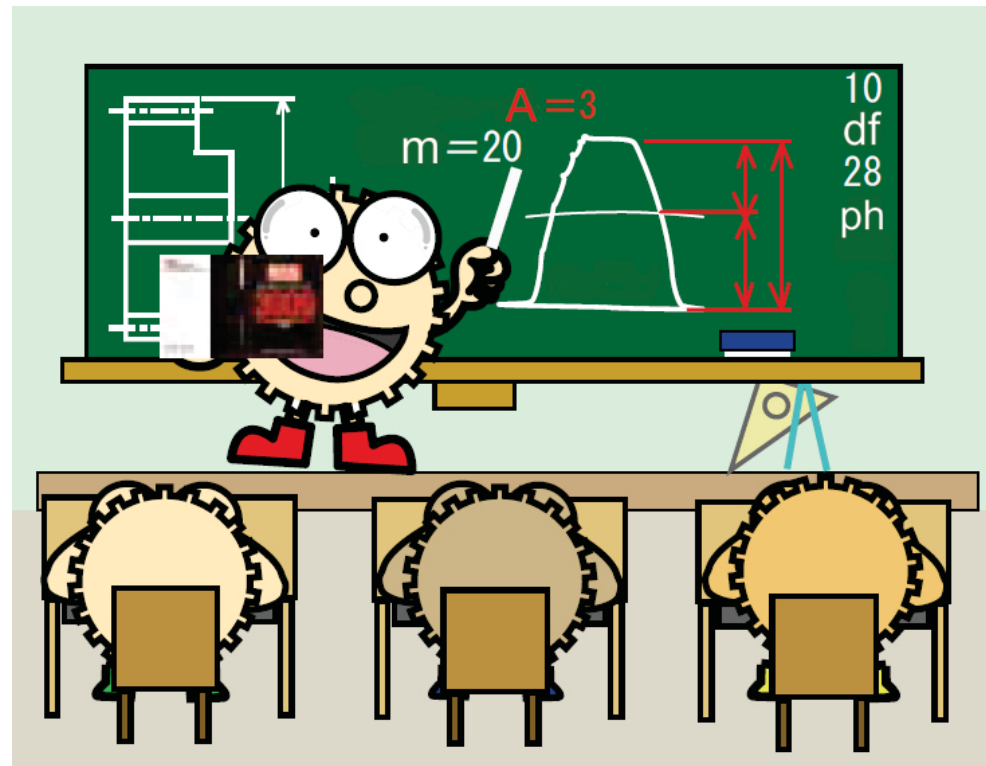
$$\eta_n = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho_n) + \mu \frac{d_\mu}{d_2}}$$

у случају да се може занемарити трење у ослонцима

$$\eta_n = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho_n)}$$



■ **Задатак** – Израчунати степен искоришћења и проверити да ли је навој самокочив.



## Снага потребна за механички погон

- Снага потребна за погон (снага на улазу) израчунава се по обрасцу

$$P_u = \frac{Fv}{\eta}$$

- При ручном погону, обртни момент се рачуна по обрасцу

$$T_p = T_n + T_\mu + T_{\mu L} = \chi F_{руч} r$$

$F_{руч} = 120 \text{ N}$  (max 200 N), при повременим раду  $F_{руч} = 250 - 300 \text{ N}$  (max 400 N)

$r$  - крак силе  $F_{руч}$ , тј. раздаљина од осе вретена до рукохвата (обично је мање од 400 mm)



## Прорачун навојних преносника

■ **Претходни** - одредити главне параметре за конструкцију преносника

■ **Завршни** - утврдити чврстоћу и поузданост преносника.

Навојно вретено се прорачунава на **истезање (сабијање)**, **притисак** и **извијање** а, веома ретко, на **крутост**.

## Прорачун навојних преносника

### ■ Материјал

За израду навојног вретена обично се користе челици E295 и E335. Поред тога, користе се челици за цементацију, јер имају добру отпорност на хабање, док се не препоручују челици велике чврстоће јер су осетљиви на концентрацију напона. За материјал навртке се обавезно препоручује други материјал, како би се смањио коефицијент трења и повећала отпорност на хабање.

## Прорачун навојних преносника на чврстоћу – претходни прорачун

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \approx 1,3\sigma \leq \sigma_{doz}$$

$\sigma_i$  - еквивалентни напон у навојном вретену,  
 $\sigma$  - нормални напон у навојном вретену ( $\sigma = F/A$ ), који се јавља услед дејства радне (аксијалне) силе,  
 $\tau$  - тангентни напон у материјалу ( $\tau = T_p / W_p = (T_n + T_\mu) / W_p$  или  $\tau = T_n / W_p$  све у зависности од оптерећења у посматраном пресеку), јавља се услед дејства момента којим се врши обртање навојног вретена. Пошто се при претходном прорачуну не зна вредност тог момента (који се прорачунава на основу параметара навоја, који тек треба да се усвоји), његова вредност се усваја да износи око 30% од вредности нормалног напона тако да еквивалентни напон износи  $\sigma_i = 1,3\sigma$ .

$\sigma_{doz}$  - дозвољени напон ( $\sigma_{doz} = \sigma_k / S_{min}$ )

## Прорачун навојних преносника на чврстоћу – претходни прорачун

Претходни прорачун се врши по обрасцу

$$\sigma_i \approx 1,3\sigma = \frac{1,3F}{A_3} \leq \sigma_{doz}$$

одакле се прорачунава површина језгра навојног вретена

$$A_3 \geq \frac{1,3F}{\sigma_{doz}} = \frac{1,3FS_{min}}{\sigma_k}$$

## Прорачун навојних преносника на чврстоћу – завршни прорачун

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_K}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_3}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_3} + \frac{M}{W}$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_K}{\tau}$$

$$\tau = \frac{T_p}{W_p} = \frac{T_n + T_{\mu}}{W_p}$$

$$\tau = \frac{T_n}{W_p}$$

## Прорачун навојних преносника на чврстоћу – завршни прорачун

$$S = \frac{S_{\sigma} S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq S_{\min} = 1,5 - 2$$

- Мања вредност се усваја за статичко, а већа за динамичко оптерећење.
- Уколико није задовољен овај услов треба усвојити већи пречник или јачи материјал.

## Прорачун навојних преносника на чврстоћу – претходни прорачун

- У случају да се од навојног вретена **захтева самокочење**, мора бити испуњен следећи услов

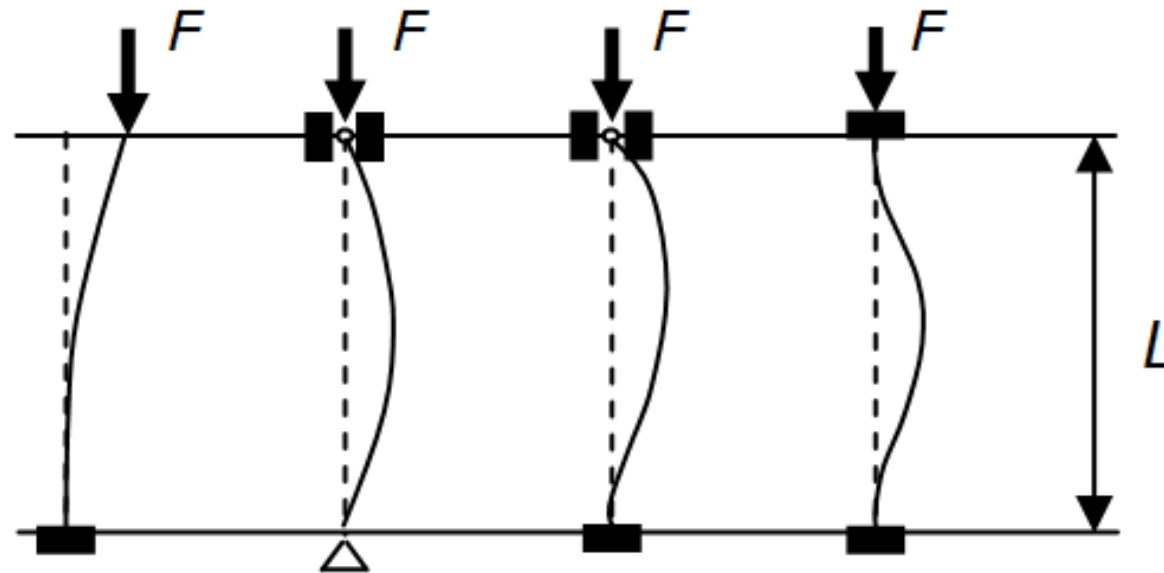
$$\varphi < \rho_n + \arctan \left( \mu \frac{d_\mu}{d_2} \right)$$

односно

$$\varphi < \rho_n + (1 - 1,5)^\circ$$

## Прорачун навојних преносника на извијање – претходни прорачун

Уколико је навојно вретено изложено **сабијању** обавезно га треба прорачунати и **на извијање**.



$$L_k = 2L \quad L_k = L \quad L_k = 0,7L \quad L_k = 0,5L$$



## Прорачун навојних преносника на извијање – претходни прорачун

Претходни прорачун се своди на прорачун пречника вретена на извијање, који се врши по обрасцу

$$d_3 \geq \sqrt[4]{\frac{64 F S_{min} L_k^2}{\pi^3 E}}$$

$F$  - сила којом је оптерећено навојно вретено,

$S_{min}$  - минимална вредност степена сигурности на извијање ( $S_{min} = 6-8$ )

$L_k$  - редукована дужина навојног вретена у mm

$E$  - модул еластичности материјала навојног вретена у N/mm<sup>2</sup>

Даљи прорачун се наставља са већом вредношћу пречника вретена од вредности које су добијене прорачуном на истезање (сабијање) и извијање.

## Прорачун навојних преносника на извијање – завршни прорачун

$$S_i = \frac{\sigma_K}{\sigma} \geq S_{i\min}$$

$$\lambda = \frac{L_K}{i} = \frac{L_K}{\sqrt{\frac{I}{A_3}}} = \frac{L_K}{\sqrt{\frac{4\pi d_3^4}{64d_3^2\pi}}} = \frac{4L_K}{d_3}$$

$\lambda$  – виткост навојног дела,  
 $i$  – полупречник инерције

Критични напони на извијање  $\sigma_K$  у N/mm<sup>2</sup>

Материјал	$\lambda_0$	Виткост навојног вретена - $\lambda$	
		$\lambda < \lambda_0$ (Тетмајер)	$\lambda > \lambda_0$ (Ојлер)
C235	105	$\sigma_K = 310 - 1,14 \lambda$	$\sigma_K = \frac{E \pi^2}{\lambda^2}$
E295	89	$\sigma_K = 335 - 0,62 \lambda$	
E335	89		

## Прорачун навојних преносника на извијање – завршни прорачун

$$S_i = \frac{\sigma_K}{\sigma} \geq S_{i\min}$$

- вретено оптерећено само на истезање (сабијање)

$$\sigma = \frac{F}{A_3}$$

- вретено оптерећено на истезање (сабијање) и на увијање

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

## Прорачун навојних преносника на извијање – завршни прорачун

$$S_i = \frac{\sigma_K}{\sigma} \geq S_{i\min}$$

$S_{i\min}$  - минимална вредност степена сигурности на извијање

- $S_{i\min} = 3 - 6$  ако се прорачун врши према Ојлеру и
- $S_{i\min} = 2 - 4$  према Тетмајеру

## Прорачун навртке

- Навртка је, у току рада, изложена дејству сложеног оптерећења. Међутим, стандардним димензијама профила навоја ти напони су усклађени, тако да је за даљи прорачун **меродаван површински притисак** на додирној (клизној) површина навртке.
- Да би се избегло хабање навртке, по додирној површини, мора се обезбедити мањи притисак од дозвољеног

$$p = \frac{F}{A_p} = \frac{F}{d_2 \pi H_1 z} = \frac{F \cdot P}{d_2 \pi H_1 L_n} \leq p_{doz}$$

## Прорачун навртке

**Табела 3.8:** Дозвољени напони на површински притисак  $p_{doz}$  у  $N/mm^2$

Материјал		$p_{doz}$ у $N/mm^2$		
Вретена	Навртке	трајни погон	ручни погон	повремени погон
S235 E295	Сиви лив	5	8	10
	G, GS, GL, GX, бели темп. лив	6	10	12
	CuSn и CuAl легуре	10	15	20
C15	CuSn и CuAl легуре	15	22	30
S235, E295, C15	Челик, нпр. S35	8	12	16
E295 S235	Пласт. маса $v = 30$ m/min	2	3	4
	Пласт. маса $v = 10$ m/min	15	8	10
CuSn и CuAl легуре	Челик, нпр. C15	15	22	30

## Прорачун навртке

Потребна висина навртке рачуна се из обрасца

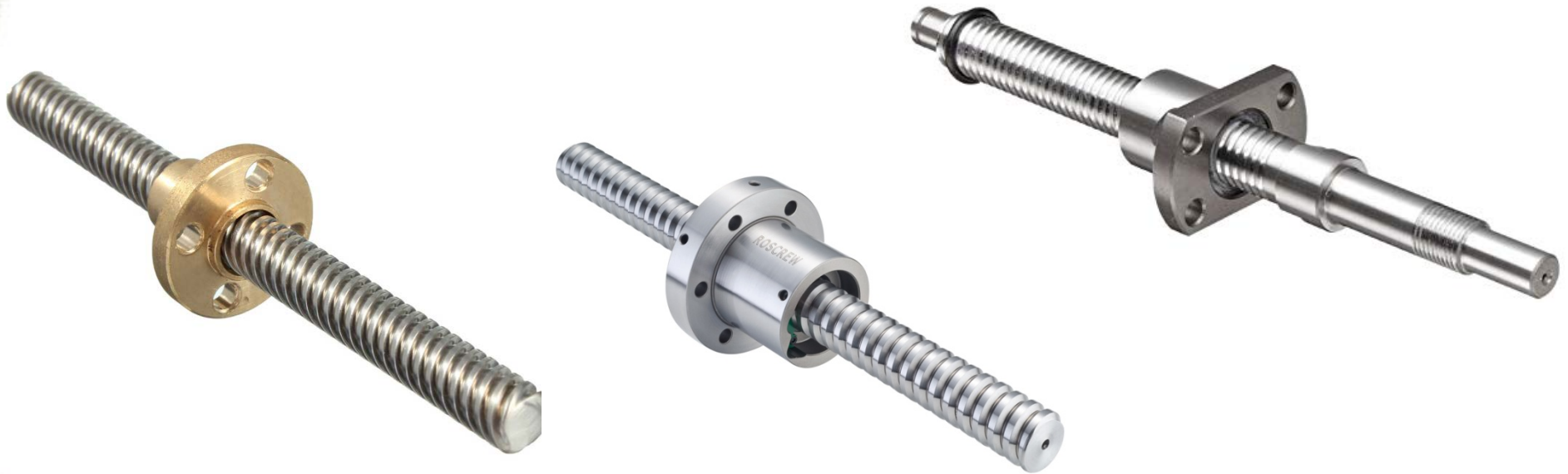
$$L_n \geq \frac{F \cdot P}{d_2 \pi H_1 \rho_{doz}}$$

Потребно је придржавати се препоручених вредности висине навртке:

- за једноходи навој  $L_n = (1,3 - 1,6) d$
- за вишеходи навој  $L_n = (2 - 2,5) d$

## Конструкционо извођење навојног вретена и навртке

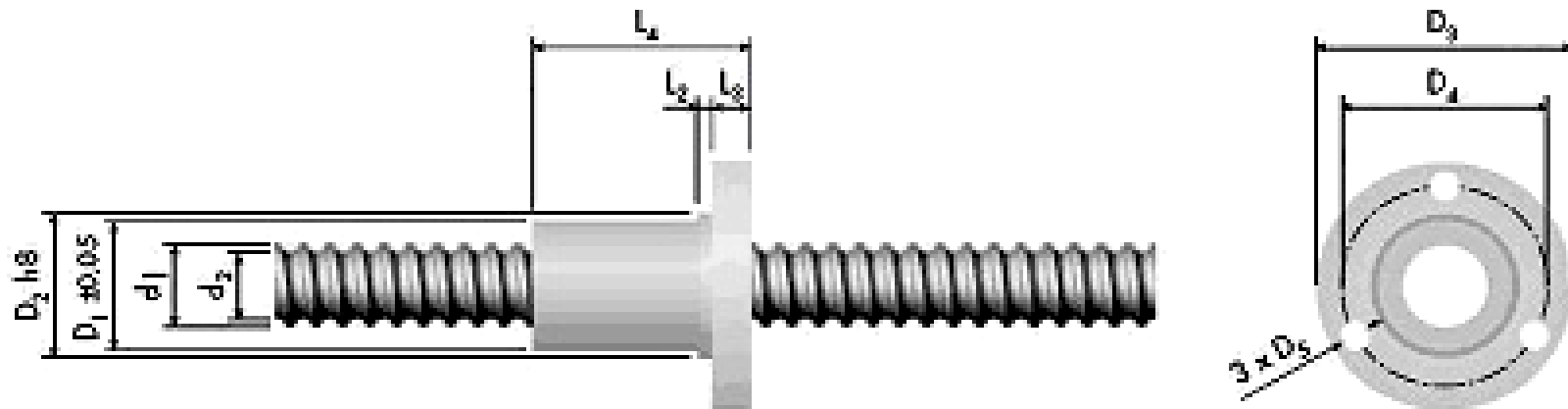
- Навојни преносници се данас обично купују као **стандардни** елементи и уграђују у машину.





## Конструкционо извођење навојног вретена и навртке

- Навојни преносници се данас обично купују као **стандардни елементи** и уграђују у машину.



# Питања ...

