

Oznaki te na *sl. 12.26* go i maat sl ednoto zna~ewe:

m_n e standarden modul ,

$\alpha_n = 20^\circ$ e agol na nakl onot na standardni ot prof il ,

$p_n = m_n \pi$ e ~ekor na standardni ot prof il ,

$\rho_n = \frac{c^* m_n}{1 - \sin \alpha_n}$ e radi us na zaobl uvawe na prof il ot,

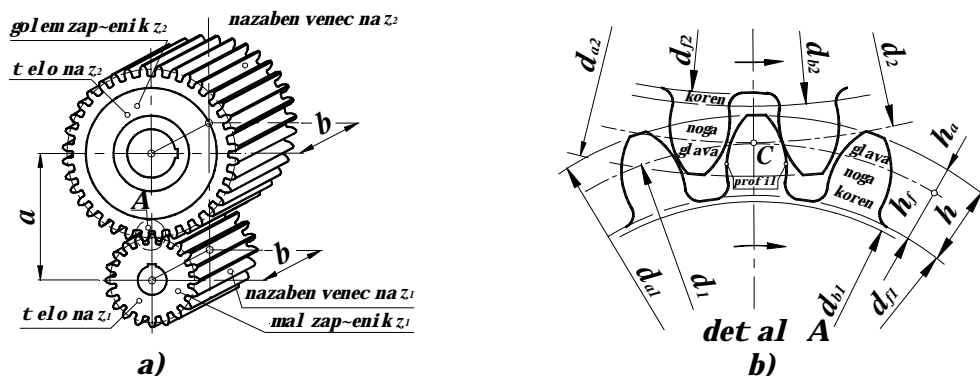
$c^* = 0,1$ do $0,3$ e f aktor na vi so~inata na zaobl eni ot del na prof il ot na zabecot, pri { to vo posledno vreme se koristi vrednosta $c^* = 0,25$.

Na standardni ot prof il nema bo~en zjaj, t.e. debel i nata na zabecot i { i~ro~inata na me|uzabi eto se i sti i se ednakvi na pol ovi nata od ~ekorot $p_n/2$.

12.2.5 Cilindri ~ni zap~est i parovi

Analogno na frikci onite trkala, rabotata na zap~estite parovi se bazi ra na zaemnoto trkalawe na, glavno, dve rotaci oni povr{ ini ili pak edna rotaci ona povr{ ina i edna ramni na (*ramni nsi zap~est par – nazabena let va*). Za razli ka od frikci onite trkala, li zgaweto vo pravec na peri f ernata brzi na kaj zap~esti te parovi vo cel ost e i skl u~eno, so { to se obezbeduva sosem to~eni nepromenl i v prenosn odnos vo tekot na rabotata.

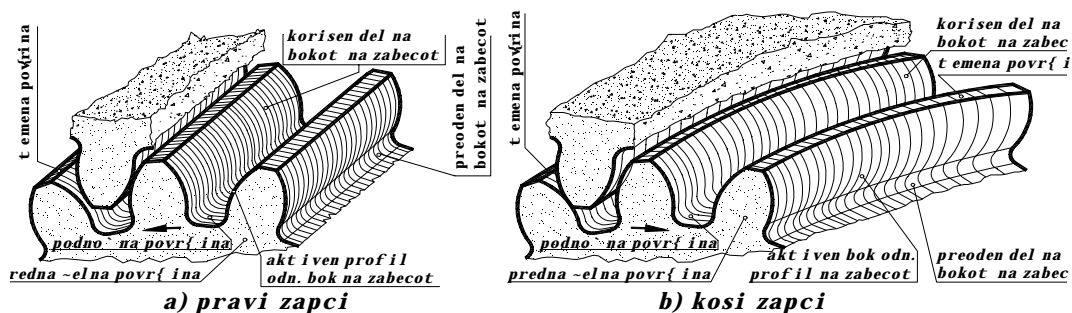
Toa e ostvareno so nazabuvawe na trkalata so { to se obezbeduva pri nuden prenos na vrte` ni ot moment od pogonski ot na goneti ot zap~eni k. Na *sl. 12.27* e pri ka` an izgled na spregnat cilindri ~en zap~est par so detal na spregnati te prof ili od pogonski ot i goneti ot zap~eni k.



Sl.12.27a) I zgl ed na spregnat cilindri ~en za~est par so pravi zapci i b) so detal vo ki nemat i ~ki ot pol C

Pod *zap-est par* se podrazbira mehanizam { to se sestoi od dva cilindri~ni *nazabeni dela* (*zap-enci*), od koi edniot prinudno (preku zapci) go prenesuva vrtli i voto dvi`ewe na drugi ot zap-eni k.

Kako { to e prika`ano na sl i kata, sekoj zap-eni k se sestoi od *t el o* { to mo`e da ima najrazli~en oblik i konkretna konstruktivna forma i *nazabeni venec*, { to se sestoi od *zapci* i *me|uzabja*. Me|uzabjeto mo`e da se def inira kako prostor pome|u dva sosedni zapci na nazabeni ot venec od zap-eni kot. Kako { to se gleda na *sl.12.28*, po vi so~ina zapci te se ograni~eni so *t emena*, a me|uzabjata po dlabo~ina so *podno`na povr{ina*. Po dol`ina zapci te i me|uzabjata se ograni~eni so *predna i zadna ~elna povr{ina*. Gledaj}i ja prednata ~elna povr{ina na zabecot, se razlikuvaat *lev i desen bok* na zabecot. Vo tekot na spregnuvaweto na dvata zap-eni ka zabecot ne smee da se dopira so dvata svoi boka so spregnati ot zabec. Tie { to se dopiraat se narekuvaat *aktivni bokovi*. Glavata i nogata na zabecot go so~inuvaat *korisni ot del* od bokot na zabecot, dodeka koren ot ni koga{ ne u-estvuva vo spregnuvaweto na spregnati te zapci.



Sl.12.28 Grani~ni povr{ini na zabecot

Kako { to se gleda od *sl. 12.27*, na nazabeni ot venec od zap-eni kot se razlikuvaat nekolku krugovi odnosno cilindri, ~ii pre~nici se:

- *podbeni ot krug*, odnosno cilindar, def iniran so pre~ni kot d ,
- *t emeni ot krug*, odnosno cilindar def iniran so pre~ni kot d_a ,
- *podno`ni ot krug*, odnosno cilindar def iniran so pre~ni kot d_f i
- *osnovni ot krug*, odnosno cilindar def iniran so pre~ni kot d_b .

Na vaka def inirane oznaki za pre~nicite na soodvetnite krugovi odnosno cilindri na dvata spregnati zap-eni ka, za pogonski ot se dodava indeksot 1, a za goneti ot zap-eni k i indeksot 2 (*sl.12.27b*).

Podelbeni ot krug odnosno *cilindar*, def i ni ran so pre~ni kot d , go del i zabecot na dva dela i toa: *glava i noga na zabecot* (sl.12.27b). Toj, kako i osnovni ot krug d_b se zami sleni, za razlika od *t emeni ot d_a i podno`ni ot krug d_f* koi se real ni. To~kata (C) vo koja se dopi raat dvata podelbeni kruga na spregnati te zap~eni ci se narekuva *ki nemat i~ki pol* na spregnati ot par zap~eni ci.

Temeni ot krug, odnosno *cilindar* e def i ni ran so *t emenat a povr{ina* na zapci te, a *podno`ni ot* so *podno`nat a povr{ina* na me|uzabjata od nazabeni ot venec na zap~eni kot (sl.12.28).

Vo momentot na spregata na dva zap~enika dvi`eweto i perifernata (tangencijalna) sila od edni ot (*pogonski ot*) na drugi ot (*gonet*) zap~enik se prenesuva isklu~ivo preku aktivni ot del na zabecot. Drugite povr{ini (temenata, podno`nata i preodni ot del) od zabecot ne u~estvuvaat vo dopi rot na spregnati ot par zapci. Linijata po koja vo sekoj moment se dopi raat aktivni te bokovi na zapci te od spregnati te zap~eni ci se narekuva *linija na dopi rot na bokovi te*.

^estopati, namesto bokot na zabecot, pri prou~uvawe na spregnuvaweto kaj cilindri~nite zap~enici se razgleduvaat preseki na bokovite od zapcite so ramni ni { to se normalni na oskata na vrtewe na zap~enici te { to se narekuvaat *profili* na zapcite. Dopirnata to~ka na spregnati te profili kaj pogonski ot profil zapo~nuva od preodni ot del i vo tekot na spregata se pomestuva kon temeto na zabecot, dodeka kaj goneti ot dopi rot zapo~nuva od temeto i se pomestuva kon preodni ot del na prof il ot.

12.2.5.1 Osnovni dimenzii na zap~enikot

Pri izrabotkata na cilindri~nite zap~enici so pravi zapci so pomo{ na zap~estata letva, srednata linija na zap~estata letva se trkala po podelbeni ot krug na zap~enikot bez lizgawe i pritoa go deli na z la~ni ~ekori p . Spored toa za perimetarot na podelbeni ot krug na zap~enikot mo`e da se napi { e

$$O = d \pi = z p \quad 12.47$$

a odovde

$$d = \frac{P}{\pi} z \quad 12.48$$

Brojot na zapci z mora da bide cel broj, a se te`nee i pre~nikot na podelbeni ot krug d , isto taka, da bide cel ili baram racional en broj, pa

zatoa ~ekorot p treba da bi de deliv so π . Koli ~ni kot $p/\pi = m_t$ se narekuva modul na zap-eni kot vo ~el nata ramni na, taka { to i zrazot **12.48** go dobi va sledni ot obl i k

$$d = m_t z = \frac{m_n}{\cos \beta} z \quad \mathbf{12.49}$$

Standardni ot modul na osnovnata zap-esta letva m_n (sl.12.26) le` i vo normal na ramni na na bokovi te od zapci te. Di menzi i te na zap-eni ci te zavi sat samo od *st andardni ot modul* m_n , ~i i vrednosti se dadeni vo t ab. 12. 10.

Tab.12.10 *St andardni ot modul i* m_n [mm].

<i>St epen na priori tet</i>			<i>St epen na priori tet</i>		
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
1,0				7,0	
	1,125		8,0		
1,25				9,0	
	1,375		10,0		
1,50				11,0	
	1,75		12,0		
2,0				14,0	
	2,25		16,0		
2,50				18,0	
	2,75		20,0		
3,0				22,0	
		3,25			
	3,5		25,0		
		3,75			
4,0				28,0	
		4,25			
	4,5		32,0		
		4,75			
5,0				36,0	
		5,25			
	5,5		40,0		
		5,75		45	
6,0			50,0		
		6,5		55	

Prvenstveno treba da se izbiraat standardni te moduli spored prvi ot stepen na priori tet. Vrednosti te od vtori ot stepen na priori tet se zemaat samo koga za toa postojat opravdani pri ~ini, a onie od tretiot vo iskl u~i tel ni slu ~ai.

Vo zemjite so colov sistem na meri, namesto standardni ot modul, kako osnova za presmetka na zap~eni ci te sl u` at sl edni ve gol emi ni :

- *Diametral Pitch* - DP { to pretstavuva broj na zapci sveden na dol` i na od $l = l'' = 25,4$ [mm] merena po podel beni ot krug na zap~eni kot t.e.

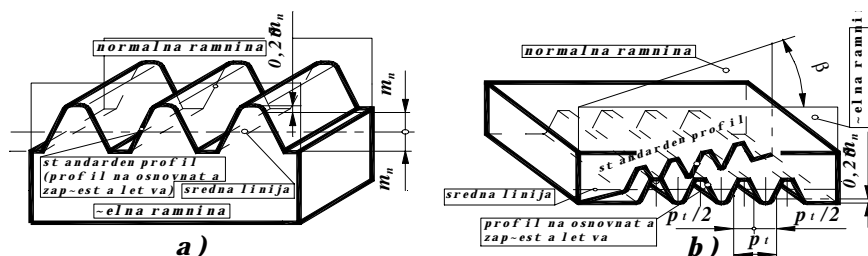
$$DP = \frac{z}{d''} = \frac{z}{\frac{mz}{25,4}} = \frac{25,4}{m} \quad 12.50$$

- *Circular Pitch* - CP { to go pretstavuva ~ekorot na zap~eni kot i zrazen vo colovi ili

$$CP = p'' = \left(\frac{p}{25,4}\right)'' = \left(\frac{m\pi}{25,4}\right)'' = \left(\frac{m}{8,09}\right)'' \quad 12.51$$

12.2.5.2 Osnovna zap~est a let va

Na *sl.12.29* e pri ka` ana osnovnata zap~esta letva kako alat za izrobotka na cilindri~ni evolventni zap~eni ci a) so pravi i b) so kosi zapci. Kaj taa so kosi zapci ($\beta \neq 0^\circ$) standardni ot profil le` i vo ramni na { to e normalna na bokovite od zapcite (*normalnata ramni na*), dodeka kaj zap~estata letva so pravi zapci ($\beta = 0^\circ$) standardni ot profil na zapcite e vo ~elnata ramni na bi dej}i normalnata ramni na na bokovite od zapcite se sovpa|a so nea.

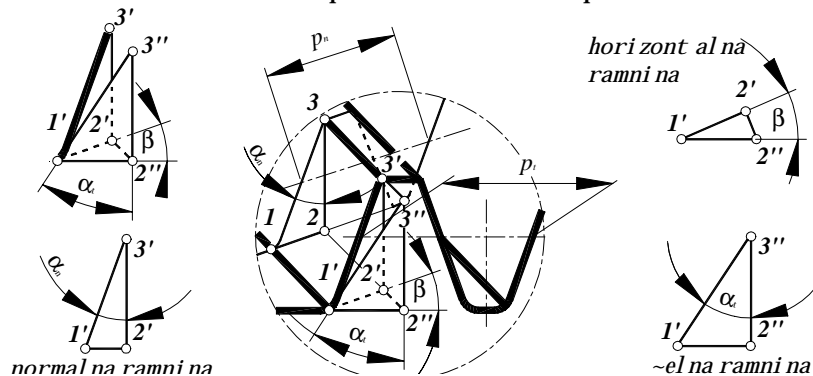


Sl.12.29 Osnovna zap~est a let va kako alat za izrobotka na cilindri~ni evolventni zap~eni ci a) so pravi i b) so kosi zapci

Kaj cilindri~nite zap~eni ci so kosi zapci, { to pokraj so drugi ot alat mo` at da se izrobotuvaat i so zap~esta letva so kosi zapci (*sl.12.29b*), evolventni ot profil na zabecot e vo ~elnata ramni na, dodeka vo presekot { to le` i vo normalnata ramni na na pravcot na zapcite profil ot na zabecot e modifi cira na evolventa. Kaj cilindri~nite zap~eni ci so pravi zapci evolventni ot profil na zabecot e vo dvete ramni ni (i ~elnata i

normalnata ramni na se normalni na bokovite na zapcite). Vrednosta na agol ot na dopirnicata vo normalnata ramni na na bokovite od zapcite iznesuva $\alpha_n = 20^\circ$.

Na sl.12.30 e prikana detal od zabecoti me|uzabieto na osnovnata zap-estale tva za cilindri~ni zap-eni ci so kosi zapci.



Sl.12.30 Vrska pome|u agol ot na naklonot na prof il ot vo normal nat a $\alpha_n = 20^\circ$ i ~el nat a ramni na $\alpha_t > 20^\circ$

Od pravoagolnite triagolnici vo ~el nata i horizontalnata ramni na mo`e da se napi { e

$$\overline{1'2''} = \frac{\overline{1'2'}}{\cos \beta} = \overline{3'2''} \operatorname{tg} \alpha_t \quad 12.52$$

a bi dej}i spored triagolni kot vo normalnata ramni na e

$$\overline{3'2'} = \overline{3''2''} = \frac{\overline{1'2'}}{\operatorname{tg} \alpha_n} \quad 12.53$$

za vrednosta na agol ot na naklonot na pravolinijski ot del na prof il ot vo ~el nata ramni na sl eduva ravenkata

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta} \quad 12.54$$

Odnosot pome|u podelbeni ot ~ekor na prof il ot na osnovnata zap-estale tva i podelbeni ot ~ekor na standardni ot profil e definiran so ravenkata

$$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta} = \frac{m_n}{\cos \beta} \pi = m_t \pi \quad 12.55$$

taka { to za zap~eni ci so pravi zapci ($\beta = 0^\circ$) e $p_t = p_n$ i $\alpha_t = \alpha_n = 20^\circ$.

12.2.5.3 Izработка na cilindri~nite zap~eni ci

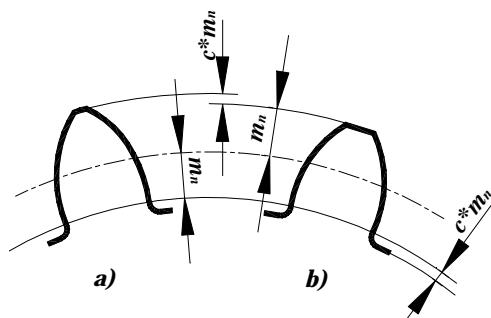
Sakani ot profil na zabecot mo` e da se dobie so leewe, presuvawe, ili so mehani~ko odvojuvawe na materijal ot od polni ot venec na trkal o so re`ewe (rendosuvawe ili gl odawe).

Zapci te { to se dobi eni so leewe nemaat to~en profil, od edna strana poradi neto~nosta na model ot, odnosno { ablonot za kal apewe, a od druga strana poradi neramnomernoto sobirawe na rastopeni ot metal pri ladeweto. Zatoa, vaka dobi eni te zap~eni ci, bez dopolni tel na mehani~ka obrabotka na zapci te, se upotrebuvaat samo za grubi ma{ i ni, pri relati vno mali peri f erni brzini na zap~eni ci te ($v < 1,0 \text{ m/s}$).

Vo preci znata mehani ka se upotrebuvaat zap~eni ci od tenki li movi, { to mo` at da se izrabotuvaat so prosekuvawe.

Mnogu popreci zna e izrabotkata na zapci te kaj zap~eni ci te na specijalni ma{ i ni alatki so pomo{ na re`ewe so soodveten alat za toa. Izrabotkata na zapci te treba da bi de popreci zna dokol ku e pogol ema peri f ernata brzina v , a uslovi te za rabota na i dni ot zap~eni k se ponepovolni. Vakvata postapka za izrabotka na profil ot na zapci te denes nao|a naj{ i roka pri mena vo proizvodstvoto na zap~esti te parovi. Alatot za izrabotka na zap~eni ci te so re`ewe e nazabeno tel o bilo da e toa so kone~en pre~nik (zap~eni k – kru`en zap~est alat spored *Fellows*) ili so beskone~en pre~nik (alat vo obl ik na zap~esta letva spored *Maag*).

Alatot za izrabotka na zapci te spored *Fellows* – postapkata i ma obl ik na zap~eni k so evol venten profil na zabecot i vi so~i na $2(m_n + c^*)$, kako { to se gl eda od *sl. 12.31*.



Sl.12.31a) Zabec na Fellows – alat ot i b) zabec na zap-eni kot

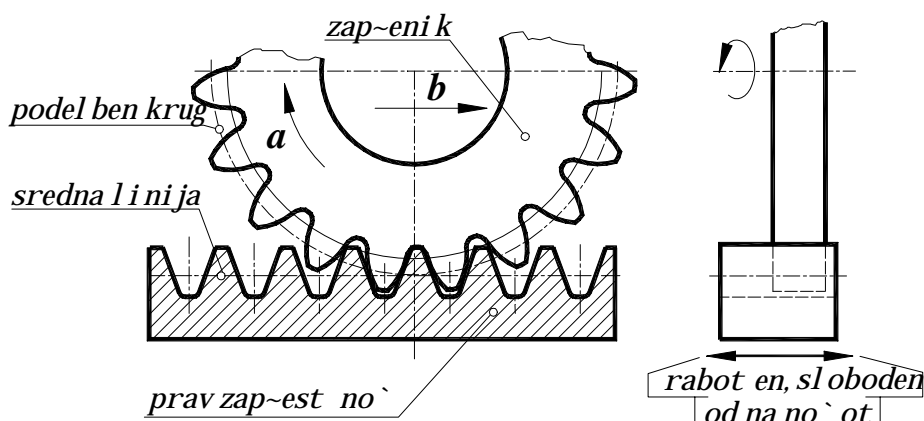
Pri izrabortka na zapcite na zap-enicite po *Fellows* – postapkata, kru`ni ot zap-est no` postojano se dvi`i gore-dolu vo vertikal en pravec i istovremeno postepeno se vrtili, pri { to so rendosuvawe gi of ormuva me|uzabjata vo polni ot venec na idni ot zap-eni k { to, isto taka, postepeno se vrtili kako da e ve}e izraborten i e vo sprega so alatot. Odnosot na brojot na vrte`ite na alatot i zap-eni kot odgovara na prenosni ot odnos, t.e. toj zavisil od brojot na zapci { to treba da gi ima zap-eni kot i brojot na zapci na kru`ni ot zap-est no`. Taka, so eden kru`en zap-est no` mo`at da se izrabortuvaat zap-enci so razli`en broj zapci z , no ist normal en modul m_n . So pomo{ na ovoj metod mo`at da se izrabortuvaat zap-enci so nadvore{ no i so vnatre{ no nazabuvawe. Ova postapka e redovna za izrabortka na zap-enci so vnatre{ no nazabuvawe.

Kako { to e poznato, osnovnata zap-est letva ima pravolinijski profil na zapcite, pa zatoa e mnogu lesno precizno da se izraborti vo vid na alat, odnosno no`, so ~ija pomo{ mo`e da se izraborti eden cilindri`en nazaben venec (zap-eni k). Postapkata za izrabortka na cilindri`en zap-eni k so pomo{ na no` vo forma na osnovnata zap-est letva (*Maag - ova post apka*) e pri ka`ana na *sl.12.32*.

Nazabeni ot no` postojano se dvi`i gore - dolu normal no na ramni nata na crte`ot, pri { to koga se spu{ta so rendosuvawe go izrabortuva me|uzabi eto na nazabeni ot venec (*rabot en ôd*), a pri negovoto podigawe zap-eni kot avtomatski malku se oddale`uva od no`ot (*prazen ôd na no`ot*). Pred novi ot raboten ôd na no`ot, isto taka avtomatski, zap-eni kot se zavrtuva malku vo nasokata a i istovremeno translatorno se pomestuva vo nasokata b , pri { to dol`inata na translatornoto pomestuvawe e ednakva so ostvarenata dol`ina na lakot od podelbeni ot krug na zap-eni kot. Vakvoto dvi`ewe odgovara na trkalawe na zap-eni kot so podelbeni ot krug po srednata linija na osnovnata zap-est letva bez lizgawe ili obratno. Bidej}i e no`ot so ograni`ena dol`ina, obi`no ima 7 do 10 zapci, koga }e dojde do krajni ot zabec na no`ot, zap-eni kot treba da se postavi vo po~etnata pol o`ba.

Nazabuvaweto izraborteno po ova postapka e poto~no od koja i da e druga postapka za izrabortka na zap-enicite. So pomo{ na *Maag* – ovata postapka mo`at da se izrabortuvaat samo zap-enci so nadvore{ no nazabuvawe.

Ako se zamisli deka nadol`ni ot presek na zap-estata letva se obvitka okol u cilindar vo vid na navojnica so trapezen presek, ako taa se i sprese-e



so nekolku nadol`ni `lebovi i sekoj vakov zabec se obraboti vo vid na

Sl.12.32 Maag - postapka za izrabotka na nazaben venec kaj cilindri~nit e zap-enci

se~ilo, se dobi va *navojno (pol`avest o) glodal o*. Namesto so rendosuvawe, vakvoto glodal o go izrabotuva venecot na zap-eni kot so vrtewe. Toa e takanare~enata postapka za izrabotka na zap-enci te spored *Fauter*. Za eden vrte` na glodaloto, zap-eni kot se zavrtuva za eden ~ekor. Isto taka, pol`avestoto glodal o se dvi`i i paralelno so oskata na zap-eni kot, tolku kolku { to e potrebno za da se izraboti celata dol`ina na zapcite. Pri toa, oskata na pol`avestoto glodal o mora da bide zavrtena za vrednosta na agolot na negovata navojna linija vo odnos na oskata na zap-eni kot za navoite na glodaloto da odat vo pravec na oskata na zap-eni kot. So ovoj metod mo`at da se izrabotuvaaat samo zap-enci so nadvore{ no nazabuvawe.

Op{ta karakteristika na izrabotkata na zapcite na zap-encite so metodite na relativno trkalawe e taa { to so eden ist alat mo`at da se izrabotuvaaat zap-enci so proizvolen broj zapci, no so ist normalen modul.

Za da se osposobat za povi soki optovaruvawa, posle vakvata izrabotka zapcite termi~ki se obrabotuvaaat po pat na cementacija i kalewe, induktivno kalewe, nitrirawe i drugo, a potoa se podvrgnuvaaat na dopolnitelna obrabotka so lupewe, brusewe ili maznewe, so { to se odstranuvaaat posl edici te od prethodnata termi~ka obrabotka.

12.2.5.4 Glavni dimenzii na cilindri~en zap-est par

Standardni ot profil na osnovnata zap-esta letva kaj zap-enicite e sekoga{ vo ramni na { to e normalna na pravecot na zapcite. Za cilindri~nite zap-enici so pravi zapci, pravecot na zapcite e paralelen so oskata na vrtewe na zap-eni kot, pa i standardni ot profil na osnovnata zap-esta letva se nao|a vo ramni na { to e normalna na oskite na vrtewe na spregnate zap-enici. Dokolku toa ne e slu-aj, pravecot na zapcite so oskata na vrtewe formira agol $\beta \neq 0^\circ$, odnosno stanuva zbor za zap-enici so kosi zapci i za niv standardni ot profil na osnovnata zap-esta letva e vo ramni nata { to e normalna na bokot na zabecot.

Na *sl.12.33* e prikano uprosteno spregnat cilindri~en zap-est par so pogled vo ~el nata ramni na, kade { to se gledaat site pova`ni dimenzii bez razlika dali e vo pra{awe zap-est par so pravi ili so kosi zapci.

So standardni ot profil se definirani visoinata na glavata h_a , visoinata na podno`jeto h_f , a so toa i vkupnata visoina na zabecot h i toa

$$h_a = m_n; h_f = m_n + 0,25 m_n = 1,25 m_n \text{ i } h = h_a + h_f = m_n + 1,25 m_n = 2,25 m_n \quad \mathbf{12.56}$$

Ako se zeme predvid poznati ot izraz za podelbeni ot pre~nik $d = m_t z$, toga{ za vrednosta na pre~nicite od nazabeni ot venec se dobi va

- za temeni ot pre~nik:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a = m_t z_1 + 2m_n = d_1 + 2m_n \text{ i } d_{a2} = d_2 + 2h_a = m_t z_2 + 2m_n = d_2 + 2m_n \quad \mathbf{12.57}$$

- za podno`ni ot pre~nik

$$d_{f1} = d_1 - 2h_f = m_t z_1 - 2 \cdot 1,25 m_n = d_1 - 2,5 m_n \text{ i } d_{f2} = d_2 - 2 \cdot 1,25 m_n = d_2 - 2,5 m_n \quad \mathbf{12.58}$$

Spored *sl.12.33* za pre~ni kot na osnovni ot krug (pre~ni kot od koj se razvi va evolventata) se dobi va:

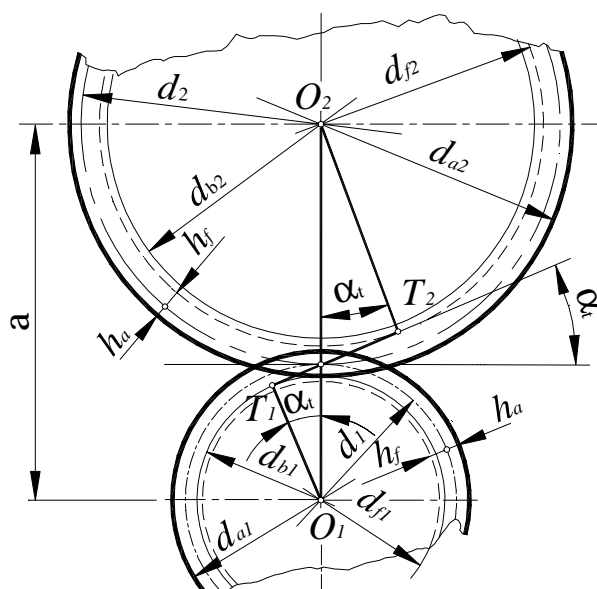
$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t \quad \text{i} \quad d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t \quad \mathbf{12.59}$$

a za me|uoski noto rastojani e

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_t z_1 + m_t z_2}{2} = m_t \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{m_n}{\cos \beta} \frac{z_1 + z_2}{2} \quad \mathbf{12.60}$$

So sreduvawe na osnovni ot i zraz za me|uoski noto rastojani e se dobi va

$$a = \frac{d_1 \pm d_2}{2} = \frac{d_1 (1 \pm \frac{d_2}{d_1})}{2} = d_1 \frac{1 \pm i}{2} \text{ ili } a = \frac{d_1 \pm d_2}{2} = \frac{d_2 (\frac{d_1}{d_2} \pm 1)}{2} = d_2 \frac{1 \pm i}{2i} \quad \mathbf{12.61}$$



Sl.12.33 Krugovi i me/uoski no rast o jani e na spregnat cilindrini zap-est par

a za prenosni odnos kaj zap-esti te parovi, pokraj opti ot i zraz { to va` kaj si te ki nemati ~ki parovi, se dobi va i

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{m_t z_2}{m_t z_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad 12.62$$

taka { to za pove}estepeni te zap-esti prenosni ci va` i sl edni ov i zraz

$$i_n = i_1 i_2 i_3 \dots i_n = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} \frac{z_6}{z_5} \dots \frac{z_{2n}}{z_{2n-1}} \quad 12.63$$

kade { to n e brojot na stepeni na pove}estepeni ot zap-est prenosni k.

Vo specijalen slu-aj na cilindri~ni zap-esti parovi so pravi zapci kaj koi e $\beta = 0^\circ$ (bo~nata lini ja na zabecote paralelna so oskata na vrtewe na zap-eni kot), se dobi vaat sl edni te i zrazi :

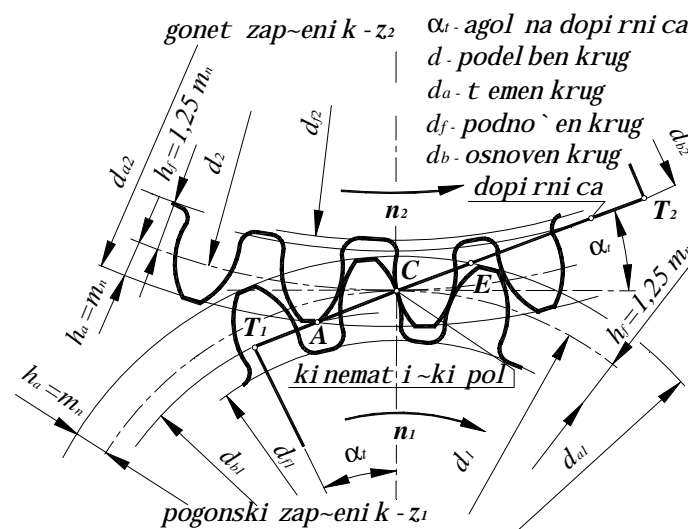
$$\bullet \quad h_a = m_n; \quad h_f = m_n + 0,25 m_n = 1,25 m_n \quad \text{i} \quad h = h_a + h_f = m_n + 1,25 m_n = 2,25 m_n \quad 12.64$$

$$\bullet \quad d_{a1} = d_1 + 2h_a = m_n(z_1 + 2) \quad \text{i} \quad d_{a2} = d_2 + 2h_a = m_n(z_2 + 2) \quad 12.65$$

$$\bullet \quad d_{f1} = d_1 - 2h_f = m_n(z_1 - 2,5) \quad \text{i} \quad d_{f2} = m_n z_2 - 2,5 m_n = m_n(z_2 - 2,5) \quad 12.66$$

- $d_{b1} = d_1 \cos \alpha_n$ i $d_{b2} = d_2 \cos \alpha_n$ i 12.67
- $a = \frac{m_n}{\cos \beta} \frac{z_1 \pm z_2}{2} = \frac{m_n}{\cos 0^\circ} \frac{z_1 \pm z_2}{2} = m_n \frac{z_1 \pm z_2}{2}$ 12.68

Vaka presmetani te vrednosti na pre~ni ci te na spregnati te cilindri ~ni zap-eni ci ne se standardiziraat, a vrednosta na me|uoski noto rastojani e obi ~no e standardizirana. Vo izrazi te za me|uoski noto rastojani e **12.61** i **12.68** znakot "-" va` i za vnatre{ ni cilindri ~ni zap-esti parovi.



Sl.12.34 Det al na spregnati zapci vo ki nemati ~ki ot pol C

Na sl.12.34 e prikã an detal od spregnuvaweto na dva cilindri ~ni zap-eni ka vo ki nemati ~ki ot pol na spregata. Oznaki te na si te di menzi i se odnesuvaat za cilindri ~ni zap-eni ci so kosi zapci.

12.2.5.5 Akt i vna dol`ina na dopirnicata

Dopi rni cata na prof ili te gi tangira dvata osnovni kruga na spregnati te zap-eni ci vo to~kite T_1 i T_2 . Dol`inata $\overline{T_1 T_2}$ se narekuva korisen del na dopirnicata. Temenite krugovi na spregnatite zap-eni ci go se-at korisni ot del na dopirnicata vo to~kite A i E. Dol`inata $\overline{AE} = g_\alpha$ se narekuva aktiven del na dopirnicata. Akti vna dol`ina na prof il ot od zabecot e onoj negov del { to pri spregnuvaweto doa|a vo dopir so

$$\overline{T_1 E} = \sqrt{\left(\frac{d_1}{2} + m_n\right)^2 - \left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2} \quad \text{i} \quad \overline{AT_2} = \sqrt{\left(\frac{d_2}{2} + m_n\right)^2 - \left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2} \quad 12.70$$

a od pravoagolnice triagolnici T_1CO_1 i T_2CO_2 se gl eda deka e

$$\overline{T_1 C} = \frac{d_1}{2} \sin \alpha_i \quad \text{i} \quad \overline{CT_2} = \frac{d_2}{2} \sin \alpha_i \quad 12.71$$

Ako vaka dobi eni te dol ` i ni se zamenat vo **12.69**, za akti vnata dol ` i na na dopi rni cata se dobi va i zrazot

$$g_\alpha = \sqrt{\left(\frac{d_1}{2} + m_n\right)^2 - \left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_2}{2} + m_n\right)^2 - \left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2} - (d_1 + d_2) \frac{\sin \alpha_i}{2} \quad 12.72$$

{ to so zamenat na poznati te i zrazi za pre~nici te na podel benite i osnovni te krugovi i so sreduvawe go dobi va def i ni ti vni ot obl i k

$$g_\alpha = \frac{m}{2} \left[\sqrt{(z_1 + 2 \cos \beta)^2 - (z_1 \cos \alpha)^2} + \sqrt{(z_2 + 2 \cos \beta)^2 - (z_2 \cos \alpha)^2} - (z_1 + z_2) \sin \alpha \right] \quad 12.73$$

{ to za cil i ndr i ~ni zap-esti parovi so pravi zapci go i ma sledni ot obl i k

$$g_\alpha = \frac{m_n}{2} \left[\sqrt{(z_1 + 2)^2 - (z_1 \cos \alpha_n)^2} + \sqrt{(z_2 + 2)^2 - (z_2 \cos \alpha_n)^2} - (z_1 + z_2) \sin \alpha_n \right] \quad 12.74$$

12.2.5.6 St epeni na spregnuvawet o

Pod *st epen na spregnuvawe na prof ilite* ε_α se podrazbi ra odnosot pome|u dol ` i nata na akti vni ot del na dopi rni cata g_α i spre ` ni ot, odnosno ~ekorot na osnovni ot krug p_{bt} , t.e.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_{bt}} \quad 12.75$$

Za spre ` ni ot, odnosno za ~ekorot na osnovni ot krug va ` i

$$p_{bt} = \frac{d_b \pi}{z} = \frac{d \pi}{z} \cos \alpha_i = \frac{m_n z \pi}{z \cos \beta} \cos \alpha_i = m_i \pi \cos \alpha_i \quad 12.76$$

pa ako **12.73** i **12.76** se zamenat vo **12.75**, za stepenot na spregnuvawe na prof ilite se dobi va sledni ot i zraz

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{(z_1 + 2 \cos \beta)^2 - (z_1 \cos \alpha)^2} + \sqrt{(z_2 + 2 \cos \beta)^2 - (z_2 \cos \alpha)^2} - (z_1 + z_2) \sin \alpha}{2 \pi \cos \alpha} \quad 12.77$$

{ to za cilindri~ni zap~esti parovi so pravi zapci go ima sledni ot oblik

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{(z_1+2)^2 - (z_1 \cos \alpha_n)^2} + \sqrt{(z_2+2)^2 - (z_2 \cos \alpha_n)^2} - (z_1+z_2) \sin \alpha_n}{2 \pi \cos \alpha_n} \quad 12.78$$

Pod *st epen na spregnuvawe na bo~ni t e l i n i i* ε_{β} se podrazbi ra odnosot na lakot na bo~nata l i n i j a g_{β} i ~ekorot p_t , t.e.

$$\varepsilon_b = \frac{g_{\beta}}{p_t} \quad 12.79$$

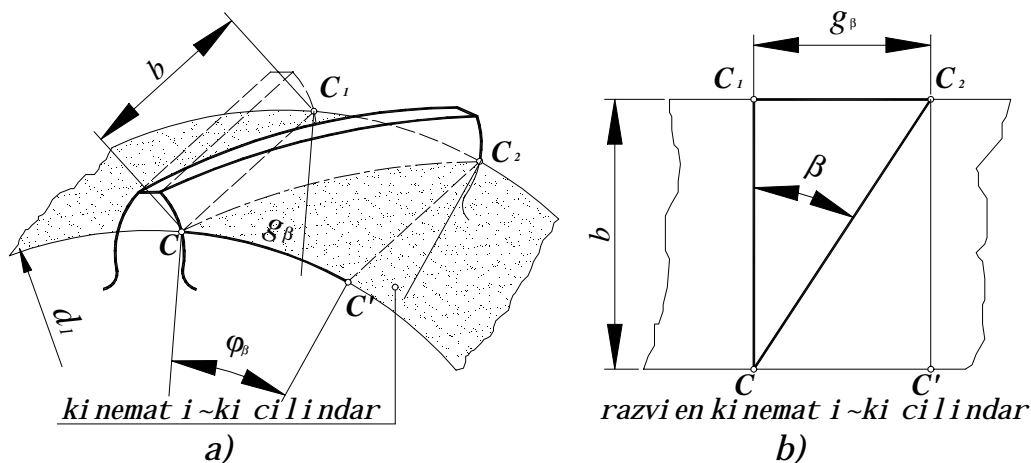
pri { to

g_{β} e dopi ren lak na bo~nata l i n i j a na zabecot,

b e { i r o - i n a n a m a l i o t z a p ~ e n i k,

$p_t = m_t \pi$ e ~ekorot na podel beni ot krug.

Na *sl.12.36a*) so isprekinati l i n i j e p r i k a ` a n z a b e c n a c i l i n d r i ~ e n z a p ~ e n i k s o p r a v i ($\beta = 0^\circ$), a s o p o l n a l i n i j a z a p ~ e n i k s o k o s i z a p c i ($\beta \neq 0^\circ$), p r i { t o v i s o - i n a t a n a z a b e c o t h i p r e - n i c i t e n a d v a t a z a p ~ e n i k a s e e d n a k v i . N a *sl.12.36b*) e p r i k a ` a n k i n e m a t i ~ k i o t c i l i n d a r v o r a z v i e n a f o r m a o d k a d e { t o s e g l e d a g o r e n a v e d e n a t a v r e d n o s t n a l a k o t n a b o ~ n a t a l i n i j a n a k o s i o t z a b e c . D o p i r e n l a k n a b o ~ n a t a l i n i j a n a z a b e c o t ($g_{\beta} = C_1 C_2 = C C'$) e l a k n a k i n e m a t i ~ k i o t k r u g { t o o d g o v a r a n a a g o l o t n a z a v r t u v a w e t o n a p r o f i l o t o d p r e d n a t a i p r o f i l o t o d z a d n a t a ~ e l n a r a m n i n a φ_{β} .



Sl.12.36a) Lak na bo~nata l i n i j a o d z a b e c o t s o b) r a z v i e n k i n e m a t i ~ k i c i l i n d a r

Kako { to se gl eda od *sl.12.36b*

$$g_\beta = b \operatorname{tg}\beta \quad \mathbf{12.80}$$

a bidej}i e $p_t = m_t \pi$, so zamena na **12.80** i posledni ot izraz za ~ekorot vo **12.79**, za stepenot na spregnuvawe na bo~nite linii kaj cilindri~nite zap~esti parovi se dobi va izrazot

$$\varepsilon_b = \frac{b \operatorname{tg}\beta}{m_t \pi} = \frac{b \frac{\sin\beta}{\cos\beta}}{\frac{m_n \pi}{\cos\beta}} = \frac{b \sin\beta}{m_n \pi} \quad \mathbf{12.81}$$

{ to za cilindri~ni zap~esti parovi so pravi zapci ($\beta = 0$) i znesuva $\varepsilon_\beta = 0$.

Pod *st epen na spregnuvawe na bokovite* ε_γ se podrazbira zbir od stepenot na spregnuvawe na profilite ε_α i stepenot na spregnuvawe na bo~nite linii ε_β , t.e.

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta \quad \mathbf{12.82}$$

taka { to za cilindri~ni zap~esti parovi so pravi zapci ($\beta = 0$) i znesuva $\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha$.

12.2.5.7 Debelini na zabecot i { iro~ini na me/uzabiet o

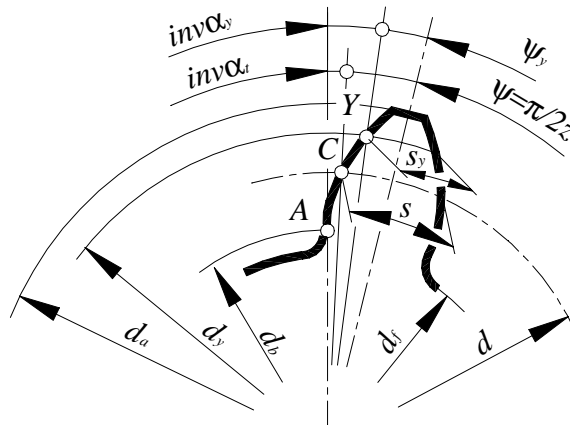
So primena na evol ventnata f unkcija (**12.48** i **12.49**) mo` e da se konstruira evol ventata, to~ka po to~ka, a i sto taka i debel i nata s_y na zabecot na koji da e proi zvol no izbran pre~ni k d_y od nazabeni ot venec (*sl.12.37*).

Agol nata pol udebel i na na zabecot na podel beni ot krug d od nazabeni ot venec e

$$\psi = \frac{2\pi}{4z} = \frac{\pi}{2z} \quad \mathbf{12.83}$$

a spored *sl.12.37*, agol nata pol udebel i na na zabecot na proi zvol en pre~ni k d_y e

$$\psi_y = \psi + \operatorname{inv}\alpha_t - \operatorname{inv}\alpha_y = \frac{\pi}{2z} + \operatorname{inv}\alpha_t - \operatorname{inv}\alpha_y \quad \mathbf{12.84}$$

Sl.12.37 La~na debel i na na zabecot s_x

Spored sl.12.24b mo`e da se napi { e

$$r_y \cos \alpha_y = r_b \quad 12.85$$

od kade za napadni ot agol na proi zvol na to~ka od prof i l ot na zabecot va` i sl edni ot i zraz

$$\cos \alpha_y = \frac{r_b}{r_y} = \frac{d_b}{d_y} \quad 12.86$$

Spored toa, la~nata debel i na na zabecot vo ~el nata ramni na na proi zvol en pre~ni k d_y i znesuva

$$s_y = 2 r_y \psi_y = 2 \frac{d_y}{2} \psi_y = d_y \left(\frac{\pi}{2z} + \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_y \right) \quad 12.87$$

La~nata debel i na na zabecot vo ~el nata ramni na na temeni ot krug d_a od zabecot e

$$s_a = 2 r_a \psi_a = d_a \left(\frac{\pi}{2z} + \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_a \right), \quad 12.88$$

na podel beni ot krug d na zabecot e

$$s = 2 r \psi = 2 \frac{d}{2} \psi = \frac{d \pi}{2z} \quad 12.89$$

bi dej}i, kako { to se gl eda od sl.12.36,

$$\text{inv} \alpha_y = \text{inv} \alpha_t \quad 12.90$$

a na podno`ni ot krug d_f taa i znesuva

$$s_f = 2r_f \psi_f = d_f \left(\frac{\pi}{2z} + \text{inv}\alpha_t - \text{inv}\alpha_f \right) \quad 12.91$$

Teti vnata debel i na na proi zvol en krug na zabecot d_y e

$$\bar{s}_y = 2r_y \sin \psi_y = 2 \frac{d_y}{2} \sin \psi_y = d_y \sin \left(\frac{\pi}{2z} + \text{inv}\alpha_t - \text{inv}\alpha_y \right) \quad 12.92$$

pri { to ψ_y e vo [rad].

Teti vnata debel i na na zabecot se meri vo normal nata ramni na, taka { to nejzi nata vrednost na proi zvol en krug e

$$\overline{s_{yn}} = \overline{s_y} \cos \beta \quad 12.93$$

La-ni te { i ro-i ni na me|uzabi eto na proi zvol en pre-ni k od nazabeni ot venec na zap-eni kot vo ~el nata ramni na se

$$e_y = p_y - s_y = r_y \frac{2\pi}{z} - s_y = \frac{d_y \pi}{z} - s_y \quad 12.94$$

taka { to za la-nata { i ro-i na na me|uzabi eto na podel beni ot krug se dobi -va

$$e = p - s = r \frac{2\pi}{z} - s = \frac{d\pi}{z} - \frac{d\pi}{2z} = \frac{d\pi}{z} = s \quad 12.95$$

{ to zna-i deka la-nata { i ro-i na na me|uzabi eto e i debel i nata na zabecot s na podel beni ot krug d od nazabeni ot venec na zap-eni kot se ednakvi, a ni vnata vrednost e pol ovi na od la-ni ot ~ekor na toj pre-ni k.

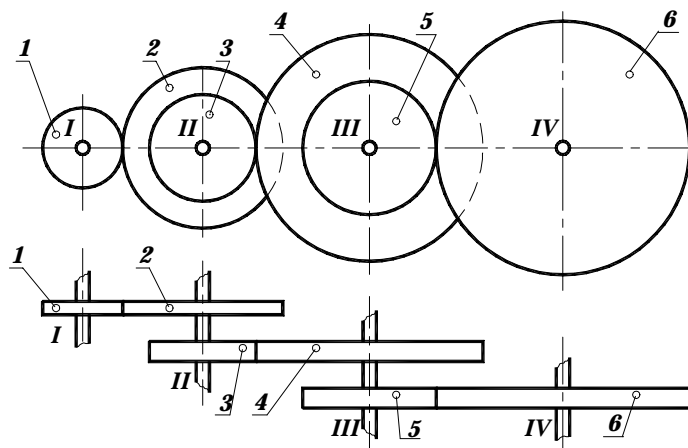
12.2.5.8 Slo`eni zap-est i prenosnici

Najprosta forma na cilindri~en zap-est par e sostaven samo od dva zap-eni ka. Me|utoa, vo prakti kata ~esto se pojavuva potreba od relati vno golemi prenosni odnosi koga se izveduvaat takanare~enite *slo`eni zap-est i prenosnici* { to se sostojat od pove}e kinemati~ki parovi me|usebno spregnati na najrazli~ni na~ini. Vakvite slo`eni prenosnici ~esto se primenuvaat i za postignuvawe odredena nasoka na vrtewe na goneti ot element ili, pak, za sovladuvawe na pogolemi me|uoski ni rastojanija. Na *sl.12.38* e prika`an eden slo`en tristepen cilindri~en zap-est prenosnik ~ij prenosni odnos e opredelen so ravenkata

$$i = \frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{\omega_1}{\omega_6} = \frac{\omega_I}{\omega_{IV}} = \frac{2\pi n_a}{2\pi n_b} = \frac{n_a}{n_b} = \frac{n_1}{n_6} = \frac{n_I}{n_{IV}} \quad 12.96$$

kade { to

ω_a i ω_b se agolni brzini na vlezot odnosno izlezot od slo`eni ot zap~est prenosnik.



Sl.12.38 Slo`en t rist epen prenosnik so nadvore{ ni cilindri~ni zap~est i parovi

Ako ravenkata **12.96** na desnata strana se pomno`i so dropka ~ija vrednost e eden, a vo broitel ot i i meni tel ot se stavi proizvod od vrte`ite na vratilata II i III, vrednosta na prenosni ot odnos i ne se menuva i za nego se dobi va

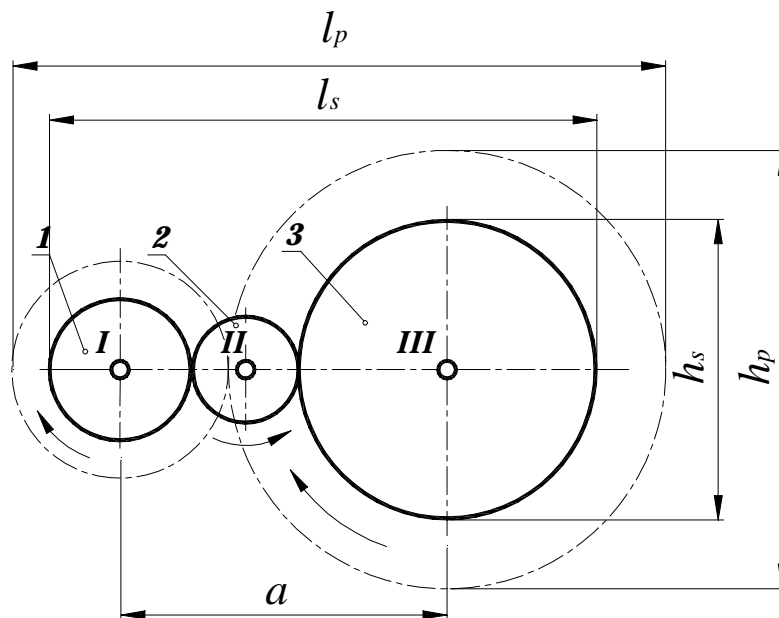
$$i = \frac{n_1}{n_6} \cdot 1 = \frac{n_1}{n_6} \frac{n_{II}}{n_{II}} \frac{n_{III}}{n_{III}} = \frac{n_1}{n_6} \frac{n_3}{n_2} \frac{n_5}{n_4} = \frac{n_1}{n_2} \frac{n_3}{n_4} \frac{n_5}{n_6} = i_1 i_2 i_3 \quad \mathbf{12.97}$$

{ to zna~i: vkupni ot prenosni odnos na slo`eni ot prenosnik e ednakov na proizvodot od sit e poedine~ni prenosni odnosi vo prenosni kot .

Ako vo **12.97** se zamenat poedine~ni te prenosni odnosi izrazeni preku pre~nicite na trkalata se dobi va

$$i = i_1 i_2 i_3 = \frac{d_2}{d_1} \frac{d_4}{d_3} \frac{d_6}{d_5} = \frac{m_1 z_2}{m_1 z_1} \frac{m_2 z_4}{m_2 z_3} \frac{m_3 z_6}{m_3 z_5} = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} \frac{z_6}{z_5} \quad \mathbf{12.98}$$

Na sl.12.39 e prika`an slo`en prenosnik so vmetnat zap~eni k so cel da se ovozmo`i ista nasoka na vrteve na vleznoto i izleznoto vratilo od prenosni kot.



Sl.12.39 Slo`en zap-est prenosnik so vmet nat cilindri`en zap-eni k

So vakvi ot slo`en prenosnik, za ist prenosen odnos i kako i isto me|uoski no rastojadi e a so oni e na prosti ot prenosnik, kako { to se gl`eda od slikata se postignuvaat i pomali gabaritni dimenzii na slo`eni ot prenosnik.

Vo soglasnost so **12.97**, vrednosta na vkupni ot prenosen odnos kaj ovoj prenosnik e

$$i = i_1 i_2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{n_2}{n_3} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{d_2}{d_1} \frac{d_3}{d_2} = \frac{d_3}{d_1} = \frac{z_3}{z_1} \quad \mathbf{12.99}$$

{ to zna`i deka vakvi ot prenosnik se odnesuva isto kako prost zap-est prenosnik, no za razlika od nego, vrte`ite na vleznoto i izleznoto vrtilo imaat ista nasoka na vrteve, a negovi te gabaritni dimenzii se pomali od oni e na prosti ot prenosnik.

Kaj si te slo`eni prenosnici va`i praviloto: ako vkupni ot broj vrtila e neparen, izleznoto vrtilo ima ista nasoka na vrteve kako i vleznoto, a

dokol ku vkupni ot broj na vratilata e paren, toga{ nasokata na vrtewe na izl eznoto vratilo e sproti vna od nasokata na vrtewe na vl eznoto vratilo.

12.2.5.9 Sporedba na cilindri~nit e zap~enici so pravi i so kosi zapci

Kako { to ve}e e objasneto, kaj zap~enici te so pravi zapci linijata na dopirot na bokovite e paralelna so oskite na vrtewe na spregnate zap~enici, taka { to dopi raweto zapo~nuva istovremeno po celata dol`ina na zapcite, a istovremeno i zavr{uva. Poradi toa, i najmaloto otstupavawe na ~ekoro na zapcite predizvikuva udari i neramnomerna rabota. Bi deji kaj zap~enici te so kosi zapci linijata na dopirot na bokovite na zapcite e nakloneta sprema oskite na vrtewe na zap~enici te, dopi raweto nastanuva postepeno. Taka na primer, dopirot na eden par zapci zapo~nuva so dopir na to~ka od podno`jeto na pogonski ot i to~ka od temeto na goneti ot zabec vo prednata, a zavr{uva so dopir na nekoja to~ka od glavata na pogonski ot i to~ka od podno`jeto na goneti ot zabec vo zadnata ~elna povr{ina. Poradi toa, otstupavaweto na ~ekoro na zapcite vlijae pomal ku vrz rabotata na zap~enici te, udarite se poslabi i nivnata rabota e pomirna i potivka. Poradi zakosuvaweto na zapcite, dol`inata na dopirot na spregnate zapci e pogol ema vo odnos na onaa kaj zap~enici te so pravi zapci, pa zatoa za isti dimenzii, zap~enici te so kosi zapci poka`uvaat pogol ema izdr`livost.

Zap~enici te so kosi zapci se pogodni i za pogolemi brzini, a i za sovl aduvawe na pogol emi odnosi i { to, za pomal ite brzini, mo`e da dostignat i vrednost do $i = 15$.

Glaven nedostatok na zap~enici te so kosi zapci e pojavata na aksi jalna sila, koja dopol nitel no gi optovaruva vratilata i le`i{tata, pri {to pobliskoto le`i{te treba da ja prevzeme i da ja prenese kon podlogata. Ovoj nedostatok mo`e da se izbegne so primena na strelesti zapci, no takvoto re{eni e e zna~itel no pote{ko za izrabortka, a so toa i poskapo.

Za najte{ki te uslovi na rabota (krajno visoki brzini i optovaruvawa) predvid doaat i sklu~ivo zap~estite parovi so kosi, a ~estoi so strelesti zapci. Zaradi polesna izrabortka, zap~enici te so strelesti zapci se izveduvaat so `leb po celiot nazaben venec me|u nadesno i nalevo nakloneti te zapci.

Navedeni te prednosti i nedostatoci na zap-enci te so kosi vo odnos na zap-enci te so pravi zapci dotolku se poi zrazeni dokolku agol ot na zapci te β e pogol em.