FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Predmet: **PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKI SISTEMI**

Prof. dr Aleksandar Živković, vanredni profesor
Dr Cvijetin Mlađenović, docent

ZADACI ZA VEŽBU

(Autorizovani rukopis)

Novi Sad, 2022.

UVODNE NAPOMENE

Ovaj tekst sadrži zadatke koji se jednim delom obraĊuju na vežbama, ili su to ispitni zadaci iz prethodnih rokova. Zato on može korisno poslužiti pri utvrĊivanju znanja i pripremu za pismeni deo ispita iz predmeta PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA.

Zadaci koji se obraĊuju odnose se iskljuĉivo na rešavanje pitanja iz oblasti kinematskih struktura mašina. Pri tome treba voditi raĉuna da se svaka mašina, u okviru iste grupe može razlikovati, u odreĊenim detaljima njene kinematske strukture. Prema tome, princip ostvarenja potrebnih kretanja i princip formiranja pojedinih kinematskih lanaca MORA biti u skladu sa konkretnim sluĉajem. To znaĉi da se za svaki konkretan zadatak trebaju definisati pojedini, moguće varijabilni segmenti strukture kinematskih lanaca koji obezbeĊuju potrebna kretanja. Takvi segmenti su grupe izmenjivih zupĉanika i/ili prenosni faktori definisani matricom raspoloživih vrednosti.

Kada je u pitanju prvi navedeni sluĉaj, treba voditi raĉuna o sledećem:
Izmenljivi zupĉanici su jedan ĉlan prenosne strukture nekog kinematskog lanca. Njihov prenosni faktor je samo deo celokupnog prenosnog faktora razmatranog kinematskog lanca, no od njegove taĉnosti zavisi i ukupna taĉnost. Opšte je pitanje, dakle, kako odrediti izmenljive zupĉanike, tako da njihov prenosni faktor zadovolji zahtevanu taĉnost celog kinematskog lanca. Imajući u vidu da je segment prenosne strukture sa izmenljivim zupĉanicima predviĊen radi mogućnosti zadovoljenja širokog spektra zahteva, rešenja – tj. izbor izmenljivih zupĉanika, predstavlja osnovni zadatak pri razmatranju ovakvih kinematskih struktura kod pojedinih mašina.
Pri tome se, naravno, postavlja pitanje taĉnosti procedure izbora izmenljivih zupĉanika.

Opšte govoreći, moguća su tri sluĉaja po tom pitanju:
1. **Dovoljna tačnost** – definisana tekstom zadatka
2. **Solidna tačnost** – kada bar jedan ĉlan kinematskog lanca sadrži tehnološke parametre (Δ<10%)
3. **Visoka tačnost** – kada kinematski lanci povezuju sinhronizovana kretanja i kada kinematski lanac obezbeĊuje izradu dela (Δ<1%)
4. **Apsolutna tačnost** – najĉešće kod izrde zupĉanika (Δ=0%)

U nastavku se detaljnije razmatraju navedene mogućnosti:
1. U ovom sluĉaju je reĉ o kinematskim lancima ĉiji bar jedan ĉlan sadrži tehnološke parametre obrade. Oni se, kao što je iz teorije obrade skidanjem materijala poznato, usvajaju na bazi preporuka (iz šireg ili užeg opsega vrednosti), ili pak proraĉunavaju, uz usvajanje pojedinih elemenata , opet iz užeg ili šireg dijapazona. Ma o kojem sluĉaju da je reĉ, tehnološki parametri obrade, iako konkretno usvojeni, ili izraĉunati, ili pak zadati, mogu realno odstupati od te vrednosti. Pitanje je, naravno, koliko, pa se stoga, u cilju rešavanja ovih zadataka, definiše dozvoljeno odstupanje do 10%.

   Imajući to u vidu, kinematski lanac koji obezbeĊuje ovo kretanje, odnosno njegov segment u vidu izmenljivih zupĉanika, može odstupati do 10% po pitanju taĉnosti. To znaĉi da se kod razlike stvarnog prenosnog faktora izabranih (definisanih) izmenljivih zupĉanika i teorijski potrebne – izraĉunate vrednosti, sme tek na drugom decimalnom mestu pojaviti cifra razliĉita od nule.

   Na primer, prenosni faktor izmenljivih zupĉanika izraĉunava se iz izraza (to je, dakle, taj teorijski potreban):

$$k_t = \frac{37}{28} \cdot 2 \cdot \frac{35}{55} \cdot \frac{44}{22} \cdot \frac{1}{2} = \frac{37}{22} = 1{,}681818$$

Sada se pojavljuje pitanje: koliko izmenljivih zupĉanika treba da obezbedi navedeni prenosni faktor. Najmanji njihov broj je, naravno, dva, a može biti ĉetiri (eventualno šest), tj. jedan par zupĉanika, dva, ili eventualno tri para. Pri tome se može pojaviti i ukupno neparni broj izmenljivih zupĉanika, što znaĉi, prisustvo i meĊuzupĉanika. On, eventualno u takvom sluĉaju, ne utiĉe na vrednost prenosnog faktora, već iskljuĉivo menja smer obrtanja, tj. utiĉe na predznak prenosnog faktora u smislu njegove promene.

Nastavak ovog primera izvodi se za sluĉaj izbora:

a) dva izmenljiva zupĉanika
b) sluĉaj ĉetiri izmenljiva zupĉanika

a) OdreĊivanje brojeva zuba dva izmenljiva zupĉanika (a,b)

Prethodno izraĉunati prenosni faktor treba da obezbede dva zupĉanika, pa je prema tome:

$$k_t = 1{,}681818 = \frac{a}{b}$$

Ovo je jedna jednaĉina sa dve nepoznate. Takav sistem je matematiĉki neodreĊen i ima beskonaĉno mnogo rešenja. No tu ne treba zaboraviti i prisutna ograniĉenja:

- vrednosti parametara "a" i "b" mogu biti samo prirodni brojevi, obzirom da predstavljaju brojeve zuba (izmenljivih) zupĉanika
- raspon niza mogućih prirodnih brojeva je takoĊe ograniĉen, obzirom na realno najmanji i najveći broj zuba zupĉanika.

Realno najmanji broj zuba nije onaj koji se obiĉno definiše problemom izrade uz opasnost od podsecanja podnožja profila, nego sledi iz najmanje realne gabaritne dimenzije, tj. preĉnika podeonog kruga. Ako je on približno 40 [mm] (za zupĉanike prenosnika mašina alatki) i ako se kod takvih zupĉanika obiĉno ne primenjuje modul manji od 2 [mm], onda sledi da je minimalni broj zuba u opštem sluĉaju:

$$D_{0\min} \cong 40 = m_{\min} \cdot z = 2 \cdot z$$

$$z \geq \frac{40}{2} = 20$$

Donja granica prirodnih brojeva kojima se mogu definisati vrednosti brojeva izmenljivih zupĉanika je, prema tome, oko 20.

Gornja granica je, takoĊe, odreĊena gabaritnom dimenzijom, tj. najvećim preĉnikom podeonog kruga, koji se u opštem sluĉaju može usvojiti oko 200 [mm]. Tada je:

$$D_{0\max} \cong 200 = m_{\min} \cdot z = 2 \cdot z$$

$$z \leq \frac{200}{2} = 100$$

U skladu sa tim ukoliko nije zadata raspoloživa garnitura izmenljivih zupĉanika tj. konkretan skup prirodnih brojeva kao njihov broj zuba, rešenje treba prvenstveno tražiti u intervalu brojeva od $20 \div 100$.

Ove brojeve ne treba, ni u kom sluĉaju, shvatiti kao apsolutne fiziĉke granice. Mora se, meĊutim, imati u vidu da za brojeve zuba manje od 20 može nastati problem otvora glavĉine zupĉanika, diktiran preĉnikom vratila. U sluĉaju izbora broja zuba većeg od 100, treba biti spreman na prisustvo vrlo velikog zupĉanika koji zahteva veliko osno rastojanje, pa stoga sigurno povećava ukupan gabarit konstrukcije, a time i cenu.

Na kraju ove diskusije, napominje se da se kao oznake izmenljivih zupĉanika primenjuju u razmatranim zadacima mala slova abecede (kao što je to u ovom primeru), ili pak klasiĉno obeležavanje z_i, z_j, z_k,...(i; j; k = 1,2,...).

Konaĉno povratkom na zapoĉet primer sledi, procedura uz ranije izraĉunati prenosni faktor:

$$k_t = 1{,}681818 = \frac{a}{b}$$

Neka od mogućih rešenja, koja zadovoljavaju navedene kriterijume, se prikazuju u sledećoj tabeli, uz procenu, u koloni napomena, valjanost po pitanju taĉnosti.

$k_t = 1{,}681818$			
$\frac{a}{b}$	k_s	$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\%$	Napomena o rešenju
$\frac{34}{20}$	1,7	1,07%	zadovoljava
$\frac{35}{20}$	1,75	3,896%	zadovoljava
$\frac{36}{20}$	1,8	16,8%	nezadovoljava

b) OdreĊivanje brojeva zuba ĉetiri izmenljiva zupĉanika:

$$k_t = 1{,}681818 = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Ovo je sad jedna jednaĉina sa ĉetiri nepoznate, koja, naravno, predstavlja matematiĉki neodreĊen sistem. Rešenje se, uz uvažavanje svega ranije reĉenog, konkretizuje usvajanjem vrednosti za jedan od ĉinioca prisutnog proizvoda. Npr.:

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{2}\left(\frac{20}{40}\ ili\ \frac{21}{42};\ itd\right), \text{ pa je onda } \frac{c}{d} = 2 \cdot 1{,}681818 = 3{,}363636$$

$k_t = 1{,}681818$			
$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$	k_s	$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\%$	Napomena o rešenju
$\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{20}$	1,7	1,07%	zadovoljava
$\frac{1}{2} \cdot \frac{70}{20}$	1,75	3,896%	zadovoljava
$\frac{1}{2} \cdot \frac{72}{20}$	1,8	16,8%	nezadovoljava

2. Drugi sluĉaj odreĊivanja izmenljivih zupĉanika odnosi se na kinematske lance što povezuju odreĊena kretanja od kojih se zahteva velika sinhronizovanost, tj. visoka kinematska taĉnost. Takvim lancima se obezbeĊuje izrada taĉnih dimenzija obratka, koje su vrlo ĉesto i konkretno tolerisane. Tada je najbolje držati se pravola: ŠTO TAĈNIJE – TO BOLJE, no u ovim zadacima se kao opšte zadovoljavajuća taĉnost smatra razlika stvarnog i teorijskog prenosnog faktora do 1%. To drugim reĉima znaĉi da se u pomenutoj razlici, tek na trećem decimalnom mestu može pojaviti cifra razliĉita od nule. Ukoliko je pak uz pomenutu dimenziju zadata i širina tolerancijskog polja, treba proveriti da li je to obezbeĊeno, ili se izbor izmenljivih zupĉanika mora izvesti još taĉnije, u odnosu na dozvoljeno odstupanje do 1%.

   Najbolje rešenje je i u ovom sluĉaju postizanje apsolutne taĉnosti (ta će procedura biti izložena u nastavku), no to ĉesto nije moguće, tj. onda kada se u kinematskom lancu pojavljuje broj "π" sa beskonaĉno puno decimala.

   U primeru navedenom u taĉki 1, ni jedno rešenje ne zadovoljava ovaj kriterijum. Stoga se sada, za istu vrednost teorijskog prenosnog faktora (k_t = 1,681818), navode dva moguća rešenja.

k_t = 1,681818			
$\frac{a}{b}$ $\left(\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}\right)$	k_s	$\Delta=\frac{k_s-k_t}{k_s}\cdot 100\%$	Napomena o rešenju
$\frac{42}{25}$ $\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{84}{25}\right)$	1,68	0,1%	zadovoljava
$\frac{47}{28}$ $\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{94}{28}\right)$	1,67857	0,19%	zadovoljava

Obzirom na zahtevanu taĉnost, preporuĉuje se izraĉunavanje sa bar 5 decimalnih mesta. Pri tome se ne sme zaboraviti da broj "π" nije 3,14 nego 3,141592654..., pa ga sa odgovarajućom taĉnošću treba, u ovakvim sluĉajevima, primenjivati.

3. Od nekih kinematskih lanaca se zahteva apsolutna taĉnost. Takav sluĉaj je prisutan kod strogo zavisnih zupĉanika metodom relativnog kotrljanja. To znaĉi da izbor brojeva zuba, izmenljivih zupĉanika, kao segmente takvog kinematskog lanca, mora zadovoljiti navedenu taĉnost. U tom sluĉaju (naravno bez prisustva broja "π") teorijski prenosni faktor ne treba izraĉunavati kao konkretnu vrednost (najĉešće oblika decimalnog broja), već ga treba ostaviti u izvornom obliku, koji je ili ceo broj, ili razlomak. Proširivanjem, ili skraćivanjem, takvog broja dolazi se do rešenja sa apsolutnom vrednošću.

   Kao ilustracija se navodi prethodni primer teorijskog prenosnog faktora:

$$k_t = \frac{37}{22} = 1{,}681818$$

Sada je od znaĉaja iskljuĉivo oblik razlomka koji ujedno predstavlja i rešenje brojeva zuba jednog para izmenljivih zupĉanika:

$$\frac{a}{b} = \frac{37}{22} \quad ili \quad \frac{74}{44}$$

Ukoliko je reĉ o dva para izmenljivih zupĉanika, onda je jedno od mogućih rešenja:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = k_t = \frac{37}{22} = \frac{37}{22} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = \frac{37}{44} \cdot 2 = \frac{37}{44} \cdot \frac{40}{20}$$

Vrednost teorijskog prenosnog faktora, dakle, ne treba izraĉunavati kalkulatorom, nego se modifikacijom brojioca i imenioca razlomka dolazi do rešenja.

Ako je pak u pitanju ceo broj, onda njega treba prvo pretvoriti u razlomak, kao npr.:

$$k_t = 3 = \frac{3}{1} = \frac{60}{20} = \frac{a}{b} = \frac{90}{30} = \frac{45}{30} \cdot 2 = \frac{45}{30} \cdot \frac{40}{20} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

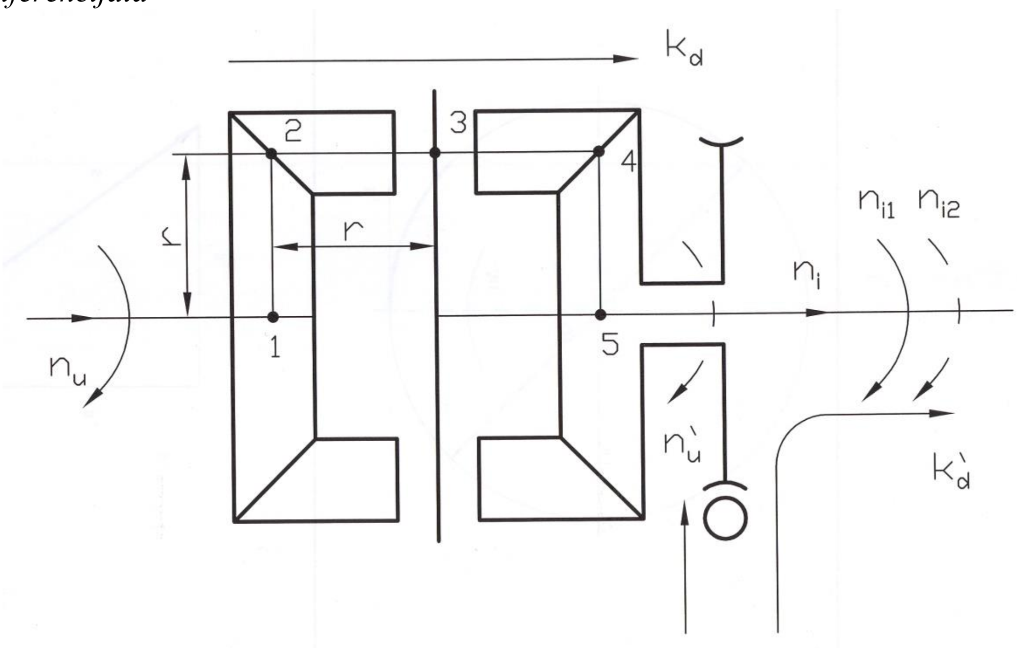
Osim izmenljivih zupĉanika, kao varijabilni segment prenosne strukture, može se pojaviti i skup prenosnih faktora. On se obiĉno simboliĉno oznaĉava matricom sa elementima $k_1 \div k_m$ ili konkretnim brojĉanim vrednostima. U nekim zadacima se traži upravo odreĊivanje prenosnog faktora tog segmenta ukupne strukture (tj. prenosnika za glavno ili pomoćno kretanje). Tada se, sliĉno ranije izloženoj proceduri, izraĉunava teorijska vrednost potrebnog prenosnog faktora. Ukoliko skup raspoloživih faktora nije zadat brojĉano, to predstavlja i konaĉno rešenje. No ako je matrica prenosnih faktora zadata numeriĉkim vrednostima, treba na osnovu izraĉunatog podatka usvojiti jednu konkretnu. U opštem sluĉaju to je, naravno, vrednost prenosnog faktora najbliža teorijskoj. Može se, meĊutim, pojaviti situacija kada je neophodno usvajanje iskljuĉivo manje, ili pak veće, vrednosti od izraĉunate.

Imajući sve razmatrano u vidu, treba obavezno sa usvojenim vrednostima prenosnog faktora, i/ili izmenljivih zupĉanika, proveriti dotiĉni kinematski lanac u smislu kontrole ispunjenja zadatkom definisane taĉnosti.

DIFERENCIJAL

Jedan od segmenata prenosne strukture mašina alatki je DIFERENCIJAL. On spada u grupu elementarnih prenosnika, no specifiĉan je iz razloga što ima dva prenosna faktora. Obzirom da se kod nekih zadataka pojavljuje diferencijal, kao i da njegovi prenosni faktori zavise od same konstrukcije (tj. po pravilu nisu zadati), u nastavku se ukratko izlaže procedura odreĊivanja prenosnog faktora dva tipa diferncijala. Ona bazira na odnosu pojedinih komponenti iz ustanovljenog dijagrama brzina karakteristiĉnih taĉaka diferencijala.

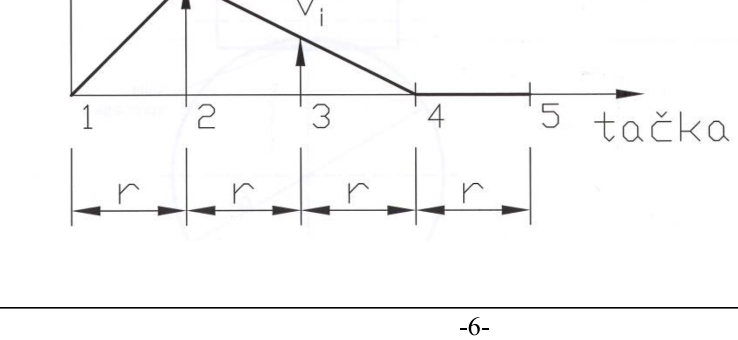
I tip diferencijala



n_u ; n'_u - ulazni brojevi obrtaja
n_i - izlazni broj obrtaja
n_{i1} ; n_{i2} - izlazni broj obrtaja za parcijalne sluĉajeve, tj. za $n'_u=0$ i $n_u=0$

Kod ovog tipa diferencijala ulazni broj obrtaja može biti preko levog koniĉnog zupĉanika (n_u), pri ĉemu se na izlazu javlja broj obrtaja n_i. Prenosni faktor je u tom sluĉaju k_d. Dijagram brzina u pet karakteristiĉnih taĉaka je:

$$n_u \neq 0 \ ; \ (n'_u = 0)$$



U taĉki 4 i 5 brzina je nula, obzirom da se desni koniĉni zupĉanik (vezan za pužni toĉak) ne obrće zbog $n'_u = 0$. U taĉki 1, brzina je takoĊe nula, jer se radi o osi obrtanja. U taĉki 2 postoji brzina kao posledica obrtanja n_u i rastojanja od ose – r:

$$v_2 = v_u = r \cdot \omega_u = r \cdot \frac{\pi\, n_u}{30}$$

(izmeĊu taĉke 1 i 2 promena brzine je linearna jer se radi o krutom telu, što je takoĊe sluĉaj i izmeĊu taĉaka 2, preko 3, do 4)
U taĉki 3, oĉigledno, postoji brzina koja dovodi do obrtanja n_{i1}. Znaĉi:

$$v_3 = v_i = r \cdot \omega_{i1} = r \cdot \frac{\pi\, n_{i1}}{30}$$

Iz samog dijagrama brzina sledi:

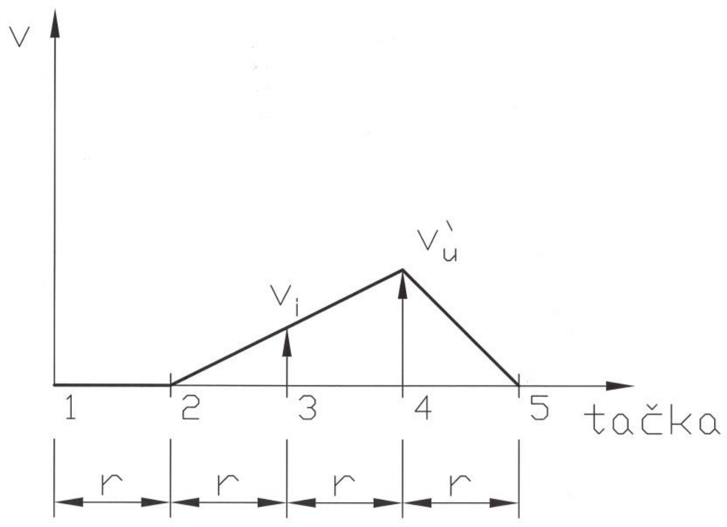
$$\frac{v_u}{2r} = \frac{v_i}{r} \Rightarrow \frac{v_i}{v_u} = \frac{1}{2} = \frac{r\dfrac{\pi\, n_{i1}}{30}}{r\dfrac{\pi\, n_u}{30}} = \frac{n_{i1}}{n_u}$$

Po definiciji, prenosni faktor predstavlja odnos "izlaznog" i "ulaznog" broja obrtaja, pa je stoga:

$$\frac{n_{i1}}{n_u} = \frac{1}{2} = k_d \qquad tj. \qquad k_d = \frac{1}{2}$$

Druga mogućnost je prisustvo ulaznog obrtanja preko puža i pužnog toĉka, pri ĉemu se obrće desni koniĉni zupĉanik sa n'_u, a to, takoĊe, dovodi do pojave izlaznog broja obrtaja n_{i2}. Prenosni faktor je u tom sluĉaju k'_d, i odreĊuje se iz sledećeg dijagrama brzina karakteristiĉnih taĉaka:

$n'_u \neq 0$; ($n_u = 0$)



Analogno proceduri prethodnog slučaja sada je:

$$v_4 = v_u^` = r \cdot \omega_u^` = r \cdot \frac{\pi\, n_u^`}{30}$$

$$v_3 = v_i = r \cdot \omega_{i2} = r \cdot \frac{\pi\, n_{i2}}{30}$$

Iz dijagrama brzina je:

$$\frac{v_i}{r} = \frac{v_u^`}{2r} \Rightarrow \frac{v_i}{v_u^`} = \frac{1}{2} = \frac{n_{i2}}{n_u^`}, \quad \text{odnosno} \quad \frac{n_{i2}}{n_u^`} = \frac{1}{2} = k_d^` \quad tj. \quad k_d^` = \frac{1}{2}$$

Primer 1: $n_u = 50 \;\; ; \;\; n_u^` = 20$

$$n_{i1} = n_u \cdot k_d = 50 \cdot \frac{1}{2} = 25$$

$$n_{i2} = n_u^` \cdot k_d^` = 20 \cdot \frac{1}{2} = 10$$

$$n_i = n_{i1} + n_{i2} = 25 + 10 = 35$$

Primer 2: $n_u = 50 \;\; ; \;\; n_u^` = -20$ (znak "-" znači kontra smer obrtanja)

$$n_{i1} = n_u \cdot k_d = 50 \cdot \frac{1}{2} = 25$$

$$n_{i2} = n_u^` \cdot k_d^` = -20 \cdot \frac{1}{2} = -10$$

$$n_i = n_{i1} + n_{i2} = 25 - 10 = 15$$

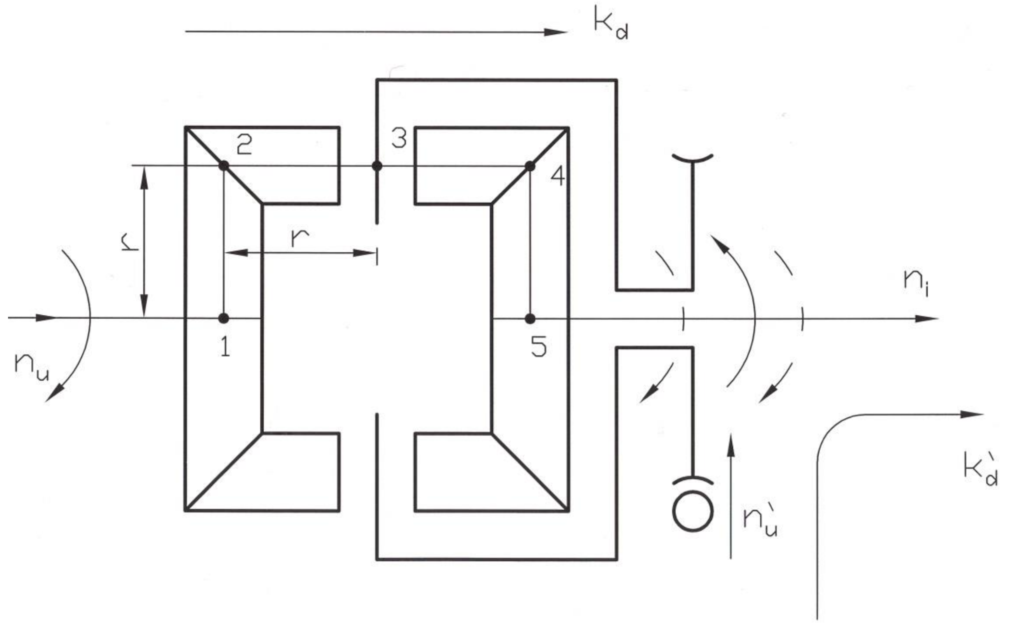
Primer 3: $n_u = -50 \;\; ; \;\; n_u^` = 20$

$$n_{i1} = n_u \cdot k_d = -50 \cdot \frac{1}{2} = -25$$

$$n_{i2} = n_u^` \cdot k_d^` = 20 \cdot \frac{1}{2} = 10$$

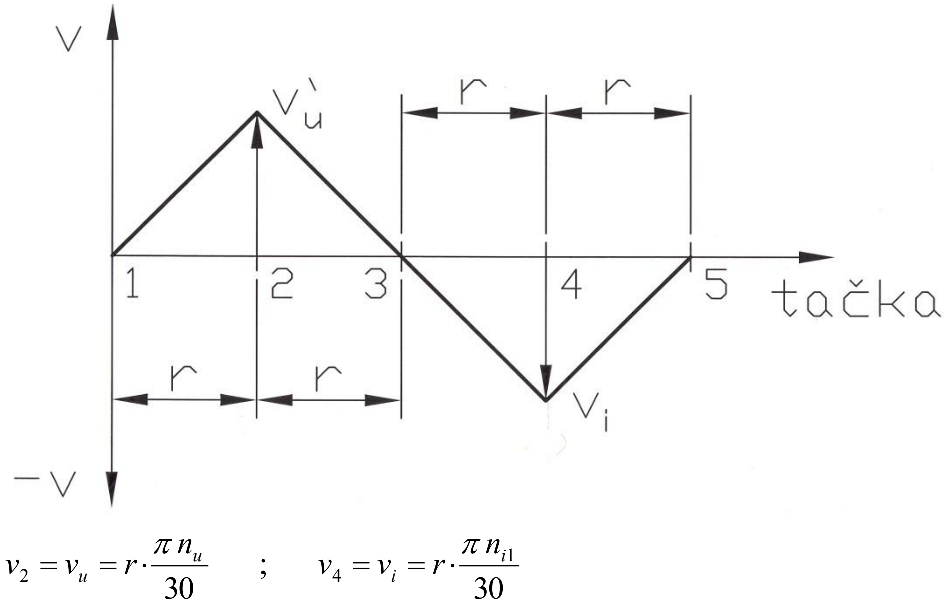
$n_i = n_{i1} + n_{i2} = -25 + 10 = -15$, a to znači da se izlazno vratilo diferencijala obrće sa 15 obrtaja (ovde se ne razmatra u kom vremenu), ali u smeru suprotnom od naznačenog strelicama na skici.

II tip diferencijala.



n_u ; n'_u - ulazni brojevi obrtaja
n_i - izlazni broj obrtaja
n_{i1} ; n_{i2} - izlazni broj obrtaja za parcijalne sluĉajeve, tj. za n'_u=0 i n_u=0

Prva mogućnost je: $n_u \neq 0$; $n'_u = 0$



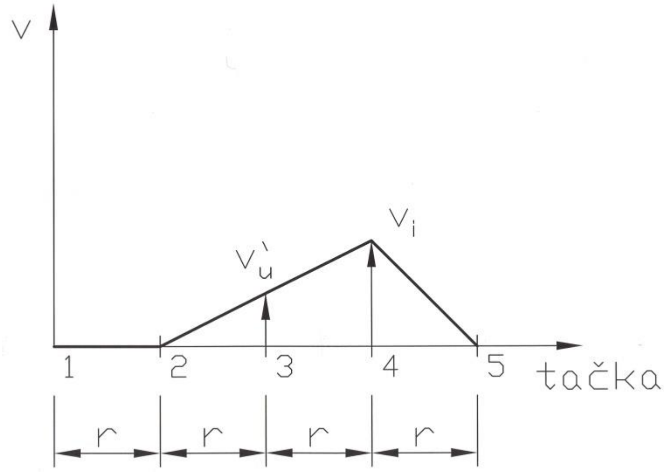
$$v_2 = v_u = r \cdot \frac{\pi\, n_u}{30} \quad ; \quad v_4 = v_i = r \cdot \frac{\pi\, n_{i1}}{30}$$

$$v_u = -v_i \quad \Rightarrow \quad n_4 = -n_{i1}$$

$$\frac{n_{i1}}{n_u} = -1 = k_d \quad tj. \quad k_d = -1$$

Znak "-" pokazuje da je u ovom sluĉaju izlazni broj obrtaja suprotnog smera od ulaznog, a to je naznaĉeno strelicama na skici diferencijala.

Druga mogućnost je: : $n'_u \neq 0$; $n_u = 0$



$$v_3 = v_u^{`} = r \cdot \frac{\pi \, n_u^{`}}{30} \qquad ; \qquad v_4 = v_i = r \cdot \frac{\pi \, n_{i2}}{30}$$

$$\frac{v_i}{v_u} = 2 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{n_{i2}}{n_u} = 2$$

$$\frac{n_{i2}}{n_u} = 2 = k_d^{`} \qquad tj. \qquad k_d^{`} = 2$$

Primer 1: $n_u = 50$; $n_u^{`} = 20$

$n_{i1} = n_u \cdot k_d = 50 \cdot (-1) = -50$ (strelica punom linijom)

$n_{i2} = n_u^{`} \cdot k_d^{`} = 20 \cdot 2 = 40$ (strelica isprekidanom linijom)

$n_i = n_{i1} + n_{i2} = -50 + 40 = -10$ (to znaĉi da je smer izlaznog obrtanja prema strelici nacrtanoj punom linijom)

Primer 2: $n_u = 50$; $n_u^{`} = -20$

$n_{i1} = n_u \cdot k_d = 50 \cdot (-1) = -50$ (strelica punom linijom)

$n_{i2} = n_u^{`} \cdot k_d^{`} = -20 \cdot 2 = -40$ (kontra strelice isprekidanom linijom)

$n_i = n_{i1} + n_{i2} = -50 - 40 = -90$ (to znaĉi da je smer izlaznog obrtanja prema strelici nacrtanoj punom linijom)

Primer 3: $n_u - -50$; $n_u^{`} = 20$

$n_{i1} = n_u \cdot k_d = (-50) \cdot (-1) = 50$ (kontra strelice punom linijom)

$n_{i2} = n_u^{`} \cdot k_d^{`} = 20 \cdot 2 = 40$ (strelica isprekidanom linijom)

$n_i = n_{i1} + n_{i2} = 50 + 40 = 90$ (to znaĉi da je smer izlaznog obrtanja prema strelici nacrtanoj punom linijom)

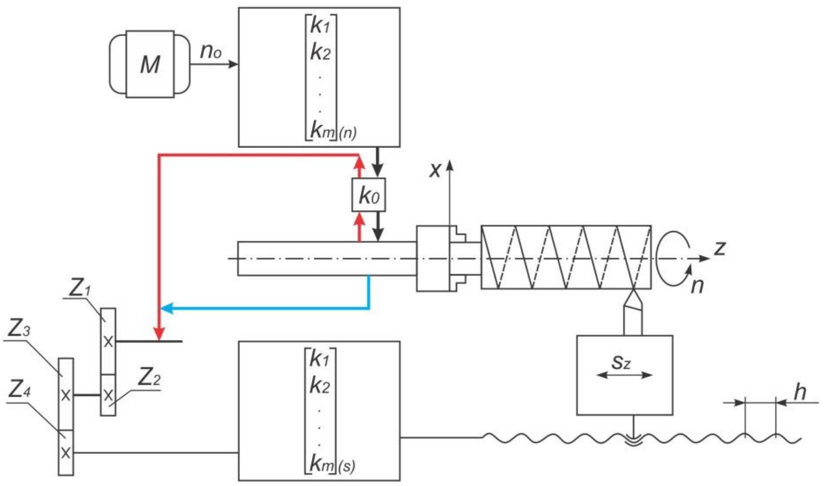
Prenosni faktor diferencijala neke drugaĉije konstrukcije, odreĊuje se prema prikazanoj metodologiji. Za takve sluĉajeve će se, u konkretnim zadacima, dati komentar u odnosu dva prikazana tipa.

Na kraju ovog uvodnog dela, napominje se da će sama tehnika izraĉunavanja sa konkretnim detaljnijim objašnjenjima dati u okviru samih zadataka ĉiji deo sadrži komentar, a drugi rešenje.

1) Kinematska struktura strugova za izradu zavojnica

Odrediti brojeve zuba izmenjivih zupčanika ($Z_1 \div Z_4$) prenosnika za pomoćno kretanje univerzalnog struga kinematske strukture prikazane na slici 1, za slučaj izrade graničnih vrednosti navoja:

- milimetarski: h_m=0,5 ÷ 19,0 mm
- vitvortov: e=2,5 ÷ 152 koraka/“



Potrebni podaci :

n_{EM}=1440 o/min

n=31,5 ÷ 1400 o/min

k_n=0,0875 ÷3,8889

k_s=0,0553 ÷0,3987

h_v=6 mm

Raspoloživa garnitura zupčanika: z = 20 - 100

Slika 1 Principijelna kinematska šema univerzalnog struga za izradu zavojnica

Prema zadatku na ovom strugu se izraĊuju milimetarski i Vitvortov navoj, pa je iz tog razloga prvo potrebno odrediti potrebne vrednosti pomaka za obe vrste navoja. Naime, pri izradi vitvortovih zavojnica, potrebno je obezbediti pomak $s_z=25,4/e$, dok pri izradi milimetarskih odnosno metriĉkih trebaju pomaci $s_z=h_m$.

Rešenje

Potrebne vrednosti pomaka pri izradi metriĉkih zavojnica su
$s_z=h_m=(0,5 \div 19)$ *[mm/o]*.
Pri izradi Vitvortovih zavojnica potrebni pomaci su u opsegu:

$s_z=25,4/(2,5 \div 152)= (10,16 \div 0,16761)$ *[mm/o]*.

Potrebni pomaci, tj. izmenjivi zupĉanici za ta dva graniĉna sluĉaja, odnose se na:
$s_{z\,min}=0,167105$ *[mm/o]* i $s_{z\,max}=19,0$ *[mm/o]*

U jednom sluĉaju, sigurno će se primeniti direktan (plava linija na kinematskoj šemi) a u drugom indirektan kinematski lanac (crvena linija na kinematskoj šemi). Koji od njih obezbeĊuje veće vrednosti pomaka zavisi od prenosnog faktora k_0. Prema slici 1 prenosni faktor k_0 se odreĊuje kao:

$$n_{\min} = n_0 k_{n\min} k_0$$

$$k_0 = \frac{n_i}{n_{em} \cdot k_{in}} = \frac{31,5}{1440 \cdot 0,0875} = 0,25$$

Prema ovoj vrednosti je sigurno da se mali pomak ostvaruje direktnim kinematskim lancem, a veliki i najveći, indirektnim preko segmenta prenosne strukture definisane faktorom $(1/k_0)=4$.

a) za $s_{z\,min}$=0,167105 mm/o, tj e=152

Za sluĉaj izrade navoja minimalnog koraka kinemtaski lanac prema slici 1 je:

$$s_{z\min} = h_m = n\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4}k_{s\min}h_v;\quad n = 1\left[mm/1obrtu\,g.v.\right]$$

$$\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4} = \frac{s_{z\min}}{k_{s\min}h_v} = \frac{0,16710}{0,0553\cdot 6} = 0,5036$$

Ako se za z_1/z_2 usvoji vrednost 1/2, onda je z_3/z_4 =1,007, što praktiĉno znaĉi da su zupĉanici z_3 i z_4 isti, tj $z_3 = z_4$. Ako je reĉ o opštoj garnituri izmenjivih zupĉanika brojeva zuba od 20÷100 podrazumeva se da su svi zupĉanici prisutni u po jednom komadu. Stoga, rešenje treba tražiti u nekoj drugoj varijanti, npr. usvajanjem z_1/z_2 =1/3 (npr. 20/60), u tom sluĉaju je :

je z_3/z_4 =1,5108, odnonso z_3 = 1,5108 z_4

Sada je prisutan veći broj rešenja, od kojih je jedan deo predstavljen narednom tablicom.

Z_4	20	21	22	23
Z_3	30,2	31,7	33,3	34,8

Najtaĉnije je zadnje navedeno, obzirom da je rešenje za z_3 najbliže prirodnom broju. Prenosni faktor izmenjivih zupĉanika je u tom sluĉaju:

$$\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{3}\cdot\frac{35}{23} = 0,5072$$

Pa je greška tj. razlika, u odnosu na teorijski potrebnu vrednost: $\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s}\cdot 100\% = \frac{0,5072-0,5036}{0,5072}\cdot 100\%$ =0,71%. Ovakvo rešenje sigurno daje visoku taĉnost pomaka (a time i broj koraka „e"), što pokazuje provera:

$$s_{z\min} = h_m = \frac{1}{3}\cdot\frac{35}{23}\cdot 0,0553\cdot 6 = 0,168304;\ \left[mm/o\right]$$

Razlika stvarnog pomaka u odnosu na teorijski potreban (0,167105 mm/o) je: 0,167128-0,168304=0,0011 [mm/o], tj 1,17 [µm/o], što je apsolutno zanemarljivo u odnosu na geometrijsku (ne) taĉnost same mašine.

Imajući u vidu napomene vezane za taĉnost pri odreĊivanju izmenjivih zupĉanika, date u uvodnom delu ove skripte, vodeći raĉuna pri tome da se svakako zahteva visoka taĉnost (reĉ je o zavojnicama, iako tolerancija nije zadata), zadovoljavajućim rešenjem se može smatrati svako pri kojem je razlika stvarnog prenosnog faktora izmenjivih zupĉanika i teorijskog manja od 1%. U tom kontekstu se proverava sada prvo moguće rešenje:

$$\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{3}\cdot\frac{30}{20} = 0,5\,,$$

greška izmeĊu teorijskog i stvarnog prenosnog faktora je $\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s}\cdot 100\% = \left|\frac{0,5-0,5036}{0,5}\right|\cdot 100\% = 0,72\%$<1%, pa prema tome i ovo rešenje zadovoljava zahtevanu taĉnost.

Na osnovu prethodnog, može se zakljuĉiti da je zadovoljavajuće bilo koje rešenje od dva prethodno odreĊena.

b) za $s_{z\,max}$=19 [mm/o]

Pomak za slučaj izrade navoja najvećeg koraka u skladu sa kinematskom šemom prikazanoj na slici 1 je:

$$s_{z\min}=h_m=n\frac{1}{k_0}\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4}k_{s\max}h_v;\quad n=1\left[mm/1obrtu\, g.v.\right]$$

$$\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4}=\frac{s_{z\max}\cdot k_0}{k_{s\max}h_v}=\frac{19\cdot 0,25}{0,3987\cdot 6}=1,9856$$

Usvajanjem $z_1/\ z_2$ = 1/2, onda je $\frac{Z_3}{Z_4}=\ 2\cdot 1{,}9856=3{,}9712$, tj. $Z_3=3{,}9712\cdot Z_4$, pa su moguća rešenja:

Z_4	20	21	22	23
Z_3	79,4	83,4	87,4	91,3

Kod prvog rešenja je:

$$\frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4}=\frac{1}{2}\cdot\frac{79}{20}=1,975;$$

pa je greška $\Delta=\frac{k_s-k_t}{k_s}\cdot 100\%=\frac{1{,}975-1{,}9856}{1{,}975}\cdot 100\%=0{,}79\%$<1%, što znaĉi da rešenje zadovoljava zahtevanu taĉnost.

TakoĊe, usvaja se: $\frac{Z_3}{Z_4}=\frac{21}{42}$.

Uzdužni pomak, tj. korak metriĉke zavojnice je u ovom sluĉaju:

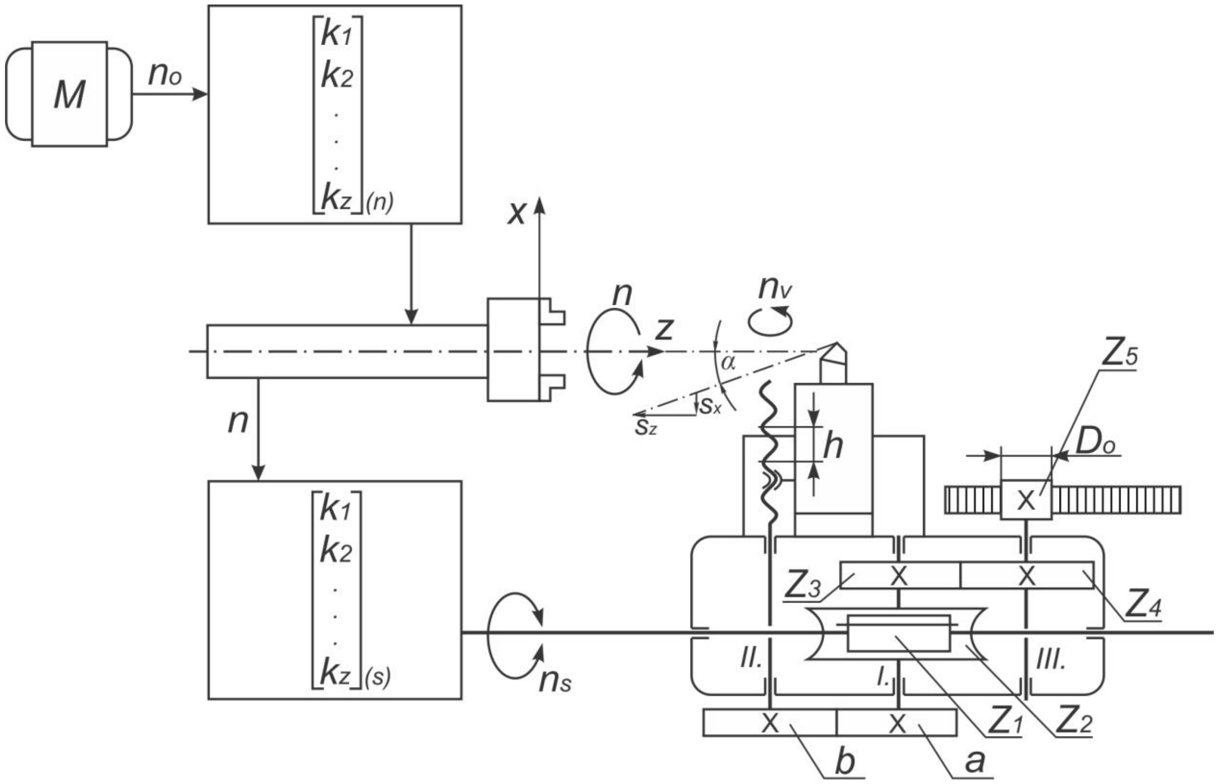
$$s_{z\min}=h_m=\frac{1}{0,25}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{79}{20}\cdot 0,3987\cdot 6=18,89;\ \left[mm/o\right]$$

Razlika u odnosu na zadatu vrednost je skoro 0,1 [mm/o] što je dosta veliko odstupanje, ali s obzirom da nije propisana tolerancija koraka, rešenje se smatra zadovoljavajućim.

2) Kinematska struktura strugova za izradu konusa

Na strugu kinematske strukture prema datoj skici, odrediti opseg brojeva zuba izmenljivih zupĉanika tako da se mogu izraĊivati konusi sa uglom vrha od 10°÷60°.

Pri izradi graniĉnih uglova vrha konusa greška ovog ugla ne sme biti veća od 5'.



$z_1 = 1$

$z_2 = 40$

$z_3 = 21$

$z_4 = 70$

$z_5 = 25$

$m_z = 2\ mm$

$h = 8\ mm$

Podaci:

$n_{em} = 1400\ {}^{o}\!/_{\min}$

Glavno kretanje:

$k_{\min} = 0{,}025$

$k_{\max} = 1{,}268$

Pomoćno kretanje:

$k_{\min} = 0{,}067$

$k_{\max} = 1{,}067$

(komentar)

Potrebna kretanja pri izradi konusa na strugu su:

- glavno kretanje: obrtanje obratka (u zadatku se ne traži njegovo razmatranje)
- pomoćno kretanje: pomak vrha alata pod uglom α u odnosu na osu obratka (osu glavnog vretena), tj. uzdužnu osu (z-osu). Ovo kretanje je rezultanta pomaka s_z u pravcu uzdužne ose i s_x u pravcu poprečne ose (x-ose). Ta dva vektora brzine (relativne) su, dakle, pod uglom α, tj. oni moraju biti u kinematskoj zavisnosti. Ona je obezbeĊena izmenljivim zupĉanicima "a,b" ĉiji se broj zuba traži ovim zadatkom.

Rešenje, prema tome, predstavlja odreĊivanje brojeva zuba zupĉanika "a" i zupĉanika "b", pri kojima će se rezultujuće kretanje vrha alata ostvariti pod uglom α koji je jednak ½ ugla vrha konusa (konus je rotaciona površina).

Obzirom da je pri toj proceduri moguća greška u odnosu na teorijsku vrednost, pitanje je taĉnosti kojom treba izvesti proraĉun. Imajući u vidu da će greška pri odreĊivanju brojeva zuba zupĉanika "a" i "b" dovesti do narušavanja sinhronizacije kretanja po x i z osi, konaĉna posledica će biti izrada konusa sa uglom vrha koji odstupa od zadate vrednosti. Pošto je dozvoljeno odstupanje definisano zadatkom, svako rešenje koje obezbeĊuje ugao vrha konusa unutar dopuštenog opsega je ispravno. Pri tome treba imati u vidu da nije zadata garnitura raspoloživih izmenljivih zupĉanika, pa se broj zuba zupĉanika može proizvoljno birati, vodeći raĉuna o opštim napomenama pri takvom proraĉunu, datim u uvodnom delu.

(Rešenje)

- pomoćno kretanje s_z

$$s_z = n_{z_5} \cdot D_{0z_5} \cdot \pi \quad ; \quad n_{z_5} = n \cdot k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad ; \quad D_{0z} = m_z \cdot z$$

$$s_z = n \cdot k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot m_z \cdot z_5 \cdot \pi \quad \left[{mm}/{o} \right] \Rightarrow \left[{mm}/{1 obrtu\, glavnog vretena} \right] \quad ; \quad n = 1$$

$$s_z = k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot m_z \cdot z_5 \cdot \pi$$

Izborom prenosnog faktora k_{si} moguća je promena ovog – uzdužnog pomaka. U ovom zadatku se to ne traži, ali se napominje da je uz zadate vrednosti k_{smin}=0,067 i k_{smax}=1,067 opseg tih pomaka:

$$s_z = (0{,}067 \div 1{,}067) \cdot \frac{1}{40} \frac{21}{70} \cdot 2 \cdot 25 \cdot \pi \cong 0{,}08 \div 1{,}26 \quad \left[{mm}/{o} \right]$$

Reĉ je, dakle, o strugu koji obezbeĊuje kvalitet obraĊene površine od fine do grube.

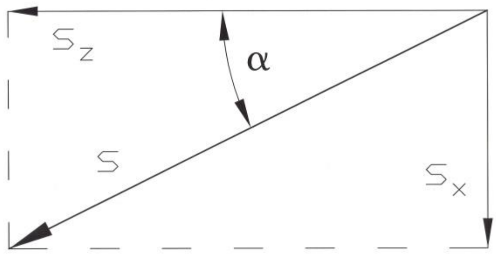
- pomoćno kretanje s_x

$$s_x = n_v \cdot h \quad ; \quad n_v = n \cdot k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b}$$

$$s_x = n \cdot k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot h \quad \left[{mm}/{o} \right] \Rightarrow \left[{mm}/{1 obrtu\, glavnog vretena} \right] \quad ; \quad n = 1$$

$$s_x = k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot h$$

U ovom izrazu treba odrediti a/b, a da bi to moglo biti uraĊeno svi drugi parametri moraju biti poznati, što je ovde sluĉaj, imajući u vidu i da je:



$$s_x = s_z \cdot tg\alpha$$

Sledi dakle:

$$s_x = s_z \cdot tg\alpha = k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot h = k_{si} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot m_z \cdot z_5 \cdot \pi \cdot tg\alpha$$

$$\frac{a}{b} = \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{m_z \cdot z_5 \cdot \pi}{h} \cdot tg\alpha = \frac{21}{70} \cdot \frac{2 \cdot 25 \cdot \pi}{8} \cdot tg\alpha$$

$$\frac{a}{b} = 5{,}89049 \cdot tg\alpha$$

(obzirom da je reĉ o taĉnosti definisanoj zadatom tolerancijom, propraĉun se izvodi sa taĉnošću do 4-5 decimala – u ovom sluĉaju: 5)

Za $\alpha = (5 \div 30)^{\circ}$ (Ovde je reĉ o polovini ugla vrha konusa, koji je zadat: $(10 \div 60)^{\circ} = 2\alpha$)

$$\frac{a}{b} = 5{,}89049 \cdot (tg5^{\circ} \div tg30^{\circ}) = 5{,}89049 \cdot (0{,}08749 \div 0{,}57735)$$

$$\frac{a}{b} = 0{,}51536 \div 3{,}40087$$

Za ova dva sluĉaja treba odrediti brojeve zuba zupĉanika a/b:
- u prvom sluĉaju je:

$$\frac{a}{b} = 0{,}51536 \quad tj. \quad b = \frac{a}{0{,}51536}$$

a to znaĉi da su moguća rešenja:

Red.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	20	21	22	23	24	25	26	27	28
b	38,81	40,74	42,69	44,63	46,59	48,51	50,45	52,39	54,33
Red.br.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a	29	30	31	32	33	34	35	36	37
b	56,27	58,21	60,15	62,09	64,03	65,97	67,91	69,85	71,79
Red.br.	19	20	21	22	23	24	25	26	27
a	38	39	40	41	42	43	44	45	46
b	73,73	75,67	77,62	79,56	81,50	83,44	85,38	87,32	89,26
Red.br.	28	29	30	31	32	33			
a	47	48	49	50	51	52			
b	91,20	93,14	95,08	97,02	98,96	100,9			

Skup mogućih rešenja obuhvata brojeve zuba zupĉanika ″a″ i ″b″ u opsegu 20÷100, što je, obzirom da garnitura raspoloživih izmenljivih zupĉanika nije definisana zadatkom, u skladu sa opštim uvodnim napomenama.

Sad je aktuelno pitanje koje od moguća 33 rešenja izabrati. Napominje se još jednom da ako je zadata garnitura izmenljivih zupĉanika rešenje treba tražiti iskljuĉivo u okviru tih brojeva zuba. No, obzirom da to ovde nije sluĉaj, treba težiti rešenju sa što je moguće manjim brojem zuba zupĉanika ″a″ i ″b″, naravno, uz neophodan uslov taĉnosti.

Zato se, u prvom pokušaju, usvaja prvo moguće rešenje: $a = 20$, $b = 39$, uz proveru taĉnosti:

$$tg\alpha = \frac{a}{b} \cdot \frac{1}{5{,}89049} \quad \Rightarrow \quad \alpha = arctg\left(\frac{a}{b} \cdot \frac{1}{5{,}89049}\right)$$

odnosno: $$2\alpha = 2arctg\left(\frac{a}{b} \cdot \frac{1}{5{,}89049}\right)$$

Za konkretan sluĉaj je:

$$2\alpha = 2arctg\left(\frac{20}{39} \cdot \frac{1}{5{,}89049}\right) = 9{,}9511\,°$$
$$2\alpha = 9°57`4``$$

a to znaĉi da će zahtevani ugao vrha konusa biti manji za $2`56``$, i pošto je to u dozvoljenim granicama (zadato da greška bude manja od 5'), rešenje zadovoljava.

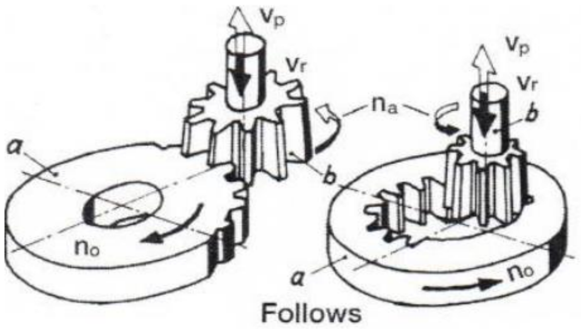
Prema istoj proceduri se odreĊuju brojevi zuba zupĉanika ″a″ i ″b″ za sluĉaj drugog graniĉnog ugla vrha konusa $2\alpha = 60°^{\pm 5`}$.
Jedno od mogućih rešenja je: $a = 68,\ b = 20$, pri ĉemu je:

$$2\alpha = 2arctg\left(\frac{68}{20} \cdot \frac{1}{5{,}89049}\right) = 59{,}9872\,° = 59°59`14``$$

a to znaĉi, ispravno rešenje obzirom da će ugao vrha konusa biti manji za $46``$

3 Izrada zupčanika na rendisaljkama tipa Felouz (Fellows)

Izrada zupĉanika na rendisaljkama tipa Felouz je jedna od metoda koja je bazirana na relativnom kotrljanju, a koja kao alat koristi kružni zupĉasti nož koji predstavlja višeprofilni alat u vidu zupĉanika. Za razliku od Mag metodena ovim tipovima rendisaljke se pored zupĉanika sa spoljašnjim ozubljenjem, mogu izraĊivati i cilindriĉni zupĉanici sa unutrašnjim ozubljenjem (slika 4).



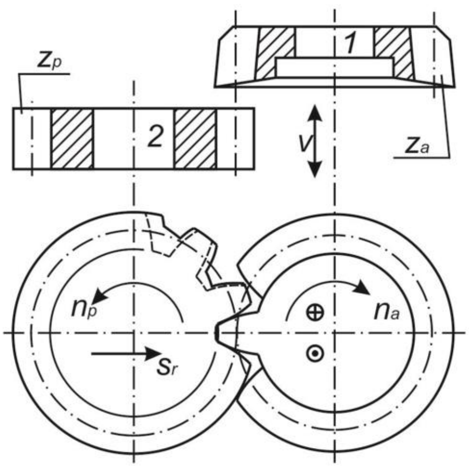
Slika 4 Izrada zupčanika sa spoljašnjim i unutrašnjim ozubljenjem

Na slici 5 je šematski prikazan princip izrade spoljašnjeg ozubljenja na rendisaljkama tipa Felouz. Alat (1) izvodi glavno pravolinijsko kretanje u vertikalnom pravcu uz istovremeno pomoćno obrtno kretanje.

Radni predmet (2) izvodi takoĊe pomoćno obrtno kretanje i ova dva kretanja , koja se izvode kontinualno, ostavruju relativno kotrljanje izmeĊu alata i radnog predmeta.

Radni hod se obavlja obiĉno pri kretanju alata na dole, a u poĉetku rada primiĉe se radni predmet radijalno prema alatu do odreĊene dubine uz istovremeno vertikalno kretanje alata i uz relativvno kotrljanje. Ovo radijalno primicanje radnog predmeta može biti izvedeno do pune dubine ili samo do izvesne dubine, u zavisnosti od toga da li je predviĊena samo gruba obrada ili i završna.

Pošto je u toku primicanja radnog premeta već ostalo obrtanje alata i radnog predmeta za nekoliko zubaca, to će ovi zubi biti izraĊeni sa nepotpuni profilom, tako da je za izradu jednog zupĉanika potrebno nešto više od jednog obrta radnog predmeta, da bi se i ovi zubi završili ili nešto više od dva ili tri obrta (za sluĉaj grube i završne obrade). Radijalno primicanje radnog predmeta reguliše se pomoću jedne promenjive bregaste ploĉe (sa jednim, dva ili tri brega) koja po završenoj obradi dejstvom odgovarajućeg mehanizma automatski zaustavlja mašinu. Da se obraĊena površina zuba ne bi oštetila pri povrtanom hodu alata, odmiĉe se radni predmet od alata pre poĉetka povratnog hoda da bi se po završenom povratnom hodu opet vratio u svoj poĉetni položaj.

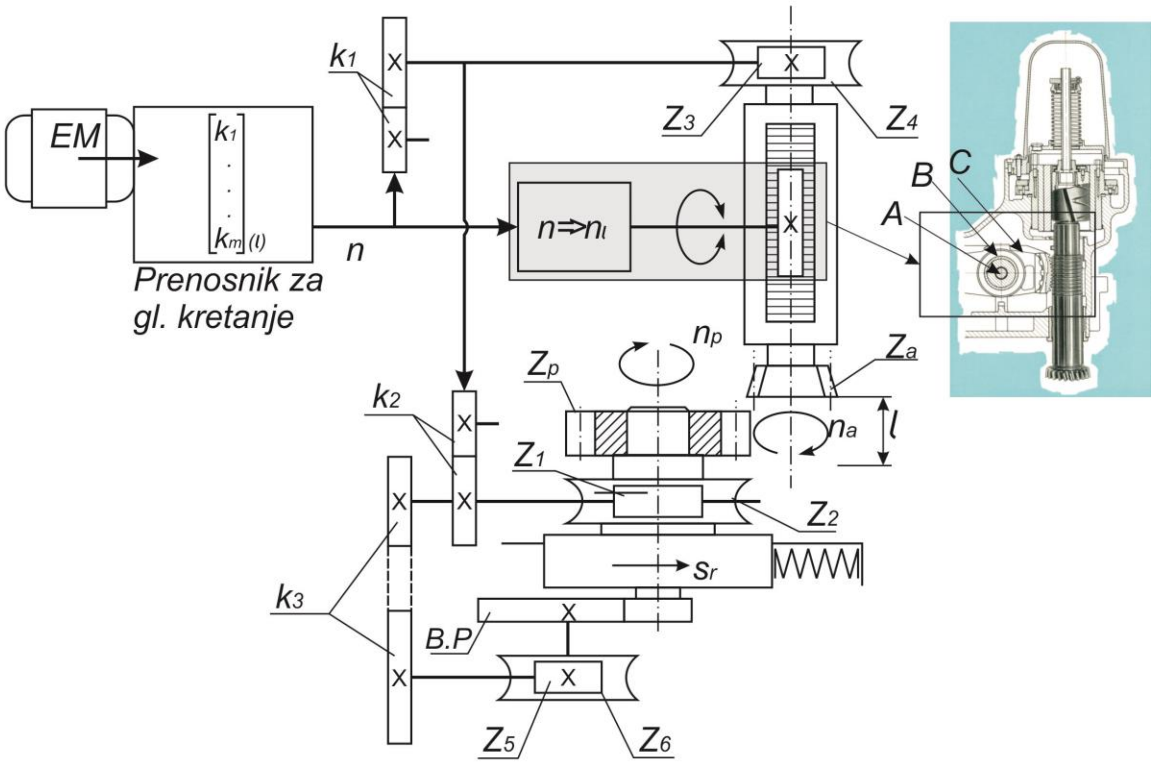


Slika 5 Princip izrade ozubljenja na rendisaljkama tipa Felouz

Pored glavnog kretanja alata pri radnom hodu na dole, ponekad se radni hod obavlja i na gore, pogotovo kod većih zupĉanika, pri ĉemu je rezanje mirnije i kvalitet obraĊene površine je bolji, a postojanost alata veća.

A) Glavno kretanje – Pravolinijsko kretanje alata

Kinematska šema rendisaljke tipa Felouz prikazana je na slici 6. Glavno kretanje se ostvaruje prenosom sa elektromotora preko prenosnika za glavno kretanje na vratilo krivajnog mehanizma (A) na kome se nalazi disk (B) sa ekscentrično postavljenom polugom (C), tako da disk zajedno sa polugom čine prosti krivajni mehanizam. Pretvaranje obrtnog u pravolinijsko kretanje alata se vrši krivajnim mehanizmom i zupčanikom sa zupčastvom letvom (D).



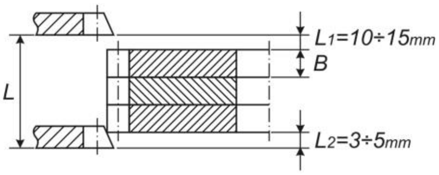
Slika 6 Kinematska šema rendisaljke tipa Felouz

Kinematski lanac za definisanje glavnog kretanja, odnosno, brzine rezanja prema slici 6 glasi:

$v = 2 \cdot L \cdot n_L;\ n_L = n;\ v = 2 \cdot L \cdot n$,

odnosno,

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ v_m \end{bmatrix} = 2L \cdot n_{em} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_L ; \quad [m/\min]$$



Slika 7 Definisanje dužine hoda alata

Dužina hoda alata prema slici 7 zavisi od širine zupčanika (*B*) (radnog predmeta), broja zupčanika koji se istovremeno izraĊuju (i) i potrebnih dodatka za ulaz i izlaz alat iz radnog predmeta (L_1) i (L_2) i definisana je kao:

$$L = L_1 + i \cdot B + L_2 \leq L_{\max};\ L_{\max} = 2 \cdot r$$

Maksimalna dužina hoda alata L_{max} je geometrijska karakteristika mašine i zavisi od poluprečnika krivaje (*r*). Maksimalni broj zupčanika koji se istovremeno mogu obraĊivati ovom metodom je:

$$i \leq \frac{L_{\max} - (L_1 + L_2)}{B}$$

B) Pomoćno kretanje – tangencijalni pomak (obrtanje alata)- Prva komponenta relativnog kotrljanja

Obrtno kretanje alata mora biti u zavisnosti sa obrtanjem vratila krivajnog mehanizma. Prema tome, obrtanje alata se dobija sa vratila krivajnog mehanizma preko grupe izmenljivih zupĉanika k_1, puža i pužnog toĉka (z_3 i z_4) (slika 6). Brzina pomoćnog kretanja predstavlja dužinu onog luka merenog po podeonom krugu alata za koju se alat okreće pri jednom dvostrukom hodu.

$$\hat{l} = s_t = D_{0a} \cdot \pi \cdot n_a; \quad n_a = \frac{s_t}{D_{0a} \cdot \pi}$$

Kinematski lanac, koji povezuje pravolinijsko kretanje alata i obrtanje alata (n_a) prema slici 6 glasi:

$$n_a = n \cdot k_1 \cdot \frac{z_3}{z_4}; \; odnosno \; \frac{s_t}{D_{0a}\pi} = 1 \cdot k_1 \cdot \frac{z_3}{z_4}$$

Tangencijalni pomak se kao i kod Mag metode kreće od 0,1 do 0,35 [mm/dh], pri ĉemu se veće vrednosti odnose na grubu obradu. Grupa izmenljivih zupĉanika k_1 služi za regulisanje veliĉine pomoćnog kretanja alata pri relativnom kotrljanju koje odgovara jednom duplom hodu. Izmenljivi zupĉanici u ovom kinematskom lancu se odreĊuju kao:

$$k_1 = \frac{a_1}{b_1} = \frac{s_t}{D_{0a}\pi} \cdot \frac{z_3}{z_4}$$

C) Pomoćno kretanje –obrtanje radnog predmeta- Druga komponenta relativnog kotrljanja

Radi ostvarenja relativnog kotrljanja izmeĊu alata i radnog predmeta njihova obrtna kretanja moraju biti povezana. Obrtno kretanje radnog predmeta se dobija prenosom sa puža i pužnog toĉka (z_3 i z_4), preko gupe izmenljivih zupĉanika k_2 i pužnog prenosnika (z_1 i z_2) (slika 6). Prema slici 6 kinematski lanac, koji povezuje obrtanje alata (n_a) i obrtanje radnog predmeta (n_p) prema slici 6 glasi:

$$n_p = n_a \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2}; \quad \frac{n_p}{n_a} = \frac{z_a}{z_p}$$

odnosno,

$$\frac{z_a}{z_p} = \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2};$$

Grupa izmenljivih zupĉanika k_2 reguliše broj obrta radnog predmeta za jedan obrt alata s obzirom na njihove brojeve zuba, pa odreĊivanje ove grupe izmenljivih zupĉanika zahteva apsolutnu taĉnost. Iz prethodne relacije je:

$$k_2 = \frac{a_2}{b_2} = \frac{z_a}{z_p} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_1};$$

D) Pomoćno kretanje –obrtanje bregaste ploče- Radijalno primicanje radnog predmeta

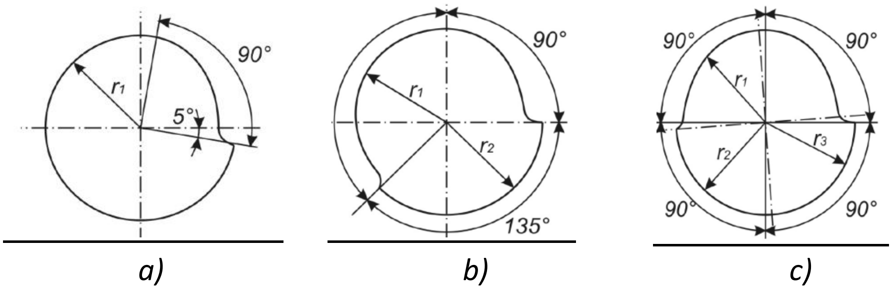
Sa vratila pužnog prenosnika (z_1 i z_2) odvodi se kretanje preko grupe izmenljivih zupĉanika k_3 i pužnog prenosnika (z_5 i z_6) na bregastu ploĉu (B.P.) (slika 6) koja vrši primicanje, odnosno, odmicanje radnog predmeta od alata. Kinematski lanac za ovo kretanje prema slici 6 glasi:

$$n_{bp} = n_p \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6};$$

Grupa izmenljivih zupĉanika k_3 zajedno sa bregastom ploĉom služi za regulisanje radijlanog primicanja radnog predmeta, odnosno, obezbeĊuju izradu pune dubine boka zuba zupĉanika, pa je za njihovo odreĊivanje potrebna visoka taĉnost. Iz prethodne relacije je:

$$k_3 = \frac{a_3}{b_3} = \frac{n_{bp}}{n_p} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5};$$

Prenosni odnos izmeĊu obrtanja bregaste ploĉe (n_{bp}) i obrtanja radnog predmeta (n_p) zavisi od broja bregova na bregastoj ploĉi (slika 8).



Slika 8 Bregasta plača sa: a) jednim, b) dva, c) tri brega

<u>*Bregasta ploča sa jednim bregom*</u>

Ukoliko bregasta ploĉa ima jedan breg, znaĉi da se zupĉanik (radni predmet) obraĊuje u jednom prolazu. Prema tome, sa slike 8a prenosni odnos izmeĊu bregaste ploĉe i radnog predmeta biće:

$$\frac{n_{bp}}{n_p} = \frac{270^\circ}{360^\circ + \left(3^\circ \div 5^\circ\right)}$$

ili drugim reĉima, dok se bregasta ploĉa obrne za 270°, radni predmet mora da se okrene za 365° da bi se zubi obradili zubi sa nepotpunim profilom kao šti je objašnjeno na početku ovog potpoglavlja.

<u>*Bregasta ploča sa dva brega*</u>

U ovom sluĉaju reĉ je o dva prolaza, odnosno prema slici 8*b* dok se bregasta ploĉa obrne za 135°, radni predmet mora da se okrene za 365° da bi se napravio jedan prolaz.

$$\frac{n_{bp}}{n_p} = \frac{135^\circ}{360^\circ + \left(3^\circ \div 5^\circ\right)}$$

<u>*Bregasta ploča sa tri brega*</u>

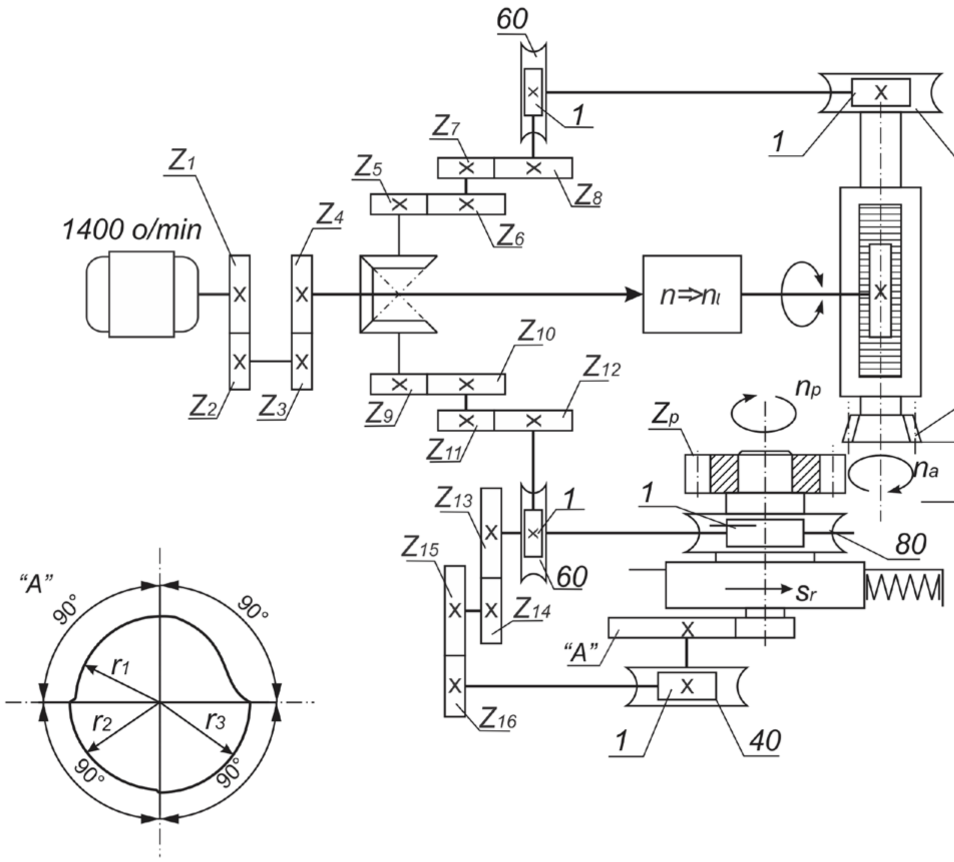
Bregasta ploĉa sa tri brega se obiĉno koristi u sluĉajevima kada se zahteva visok kvalitet obraĊene površine, jer se obrada odvija u tri prolaza. Prema slici 8*c* prenosni odnos će biti:

$$\frac{n_{bp}}{n_p} = \frac{90^\circ}{360^\circ + \left(3^\circ \div 5^\circ\right)}$$

Primer FELOUZ metoda: *Na rendisaljki za ozubljenje, kinematske strukture prema datoj skici, treba izraditi cilindrični zupčanik visokog kvaliteta obrađene površine širine 25mm od čelika, sa 33 prava zuba modula 2mm, odgovarajućim alatom sa 30 zuba. Ostali potrebni podaci su dati na priloženoj kinematskoj šemi.*

Potrebno je:

a) Odrediti brojeve zuba svih potrebnih izmenljivih zupčanika iz garniture Z=20 – 100,.



Slika 9 Principijenla kinematska šema rendisaljke tipa FELOUZ

Rešenje:

Pri izradi zupĉanika sa pravim zubima na rendisaljci tipa Felouz potrebna kretanja su:

- Glavno kretanje *v* – pravolinijsko vertikalno kretanje alata
- Tangencijlani pomak s_t (obrtanje alata) –, tj. pomoćno kretanje što ujedno prestavlja prvu komponenetu relativnog kotrljanja.
- Obrtanje radnog predmeta n_p – pomoćno kretanje, što je druga komponeneta relativnog kotrljanja
- Pomoćno kretanje-obrtanje bregaste ploĉe n_{bp} – radijalno primicanje radnog predmeta ka alatu

a) Glavno kretanje – Pravolinijsko kretanje alata

$$v = 2 \cdot L \cdot n \Rightarrow v = 2 \cdot L \cdot k_1$$

Brzina rezanja za ĉelik se kreće u granicama od 12 do 20 m/min. Usvojena bruna rezanja iznosi v = 15 m/min. Pošto se izraĈuje jedan zupĉanik, dužina hoda alata je.

$$L_{\max} = 1 \cdot 25 + 10 + 5 = 40\ [mm] = 0,04\ [m]$$

pa će prenosni faktor izmenljivih zupĉanika koji regulišu brzinu rezanja biti:

$$k_1 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{v}{2 \cdot L \cdot n_{em}} = \frac{15}{2 \cdot 0,04 \cdot 1440} = 0,1302 = k_{teor.}$$

Pošto, u prethodnoj relaciji imamo ĉetiri nepoznata zupĉanika, prvo se usvaka prenosni faktor za jednu grupu zupĉanika kao:

$\frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{3}$, *pa će onda* $\frac{z_3}{z_4} = 3 \cdot 0{,}1302 = 0{,}3906$, zupĉanici z_3 i z_4 se dobijaju iterativnim postupkom kao:

$$\frac{z_3}{z_4} = 0{,}3906, \ odnosno, \ z_4 = \frac{z_3}{0{,}3906}$$

z_3	20	21	22	23
z_4	51,2	53,7	56,3	58,9

Pošto ovo kretanje zahteva solidnu tačnost (<10%) usvaja se da je:

$$\frac{z_3}{z_4} = \frac{23}{59}, \ odnosno, \ \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{3} = \frac{25}{75}$$

$$k_1 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{25}{75} \cdot \frac{23}{59} = 0{,}1299 = k_{stv.}$$

Provera:

$$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\% = \left| \frac{0{,}1299 - 0{,}1302}{0{,}1299} \right| \cdot 100\% = 0{,}23\% < 10\%$$

b) Pomoćno kretanje – tangencijalni pomak (obrtanje alata

Obrtanje alata se povezuje sa obrtanjem vratila krivajnog mehanizma, pa će prema datoj kinematskoj šemi biti.

$$n_a = n \cdot k_2 \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{40};$$

S druge strane je: $n_a = \frac{s_t}{D_{0a} \cdot \pi}$

Grupa izmenljivih zupĉanika k_2 treba odrediti tako da omogući veliĉinu pomoćnog kretanja alata s_t =0,1 mm/dh, zbog toga što se traži visok kvalitet obraĈene površine.

Iz prethodne dve relacije se dobija:

$$k_2 = \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = \frac{0{,}1}{2 \cdot 30 \cdot \pi} \cdot 60 \cdot 40 = 1{,}2738 = k_{teor.}$$

Ako se usvoji da je z_5/z_6 = 2, onda je z_7/z_8 = 1,2738/2=0,6369, pa će $z_8 = \frac{z_z}{0{,}6369}$

z_7	20	21	22	24
z_8	31,4	32,9	34,5	37,6

Ovo kretanje zahteva solidnu tačnost (<10%) pa se usvaja da je:

$$\frac{z_7}{z_8} = \frac{21}{33}, \ odnosno, \ \frac{z_5}{z_6} = 2 = \frac{44}{22}$$

$$k_2 = \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = \frac{21}{33} \cdot \frac{44}{22} = 1{,}2727 = k_{stv.}$$

Provera:

$$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\% = \left| \frac{1{,}2727 - 1{,}2738}{1{,}2727} \right| \cdot 100\% = 0{,}08\% \ll 10\%$$

c) Pomoćno kretanje –obrtanje radnog predmeta

Obrtno kretanje radnog predmeta je povezano sa obrtanjem alata, pa je prema zadatoj kinematskoj šemi:

$$n_p = n_a \cdot \frac{40}{1} \cdot \frac{60}{1} \cdot \frac{z_8}{z_7} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot k_3 \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{80}; \quad \frac{n_p}{n_a} = \frac{z_a}{z_p} = \frac{30}{33}$$

Pošto ovaj kinematski lanac obezbeĊuje da se dobije tačan broj zuba, onda izmenljive zupčanike treba odrediti sa apsolutnom tačnošću. nakon sreĊivanja i zamene vrednosti u prethodnu relaciju dobija se.

$k_3 = \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{30}{33} \cdot \frac{21}{33} \cdot \frac{44}{22} \cdot 2$, proširivanje i skraćivanje razlomaka dobijaju se potrebni zupčanici kao:

$$k_3 = \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} = \frac{30}{33} \cdot \frac{7 \cdot 4 \cdot 2}{22} = \frac{30}{33} \cdot \frac{56}{22}$$

Pošto u garnituri postoji samo po jedan zupčanik, a zupčanici z_{10} i z_{12} su isti kao i zupčanici z_8 i z_6, mora se izvršiti korekcija na nekim od njih. Zabog apsolutne tačnosti za z_{11}/z_{12} i z_9/z_{10}, najbolje je korigovati zupčanike z_5/z_6 i z_7/z_8 jer zahtevaju solidnu tačnost.

Usvaja se

$$k_2 = \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = \frac{20}{31} \cdot \frac{52}{26} = 1,2903 = k_{stv.}$$

Provera:

$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\% = \left|\frac{1,2903 - 1,2738}{1,2903}\right| \cdot 100\% = 1,28\% < 10\%$, pa novo izabrani zupčanici odgovaraju zahtevu tačnosti za potrebni kinematski lanac.

d) Pomoćno kretanje –obrtanje bregaste ploče

Obrtanje bregaste ploče mora biti sihronizovana sa obrtanjem radnog predmeta, kako bi se obezbedilo radijalno primizanje radnog predmeta, odnosno izrada pune dubine profila zubaca zupčanika. Prema priloženoj kinematskoj šemi je:

$$n_{bp} = n_p \cdot \frac{80}{1} \cdot k_4 \cdot \frac{1}{40}; \; odnosno,$$

$$k_4 = \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{n_{bp}}{n_p}$$

Pošto se traži visok kvalitet obraĊene površine, zupčanik će se izraĊivati u tri prolaza, pa se usvaja bregasta ploča sa tri brega. Uzimajući u obzir relaciju (93), prethodna relacije će biti:

$$k_4 = \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{90}{365} = 0,1232 = k_{teor.}$$

Analogno prethodnim slučajevima:

$$\frac{z_{13}}{z_{14}} = \frac{1}{3}, \; \frac{z_{15}}{z_{16}} = 3 \cdot 0,1232 = 0,3698$$

Jedno od mogućih rešenja je $z_{15}/z_{16} = 36/100$, ali se zbog potrebe za visokom tačnošću rešenje mora proveriti.

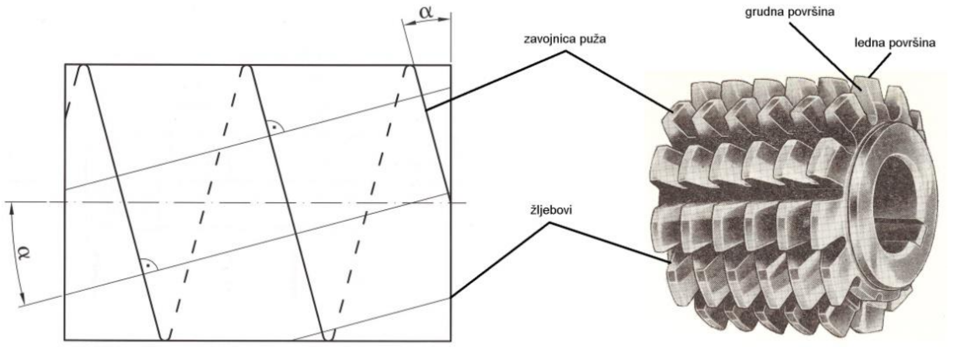
$$\frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} = \frac{24}{72} \cdot \frac{37}{100} = 0,1233 = k_{stv.}$$

Provera:

$$\Delta = \frac{k_s - k_t}{k_s} \cdot 100\% = \left|\frac{0,1233 - 0,1232}{0,1233}\right| \cdot 100\% = 0,08\% < 1\%$$

4 Izrada zupčanika na glodalici tipa Pfauter

Izrada zupĉanika glodanjem po pricnipu relativnog kotrljanja ostvaruje se na specijalnoj glodalici tipa PFAUTER. Alat je u ovom sluĉaju oblika puža, ĉija je osnovna geometrija zavojnica na plaštu cilindra. Obzirom da takav oblik nema reznu geometriju, ova zavojnica je izpresecana žljebovima (pod pravim uglom). Na taj naĉin su stvoreni zubi alata sa svojom grudnom površinom. Zavojnica puža sada predstavlja leĊnu površinu zuba. Da bi se i posle oštrenja alata po grudnoj površini saĉuvao profil zavojnice, leĊna površina je oblikovana u Arhimedovu spiralu leĊnim struganjem. Skica i izgled takvog alata prikazani su na slici 10.



Slika 10 Pužno (odvalno) glodalo

Osnovni parametri puža, tj. alata su:

- ugao zavojnice: α (što je ujedno i ugao žljebova, koji su takoĈe zavojni)
- broj poĉetaka zavojnice: i
- smer zavojnice: Desni (D), ili Levi (L)
- profil zavojnice: u zavisnosti od profila ozubljenja.

Alat prema svojoj geometriji, predstavlja glodalo i naziva se pužno, ili pužasto, odnosno ODVALNO glodalo, a mašina ODVALNA GLODALICA.
Kod ovih mašina alatki se pored ***glavnog obrtnog kretanja koje izvodi alat***, u zavisnosti od obrade javlja više pomoćnih kretanja. Raspoloživa kretanja na mašinama koje rade po metodi PFAUTER su (slika 11):

- Glavno kretanje – obrtanjem alata (n_a) se obezbeĊuje brzina rezanja "v" na preĉniku Da, tj. $n_a = v/(\pi\ D_a)$ Potrebne brzine rezanja u zavisnosti od materijala su prikazane u tabeli T1

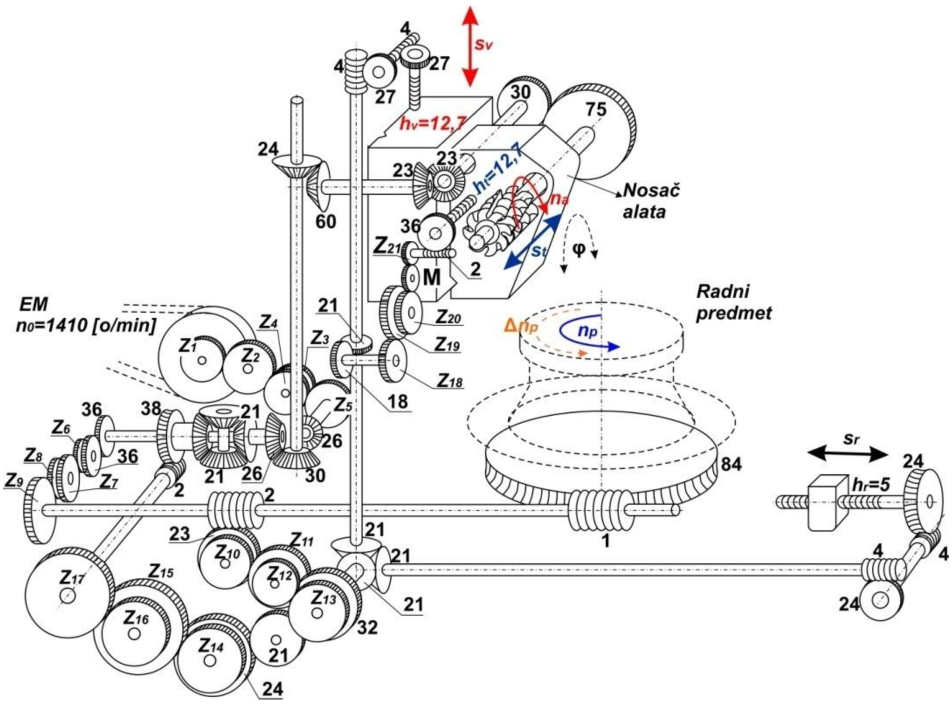
Tabela 1 Brzine rezanja pri izradi izubljenja po metodi Pfauter

Materijal obratka	Brzina rezanja [m/min]
Ĉelik σ_M<600 MPa	25 - 40
Ĉelik σ_M>600 MPa	20 - 30
SL	16 - 21
Bronza	25 - 50

Pomoćna kretanja

- Obrtanjem predmeta (n_p) – se obezbeĊuje relativno kotrljanje sa alatom, a dopunskim obrtanjem ($\boldsymbol{\Delta n_p}$) se ono, u sluĉaju potrebe, koriguje.
- Vertikalni pomak (s_v) – obezbeĈuje se osnovnim klizaĉem preko zavojnog vretena koraka $\boldsymbol{h_v}$. Na njemu je još jedan klizaĉ (popreĉni klizaĉ) koji se može zakretati za ugao φ (ugao naginjanja alata). ***Vertikalni pomak se kreće od 0,5 do 4 [mm/o]***

- Tangencijalni pomak (s_t) – ("tangencijalni" se zove zato što pri uglu φ = 0 obezbeĊuje kretanje u pravcu tangente na radni predmet). Ovaj klizaĉ se pokreće zavojnim vretenom koraka $\boldsymbol{h_t}$. ***Tangencijalni pomak se kreće od 0,2 do 1,8 [mm/o]***
- Radijalni pomak (s_r) – obezbeĊuje kretanje radnog predmeta u pravcu alata (radijalni pravac u odnosu na obradak) pomoću klizaĉa, ĉiji je pogon zavojno vreteno koraka $\boldsymbol{h_r}$.. ***Radijalni pomak se kreće od 0,3 do 1,25 [mm/o]***

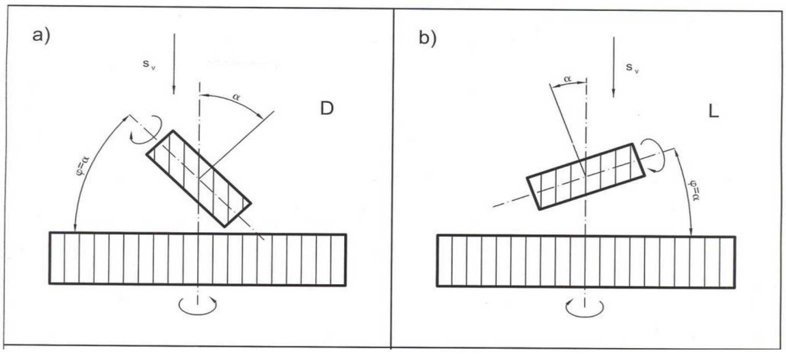


Slika 11 Kinematska struktura glodalice za izradu ozubljenja tipa PFAUTER

Pomoćno obrtno kretanje je strogo zavisno od glavnog, tako da se pogon za ovo kretanje uzima direktno sa glavnog vretna. Obzirom da odnos obrtanja alata (glavno kretanje) i radnog predmeta koji se izraĊuje zavisi od broja zuba zupĉanika i broja poĉetaka zavojnice alata, to se javlja potreba za velikim brojem razliĉitih prenosnih odnosa. Usled toga, prenosnici za pomoćno kretanje treba da obezbede sve prenosne odnose pomoću promenljivih zupĉanika. Aksijalno, radijalno pomeranje alata i tangencijalno pomeranje radnog predmeta, koje zavisno od pomoćnog obrtnog kretanja, ostvaruje se preko odgovarajućih prenosnika za pomoćno kretanje i mehanizama za pretvaranje obrtnog u pravolinijsko. Pored toga, za izradu zupĉanika sa kosim zubima potreban je i kinematski sistem za ubrzanje ili usporenje obrtanja radnog predmeta u cilju ostvarivanja potrenog ugla nagiba zuba zupĉanika koji se izraĊuje. Ovaj deo prenosnika je rešen sa diferencijalnim prenosnikom a izveden je na principu izmenljivih zupĉanika. Pogon za ovo kretanje koje se preko diferencijala predaje odgovarajućem prenosniku za pomoćno kretanje uzima se od pogonskog vratila.

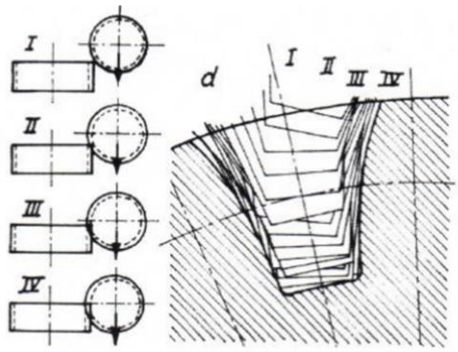
4.1 Izrada zupčanika sa pravim zubima na glodalici tipa Pfauter

Alat izvodi glavno obrtno kretanje uz istovremeno pomoćno pravolinijsko kretanje paralelno osi radnog predmeta. Pri izradi zupĉanika sa pravim zubima osa alata je nagnuta u odnosu na ravan podeonog kruga zupĉanika za ugao nagiba zavojnice glodala (α), da bi se pri vertikalnom kretanju alata poklopili pravci zavojnice alata i zuba zupĉanika. Ako alat ima desnu zavojnicu onda je nagnut za ugao (α) prema slici 12*a*. Za izradu zupĉanika sa pravim zubima sa alatom koji ima levu zavojnicu alat je nagnut u odnosu na radni predmet za ugao (α) prema slici 12*b*



Slika 12 Položaj alata u odnosu na radni predmet pri izradi zupčanika sa pravim zubima

Na slici 13 je prikazano nekoliko faza izrade zupĉanika sa pravim zubima. Pre poĉetka rada primiĉe se radni predmet prema alatu za potrebnu dubinu zuba. Zatim poĉinje vertikalno kretanje alata koji u poĉetnom delu zahvata samo jedan deo širine zuba zupĉanika obraĊujući po toj širini ceo venac do pune dubine. Pri daljem kretanju alata proširuje se širina venca, dok po napuštanju alata ne bude ceo venac, odnsno zupĉanik izraĈen.



Slika 13 Princip izrade zupčanika sa pravim zubima na glodalici tipa Pfauter

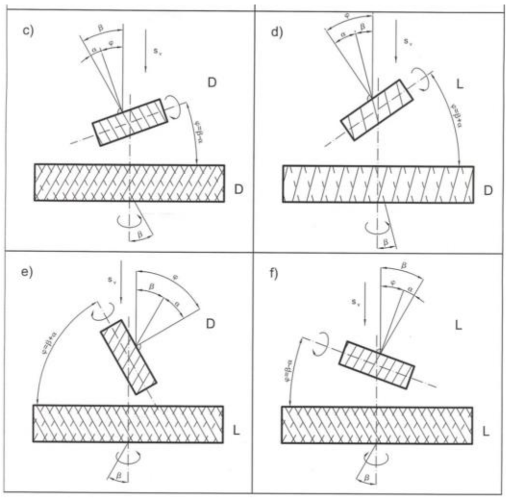
Sam rad alata sa materijalom u pogledu kretanja odgovara radu puža i pužnog toĉka što zanĉi da se pri jednom obrtu radnog predmeta alat mora okrenuti Z puta , ako je Z broj zuba zupĉanika koji se izraĊuje, i ako alat ima jednu zavojnicu. Pri izradi zupĉanika sa pravim zubima potrebna kretanja su:

- obrtanje alata (glodala) n_a – , tj. glavno kretanje, što ujedno predstavlja i jednu komponentu relativnog kotrljanja
- obrtanje predmeta n_p – , tj. pomoćno kretanje, što je druga komponenta relativnog kotrljanja
- vertikalno kretanje – pomak s_v, tj. pomoćno kretanje da bi se zupĉanik obradio po celoj širini.

Detaljni kinematski lanci za nabrojana kretanja će biti detaljno prikazani na konkretnom primeru u narednom delu.

4.2 Izrada zupčanika sa kosim zubima na glodalici tipa Pfauter

Postupak izrade kosih zuba se razlikuje od prethodnog po tome što se pri nagibu ose alata uzima u obzir i ugao zuba zupĉanika koji se izraĊuje. Ugao naginjanja ose alata u odnosu na ravan podeonog kruga zupĉanika φ – zavisi od ugla zavojnice alata i pravca zuba zupĉanika (obzirom da oni mogu biti, osim pravih i sa kosim zubima – pod uglom β). Na slici 14 je prikazano naginjanje alata smera zavojnice desnog (D) (c i e) i levog (L) (d i f) pri izradi zupĉanika sa kosim zubima i to desnog smera (D) (c i d), odnosno levog (L) (e i f). Prema tome, ako je smer zupĉanika desni i smer zavojnice desni, kao i u



Slika 14 Položaj alata u odnosu na radni predmet pri izradi zupčanika sa kosim zubima

sluĉaju da je smer zuba levi i smer zavojnice levi, ugao naginjanja alata je $\varphi = \beta - \alpha$. U sluĉajevima pod d) i e) na slici 14 ugao naginjanaja alat je $\varphi = \beta + \alpha$.

Na osnovu prethodno se može zakljuĉiti da je pri istim smerovima potreban manji ugao zakretanja φ , nego u sluĉajevima razliĉitih smerova zuba zupĉanika i zavojnice alata.
Proces obrade – rezanja, nesmetano se odvija do ugla naginjanja alata oko (22÷23)°, tako da je u sluĉaju izrade zupĉanika sa kosim zubima, većeg ugla β poželjno, a nekad i neophodno, obradu vršiti alatom istog smera zavojnice kako bi se naginjanje alata što više smanjilo. Osnovni oblik alata je sa desnom zavojnicom, ali zbog pomenutih razloga postoje i sa levom zavojnicom.
Što se tiĉe broja poĉetaka zavojnice alata (i_a), osnovni oblik je jednim poĉetkom. Obzirom da kod istog preĉnika alata povećanje broja poĉetaka dovodi do povećanja ugla α (što povoljno utiĉe na smanjenje ugla naginjanja alata – φ kod istih smerova) postoje i alati sa zavojnicama sa više poĉetaka.
Pri izradi zupĉanika sa kosim zubima potrebna kretanja su ista kao i kod zupĉanika sa pravim zubima, s tim da usled razike u kosini zuba ovde je potrebno još i dopunsko obrtanje radnog predmeta. Dopunsko obrtanje potrebno pri izradi zupĉanika sa kosim zubima ostavruje se posredstvom diferencijalnog prenosnika. Normalno se na glodalici izraĊuju zupĉanici po metodi suprtnosmernog glodanja ali se kod novijh mašina pojavljuju i konstrukcije sa mogućnošću istosmernog glodanja.
U narednom delu će biti prikazani kinematski lanci potrebni za izradu cilindriĉnih zupĉanika sa pravim i kosim zubima.

Primer 1: *Na odvalnoj glodalici priložene kinematske strukture na slici 15 treba izraditi po jedan zupčanik sa pravim i kosim zubima. Na raspolaganju su dva odvalna glodala odgovarajućeg modula.*

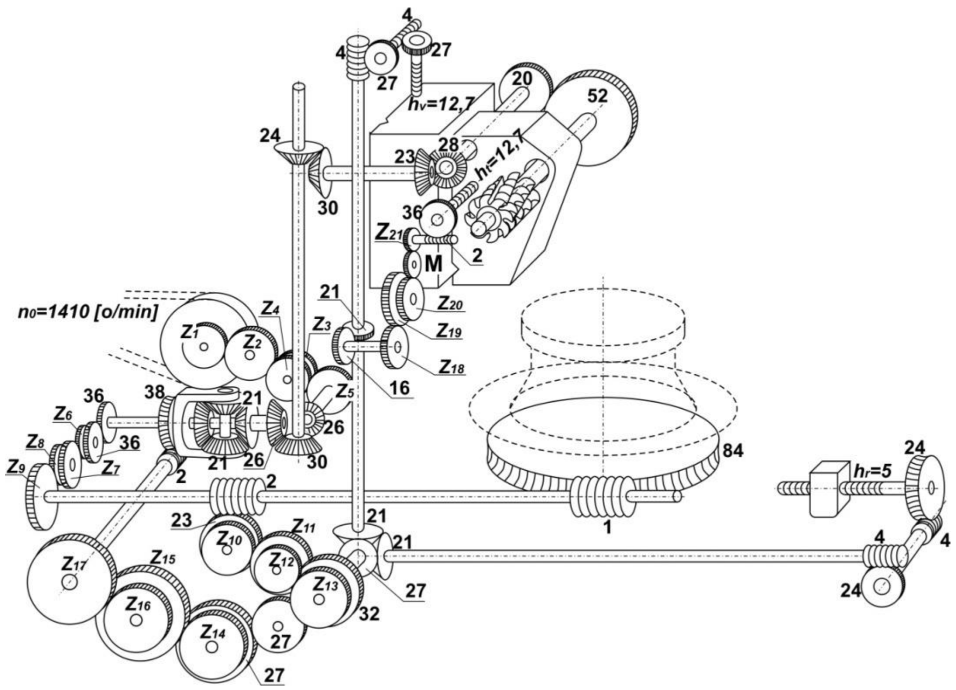
Podaci o zupčanicima	
- normalni modul:	3,5 mm
- ugao nagiba zuba:	22°
- smer zavojnice zuba:	desni
- broj zuba:	z_p=31
- širina zupĉanika:	25 mm
- materijal:	ĉelik σ_M>600 MPa

Podaci o alatima:	**alat I**	**alat II**
- normalni modul:	3,5 mm	3,5 mm
- broj početaka:	2	2
- broj zuba:	15	15
- teorijski preĉnik:	95,2 mm	95,2 mm
- smer zavojnice zuba:	levi	desni
- ugao zavojnice	4,216°	

Podaci o mašini:	
- najveći vertikalni hod:	600 mm
- najveći tangencijalni hod:	300 mm
- najveći radijalni hod:	300 mm
- ugao zakretanja vretena alata:	±25°
- raspoloživi izmenljivi zupĉanici:	po jedan komad zupĉanika broja zuba od 20÷110

Potrebno je:

a) izabrati alat tako da se sa istim alatom mogu izraĊivati ipravi i kosi zubi.
b) odrediti sve potrebne izmenljive zupĉanike za izradu zupĉanika sa pravim i kosim zubima



Slika 15 Principijelna kinematska šema glodalice tipa Pfauter za primer 1

Rešenje:

a) Izbor odgovarajućeg alata

U prvom delu zadatka je potrebno odrediti ugao naginjanja ose alata, na osnovu ĉega treba izabrati, koji će se alat koristiti pri izradi zahtevanih zupĉanika.

Zupčanik/Alat	$\varphi_{max} = \pm 25°$	φ
D/L	$\varphi = \beta + \alpha = 22° + 4{,}216°$	26,216°
D/D	$\varphi = \beta - \alpha = 22° - 4{,}216°$	**17,784°**

Prema prethodnoj tabeli u sluĉaju kada koristimo alat sa levom zavojnicom ugao naginjanja alata iznosi oko 26°, što je veće od maksimalno naginjanja ose vretena koje iznosi 25°. Usled toga se mora za izradu zupĉanika sa kosim zubima izabrati alat sa desnom zavojnicom jer osa naginjanja vretena u tom sluĉaju iznosi **17,784°<25°.** *U slučaju izrade zupčanika sa pravim zubima osa naginjnaja alata je jednaka uglu zavojnice, pa se isti alat može koristiti i za njihovu izradu.*

Određivanje potrebnih izmenljivih zupčanika za izradu zupčanika sa pravim zubima

b1) Glavno kretanja (n_a) – prva komponenta relativnog kotrljanja

$$n_a = n_0 \cdot k_{uk} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2}\cdot\frac{z_2}{z_3}\cdot\frac{z_4}{z_5}\cdot\frac{26}{30}\cdot\frac{24}{30}\cdot\frac{23}{28}\cdot\frac{20}{52}$$ (z_2 je meĊuzupĉanik)

sa druge strane je:

$n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi}$, za ĉelik σM>600 MPa je v = 20 – 30 [m/min] , usvajamo: v=25 [m/min], pa je:

$$\frac{v}{D_a \cdot \pi} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_3}\cdot\frac{z_4}{z_5}\cdot\frac{26}{30}\cdot\frac{24}{30}\cdot\frac{23}{28}\cdot\frac{20}{52},$$

Ovde su nepoznati izmenljivi zupĉanici $z_1 \div z_5$:

$$\frac{z_1}{z_3}\cdot\frac{z_4}{z_5}=\frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0}\cdot\frac{30}{26}\cdot\frac{30}{24}\cdot\frac{28}{23}\cdot\frac{52}{20}=\frac{25}{95,2\cdot 10^{-3}\cdot\pi\cdot 1410}\cdot\frac{30}{26}\cdot\frac{30}{24}\cdot\frac{28}{23}\cdot\frac{52}{20}$$

$\frac{z_1}{z_3}\cdot\frac{z_4}{z_5}=0,27064$, (nije potrebna visoka taĉnost pri izraĉunavanju)

usvajamo: $\frac{z_1}{z_3}=\frac{1}{2}=\frac{20}{40}$ pa je $\frac{z_4}{z_5}=2\cdot 0,27064=0,54128$, $z_5=\frac{z_4}{0,54128}$

	21	22	23	24	25	26	....	45	**46**
	38,79	40,64	42,49	44,33	46,18	48,03	.....	83,13	**84,98**

usvajamo: $\frac{z_4}{z_5}=\frac{46}{85}$,

Provera:

$$\frac{z_1}{z_3}\cdot\frac{z_4}{z_5}=\frac{20}{40}\cdot\frac{46}{85}=0,27058$$

$$\Delta=\frac{0,27058-0,27064}{0,27058}\cdot 100\%=0,02\%\ll 10\%$$

Usvojeni zupĉanici su:

$$\boxed{z_1=20;\quad z_3=40;\quad z_4=46;\quad z_5=85}$$

b2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta – n_p

(to je ujedno i druga komponenta relativnog kotrljanja) Obzirom da komponente relativnog kotrljanja moraju biti sinhronizovane, tj. kinematski usklaĊene, sledi:

$n_p = n_a \cdot k_{uk}$,*tj.* $k_{uk}=\frac{n_p}{n_a}$

Odnos broja obrtaja predmeta i alata jednak je reciproĉnoj vrednosti njihovih brojeva zuba, tj. broja poĉetaka ako je u pitanju puž – što je ovde sluĉaj sa alatom.

Dakle:

$\frac{n_p}{n_a}=\frac{i_a}{z_p}$, pa prema tome sledi:

$$k_{uk}=\frac{n_p}{n_a}=\frac{i_a}{z_p}=\frac{2}{31}=\frac{52}{20}\cdot\frac{28}{23}\cdot\frac{30}{24}\cdot\frac{30}{26}\cdot k_d\cdot\frac{36}{36}\cdot\frac{z_6}{z_7}\cdot\frac{z_8}{z_9}\cdot\frac{1}{84}$$

Izmenljivi zupĉanici $z_6 \div z_9$ moraju se odrediti sa APSOLUTNOM TAĈNOŠĆU, obzirom da je ovo kinematski lanac relativnog kotrljanja. Rešenje se u ovakvim sluĉajevima nalazi skraćivanjem ili proširivanjem razlomaka sve dok se ne dobije proizvod dva koliĉnika brojeva u opsegu 20 ÷ 100. U skladu sa tim je:

$\frac{z_6}{z_7}\cdot\frac{z_8}{z_9}=\frac{2}{31}\cdot\frac{20}{52}\cdot\frac{23}{28}\cdot\frac{24}{30}\cdot\frac{26}{30}\cdot(-1)\cdot\frac{84}{1}$, (Diferencijal je tipa II za koga je $k_d=-1$ i $k_d^{`}=2$)

$$\frac{z_6}{z_7}\cdot\frac{z_8}{z_9}=(-)\frac{23\cdot 8}{5\cdot 31}=\frac{23}{31}\cdot\left(\frac{8}{5}\right)=\frac{23}{31}\cdot\frac{80}{50}$$

b3) Pomoćno kretanje: vertikalni pomak s_v

Oĉigledno je da ovo kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta $"n_p"$ i to baš za sluĉaj $n_p=1$. Stoga je:

$$s_v=h_v\cdot n_v\quad\left[\frac{mm}{o}\right]\quad\Rightarrow\quad\left[\frac{mm}{1\ obrtu\ \ predmeta}\right]$$

$$s_v = h_v \cdot n_p \cdot k_{uk} = h_v \cdot n_p \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{23} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{4}{27}$$

za usvojeni pomak $s_v = 1 \quad \left[\frac{mm}{o}\right]$ i $h_v = 12,7 \quad [mm]$ je:

$$\frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{s_v}{h_v} \cdot \frac{1}{84} \cdot \frac{23}{2} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{27}{4} = \frac{1}{12,7} \cdot \frac{1}{84} \cdot \frac{23}{2} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{27}{4}$$

$$\frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} = 0,38201$$

usvajamo: $\frac{z_{10}}{z_{11}} = \frac{1}{2} = \frac{21}{42}$ pa je $\frac{z_{12}}{z_{13}} = 2 \cdot 0,38201 = 0,76402 \Rightarrow z_{13} = \frac{z_{12}}{0,76402}$

z_{12}	~~21~~	22	~~23~~	24	25	26	27	28	29
z_{13}		28,79		31,41	32,72	34,03	35,33	36,64	37,95

usvajamo: $\frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{26}{34}$

Provera:

$$\frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{21}{42} \cdot \frac{26}{34} = 0,38235$$

$$\Delta = \frac{0,38235 - 0,38201}{0,38235} \cdot 100\% = 0,08\% \ll 10\%$$

Usvojeni zupĉanici su:

$$\boxed{z_{10} = 21 \quad ; \quad z_{11} = 42 \quad ; \quad z_{12} = 26 \quad ; \quad z_{13} = 34}$$

Postavljanjem svih izraĉunatih zupĉanika na odgovarajuća mesta na mašini, a skidanjem svih drugih koji u ovom sluĉaju ne trebaju $(z_{14} \div z_{21})$ izradiće se predviĊeni cilindriĉni zupĉanik sa pravim zubima.

<u>Određivanje potrebnih izmenljivih zupčanika za izradu zupčanika sa kosim zubima</u>

Pri izradi cilindriĉnih zupĉanika sa kosim zubima neophodna su sva tri razmatrana kretanja, a zbog jedine razlike u kosini zuba, potrebno je još i dopunsko obrtanje radnog predmeta.
Potrebna kretanja su, kao i usluĉaju izrade zupĉanika sa pravim zubima:

1. obrtanje alata
2. obrtanje predmeta
3. vertikalni pomak

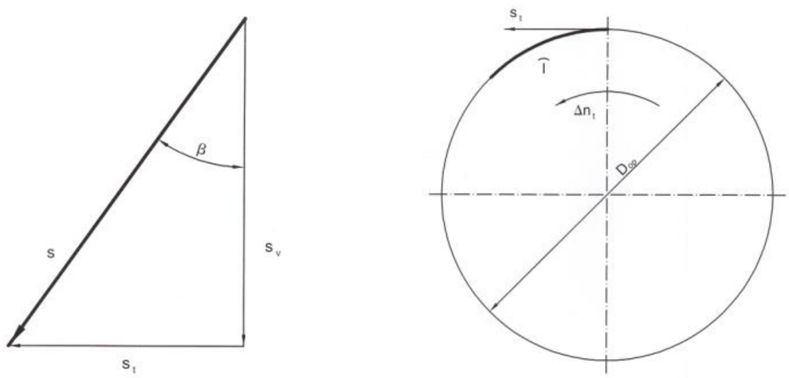
(ova kretanja za istu brzinu rezanja v=15 m/min) pri korišenju istog alata i izradu zupĉanika sa istim brojem zuba sa istim vertikalnim pomak s_v=1 mm/o su ista kao u prethodnom sluĉaju)

<u>4. dopunsko obrtanje predmeta Δn_p</u>

Zbog kosih zuba se alat u odnosu na predmet mora kretati ne vertikalno nego koso – pod uglom β. Ovakvo kretanje se kao rezultujuće, ostvaruje pomoću dve komponente:

- vertikalno kretanje s_v
- horizontalno kretanje s_t koje se naziva i "tangencijalno", jer se poklapa sa pravcem tangente na predmet.

Komponenta s_t se ne može ostvariti kretanjem alata jer je on nagnut za ugao zakretanja – φ u odnosu na pravac tangente na predmet, već se to dobija dopunskim obrtanjem predmeta $-\Delta n_p$ ("dopunsko" je, jer obrtanje n_p već postoji kao komponenta relativnog kotrljanja). Na slici 3.80 je prikazan šematski prikaz dopunskog obrtanja.



$$s_t = s_v \cdot tg\beta = h_v \cdot n_v \cdot tg\beta \qquad\qquad s_t = \widehat{l} = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$$

Slika 16 Šematski prikaz dodatno obrtanja radnog predmeta pri izradi zupčanika sa kosim zubima

Iz jednakosti kretanja s_t prema slici 16 je:

$h_v \cdot n_v \cdot tg\beta = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$, odnosno:

$$\frac{\Delta n_p}{n_v} = \frac{h_v \cdot tg\beta}{D_{op} \cdot \pi} = k_{uk} \ ,$$

$$k_{uk} = \frac{h_v \cdot tg\beta}{D_{op} \cdot \pi} = \frac{27}{4} \cdot \frac{27}{4} \cdot \frac{21}{27} \cdot \frac{32}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{2}{38} \cdot k_d^{`} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

U ovom izrazu je sve poznato, osim izmenljivih zupĉanika $z_{14} \div z_{17}$, tj.:

$h_v = 12,7 \ mm$; $\beta = 22°$; $k_d^{`} = 2$, (II tip diferencijala);

$D_{op} = \dfrac{m_n}{\cos\beta} \cdot z_1 = \dfrac{3,5}{\cos 22°} \cdot 31 = 117,02 \ [mm]$ zupĉanici $z_6 \div z_9$ su poznati, jer su odreĊeni pri rešavanju kinematskog lanca pri izradi zupĉanika sa pravim zubima:

$$\frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} = \frac{12,7 \cdot tg22°}{(117,02) \cdot \pi} \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{27}{32} \cdot \frac{38}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{31}{23} \cdot \frac{50}{80} \cdot 84$$

$$\frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} = 0,22339 \ ,$$

usvajamo: $\dfrac{z_{14}}{z_{15}} = \dfrac{1}{3} = \dfrac{28}{84}$,

Da bi se ostvario predviĊeni ugao β, potrebna je visoka taĉnost pri rešavanju ovog kinematskog lanca. Najbolje bi bilo postići apsolutnu taĉnost, ali je to nemoguće zbog prisustva broja π u izrazu. Dakle, rešenje treba biti ″što taĉnije – to bolje″, a dopuštena greška mora biti manja od 1%,pa je $\dfrac{z_{16}}{z_{17}} = 3 \cdot 0,22339 = 0,67017 = \dfrac{67}{100}$.

Provera:

$$\frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} = \frac{28}{84} \cdot \frac{67}{100} = 0,2233$$

$$\Delta = \frac{0,22333 - 0,22339}{0,22333} \cdot 100\% = -0,025\% < 1\%$$

Usvojeni zupĉanici su:

$$\boxed{z_{14} = 28 \quad ; \quad z_{15} = 84 \quad ; \quad z_{16} = 67 \quad ; \quad z_{17} = 100}$$