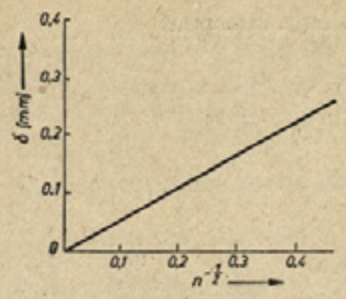


Sl. 6. *Oddaljenost maksimalne hitrosti v smeri osi x, merjena od valjeve stene δ (po Richardsonu)*

vamo tudi nastajajoče tlake ob čelni batni površini pri nihanjih bata v kratkih ceveh.

Odvisnost debeline mejne plasti je eksperimentalno ugotovil že Richardson (glej diagram — slika 6) in računsko opredelil Sexl z

$$n^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{\pi}{\nu}} \frac{1}{2{,}28} \delta$$

pri čemer je n število nihajev v sekundi. Seveda velja to le za dolge cevi, za kratke pa je treba δ in φ' ugotoviti eksperimentalno.

H kraju je treba še pripomniti, da spričo nihanja bata bistveno vpliva na potek pritiskov, kje so nameščeni zaporni oziroma razdelilni organi, oblika njihovih krmilnih odprtin ter velikost krmilnih odprtin v odvisnosti od položaja bata oziroma od hitrosti bata v valju. V tem sestavku sem se zadržal samo pri nihanjih tekočine v valju brez zapornih organov, vpliv le-teh pa sodi v posebno poglavje.

Literatura:

1. E. G. Richardson in E. Tyler: Proceedings of the Physical Society, London 42, 1 (1929).
2. H. Schlichting, Physikalische Zeitschrift 33, 327 (1932).
3. Th. Sexl: Zeitschrift für Physik 61, 349 (1930).

Avtorjev naslov: doc. ing. Nande Niklsbacher, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani
(začasno na: Faculty of Mech. Engineering, University of Khartoum, Sudan)

DK 621.833:513.6

Pomen cikličnih krivulj za zobnike

FELIKS LOBE

Uvod

Zobniki spadajo nedvomno med najbolj pomembne strojne elemente. Le malo strojev je, pri katerih ne bi bili uporabljeni zobniki. Kdaj je nastal in kdaj je bil uporabljen prvi zobnik, ni znano. Že Aristotel (roj. 384 pred našim štetjem) je opisal povrh zagozde, ročice, valja, škripca in kolesa tudi zobnike. Zobniki pa so morali biti v praksi znani že mnogo prej, ker Aristotel v svoji teoretični obdelavi mehaničnih osnovnih elementov ne bi bil govoril o zobnikih, če ne bi bili že splošno znani.

Arhimed (roj. 287 pred našim štetjem) pa je poznal in uporabljal že polžaste prenose, kombinirane z zobniškimi predležji, kakršne je uporabljal za dviganje težkih bremen.

Značilno je, da so v Indiji uporabljali za one čase precizne vijačne zobnike, izdelane iz lesa in montirane v preprosta stojala za prvo obdelavo bombaža. Tudi te naprave, ki so jih izdelovali posebno spretni in nadarjeni obrtniški umetniki iz ljudstva, izvirajo iz davnih časov pred našim štetjem.

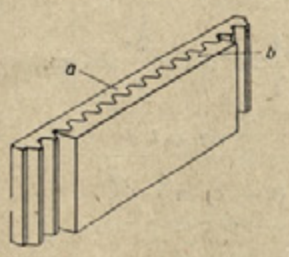
Že v 11., 12. in 13. stoletju so bili izdelani razni, deloma zelo komplicirani zobniški mehanizmi za ure. Pozneje so spretni urarski mojstri izdelali zobniške mehanizme, ki niso gibali le kazalcev za ure, temveč so v določenih razdobjih premikali razne figure in uvajali zvonjenje na uglašenih skupinah zvonov.

Med najpomembnejše inženirje vseh časov je treba šteti Leonarda da Vincija (1452—1519), ki je v svojih razpravah in slikah z neverjetno genialnostjo obdelal najrazličnejše oblike zobnikov in možnosti za njihovo uporabo.

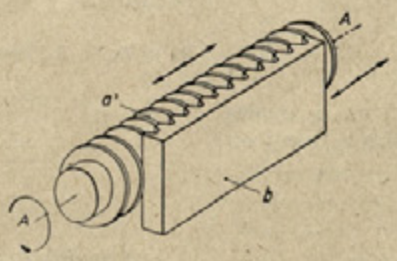
V naslednjih stoletjih so zobniške prenose uporabljali v najrazličnejših variantah pri ustrojih za dviganje bremen, za črpanje vode itd.

Ko so nastajali pogonski stroji, na primer Wattov (1781) parni batni stroj, parno cestno in pozneje tirnično vozilo Trevithicka (1803), parni ustroji za pogon parnikov Fultona (1807) itd., so bili neogibno potrebni in tudi v rabi zobniški prenosi.

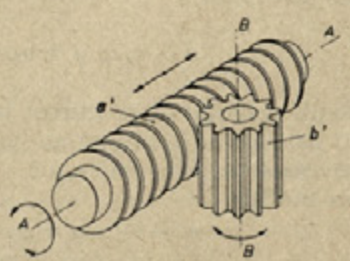
Parna turbina de Lavala (1889), ki je dosegla vrtilno hitrost tudi do 30 000 vrtljajev na minuto, je mogla gnati generator le preko ustreznega zobniškega pred-



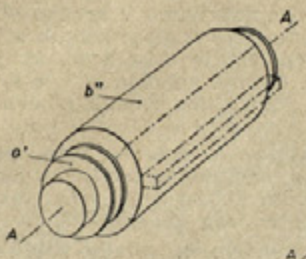
Slika 1



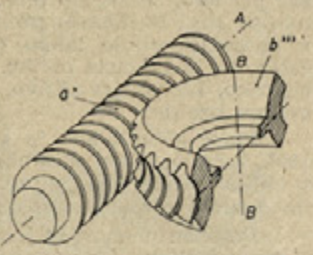
Slika 2



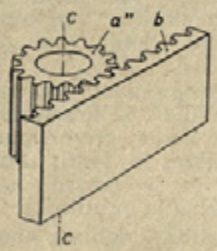
Slika 3



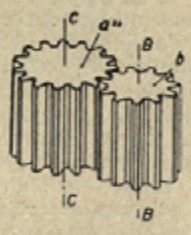
Slika 4



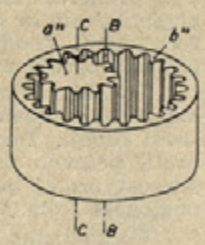
Slika 5



Slika 6



Slika 7



Slika 8

ležja. Dostikrat so uporabljali za redukcijo vrtilne hitrosti tudi pri tlačno- in hitrostno stopnjevanih enakotlačnih ter pri stopnjevanih nadtlačnih parnih turbinah zobniška predležja. Pri zgorevalnih motorjih so krmilne gredi gnane z zobniki. Pogostoma hitrost vrtenja teh motorjev ne ustreza direktno za nadaljnji pogon, temveč jo je treba na primer pri cestnih in tirničnih vozilih z večstopenjskimi zobniškimi reduktorji primerno zmanjšati. Tudi pri sodobnih električnih lokomotivah je treba z zobniškimi prenosi zmanjšati vrtilno hitrost pogonskih elektromotorjev.

V skoraj nepregledni obilici primerov, pri katerih uporabljamo zobniške prenose, ne smemo prezreti tehnoloških obdelovalnih strojev, pri katerih imamo včasih zobnike z ozobji z velikimi moduli npr. pri mehaničnih prešah za preoblikovanje pločevin. Kot posebne primere lahko navedemo žepne oziroma zapestne ure, ki so pravi dovršeni umotvori precizne mehanike z zobniki, ki imajo najfinejša in najnatančnejša ozobja.

Konstrukcijske oblike zobnikov

Oblike raznih zobnikov najlaže spoznamo tako, da izhajamo iz zobate letve a in protiletve b po sliki 1. Letva nastane, če profil, ki je trapezast, premikamo v smeri, ki je pravokotna na ravnino profila. Namesto profila na sliki si v praksi lahko predstavljamo profil pehalnega grebena, npr. pri stroju za zobčanje sistema Maag. Če letvo a zvijemo v valj oziroma če profil zasučemo okoli osi A-A, letvo b pa obdržimo v obliki po sliki 1, tedaj (sl. 2) imamo konstrukcijo brezstopenjskega polža a', ki se lahko suče, letva b pa se po sliki 2 vzdolžno lahko premika, kadar se premika polž v smeri osi A-A. Slika 3 kaže sorodno konstrukcijo, pri kateri prijemlje brezstopenjski polž a' v zobnik b', ki nastane, če si mislimo letvo b zvito v krožno obliko okoli osi B-B. V tem primeru je mogoče polž a' vzdolžno gibati z vrtenjem zobnika b'. Take primere uporabljamo npr. pri prestavilih zobniških gonil na vlečni moznik za pretikanje vlečnih moznikov. Poseben primer za spremembo oblike obeh letev dobimo po sliki 4, kjer je brezstopenjski polž a' obdan z oklepom oziroma stročnico b", podobno matici, v kateri se polž lahko suče. Če stročnico b" izoblikujemo kot ležaj, imamo s tem aksialni grebenasti ležaj za aksialno vodenje gredi s polžem a'.

Da dobimo konstrukcijo po sliki 5, si vzdolžni izrez stročnice b", ki je na sliki 4 označen črtkano, zavijemo v krožno obliko b'''. Tako dobimo brezstopenjski polžasti zobnik, ki ima mnogo ugodnejše vprijemne lastnosti kakor čelni zobnik b'. Za primer uporabe tega mehanizma navedemo lahko pehalni sestav pri stroju za zobčanje zobnikov po sistemu Fellows.

Letvo a zvijemo lahko tudi okoli osi C-C in dobimo s tem konstrukcijo po sliki 6, v kateri je letva b ostala nespremenjena. Tak pogon zelo pogosto uporabljamo na primer pri ustrojih za gibanje mize pri skobeljnih, brusilnih, frezalnih in podobnih strojih.

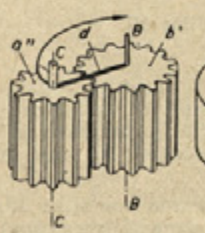
Slika 7 prikazuje najbolj znani in razširjeni mehanizem, pri katerem sta v vprijemu zobnik a" po sliki 6 z zobnikom b' po sliki 3. Premeri zobnikov so lahko zelo različni, omejitev navzdol je dana z najmanjšim dopustnim številom zob pastorka pri danem modulu in profilu letve.

Zobniškemu prenosu po sliki 7 soroden primer dobimo, če postavimo zobnik a" v zobnik b", ki ima v tem primeru notranje ozobje (sl. 8). Tudi pri tem zobniškem mehanizmu so določene omejitve glede na dopustna števila zob, posebno pri izbiri pehalnega orodja za zobčanje ozobja zobnika b".

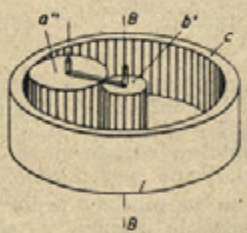
Povrh stabilnih gonil, pri katerih vrtilni osi B-B in C-C ne spreminjata svojih leg, pa imamo tudi planetna gonila po sliki 9. Os zobnika a" se suče z ramo d okoli osi B-B oziroma se zobnik a" kotali okoli fiksnega zobnika b'. Vrtenja zobnika a" ni mogoče izrabiti za odgon na neko gred, temveč lahko sučemo le na primer kako mešalno napravo, montirano na gredi z osjo C-C, ki se tudi kakor planet suče z zobnikom a".

Odgon na osrednjo gred z osjo B-B dobimo lahko tako, da uporabimo še tretji zobnik c, tako da vprijemlje zobnik a" tako v zobnik b' kakor tudi v zobnik c, kar prikazuje slika 10. Pri tem sta dve možnosti: da fiksiramo zobnik c in prenašamo vrtilno gibanje na osrednji zobnik b' ali pa nasprotno na zobnik c, če stoji zobnik b' (sončni zobnik).

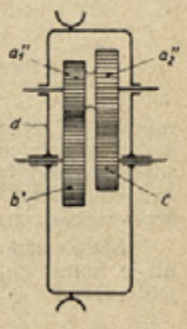
Mogoča je tudi konstrukcija po sliki 11, kjer se suče dvozobniški sestav a_1"-a_2" okoli fiksnega zobnika b' z ramo, v tem primeru okrovjem d, ter oddaja diferencialno gibanje na zobnik c. Okrovje d lahko sučemo ali z jermenskim ali zobniškim prenosom, kar na primer uporabljamo za dodatna podajalna gibanja pri strojih za zobčanje zobnikov.



Slika 9



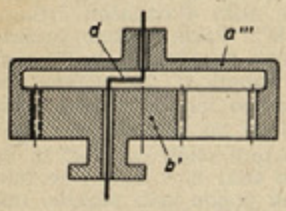
Slika 10



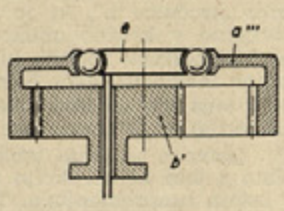
Slika 11

Zanimiv primer zobniškega mehanizma nastane, kadar sučemo zobnik a''' okoli sončnega zobnika b', pri čemer ima planetni zobnik a''' večji premer in notranje ozobje, tako da dobimo vprijem po sliki 12. Namesto rame d v obliki ročice po sliki 12 lahko uporabimo tudi ekscenter e, v katerem je zobnik a''' — satelit — s kroglicami kotalno uležajen (sl. 13).

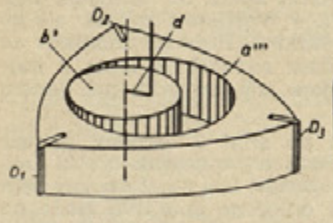
Dolžina ročice oziroma rame d mora ustrezati razmerju med premeroma kotalnih krogov na zobnikih a''' in b'. Če izoblikujemo zobnik a''' v rotor s tremi



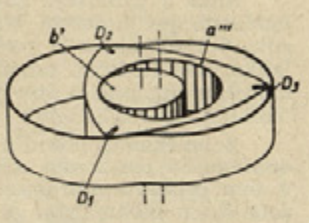
Slika 12



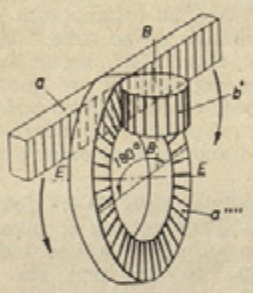
Slika 13



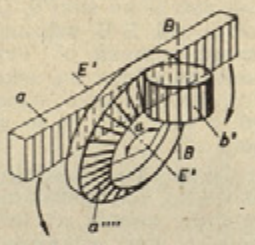
Slika 14



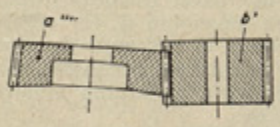
Slika 15



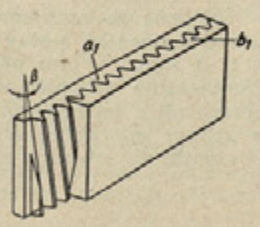
Slika 16



Slika 17



Slika 18



Slika 19

robovi in izberemo ustrezen kotalni premer zobnika a''' v primeri z zobnikom b' po sliki 14, tedaj opisujejo robovi D_1, D_2 in D_3 pri kotaljenju zobnika a''' karakteristično splošno cilindrično ploskev, ki ima za črto vodnico podaljšano pericikloido.

Shematično je ta ploskev prikazana na sliki 15, ki jo bomo natančneje preučili v poznejši obravnavi cikloid.

Za zelo važno varianto zobniškega mehanizma gre pri tem, če zobato letvo a zakrivimo v krožno obliko po sliki 16. Takrat preide letva v plani zobnik a'''', v katerega ozobje lahko vprijemlje zobnik b', ki je čelen, to je valjaste oblike. Ozobje zobnika a'''' je korigirano, kar je izvedljivo, kadar ima zobnik b' evolventno ozobje.

Plani zobnik a'''' je stožec, ki ima ob vrhu kot 180°. Zobato letvo si lahko mislimo zakrivljeno tudi v obliko stožca pod poljubnim kotom α ob vrhu, tako da dobimo primer zobniškega para po sliki 17.

Poseben primer, ki je značilen za pehalne zobnike sistema Fellows, kjer znaša kot ob vrhu 80°, je razviden s slike 18.

Poudariti moramo, da se mora letva a v vseh treh primerih (16, 17 in 18) z ozobjem vred plastično preoblikovati in opisanih stožčastih oblik a'''' ni mogoče dobiti z odvijanjem. To velja deloma tudi za polžasto ozobje zobnika b''' po sliki 5.

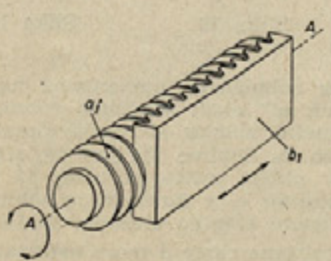
Podobne kombinacije zobniških prenosov izvedemo lahko z zobatima letvama po sliki 19, ki imata poševni ozobji. Taka ozobja dobimo, kadar premikamo profil poševno proti ravnini, v kateri je profil. Poševnost ozobij je lahko različna in je odvisna od nagibnega kota β oziroma smeri gibanja profila.

Če zavijemo letvo v valjasto obliko, dobimo eno- ali večstopenjski polž po sliki 20, pri čemer je letva b_1 ostala nespremenjena.

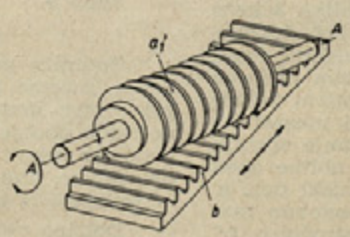
Če polž a_1' sučemo okoli osi A-A, se letva b_1 zaradi nagiba vijačnic giblje v eno ali drugo smer, kar je odvisno od smeri vrtenja polža oziroma od oblike vijačnic, ki imajo desni ali levi navoj. To značilnost lahko uporabimo pri pogonih za mize skobeljnih strojev; če pri tem uporabimo letvo po sliki 1, to je s pravokotnim ozobjem, moramo polž postaviti poševno, kakor to prikazuje slika 21 (po sistemu Sellers). Letvo a_1, ki je ustrezno izoblikovana in vodena v vodilih, lahko prečno premikamo proti letvi b_1 po sliki 22. Zaradi nagibov zob premika letva a_1 vodoravno vodeno letvo b_1, kar se na primer uporablja za stezanja čeljusti pri vpenjalnih glavah po foto posnetku na sliki 23.

Polž oziroma vijak z matico dobimo, kadar obe letvi zasučemo okoli osi A-A (sl. 24). Z vrtenjem polža a_1' dosežemo lahko vzdolžno gibanje matice b_1'', kadar se matica ne more sukati. Matica b_1'' lahko oklepa polž le delno, npr. le za ½ ali ½ oboda; s tem dobimo izvedbo po sliki 24. Pri tem je matica običajno neprimerno daljša od polža in jo potem imenujemo matično letvo. Mehanizem z matično letvo imamo npr. pri težkih stružnicah za vzdolžno podajanje sani, pri frezalnih strojih za premikanje mize itd. (foto posnetek na sliki 24).

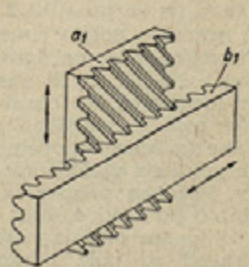
Slika 25 kaže konstrukcijo, pri kateri je letva b_1' zvita okoli osi B-B v krožno obliko in preide tako v vijačni zobnik. Mnogo ugodnejše vprijeme oziroma prenosne razmere med polžem in zobnikom dobimo, kadar zvijemo matično letvo v krožno obliko po sliki 25. S tem dobimo znani polžasti prenosnik z eno- ali večstopenjskim polžem ter ustreznejšim ozobjem polžastega zobnika.



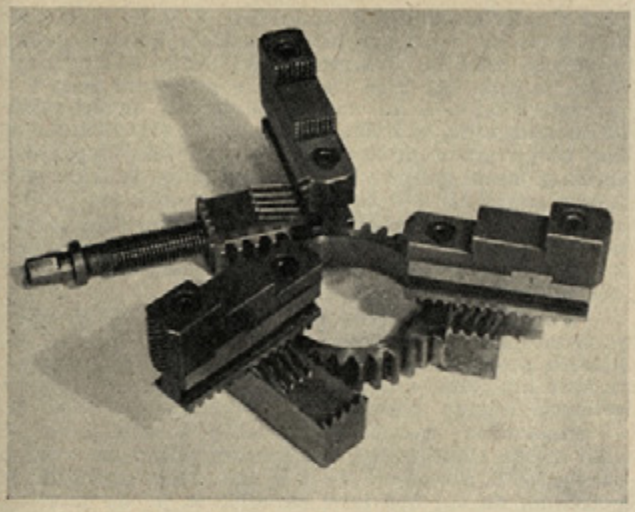
Slika 20



Slika 21

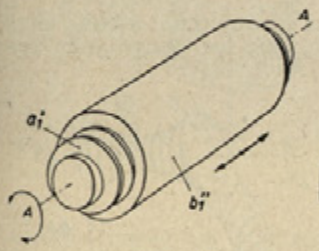


Slika 22

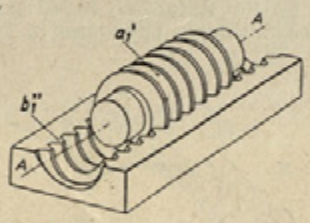


Slika 23

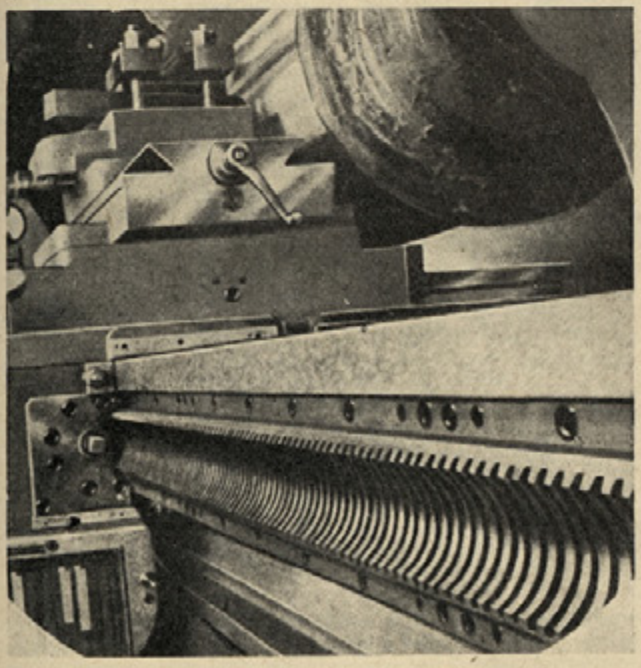
Analogno sliki 7 kaže slika 26 par dveh vijačnih zobnikov, na sliki 27 pa kombinacijo para zobnikov z dvojnima ozobjema, kjer ne nastajajo aksialne komponente obodnih sil. Med obema različno usmerjenima deloma ozobja je iz tehnoloških razlogov potrebna sorazmerno z velikostjo modula določena razdalja, če



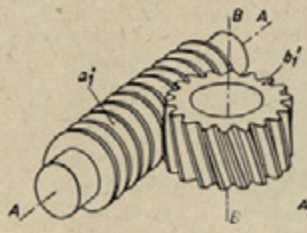
Slika 24



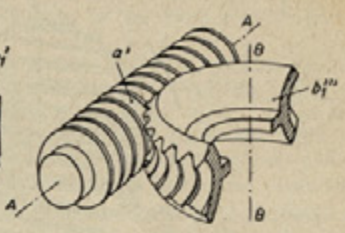
Slika 24'



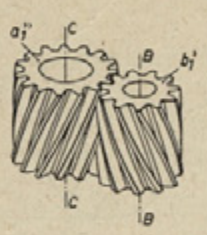
Slika 24"



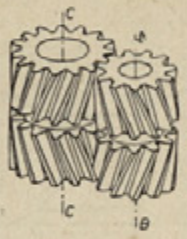
Slika 25



Slika 25'

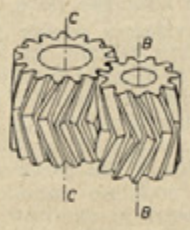


Slika 26

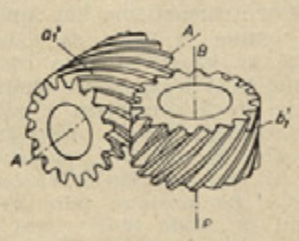


Slika 27

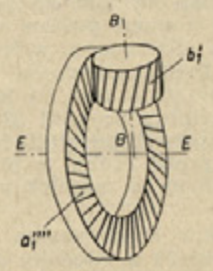
sta zobnika izdelana v enem. Puščičasto ozobje zobnikov po sliki 28 lahko izdelamo na posebnih strojih za zobčanje ali pa zobnike ulijemo za manj natančne prenosnike iz litega železa ali brona. Na videz puščičasto ozobje imajo tudi zobniki, ki so sestavljeni iz dveh delov, z desnim in levim vijačnim ozobjem in enakimi nagibi. Vijačni zobniški pari imajo lahko tudi podobne oblike kakor npr. zobniki s čelnimi ozobji po sliki 8, kjer ima eden od zobnikov notranje ozobje. Tudi za planetna gonila lahko uporabljamo vijačne zobnike, zato podobnih slik ne ponavljamo. Novo uporabno možnost vijačnih zobnikov pa prikazuje slika 29, kjer vprijemlje v zobnik a_1' z osjo A-A zobnik b_1' z osjo B-B, ki je mimobežna. Običajno leži os B-B v ravnini, ki stoji pravokotno na os A-A. Ima pa lahko tudi poljubno lego v prostoru, kar je odvisno od nagibov vijačnih ozobij. O določeni analogiji je treba govoriti tudi med zobniškimi prenosi po slikah 16, 30 in 31. Na sliki 30 je narisan pastorek, ki ima vijačno ozobje in se njegova os seka z osjo pla-



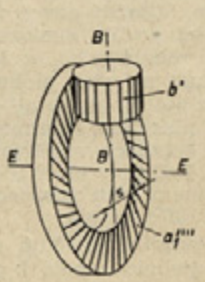
Slika 28



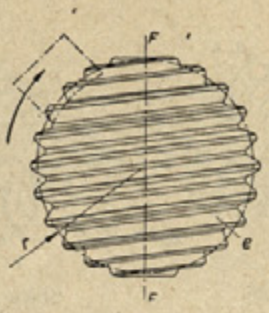
Slika 29



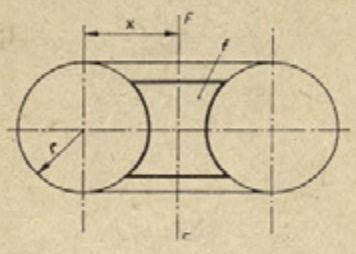
Slika 30



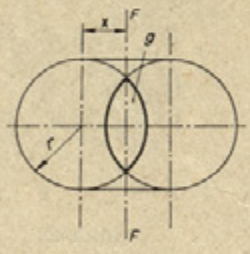
Slika 31



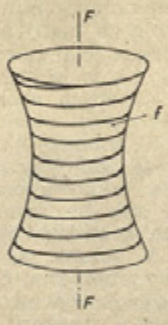
Slika 32



Slika 32'



Slika 32''



Slika 33

Slika 34

nega zobnika, na sliki 31 pa vprijemlje v plani zobnik po sliki 30 pastorek b' s čelnimi zobmi, pri čemer je os pastorka premaknjena za razdaljo s; take prenosne sestave označujemo kot hipoidne zobniške pare.

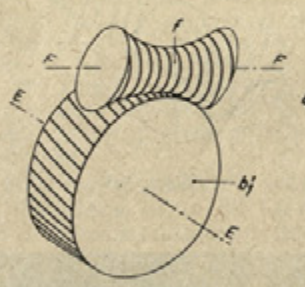
Slika 32 kaže, da imamo vijačno ozobje lahko tudi na krogli oziroma rotacijskih telesih, ki nastanejo, če se krog zasuče okoli osi F-F, ki je od središča tega kroga z radijem r oddaljena za razdaljo x. Če je razdalja $x = 0$, opiše črta tvornica, to je krog, kroglo, če je $x > r$, nastane torus ali svitek po sliki 32', pri katerem je važen notranji del ploskve. Pri $x < r$ pa nastane telo, ki je podobno jabolku po sliki 32'', toda tudi v tem primeru je zanimiv samo notranji del ploskve. Reuleaux je te oblike teles imenoval globoide; po variantah razdalje x imamo kroglo c, vbokle (konkavne) f in izbokle (konveksne) g globoide. Vijačni navoj na krogli nastane, kadar gibljemo del profila enakomerno v smeri puščice v razdalji r, medtem ko se krogla enakomerno suče. Isto velja tudi za oba globoida. Predstavljamo si lahko tudi, da sestoji vijak a_1' po sliki 20 iz cevi, ki je brez odpora plastično spremenljiva in jo po sliki 33 proti obema koncema razširjamo oziroma po sliki 34 stiskamo. Pri tem mora ostati profil ozobja v prerezu na krožnem loku nespremenjen in se razdelek profila ne sme deformirati.

V skupini vijačnih zobnikov kombiniramo lahko vbokli globoidni polž f po sliki 33 z vijačnim zobnikom tako, da dobimo sliko 35. Medsebojni položaj obeh elementov je določen s tem, da mora globoidni polž f pravilno ležati v smeri osi F-F. Krivina profila polža se mora pri tem ujemati s krivino plašča vijačnega zobnika. Imamo pa še drugo možnost, in sicer po sliki 36, kjer vprijemlje globoidni polž f v polžasti zobnik — tu imamo ploskovno veliko ugodnejše naleganje, kakršna kombinacija bi ustrezala za bolj obremenjene prenosnike. Ugoditi moramo pri tem še drugi važni zahtevi, da leži polž poleg že navedene lege v smeri osi F-F še pravilno v srednji legi polžastega zobnika. Po sliki 35 je vijačni zobnik v smeri osi E-E premakljiv, po sliki 36 pa je lega polžastega zobnika natančno določena, kar je treba pri konstrukciji ležajev upoštevati.

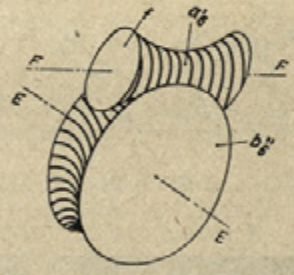
Povrh zobatih letev po slikah 1 in 19, si lahko predstavljamo tudi ozobčene letve a_2, b_2 in a_3, b_3, katerih ploskve bokov, desnih in levih, niso ravnine, temveč cikloidne oziroma stožčaste ploskve. V prvem primeru imamo cikloidno-ločno ozobje po sliki 37, v drugem pa krožno-ločno ozobje zobate letve po sliki 38, ki lahko rabita kot izhodni obliki za izvedbo ustrezajočih zobnikov. Tudi v teh dveh primerih je potrebno, da sta obe letvi skladni, to je, da letvi a_2, a_3 popolnoma izpolnjujeta ozobji letov b_2, b_3. Če letvo a_2 zakrivimo v smeri puščic, dobimo zobnik a_2', z letvo b_2 pa zobnik b_2'. Pozneje bomo pokazali, kakšne so razlike obeh sistemov in kako značilno je treba izvajati zobčenje, da dobimo zobniške prenose po sliki 39 ali pa po sliki 40.

Letve po slikah 37 in 38 imajo za bočne ploskve sicer ploskve cikloida ali stožca, vendar ležijo vznožne in temenske ploskve v ravninah, ki so med seboj vzporedne.

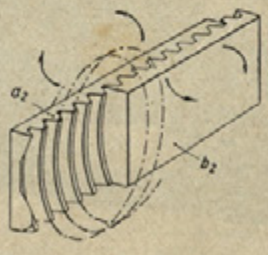
Po slikah 41 in 42 pa imamo tudi zobate letve, ki so vbokle (žlebaste) in izbokle ter imajo lahko pra-



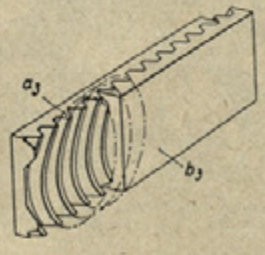
Slika 35



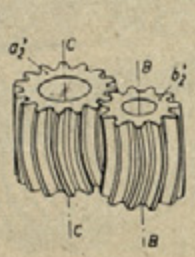
Slika 36



Slika 37

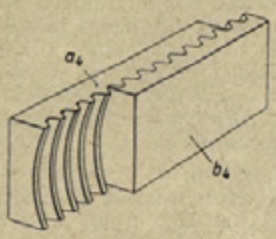


Slika 38

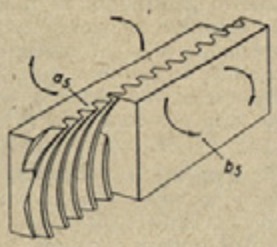


Slika 39

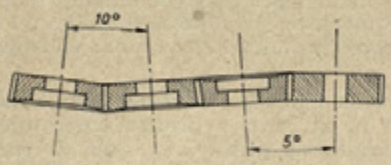
Slika 40



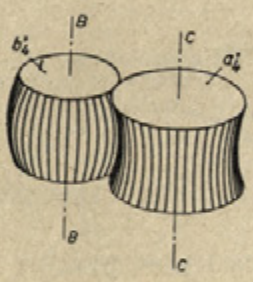
Slika 41



Slika 42



Slika 43



Slika 44

Slika 45

vokotno ozobje po sliki 41 in poševno oziroma vijačno ozobje po sliki 42.

Znano je, da je mogoče evolventno ozobje korigirati, tako da dobimo na primer pri pehalnih zobnikih s korekcijo značilna stožčasta ozobja, pri katerih ležijo osi teh zobnikov lahko vzporedno ali pod določenim kotom (običajno 10 °). V te zobnike vprijemlje lahko tudi zobnik, ki ima valjasto obliko, tako da znaša kot med obema osema le 5 °. Vrsta teh zobnikov, ki so v medsebojnem vprijemu, je prikazana na sliki 43.

Če letvi po sliki 41 zakrivimo in pri tem predpostavimo, da sta letvi plastično gibki, dobimo globoidna zobnika a_4' in b_4' po sliki 44, od katerih je zobnik b_4' izbokel, zobnik a_4' pa vbokel. Vijačna globoidna zobnika a_5' in b_5' po sliki 45 pa nastaneta, če zakrivimo letvi a_5 in b_5 po sliki 42 v smeri puščic.

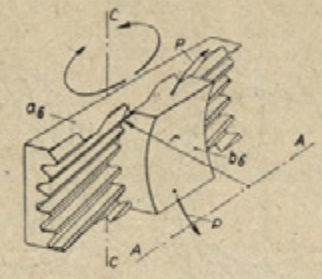
Kombinacijo globoidnega polža a_6' in vijačnega zobnika b_6' po sliki 47 dobimo, če — po sliki 46 — zakrivimo letvo a_6, letvo b_6 pa podaljšamo v smeri puščic P-P tako, da se konca strneta v zaključeno krožno obliko venca z osjo A-A.

Zobniški sestav globoidnega polža a_6' z globoidnim zobnikom b_6'' dobimo analogno kakor v primerih po slikah 4 in 5 oziroma 24 in 25', če letvi a_6 in b_6 plastično preoblikujemo v rotacijsko telo z osjo C-C, segmentni del letve b_6'' pa podaljšamo v smeri puščic P-P, tako da nastane del svitka z osjo A-A. S slike 46 je razvidno, da je položaj obeh zobnikov natanko določen z ravninama X in Y, v katerih ležita osi A-A in C-C.

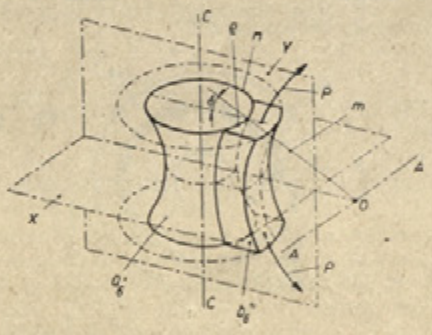
Ploskev svitka je določena s krivino ϱ zgornjega kroga n, ki ga sučemo z ramo m okoli osi A-A. Krog n je proti rami nagnjen za kot δ. Razen omenjene značilnosti moramo opozoriti še na spremembe pri nagibih vijačnice na globoidnem polžu a_6', tako da vprijem med obema ozobjema ni na vseh mestih enakomeren.

Podobno kakor korigirani pehalni zobnik vprijemlje tudi globoidni zobnik lahko v valjasti zobnik, in sicer z zunanjim ozobjem po sliki 48 ali z notranjim ozobjem po sliki 49. Vprijem dveh globoidnih zobnikov je mogoč tudi, če osi gredi teh zobnikov nista vzporedni, temveč oklepata določen kot α po sliki 50.

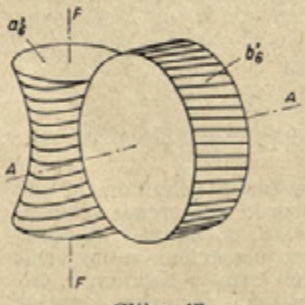
Ta članek sicer ni namenjen obravnavi stožčastih zobnikov, vendar navajamo nekaj značilnih oblik teh zobnikov, in sicer zaradi tega, da prikažemo razlike



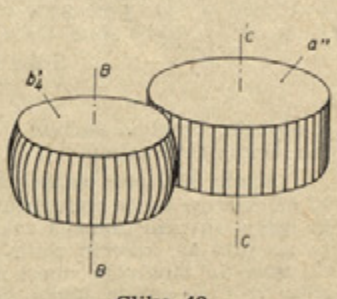
Slika 46



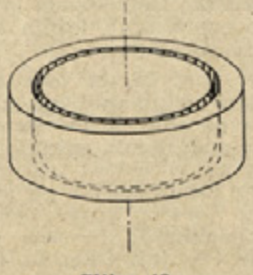
Slika 46'



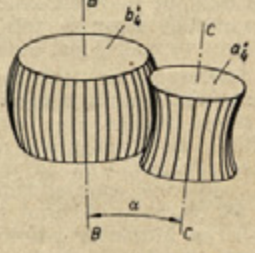
Slika 47



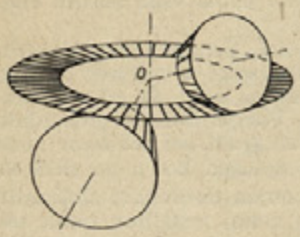
Slika 48



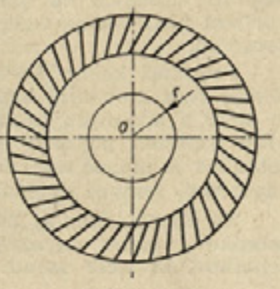
Slika 49



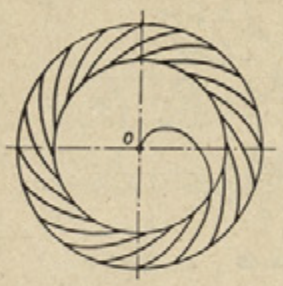
Slika 50



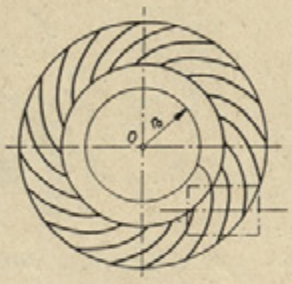
Slika 51



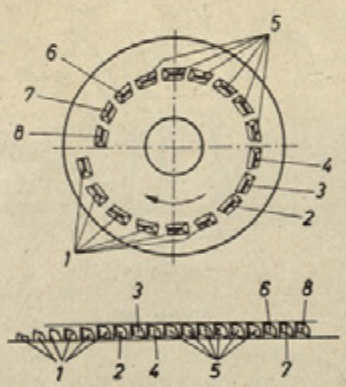
Slika 52



Slika 53



Slika 54



Slika 55

v ozobjih, posebno razlike v ločnih ozobjih med obema skupinama zobnikov.

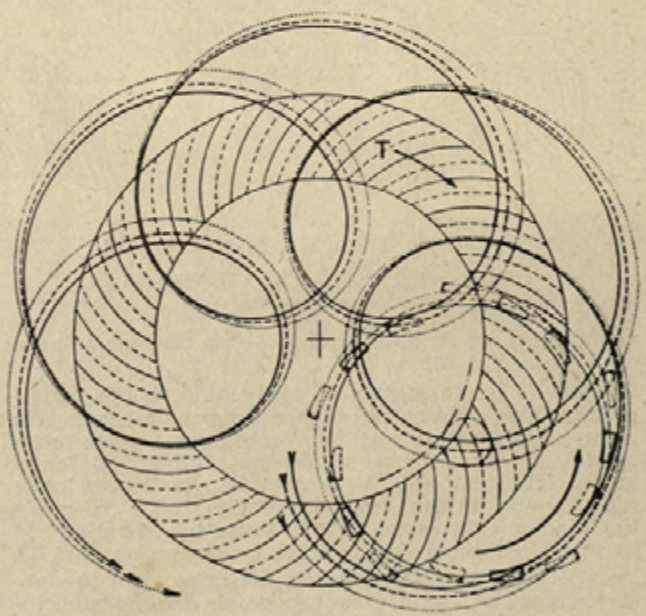
Razen klasične oblike stožčastih zobnikov po sliki 51, kjer so zobje usmerjeni proti skupnemu vrhu O, ki leži v ravnini planega zobnika, poznamo tudi ozobja po sliki 52, katerih zobje so usmerjeni mimo vrha O, tako da tangirajo smeri zob krog z radijem *r*. Po sliki 53 ima ozobje lahko obliko Arhimedovih spiral (sistema Gleason oziroma Brandenberger), po sliki 54 pa obliko evolvent po patentu N. Trbojevicha oziroma po izvedbi tvrdke Klingelnberg, pri kateri sta inženirja Schicht in Preis konstrukcijsko izoblikovala precej zamotan stroj za zobčanje evolventnih ločnih ali »paloidnih« ozobij pri stožčastih zobnikih.

Ločno ozobje ima tudi po sliki 55, in sicer po patentu Mammano; njegovo načelo je uporabljeno npr. pri stroju tvrdke Fiat oziroma po sliki 56 pri stroju Oerlikon. Boki zob imajo obliko podaljšanih epicikloid, tvrdka Oerlikon pa je uvedla za to obliko zaščitno ime »eloidno« ozobje. Namesto ločnih ozobij po slikah 53, 54, 55 in 56 ima tvrdka Gleason krožno-ločno ozobje za stožčaste zobnike po sliki 57, ki sicer ni povsem eksaktno, vendar se je v praksi izkazalo, da taki zobniki najbolj ustrezajo razmeram v pogonu.

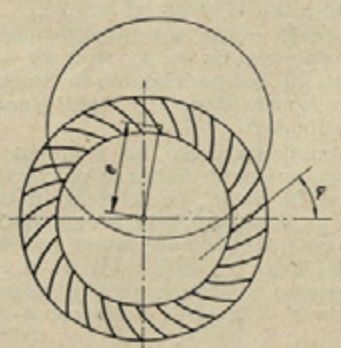
Krožno-ločnega ozobja, ki je za stožčaste zobnike izredno prikladno, ni mogoče kar enako prenesti tudi na zobnike z ozobji na valjastih telesih. Cikloidno ozobje po sliki 37 oziroma 39 sistema Forster je sicer sorodno z ozobjem za stožčaste zobnike po sistemu Mammano ali sistemu Oerlikon, vendar je potrebno, da tudi pri tem ozobju upoštevamo določene značilnosti, ki jih pri stožčastih zobnikih ni.

Praksa je pokazala, da je potrebno ozobja zobnikov ustrezno izoblikovati v dveh smereh, in sicer v smeri višine I in v smeri širine II zob po sliki 58. Profili bočnih ploskev, ki omejujejo zobe v smeri višine, imajo lahko cikloidno, evolventno, krožno ali poljubno obliko. Zaradi enostavnih rezalnih orodij uporabljamo največkrat evolventna ozobja, kljub temu, da imamo pri tem vprijemanje konveksnih bokov na konveksne protiboke. Na slikah 1 in 19 imajo zobate letve, iz katerih izhajamo, enostavne trapezne profile.

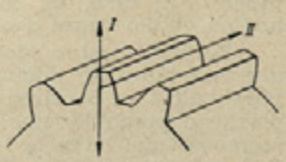
Teoretično imamo, tako pri letvi a kakor tudi pri protiletvi b, ki prvo v profilu izpolnjuje, neskončno veliko variant za profile. Če letvi zvijemo v krožno obliko po slikah 7, 8, 26 itd, se profili spremenijo po določenih pravilih, kar bomo obravnavali pozneje. Opozorili pa bomo tudi na izjemo, ki jo imamo pri



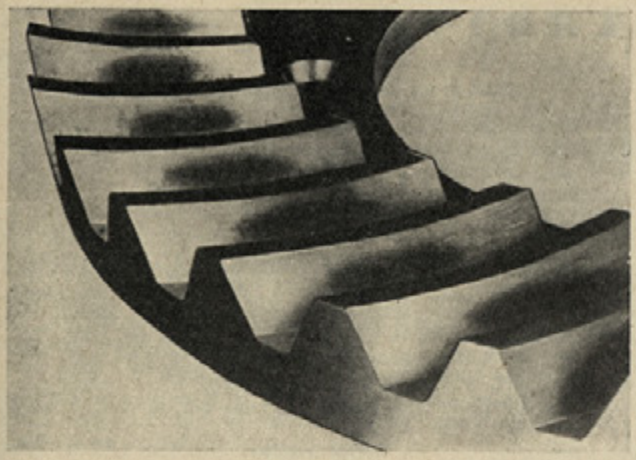
Slika 56



Slika 57



Slika 58



Slika 58'

ozobju sistema Novikov in kakršna se lahko uporablja tako za valjaste kakor tudi stožčaste zobnike.

Namen tega članka je v glavnem tudi prikazati možnosti izoblikovanja zobnih bokov v smeri II, to je po širini zob, in sicer pri zobniških parih z vzporednimi osmi.

Zaradi deformacij zobniških ustrojev pod obremenitvijo, ki nastajajo v bokih ozobij pri telesih in gredeh zobnikov, v ležajih in pri okrovjih, se vprijemanje zobnikov spremeni v primerjavi z vprijemanjem v neobremenjenem stanju. Pri tem se pokaže, da zobje po širini niso enakomerno obremenjeni in okvare bokov nastajajo neenakomerno. Dostikrat ugotavljamo pri naštetih elementih napake, ki nastajajo zaradi nepravilne tehnološke obdelave; tudi te povzročajo neenakomerne obremenitve ozobij zobnikov. Pri čelnih, vijačnih in puščičastih zobnikih ni mogoča niti najmanjša sprememba lege gredi oziroma vrtilnih osi zobnikov. Zato skušamo izoblikovati ozobja — vsaj pri stožčastih zobnikih — tako, da imamo pri obremenitvi obremenjena le določena polja na bokih zob po foto posnetku na sliki 58'. To na primer dosežemo tako, da pri ločnih ozobjih za vbokle (konkavne) in izbokle (konveksne) plati bokov nekoliko spremenimo krivine. Odstopke od klasičnih oblik ozobja je mogoče doseči tudi s tehnološkimi postopki, kakor na primer s posebno izoblikovanimi rezalnimi orodji, s posebnim kinematičnim vodenjem orodij oziroma brusov na strojih za zobčanje zobnikov.

Analiza ploskve cikloida, ki je važna za ločno ozobje po sistemu Forster, bo pokazala, da imajo boki zob vzdolžne širine na vsakem mestu drugačno krivino in je zaradi tega ustrezno prilagajanje bočnih ploskev zelo težavno. Mnogo laže pa dosežemo optimalne oblike bokov, če uporabimo podobno, to je delilno metodo za krožno-ločno zobčanje valjastih zobnikov, kakršno uporablja na primer tvrdka Gleason za zobčanje stožčastih zobnikov.

(Konec prihodnjič)

Avtorjev naslov: akademik prof. ing. Felix Lobe, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani

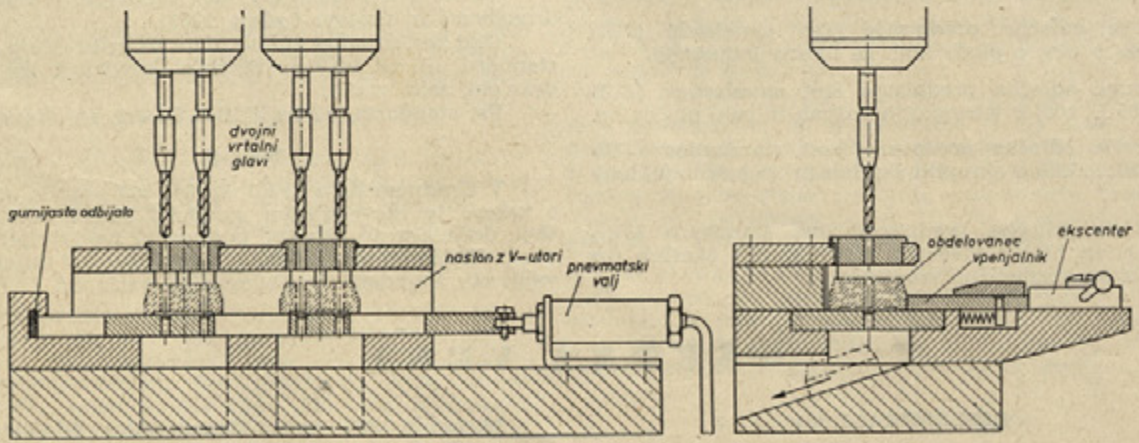
DK 621.952

POROČILO

POLAVTOMATIČNA VRTALNA NAPRAVA

Vrtalna naprava, ki je prikazana na sliki, je namenjena za istočasno vrtanje dveh lukenj v dva obdelovanca. Oblike obdelovancev so lahko različne in temu primerno je oblikovan vpenjalnik.

Obdelovanci se vlagajo ročno. Dva obdelovanca se vložita na podlogo tako, da se naslanjata na naslon z utorom V. Z ekscentrom se nato pritisne vpenjalnik in obdelovanca sta vpeta. Na vpenjalnik pritiska vzmet, da se pri popuščanju ekscentra odmakne od obdelovancev.



Podloga, ki nosi obdelovance, se premika prečno. Ko so luknje izvrtane, se vpenjalnik popusti in bat pritisne podlogo v levo, odprtini prideta pod obdelovanca, ki zdrsneta po utorih v pripravljeno posodo za vrtalnim strojem. Prav na levi strani je odbijalo iz gumija, ki duši udarce. Ko je naloga opravljena, popustimo pedal ventila, zrak izteče iz valja in vzmet potisne bat v prvotno lego.

Podajanje vrtalnih enot je lahko ročno, pri čemer potiskamo obe vrtalni glavi hkrati z eno roko. Podajanje pa je lahko tudi pnevmatično oz. pnevmatično-hidravlično. Če jih upravljamo nožno, se postopek znatno skrajša in delo olajša.

S tako napravo dosegamo simetrično upravljanje. Obdelovance vlagamo z obema rokama hkrati in simetrično, jih z ekscentri vpnemo, npr. z levo nogo vključimo podajanje vrtalnih enot (roke so proste za prijemanje naslednjega para obdelovancev), vrtalni enoti vrnemo v izhodni položaj in z desno nogo premaknemo podlogo v levo, da obdelovanci izpadejo.

S tako napravo se lahko zmogljivost poveča za 300 pa tudi več odstotkov.

Ing. Zoran Seljak