

DK 621.833.001.4

Nova enobočna merilna naprava za zobnike

FELIKS LOBE

Pomen zobnikov v strojništvu

Zobniki spadajo po najrazličnejših konstrukcijskih oblikah in po načinu tehnoloških obdelav pri zobčanju med strojne elemente, ki terjajo za obvladovanje vseh nalog obširno znanje. Vzporedno z gradnjo parnih turbin, elektromotorjev in visokoturnih zgorevalnih motorjev so bili konstruktorji strojnih naprav primorani uporabljati zobnike, ki so morali biti pravilno konstruirani in izvedeni tehnološko natančno. Posebno zanimiv je bil razvoj pogonskega stroja pri električnih lokomotivah. Pri prvih izvedbah teh lokomotiv so bili uporabljeni zelo obsežni električni pogonski motorji z majhno vrtilno hitrostjo, od katerih so se prenašali vrtilni momenti preko ojničnih ustrojev na kolesne zloge. Graditelji lokomotiv niso imeli zaupanja v zobniške prenose in so jim bili ti prenosi predragi. Zaradi nedovršenih konstrukcij so bili zobniški prenosi takrat v obratovanju nezanesljivi in niso dosegali zaželenih izkoristkov. Konstruktorji obdelovalnih strojev so morali zgraditi posebne, natančno delujoče, specialne stroje za zobčanje zobnikov, na katerih so bile dosegljive zadostne natančnosti v ozobjih zobnikov. Taki stroji obstajajo še dandanes v oblikah za univerzalno uporabo, izdelani pa so tudi že v obliki avtomatov, na katerih je mogoče s posebnimi dovajalnimi in stezalnimi napravami vpenjati obdelovance in jih postopoma zobčati po diktatu programskih naprav. Ti novejši avtomati so opremljeni tudi z merilnimi napravami, ki kontrolirajo proces zobčanja in takoj prekinajo delo na stroju, kakor hitro se pokažejo v ozobjih zobnikov napake, ki presegajo dopustne tolerance.

Da bi bilo mogoče zobčanja in ozobja zobnikov kontrolirati, so bili vzporedno s čedalje popolnejšimi stroji za zobčanje izdelani tudi merilni aparati, s kakršnimi je bilo možno ugotavljati napake v ozobjih, in sicer posamično na bokih zob ali pa sumarično za celotna ozobja. Šele z medsebojno kontrolo zobnikov, postopkov pri zobčanju, orodij za zobčanje in kontrolo stroja za zobčanje je bilo mogoče te stroje izpopolniti do sedanjih razvojne stopnje.

Z novo enobočno merilno napravo za kontrolo zobnikov je možno ugotavljati sumarične napake na najrazličnejših zobniških prenosih oziroma parih zobnikov, ki so v prijemu.

Različne oblike zobnikov

Z zobniki se prenaša vrtenje z ene gredi na drugo. Osi teh gredi so lahko vzporedne, mimobežne ali pa se sekajo pod določenim kotom. Za prenos vrtilnih momentov na vzporednih gredeh rabijo

čelni, vijačni in puščičasti zobniki ter zobniki z ločnimi ozobji. Za prenašanje vrtenja pri gredeh, ki so mimobežne, so v rabi vijačni zobniki ter polžasti in hipoidni prenosi. Pri gredeh, ki pa se sekajo — običajno pod kotom 90° — se uporabljajo za prenos vrtenja stožčasti zobniki, ki pa imajo različne oblike zob. Za sem- in tjakajšnja gibanja se uporabljajo zobate letve in pastorki ali matične zobate letve in polži.

Pozneje bo moč videti na posameznih variantah merilne naprave, kako je mogoče sumarično kontrolirati vse navedene zobniške prenose.

Oblike bokov zob

Boki zob imajo največkrat obliko evolvent ali cikloid. V splošni gradnji strojev se uporabljajo skoraj vedno evolventna ozobja, in sicer zaradi enostavnih orodij za zobčanje, posebno če se zobča s kotaljenjem, in zaradi možnosti korigiranja — zaradi možnosti spreminjanja medosij v majhnih mejah — in tudi zavoljo enostavnih merilnih metod ter merilnih naprav.

Enostavna geometrična oblika evolventnih bokov zob in medsebojna odvisnost bokov nasprotnih zob omogoča natančno kontrolo evolventnih ozobji, prav posebno pa kontrolo posameznih bokov oziroma bočnic zob.

Toda tudi cikloidna ozobja so pomembna. Zobniki s temi ozobji se zaradi boljših izkoristkov pri prenašanju vrtilnih momentov z uspehom uporabljajo v fini mehaniki in industriji ur.

Razen cikloidnih profilov zob so pomembni tudi krožni profili. Zobniki s krožnimi ozobji so izvedeni lahko kot čelni in kot vijačni zobniki ter rabijo za prenos vrtilnih momentov v reduktorjih ali pa se uporabljajo kot rotorji v kompresorjih za zrak ali pline.

Znani so tudi polžasti prenosi, pri katerih imajo polži navoje s konkavnimi profili — vbokla ozobja — ustrezajoča ozobja polžastih zobnikov pa konveksne boke. S temi čisto novimi zobniki je mogoče znatno — do 30 % — izboljšati izkoristke pri prenosih vrtilnih momentov. Pri tem je treba zlasti paziti na to, da so medosja natančna in so profili zob pri zobnikih pravilno izoblikovani.

Če zasledujemo vprijem, kotaljenje, drsenje in vplive sil v ozobjih, se pokaže, da obstaja pri kinematiki dveh zobnih bočnic le ena stična točka, v kateri je čisto kotaljenje. Na vseh drugih mestih bočnic pa se obodne sile na bokih zob prenašajo z drsenjem in s tem s trenjem. Če so števila zob pri paru zobnikov različna, so drsenja oziroma tre-

nja na različnih mestih bočnic različna. To je mogoče izravnati s tem, da se ozobja korigirajo. Znano je, da je Maag vzporedno s projektiranjem svojih strojev za zobčanje zobnikov z grebeni in kotalnih brusilnih strojev za zobnike temeljito proučeval tudi geometrijo in kinematiko evolventnih ozobja ter določil nato pravila za najustreznejše korekture zob. Tako so nastale posebne oblike zob, ki so znane z imenom »Maagova ozobja«. Markantne posebnosti teh zob so močnejša vznožja, večji vprijemni koti in skrajšane temenske višine. Po Maagu se korigira tako ozobje pastorka kakor tudi večjega zobnika, pri čemer se po navadi spreminja tudi medosje.

Evolventna ozobja se lahko korigirajo na različne načine — znanih je več kakor deset načinov za to — vendar so se v praksi odlično obnesle prav Maagove oblike ozobja.

Maag je povrh strojev za zobčanje in lastnih korektur izoblikoval tudi posebne merilne naprave za kontrolo zobnikov, med katerimi so znane naprave za kontrolo evolventnih bokov, za merjenje delitev, izhajajočih iz osnovnih in delilnih krogov, in naprave za eno- in dvobočno kontrolo zobnikov. S temi napravami je mogoče predhodno stalno kontrolirati izračunane določilne vrednosti ozobja na izvedenih zobnikih. Te merilne naprave so nekatere tvrdke, kakor C. Mahr, Esslingen, C. Zeiss, Jena delno še izpopolnile.

Pri zobniških gonilih, ki so močno obremenjena ali če obratujejo pri veliki vrtilni hitrosti, se pokaže, da večkrat povzročajo nedopusten ropot kljub temu, da so zobniki izdelani zelo skrbno in natančno. Pokazalo se je, da je mogoče delovanje gonil izboljšati s tem, da se boki zob ob temenih nekoliko oslabijo.

Pri preračunu zobnikov se ne sme jemati, da so zobje popolnoma trdno vpeti deli, ki naj prenašajo obodne sile, temveč se elastično deformirajo in se s tem nekoliko spremenijo klasične evolventne oblike. Pri izredno majhnih dopustnih vrzelih med zobmi pa se z deformiranimi boki zob kinematično vprijetje ne odvija nemoteno.

Dokončne najnatančnejše oblike bokov zob so dosegljive z brušenjem in strgalnimi zobniki. Brušenje zob se izvaja na kotalnih brusilnih strojih — Maag, Pratt Whitney, Nilles, Kolb idr. — ali pa na strojih s profiliranimi brusi, pri katerih se uporabljajo posebne naprave za profiliranje. Te naprave lahko izoblikujejo na brusih natančne ali pa samo približne evolventne profile. Zadnje naprave — pri stroju Sfedr — pa omogočajo z enostavnim vplivanjem na nekatere dele profilirne naprave prav določene spremembe oziroma odstopke od klasičnih evolventnih profilov.

Zobniki, brušeni na stroju Sfedr, na katerem se enostavno spremenijo oblike bokov, so pri vprijetju drug z drugim pokazali boljše prenosna stanja, kar je dovedlo do tega, da se tudi pri strojih, kjer se brusi s kotaljenjem, nekoliko spreminja

evolventno brušenje. Na novejših Maagovih strojih so vdelani v brusilne ustroje posebni vodilni mehanizmi, s katerimi se dosegajo podobni odstopki od evolventnih oblik bokov zob kakor pri strojih s profiliranimi brusi. Razviti pa so tudi brusilni stroji, pri katerih se s povečanimi šablonami vpliva na mehanizme oziroma diamante za profiliranje brusov. Na takih strojih se lahko s primernimi šablonami profilirajo brusi za brušenje cikloidnih ali drugače izoblikovanih ozobja zobnikov.

Taki odstopki od evolventnih profilov zob so dosegljivi tudi s tem, da se pri kotalnih frezalnih namesto trapeznih profilov uporabljajo nekoliko lomljeni profili in se pri kotalnih zobnikih — Fellow — korigira oblika zob, ko so ta orodja za zobčanje ustrezajoče brušena na strojih »Sfedr«. Podobno se lahko korigirajo tudi strgalni zobniki, s katerimi se pri nekaljenih zobnikih navadno dosegajo zelo natančna ozobja zobnikov.

Maagovi pehalni grebeni imajo — kakor do sedaj — še zmeraj eksaktno trapezno obliko z ravnimi rezalnimi robovi in se lahko šele z brušenjem nekoliko spreminjajo profili zob.

Za zobčanje polžastih zobnikov se ne uporabljajo normirana frezalna orodja, ki so v rabi za freziranje čelnih in vijačnih zobnikov, temveč posebna frezala, ki morajo biti izoblikovana po pripadajočih polžih. Za čisto nova vbokla ozobja se ustrezne korekture upoštevajo pri frezalnih orodjih.

Pri obteženih gonilih se ne deformirajo samo ozobja zobnikov, temveč tudi ostali pogonski deli ter okrovja gonil. Te deformacije še dodatno vplivajo na vprijetje zobnikov, zaradi česar je potrebno, da se zobniški prenos kontrolirajo v obteženem stanju, ker se le pod obtežbo lahko ugotavlja, ali so predvidene spremembe zobnih bokov zadostne.

Zaradi morebitnih upogibov obteženih gredi, na katerih so nasajeni zobniki, pa ne zadostuje samo sprememba profila zobnih bokov, temveč je potrebno korigirati zobe zobnika tudi po širini. Najustreznejša rešitev tega problema je, da se namesto čelnih in vijačnih oziroma puščicastih ozobja uporabljajo krožno-ločna ozobja, pri katerih naj bi imeli konkavni boki malce drugačno krivino kakor konveksni boki, na katerih se pojavljajo obodne sile.

Teh nekaj dognanj o ozobjih je bilo potrebnih za upoštevanje pri izvajanju merjenj oziroma kontrol na zobnikih.

Merjenje ozobja

Ker pri zobčanju zobnikov ni mogoče doseči absolutne natančnosti, mora ozobje imeti določeno stopnjo natančnosti, ki je določena z normami oziroma tolerancami. Čim ožje so predpisane tolerance, tem večji so obdelovalni stroški.

Za določitev kvalitete ozobja je treba z zelo natančnimi merilnimi napravami izmeriti razne določilne veličine zobnikov.

Kontrolo zobnikov je mogoče opredeliti v dve skupini, in sicer:

1. določanje posameznih napak, za kar se s posebnimi mehaničnimi, električnimi ali optičnimi merilnimi napravami od zoba do zoba merijo delitev, oblike bočnih ploskev, nagibi zob, ekscentričnost v ozobjih itd.

2. določanje skupinskih napak po enobočni in dvobočni merilni metodi. Po enobočni merilni metodi se meri na ta način, da pri vprijetanju nategajo boki enega zobnika na nasprotno boke drugega zobnika, pri čemer se zobniki postavijo natančno na določeno medosje. Da se kontrolirajo drugi boki, je potrebno zobnika vrteti v nasprotno smer. V obeh primerih pa je treba gnani zobnik zavirati z ustrezno zavoro.

Dvobočna merilna metoda je v načelu različna od enobočne. Tu zobnika nista kakor pri enobočnem merjenju postavljena na medosje, določeno po načrtu, ampak se ozobje enega zobnika prislanja na ozobje drugega oziroma oba boka enega zoba v boka nasprotnih zob. Eden od zobnikov je premično ali v loku premakljiv na izredno lahko gibljivih sanah, drugi zobnik pa je vrtljiv na postavljenem mestu. Zaradi neizogibnih napak v obeh ozobjih se pri vrtenju zobnikov premakljivi zobnik relativno malenkostno premakne proti drugemu, ti premiki pa se mehnično ali električno merijo ali registrirajo.

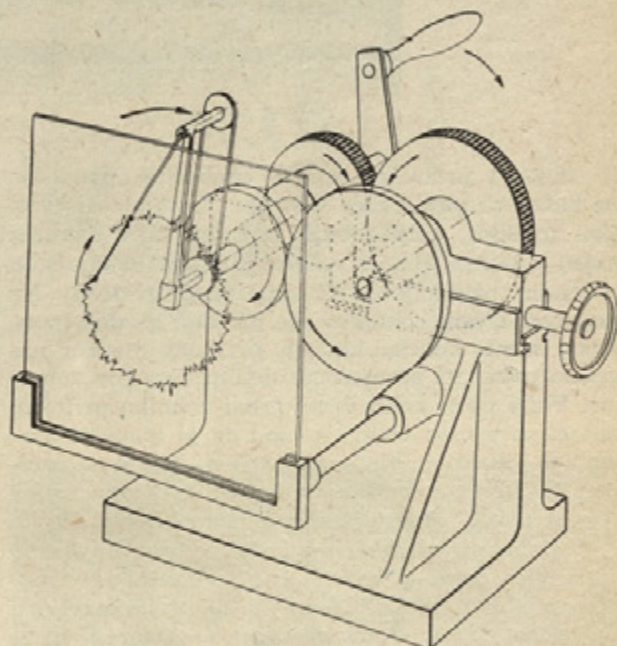
Enobočno merjenje ozobja se zaradi tega izvaja v stanju, kakršno je v skladu z delovanjem zobnikov v pogonu. V poglavju »Die Prüfung der Zahnräder bei der Abnahme« v brošuri »Die DIN-Verzahnungstoleranzen und ihre Anwendung« je zato priporočeno prvenstveno izvajanje enobočne kontrole zobnikov.

Enobočne merilne naprave so v primeri z dvobočnimi bolj zapletene, ker se mora vrtenje zobnikov, katerih gnani zobnik nima konstantne vrtilne hitrosti zaradi napak v ozobjih, primerjati z vrtenjem nekega gonila, kjer te spremembe ne nastajajo. Razen zelo zanimivih vibracijskih in elektromagnetnih naprav, kombiniranih z elektromotorji, so pri dosedanjih enobočnih merilnih napravah običajno v rabi mehnična primerjalna gonila. V ta namen rabijo zelo natančno izdelani kotalni koloti, ki so montirani na gredeh oziroma trnih zobnikov in se sučejo hkrati z zobniki. Da se koloti sučejo brez podrsavanja, se morajo z določeno silo pritiskati drug ob drugega. Med eksaktnim pogonom s kolutom in vrtenjem zobnikov nastajajo majhne neenakomernosti, ki se merijo na merilnih aparatih.

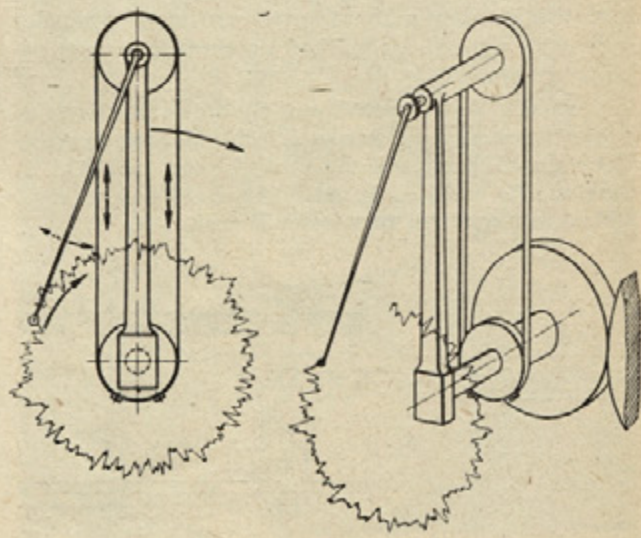
Namesto okroglih diagramov — na okroglih papirjih — se pri sodobnih merilnih napravah čedalje bolj uveljavljajo registrirni papirnati trakovi. Pri povsem natančnih zobnikih in pravilno izdelanih kolutih bi bila kontrolna črta v diagramu premica, ki bi potekala vzporedno s smerjo gibanja papirja. Zaradi neizogibnih napak v ozobjih pa takih diagramov praktično ni mogoče posneti.

Pri eno- in dvobočnih merilnih napravah vprijetljeta zmeraj dva zobnika drug v drugega. Navadno se primerja merjeni zobnik z mojstrskim zobnikom — zelo natančno in pravilno izdelanim zobnikom — ali pa zobnika, ki pozneje rabita za pogon v gonilu. Obe merilni napravi prikazujeta na diagramih skupne napake obeh zobnikov. Odčitavanje napak za posamezen zobnik iz diagrama ni možno. Zato morajo biti napake enega zobnika, navadno mojstrskega, znane, da se lahko ugotavljajo napake merjenega.

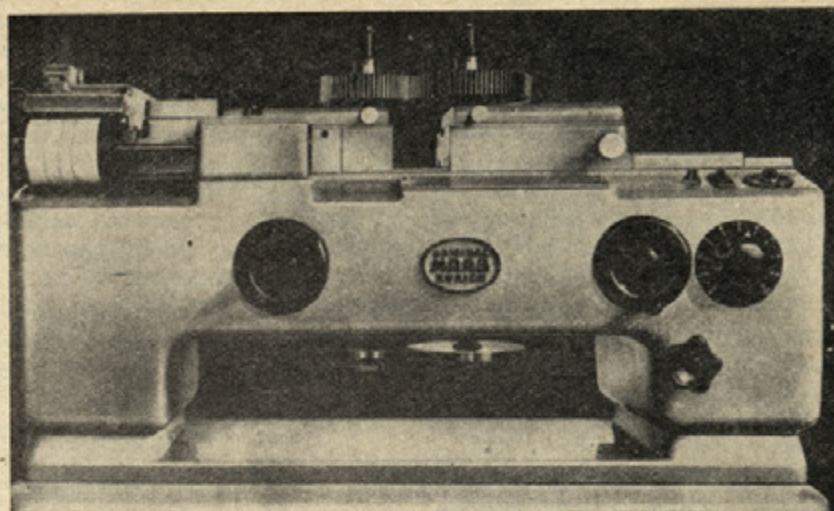
Prednosti nove enobočne merilne naprave bodo najbolj vidne, če poprej opišemo dosedanje konstrukcije enobočnih aparatov.



Slika 1



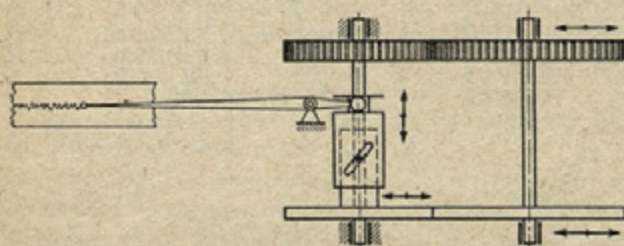
Sliki 2 in 3



Slika 4

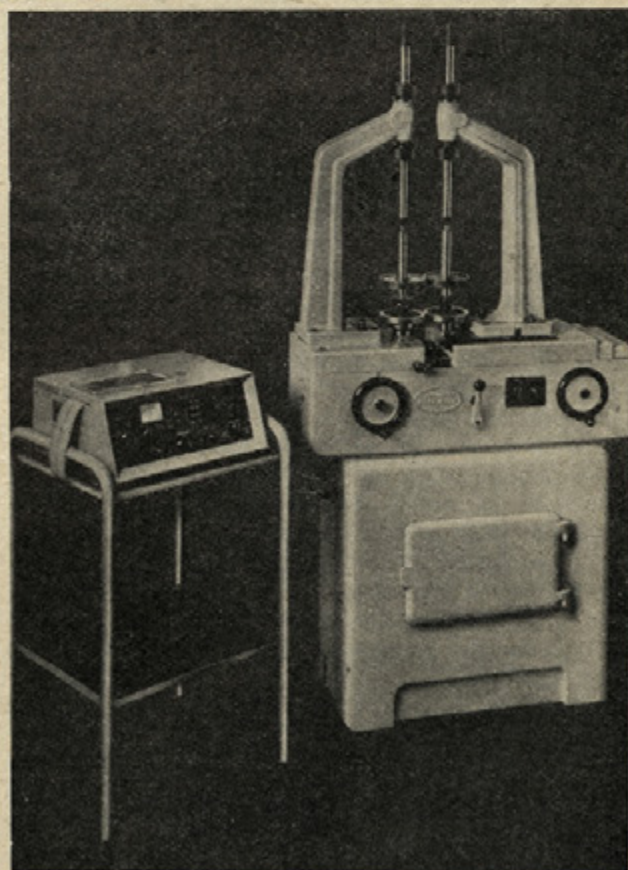
Slika 1 prikazuje shemo enobočne aparature, pri kateri se pisalo suče v krogu. V stojalu sta vrtljiva zobnika; večji zobnik je premakljiv oziroma voden v sanah, ki so z ročnim kolesom in vijačnim vretenom nastavljene na zahtevano medosje. Na nasprotni strani zobnikov sta na istih gredah montirana torņa koluta, katerih premera morata natančno ustrezati premeroma delilnih krogov zobnikov. Večji torni kolut je na gredi zobnika pritrjen, manjši pa prosto vrtljiv s tem, da je nameščen na posebni stročnici, ki je nataknjena na gred zobnika. Na koncu zobniške gredi je nameščeno držalo, ki nosi pisalo, opremljeno s pisalno konico. Pisalo je s trakom preko dveh majhnih kolotov povezano s stročnico tornega koluta, kar je podrobneje razvidno s slik 2 in 3. Nasproti pisala je postavljena plošča, na katero se napne papir za diagram in se lahko snema iz okrovja. Prenos diagrama se lahko poljubno menja, ker je pisalo preko traku in koluta s trenjem povezano s stročnico. Opisana naprava kaže, da je med pisalom in stročnico koluta potreben poseben mehanizem; s stročnico se napake v ozobjih registrirajo prečno na smer krožnega gibanja pisala.

Na sliki 4 je konstrukcija enobočne merilne naprave tvrdke Maag, pri kateri so v bistvu uporabljeni enaki prenosni elementi kakor na sliki 1, vendar s to razliko, da pri tej napravi poteka registriranje napak na premočrtnih trakovih.

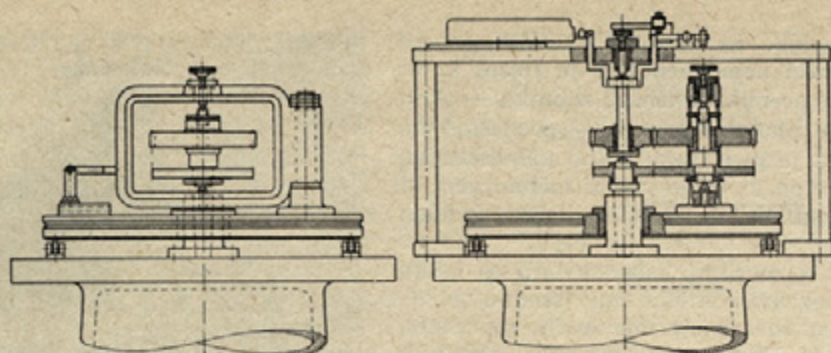


Slika 5

Da je mogoče majhna relativna vrtenja med gredjo in stročnico tornega koluta pretvarjati v prečne premike pisala, s katerim se registrirajo napake ozobij na papirnatih trakovih, je potrebna mehanična ali električna naprava, ki mora biti zadosti občutljiva. Na sliki 5 je shematično prikazana taka naprava, s katero se z vijačno stročnico preusmerja relativno vrtenje tornega koluta v aksialno



Slika 6



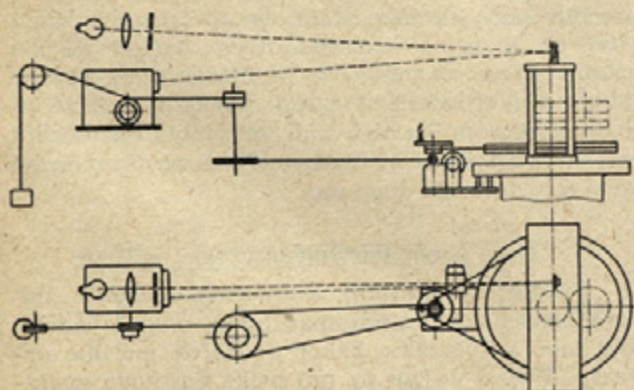
Slike 7, 8 in 9

gibanje in od tod na mehanizem pisala. Namesto stročnice bi se podobno preusmerjanje gibanj doseglo tudi z ustreznimi vzdolžnimi prenosili.

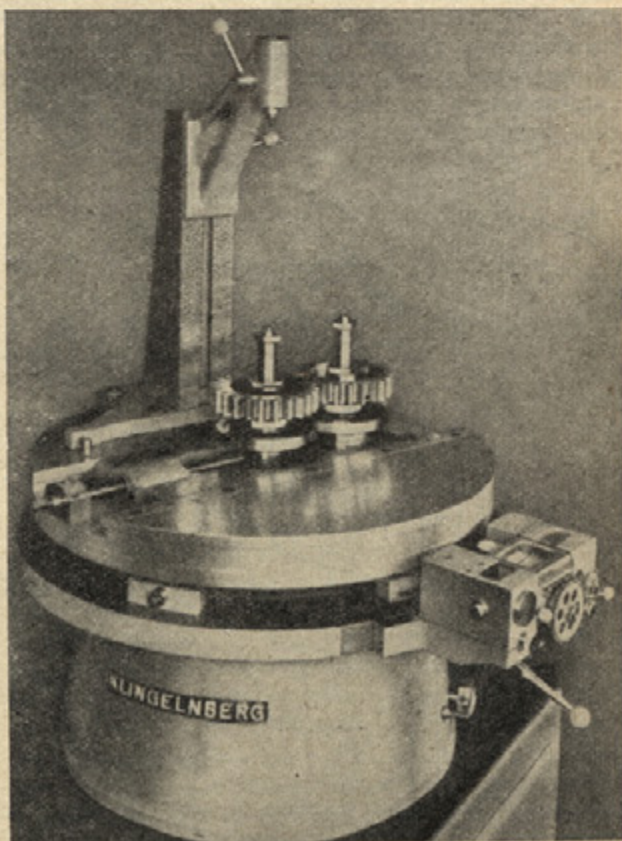
Pri električnem prenašanju se z relativnimi vrtilnimi gibanji vpliva na induktivni ali kapacitivni sistem — možne bi bile tudi naprave z upornimi trakovi — in s pojačevalci ustrezno povečujejo električni impulzi za gibanje kazalca na merilnem instrumentu ali kombinirajo tudi z registrirno napravo. Omenjeni električni sistemi se v merilni napravi sučejo; potrebno je, da se električni vplivi prenašajo preko dveh obročev in drsnih ščetk na elektrovo k registrirni aparaturi.

Po tem načelu zgrajeno enobočno merilno napravo tvrdke Mahr kaže slika 6. Električni merilni oziroma registrirni mehanizem je ločen od osnovne enobočne merilne naprave; na sliki je vidna povezava s kablom.

Posebej zanimivo konstrukcijo enobočne merilne naprave je iznašel dr. Bürger. Pri njej je en torni kolut nepremično nameščen v stojalu, drug kolut pa, ki je trdno povezan z enim zobnikom, se suče kot planet okoli fiksnega koluta. Drug, vrtiljivi zobnik leži v isti osi nad fiksnim kolutom, kar je razvidno s slik 7, 8 in 9. Če bi bili oboji zobnikov brez slehernih napak, bi se vrtiljivi zobnik ne premikal; zaradi neizogibnih napak pa se malenkostno suče v eno ali drugo smer, kateri premiki se prenašajo na merilni oziroma registrirni mehanizem. Prej omenjeni zapletljaji, ki se pojavljajo pri opisanih merilnih napravah, kjer nastajajo



Slike 10 in 11



Slika 12

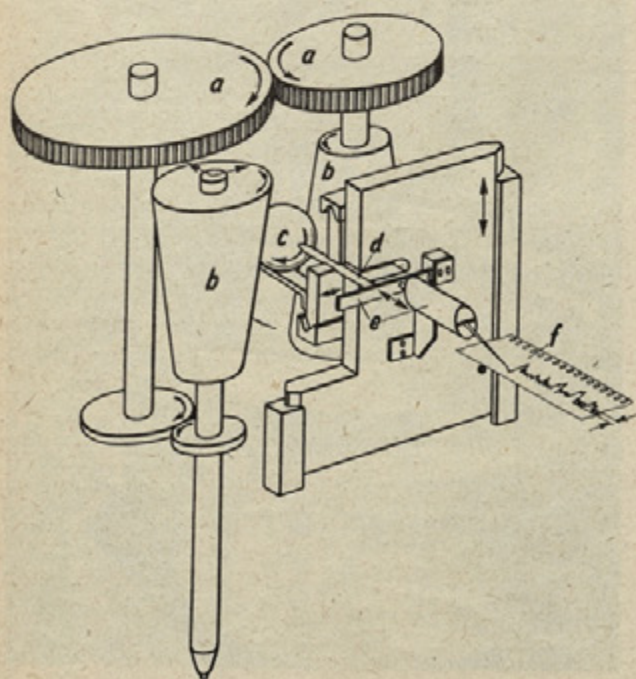
prenosne spremembe na vrtilnih sistemih, so pri Bürgerjevi napravi nemogoči. Ker je fiksni kolot vpet v stojalu, se premiki sončnega zobnika — okoli katerega se suče planetni zobnik — prenašajo na pisalni ustroj, ki je prav tako trdno nameščen na stojalu. Potrebno pa je, da je vrtilni mehanizem, ki nosi planetni zobnik in kotalni kolot, izdelan precizno.

Za uporabo v merilnih laboratorijih se lahko na tej merilni napravi namešča tudi izredno občutljiva optična aparatura, ki je shematično prikazana na slikah 10 in 11. Obe napravi napake lahko tudi registrirata, in sicer na trakastih diagramih.

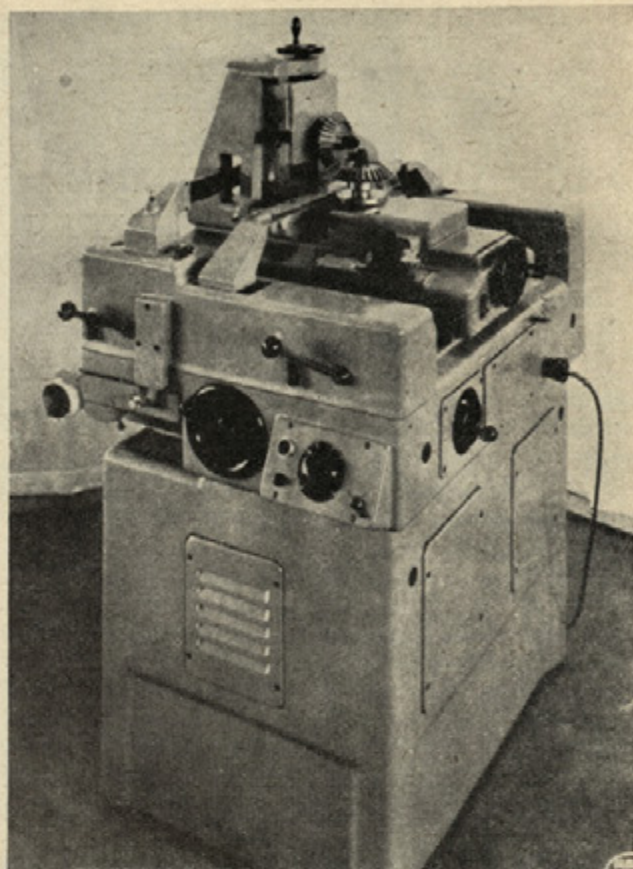
Slika 12 kaže serijsko izdelano merilno napravo tvrdke Klingelnberg, zasnovane po sistemu dr. Bürgerja.

Pri vseh do sedaj opisanih merilnih napravah morajo imeti torni koloti izdelane premerne natančno po premerih delilnih krogov zobnikov. Če premeri ne ustrezajo, tedaj diagrami na trakovih niso usmerjeni s smerjo gibanja trakov, pri krožnih diagramih pa registrirne črte niso v sebi zaključene, temveč imajo obliko spiral.

Na sliki 13 je shematično prikazana enobočna merilna naprava, s kakršno je mogoče kontrolirati zobnike z različnimi prenosnimi razmerji. Za eksaktno prenašanje vrtilnega gibanja rabi pri tej napravi namesto tornih kolotov brezstopenjsko stožčasto gonilo z dvema kaljenima in zelo natančno brušenima stožcema, ki imata enaki koničnosti. Pri vrtenju nenatančnih zobnikov nastajajo pri gnanem stožcu majhne oscilacije, ki vplivajo na položaj vodoravno vodene kroglice. Gibanje kroglice se prenaša na merilni oziroma registrirni mehanizem. Diagrami so trakasti.



Slika 13



Slika 14

Enobočno merjenje stožčastih zobnikov je bolj zapleteno kakor merjenje zobnikov z vzporednimi osmi.

Zanimivo napravo tvrdke Maag za merjenje stožčastih zobnikov prikazuje slika 14, pri kateri sta za natančno nastavitve stožčastih zobnikov nameščena dva suporta, ki nosita vrtilna trna za zobnika in torna kolota. Naprava je namenjena za kontrolno zobnikov z osmi pod pravim kotom, zaradi česar imata nasadilna trna tudi pripadajočo lego. Oba suporta sta nameščena na prečno gibljivih sanah, ki se pri kontroli zobnikov vodoravno premikajo sem in tja. Vzporedno s smerjo gibanja prečnih sani sta nameščeni dve precizno izdelani letvi, na kateri se oslanjata torna kolota za oba zobnika. Ena od teh letvi je fiksna, druga pa je lahkotno gibljiva in se zaradi napak v ozobjih za malenkost premika vzdolžno ter vpliva na merilni oziroma registrirni mehanizem. Tudi na tej napravi so v rabi trakasti diagrami.

Nova merilna naprava

Primerjava opisanih enobočnih merilnih naprav ponazarja, da teh aparatov ni mogoče izdelovati tako univerzalno kakor dvobočne merilne naprave. V naslednjem pa naj prikažem novo aparaturo, ki bo omogočala merjenje čelnih in vijačnih zobnikov, katerih osi se lahko sečejo pod poljub-

nimi koti, kakor tudi stožčastih, hipoidnih in polžastih zobnikov. Posebna prednost nove naprave je tudi, da omogoča merjenje napak v zobatih letvah in polžih oziroma orodjih, kakor n. pr. grebenih in frezalnih ter pehalnih zobnikov, ki rabijo za zobčanje zobnikov. Največ prednosti pa ima ta naprava zato, ker je z njo omogočena kontrola zobniških prenosov — reduktorjev — tako v neobremenjenem kakor tudi v obremenjenem stanju.

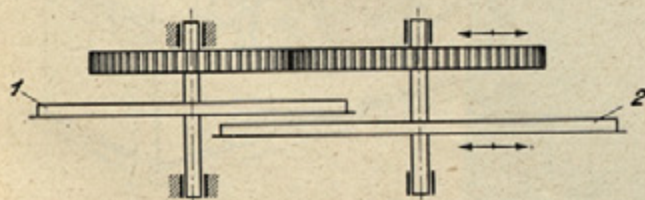
Te prednosti je nova merilna naprava pridobila s tem, da je zasnovana na povsem novih elementih.

Skoraj pri vseh enobočnih merilnih napravah je samo en zobnik trdno zvezan s tornim kolutom, drugi zobnik pa je nasproti drugemu kolutu relativno premakljiv, vrtljiv. Torna koluta morata biti zaradi tornega prenosa z določeno silo pritisnjena drug proti drugemu. Premera kolutov morata biti natančno določena in ustrezati prenosnemu razmerju zobnikov, to je obema premeroma delilnih krogov kakor tudi iz njih izhajajočemu medosju. Malenkostna sprememba medosja, s katero bi se hotelo vplivati na zrak med zobmi v ozobjih, bi vplivala na pritisk pri kolutih, tako da bi se razrušil njihov torni prenos.

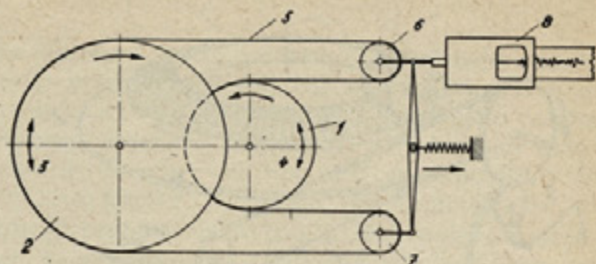
Pri novi merilni napravi sta oba koluta trdno nameščena na gredah oziroma trnih zobnikov in zato ni nobenih zapletljajev z relativno se kretajočimi stročnicami in mehanizmi za drugosmerno prenašanje gibanj na aparature za odčitavanje oziroma registriranje napak v ozobjih.

Slika 15 kaže shemo namestitve zobnikov in kolutov, iz katere je razvidno, da sta premera kolutov večja kakor premera zobnikov. Z večjima kolutoma se dosega večja občutljivost naprave, obenem pa se mnogo lažje prireja pravilno razmerje oziroma premera kolutov, ker pri tem ni treba paziti na medosje zobnikov. K že nameščenemu kolutu se mora prilagoditi samo en kolut in s tem se mnogo lažje doseže pravilno prenosno razmerje. Če se hoče doseči določena zračnost med ozobji, se lahko brez vpliva na kolutni ustroj menja medosje.

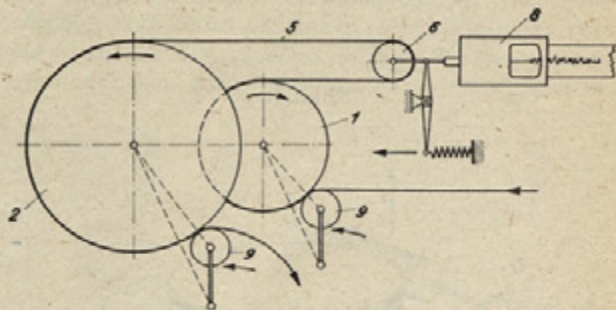
Na sliki 16 je podana principialna shema merilnih elementov. Zaradi napak v ozobjih se koluta 1 in 2 nekoliko premikata v smereh puščic 3 in 4, te neenakomernosti vrtenja pa se prenašajo na trakasto ali žično zanko 5, ki objema koluta. Zanko napenjata dva kolutka 6 in 7, ki sta ovzmetena. Napenjalna sila mora biti zadostna, da zanka lahko sledi neenakomernostim pri vrtenju kolutov 1 oziroma 2 in se z merilnim kolutkom premagujejo uporabi merilne oziroma registrirne naprave 8.



Slika 15



Slika 16



Slika 17

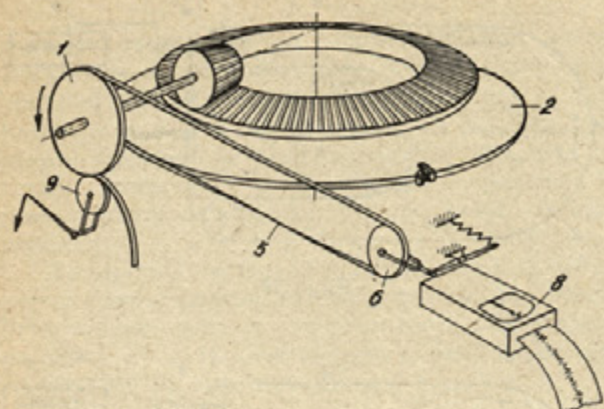
Namesto sklenjene zanke se lahko uporablja odprt trak po sliki 17. Po tem načinu oklepa trak koluta 1 in 2 le za določena loka, trak pa je napet le z merilnim kolutkom 6. Da trak ne more drseti po kolutkih 1 in 2, sta konca traku pod napetostjo dveh kolutov 9, 9.

Če se za prenašanje napak na merilno napravo 3 uporablja žica, se ta lahko večkrat ovije na oba koluta 1 in 2, s čimer je ustvarjena možnost za zaporedno merjenje zobnikov v eni ali drugi smeri vrtenja, to je desnih in levih bokov zob. Prosti konci daljših trakov morajo biti naviti na posebnih bobnih — podobno kakor so naviti trakovi na bobnih pri magnetofonskih aparatih.

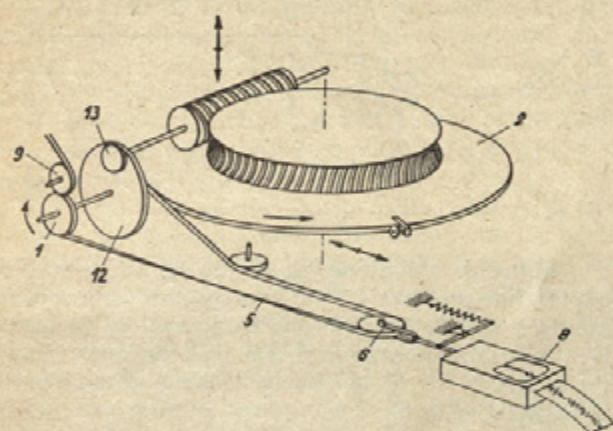
Pri meritvi po sliki 17 se zavoljo napetosti traku 5 pojavlja vrtilni moment v smeri puščic, tako da nastaja naleganje bokov v ozobjih zobnikov. Za kontrolo nasprotnih bokov je potreben vrtilni moment, ki deluje nasproti tračnemu momentu; ta se doseže z ustrezno zavoro, nameščeno na eni izmed osi zobnikov.

Slika 18 kaže shemo merilne naprave za enobočno kontrolo stožčastih zobnikov. Ta naprava je zelo podobna napravi za merjenje polžastih prenosov; stožčaste zobnike je mogoče meriti na pozneje opisanem prototipu naprave za merjenje polžastih prenosov z majhnimi spremembami oziroma dodatki. Konstrukcija merilnega ustroja za polžaste prenose je shematično prikazana na sliki 19 in bo podrobneje opisana pozneje.

Slika 20 kaže napravo in namestitve merilnih elementov za kontrolo ozobji pri zobatih letvah ali zobatih grebenih za zobčanje zobnikov. Za kontrolo zobatih letev je potreben natančno brušen mojstrski zobnik in en sam kolut, ki ima premer delilnega



Slika 18



Slika 19

kroga zobnika. Na tej napravi je mogoče kontrolirati tudi natančnost mojstrskih zobnikov po enobočni metodi z natančno brušeno zobato letvijo.

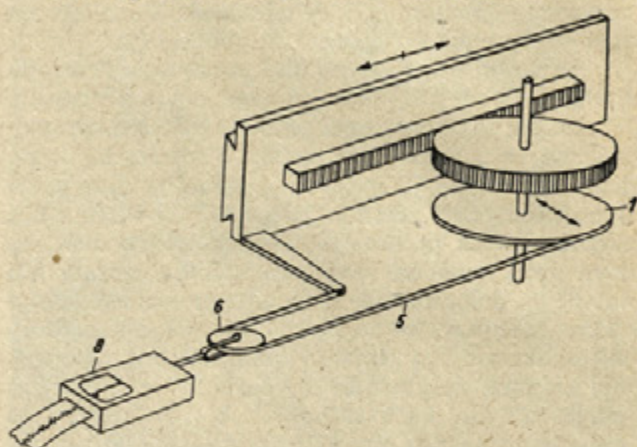
Merilna občutljivost te naprave in naprave po sliki 21 bi se lahko še stopnjevala, in sicer z uporabo kolutov z večjimi premeri. V ta namen bi morala biti naprava opremljena z zlogom, z dvema dodatnima kolutoma, ki bi bila montirana na istem trnu. Zgornji kolut zloga bi moral ustrezati delilnemu premeru mojstrskega zobnika, spodnji pa premeru povečanega koluta 1.

Naprava za kontrolo polžev, ki je prikazana na sliki 21, je verjetno pomembnejša od naprave za merjenje zobatih letev, ker se kaljeni in natančno brušeni polži dostikrat izdelujejo v večjih serijah. Pri kontroli brezstopenjskih polžev bi zadostoval čelni mojstrski zobnik; pri eno- in večstopenjskih polžih pa bi morali uporabljati mojstrski zobnik s prilagojenim poševnim ozobjem. Lahko pa bi vodilo dopolnili s kretalnim vpenjalom za polže, s katerim bi polže postavili v tako lego, da bi bila tangenta na vijačnico polža vzporedna z zobnikom oziroma kolutom 1. V tem primeru bi zadostoval mojstrski zobnik s čelnim ozobjem za vse polže. Profile polžev bi bilo mogoče kontrolirati v več

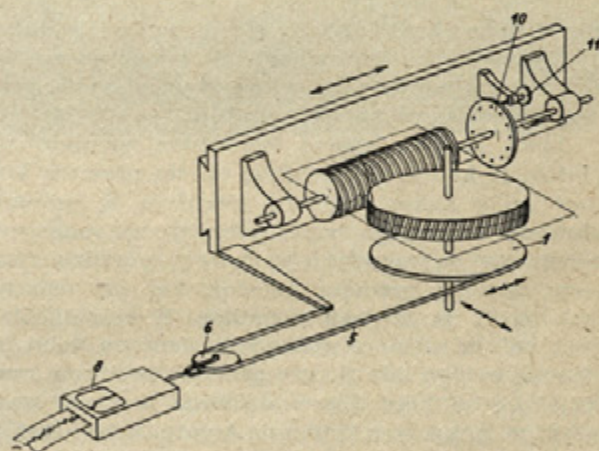
ravninah, če bi se polž zasukal za ustrezen kot, in sicer z delilno ploščo 10 in vklopilnim zatikom 11.

Na sliki 22 je shematično vidna možnost za kontroliranje poljubno velikih reduktorjev v praznem teku kakor tudi pod obremenitvijo.

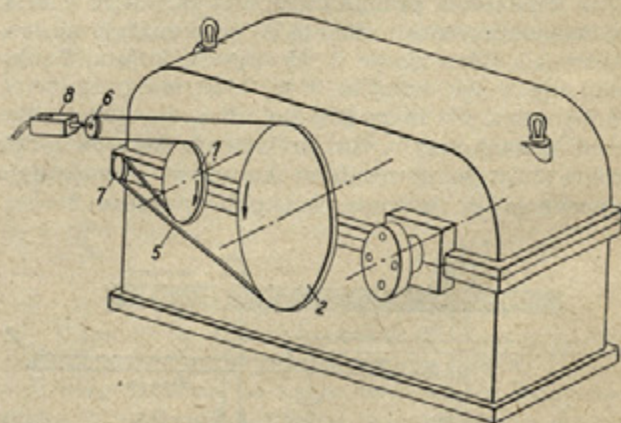
Na prostih koncih gredi — pastorka in drugih — bi bilo potrebno že pri konstrukciji gonila misliti



Slika 20



Slika 21



Slika 22

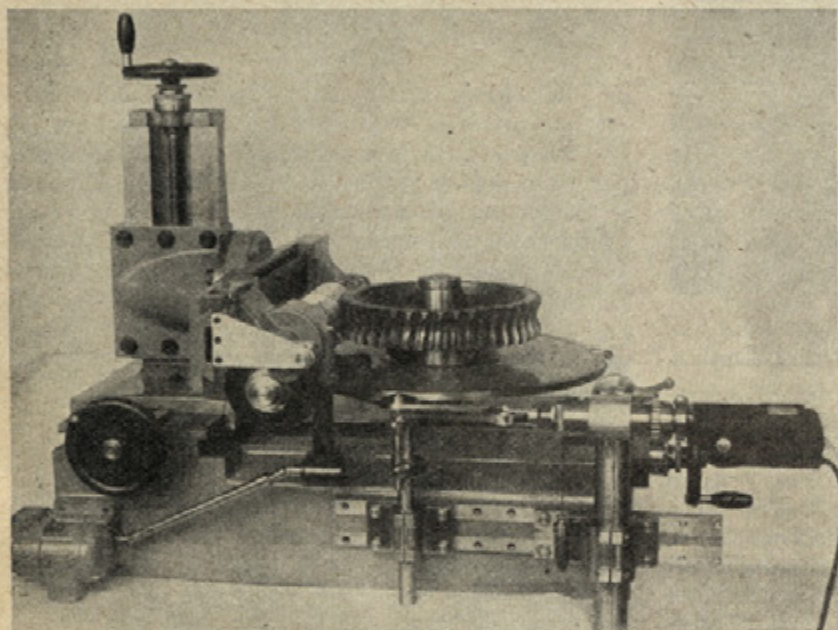
na namestitve kolotov za merilni trak, podobno kakor so pri konstrukcijah batnih pogonskih strojev nameščeni nastavki z navoji za merilne indikatorje.

Morebitne majhne ekscentričnosti priključkov za merilne kolote ne bi bile ovira pri merjenju, ker bi bilo mogoče z ustrezno nameščenimi vijaki merilne kolote natančno scentrirati na nekaj mikronov.

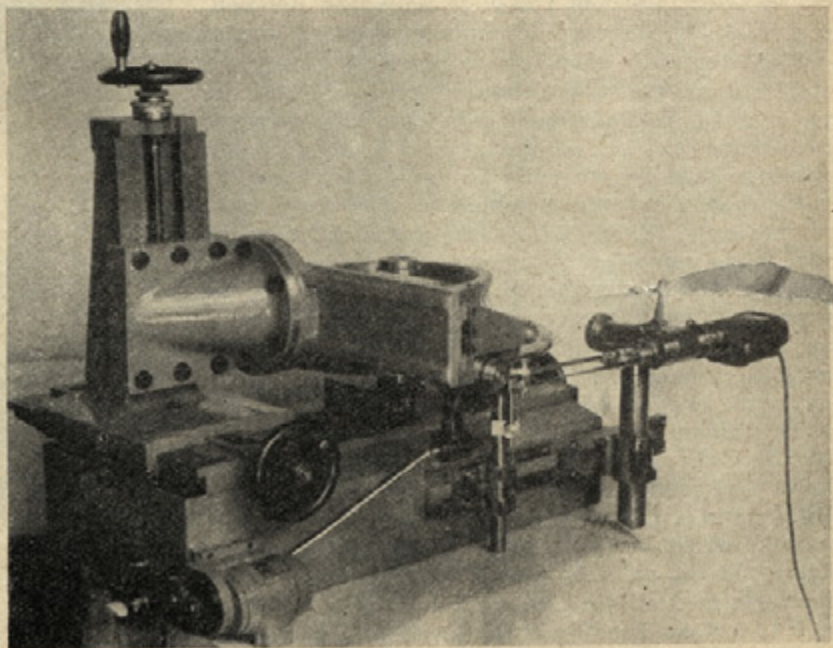
Konstrukcija in izvedba prototipa za kontrolo polžastih prenosov po enobočni merilni metodi

Slike 23, 24 in 25 prikazujejo konstrukcijo prototipa v raznih pogledih. Postelja merilne naprave

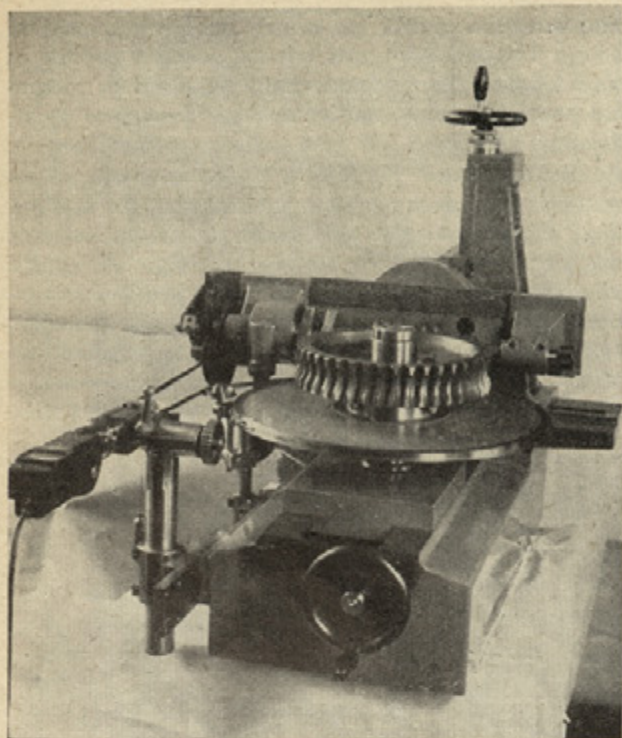
ima vzdolžna vodila, po katerih se gibljejo sani, ki nosijo vrtljivi vpenjalni trn za polžasti zobnik in tračni kolot. Sani premikamo z vijakom in ročnim kolesom, natančno nastavitve pa dosegamo z indeksnim obročem, ki ima ustrezno razdelitev in številčne oznake. Na strani elektromotorja je na postelji privijačeno prečno vodilo, spojeno s stojalom, ki ga je mogoče z vijakom in ročnim kolesom nastavljati prečno. Po stojalu se dviga ali spušča navpično vodilo, na katero se lahko priključijo različni vpenjalni deli, ki so konstrukcijsko prirejeni različnim zobniškim prenosom. Vsa tri vijačna vretena — za vzdolžno, prečno in navpično premikanje sani — imajo enake vzpone in enake indeksne



Slika 23



Slika 24



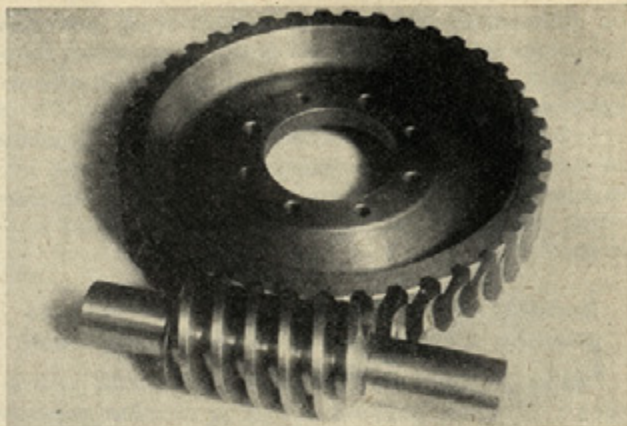
Slika 25

obroče za fino nastavljanje. Za predmetno merjenje polžastih prenosov je na navpičnih saneli privijačeno vrtljivo prečno vodilo, na katerem je vpet polž med konicama vretenjaka in konjička. Vrtljivo konico v vretenjaku je mogoče zelo natančno scentrirati s štirimi vijaki, ker je pomembno, da se doseže največja natančnost pri vrtenju polža okoli geometrične vrtilne osi. Konica v konjičku ne vpliva na natančnost vrtenja, ker je mrtva. Stožčasti ploskvi obeh konic sta brušeni natančno.

Na istem prečnem vodilu je nameščen poseben vretenjak, v katerega je mogoče vpenjati razne oblike stožčastih zobnikov za enobočno kontrolo stožčastih prenosov, podobno kakor je shematično na sliki 18. Ta dodatna naprava pa terja povsem nove konstrukcijske oblike prenosnih ustrojev; to razvojno delo bo pomenilo še novo nalogo s področja enobočne kontrole zobnikov.

Sukanje vretenjaka se izvaja z elektromotorjem, ki je nameščen ob boku postelje. Od elektromotorja se preko zobnikov, ki sta različna za različne prenose — natikata se na prosta konca gredi predležja — prenaša vrtilni moment preko kardanske gredi in para stožčastih zobnikov na navpično gred, na kateri je polž, od tod pa na polžasti zobnik, ki je na vretenu vretenjaka.

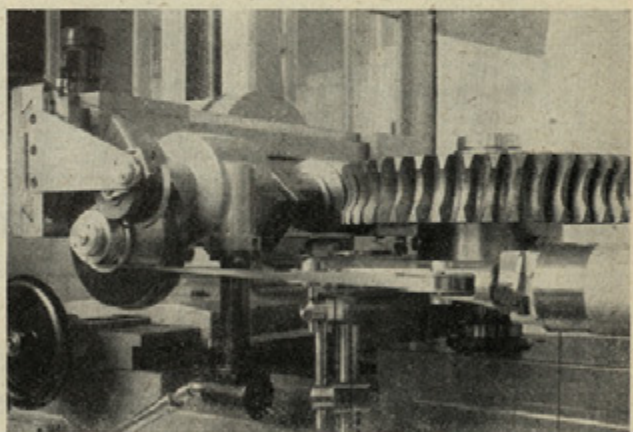
Ze v shemi po sliki 19 je naznačeno, da tračni kolut 1 ni nameščen neposredno na gredi polža — kakor je to n. pr. izvedljivo pri napravi za stožčaste zobnike po sliki 18 — temveč na gredi frikcijskega koluta 12, ki ga suče manjši kolut 13. Prenosno razmerje med obema tornima kolutoma je natanko $u = 1:4$. Taka konstrukcijska izvedba je potrebna,



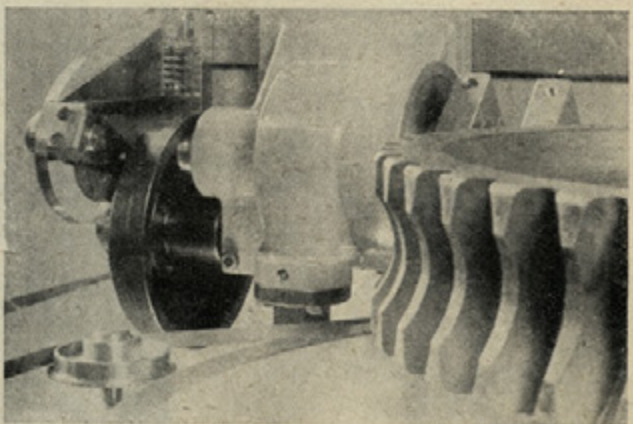
Slika 26

da pri zasnovi celotnega prenosa tračni kolut 2 ne postane prevelik, tračni kolut 1 pa premajhen.

Pri preizkušnem polžastem prenosu z enostopenjskim polžem in polžastim zobnikom z 42 zobmi je znašalo prenosno razmerje $u = 1:42$. Če se vzame tračni kolut 1 premera $d_1 = 50$ mm, bi moral imeti kolut 2 premer $d_2 = 2100$ mm, kar bi se na merilni napravi konstrukcijsko ne dalo izvesti. Z uporabo

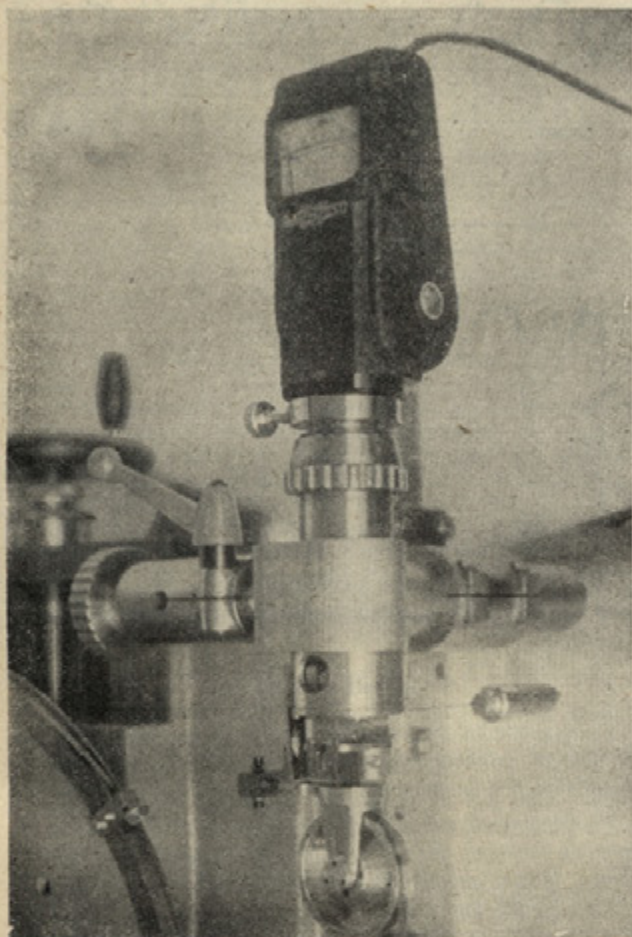


Slika 27



Slika 28

redukcijskega tornega gonila s prestavo 1:4 se zmanjša premer koluta 2 na $d_2' = 525$ mm. Takšen premer ima tudi tračni kolut 2 prototipa.



Slika 29

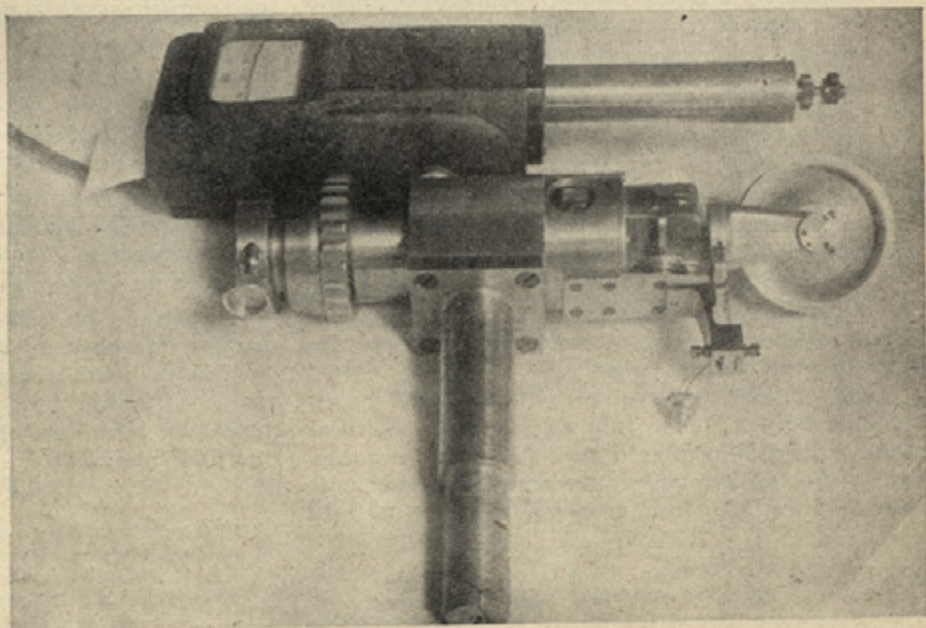
Za nadaljnje merjenje polžastih prenosov je bil v Inštitutu za mehansko tehnologijo na Fakulteti za strojništvo izdelan razen enostopenjskega polžastega prenosa še dvostopenjski prenos z $u = 2:42$ po sliki 26. Pri enobočnem merjenju bi premer tračnega koluta 2 ostal neizpremenjen — 525 mm, premer tračnega koluta 1 pa bi bilo potrebno povečati od 50 mm na 100 mm.

Redukcijsko torni gonilo je s slik 27 in 28 razvidno v detajlih.

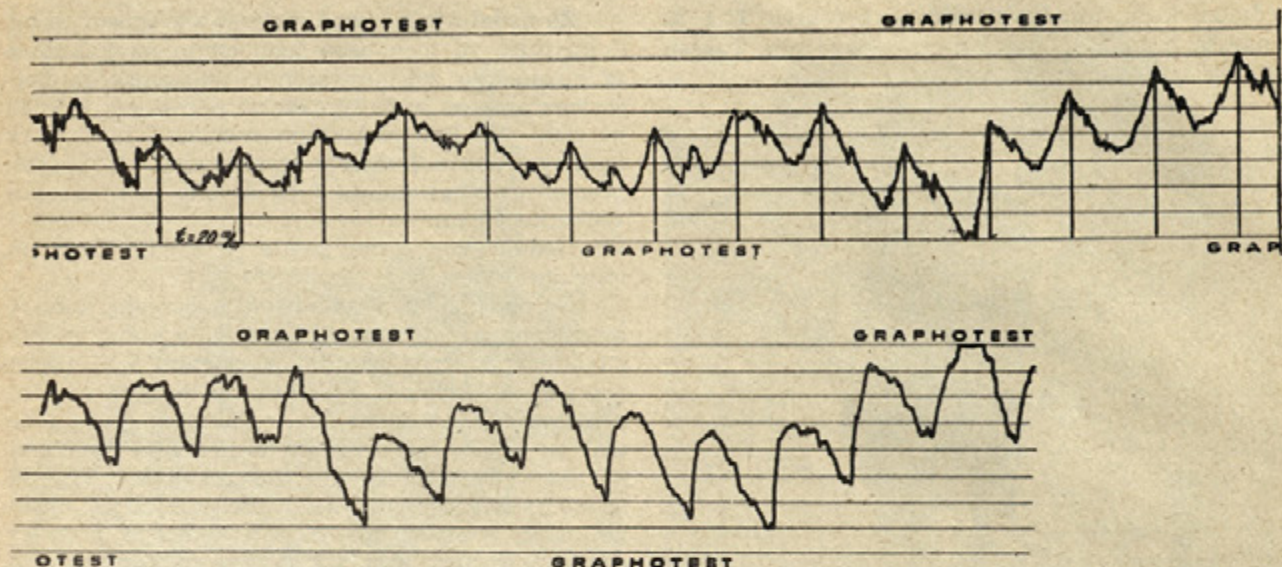
Na obeh slikah so vidni tudi napenjalni kolut 9, ovzmetena napenjalna naprava za ta kolut in merilni trak 5. Drug prosti konec traku 5 ni tiščan proti obodu koluta 2 s kolutom 9, temveč je nanj pripet z vijačno spono, in to tako, da je mogoče trak po obodu koluta relativno nekoliko premikati in tako vplivati na lego merilnega koluta 6. Vijačno spono je mogoče pritrditi na štirih mestih po obodu koluta 2, prestavi pa se potem, ko je polovica oboda polžastega ozobja enobočno prekontrolirana. Možna bi bila tudi kontrola ozobja zobnika po vsem obodu v enem — tedaj bi bilo potrebno pritiskati drug prosti konec traku 5 s kolutom 9 ob obod tračnega koluta 2, kar pa zaradi preglednosti in enostavnosti na prototipu ni bilo izvedeno.

Merilno kolutce 6 je zaradi čimmanjših uporov vodeno v ovzmetenih kotalnih vodilih, s čimer je mogoče lego vrtilne ravnine kolutca poljubno menjavati in to zaradi tega, da se trak 5 lahko pravilno vodi od tračnega koluta 1 do merilnega kolutca 6 in nazaj do tračnega koluta 2; koluta 1 in 2 ne ležita v istih ravninah ter sta osi obeh pri napravah za kontrolo stožčastih in polžastih zobnikov celo pravokotni druga na drugi.

Pri prototipu je bil za merjenje oziroma registriranje napak v ozobju uporabljen »Graphotest« tipa 107 z 250-kratno povečavo. Graphotest je proti vodilu merilnega kolutca 6 aksialno pomakljiv z



Slika 30



Slika 31

diferencialno matico. Z diferencialno matico se pravzaprav premika stročnica s precizno izdelano izvrtino, v katero je potisnjen ročaj graphotesta, ki je v tej stročnici še fiksiran s stezalnim vijakom. Namestitev graphotesta je podrobno razvidna s slik 24, 25 in 29. Te slike kažejo, da je merilna aparatura tudi prečno nastavljiva z diferencialnim vijakom in jo je mogoče v vsaki legi fiksirati s stezalno ročico. Slika 30 kaže detajl merilne aparature, ko je graphotest demontiran.

Za kontrolo čelnih in vijačnih zobnikov kakor tudi zobnikov s puščičastimi in krožno-ločnimi ozobji bi bilo treba uporabiti dodatne naprave; za kontrolo teh zobnikov bi bilo treba demontirati prečno oziroma navpično vodilo. Za vpetje omenjenih zobnikov bi bili potrebni specialni vpenjalni oziroma centrirni trni — v določenih primerih tudi ekspanzijski trni na hidravlični tlak, vrhu tega pa še dva navijalna bobna za prosta konca merilnega traku. Navijalna bobna bi morala imeti posebne naprave za stezanje oziroma spreminjanje aksialnega pritiska na torna prenosa, obenem pa bi morala biti prirejena za natančno višinsko nastavljanje navijalnih mest ter gnana s posebnima motornima, jermenskima ali polžastima prenosoma.

Na prototipu še ni bila izvedena zavora, pri kateri bi bilo mogoče spreminjati torni moment — zaradi možnosti naleganja bokov pri vrtenju zobnikov v eno ali drugo smer.

Vse opisane naprave za kontrolo čelnih in vijačnih zobnikov kakor tudi za zobnike s puščičastimi in krožno-ločnimi ozobji, za kontrolo stožčastih in hipoidnih zobnikov ter naprave za merjenje zobatih letev, pehalnih grebenov, mojstrskih zob-

nikov ter polžev na prototipu niso bile izvedene, ker je bil ta zasnovan samo za kontrolo polžastih prenosov.

Izvedba meritev

Na prototipu smo kontrolirali polžasti prenos, in sicer enostopenjski polž z modulom 7, ki je vprijemal v ozobje polžastega zobnika z 42 zobmi.

Diagrami po sliki 31 kažejo, da je čisto novi merilni stroj zelo občutljiv, tako da širina merilnega traku graphotesta z 250-kratno povečavo ni zadostovala za popolno izrisanje diagramске črte. Za kontrolo polžastega ozobja modula 7, ki ni bilo izdelano posebno natančno, bi bil zadostoval ali bolje ustrezal graphotest s 100-kratno povečavo, ki pa ga Inštitut do sedaj žal nima.

Polž ni bil brušen — samo stružen — in izdelan v tovarni Litostroj. Polžasti zobnik pa je bil ozobčan v laboratoriju Inštituta za mehansko tehnologijo na stroju »Lorenz« za kotalno zobčanje zobnikov, in sicer s sekalnim nožem po tangencialnem postopku.

Delitvi 7π ustreza na diagramu dolžina okrog 20 mm, merilno območje na traku pa obsega, od srednice na vsako stran, po 100 mikronov.

Diagrami po sliki 31 jasno kažejo, da potekajo napake v ozobju preizkušenega polžastega prenosa na desnih bokih drugače kakor na levih, se pravi, da je potrebno izvajati meritve tudi na ozobjih polžastih zobnikov, če le mogoče, na enobočnih merilnih napravah.

Avtor: akademik prof. ing. Feliks Lobe,
Fakulteta za strojništvo Univerze
v Ljubljani