

DK 621. 753. 38

Merilne kladice, osnova za točnost merjenja v industriji*

Hans Schmidt

V industrijski proizvodnji (strojgradnji, proizvodnji motornih vozil, fini mehaniki itd.) imamo opraviti večinoma z dolžinskimi merjenji, ki so izredno zahtevna glede preciznosti. Sodobna proizvodnja terja načelo zamenljivosti in je s tem povezana s sistemom toleranc in različnih kakovostnih stopenj. Šele njihova diferenciacija vodi do največje natančnosti. Današnjim zahtevam glede točnosti je mogoče zadoščati le z zanesljivimi merjenji, ki pa jih je mogoče zagotavljati le s sodobnimi sredstvi in z upoštevanjem vseh merilno-tehniških pravil. Da bi mogli doseči to zanesljivost merjenja v industrijskem obratu, ga je treba pravilno organizirati. V vsakem obratu mora biti neka merilno-tehniška osnova, na katero je mogoče zgraditi ves sistem merjenja. Za tako osnovo je najprimerneje določiti neki zlog merilnih kladic, ki ga lahko označimo kot pramerilo tovarne. Na to osnovo se nato lahko vračamo vsakokrat, kakor hitro se merjenje v kakršnem koli primeru iz katerega koli razloga izkaže za nezanesljivo. Vzoredne merilne kladice pravokotne oblike, kakršna je v rabi v vseh industrijskih državah, imajo nad petdeset let staro zgodovino. V mnogih državah jih imenujejo po njihovem švedskem izumitelju »Johansson«. Prav tako, kakor omenjajo na Švedskem v zvezi z uvedbo in razvojem vzorednih merilnih kladic Johanssona, enako se pri tem spominjajo v Združenih državah Amerike imena Ellstroma, ki je švedskega porekla. V Nemčiji pa je z uvedbo in razvojem vzorednih merilnih kladic tesno povezano ime »Hommel«.

Vzoredna merilna kladica ima ravne in vzoredne merilne ploskve, njihova medsebojna oddaljenost pa pomeni določeno mero: merilna kladica pomeni torej neko natanko opredeljeno mersko vrednost. V nasprotju s tem pa je pri merilu s črtkano lestvico, ki jo prav tako uporabljamo kot dolžinski standard (n. pr. pariški prameter), mera določena z razdaljo med črtkami. S prednostmi, ki jih ima merilna kladica nasproti merilu s črtkano lestvico, je bilo slednje tudi znatno izpodrinjeno. Predvsem je mogoče merilno kladico izdelati mnogo točneje in jo je tudi mogoče meriti mnogo točneje kakor črtkano merilo. Največja točnost merjenja znaša pri merilnih kladicah približno 0,000 02 mm, dosežemo pa jo z interferometrično metodo. Nadaljnja prednost je enostavnost posnemanja mere, to je, prenašanje mere od merilne kladice na drugo merilno sredstvo ali preizkusni pripomoček. Medtem ko uporabljamo pri snemanju mer s črtkanega merila mikroskopske ustroje, pri snemanju mer z merilnih kladic večinoma niso potrebni nobeni pomožni pribori; merilne ploskve merilne kladice lahko spravimo v neposredni stik z merilnimi ploskvami preizkusnega pripomočka ali merilnega instrumenta. Velikega pomena pri uporabi merilnih kladic je njihova kombinacijska možnost. Merilne kladice poljubnih velikosti lahko sestavljamo z njihovimi merilnimi ploskvami in dobivamo tako vsako poljubno mero tudi do intervala tisočinke milimetra (v izjemnih primerih tudi še drobnejšega). Tako sestavljene merilne kladice pomenijo mero, ki jo lahko uporabljamo prav tako kakor merilno kladico enake dolžine iz enega samega kosa. Medsebojno sprijemanje neoporečnih merilnih ploskev, ki morajo s svojo ravnostjo in polituro ustrezati velikim zahtevam, je neverjetno močno. Sprijemanje povzročajo molekularne sile; magnetizem ali zračni tlak sta pri tem izključena. Ker je mogoče izdelati zelo majhne in prav tako tudi velike merilne kladice, lahko sestavljamo kombinacije z velikostmi

izpod 1 mm pa vse do nekako 12 000 mm dolžine, pa tudi več.

Uporaba merilnih kladic v proizvodnji, v merilnicah in merilnih laboratorijih je tako mnogostranska, da izdelujejo merilne kladice v več stopnjah točnosti in tako lahko gospodarno strežejo vsem zahtevam. Po DIN 861 (novem predlogu) so uvedene štiri stopnje točnosti, za katere so podani dopustni odstopki sredinske mere — to je razdalje med merilnima ploskvama v sredini merilne kladice takole:

$$\text{stopnja točnosti 0: } \pm \left(0,1 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{500\,000} \right)$$

$$\text{stopnja točnosti I: } \pm \left(0,2 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{200\,000} \right)$$

$$\text{stopnja točnosti II: } \pm \left(0,5 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{100\,000} \right)$$

$$\text{stopnja točnosti III: } \pm \left(1 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{50\,000} \right)$$

K temu prideta še dve nestandardizirani stopnji točnosti:

$$\text{stopnja točnosti 00: } \pm \left(0,05 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{1\,000\,000} \right)$$

$$\text{stopnja točnosti IV: } \pm \left(2 \mu + \frac{\text{merilna dolžina}}{20\,000} \right)$$

Merilna kladica dolžine 100 mm ima torej naslednje tolerančne meje:

$$\text{za stopnjo točnosti 00: } \pm 0,15 \mu$$

$$\text{za stopnjo točnosti 0: } \pm 0,3 \mu$$

$$\text{za stopnjo točnosti I: } \pm 0,7 \mu$$

$$\text{za stopnjo točnosti II: } \pm 1,5 \mu$$

$$\text{za stopnjo točnosti III: } \pm 3 \mu$$

$$\text{za stopnjo točnosti IV: } \pm 7 \mu$$

Razen teh predpisov za sredinsko mero morajo biti izpolnjeni vsi ostali predpisi standarda, če naj merilna kladica v resnici ustreza določeni stopnji točnosti. Ti predpisi ne zadevajo le kakovosti merilnih ploskev, ampak tudi kakovost stranskih ploskev in njihovega medsebojnega pravokotnega položaja.

Semkaj spada tudi odnos do normalne (odnosne) temperature 20°C. Pri tej temperaturi naj bo dolžina merilne kladice pravilna. Pri temperaturi, ki odstopa od 20°C, se njena dolžina zaradi toplotne razteznosti spreminja. Toplotni razteznostni koeficient snovi, iz katere je izdelana merilna kladica, naj bo čim bližje toplotnemu razteznostnemu koeficientu jekla ($11,5 \cdot 10^{-6} 1^\circ$), ker so predmeti, ki jih merimo, pretežno jekleni.

Merilna kladica, ki kaže nova veliko točnost, naj jo tudi čim dlje ohrani. Nikakor torej ne sme spreminjati svoje mere zaradi notranjih dogajanj v materialu. Da to dosežemo prav gotovo, merilne kladice umetno staramo, vendar mora biti ta postopek popolnoma prilagojen posebnostim posameznega jekla.

Pravokotne vzoredne merilne kladice imajo po DIN 861 prerez 35×9 mm za mere nad 10 mm dolžine, 30×9 mm za mere od 0,5 do 10 mm in 20×9 mm za mere pod 0,5 mm. Največje vzoredne merilne kladice v enem kosu so dolge 4000 mm in jih izdelujejo samo v Nemčiji.

Merilne kladice razporejajo v zloge, katerih vsebina se ravna po namenu uporabe. Zlogi sestojijo iz posameznih vrst. Te vrste oblikujejo mere, ki imajo pri metričnem sistemu preprosto decimalno razdelitev. Pogosto uporabljeni zlog merilnih kladic je n. pr. sestavljen naslednje (iz 46 kosov):

* Ta članek je napisal dr. ing. Hans Schmidt VDI za časopis »Maschinenmarkt« (Nr. 67 — 20. Aug. 1954, 60. Jahrg.) založništva Vogel-Verlag Coburg. Prevedel: ing. Nande Nikelsbacher.

1,001 mm do 1,009 mm	stopnjevano po 0,001 mm,
1,01 mm do 1,09 mm	stopnjevano po 0,01 mm,
1,1 mm do 1,9 mm	stopnjevano po 0,1 mm,
1 mm do 9 mm	stopnjevano po 1 mm,
10 mm do 90 mm	stopnjevano po 10 mm,
100 mm.	

S tem zlogom lahko oblikujemo vse mere od 3 mm do 623,995 mm stopnjema po 1/1000 mm. Redoma pa je v rabi samo do nekako 200 mm, ker naj se v eni kombinaciji, če le mogoče, iz ene vrste ne uporablja več kakor po ena merilna kladica.

Če ne potrebujemo razdelbe po tisočinkah mm, tedaj lahko opustimo prvo vrsto. Podobno velja tudi za drugo in tretjo vrsto. V nasprotju s tem pa lahko povečamo zlog z novo vrsto 200 do 900 mm, stopnjevano po 100 mm.

Zlog merilnih kladic, pri katerem lahko oblikujemo mere že od 2 mm navzgor, stopnjevano po 1/1000 mm, je naslednji (iz 87 kosov):

1,001 mm do 1,009 mm	stopnjevano po 0,001 mm,
1,01 mm do 1,49 mm	stopnjevano po 0,01 mm,
1,5 mm do 9,5 mm	stopnjevano po 0,5 mm,
10 mm do 90 mm	stopnjevano po 10 mm,
100 mm.	

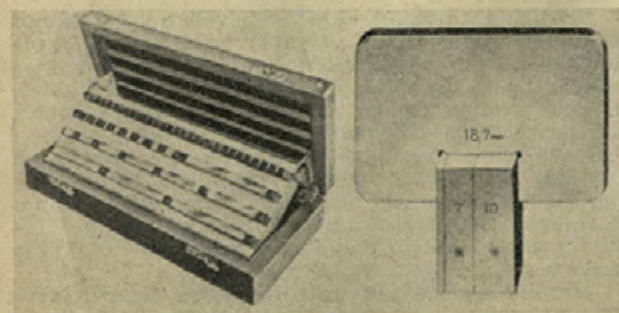
Ta zlog merilnih kladic ima to prednost, da marsikatero kombinacijo lahko izvajamo z manjšim številom merilnih kladic kakor z zgoraj omenjenim zlogom, ki obsega 46 kosov. Primer ene kombinacije:

Oblikovati je treba mero 96,984 mm. Dobimo naslednja sestavka:

z zlogom 46 kosov:	z zlogom 87 kosov:
1,004	1,004
1,08	1,48
1,9	4,5
3	90
90	96,984
96,984	

Merilne kladice shranjujemo v lesenih škatlah, ki vsebujejo vsakokrat en zlog merilnih kladic. Slika 1 kaže posebno priročno izvedbo, v kateri se vložek pri odpiranju škatle nagne, tako da je tudi za sedečega uporabnika dobro pregledna. Pokrov obstane pri tem pokonci in ne zavzema nobene dodatne površine na mizi.

Razen teh dveh zlogov merilnih kladic, ki sta največ v rabi, imamo še druge z okrnjenimi vrstami. Te vrste vsebujejo namesto 9 kosov le po 4 (1, 2, 4, 7) in so zategadelj tudi cenejše. Zopet drugi zlogi imajo merilne kladice z negativnimi odstopki, na primer 1—0,001 do 1—0,009 mm, padajoče po 0,001 m. Nekateri zlogi imajo še drobnejše stopnjevanje ($1/2 \mu$ ali $1/4 \mu$, $1 \mu = 0,001$ mm) ali odstopke po tolerancah ISA. Specialni zlogi za preverjanje mikrometrov in tuširnih plošč vsebujejo temu ustrezne velikosti merilnih kladic. Za vsak merilni namen je mogoče izbrati najprimernejši in najbolj gospodaren zlog merilnih kladic.



Sl. 1: Zlog merilnih kladic (škatla odprta).

Sl. 2: Neposredno merjenje merila z merilnimi kladicami.

Pri izbiri zloga merilnih kladic je treba upoštevati naslednje vidike:

1. merilno območje, ki naj ga zlog prekriva,
2. najmanjše potrebno stopnjevanje in najmanjšo mero, od katere naj se izvede to stopnjevanje.

Kakor hitro po taki presoji določimo velikost zloga merilnih kladic, je treba odrediti potrebno stopnjo točnosti. Tudi pri merilnih kladicah ni priporočljivo izbirati večje točnosti, kakršna je potrebna glede na namen merjenj. Odločilna je točnost izdelkov ali kalibrov, ki jih hočemo izmeriti z izbranimi merilnimi kladicami.

Važno je tudi mesto, ki ga zavzame zlog merilnih kladic v organizaciji merjenja v obratu vobče. Mesto, ki ga odredimo merilnim kladicam v obratu, določa vsakokrat namen uporabe. Običajno mesto zavzemajo delovna merila. To so merilne kladice, ki jih uporabljamo za neposredno merjenje izdelkov in pripomočkov, za zarisovanje itd. Glede na točnost izdelkov, kakršna je potrebna v obratu, imajo delovna merila lahko nižjo ali višjo kakovostno stopnjo. V primeru, da je za izdelke predpisana kakovost ISA 9, morajo imeti delovna merila stopnjo točnosti II. Merilne ploskve prihajajo v neposredni dotik z izdelki itd. in s tem tudi s snovmi, ki imajo smirku podobno brusilno sposobnost. Tako so te ploskve izpostavljene obrabi, kar se seveda kaže na njihovem videzu in kakovosti.

Sestavni del organizacije tehniškega merjenja je stalno nadziranje delovnih meril, najsi bodo merilne kladice ali drugi delovni kalibri. V ta namen služijo kontrolna merila, ki spadajo navadno v enako kakovostno stopnjo kakor delovna merila. Delovne merilne kladice premerjamo v določenih časovnih presledkih na ustreznih merilnih napravah, n. pr. na precizijskem merilnem stroju. Časovni presledki med dvema merjenjima so odvisni od obremenitve merilnih kladic. Merilne naprave nastavljamo s kontrolnimi merilnimi kladicami. Za čeljustne kalibre imamo posebna kontrolna merila v obliki merilnih plošč. Za nadziranje navojnih obročnih kalibrov so namenjeni kontrolni trni. Vsa ta kontrolna merila služijo za to, da bi pregledovali in nadzirali točnost delovnih meril merilnih kladic in drugih kalibrov.

Tudi kontrolna merila so seveda izpostavljena obrabi, ki pa je gotovo mnogo manjša kakor pri delovnih merilih. Zato jih nadziramo s primerjalnimi merili, s katerimi jih primerjamo v daljših časovnih presledkih. V omenjenem primeru bi imele primerjalne merilne kladice stopnjo točnosti I.

Zadnja instanca v notranjih sporih pa je zlog prameril, ki služijo za nadziranje posameznih primerjalnih meril. V primerih z drugimi merilnimi kladicami jih uporabljamo le poredkoma. Za zlog prameril v gornjem primeru prav tako zadošča stopnja točnosti I.

V ostalem pa v vseh obratih ni potrebna taka piramida organizacije za tehniško merjenje v popolnem obsegu. Nadzor višjih stopenj se lahko prepusti kakemu izdelovalcu merilnih kladic ali državnemu organu. V takem primeru ima obrat samo delovna in kontrolna merila, včasih pa tudi primerjalna merila. Razporeditev zlogov merilnih kladic (prameril, primerjalnih meril itd.) določa zmerom samo vrsta njihove uporabe, nikoli pa njihova točnost. Točnost merilnih kladic je konec koncev odvisna zmerom le od točnosti izdelkov, ki jih v obratu izdelujemo, in od vrste njihove uporabe. To pomeni, da ni neogibno potrebno, da bi imel zlog prameril stopnjo točnosti 0 in je samo tedaj res pramerilo, če služi kontroli primerjalnih meril. Če ta zlog uporabljamo za kontrolo kontrolnih meril, tedaj to ni zlog prameril, marveč zlog primerjalnih meril, ne glede na to, da je hkrati najtočnejši zlog posameznega obrata. Ti medsebojni odnosi v organizaciji tehniškega merjenja v obratu so zelo velikega pomena. Kdor jih je spoznal, bo izbral pri nabavi merilnih kladic vedno pravilno stopnjo točnosti.

Stopnja točnosti in velikost zlogov merilnih kladic morata biti v soglasju s posebnostmi obrata glede tehniških meritev.

Z merilnimi kladicami, od katerih točnosti in zanesljivosti je odvisna točnost proizvodnje v obratu, je treba ravnati skrbno in previdno. Varovati in zaščititi jih je treba proti mehanskim, kemijskim, termičnim, magnetičnim in električnim vplivom. Mehanske poškodbe, praske in podobno povzročajo brazde, ki spačijo mero in jih mora odstranjevati strokovnjak za merilne kladice. Merilno kladico moramo zaščititi proti rjavenju z omaščanjem z brezislinskimi vazelinom, potem ko smo jo poprej obrisali s čisto platneno krpo. Razmaščati moramo s čistimi krpami, ki ne puščajo vlaken. Merilne kladice moramo zaščititi proti neposrednim sončnim žarkom, toplotnemu izžarevanju iz kurjave ter magnetnim in električnim poljem. Shranjevati jih moramo v posebnih skatlah, ki jih je za to dobavil izdelovalec, po možnosti pa naj bodo zaprte, da ne prihajajo vanje prah, smirek itd.

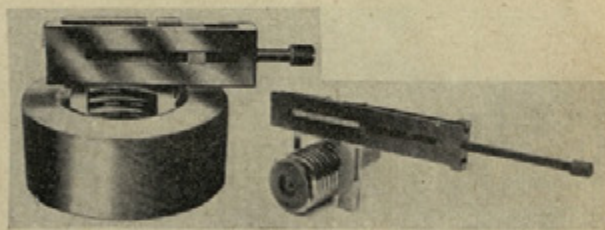
Vlažnost zraka, ki presega 65%, je za fino polirane površine merilnih kladic zelo nevarna. Prah, ki plava v prostorih po obratu, je v splošnem higroskopičen. Prašno vlakno, ki se vsede na nezavarovano površino merilne kladice, pritegne iz zraka vlago in povzroči v kratkem rjasto piko, ki ima obliko prašnega vlakna. Kadar koli pridejo pri omaščanju merilnih kladic taki prašni delci pod masno prevleko, lahko povzročajo rjasta mesta, če se med daljšim ležanjem vlaga v zraku dvigne previsoko. Tvegano je tudi uporabljati merilno kladico, ki je dalj časa ležala neuporabljena in o kateri ne vemo, kakšnim vplivom je bila izpostavljena, ne da bi jo temeljito preizkusili, saj termični in magnetični vplivi prav tako spreminjajo mero merilne kladice.

Vsak zlog merilne kladice bi bilo treba v določenih časovnih razdobjih preizkušati in s tem preprečevati napačna merjenja, ki bi neogibno nastala zaradi obrabljenih merilnih kladic. Čim pogosteje in zahtevneje uporabljamo merilne kladice, tem krajši naj bodo ti časovni presledki. Ker niso vse mere v zlogu v rabi enako pogosto, ostane pri vsakem preizkušanju nekaj meril, ki so postala premajhna in jih je treba izmenjati. Le stalen nadzor in takojšnja izmenjava obrabljenih merilnih kladic nas obvaruje napačnih merenj s pomanjkljivimi merilnimi kladicami. Zato moramo imeti zmerom pred očmi, da gre v vseh teh primerih le za delce ene tisočinke milimetra.

Da bi omejili obrabo, uporabljamo trdo kromane merilne kladice ali pa merila iz karbidnih trdin. Sprjemljivost med kromanimi merilnimi kladicami je nekoliko manjša kakor pri jeklenih. Merilne kladice

iz karbidnih trdin se sprijemajo zelo dobro; često jih potiskamo na konce posameznih kombinacij kot varovalo, da s tem zaščitimo proti obrabi ostale merilne kladice.

Glavna področja za uporabo vzporednih merilnih kladic so: neposredno merjenje (slika 2), nastavljanje merilnih strojev (slika 3) in merjenje v zvezi z opremo merilnih kladic. K zadnjemu spadajo predvsem razne vrste merilnih kljunov. Polkrožni kljuni služijo za merjenje izvrtin (slika 4). Med kljune vlagamo merilne kladice. Njihova dolžina je enaka premeru vrtnice, odštevši debelino obeh kljunastih nastavkov. Z notranjimi stranicami kljunastih nastavkov lahko obliku-

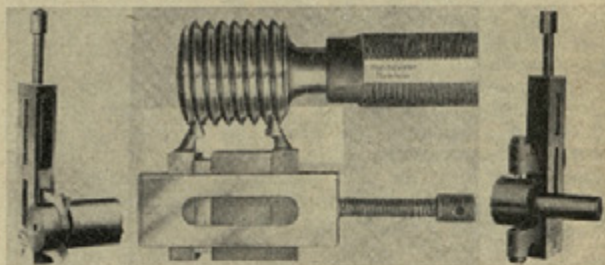


Sl. 4: Merjenje izvrtine.

Sl. 5: Zevno merilo.

jemo merilni zev (slika 5). Merilne kladice in kljun drži skupaj ustrezno držalo.

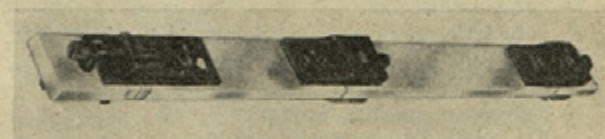
Utoe in rege lahko merimo s kljuni v obliki rezilnih osti (slika 6). Za merjenje navojnih vzponov se poslužujemo posebnih merilnih kljunov (slika 7). Le-ti imajo konico kljuna oblikovano pod kotom profila (55° ali 60°). Napake v vzponu se pokažejo kot svetla rega med merilnim kljunom in navojem. Bočni premer zunanjih navojev lahko merimo z merilnimi kljuni, ki



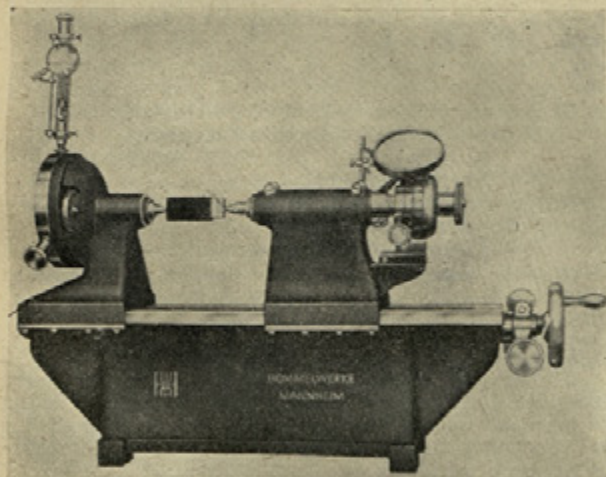
Sl. 6: (levo) Merjenje utora. Sl. 7: (v sredini) Merjenje navojnega vzpona. Sl. 8: (desno) Merjenje bočnih premerov navojev.

imajo v ta namen pritrjene ustrezne dele za merjenje navojev (slika 8).

Velike merilne kladice nad 100 mm dolžine spenjamo med seboj s sponami, ki sestojijo iz dveh platnic in dveh prečnih čepov (slika 9). Velike merilne kladice imajo na vsaki strani prečno izvrtino, skozi katero vtaknemo čep, od katerih je eden v sredini kroglasto odebeljen, da se tako površine merilnih kladic prilagajajo druga drugi. Kadar sestavljamo z velikimi merilnimi kladicami tudi majhne, tedaj uporabljamo univerzalne spono, ki imajo do 225 mm široko odprtino.



Sl. 9: Spenjanje dolgih merilnih kladic.



Sl. 3: Nastavljanje merilnega stroja z merilnimi kladicami.