



Serbian Tribology  
Society

# SERBIATRIB '13

13<sup>th</sup> International Conference on  
Tribology



Faculty of Engineering  
in Kragujevac

Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May 2013

## IZBOR MERNE GLAVE DIFERENCIJALNOG PNEUMATSKOG KOMPARATORA ZA KONTROLU UNUTRAŠNJIH MERA MAŠINSKIH DELOVA

Dragiša Skoko<sup>1</sup>, Cvetko Crnojević<sup>1</sup>, Mileta Ristivojević<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mašinski fakultet u Beogradu, Srbija, [dskoko@mas.bg.ac.rs](mailto:dskoko@mas.bg.ac.rs), [crnojevic@mas.bg.ac.rs](mailto:crnojevic@mas.bg.ac.rs), [mristivojevic@mas.bg.ac.rs](mailto:mristivojevic@mas.bg.ac.rs)

**Apstrakt:** *Apstrakt: U ovom radu je analiziran uticaj promene uticajnih faktora na rad pneumatskog komparatora.. Instalacija koja se koristi u ovu svrhu omogućava promenu pritiska napajanja, promenu izlazne mlaznice i prečnoka mlaznice merne komore komparatora. Posebna pažnja je posvećena pneumatskoj osetljivosti i dobijeno je da zavisi od pritiska napajanja i prečnika mlaznice u mernoj komori. Utvrđeno je da pneumatska osetljivost raste sa smanjenjem prečnika mlaznice u mernoj komori. Takođe je dat izbor prečnika merne glave pneumatsko komparatora za kontrolu unutrašnjih mera mašinskih delova.*

**Ključne reči:** kontrola, merna glava, diferencijalni pneumatski komparator, mašinski delovi, unutrašnje mere, pneumatska osetljivost

### 1. UVOD

Uparedo sa razvojem proizvodnih mašina razvija se tehnika kontrole i merenja proizvedenih komada. Prvi uređaji za kontrolu su bili mehanički. Ovi uređaji su mogli da zadovolje potrebu u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji jednostavnih komada. Razvojem savremene industrije XX-tog veka, koju karakterišu velikoserijska proizvodnja komplikovanih oblika i velika tačnost izrade, mehanički uređaji nisu mogli da zadovolje u svim segmentima proizvodnje. To naročito dolazi do izražaja u automobilskoj i avio industriji. Za merenje i kontrolu razvijeni su potpuno novi uređaji: mehanički, optički, električni, pneumatski, hidraulički i laserki uređaji. Najvažnija prednost u odnosu na mehaničke je njihova tačnost. Tačnost mehaničkih uređajaja je 1  $\mu\text{m}$ , a pomoću savremenih uređajaja mogu se meriti i deseti i stoti delovi mikrometra.

Pneumatski merni sistemi se intenzivno razvijaju tridesetih godina XX-tog veka, počev od najjednostavnijih [1], pa sve do vrlo savremenih uređajaja [2]. Zbog velike mogućnost primene, jednostavne konstrukcije, lakog održavanja, jednostavnog rukovanja a iznad svega velike tačnosti, ovi uređaji su dominantni u kontroli mašinskih delova. Prednost ovih uređajaja, u odnosu

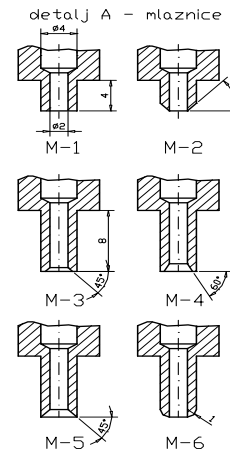
na ostale, je što komprimovan vazduh koji izlazi iz mlaznica merne glave velikom brzinom, oduva mehaničke nečistoće i tanak sloj tečnosti za hlađenje komada i ostalih nečistoća. Na ovaj način se smanjuje mogućnost pojave greške pri merenju i kontroli. Druga prednost je što se može kontrolisati više mera istovremeno, bilo spoljašnjih ili unutrašnjih. Vrlo značajnu primenu ima dinamička pneumatska metoda koja se primenjuje kod obrtnih komada, znači u toku rada, bez zaustavljanja rada mašine, vrši se merenje i kontrola obratka.

Teorijske osnove ovog postupka su obrađene u literaturi [.3], [.4], [.5]. Stepenn tačnosti kontrole mašinskih delova zavisi od: izbora izlazne mlaznice, pritiska napajanja  $p_a$ , prečnika prigušnice D u mernoj komori i prečnika merne glave. Uradu je prikazan postupak određivanja prečnika merne glave. Analiziran je uticaj pneumatske osetljivosti i odstupanja kontrolisanog mašinskog dela na izbor dimenzija merne glave.

### 2. EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA

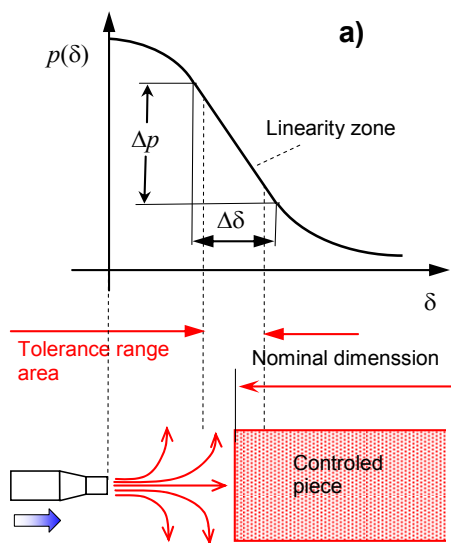
Za određivanje polja pritiska na ravnoj površini mernog komada koristi se instalacija prikazana na slici 1 i slici 2. Instalacija se sastoji od pneumatskog komparatora PC, koji sadrži mernu (B1) i referentnu granu (B2), izvora vazduha pod

pritisakom CAS, koji se reguliše regulatorom pritiska PR, izlazne mlaznice N i sistema D-r i D- $\delta$  za fina pomeranja ravnog mernog komada. U mernoj grani se nalazi mlaznica A prečnika  $D$  u čijem grlu se ostvaruje kritično strujanje. U ovom radu prečnik  $D$  je imao vrednost 0,7 i 1 mm, koji odgovara realnim primenama, a tretan je slučaj kada je  $D=6$  mm što odgovara kada u dovodnoj grani napajanja mlaznice N nema pneumatskog prigušenja. Pritisci napajanja  $p_a$  menjani su u intervalu od 2 do 5 bar. Svi pritisci mereni su manometrima koji imaju tačnost 0,001 bar. Izlazna mlaznica N je unutrašnjeg prečnika 2 mm i spoljašnjeg 4 mm. Ostvarivanje željenih položaja  $r$  i  $\delta$  postiže se tako što se iznad fiksnog mernog komada W pomera izlazna mlaznica N sistemima pomeranja D-r i D- $\delta$

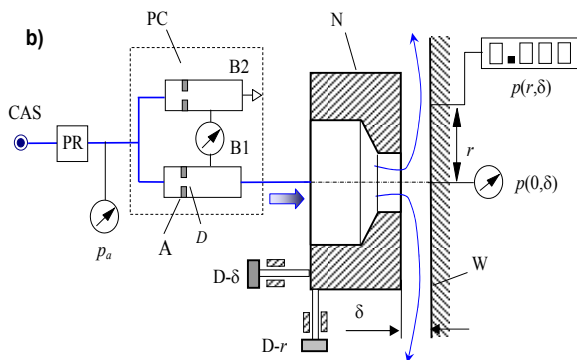


Slika 3. Geometrija izlazne mlaznice [5]

Pojava podpritiska na mernom komadu je nepoželjna zbog skupljanja nečistoća, koje remeti ispravan rad komparatora. Takođe pogodnim odabirom geometrije izlazne mlaznice teži se da polje podpritiska bude što dalje od ose mlaznice. Analiza polja pritiska na rad pneumatskog diferencijalnog komparatora je data u radu [5]. Karakteristični oblici mlaznica su dati na slici 3.



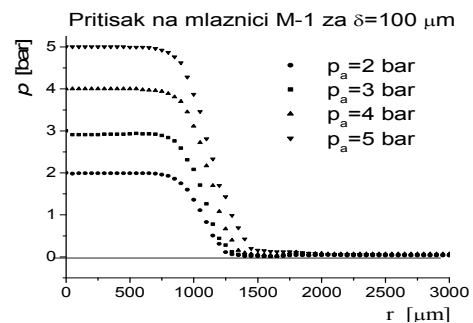
Slika 1. Shematski prikazi pritiska  $p(\delta)$



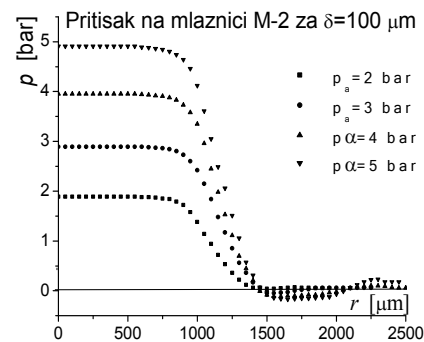
Slika 2. Shematski prikaz - merna instalacija

### 3.1 Mlaznice

Polje pritiska na površini mašinskog dela koji se kontroliše zavisi od geometrije izlazne mlaznice. Analizom uticajnih faktora na polje pritiska, bira se takva mlaznica da se potpuno eliminiše podpritisk na komadu koji se kontroliše ili da taj pritisak bude, ako je moguće, što manji.



Slika 4. Dijagram  $p=f(r)$  za M-1 i  $p_a$



Slika 5. Dijagram  $p=f(r)$  za M-2 i  $p_a$

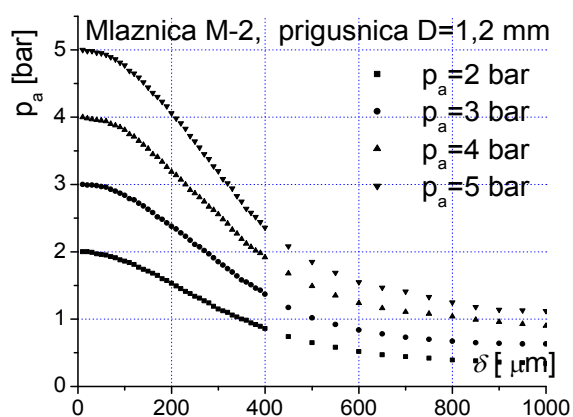
Analiza uticaja pritiska napajanja i geometrije izlazne mlaznice na polje pritiska na površini mašinskog dela koji se kontroliše prikazana je na dijagramima na 4 i 5.

Analizom dijagrama, slika 4, vidi se da je polje pritiska pozitivno za mlaznicu M-1 po celoj dužini i za sve pritiske napajanja. Polje pritiska za mlaznicu M-2 je pozitivno za za  $p_a=2$  i  $p_a=3$  bar a za veće pritiske  $p_a=4$  i  $p_a=5$  bar je negativno, što nije dobro, slika 5

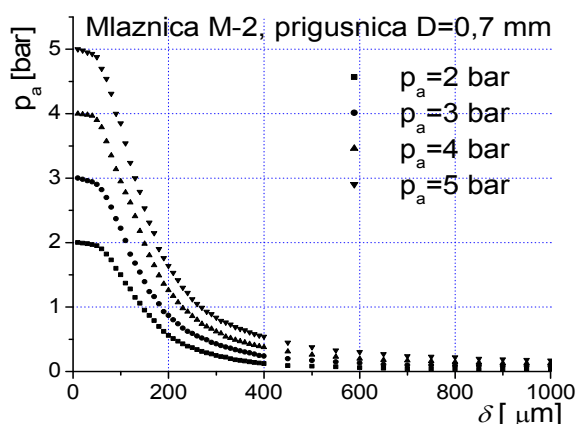
### 3.2 Pneumatska osetljivost

Oblast primene pneumatske metrologije je ograničena pravolinijskim delom dijagrama  $p=p(\delta)$ . Pogodnim odabirom prigušnice dobija se odgovarajuća karakteristika pneumatskog diferencijalnog uređaja - osetljivost uređaja. Pneumatska osetljivost  $S$  predstavlja odnos priraštaj pritiska  $\Delta p$  i rastojanja  $\Delta \delta$  iz pravolinijskog dela krive zavisnosti totalnog pritiska od rastojanja mlaznice i površine mernog komada

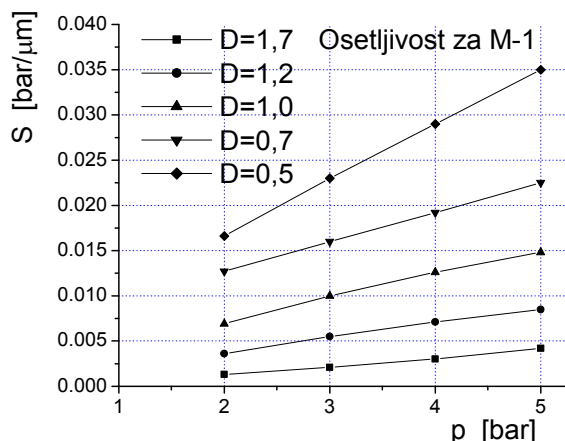
$$S = \Delta p / \Delta \delta \quad \text{-- ref [6]}$$



Slika 6. Dijagram  $p=f(\delta)$  za M-2 i različite  $p_a$



Slika 7. Dijagram  $p=f(\delta)$  a M-2 i različite  $p_a$



Slika 8. Osetljivost mlaznice M-1

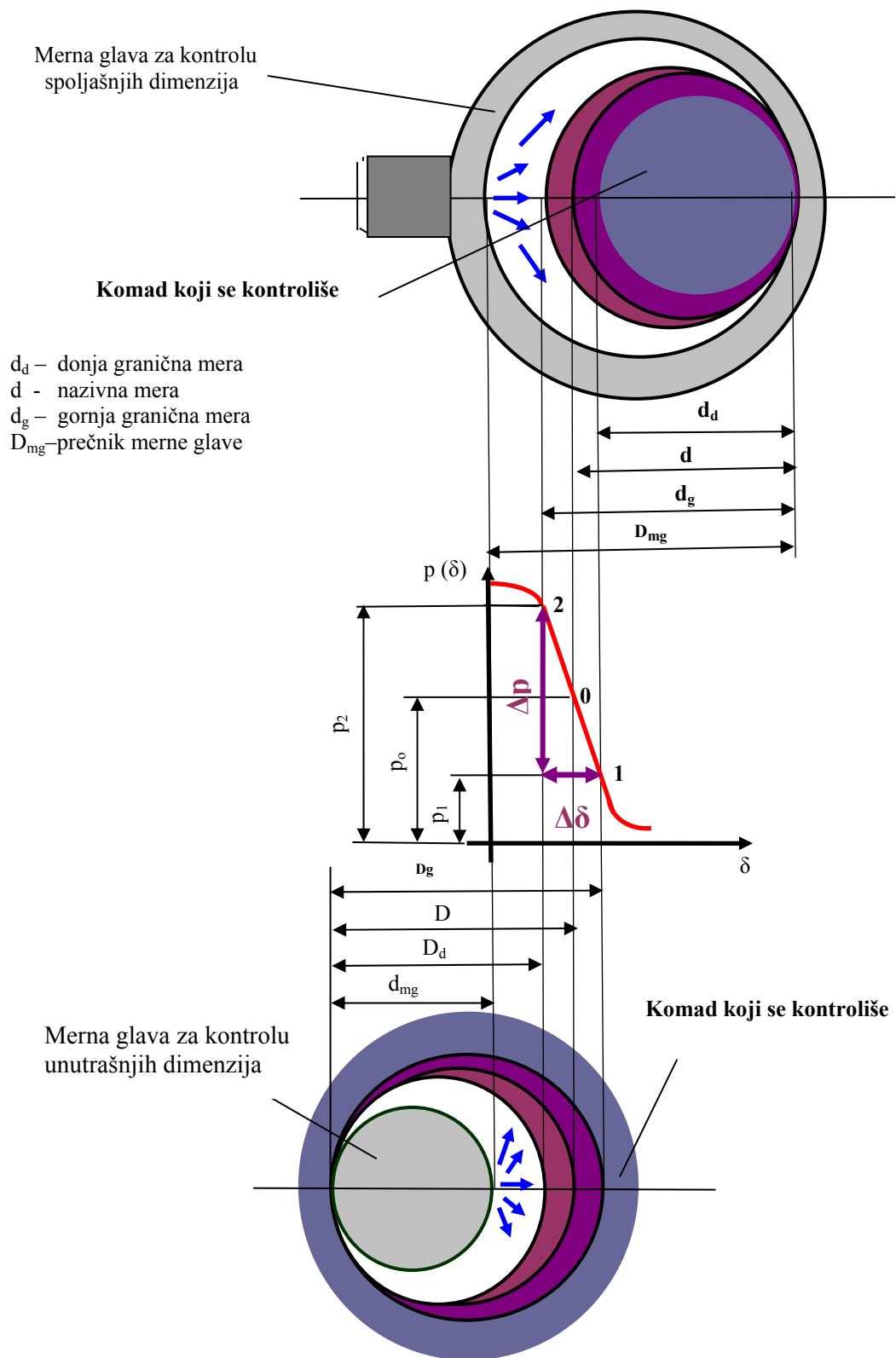
Iz definicije pneumatske osetljivosti uređaja, proizilazi da pneumatski uređaj koji ima veće prigušenje ima veću osetljivost a pravolinijski deo krive zavisnosti pritiska i rastojanja  $\delta$  ima veći ugao nagiba u odnosu na x osu tj. prava je strmija. Pneumatski diferencijalni uređaj koji ima manje prigušenje ulaznog pritiska u mernu komoru ima manju osetljivost a pravolinijski deo krive ima manji nagib u odnosu na x osu. Osetljivost uređaja je, dakle definisana nagibom krive. Osetljivost uređaja predstavlja tačnost uređaja. Opseg primene uređaja definisan je dužinom projekcije pravolinijskog dela krive na osu x. Uređaji koji imaju veću dužinu projekcije imaju veći opseg primene, tj. veću širinu tolerancijskog polja. Pneumatski diferencijalni uređaji koji su predviđeni da rade sa većim pritiskom napajanja imaju veći opseg primene.

Na dijagramima sa slike 5 vidi se da je mala osetljivost zbog malog prigušenja  $D=1,2$  mm. Na dijagramima, slika 6 se vidi da krive imaju veliki pad tj. veliko prigušenje  $D=0,7$  mm i veliku osetljivost.

Na slici 7, data je osetljivost mlaznica M-1 i M-2 u zavisnosti od stepena prigušenja i pritiska napajanja  $p_a$ . Veliko prigušenje daje veliku pneumatsku osetljivost i obrnuto. Isto tako se vidi da je linearno povećanje osetljivosti sa povećanjem pritiska napajanja  $p_a$ . Takođe se vidi uticaj oblika mlaznice na osetljivost. Najveća osetljivost je za mlaznicu M-5, prečnik prigušnice  $D=0,7$  mm i  $p_a=5$  bar i iznosi  $s=0,039$  bar/mm.

### 4. ODREĐIVANJE PREČNIKA MERNE GLAVE

Pneumatski uređaj za kontrolu dimenzija je specijalan manometar sa skalom, koji umesto skale pritiska ima skalu za očitavanje zazora  $\delta$  (rastojanje vrha mlaznice i površine komada koji se kontroliše). Pneumatski komparator je transformisani manometar. Za zadati pritisak napajanja  $p_a$ , izabrani prečnik prigušnice  $D$  i izabranu mlaznicu  $M$ , na uređaju se očitava zazor  $\delta$  za odgovarajuće vrednosti pritiska  $p_a$ . „Takođe u konkretnim izvođenjima pneumatskih komparatora ne meri se pritisak  $p(\delta)$  na površini komada koji se kontroliše, već pritisak u komori merne grane  $p$



Slika 9. Šematski prikaz dijagrama  $p=p(\delta)$  i merne glave za kontrolu spoljašnje i unutrašnje mere [5]

$p_{mg}(\delta)$ , koji je zbog malih strujnih gubitaka približno jednak pritisku  $p$

Zavisnost  $p=p(\delta)$  prikazana dijagramom na slici 9. Na ovom dijagramu uočava se pravolinijski deo. Tačku 2 predstavlja početak pravolinijskog dela dijagrama i nju karakteriše povećan pritisak  $p_2$  a male vrednosti  $\delta$ . Na uređajima se ne koristi tačka 2 kao reperna, već tačka ispod nje „g”, koja ima karakteristiku manji pritisak a veće  $\delta$ . Ta tačka predstavlja gornju granicu tolerancijskog polja komada koji se kontriliše. Prevedeno u kontroli spoljašnjih dimenzija to je komad sa maksimalno dozvoljenom merom i na uređaj za očitavanje tu bismo stavili reper  $es$ , što predstavlja gornje granično odstupanje. Uobičajeno je da je taj reper na merilu plave boje. Komad koji bi imao veće odstupanje od zadatog bi morao da ide na doradu. Pri kontroli unutrašnjih dimenzija ova tačka bi predstavljala minimalnu dozvoljenu meru i na uređaj za očitavanje tu bismo stavili reper koji označava minimalno odstupanje  $EI$ . U tom slučaju ova tačka predstavlja donju graničnu meru.

Povećanjem rastojanja  $\delta$  smanjuje se pritisak. Naredna karakteristična tačka na pravolinijskom delu dijagrama  $p=f(\delta)$  je tačka „0”, koja uglavnom predstavlja sredinu dužine pravolinijskog dela dijagrama. Ovo je značajna tačka ovog dijagrama jer se koristi za određivanje dimenzija merne glave. Takođe njena horizontalna projekcija predstavlja nultu liniju u tolerancijama.

Treća tačka na ovom delu dijagrama je tačka „d”. Karakteriše je manji pritisak i veliko  $\delta$ . Ona predstavlja drugu granicu tolerancijskog polja komada koji se kontriliše. Pri kontroli spoljašnjih dimenzija to je minimalno dozvoljena mera. Na skali pneumatskog uređaja se stavi reper koji označava  $ei$ , i predstavlja donje granično odstupanje. Pri kontroli spoljašnje dimenzije komada, ako je stvarno donje odstupanje veće od zadatog, komad se odbacuje jer mu je stvarna mera manja od najmanje dozvoljene. To važi i za kontrolu unutrašnjih dimenzija. Horizontalna projekcija tačke „d” na dijagramu koristi se kao reper na skali uređaju i predstavlja  $ES$ , gornje granično odstupanje. Svaka stvarna mera koja ima veće odstupanje od zadatog je loša mera i komad se odbacuje.

#### 4.1. Određivanje prečnika merne glave za kontrolu unutrašnjih dimenzija

Merna glava za kontrolu unutrašnjih dimenzija je valjak koji po obimu ima dve ili više identičnih mlaznica. Svaka tolerisana mera ima parametre:  $D$  - nazivnu meru,  $D_g$  - gornju graničnu meru,  $D_d$  - donju graničnu meru,  $ES$  - gornje granično odstupanje,  $EI$  - donje granično odstupanje i  $T$  -

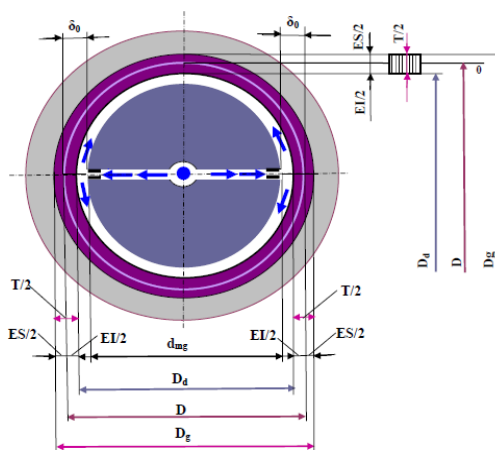
tolerancijsko polje. Pri određivanju prečnika merne glave mora se voditi računa o položaju tolerancijskog polja u odnosu na nazivnu meru. Imamo tri različita slučaja:

1. Tolerancijsko polje unutrašnje mere je simetrično u odnosu na nultu liniju, tj. kada su odstupanja ista

$$ES = EI.$$

$$d_{mg} = D - 2\delta_0 \quad \text{- prečnik merne glave}$$

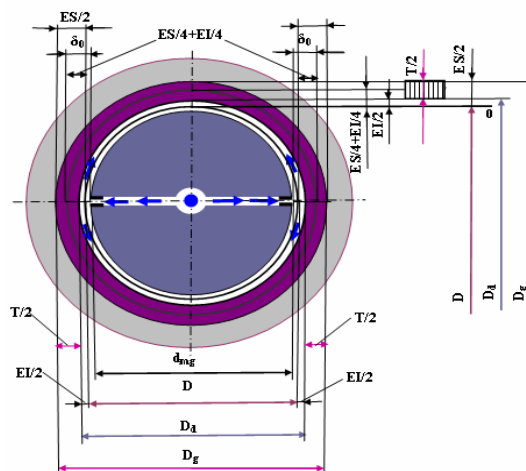
$\delta_0$  - rastojanje merne glave od površine komada koji se (horizontalna koordinata tačke „0”).



Slika 10. Prikaz simetričnog tolerancijskog polja unutrašnje mere

2. Tolerancijsko polje unutrašnje mere nalazi iznad nulte linije, radi se preslikavanje tolerancijskog polja na tolerancijsko polje „Js”. Ovo polje se naziva ekvivalentno tolerancijsko polje, a postiže se povećanjem prečnika merne glave za vrednost  $C = EI/2 + ES/2$ .

$$d_{mg} = D - 2\delta_0 + (EI/2 + ES/2) \quad \text{- prečnik merne glave}$$

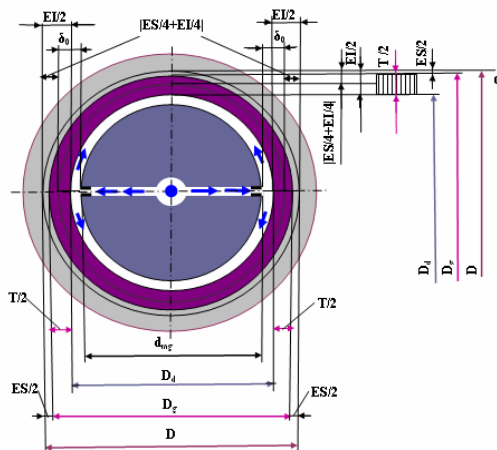


Slika 11. Prikaz nesimetričnog tolerancijskog polja unutrašnje mere - tolerancijsko polje iznad nulte linije

3. Ako se tolerancijsko polje unutrašnje mere nalazi ispod nulte linije, odstupanja su negativna.

Dato tolerancijsko polje se preslikava u tolerancijskog polja „J”. Ovo polje se naziva ekvivalentno tolerancijsko polje, a postiže se smanjenjem prečnika merne glave za vrednost  $E = |EI/2 + ES/2I|$ .

$$d_{mg} = D - 2 \delta_0 - |ES/2 + EI/2| \quad \text{- prečnik merne glave}$$



Slika 12. Prikaz nesimetričnog tolerancijskog polja unutrašnje mere - tolerancijsko polje ispod nulte linije

## 2. ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih rezultata prikazanih u ovom radu dolazi se do opštih zaključaka:

Iako se različita geometrija izlazne mlaznice prvenstveno koristi radi eliminisanja vrtložne zone između mlaznice i kontrolisanog komada (ref. [2] i [5]), dati rezultati merenja pokazuju da se geometrijom izlazne mlaznice može uticati i na pneumatsku osetljivost komparatora i na promenu maksimalnog tolerancijskog polja kontrolisanog komada.

Na pneumatsku osetljivost komparatora se prvenstveno utiče promenom prečnika konvergentno-divergentne mlaznice merne grane. Povećanje pneumatske osetljivosti se povećava smanjenjem prečnika mlaznice merne komore, ali se i na taj način i sužava maksimalno tolerancijsko polje kontrolisane mere. Za iste geometrijske parametre izlazne mlaznice i

konvergentno-divergentne mlaznice merne grane pneumatska osetljivost se povećava porastom pritiska napajanja komprimovanog vazduha.

Pomoću diferencijalnog pneumatskog komparatora kontrolišu se spoljašnje i unutrašnje tolerisane mere. Za svaku tolerisanu meru mora se odrediti prečnik merne glave  $D_{mg}$  i  $d_{mg}$ . Prečnik merne glave zavisi od položaja tolerancijskog polja u odnosu na nazivnu meru, pritiska napajanja  $p_a$  i  $\delta_0$ .

## ZAHVALNOST

Rad je rezultat istraživanja realizovan u okviru projekta TR 35029. Rad je finansiran od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na čemu sam im zahvalan.

## LITERATURA

- [1] Fortier, M.: Application industrielles des écoulements gazeux à la vitesse critique, Revenu chaleur et Industrie, N°299, p.145.2. (1950)
- [2] Crnojevic C., Roy G., Bettahar A. and Florent P.: Influence of regulator diameter and injection nozzle geometry on flow structure in pneumatic dimensional control systems. Transactions of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119., pp. 609-615 (1997).
- [3] Crnojević C., Skoko D.: O nekim pojavama koje utiču na rad pneumatskog komparatora. XXXI JUPITER konferencija, Zlatibor 2005. Zbornik radova (na CD-u), str. 5.14-5.17.
- [4] Roy, G., Crnojevic C., Bettahar A., Florent P. and Vo-Ngoc, D., "Influence of nozzle geometry in radial flow applications," International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Proc. Vol. 1, pp.363-368 (1994), Bali, Indonesia
- [5] Skoko, D., Magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd 2007.
- [6] Skoko D., Crnojević C., : Eksperimentalno određivanje osetljivosti pneumatskog komparatora. XXXII JUPITER konferencija, Zlatibor 2007. Zbornik radova , strana -5.43.

# **PNEUMATIC PROBE HEAD SELECTION FOR MACHINE PARTS INTERNAL MEASURES CONTROL WITH DIFFERENTIAL PNEUMATIC CONTROLLER**

***Abstract:** In this paper, we analyze the influence of various parameters on the work of pneumatic controller. For that purpose, experimental installation is used, which enables the variation of the pressure of compressed air source, output nozzle and the diameter of the measuring branch nozzle of pneumatic controller. Special attention is devoted to pneumatic sensitivity and it is determined that it depends on the diameter of measuring branch nozzle and supply pressure. In addition, it is determined that pneumatic sensitivity increases with the decrease of the diameter of measuring branch nozzle. In this paper, we treated of the selection of pneumatic measuring head of differential pneumatic controller for control internal measures of machine parts*

***Keywords:** control, pneumatic measuring head, pneumatic controller, machine parts, internal measure, pneumatic sensitivity*