

SINTEZA I PODEŠAVANJE PROSTOG REGULACIONOG KRUGA

- Činjenice izložene u prethodnim djelovima su definisale objekat upravljanja, tehničke uslove na konturu upravljanja kao i strukturu prostog regulacionog kruga. Slijedi kao zadatak ovoga cjeline da se riješi problem izbora i proračuna svih elemenata strukture na osnovu poznatih karakteristika objekta i tehničkih uslova. Taj problem se rješava u dva koraka.
- 1. Definišu se informacioni organ, servomotor i izvršni organ u potpunosti, bez ostavljanja bilo kakvih stepeni slobode za naknadno podešavanje prilikom puštanja regulacione konture u rad, kao i algoritam upravljanja kroz izbor zakona obrade signala regulacionog odstupanja u regulatoru uz ostavljanje stepeni slobode za podešavanje regulatora u drugom koraku.
- 2. Vršiti se proračun podešavanja stepena slobode regulatora, koji se prije puštanja konture u rad može provjeriti i tačnije podesiti modeliranjem, ili se tačnije podešavanje vrši tokom procedure puštanja konture u rad.

IZBOR INFORMACIONOG ORGANA

Informacioni organ, kao konvertor stvarne vrijednosti regulisane veličine y_s u signal regulisane veličine y , u idealnom slučaju bi trebao da ima

1. statičku karakteristiku, invarijantnu na životni vijek i promjenu ambijentnih uslova,
2. dinamičke parametre τ i T jednake nuli, t.j. idealno brz odziv.

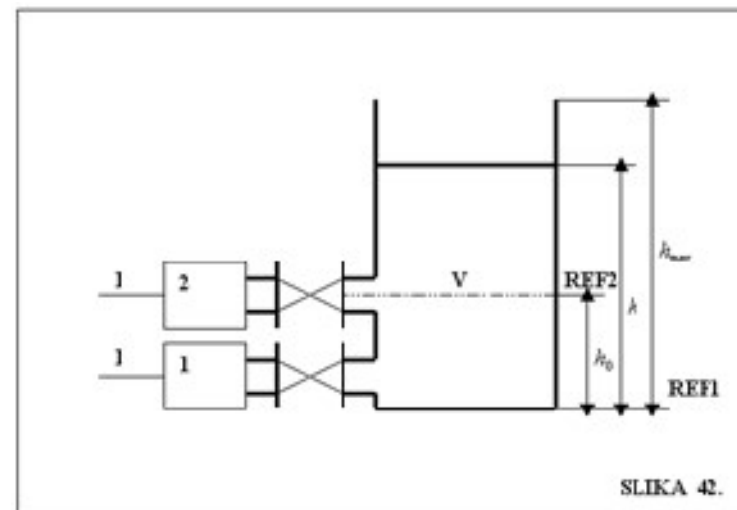
Naravno da je oba zahtjeva kod realnih informacionih organa nemoguće ostvariti, te se kao osnovni kriterijum postavljaju blaži zahtjevi koji se mogu opisati kao:

1. Statička karakteristika informacionog organa treba da bude što manje podložna uticaju ambijentnih uslova, da sačuva unutar unaprijed zadatih granica svoj oblik u toku životnog vijeka i da bude definisana unutar opsega mjerene veličine koju diktira režim rada objekta.
2. Dinamički parametri informacionog organa treba da budu što manji u odnosu na parametre objekta u čijoj se regulacionoj konturi nalaze.

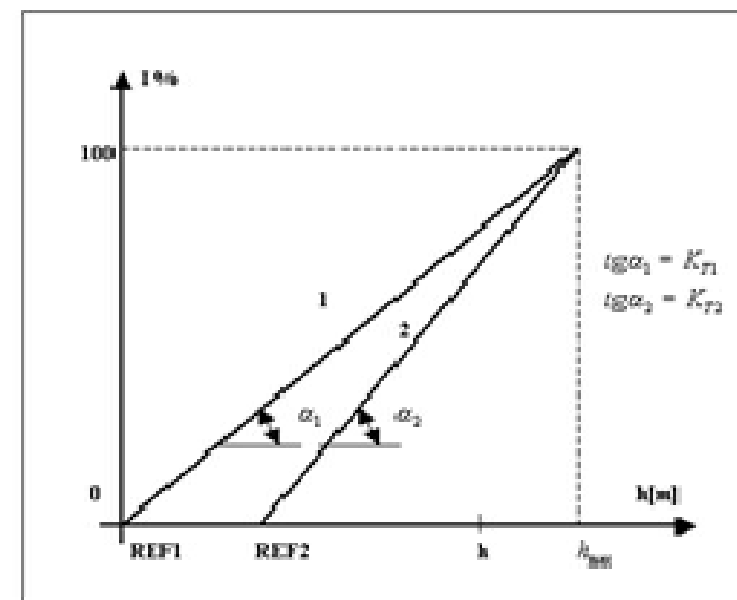
Uslovi postojanosti statičke karakteristike na ambijentalne uslove i životni vijek se rješavaju konstrukcijom samog informacionog organa, a izbor opsega je stvar projektovanja te će ovdje biti detaljnije pokazana, na primjeru informacionog organa za mjerenje nivoa, sl. 42.

Informacioni organi 1 i 2 su jednaki po konstrukciji, sa razlikom što je 1 priključen na dno posude, a 2 na nekoj visini h_0 od dna posude.

Mjereći hidrostatički pritisak fluida, na svom izlazu informacioni organi daju standardni strujni signal I koji je mjera nivoa, a isto tako i zapremine tečnosti u posudi. Za informacioni organ 1 referentni nivo je REF1, a za informacioni organ 2 je referentni nivo REF2. U slučaju linearnih statičkih karakteristika oba informaciona organa (a linearne su uvijek najpoželjnije, iako ne i u svakom slučaju direktno ostvarene) situacija je prikazana na sl.43. Informacioni organ 1 mjeri nivo u punom opsegu, a informacioni organ 2 u suženom opsegu.



SLIKA 42.



SLIKA 43.

Kod mjerenja u suženom opsegu, dio posude između REF1 i REF2 kao da ne postoji, što međutim nije nikakva mana takvog mjerenja, ukoliko se unaprijed zna da tehnološki režim ne pretpostavlja rad objekta (posude) sa količinom tečnosti ispod REF2. Ali zato, redukcija opsega informacionog organa omogućava da se puni opseg standardnog signala koristi sa boljom rezolucijom s obzirom na mjereni nivo. Drugim riječima, statičke karakteristike 1 i 2 pokazuju da suženi opseg predstavlja veće pojačanje informacionog organa. U cilju da se olakša razmatranje sistema složenijih nego ovaj iz primjera, uvodi se pojam pojačanja informacionog organa

$$k_T = \frac{\text{100\% opsega standardnog signala}}{\text{opseg mjerene velicine}}$$

Brojac u prethodnoj relaciji je izlaz koji će imati informacioni organ pri punom opsegu ulazne veličine. Vidljivo je da k_T nije bezdimenzioni broj. Ako je standardni signal na pr. 4-20 [mA], a informacioni organ ima podešen opseg od 20 do 100 [cm] nivoa, tada će pojačanje

$$k_T = \frac{16 \text{ mA}}{80 \text{ cm}} = 0.2 \text{ mA/cm}$$

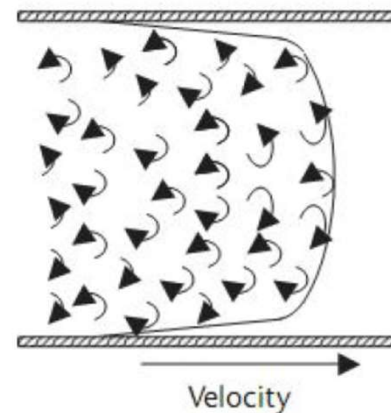
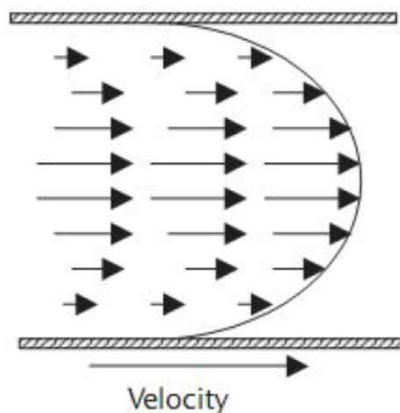
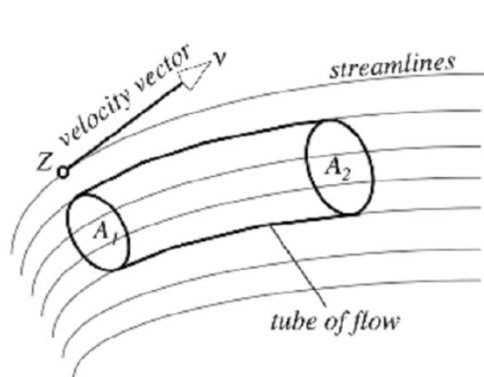
Činjenica da k_T nije bezdimenzioni faktor ukazuje da to nije kompletan faktor. Drugi, koji takođe nijesu bezdimenzioni faktori u konturi regulacije će množeći k_T dati bezdimenzioni faktor pojačanja konture.

Ako je informacioni organ sa nelinearnom statičkom karakteristikom tada **k_T nije const.**

S obzirom da se pojačanje nelinearnog informacionog organa mijenja u zavisnosti od radne tačke regulisane veličine, uslovi relativne stabilnosti mogu biti narušeni ukoliko je ta promjena značajnija od 1,5/1. Na pr. neka temperaturna mjerenja su nelinearna, ali rijetko tako mnogo. Najčešće susretani nelinearni informacioni organ je diferencijalni mjerač protoka. k_T se u tom slučaju određuje na osnovu opsega informacionog organa, a nelinearnost se obuhvata koeficijentom.

Merenje protoka je veoma bitno u velikom broju industrijskih aplikacija.

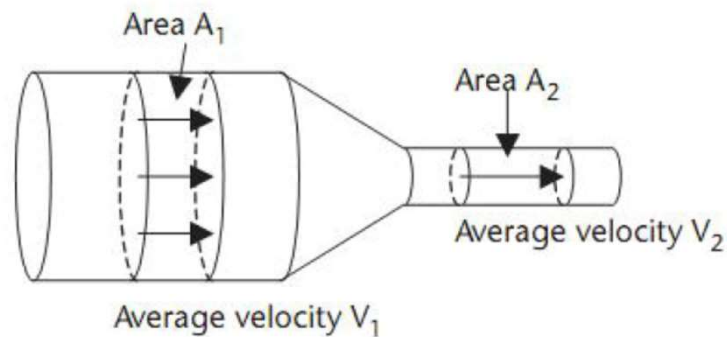
- Posebno su značajna obračunska merenje, jer se cijena gasova i tečnosti određuje na osnovu protoka kroz cijevi.
- Najčešće se mjeri protok vode, nafte, benzina, raznih rastvora, kiseonika, vazduha, azota, ugljenmonoksida, ugljendioksida, metana, vodene pare, itd.
- Pri malim brzinama, fluidi se kreću laminarno. Sa porastom protoka, fluidi se kreću turbulentno. Brzina tečnosti nije ista duž poprečnog presjeka fluida, na sredini cijevi ona je najveća, dok je u dodira sa zidom cijevi ona je približno nula. Međutim, za brzinu fluida uzima se srednja vrijednost fluida duž poprečnog preseka. Kada je kretanje laminarno, čestice se kreću glatko u okviru sloja. Pri trubulentnom kretanju, čestice se više ne kreću u slojevima, a profil brzine više nije paraboličan već približno ravan.



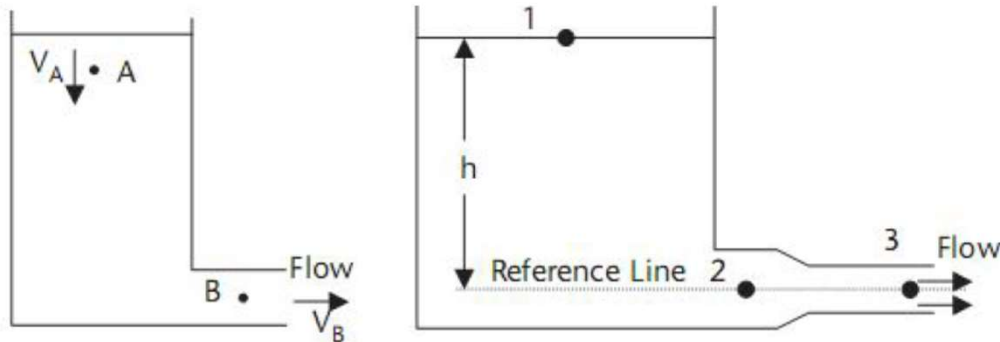
- Pri izboru senzoru za konkretnu upotrebu potrebno je uzeti u obzir karakteristike fluida, okruženja, oblika i dimenzije cijevi, temperature, pritiska, itd.
- Način kretanja fluida određen je Reynoldsovim brojem (R):
 - $R < 2000$ tok je sigurno laminaran,
 - $2000 < R < 5000$, tok može biti ili laminaran, ili turbulentan ili mješavina oba, što zavisi od drugih faktora,
 - $R > 5000$ tok je sigurno turbulentan.

$$R = \frac{\rho v D}{\eta}, \quad \text{gde je } \rho \text{ gustina, } \eta \text{ viskoznost, } D \text{ prečnik cijevi i } v \text{ brzina fluida}$$

- Jednačina kontinuiteta: $Q = Av = \text{const}$, gde je Q zapreminski protok.
- Za stišljive fluida $Q_m = \rho Av = \text{const}$, gde je Q_m maseni protok



Bernulijeva (Bernouilli) jednačina.



$$p_A + \frac{1}{2} \rho_A v_A^2 + \rho_A g z_A = p_B + \frac{1}{2} \rho_B v_B^2 + \rho_B g z_B$$

- Za nestišljiv fluid ($\rho = \text{const}$):

$$p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g z_A = p_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_B$$

$$v_3 = \sqrt{2gh}$$

- Bernulijeva jednačina ne uzima u obzir gubitke koji se javljaju usled viskoznog trenja i na barijerama kao što su ventili, prevoji, suženjima, itd.
- Izraz za protok treba modifikovati koeficijentom C_D koji zavisi od veličine i oblika prigušnice (orifice, često i merna blenda) i predstavlja izlazne gubitke: $Q = C_D A v$.
- Gubici usled trenja (viskoznog između slojeva i u dodiru sa zidom cijevi):

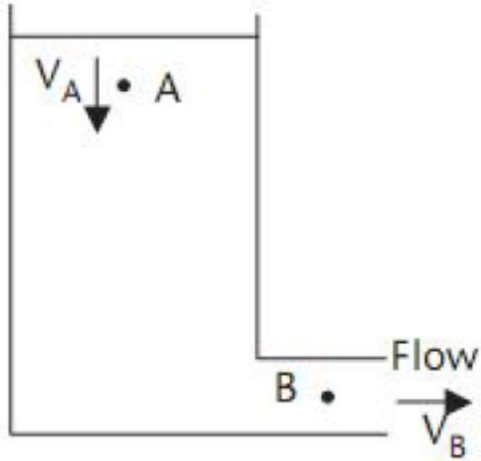
$$h_{L, \text{friction}} = \frac{f L v^2}{2 D g}$$

gde je L dužina cijevi, a f faktor trenja

Gubici na spojevima (spoj dvije cijevi):

$$h_{L, \text{fitting}} = \frac{K v^2}{2 D g}, \quad K \text{ faktor sprege.}$$

Modifikovana Bernulijeva jednačina:



$$\frac{p_A}{\rho_A g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{p_B}{\rho_B g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + h_{L, friction} + h_{L, fitting}$$

Kada se u cijev ubaci predmet, koji je pričvršćen na zid cijevi, na predmet djeluje sila usled protoka fluida, koja iznosi:

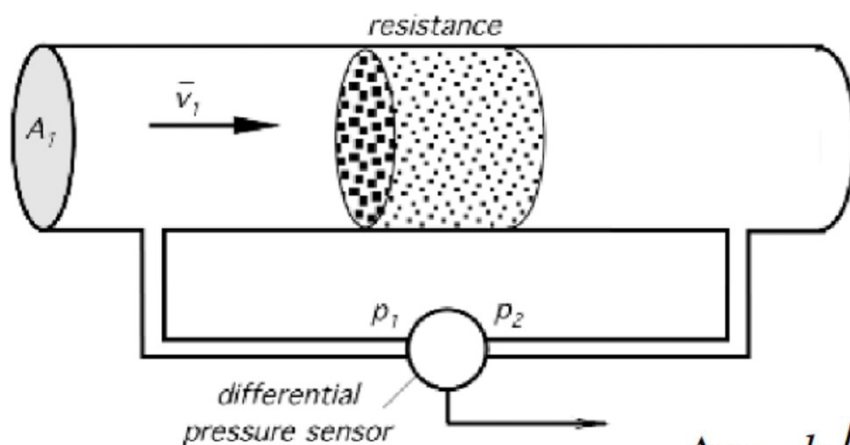
$$F = C_{Drag} \frac{\rho A v^2}{2}, \text{ gde je } C_{Drag} \text{ koeficijent vučne sile.}$$

Svi navedeni koeficijenti zadaju se tabelarno i zavise od:

- C_D od oblika i dimenzije otvora,
- f od Reynoldsovog broja i materijala od kojeg je cijev napravljena,
- K od oblika i dimenzija spojnice,
- C_{Drag} od oblika predmeta.

PROTOKOMETRI NA BAZI DIFERENCIJALNOG PRITISKA

- Rad ovih protokometara zasnovan je na Bernulijevoj jednačini.
- Pad pritiska je direktno srazmjeran protoku, a koeficijent proporcionalnosti predstavlja otpornost cijevi.
- Otpornost unosi prigušnica, Venturijeva cev, Dalova cev, cev sa preгиbom, itd.



Usled otpornosti povećava se brzina na dijelu cijevi:
 $v_2 = Rv_1$, gde je **R** otpornost dijela cijevi

Bernulijeva jednačina može se napisati u sledećem obliku:

$$\Delta p = k \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) = k \frac{\rho}{2} v_2^2 (1 - R^2) \Rightarrow v_2 = \frac{1}{\sqrt{k(1 - R^2)}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

k predstavlja koeficijent korekcije, jer je pritisak **p₂** nešto niži od teorijskog pritiska usled gubitaka.

Protok se more izračunati po sledećoj formuli:

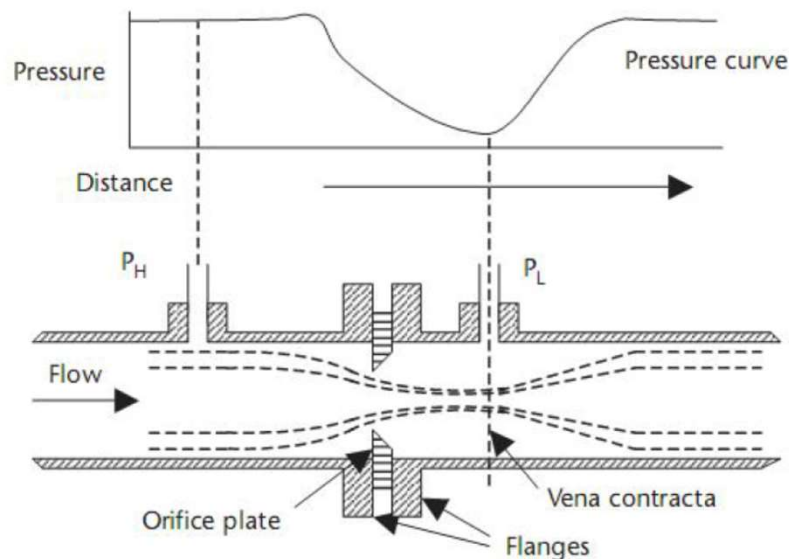
$$Q = \xi A_2 \sqrt{\Delta p}$$

, gdje je ξ koeficijent koji se određuje kalibracijom i zavisi od temperature.

- Prednost ovih mjerača protoka je što nema pokretne djelove, ali unose pad pritiska.

Protokometri sa prigušnicom (mjernom blendom) – između spoja dva dijela cijevi unosi se dijafragma koja sužava poprečni presjek (prečnik) cijevi.

- Ispred i iza dijafragme javlja se pad pritiska koja se mjeri nekim od mjerača diferencijalnog pritiska



Protok se računa po sledećoj formuli:

$$Q = K \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_s}{d_p} \right)^2 \sqrt{\Delta p}$$

gdje je d_s prečnik prigušnice, a d_p prečnik cijevi, K koeficijent koji se određuje kalibracijom.

Ako se protok Q mjeri posredno, preko diferencijalnog pritiska ΔP na mjernoj prigušnici tada stoji relacija među bezdimenzionim veličinama

$$\Delta p = q^2$$

$$\frac{d\Delta p}{dq} = 2q$$

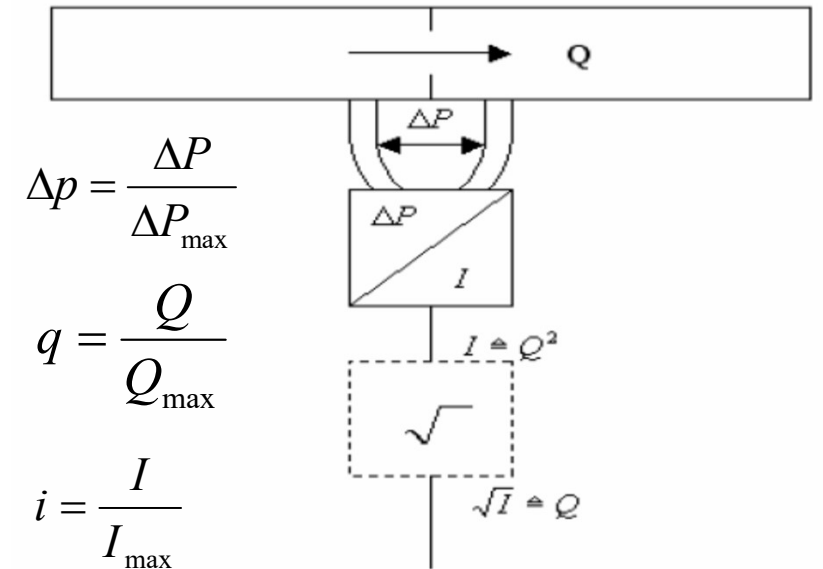
$$k_B = \frac{d\Delta P}{dQ} = 2q \frac{\Delta P_{\max}}{Q_{\max}}$$

Diferencijalni pritisak se u $\Delta P/I$ mjernom pretvaraču pretvara u standardni strujni signal, te u bezdimenzionom obliku slijedi relacija

$$i = \Delta p$$

i bezdimenziono pojačanje mjernog pretvarača

$$\frac{di}{d\Delta p} = 1$$



SLIKA 44.

slijedi dimenziono pojačanje mjernog pretvarača

$$k_{MP} = \frac{dI}{d\Delta P} = \frac{I_{\max}}{\Delta P_{\max}}$$

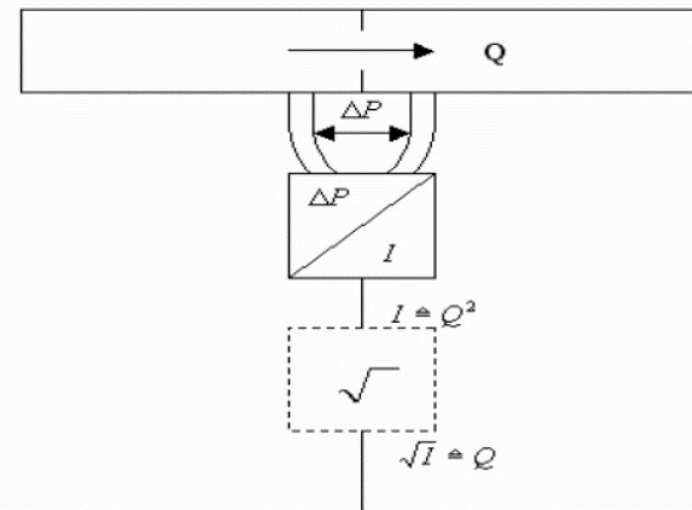
Pojačanje informacionog organa

$$k_T = k_B \cdot k_{MP}$$

$$k_T = 2q \frac{I_{\max}}{Q_{\max}}$$

Npr., ako se želi mjeriti protok u opsegu 0 do 10 [t/h]; standardni signal je 4 do 20 [mA], tada je, u tri radne tačke protoka, pojačanje nelinearnog informacionog organa dato u tabeli

q	K_T	$Q_{\max}=10 \text{ t/h}$ $I=4-20\text{mA}$
1	3.2 mA/(t/h)	
0.5	1.6 mA/(t/h)	
0	0	



SLIKA 44.

Rezultat ove nelinearnosti informacionog organa je da regulaciona kontura neće imati konzistentnu relativnu stabilnost u različitim radnim tačkama protoka. Problem može biti riješen linearizacijom koju može ostvariti korjenator standardnog signala koji je isprekidano označen na sl. 44.

Što se tiče izbora opsega informacionog organa potrebno je postovati kompromise između kontradiktornih zahtjeva jer uzak opseg daje dobru rezoluciju mjerene veličine, a širok opseg obuhvata veći obim promjene mjerene veličine te regulaciona kontura drži pod kontrolom objekat i pri odstupanjima regulisane veličine većim od predviđenih.

Za izbor dinamičkih karakteristika informacionog organa su relevantne dinamičke karakteristike objekta. ako se pretpostavi da je informacioni organ dat prenosnom funkcijom

$$\mathbf{G_T(s)} = \frac{\mathbf{k_T e^{-t_T s}}}{\mathbf{T_T s + 1}} \quad \text{a objekat s jed.} \quad \mathbf{W_{ob}(s)} = \frac{\mathbf{k_{ob} e^{-t_{ob} s}}}{\mathbf{T_{ob} s + 1}}$$

tada transmieter ima zadovoljavajući brz odziv ako su zadovoljene nejednakosti

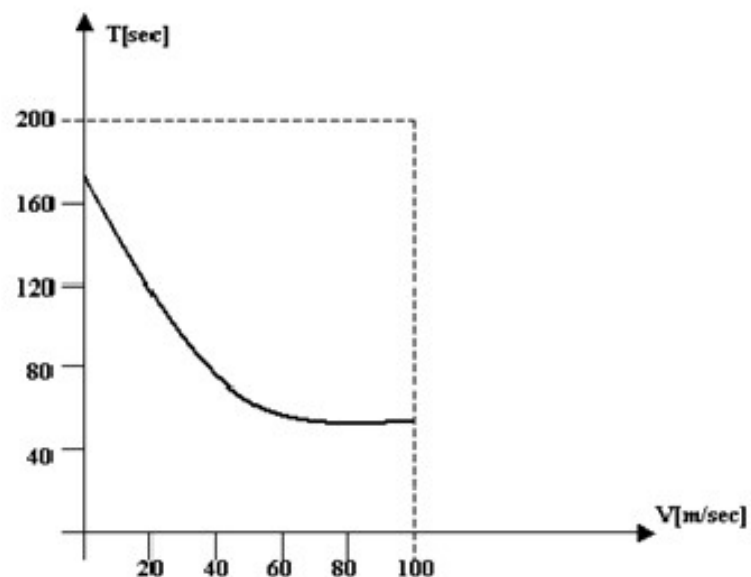
$$\mathbf{t_T} < \mathbf{0.2 t_{ob}} \quad \mathbf{T_T} < \mathbf{0.2 T_{ob}}$$

Veoma često ista aparatura realizacija informacionog organa pri upotrebi na dva različita radna režima objekta će dati sasvim različite podatke, s obzirom na brzinu odziva. Tako, npr. termoelemenat upotrebljen kao primarni organ informacionog organa za mjerenje temperature će dati vremensku konstantu koja zavisi od brzine strujanja fluida u koji je termoelemenat stavljen. Naime, vremenska konstanta termoelementa u košuljici je

$$T = \frac{C \gamma V}{\alpha S}$$

gdje su

- C - specifična toplota materijala košuljice
- γ - specifična gustina materijala košuljice
- V - zapremina košuljice
- α - koeficijent prenosa toplote između fluida i košuljice
- S - površina košuljice koja je u kontaktu sa fluidom.



SLIKA 45.

Pošto koeficijent α zavisi od brzine fluida koji dođe u kontakt sa košuljicom (raste sa brzinom) to vremenska konstanta T opada što se fluid brže kreće. Za jedan termoelemenat stvarna situacija je data na sl. 45.

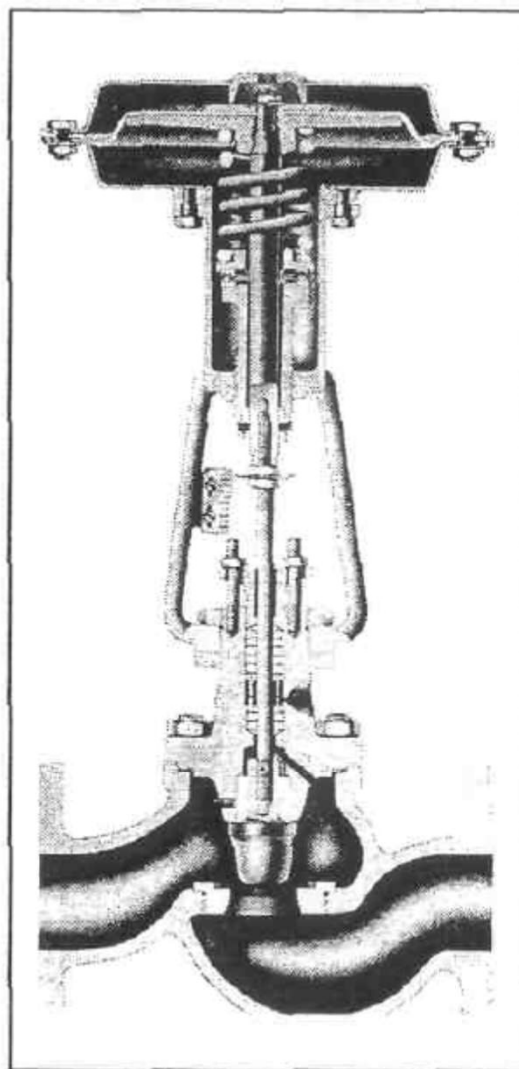
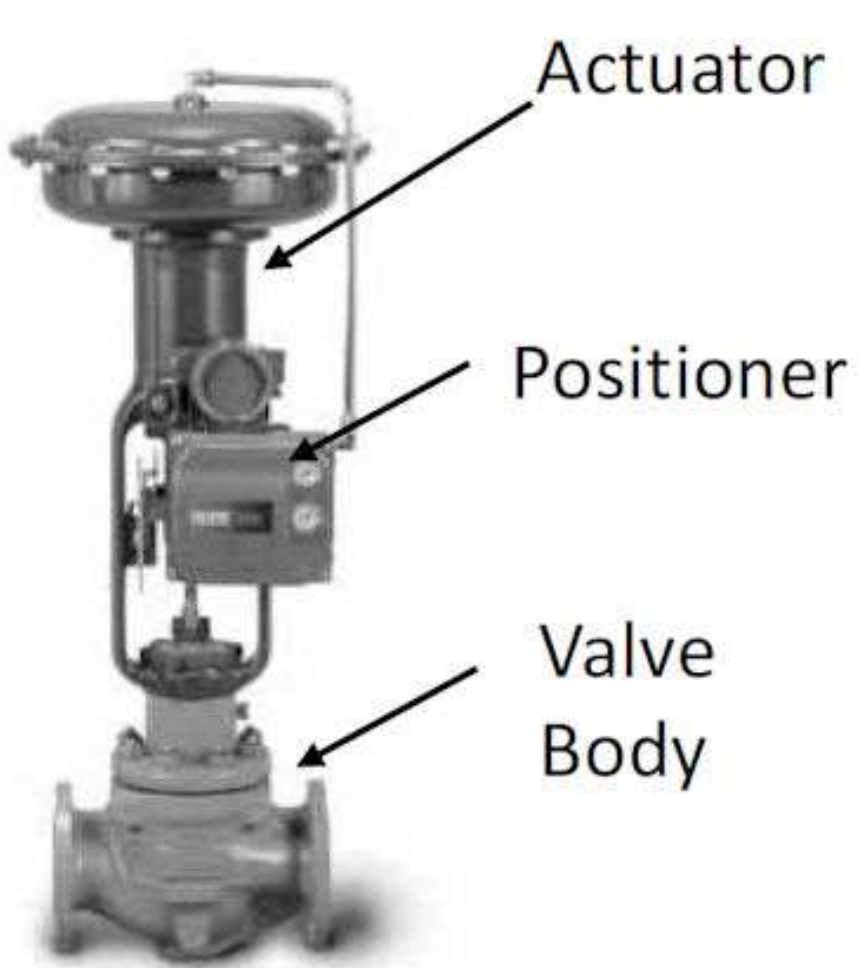
REGULACIONI VENTIL KAO IZVRŠNI ELEMENT SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA

Izvršni element predstavlja vezu između regulatora i procesa. U velikoj većini slučajeva, kao izvršni element se koristi regulacioni ventil kojim se na željeni način mijenja protok fluida kroz cevovod u koji je ugrađen.

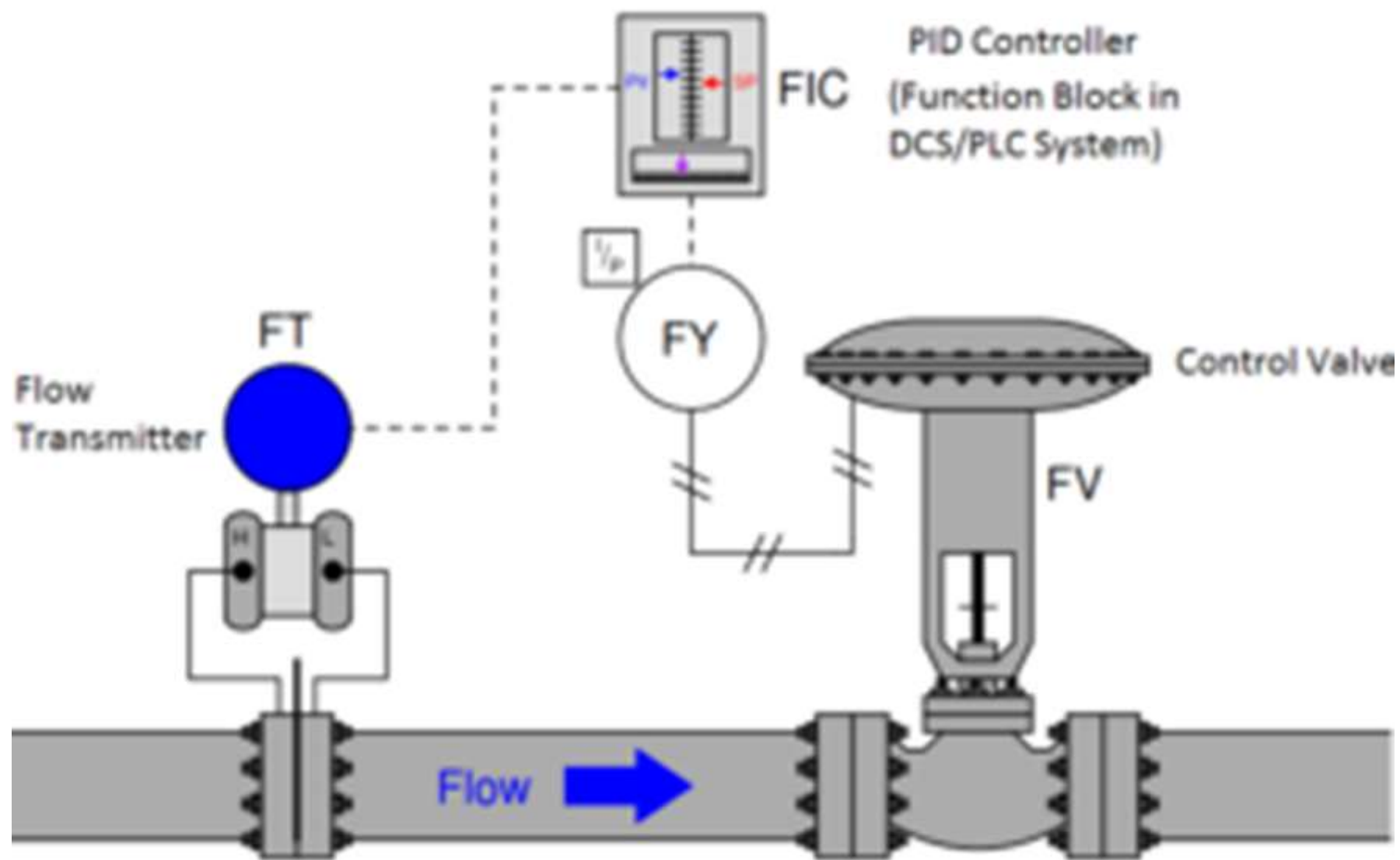
Regulacioni ventil ima dva osnovna funkcionalna dijela: motorni dio i izvršni dio.

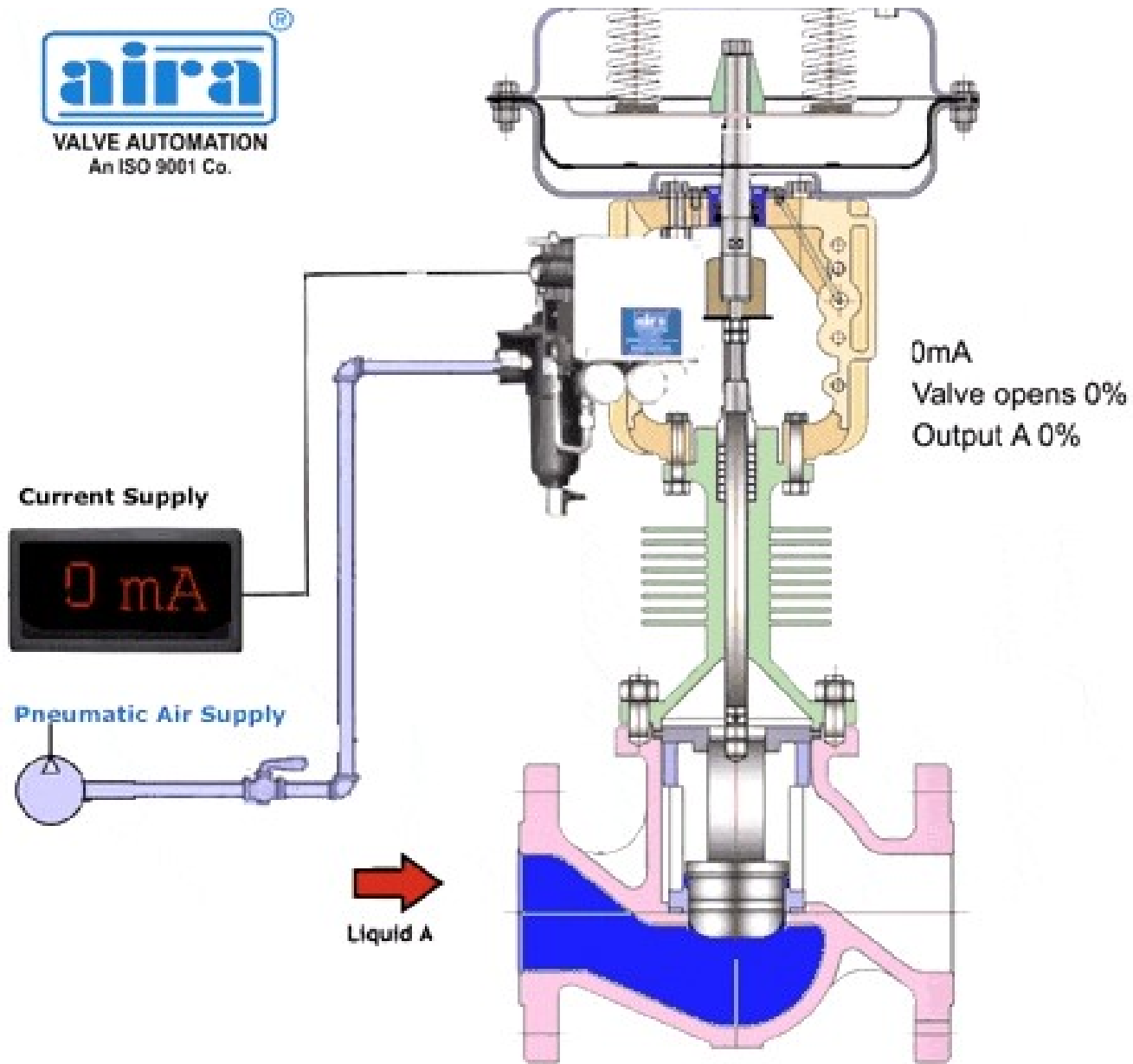
Motorni dio regulacionog ventila (aktuator, servomotor) je element koji prima upravljački signal iz regulatora i pretvara ga u mehaničko pomjeranje vretena ventila.

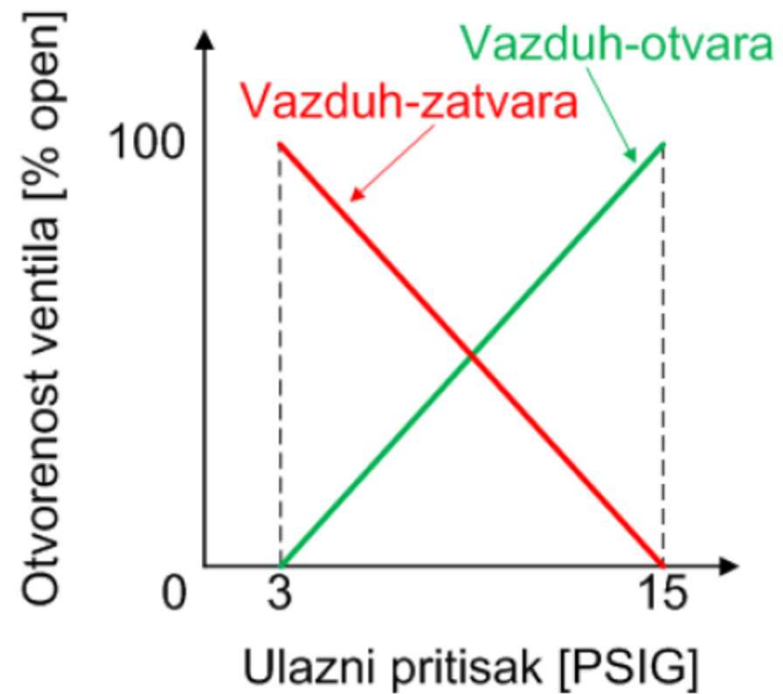
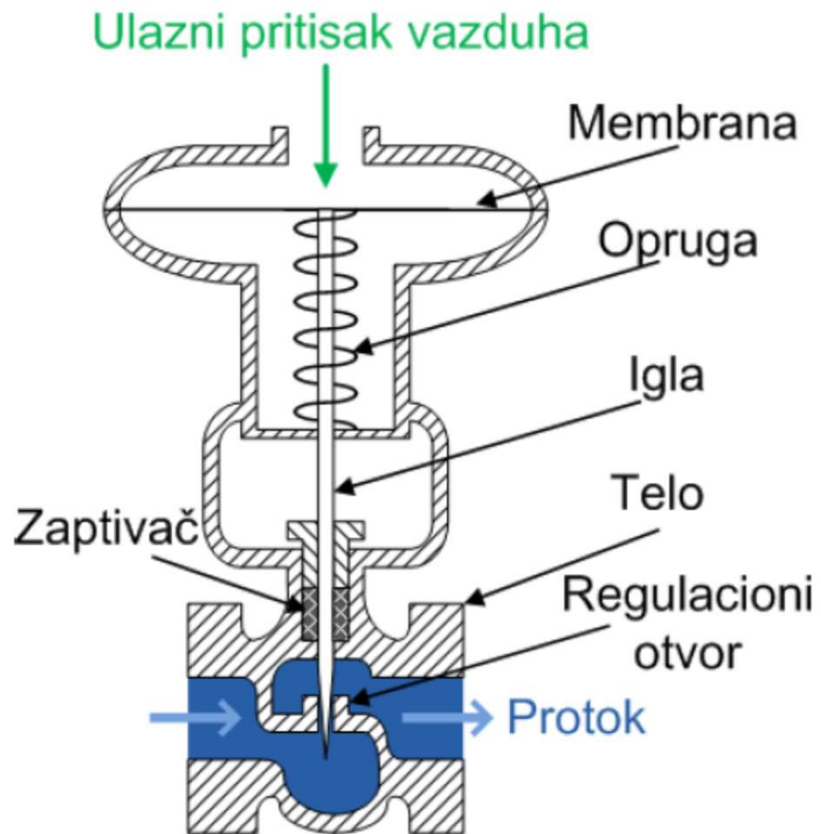
Izvršni dio regulacionog ventila pretvara pomjeranje vratila ventila u promenu protoka fluida kroz cjevovod u koji je ugrađen. On se sastoji od tijela ventila u kome se nalazi sjedište na koje naliježe pečurka ili čep na kraju vretena ventila. Pomjeranjem vretena ventila naviše i naniže, pečurka manje ili više naliježe na sjedište ventila i time se postiže povećanje ili smanjenje zazora, a time i protoka kroz ventil.



Slika 3.3-1 Tipičan konvencionalni pneumatski regulacioni ventil

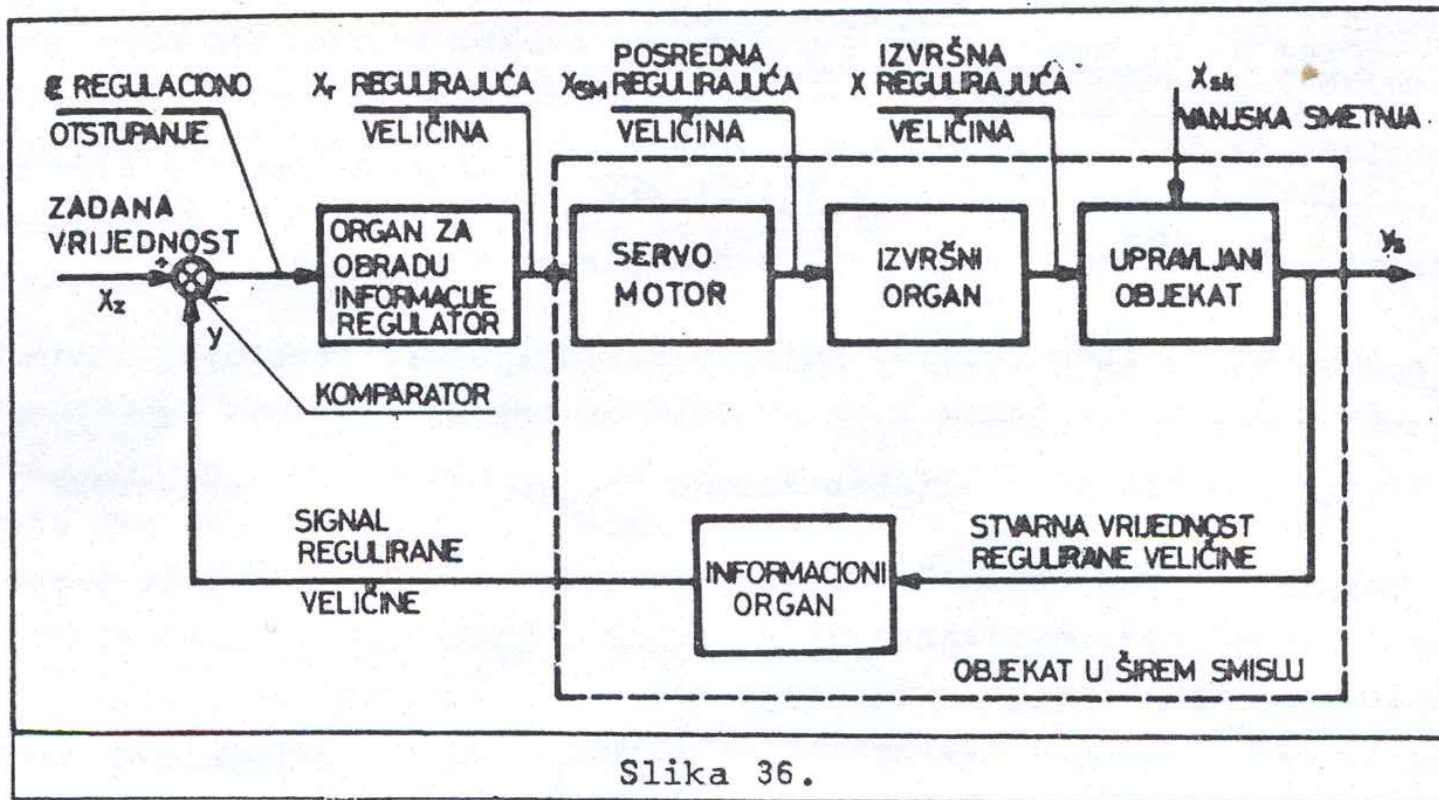






Veoma često se koristi kao manipulativni element. Aktuator se sastoji od membrane koja se potiskuje vazduhom i koja djeluje nasuprot opruge. Kako se vazdušni pritisak na dijafragmu povećava sa 3 na 15 funti po kvadratnom inču [psi], igla ventila će se pomjeriti od otvorenog na zatvoreno

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

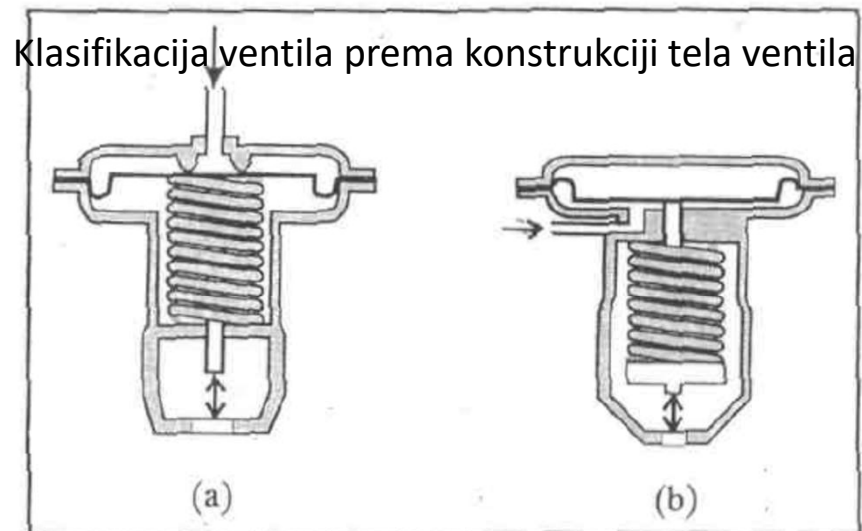


Slika 36.

Klasifikacija regulacionih ventila prema konstrukciji motornog dijela

- Prema vrsti energije, odnosno signala koji prima motorni dio, razlikujemo sledeće vrste regulacionih ventila:
- **pneumatski** koji je najčešće korišćen, naročito ako u sistemu postoji opasnost od paljenja ili eksplozije
- **elektropneumatski** koji se koristi u kombinaciji sa električnim upravljačkim sistemom i u kome je obuhvaćen pretvarač električnog u pneumatski signal;
- **hidraulički** koji ima oblik hidrauličkog klipa koji se pomjera pomoću tečnosti pod pritiskom i koristi se kada treba ostvariti velike sile, odnosno momente;
- **elektrohidraulički** koji ima iste karakteristike kao hidraulički, samo obuhvata i pretvarač električnog u hidraulički signal, pa se koristi u kombinaciji sa električnim upravljačkim sistemom; - električni koji može biti na principu elektromotora ili solenoida i čije se korišćenje izbegava u hemijskoj industriji, zbog mogućnosti varničenja koje može izazvati eksploziju.

- Na osnovu toga da li akcija servomotora teži da otvori ili da zatvori ventil, servomotore delimo na:
- **servomotore sa direktnim dejstvom**, koji teže da zatvore ventil koji je normalno otvoren (slika 3.3-2(a));
- **servomotore sa inverznim dejstvom** koji teže da otvore ventil koji je normalno zatvoren (slika 3.3-2(b))



Slika 3.3-2. Pneumatski servomotor (a) sa direktnim i (b) sa inverznim dejstvom

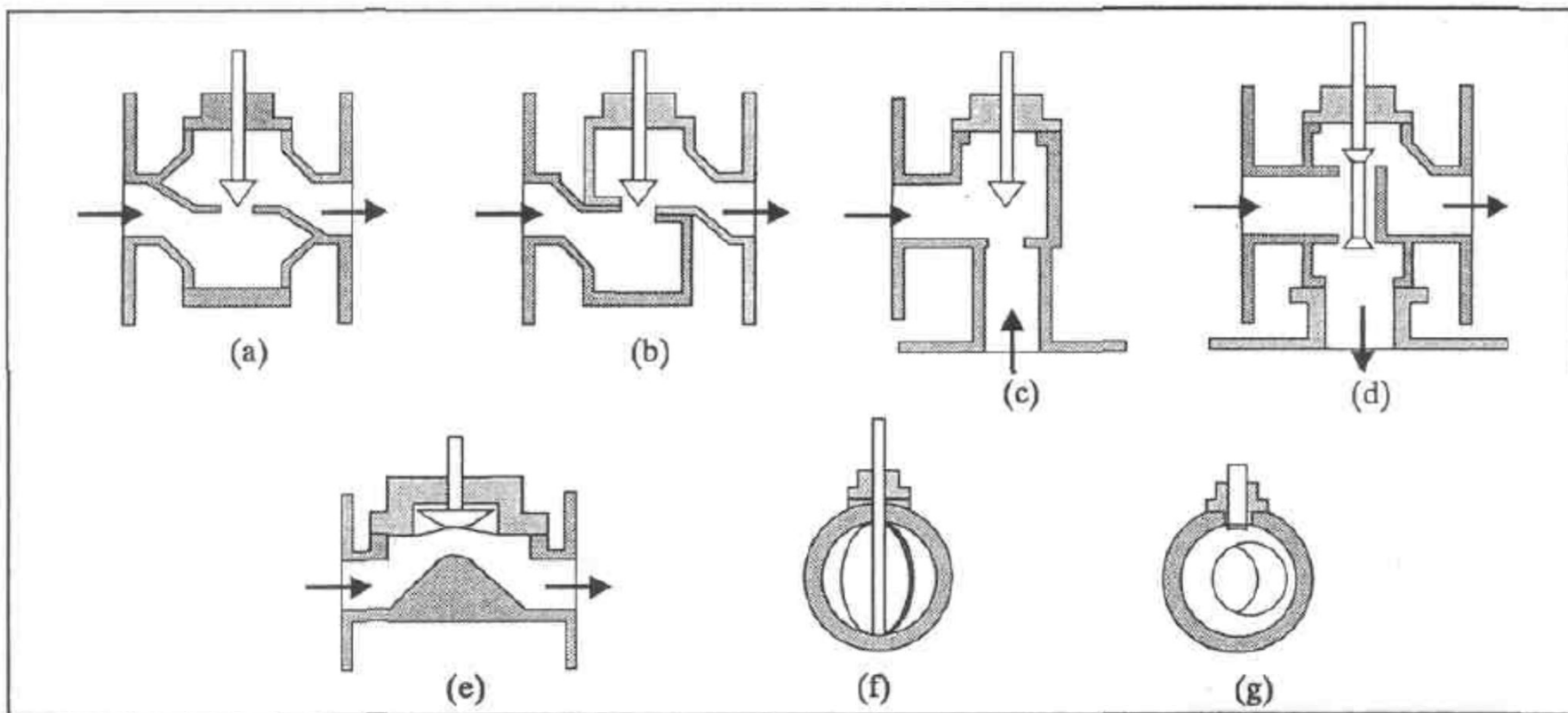
Klasifikacija ventila prema konstrukciji tijela ventila

Tijelo ventila može biti konstruisano na različite načine. Najčešći tipovi koji se koriste kod regulacionih ventila su sledeći:

- konvencionalni jednodjelni
- konvencionalni dvodjelni
- ugaoni
- trokraki
- leptir
- loptasti
- membranski
- specijalne konstrukcije.

Kod ugaonog ventila struja mijenja pravac za 90° , što je povoljno kada je potrebna velika redukcija pritiska u ventilu. Trokraki ventili se koriste u slučaju miješanja dvije struje ili u slučaju razdvajanja jedne struje na dva dijela. Leptir ventili daju vrlo male otpore strujanju, dok loptasti obezbjeđuju vrlo dobro zaptivanje, a membranski su pogodni za rad sa agresivnim i toksičnim fluidima.

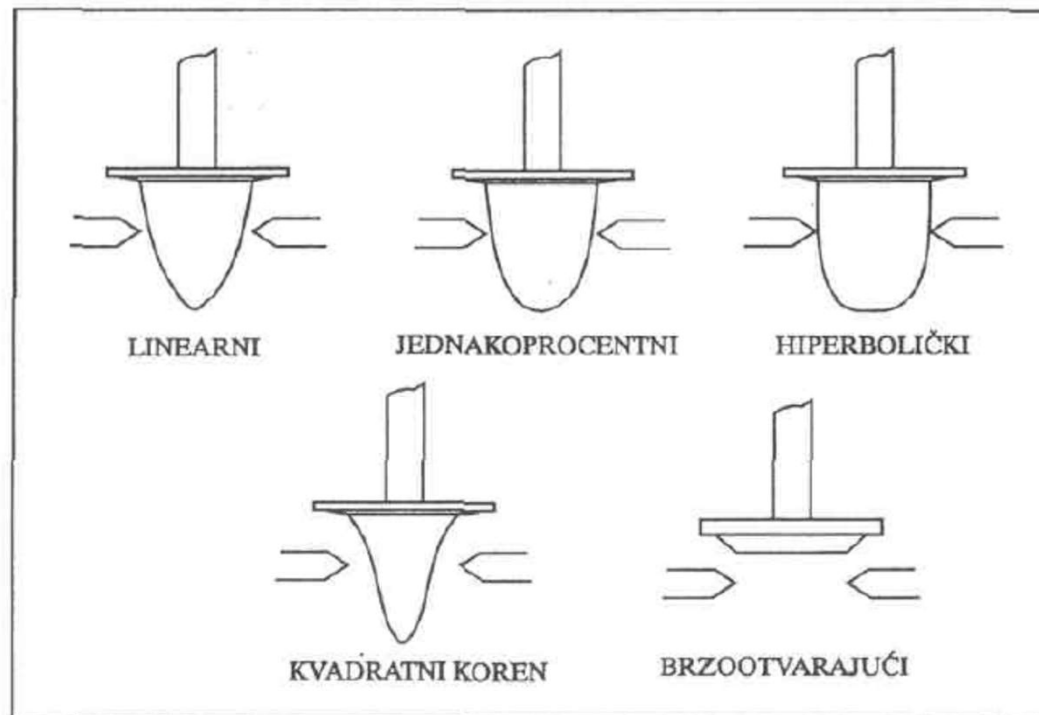
Šematski prikaz različitih tipova tela ventila je dat na slici 3.3-3.



Slika 3.3-3. Različiti tipovi tela ventila (a) jednodelni, (b) dvodelni, (c) ugaoni, (d) troktaki, (e) membranski, (f) leptir, (g) loptasti

Klasifikacija ventila prema broju i obliku čepova i sjedišta

Konvencionalni ventili mogu biti sa jednim ili sa dva sjedišta, odnosno čepa. Od oblika čepa zavisi statička karakteristika ventila, koja je značajna za karakteristiku cijelog regulacionog ventila. Na slici 3.3-4. su prikazani primeri različitih oblika čepova regulacionih ventila.



Slika 3.3-4. Različiti oblici čepova regulacionih ventila

Statičke i dinamičke karakteristike regulacionih ventila

Kao i kod ostalih elemenata sistema upravljanja, i kod regulacionog ventila su značajne i statičke i dinamičke karakteristike.

Statičke karakteristike regulacionih ventila

Poznavanje statičke karakteristike regulacionog ventila je od velikog značaja, jer ona utiče na ukupnu statičku karakteristiku regulacionog sistema (množi se sa statičkim karakteristikama objekta i mjernog elementa). Ako je statička karakteristika ventila nelinearna, ona može da uvede nelinearnost u regulaciono kolo. Sa druge strane, pravilnim izborom nelinearne statičke karakteristike regulacionog ventila može se kompenzovati nelinearnost procesa i na taj način izvršiti linearizacija sistema.

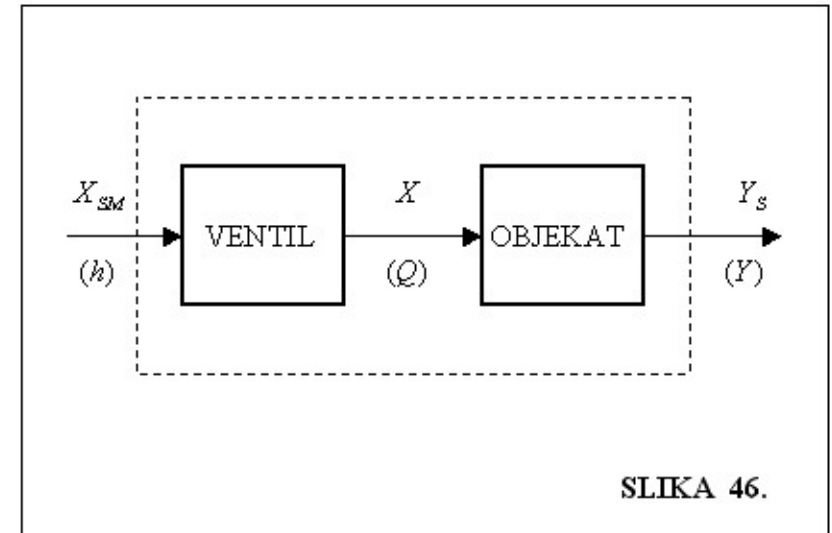
Izbor i dimenzionisanje Izvršnog organa

Ovaj zadatak je moguće riješiti u sledećim etapama

- na osnovu poznavanja objekta pronade se željena statička karakteristika ventila
- odredi se propusna sposobnost ventila koju zahtijeva objekat - tehnološki proces sa uvođenjem potrebnih korekcija koje zahtijeva priroda medija
- odredi se konstruktivna karakteristika ventila,
- odrede se uslovi u koje treba dovesti ventil pa da statička karakteristika bude zadovoljavajuća s obzirom na objekat.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

Saglasno sl. 36, ventil kao element konture ima kao ulazni signal posrednu regulacionu veličinu x_{SM} , a na svom izlazu generiše izvršnu regulacionu veličinu x koja je ulaz u objekat i sa kojom se vrši neposredan uticaj na objekat da bi se regulisana veličina y_s održala na zadatoj vrijednosti. Radi pogodnosti dio sl. 36. prikazan je na sl. 46. Ako se pojačanja ventila i objekta u nekoj radnoj tački označe respektivno



$$k_v = \frac{\Delta x}{\Delta x_{SM}} ; k_{ob} = \frac{\Delta y_s}{\Delta x}$$

$$k = k_v \cdot k_{ob}$$

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

- Bilo kakvo nepoznavanje statičke karakteristike ventila koji se ugrađuje u regulacioni krug potpuno obezvređuje poznavanje statičke karakteristike objekta koja je rezultat često veoma skupe i dugotrajne identifikacije.
- Zato se proračunu određene karakteristike ventila mora pridavati ista pažnja kao i određivanju statičke karakteristike objekta.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

- Pošto regulator pred sobom u konturi "vidi" statičku karakteristiku kompleksa ventil-objekat, a već je napomenuto da su informacioni organi linearni ili se linearizuju, očigledno je da se za postizanje jednakog kvaliteta prelaznog procesa u konturi mora obezbijediti da u svakoj radnoj tački objekta važi

$$\mathbf{k = const}$$

- Drugim riječima, ventil svojom karakteristikom ne smije izobličiti statičku karakteristiku objekta ukoliko je ova linearna, ili je mora izobličiti na tačno određen način u svrhu linearizacije ako je nelinearna. Inače neće važiti optimalno podešenje regulatora u cijelom opsegu rada objekta. Dakle, željena statička karakteristika ventila izražena pojačanjem je

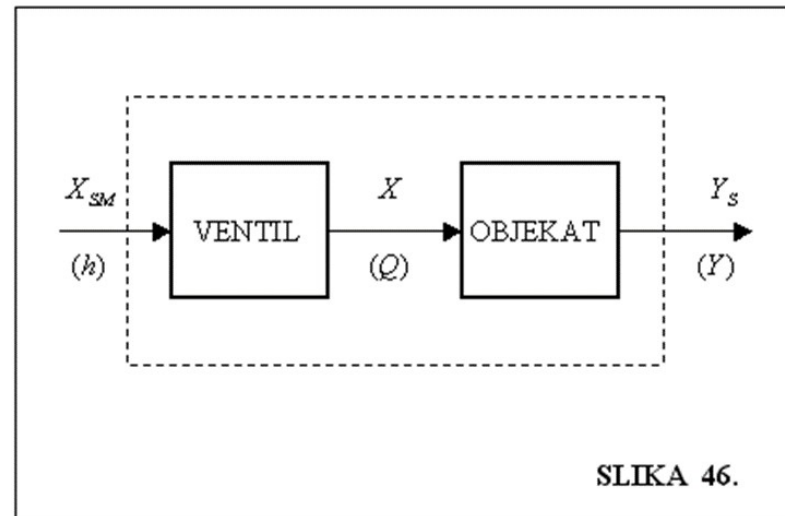
$$\mathbf{k_v = \frac{const}{k_{ob}}}$$

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

Praktična realizacija ovog izraza zavisi od toga da li objekat radi sa promjenom zadate vrijednosti u širokom opsegu i pri konstantnom opterećenju ili je zadata vrijednost konstantna pri promjeni opterećenja objekta u širokom dijapazonu (t.j. da li se rješava zadatak regulacije, sa promjenom zadate vrijednosti kao što je programska regulacija, regulacija odnosa itd. ili se rješava zadatak stabilizacije regulisane veličine).

- U oba slučaja, cilj je da se sa statičke ili familije statičkih karakteristika dobije karakteristika .

$$k_{ob} = f(x)$$



SLIKA 46.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

Pošto se u inženjerskoj praksi koordinate obično označavaju u normalizovanoj formi, u ovom dijelu teksta biće označeno

$$x_{SM} \hat{=} h; \quad x \hat{=} Q; \quad y_S \hat{=} y$$

gdje je

h - hod servomotora [% punog hoda]

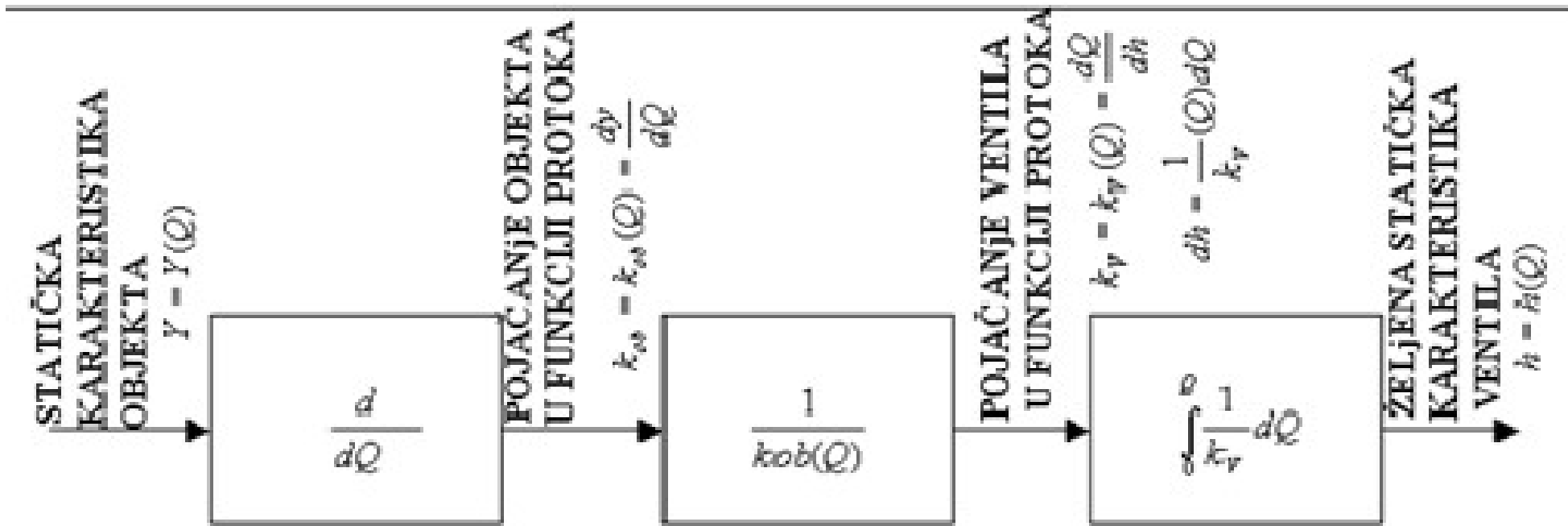
Q - protok kroz ventil [% max protoka]

y - regulisana veličina [% standardnog signala]

Pošto su y, h i Q normalizovane veličine simbol const u izrazu moguće je zamijeniti jedinicom

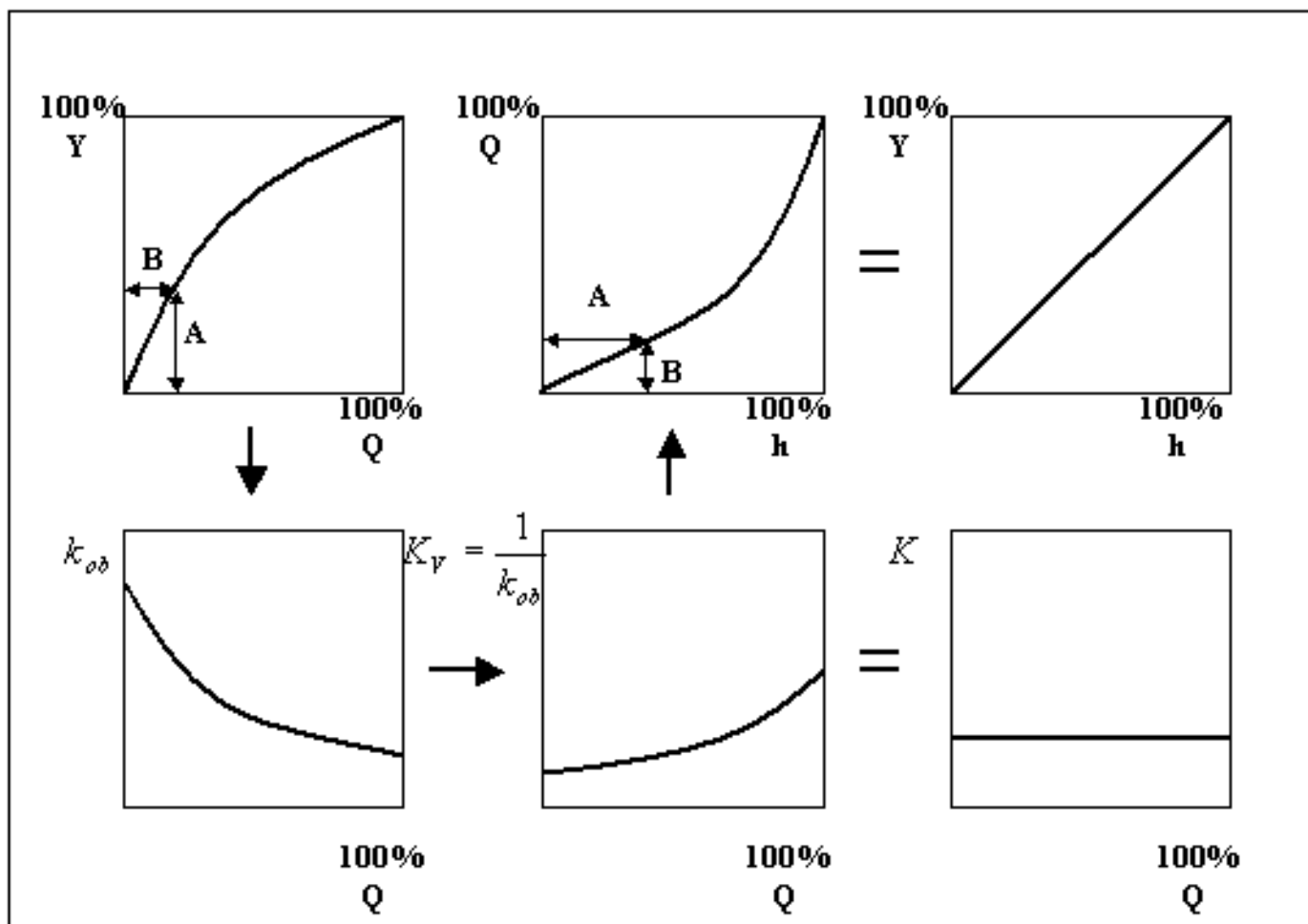
$$k_V = \frac{\text{const}}{k_{ob}}$$

Sinteza željene statičke karakteristike ventila



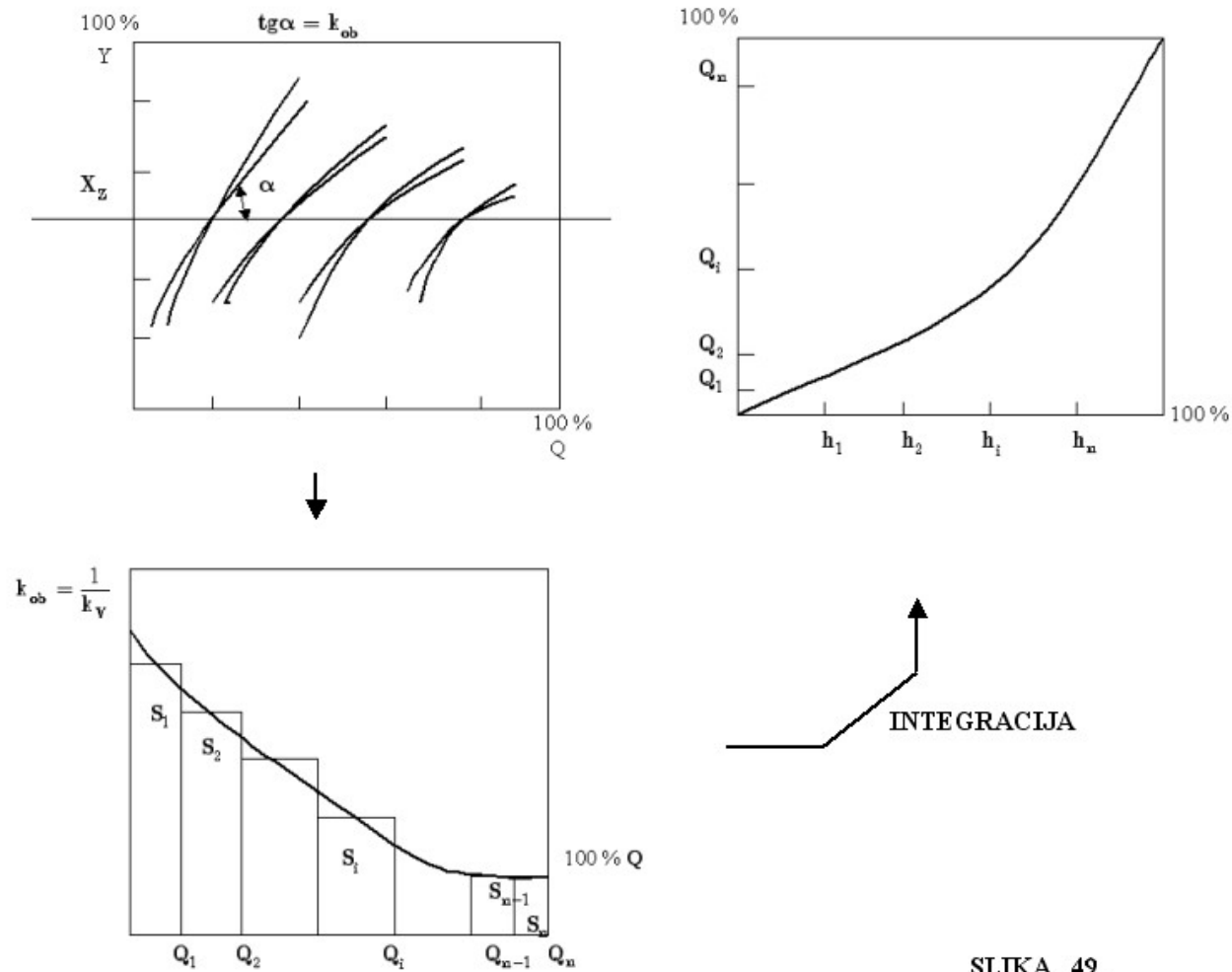
Slika 47. pokazuje način sinteze željene statičke karakteristike ventila u formi organigrama

Sinteza željene statičke karakteristike ventila u slučaju promjenljive zadate vrijednosti



SLIKA 48.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila u slučaju promjenljivog opterećenja



SLIKA 49.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

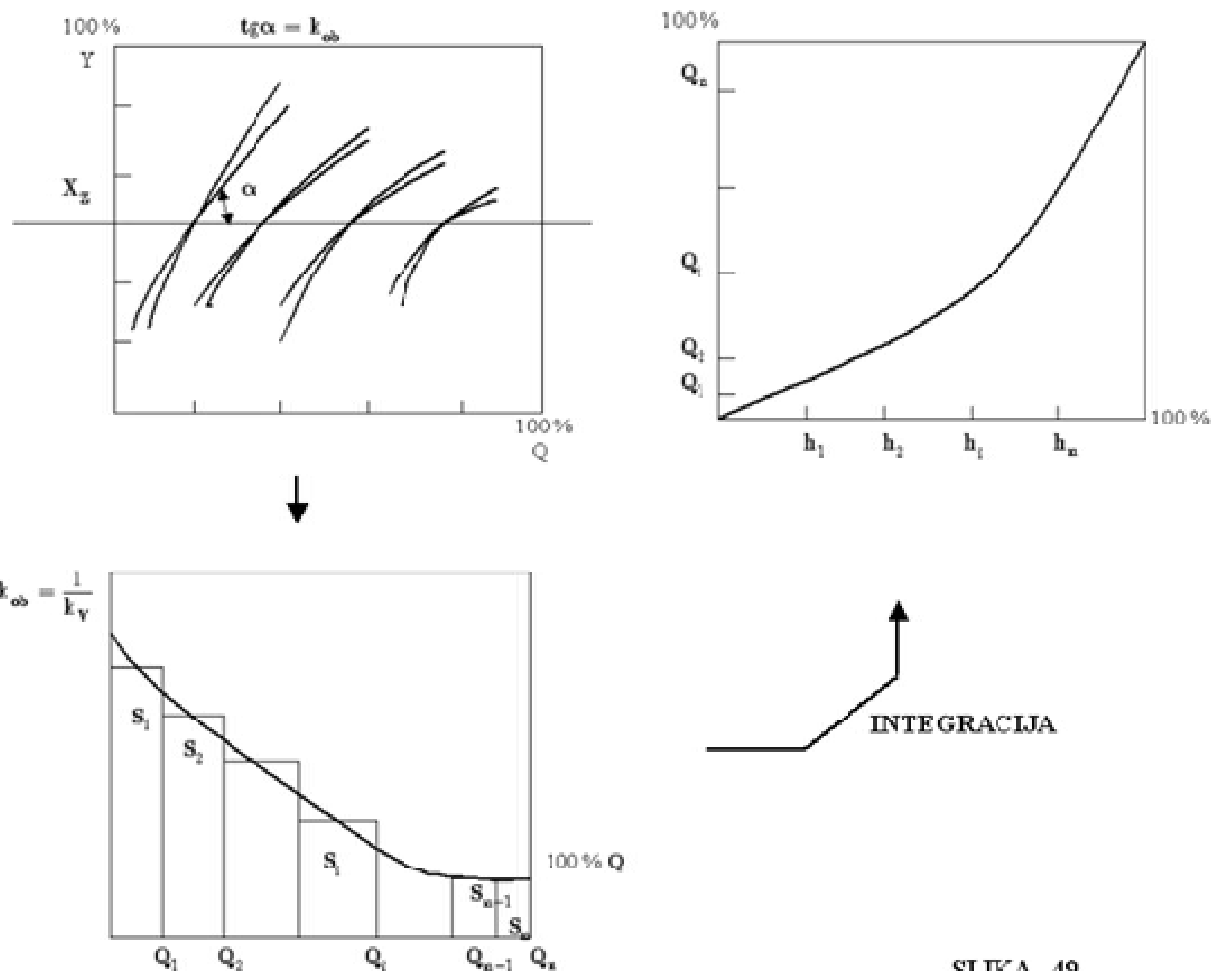
U prvom slučaju uočljiva je simetrija slike u ogledalu statičke karakteristike objekta, pa proces integracije nije ni potrebno sprovoditi, dok je u drugom slučaju taj proces sproveden, grafičkim putem

$$y = y(Q) \quad \longrightarrow \quad k_{ob} = k_{ob}(Q)$$

Zavisnost $K_{ob}=K_{ob}(Q)$ se konstruiše iz familije karakteristika $y=y(Q)$.

$$\frac{dh}{dQ}(Q) = \frac{1}{k_v}$$

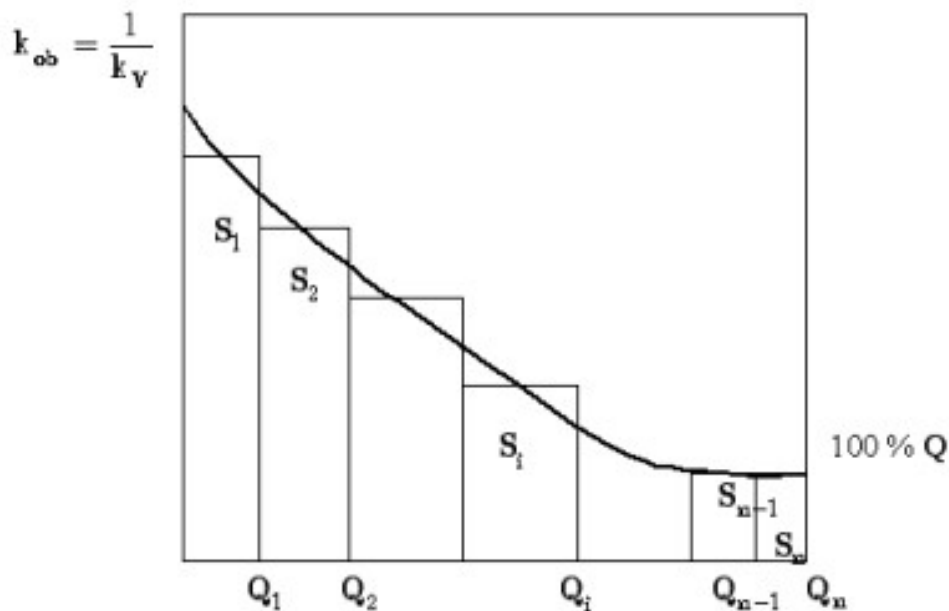
$$h = \int_{Q=0}^{Q=100\%} \frac{1}{k_v} dQ$$



SLIKA 49.

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

Interval promjene Q podijeli se na n jednakih djelova ΔQ . Kriva $\frac{dh}{dq}(Q)$ aproksimira se pravougaonicima. Integral se računa kao suma pravougaonika S_k . Iznos integrala, tj. položaj izvršnog organa h_i za neki protok Q_i proporcionalan je zbiru svih površina do tog mjesta od $Q=0$ do $Q=Q_i$.



$$h_i = C \sum_{k=1}^i S_k$$

Pošto je očigledno da je pri $Q=Q_n$ i $h=h_n=100\%$ koeficijent se može odrediti iz prethodne relacije kao

$$C = \frac{100}{\sum_{k=1}^n S_k}$$

Sinteza željene statičke karakteristike ventila

- Izračunavši iznose suma površina S_k za svih n tačaka aproksimacije i određivši koeficijent C može se po očitati h za svaki Q_i čime je dobijena statička karakteristika ventila koja linearizuje statičku karakteristiku objekta.

Statičke i dinamičke karakteristike regulacionih ventila propusna sposobnost ventila

- Protok fluida kroz regulacioni ventil zavisi od veličine ventila, pada pritiska na njemu, pozicije vratila ventila i karakteristika fluida. Projektna jednačina zavisi od vrste fluida i režima strujanja.
- Zapreminski protok Q [m^3/s] nestišljivog neviskoznog fluida sa specifičnom gustinom ρ [kg/m^3] kroz ventil sa lokalnim koeficijentom otpora ξ koji se nalazi pod razlikom pritisaka na ulazu i izlazu Δp_v [bara] i ima propusni presjek F [m^2] je dat sa:

$$\left[Q = F_y \frac{1}{\sqrt{\xi}} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \sqrt{\Delta p_v \cdot 2g} \right] (177)$$

gdje je g – ubrzanje zemljine teže

Pošto striktno **pridržavanje SI** sistema jedinica nije pogodno pri proračunu hidrauličnih armatura jer vodi ka izrazima sa višecifrenim brojevima, u inženjerskoj praksi je uobičajeno da se radi sa dimenzijama

- protok	$Q [\text{m}^3 / \text{h}]$
- brzina	$v [\text{m} / \text{sek}]$
- površina	$F [\text{cm}^2]$
- pritisak	$p [\text{kp} / \text{cm}^2]$
-specifična težina	$\gamma [\text{t} / \text{m}^3]$

Iz istog razloga umjesto sa zapreminskim protokom $Q [\text{m}^3 / \text{s}]$ radi se sa težinskim protokom $G [\text{t} / \text{h}]$ uz jednostavnu korespodenciju

$$G = Q \cdot \gamma$$

te jednačina (177) dobija oblik

$$G = \frac{5.04 \cdot F_y}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\Delta p_V \cdot \gamma} \quad [\text{t/h}] \quad (178)$$

Za viskozne fluide uvodi se koeficijent Ψ_G koji zavisi od Rejnoldsovog broja R_e odnosno kinematičke viskoznosti ν [m²/sek] jer je

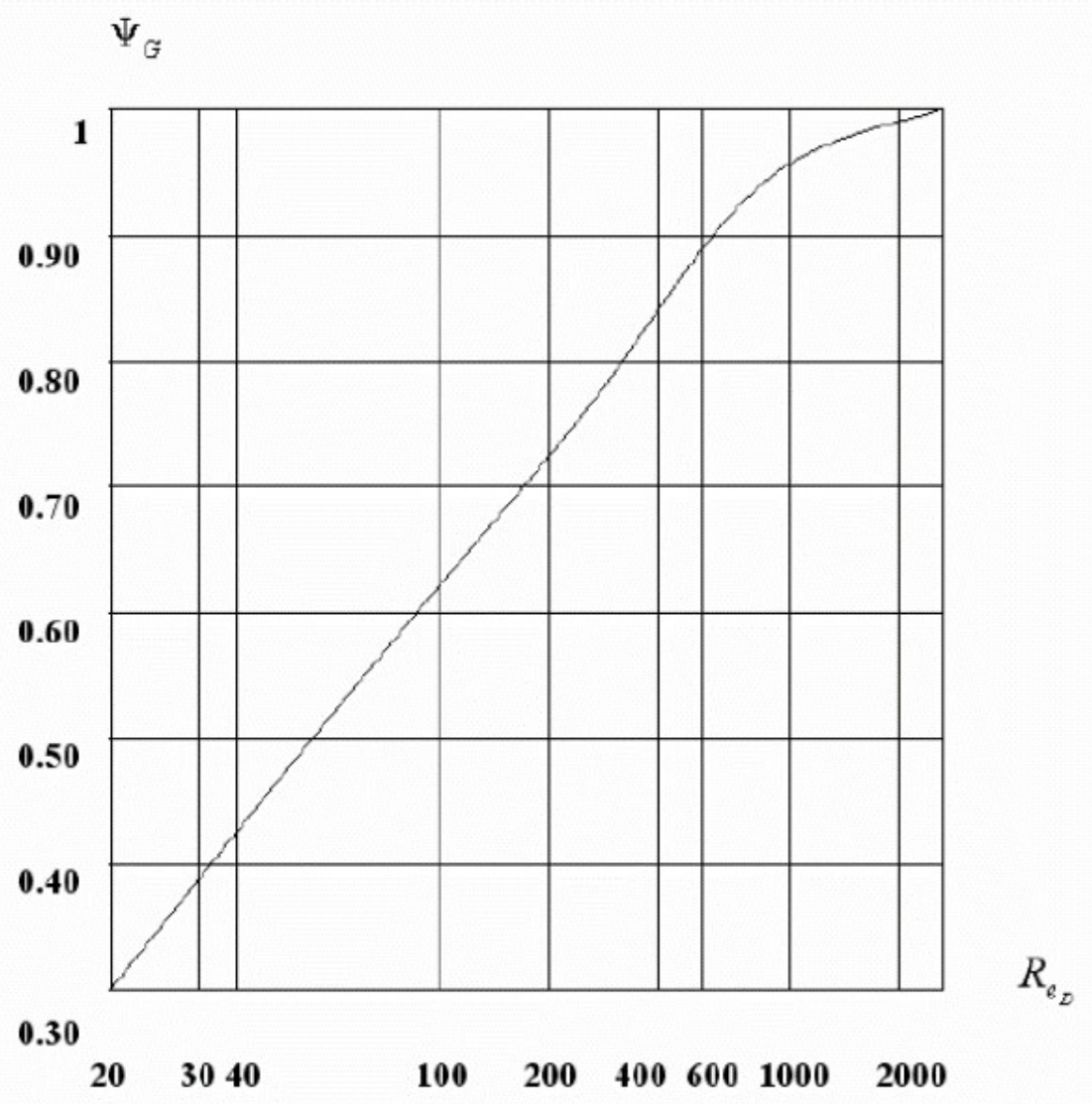
$$R_{e_D} = \frac{vD}{100\nu} \quad (179)$$

gdje je v - brzina fluida kroz armaturu (srednja po presjeku) [m/s]
 D - prečnik otvora armature [cm]
 saglasno dijagramu sa sl. 50, izraz (178) postaje

$$G = \Psi_G \frac{5.04 \cdot F_y}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\Delta p_V \cdot \gamma} \quad (180)$$

Na taj način, da bi se odredio protok fluida kroz ventil pri datim uslovima njegovog rada neophodno je poznavati

- koeficijent otpora ξ
- površinu propusnog presjeka F_y
- pad pritiska na ventilu Δp_V
- specifičnu težinu fluida γ



SLIKA 50.

Pošto se pri savremenim postupcima sinteze regulacionog kruga obično ne konstruiše ventil za svaki posebni slučaj primjene, nego se koriste ventili čije elemente zavisne od konstrukcije poznaje samo proizvođač te inženjer-projektant regulacione konture veoma teško dolazi do podataka o ξ i F_y , iz razloga jednostavnijeg projektovanja uveden je pojam uslovne propusne sposobnosti ventila G_y (ili koeficijenta propusne sposobnosti K_v) koji su jednaki protoku vode kroz ventil pri padu pritiska na ventilu od jedne atmosfere, tj. pri $\Delta p = 1$ i $\gamma = 1$. Na taj način je

$$K_v = G_y = \frac{5.04}{\sqrt{\xi}} \quad t/h \quad (181)$$

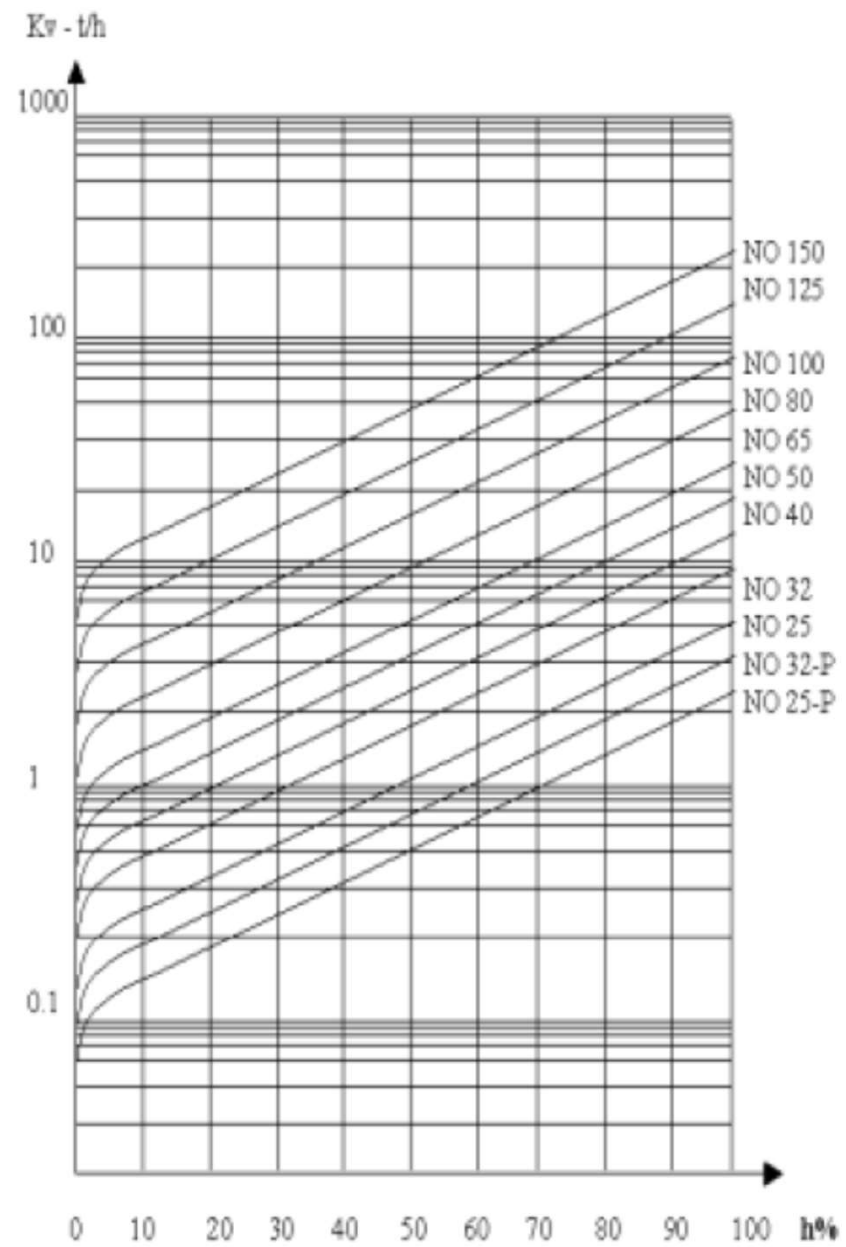
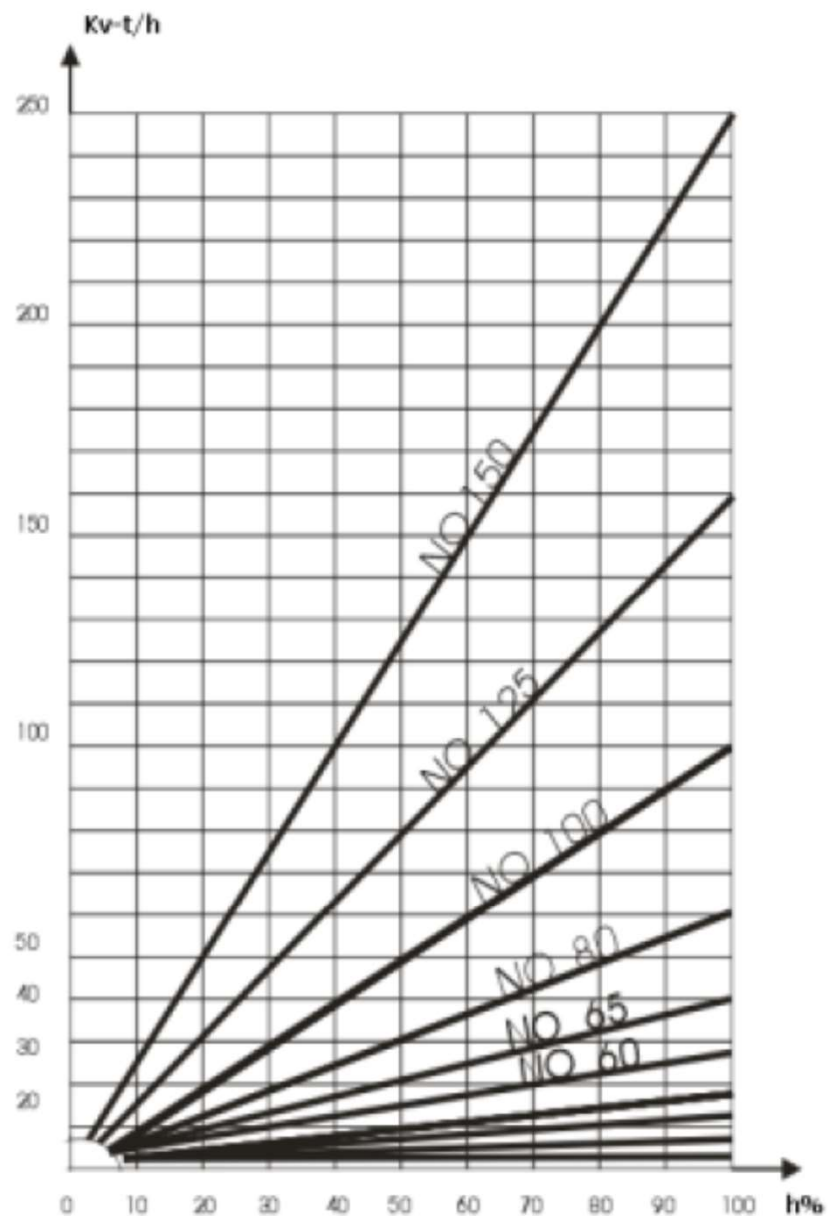
Jed. (181) nije potrebno računati, uz ventil kao proizvod daje se uvijek dijagram $K_v = K_v(h)$ bilo u grafičkoj, bilo u tabličnoj formi. Posebno važan podatak je K_v pri potpuno otvorenom ventilu $h = 100\%$ tj. $K_{v_{max}}$.

Kao primjer, na sl. 51. dat je taj dijagram za dvije vrste ventila firme Energoinvest, sa nazivnim otvorom kao parametrom.

Na taj način, koristeći K_v , protok fluida kroz regulacioni ventil se može odrediti prema sledećim formulama:

Ako je fluid nestišljiva tečnost sa $Re_d > 1000$

$$G = K_v \sqrt{\Delta p_v \cdot 2g} \quad t/h \quad (182)$$



SLIKA 51

Ako je fluid nestišljiva tečnost sa $Re_d < 1000$

$$G = K_V \Psi_G \sqrt{\Delta p_V \gamma} \quad (183)$$

Ako je fluid vazduh, plin ili para, proračun mora uzeti u obzir stišljivost na osnovu odnosa

$\frac{\Delta p_V}{p_1}$ gdje je p_1 pritisak pred ventilom

Ako je $\Delta p_V < 0.1 p_1$

$$[G = K_V \sqrt{\Delta p_V \cdot \gamma}] \quad (184)$$

Ako je $0.1 p_1 < \Delta p_V < 0.5 p_1$

$$[G = K_V \xi \sqrt{\Delta p_V \cdot \gamma}] \quad (185)$$

gdje je $\xi \approx 1 - \beta \frac{\Delta p_V}{p_1}$

Ako je $\Delta p_V > 0.5 p_1$, tada je

$$[G = K_V \xi \sqrt{p_V \cdot \gamma}] \quad (186)$$

Koeficijent β se uzima,

- za zasićenu vodenu paru

$\beta = 0.50$

- za pregrijanu vodenu paru i troatomne gasove

$\beta = 0.47$

- za vazduh i dvoatomne gasove

$\beta = 0.45$

- za jednoatomne gasove

$\beta = 0.42$

gdje je $\xi \approx 0.95 - (\beta - 0.1) \frac{\Delta p_V}{p_1}$

Protočne karakteristike ventila. Od oblika protočne karakteristike zavisi oblik statičke karakteristike ventila. Najčešće korišćene protočne karakteristike su prikazane na slici 3.3-5. Matematičke zavisnosti ovih protočnih karakteristika su sledeće:

- za linearnu:

$$f(x) = x$$

- za jednakoprocentnu:

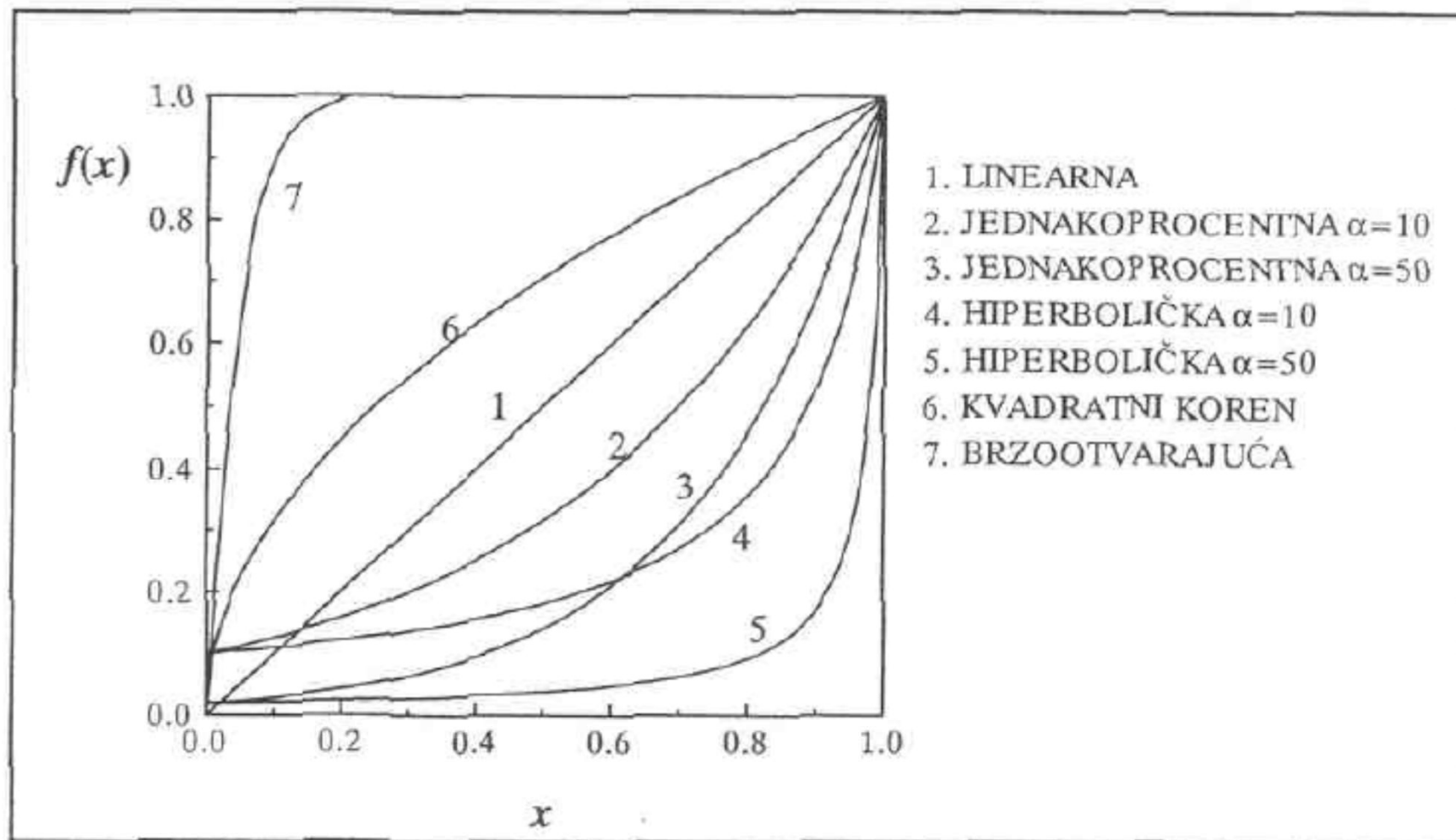
$$f(x) = \alpha^{x-1}$$

- za hiperboličnu:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha - (\alpha - 1)x}$$

- za karakteristiku oblika kvadratnog korena:

$$f(x) = \sqrt{x}$$



Slika 3.3-5. Najčešće korišćene protočne karakteristike regulacionih ventila

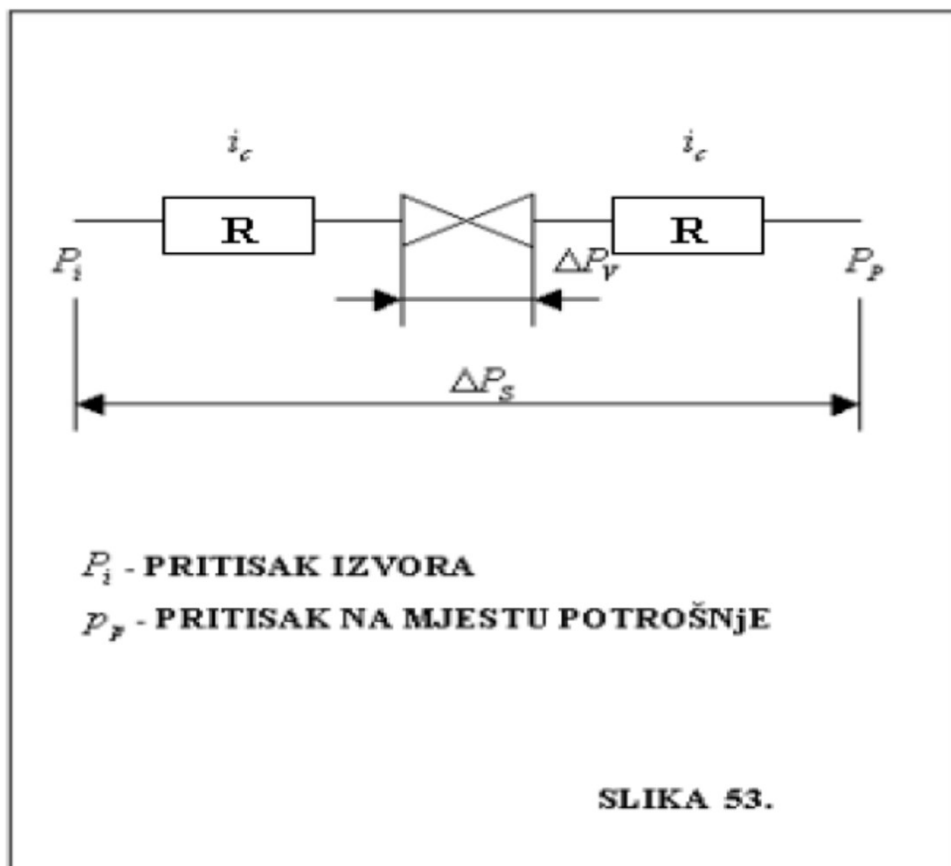
Oblik protočne karakteristike zavisi od oblika čepa i sjedišta ventila. Oblici čepova prikazani na slici 3.3-4. odgovaraju različitim karakteristikama prikazanim na slici 3.3-5.

Često se, umjesto protočne karakteristike, koristi koeficijent propusne sposobnosti ventila, koji se definiše na sledeći način:

$$K_v = C_v f(x)$$

$f(x)$, odnosno $K_v(x)$, predstavlja konstruktivnu karakteristiku ventila, koja je identična statičkoj karakteristici samo kada je pad pritiska na ventilu konstantan. Ove karakteristike daje proizvođač ventila.

Statička karakteristika ventila kada pad pritiska na njemu nije konstantan. U svim slučajevima upravljanja protokom fluida pomoću regulacionog ventila dolazi do promjene pada pritiska na ventilu u toku rada. Pad pritiska na regulacionom ventilu je obično dio ukupnog pada pritiska u sistemu i mijenja se u zavisnosti od toga koliko je regulacioni ventil otvoren. Ta činjenica izaziva deformaciju "spoljašnje" statičke karakteristike i ona postaje različita od "unutrašnje", konstruktivne karakteristike.



$$\Delta p_v = \Delta p_s - \Delta p_c$$

gdje su

Δp_s - pad pritiska na cijelom sistemu
uključujući ventil

Δp_c - pad pritiska na cijelom sistemu bez
ventila

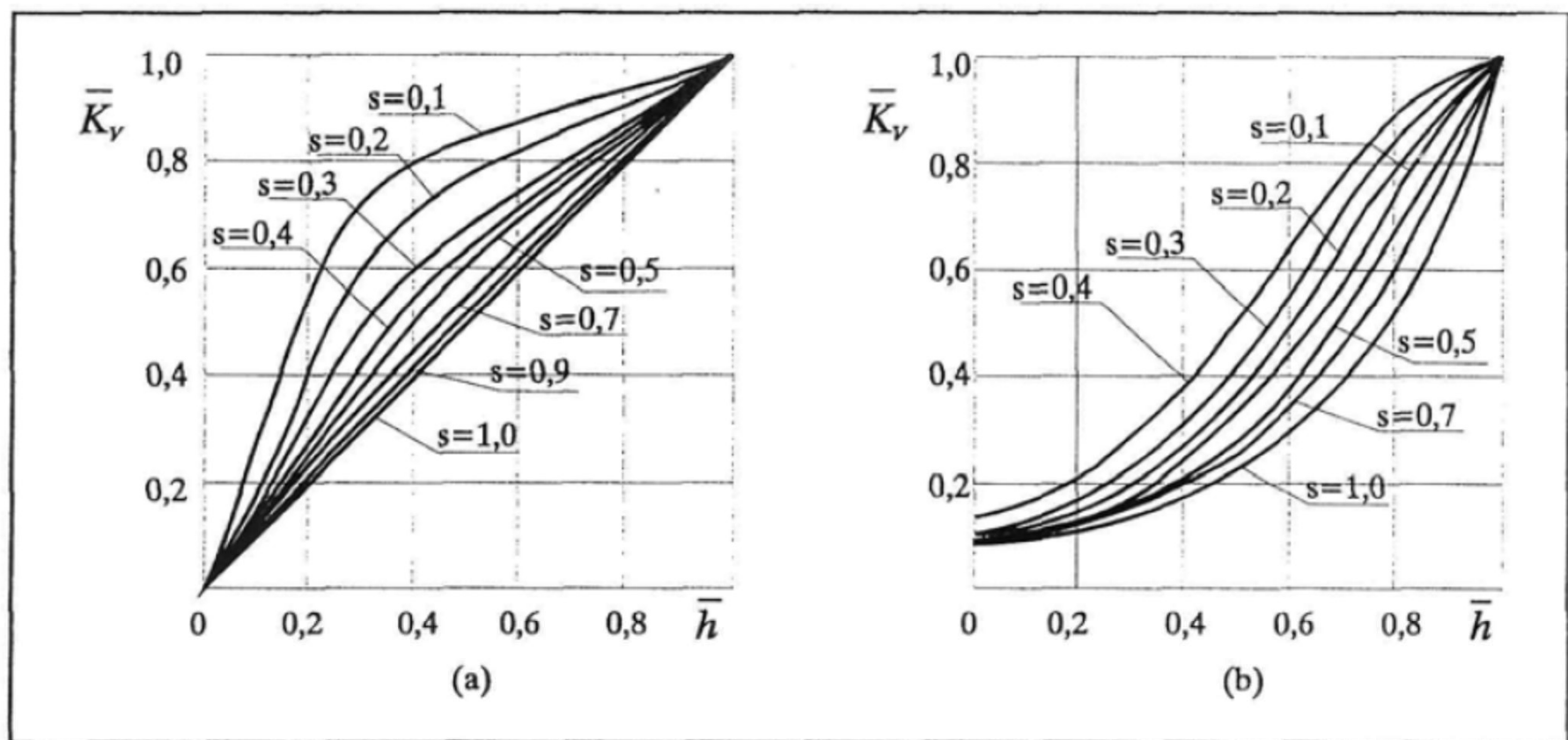
Δp_v - pad pritiska na ventilu

Jedna od bitnih karakteristika pri eksploataciji regulacionog ventila je odnos pada pritiska na ventilu i ukupnog pada pritiska u sistemu, pri maksimalnom protoku, odnosno pri potpuno otvorenom ventilu:

$$s = \frac{\Delta p_{v \max}}{\Delta p_{s \max}}$$

$\Delta p_{v \max}$ - pad pritiska na ventilu pri najvećem protoku koji je moguć u opsegu regulisanja (tj. kada je ventil maksimalno otvoren). Treba napomenuti da je to ujedno minimalni pad pritiska na ventilu koji se javlja u radnom režimu ventila, tj. indeks max. se ne odnosi na veličinu pada pritiska nego na veličinu protoka.

$\Delta p_{s \max}$ - pad pritiska na cijelom sistemu, uključujući ventil pri najvećem protoku koji je moguć u opsegu regulisanja.



Slika 3.3-6. Protočne karakteristike regulacionog ventila pri promenljivom padu pritiska (za $n = 1$) (a) za linearni ventil; (b) za jednakoprocentni ventil

Ako ventil pri punoj otvorenosti uzima na sebe više od 0.7 cijelog pritiska na sistemu tj. $s > 0.7$, tada se može smatrati da će konstruktivno linearni ventil dati približno linearnu statičku karakteristiku, tj. deformacija nije od bitnog uticaja.

Isto tako, ako pri punoj otvorenosti ravnoprocentni ventil preuzima na sebe samo mali dio pada pritiska cijelog sistema $s < 0.3$, tada će bez obzira na ravnoprocentnost konstruktivne karakteristike ventil dati približno linearnu statičku karakteristiku.

Očigledno je da za linearne objekte se ide na linearnu statičku karakteristiku, a za objekte konkavno nelinearne se bira ventil sa konveksnom nelinearnom statičkom karakteristikom i obratno. Pri tome treba napomenuti da se pri izboru s ne može rukovoditi samo željenim oblikom karakteristike, nego se mora uzeti u obzir i veoma bitno ograničenje koje proizilazi iz činjenice da životni vijek ventila veoma zavisi o padu pritiska koji se dopušta na ventilu pri njegovoj punoj otvorenosti tj. $\Delta p_{v \max}$.

NAPOMENA: Za industrijsku primenu se mogu koristiti sledeća praktična pravila:

(1) ako je $s > 0.7$, deformacija protočne karakteristike nije velika i regulacioni ventil sa konstruktivno linearnom karakteristikom daje približno linearnu karakteristiku;

(2) ako je $s < 0.3$, jednakoprocentni regulacioni ventil daje približno linearnu karakteristiku.

Ako je , $n \neq 1$ nalaženje realne protočne karakteristike regulacionog ventila u eksploataciji se znatno komplikuje

Ako sistem radi sa pumpom kod koje je $n > 1$ situacija se usložnjava jer je potrebno uvesti i zavisnost $n = f(G)$ da bi se uzela u obzir i karakteristika pumpe.

PREPORUKA: Linearizaciju objekta upravljanja regulacionim ventilom treba vršiti samo ako se u punom opsegu rada postrojenja pojačanje objekta upravljanja mijenja za više od 20 %.

Dinamičke karakteristike regulacionih ventila

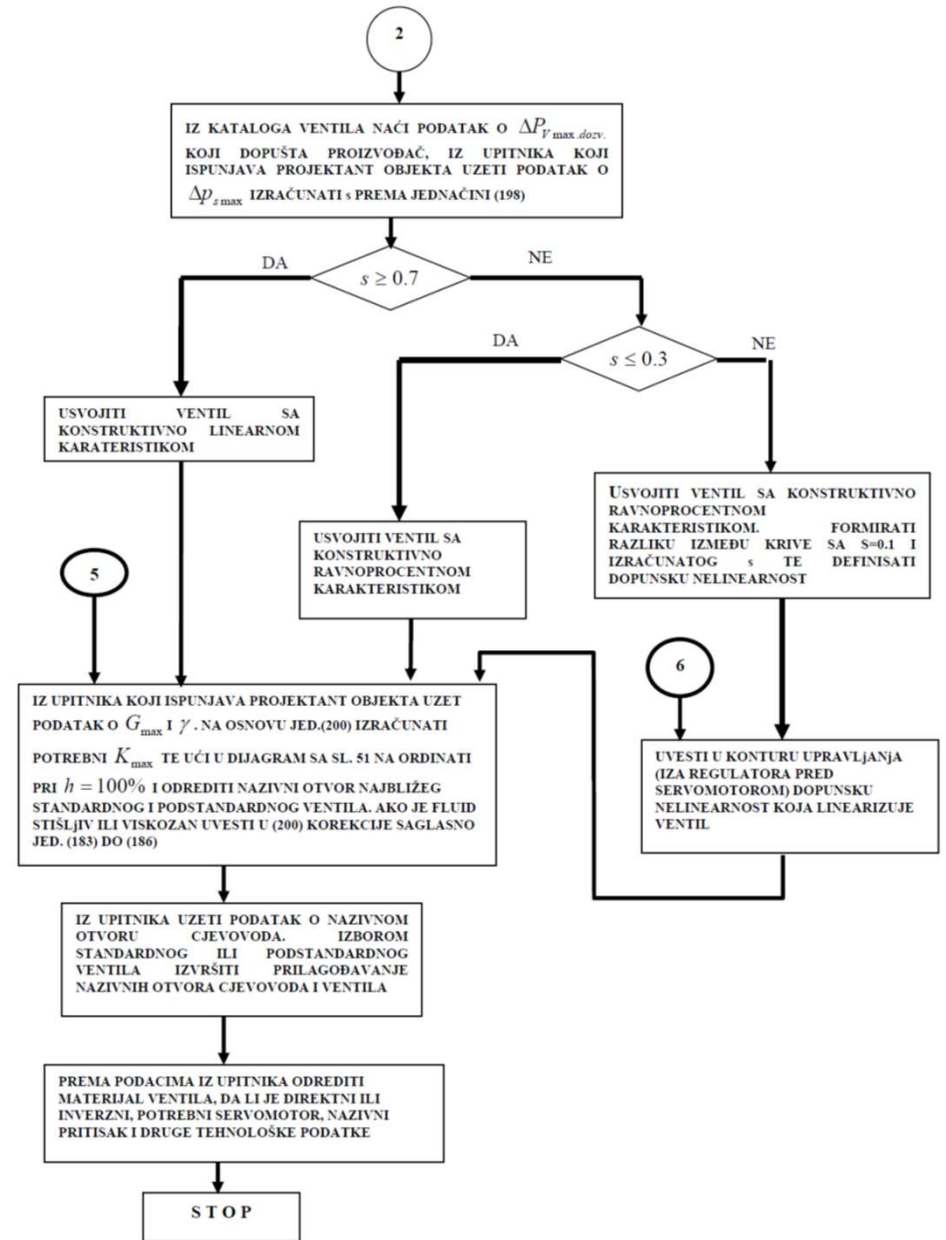
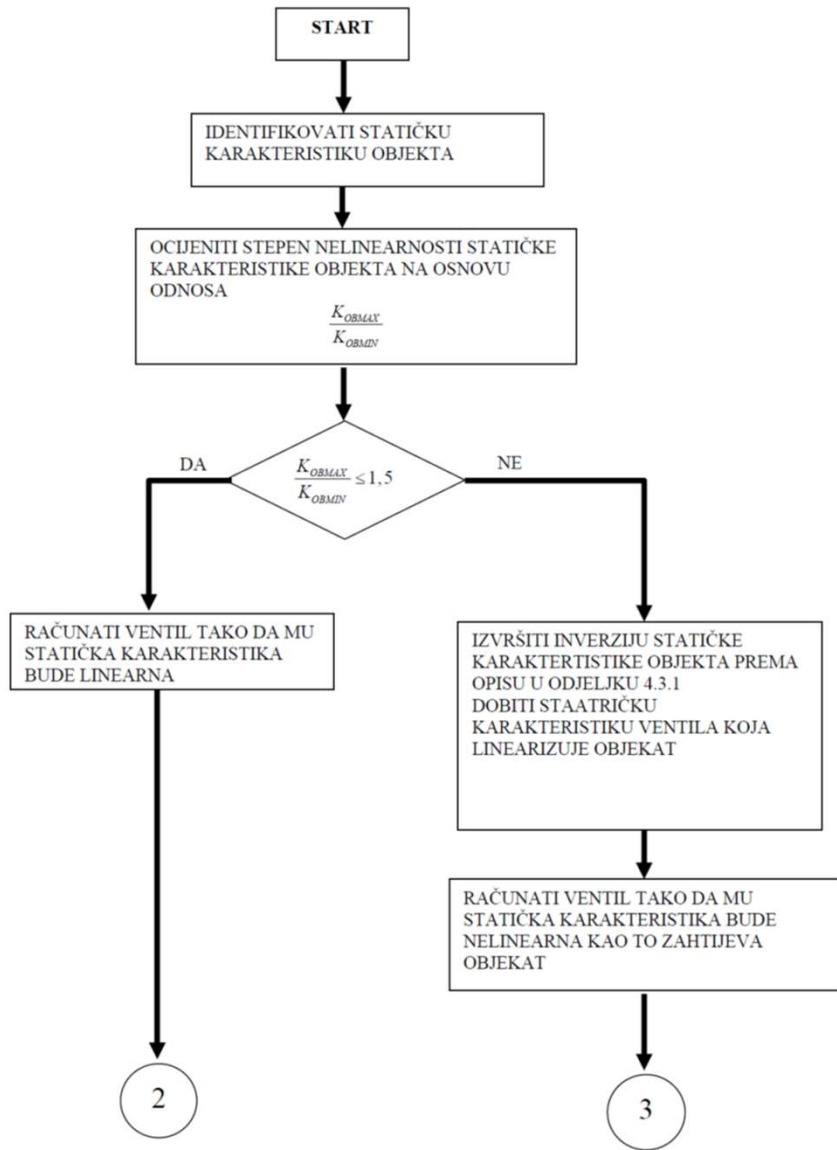
Dinamičke karakteristike ventila (izvršnog dijela regulacionog ventila) su uglavnom zanemarljive u odnosu na dinamičke karakteristike servomotora sa kojim je spregnut. Može se reći da ukupnu statičku karakteristiku izvršnog elementa određuje ventil (izvršni dio), a njegovu dinamičku karakteristiku servomotor (motorni dio regulacionog ventila). Ukupna dinamička karakteristika izvršnog elementa (ventila sa servomotorom) se najčešće može prikazati prenosnom funkcijom:

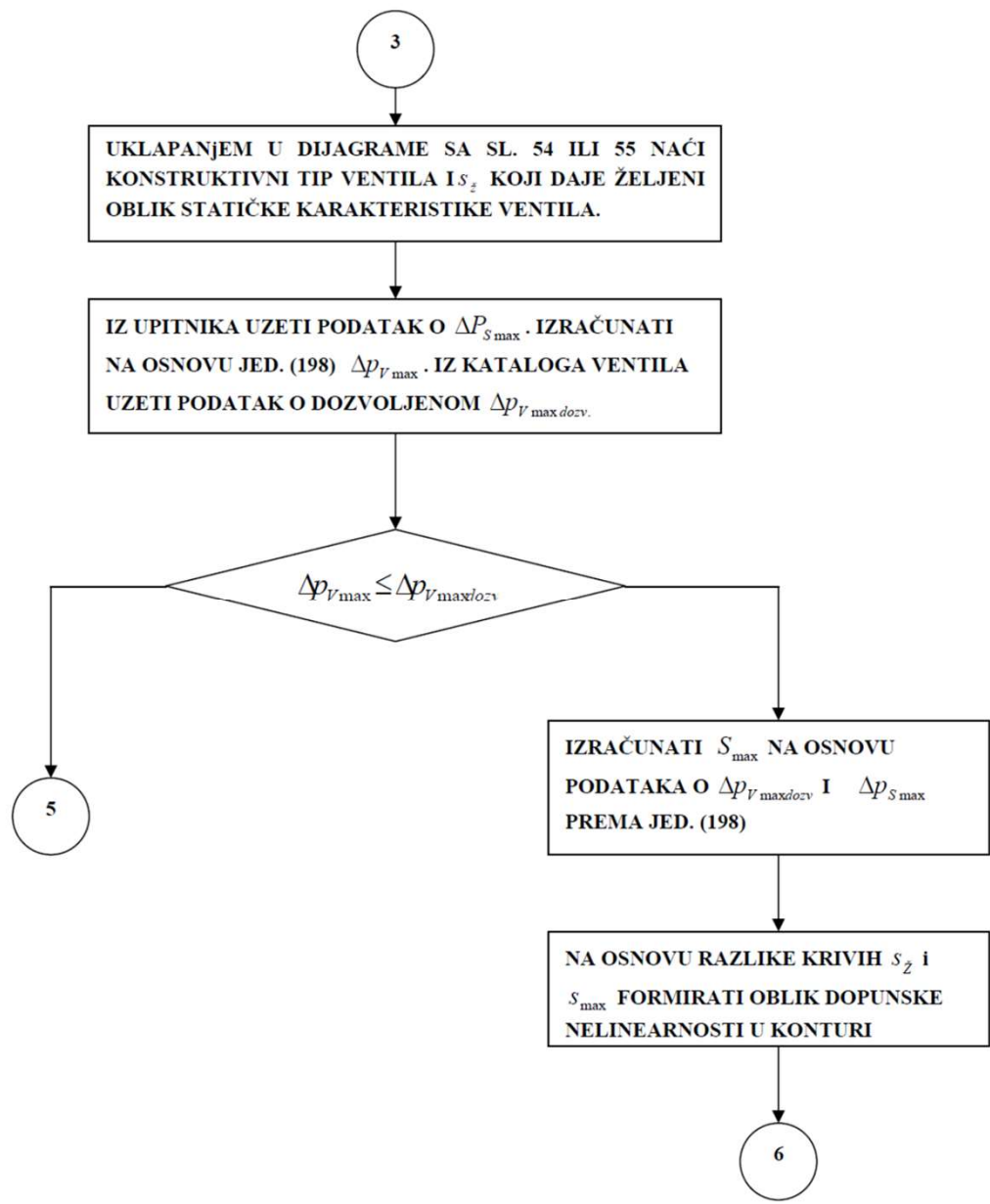
$$G_{SM} = \frac{K_{SM}}{T_{SM}s + 1} e^{-\tau_{SM}s}$$

Dinamika servomotora treba da bude takva da ne utiče značajno na ukupnu dinamiku sistema upravljanja, odnosno da se može zanemariti u odnosu na dinamiku samog procesa kojim se upravlja. Najčešće se zahtijeva da bude zadovoljen uslov slično kao za transmieter, tj. :

$$T_{SM} < (0.2 - 0.3)T_{ob}$$

$$\tau_{SM} = (0.1 \div 0.2)\tau_{OB}$$





3

UKLAPANJEM U DIJAGRAME SA SL. 54 ILI 55 NAČI KONSTRUKTIVNI TIP VENTILA I s_z KOJI DAJE ŽELJENI OBLIK STATIČKE KARAKTERISTIKE VENTILA.

IZ UPITNIKA UZETI PODATAK O $\Delta P_{S_{max}}$. IZRAČUNATI NA OSNOVU JED. (198) $\Delta p_{V_{max}}$. IZ KATALOGA VENTILA UZETI PODATAK O DOZVOLJENOM $\Delta p_{V_{max} doz}$.

$$\Delta p_{V_{max}} \leq \Delta p_{V_{max} doz}$$

5

IZRAČUNATI S_{max} NA OSNOVU PODATAKA O $\Delta p_{V_{max} doz}$ I $\Delta p_{S_{max}}$ PREMA JED. (198)

NA OSNOVU RAZLIKE KRIVIH s_z I S_{max} FORMIRATI OBLIK DOPUNSKE NELINEARNOSTI U KONTURI

6

Kod korektno proračunate konture, regulatoru se nastoji obezbijediti objekat u širem smislu što je moguće više linearan, kako bi kružno pojačanje konture u svakom režimu rada objekta bilo konstantno, pa kao posljedica toga, kako bi optimalno podešavanje regulatora ostalo isto za svaki režim rada.

S obzirom da proračun ventila treba vršiti toliko korektno koliko to konkretna situacija zahtijeva, procedure proračuna koje se susreću u literaturi ili preporukama firmi - proizvođača regulacionih ventila variraju od veoma složenih i tačnih do veoma prostih i aproksimativnih.

Za izbor protočne karakteristike ventila je neophodno prethodno poznavanje statičke karakteristike procesa. Pri tome se mogu koristiti sledeća generalna pravila:

- (1) Za linearne procese treba koristiti regulacioni ventil sa linearnom protočnom karakteristikom, ako se pad pritiska na ventilu ne mijenja značajno u toku rada. Ukoliko se pad pritiska na ventilu smanjuje sa povećanjem protoka, treba koristiti regulacioni ventil sa jednakoprocentnom karakteristikom.
- (2) Za nelinearne procese treba utvrditi potrebnu karakteristiku regulacionog ventila da bi se nelinearnost kompenzovala.
- (3) Brzo otvarajuća karakteristika se koristi kod dvopoložajne regulacije, u sistemima blokade i kada je potrebno dobro zaptivanje.

Ukoliko objekat upravljanja ima nelinearnu statičku karakteristiku, može se izvršiti njegova linearizacija izborom regulacionog ventila sa odgovarajućom nelinearnom protočnom karakteristikom. Nelinearnost regulacionog ventila treba da bude inverzna nelinearnosti objekta upravljanja. To se postiže ukoliko je funkcija kojom je definisana zavisnost pojačanja regulacionog ventila od protoka recipročna odgovarajućoj funkciji koja odgovara objektu upravljanja.