



MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf

Nastavak priloga o regulacijskim ventilima iz prethodnog broja. Riječ je o odabiru, dimenzioniranju i dijagnostici rada regulacijskih ventila.

Odabir i dijagnostika rada regulacijskih ventila

|| N. Bolf*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa
Savska cesta 16/5a, 10 000 Zagreb

Za pravilno dimenzioniranje regulacijskih ventila potrebna je suradnja proizvođača i prodavača s inženjerima i projektantima na pogonu kako bi se odabrao prikladan ventil za potrebe procesa. Pri tom treba voditi računa o više faktora:

- najveći protok koji se javlja tijekom procesa
- radno područje protoka koje treba regulirati
- pad tlaka kroz ventil pri najvećem i najmanjem protoku
- priroda i stanje tekućine koja prolazi kroz ventil
- vrsta strujanja

Radno područje protoka kroz regulacijski ventil mora biti veće od radnog područja protoka definiranog procesom, što znači da je ventil u stanju održavati protoke manje od najmanjeg protoka i protoke veće od najvećeg protoka potrebnih u procesu. Shodno tome u pravilu se odabiru ventili koji rade pri 60 % do 70 % punog kapaciteta.

Priroda i stanje tekućine važni su prilikom odabira ventila. Pitanje pada tlaka na ventilu nije važno samo za dimenzioniranje već i za dinamičko vladanje ventila.

Pri odabiru ventila osnovno je odrediti koeficijent protoka ventila (K_v) ($C_v = 1,168 K_v$ – anglosaksonski (*imperial*) sustav jedinica). Koeficijent protoka ventila, K_v , definira se kao volumni protok vode u $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ na temperaturi između 5 °C do 30 °C koja prolazi kroz potpuno (100 %) otvoren ventil pri razlici (padu) tlakova od 1 bar između ulaza i izlaza.

Standardna jednadžba za proračun koeficijenta ventila za kapljevinu glasi:

$$K_v = Q_v \sqrt{\frac{\rho}{1000 \Delta p}} \quad (1)$$

pri čemu su:

K_v – koeficijent protjecanja kroz ventil

Q_v – volumni protok kapljevine kroz ventil, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$

ρ – gustoća kapljevine, kg m^{-3}

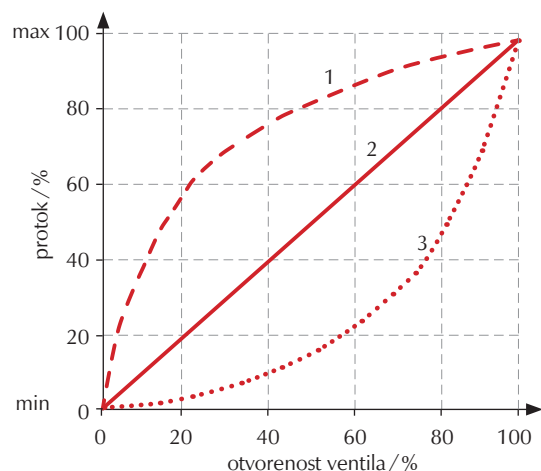
Δp – pad tlaka na ventilu, bar

Shodno izračunatom K_v traži se odgovarajući ventil prema karakteristikama koje daje proizvođač. Koeficijent se za konkretni regulacijski ventil određuje eksperimentalno.

Pri dimenzioniranju ventila, uz odgovarajući koeficijent protoka, potrebno je provesti i proračune za maksimalni (kritični) protok, kavitaciju, buku, za snagu aktuatora, odnos promjera cijevi i ventila te dopuštenu brzinu strujanja. Navedena jednadžba vrijedit će samo u uvjetima turbulentnog protoka kad su iznosi Reynoldsovih brojeva iznad 5000. Faktor geometrije cjevovoda (engl. *piping geometry factor*), F_p , uzima u obzir spojne elemente pričvršćene na tijelo regulacijskog ventila.

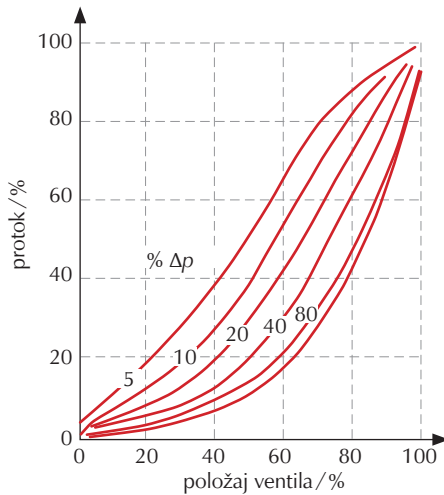
Regulacijske ventile, također, karakterizira omjer najvećeg i najmanjeg protoka kroz ventil koji se može regulirati, omjer normalnog najvećeg protoka kroz ventil i najmanjeg protoka koji se može regulirati (engl. *rangeability*) te radna karakteristika protoka. Karakteristika protoka ventila predstavlja odnos između ostvarenog protoka i otvorenosti ventila, a dijeli se na tri osnovne skupine prikazane na slici 1:

- 1) **brzootvarajući** ventili (engl. *quick-opening valves*) s padajućom osjetljivošću;
- 2) **linearni** ventili (engl. *linear valves*) s približno stalnom osjetljivošću na cijelom području protoka;
- 3) **istopostotni** ventili (engl. *equal-percentage valve*) s porastom osjetljivosti sa stalnim postotkom danog protoka.

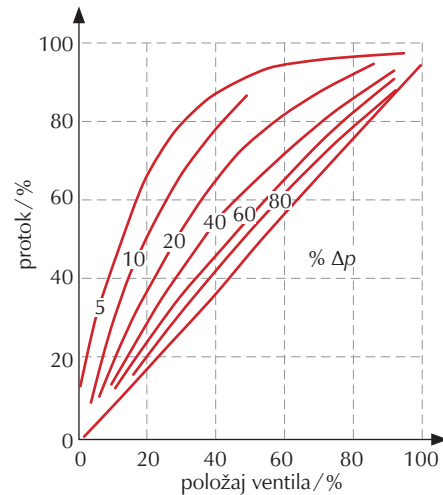


Slika 1 – Karakteristike triju osnovnih tipova regulacijskih ventila

* Prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr



Stvarna (instalirana) karakteristika istopostotnog ventila



Stvarna (instalirana) karakteristika linearnog ventila

Slika 2 – Utjecaj promjene pada dinamičkog tlaka na karakteristiku regulacijskog ventila

Pri odabiru najčešće se bira između istopostotnog i linearnog ventila. Istopostotni je obično prikladan za procese izmjene topline ili pri prijenosu tekućine kroz duge cjevovode kad se primjenjuje centrifugalna pumpa. Time se ostvaruje približno linearna ukupna karakteristika. Linearni ventili bit će, pak, prikladni kad je ukupna statička karakteristika procesa približno konstanta. Na taj način ostvarit će se stabilna regulacija pri promjeni kapaciteta i uvjeta u procesu.

Treba imati na umu da je karakteristika ventila koju daje proizvođač *inherentna*. Naime, proizvođači provode ispitivanje i karakteriziraju ventil pri kontroliranim uvjetima za razliku od onih na postrojenju. Karakteristika ventila na postrojenju naziva se *instalirana karakteristika* i predstavlja familiju krivulja, pri čemu vladanje ventila ovisi o postotku pada tlaka koji se javlja na ventilu u odnosu na ukupni dinamički pad tlaka u sustavu. Slika 2 predstavlja grafički prikaz raspodjele pada tlaka za istopostotni i linearni ventil. Vidljivo je da se karakteristika ventila može značajno promijeniti ovisno o tome koliko se dio od ukupnog pada tlaka u sustavu javlja na ventilu.

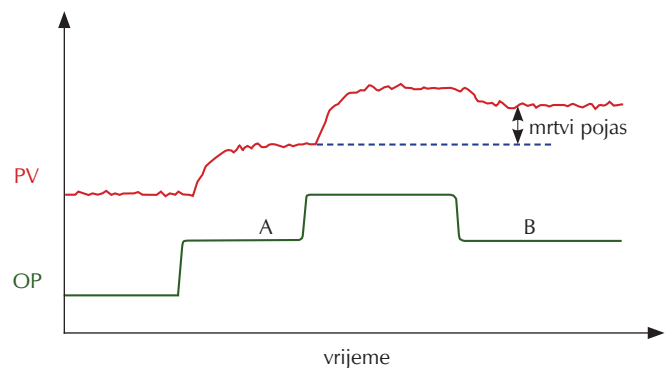
Dijagnostika problema pri radu regulacijskih ventila

Kavitacija

Kavitacija (engl. *cavitation*) je pojava isparavanja kapljevine i stvaranja mjehurića pare do koje dolazi zbog pada tlaka u cjevovodu ispod tlaka zasićenja pare. Kavitacija koja nastaje u cjevovodu i uzrokovana je naglim padom tlaka kapljevine u gibanju naziva se hidrodinamička kavitacija. Kavitacija se odvija u nekoliko faza: faza nastajanja mjehurića, faza rasta mjehurića i faza naglog raspada mjehurića. Ponovnim dolaskom mjehurića na područje visokog tlaka dolazi do njihovog raspada, što uzrokuje intenzivna naprezanja i oštećenja materijala. Pojava kavitacije može uzrokovati ozbiljna oštećenja na cijevima i regulacijskim ventilima, a uz to dolazi do gubitka energije, stvaranja buke i vibracija.

Mrtvi pojas

Mrtvi pojas (engl. *deadband*) javlja se zbog nepostojane veze (engl. *slack*) između signala koji šalje regulator (OP) (engl. *controller output*) i mehanizma samog ventila. Promjenom smjera djelovanja javlja se mrtvi pojas prije nego li se ventil počne gibati u suprotnom smjeru.



Slika 3 – Razlika odziva na područjima A i B zbog mrtvog pojasa regulacijskog ventila

Na slici 3 prikazana je promjena izlaznog signala regulatora, OP, radna točka, SP, isprekidanom linijom, te vođena veličina, PV. Područje mrtvog pojasa nastupa u trenutku kada regulator pošalje signal za promjenu smjera kretanja ventila, a ventil se još nije niti počeo gibati.

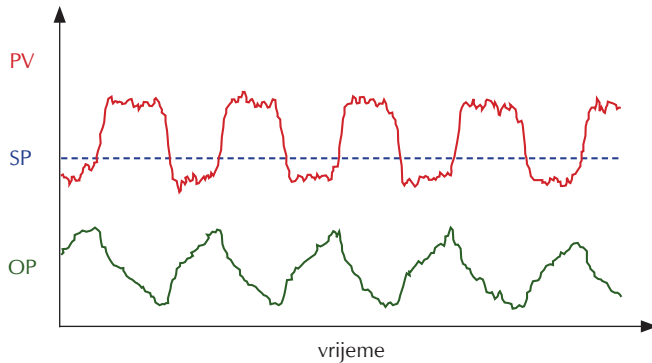
Radi se o mehaničkom problemu koji se ne može riješiti ugađanjem regulatora. Uzroci su sljedeći:

- mehaničke oscilacije ili labavost veze između osovine ventila i aktuatora,
- preveliko trenje između osovine ventila i brtve,
- preslab, odnosno poddimenzioniran aktuator,
- kvar na položajniku.

Sljepljivanje/statičko trenje

Sljepljivanje (engl. *stiction*) je čest problem kod izvršnih elemenata. Unutarnji dijelovi ventila su ljepljivi i ako osovina ventila miruje, podložna je sljepljivanju u tom položaju. Tada je potrebna dodatna sila za savladavanje statičkog trenja i pokretanje ventila. Uzroci sljepljivanja su:

- trenje između osovine ventila i brtvila,
- loše održavanje ventila,
- poddimenzionirani aktuator,
- neispravan položajnik.



Slika 4 – "Stick-slip" oscilacije uzrokovane statičkim otporom ventila

Problemi koje uzrokuje sljepljivanje je manja ponovljivost pri pozicioniranju ventila, kašnjenje od promjene izlaza iz regulatora do odziva ventila što povećava mrtvo vrijeme regulacijskog kruga, utjecaj na izračun statičke osjetljivosti procesa i veće vrijeme za djelovanje regulatora. Tipičan odziv regulacijskog kruga s ovim problemom prikazan je na slici 4. Sljepljivanja se može eliminirati detaljnim servisom ventila.

Predimenzionirani regulacijski ventil

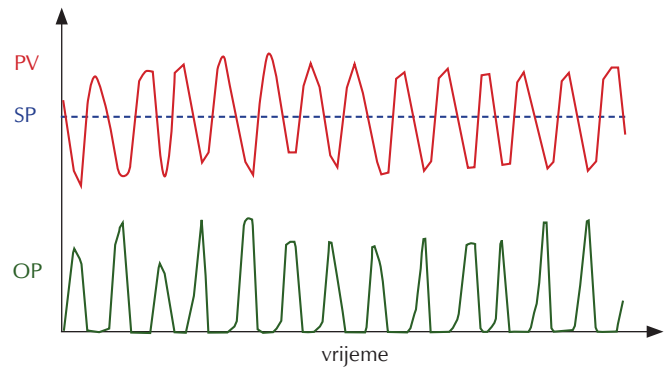
Pažljivo odabran regulacijski ventil ključan je za dobru regulaciju. Ako je ventil poddimenzioniran, neće se moći ostvariti zahtijevni protoci. Poddimenzionirani ventili uglavnom se uoče tijekom pokretanja postrojenja i vrlo se brzo moraju zamijeniti. Prema tome, na postrojenju će se vjerojatno nalaziti tek pokoji poddimenzionirani ventil.

Drugačiji je slučaj s predimenzioniranim ventilima. Velik broj postrojenja "pati" se s predimenzioniranim ventilima, a oni se rijetko zamjenjuju. Kao što smo prethodno spomenuli, dobro dimenzionirani ventil treba raditi na 70 do 80 % otvorenosti pri punom opterećenju. Unatoč tome, u većini slučajeva regulacijski ventili su predimenzionirani. Postoje postrojenja u kojim većina ventila radi na 10 do 15 % otvorenosti.

Predimenzionirani ventil uzrokuje preveliku osjetljivost procesa na pogreške prilikom pozicioniranja ventila. Već mali pomak osovine ventila može uzrokovati nestabilnosti u sustavu, a znatno predimenzionirani ventili povremeno se mogu u potpunosti zatvoriti, što djeluje pogubno na stabilnost procesa i kontinuiranost rada. Slika 5 prikazuje tipične oscilacije u radu s predimenzioniranim ventilom.

Poboljšanje rada regulacijskih ventila

Da bi se poboljšao rad regulacijskih ventila, a time i regulacije, važno je razumjeti njihovu kompleksnost. Sustav ventila čini slijed djelovanja koji su povezani, a svaki od njih može uzrokovati probleme. Praktično iskustvo nam kazuje da su ventili uzrok problema kod približno 1/3 regulacijskih krugova.



Slika 5 – Oscilacije predimenzioniranog ventila

Regulacijski ventili imaju velik utjecaj na kvalitetu regulacije, stoga je ulaganje u poboljšanje rada regulacijskih ventila itekako isplativo. Važno je napomenuti da je za dobru regulaciju potrebno imati mjerljivu promjenu protoka kao odziv na malu promjenu ulaznog signala (OP-a) iz regulatora. Ako se protok procesnog toka ne mjeri, može se mjeriti pomak osovine ili aktuatora. Mjerenje pomaka osovine ili aktuatora dat će bolju informaciju o odzivu ventila nego mjerenje protoka.

Da bi regulacijski ventil doveli do optimalnog rada, potrebno je odrediti njegove statičke i dinamičke parametre. Za analizu statičkog i dinamičkog vladanja regulacijskih ventila Međunarodno društvo za automatiku (engl. *International Society of Automation – ISA*) izdalo je normirani postupak (ISA standard AN-SI-ISA-75-25-01).

Zaključak

Regulacijski ventili izvršni su elementi kojima je potrebno posvetiti mnogo pažnje. Potrebno ih je održavati i redovito servisirati kako bi uvijek dobro obavljali svoju funkciju. Stoga preporučujemo upotrebu dijagnostičkih softvera koji su osnova za prediktivno održavanje procesne opreme. Iako su često zanemareni u analizi rada postrojenja, regulacijski ventili su uzrok problema u više od 30 % slučajeva.

Literatura

- N. Bolj, Automatsko vođenje procesa, Nastavni materijal iz predmeta "Mjerenja i vođenje procesa", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- L. Krnić, Dimenzioniranje regulacijskog ventila, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- N. Bolj, Izvršni elementi, Seminar AVP-3 – Dijagnostika i optimiranje sustava za vođenje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Laboratorij za automatiku i mjerenja, Zagreb, 2016.