

MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA



Uređuje: Nenad Bolf

Regulacijski ventili izvršni su i ključni elementi u regulacijskom krugu koji moraju osigurati dobar i stabilan rad procesa. Da bi regulacijski ventili dobro provodili svoju zadaću bitno je odabrati prikladan ventil, pri čemu treba definirati radne karakteristike shodno procesu i mediju čiji se protok regulira.

Regulacijski ventili

|| N. Bolf* i L. Tomičak

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

Ventilima se regulira protok tekućina. Primjenjuju se za potpuno ili djelomično propuštanje toka, doziranje ili miješanje. Regulacijski ventili uz pumpe, prigušnike, vibrirajuće i volumetrijske dozatore spadaju u izvršne elemente (engl. *final control element*) regulacijskog kruga. Izvršni element prima signal iz regulatora i, shodno toj informaciji, podešava otvorenost ventila. Obično se reguliraju protok, razina, tlak, temperatura i sastav.

Regulacijski ventili pojavili su se krajem XVIII. st. kada je James Watt osmislio način automatskog pomicanja osovine ventila za regulaciju protoka pare u parnom stroju. Usljedio je ventil za regulaciju tlaka kojeg je patentirao William B. Mason.

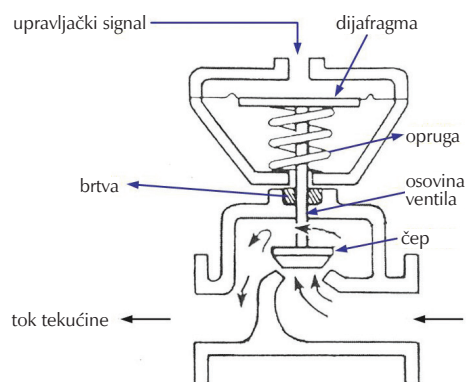
Razvojem industrije nafte i plina raste potražnja za regulacijskim ventilima, a usporedno su rasli i zahtjevi. Tražili su se veća učinkovitost, kvalitetniji materijali i veći ventili sa snažnijim aktuatorima za pomicanje zapornog elementa. Sve je to dovelo do razvoja ventila linearnih i istopostotnih karakteristika, kao i aktuatora koji su omogućili potrebnu silu za postavljanje zapornog elementa ventila na odgovarajući položaj.

Razvoj industrije i potreba za automatskim vođenjem procesa rezultirali su pojavom velikog broja manjih i velikih tvrtki koje razvijaju svoje palete proizvoda za regulaciju.

1. Vrste regulacijskih ventila

Regulacijski ventili djeluju pomicanjem zapornog elementa kojim utječu na karakteristike protoka. Jedna od najvažnijih karakteristika kod odabira i dimenzioniranja regulacijskih ventila je koeficijent protjecanja kroz ventil (K_v), a velik utjecaj kod odabira imaju i cijena ventila, trošak održavanja, potrošnja energije i kompatibilnost s tekućinom i regulacijskom opremom.

Regulacijski ventili sastoje se od tijela ventila, zapornog elementa, aktuatora koji omogućuje potrebnu snagu za postavljanje zapornog elementa u odgovarajući položaj i položajnika koji prenosi narinuti tlak na aktuator (slika 1). Ovisno o vrsti ventila i signala koji ga pokreće postoji i dodatna oprema npr. pretvornik električnog u pneumatski signal (engl. *I/P transducer*), senzori položaja (engl. *position sensors*) i sklopke (engl. *limit switches*).



Slika 1 – Regulacijski ventil s kliznom osovinom i pneumatskim aktuatorom

Odabir regulacijskog ventila ovisi o mnogo faktora i zato je nužna detaljna analiza. Ovisno o temperaturnom području, fizikalnim svojstvima tekućine (gustoća, viskoznost), načinu protjecanja, kapacitetu, tlakovima ispred i iza ventila te dopuštenom padu tlaka bira se prikladan ventil.

Shodno gibanju osovine regulacijske ventile dijelimo na:

- ventile s linearnim gibanjem osovine (engl. *linear-stem motion*) i
- ventile s rotacijskim gibanjem (engl. *rotary motion*).

Regulacijski ventili s linearnim gibanjem osovine imaju više različitih oblika tijela. Najčešći je sferni oblik (engl. *globe valve*). Ventili u kojima se zaporni element rotira nazivaju se rotacijski ventili (engl. *rotary valves*), a dijele se na:

- leptiraste ventile (engl. *butterfly valve*) i
- kuglične ventile (engl. *ball valves*).

1.1. Ventili sfernog oblika tijela

Ventili sfernog oblika tijela (engl. *globe-style bodies*) standardni su regulacijski ventili. Ime su dobili prema obliku centralnog dijela tijela ventila. Tijelo, u pravilu, ima otvor na vrhu kroz koji je instalirana osovina, a sve je pokriveno i zaštićeno poklopcem u kojem se nalazi i prostor za aktuator. Ta je grupa ventila postala standardna kod parnih turbina, pri čemu su služili za regulaciju tlaka. Razvojem industrije javljaju se novi modeli i oblici. Za veće protoke dizajnirani su ventili s dvostrukim dosjedom, za veći pad tlaka ventili kutnog oblika, dok su ventili bez oboda otporni na koroziju.

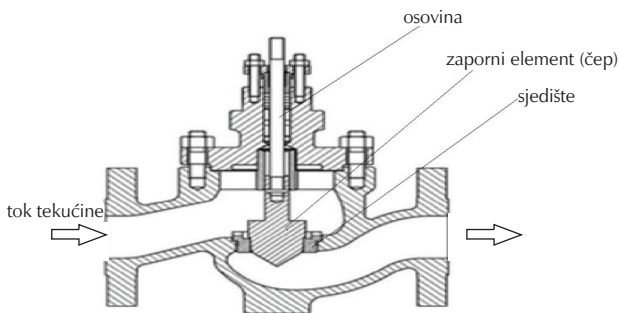
* Prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr



Slika 2 – Standardni sferni regulacijski ventil

1.2. Ventili s jednim dosjedom

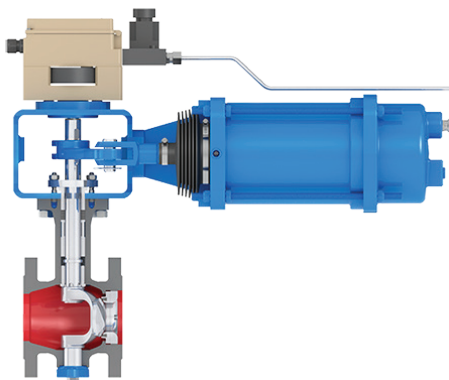
Ventili s jednim dosjedom (engl. *single-seated globe valves*) i danas su najzastupljeniji s udjelom oko 75 %. Njihova unutarnja konfiguracija razvijena je tako da bi bili univerzalno primjenjivi.



Slika 3 – Ventil s jednim dosjedom

1.3. Rotacijski ventili

Rotacijski ventili (engl. *rotary valves*) djeluju rotacijom osovine na kojoj se nalazi zaporni element. Tijela ventila su kompaktnija, lakša, jednostavne izvedbe, relativno velikih protoka i niske cijene. Rotacijski ventili bolje brtve i nasjedaju, a time smanjuju propuštanje pri potpunoj zatvorenosti ventila. Također imaju veći koeficijent protoka od ventila s linearnim gibanjem što omogućava primjenu ekonomičnijih pumpi i manjih dimenzija ventila.



Slika 4 – Presjek rotacijskog ventila

1.3.1. Leptirasti ventili

Leptirasti ventili (engl. *butterfly valves*) spadaju u jeftiniju kategoriju rotacijskih ventila. Ugradnja leptirastih ventila počinje kod

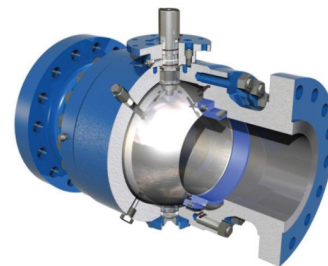
cijevi promjera 3 in pa sve do oko 96 in. Leptirasti ventili uglavnom se primjenjuju kod velikih protoka i velikih tlakova, ali imaju ograničeno područje pada tlaka. Karakterizira ih velik omjer najvećeg i najmanjeg protoka kroz ventil (engl. *rangeability*).



Slika 5 – Leptirasti regulacijski ventil

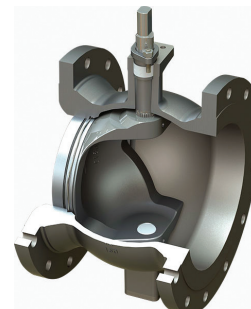
1.3.2. Kuglični ventili

Kuglični ventili (engl. *ball valves*) posebna su skupina rotacijskih ventila koji u praksi obično djeluju kao dvopoložajni ventili. U novije vrijeme kuglični ventili funkcioniraju i kao regulacijski ventili. Imaju visok omjer najvećeg i najmanjeg protoka i prikladni su za rad sa suspenzijama i talozima. Kuglični ventili imaju najveći koeficijent protoka ventila (K_V) od svih standardnih regulacijskih ventila. Također im je prednost dobro brtvljenje kod potpunog zatvaranja.



Slika 6 – Kuglični ventil

U novije vrijeme u primjeni su i kuglični regulacijski ventili sa segmentiranim, odnosno djelomičnim zapornim elementom. Položaj zapornog elementa nalazi se između gornje i donje osovine i ima jedan dosjed. Time se dobivaju uži ventili, a za zakretanje potrebna je manja sila tj. manji i slabiji aktuatori.



Slika 7 – Kuglični ventil s segmentiranim zapornim elementom

2. Dijelovi regulacijskog ventila

2.1. Aktuator

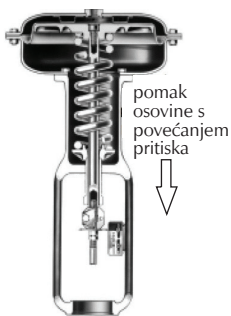
Aktuator (engl. *actuator*) je dio regulacijskog ventila koji osigurava potrebnu silu za postavljanje osovine i zapornog elementa u odgovarajući položaj. Aktuator prima signal iz regulatora i shodno tome određuje položaj osovine i zapornog elementa. Ovisno o načinu pokretanja mogu biti pneumatski, električni, hidraulički ili ručni. Potrebna sila pritiska ostvaruje se obično stlačenim zrakom, električnom strujom ili hidraulički.

Za razliku od aktuatora kod sigurnosnih ventila koji zauzimaju samo dva položaja (dvopoložajni ventili), aktuatori kod regulacijskih ventila ostvaruju pomak zapornog elementa tako da mogu poprimiti položaje između potpuno otvorenog i potpuno zatvorenog, ovisno o trenutnom signalu koji dolazi iz regulatora.

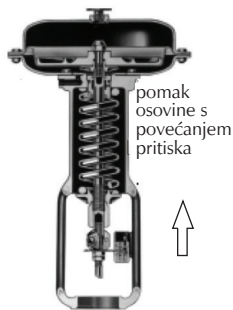
2.2. Aktuator s oprugom i dijafragmom

Aktuatori koji djeluju u kombinaciji opruge i dijafragme (engl. *spring/diaphragm*) najčešći su u praksi. Mogu biti s direktnim ili obrnutim djelovanjem. Dijafragma je izrađena od elastičnog materijala, a može biti ravna ili savijena, valjkastog oblika. Na oprugu djeluje tako da je tlači ili razvlači. Sila komprimiranog zraka kod aktuatora s direktnim djelovanjem pritišće oprugu i postavlja osovinu i zaporni element u odgovarajući položaj. Smanjenjem pritiska zraka na dijafragmu, dijafragma djeluje u suprotnom smjeru i otpušta oprugu. Kod aktuatora s obrnutim djelovanjem komprimirani zrak dolazi s donje strane dijafragme i pomiče osovinu prema gore, a smanjenjem pritiska zraka dijafragma vraća osovinu prema dolje. Aktuator s direktnim djelovanjem otvara se pri nestanku signala/pritiska, a aktuator s reverznim djelovanjem se zatvori pri nestanku signala/pritiska. To je vrlo bitno kod projektiranja i odabira ventila za siguran prekid rada.

Standardni signal koji prima pneumatski aktuator je 3 – 15 psig (engl. *pounds per square inch gauge*). To je područje od minimalnog tlaka koji je potrebno narinuti da bi se aktuator počeo pomicati do maksimalnog koji je potreban da bi aktuator dostigao svoj puni pomak.



Slika 8 – Aktuator s direktnim djelovanjem



Slika 9 – Aktuator s obrnutim djelovanjem

2.3. Klipni aktuator

Klipni aktuatori (engl. *piston actuator*) sadrže cilindar unutar kojeg klizi klip s brtvom. Klip putuje okomito i time otvara ili zatvara ventil. Prednost klipnog aktuatora u odnosu na kombinaciju opruge i dijafragme je dulji hod, veći kapacitet i veća iskoristiva površina klipa. Također, klipni aktuator podnosi rad na većim tlakovima.

2.4. Električni i elektromagnetski aktuatori

Aktuatori pokretani električnim motorom stvaraju rotacijski pokret lakše u usporedbi s komprimiranim zrakom. Kod nestabilnih



Slika 10 – Klipni aktuator

procesa u kojima konstantno dolazi do naglih promjena protoka potrebne su stalne promjene položaja osovine pri čemu elektromotori omogućavaju precizniju regulaciju.

Elektromagnetski aktuatori (engl. *solenoid actuator*) imaju pokretnu jezgru koja služi kao zaporni element. Prolaskom električne struje kroz namotaje stvara se magnetski moment između pokretnog i nepokretnog dijela. Sila kojom djeluje elektromagnet je proporcionalna narinutoj električnoj struji, pa se s jakosti struje određuje pomak pokretnog dijela ventila. Potrebna sila manja je od sile koju daju elektromotori, klipovi ili dijafragme.

Mnogo čimbenika, kao što su snaga, cijena, vrsta djelovanja, određuje koji će se aktuator primijeniti. Osim vrste gibanja (rotacijsko ili linearno), snage i djelovanja (direktno ili reverzno) bitan je izlazni moment i duljina puta djelovanja aktuatora. Te dvije veličine bitne su za dobro nasjedanje zapornog elementa, dobro brtvljenje i pružanje otpora protoku tekućine koji se regulira.

2.5. Položajnik

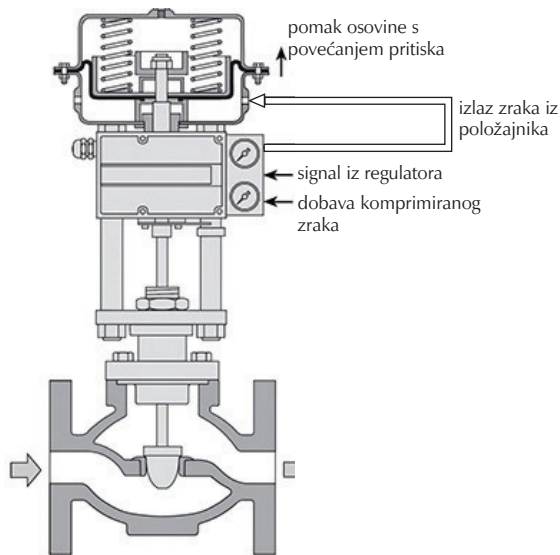
Položajnik ventila (engl. *positioner*) ubrzava djelovanja ventila. Položajnik, također, mjeri stvarni položaj osovine ventila, uspoređuje izmjereni sa željenim položajem i na temelju toga podešava pokretački tlak. Smješten je između izlaza regulatora i dijafragme ventila. Položajnik zapravo djeluje kao proporcionalni regulator te poboljšava dinamičko i statičko vladanje ventila.

Obično ima odvojenu dobavu zraka i povratni signal koji određuje točan položaj osovine ventila. Svrha položajnika je smanjiti histerezu, trenje brtvenice i zadržku ventila.

Osnovna funkcija položajnika je postavljanje osovine točno u položaj koji nalaže regulator. Položajnik nadvladava trenje i nestabilnosti sustava kao što su promjene tlaka i osigurava točno pozicioniranje u svim uvjetima. Također, položajnik djeluje kao pneumatsko pojačalo i pomaže da se ventil kreće brže do željenog položaja.

“Pametni” položajnici imaju ugrađene senzore koji mjere vibracije, temperaturu, tlak i mogu detektirati probleme regulacijskog ventila prije nego što oni stvore probleme u procesu. “Pametni” ventili (engl. *smart valves*) konstantno prate stanje ventila i informacije šalju dijagnostičkom softveru kojim se, uz pomoć stručnjaka, može ustvrditi stanje ventila i otkloniti probleme u radu.

O odabiru, proračunu, radnim karakteristikama i dijagnostici rada regulacijskih ventila bit će riječ u sljedećem broju.



Slika 11 – Regulacijski ventil s položajnikom

Je li se rasplinuo san o LNG-terminalu na Krku 2019.?

Kada je u veljači ove godine tadašnji hrvatski ministar energetike objavio kako je iz europskog fonda CEF Hrvatskoj odobreno 102 milijuna eura bespovratnih sredstava za nabavu plutajućeg terminala za ukapljeni plin (LNG) na otoku Krku, zatrubile su pobjedničke fanfare u Vladi. Uz tako veliku dotaciju europskog novca, tumačilo se, projekt je dobio ključan impuls za realizaciju i od tog trenutka nadalje njegovo je ostvarenje samo pitanje tehnike.

Prije nekoliko je dana LNG Hrvatska, tvrtka koja formalno provodi projekt, raspisala i pozivni natječaj tvrtkama koje su zainteresirane za isporuku plutajućeg postrojenja za plinifikaciju ukapljenog plina (FSRU), koje je ključni dio projekta. I taj natječaj, kao i niz drugih okolnosti koje okružuju projekt, ukazuje na to kako je dodjelom europskih milijuna posao na projektu zapravo tek počeo, da je njegova sudbina i dalje neizvjesna te da je vrlo malo šansi da će prve pošiljke ukapljenog plina stići do sjeverne obale Krka 2019. godine.

Donoseći tu odluku, Vlada se opredijelila za brže, kapitalno manje intenzivno i fleksibilnije rješenje, nasuprot većim ekonomskim učincima kroz angažman domaće graditeljske industrije, na konstrukciji kopnenog terminala. Ipak, takva odluka – razumna kad je donesena – svoj smisao gubi sporom provedbom projekta, ali i nekim uvjetima koji su Hrvatskoj postavljeni odobravanjem europskog novca. Tako je preduvjet povlačenja tih sredstava to da se ona iskoriste isključivo za kupnju FSRU-a.

Nema leasinga

Na taj je način LNG Hrvatska izgubila mogućnost da takav terminal uzme u leasing, što je jedan od uobičajenih modela razvoja sličnih projekata u svijetu. Prednost leasing modela jest u tome što, uz veće kratkoročne operativne troškove, smanjuje investicijski rizik te omogućuje inicijalnu fazu razvoja tržišta za ukapljeni plin. Svjetsko tržište plutajućih terminala za ukapljeni plin iznimno je centralizirano, a samo tri tvrtke – *Excellerate Energy*, *Golar*

Literatura

1. H. Baumann, Control Valve Primer, A User's Guide, 3rd Ed., ISA, USA, 1998.
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_governor#/media/File:Centrifugal_governor.png (pristup 7. rujna 2017.)
3. G. Borden, P. Friedmann, Practical Guides for Measurement and Control, Control Valves, ISA, USA, 1998.
4. N. Bolf, Automatsko vođenje procesa, Nastavni materijal iz predmeta "Mjerenja i vođenje procesa", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
5. L. Krnić, Dimenzioniranje regulacijskog ventila, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
6. L. Tomičak, Regulacijski ventili, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2017.

i *Höegh LNG* – vlasnik su 23 od 26 terminala koji trenutačno izrađuju u svijetu. Te tvrtke zauzimaju i većinu narudžbi u vrlo malom broju svjetskih brodogradilišta koja su sposobna sagraditi tako kompleksna plovila. Dakle, FSRU se danas gradi ili za vlastite potrebe ili za najam. Prema podacima vrlo uglednog Energetskog instituta u Oxfordu, od deset novih terminala u knjigama narudžbi svjetskih brodogradilišta do 2020. godine, pet ih već ima određenu destinaciju.

Dakle, LNG Hrvatska bi, teoretski, mogla otkupiti jedan od tih pet. No tu sada nastupa drugi problem – kapacitet. Naime, prema dostupnim podacima, četiri od pet tih još neprodanih terminala koji će biti sagrađeni do 2020. danas su standardna FSRU-plovila s tankovima za ukapljeni plin, volumena 170 tisuća kubika te s godišnjim kapacitetom uplinjavanja malo manjim od pet milijardi prostornih metara plina.

(Pre)velik kapacitet

Riječ je o golemom kapacitetu, znatno većem čak i od planiranog kapaciteta kopnenog terminala na Krku. Kako je okvirna cijena takvih terminala oko 250 milijuna dolara, za kupnju takvog broda konzorcij bi u Hrvatskoj morao za kapitalne troškove – povrh europske subvencije – izdvojiti još više od 100 milijuna eura.

No, s druge strane, kako je zbog ograničenja kapaciteta plinovodne infrastrukture – barem prvih godina rada dok se ne sagrade novi plinovodi – i izvozni kapacitet terminala ograničen na izvoz maksimalno milijardu kubika plina, ispada da bi se kupnjom tako velikog plutajućeg terminala osudili da u duljem razdoblju rade s kapacitetom manjim od 20 %.

Stoga kao najrealnija opcija ostaje mogućnost kupnje "polovnog" terminala. Ipak, kod takve transakcije postoji i ograničavajući faktor prihvatljive tehnologije, s obzirom na to da lokalna zajednica na Krku – zahvaljujući upornom djelovanju ekoloških aktivista – ne prihvaća standardno rješenje da se pri uplinjavanju LNG-a rabi morska voda.

Na koncu, takva opcija nabave postojećeg terminala vjerojatno će izazvati vrlo negativne reakcije domaće brodograđevne i elektrotehničke industrije, koja će lobirati protiv rješenja koje ih onemogućava da se angažiraju u projektu. Sve u svemu, pred odgovornima za realizaciju LNG-projekta na Krku stoji niz ozbiljnih pitanja, a nudi im se vrlo malo odgovora.