ЕНЕРГЕТСКО - ТЕХНИЧКИ
ГЛАСНИК
ОРГАН САВЕЗА ЕНЕРГЕТИЧАРА СР СРБИЈЕ

NOVI FORMAT

Izdanje

FEBRUAR 2026

SADRŽAJ

TURBINSKA, ELEKTROMAGNETNA I ULTRAZVUČNA MERILA PROTOKA 2
Opšte o merenju protoka 2
Turbinska merila protoka 2
Elektromagnetna merila protoka 3
Ultrazvučna merila protoka 4
Merenje na bazi Doplerovog efekta 5

REGULISANJE TURBOKOMPRESORA 6
Prigušivanje protoka gasa 7
Promena broja obrtaja 8
Regulisani elektropogon 9
Hidrodinamičke spojnice 9
Ostala regulisanja 9

SPREČAVANJE POJAVE KAMENCA U SISTEMIMA ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE 10
Tvrdoća vode 10
Pojava kamenca 11
Načini sprečavanja pojave kamenca u sistemima za pripremu potrošne tople vode 11
Zaključak 15

DODATNA ZAŠTITNA ARMATURA ZA OPREMU POD PRITISKOM 16
Kombinovani ventili za smanjenje natpritiska / vakuuma 16
Regulator pritiska 19
Regulacioni ventil sa pomoćnim gasom 20

PUŠTANJE U RAD ASINHRONIH MOTORA - II deo 20
Metod pokretanja pomoću rotorskog otpornika 20
Pokretanje promenom frekvencije i napona napajanja 21

Izdanje pripremili:

- *Radovan Talić : Sprečavanje pojave kamenca u sistemima PTV*
- *Slobodan Raketić : Regulisanje turbokompresora*
- *Slavko Mikić : Turbinska, elektromagnetna i ultrazvučna merila protoka*
- *Branko Matajurc : Puštanje u rad asinhronih motora*
- *Dušan Bačić : Dodatna zaštitna armatura za opremu pod pritiskom*

TURBINSKA, ELEKTROMAGNETNA I ULTRAZVUČNA MERILA PROTOKA

Opšte o merenju protoka

Merenje protoka je veoma važno u termoenergetskim postrojenjima. Posebno su značajna obračunska merenja, jer se količina isporučenih ili utrošenih gasova i tečnosti određuje na osnovu protoka.

Jedna od značajnijih osnovnih veličina koja karakteriše strujanje fluida je protok. Protok je količina fluida koja protekne kroz presek cevi u jedinici vremena (t).

U slučaju strujanja nestišljivog fluida kao količina se uzima zapremina fluida pa se tako definiše zapreminski protok:

$$q_V = V/t$$

U slučaju strujanja stišljivog fluida, kao količina fluida se uzima masa, tako da imamo maseni protok:

$$q_m = m/t$$

Obe velicine su povezane izrazom:

$$q_m = \rho \times q_V$$

gde je: q_m (*kg/s*) – maseni protok , q_V *(m³/s)*- zapreminski protok,

ρ (kg/m³) - gustina fluida.

Maseni protok q_m je nezavisan od pritiska i temperature, dok je zapreminski protok q_V jednoznačno određen tek kad su poznati podaci o pogonskom stanju fluida (pritisak i temperatura) čiji se protok meri.

Razvijen je čitav niz metoda za merenje protoka pa se prema tome obično i svrstavaju uređaji za merenje protoka:

1. merila protoka zasnovana na merenju diferencijalnog pritiska - uređaji koji mere razliku pritisaka ispred i iza suženja postavljenog u cevovod (merna prigušnica, Venturijeva cev, konusno merilo, Pitoova cev),
2. turbinska merila protoka – merno telo kontinuirano rotira pod delovanjem dinamičkih sila protoka, a brzina obrtanja je srazmerna protoku,
3. elektromagnetna merila protoka - uređaji koji mere promenu nekog električnog parametra zavisnog od protoka (zasnovana na korišćenju Faradejevog zakona elektromagnetne indukcije),
4. ultrazvučna merila protoka - mere protok na osnovu promene parametara ultrazvučnog talasa pri rasprostiranju ultrazvuka kroz fluid u cevovodu.

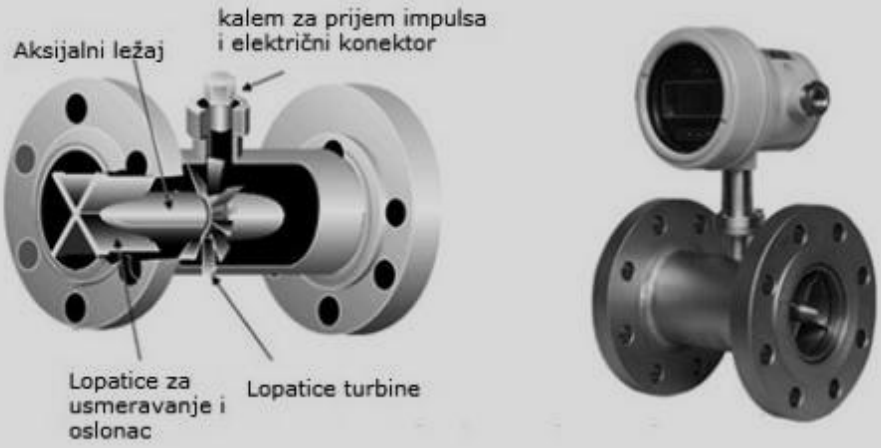
U daljem tekstu ćemo detaljnije opisati turbinska, elektromagnetna i ultrazvučna merila protoka

Turbinska merila protoka

Turbinsko merilo se sastoji od sklopa rotora sa lopaticama (turbina) koji je montiran na ležajevima i postavljen aksijalno unutar struje fluida, pomoću oslonaca (Slika 1). Kompletan sklop takođe uključuje ulazne i izlazne sekcije za umirivanje protoka. Fluid (gas ili tečnost) udara na lopatice i tako pokreće rotor.

Najjednostavniji metod merenja brzine obrtanja rotora je pomoću magneta, ugrađenog u sklop rotora, koji indukuje jedan impuls po obrtaju u električnom namotaju montiranom spolja. Broj proizvedenih impulsa po jedinici protekle zapremine naziva se K-faktor.

U idealnom slučaju, postojala bi linearna veza između izlaza merila i protoka – konstantan K-faktor. U stvarnosti, oblik krive K-faktora zavisi od viskoziteta, brzine fluida, dizajna ležaja, oštrine ivice lopatica, hrapavosti lopatica i drugo. U praksi, svi ovi uticaji imaju različite efekte na linearnost merila i stoga sva turbinska merila, čak i iz iste proizvodne serije, treba da budu pojedinačno kalibrisana.



Slika 1 - Turbinsko merilo protoka

Linearni odnos K-faktora je ograničen na opseg protoka od oko 10:1, ponekad se proteže i do 20:1.

Kod malih protoka, postoji slab odziv merila, zbog trenja ležaja i efekta viskoznosti tečnosti. Moguće je proširiti donju granicu odziva merila korišćenjem visokokvalitetnih ležajeva rotora.

Prednosti:

- pogodno za visoke pritiske (do 640 bar),
- visoka preciznost (do ± 0,2% protoka),
- koriste se za širok raspon protoka (od 4 l/min do 800 000 l/min)
- odlična ponovljivost (± 0,05%),
- širok opseg primene za temperature od -220°C do +600°C,
- merenje protoka neprovodnih tečnosti.

Nedostaci:

- merilo ima pokretni deo (rotor), podložan habanju,
- nije pogodno za prljave tečnosti i zahteva redovno održavanje i kalibraciju da bi se održala tačnost,
- nije pogodno za tečnosti visokog viskoziteta,
- viskoznost tečnosti mora biti poznata i svako merilo mora biti kalibrisano za njegovu primenu – posebno pri malim brzinama protoka,
- zahtevaju ravan deo cevi, dužine 10*D* cevi pre merila i 5*D* cevi posle merila.

Elektromagnetna merila protoka

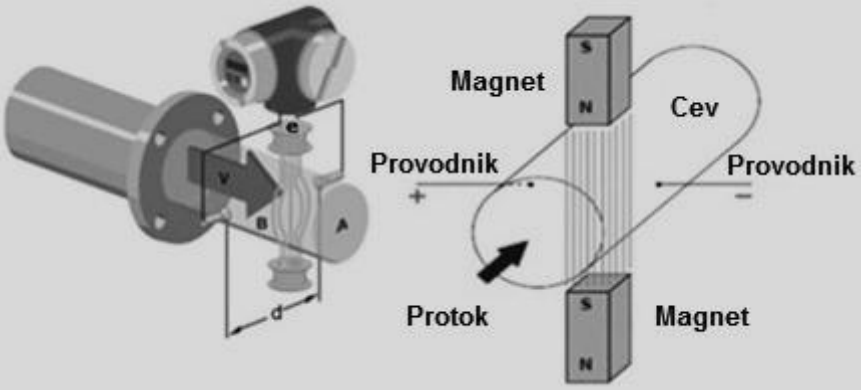
Merenje protoka provodnih fluida elektromagnetnim merilom protoka zasniva se na Faradejevom zakonu elektromagnetne indukcije.

Elektromagnetna merila protoka (Slika 2) sastoje se od dva osnovna dela: davača za stvaranje magnetnog polja u cevi i elektronskog sklopa za napajanje, pojačanje i obradu signala. U davaču se proizvodi magnetna indukcija *B* upravno na tok tečnosti i pravac elektroda postavljenih duž prečnika *d* cevi. Time se, proticanjem tečnosti kroz davač, dobija na elektrodama indukovana elektromotorna sila (*ems*) *e* proporcionalna srednjoj brzini *v* tečnosti.

$$e = d \times B \times v$$

gde je:

e - indukovana ems (V),
B - jačina magnetnog polja (Wb/m^2),
d - prečnik cevi (m),
v - brzina proticanja tečnosti (m/s).



Slika 2 - Princip rada elektromagnetnog merila protoka

Elektromagnetna merila protoka praktično mere brzinu fluida na mestu merenja. Na osnovu izmerene brzine fluida i geometrije cevovoda (unutrašnji prečnik cevovoda D koji određuje poprečni presek cevovoda S po formuli $S = \frac{D^2 \Pi}{4}$), u elektronskom delu merila protoka izračunava se protok po formuli:

$$Q = v \times S;$$

gde je:

Q (m^3/s) – protok merenog fluida,
v (m/s) – izmerena brzina fluida na mestu merenja,
S (m^2) – poprečni presek cevovoda.

Elektromagnetna merila protoka služe za merenje protoka provodnih tečnosti, minimalne električne provodnosti 5 μS/cm. Elektromagnetna merila protoka su našla primenu u velikom broju termoenergetskih postrojenja. Pravilnim izborom konstruktivnih materijala meri se protok i agresivnih i korozivnih tečnosti.

Prednosti:

- nema gubitka pritiska,
- potrebna kratka ravna sekcija cevovoda, na ulazu minimum 5D, na izlazu minimim 2D, gde je D prečnik cevovoda,
- signal je linearan (nije potrebno korenovanje signala),
- tačnost je bolja od ±0.2% u celom opsegu merenja,
- merenje je bidirekciono (merenje u oba smera),
- ne postoji ograničenje u pogledu čistoće fluida,
- mogućnost merenja pri visokim temperaturama.

Nedostaci:

- potrebna električna provodnost merene tečnosti min. 5 μS/cm,
- visoka cena uređaja,
- pun presek cevovoda mora da bude popunjen tečnošću.

Ultrazvučna merila protoka

Ultrazvuk je zvuk čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti za normalno ljudsko uvo, a koja iznosi 20 kHz. Frekvencija ultrazvuka koji se koristi kod ove vrste

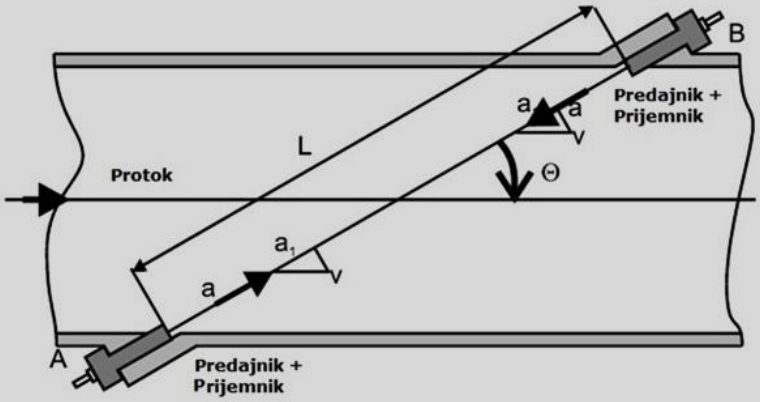
merila protoka je oko 1 MHz. Koriste se dve metode – merenje vremena preleta zvuka i merenje na bazi Doplerovog efekta.

Ultrazvučna merila protoka ne ometaju protok, mogu meriti i brzo promenljive protoke, jedino što može uticati na njihov rad je promena brzine protoka duž preseka cevi.

Merenje na bazi vremena prostiranja zvuka

Postavljena su dva para predajnik-prijemnik (Slika 3). Jedan par emituje ultrazvuk u smeru toka fluida, drugi u suprotnom smeru. Pravac emitovanja je najčešće pod uglom od 45° u odnosu na osu cevi. Metoda je diferencijalna i otklanja uticaj temperature koji se ogleda u promeni brzine prostiranja zvuka u fluidu.

Merila protoka na bazi merenja vremena prostiranja zvuka koriste par suprotstavljenih senzora za merenje vremenske razlike između zvučnog impulsa koji putuje u smeru kretanja tečnosti u odnosu na zvučni impuls koji putuje u smeru suprotnom smeru kretanja tečnosti. Pošto kretanje tečnosti teži da nosi zvučni talas, zvučni impuls koji se prenosi nizvodno kretaće se brže od zvučnog impulsa koji se prenosi uzvodno.



Slika 3 - Ultrazvučno merilo protoka na bazi merenja preleta zvuka

Jedan od mogućih problema sa merilom protoka na principu merenja vremena prostiranja zvuka je nemogućnost merenja stvarnog proseka brzina fluida u slučaju promenljive brzine protoka duž preseka cevi. Ovo je naročito izraženo ako se koristi samo jedan ultrazvučni "snop" za merenje brzine fluida.

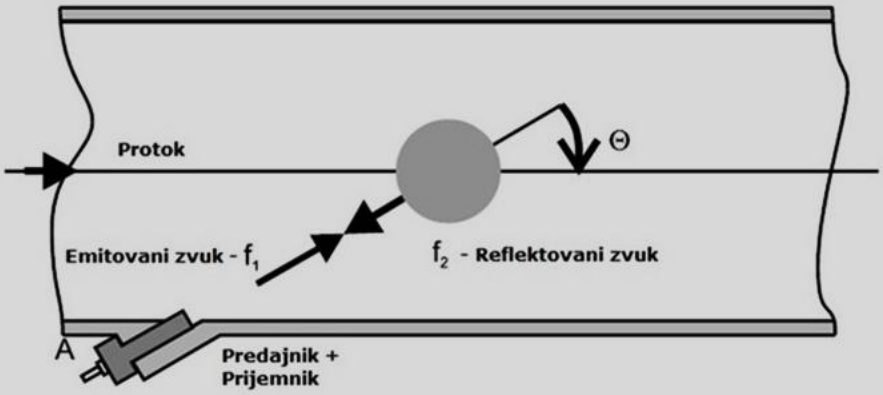
Ovaj problem se ublažava upotrebom više parova senzora koji šalju zvučne signale duž višestrukih puteva kroz fluid (ultrazvučno merilo protoka sa više staza) i izračunavanjem prosečne rezultujuće brzine prostiranja zvuka.

Merenje na bazi Doplerovog efekta

Uslov za pouzdan rad prethodno opisanog ultrazvučnog merila protoka, zasnovanog na principu merenja vremena prostiranja zvuka, jeste da procesna tečnost bude bez mehurića gasa ili čvrstih čestica, koje bi mogle raspršiti ili ometati zvučne talase. Za primenu ultrazvučnih merila protoka na bazi Doplerovog efekta važe suprotni zahtevi. Za ova merila su potrebni mehurići ili čestice koji reflektuju zvučne talase. Ovi različiti zahtevi određuju i vrstu merila koje se koristi u svakom konkretnom slučaju.

Kod merila na bazi Doplerovog efekta (Slika 4), ultrazvučni snop se prenosi dijagonalno kroz cev. Dolazi do promene frekvencije prilikom odbijanja ultrazvuka od sitnih čestica koje se nalaze u fluidu (veće od 35 μm). Delovi ultrazvučnog talasa se odbijaju od čestica različite gustine u struji fluida. Reflektovani ultrazvučni talas ima drugačiju frekvenciju. Brzina fluida je direktno proprocionalna razlici frekvencija emitovanog i primljenog signala. Uobičajeno je da se koristi samo jedan senzor, koji sadrži i predajnik i prijemnik.

Ultrazvuk se emituje kontinualno. Kod oba tipa merenja neophodno je da tečnost potpuno ispunjava cev.



Slika 4 - Ultrazvučno merilo protoka na bazi Doplerovog efekta

Neka moderna ultrazvučna merila protoka imaju mogućnost prebacivanja između merenja na bazi Doplerovog efekta i režima merenja vremena prostiranja zvuka, automatski se prilagođavajući tečnosti koja se meri.

Jedna od prednosti ultrazvučnog merenja protoka je mogućnost merenja protoka bez ugradnje u cevovod. U tom slučaju koriste se privremeni stezni senzori (eng. "*clamp-on*"), koji se montiraju spolja na cevovod. Iako privremeni stezni senzori uglavnom imaju manju tačnost, oni predstavljaju odlično rešenje za određene primene merenja protoka (npr.privremena kontrolna mobilna merenja).

Prednosti:

- ne utiče na protok i nije podložno koroziji,
- većina ultrazvučnih merila su bidirekciona (mere protok u oba smera),
- primenljivo za velike prečnike cevovoda,
- nema gubitka pritiska,
- nema pokretne delove, ima dug životni vek,
- ima brz odziv,
- sistem sa više senzora (eng. „*multi-beam systems*") koristi se za eliminaciju uticaja profila protoka.

Nedostaci:

- kod jednostavnih izvedbi sa dva senzora tačnost merenja zavisi od profila protoka,
- visoka cena uređaja,
- pun presek cevi mora da bude popunjen tečnošću.

REGULISANJE TURBOKOMPRESORA

Održavanje određene veličine na zadatoj vrednosti u radu svake mašine, čiji je rad regulisan, zadatak je regulatora rada. Kod turbokompresora pritisak i protok gasa na izduvu su veličine, koje se regulišu. Strogo uzev, radna tačka turbokompresora mora uvek da leži na karakteristici (radnoj krivi) potrošača što znači da turbokompresor radi tako da zadovoljava zahteve potrošača u uslovima promene pritiska i zahtevane količine gasa. Prema tome, ne održava se fiksirana vrednost jedne ili druge veličine već se radna tačka pomera po karakteristici (radnoj krivi) potrošača između dve radne tačke sa odgovarajućim vrednostima pritiska i protoka. Radi održavanja ravnomernog pritiska na potisnoj strani turbokompresora ugrađuje se rezervoar određene zapremine ali je zapremina tog rezervoara ograničena, usled čega nije dovoljna da

ostvari u svakom trenutku zahteve potrošača u pogledu protoka ne izazivajući promenu pritiska.

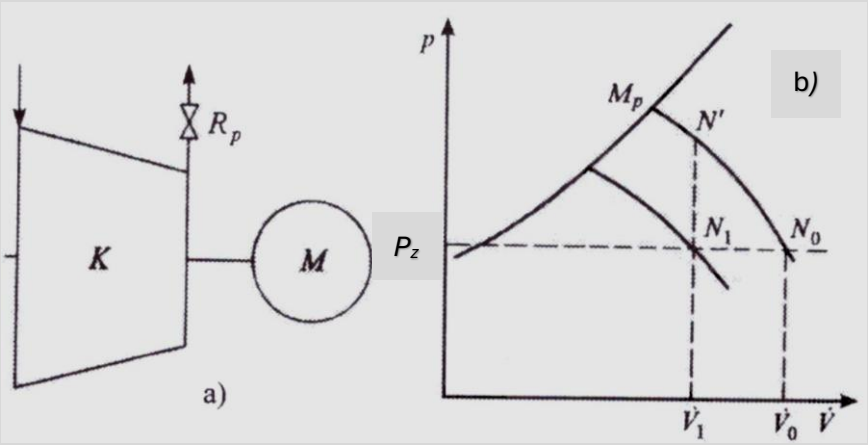
Teoretski, karakteristika potrošača odgovara konstantnom pritisku gasa ili konstantnom zapreminskom protoku gasa, koji ne zavisi od pritiska. U opštem slučaju realnog pogona, međutim, javlja se situacija u kojoj se regulacija obavlja u određenoj oblasti promene pritiska i protoka, u kojem je radna tačka određena nekim drugim, dopunskim uslovom. U svakom slučaju, regulisanje se obavlja unutar područja stabilnog rada turbo kompresora. Nestabilan rad turbokompresora, koji se opisuje kao *pumpanje*, posledica je rada u uslovima kada turbokompresor ne može da postigne i održi zahtevani pritisak jer ne održava protok gasa iznad zahtevane – kritične vrednosti.

Regulisanje rada turbokompresora ostvaruje se na jedan od sledećih načina:

- Prigušivanjem protoka gasa,
- Promenom broja obrtaja kompresora,
- Promenom ugla lopatica,
- Izduvavanjem gasa,
- Recirkulacijom gasa.

Prigušivanje protoka gasa

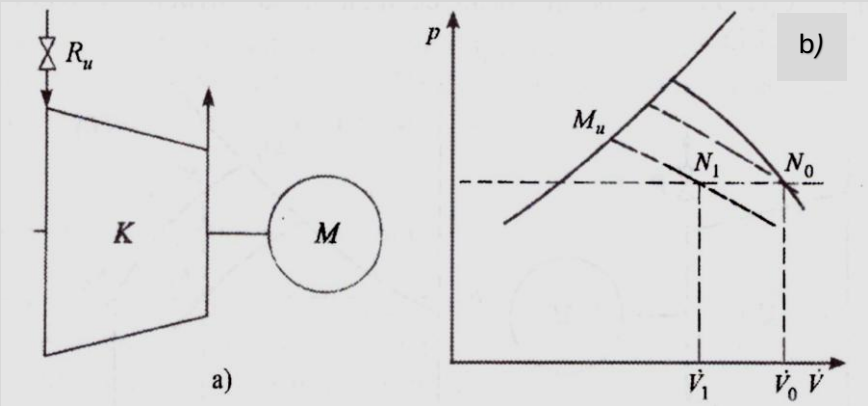
Regulisanje prigušivanjem protoka može se izvesti na potisnoj ili na usisnoj strani kompresora. Ostvaruje se pri konstantnom broju obrtaja kompresora, odnosno, pogonske mašine. Prigušivanje je nepovratan proces što izaziva gubitke u energiji, proporcionalne stepenu prigušivanja pa, samim tim, i opsegu regulisanja u odnosu na projektnu radnu tačku.



Slika 1 – Regulisanje na potisu

Prigušivanje protoka na usisu je ekonomičnije od prigušivanja na potisu jer se smanjuje rad kompresora (sabija se gas manjeg zapreminskog protoka) ali je zapreminski protok na usisu veći nego na potisu jer se na potisu prigušuje protok sabijenog gasa. Zbog toga se kao prigušni regulacioni organi na usisu koristi armatura znatno većeg prečnika, najčešće klapne ili žaluzine, dok se na potisu koriste regulacioni ventili. Međutim, u odnosu na granicu *pumpanja*, povoljnije je prigušivanje na usisnoj strani.

Kod regulisanja na potisnoj strani, regulacioni organ – prigušni ventil nalazi se na izlazu – na izduvnoj cevi kompresora, što se vidi na slici 1. Projektna radna tačka turbokompresora je N_0 i njoj odgovara zapreminski protok $\tilde{V}_0$ i izduvni zadati pritisak p_z. Ako se usled zahteva potrošača protok menja sa $\tilde{V}_0$ na $\tilde{V}_1$ uz održavanje konstantnog zadatog pritiska p_z, što znači da se radna tačka premešta iz N_0 u N_1, zatvaranjem prigušnog ventila na izduvu održava se zadati pritisak a protok se smanjuje do $\tilde{V}_1$ pri čemu pritisak p_z i protok $\tilde{V}_1$ leže na karakteristici kompresora i daju radnu tačku N_1.

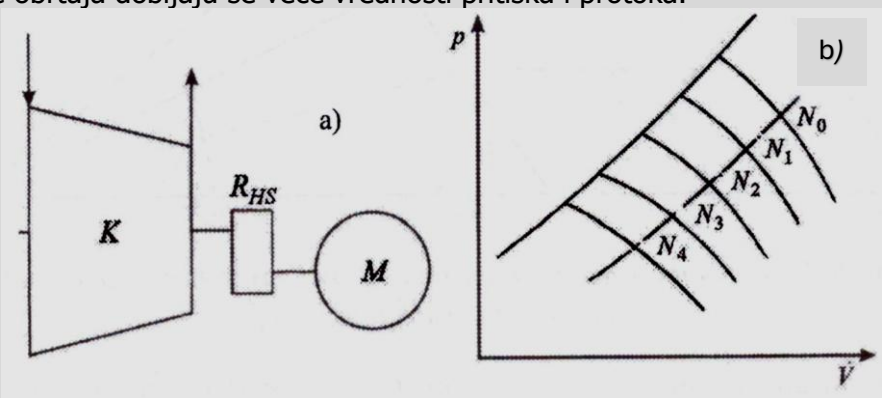


Slika 2 – Regulisanje na usisu

Kod prigušivanja na usisu prigušni, regulacioni organ se nalazi na usisu turbokompresora i promena stanja u kompresoru, prikazana na slici 2, ide po isprekidanoj liniji. Prigušivanjem se smanjuje pritisak na ulazu u kompresor sve dok ne dođe na liniju konstantnog broja obrtaja, odnosno, do protoka u radnoj tački N_1.

Promena broja obrtaja

Poznato je da se p-V karakteristika kompresora određuje za konstantan broj obrtaja kompresora, odnosno, određuje se za svaki broj obrtaja posebno. Promenom broja obrtaja kompresora menja se ta karakteristika pa se pomera i radna tačka kompresora. Uopšteno, za veće brojeve obrtaja dobijaju se veće vrednosti pritiska i protoka.



Slika 3 – Regulisanje promenom broja obrtaja

Promena broja obrtaja turbokompresora ima za posledicu promenu efekta centrifugalne sile na radni fluid, usled čega se menja pritisak p pri istom protoku $\tilde{V}$ kroz kompresor. Prema tome, promenom broja obrtaja radna tačka kompresora se pomera po karakterističnoj krivi potrošnje. Istovremeno, sa promenom protoka, pomeraju se i krive stepena korisnosti. Zbog toga, iako je ovaj vid regulisanja investiciono skuplji, pogodan je jer obezbeđuje niže pogonske troškove.

U poređenju sa regulacijom prigušivanjem kod regulacije promenom broja obrtaja kompresora nema gubitaka energije usled prigušivanja, a nema ni smanjenja stepena korisnosti kompresora. Ipak, moraju se uzeti u obzir gubici u uređajima za promenu broja obrtaja kompresora, koji zavise od vrste pogona i oblasti u kojoj kompresor radi.
Regulacija promenom brzine obrtanja danas se veoma često koristi, posebno u sistemima koji zahtevaju veliku fleksibilnost. Omogućava veoma precizno podešavanje radnih parametara kompresora.
Regulisanje promenom broja obrtaja turbokompresora može se ostvariti primenom hidrodinamičke spojnice sa elektromotorom konstantnog broja obrtaja, zatim, primenom elektromotora sa promenljivim brojem obrtaja ili primenom parne turbine kao pogonske radne

mašine. Pogon kompresora parnom turbinom, kada je takav pogon na raspolaganju pa je opravdan, jednostavan je i pogodan za regulisanje broja obrtaja kompresora jer se broj obrtaja turbine lako prilagođava potrebnom broju obrtaja kompresora, bez reduktora ili spojnice između turbine i kompresora.

Ukoliko se ne koristi pogon parnom turbinom, broj obrtaja kompresora može se regulisati primenom:

- regulisanog elektropogona,
- hidrodinamičke regulacione spojnice.

Regulisani elektropogon

Za elektropogon kompresora koriste se trofazni asinhroni motori, koji su projektovani da rade sa konstantnom brzinom obrtanja a kada je potrebno, brzina obrtanja ovih motora reguliše se frekventnim regulatorima. Ovi električni uređaji omogućavaju regulaciju brzine obrtanja elektromotora, pretvarajući mrežnu frekvenciju, koja ima fiksiranu vrednost 50 Hz, i od koje zavisi brzina obrtanja, u promenljivu veličinu pa se tako regulisani broj obrtanja naziva često i regulisanje motorima sa promenljivim brojem obrtaja.

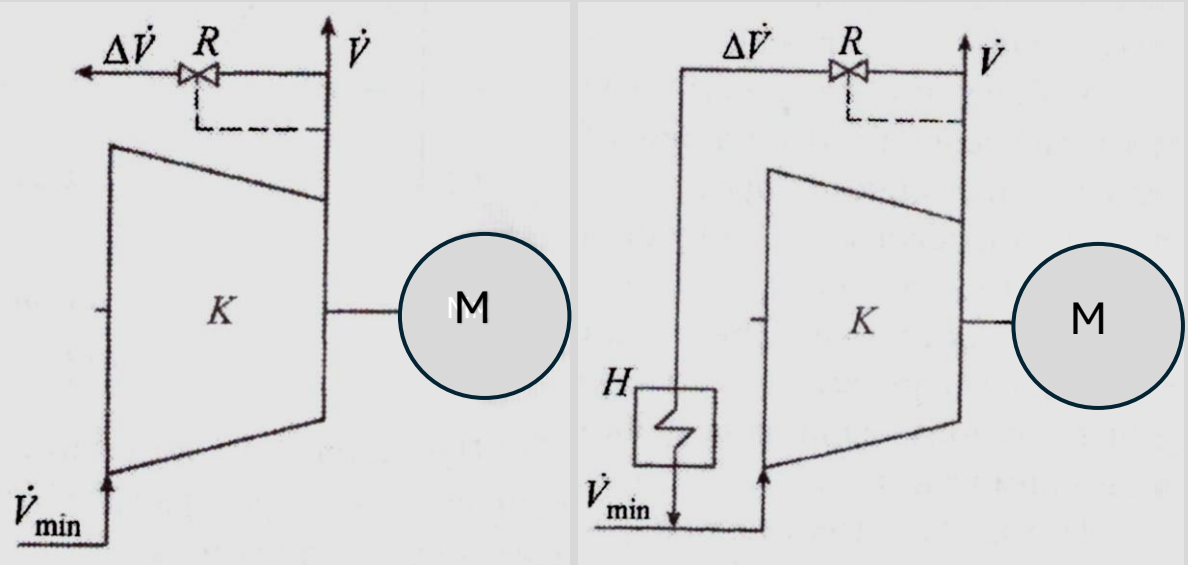
Hidrodinamičke spojnice

Najpoznatije pod komercijalnim nazivom brenda – Fojtove spojnice, hidrodinamičke regulacione spojnice još se nazivaju i turboregulacione spojnice. One povezuju pogonsku mašinu – elektromotor – sa kompresorom. Spojnica se sastoji od dva rotora, pogonskog i gonjenog, smeštenih u zajedničkom kućištu, koje je ispunjeno uljem niske viskoznosti. Koriste prenos obrtnog momenta putem strujanja fluida unutar zatvorenog kućišta. Kada pogonski rotor, povezan vratilom sa elektromotorom, počne da se okreće, centrifugalna sila pokreće ulje kroz lopatice rotora. Kretanje ulja u pogonskom rotoru prenosi se na rotor, povezan vratilom sa kompresorom koji se počinje okretati pod uticajem strujanja ulja. Na taj način se obrtni moment prenosi bez direktnog mehaničkog kontakta, što smanjuje habanje.
Ove spojnice omogućavaju meko pokretanje kompresora bez elektronske regulacije i štite od preopterećenja. Dug im je vek trajanja ali u pogledu preciznosti kontrole brzine obrtanja i energetske efikasnosti zaostaju za rešenjima sa regulisanim elektropogonima.

Ostala regulisanja

Regulisanje promenom ugla lopatica je pogodan način regulisanja rada turbokompresora kada je omogućena kontinualna promena ugla lopatica sprovodnog aparata. Kada se lopatice pokreću oko svoje ose u smeru obrtanja radnog kola, pritisak sabijanja gasa se smanjuje i obratno. Primenom pokretnih lopatica u nepokretnom kolu difuzora proširuje se oblast stabilnih režima rada što ima veoma dobre efekte na granicu *pumpanja*. Investiciono je skuplje u odnosu na regulisanje prigušivanjem ali su niži pogonski troškovi, naročito pri nižim opterećenjima u odnosu na projektovane. Regulisanje promenom ugla sprovodnog aparata utiče samo na pokretno kolo neposredno iza sprovodnog aparata ali ne na sve supnjeve kompresora. Bolji efekat se postiže kod radijalnih u odnosu na aksijalne kompresore. Kod aksijalnih turbokompresora regulisanje podešavanjem ugla lopatica nepokretnog kola moguće je primeniti, u principu, na sve supnjeve i to vrlo jednostavno jer isti mehanizam za zakretanje lopatica može da pokreće lopatice nepokretnih kola nekoliko supnjeva. Ipak, najčešće se primenjuje za prva dva-tri supnja. U pojedinim slučajevima aksijalnih kompresora moguća je primena podesivog ugla lopatica radnog kola.

Regulisanje izduvom gasa omogućava da se zadovolji karakterisika potrošnje gasa tako što se određena količina sabijenog gasa izduvava u atmosferu kroz izduvni regulacioni ventil, postavljen na potisnoj strani kompresora. Ovaj način je investiciono najjeftiniji ali ima najveće pogonske troškove i, naravno, praktično je primenljiv kada je vazduh radni fluid u srazmerno kratkom periodu.



Slika 4 – Regulisanje izduvom (levo) i recirkulacijom (desno)

Regulisanje recirkulacijom gasa primenjuje se kada je radni fluid tehnički gas i pa nije moguće izduvavanje viška gasa već se višak sabijenog gasa u odnosu na potrebe potrošača ponovo uvodi na usisnu stranu kompresora. Za recirkulaciju većih koiličina gasa ponekad je poptrebno ugraditi hladnjak gasa radi održavanja prihvatljive temperature na usisu kompresora. Kod nekih modela aksijalnih kompresora moguće je višak sabijenog gasa uvoditi u prostor između dva stupnja.

U svakom slučaju, regulisanje izduvom i recirkulacijom gasa izvodi se veoma retko.

SPREČAVANJE POJAVE KAMENCA U SISTEMIMA ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE – Nastavak II

1. TVRDOĆA VODE

Rastvorene soli kalcijuma (Ca) i Magnezijuma (Mg) u vodi čine vodu tvrdom. Ukupna tvrdoća vode (UT) čine **karbonatna tvrdoća** (KT) i **nekarbonatna tvrdoća** (NT).

Karbonatnu tvrdoću sačinjavaju karbonati i bikarbonati kalcijuma i magnezijuma ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$). Nekarbonatnu tvrdoću sačinjavaju preostale kalcijumove i magnezijumove soli: sulfati ($CaSO_4$ i $MgSO_4$), hloridi ($CaCl_2$ i $MgCl_2$), nitrati ($Ca(NO_3)_2$) i $Mg(NO_3)_2$) i silikati ($CaSiO_3$ i $MgSiO_3$);

Najčešće korišćena jedinica za merenje tvrdoće vode je nemački stepen (°d). 1 °d se definiše prema količini neke soli Ca ili Mg rastvorene u litru vode. Na primer tvrdoću vode od 10d ima litar vode u kome je rastorena količina od 10mg CaO. Pored toga se za merenje tvrdoće se koriste i francuski stepen tvrdoće (°f), engleski stepen tvrdoće (°e) i američki stepen tvrdoće (°a).

Voda se prema stepenima tvrdoće deli na:

- vrlo meku (0-4 °d)
- meku (4-8 °d)
- srednje tvrdu (8-12 °d)
- umereno tvrdu (12-18 °d)
- tvrdu (18-30 °d)
- vrlo tvrdu (preko 30 °d)

Zagrevanjem vode dolazi do raspada bikarbonata. Raspadanje bikarbonata se odvija po jednačinama:

$Ca(HCO_3)_2$ + toplota = $CaCO_3$ +CO_2+H_2O

$Mg(HCO_3)_2$ + toplota = $MgCO_3$ +CO_2+H_2O

Daljim zagrevanjem vode karbonati Ca i Mg se intenzivno izdvajaju iz vode i talože na zidove cevi i zagrevne površine razmenjivača toplote u vidu kamenca. Izdvajanje kamenca počinje već na temperaturi od ≈40 °C i sa porastom temeprature intenzitet izdvajanja se naglo povećava.

Voda iz vodovoda u Beogradu ima tvrdoću od 12 do 17 ^{0}d. Pri tvrdoći od 14 ^{0}d izmerena vrednost karbonatne tvrdoće je 12 °d, a nekarbonatne tvrdoće 2 °d.

2. POJAVA KAMENCA

Postojanje taloga u kotlovima i toplotnim aparatima posledica je najčešće prisustva rastvorenih soli kalcijuma i magnezijuma u vodi. Nastali talozi mogu se razvrstati u dve grupe:

- kristalni talog, koji se javlja uglavnom na zagrevnim površinama pod imenom kamenac
- nepostojan rastresit talog koji se obično naziva mulj

Kamenac nastaje složenim fizičko-hemijskim procesom, koji se uglavnom sastoji u izdvajanju (kristalizaciji) rastvorenih soli iz rastvora u čvrstom stanju. Prema učešću pojedinih soli, kamenac može biti:

- karbonatni, sa više od 90% CaCO3,
- sulfatni, sa više od 90% CaSO4,
- silikatni, sa više od 39% CaSiO3 i dr

3. NAČINI SPREČAVANJA POJAVE KAMENCA U SISTEMIMA ZA PRIPREMU POTROŠNE TOPLE VODE

Priprema potrošne tople vode (PTV) u toplotnim podstanicama (PS) daljinskog sistema grejanja JKP „Beogradske elektrane“ se ostvaruje jednostepenim razmenjivačem toplote za direktnu razmenu. Predhodni princip zasnivao se na dvostepenom sistemu sa predgrejačem na povratnoj grani bez regulacije i dogrejačem na razvodnoj grani sa regulacionim ventilom koji reguliše temperaturu. Kod dvostepenog sistema pripreme PTV je bio povećan rizik dobijanja visokih temperatura potrošne tople vode unutar predgrejača (iznad 60 °C) čime se povećavao rizik stvaranja kamenca unutar izmenjivača. PTV potom biva skladištena u rezervoaru i kruži između rezervoara i izmenjivača toplote do upotrebe. Takođe, primetno je odsustvo trokrakog regulacionog ventila radi mešanja pregrejane vode i svođenja na željenu temperaturu.

U sistemima za pripremu PTV kamenac se taloži na unutrašnjoj strani cevovoda, površinama razmenjivača toplote za PTV i na drugim delovima sistema, pri tome uzrokujući:

- smanjenje prolaza toplote (ima za posledicu povećanje potrošnje goriva, povišenje temperature metala zagrevnih površina, smanjenje čvrstoće čelika);
- ometanje pravilne cirkulacije vode usled smanjenja poprečnog preseka;
- koroziju;
- smanjenje pogonske bezbednosti;
- povećanje troškova održavanja zbog zamene delova cevovoda, razmenjivača toplote za PTV i drugih delova sistema za PTV
- smanjenje stepena korisnosti i veka trajanja opreme.

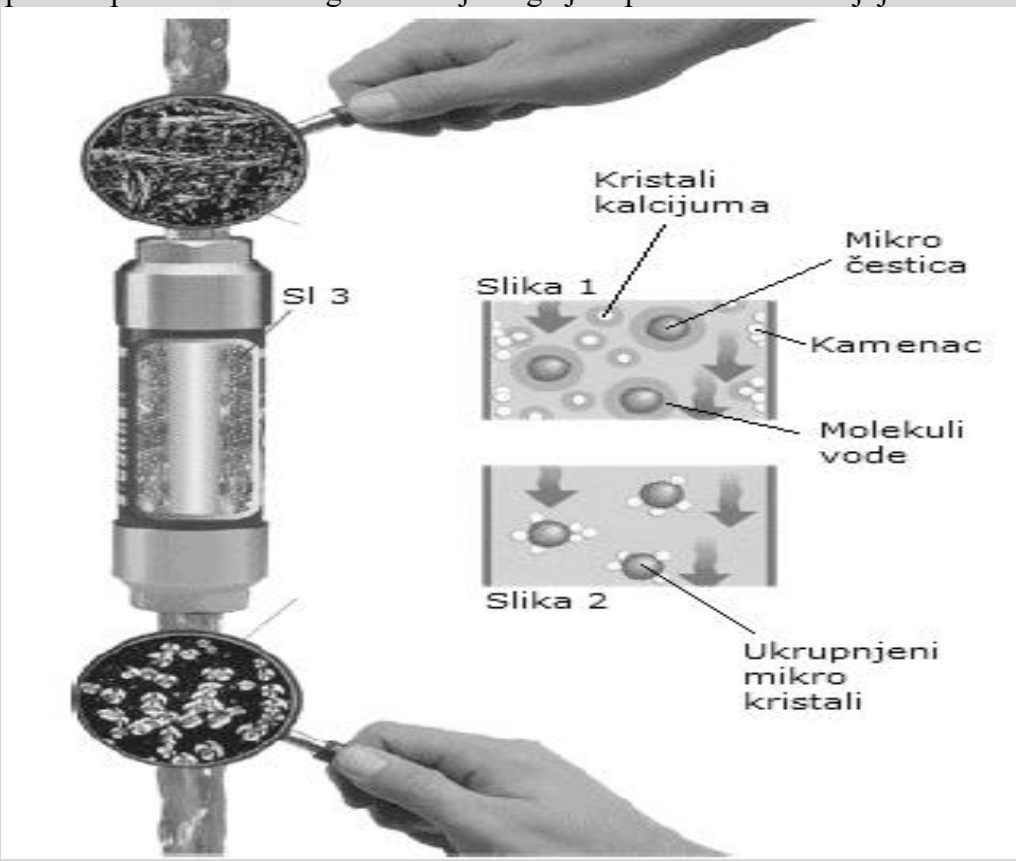
Za tretman PTV u sistemima za pripremu PTV su korišćeni **magnetni tretmani** i **galvanizatori**, koji ne umanjuju tvrdoću vode na taj način smanjujući mogućnost pojave kamenca, već složenim hemijskim reakcijama sprečava pojavu kamenca.

3.1 MAGNETNI TRETMAN VODE

U sistemima za pripremu PTV-a od 2004. godine je intenzivno primenjivan magnetni tretman PTV umesto nekada korišćenog sistema sa hemijskom pripremom PTV. Novi princip je u prednosti nad starim zbog:

- jednostavnijeg rukovanja i održavanja (potrebno je povremeno skinuti hvatač nečistoća i očistiti ga)
- velike prednosti sa aspekta ekologije (nema potrošnje hemikalija za tretman PTV)
- znatno jeftinijeg rešenja

postane porozan usled čega se odvaja sa grejnih površina i odstranjuje iz vode.



Slika 1. Princip rada stalnog magneta

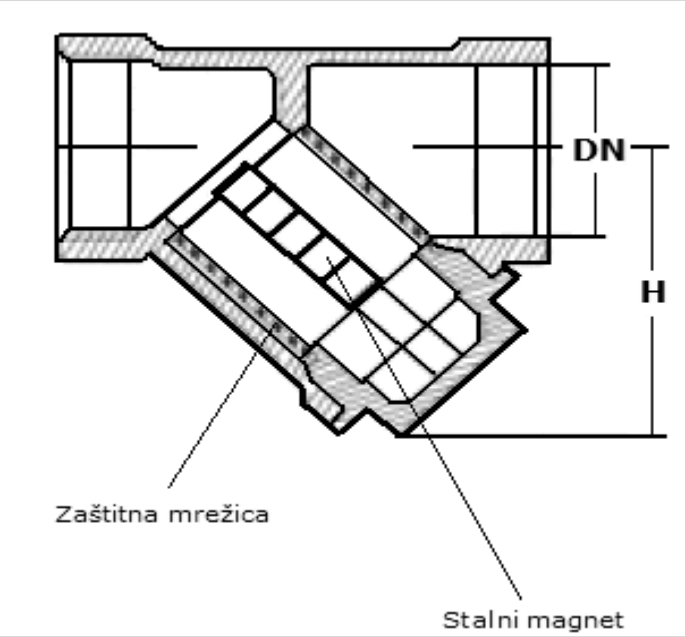
Princip rada uređaja za magnetni tretman PTV je sledeći: kada voda protiče kroz magnetno polje molekuli vode počnu da osciluju pod dejstvom Lorencove sile. Ove oscilacije dovode do odvajanja molekula vode od mikro čestica tako da oslobođene mikro čestice sada privlače

kristale kalcijuma koji se skupljaju na njima. Time se sprečava taloženje kristala Ca na zidove cevi i grejne površine razmenjivača. Ovakav način pripreme vode ne smanjuje tvrdoću vode već sprečava izdvajanje $CaCO_3$ i $MgCO_3$ u vidu kamenca. Delovanje privlačnih sila između mikro čestica i kristala Ca nije vremenski dugotrajno. Zbog toga voda u cirkulaciji mora stalno da prolazi kroz magnetni filter. Ukrupnjene mikro čestice takođe pomažu da postojeći depozit

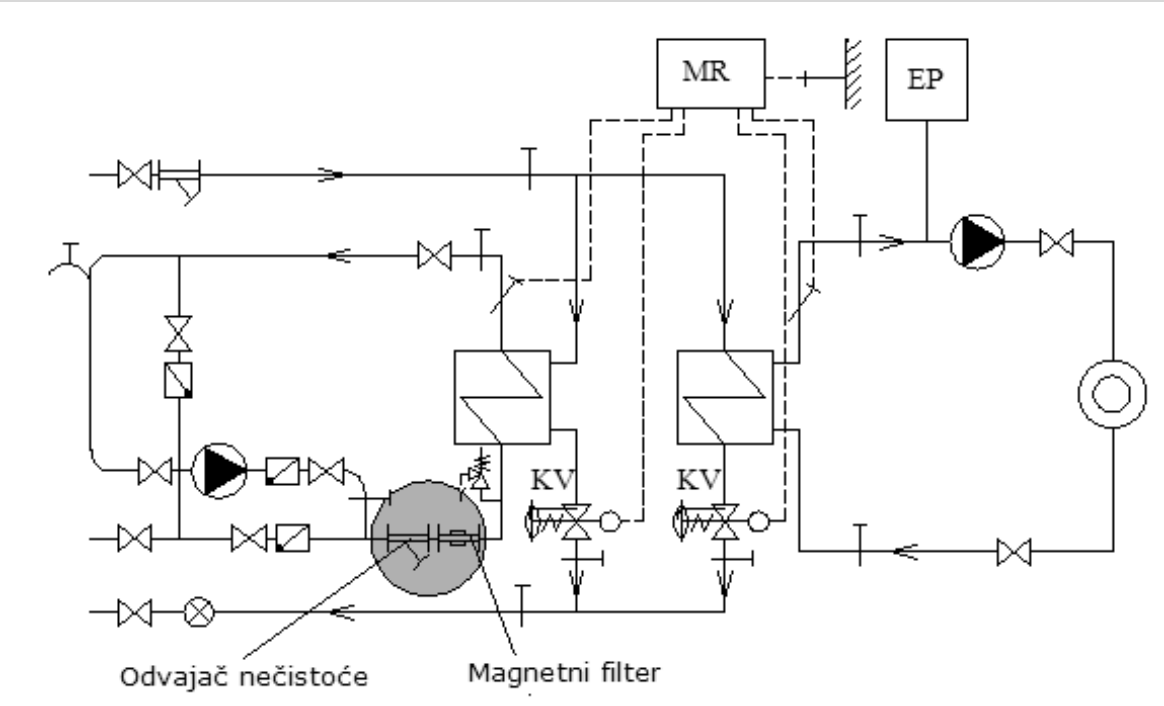
Iskustvo je pokazalo da je magnetni tretman PTV veoma efikasan ukoliko stalni magnet zadrži svoja svojstva. Tokom eksploatacije su najbolji rezultati postignuti korišćenjem magnetnih tretmana proizvođača „**Aqua Unique**"- Danska, koji se mogu koristiti minimum 10 godina, koliko i traje garancija na funkcionalnost magneta.

Slika 2. Uređaji za magnetni tretman bez prirubnice i sa prirubnicom

Magnetni tretman PTV se ugrađuje na zajedničkoj povratnoj grani PTV na sekundarnoj strani ispred razmenjivača za PTV. Ispred magnetnog filtera se postavlja odvajač nečistoće sa zaštitnom mrežicom i uložkom od stalnog magneta. Osnovna funkcija mu je da zaštiti magnetni filter od metalnih opiljaka i oksida gvožđa koji smanjuju efekasnost magneta slabljenjem jačine njegovog magnetnog polja.



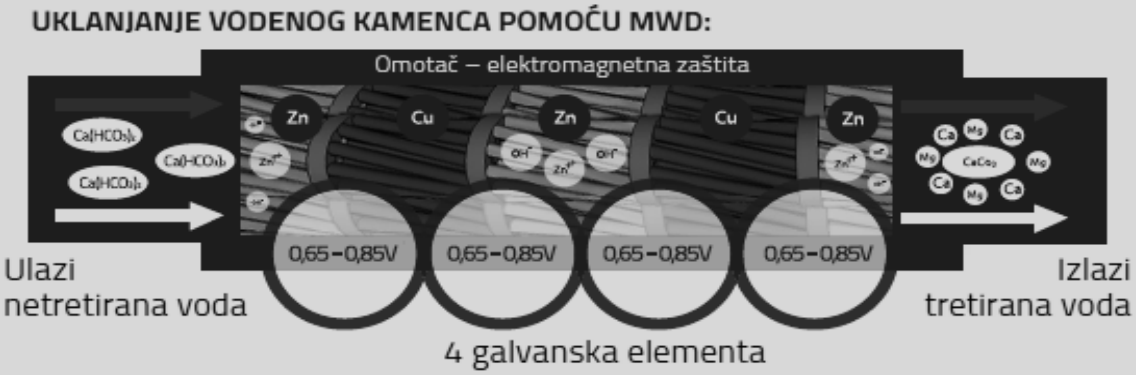
Slika 3. Odvajač nečistoće sa zaštitnom mrežicom



Slika 4. Ugradnja magnetnog filtera u sistem za pripremu PTV u okviru toplotne podstanice

3.2 TRETMAN VODE POSTUPKOM GALVANIZACIJE

Uredjaj za tretman vode postupkom galvanizacije funkcioniše na elektrohemijskom principu-protokom vode kroz uredjaj nastaje razlika potencijala u vodi od 0,7-1 V. Titan-cink anoda oslobadja slobodne jone cinka. Rastvoreni kalcijum ($Ca+_2$), koji je glavni uzrok taloženja vodenog kamenca u cevima i na razmenjivačima toplote, u vodi se nalazi kao kalcijum bikarbonat $Ca(HCO_3)_2$. Pod uticajem protoka vode i promene temperature vode kalcijum bikarbonat se razlaže na ugljen-dioksid CO_2 i kaclijum-karbonat $CaCO_3$ (kalcit). Oslobodjeni ugljen-dioksid CO2 se vezuje za katjone cinka stvarajući tako smitsonit $ZnCO_3$. Od kalcita $CaCO_3$ koji se kristalizuje u triklinskom kristalnom sistemu nastaje aragonit CaCO3 koji se kristalizuje u rombičnom sistemu. Aragonit spiranjem nestaje iz sistema za pripremu PTV.



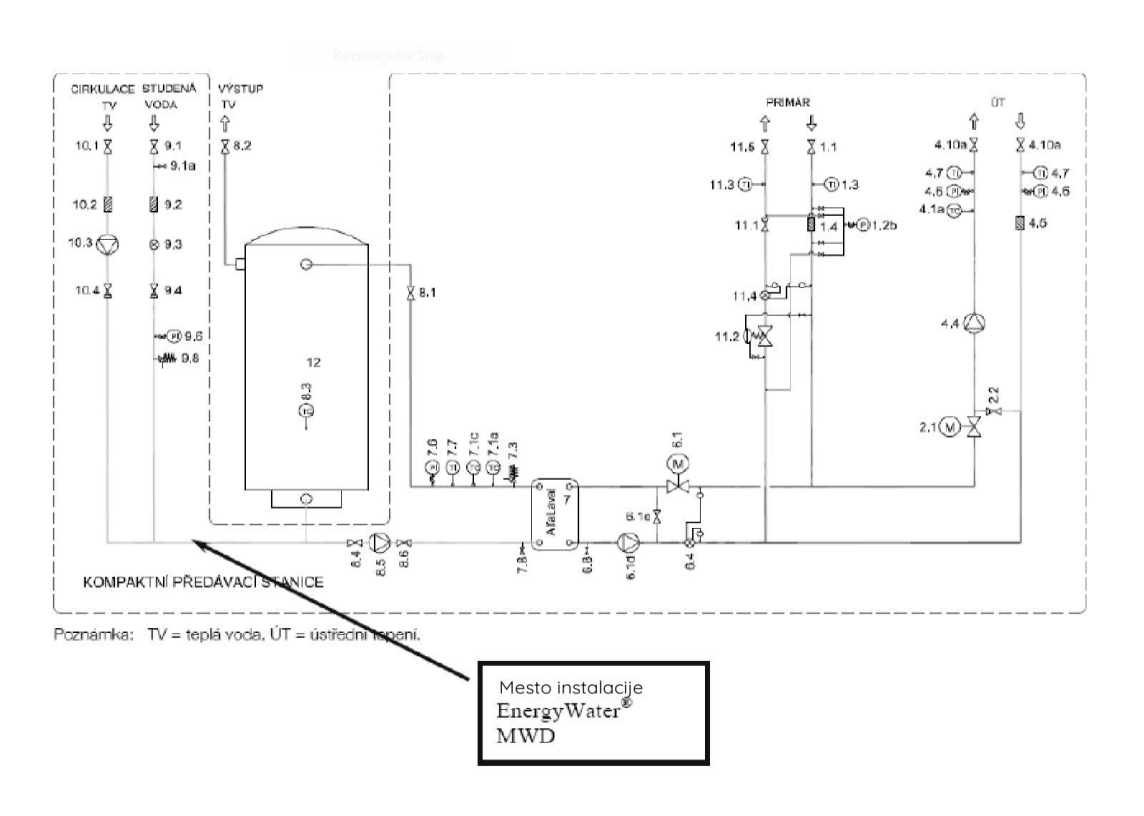
Slika 5. Princip funkcionisanja galvanizatora

Aragonit koji dalje otiče kroz cevovod ponaša se kao neka vrsta šmirgle i struže već postojeće naslage vodenog kamenca sa cevi. Slobodni anijoni cinka teže vezivanju za nataložene katjone kalcijuma vršeći tako spiranje i izbacivanje nataloženog kalcijuma i jedinjenja kalcijuma iz sistema. Još jedan pozitivan efekat predstavlja neka vrsta površinske obrade oksidiranih slojeva metala putem redukcionih reakcija cinka. Slojevi nataloženog kamenca i rdje stalno erodiraju

u mikroskopskim količinama i u obliku rastvora se izbacuju iz sistema. Kada se otklone naslage vodenog kamenca, na površini cevi dolazi do postepenog formiranja zaštitnog antikorozivnog sloja – magnetita, čime se sprečava dalje širenje korozije.

U sistemima za pripremu PTV su korišćeni uređaji za tretman vode postupkom galvanizacije proizvođača "**Energy water**"- Slovačka, tipa **MWD**, koji su pokazali veoma dobre rezultate u ekspoataciji (efiukasnost i postojanost, tj. ne gube svojstva sa vremenom). Ovi uređaji mogu da se koriste i u sistemima pijaće vode, za šta imaju neophodne ateste.

Slika 6. Uređaji za tretman vode postupkom galvanizacije (galvanizator)



Slika 7. Ugradnja galvanizatora u sistem za pripremu PTV u okviru toplotne podstanice

4. ZAKLJUČAK

Prednosti korišćenja magnetnog tretmana vode i galvanizatora u odnosu na druge načine tretmana vode, a pre svega tretmana vode hemijskim sredstvima su:

- sprečava se taloženje vodenog kamenca i pojava korozije

- produžava se vek trajanja sistema za pripremu PTV, pre svega razmenjivača toplote za PTV
- smanjuje se taloženje gvoždja i mangana
- jednokratna investicija - jedanput u 10 godina
- energetski nezavisni uredjaji
- nestaju troškovi hemijskog čišćenja sistema
- troškovi zamene zagušenih cevi svode se na minimum
- jednostavna montaža uređaja u sistem za pripremu PTV
- ovako tretirana voda ne zagadjuje životnu sredinu

LITERATURA

Knjiga

[1] ***, The district heating substation, Part2, Swedish Heating Association, 1999.

[2] Radovan Talić, „Iskustva stečena tokom ugradnje predfabrikovanih toplotnih podstanica na grejnom području TO Zemun, po sistemu ključ u ruke“, KGH 2004., Procesing, 2007.

[3] Vladimir Radulović „Magnetni filter“, JKP „Beogradske elektrane“, 2009.

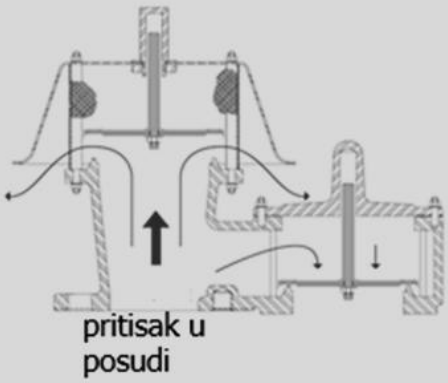
[4] Katalog firme „Aqua Unique“- Danska za magnetni tretman vode

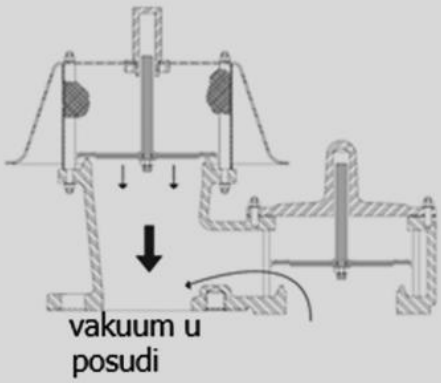
[5] Katalog firme „Energy water“- Slovačka za za tretman vode postupkom galvanizacije

---

DODATNA ZAŠTITNA ARMATURA ZA OPREMU POD PRITISKOM

Kombinovani ventili za smanjenje natpritiska / vakuuma





Ventili za rasterećenje pritiska / vakuuma, koriste se tokom normalnog rada kako bi se u rezervoarima za skladištenje moglo da se kompenzuju povećanje pritiska kada se rezervoar puni, kao i stanje vakuuma kada se rezervoar prazni.

Funkcija rasterećenja pritiska i vakuuma je slična onoj kod ventilacionog otvora, pružajući veći nivo kapaciteta ventilacije pogodan za neke rezervoare za skladištenje. Ventili za rasterećenje pritiska / vakuuma sa visokim kapacitetom protoka takođe mogu omogućiti povezivanje više rezervoara u zajedničku ventilacionu liniju i centralni kolektor.

Opseg rada: za pritisak do 1034 mbar, za vakuum do -480 mbar.

Primena: kod rezervoara sa naftnim derivatima, expanzionim sudovima u toplanama i kod svih rezervoara kod kojih može doći do nedozvoljenog porasta pritiska ili do pojave vakuuma.

Rasprsni disk

Rasprsni disk je sigurnosni uređaj koji ima jednokratnu upotrebu. Štiti opremu od prekoračenja dozvoljenog pritiska, pucanjem na unapred određenom pritisku kako bi se oslobodio višak pritiska. To je žrtvena komponenta koja se mora zameniti nakon pucanja. Može se aktivirati i zbog zamora metala ili puzanja. Zamena se vrši putem rutinske preventivne procedure održavanja kako bi se izbegao kvar usled zamora ili puzanja koji uzrokuje neželjeno isključivanje. Ključni aspekti uključuju jednostavan, pouzdan rad, brzo vreme aktiviranja.

Potrebno je pravilno dimenzionisanje i instalacija. Često se koriste materijali poput nerđajućeg čelika, inkonela ili hasteloja.

Zaštitni disk štiti sisteme u širokom opsegu pritiska, od niskog vakuuma (0,07 bar_g) do ekstremno visokih pritisaka (5500 bar_g), u zavisnosti od tipa (metal, grafit, kompozit) i primene. Njihov ključ je opseg pritiska pucanja i radni odnos: podešene su da puknu na određenom pritisku, ali moraju bezbedno da rade ispod toga, obično na 70-90 %, omogućavajući proizvodne tolerancije (±3-6 %) i osiguravajući da ne otkažu prerano.

Rasprsni disk		**Ventil sigurnosti**	
prednosti	**mane**	**prednosti**	**mane**
Manja početna investicija	Samo za jednokratnu upotrebu	Dizajn za višekratnu upotrebu	Veća početna investicija
Manji, kompaktniji uređaj	Proces se zaustavlja dok se ne instalira zamena	Dizajniran za ublažavanje viška pritiska, po normalizaciji pritiska vraćanje u rad	Potreban veći prostor za instalaciju
Pogodan za retke, iznenadne događaje	Procesni fluid je izložen atmosferi	Procesni fluid ne mora biti izložen atmosferi	
Nema održavanja	Nije idealan kada je zastoj opreme zabrinjavajući	Minimizira oštećenja drugih komponenti sistema	Redovno održavanje i periodična provera pritiska otvaranja

Prestrujni ventil

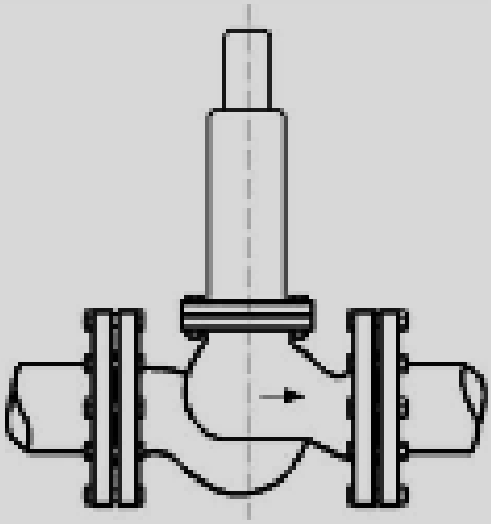
Prestrujni ventil radi tako što koristi podesivu oprugu da drži ventil zatvorenim, održavajući podešeni pritisak uzvodno (ulaz). Kada pritisak fluida pređe podešenu silu opruge, ona gura dijafragmu, koja podiže sedište ventila, otvarajući ventil da bi ispustio višak fluida i smanjio pritisak dok se ne postigne ravnoteža, a zatim se ponovo zatvara da bi održao konstantan uzvodni pritisak.

Prestrujni ventil održava konstantan pritisak u smeru uzvodno od strujanja fluida, dok regulator pritiska održava pritisak nizvodno u smeru toka fluida.

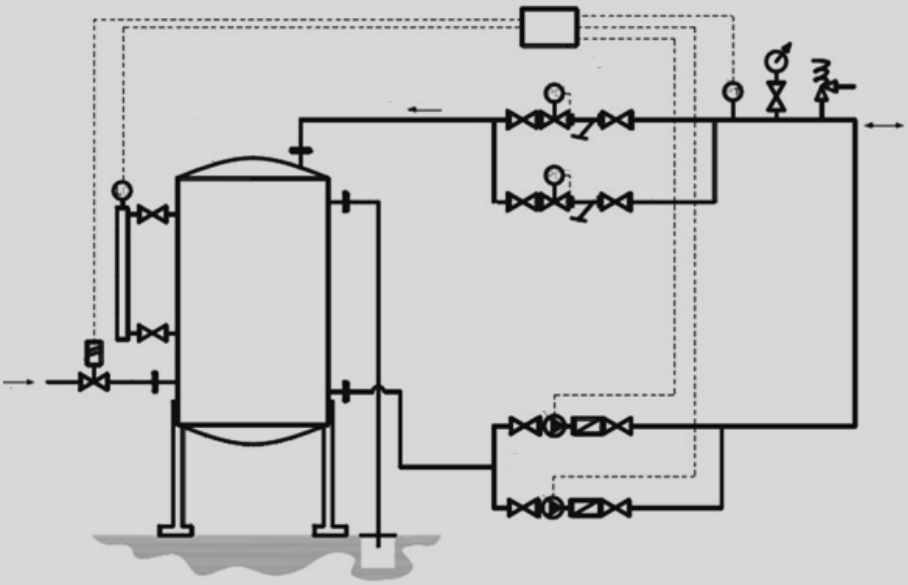
Ventil direktnog dejstva:

Prestrujni ventil se primenjuje u vodovima i postrojenjima pod pritiskom, radi sprečavanja povećanja pritiska protočnog fluida, odnosno pri porastu pritiska otvara vezu ka povratnom

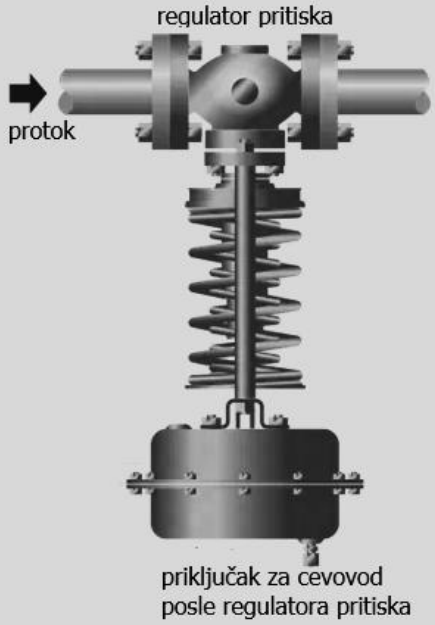
vodu ili posudi. Prestrujni ventil se ugrađuje u horizontalnom cevovodu sa pogonskim delom okrenutim vertikalno naviše.
Ispred ventila se obavezno ugrađuje manometar za praćenje vrednosti zadatog pritiska. Iza ventila je preporučljivo ugraditi prigusnu slavinu istog nazivnog otvora kao sto je i ventil ili nepovratni ventil (ukoliko postoji mogućnost povratka fluida usled hidrostatičkog pritiska na impulsni deo). Prestrujni ventil je proporcionalni (P) - regulator bez pomoćne energije. Reguliše pritisak u zadatom opsegu. Sastoji se od regulacionog dela i impulsnog (pogonskog) dela.
Pritisak fluida se prenosi sa ulaznog dela ventila na pečurku. Pri porastu pritiska ispred ventila preko zadate vrednosti, ventil se otvara. Kad je pritisak niži od zadatog, ventil je zatvoren.
Vrednost zadatog pritiska reguliše se preko podešavajućeg zavrtnja i opruge, a kontroliše se preko manometra ugrađenog ispred ventila.
Povećanje pritiska se postiže pritezanjem opruge, a sniženje otpuštanjem opruge (odvrtanjem zavrtnja).



Na slici je prestrujni ventil direktnog dejstva namenjen je za regulaciju pritiska vode ispred ventila.
Konstrukciono je rešen kao prestrujni ventil sa m.
Svi unutrašnji delovi su izrađeni od nerđajućeg materijala.
Kućište ventila može biti od sivog liva, nodularnog liva i čeličnog liva u zavisnosti od zahteva kupca.
Primenu nalazi u instalacijama gde treba održavati konstantan pritisak fluida ispred sebe u odnosu na tok strujanja.
Primenu nalazi u kotlarnicama za zagrevanje tople i vrele vode u sistemu za održavanje pritiska (tzv. „diktir sistem").
Na donjoj slici, dat je primer ugradnje prestrujnog ventila direktnog dejstva u toplani (kotlarnici) za održavanje konstantnog pritiska (diktir sistem) u sistemu daljinskog grejanja. Paralelno sa prestrujnim ventilom instaliran je i siguronosni ventil.
Raspon pritiska prestrujnog ventila varira u zavisnosti od modela, od veoma niskog (milibara za gasne sisteme) do izuzetno visokog (za industrijsku upotrebu). Opsezi mogu biti unapred podešeni ili podesivi na terenu, često počevši od 0,1 bara do 690 bara).



Regulator pritiska

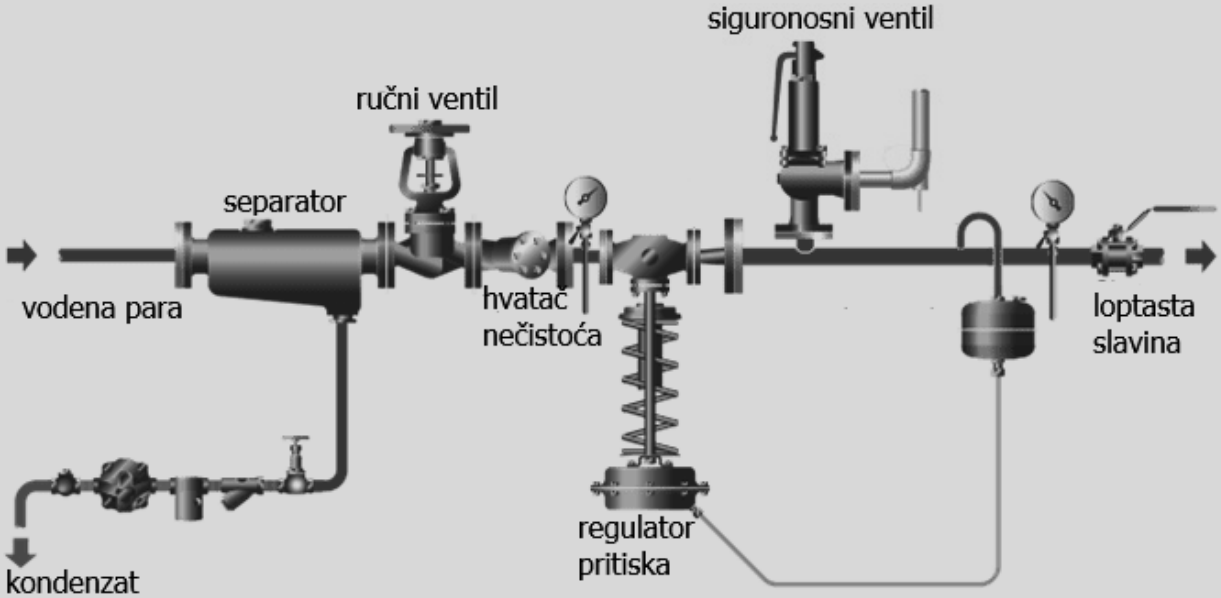


U primeni su dva tipa:

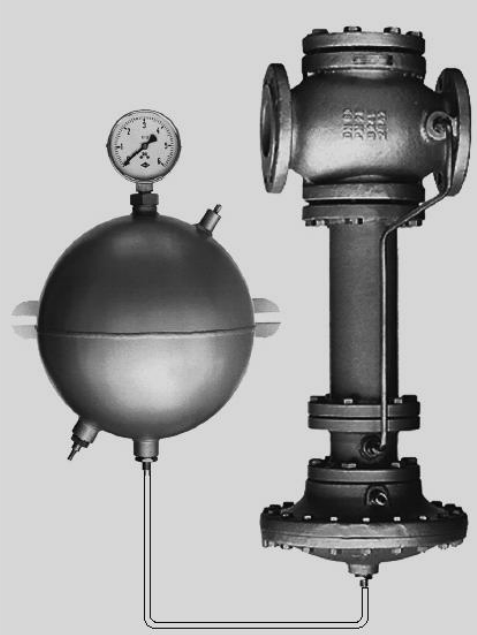
- ventili sa direktnim dejstvom regulacije pritiska
- regulacioni ventil sa pomoćnim gasom

Na slici je prikazan ventili sa direktnim dejstvom regulacije pritiska nizvodno od ventila koji se uravnotežava podešenom oprugom i pritiskom iz inpulsnog voda koji je vezan sa dijafragnom. Način rada: Pri pokretanju i sa opuštenom oprugom za podešavanje, uzvodni pritisak, uz pomoć povratne opruge, drži glavu ventila uz sedište u zatvorenom položaju. Okretanje ručice u smeru kazaljke na satu izaziva kretanje nadole, što komprimuje kontrolnu oprugu i isteže membranu kako bi se podesio nizvodni pritisak. Ovo kretanje nadole se prenosi preko potisne šipke, što dovodi do otvaranja ventila. Para zatim prolazi kroz otvoreni ventil u nizvodni cevovod. Kako se nizvodni pritisak povećava, deluje na dijafragmu kako bi se suprotstavila sili opruge za podešavanje i zatvara ventil kada se dostigne podešeni pritisak. Koristi se u procesnoj industriji, energetici, farmacicji itd

Na slici je tipična reducir stanica za suvozasićenu vodenu paru. Nizvodno od regulatora pritiska, obavezna je instalacija ventila sigurnosti koji štiti potrošače od neželjenog porasta pritiska. Nizvodno od regulatora ugrađena i mala posuda sa kondenzatom koja štiti fleksibilnu dijafragmu, koja je obično napravljena od neoprena, od mogućeg oštečenja od visoke temperature pare.



Regulacioni ventil sa pomoćnim gasom



Proporcionalni regulacioni ventil vođen sa pritiskom azota u kugli. Ventil se zatvara, ako se pritisak fluida poveća posle ventila. Pritisak fluida posle ventila može se podesiti od 0 do 25 bara. Precizna regulacija pritiska fluida. Veoma tihi rad. Dug vek trajanja dijafragme, jer je opterećena samo pritiskom od 20 kPa. Maksimalna bezbednost. U slučaju pucanja dijafragme, pomoćna opruga odmah čvrsto zatvara ventil. U kombinaciji sa sigurnosnim ventilom povezanim na istu posudu pod pritiskom, isključuje se mogućnost pogrešnog podešavanja sigurnosnog ventila. Sigurobosni venti, koji se ugrađuje paraleno sa regulacionim ventilom, konstruktivno je urađen da otvara za 0,2 bara većem pritisku od onog koji je u posudi na koju su povezani oba ventila. U posudi pod pritiskom je azot, čijim podešavanje pritiska određuje se pririsak otvaranja ventila do 25 bar. Radna temperatura fluida do 220°C. Ventil se montira u horizontalni cevovod sa kućištem dijafragme na dole.

Preporučuje se montaža hvatača prljavštine uzvodno od ventila. Set ventila (regulacioni i siguronosni) montira se u instalacijama gde treba održati konstantan pritisak nizvodno od strujanja fluida u odnosu na ventil. Primenu nalazi u industriskim instalacijama, energanama, termoelektranama itd.

PUŠTANJE U RAD ASINHRONIH MOTORA - II DEO

1. **Metod pokretanja pomoću rotorskog otpornika**

Ova metoda se ne može primeniti kod motora sa kratkospojenim (kaveznim) rotorom. Da bi se mogla primeniti, rotori ovih motora moraju imati namotaje koji su otvoreni i povezani preko ugljenih četkica na *klizne prstenove*. U kolo rotora se, preko ovih kliznih prstenova, na red povezuje spoljni otpornik čime se povećava ukupni otpor rotora. Na taj način se, tokom pokretanja, utiče na smanjenje početne struje. U početku je u kolo rotora uključen puni otpor, što uzrokuje da struja koja se iz mreže dovodi na stator bude najmanja. Kada rotor počinje da se okreće, spoljni otpor povezan u kolu rotora se postepeno smanjuje, brzina motora se povećava, a polazna struja raste. Kada motor dostigne svoju nominalnu brzinu pri punom opterećenju, spoljni otpornik se potpuno isključuje, a klizni prstenovi, preko kojih je bio povezan, se kratko spoje, pa motor dalje radi kao i ostali motori sa kratko spojenim rotorom. Koristi se za motore manjih i srednjiih snaga.

Prednosti

o Visok polazni obrtni moment
o Ravnomerno ubrzanje
o Mala polazna struja

Nedostaci

o Deo energije se gubi u vidu toplotnih gubitaka u namotajima spoljnog otpornika
o Povećani troškovi zbog posebne izrade rotora i potrebe za spoljnim otpornikom
o Potreba za održavanjem kliznih prstenova i četkica

2. Pokretanje promenom frekvencije i napona napajanja

Ova metoda koristi frekventni pretvarač (frekventni regulator) za podešavanje frekvencije i napona napajanja, kontrolu startne struje i startnog momenta motora i postepeno ubrzavanje motora do dostizanja nominalne brzine. Ova metoda je danas koristi za motore svih snaga, a prednosti su mala startna struja, stabilan polazni momenat i visoka tačnost upravljanja.

2.1. Pogoni sa promenljivom brzinom obrtanja (VSD)

Kod ovih pogona vrši se pretvaranje dolaznog električnog napajanja fiksne frekvencije i napona u izlaz promenljive frekvencije i napona. Ovaj izlaz se zatim dovodi na motor, pri čemu se menjaju brzina i obrtni moment motora. Brzina motora može se menjati od nule obrtaja u minutu do 100-120% njegove pune nominalne brzine.

Pomoću ovih pogona može se podesiti da se motor vrti u željenom smeru. Pogoni sa promenljivom brzinom se sastoje od 4 celine:

1. Ispravljač: Ovde se dolazna naizmenična struja (AC) pretvara u jednosmernu struju (DC).

2. Međukolo: Ispravljena jednosmerna struja se kondicionira u međukolu, obično korišćenjem kombinacije induktora i kondenzatora. Većina pogona na trenutnom tržištu koristi jednosmernu vezu fiksnog napona.

3. Invertor: Pretvara ispravljenu i kondicioniranu jednosmernu struju nazad u naizmeničnu struju promenljive frekvencije i napona. Ovo se obično postiže generisanjem visokofrekventnog impulsno-širinski modulisanog signala promenljive frekvencije i efektivnog napona. Poluprovodnički prekidači, obično bipolarni tranzistori sa izolovanom gejtom (IGBT), koriste se za stvaranje izlaza.

4. Upravljačka jedinica: Ova jedinica nadgleda ceo rad VSD-a. Prati i kontroliše ispravljač, međukolo i invertor kako bi motor radio prema zahtevanim parametrima. Brzinu motora je moguće podešavati, zadavanjem neke konstantne željene vrednosti, ili promenom iste u funkciji neke spoljne kontrolisane veličine (temperature, pritiska, diferencijalnog pritiska, protoka, itd.).

VSD-ovi obično rade sa stepenom iskorišćenja od 92-98%. Gubici od 2-8% nastaju zbog dodatnog odvođenja toplote, nastale od visokofrekventnog električnog prekidača i snage koja se troši na rad elektronskih komponenti.

2.2. Pogoni za meko pokretanje (Soft starteri)

Soft starter, za razliku od pogona sa promenljivom brzinom, ne menja frekvenciju, posledično i brzinu obrtanja. Umesto toga, postepeno povećava napon na koji je motor priključen, počevši od početnog niskog napona, do punog napona. U početku je napon koji se dovodi do motora jako nizak, što utiče da se sprečavaju

iznenadni trzaji tokom pokretanja. Postepeno, kako se napon i obrtni moment povećavaju, motor počinje da ubrzava. Jedna od prednosti ovog načina pokretanja je mogućnost finog podešavanja obrtnog momenta kako bi se zadovoljile specifične potrebe, za različte slučaje primene.

Korišćenje mekog startera smanjuje polaznu struju, zbog čega ne dolazi do padova napona u električnoj mreži. Takođe smanjuje polazni obrtni moment i mehaničko naprezanje opreme, što smanjuje potrebu za servisiranjem i održavanjem.

Takođe, meki starter se može koristti i za meko zaustavljanje. Ovo je posebno korisno za sprečavanje hidrauličnog udara i skokova pritiska u pumpnim postrojenjima.

Da li će se, u nekom specifičnom slučaju, koristiti meki starter ili frekventni regulator (VSD), zavisi od konkretne primene, zahteva mehaničkog sistema i raspoloživog budžeta.

Meki starteri, obično najisplativija opcija za slučajeve gde se traži meki start, štite motor i radnu mašinu od mehaničkih udara, kontrolom napona motora.

Na ovaj način se smanjuje polazna struja i omogućava postepeno ubrzanje do nominalne brzine.

Nasuprot tome, VSD-ovi kontrolišu i obrtni moment i brzinu. Ukratko, dok meki starteri upravljaju naponom i/ili strujom tokom faza pokretanja/zaustavljanja bez uticaja na brzinu opterećenja, VSD-ovi kontrolišu rampu pokretanja/zaustavljanja i kontinuirano upravljaju brzinom i obrtnim momentom.

Ograničenja struje pri pokretanju motora

Jedna od najvažnijih uloga svih pokretača motora je ograničavanje udarnih (polaznih) struja, čime se pomaže u održavanju stabilnosti sistema i zaštiti opreme. Načelno, za trofazne motore postoje neke uprošćene metode, kod kojih se na osnovu snage motora, može odrediti maksimalna polazna struja.

Za motore snage manje od 1,5 kW, polazna struja treba da bude ograničena na najviše 26 ampera.

Za motore koji spadaju u opseg od 1,5 kW do 3,75 kW, maksimalna polazna struja se određuje sledećom formulom.

I_{pol}=(Motor kW∗17,5) Ampera

Za trofazne motore snage veće od 3,75 kW, maksimalna polazna struja se određuje sledećom formulom:

I_{pol}=(Motor kW∗3,5)+53 Ampera

Za *grupu* motora sa ukupnom snagom većom od 3,75 kW, maksimalna polazna struja se određuje sledećom formulom.

I_{pol}=Ukupno kW instaliranih motora ∗1,1 Ampera

Ako primenom napred navedenih jednačina, startna struja prelazi date vrednosti, treba preći na neki drugi način puštanja, koji će obezbediti manju polaznu struju.

Na primer, ako je proračun rađen za direktno puštani motor, onda treba preći na puštanje metodom zvezda-trougao ili nekom drugom metodom.