Konstrukcija, održavanje i pogon zapornih ventila velikih energetske postrojenja

NURDIN I. ČEHAJIĆ, JP Elektroprivreda BiH,
Termoelektrana Tuzla, Tuzla, Bosna i Hercegovina

Stručni rad
UDC: 621.646
DOI: 10.5937/tehnika2002187C

U radu su analizirani konstruktivni parametri svih dijelova zapornog ventila sa ravnim sjedištem namijenjenog za rad na parovodu sa vrijednostima temperature i pritiska pregrijane pare 535°C i 135 bar, respektivno. Za sve dijelove zapornog ventila date su smjernice o održavanju, pakovanju i sanaciji eventualnih oštećenja, uključujući potrebne mašine, alate, opremu i materijal. Na osnovu dobrog poznavanja konstrukcionih karakteristika zapornog ventila sa ravnim sjedištem, parametara radnog fluida i proračuna obrtnog momenta potrebnog za okretanje vretena izvršeno je dimenzioniranje i izbor električnog aktuatora za pogon ventila. Dati su osnovni podaci o pogonu, motoru i upravljačkoj jedinici izabranog električnog aktuatora, kao i priključnim formama za vezu prirubnica električnog aktuatora i zapornog ventila.

Ključne riječi: zaporni ventil, konstrukcija, održavanje, električni aktuator, priključna forma

1. UVOD

Velika energetska postrojenja (termoelektrane) koriste od 1800 do 2500 ventila za upravljanje protokom vode i pare. Ventili se koriste za zaustavljanje i pokretanje protoka, smanjenje ili povećanje protoka, upravljanje smjerom protoka, reguliranje protoka ili oslobađanje određenog pritiska od cijevnog sistema. Ove funkcije ventili obavljaju podešavanjem položaja zapornog tijela u kućištu ventila. To se može uraditi ručno ili automatski. Primjene uključuju napojnu vodu, rashladnu vodu, hemijsku pripremu vode, sisteme kontrole parnih turbina i kontrolu zaprljanja.

Održavanje elektrane koja radi na maksimalnom kapacitetu zahtijeva pouzdane performanse stotina ventila u uslovima visoke temperature i visokog pritiska. Neki od tih ventila svakodnevno su izloženi strogo definisanom upravljanju, dok se drugi rijetko koriste, ali su neophodni za pravilnu kontrolu protoka i poboljšanje sigurnosti postrojenja. Službe za održavanje ventila u elektranama su u teškoj situaciji jer moraju poznavati i biti odgovorne za rad beskonačnog niza komponenti različitih ventila.

Iako se temeljni dizajn ventila nije mnogo promijenio u posljednjih nekoliko desetljeća, poboljšanja zbog napretka u tehnologiji materijala i proizvodnim tehnikama omogućuju im rad pod povećanim pritiskom, temperaturom i učestalošću koju operateri zahtijevaju kako bi osigurali veću toplotnu efikasnost. Na slici 1 je prikazan zaporni ventil sa ravnim sjedištem namijenjenog za rad sa visokim vrijednostima temperature i pritiska pregrijane pare. Sa slike 1 se vide i glavni dijelovi ventila: točak, nosač matice, pakovanje, čahura za dotezanje pakovanja, vreteno, poklopac sa vijcima i kućište.

Slika 1 - Zaporni ventil sa ravnim sjedištem [1]

Adresa autora: Nurdin Čehajić, JP Elektroprivreda BiH, Termoelektrana Tuzla, Tuzla, 21. aprila 4, Bosna i Hercegovina

e-mail: nurdin_cekajic@epbih.ba

Rad primljen: 24.01.2020.

Rad prihvaćen: 20.02.2020.

Dobro poznavanje karakteristika ventila, performansi zaptivanja i parametara protoka su odlučujući faktori pri pravilnom izboru ventila i pogona, te njihovom kasnijem održavanju. Kako se velika energetska postrojenja grade s projektnim vijekom od oko 50 godina to znači da se veliki broj starih ventila treba prilagoditi novim uslovima rada kako bi se nastavio njihov funkcionalan rad ili zamijeniti odgovarajućim novim ventilima i aktuatorima.

2. ZAPORNI VENTIL SA RAVNIM SJEDIŠTEM

2.1 Kućište i sjedište ventila

Kućište ventila svojom unutrašnjom konstrukcijom utiče na veličinu gubitaka energije strujanja. Prolazni presjek je najčešće okrugao i kod savremenih konstrukcija ventila iznosi $d = 0,7 d_u$, slika 2. Smanjen prolazni otvor omogućava dobijanje manjeg opterećenja i prečnika sjedišta ventila.

Slika 2 - Kućište ventila [2]

Kućište ventila je potrebno dizajnirati tako da se gubici pritiska strujanjem svedu na najmanju moguću mjeru. Potrebno je izbjegavati mrtve uglove u unutrašnjosti kućišta koji dovode do vrtloženja. Na slici 3 je prikazan tok strujanja fluida kroz ventil.

Slika 3 - Strujanje fluida kroz ventil

Materijal kućišta ventila zavisi od fluida, temperature i pritiska. Za pregrijanu paru temperature 535°C i pritiska 135 bar kućište ventila je od otkivka 1.7715. Proizvođač armatura [1] za pregrijanu paru, pritiska do 160 bar i temperature do 550°C kao materijal kućišta ventila sa ravnim sjedištem nudi sljedeće materijale: 1.0619, 1.5419, 1.7221, 1.7357, 1.4581 i 1.4308. Izbor materijala kućišta zavisi od željenog materijala sjedišta ventila (Cr17, stelit ili legura C276). Kućišta ventila sa navarenim stelitom na sjedištu ventila su od materijala:

1.5419 i 1.7357. Pri odabiru materijala kućišta ventila kod zavarenih izvedbi, treba voditi računa o materijalu parovoda i da krajevi ventila budu pripremljeni za zavarivanje prema EN 12627.

Debljina stijenke za kućište od čelika se računa:

$$\delta = \frac{d_u \cdot p}{2 \cdot \sigma_{dop}} + 0,1 \quad (1)$$

gdje su: d_u (mm) ulazni prečnik otvora ventila, p (bar) pritisak fluida, σ_{dop} (MPa) dopušteno naprezanje koje zavisi od materijala kućišta, temperature i pritiska fluida.

Određivanje debljine kućišta od čelika, eksperimentalni postupak ocjene čvrstoće kućišta napravljenih od čelika i livenog gvožđa i ispitivanje tipa primjenom povećanog hidrostatskog pritiska na temperaturi oko line definisano je standardom EN 12516:2010.

Hod ventila se određuje iz jednakosti presjeka sa slike 4.:

$$\pi \cdot d \cdot h = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ pa slijedi: } h = \frac{d}{4} \quad (2)$$

Slika 4 - Unutrašnjost kućišta ventila [2]

Kako bi se ostvario što niži potreban pritisak brtvljenja, sjedište se izrađuje sa malom širinom b , slika 4. Kod ravnih sjedišta se uzima odnos:

$$\frac{b}{d_1} = \frac{1}{25} \text{ do } \frac{1}{10} \quad (3)$$

Preporučene vrijednosti širine sjedišta su:

$b = 2 \text{ mm}$ za DN10 do 65

$b = 3 \text{ mm}$ za DN80 do 100

$b = 3,5 \text{ mm}$ za DN125 do 150

$b = 4 \text{ mm}$ za DN200

$b = 5 \text{ mm}$ za DN250 do 400

Debljina prstena u (mm) se kod manjih nazivnih prečnika iznosi: $u=b+1 \text{ mm}$, a kod većih $u=b+2 \text{ mm}$. Stvarni površinski pritisak brtvljenja zavisi od kvaliteta površinske obrade i elastičnosti materijala prstena.

Materijali za sjedište ventila sa vrijednostima dopuštenih pritisaka (p_{sdop}), temperature i radnog fluida su dati u tabeli 1.

Tabela 1. Materijali sjedišta ventila

Materijal sjedišta	p_{sdp} (bar)	t (°C)	Fluid
Guma	29,4	70	Zrak, vakuum, plinovi bez agresivnog djelovanja
Koža, tvrda guma	29,4	70	Zrak, voda
Liveno željezo	78,4	250	Voda, plinovi, ulja, zasićena para
Livena bronza-kalajna	196	225	Voda, ulje, zasićena para, plinovi
Fosforna bronza	245	250	Voda, ulje, plinovi, zasićena para
Nikal i njegove legure	294	400	Voda, ulje, plinovi, zasićena para, pregrijana para
Nehrđajući čelici	588	500	Voda, ulje, plinovi, zasićena para, pregrijana para
Nitrirani čelici	784	500	Za posebno teške uslove (odlikuju se visokom tvrdoćom)

Danas se za temperature iznad 450°C za sjedišta koriste navarene legure kobalt-krom-volfram (stelit).

Prednosti legura stelita su:

- dobra otpornost na habanje i koroziju;
- idealne za oštećena radna okruženja (abrazija, umor u kontaktu, toplotni udar, habanje, erozija i oksidacija);
- zadržavaju svojstva pri visokim temperaturama, a pokazuju visok stepen tvrdoće

Neki od najčešće korištenih Stelita su: Stelit 1, Stelit 3, Stelit 4, Stelit 6B, Stelit 6K, Stelit 12, Stelit 21 [3]. U tabeli 2 je dat hemijski sastav i fizičke osobine Stelit 1.

Tabela 2. Hemijski sastav i fizičke osobine Stelit 1 [3]

Elementi	Sadržaj (%)
Co	57
Cr	28 - 32
W	11 - 13
C	2-3
Si	1,2
Ni	1
Fe	1
ostalo	1,5
Fizičke osobine	
Gustoća (kg/m³)	8,69
Tvrdoća (HRC)	50 - 58
Modul elastičnosti (GPa)	230
Zatezna čvrstoća (MPa)	1195

Pritisak na sjedište ventila se računa prema izrazu:

$$p_s = (0,3 \text{ do } 0,4) \cdot \frac{p}{b} \cdot (d_m + b) \quad (4)$$

gdje je: d_m (mm) srednji prečnik sjedišta ventila sa slike 4.

Iz tabele 1 se prema izračunatom p_s i prema vrsti medija može pronaći odgovarajući materijal sjedišta ventila.

Prilikom mehaničke obrade pojedinih dijelova ventila ili prema potrebi izrade i zamjene novim, rukovodi se stepenom oštećenja i već određenim slijedom obrade, datim od strane izvođača radova. Na slici 5 je prikazana prenosna mašina za obradu sjedišta ventila, zajedno sa pripadajućim alatima, stegama i priborom.

Slika 5 - Obrada sjedišta ravnog zapornog ventila mašinom EFCO SL - 15 [4]

2.2 Vreteno

Potrebna sila brtvljenja na sjedištu ventila ostvaruje se vretenom. Obrtanjem vretena ostvaruje se otvaranje i zatvaranje ventila, pomjeranjem zapornog tijela vretena. Materijali za izradu vretena prema [1] za ventil DN100 PN160 su visokolegirani čelici 1.4021 i 1.4571, u zavisnosti od vrste materijala kućišta. Opterećenje vretena je prikazano na slici 6.

Slika 6 - Opterećenje vretena [2]

Sila koja opterećuje vreteno se računa:

$$F_v = (1,25 \div 1,5) \cdot p \cdot (d_1 + b)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

gdje su: p (bar) pritisak medija, b (mm) širina sjedišta, d_1 (mm) prečnik sa slike 2.

Naprežanje vretena na pritisak:

$$\sigma_p = \frac{F_v}{A_{v \min}} = \frac{4F_v}{d_{\min}^2 \pi} \quad (6)$$

gdje je: $d_{\min}$ (mm) najmanji prečnik vretena.

Naprezanje vretena na uvijanje:

$$\tau_u = \frac{M_o}{W_o} \quad (7)$$

otporni moment se računa

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{\min}^3}{16} \quad (8)$$

Vreteno je opterećeno na pritisak pogonskom silom F_p i silom brtvljenja. Obrtni moment potreban za obrtanje vretena opterećuje vreteno na uvijanje i računa se prema izrazu

$$M_o = F_v \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho) \quad (9)$$

gdje su: d_2 (mm) srednji prečnik vretena, φ (°) ugao uspona navoja vretena i ρ (°) ugao trenja ($\rho = 6^\circ$).

Postupak održavanja vretena nakon njegove demontaže i čišćenja je sljedeći:

- prečnik vretena nakon mašinske obrade treba biti takav da zazor između njega i čahure za dotezanje pakovanja iznosi 0,2 mm, slika 7.
- vreteno ne smije u dijelu ugradnje pakovanja pokazivati koroziona i mehanička oštećenja
- detaljan pregled navoja na vretenu i navrtki
- kontrolu hoda vretena u sklopu sa navrtkom
- kontrolu centričnosti vretena, radijalno bacanje vretena bi trebalo iznositi $> 0,001 d$
- mašinsku finu obradu vretena (predpoliranje finoće 60 i završno 150)
- ispitivanje hrapavosti površine vretena $Rz < 3 > 1 \mu m$ i pripremu vretena za ugradnju pakovanja
- prije ugradnje vreteno odmastiti.

Na slici 7 je prikazan standardan prostor za ugradnju pakovanja.

Slika 7 - Standardni prostor za pakovanje

2.3 Poklopac ventila

Poklopac ventila je najčešće od istog materijala kao i kućište. Oblik poklopca zavisi od visine hoda vretena, visine pakovanja, oblika vijaka (čahure) za pritezanje pakovanja i oblika nosača matice. Brtvljenje

poklopca i kućišta se ostvaruje sa brtvom od ekspandiranog grafita, sa stepenom čistoće $C > 99,8 \%$, gustine $1,6 \text{ g/cm}^3$ i područja izvedbe do 550°C i 400 bar. Brtvene površine moraju biti obrađene tako da je $Rz = 12,5$ do $25 \mu m$. Brtve su sa metalnom zaštitom ivica ili čeličnim ojačanjem, a oblik brtve se podešava prema geometrijskim mjerama poklopca.

Na slici 8 su prikazani neki od standardnih profila grafitnih brtvi sa metalnom zaštitom ivica ili sa čeličnim ojačanjem.

Slika 8 - Tipovi brtvi sa metalnom zaštitom ivica ili čeličnim ojačanjem

Kvalitet vijaka i geometrija priрубnice moraju biti pravilno određeni za brtvu koja se ugrađuje.

Vijci se dimenzioniraju prema ukupnoj sili:

$$F_{o1} = (F_{pkl} + F_{vp})/i \quad (10)$$

Prethodna sila za poklopac:

$$F_{pkl} = (d_p + b_1) \cdot \pi \cdot b_1 \cdot p_{p \text{ dop}} \quad (11)$$

gdje su: d_p (mm) otvor kućišta, b_1 (mm) dužina sa slike 2.

Sila od rada:

$$F_{vp} = (0,25 \text{ do } 0,5) p \cdot (d_m + b)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (12)$$

Dopušteni pritisak na poklopac iznosi:

$$p_{p \text{ dop}} = (0,5 \text{ do } 3) p \text{ (bar) za nemetalne brtve}$$

$$p_{p \text{ dop}} = (8 \text{ do } 40) p \text{ (bar) za metalne brtve}$$

p_{pdop} se može uzeti kao vrijednost za p_{sdop} iz tabele 1. Kod otvorenog ventila:

$$F_{op} = (d_p + b_1)^2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot p + F_{pkl} \quad (13)$$

2.4 Nosač navrtke

Postoje različite konstruktivne izvedbe nosača navrtke ventila. Na slici 9 je prikazan jedan od najčešćih oblika nosača navrtke.

Slika 9 - Nosač navrtke [2]

Nosač navrtke je opterećen na istezanje i savijanje silom $F_v/2$ i krakom x . U tabeli 3 su data dopuštena naprezanja.

Tabela 3. Dopuštena naprezanja nosača navrtke

$\sigma_{s \text{ dop}} (MPa)$	SL	GS-C25	Č.0345	Č.0445
	36,75	73,50	78,40	98,0

Materijal navrtke mora biti otporan na habanje i sposoban da prenese specifične pritiske. Najčešći materijal navrtke je bronza, crveni liv a za najviša opterećenja nehrđajući čelici. Vrijednosti specifičnog pritiska moraju biti manje od dopuštenih vrijednosti za pojedine materijale iz table 4.

Tabela 4. Dopuštene vrijednosti specifičnog pritiska

$p_{\text{dop}} [bar]$	SL 18	Bronza	Nehrđajući čelik	Crveni liv
245	58,80	29,50	98	

3. PAKOVANJE VENTILA

Pakovanje ventila ima ulogu da ostvari brtvljenje vretena kada se ono obrće ili miruje. Brtvljenje se može ostvariti sa dodirnom ili bez dodira. U prvom slučaju između pokretnih dijelova postoji što manji zazor, a površine brtvljenja su izložene pritisku. Trenutni zazor između naliježućih površina nije poznat, a tokom vremena se može mijenjati. Kod brtvljenja bez dodira (aksijale i radijalne bezdodirne brtve) između pokretnih dijelova postoji tačno propisan zazor koji se vremenom ne mijenja, a pritisak na površine brtvljenja ne postoji.

Teorija brtvljenja pokretnih dijelova se zasniva na molekularnim silama graničnih slojeva. Za brtvljenje se koristi mehka brtva u obliku kvadratne pletenice. Razvojem grafitnih i ugljeničnih vlakana, a posebno ekspaniranog grafita dobiveni su novi materijali za brtvljenje.

Nova generacija pletenica je izrađena od slojeva grafitne trake koja je postavljena u smotuljke, a svako zasebno punjenje je ojačano sa inkel žičanim omotačem. Ova vlakna su pletena u kvadratni presjek kako bi se formirala gusta i fleksibilna pletenica, koja je obrađena mazivom kako bi se smanjilo trenje pare inhibitorom protiv korozije. Primjenu ima kod kontrolne i zaporne armature u termoelektranama, rafinerijama i drugim industrijama gdje preovladava visok pritisak i temperatura.

Proizvođači brtvenih pletenica [6,7] za brtvljenje ventila za pregrijanu paru u ponudi imaju pletenicu od ekspaniranog grafita sa jezgrom od upletene inkel žice, karakteristika datih u tabeli 5.

Tabela 5. Brtvena pletenica za brtvljenje ventila

	Style 1099 R [6]	Style 1111 [6]	Chesterton 1900 [7]

$t (^{\circ}C)$	-150 do +550 (600)	-150 do +550 (600)	530
$p (bar)$	300	300	310
$v (m/s)$	1	1	-
pH	0 - 14	0 - 14	2 - 12
Sastav	Ekspanirana grafitna vlakna 93 %; jezgro od 7% upletene inkel žice; impregnirana sa inhibitorom protiv korozije	Čisto ekspanirano grafitno vlakno 85%, svako vlakno je ojačano inkel žicom 15 %, a zatim upletena u plašt	Slojevi grafitne trake su upleteni i smješteni u kompaktne oklope obložene žičanim omotačem. Skup slojeva čini kvadratni presjek obložen vlaknima otpornim na visoke temperature i koji ne dozvoljavaju strukturnu degradaciju pletenice

Pritezanjem vijaka na prirubnici dobija se vanjska sila F_b kojom se ostvaruje pritisak brtvljenja i koja izaziva aksijalno naprezanje, slika 10.

Slika 10 - Pakovanje ventila mehom brtvom sa pletenicom kvadratnog presjeka [5]

Aksijalno naprezanje se računa:

$$\sigma_a = \frac{4 \cdot F_b}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (14)$$

Sila vijaka kojima se čahura pritiska u prostor u kojemu su brtve:

$$F_b = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot c \quad (15)$$

gdje su: F_b (N) sila pritezanja prirubnice, D (mm) vanjski prečnik brtve, d (mm) unutrašnji prečnik brtve, p (bar) pritisak radnog fluida i c faktor koji zavisi od vrste i namjene brtve, $c = 3$ za mehku brtvu.

Deformabilnošću brtve javlja se radialno naprezanje:

$$\sigma_r = k \cdot \sigma_a \quad (16)$$

gdje je: k faktor koji proizilazi iz odnosa σ_a/σ_r , a uslovljen je trenjem između brtve i vretena i trenjem brtve u kućištu.

Plastičnom deformacijom brtvene pletenice dobiva se radialni pritisak brtvljenja, koji smanjuje zazor između brtve i vretena i kućišta na mjeru potrebnu za brtvljenje. Da radni fluid ne bi izlazio, potrebno je da pritisak brtvljenja bude veći od pritiska fluida koji se brtvi.

Za svaku vrstu brtve je potrebno odrediti odgovarajući pritisak brtvljenja. Proizvođači za tu namjenu mogu dati tabelarni pregled, ali i razvijene online aplikacije za proračun [8].

Na slici 11. je prikazan način djelovanja meke brtve. Sila vijaka koja djeluje preko prirubnice čahure izaziva poprečne deformacije i pritiske.

Slika 11 - Šematski prikaz prostora i načina djelovanja meke brtve [5]

Prije početka ugradnje brtvene pletenice potrebno je:

- prostor za pakovanje pregledati, očistiti, odmastiti i prema potrebi mašinski obraditi, vodeći računa o toleranciji mjera
- odrediti broj prstenova za pakovanje na osnovu radnog pritiska i visine prostora za pakovanje H , slika 12.
- položaj vretena pri montaži treba postaviti tako da se nakon montaže brtvenih pletenica može pomjeriti u pravcu otvora
- odmastiti i utvrditi dužinu osnovne čahure prema broju pakovanja sa slike 12.
- postaviti osnovnu čahuru u prostor za pakovanje, slika 12.
- postaviti unutrašnji zupčasti prsten koji sprečava ulazak nečistoća i ekstrudiranja glavnog pakovanja

Na slici 12 je prikazan primjer ugradnje čahure i šest prstenova kvadratnog poprečnog presjeka, uključujući dimenzije i tolerancije mjera.

Slika 12 - Ugradnja čahure i šest brtvenih prstenova sa dimenzijama i tolerancijama mjera

Dužina osnovne čahure za ugradnju šest brtvenih prstenova sa slike 12 se određuje:

$$L_D = P - [6 \cdot s + (F + 3)] \quad (17)$$

Visina pakovanja:

$$H = 6 \cdot s \quad (18)$$

Dužina vođenja: $\approx 0,5 \cdot s$

Kod armature visokog pritiska visina prostora za pakovanje iznosi:

$$H \geq 10 \cdot s \quad (19)$$

Brtveni prstenovi se sijeku na dužinu pod uglom od 45° :

$$l = \frac{D+d}{2} \cdot \pi \cdot 1,07 \quad (20)$$

Postupak ugradnje brtvenih prstenova:

- prethodno na mjeru isječene brtvene prstenove je potrebno pojedinačno ubacivati u prostor za pakovanje i prethodno stezati. Kod rezanih prstenova treba voditi računa da se rezna mjesta postave za određeni ugao (kod četiri prstena 90°), a primjer rezanih prstenova i postavljanja reznih mjesta kod pet prstenova je prikazan na slici 13.
- natapanje brtvenih prstenova u mazivo treba da zaštiti materijal brtvenog prstena od hemijskog uticaja radnog fluida, ali i da pomogne pri otklanjanju eventualne propusnosti materijala brtvenog prstena
- ubaciti gornji zupčasti prsten u prostor za pakovanje
- gornju čahuru očistiti, odmastiti, izmjeriti i prema potrebi sanirati varenjem, te mašinski obraditi na potrebnu mjeru

- očistiti vijke čahure, provjeriti navoj, prema potrebi obnoviti i natopiti sredstvom za glatkoću
- postaviti otvor čahure
- dotezanje pakovanja potrebnim momentom pritezanja vijaka čahure (preporuke proizvođača ili proračun)
- kontrola kretanja vretena zbog potrebe manipulacije ventilom ručno ili pomoću elektromotornog ili drugog pogona. Moment potreban za obrtanje vretena ne smije biti narušen.

Slika 13 - Položaj reznih mjesta pri ugradnji brtvenih prstenova

4. POGON VENTILA

Pogon ventila može biti:

- ručni i
- pomoću aktuatora

Kod ručnog upravljanja djeluje se silom na ručno kolo koje treba da savlada trenje bokova navoja i da proizvede silu brtvljenja dovoljnog intenziteta na sjedištu ventila. Na slici 14. je prikazano djelovanje sile $F_r/2$ (spreg sila) sa krakom koji odgovara prečniku ručnog kola d_r .

Slika 14 - Ručno kolo [2]

Sila na ručnom kolu se računa:

$$F_r = \frac{M_0}{d_r/2} \quad (21)$$

i potrebno je da iznosi: $F_{r\max} = 735 \text{ N}$ a prečnike

$d_r \geq 20 \text{ cm}$ (za jednu ruku $F_{r\max}/2$);

za prečnike $d_r \leq 20 \text{ cm}$ sila $F_{r\max}$ se računa kao dvustruka vrijednost prečnika d_r (cm)

Za preciznije i brže upravljanje zatvaranjem i otvaranjem, te za onemogućavanje udaranja zapornog elementa o sjedište i čvršće zatvaranje radi brtvljenja koriste se vanjski izvori energije za upravljanje ventilom, odnosno aktuatori. Aktuator ventila je uređaj koji na osnovu upravljačkog signala ostvaruje fizikalno djelovanje i na taj način djeluje na promjenu regulisane veličine nekog procesa. Fizikalno djelovanje

aktuatora ventila je pomjeranje pokretnog dijela aktuatora koje može biti translatorno ili rotaciono, ovisno o tipu ventila. Da bi djelotvorno djelovao, aktuator mora biti dovoljno snažan proizvesti pozitivan, tačan i brz odgovor na upravljački signal [9]. Postoje tri najčešće vrste aktuatora za upravljanje zapornim organima: električni, hidraulički i pneumatski aktuatori. Na slici 15 su prikazane vrste pogona (upravljanja) ventilom, uključujući i ručni pogon.

Slika 15 - Vrste pogona ventila [10]

Električni aktuatori koriste električni motor za dobivanje momenta potrebnog za upravljanje ventilom. Često se koriste u današnjim sistemima zbog lakog povezivanja sa upravljačkim sistemima i što je električna energija za njihov pogon široko dostupna za razliku od snage fluida za koju su potrebne pumpe ili kompresori. Elektromotori imaju veliki broj obrtaja pa se korištenjem reduktora i smanjenjem broja obrtaja mogu postići veliki momenti upravljanja ventilom.

Nepovratni ventili imaju važnu sigurnosnu ulogu u slučaju nestanka električne energije pa električni aktuatori moraju imati mogućnost zatvaranja ventila i u takvim uslovima koristeći baterijski izvor energije [11]. Osnovni zahtjevi za aktuatora za industrijske ventile su definisani prema EN 15714-2 od 2009. godine.

Prvi korak pri pravilnom dimenzioniranju i izboru aktuatora je dobro poznavanje konstrukcije ventila [12]. U nastavku rada je na primjeru zapornog ventila sa ravnim sjedištem DN 100 PN 160 (slika 1) za pregrijanu paru 535°C i 135 bar izvršeno dimenzioniranje i izbor električnog aktuatora proizvođača [13].

Podaci potrebni za dimenzioniranje električnog aktuatora:

- prečnik: $d_1 = 106 \text{ mm}$
- srednji prečnik vretena: $d_2 = 29 \text{ mm}$
- širina sjedišta: $b = 3 \text{ mm}$
- pritisak pare: $p = 135 \text{ bar}$
- ugao uspona trapeznog navoja vretena: $\phi = 14^\circ$
- ugao trenja: $\rho = 6^\circ$

Upotrebom izraza (5) i (9) dobivaju se sljedeće vrijednosti sile na vretenu i obrtnog momenta potrebnog za okretanje vretena, respektivno:

$$F_v = 157388 \text{ N}; M_o = 867 \text{ Nm}$$

Na osnovu dobivene vrijednosti obrtnog momenta bira se električni aktuator Auma SA 16.2 F16. Na slici 16 je prikazan rotacioni Auma pogon sa rasporedom tipskih pločica komponenti.

Slika 16 - Auma rotacioni pogon sa pripadajućim tipskim pločicama komponenti [13]

Rotacioni pogon je prema EN ISO 5210 izvršni pogon koji prenosi na armaturu obrtni moment najmanje jednim punim obrtajem. Isključivanje u krajnjim položajima može se provesti ovisno o putu ili obrtnom momentu. Za aktiviranje odnosno obradu pogonskih signala svakako je potrebno upravljanje. U tabeli 6 su dati osnovni tehnički podaci Auma SA 16.2 F16 rotacionog pogona.

Tabela 6. Podaci o električnom aktuatorsu ventila [13]

Tip Auma pogona	Izlazni broj obrtaja (o/min)		Minim. moment (Nm)	Maks. moment (Nm)	Spajanje ventila sa električnim aktuatorsom		Maksimalni prečnik vretena ventila (mm)	Točak ventila		
	50 Hz	60 Hz			EN ISO5210	DIN 3210		Ø (mm)	Redukcija	
SA 16.2	4	4,8	400	1000	F16	G3	75	500	11:1	
	5,6	6,7							8:1	
	8	9,6							11:1	
	11	13							8:1	
	16	19							11:1	
	22	26							8:1	
	32	38							11:1	
	45	54							8:1	
	63*	75							11:1	
	90	108							8:1	
	125**	150**		800					5,5:1	
	180**	216**							4:1	

* izabrani broj obrtaja na izlazu pri 50 Hz

**za ove brojeve obrtaja vrijednosti momenta otvaranja i zatvaranja ventila iznose: minimalni 400 Nm, a maksimalni 800 Nm.

Tabela 7. Tehnički podaci motora SA 16.2 F16 [13]

Multi turn aktuator			Motor - trofazni AC, S2-15 min, 400 V/50 Hz, IP 68				
Tip	Broj obrtaja (o/min)	Maksim. moment (Nm)	Snaga P(kW)	Broj obrtaja (o/min)	Nomin. struja I _n (A)	Maks. struja I _{max} (A)	Početna struja I _a (A)
SA 16.2	4	1000	5	2800	11	25 (30)	120
	5,6						
	8						
	11						
	16						
	22						
	32						
	45						
	63*						
	90						
	125**	800	6	2800	12	35 (45)	120
	180**						
							0,83

Električni aktuator Auma SA 16.2 je pogonjen 3-faznim AC motorom sa osnovnim podacima datim u tabeli 7.

Za podešavanje i puštanje u pogon, kod kvara motora ili ispada mreže, pogon električnog aktuatora može raditi u ručnom režimu. Ručni pogon se spaja samo kada motor ne radi i uključuje se pomoću ugrađene mehanike za prespajanje, pritiskom na tipku u centru ručnog točka i okretanjem ručnog točka u željenom smjeru. Zatvaranje ventila se ostvaruje okretanjem točka u smjeru kazaljke na satu i vreteno prati taj smjer kretanja. Ručni pogon se automatski isključuje u trenutku uključivanja motora i tada točak miruje.

Upravljanje, podešavanje i prikaz je moguće obavljati na lokalnom upravljačkom mjestu pomoću tipki, slika 17. Za lokalno upravljanje pogon potrebno je izbornu tipku 4 postaviti u položaj lokalno upravljanje. Tipka 1 služi za naredbu pokretanja pogona u smjeru OTVORENO, tipka 2 je zaustavljanje pogona - STOP i tipka 3 je za pokretanje pogona u smjeru ZATVORENO. Pri dostignutom položaju OTVORENO indikatorna lampica sa desne strane tipke 1 svijetli zeleno, za dojavu smetnje lampica desno od tipke 2 svijetli crveno i za dostignut položaj ZATVORENO lampica desno od tipke 3 svijetli žuto.

Slika 17 - Lokalno upravljanje pogonom [13]

Za daljinsko upravljanje pogonom potrebno je izbornu tipku 4 postaviti u položaj daljinsko upravljanje. Upravljanje AUMA MATIC (AM) služi za upravljanje AUMA izvršnim pogonima i isporučuje se u stanju spremnosti za rad. Funkcije upravljanja AM podrazumijevaju standardno aktiviranje armature u pogonu OTVORENO - STOP - ZATVORENO preko indikatora položaja i različitih poruka do regulacije položaja. Standardno upravljanje se ostvaruje putem paralelnog sučelja s upravljačkim naponom od 24 V DC. Postoje i opcije upravljanja: 115 V AC i sa analognim ulazom 0/4 - 20 mA.

Tabela 8. Podaci o upravljanju AM 01.1 [13]

Tip upravljanja	Napajanje	Snaga motora (kW)	Radna temperatura (°C)	Upravljanje	Standardna zaštita
AM 01.1	3~400V, 50 Hz	1,5 (opciono 7,5)	-25 do +70	24 V DC	IP 67

U tabeli 8 su dati osnovni tehnički podaci o upravljanju izvršnog pogona električnog aktuatora tip AM 01.1.

Prije puštanja električnog aktuatora Auma u rad potrebno je izvršiti podešavanje pogona:

- podešavanje isključivanja obrtnim momentom
- podešavanje graničnog isključivanja
- podešavanje međupoložaja

Aktuator mora biti pričvršćen čvrsto na kućište ventila, odnosno vreteno ventila mora biti na odgovarajući način spojeno sa izvršnim organom električnog aktuatora pomoću priključne forme.

Preporučuje se kompaktna montaža električnog aktuatora i ventila kako bi se smanjili zahtjevi prostora, šanse za slučajno oštećenje i vjerovatnost strukturnih vibracija, slika 18.

Slika 18 - Direktna veza električnog aktuatora Auma i ventila

Za montažu AUMA aktuatora sa rotacionim pogonom na ventil sa rotirajućim, ne uzlaznim vretenom koriste se različiti tipovi priključnih formi koje su definisane standardima: EN ISO 5210, EN ISO 5211, DIN 3210 i DIN 3338. U zavisnosti od izabranog tipa AUMA aktuatora zavisi i tip priključne forme.

Za izabrani električni rotacioni aktuator tip SA 16.2 sa AM kontrolom predviđen je standardan B1 tip priključne forme, u skladu sa EN ISO 5210. Opciono je moguća i varijanta sa sljedećim tipovima priključaka:

- A, B2, B3 i B4 u skladu sa EN ISO 5210
- A, B, D i E u skladu sa DIN 3210
- C u skladu sa DIN 3338

Postoji i mogućnost naknadne prilagodbe priključne forme B1 u B3, B4 ili E. Na slici 19 je prikazan 3D izgled i dijelovi priključne forme B, B1- B4, E i C. Na slici 19 su: 1 - priključna forma, 2 - čahura sa unutarnjim utorom i vanjskim provrtom i 3 - sigurnosni prsten.

Slika 19 - Priključna forma [13]

U tabeli 9 su dati crteži, podaci i dimenzije priključnih formi B, B1 i B2 definisanih prema EN ISO 5210 i DIN 3210.

Tabela 9. Podaci i dimenzije priključnih formi

Tip	Vrijednost		SA 16.2	
	EN ISO 5210	DIN 3210	F16	G3
Forma	b JS9		22	
EN ISO 5210 B1 = $\varnothing d_7$	$\varnothing d_1$		210	
EN ISO 5210 B2 < $\varnothing d_7$ > $\varnothing d_7$ min.	$\varnothing d_2$ f8		130	
DIN 3210 B = $\varnothing d_7$	$\varnothing d_3$		165	

Za postizanje direktne čvrste veze aktuatora AUMA SA 16.2 F16 sa ventilom potrebno je da izlazno vreteno ventila bude standardizirano u skladu sa ranije navedenim standardima. U suprotnom, neophodno je vršiti određene modifikacije postojeće ili dizajn i izradu potpuno nove priključne forme, a najčešće i međukomada sa priрубnicama za vezu električnog aktuatora i kućišta ventila. Potreba za konstruisanjem priključnih formi i međukomada dolazi do izražaja kod automatizacije postojećih ventila na postrojenjima, gdje su priključne forme i priрубničke veze kućišta ventila i aktuatora definisane različitim standardima. Na slici 20 je prikazana dizajnirana priključna forma i međukomad sa priрубnicama koja je ugrađena kao veza električnog aktuatora AUMA SA 10.2 F10 i prenosnog mehanizma, a koji je dalje povezan sa reduktorom i ventilom. Sa slike 20 se vidi da su krajevi prelaznog komada prilagođeni priрубnicama ventila i aktuatora, dok je priključna forma konstruisana na način da se prilagodi standardiziranoj priključnoj formi Auma SA 10.2 i izlaznom vratilu prenosnog mehanizma.

Slika 20 - Priključna forma i međukomad za vezu aktuatora Auma SA 10.2 i ventila

5. ZAKLJUČAK

Za pravilan izbor, održavanje i upravljanje zapornog ventila sa ravnim sjedištem potrebno je poznavanje parametara radnog fluida i konstruktivnih karakteristika ventila. Radni parametri radnog fluida uslovljavaju materijal kućišta i drugih dijelova ventila (vreteno, pakovanje, poklopac, sjedište i dr.), dok isti zajedno sa konstruktivnim parametrima utiču na vrijednost obrtnog momenta potrebnog za pogon vretena ventila i izbor odgovarajućeg električnog aktuatora.

Pravilno dimenzioniranje i izbor električnog aktuatora doprinosi zaštiti ventila od mogućeg preopterećenja i oštećenja brtvenih površina, ali i smanjenju troškova investicije, održavanja i potrošnje električne energije. Ovo zadnje posebno dolazi do izražaja kod velikih energetskih blokova gdje je broj ventila pogonjenih električnim aktuatorima veliki, te pravilno dimenzionirani električni aktuatori mogu doprinijeti smanjenju potrošnje električne energije za njihov pogon.

Takođe, uz pravilan izbor električnog aktuatora, odgovarajuću priključnu formu i remont minimalno jedanput godišnje se postiže ispravan rad zapornog ventila sa smanjenim troškovima održavanja i povećanom sigurnosti rada postrojenja.

LITERATURA

- [1] http://www.persta.com/wp/wp-content/uploads/-2016/08/persta_industrie_e.pdf
- [2] Oberšmit E, *Elementi strojeva*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 1966.
- [3] <http://www.stellite.com/en/products/hardfacing-alloys/cobalt-alloys.html>
- [4] <http://pdf.directindustry.com/pdf/efco-maschinenbau-gmbh/sl-series/62010-376883.html>
- [5] Decker K. H, *Elementi strojeva*, Tehnička knjiga Zagreb, 1987.
- [6] http://www.sealtek.com/en/Packing-and-sealants/Style-1099-R_7_213.html
- [7] <https://chestertonstationary.chesterton.com/en-us/Equipment/Pages/5800E.aspx>
- [8] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hesterton.calculators.torque&hl=fr>
- [9] Čehajić N, Hodžić M, Izbor električnog aktuatora za upravljanje zapornog zasuna na parovodu termoenergetskog postrojenja, *14. savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta Međunarodnog vijeća za velike električne sisteme* - BH K CIGRÉ, Neum, od 20. do 23. oktobra 2019.
- [10] <https://www.armature.si/media/Boehmer/Slike/krog-elna-pipa-pogon.jpg>
- [11] Smith P, Zappe R W. *Valve selection handbook*, fifth edition, Elsevier, 2004.
- [12] Weeks D, *Proper actuator sizing and selection reduces downtime*, Chemical Industry Digest, July 2009.
- [13] <https://www.auma.com/en/products/multi-turn-actuators/>

SUMMARY

CONSTRUCTION, MAINTENANCE AND DRIVE SHUT - OFF VALVES OF LARGE ENERGY PLANTS

The paper analyzes the constructive parameters of all parts of the shut-off valves with a flat seating system designed for operation on the steam pipe with values of temperature and pressure overheated steam 535 °C and 135 bar. All parts of the shut-off valve are given guidelines on the maintenance, packing and repair of possible damage, including the necessary machines, tools, equipment and materials. Based on a good knowledge of the design characteristics of the shut-off valve with flat seating, operating fluid parameters and the torque calculation necessary for rotating the spindle, the dimensioning and selection of an electric actuator for valve operation has been performed. The basic data on the drive, the motor and the control unit of the selected electric actuator are given, as well as the connection forms for the connection of the flange of the electric actuator and the shut-off valve.

Key words: shut - off valve, construction, maintenance, electric actuator, connection form