

**UPRAVLJANJE SAVREMENIM KOMPRESORSKM SISTEMIMA ZA TRANSPORT INDUSTRIJSKIH GASOVA****CONTROL OF MODERN COMPRESSOR SYSTEMS FOR TRANSPORT OF INDUSTRIAL GASSES**Luka Janičić, Boris Dumnić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast –ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je opisan način realizacije upravljačkog sistema za kompresore velike snage, koji služe za transport industrijskih gasova. Dat je primer realizacije upravljanja kompresorskim sistemom za transport hlora. Prikazan je proces pripreme relevantne dokumentacije za proizvodnju ormara automatike, opis opreme koja je implementirana kao i funkcionalna specifikacija softvera, koji služi za upravljanje pogonom.

**Ključne reči:** upravljanje, kompresor, industrijski gasovi

**Abstract** – This paper describes realisation of control system for high power compressors, which are used for transport of industrial gasses. In paper is given example of compressor control system for transport of chlorine. Process of preparation of relevant documentation for production of control system cabinet, description of equipment that is implemented as well as functional specification of software for compressor control are presented.

**Keywords:** control, compressor, industrial gasses

**1. UVOD**

U mnogim procesnim industrijama kao što su hemijska i petrohemijska, u pogonima za transport tečnog naftnog gasa, u rafinerijama i sl. potrebno je da se određeni gas transportuje sa jedne lokacije na drugu.

Da bi se ovo postiglo, potrebno je da gas bude na adekvatnom pritisku kao i da se ostvari adekvatan protok. Oba prethodno navedena ključna parametra, vezana za transport industrijskih gasova, postižu se primenom kompresorskih sistema.

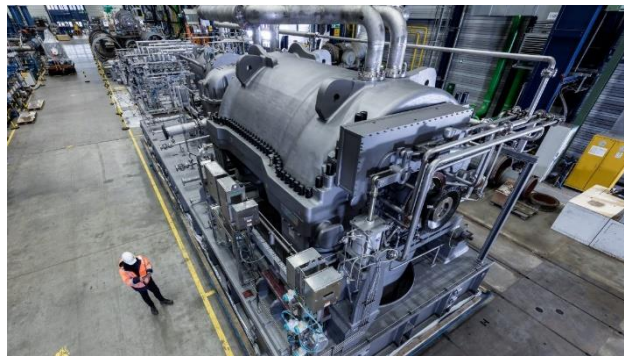
Kompresor u osnovi predstavlja sklop koji služi da podigne pritisak određenog gasa u cevi, tako što mu smanji zapreminu ili tako što mu prenese kinetičku energiju rotacije mešača (*eng. impeller*) [1].

Najveća primena kompresora velike snage je u industriji nafte i gasa. Jedna platforma za eksploataciju tečnog naftnog gasa (TNG) je vrlo kompleksan sistem sačinjen od velikog broja različite opreme koja tako integrisana zahteva kompleksna rešenja automatizacije.

U zavisnosti od aplikacije postoji veliki broj različitih vrsta kompresora koji se primenjuju u industriji nafte i gasa. Savremeni kompresorski sistemi koji se danas najčešće koriste su [2]:

- Jednoosovinski centrifugalni kompresor (*eng. Single Shaft Centrifugal Compressor*) koji je prikazan na slici 1,
- Centrifugalni kompresor za cevovod (*eng. Pipeline Centrifugal Compressor*),
- Hermetički zatvoren centrifugalni kompresor (*eng. Hermetically Sealed Centrifugal Compressor*),
- Višeosovinski centrifugalni kompresor (*eng. Integrally Geared Centrifugal Compressor*),
- Recipročni ili naizmenični kompresor (*eng. Reciprocating Compressor*).

Zbog kompleksnosti savremenih kompresorskih sistema, sistem automatizacije zahteva određenu arhitekturu kontrolnih sistema tj. ormara upravljanja. Radi lakše kontrole i nadzora celog postrojenja najčešće se arhitektura sistema realizuje na taj način da svaki podsistem postrojenja ima poseban orman upravljanja. S tim u vezi u jednom takvom sistemu postoji orman za upravljanje glavnim motorom kompresora MV-MCC (*eng. Medium Voltage – Motor Control Center*). Upravljanje sistemima za podmazivanje, hlađenje kao i za zagrevanje je uglavnom integrisano u jedan orman LV-MCC (*eng. Low Voltage – Motor Control Center*). Sistem prinudnog zaustavljanja je integrisan u orman ESD (*eng. Emergency Shutdown*), a merno regulacioni sistem u orman UCP (*eng. Unit Control Panel*). Glavni orman u postrojenju je distribuirani kontrolni sistem DCS (*eng. Distributed Control System*), sa kojim se vrši nadzor i



Slika 1. Jednoosovinski centrifugalni kompresor sa horizontalni tipom kućišta [2]

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Boris Dumnić, vanr. prof.

upravljanje svih ormana koji izvršavaju određene kontrolne petlje. Takoreći, DCS predstavlja mozak celog sistema neke fabrike. Arhitekturom sistema se takođe definiše broj razvodnih kutija u polju JB (*eng. Junction Box*), koji služe za prikupljanje signala sa mernih instrumenata, i lokalnih kontrolnih panela LCP (*eng. Local Control Panel*), koji omogućavaju izvršne funkcije operateru na licu mesta.

U ovom radu prikazan je način realizacije kontrolnog sistema za kompresor koji se koristi u hemijskoj industriji za transport hlora. Hlor je gas žuto zelene boje koji je na sobnoj temperaturi u gasovitom obliku. Za ovu konkretnu aplikaciju predviđa se upotreba jednoosovinskog turbokompresora sa 3 procesna nivoa (*eng. Multi Stage Single Shaft Turbocompressor Train*), sa horizontalnim tipom kućišta. Kompresor pogoni električni asinhroni motor snage 350 kW, nazivnog napona 3,3 kV i nominalne brzine 1780 obrtaja po minuti. Pored samog kompresorskog sistema koji služi za transport gasa, za realizaciju ovog pogona potrebna je i implementacija sledećih upravljačkih jedinica:

- Jedinica sa uljem za podmazivanje,
- Jedinica sa azotom, koji služi za gasno zaptivanje sistema,
- Jedinica za hlađenje sistema vodom,
- Jedinica za upravljanje i nadzor glavnog motora,
- Jedinica za nadzor vibracija i brzine kompresora.

## 2. UPRAVLJANJE KOMPRESORSKIM SISTEMOM

U cilju upravljanja ovakvim sistemom potreban je kontrolni sistem ili kontrolni ormar, koji služi da prikupi procesne signale, obradi ih i emituje određene upravljačke signale ka sistemu. Kontrolni sistem može da se sastoji iz jednog ili iz više kontrolnih ormana, razvodnih ormana u polju i lokalnih kontrolnih stanica, sa ili bez HMI (*eng. Human Machine Interface*) upravljačkih panela. Navedene ormane može obezbediti jedan dobavljač ili više njih u zavisnosti od zahteva klijenta. Ovo sve zavisi od vrste i složenosti aplikacije, na osnovu koje se definiše projektni zadatak.

### 2.1 Opis projektnog zadatka za realizaciju merno regulacionog sistema

Projektni zadatak se formira na osnovu zahteva klijenta, ali i tehničkih preporuki koje su pripremljene i predstavljene klijentu u fazi prodaje. U ovom delu rada razmatra se projektni zadatak za dizajniranje i proizvodnju UCP-a tj. kontrolnog panela za merno regulacioni sistem.

Pred inženjera su postavljeni sledeći zahtevi vezani za sam kompresorski sistem i prateću opremu:

- SIMATIC S7 PLC sistem,
- SIMATIC TP1200 Comfort Touch Panel HMI,
- Sprežni releji za povezivanje digitalnih signala između UCP-a i ostalih sistema,

- Sekcija u ormanu za prikupljanje signala (*eng. Marshaling*),
- Galvanski izolatori za povezivanja između UCP-a i DCS-a,
- Vibrocontrol VC6000 Compact Monitor, uređaj za nadzor vibracija i brzine kompresora,
- Lampe i tasteri na vratima UCP-a,
- SIMATIC ET 200M – periferni ulazno izlazni modul (*eng. RIO – Remote IO*),
- Razvodne kutije u polju,
- Izvođenje radova i povezivanje instrumentacije.

Na osnovu predviđene pozicije kontrolnog ormana u postrojenju i klasifikacije oblasti u kojoj će orman biti postavljen definisano je sledeće:

- Slobodnostojeći orman u bezbednoj zoni (*eng. non-hazardous area*),
- Bez posebne zaštite od atmosferskog pražnjenja i zemljotresa,
- Temperatura okoline: od +5 do +40°C,
- IP54 tip zaštite,
- Materijal: čelik,
- Standardna debljina zidova ormana,
- Proizvođač: Rittal,
- Tip: VX25,
- Boja ormana: RAL 7035,
- Boja cikle, RAL 9005,
- Bez sistema za grejanje ormana.

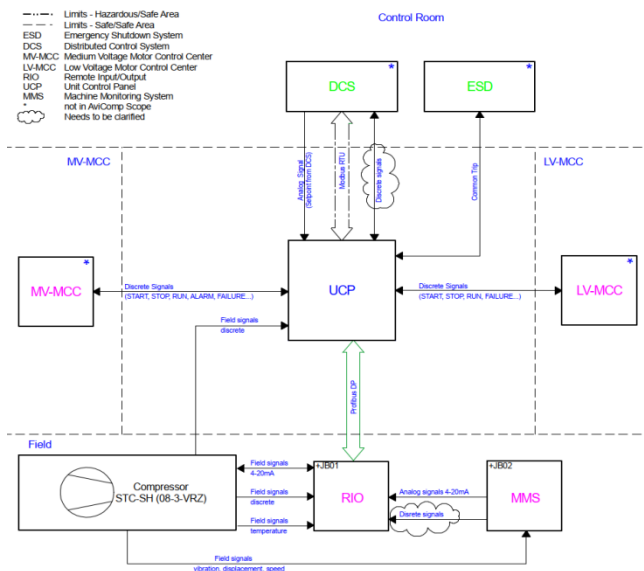
Takođe je potrebno da se obezbedi ventilacija prema proračunu termičke disipacije elemenata u ormaru.

### 2.2 Realizacija projektnog zadatka – osnovni inženjering

Prvi korak u realizaciji projektnog zadatka je izrada osnovnog paketa dokumenata, koji podrazumeva osnovni inženjering. Ulazni podaci se dobijaju iz dva dokumenta:

- Tehnička specifikacija ili projektni zadatak, koji je opisan u prethodnom delu i
  - Procesni dijagram P&ID (*eng. Process & Instrumentation Diagram*).
- Osnovni inženjering obuhvata radni paket, koji se sastoji od sledećih dokumenata:
- Lista signala,
  - Arhitektura sistema, koja je prikazana na slici 2,
  - Tipična kontrolna kola,
  - Lista kablova,
  - Izgled glavnog ormana upravljanja (spoljašnji i unutrašnji),

- Proračun potrošnje snage elemenata u ormaru po napajanjima,
- Proračun disipacije toplote,
- Šema distribucije snage i šema uzemljenja,
- Lista i izgled nalepnica na ormanu,
- Izgled razvodnih kutija u polju (spoljašnji i unutrašnji).



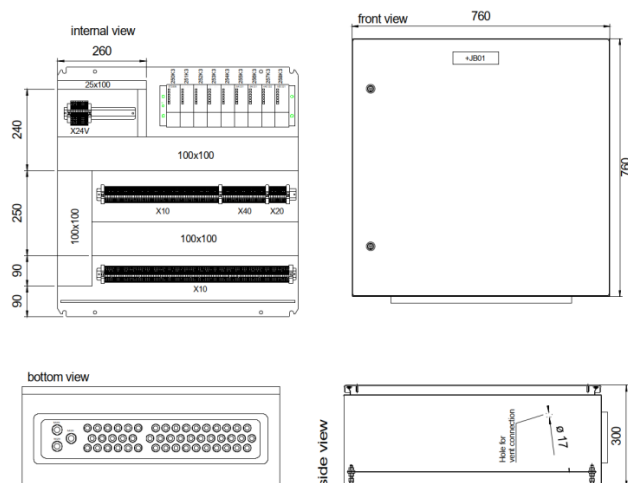
Slika 2. Arhitektura sistema

### 2.3 Realizacija projektnog zadatka – detaljni inženjering

Paket dokumenata koji podrazumeva detaljni inženjering je sledeći:

- Šema ormara i razvodnih kutija,
- Lista klema,
- Lista kablova,
- Lista opreme (zasebno po ormarima i razvodnim kutijama).

Pored ovih dokumenata potrebno je kreirati i finalni izgled ormara upravljanja i svih razvodnih kutija. Izgled jedne razvodne kutije prikazan je na slici 3.



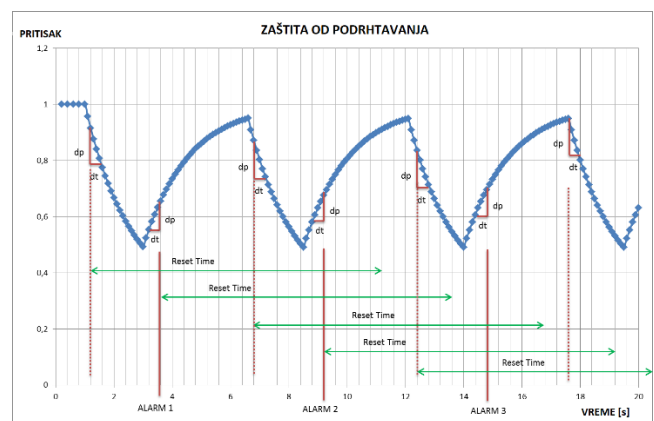
Slika 3. Izgled jedne razvodne kutije

### 2.4 Funkcionalni opis kompresorskog sistema

Funkcionalni opis kompresorskog sistema je dokument koji klijentu obezbeđuje jasan uvid u logiku softvera i sekvence upravljanja postrojenjem. Glavne funkcije upravljanja postrojenjem koje su integrisane u UCP su sledeće:

- Kontrola performansi (*eng. performance control*),
- Kontrola podrhtavanja kompresora (*eng. anti-surge control*),
- Kontrola pomoćne uljne pumpe (*eng. control of auxiliary oil pump*),
- Kontrola grejača za ulje (*eng. control of oil heater*),
- Kontrola ulazne vodilice (*eng. control of inlet guide vane - IGV*),
- Kontrola šant ventila (*eng. control of bypass valve - BPV*),
- Kontrola ventila za otpadni gas (*eng. control of waste gas valve - WGV*),
- Kontrola ventila za zaptivni gas (*eng. control of seal gas valve - SGV*).

Kontrola BPV ventila je vrlo bitna u pogonima kompresora, jer taj ventil predstavlja glavni kontrolni element takozvane „anti-surge“ kontrole, ili kontrole podrhtavanja kompresora [3]. Podrhtavanje podrazumeva fluktuacije pritiska i protoka u kompresoru, koje mogu dovesti do ozbiljnih mehaničkih oštećenja, pa čak i do uništenja kompresora [4]. Do podrhtavanja uglavnom dolazi kada gas na izlaznoj strani kompresora, iz nekog razloga, ne može da nastavi svoj tok dalje u proces u datom trenutku. U ovakvim situacijama gas se pomoću BPV ventila i cevovoda vraća na ulaz kompresora, čime mu se obezbeđuje recirkulacija ili se pomoću WGV ventila ispušta u atmosferu. Funkcionalnost softvera treba da obezbedi alarmno stanje i stanje isključenja prilikom pojave čestih podrhtaja. Prilikom svakog podrhtaja postepeno se otvara BPV, a kada se desi definisani maksimalni broj podrhtaja u definisanom vremenskom opsegu, otvara se BPV na maksimum, otvara se WGV na maksimum, i generiše se sigurnosni trip koji gasi mašinu. Varijacija pritiska gasa prilikom pojave podrhtavanja kompresora prikazana je na slici 4.



Slika 4. Varijacija pritiska gasa sa uključenom zaštitom od podrhtavanja kompresora

### 3. PRAVILA RADA SA OPREMOM KOJA SE INSTALIRA U EKSPLOZIVNIM ZONAMA

Kao što je već navedeno kompresorski sistemi velikih snaga se instaliraju za namenu transporta industrijskih gasova. Većina industrijskih gasova su zapaljive prirode, kao što je, na primer, tečni naftni gas a mnogi zapaljivi materijali gore u spoju sa hlorom (npr. sa kiseonikom). Dodatno zapaljivi gasovi i isparenja zapaljivih tečnosti prave sa hlorom eksplozivne smese, hlor reaguje eksplozivno sa mnogo hemijskih supstanci a posebno sa acetilenom, eterom, ugljovodonicima i dr.

Zbog same izloženosti kompletnog postrojenja ovakvim zapaljivim gasovima, vrlo je bitno biti upoznat sa pravilima projektovanja pogona koji se nalaze u eksplozivnim sredinama. Eksplozija predstavlja burnu i destruktivnu reakciju između zapaljive materije, kiseonika i izvora zapaljenja u nekontrolisanim uslovima, slika 5 [5].



Slika 5. Uslovi za nastanak eksplozije [5]

Zarad zaštite ljudskih života, na prvom mestu, i zarad sprečavanja materijalne štete, uvedeni su određeni principi i standardi, koji definišu adekvatne načine zaštite od eksplozija.

#### 3.1 Sekundarna zaštita od eksplozija i principi zaštite

Sekundarna zaštita od eksplozija podrazumeva klasifikaciju opasnih sredina u zone, prema učestanosti javljanja eksplozivne sredine. Klasifikacija opasne sredine u zone podrazumeva definisanje realnih prostornih okvira u kojim se može javiti eksplozivna atmosfera. Za opasne gasove i pare, zone se dele na:

- Zona 0 – definiše prostor u kom se zapaljivi gas ili para javlja vrlo često, ili su kontinualno prisutni.
- Zona 1 – definiše prostor u kom se isti takav gas (para) uglavnom javlja pri normalnom radu.
- Zona 2 – definiše prostor u kom se zapaljivi gas (para) ne pojavljuju u normalnom radu, ili ako se pojave, traju kratak vremenski period. Ovakvu podelu eksplozivnih sredina prihvatili su uglavnom sva tela za standardizaciju, kao što su IEC 60079 standard, koji se poštuje u celom svetu i NEC 505 standard koji se poštuje u Sjedinjenim Američkim Državama.

Principi zaštite su definisani kako bi se ograničio izbor opreme, tj. kako bi se isključila iz upotrebe oprema koja potencijalno može da izazove eksploziju. Za raznovrsnu opremu električnu i neelektričnu definisan je sigurnosni nivo opreme EPL (*eng. Equipment Protection Level*). EPL se deli na EPL a, b i c sa veoma visokim, visokim i normalnim nivoom zaštite, respektivno. Postoje četiri

principa zaštite koji mogu sprečiti da oprema postane izvor zapaljenja. U zavisnosti od implementacije opreme, primenjuje se i odgovarajući princip zaštite. Ono što je cilj sva četiri principa je da obezbedi, da oprema ne dostigne temperaturu zapaljena okolne sredine. Svi načini za zaštitu od eksplozija i za definisanje principa zaštite su predstavljeni u standardima EN IEC 60079-0 za električne uređaje i EN ISO 80079-36, -37 za ne električne uređaje [5].

### 4. ZAKLJUČAK

Savremena industrija nafte i gasa, kao i različite grane hemijske industrije zahtevaju upotrebu kompresorskih sistema velikih snaga u cilju transporta industrijskih gasova. Upravljanje kompresorskim sistemima predstavlja zahtevan inženjerski zadatak koji zahteva realizaciju kompleksnih upravljačkih sklopova kao i programa za upravljanje. Dodatni izazov predstavlja i činjenica da transport industrijskih gasova najčešće podrazumeva i rad sa opremom koja se instalira u eksplozivnim zonama. U ovom radu su prikazani neki od osnovnih inženjerskih zadataka koji se očekuju prilikom realizacije merno regulacionog sistema jednog savremenog kompresorskog sistema velike snage.

### 5. LITERATURA

- [1] S. Mokhatab, W. A. Poe and J. G. Speight „Handbook of Natural Gas Transmission and Processing“, Elsevier, 2006.
- [2]<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/compression.html>
- [3] T. Besselmann, A. Cortinovis, and all „Control and Productivity, Saving the day – electric driven gas compressor control“ ABB review, July 2017.
- [4] A. Cortinovis, D. Pareschi, M. Mercangoez, T. Besselmann „Model Predictive Anti-Surge Control of Centrifugal Compressors with Variable-Speed Drives“, 2012 IFAC Workshop on Automatic Control in Offshore Oil and Gas Production
- [5] „Basic concepts for explosion protection“, dostupno na <https://www.bartec.de/en/safety-academy/basic-concepts-for-explosion-protection/>

#### Kratka biografija:



**Luka Janičić** rođen je u Rumi 1994. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2017. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetska elektronika i električne mašine odbranio je 2019.god.

kontakt: janicicluka@gmail.com



**Boris Dumnić** je diplomirao 2003. godine na Univerzitetu u Novom Sadu, Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti elektrotehnika i računarstvo. Od 2004. godine zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Magistarski rad je odbranio 2007. godine a 2013 godine je odbranio i doktorsku tezu. Oblast interesovanja su mu elektromotorni pogoni, energetska elektronika i obnovljivi izvori električne energije.