

Zamena Vard-Leonardove grupe suvim transformatorom i primena tiristorskih i frekventnih regulatora

Dragan Brajović¹, Aleksandar Dorđević¹

REZIME

U rudarskom basenu Kolubara koji koristi preko 15 starih rotornih bagera, od kojih su neki u pogonu od 1966 godine, osnovni problemi su zastarelost opreme koja se više ne proizvodi i koju je veoma teško popraviti a isto tako na mestu starih elektro delova, ugraditi nove koje se ne uklapaju dimenzijama a pri tome traže velike popravke postolja i ormana. Revitalizacija ovih bagera je osnovni cilj u poboljšanju samog rada i sigurnosti bagera. Revitalizacija bagera SRs 1200 zvanog G4 donosi ogromne prednosti. Uklanjanje starih generatora koji su bili zaduženi za jednosmeran napon koji je napajao motore transporta i pogona kružnog i implementiranje suvog transformatora koji je zadužen za napajanje regulatora predstavlja ogroman korak ka modernizaciji. Prednosti novog sistema upravljanja jeste u mikroprocesorskoj zaštiti i upravljanju. Prednosti regulatora se baziraju na preciznijem i sigurnijem radu elektro pogona, podešavanjem i praćenjem raznih parametara koji nam pomažu pri radu.

Ključne reči: revitalizacija, frekventni regulatori, tiristorski regulatori

Replacing the Vard Leonard group with a dry transformer and implementing thyristor and frequency driver

ABSTRACT

In the mining basin Kolubara, which employs over 15 old rotary excavators, some of which have been in operation since 1966, the primary problems are equipment obsolescence. This includes machinery that is no longer manufactured and is very difficult to repair, as well as the challenge of installing new electrical components in place of old ones, which do not fit the dimensions and require extensive repairs to pedestals and cabinets. The revitalization of these excavators is the main goal in improving their operation and safety. Revitalizing the SRs 1200 excavator, called G4, brings enormous benefits. Removing the old generators responsible for supplying direct current to the transport and circular drive motors and implementing a dry transformer responsible for supplying power to the regulators represents a huge step towards modernization. The advantages of the new control system lie in microprocessor-based protection and management. The benefits of the regulator are based on more precise and safer operation of the electrical drive, adjustment, and monitoring of various parameters that help us in our work.

Key words: revitalization, frequency ACS drivers, thyristor DC driver

¹Fakultet tehničkih nauka, Svetog Save 65, Čačak

1.Uvod

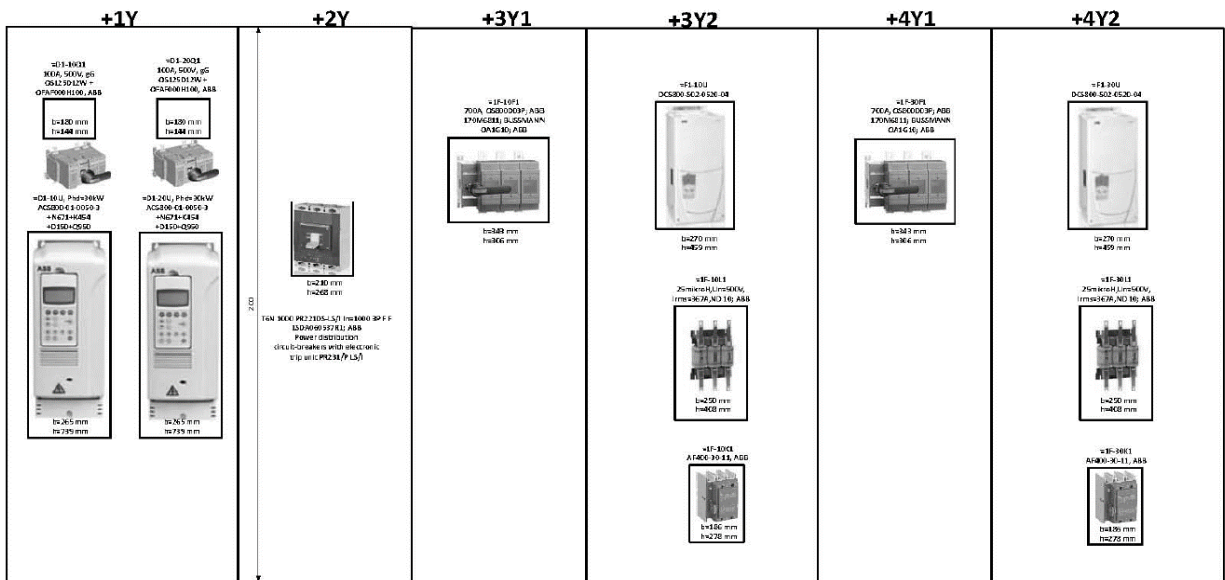
Kao polazna osnova za revitalizaciju elektro sistema su iskustva stečena pri rekonstrukciji sistema upravljanja rotornim bagerom SRs 1200 G1 koji se nalazi na Polju E (staro polje B), i iskustva primene regulisanih elektromotornih pogona na pogonima transporta i kružnog na SRs 1300 G8 i SRs 2000 na PK Tamnava zapadno polje.

U skladu sa projektnim zadatkom, regulisani pogoni na bageru realizovani su statičkim pretvaračem. Napajanje je predviđeno iz novog suvog transformatora (=U1+T3-T3) 630kVA, 6/0,4kV.

Izbor snage transformatora je izvršen na osnovu detaljnog proračuna. Polazna pretpostavka za proračun je da je najnepovoljniji režim rada transformatora kada bager ide u dugačak transport, kada su motori opterećeni u trajnom radu. Na osnovu ovog proračuna usvojena je snaga od 630 kVA. NN mreža za napajanje pretvarača je izolovana i za ovu mrežu potvrđen je kontrolnik izolacije Bender IRDH275.

U ovom slučaju je izabrano rešenje koje podrazumeva primenu tiristorskih pretvarača DCS 800 i frekventnih pretvarača ACS 880, proizvođača ABB. Ova oprema se već primenjuje u Kolubari na drugim mašinama tako da postoje određena iskustva osoba u radu i delimični set rezervnih delova.

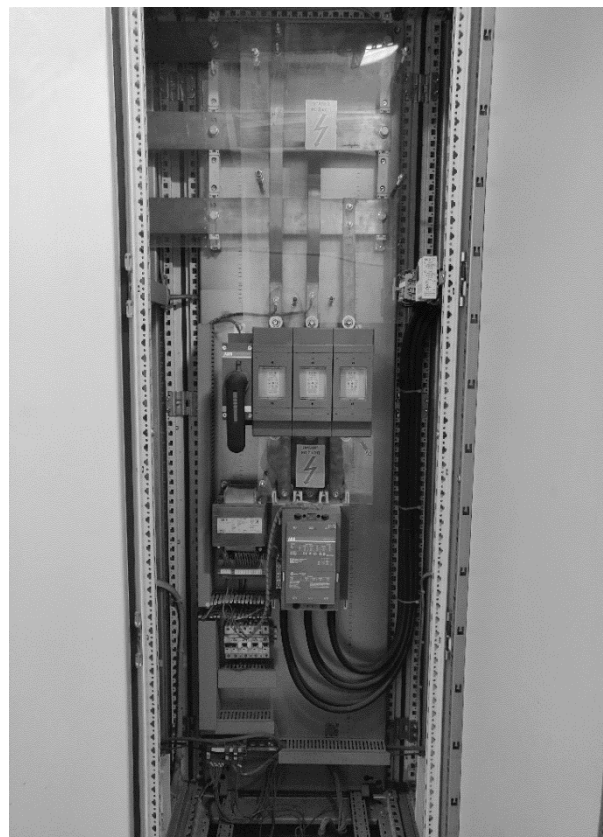
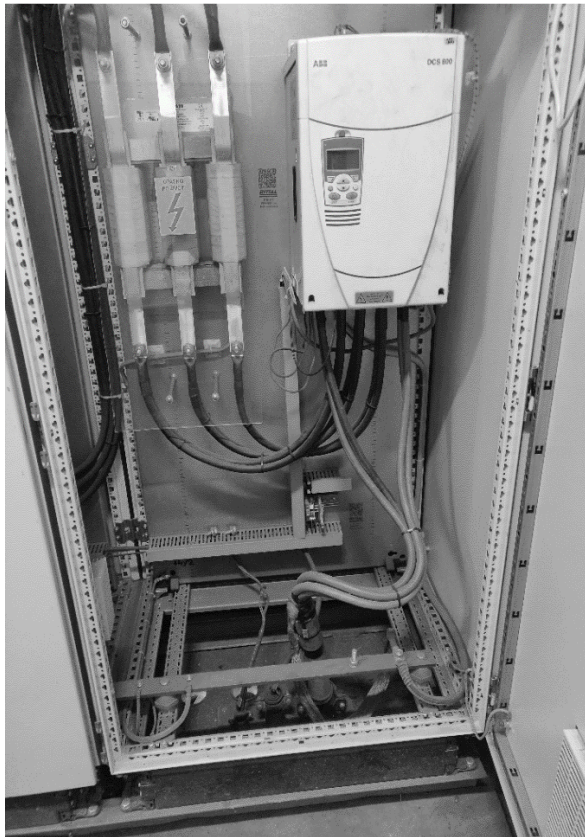
Projektom je predviđena i zamena starih ormana koji su se koristili za snagu i komandu pogona transporta i pogona kružnog, novim ormanima +4Y1, +4Y2, +3Y1, +3Y2, +2Y, +1Y. Deo gde su se nalazili stari ormani se pregrađuje i klimatizuje se za potrebe hlađenja regulatora.



Slika 1. Novi ormani

2. Tiristorski regulator

Tiristorski regulator kao složen sistem za kontrolu snage obuhvata nekoliko ključnih komponenti koje omogućavaju njegov pravilan rad. Glavna aktivna komponenta tiristorskog regulatora su tiristori. Oni služe kao prekidači koji omogućavaju kontrolu struje koja prolazi kroz opterećenje. Tiristori se aktiviraju putem signala sa kapija (gejt) i ostaju uključeni dok se ne prekine snabdevanje strujom. Osim osnovnog izvora napajanja, tiristorski regulator može imati i dodatne napone za upravljanje kola i druge funkcije. Upravljačko kolo generiše signale koji se koriste za kontrolu tiristora. Ovo kolo obično pretvara niske naponske signale u visoke naponske impulse koji se koriste za aktiviranje tiristora. Tiristorski regulator obično sadrži zaštitne funkcije koje štite uređaj od preopterećenja, kratkih spojeva, gubitaka faze i drugih potencijalnih problema. Ovi zaštitni sklopovi mogu automatski isključiti tiristorski regulator u slučaju kvara. Tiristorski regulatori obično proizvode toplotu tokom rada zbog gubitaka u snazi. Zbog toga, hlađenje je ključna komponenta koja omogućava održavanje optimalne temperature. To može uključivati upotrebu ventilatora, hladnjaka i drugih sistema hlađenja.



Slika 2. Orman +3Y1 i +3Y2

3.Frekventni regulator

Frekventni regulator je elektronski uređaj koji se koristi za kontrolu brzine elektromotora promenom frekvencije napajanja. Princip rada je zasnovan na promeni frekvencije i napona koji se isporučuje elektromotoru. Frekventni regulatori koriste napredne tehnologije poput PWM i SVPWM kako bi preciznije kontrolisali širinu impulsa i vreme trajanja impulsa napajanja motora. Mogu i imati dodatne funkcije kao što su zaštita od preopterećenja, zaštita od kratkog spoja, kontrola momenta i druge napredne kontrole. Frekventni regulator može imati povratne informacije o brzini motora putem enkodera, senzora ili drugih povratnih informacija. Pogon kružnog kretanja gornjeg dela, projektovan je sa dva nova šestopolna kavezna asinhrona motora (=D1+1Y-M1 i =D1+1Y-M2), sa odgovarajućim zasebnim frekventnim pretvaračima (single drive) (=D1+1Y-10U i =D1+1Y-20U). Frekventni pretvarači su opremljeni čoperom za kočenje, koji su povezani na kočione otpornike (=D1+1Y-10R i =D1+1Y-20R). Odabrani su motori od 30kW, 400V, 300-1000 o/min. Snaga motora je 60% veća od snage postojećih starih jednosmernih motora. Snaga pretvarača je takođe 30kW, ali za teške uslove rada (heavy-duty use). Frekventni pretvarači su sa sistemom upravljanja povezani preko Profibus mreže. Algoritam upravljanja će obezbediti upravljanje ovim pretvaračem, start, stop, promena brzine a posebno je važno da se obezbedi ravnomerna raspodela opterećenja.



Slika 3. Orman +1Y

4. Lokacija

Smeštaj novih pretvarača za regulisane pogone je projektovan u novim ormanima, koji su postavljeni na mestu ormana komande i snage kružnog i transporta. Raspored opreme je sledeći:

+1Y – dva frekventna pretvarača za pogon okreta i dva osigurača-rastavljača

+2Y – dovodni prekidač sa transformatora T3

+3Y1 – jedan osigurač-rastavljač, kontaktor i mrežna prigušnica za napajanje ispravljača za pogon transporta

+3Y2 – jedan tiristorski ispravljač za motore transporta M1 i M2

+4Y1 – jedan osigurač-rastavljač, kontaktor i mrežna prigušnica za napajanje ispravljača za pogon transporta

+4Y2 – jedan tiristorski ispravljač za motore transporta M3 i M4

Navedeni ormani su sa stepenom zaštite IP55. Za smeštaj navedenih ormana treba formirati odgovarajuće okruženje, tako što će se napraviti pregrada u prostoriji, da bi se odvojio deo sa transformatorom T3. Približne dimenzije ovako formirane prostorije će biti 5,9x2,5x2,2m. Pregrada treba da je od zidnih sendvič termoizolacionih panela sa odgovarajućom nosećom konstrukcijom. Preostala tri zida, tavanicu i pod takođe obložiti istim panelima. Predviđeni su paneli debljine od 100mm, sa termičkom provodnošću od 0.20 W/m²K

5. Izbor motora i pretvarača

Transport bagera se vrši pomoću četiri gusenice, svaka gusenica ima svoj pogon, motor i reduktor. Postojeće rešenje napajanja motora je iz dva generatora sa zajedničkim pogonskim motorom. Jedan generator je napajao dva redno vezana motora. Upravljanje pravcem kretanja vrši se podešavanjem brzine gusenica. Na pogonu transporta bagera projektom rekonstrukcije zadržani su postojeći jednosmerni motori 76kW, 210V, 400A, 500-1000/min, sa nezavisnom pobudom. Zadržan je postojeći način rednog vezivanja po dva motora. Kriterijum izbora pretvarača je da u trajnom radu može da obezbedi 1.3 nominalnog momenta motora u slučaju jednosmerne struje motora to znači da struja ispravljača mora da bude 1.3 nominalne struje motora.

$$I_{\text{nom isp}} = 1,3 \times I_{\text{nom mot}} = 1,3 \times 400 = 520\text{A} \quad (1)$$

Izabran je ispravljač proizvođača ABB iz serije DCS800 za četvoro kvadratni rad (DCS800-S02-0520-04/05). Ispravljač je predviđen za napajanje na 400V.

Postojeći pogon okreta, realizovan je sa dva redno vezana jednosmerna motora, nominalnih podataka 17kW, 220V, 300-1000/min. U dosadašnjoj eksploataciji uočeno je značajno preopterećenje motora okreta, tako da je investitor zahtevao povećanje snage ovih motora za 60% (27,2kW), zbog čega je izabran motor od 30kW, nominalnih podataka 400V, 975o/min, 56A, 294Nm. Korišćenjem standardnog kriterijuma za izbor pretvarača koji omogućava trajni rad sa 1.3 nominalnog momenta, odabran je pretvarač ABB serije ACS880 (ACS880-01-072a-3).

6. Zaštita frekventnih pretvarača od kratkog spoja

Za pretvarač tipa ACS880-01-071a.3 (po preporuci proizvođača) usvojeni su ultrabrzi osigurači (aR) za poluprovodnike firme Busmman sledećih karakteristika.

Tabela1. Nazivni podaci osigurača za frekventne pretvarače

Pogon	Oznaka u projektu	Minimalna struja kratkog spoja	Nazivna struja osigurača	Nazivna struja FP	Oznaka proizvođača
		[A]	[A]	[A]	[A]
ACS880	=D1-10Q1	480	125	72	170M1568
ACS880	=D1-20Q1	480	125	72	170M1568

Prema kataloškim podacima proizvođača sa osigurače tipa aR nazivne struje 125A, minimalna struja kvara koju može ovaj osigurač da prekine je 480A. U izolovanoj IT niskonaponskoj mreži iz koje se napajaju frekventni pretvarači, struja kvara je struja dvofaznog kratkog spoja, pri čemu se napon umanjuje za 20%.

$$I_{k_2ph} = \frac{0.8 \cdot U_n}{2 \cdot \sqrt{(R_T + R_k)^2 + (X_T + X_k)^2}} \quad (2)$$

U_n – fazni napon

R_k, X_k – aktivna i reaktivna otpornost faznog provodnika

R_T, X_T – aktivna i reaktivna otpornost transformatora

Usvojeni kabl tipa EpN55 3x35/16 za napajanje motora okretanja iz frekventnih pretvarača, koji se nalaze u ćeliji +1Y, je dužine 60m. Jedinične podužne vrednosti osnovnih parametara ovog kabla su:

- Podužna otpornost 0.565 Ω /km
- Podužna induktivnost 0.082 mH/km
- Podužna reaktansa 0.027 Ω /km

Otpornost i reaktansa usvojenog kabla za pogon okretanja je:

$$R_{k_35mm^2} = 0.565 \cdot 0.06 = 0.0339[\Omega] \quad (3)$$

$$X_{k_35mm^2} = 0.0257 \cdot 0.06 = 0.0015[\Omega] \quad (4)$$

Otpornost i reaktansa transformatora T3 na niskonaponskoj strani je:

$$R_T = 0.0021[\Omega], X_T = 0.0099[\Omega] \quad (5)$$

Otpornost i reaktansa pet paralelno vezanih kablova EpN55 3x70/35, dužine 20m, za povezivanje sekundara transformatora T3 i 0.4 sabirnice u ormanu +2Y zanemarujemo zbog malog uticaja na rezultate proračuna.

Struja dvofaznog kratkog spoja iznosi:

$$I_{k_2ph} = \frac{0.8 \cdot U_n}{2\sqrt{(R_T + R_k)^2 + (X_T + X_k)^2}} \quad (6)$$

$$I_{k_2ph} = \frac{0.8 \cdot U_n}{2\sqrt{(0.0021 + 0.0339)^2 + (0.0099 + 0.0015)^2}} \quad (7)$$

Vrednosti minimalne struje kvara, struje dvopolnog kratkog spoja, je veća u odnosu na minimalnu struju reagovanja osigurača.

$$I_{k_2ph} = 4.22[\text{kA}] > I_{m_{os}} = 0.480[\text{kA}] \quad (8)$$

Usvojeni osigurači se mogu pouzdano koristiti za zaštitu frekventnih pretvarača od kratkog spoja.

7. Zaštita statičkih ispravljača od struja kratkog spoja

Za ispravljač tipa DCS800-S02-0520-04 usvojeni su ultrabrzi osigurači za poluprovodnike firme Busmman sledećih karakteristika:

Tabela 2. Nazivni podaci osigurača za statičke ispravljače

Pogon	Oznaka u projektu	Minimalna struja kratkog spoja	Nazivna struja osigurača	Nazivna jednosmerna struja osigurača	Oznaka proizvođača
		[A]	[A]	[A]	[A]
DCS800	=F1-10Q1	2.500	700	520	170M6811D
DCS800	=F1-20Q1	2.500	700	520	170M6811D

Prema kataloškim podacima proizvođača za osigurače tipa 170M6811D, veličine tri nazivne struje 700A, ima minimalnu vrednost struje kvara oko 2500A koju može pouzdano da prekine.

Pogon okreta i transporta napajaju se sa istih 0.4kV sabirnica. Prethodni proračun struje dvopolnog kratkog spoja važi i za proveru opreme u pogon transporta. Vrednost minimalne struje kvara na 0.4kV sabirnicama niskonaponskog razvoda sa koga se napajaju ispravljači u pogonu transporta bagera je veća u odnosu na minimalnu struju reagovanja osigrača.

$$I_{k_2ph} = 4.22[\text{kA}] > I_{m_{os}} = 2.5[\text{kA}] \quad (9)$$

Usvojeni osigurači se mogu pouzdano koristiti za zaštitu statičkih ispravljača od kratkog spoja.

8. Prividna snaga statičkog ispravljača

Trofazni tiristorski punoupravni most napaja se preko transformatora sa prenosnim odnosom 6/0.4kV i sprege namotaja primara i sekundara Dy. Prividna snaga trofaznog tiristorskog punoupravnog mosta data je izrazom u kome figurišu maksimalna vrednost faznog napona sekundara transformatora i jednosmerna struja na izlazu iz mosta.

$$S = \sqrt{3}U_{fmax}I_{DC}$$

$$U_{fmax} = \sqrt{2}U_f$$

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$$

U_{fmax} – maksimalna vrednost faznog napona

U_f – efektivna vrednost faznog napona

U_l – efektivna vrednost linijskog napona

I_{DC} – izlazna jednosmerna struja

$$S = \sqrt{3}U_{fmax}I_{DC} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}U_f \cdot I_{DC} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{U_l}{\sqrt{3}} \cdot I_{DC} = \sqrt{2} \cdot U_l \cdot I_{DC} \quad (10)$$

Nakon sređivanja prethodnih izraza dobija se izraz za prividnu snagu trofaznog tiristorskog punoupravnog mosta u kome figurišu efektivna vrednost linijskog napona sekundara transformatora i jednosmerna struja na izlazu iz mosta.

$$S = \sqrt{2} \cdot U_l \cdot I_{DC} = \sqrt{2} \cdot 400 \cdot I_{DC} \quad (11)$$

Ako pretpostavimo da je jednosmerna struja motora jednaka nazivnoj vrednosti $I_{an}=425.17A$ i da je ispravljač priključen na mrežu nazivnog napona 400V, dobija se prividna snaga transformatora za jedan statički ispravljač u pogonu transporta:

$$S = \sqrt{2} \cdot 400 \cdot I_{DC} = \sqrt{2} \cdot 400 \cdot I_{an} = \sqrt{2} \cdot 400 \cdot 425.17 = 240.85kVA \quad (12)$$

Nazivni napon indukta jednosmernog motora transporta je 210V. Maksimalna vrednost jednosmernog napona statičkog ispravljača u dvokvadratnom radu iznosi 464V, dok je u četvorotaktnom radu 415V. S obzirom da je napon na izlazu iz statičkog ispravljača veći od dvostruke vrednosti nazivnog napona jednosmernih motora i da je nazivna jednosmerna struja statičkog ispravljača veća od nazivne struje motora, to se dva jednosmerna motora mogu vezati na red i napajati iz jednog statičkog ispravljača. Prividna snaga usvojenog statičkog ispravljača ostaje ista ako se priključe na njega dva redno vezana jednosmerna motora pogona transporta.

9. Zaključak

Na rotornim bagerima, Vard Leonardove grupe koje su u pogonu od sedamdesetih godina prošlog veka, mogu se uočiti određeni nedostaci u postojećem sistemu rada. Stariji pogoni, karakteristični za tu eru mogu pokazati ograničenja u pogledu kontrole brzine, efikasnosti, pouzdanosti i održavanja. Na primer, nedostatak precizne kontrole brzine može dovesti do nedovoljne efikasnosti u radu, stariji sistemi mogu zahtevati češće intervencije i visoke troškove održavanja. Uvođenjem tiristorskih i frekventnih regulatora, moguće je prevazići ove nedostatke i ostvariti značajne prednosti. Primarno, novi regulatori omogućavaju preciznu kontrolu brzine rotacije bagera, što rezultira boljim upravljanjem u različitim uslovima rada. Osim toga, povećana energetska efikasnost, smanjeni troškovi održavanja i veća pouzdanost rada, predstavlja ključne benefite uvođenja ovih modernih tehnologija. Modernizacija pogona rotornih bagera u Kolubari putem ugradnje tiristorskih i frekventnih regulatora predstavlja ključni korak ka poboljšanju performansi, efikasnosti i pouzdanosti rada, čime se osigurava efikasno i održivo funkcionisanje sistema eksploatacije uglja u rudarskim basenima.

10. Literatura

1. Pravilnik o tehničkim zahtevima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina [sl.gl. RS br.96]
2. Pravilnik o tehničkim normativima za električna postrojenja i uređaje u rudnicima sa površinskom eksploatacijom mineralnih sirovina [sl.list SFRJ br.66/87, 16/92, i sl.gl. RS br. 37/09]
3. Tehnički propisi za elektroenergetska postrojenja iznad 1000V [dodatak sl. list SFRJ br. 4/74 i 13/78]
4. Pravilnik o opštim merama i normativima zaštite na radu, oruđima za rad i uređajima [sl. list SFRJ br. 18/67]
5. Pravilnik o preventnim merama za bezbedan i zdrav rad pri korišćenju opreme za rad [sl.glasnik RS br. 20/2009, 123/2012, 102/2015, 101/2018]
6. SRPS standardi iz oblasti protiveksplozivne zaštite električnih uređaja izdatih od izvoda za standardizaciju grupe SRPS EN 60079
7. NOVAKABEL.com
8. www.abb.com/drives
9. www.abb.com/motor&drivers
10. www.rittal.de
11. Gat Novi Sad
12. JP EPS, Ogranak RB Kolubara investicije