

Realizacija postrojenja za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci na dopremi uglja u TE „Kostolac“

Realization of the Plant for Detection and Separation of Tramp Metal on the Conveyor Belt for the Delivery of Coal to TPP "Kostolac"

Željko V. Despotović, Dejan Đokić*, Boris Ilić*, Dragan Milisavljević**

Institut „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

* IMP Projekt Inženjering, Beograd, Srbija

** AD EPS TE „Kostolac“, Kostolac, Srbija

Rezime - U radu je prikazana realizacija tehničkog rešenja postrojenja za detekciju i izdvajanje metalnih delova na transportnoj traci broj 5 (UZ-5) na dopremi uglja sa površinskog kopa „Drmno“ (TE „Kostolac“). Osnovni elementi postrojenja su metal detektor i elektromagnetni separator. Svaki od ovih elemenata je montiran na robusnu mehaničku konstrukciju i poseduje sopstveni energetska orman i pripadajući upravljački sistem. Rad metal detektora i elektromagnetnog separatora je u tesnoj povezanosti i njihova realizacija je prilagođena tehničkim uslovima i zahtevima sistema za dopremu uglja. Elektromagnetni separator čine snažni elektromagnet 200Vdc/16kW i pripadajući kružni transporter pogonjen trofaznim asinhronim motorom snage 5,5kW. Napajanje elektromagneta je ostvareno putem trofaznog diodnog ispravljača izlaznog napona 200Vdc i maksimalne izlazne struje 100A. U radu su takođe opisani i problemi koji su se javili tokom puštanja u rad i u toku eksploatacije, kao i tehnička rešenja za njihovo prevazilaženje. Na kraju su dati prikazi i snimci pojedinih elemenata realizovanog postrojenja.

Ključne reči - termoelektre, elektromagnetni separator, metal detektor, transportna traka, doprema uglja

Abstract - The paper presents the realization of the technical solution of the plant for detection and separation of tramp metal (parts) on conveyor belt No5, for the delivery of coal from the surface mine „Drmno“ (TPP „Kostolac“). The basic elements of the plant are a metal detector and an electromagnetic separator. Each of these elements is mounted on a robust mechanical structure and has its own power cabinet and associated control system. The operation of the metal detector and the electromagnetic separator is closely related and their implementation is adapted to the technical conditions and requirements of coal delivery system. The electromagnetic separator consists of a powerful electromagnet 200Vdc/16kW and the associated circular conveyor driving by a 5.5kW three-phase asynchronous motor. The electromagnet is powered by a three-phase diode rectifier with an output voltage of 200Vdc and maximal output current of 80A. The paper also describes the problems that occurred during commissioning and exploitation

tests, as well as technical solutions to overcome them. At the end, there are views and shots of individual elements of the realized system.

Index Terms - Thermal power plants, Electromagnetic separator, Metal detector, Conveyor belt, Coal delivery

I UVOD

Tehnološka linija za proizvodnju, transport i preradu uglja, sistema (BTD) je jedinstvena proizvodna celina na površinskom kopu „Drmno“ koja je namenjena za neprekidan rad 24sati/7dana, tokom cele godine, osim u slučajevima planiranih i neplaniranih zastoja. Ceo sistem predstavlja jednu složenu celinu rudarskih mašina i objekata u nizu, čiji pojedinačni rad direktno zavisi od rudarske mašine/objekta koji je prethodio u odnosu na posmatrani, odnosno zaustavljanje jednog objekta u nizu, zaustavlja sve mašine/objekte iza njega [1, 2].

Zbog česte pojave otpada metalnih komada na transportnoj traci transporter, koji uglavnom nastaju radovima na održavanju mašina u kopu, postavljanjem samo detektora metala na određenoj transportnoj traci dolazi do njenog veoma čestog zaustavljanja i kao posledica ovoga svih delova sistema iza nje [3]. Ovo predstavlja veliki problem, jer ovi zastoji dovode do čestog startovanja transporter koji je vremenski relativno dug. U stvari velika je inercija celog sistema, zbog zahteva za duže vreme zaletanja pokretnih masa. Kao posledica ovoga su gubici u vremenskom iskorišćenju sistema na godišnjem nivou relativno visoki [4]. Na osnovu prethodnih činjenica se nametnula potreba za postavljanjem izdvajča metala (uglavnom se radi o čeličnim delovima) na lokaciji što bližoj mašinama za iskop uglja (bagerima i etažnim transporterima), gde se i generiše najveći deo metalnog otpada.

U početnom tehničkom zahtevu odabrana lokacija za postavljanje izdvajča metala je bila presipno mesto između transporter UZ-3 (prijemni ili predajni deo), koja je jedna od bližih traka na izlazu iz kopa. Nakon detaljnih analiza, a pre svega iz tehničkih razloga, odustalo se od ove lokacije, obzirom na dimenzije magnetnog izdvajča. Naime, bilo bi potrebno iseći

glavne stubove koji nose pogonske agregate tračnog transportera stanice, kao i levak presipa, a samim tim i odbojnu ploču, što bi predstavljalo komplikovan zahvat. Takođe, iz razloga bezbednosti pogonske stanice, nisu dozvoljene nikakve intervencije, a pogotovo sečenje stubova koji nose pogonske agregate tračnog transportera [1, 2].

Sečenje odbojne ploče i levka, dovelo bi do toga da materijal u presipu, umesto da udara u odbojnu ploču, udara u traku izdvađača čime bi ona za kratko vreme bila pokidana. Dodatni problem je predstavljalo postavljanje klizne ploče kojom se izdvojeni komadi metala izbacuju van sistema, a koji se odnosi na činjenicu da nema dovoljno prostora po visini. Alternativni predlog je bio da se izdvađač i detektor metala postave na sistem UZ-3, ispred pogonske stanice. Međutim, zbog nagiba pod kojim se nalazi ovaj sistem i taj predlog je postao tehnički neprihvatljiv [1, 2].

Kao kompromisno rešenje prihvaćen je predlog da se detektor i izdvađač postave na sistem UZ-5 (koji ima traku B2000) ispred pogonske stanice. Prema zahtevu investitora, detektor i izdvađač bi trebalo da imaju gabarite tako da mogu bez problema rade na trakama širine od 1800 mm do 2000 mm. S obzirom da je projektom obezbeđen ovaj uslov, detektor je postavljen u prazan prostor između sekcija 25 i 26, a izdvađač između sekcija 9 i 10. Predlog je bio takođe, da se prostor bez metalnih delova, potreban za postavljanje izdvađača obezbedi pomeranjem sekcija 10, 11, i 12 prema kopu, umesto da se taj prostor obezbedi sečenjem jedne ili dve sekcije. Prednosti ove lokacije su prevashodno činjenice da se na ovaj način štiti ceo transportni put iz kopa. Na osnovu prethodnih činjenica sledi da ostaje samo jedna transportna deonica UZ-5. Na ovaj način se štiti pogonska stanica UZ-5. Napajanje postrojenja za detekciju i izdvajanje metala je dakle obezbeđeno sa stanice UZ-5.

Opšti zahtev za mašinski i elektro deo projekta je bio da se kompletna mašinska, elektroenergetska i elektronska oprema tretiraju tako da su deo jedne jedinstvene mobilne celine izdvađača sa detektorom metala, sa osnovnim komponentama fabričkog tipa i elementima koji su specifični za mesto ugradnje, odnosno za pogonsku stanicu transportera linije za transport uglja PK „Drmno“. Specifičnosti glavnih komponenta izdvađača sa detektorom i pratećom nosećom konstrukcijom de odnose na zahteve konkretnog mesta ugradnje [1, 2].

Opšti projektni zadatak je bio da pored funkcionalnosti ugrađene opreme, sve ugrađene komponente i delovi mehaničke konstrukcije ne remete redovne aktivnosti na pogonskoj stanici transportera u radu, montažu i demontažu komponenti pogonske stanice (pogonskog bubanja, pogonske grupe motor/reduktor, gazišta, gelendera i dr.): (1) zatvaranje prostora zahvata dizalica za pomenute aktivnosti, (2) smanjenje vidnog polja rukovaocima prema važnim delovima na pogonskoj stanici, (3) kretanje osoblja po stanici, (4) čišćenje prostora presipa na sledećem transporteru koji se obavlja ručno i (ili) mehanizacijom. U okviru mašinskog dela projekta su projektovane i statički proračunate noseća i potporna konstrukcija sa betonskim postoljem. Noseća konstrukcija izdvađača metala je projektovana da bude montažno-demontažna, tako da u slučaju da dođe do promene trase transportnog sistema, ona može jednostavno da se preseli. Takođe su projektovani izdvađač/separator metala,

detektor metala, rotirajući mehanički detektor maksimalnog gabarita otpadnog materijala u traci sa induktivnim digitalnim davačem kao detektorom stanja, zatim nosači elektroenergetskih i elektronskih ormara i ostala oprema [2].

U okviru sistema projektovanja je posebna pažnja bila posvećena projektovanju (nemagnetne odbojne ploča, kliznih staza izdvojenih metala, adaptacija sekcija za ugradnju detektora metala, delova za mehaničku zaštitu od udara materijala u tunelski detektor (grudvi uglja, komadi metala i sl.) [2].

U okviru elektroenergetskog i upravljačkog dela projekta su obuhvaćeni: (1) dimenzionisanje izbor snažnog elektromagneta i pripadajućeg transportera za samočišćenje elektromagnetnog separatora, (2) izbor energetskog pretvarača za pobudu snažnog elektromagneta, (3) dimenzionisanje i izbor energetskog kabla za napajanje postrojenja, (4) izbor signalnih kablova, (5) izbor upravljačke opreme i ormara za ugradnju upravljačkog PLC uređaja [1].

II TEHNIČKI OPIS MAŠINSKOG DELA I KONSTRUKCIJE

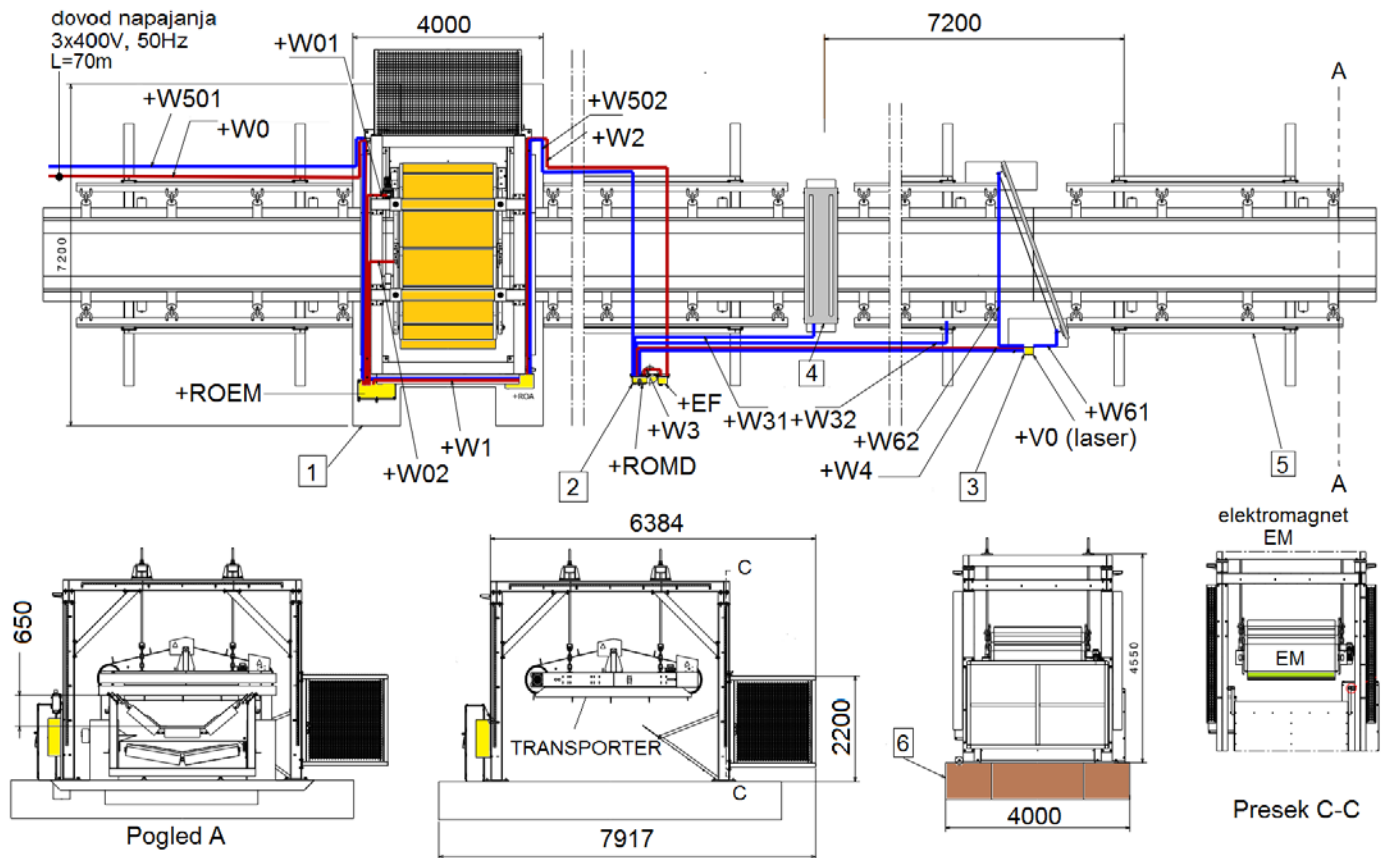
Na Slici 1 je prikazana dispozicija realizovanog sistema za elektromagnetnu separaciju sa dodatnim prikazom karakterističnih preseka. Na ovom prikazu su date sledeće pozicije: (1) stanica za izdvajanje metala, uključujući snažni elektromagnet i pripadajući energetski orman u kojem je smešten AC/DC pretvarač za pobudu elektromagneta, (2) stanica za detekciju metala, (3) mehanička zaštita opreme, (4) upravljački i energetski ormarić detektora metala, (5) transporter i (6) temelj.

Na dispozicionoj šemi na Slici 1 su takođe prikazane i kablovske trase energetskih i signalnih kablova, kao i raspored i montaža energetskih i upravljačkih ormara. Dovodnim kablom +W0 tipa EpN50 4x35mm² je obezbeđeno napajanje glavnog energetskog ormara energetike snažnog elektromagneta +ROEM, u sklopu sistema za separaciju. Iz ovog ormara se kablom +W01 tipa EpN50 4x2,5mm² napaja pogon elektromotora transportera za samočišćenje elektromagneta, snage 5,5kW, a kablom +W02 tipa EpN50 4x16mm² se napaja snažni elektromagnet. Kablom +W1 tipa EpN50 3x2,5mm² se napaja orman automatike +ROA. Iz ormara automatike +ROA se kablom +W2 tipa EpN50 3x2,5mm² se napaja preko ormarića elektromagnetnog filtra za prigušenje mrežnih smetnji (označen sa +EF), razvodni ormarić metal detektora +ROMD. Iz ovog ormarića se kablom +W4 tipa EpN50 3x1,5mm² se napaja razvodni ormarić pretvarača emisionog lasera +VO. U sklopu sistema su postavljeni i signalni kablovi koji su takođe prikazani na dispozicionoj šemi na Slici 1. Signalni kabl +W501, tipa LIYCY 6x1mm²+širm, povezuje upravljački sklop elektromagneta u +ROEM sa nadređenim komandnim centrom. Signalni kabl koji povezuje upravljačke sklopove +ROEM sa upravljačkim sklopovima u +ROA i u +ROMD je označen sa +W502, tipa LIYCY 6x1mm²+širm. Veza između stanice za detekciju metala (2) i +ROMD je ostvarena signalnim kablom +W31 tipa LIYCY 4x0,75mm²+širm, a veza sa predajnikom kablom +W32 istog tipa kao i prethodni. Signalni kablovi +W61 i +W62 istog tipa se koriste u sklopu senzora za detekciju spojeva na transportnoj traci.

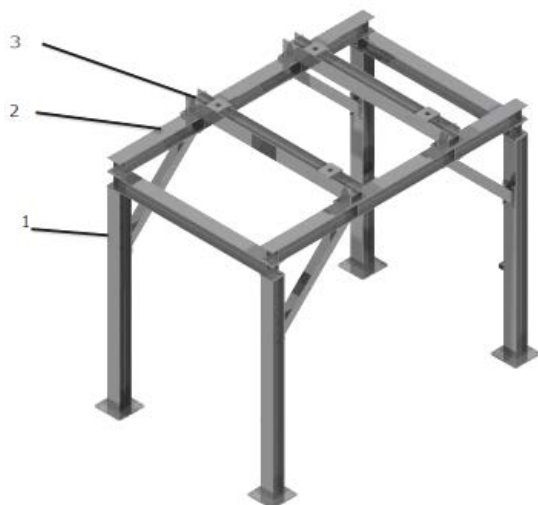
Prvi korak kod projektovanja noseće konstrukcije je bilo dimenzionisanje i usvajanje profila na osnovu mase opreme koja

se postavlja na nju. Iterativnim postupkom usvojen su profili HEB 240 i kvadratna cev 160x160x6 mm, kao i geometrija konstrukcije. Deformacije i naponi, koji se javljaju usled

opterećenja, proračunati su metodom konačnih elemenata. Na Slici 2 prikazana je čelična konstrukcija stanice za izdvajanje metala sa svojim elementima.

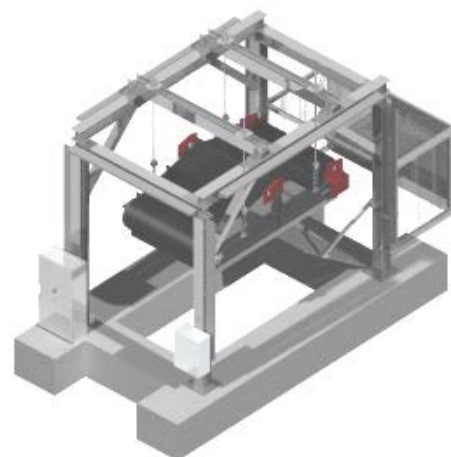


Slika 1. Dispozicija mašinske i elektroenergetske opreme, priključnih kablova (energetskih i signalnih), energetskih ormara i ormara automatike na sistemu za elektromagnetnu separaciju na površinskom kopu „Drmno“ u Kostolcu (sve dimenzije su u [mm]).



Slika 2. Čelična konstrukcija izdvajača metala [2]

Pozicije na Slici 2 su date opisima: (1) predstavlja „Π“ ram, profila HEB 240, (2) podužna greda, profili HEB 240, (3) poprečni nosač, profili HEB 240, (4) kosnik, kvadratna cev 160x160x6 [mm], (5) vezne ploče i (6) gnezdo sfernog ležaja.



Slika 3. Čelična konstrukcija izdvajača metala[2]

Pri projektovanju čelične konstrukcije uzeto je u obzir da postojeća trasa transportnog sistem UZ-5 nije stalna i da je ona podložna promenama. Stoga je projektovana montažno-demontažna konstrukcija, kako bi usled promene trase transporta uglja mogla u kompletu da se preseli na novu lokaciju.

Vertikalni stubovi, koji formiraju „II“ ramove, na oba svoja kraja imaju zavarene vezne ploče, kako bi se spojevi sa temeljom, odnosno horizontalnim gredama „II“ ostvarile preko vijčanih veza. Na podužnim gredama zavarene su vezne ploče u kojima su urezani navoji M20 i na njih naležu poprečne grede, koje nose izdvajač metala.

Na Slici 3 prikazana je stanica za izdvajanje metala, gde se vidi da je pravac izbacivanja metala poprečan u odnosu na pravac transporta uglja. Kao mera bezbednosti ugrađeni su kavez (odbojna ploča) i kosa ravan, s obzirom da se delovi izbacuju pored trake, kako izdvojeni delovi ne bi bili nekontrolisano izbačeni. Na Slici 4 su detaljnije prikazani kavez i kosa ravan.



Slika 4. Kavez i kosa ravan [2]

III TEHNIČKI OPIS ELEKTROENERGETSKOG DELA SISTEMA

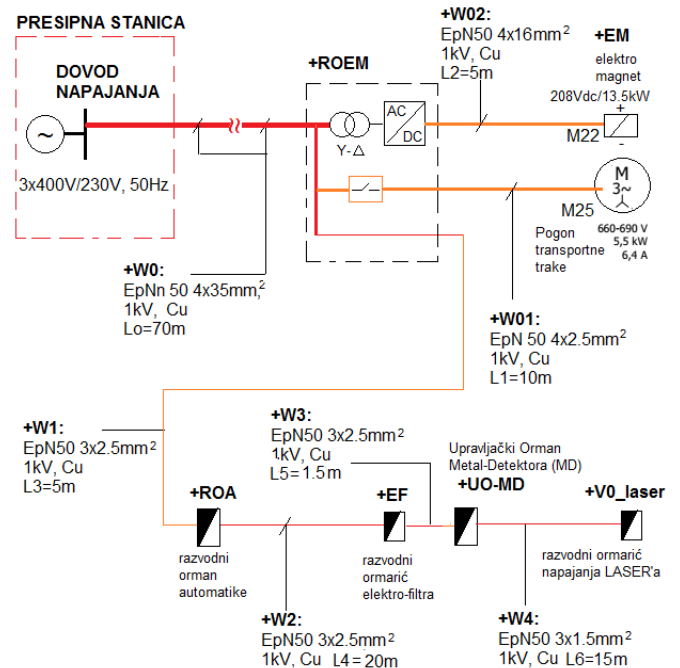
Jednopolna šema elektroenergetske instalacije je data na Slici 5, dok je plan šeme instalacije signalnih kablova dat na Slici 6.

Dovod glavnog energetskeg trofaznog napajanja 3x400V/230V, 50Hz je ostvaren iz tzv. *presipne stanice* (pogonska stanica UZ-5), rudarskim kablom EpN50 4x35mm², dužine oko 70m. Ovim napojnim kablom se u stvari napaja razvodni orman +ROEM elektromagneta M22, u sklopu koga se nalaze AC/DC energetske pretvarač (trofazni diodni ispravljač) sa pripadajućom energetskeg i kontrolnom opremom, energetske deo za pokretanje elektromotora M25 transportne trake elektromagneta snage 5,5kW, kao i sklopna oprema za napajanje ostalih potrošača u sistemu (metal detektor, elektromagnetni filter za smetnje, merna, signalizaciona oprema i laserski sistem). Prikaz energetskeg kablovskog razvoda sa specifikacijom energetskeg kablova po pojedinim deonicama je prikazan na Slici 5.

Pored energetskeg kablova predviđeni su montaža kablovskih trasa signalnih kablova. Blok šema merno-upravljačkog sistema sa pripadajućim signalnim kablovima je data na Slici 6.

Između razvodnog ormara +ROEM i upravljačkog ormara metal-detektora +ROMD je postavljen razvodni orman automatike +ROA, koji u stvari predstavlja glavni upravljački orman iz koga se putem PLC uređaja i grafičke HMI jedinice

ostvaruje upravljanje kompletnog sistema elektromagnetnog separatora. Ovo upravljanje može biti ručno ili automatsko i vrši se iz ormara automatike +ROA putem PLC uređaja.



Slika 5. Jednopolna šema elektroenergetske instalacije sa specifikacijom energetskeg kablova [1]

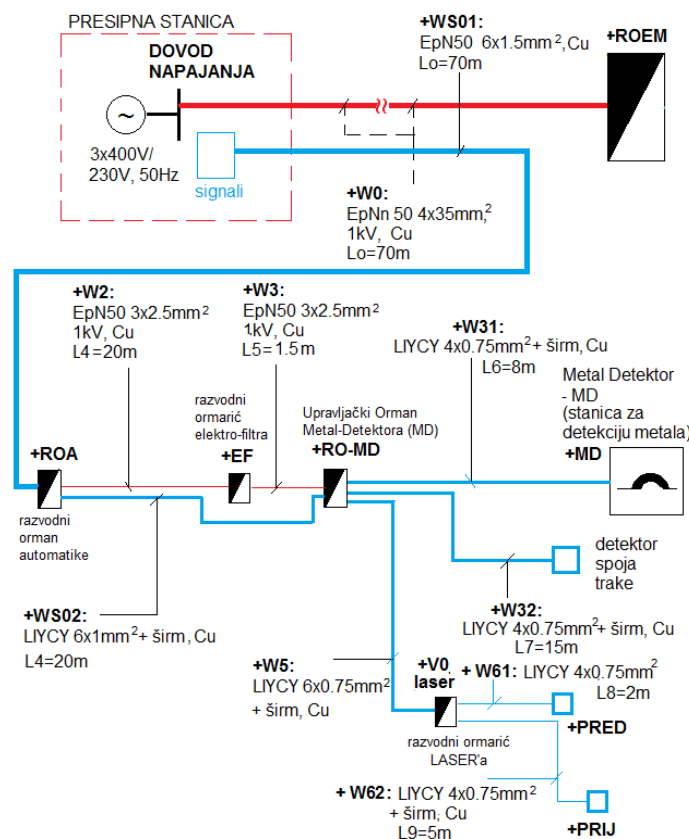
U toku mirovanja trake transportera UZ-5, magnetni izdvajač i pripadajuća traka su isključeni. Pre pokretanja transportera UZ-5, uključuje se zvučno upozorenje koje traje oko trideset sekundi. Ovaj signal se koristi za pokretanje izdvajača metala. Nakon završetka zvučnog signala, a pre samog pokretanja trake transportera UZ-5, uključuje se elektromagnet izdvajača i to u režimu pune snage, a potom i traka izdvajača. Elektromagnet i traka izdvajača rade u ovom režimu sve dok ispod magneta ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača. Nakon ovoga traka izdvajača staje, a magnet nastavlja rad na 60% snage. Ova sekvenca osmišljena je zbog situacije da metalni predmet može da prođe kroz detektor u trenutku kada tračni transporter UZ-5 prestaje sa radom. U tom slučaju metalni predmet bi bio registrovan od strane detektora, ali ne bi stigao do izdvajača, jer bi se transporter UZ-5 zaustavio pre toga. Na ovaj način metalni predmet ostaje u prostoru između dva uređaja. Pri ponovnom kretanju UZ-5, metalni predmet bi jednostavno prošao ispod magneta. Da se ovo ne bi dogodilo, osmišljena je prethodno opisana sekvenca.

Drugi slučaj je da u toku rada transportera UZ-5, detektor registruje metalni predmet na traci. Ta informacija prosleđuje se do PLC uređaja, koji odmah uključuje traku izdvajača, a nakon toga podiže snagu magneta na 100%. Prelazak magneta sa snage od 60% na 100%, ne ostvaruje se momentalno, već kontrolni uređaj obezbeđuje odgovarajuće vremensko kašnjenje, odnosno interval čekanja da traka izdvajača izbaci eventualno sakupljene manje komade metala. Ovo je obezbeđeno iz razloga što je moguće da u trenutku preklapanja sa manje na veću snagu magneta može da dođe do ispuštanja prikupljenog materijala,

koji bi ponovo pao na traku UZ-5 i otišao prema stanici za drobljenje (tzv. „drobilani“). U ovom slučaju magnet izdvajača radi ovako sve dok ispod njega ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača.

U situaciji kada detektor ne registruje nikakav metalni predmet, magnet stalno radi snagom od 60%, a traka izdvajača se uključuje periodično (približno na svakih sat vremena rada), tako da je ovim obezbeđeno tzv. „samočišćenje“ magnetu, koje se veoma često primenjuje u praksi[3-5]

Poslednja situacija je kada tračni transporter UZ-5 prestaje sa radom. Magnetni izdvajač ne prestaje odmah sa radom, nego se primenjuje „samočišćenje“ magnetnih polova, sve dok ispod njih ne prođe traka transportera u dužini koja je jednaka rastojanju između detektora i izdvajača. Svi parametri potrebni za rad postrojenja podešavaju se na HMI jedinici i PLC uređaju koji su deo ormana automatike +ROA.



Slika 6. Jednopolna šema merno-upravljačkog sistema sa pripadajućim signalnim kablovima [1]

U sistemu su predviđene mere zaštite metal detektora i izdvajača od mehaničkog oštećenja. Predviđeno je da između sekcija broj 29 i 30 bude montiran mehanički čistač, koji bi skidao materijal sa transportera koji prelazi visinu od 0.65 [m]. U slučaju da i nakon toga materijal ima visinu veću od 0.65 [m], između sekcija broj 29 i 30, postavljen je laserski uređaj koji zaustavlja transporter UZ-5, pre nego što materijal udari antenu detektora i magnet izdvajača.

Električna šema pobude snažnog elektromagneta separatora i pogona tračnog transportera kojim se obezbeđuje odnošenje

izdvojenog materijala na elektromagnetu, tzv. „samočišćenje“, je prikazana na Slici 7. Sklopna i energetska oprema koja se odnosi na pobudu elektromagneta i pogon transportera za „samočišćenje“ je smeštena u energetske ormanu. Dovod napajanja ovog energetske ormana se ostvaruje na priključnim klemama –X1, pri čemu se napon 3x400V/230V, 50Hz uključuje posredstvom glavnog prekidača – Q20 (grebenasti prekidač). Sa priključaka iza ovog glavnog prekidača se napajaju eksterni potrošači van ovog energetske ormana: orman upravljanja sa PLC-om (+ROA) i orman metal detektora (+ROMD).

Napajanje elektromagneta M22 se ostvaruje preko trofaznog punotalasnog diodnog ispravljača Q22.1 u kombinaciji sa ispravljačkim transformatorom T22 koji je spregnut u spregu „zvezda-trougao“. Između primara i sekundara transformatora T22 je postavljen metalni ekran koji je uzemljen na zaštitnu sabirnicu PE. Primar transformatora T22 se napaja trofaznim naponom 3x400V/380V, 50Hz preko zaštitnog prekidača -F22.1 i kontaktora –Q31. Zaštitni prekidač –F22.1 u sebi sadrži prekostrujnu zaštitu i zaštitu od kratkog spoja. Kontaktor –Q31 se upravlja iz razvodnog ormana automatike +ROA, odnosno iz PLC kontrolera koji je smešten u njemu. Zaštita na sekundaru transformatora prema diodnom ispravljaču je ostvarena automatskim zaštitnim prekidačem –F22.2.

Transformator T22 je u stvari projektovan za nominalni napon primara od 400V, 50Hz ali pored izvoda za ovaj napon, na primaru postoje izvodi i za napone 380V (5% niži napon od nominalnog) i 420V(5% viši napon od nominalnog). Detaljan prikaz namotaja transformatora T22 je dat na Slici 8. Svaki od sekundara transformatora T22 su sekcionisani i sadrže četiri izvoda (sekcije), koji obzirom na spregu sekundara određuju fazne odnosno međufazne napone: izvod 40% (za fazni/međufazni napon od 58V), izvod 60% (za fazni/međufazni napon 87V), izvod 80% (za fazni/međufazni napon 116V) i izvod 100% (za fazni/međufazni napon od 145V). Na ovaj način je odgovarajućom topologijom kontaktora na sekundaru transformatora moguće dobiti četiri napona, odnosno obezbediti stepenastu regulaciju jednosmernog napona elektromagneta. Obzirom na spregu transformatora „zvezda-trougao“, za međufazni napon primara označen na Slici 8 sa V , međufazni (odnosno fazni) napon sekundara je jednak:

$$V'' = \frac{V / \sqrt{3} \cdot a(\%)}{m \cdot 100} \quad (1)$$

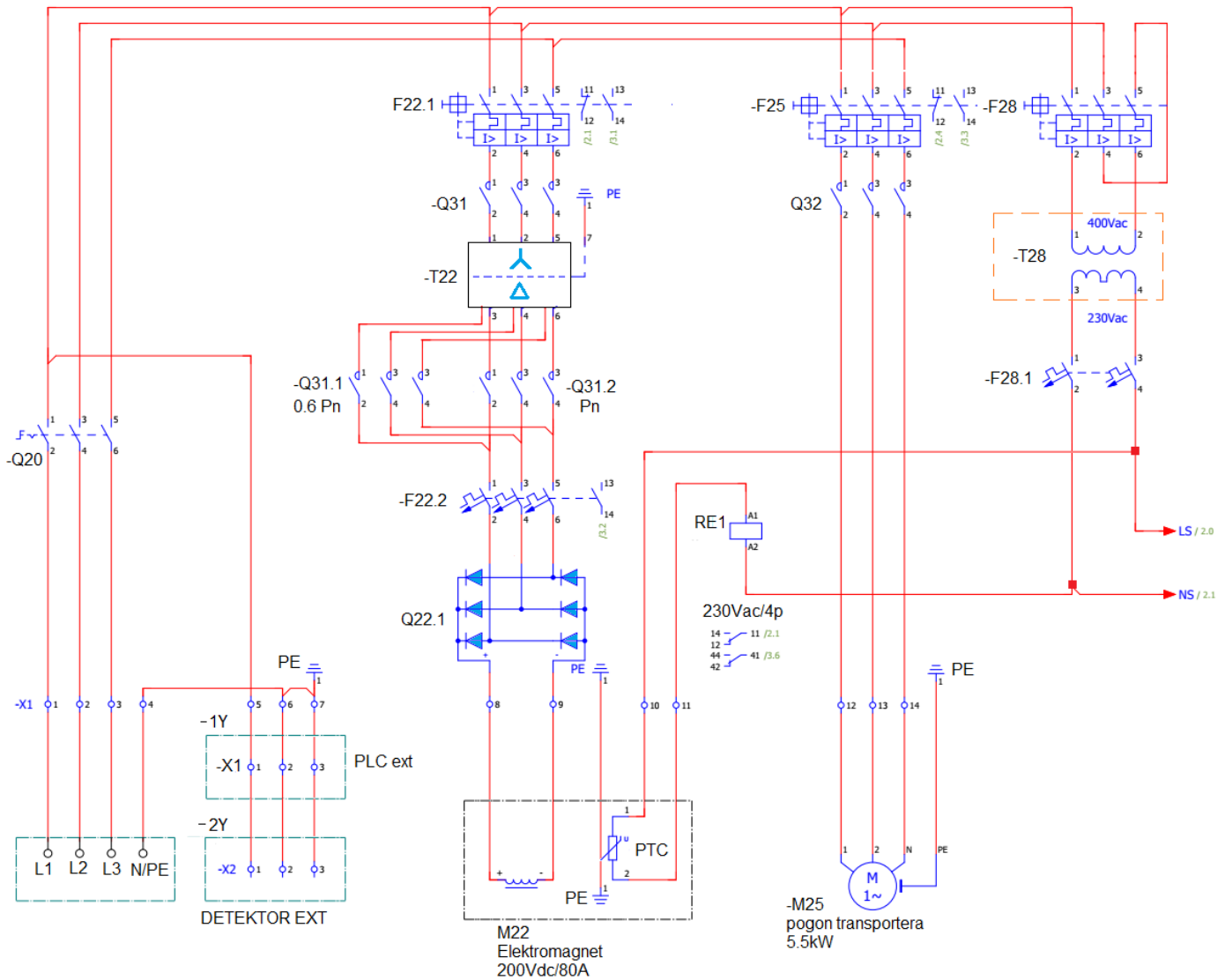
U jednačini (1), veličina m predstavlja fiksni prenosni odnos koji pri faznom naponu od 220V (380V/1.73=220V) i faznom naponu sekundara od 145V, iznosi $m = 220/145 = 1,52$. Veličina $a(\%)$ predstavlja procentualni koeficijent koji se odnosi na pojedini izvod na sekundaru i on određuje stvarnu vrednost faznog, odnosno međufaznog sekundarnog napona.

Za primarni međufazni napon od 380V, 50Hz i za vrednost $a(\%) = 100\%$, međufazni, odnosno fazni napon sekundara je 145V. Za istu vrednost primarnog napona i za vrednost $a(\%) = 80\%$, međufazni, odnosno fazni napon sekundara je 116V.

U ovom konkretnom slučaju, obzirom da je dovod napajanja udaljen na oko 70m od razvodnog ormana elektromagneta i da postoji odgovarajući pad napona, realna vrednost međufaznog

primarnog napona je 380V. Takođe u ovom konkretnom slučaju su korišćene dve sekcije sekundara, odnosno dvostepena regulacija napona elektromagneta korišćenjem dva izvoda 100% i 80%. Drugim rečima prvi izvod odgovara nominalnoj izlaznoj snazi $P_n=16\text{kW}$ elektromagneta, dok drugi izvod odgovara snazi elektromagneta $0,6P_n=9,6\text{kW}$. Koji namotaj će biti uključen

zavisi od statusa kontaktora –Q31.1, –Q31.2, koji se nalaze na sekundarnoj strani transformatora. Naime, za ulazni mrežni fazni napon od $380\text{V}/1,73=220\text{V}$ i kada je uključen kontaktor –Q31.2 na ulazu ispravljača se ima međufazni napon od 145V, dok pri istim uslovima i kada je uključen kontaktor –Q31.1 se na ulazu ispravljača ima međufazni napon od 87V.



Slika 7. Električna šema pobude elektromagneta M22 i pogona transportera M25 za samočišćenje

Na Slici 9 je dat prikaz povezivanja transformatora T22 i trofaznog diodnog ispravljača –Q22.1. Trofazni ispravljač se sastoji iz tri snažna diodna modula –Q21.1, –Q21.2 i –Q21.3. U svakom od modula se nalaze integrisane po dve energetske diode za struju od 150A i za probojni napon od 600V. Otpornost elektromagneta pri nominalnom radnom režimu je oko $2,4\Omega$.

Izlazni napon trofaznog punotalasnog diodnog ispravljača V_{dc} je jednak[6,7]:

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{l-l} \quad (2)$$

gde je V_{l-l} efektivna vrednost trofaznog linijskog napona sa

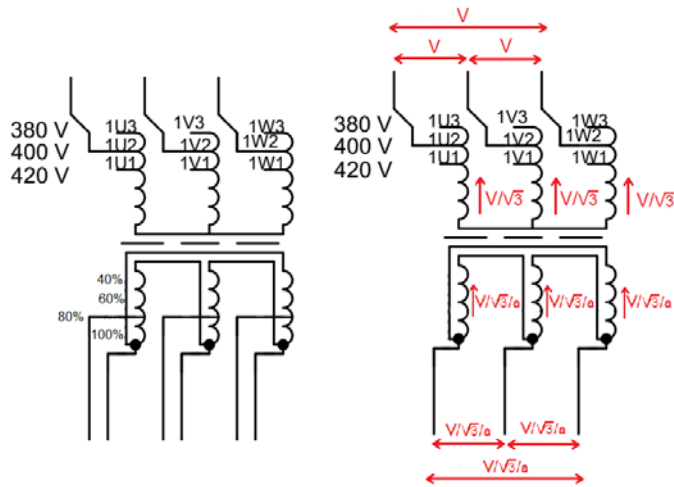
kojim se napaja trofazni punotalasni (6-pulsni) ispravljač.

Za vrednost sekundarnog linijskog napona od 145V jednosmerna vrednost napona V_{dc1} je jednaka:

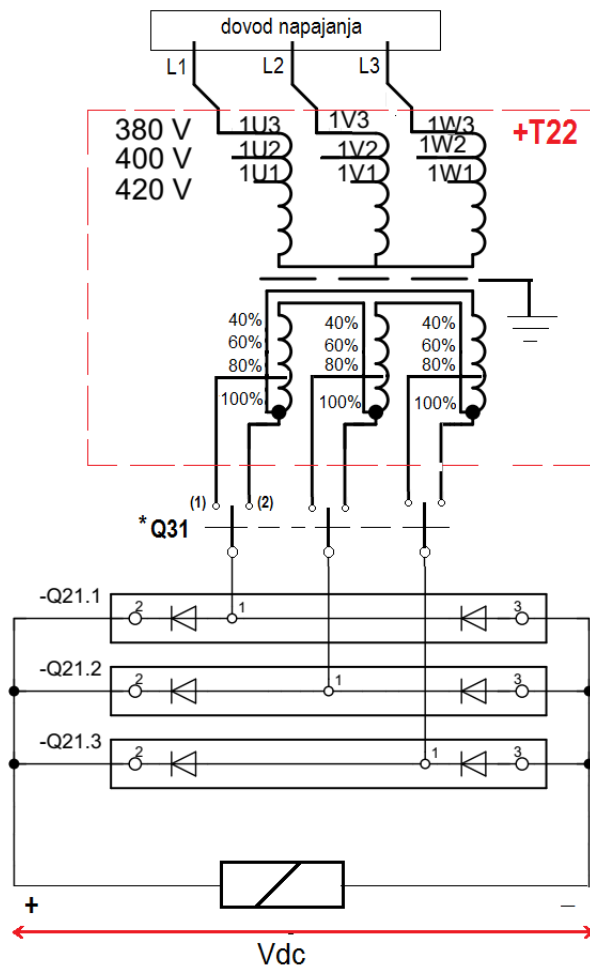
$$V_{dc1} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot 145 \text{ V} \approx 196 \text{ V} .$$

Za vrednost unutrašnje omske otpornosti elektromagneta $R_{dc1}=2,4\Omega$ (na radnoj temperaturi od 80°C) dobija se da je električna snaga elektromagneta jednaka:

$$P_{dc1} = P_n = \frac{V_{dc1}^2}{R_{dc1}} = \frac{(196 \text{ V})^2}{2,4\Omega} = 16 \text{ kW} .$$



Slika 8. Detaljan prikaz transformatora T22 sa podacima o prenosnom odnosu i naponskim odnosima primar/sekondar



* (1)- uklj.kontaktor Q31.1
 (2)-uklj. kontaktor Q31.2

Slika 9. Prikaz povezivanja transformatora T22 sa trofaznim diodnim ispravljačem i topologijom uključenja kontakatora -Q31.1 i -Q31.2.

U ovom režimu struja elektromagneta je jednaka:

$$I_{dc1} = \frac{P_{dc1}}{V_{dc1}} = \frac{16 \text{ kW}}{196 \text{ V}} = 81,6 \text{ A} .$$

Za vrednost sekundarnog linijskog napona od 116V, jednosmerna vrednost napona V_{dc2} je jednaka:

$$V_{dc2} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot 116 \text{ V} \approx 157 \text{ V} .$$

Za vrednost unutrašnje omske otpornosti elektromagneta $R_{dc2}=2,56\Omega$ dobija se da je električna snaga elektromagneta jednaka:

$$P_{dc2} = 0,6P_n = \frac{V_{dc2}^2}{R_{dc2}} = \frac{(157 \text{ V})^2}{2,56 \Omega} = 9,62 \text{ kW} .$$

U ovom režimu struja elektromagneta je jednaka:

$$I_{dc2} = \frac{P_{dc2}}{V_{dc2}} = \frac{9,6 \text{ kW}}{157 \text{ V}} \approx 61 \text{ A} .$$

U sklopu namotaja elektromagneta se nalazi PTC senzor koji ima ulogu zaštite od pregrevanja namotaja elektromagneta. U slučaju da temperatura ima tendenciju porasta iznad maksimalne radne temperature ($\theta > 120^\circ\text{C}$), tada dolazi do naglog porasta otpornosti PTC senzora i isključenja špulne relea RE1 koje sa svojim pomoćnim kontaktima blokira rad glavnih kontakatora – Q31.1 i –Q31.2 na sekundaru transformatora T22.

Pogon glavnog transportera kojim se obezbeđuje „samočišćenje“ elektromagneta se ostvaruje putem asinhronog elektromotora M25, snage 5,5kW. Uključenje ovog pogona se ostvaruje putem kontakatora –Q32 kojim se upravlja putem PLC kontrolera koji je smešten u +ROA. Zaštita od preopterećenja i kratkog spoja na ovom pogonu je ostvarena motorno-zaštitnim prekidačem F25.

Komandni napon u ovom sistemu je 230V, 50Hz i on je galvanski odvojen od napona 400V, 50Hz transformatorom T28 prenosnog odnosa 400V/230V. Na primarnoj strani (400V, 50Hz) se kao zaštitni prekidač od preopterećenja i kratkog spoja koristi F28. Na sekundarnoj strani T28 se kao zaštita od kratkog spoja koristi zaštitni prekidač F28.1.

U sklopu projektovanog sistema su predviđene odgovarajuće mere zaštite metal detektora i samog elektromagnetnog izdvajača od mehaničkog oštećenja.

Predviđeno je da između sekcija broj 29 i 30 bude montiran mehanički čistač, koji bi skidao materijal sa transporter koji prelazi visinu od 0,65 m. U slučaju da i nakon toga materijal ima visinu višu od 0,65 m, između sekcija broj 29 i 30, postavljen je laserski uređaj koji zaustavlja transporter UZ-5, pre nego što materijal udari u antenu detektora i elektromagnet magnet izdvajača [1, 2].

III REALIZACIJA SISTEMA ZA ELEKTROMAGNETNU SEPARACIJU

U ovom poglavlju su dati ključni rezultati realizacije sistema za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci na PK „Drmno“ u Kostolcu.

Svi predviđeni radovi su izvedeni prema tekstualnoj i grafičkoj dokumentaciji projekta za izvođenje (PZI), kao i prema

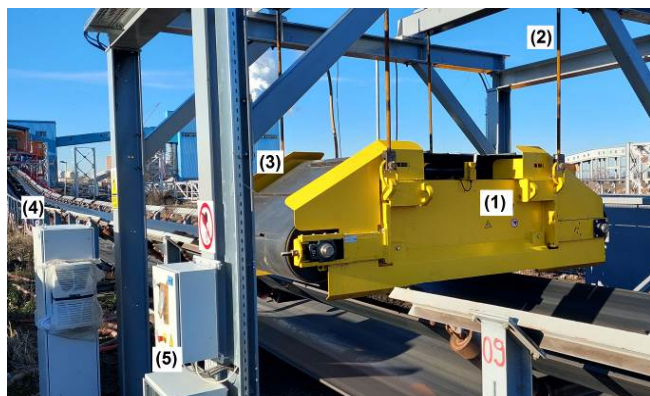
propisima koji su navedeni u posebnom prilogu o zaštiti na radu. Pri izgradnji sistema su ispoštovani svi važeći tehnički propisi, standardi, tehnički normativi i norme kvaliteta. U nedostatku nacionalnih propisa korišćene su važeće IEC norme i IEC standardi.

Na Slici 10 je prikazana dispozicija podstanice elektromagnetnog separatora, kao jednog od najbitnijih delova sistema za detekciju i odvajanje metala sa transportne trake na PK "Drmino" u Kostolcu. Na Slici 10 se uočavaju osnovni elementi podstanice elektromagnetnog separatora, označeni pozicijama (1)-(5):

- 1) transportna traka B2000 transportera UZ-5,
- 2) noseća konstrukcija elektromagneta,
- 3) elektromagnet 196Vdc/82A,
- 4) razvodni orman energetike i napajanja elektromagneta (+ROE),
- 5) razvodni orman automatike (+ROA).



Slika 10. Prikaz dispozicije podstanice elektromagnetnog separatora



Slika 11. Prikaz konstrukcije snažnog elektromagneta i pripadajuće opreme u sklopu podstanice za elektromagnetnu separaciju

Na Slici 11 je prikazana konstrukcija snažnog elektromagneta i pripadajućih elemenata koji čini sastavni deo elektromagnetnog separatora. Glavni delovi elektromagnetnog separatora sa Slike 11 su:

- 1) elektromagnet 196Vdc/82A,
- 2) sistem za vešanje magneta na noseću konstrukciju,
- 3) transportna traka za „samočišćenje“ elektromagneta pogonjena asinhronim elektromotorom snage 5,5kW,
- 4) razvodni orman energetike i napajanja elektromagneta (+ROE),
- 5) razvodni orman automatike (+ROA).

Na Slici 12 je dat prikaz osnovnih elemenata snažnog elektromagneta. Na Slici 12(a) je prikazama konstrukcija elektromagneta zajedno sa pripadajućim transporterom za „samočišćenje“, dok je na Slici 12(b) prikazan deo transportne trake za „samočišćenje“ i deo magnetnih polova elektromagneta. Osnovni delovi prikazani na Slikama 12(a),(b) su dati po pozicijama:

- 1) transportna traka transportera za „samočišćenje“ elektromagneta,
- 2) pogonski asinhroni motor transportne trake za samočišćenje snage 5,5kW,
- 3) priključna kutija elektromagneta,
- 4) noseća konstrukcija elektromagneta,
- 5) deo transportne trake B2000 glavnog transportera UZ-5 na površinskom kopu.



(a)



(b)

Slika 12. Prikaz konstrukcije snažnog elektromagneta; (a) osnovni elementi, (b) transportna traka i polovi elektromagneta

Na Slici 13 je dat prikaz razvodnog ormara energetike +ROE iz koga se obezbeđuje napajanje snažnog elektromagneta karakteristike 196Vdc/82A i pogon pripadajućeg transportera snage 5,5kW koji služi za odvođenje prikupljenih metalnih delova sa polova elektromagneta. Na Slici 13(a) je dat bočni

izgled +ROE na kome je montiran hladnjak trofaznog diodnog ispravljača –Q22.1, dok je na Slici 13(b) dat bočni izgled +ROE na kome je montirana rashladna jedinica kojom se obezbeđuje potrebna klimatizacija opreme (temperatura i vlaga) u unutrašnjosti +ROE.



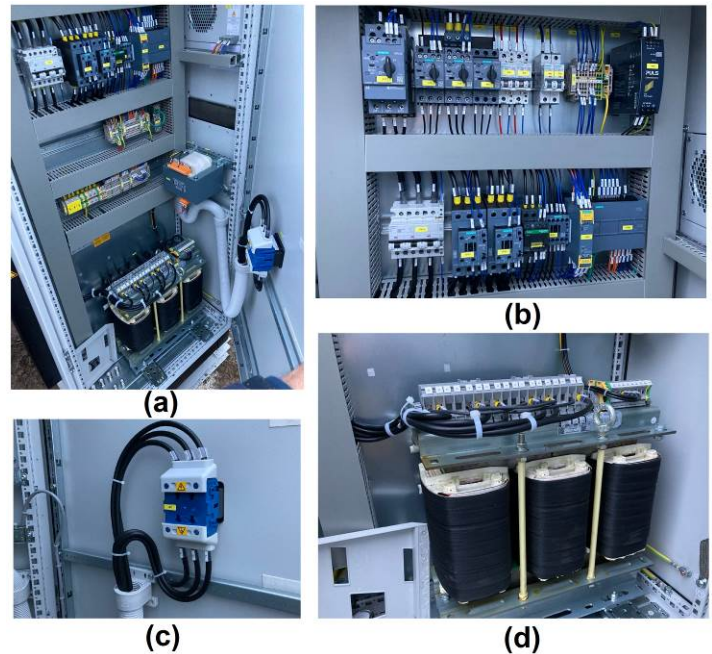
Slika 13. Prikaz razvodnog ormara energetike +ROE (napajanje snažnog elektromagneta i pripadajućeg pogona transportera); (a) bočni izgled +ROE na kome je montiran hladnjak trofaznog diodnog ispravljača, (b) bočni izgled +ROE na kome je montirana njegoa rashladna jedinica

Na Slici 14 je dat prikaz unutrašnjosti razvodnog ormara energetike sistema za detekciju i elektromagnetnu separaciju metalnih delova. Na Slici 14(a) je prikazana unutrašnjost +ROE sa svom potrebnom sklopnom, kontaktorskom i relejnom opremom, kao i mernim i upravljačkim modulima, koji su prikazani na Slici 14(b). Na Slici 14(c) je prikazan trolpolni glavni prekidač –Q20 koji je montiran na prednjim vratima +ROE i sa kojim se on dovodi na napajanje 3x400V, 50Hz. Na Slici 14(d) je dat prikaz ispravljačkog transformatora T22 sprege „zvezda-trougao“ i sa višesekcijskim izvodima na sekundaru.

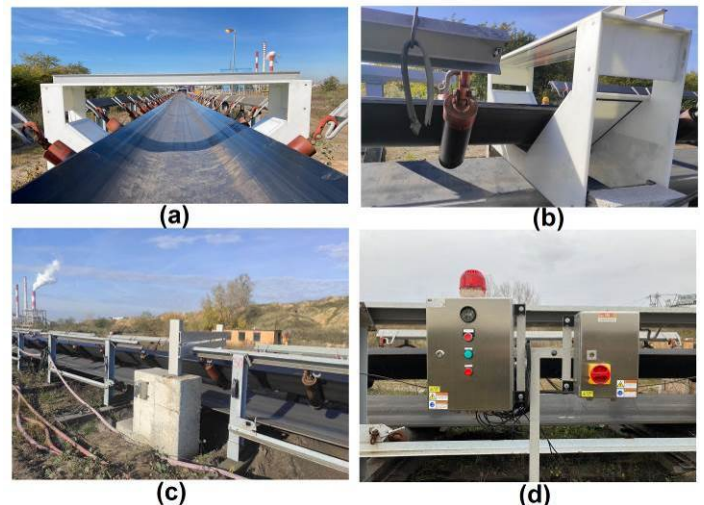
Na Slici 15 je dat prikaz konstrukcije metal detektora i pripadajuće pomoćne i napojne opreme. U okviru ovog projekta je izabran metal detektor proizvodnje ERIEZ, ser.br. 118026. Na Slici 15(a) je prikazan pogled na metal detektor sa prednje strane (neposredno iznad transportne trake B2000), dok je na Slici 15(b) prikazan bočni pogled na isti. Na Slici 15(c) je dat prikaz konstrukcije pomoćnog detektora koji se koristi za detekciju spojeva na traci B2000. Na Slici 15(d) je dat prikaz glavnog napojnog ormara metal detektora +EF sa glavnim prekidačem i upravljačkog ormara metal detektora +ROMD.

U sklopu glavnog napojnog ormara +EF se pored sklopne opreme nalazi i elektromagnetni filter za prigušenje smetnji koji

bi eventualno mogle doći iz napojne mreže i koje bi mogle ugroziti rad upravljačke elektronike metal detektora.



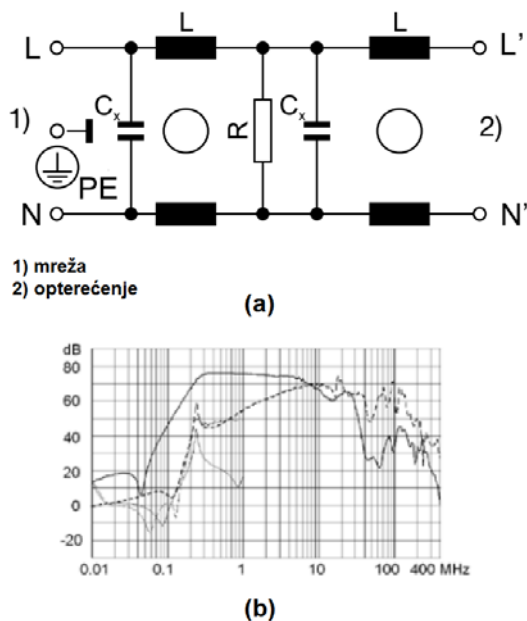
Slika 14. Prikaz unutrašnjosti +ROA; (a) unutrašnja montažna ploča sa svom pripadajućom opremom, (b) detalj prikaza skopne i merne oprema, (c) pozicija glavnog prekidača na vratima (d) prikaz ispravljačkog transformatora T22.



Slika 15. Prikaz konstrukcije metal detektora i pripadajuće opreme; (a) metal detektor iznad trake UZ-5, (b) bočni pogled na konstrukciju metal detektora, (c) prikaz pomoćnog detektora spojeva trake B2000, (d) glavni napojni ormar metal detektora +EF sa mrežnim filterom i upravljački ormar metal detektora +ROMD sa pripadajućim komandnim tasterima.

Topologija i karakteristika ugrađenog elektromagnetnog filtra za prigušenje mrežnih smetnji su dati na Slici 16. Na Slici 16(a) je prikazana topologija samog elektromagnetnog filtra tip 3A/Dizajn C proizvodnje *Scheffner* (dvostruki induktivno - kapacitivni *L-Cx*, „Γ“ tipa, sa spregnutim induktivnostima) za

nominalnu struju 3A i za napon 125/230V, 50Hz/60Hz. Karakteristika slabljenja filtra izražena u decibelima [dB] u funkciji od učestanosti izražene u [MHz] je data dijagramom na Slici 16(b). Filtar je projektovan za rad u režimu „common mode“ sa karakterističnom impedansom 50Ω , tako da je odgovarajuća karakteristika data dijagramom na Slici 16(b), označenim punom linijom. Sa ovog dijagrama se uočava da je za ovaj slučaj maksimalno slabljenje od 80dB i za frekventni opseg 0,2MHz÷8MHz, što se pokazalo kao zadovoljavajuće rešenje u ovoj aplikaciji sa izabranim metal detektorom proizvodnje ERIEZ.



Slika 16. Elektromagnetni filter za prigušenje mrežnih smetnji na upravljačkom ormanu metal detektora; (a) topologija filtra, (b) karakteristika slabljenja

IV ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena realizacija postrojenja i pripadajućih podсистema za detekciju i izdvajanje metala na transportnoj traci B2000 transporter UZ-5 za dopremu uglja sa PK „Drmno“ na blokove TE „Kostolac“. U okviru predstavljenog projekta su realizovani podsystemi elektromagnetnog separatora: (1) mehanička konstrukcija za fiksiranje i vešanje elektromagneta separatora (snažni elektromagnet 196Vdc/82A) i pripadajuće opreme, (3) transporter za „samočišćenje“ sa kontrolisanim elektromotornim pogonom snage 5,5kW, za odvajanje izdvojenih delova na polovima elektromagneta, (4) metal detektor sa pripadajućom energetskom i upravljačkom opremom, (5) razvodni orman energetike (+ROE), uključujući i

ispravljačku opremu za napajanje elektromagneta, (6) razvodni orman automatike (+ROA) iz koga se PLC uređajem obezbeđuje nadzor i kontrola celokupnog postrojenja za detekciju i izdvajanje metalnih delova.

Eksploataciona ispitivanja, testiranje i puštanje u rad postrojenja sa dokazivanjem parametara su obavljani polovinom decembra 2022., dok su finalna ispitivanja i puštanja elektromagneta i metal detektora obavljani sredinom marta 2023.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Istraživanje u ovom radu je delom podržano kroz komercijalni projekat firme IMP-Projekt Inženjering sa PK „Drmno“-Kostolac (broj Ugovora 20600-E.05.01-164239/1-2021 od 14.06.2021), a delom od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, Republike Srbije kroz u krovni projekat pod Ugovorom br. 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Jevtović, A., Despotović, Ž. *Projekat izvedenog objekta postrojenja za detekciju i izdvajanje metala-4: projekat elektroenergetskih instalacija*, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, 2022.
- [2] Jevtović, A., Đokić, D., Ilić, B. *Projekat izvedenog objekta postrojenja za detekciju i izdvajanje metala-6: projekat mašinskih instalacija*, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, 2022.
- [3] Morgan, D.G. *Magnetic separators for protection of process equipment*, Powder and Bulk Engineering, Vol. 2, No. 7, p. 15, 1988.
- [4] Svoboda, J. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*, Kluwer Academic Publishers, New York, 2004.
- [5] Despotović, Ž.V., Čupić, B., Lekić, Đ. Design and verification of 22kW / 220Vdc electromagnet for separation of steel parts from coal on conveyor belts for delivery, in Proc. 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-6, 13. April 2022. <https://doi.org/10.1109/INFOTEH53737.2022.9751300>
- [6] Dewan, S.B., Straughen, A. *Power Semiconductor Circuits*, Wiley, New York, 1975.
- [7] Ball, B.E., Deerson, J., Koppe, H., Monypenny A.F. *Rectifier Diodes-Application Book*, PHILIPS, Eindhoven, 1969.

AUTORI/AUTHORS

dr Željko V. Despotović - naučni savetnik, Institut “Mihajlo Pupin”, Univerzitet u Beogradu, zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710)

msr Dejan Đokić - master inženjer mašinstva, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, Srbija, dejan.djokic@impprojekt.com, ORCID [0009-0003-9687-2419](https://orcid.org/0009-0003-9687-2419)

msr Boris Ilić - master inženjer mašinstva, IMP-Projekt Inženjering, Beograd, Srbija, boris.ilic@impprojekt.com, ORCID [0009-0009-6492-7060](https://orcid.org/0009-0009-6492-7060)

Dragan Milisavljević - dipl. inž. elektrotehnike, AD EPS TE „Kostolac“, Kostolac, Srbija, dragan.milisavljevic@te-ko.rs, ORCID [0009-0009-6187-2893](https://orcid.org/0009-0009-6187-2893)