

Analiza združenog uzemljivačkog sustava tvornice cementa Sv. Juraj

AUTORI

DEAN DEREANI

CEMEX HRVATSKA D.D.

DEAN.DEREANI@CEMEX.COM

IVO ZLATUNIĆ

FRACTAL D.O.O.

IVO@FRACTAL.HR

TOMISLAV VULETIĆ

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

TOMISLAV.VULETIC@DALEKOVOD.HR

STIPE VUKASOVIĆ

CEMEX HRVATSKA D.D.

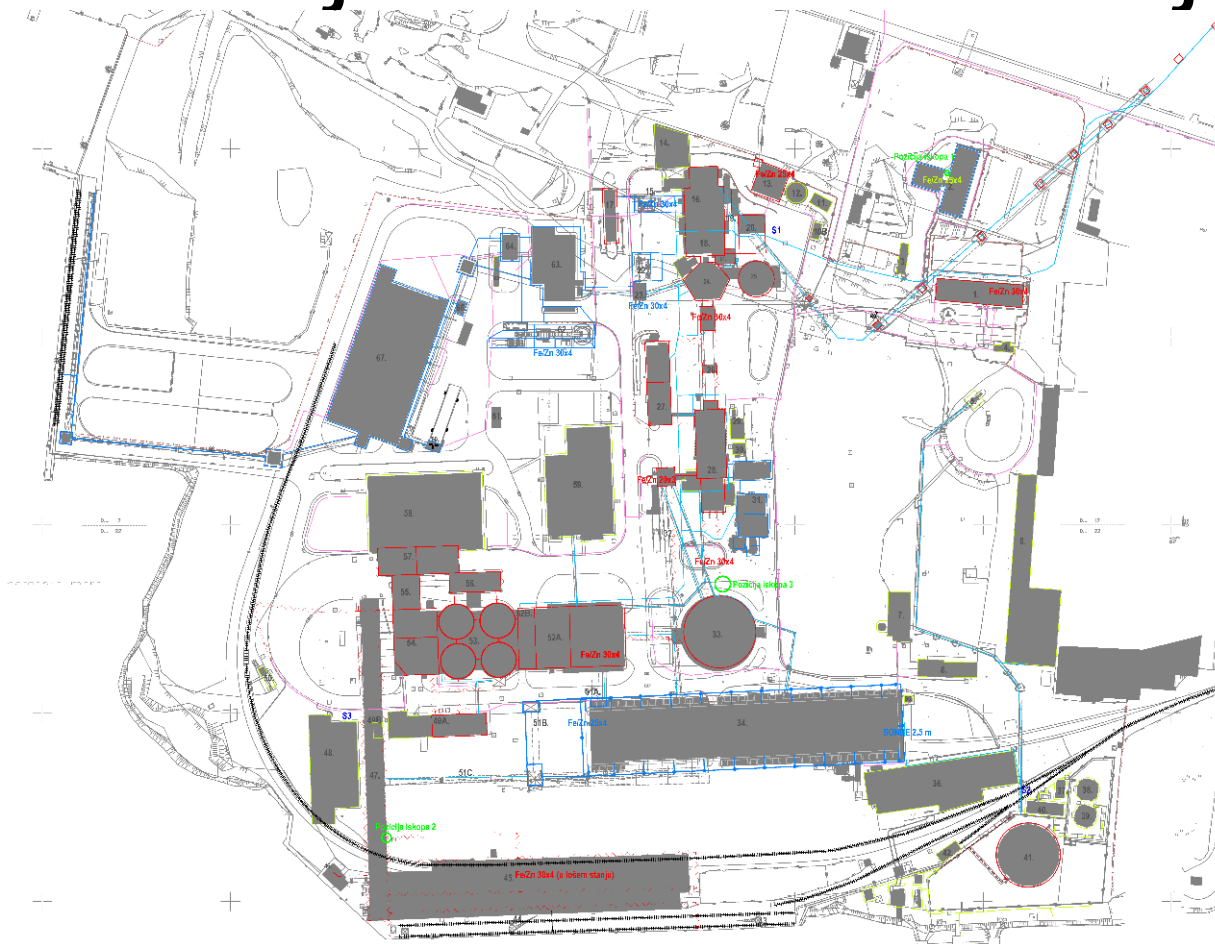
STIPE.VUKASOVIC@CEMEX.COM

ANTE KOVAČEVIĆ

KAPAR D.O.O.

KAPAR@ST.HT.HR

Lokacija tvornice Sv.Juraj



Slika 1. Situacija uzemljivačkog sustava tvornice

SO2-12 Analiza združenog uzemljivačkog sustava tvornice cementa Sv.Juraj
D.Dereani, S.Vukasović, I.Zlatunić, A.Kovačević, T.Vuletić

Br.	Popis objekata	G. izgradnje/ rekonstrukcije	Projekt uzemljivača (detaljnije u prilogu 3 i literaturi)
1.	Upravna zgrada (46x12x11 m)	nepoznato	[39]
2.	Pomoćna upravna zgrada s restoranom (37x13x6 m)	nepoznato	[37]
3.	Dizalica topline upravna zgrada	2011.	ne postoji
4.	Istočna portirnica sa ulazima (11x5x4,5 m)	nepoznato	ne postoji
5.	Auto punilište (9x8x7 m)	nepoznato	ne postoji
6.	Istočno skladište -skladište opeke (100x10x6 m)	nepoznato	ne postoji
7.	Kotlovnica+fumar (26x12x9/32 m)	nepoznato	ne postoji
8.	Proizvodnja vreća - ex Kaštelanka (31x9x7,5 m)	nepoznato	ne postoji
9.	Transporter sirovine - novi dio (39/72x5/5x34/34)	nepoznato	[39] i [42]
10A.	Crpna stanica vode ispod novog dijela transportera sirovine do mlina (6x10x3,5 m)	nepoznato	ne postoji
10B.	Crpna i agregatska postaja - nasuprot TS-6 (9x5x4,5 m)	nepoznato	ne postoji
11.	Pumpa vode bušotine (10x4x4 m)	2011.	ne postoji
12.	Tank vode - pored pumpe (visina 8 m/radijus 6 m)	2011.	ne postoji
13.	Vatrogasno skladište (15,5x15,5x4 m)	nepoznato	[41]
14.	Skladište glinice (24x18x10 m)	nepoznato	ne postoji
15.	Komina (13x7x9 m)	2011.	[31]
16.	Mlin sirovine (46x20x47/58 m)	1976.	Prilog 3 – A
17.	Zapadni ulaz – portirnica (28x6x8 m)	1976.	Prilog 3 – A
18.	Vodotoranj (14x8x75 m)	1976.	Prilog 3 – A
19.	Filter peći (20,84x13,25x33,6 m/dimnjak 75,2-promjer 3,6 m)	2001.	[46]
20.	Trafostanica TS-2 (16x12x5 m)	1976.	Prilog 3 – A
21.	Trafostanica TS-6 (11x7x7 m)	2001.	[46]
22.	Kontejner NO cjevovoda –urea (13x8,5x15 m)	2010.	[33]
23.	Cirkularni odvajač ugljena (8x6x17 m)	2001.	[33]
24.	Izmjenjivač topline (visina 54/72 m; radijus 23 m)	1976.	Prilog 3 – A
25.	Silos sirovine (visina 71 m; radijus 18 m)	1976.	Prilog 3 – A

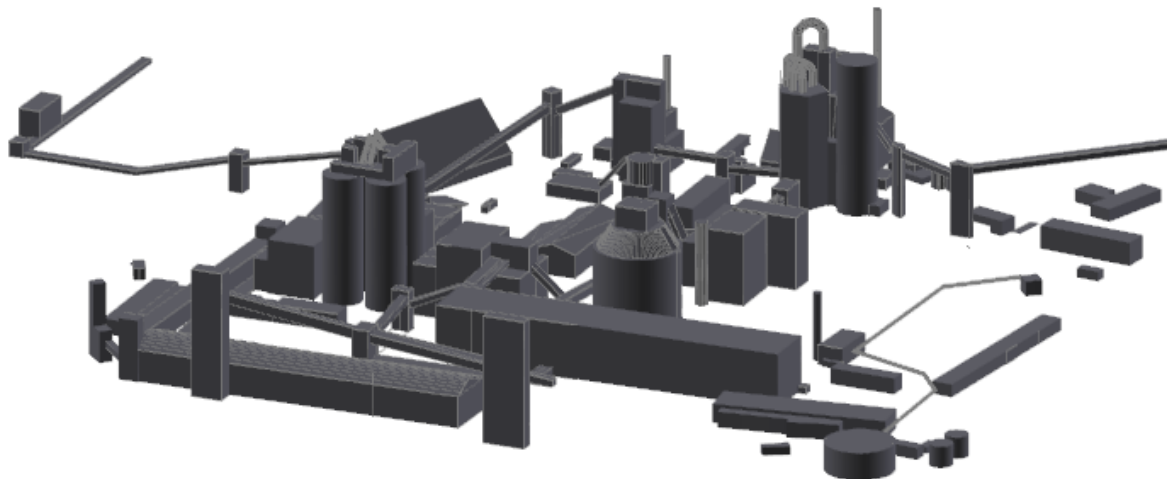
SO2-12 Analiza združenog uzemljivačkog sustava tvornice cementa Sv.Juraj
D.Dereani, S.Vukasović, I.Zlatunić, A.Kovačević, T.Vuletić

Br.	Popis objekata	G. izgradnje/ rekonstrukcije	Projekt uzemljivača (detaljnije u prilogu 3 i literaturi)
26.	Rotacijska peć + prostori temelja (56x10x15 m)	1976.	Prilog 3 – A
27.	Centralna upravljačka stanica (CUS) i TS 3 (49x12x19 m)	1976.	Prilog 3 – A
28.	Hladnjak klinkera (55x15,5x21 m)	1976.	Prilog 3 – A
29.	Skladište CO ₂ (4x4x4 m)	2001.	ne postoji
30.	Silos ugljena (6,5x5x26 m)	2001.	ne postoji
31.	Postrojenje filtera hladnjaka klinkera s TS8 (30x20x34/42,75 m)	2007.	[40]
32.	Transporteri klinkera -transport u silos i halu klinkera s PČ3 (9x9x34 m)	1976.	[38] i [39]
33.	Silos klinkera (radijus 36 m; visina 42/62 m)	1976.	[39]
34.	Klinker hala (166,5x25x25,65 m)	1976. obn.2010.	[30]
35.	Trafostanica EP14 -klinker hala (4x3x3,5 m)	nepoznato	ne postoji
36.	Središnje skladište (165x37x9 m)	nepoznato	ne postoji
37.	Bistrilište (4,5x9,5x3 m)	nepoznato	ne postoji
38.	Tank mazuta 3 (radijus 5,5 m; visina 13 m)	nepoznato	ne postoji
39.	Tank mazuta 2 (radijus 5,5 m; visina 13 m)	nepoznato	ne postoji
40.	Pretoka mazuta iz brodova (19,5x6,5x5,5 m)	nepoznato	ne postoji
41.	Tank mazuta 1 (radijus 16 m; visina 13 m)	nepoznato	[39]
42.	Spremište lokomotive	1976.	ne postoji
43.	LPD (dizalica) – (20x6x60 m)	pretpostavka 1976.	Prilog 3 – A
44.	Lassing (dizalica utovar) – (41x15x25 m)	pretpostavka 1976.	Prilog 3 – A
45.	Utovar u vagone u vrećama na paletama (nadstrešnica kraj Lassiga) – 160x29x20 m	1976.	Prilog 3 – A
46.	Utovar u brodove i vagone cisterne (mala riva) -13x8x35 m	1976.	Prilog 3 – A
47.	Transport prema obali (120x18x21/29 m)	1976.	Prilog 3 – A
48.	Utovar vreća u kamione (stara paletizacija Mollers) – 26x58x7,2 m	2001.	ne postoji
49A.	Trafostanica TS5 (rekuperacija vode, kompresorska) – 52x12x5 m	1976.	[39]
49B.	Aneks TS5	nepoznato	ne postoji

SO2-12 Analiza združenog uzemljivačkog sustava tvornice cementa Sv.Juraj
D.Dereani, S.Vukasović, I.Zlatunić, A.Kovačević, T.Vuletić

Br.	Popis objekata	G. izgradnje/ rekonstrukcije	Projekt uzemljivača (detaljnije u prilogu 3 i literaturi)
50.	Interna benzinska postaja D2 (13x5x5 m)	nepoznato	ne postoji
51A.	Transporter klinkera iz klinker hale do mlinice (male kofice)	1976.	Prilog 3 – A
51B.	Transport dodataka u MC	2011.	[43]
51C.	Transport klinkera u brod	2011.	[44] i [47]
52A.	Mlinica cementa (59x37x35 m)	1976.	Prilog 3 – A
52B.	TS4	1976.	Prilog 3 – A
53.	Silos cementa (radijus 18 m; visina 79/88 m)	1976.	Prilog 3 – A
54.	Pakirnica cementa (pored silosa cementa) – (34x23x25,5 m)	1976.	Prilog 3 – A
55.	Transport vreća za novu paletizaciju (iza rifuznog otvora) – 14x12x15 m	1976.	Prilog 3 – A
56.	Rifuzni utovar u kamione (18,3x10,3x18,8 m)	1976.	Prilog 3 – A
57.	Skladište cementa na paletama (27,3x10,3x15,7 m)	1976.	Prilog 3 – A
58.	Nova paletizacija (Beumer) – 42,5x60x12 m	2006.	ne postoji
59.	Objekt održavanja s aneksom (56x35x15 m)	nepoznato	ne postoji
60.	Novi koš skladišta ugljena (8x5x10 m)	nepoznato	[28]
61.	Skladište ulja (novo na travi pored mehanike) – 9/5x4/2,5x4,5/2,5 m	nepoznato	ne postoji
62.	RDF (2,5/13x2,5/8,5x6/15)	2010.	[32]
63.	Mlinica ugljena (Filter 20, IZVAN 0) – 39x23x45,5 m	2001.	[36]
64.	TS-7 (8x12x5)	2001.	[36]
65.	Tank vode MU	2001.	ne postoji
66.	Pranje cisterni ugljena	2001.	[36]
67.	Skladište ugljena (Z22) – 87x40x25,6 m	2001.	[36]
68.	Transporteri ugljena na brodoist. – mlinice ugljena (Z22)	2001.	[36]
69.	Brodoistovarač ugljena (23x10x14,5 m)	2001.	[36]
70.	Presipne stanice	nepoznato	[39]
71.	Hala krupne homogenizacije	nepoznato	[39]
72.	Ispitna stanica	nepoznato	[39]
73.	Trafostanica	nepoznato	[39]
74.	Droblana	nepoznato	[39]

Prikaz raspodjele potencijala



Primjenjeni propisi i norme:

Zakoni i propisi:

1. Zakon o gradnji (narodne novine 153/13)
2. Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV
3. Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije (narodne novine br. 05/10)
4. Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (Narodne novine br. 87/08, 33/10)

Norme:

1. HRN EN 50522:2012
Uzemljenje električnih postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV
2. HRN HD 60364-4-41:2007
Niskonaponske električne instalacije: Sigurnosna zaštita – zaštita od električnog udara
3. HRN EN 62305-1:2008
Zaštita od munje – 1 dio: Opća načela
4. HRN EN 62305-3:2013
Zaštita od munje – 3 dio: Materijalne štete na građevinama i opasnost po život

IEEE Guide for measurement Earth Resistivity

FM Global Protective grounding for electric power systems and equipment 5-10

Funkcije sustava uzemljenja

Uzemljivački sustav je skup veza između metalnih dijelova i zemlje, sa ciljem da se tim dijelovima nametne najmanja moguća razlika napona prema zemlji.

Pogonsko uzemljenje - omogućuje djelovanje zaštite i pravilan rad opreme odnosno postrojenja.

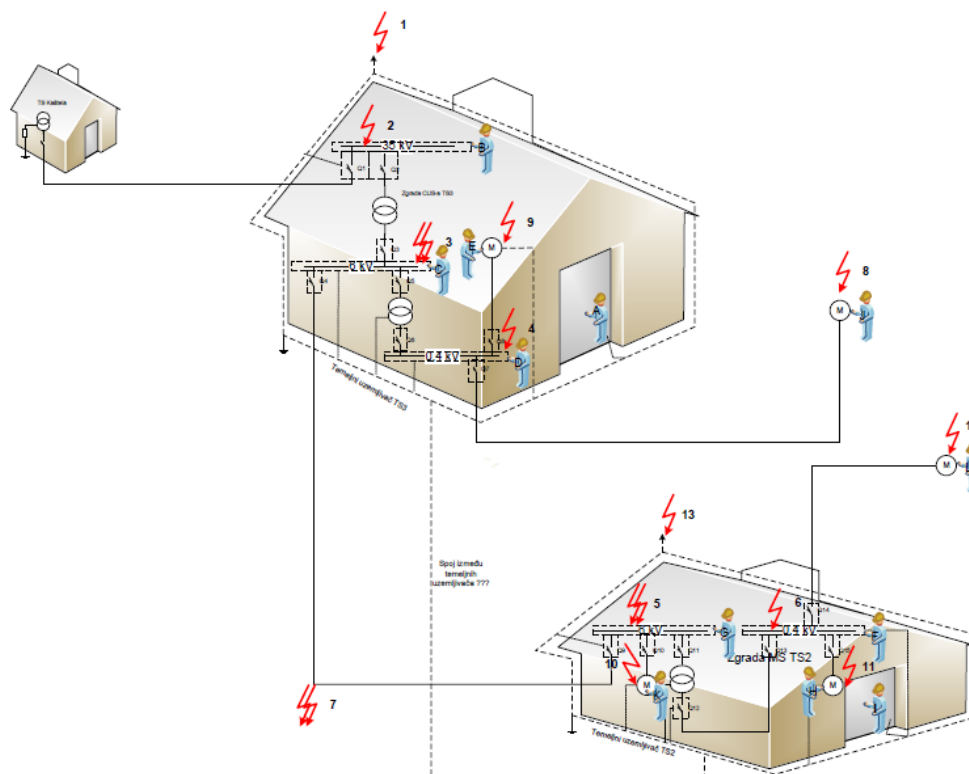
Zaštitno uzemljenje - u slučaju dozemnog kvara uzemljivač postrojenja bude tako izveden da naponi dodira i koraka, budu manji od propisima dozvoljenih napona na svim mjestima unutar i izvan ograde postrojenja.

Zaštita od udara munje - preuzima na sebe izravni udar munje.

Prihvaćenu struju munje odvede sa objekta u zemlju

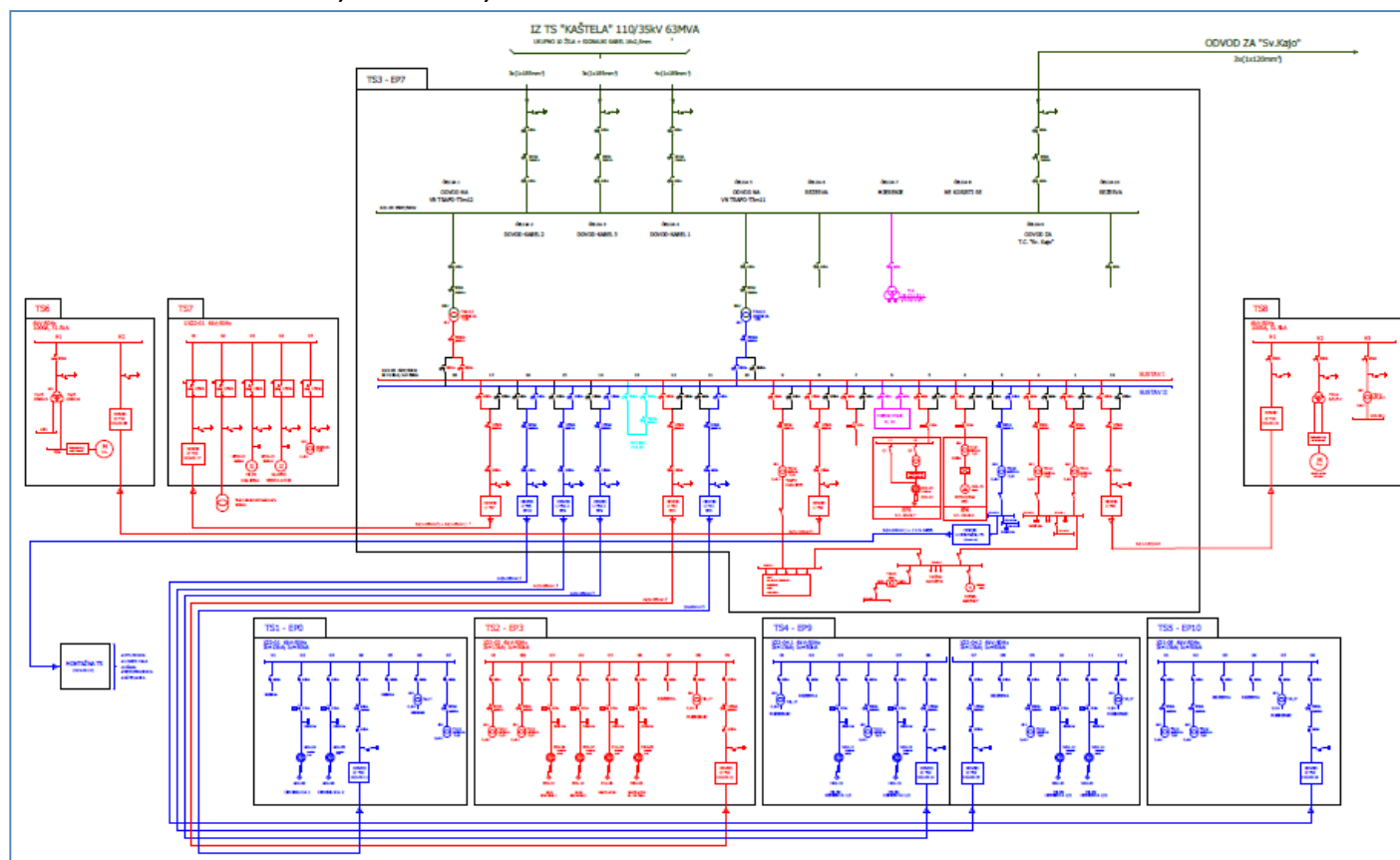
Ciljevi analize :

1. definiranje funkcija uzemljivačkog sustava sa zadovoljavajućim kriterijima (zahtjevi legislative),
2. određivanje preventivnih metoda sa zahtijevanim frekvencijama,
3. usporedba dosadašnje prakse i preporuka analize.



Prikaz naponskih nivoa i sustava uzemljenja

Tri naponske razine: 35 kV, 6 kV i 0,4 kV.



Slika 4. Jednopolna shema razvoda 35 i 6 kV razina tvornice Sv. Juraj

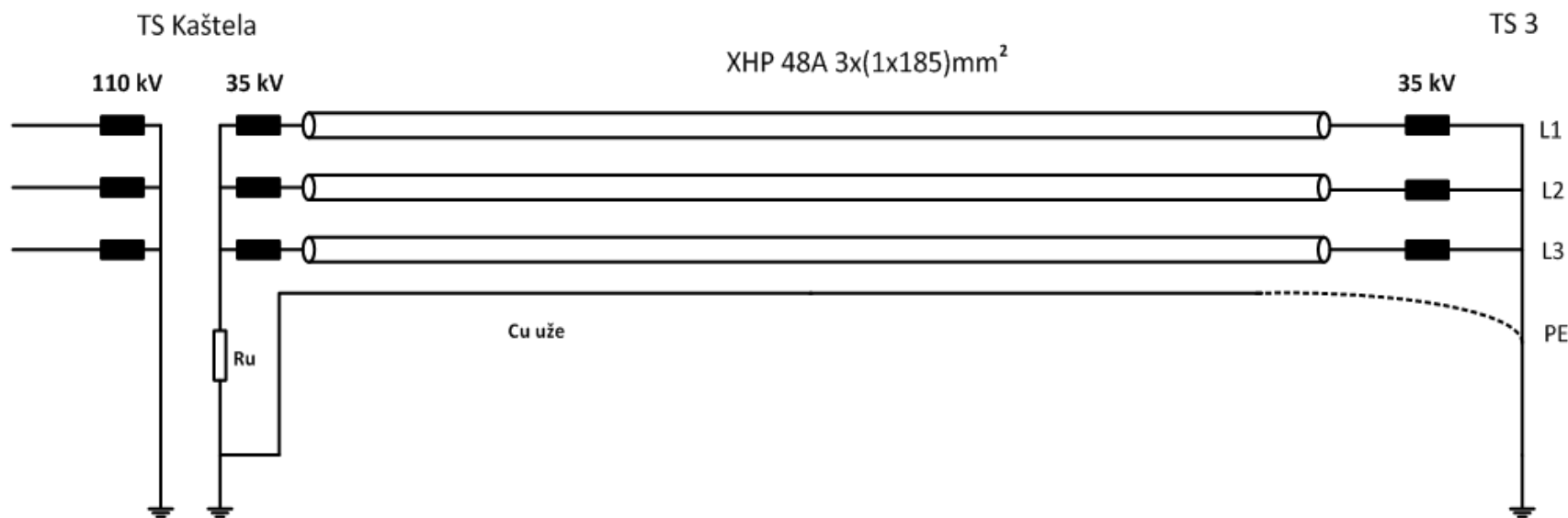
Prikaz naponskih nivoa i sustava uzemljenja

Tri naponske razine: 35 kV, 6 kV i 0,4 kV.

35 kV razina

Kabel Tipa: XHE 48 – A 3X(1X185mm), bitno za proračun reduksijskog faktora (r)

Niskonaponska strana u TS Kaštela uzemljena je preko malog otpornika ($R_u = 70 \Omega$) zbog ograničenja struje kvara

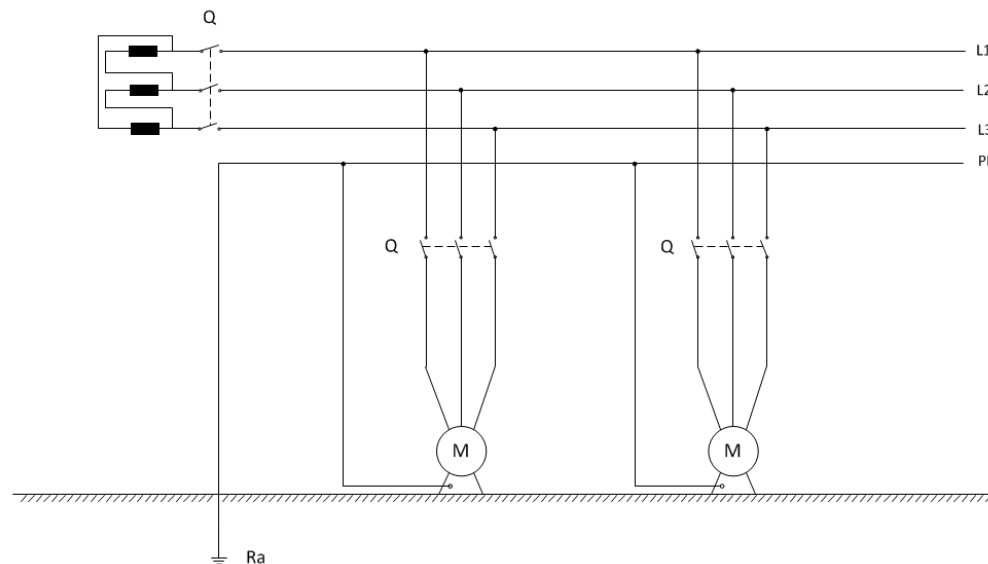


Prikaz naponskih nivoa i sustava uzemljenja

Tri naponske razine: 35 kV, 6 kV i 0,4 kV.

6 kV razina

- IT (Insulated Terra) sustav uzemljenja
- zvjezdište je izolirano i odvojeno od zemlje, jedini spoj sa zemljom ostvaruje se preko dozemnih kapaciteta kabela
- ukoliko se dogodi zemljospoj, struje teku preko dozemnih kapaciteta zdravih faza
- struja na mjestu kvara ovisi o kapacitivnoj strui mreže i o prielaznom otporu



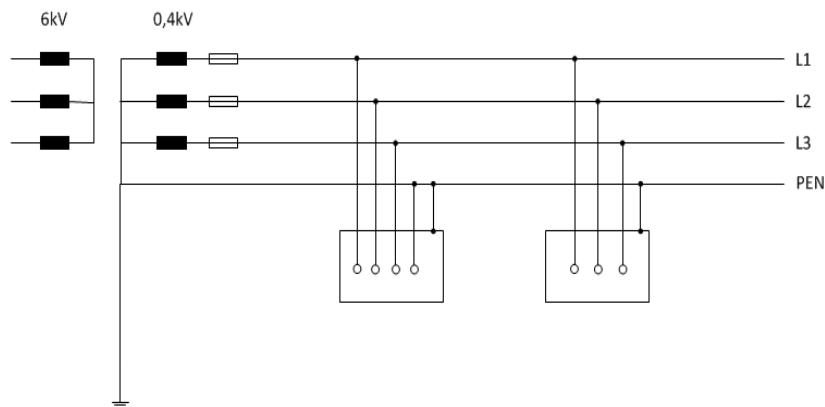
Prikaz naponskih nivoa i sustava uzemljenja

Tri naponske razine: 35 kV, 6 kV i 0,4 kV.

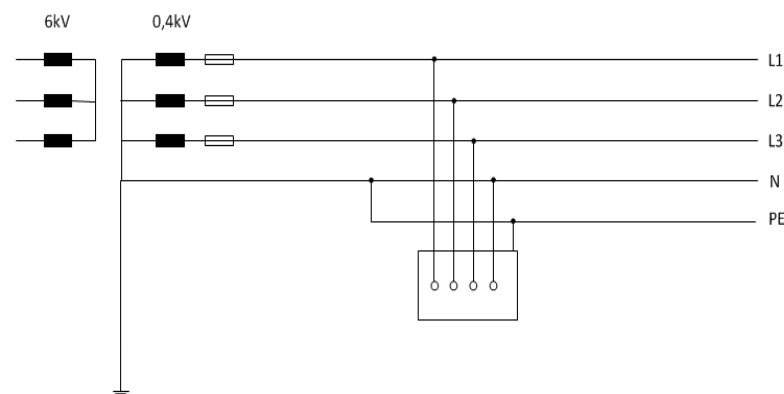
0,4 kV razina

- realizacija TN – C – S sustava u objektima unutar kojih su smješteni u uredi i sale za sastanke s ugrađenim FID sklopkama, osiguračima i automatskim prekidačima
- za ostali dio postrojenja (pretežito motori) izveden je TN – C sustav
- U TN sustavima uzemljuje se neutralna točka sustava

TN-C sustav



TN-C- S sustav



Kriterij prihvatljivosti za sigurnosnu funkciju

35 kV razina

$$R_Z \leq \frac{U_d [V]}{I_E [A]}$$

Prema HRN EN 50522 za
definirani tip kabela :

$r = 0,4$ do $0,6$

$$I_Z = 300 A$$



$$I_E = r \cdot I_Z$$



$$U_d(t)$$

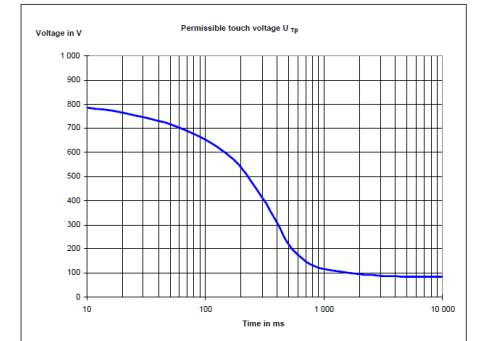
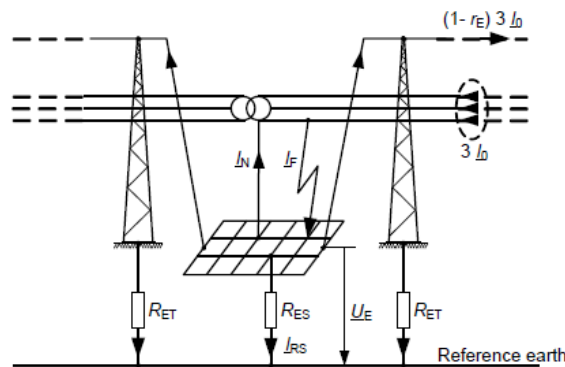
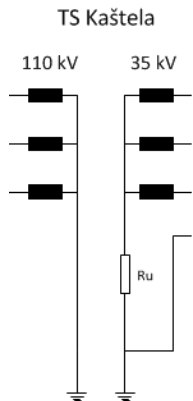


Figure 4 - Permissible touch voltage

NOTE For duration of current flow considerably longer than 10 s a value of 80 V may be used as permissible touch voltage U_{Tp} .

$$R_Z \leq \frac{50 V}{0.6 \cdot 300 A} = 0.28 \Omega$$

HR EN 50522 : 80 V

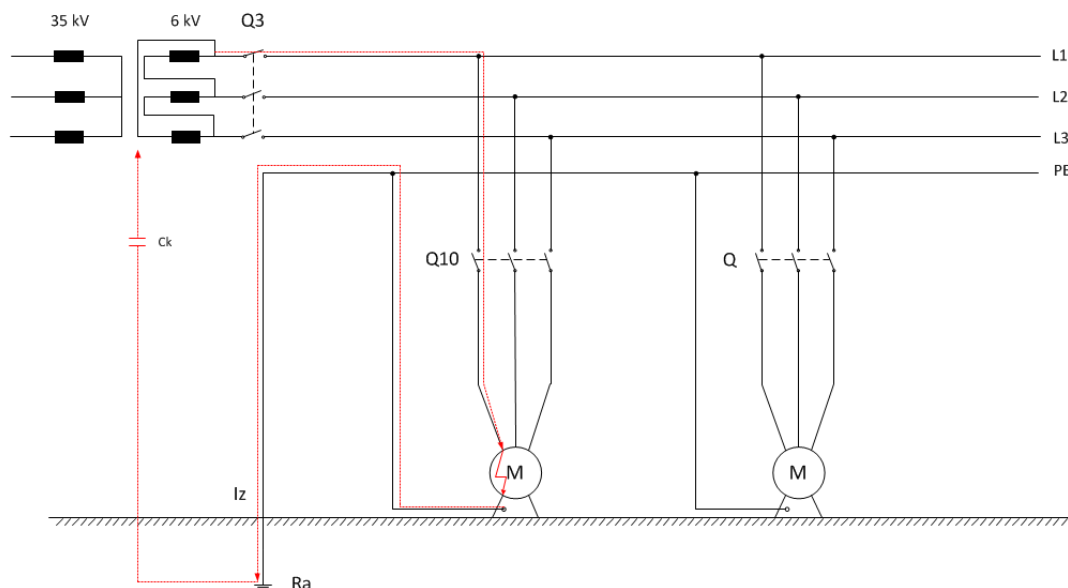
HD 60364-4-41 : 50 V

Kriterij prihvatljivosti za sigurnosnu funkciju

6 kV razina : dva slučaja koja je potrebno razmatrati

Jednostruki kvar (zemljospoj), dvostruki kvar

Jednostruki kvar (zemljospoj)



Poteče jako mala struja zemljospoja (I_Z)

Prema elaboratu podešenja zaštite $I_Z = 17 A$

Proradna struja zaštite $I_a = 15 A$

$$R_Z \leq \frac{U_d(t)}{I_a} = \frac{50 V}{17 A} = 2.9 \Omega$$

HR EN 50522 : 80 V

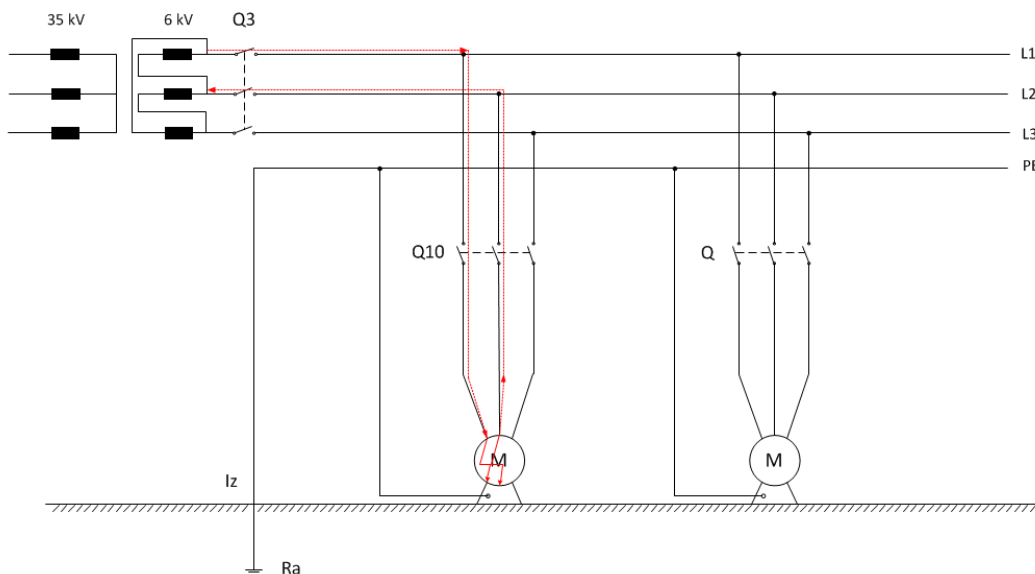
HD 60364-4-41 : 50 V

Kriterij prihvatljivosti za sigurnosnu funkciju

6 kV razina : dva slučaja koja je potrebno razmatrati

Jednostruki kvar (zemljospoj), dvostruki kvar

Dvostruki kvar u dvije faze na istoj lokaciji



Struja kvara se preko mjesta kvara zatvara preko dvije faze koje su u kvaru.

Struja kvara gotovo da ne protječe kroz uzemljivački sustav.

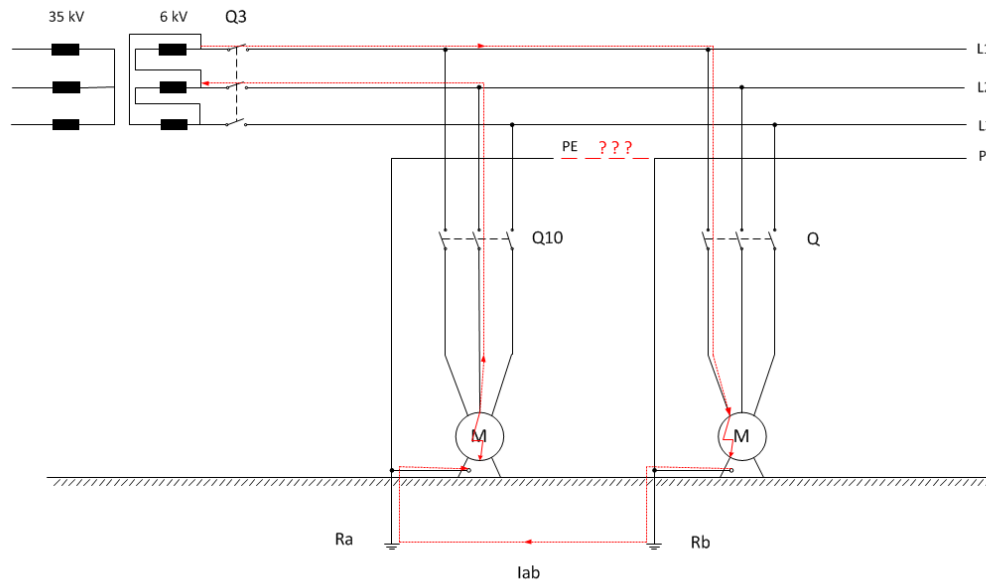
Nema zahtjeva za postavljanje kriterija sigurnosne funkcije u ovom slučaju.

Kriterij prihvatljivosti za sigurnosnu funkciju

6 kV razina : dva slučaja koja je potrebno razmatrati

Jednostruki kvar (zemljospoj), dvostruki kvar

Dvostruki kvar u dvije faze na različitoj lokaciji



Struja kvara (I_{ab}) prolazi kroz uzemljivače izoliranih objekata.

Da se ne bi zadržao prevelik napon dodira mora biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

$$I_{ab} \cdot R_a \leq U_d$$

$$I_{ab} \cdot R_b \leq U_d$$

Kriterij prihvatljivosti za sigurnosnu funkciju

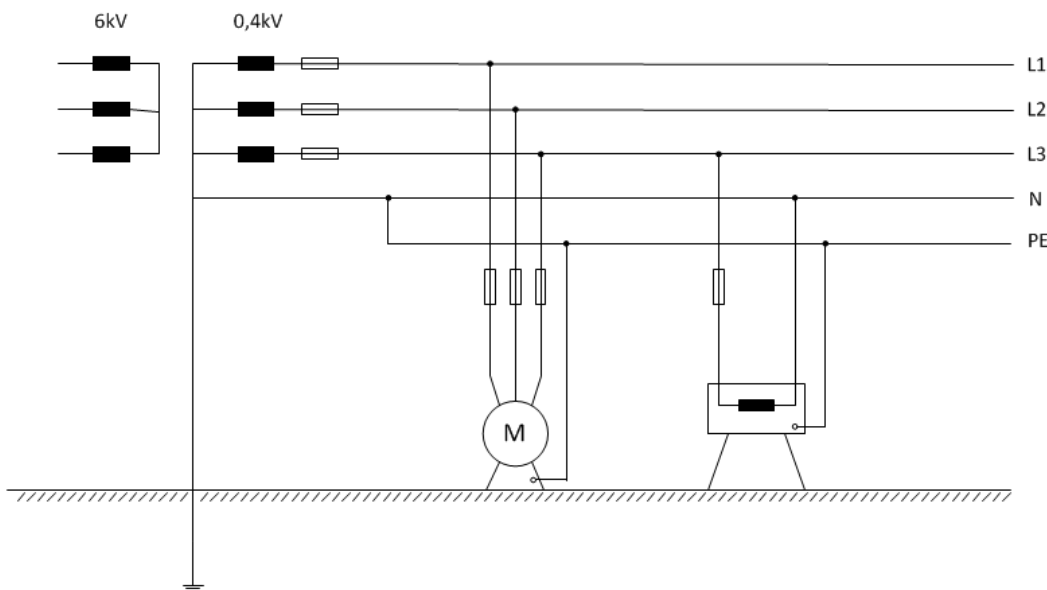
0,4 kV razina

Najvažnija je pouzdanost i djelotvornost spoja PEN ili PE vodiča sa zemljom, jer se time osigurava nepovredivost uzemljenja instalacije.

Najčešće korišteni način zaštite u električnim instalacijama ostvaren je automatskim isključivanjem FID sklopki, osigurača i automatskih prekidača.

Maksimalna vrijednost otpora definirana je prema izrazu:

$$R \leq \frac{U_d}{I_a}$$



U_d -prema HD60364-4-41 (50V)

I_a - ovisi o karakteristici (A, B, C, D itd.) i nazivnoj struji osigurača.

Npr. za prekidač $I_n = 16A$, B karakteristike maksimalno dozvoljeni otpor bi iznosio:

$$R \leq \frac{U_d}{5I_n} = \frac{50 V}{5 \cdot 16 A} = 0.625 \Omega$$

Kriterij prihvatljivosti za funkciju zaštite od munje

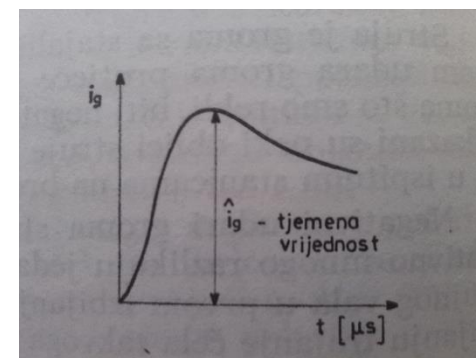
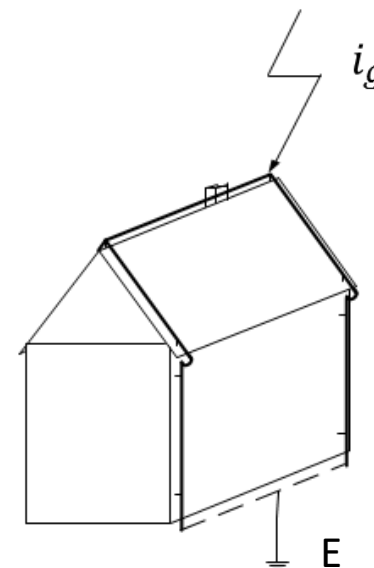
Udarni otpor uzemljivača može biti veći ili manji od otpora rasprostiranja.

$$R_u = k \cdot R_z$$

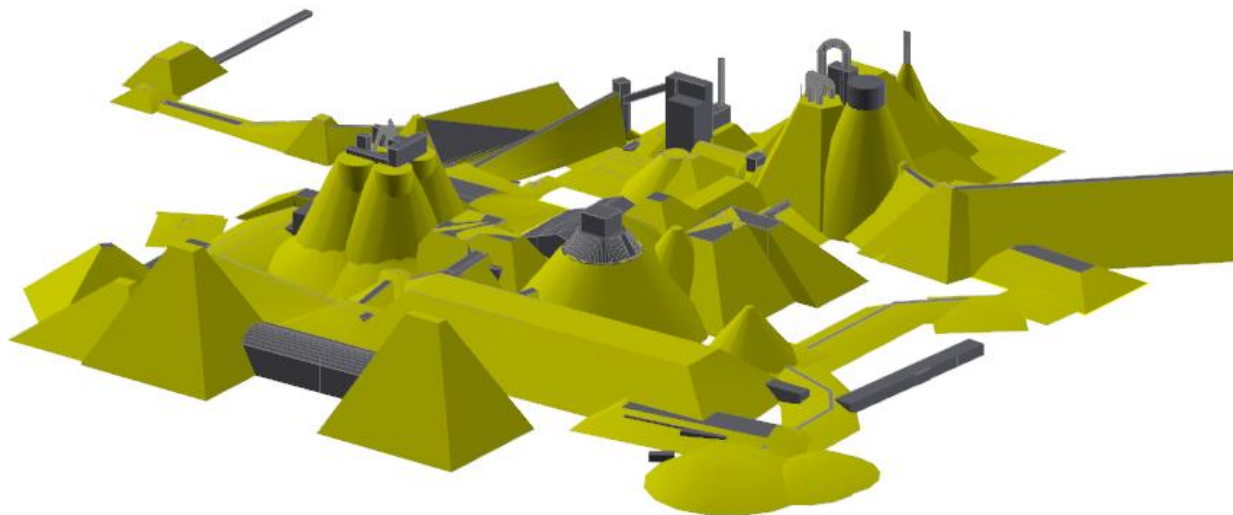
Udarni otpor ne ovisi samo o jačini struje groma nego i o obliku struje groma. Posebno na nju utječe strmina struje groma (od 0.3 do 80 kA/μs).

Prema normi HR EN 62305-3 preporučljivo je da stacionarni otpor uzemljenja bude manji od 10 Ω.

Danas se u praksi nastoji da udarni otpor bude manji od 20 Ω.



Kriterij prihvatljivosti za funkciju zaštite od munje



Slika 6. Prikaz objekata tvornice sa zonama štíćenja prema pripadajućim LPS-ovima

Prikaz mjernih točaka unutar tvornice prilikom mjerenja otpora rasprostiranja U/I metodom



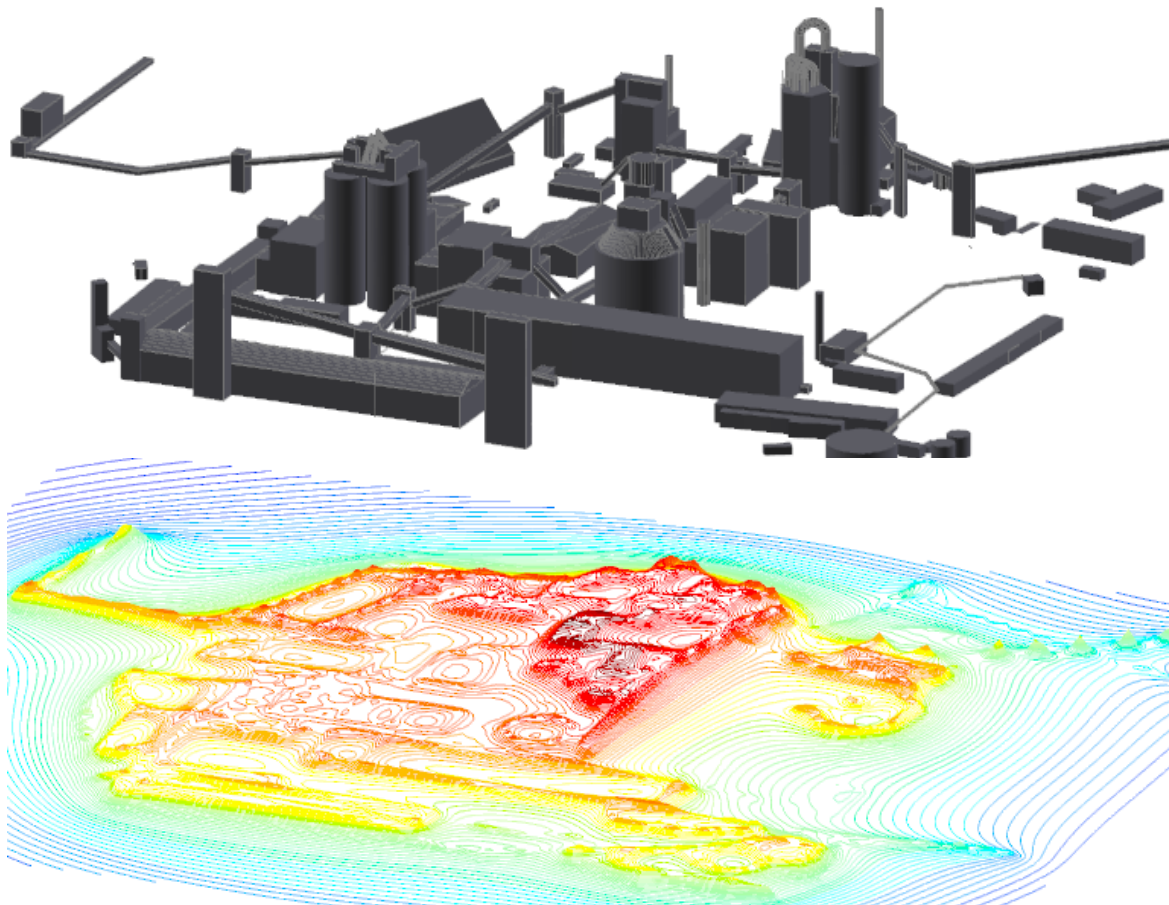
Prikaz mjernih točaka unutar tvornice prilikom mjerenja otpora rasprostiranja U/I metodom



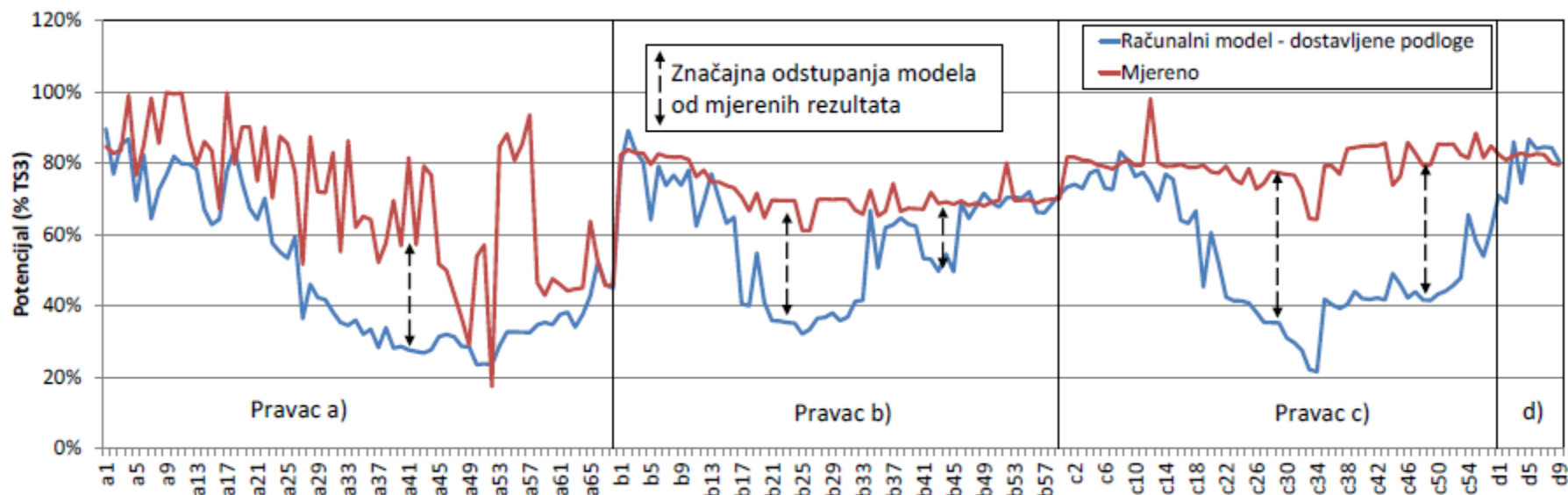
Prikaz mjernih
točaka unutar
tvornice prilikom
mjerjenja otpora
potencijala
metalnih masa



Prikaz raspodjele potencijala



Prikaz mjernih točaka unutar tvornice prilikom mjerenja otpora potencijala metalnih masa



Slika 9. Grafički prikaz usporedbe mjerenih i proračunatih potencijala na točkama mjernih pravaca



Dosadašnja praksa– objekti razmatrani pojedinačno

Tijekom godina veze između određenih uzemljivača objekata su oslabile (utjecaj korozije, objekti stari preko 40g) ili su prekinute prilikom iskopa, a potom nisu adekvatno obnovljene, te mjerenjem otpora rasprostiranja iz samo jednog objekta mogu se uočiti odstupanja u izmjerenim vrijednostima potencijala.

Izmjerene vrijednosti značajno niskog iznosa potencijala (<50%) na objektima unutar postrojenja ukazuju na vjerojatnost da su odvojeni od ostatka sustava ili su veze između njih u iznimno lošem stanju, odnosno temeljene su samo na PEN vodičima koji se ne preporučuju koristiti kao uzemljivački vodič.

Dosadašnja praksa je bila da se združeni uzemljivački sustav tvornice ispitivao utiskivanjem struje samo u uzemljivač objekta TS3. Određivanje otpora rasprostiranja i provjere uvjeta bezopasnosti samo za taj objekt nije mjerilo stanja cijelog uzemljivačkog sustava.

Preporučene aktivnosti – združeni uzemljivački sustav

Analizu i provjeru stanja združenog uzemljivačkog sustava tvornice potrebno je provjeravati u skladu sa trenutno važećim normama.

Kompletanu stanje združenog uzemljivačkog sustava nije moguće dobiti mjerenjem otpora rasprostiranja prema udaljenoj zemlji iz samo jednog objekta kako je bila dosadašnja praksa.

Mjerenje otpora rasprostiranja svake 4. godine na način da se odaberu minimalno 3. radijalno suprotna objekta s različitim pozicijama utiskivanja struje.

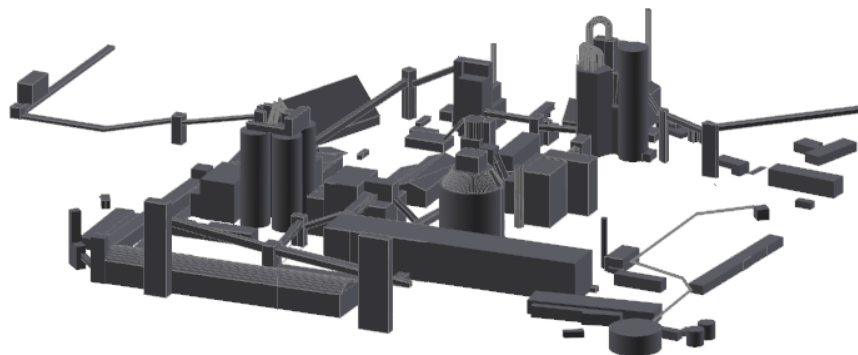
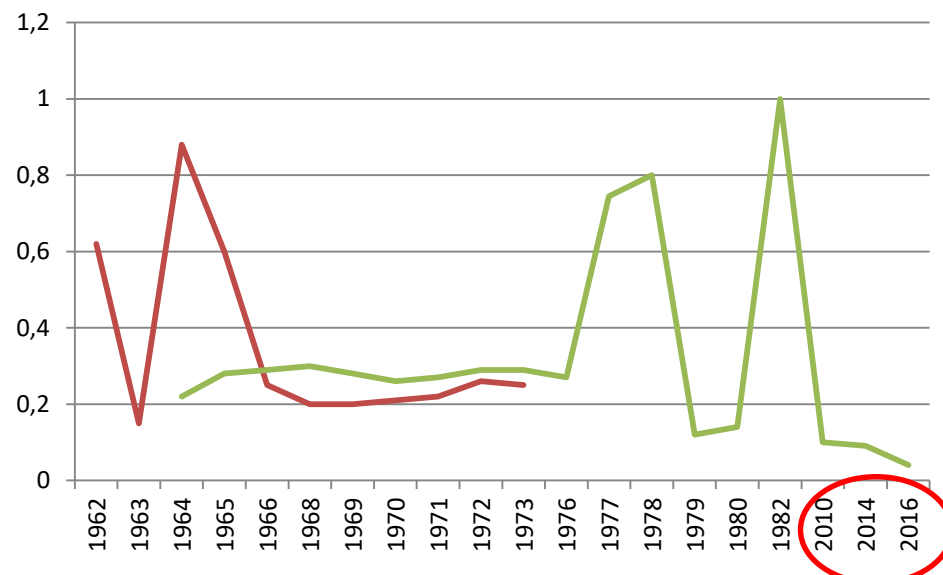
Nakon većeg broja mjerenja uz relativno niske troškove, moći će se utvrditi postoji li velika razlika u izmjerenim otporima rasprostiranja ovisno o mjestu utiskivanja struje u uzemljivač.

Ako rezultati pokažu značajne razlike u izmjerenim vrijednostima otpora preporuča se povezati te dijelove uzemljivača s ostalim uzemljivačkim sustavom ili alternativno propisati mjere i zadovoljenje uvjeta bezopasnosti za izolirani objekt.

Stavka	Frekvencija	Kriterij	Metoda	Napomena
Mjerenje otpora rasprostiranja	Jednom u 4 godine	$\leq 0.28 \Omega$ HRN EN 50522	U/I metoda	Struja niske frekvencije
Mjerenje otpora sustava za izjednačenje potencijala	Jednom u 4 godine	$\leq 1 \Omega$ HRN HD 60364-4-41	U/I metoda	Ovisno o zahtjevanom otporu rasprostiranja s obzirom na mjesto utiskivanja struje
Mjerenje kontinuiranosti uzemljivačkih vodiča	Jednom u 4 godine	$\leq 1 \Omega$	Metoda s visokim strujama	Prema preporukama IEEE norme
Vizualni pregled	Jednom u 2 godine	Uzemljivačke veze moraju biti kontinuirane HRN HD 60364-6	Kontinuiranost svih metalnih masa	Za podzemne vodove potrebni su iskopi
Mjerenje udarnog otpora	Jednom u 4 godine	$\leq 20 \Omega$ HRN EN 62305-3	U/I metoda i procjena koeficijenta rasprostiranja	U navedenoj normi je dan iznos maksimalno dopuštenog stacionarnog otpora $\leq 10 \Omega$

Povijest mjerenja uzemljenja u Sv.Juraju

1962	0,62	0,14
1963	0,15	
1964	0,88	0,22
1965	0,6	0,28
1966	0,25	0,29
1968	0,2	0,3
1969	0,2	0,28
1970	0,21	0,26
1971	0,22	0,27
1972	0,26	0,29
1973	0,25	0,29
1976		0,27
1977		0,745
1978		0,8
1979		0,12
1980		0,14
1982		1 (0,8 u rudniku)
2010		0,1
2014		0,091
2016		0,041 (0,7-2 samo ugljen)



Pitanja za raspravu:

- 1.Da li su tijekom mjerenja zabilježene nedopuštene vrijednosti napona koraka i dodira te koje su mjere poduzete za otklanjanje istih?
- 2.Mogu li autori komentirati zašto kompletno stanje uzemljivačkog sustava nije moguće dobiti mjerenjem otpora rasprostiranja prema udaljenoj zemlji iz samo jednog objekta kako je navedeno u zaključku?
- 3.Mogu li autori pojasniti odstupanja izmjerenih i proračunatih vrijednosti potencijala prikazanih slikom 8.?