



B&B

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Elektroen. učinkovitost in el. ins.

**NAPAJALNI SISTEMI BAZNIH POSTAJ IN
REPETITORJEV GSM-R
NA PROGAH G50 IN G64
FUNKCIONALNI OPIS NAPAJANJA
SISTEMA GSM-R**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.

Kandidat: Patrik Prelec

Mentor v podjetju: Slavko Petrc, inž. tel.

Lektor/ica: Urška Škvorc, dipl. slov.

Lokev, september 2026

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el. za strokovno pomoč, usmerjanje in nasvete pri pripravi diplomskega dela.

Hvala tudi mentorju v podjetju SŽ – Infrastruktura d.o.o., Slavku Petrcu, inž. tel. za praktične nasvete in pomoč pri razumevanju delovanja napajalnih sistemov GSM-R.

Zahvaljujem se tudi lektorici ge. Urška Škvorc, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala gre sodelavcem in kolegom, ki so mi pomagali pri zbiranju fotodokumentacije in tehničnih podatkov s terena.

Največja zahvala pa gre moji družini za podporo, potrpežljivost in spodbudo v času študija in priprave diplomskega dela.

IZJAVA

Študent Patrik Prelec izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 1. 9. 2026

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava celovit pregled napajalnih sistemov železniškega komunikacijskega omrežja GSM-R na progah G50 in G64. Sistem GSM-R je ključen element evropskega železniškega prometa, saj omogoča varno komunikacijo med strojevodji, prometniki in komunikacijskimi napravami. Zanesljivo delovanje teh sistemov je neposredno povezano z ustrezno zasnovo, izvedbo in vzdrževanjem napajalnih sistemov.

Opisani so različni tipi napajalnih sistemov (IT, TT, TN-C, TN-S, TN-C-S), njihove značilnosti, prednosti in slabosti ter razlogi, zakaj se določeni sistemi uporabljajo v železniški infrastrukturi. Poseben poudarek je na izolacijskem nadzoru, ozemljitvah, transformatorjih različnih vezav, selektivnosti varovalk, prenapetostnih zaščitah ter posebnostih pri napajanju oddaljenih repetitorjev, kjer se uporablja napetost 750 V. Prikazan je pregled 38 lokacij baznih postaj in repetitorjev GSM-R na omenjenih progah, skupaj s ključno opremo, napajalnimi potmi, transformatorji in zaščitami.

Cilj diplomskega dela je ustvariti Funkcionalni opis napajanja sistema GSM-R, ki olajša delo terenskimi delavcem, skrajša čas diagnostike napak ter izboljša varnost vzdrževanja komunikacijskih naprav.

KLJUČNE BESEDE

- GSM-R
- napajalni sistemi
- bazne postaje
- ozemljitev
- železniška infrastruktura

SUMMARY

The thesis provides a comprehensive overview of the power supply systems of the GSM-R communication infrastructure along railway lines G50 and G64. GSM-R is an essential component of modern railway systems, ensuring secure communication between train drivers, dispatchers, and signalling equipment. A reliable power supply is crucial for preventing outages and ensuring operational safety.

This work describes various power system configurations (IT, TT, TN types), their advantages, limitations, and Functional description applications in the railway environment. It includes a detailed explanation of insulation monitoring, grounding, transformer topologies, over-voltage protection, and long-distance power transmission using 750 V systems. The thesis includes a structured overview of 38 field locations with technical descriptions of equipment and supply paths.

Its main goal is to provide a practical field manual that enhances diagnostic efficiency and safety during maintenance operations.

KEYWORDS

- GSM-R
- power supply systems
- base stations
- grounding
- railway infrastructure

KAZALO

1	UVOD	1
1.1.	Predstavitev problema.....	1
1.2.	Cilji diplomskega dela.....	2
1.3.	Predstavitev okolja.....	2
1.4.	Predpostavke in omejitve	3
1.5.	Raziskovalna vprašanja	4
1.6.	Metode dela	4
2	TEORETIČNE OSNOVE	5
2.1.	Pomen napajalnih sistemov GSM-R kot kritične infrastrukture	5
2.2.	Sistem IT	5
2.3.	Sistem TT	7
2.4.	Sistem TN	8
2.5.	Primerjava napajalnih sistemov IT, TT in TN	9
2.6.	Napajalni sistemi IT, TT in TN imajo v praksi različne prednosti in slabosti, ki vplivajo na njihovo uporabo v železniški infrastrukturi, še posebej v sistemih GSM-R.....	9
2.7.	Napake v napajalnih sistemih lahko neposredno vplivajo na delovanje GSM-R sistema	10
3	OBSTOJEČE STANJE.....	11
3.1.	Posnetek stanja	11
3.2.	Kritična analiza.....	11
3.3.	Lastni prispevek diplomskega dela	12
4	PRAKTIČNI DEL	13
4.1.	Tipične napake na terenu	13
4.2.	Primer okvare na terenu in postopek odprave.....	13
4.3.	Priporočila za terenske delavce.....	14
4.4.	Postopek sistematične diagnostike napak	14
4.5.	Analiza izbire napajalnih sistemov na dejanskih lokacijah	14
4.6.	Kritična primerjalna analiza napajalnih sistemov	15
4.6.1.	Uporaba sistema IT	15
4.6.2.	Uporaba sistema TN	16
4.6.3.	Primerjava izbire sistema glede na lokacijo	16
4.7.	Tipi varovalk.....	18
4.7.1.	Talilne varovalke	18
4.8.	Selektivnost varovalk.....	18
4.9.	Varovalke v sistemih GSM-R.....	19
4.10.	Pomen pravilne izbire varovalk.....	19
5	TIPI TRANSFORMATORJEV PO POSAMIČNIH BP IN RBP	21
5.1.	Transformatorji trikot-trikot (Δ/Δ)	21

5.2.	Transformatorji trikot-zvezda (Δ/Y)	22
5.3.	Uporaba napetosti 750 V.....	22
5.4.	Vloga transformatorjev v sistemu IT	23
5.5.	Praktični vidik uporabe transformatorjev.....	23
5.6.	Pomen transformatorjev za zanesljivost sistema	23
5.7.	Omara R-TR-RU	25
6	MEHKI ZAGON	26
6.1.	Opis delovanja mehkega zagona	26
7	VARNOST PRI ELEKTROSISTEMIH.....	28
8	POMEN REDNEGA VZDRŽEVANJA NAPAJSALNIH SISTEMOV.....	29
9	MOŽNOSTI NADGRADNJE SISTEMA	30
10	VPLIV NAPAJSALNEGA SISTEMA NA ZANESLJIVOST GSM-R.....	31
11	VPLIV NAPAJSALNEGA SISTEMA NA VARNOST ŽELEZNIŠKEGA PROMETA	32
12	ZAKLJUČKI	33
13	LITERATURA IN VIRI	35
	PRILOGA.....	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Sistem IT 1	6
Slika 2: Sistem TT 1	7
Slika 3: Sistem TN-C, TN-S, TN-C-S 1	8
Slika 4: Talilna varovalka	20
Slika 5: Talilna varovalka Pancerka	20
Slika 6: Napajanje oddaljenih RBP in BP	21
Slika 7: Napajanje bližnjih RBP in BP ter prostora TK	22
Slika 8: Omara R-TR-RU	25
Slika 9: Shema »mehki zagon« transformatorja	27
Slika 10: BP 50.01 Brezovica	36
Slika 11: Shema Brezovica	37
Slika 12: BP 50.02 Preserje	38
Slika 13: Shema Preserje	39
Slika 14: RBP 50.03 Dol pri Borovnici	40
Slika 15: Shema RBP Dol pri Borovnici	41
Slika 16: BP 50.03 Dol pri Borovnici	42
Slika 17: Shema BP Dol pri Borovnici	43
Slika 18: RBP 50.04 A1 Verd	44
Slika 19: Shema RBP Verd	45
Slika 20: BP 50.04 Verd	46
Slika 21: Shema BP Verd	47
Slika 22: BP 50.05 Snežni grič	48
Slika 23: Shema BP Snežni grič	49
Slika 24: BP 50.06 Logatec	50
Slika 25: Shema BP Logatec	51
Slika 26: BP 50.07 Suhi Vrh	52
Slika 27: Shema BP Suhi Vrh	53
Slika 28: BP 50.08 Planina	54
Slika 29: Shema BP Planina	55
Slika 30: BP 50.09 Rakek	56
Slika 31: Shema BP Rakek	57
Slika 32: RBP 50.10 A1 Ravbarkomanda	58
Slika 33: Shema RBP Ravbarkomanda	59
Slika 34: BP 50.10 Ravbarkomanda	60
Slika 35: Shema BP Ravbarkomanda	61
Slika 36: BP 50.11 Postojna	62
Slika 37: Shema BP Postojna	63
Slika 38: BP 50.12 Prestranek	64
Slika 39: Shema BP Prestranek	65
Slika 40: BP 50.13 Pivka	66
Slika 41: Shema BP Pivka	67
Slika 42: RBP 50.13 B1 Pivka	68
Slika 43: Shema RBP Pivka	69

Slika 44: BP 50.14 Neverke.....	70
Slika 45: Shema BP Neverke	71
Slika 46: BP 50.15 Košana.....	72
Slika 47: Shema BP Košana	73
Slika 48: RBP 50.16 A1 Zaranje.....	74
Slika 49: Shema RBP Zaranje.....	75
Slika 50: BP 50.16 Zaranje.....	76
Slika 51: Shema BP Zaranje	77
Slika 52: RBP 50.17 A1 Gornje Ležeče 1	78
Slika 53: Shema RBP Gornje Ležeče 1	79
Slika 54: BP 50.17 Gornje Ležeče 1	80
Slika 55: Shema BP Gornje Ležeče 1	81
Slika 56: BP 50.18 Gornje Ležeče 2.....	82
Slika 57: Shema BP Gornje Ležeče 2	83
Slika 58: BP 50.19 Vreme	84
Slika 59: Shema BP Vreme	85
Slika 60: RBP 50.19 A1 Vreme	86
Slika 61: Shema RBP Vreme	87
Slika 62: BP 50.20 Ravni.....	88
Slika 63: Shema BP Ravni	89
Slika 64: BP 64.01 Narin	90
Slika 65: Shema BP Narin	91
Slika 66: RBP 64.02 B1 Jakšič	92
Slika 67: Shema RBP Jakšič	93
Slika 68: RBP 64.02 B1 Jakšič	94
Slika 69: Shema RBP Jakšič B1	95
Slika 70: BP 64.02 Jakšič	96
Slika 71: Shema BP Jakšič.....	97
Slika 72: BP 64.03 A1 Kilovče	98
Slika 73: Shema BP Kilovče	99
Slika 74: RBP 64.03 A1 Kilovče	100
Slika 75: Shema RBP Kilovče	101
Slika 76: BP 64.04 Mereče	102
Slika 77: Shema BP Mereče.....	103
Slika 78: BP 64.05 Ilirska Bistrica	104
Slika 79: Shema BP Ilirska Bistrica.....	105
Slika 80: BP 64.06 Mala Bukovica.....	106
Slika 81: Shema BP Mala Bukovica	107
Slika 82: RBP 64.07 Malo Brdo	108
Slika 83: Shema RBP Malo Brdo.....	109
Slika 84: BP 64.07 B1 Malo Brdo	110
Slika 85: Shema BP Malo Brdo	111

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava napajalnih sistemov IT, TT in TN.....	17
--	----

POJMOVNIK

Bender (kontrolnik izolacije): Naprava za nadzor izolacijskega upora v sistemu IT, ki opozori na prvo okvaro proti zemlji.

BP: Bazna postaja je objekt, ki omogoča radijsko pokritost omrežja GSM-R in komunikacijo z vlakom ter drugimi napravami.

ERTMS: European Rail Traffic Management System je evropski sistem za upravljanje železniškega prometa, ki združuje komunikacijske rešitve.

ETCS: European Train Control System je del sistema ERTMS, namenjen nadzoru in vodenju vlakov ter povečanju varnosti železniškega prometa.

GSM-R: Global System for Mobile Communications – Railway je digitalni komunikacijski sistem, namenjen železniškemu prometu, ki omogoča varno in zanesljivo komunikacijo med udeleženci v prometu.

Ozemljitev: Sistem povezav z zemljo, ki zagotavlja varnost ljudi in pravilno delovanje zaščitnih naprav.

Prenapetostna zaščita: Naprava za zaščito električnih sistemov pred prenapetostnimi udari, kot so strele ali preklopni pojavi.

RBP: Repetitorska bazna postaja je naprava za ojačanje in posredovanje signala GSM-R na območjih s slabšo pokritostjo.

Sistem IT: Napajalni sistem, pri katerem je nevtralna točka izolirana od zemlje, ohišja naprav pa so ozemljena; omogoča delovanje tudi ob prvi okvari.

Sistem R-TR-RU: Sistem napajanja, ki omogoča prenos električne energije na večje razdalje z višjo napetostjo (npr. 750 V) za napajanje oddaljenih RBP.

Sistem TN: Napajalni sistem, kjer sta nevtralni in zaščitni vodnik povezana z ozemljitvijo vira; poznamo izvedbe TN-C, TN-S in TN-C-S.

Sistem TT: Napajalni sistem, pri katerem je ena točka vira neposredno ozemljena, ohišja naprav pa imajo lastno ozemljitev.

Transformator: Električna naprava za pretvorbo napetosti, ki omogoča prilagoditev napajalnih nivojev v sistemu.

KRATICE IN AKRONIMI

A:	amper
BP:	bazna postaja
DEA:	dizelski električni agregat
ERTMS:	evropski sistem za upravljanje železniškega prometa
ETCS:	evropski sistem za nadzor vlakov
f:	frekvenca
GSM-R:	železniški komunikacijski sistem
I:	tok
IT:	izolirani napajalni sistem
KI:	kontrolnik izolacije
KU:	kontrolnik napetosti
PMO:	napajalna merilna omara
R:	upornost
R-BP-TR:	zidna omarica
RBP:	repetitorska bazna postaja
RG:	glavni razdelilec
TN:	ozemljen napajalni sistem
TRL:	ločilni transformator
TT:	neposredno ozemljen sistem
U:	napetost
V:	volt

1 UVOD

Diplomsko delo zajema opis napajalnih sistemov za napajanje BP na progah G50 in G64. Predstavljena je fotodokumentacija omar R-BP-TR iz vseh 27 BP in 11 RBP. Slike za vsako BP so označene ter opisane so posamezne varovalke in druge komponente. Prav tako so označene in opisane omare R-GSM-R in RG, ki napajajo BP in RBP.

Namen diplomskega dela je izdelati Funkcionalni opis napajanja sistema GSM-R, ki omogoča lažje razumevanje enopolnih napajalnih shem in vgrajene opreme. S pomočjo slik lažje razberemo, katere komponente imamo v posamezni omari R-BP-TR in kateri sistem napajanj je uporabljen. Prav tako lahko iz slik vidimo, kateri tip varovalk je uporabljen, ter se tako lažje orientiramo in pripravimo za popravilo.

1.1. Predstavitev problema

Železniški promet predstavlja eno ključnih oblik transporta, kjer sta varnost in zanesljivost delovanja sistemov izjemnega pomena. Sodobni železniški sistemi temeljijo na digitalnih komunikacijskih rešitvah, med katerimi ima pomembno vlogo sistem GSM-R, ki omogoča stalno komunikacijo med strojevodji, prometniki in komunikacijskimi napravami (UIC, 2015).

Delovanje sistema GSM-R je neposredno odvisno od zanesljivega napajanja BP in RBP (Siemens AG, 2018). Vsaka prekinitev napajanja lahko povzroči izpad komunikacije, kar lahko vodi do motenj v prometu, zmanjšanja varnosti ali celo nevarnih situacij. Zato napajalni sistemi GSM-R sodijo med kritično infrastrukturo.

V praksi se pojavljajo različni izzivi, povezani z napajanjem teh sistemov. BP in RBP so pogosto nameščeni na oddaljenih in težje dostopnih lokacijah, kjer so prisotni veliki padci napetosti, različni pogoji ozemljitve ter vplivi okolja. Poleg tega se uporabljajo različni napajalni sistemi (IT, TT, TN), ki zahtevajo dobro poznavanje svojega delovanja in posebnosti.

Eden ključnih problemov je tudi pravočasno odkrivanje napak v napajalnih sistemih. Manjše napake, kot sta poslabšana izolacija ali nepravilno delovanje zaščitnih elementov, lahko sčasoma povzročijo večje okvare ali popoln izpad sistema. V praksi to pomeni daljši čas odprave napake, večje motnje v delovanju sistema in večje tveganje za varnost.

Dodatno težavo predstavlja tudi razumevanje napajalnih shem na terenu, saj so sistemi kompleksni in se razlikujejo od lokacije do lokacije. Terenski delavci se pogosto srečujejo z različnimi konfiguracijami transformatorjev, varovalk in napajalnih poti, kar otežuje hitro diagnostiko in odpravljanje napak.

Zaradi navedenih problemov je treba sistematično predstaviti napajalne sisteme GSM-R, njihove značilnosti ter praktične primere izvedbe. Diplomsko delo zato obravnava napajalne sisteme BP in RBP z vidika njihovega delovanja, zanesljivosti in vzdrževanja, s ciljem izboljšati razumevanje sistema ter omogočiti hitrejše in učinkovitejše odkrivanje napak.

1.2. Cilji diplomskega dela

Cilj diplomskega dela je ovrednotiti zanesljivost in uporabnost napajalnih sistemov BP in RBP GSM-R na progah G50 in G64 ter na podlagi analize pripraviti praktična priporočila za terenske delavce.

Posamezni cilji diplomskega dela so:

- ovrednotiti značilnosti napajalnih sistemov IT, TT in TN z vidika zanesljivosti, varnosti in uporabe v železniški infrastrukturi,
- analizirati napajalne poti BP in RBP na izbranih progah G50 in G64,
- pojasniti delovanje ključnih elementov napajalnega sistema, kot so transformatorji, varovalke in zaščitne naprave,
- ugotoviti, kako izbira napajalnega sistema vpliva na zanesljivost delovanja sistema GSM-R,
- prepoznati najpogostejše napake in okvare, ki se pojavljajo na terenu,
- oblikovati priporočila za hitrejšo diagnostiko napak in varnejše vzdrževanje sistema,
- pripraviti praktični Funkcionalni opis napajanja sistema GSM-R, ki bo olajšal razumevanje napajalnih shem in izvedbo posegov na terenu.

Z doseganjem navedenih ciljev želimo prispevati k večji zanesljivosti delovanja sistema GSM-R ter k izboljšanju varnosti in učinkovitosti vzdrževanja komunikacijske infrastrukture.

1.3. Predstavitev okolja

Diplomsko delo umeščam v okolje družbe SŽ – Infrastruktura, d. o. o., ki upravlja javno železniško infrastrukturo v Republiki Sloveniji. Podjetje je ključno za zagotavljanje varnega, zanesljivega in učinkovitega železniškega prometa, pri čemer ima pomembno vlogo tudi sodobna komunikacijska infrastruktura.

V okviru železniškega sistema ima pomembno mesto komunikacijsko omrežje GSM-R, ki omogoča stalno in varno komunikacijo med strojevodji, prometniki ter komunikacijskimi napravami. Sistem GSM-R je del evropskega sistema ERTMS in predstavlja osnovo za delovanje sistema ETCS, ki omogoča nadzor in vodenje vlakov (UIC, 2015).

Na obravnavanih progah G50 (Ljubljana–Sežana-državna meja) in G64 (Pivka–Ilirska Bistrica-državna meja) je vzpostavljena infrastruktura BP in RBP, ki zagotavljajo ustrezno pokritost signala. Zaradi razgibanega terena in dolžine prog je treba posebno pozornost nameniti zanesljivemu napajanju teh naprav.

Napajalni sistemi GSM-R na teh progah vključujejo različne konfiguracije elektroenergetskih sistemov, kot so sistemi IT, TT in TN, ter uporabo transformatorjev različnih vezav (IEC, 2018). Poseben izziv predstavlja napajanje oddaljenih RBP, kjer se uporablja višja napetost (750 V), za zmanjšanje izgub in zagotavljanje stabilnega delovanja.

SŽ – Infrastruktura, d. o. o., pri upravljanju javne železniške infrastrukture skrbi za redno vzdrževanje, nadzor in nadgradnjo napajalnih ter komunikacijskih sistemov. Pomemben del tega je tudi terensko delo, kjer je treba hitro in učinkovito diagnosticirati napake ter zagotoviti nemoteno delovanje sistema.

Diplomsko delo je zato usmerjeno v praktični vidik delovanja napajalnih sistemov GSM-R in predstavlja Funkcionalni opis napajanja sistema GSM-R, ki se pri svojem delu srečujejo z diagnostiko, vzdrževanjem in odpravljanjem napak na BP in RBP. Delovanje in razvoj sistema GSM-R temelji na evropskih funkcionalnih zahtevah, ki jih opredeljuje ETSI (2018).

1.4. Predpostavke in omejitve

Pri analizi napajalnih sistemov BP in RBP GSM-R izhajam iz tehničnih podatkov uporabljene opreme ter iz dejstva, da je uporabljena oprema skladna z veljavno zakonodajo, standardi in dokumentacijo upravljavca infrastrukture. Podatki so pridobljeni iz projektne dokumentacije, tehničnih opisov ter neposrednega pregleda na terenu.

Predpostavljamo, da so obravnavani napajalni sistemi tehnično ustrezno izvedeni in dimenzionirani za normalno obratovanje, pri čemer se lahko v praksi pojavijo odstopanja zaradi starosti opreme, okvar ali nepravilnih posegov. Analiza temelji na realnem stanju na progah G50 in G64, zato rezultati veljajo predvsem za to specifično okolje.

Pri obravnavi napajanja BP in RBP izhajam iz dejstva, da so razdalje med posameznimi lokacijami velike, teren pa razgiban, kar vpliva na izbiro napajalnega sistema in napetostnega nivoja. Posebno omejitev predstavljata dostopnost do posameznih lokacij ter razpoložljivost natančnih tehničnih podatkov za vse objekte.

V diplomskem delu smo se osredotočili predvsem na tehnično analizo napajalnih sistemov (IT, TT, TN), transformatorjev, zaščit in načinov napajanja oddaljenih repetitorjev.

Ekonomski vidik ni podrobno obravnavan, saj je pridobivanje natančnih podatkov o stroških investicij in vzdrževanja omejeno.

1.5. Raziskovalna vprašanja

V diplomskem delu bomo odgovorili na naslednja raziskovalna vprašanja:

- Kako izbira napajalnega sistema (IT, TT, TN) vpliva na zanesljivost delovanja GSM-R sistema?
- Ali uporaba sistema IT zmanjšuje število izpadov napajanja v primerjavi z drugimi sistemi?
- Katere napake se najpogosteje pojavljajo v napajalnih sistemih BP in RBP?

Na podlagi analize bomo na zastavljena vprašanja podali strokovno utemeljene odgovore.

1.6. Metode dela

Diplomsko delo temelji na kombinaciji teoretičnih in praktičnih pristopov, pri čemer so uporabljene različne raziskovalne metode, prilagojene ciljem dela in vsebini obravnavanega problema.

V teoretičnem delu je uporabljena opisna metoda, s katero so predstavljeni osnovni pojmi napajalnih sistemov, delovanje sistema GSM-R ter značilnosti posameznih elektroenergetskih konfiguracij. Uporabljena je tudi metoda zbiranja in analize podatkov iz strokovne literature, tehničnih standardov ter projektne dokumentacije.

V praktičnem delu je bila uporabljena analitična metoda, ki temelji na pregledu dejanskega stanja na terenu. Vključuje analizo razdelilnih elektro omar, transformatorjev, zaščitnih elementov in napajalnih poti na posameznih BP in RBP.

Poseben poudarek je namenjen fotodokumentaciji, ki omogoča boljše razumevanje razporeditve komponent in načinov izvedbe napajalnih sistemov. Na podlagi zbranih podatkov so bili identificirani tipični problemi in napake, ki se pojavljajo pri delovanju sistema.

Na osnovi analize je oblikovan praktični Funkcionalni opis napajanja sistema GSM-R, ki omogoča hitrejšo diagnostiko napak, boljše razumevanje napajalnih shem ter varnejše izvajanje vzdrževalnih del.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1. Pomen napajalnih sistemov GSM-R kot kritične infrastrukture

Napajalni sistemi GSM-R predstavljajo ključni del železniške infrastrukture, saj omogočajo neprekinjeno delovanje komunikacijskega sistema, ki je bistven za varno upravljanje železniškega prometa (UIC, 2015). Sistem GSM-R omogoča komunikacijo med strojevodji, prometniki in komunikacijskimi napravami. Vsak izpad napajanja lahko povzroči izgubo komunikacije, kar neposredno vpliva na razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R in lahko vodi do zastojev ali celo nevarnih situacij.

Zato mora biti napajalni sistem zasnovan tako, da:

- omogoča visoko zanesljivost delovanja,
- prenese določene napake brez prekinitve delovanja,
- omogoča hitro odkrivanje in odpravo napak,
- zagotavlja zaščito pred prenapetostmi in kratkimi stiki.

Posebej pomembno je pravočasno odkrivanje napak, saj lahko manjša napaka (npr. poslabšana izolacija ali delna okvara kabla) sčasoma privede do popolnega izpada sistema. Za to se uporabljajo naprave za nadzor izolacije (npr. Bender), ki omogočajo zaznavanje napak, še preden pride do kritičnega stanja (Bender GmbH, 2018). V praksi to pomeni, da mora vzdrževalec dobro poznati napajalni sistem, saj lahko le tako hitro diagnosticira napako in prepreči večje motnje v delovanju sistema.

Napajalni sistemi GSM-R so zato zasnovani z uporabo različnih konfiguracij (IT, TT, TN), transformatorjev in zaščitnih naprav, ki skupaj zagotavljajo visoko stopnjo varnosti in zanesljivosti. Ustreznost in zanesljivost sistema GSM-R sta bili potrjeni tudi v okviru projekta MORANE, ki je predstavljal pomembno fazo preverjanja tehnologije v železniškem prometu (MORANE Consortium, 2000).

2.2. Sistem IT

Napajalni sistem IT je poseben tip elektroenergetskega sistema, pri katerem je nevtralna točka transformatorja izolirana od zemlje ali pa je z zemljo povezana preko visoke impedance. Ohišja električnih naprav so ozemljena, kar zagotavlja varnost uporabnikov.

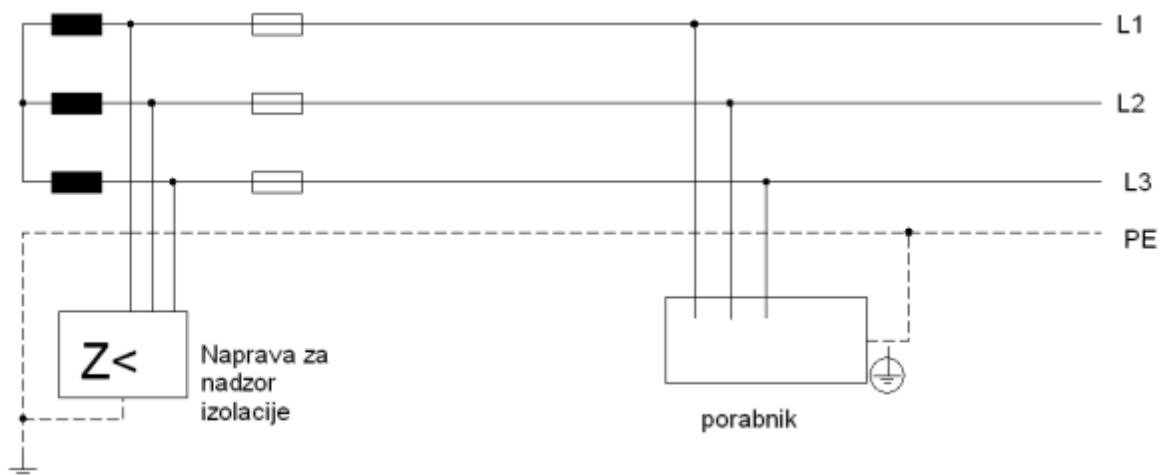
Glavna prednost sistema IT je njegova sposobnost neprekinjenega delovanja tudi ob prvi okvari izolacije. Če pride do enopolne napake (npr. stik ene faze z zemljo), sistem še vedno deluje, saj tok napake ni dovolj velik, da bi povzročil izklop zaščitnih naprav.

Zaradi te lastnosti se sistem IT pogosto uporablja v kritičnih sistemih, kjer je neprekinjeno delovanje ključnega pomena, kot so:

- bolnišnice,
- industrijski procesi,
- železniški komunikacijski sistemi (GSM-R).

V sistemih GSM-R ima sistem IT pomembno vlogo, saj omogoča, da komunikacijski sistem ostane v delovanju tudi ob prvi napaki, kar je ključno za razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R (IEC, 2018).

Ker se sistem IT ne izklopi ob prvi napaki, je nujno potrebno stalno spremljanje izolacijskega stanja. Za to se uporabljajo naprave za nadzor izolacije (npr. Bender), ki zaznajo padec izolacijske upornosti in opozorijo vzdrževalca na napako (Bender GmbH, 2018). Če napaka ni odpravljena pravočasno, lahko pride do druge napake, kar povzroči kratek stik in izpad sistema. Zato je pravočasno odkrivanje napak ključnega pomena za varno delovanje sistema. Sistem IT omogoča delovanje tudi ob prvi napaki (Iskratek, 2017).



Slika 1: Sistem IT 1
(Lastni vir)

2.3. Sistem TT

Sistem TT je napajalni sistem, pri katerem je ena točka napetostnega vira neposredno ozemljena, medtem ko imajo ohišja električnih naprav lastno ozemljitev, ki je ločena od ozemljitve vira (IEC, 2018).

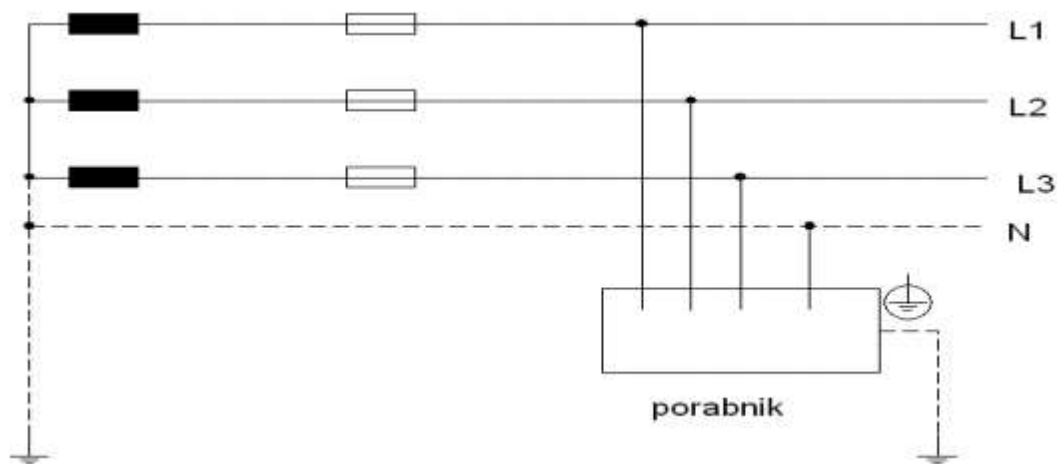
Ob napaki (npr. stik faze z ohišjem naprave) tok steče preko ozemljitve, kar povzroči delovanje zaščitnih naprav, kot so:

- varovalke,
- odklopniki,
- stikala FID.

Glavna značilnost sistema TT je njegova enostavna izvedba in dobra zaščita pred električnim udarom, saj se ob napaki sistem hitro izklopi (IEC, 2018).

V sistemih GSM-R se sistem TT uporablja predvsem tam, kjer ni mogoče zagotoviti ustreznega skupnega ozemljitvenega sistema ali kjer so pogoji za izvedbo sistema IT neustrezni.

Slabost sistema TT je, da ob napaki pride do takojšnjega izklopa napajanja, kar lahko povzroči izpad delovanja komunikacijskega sistema. Zato se uporablja predvsem v manj kritičnih delih sistema ali kot dopolnilna rešitev.



Slika 2: Sistem TT 1
(Lastni vir)

2.4. Sistem TN

TN-sistem je najpogosteje uporabljen napajalni sistem v elektroenergetskih inštalacijah. Pri tem sistemu je nevtralna točka vira neposredno ozemljena, zaščitni vodnik pa je povezan z nevtralnim vodnikom ali ločen od njega (IEC, 2018).

Poznamo več izvedb sistema TN:

- TN-C (skupen vodnik PEN),
- TN-S (ločena vodnika N in PE),
- TN-C-S (kombinacija obeh sistemov).

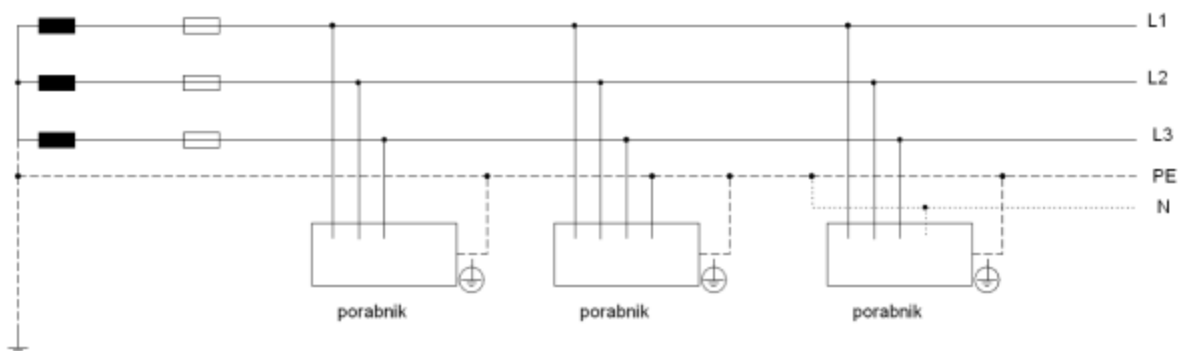
V sistemu TN ob napaki tok steče po zaščitnem vodniku nazaj do vira, kar povzroči hitro delovanje zaščitnih naprav in izklop napajanja.

Prednosti sistema TN so:

- enostavna izvedba,
- zanesljivo delovanje zaščit,
- široka uporaba v praksi.

V sistemih GSM-R se sistem TN uporablja predvsem za napajanje BP in pomožnih naprav, kjer je zagotovljena ustrezna ozemljitev.

Slabost sistema TN je, da ob napaki pride do takojšnjega izklopa, kar lahko povzroči prekinitev delovanja sistema. Zato je pomembno, da so zaščitni elementi pravilno dimenzionirani in selektivno nastavljeni (IEC, 2018).



Slika 3: Sistem TN-C, TN-S, TN-C-S 1
(Lastni vir)

2.5. Primerjava napajalnih sistemov IT, TT in TN

Napajalni sistemi IT, TT in TN se med seboj razlikujejo predvsem po načinu ozemljitve in obnašanju ob napaki. Vsak sistem ima svoje prednosti in slabosti, zato je izbira odvisna od zahtev posamezne lokacije.

Sistem IT omogoča delovanje tudi ob prvi napaki izolacije, saj tok napake ni dovolj velik za izklop zaščit. Zaradi tega je zelo primeren za kritične sisteme, kot je GSM-R, kjer je neprekinjeno delovanje ključnega pomena. Slabost sistema IT je zahtevnejše vzdrževanje, saj je treba stalno nadzorovati izolacijo.

Sistem TT zagotavlja dobro zaščito pred električnim udarom, saj se ob napaki sistem hitro izklopi. Njegova prednost je enostavna izvedba, slabost pa je prekinitev delovanja ob napaki, zato ni primeren za kritične sisteme.

Sistem TN je najpogostejše uporabljen sistem, saj omogoča zanesljivo delovanje zaščit in enostavno izvedbo. Ob napaki pride do hitrega izklopa, kar pomeni dobro zaščito, vendar lahko povzroči izpad sistema (IEC, 2018; Siemens AG, 2018).

V sistemih GSM-R se zato najpogostejše uporablja kombinacija sistemov:

- IT za RBP in kritične dele sistema,
- TN za BP,
- TT le v posebnih primerih.

Izbira sistema je odvisna od zahtev po zanesljivosti, razdalje do vira napajanja in pogojev ozemljitve.

2.6. Napajalni sistemi IT, TT in TN imajo v praksi različne prednosti in slabosti, ki vplivajo na njihovo uporabo v železniški infrastrukturi, še posebej v sistemih GSM-R.

Sistem IT ima pomembno prednost v tem, da omogoča neprekinjeno delovanje tudi ob prvi napaki izolacije. To pomeni, da ob pojavu napake ne pride takoj do izklopa napajanja, kar je ključnega pomena pri sistemih, kjer je zanesljivost delovanja bistvena. V primeru GSM-R sistema bi izpad napajanja lahko povzročil prekinitev komunikacije, kar bi lahko vplivalo na razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R. Slabost sistema IT pa je zahtevnejše vzdrževanje, saj je potrebno stalno spremljanje stanja izolacije. V primeru, da se prva napaka ne odpravi pravočasno, lahko pride do druge napake, ki povzroči resnejšo okvaro.

Sistem TN je v primerjavi s sistemom IT enostavnejši za izvedbo in vzdrževanje. Njegova prednost je predvsem v hitrem delovanju zaščitnih naprav, ki ob napaki hitro izklopijo napajanje. To pomeni dobro zaščito opreme in uporabnikov. Slabost pa je, da že prva napaka povzroči izpad sistema, kar lahko v določenih primerih predstavlja težavo, predvsem tam, kjer je potrebna visoka stopnja zanesljivosti.

Sistem TT se uporablja redkeje, predvsem v primerih, kjer ni mogoče zagotoviti ustreznega skupnega ozemljitvenega sistema. Njegova prednost je neodvisnost ozemljitve, slabost pa večja občutljivost na napake in potreba po dodatnih zaščitnih elementih.

Na podlagi primerjave lahko ugotovim, da noben sistem ni univerzalno najboljši, temveč je izbira odvisna od konkretnih pogojev na lokaciji. V sistemih GSM-R ima pogosto prednost sistem IT, saj zagotavlja višjo stopnjo zanesljivosti, medtem ko se sistem TN uporablja tam, kjer je pomembna enostavna in učinkovita zaščita (Siemens AG, 2018).

2.7. Napake v napajalnih sistemih lahko neposredno vplivajo na delovanje GSM-R sistema

To predstavlja ključen del železniške komunikacijske infrastrukture. Vsaka prekinitev napajanja lahko povzroči izpad BP in RBP, kar vodi v izgubo signala na določenem območju. V primeru izpada BP lahko pride do prekinitve komunikacije med vlakom in dispečerskim centrom (UIC, 2015). To lahko vpliva na razpoložljivost sistema GSM-R, saj se določeni varnostni postopki zanašajo na neprekinjeno komunikacijo. Zato je zanesljivost napajalnega sistema izjemno pomembna. Pri sistemu IT napaka izolacije ne povzroči takojšnjega izpada, kar omogoča nadaljnje delovanje sistema. To je velika prednost v primerih, kjer bi izpad povzročil večje posledice. Kljub temu pa je potrebno napako čim prej odpraviti, saj lahko druga napaka povzroči popoln izpad. Pri sistemu TN pa že prva napaka povzroči izklop napajanja. To pomeni, da sistem preneha delovati, dokler se napaka ne odpravi. V praksi to pomeni, da mora vzdrževalec hitro reagirati, da se sistem čim prej ponovno vzpostavi. Napake se najpogosteje pojavljajo zaradi poškodb kablov, slabih kontaktov, vlage ali staranja opreme. Vzdrževalci morajo zato redno preverjati stanje sistema in izvajati preventivno vzdrževanje, da zmanjšajo možnost izpada. Zaradi pomembnosti sistema GSM-R je v praksi pogosto uporabljena kombinacija različnih napajalnih rešitev, ki omogočajo večjo zanesljivost in zmanjšujejo tveganje za popoln izpad sistema (Bender GmbH, 2018).

3 OBSTOJEČE STANJE

3.1. Posnetek stanja

Na progah G50 in G64 je za zagotavljanje komunikacije v železniškem prometu vzpostavljen sistem GSM-R, ki temelji na BP in RBP. Delovanje teh naprav je neposredno odvisno od ustrezno zasnovanega in zanesljivega napajalnega sistema, saj vsaka motnja v napajanju lahko vpliva na delovanje komunikacijskega omrežja (SŽ – Infrastruktura, 2020b).

Na obravnavanih lokacijah se uporabljajo različni napajalni sistemi, predvsem IT in TN, ponekod pa tudi druge prilagojene izvedbe glede na oddaljenost objekta, teren in tehnične pogoje priklopa. Pri oddaljenih RBP je zaradi velikih razdalj in zmanjševanja izgub uporabljeno tudi napajanje z višjo napetostjo, in sicer 750 V. Takšna izvedba omogoča stabilnejše napajanje oddaljenih objektov, vendar zahteva ustrezno zaščito, nadzor in dobro poznavanje sistema.

Na terenu se posamezne lokacije med seboj razlikujejo po izvedbi razdelilnih omar, uporabljenih transformatorjih, varovalkah, načinu ozemljitve in zaščitnih elementih. Zaradi teh razlik je diagnostika napak v praksi zahtevna, saj ni na vseh lokacijah mogoče uporabiti enakega pristopa. Terenski delavec mora poleg splošnega poznavanja napajalnih sistemov razumeti tudi posebnosti konkretne lokacije.

Pomemben del obstoječega stanja predstavlja tudi dejstvo, da se infrastruktura nahaja na prostorsko razgibanem območju, kjer so nekatere BP in RBP težje dostopni. To vpliva na hitrost intervencije, redno vzdrževanje in odpravljanje napak. Poleg tega na delovanje vplivajo tudi zunanji dejavniki, kot so vlaga, temperaturna nihanja, staranje opreme in mehanske poškodbe kablov ali priključkov (SŽ – Infrastruktura, 2020a).

Na podlagi pregleda lokacij in tehnične dokumentacije lahko ugotovim, da sistem kot celota deluje funkcionalno, vendar je njegova zanesljivost v veliki meri odvisna od pravilne izbire napajalnega sistema, kakovosti izvedbe ter doslednega vzdrževanja (Iskratel, 2017).

3.2. Kritična analiza

Pri analizi obstoječega stanja ugotovim, da je glavna prednost obravnavanega sistema v njegovi prilagodljivosti ter možnosti uporabe različnih napajalnih rešitev glede na značilnosti posamezne lokacije. Zlasti sistem IT se izkaže kot primeren za kritične dele infrastrukture, saj omogoča nadaljnje delovanje tudi ob prvi okvari izolacije. To je v

železniškem komunikacijskem sistemu zelo pomembno, ker zmanjšuje možnost popolnega izpada komunikacije.

Kljub temu ima obstoječa izvedba tudi več pomanjkljivosti. Ena od njih je velika raznolikost izvedb na terenu, zaradi katere je preglednost sistema slabša, odpravljanje napak pa počasnejše. Terenski delavec se mora pogosto najprej seznaniti s konkretno konfiguracijo lokacije, kar podaljša čas diagnostike in poveča možnost napačne presoje.

Dodatna slabost je odvisnost od pravilnega delovanja zaščitnih elementov in nadzornih naprav. V sistemu IT je na primer prednost to, da se sistem ob prvi napaki ne izklopi, vendar je to hkrati tudi tveganje, če napaka ni pravočasno zaznana in odpravljena. Takrat lahko druga napaka povzroči večjo okvaro ali popoln izpad sistema. To pomeni, da sistem zahteva večjo disciplino pri nadzoru in vzdrževanju.

Kot problem se kaže tudi dostopnost nekaterih lokacij in omejena možnost hitrega posredovanja. Na oddaljenih objektih je zato še toliko pomembnejša dobra dokumentiranost sistema, jasna označenost opreme in uporaba preglednih shem. Če teh informacij ni dovolj ali niso enotno pripravljene, se učinkovitost vzdrževanja zmanjša.

Na podlagi kritične analize lahko sklenemo, da je obstoječi sistem tehnično ustrezen, vendar bi bilo njegovo delovanje mogoče še izboljšati z večjo poenotenostjo dokumentacije, jasnejšimi postopki diagnostike, rednim spremljanjem izolacijskega stanja in dodatno podporo terenskim delavcem v obliki preglednega funkcionalnega opisa napajanja sistema GSM-R. Na podlagi izvedene analize lahko ugotovim, da trenutni sistem sicer deluje zanesljivo, vendar obstajajo možnosti za izboljšave predvsem na področju poenotenja izvedb in boljše preglednosti dokumentacije. Ugotavljam tudi, da sistem IT pomembno prispeva k zanesljivosti, vendar zahteva večjo pozornost pri vzdrževanju.

3.3. Lastni prispevek diplomskega dela

Lastni prispevek diplomskega dela se kaže predvsem v analizi dejanskega stanja napajalnih sistemov na progah G50 in G64 ter v sistematični obdelavi podatkov, zbranih na terenu. Na podlagi pregleda 39 lokacij BP in RBP je bila izvedena primerjava uporabljenih napajalnih sistemov in njihovih značilnosti.

Prispevek naloge je tudi v pripravi funkcionalnega opisa napajanja sistema GSM-R, ki omogoča terenskim delavcem hitrejšo diagnostiko napak in boljše razumevanje napajalnih shem. Posebna dodana vrednost naloge je fotodokumentacija dejanskega stanja ter interpretacija sistemov v realnem okolju.

Na podlagi analize so bila oblikovana tudi priporočila za izboljšanje vzdrževanja in večjo zanesljivost sistema GSM-R.

4 PRAKTIČNI DEL

4.1. Tipične napake na terenu

Pri delovanju napajalnih sistemov GSM-R se na terenu pojavljajo različne napake, ki lahko vplivajo na zanesljivost sistema.

Med obravnavane napake sodijo:

- poslabšana izolacija vodnikov, ki jo zazna kontrolnik izolacije (bender),
- pregorele varovalke zaradi preobremenitve ali kratkega stika,
- padci napetosti na daljših razdaljah,
- slaba ali poškodovana ozemljitev,
- okvare transformatorjev ali prenapetostnih zaščit.

Poseben problem predstavlja pojav napak v sistemu IT, kjer sistem ob prvi napaki ne izklopi. Če napaka ni odpravljena, lahko pride do druge napake, kar povzroči izpad sistema.

Zato je zelo pomembno, da vzdrževalci pravočasno zaznajo napako in jo odpravijo.

4.2. Primer okvare na terenu in postopek odprave

Na eni izmed lokacij RBP je kontrolnik izolacije (bender) začel javljati napako – zmanjšano izolacijsko upornost proti zemlji. Sistem IT kljub temu ni izklopil napajanja, kar je omogočilo nadaljnje delovanje sistema.

Terenski delavec je najprej preveril stanje napajanja in potrdil, da so vse faze prisotne. Nato je preveril varovalke, ki so bile brezhibne. Naslednji korak je bil pregled signalizacije kontrolnika izolacije, ki je jasno kazal na prisotnost napake.

Z uporabo merilnega instrumenta je bila izvedena meritev izolacijske upornosti, pri čemer je bilo ugotovljeno, da je ena izmed linij imela zmanjšano upornost. Po dodatnem pregledu je bilo ugotovljeno, da je bil kabel delno poškodovan zaradi vlage.

Napaka je bila odpravljena z zamenjavo poškodovanega dela kabla. Po ponovni meritvi izolacije in ponastavitvi kontrolnika izolacije je sistem deloval normalno brez napak.

Ta primer prikazuje pomen sistema IT, saj omogoča delovanje sistema tudi ob napaki, hkrati pa poudarja pomembnost hitre diagnostike in odprave napake.

4.3. Priporočila za terenske delavce

Za učinkovito diagnostiko in varno delo na napajalnih sistemih GSM-R je priporočljivo upoštevati naslednje korake:

- najprej preverimo stanje napajanja (prisotnost napetosti),
- preverimo stanje varovalk in zaščitnih elementov,
- preverimo signal kontrolnika izolacije (bender),
- pregledamo ozemljitev in povezave,
- analiziramo napajalno shemo.

Pri delu je treba vedno upoštevati varnostne postopke:

- izklop napajanja,
- zavarovanje pred ponovnim vklopom,
- preverjanje odsotnosti napetosti,
- uporaba zaščitne opreme.

Sistematičen pristop omogoča hitrejše odkrivanje napak in zmanjšuje možnost dodatnih okvar.

4.4. Postopek sistematične diagnostike napak

Za učinkovito odkrivanje napak v napajalnih sistemih GSM-R je priporočljiv sistematičen pristop, ki vključuje naslednje korake:

1. Preverjanje prisotnosti napetosti na dovodu,
2. pregled zaščitnih elementov (varovalke, odklopniki),
3. analiza signalov kontrolnika izolacije,
4. pregled ozemljitve in povezav,
5. meritev izolacijske upornosti,
6. pregled kablov in priključkov.

Takšen pristop omogoča hitro lokalizacijo napake ter zmanjšuje čas izpada sistema. Pomembno je, da se diagnostika izvaja metodično, saj lahko naključno preverjanje povzroči spregled napake.

4.5. Analiza izbire napajalnih sistemov na dejanskih lokacijah

V nadaljevanju je predstavljena analiza izbire napajalnih sistemov na konkretnih lokacijah BP in RBP na progah G50 in G64. Namen analize je povezati teoretične značilnosti sistemov IT, TT in TN z dejansko uporabo v praksi ter utemeljiti razloge za izbiro posameznega sistema.

Pri pregledu terenskih podatkov in fotodokumentacije je mogoče ugotoviti, da izbira napajalnega sistema ni naključna, temveč je odvisna od več dejavnikov, kot so oddaljenost lokacije, zahteve po zanesljivosti, način ozemljitve ter razpoložljivost napajalnega vira. Na podlagi primerjave lokacij lahko ugotovim, da se sistem IT pogosteje uporablja na oddaljenih lokacijah, kjer je dostop otežen in je neprekinjeno delovanje ključnega pomena. Nasprotno se sistem TN uporablja na lokacijah z boljšimi pogoji napajanja, kjer je zagotovljena hitra intervencija. Primerjava med progama G50 in G64 pokaže, da je izbira sistema odvisna predvsem od konfiguracije terena, razdalje do napajanja in pomena posamezne lokacije v omrežju.

4.6. Kritična primerjalna analiza napajalnih sistemov

Na podlagi predstavljenih značilnosti sistemov IT, TT in TN lahko ugotovim, da izbira napajalnega sistema bistveno vpliva na delovanje GSM-R sistema v praksi.

Sistem IT se izkaže kot najbolj primeren za kritične in oddaljene lokacije, saj omogoča delovanje tudi ob prvi napaki. To pomeni večjo razpoložljivost sistema, kar je ključnega pomena za komunikacijo v železniškem prometu. Vendar pa ta prednost prinaša tudi večjo zahtevnost vzdrževanja, saj napake niso takoj očitne.

Sistem TN na drugi strani omogoča hitro izklopitev ob napaki, kar pomeni večjo varnost, vendar hkrati povzroči prekinitev delovanja sistema. Zato je primernejši za lokacije, kjer izpad ne povzroča večjih posledic ali kjer je zagotovljena redundanca.

Na podlagi analize lahko zaključimo, da je optimalna rešitev kombinacija obeh sistemov, saj omogoča ravnovesje med zanesljivostjo in varnostjo.

4.6.1. Uporaba sistema IT

Sistem IT se najpogosteje uporablja pri napajanju RBP in oddaljenih objektov, kjer je ključnega pomena neprekinjeno delovanje sistema. Na primer, pri lokacijah, kjer se uporablja napetost 750 V za prenos energije na večje razdalje, je sistem IT primernejša izbira zaradi svoje sposobnosti delovanja ob prvi napaki izolacije.

V takšnih primerih bi izklop napajanja ob prvi napaki povzročil izpad komunikacije na širšem območju, kar bi lahko vplivalo na razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R. Sistem IT omogoča, da sistem kljub napaki ostane v obratovanju, pri čemer kontrolnik izolacije (bender) opozori vzdrževalca na prisotnost napake.

Na terenu se kot tipična težava pojavlja poslabšana izolacija kablov, ki jo zazna kontrolnik izolacije. Če napaka ni pravočasno odpravljena, lahko pride do druge napake in

posledično do kratkega stika ter izpada sistema. Zato sistem IT zahteva večjo pozornost pri vzdrževanju, vendar v zameno zagotavlja višjo stopnjo zanesljivosti.

4.6.2. Uporaba sistema TN

Sistem TN se najpogosteje uporablja pri napajanju BP, kjer je zagotovljena ustrezna ozemljitev in stabilen vir napajanja. Njegova prednost je predvsem v enostavni izvedbi in hitrem delovanju zaščitnih elementov.

Na primer, pri BP, ki so neposredno povezane z distribucijskim omrežjem ali železniško infrastrukturo, je uporaba sistema TN smiselna, saj omogoča hitro izklopitev ob napaki in s tem učinkovito zaščito opreme.

V praksi to pomeni, da ob kratkem stiku ali okvari zaščitni elementi (varovalke ali odklopniki) hitro izklopijo prizadeti del sistema. Slabost tega sistema je, da pride do prekinitve napajanja, kar lahko povzroči izpad delovanja BP. Kljub temu je v teh primerih tveganje manjše, saj so BP pogosto del redundančnega sistema.

4.6.3. Primerjava izbire sistema glede na lokacijo

Na podlagi analize lahko ugotovim naslednje zakonitosti:

- sistem IT se uporablja predvsem na oddaljenih lokacijah in RBP, kjer je ključna neprekinjenost delovanja,
- sistem TN se uporablja na BP z dobrimi pogoji ozemljitve, kjer je pomembna enostavna in zanesljiva zaščita,
- sistem TT se uporablja redkeje, predvsem v primerih, kjer ni mogoče zagotoviti ustreznega skupnega ozemljitvenega sistema.
- Izbira napajalnega sistema je torej kompromis med zanesljivostjo delovanja in stopnjo zaščite. V sistemih GSM-R, ki predstavljajo kritično infrastrukturo, ima pogosto prednost zanesljivost, zato je uporaba sistema IT na ključnih delih sistema logična in utemeljena.
- Praktični vidik za terenske delavce
- Za terenske delavce je razumevanje izbire napajalnega sistema ključnega pomena za pravilno diagnostiko napak. Pri sistemu IT je treba posebno pozornost nameniti signalom kontrolnika izolacije, saj sistem ob prvi napaki ne izklopi.
- Pri sistemu TN pa je treba najprej preveriti zaščitne elemente, saj je izpad napajanja najpogosteje posledica delovanja varovalke ali odklopnika.
- S pravilnim razumevanjem sistema lahko vzdrževalec bistveno skrajša čas iskanja napake in izboljša učinkovitost posegov na terenu. Na podlagi analize lahko zaključimo, da izbira napajalnega sistema neposredno vpliva na zanesljivost delovanja GSM-R sistema. V primerih, kjer je ključna neprekinjenost delovanja,

- ima sistem IT jasno prednost, medtem ko je sistem TN primernejši tam, kjer je poudarek na enostavni zaščiti in stabilnem napajanju.
- V praksi se zato uporablja kombinacija obeh sistemov, kar omogoča optimalno razmerje med varnostjo, zanesljivostjo in enostavnostjo vzdrževanja. Takšen pristop je še posebej pomemben v železniški infrastrukturi, kjer vsak izpad lahko vpliva na razpoložljivost sistema GSM-R.

Napajalni sistem	Prednosti	Slabosti	Tipična uporaba
IT sistem	-omogoča delovanje ob prvi napaki - visoka zanesljivost - primeren za kritične sisteme	- zahtevno vzdrževanje - potreben nadzor izolacije - možnost nevarnosti ob drugi napaki	- GSM-R RBP - bolnišnice - industrijski procesi
TT sistem	- enostavna izvedba - dobra zaščita pred električnim udarom - neodvisna ozemljitev	- ob napaki pride do izklopa - odvisnost od kakovosti ozemljitve -manj primeren za kritične sisteme	- manj zahtevni objekti - oddaljene lokacije
TN sistem	- hitro delovanje zaščit - enostavna izvedba - široka uporaba	- ob napaki takojšen izpad - odvisnost od kakovosti zaščitnega vodnika	- BP GSM-R - distribucijska omrežja

Tabela 1: Primerjava napajalnih sistemov IT, TT in TN
(Lastni vir)

Iz tabele je razvidno, da ima vsak napajalni sistem svoje prednosti in slabosti, zato izbira sistema ni univerzalna, temveč je odvisna od zahtev posamezne lokacije. Sistem IT izstopa po visoki zanesljivosti, saj omogoča delovanje tudi ob prvi napaki izolacije, kar je ključnega pomena pri kritičnih sistemih, kot je GSM-R. Zaradi tega se pogosto uporablja pri napajanju RBP, kjer bi izpad napajanja povzročil motnje v komunikaciji na širšem območju. Sistem TN je zaradi enostavne izvedbe in zanesljivega delovanja zaščit najpogostejše uporabljen sistem, predvsem pri BP, kjer je zagotovljen stabilen vir napajanja in ustrezna ozemljitev. Njegova slabost je, da ob napaki pride do takojšnjega izklopa, kar lahko povzroči prekinitev delovanja sistema. Sistem TT se uporablja redkeje, predvsem

tam, kjer ni mogoče zagotoviti ustreznega skupnega ozemljitvenega sistema. Zaradi takojšnjega izklopa ob napaki ni primeren za kritične sisteme, vendar zagotavlja dobro zaščito uporabnikov. Na podlagi primerjave lahko ugotovim, da se v sistemih GSM-R najpogosteje uporablja kombinacija sistemov, pri čemer ima sistem IT ključno vlogo pri zagotavljanju neprekinjenega delovanja, sistem TN pa pri enostavni in učinkoviti zaščiti.

4.7. Tipi varovalk

Varovalke so osnovni zaščitni elementi v elektroenergetskih sistemih, katerih naloga je zaščita vodnikov, naprav in celotnega sistema pred preobremenitvijo in kratkim stikom. Njihovo pravilno delovanje je ključnega pomena za varnost in zanesljivost napajalnih sistemov GSM-R.

Ob previsokem toku varovalka prekine tokokrog in s tem prepreči poškodbe opreme, požar ali druge nevarne situacije.

4.7.1. Talilne varovalke

Talilne varovalke so najpogosteje uporabljena vrsta zaščite v napajalnih sistemih GSM-R. Delujejo na principu taljenja kovinskega vložka, ki se pregreje ob prevelikem toku in prekine električni tokokrog.

Prednosti talilnih varovalk:

- enostavna in robustna izvedba,
- zanesljivo delovanje,
- hitra odzivnost pri kratkem stiku,
- nizka cena in enostavna zamenjava.

V sistemih GSM-R se pogosto uporabljajo tako imenovane **varovalke NV**, ki so namenjene zaščiti nizkonapetostnih inštalacij. Omogočajo visoko prekinitveno sposobnost in so primerne za zaščito transformatorjev, kablov in razdelilnih omar.

4.8. Selektivnost varovalk

Selektivnost zaščitnih naprav pomeni, da ob napaki deluje zaščitna naprava, predvidena za okvarjeni del tokokroga, nadrejene zaščitne naprave pa ostanejo vključene. Selektivnost v konkretnem sistemu ni samoumevna in je ni mogoče potrditi samo s primerjavo nazivnih tokov varovalk, temveč se preverja s časovno-tokovnimi karakteristikami uporabljenih zaščitnih naprav. To je izjemno pomembno v sistemih GSM-R, saj omogoča:

- omejitev izpada na najmanjši možni del sistema,
- nemoteno delovanje preostalega sistema,

- hitrejšo diagnostiko napake.
- V praksi se selektivnost doseže s:
- pravilno izbiro nazivnih tokov varovalk,
- uporabo različnih tipov zaščitnih karakteristik,
- ustrezno koordinacijo med varovalkami in odklopniki.

Če selektivnost ni pravilno izvedena, lahko ob napaki pride do izklopa večjega dela sistema, kar lahko povzroči izpad komunikacije na več lokacijah.

4.9. Varovalke v sistemih GSM-R

V napajalnih sistemih GSM-R imajo varovalke ključno vlogo pri zaščiti:

- transformatorjev,
- napajalnih vodov,
- BP,
- RBP.

Na terenu se pogosto srečujemo z različnimi konfiguracijami varovalk, ki so odvisne od:

- napetostnega nivoja (400 V ali 750 V),
- razdalje do vira napajanja,
- tipa napajalnega sistema (IT, TT, TN).
- Pomembno je, da vzdrževalec pozna:
- nazivni tok varovalke,
- njeno funkcijo v sistemu,
- lokacijo v razdelilni omari.

S tem lahko hitro ugotovi vzrok napake in ustrezno ukrepa.

4.10. Pomen pravilne izbire varovalk

Nepravilna izbira varovalk lahko povzroči:

- pogoste izpade sistema,
- nezadostno zaščito opreme,
- nevarnost poškodb ali požara.
- Zato je treba varovalke dimenzionirati glede na:
- obremenitev sistema,
- karakteristike porabnikov,
- dolžino in tip kablov,
- pogoje obratovanja.

V sistemih GSM-R je pravilna izbira varovalk pomembna za zanesljivost napajanja in zaščito električne opreme. Varovalke so osnovni zaščitni elementi (IEC, 2018).



*Slika 4: Talilna varovalka
(Lastni vir)*



*Slika 5: Talilna varovalka Pancerka
(Lastni vir)*

5 TIPI TRANSFORMATORJEV PO POSAMIČNIH BP IN RBP

Transformatorji imajo v napajalnih sistemih GSM-R ključno vlogo, saj omogočajo prilagoditev napetosti in hkrati zagotavljajo galvansko ločitev med različnimi deli sistema. Njihova pravilna izbira in izvedba sta bistvenega pomena za zanesljivo delovanje BP in RBP.

V sistemih GSM-R se uporabljajo različni tipi transformatorjev, ki so prilagojeni glede na razdaljo do vira napajanja, napetostni nivo in tip napajalnega sistema.

5.1. Transformatorji trikot-trikot (Δ/Δ)

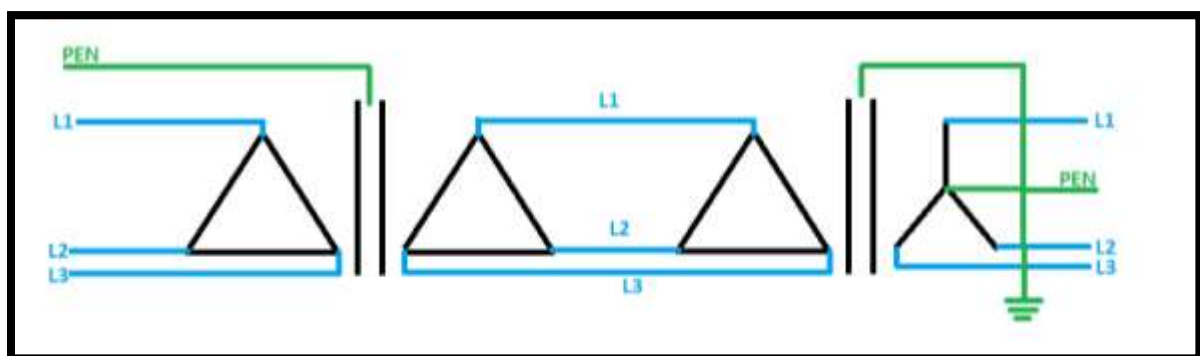
Transformatorji v vezavi trikot-trikot se uporabljajo predvsem za napajanje oddaljenih BP in RBP, kjer so razdalje med virom napajanja in porabnikom večje.

Glavne značilnosti:

- omogočajo prenos energije na večje razdalje,
- zmanjšujejo vpliv padca napetosti,
- omogočajo uporabo višjih napetosti (npr. 750 V).

V praksi se takšni transformatorji pogosto uporabljajo v kombinaciji s sistemom IT, kjer je pomembno neprekinjeno delovanje tudi ob prvi napaki.

Njihova prednost je predvsem v tem, da omogočajo stabilno napajanje tudi v zahtevnih terenskih pogojih, kjer bi pri nižjih napetostih prišlo do večjih izgub.



Slika 6: Napajanje oddaljenih RBP in BP
(Iskratel, 2017)

5.2. Transformatorji trikot-zvezda (Δ/Y)

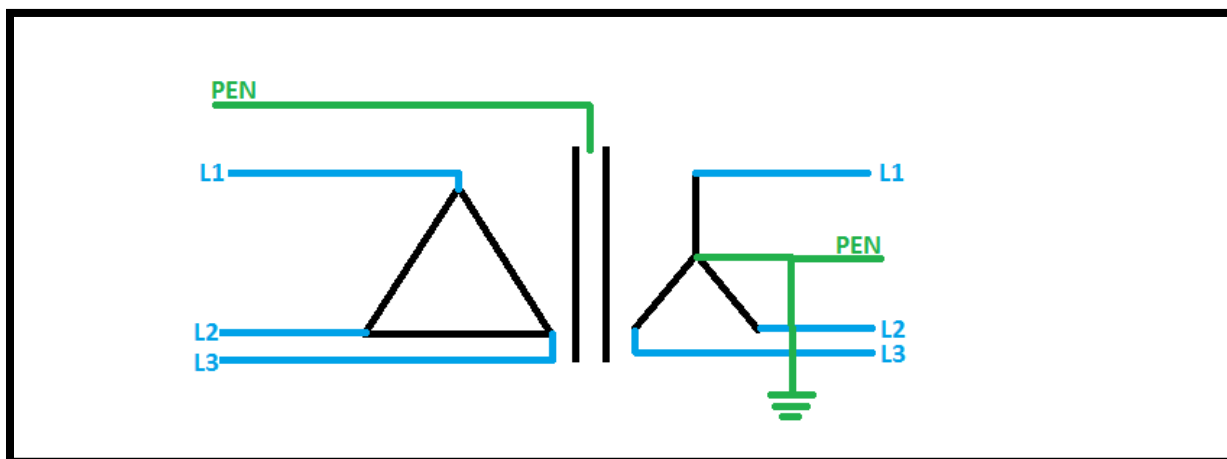
Transformatorji trikot-zvezda se uporabljajo predvsem za napajanje bližnjih BP, kjer so razdalje do vira napajanja manjše.

Glavne značilnosti:

- omogočajo pretvorbo napetosti (npr. 400 V/400 V – 3 × 230 V),
- zagotavljajo stabilno napajanje naprav,
- omogočajo ozemljitev zvezdišča.

Zvezdišče transformatorja je običajno ozemljeno, kar omogoča stabilno referenco napetosti in izboljšuje varnost sistema.

Ti transformatorji so najpogostejše uporabljeni v BP, kjer ni potrebe po višjih napetostih za prenos energije.



Slika 7: Napajanje bližnjih RBP in BP ter prostora TK
(Iskratel, 2017)

5.3. Uporaba napetosti 750 V

Pri napajanju nekaterih oddaljenih BP in RBP se uporablja napetost 750 V. Razlog je zmanjšanje izgub na daljših kablovodih.

Pri prenosu električne energije velja, da so izgube odvisne od toka, zato z višjo napetostjo zmanjšamo tok in s tem:

- zmanjšamo segrevanje vodnikov,
- zmanjšamo padce napetosti,
- izboljšamo učinkovitost prenosa energije.

- V teh primerih se v sistem vključijo transformatorji, ki omogočajo:
- dvig napetosti za prenos (npr. 400 V $\rightarrow$ 750 V),
- znižanje napetosti na mestu porabnika (750 V $\rightarrow$ 400 V ali 230 V).

Takšna rešitev je nujna predvsem na progah z velikimi razdaljami med posameznimi objekti, kot sta G50 in G64.

5.4. Vloga transformatorjev v sistemu IT

V napajalnih sistemih IT imajo transformatorji dodatno vlogo, saj omogočajo galvansko ločitev od omrežja ter s tem zmanjšujejo vpliv motenj in napak.

Posebnost sistema IT je, da je zvezdišče transformatorja izolirano ali ozemljeno preko impedance, kar omogoča:

- delovanje sistema ob prvi napaki,
- večjo varnost pri dotiku enega vodnika,
- manjšo verjetnost izpada sistema.

Transformatorji v sistemu IT so pogosto opremljeni z napravami za nadzor izolacije (bender), ki spremljajo stanje sistema in opozarjajo na napake.

5.5. Praktični vidik uporabe transformatorjev

Na terenu se pri vzdrževanju sistemov GSM-R pogosto srečujemo z različnimi tipi transformatorjev, ki se razlikujejo po:

- napetostnih nivojih,
- vezavah (Δ/Δ , Δ/Y),
- moči transformatorja.
- Pri posegih na transformatorjih je treba:
- preveriti nazivno napetost in moč,
- upoštevati način ozemljitve,
- preveriti zaščitne elemente (varovalke, zaščite),
- biti pozoren na različne potenciale ozemljitve.

Nepravilno ravnanje lahko povzroči poškodbe opreme ali nevarnost za delavca, zato je potrebno dobro poznavanje delovanja transformatorjev.

5.6. Pomen transformatorjev za zanesljivost sistema

Transformatorji so eden ključnih elementov za zagotavljanje zanesljivega delovanja sistema GSM-R. Njihova pravilna izbira in vzdrževanje omogočata:

- stabilno napajanje BP,
- zmanjšanje izpadov sistema,
- boljšo odpornost na motnje in napake.

V kombinaciji z ustreznimi zaščitnimi elementi in nadzornimi napravami omogočajo hitro odkrivanje napak in zmanjšujejo tveganje za izpad komunikacijskega sistema.

5.7. Omara R-TR-RU



Sistem IT za RBP – napetost 750 V

Omaro R-TR-RU uporabljamo v BP in nekaterih prostorih TK za napajanje oddaljenih RBP, kjer je treba zaradi padca napetosti dvigniti napetost za 750 V.

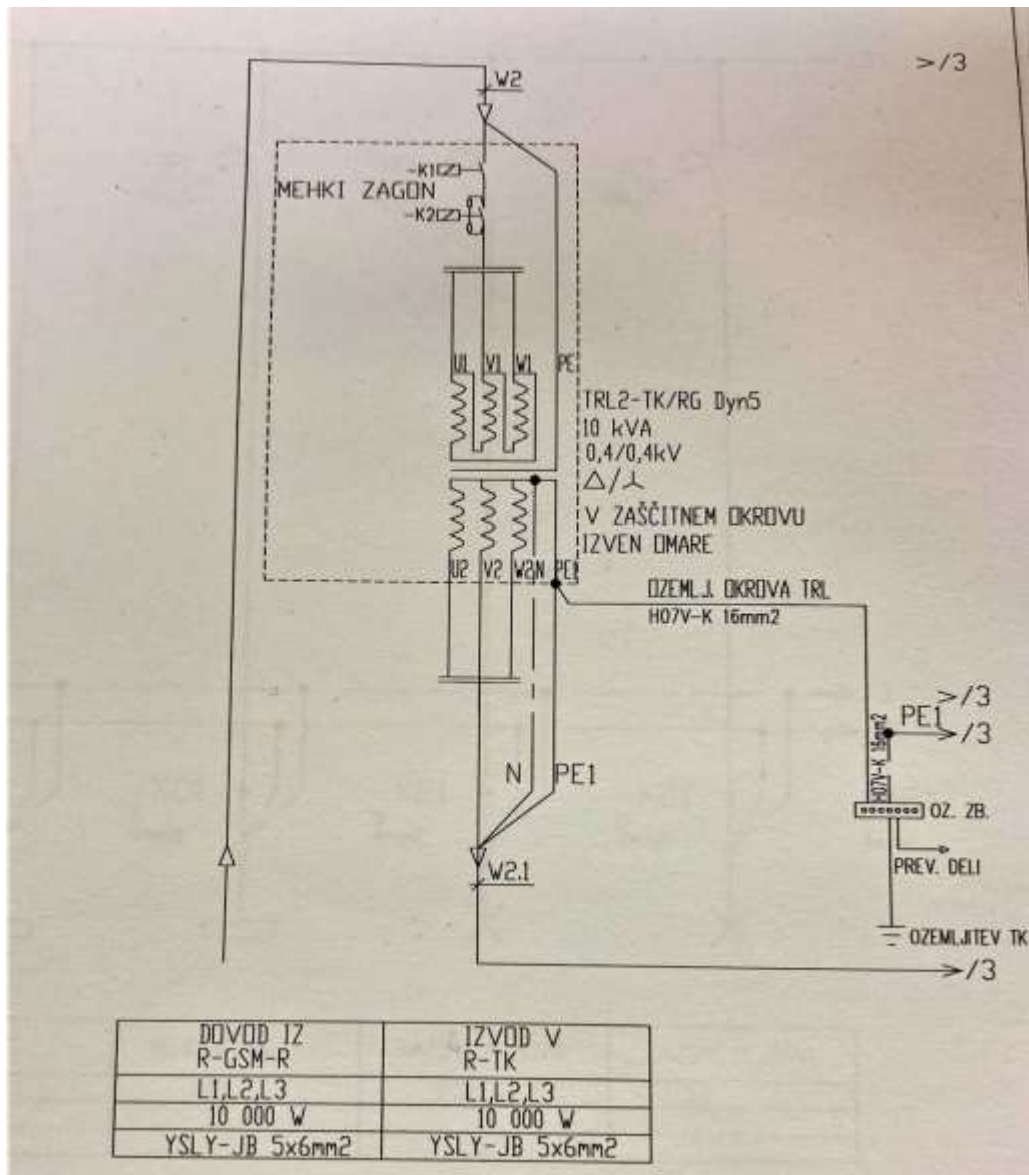
Slika 8: Omara R-TR-RU
(Lastni vir)

6 MEHKI ZAGON

Na objektih, kjer je več naprav, bi ob ponovnem zagonu ob izpadu prišlo do velikega zagonskega toka, zato v takih primerih izvedemo »mehki zagon« z elektronskim vezjem v transformatorju, ki zagotavlja zakasnen vklop transformatorja in tako prepreči izklop zaradi preobremenitve.

6.1. Opis delovanja mehkega zagona

Na prikazani shemi je mehki zagon izveden kot funkcionalni sklop z elementoma K1 in K2. Ob vklopu sklop omeji zagonski tok transformatorja, po zaključku zagonskega intervala pa omogoči prehod transformatorja v normalno obratovanje.



Slika 9: Shema »mehki zagon« transformatorja
(Iskratel, 2017)

7 VARNOST PRI ELEKTROSISTEMIH

Delo na elektroenergetskih sistemih predstavlja povečano tveganje za poškodbe oseb in opreme, zato mora biti izvajano v skladu z veljavnimi varnostnimi predpisi, standardi in internimi navodili upravljavca infrastrukture.

Pri delu na električnih inštalacijah obstaja več nevarnosti, med katerimi so najpogostejše:

- električni udar,
- električni oblok,
- požar zaradi kratkega stika,
- poškodbe opreme zaradi nepravilnih posegov.

Električni tok, ki teče skozi človeško telo, lahko povzroči resne poškodbe ali celo smrt. Že tokovi velikosti nekaj deset miliamperov lahko povzročijo motnje srčnega ritma. Zato je treba vedno zagotoviti, da je inštalacija pred posegom ustrezno izključena in zavarovana pred ponovnim vklopom.

Osnovni varnostni postopki:

- izklop napajanja,
- zavarovanje pred ponovnim vklopom,
- preverjanje odsotnosti napetosti,
- ozemljitev in kratkostičenje,
- uporaba osebne varovalne opreme.

Posebno pozornost je treba nameniti delu na transformatorjih in napajalnih sistemih IT, kjer lahko pride do različnih potencialov ozemljitve.

8 POMEN REDNEGA VZDRŽEVANJA NAPAVALNIH SISTEMOV

Redno vzdrževanje napajalnih sistemov GSM-R je ključnega pomena za zagotavljanje zanesljivega delovanja celotne komunikacijske infrastrukture. Ker gre za kritično infrastrukturo, mora biti vsak del sistema redno pregledan in ustrezno vzdrževan.

Vzdrževanje vključuje redne vizualne preglede opreme, preverjanje stanja varovalk, merjenje izolacijske upornosti ter pregled ozemljitvenih povezav. Posebno pozornost je treba nameniti tudi stanju kablov, saj so ti pogosto izpostavljeni vlagi, mehanskim poškodbam in temperaturnim vplivom.

Pomemben del vzdrževanja je tudi preverjanje delovanja kontrolnikov izolacije (bender), ki omogočajo zgodnje zaznavanje napak. S tem lahko preprečimo večje okvare in izpade sistema.

V praksi se je izkazalo, da redno vzdrževanje bistveno zmanjša število okvar ter omogoča hitrejšo odpravljanje napak. Prav tako zmanjšuje tveganje za izpad sistema, kar je še posebej pomembno v železniškem prometu, kjer ima vsaka motnja lahko resne posledice.

Vzdrževanje sistema GSM-R se izvaja v skladu z Delovnim navodilom 925-DN38, ki določa način izvajanja vzdrževalnih del.

9 MOŽNOSTI NADGRADNJE SISTEMA

Z razvojem tehnologije se pojavljajo tudi možnosti nadgradnje napajalnih sistemov GSM-R. Ena izmed pomembnih smeri razvoja je izboljšanje nadzora nad stanjem sistema z uporabo naprednih merilnih in nadzornih naprav.

Sodobni sistemi omogočajo daljinsko spremljanje parametrov, kot so napetost, tok in izolacijska upornost, kar omogoča hitrejšo odkrivanje napak in boljše načrtovanje vzdrževanja.

Poleg tega se razvijajo tudi naprednejši zaščitni sistemi, ki omogočajo večjo selektivnost in boljšo zaščito opreme. V prihodnosti se pričakuje tudi večja uporaba avtomatizacije, ki bo omogočila hitrejšo reakcijo ob napakah.

Takšne nadgradnje lahko bistveno izboljšajo zanesljivost sistema ter zmanjšajo čas izpadov, kar je ključnega pomena za delovanje železniške infrastrukture.

10 VPLIV NAPAVALNEGA SISTEMA NA ZANESLJIVOST GSM-R

Napajalni sistem ima ključno vlogo pri zagotavljanju zanesljivega delovanja GSM-R sistema. Vsaka prekinitev napajanja lahko povzroči izpad komunikacije, kar vpliva na razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R. Sistem IT omogoča večjo razpoložljivost sistema, saj ne pride do takojšnjega izklopa ob prvi napaki, medtem ko sistem TN omogoča hitrejšo zaščito, vendar na račun izpada. V praksi se zato uporablja kombinacija sistemov, ki omogoča optimalno delovanje glede na pogoje na posamezni lokaciji.

11 VPLIV NAPAVALNEGA SISTEMA NA VARNOST ŽELEZNIŠKEGA PROMETA

Napajalni sistem ima ključno vlogo pri zagotavljanju varnosti železniškega prometa, saj neposredno vpliva na delovanje komunikacijskega sistema GSM-R. Ta sistem omogoča stalno komunikacijo med strojevodji, prometniki in komunikacijskimi napravami, zato mora biti njegovo delovanje zanesljivo in neprekinjeno. Vsaka prekinitve napajanja lahko povzroči izpad BP in RBP, kar vodi v izgubo komunikacije na določenem območju. Posledično lahko pride do motenj v prometu, zmanjšanja pretočnosti ali celo nevarnih situacij, kjer ni mogoče pravočasno posredovati informacij o stanju na progi. Na podlagi analize ugotavljam, da ima sistem IT pomembno vlogo pri zagotavljanju varnosti, saj omogoča delovanje sistema tudi ob prvi napaki izolacije. To pomeni, da komunikacija ostane aktivna, vzdrževalci pa imajo čas za odpravo napake brez takojšnjega izpada sistema. Takšna lastnost bistveno zmanjšuje tveganje za nenadne prekinitve delovanja. Po drugi strani sistem TN omogoča hitro izklopitev ob napaki, kar pomeni večjo zaščito opreme in uporabnikov, vendar lahko povzroči takojšnjo prekinitve delovanja komunikacijskega sistema. Zato je njegova uporaba primernejša na lokacijah, kjer izpad ne povzroča večjih posledic ali kjer obstajajo rezervne rešitve. V praksi se zato uporablja kombinacija različnih napajalnih sistemov, ki omogoča optimalno ravnovesje med varnostjo, zanesljivostjo in enostavnostjo vzdrževanja. Takšen pristop je še posebej pomemben v železniški infrastrukturi, kjer je vsaka motnja v delovanju sistema lahko povezana z varnostnimi tveganji. Na podlagi navedenega lahko zaključimo, da pravilna izbira in izvedba napajalnega sistema neposredno prispevata k večji varnosti železniškega prometa ter zmanjšujeta možnost izpadov komunikacijskega sistema GSM-R.

12 ZAKLJUČKI

V diplomskem delu smo obravnavali napajalne sisteme BP in RBP GSM-R na progah G50 in G64 ter analizirali njihovo vlogo pri zagotavljanju zanesljivega delovanja železniškega komunikacijskega sistema. Poseben poudarek je bil namenjen primerjavi različnih napajalnih sistemov (IT, TT in TN), njihovim značilnostim ter uporabi v realnem okolju železniške infrastrukture.

Na podlagi teoretičnega pregleda in analize dejanskega stanja na terenu sem ugotovil, da izbira napajalnega sistema vpliva na način delovanja zaščite in razpoložljivost napajanja sistema GSM-R. Komunikacijski sistem GSM-R predstavlja pomemben del komunikacijske infrastrukture, zato mora biti njegovo delovanje neprekinjeno, stabilno in varno. Vsak izpad napajanja lahko povzroči motnje v komunikaciji, kar lahko vpliva na razpoložljivost komunikacijskega sistema GSM-R. Na prvo raziskovalno vprašanje, kako izbira napajalnega sistema vpliva na zanesljivost delovanja GSM-R sistema, lahko odgovorimo, da ima sistem IT pomembno prednost v primerjavi z drugimi sistemi, saj omogoča delovanje tudi ob prvi napaki izolacije. To pomeni, da sistem ostane v obratovanju, kar bistveno zmanjšuje možnost nenadnega izpada komunikacije. V praksi se je izkazalo, da je ta lastnost ključnega pomena predvsem na oddaljenih in težje dostopnih lokacijah, kjer bi izpad napajanja povzročil večje motnje. Na drugo raziskovalno vprašanje, ali uporaba sistema IT zmanjšuje število izpadov napajanja, lahko odgovorimo pritrdilno. Sistem IT dejansko zmanjšuje število takojšnjih izpadov, saj ob prvi napaki ne pride do izklopa. Vendar pa to hkrati pomeni večjo odgovornost vzdrževalcev, saj je treba napake pravočasno zaznati in odpraviti. Če se napaka ne odpravi, lahko pride do druge napake, ki povzroči resnejšo okvaro ali popoln izpad sistema.

Na tretje raziskovalno vprašanje, katere napake se pojavljajo na terenu, sem ugotovil, da so v nalogi obravnavane napake izolacije kablov, poškodbe vodnikov, pregorele varovalke ter vplivi okolja, kot so vlaga, temperaturna nihanja in staranje opreme. Pogost vzrok napak so tudi vplivi okolja, kot so vlaga, temperaturna nihanja in staranje opreme. Analiza je pokazala, da pravočasno odkrivanje in odpravljanje teh napak bistveno vpliva na zmanjšanje izpadov sistema.

Pomembna ugotovitev diplomskega dela je tudi, da noben napajalni sistem ni univerzalno najboljši, temveč je izbira odvisna od konkretnih pogojev na posamezni lokaciji. Sistem IT je najbolj primeren za kritične dele sistema, kjer je ključna neprekinjenost delovanja, medtem ko se sistem TN uporablja tam, kjer je zagotovljena dobra ozemljitev in stabilno napajanje ter kjer je pomembna enostavna in učinkovita zaščita. Sistem TT se uporablja redkeje in predvsem v specifičnih primerih.

Na podlagi analize lahko zaključimo, da je v sistemih GSM-R optimalna rešitev kombinacija različnih napajalnih sistemov, saj omogoča ravnovesje med zanesljivostjo, varnostjo in enostavnostjo vzdrževanja. Takšen pristop omogoča prilagoditev sistema glede na zahteve posamezne lokacije in izboljšuje celotno delovanje komunikacijske infrastrukture. Poseben poudarek diplomskega dela je tudi na praktični uporabnosti. Lastni prispevek se kaže v analizi dejanskega stanja na 39 lokacijah BP in RBP ter v pripravi funkcionalnega opisa napajanja sistema GSM-R. Zbrana fotodokumentacija, opisi napajalnih shem in sistematični postopki diagnostike omogočajo boljše razumevanje sistema in hitrejše odpravljanje napak v praksi.

Rezultati diplomskega dela prispevajo k boljšemu razumevanju napajalnih sistemov GSM-R ter predstavljajo osnovo za nadaljnje izboljšave na področju vzdrževanja, nadzora in nadgradnje sistema. V prihodnje bi bilo smiselno raziskati tudi možnosti digitalizacije nadzora napajalnih sistemov ter uvedbo naprednih diagnostičnih orodij, ki bi omogočila še hitrejše odkrivanje napak in večjo zanesljivost delovanja.

Na podlagi celotne analize lahko zaključim, da pravilna izvedba in vzdrževanje napajalnih sistemov pomembno vplivata na zanesljivost delovanja železniškega komunikacijskega sistema GSM-R.

13 LITERATURA IN VIRI

Bender GmbH & Co. KG (2018): *Insulation Monitoring Devices – Technical Guide*. Grünberg: Bender GmbH & Co. KG. Tehnični priročnik.

European Telecommunications Standards Institute – ETSI (2018): *ETSI EN 301 515 V3.0.0 (2018-07): Global System for Mobile communication (GSM); Requirements for GSM operation on railways*. Sophia Antipolis: European Telecommunications Standards Institute. Pridobljeno 27. 7. 2026 z naslova
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301515/03.00.00_60/en_301515v030000p.pdf

International Electrotechnical Commission – IEC. (2018). *IEC 60364-5-56:2018: Low-voltage electrical installations – Part 5-56: Selection and erection of electrical equipment – Safety services*. Geneva: International Electrotechnical Commission.

Iskratel d. o. o., GH Holding d. o. o. (2017). *Uvedba digitalnega radijskega sistema GSM-R na slovenskem železniškem omrežju: Projektna dokumentacija izvedenih del PID, BP in RBP na progah G50 in G64*. Ljubljana/Divača: Iskratel, d.o.o., GH Holding, d.o.o. Interni dokument naročnika SŽ - Infrastruktura, d.o.o.

MORANE Consortium. (2000). *MORANE Project Final Documentation and GSM-R Validation Reports*. Paris: International Union of Railways. Projektna dokumentacija.

Siemens AG. (2018). *GSM-R System Technical Manual*. München: Siemens AG. Tehnični priročnik / interna tehnična dokumentacija sistema GSM-R.

SŽ – Infrastruktura, d. o. o. (2020a): *Interni tehnični standardi elektroenergetskih, komunikacijskih in telekomunikacijskih sistemov (SŽ-EE, SVTK)*. Ljubljana: SŽ – Infrastruktura, d. o. o. Interni dokument.

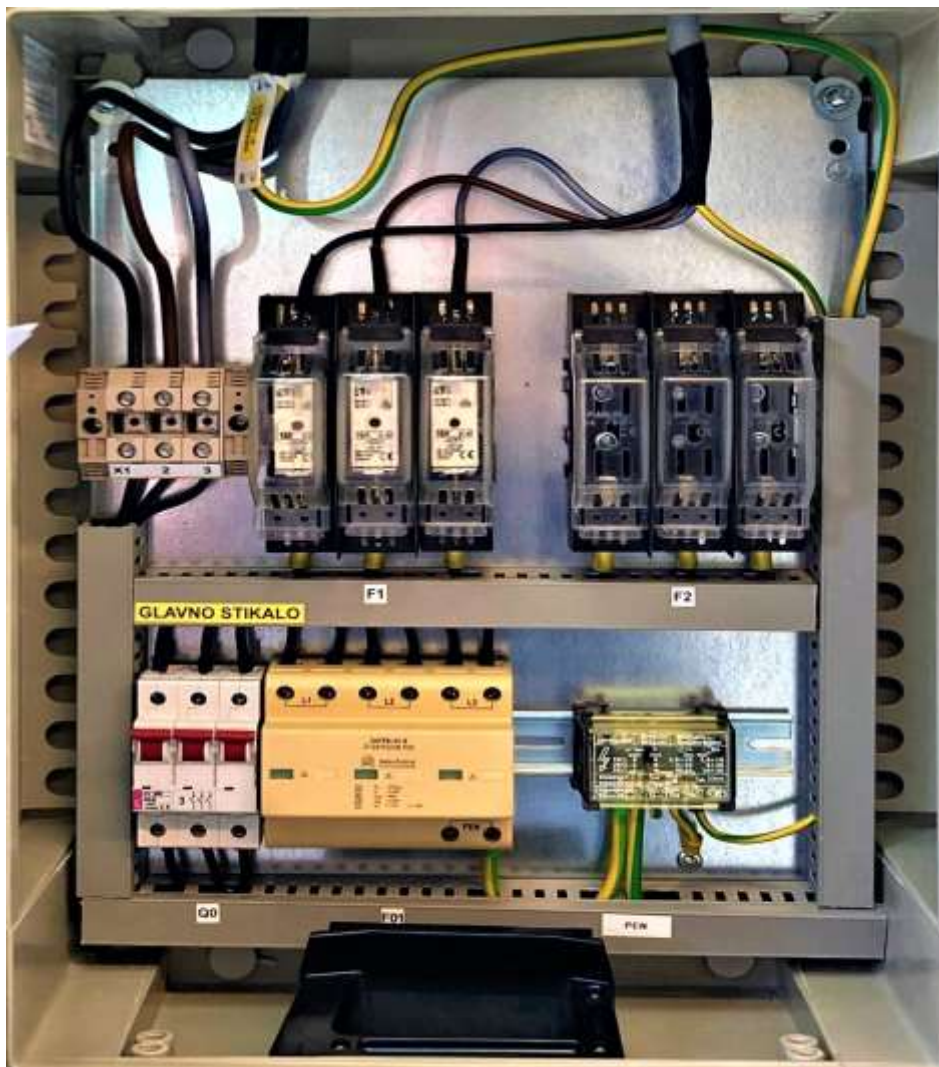
SŽ – Infrastruktura, d. o. o. (2020b). *Interna dokumentacija napajalnih sistemov GSM-R*. Ljubljana: SŽ – Infrastruktura, d. o. o. Interni dokument.

UIC – International Union of Railways. (2015). *UIC CODE 951-16.0.0: EIRENE System Requirements Specification, Version 16.0.0 – GSM-R System Requirements Specification*. Paris: International Union of Railways.

PRILOGA

Priloga 1: Fotodokumentacija BP in RBP

Fotodokumentacija BP in RBP GSM-R na progah G50 in G64.



*Slika 10: BP 50.01 Brezovica
(Lastni vir)*

Sistem TN-C –napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

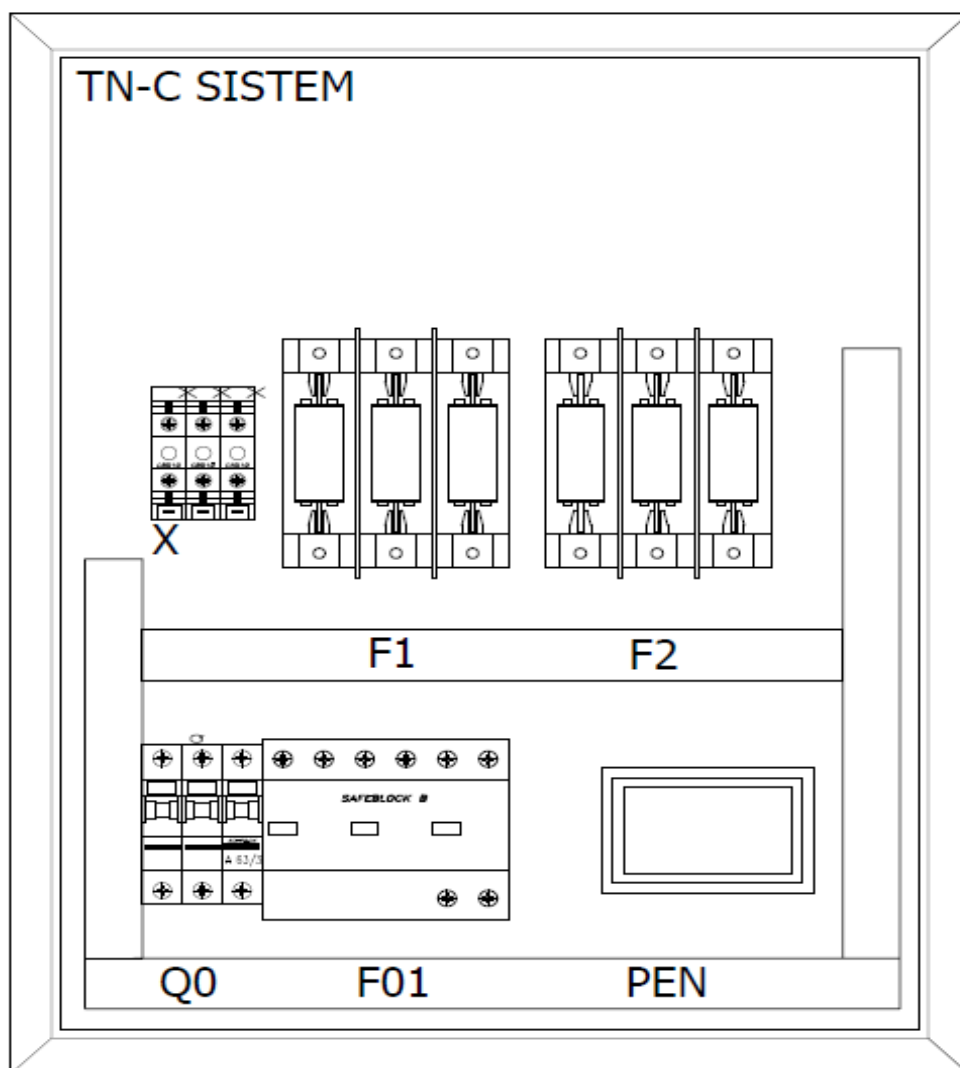
F1 – napajanje iz prostora TK Brezovica – (dovod) 3 x 20 A 400 V

F2 – odvod rezerva

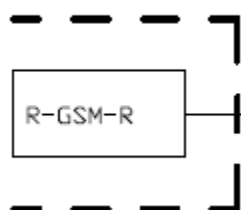
Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

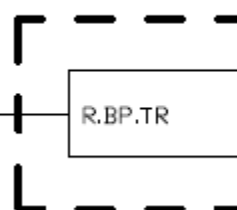
R-BP-TR v BP-50.01 BREZOVICA



POSTAJA BREZOVICA



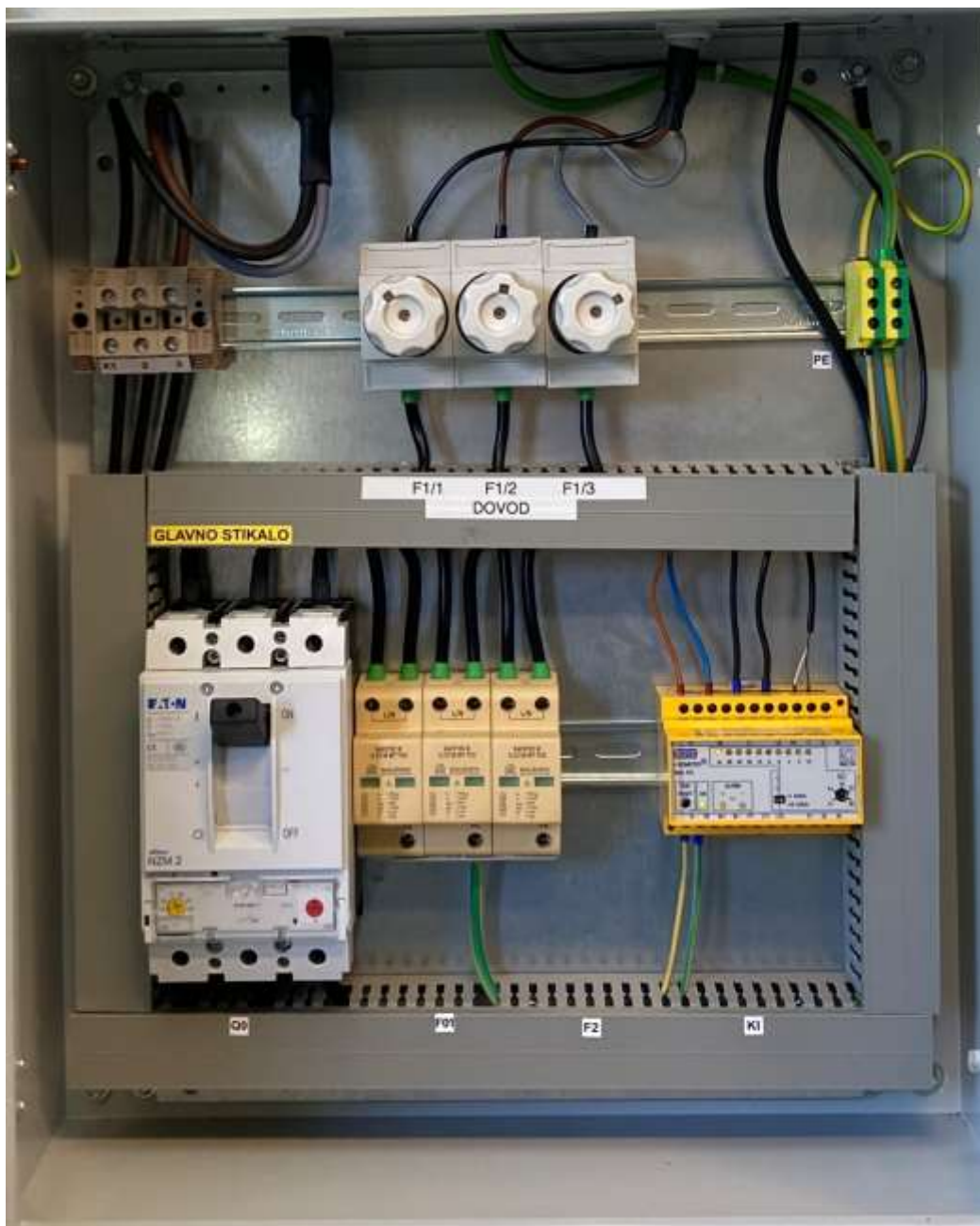
BP-50.01 BREZOVICA



NAYY-J 4x16mm² -184 m
400V

Shema Brezovica 1

Slika 11: Shema Brezovica
(Iskratel, 2017)



Slika 12: BP 50.02 Preserje
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 10 A 750 V

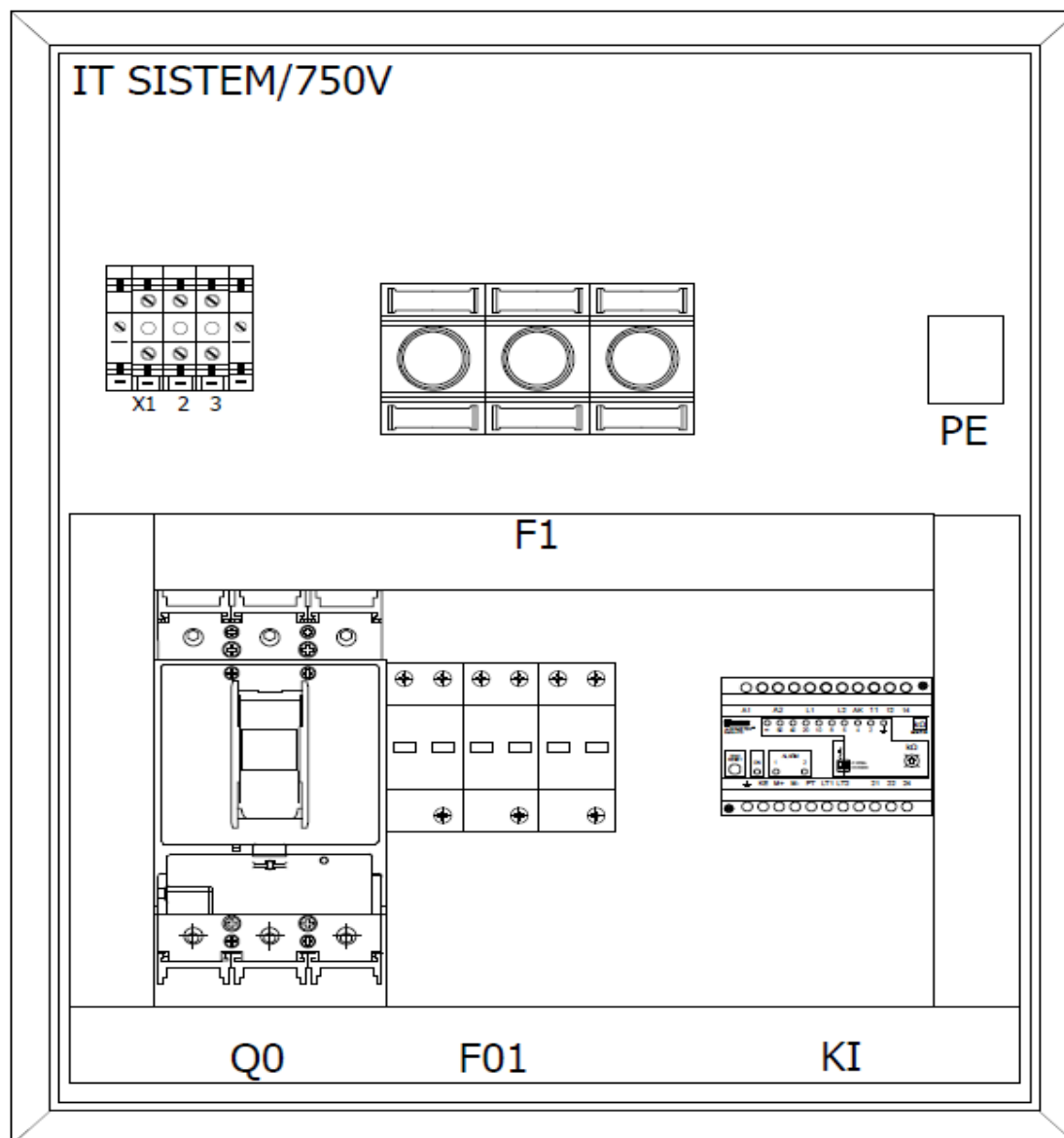
F1 – napajanje iz prostora TK Preserje (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

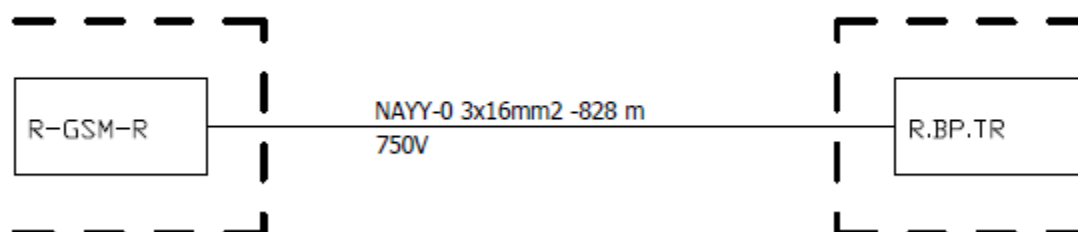
KI – kontrolnik izolacije

R-BP-TR v BP-50.02 PRESERJE



POSTAJA PRESERJE

BP-50.02 PRESERJE



Slika 13: Shema Preserje
(Iskratel, 2017)



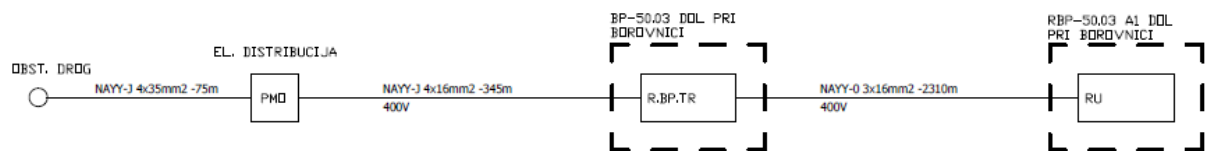
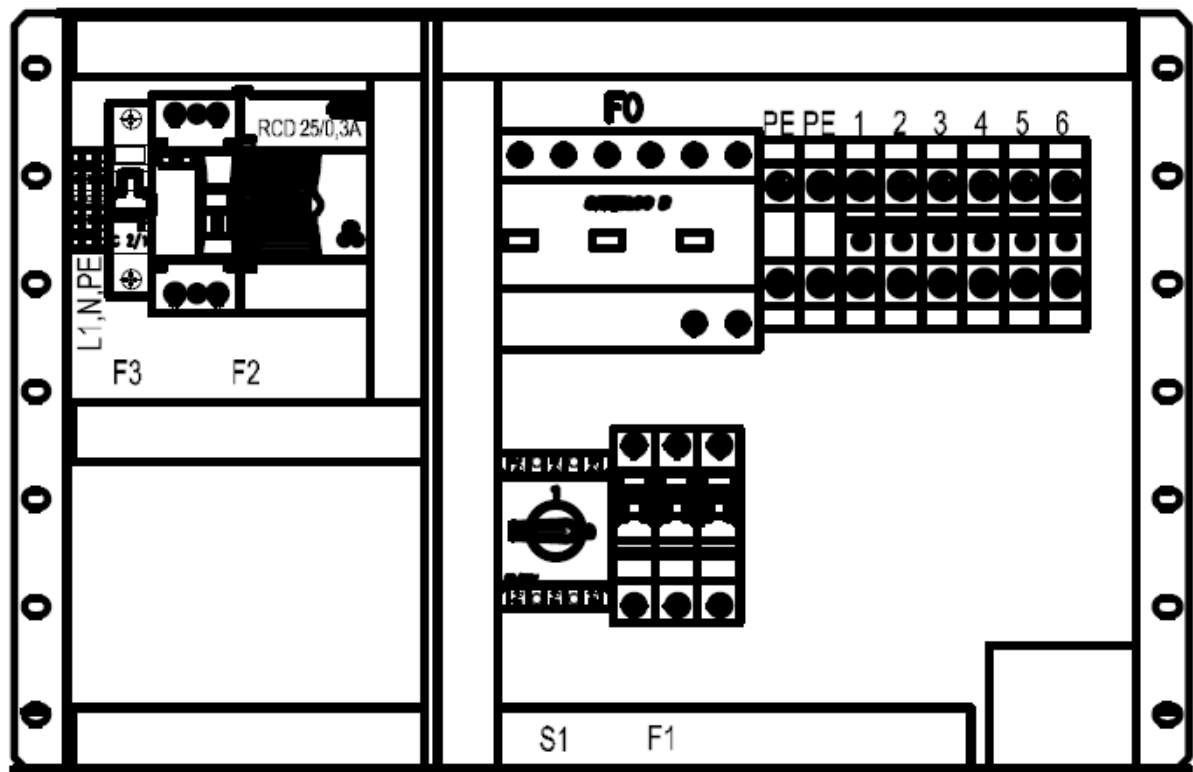
*Slika 14: RBP 50.03 Dol pri Borovnici
(Lastni vir)*

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

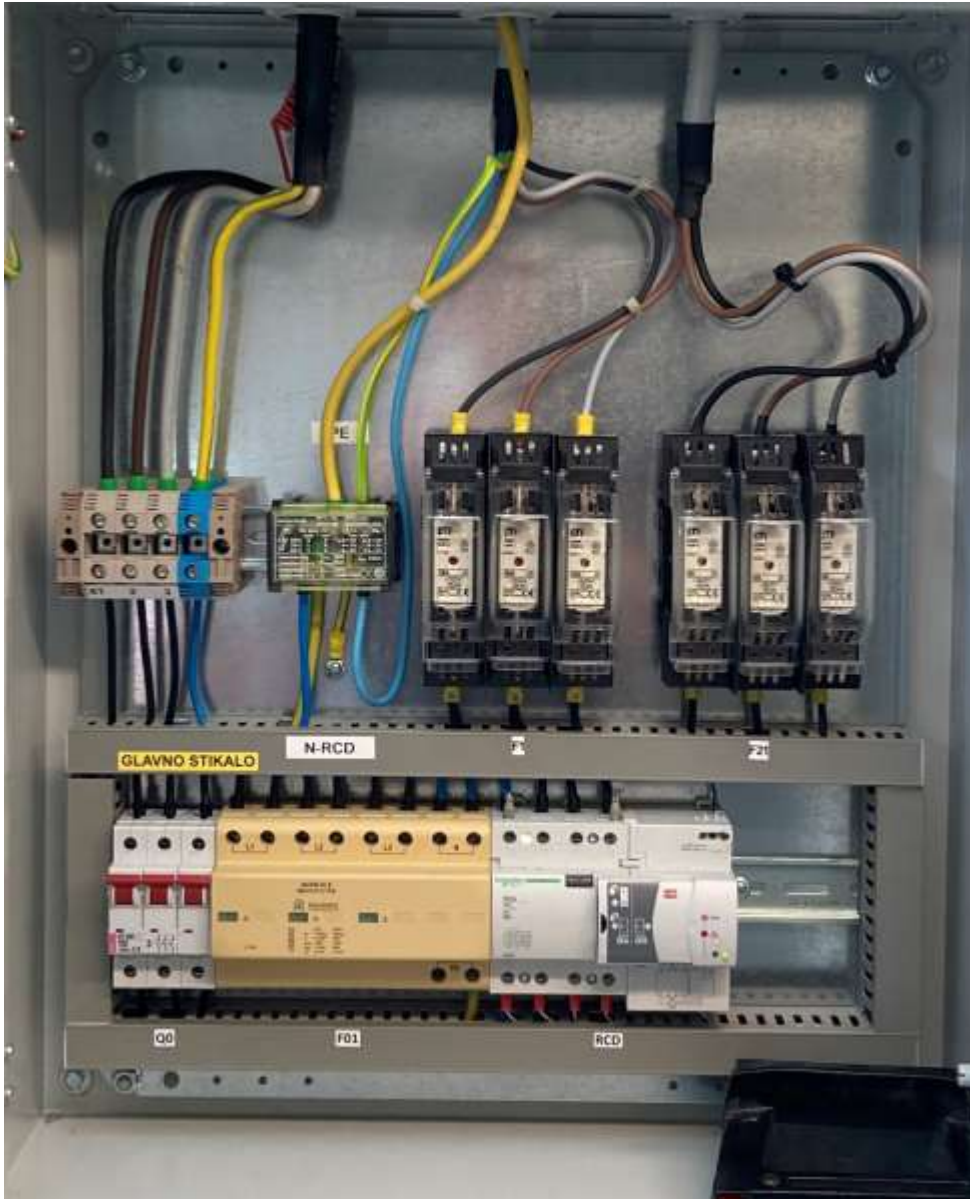
QO – dovod iz BP Borovnica (**dovod**) 3 x 10 A 400 V

RCD – glavno stikalo **20 A**

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 15: Shema RBP Dol pri Borovnici
(Iskratel, 2017)



*Slika 16: BP 50.03 Dol pri Borovnici
(Lastni vir)*

Sistem TT – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – dovod iz distribucije (**dovod**) 3 x 25 A 400 V

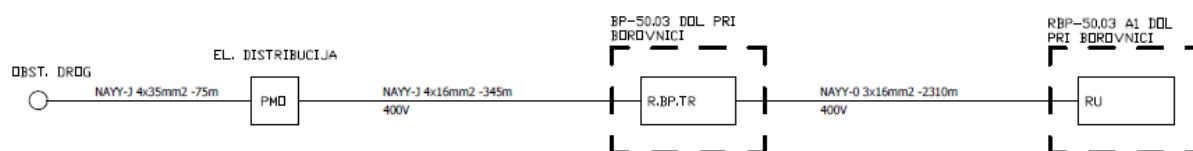
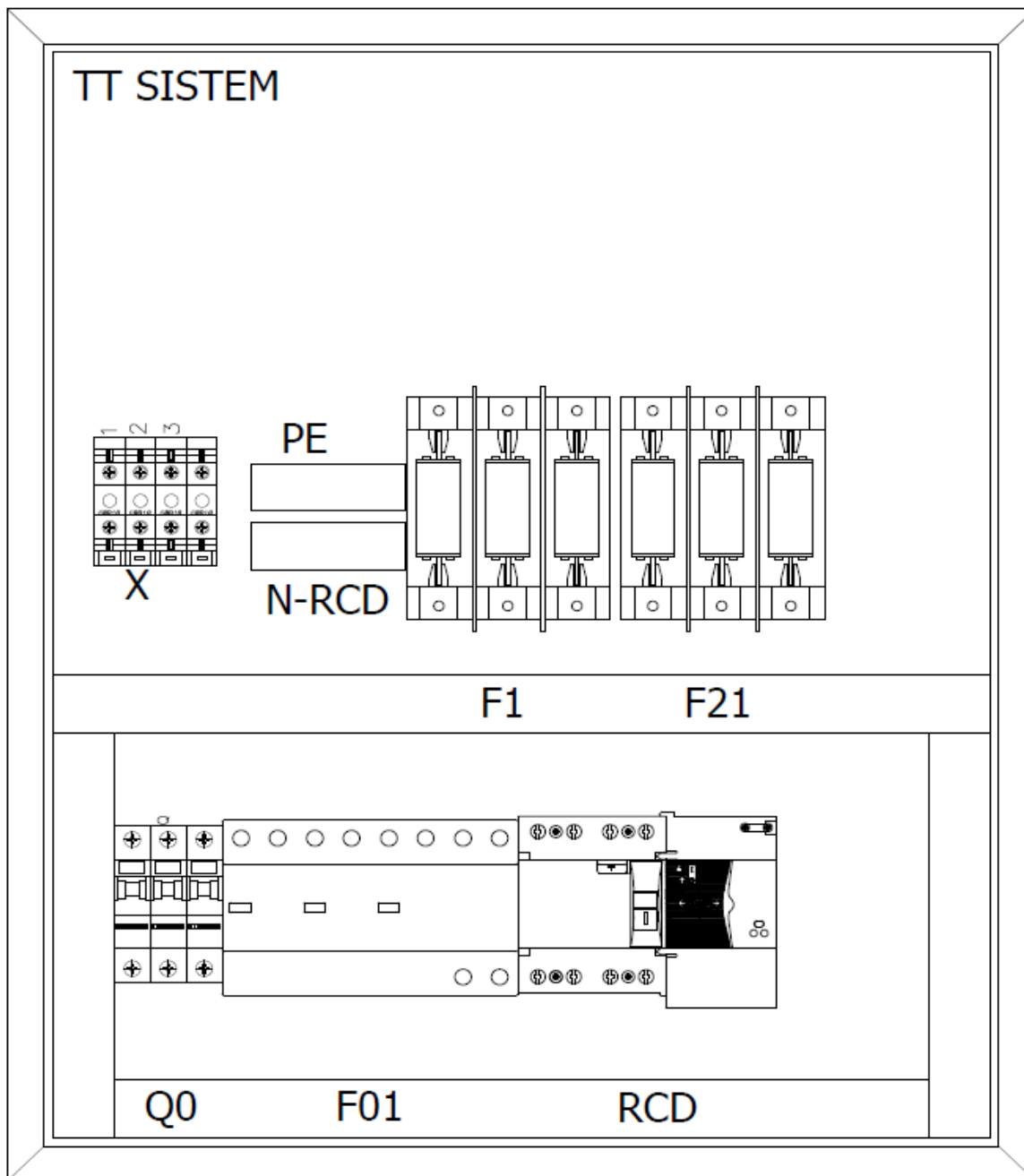
F21 – odvod za RBP Dol pri Borovnici 3 x 10 A 400 V

Q0 – glavno stikalo **40 A**

F01 – prenapetostna zaščita

RCD – FIT z možnostjo avtomatskega ponovnega vklopa

R-BP-TR v BP-50.03 DOL PRI BOROVNICI



Slika 17: Shema BP Dol pri Borovnici

(Iskrate!, 2017)



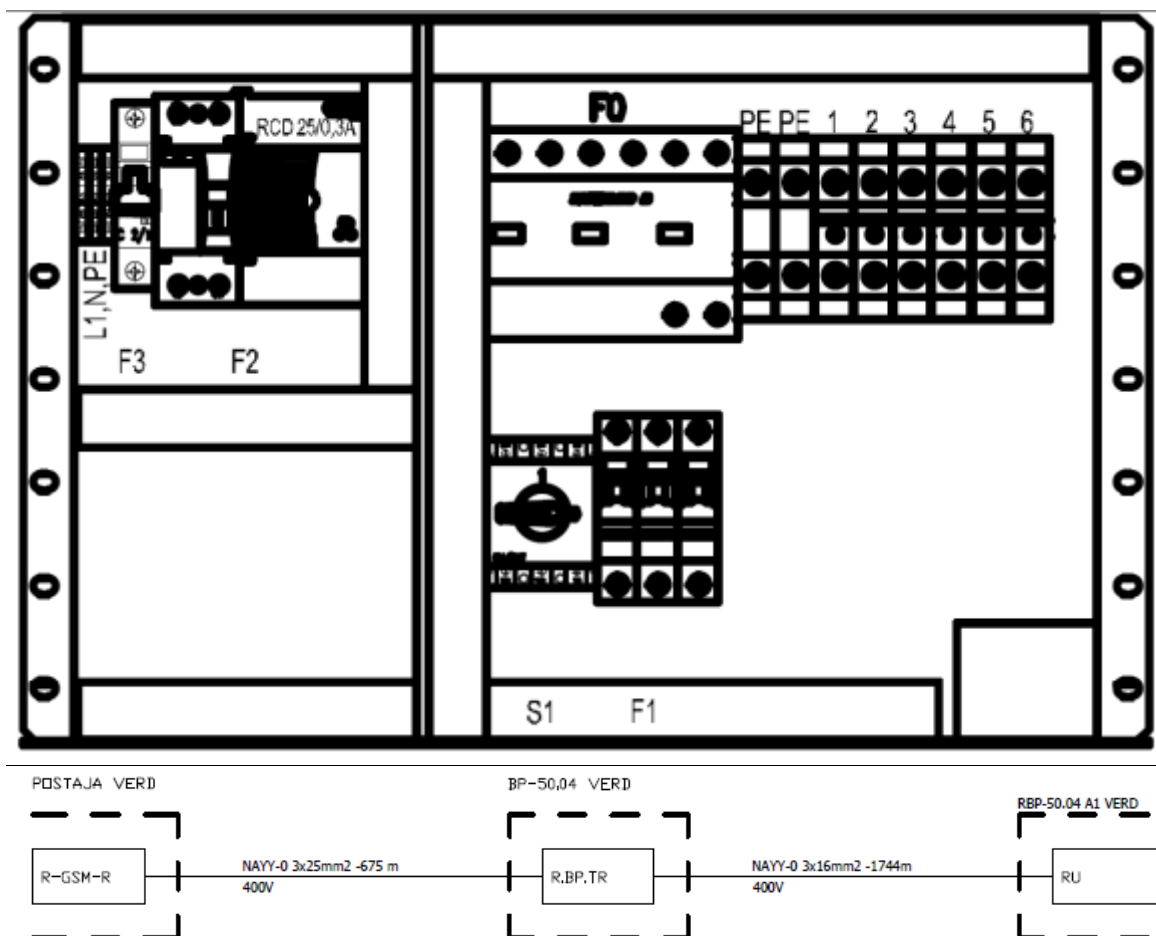
*Slika 18: RBP 50.04 A1 Verd
(Lastni vir)*

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

F1 – napajanje iz BP Verd (dovod) 3 x 10 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 19: Shema RBP Verd
(Iskratel, 2017)



Slika 20: BP 50.04 Verd

(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

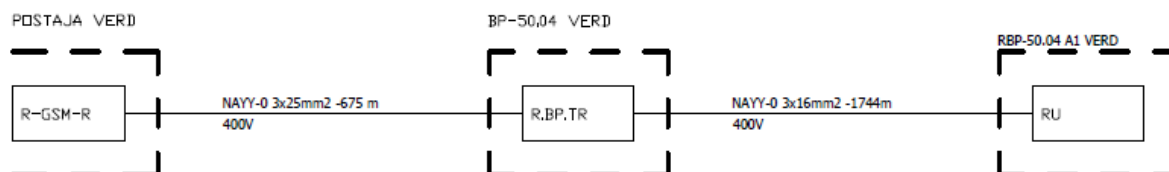
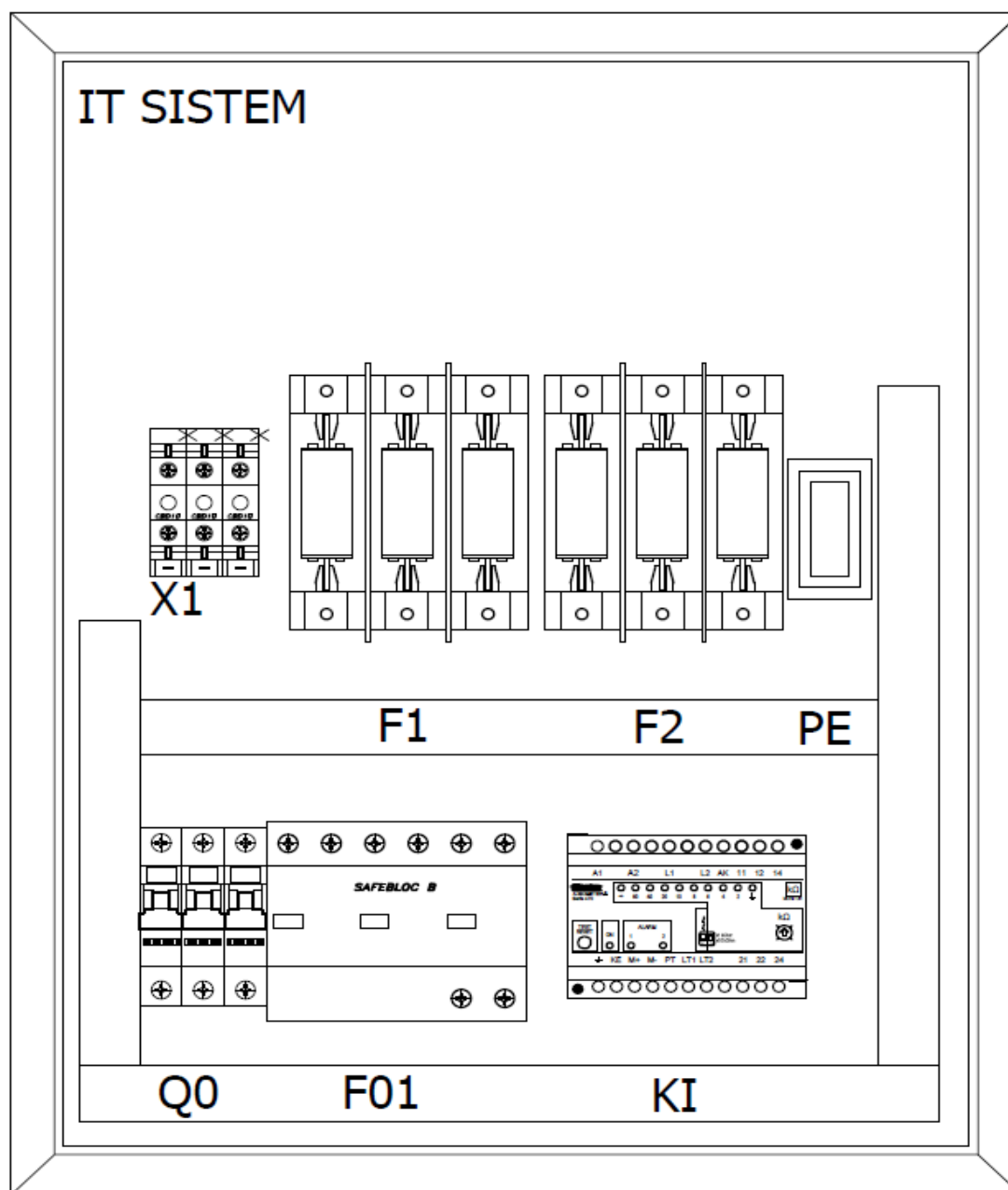
F1 – napajanje iz železniške postaje Verd (**dovod**) 3 x 20 A 400 V

F2 – odvod za RBP Verd 3 x 10 A 400 V

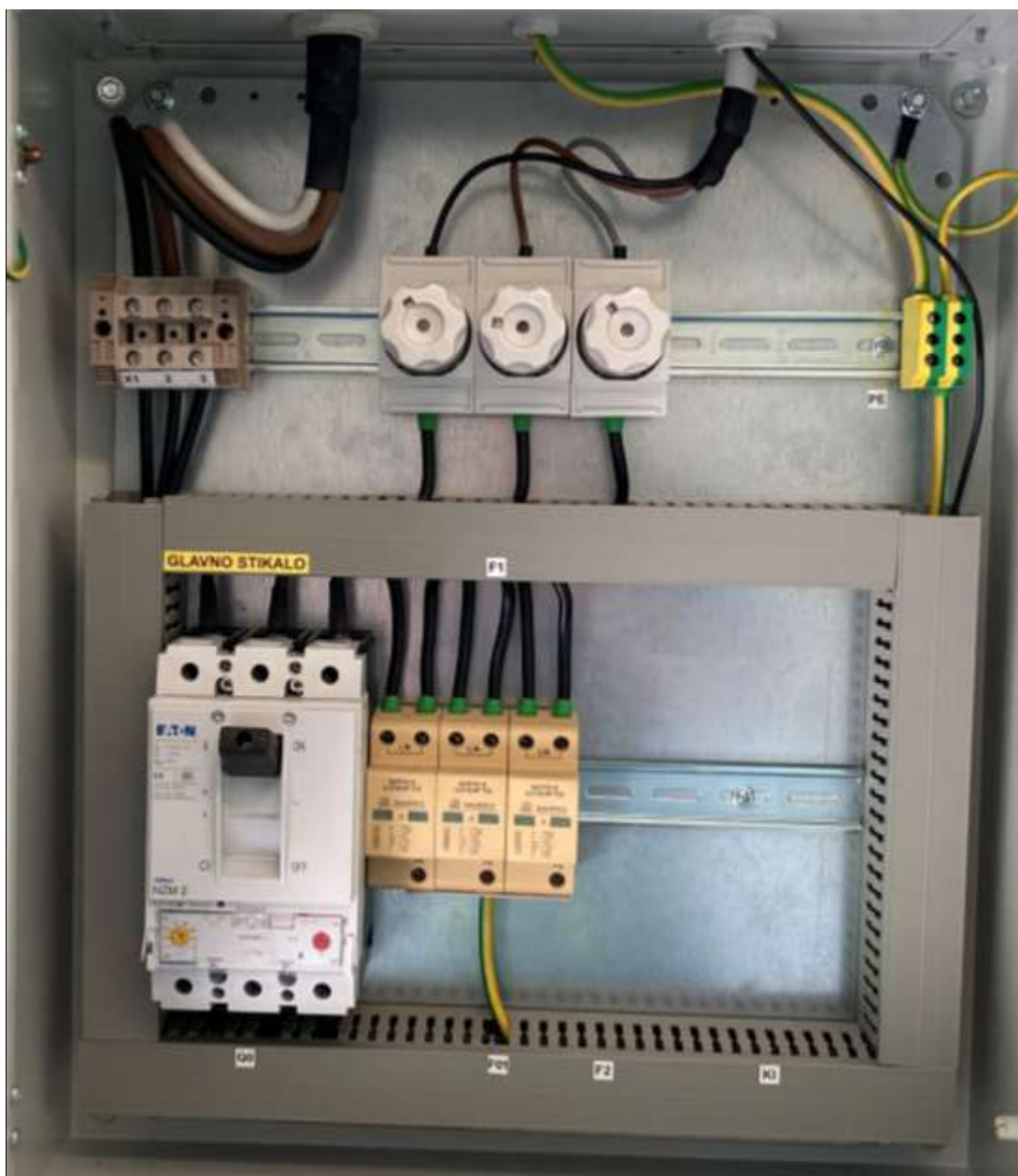
Q0 – glavno stikalo **20 A**

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-50.04 VERD



Slika 21: Shema BP Verd
(Iskratel, 2017)



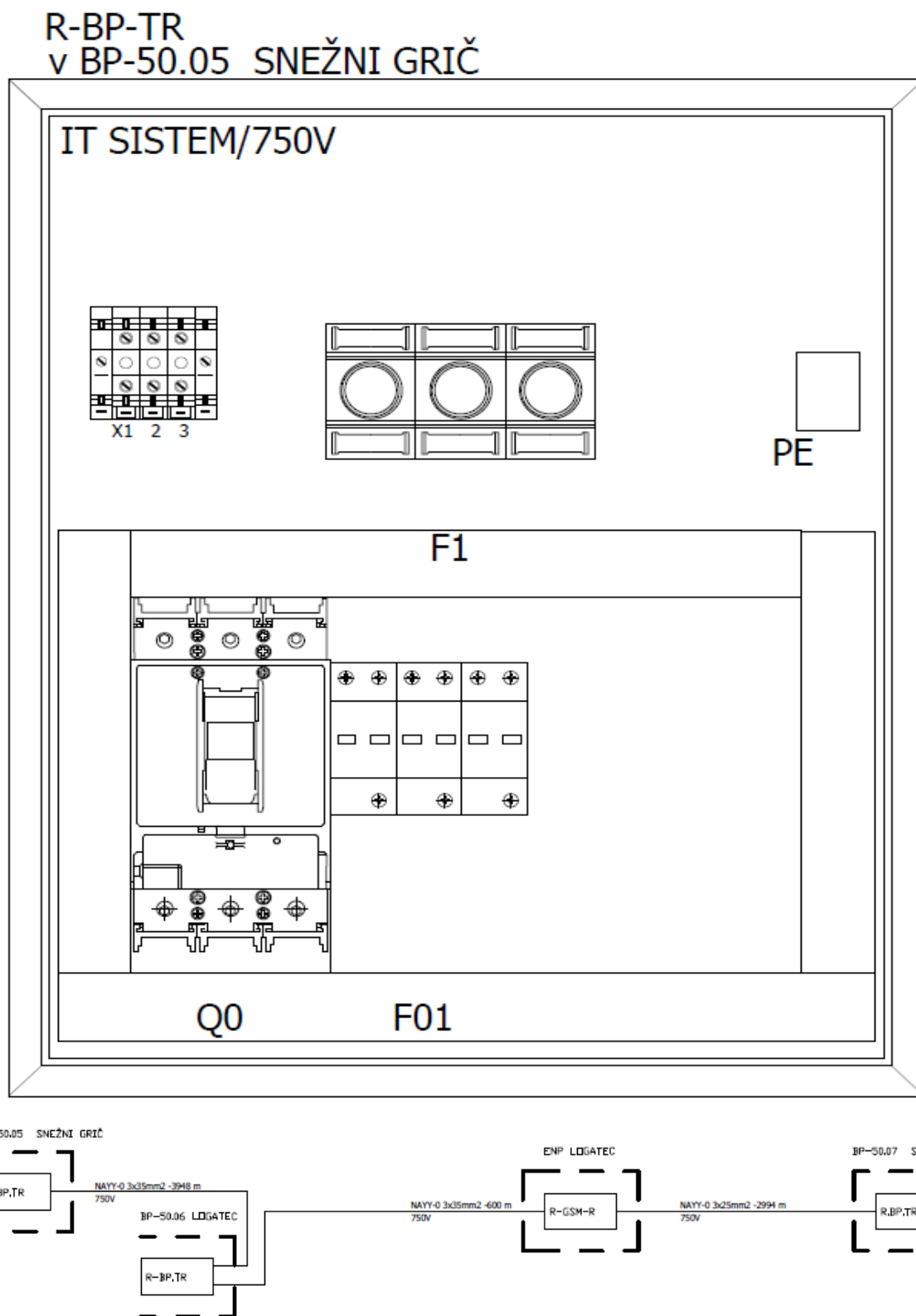
Slika 22: BP 50.05 Snežni grič
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 10 A 750 V

F1 – napajanje iz ENP Logatec (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 23: Shema BP Snežni grič
(Iskratel, 2017)



Slika 24: BP 50.06 Logatec
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 10 A 750 V

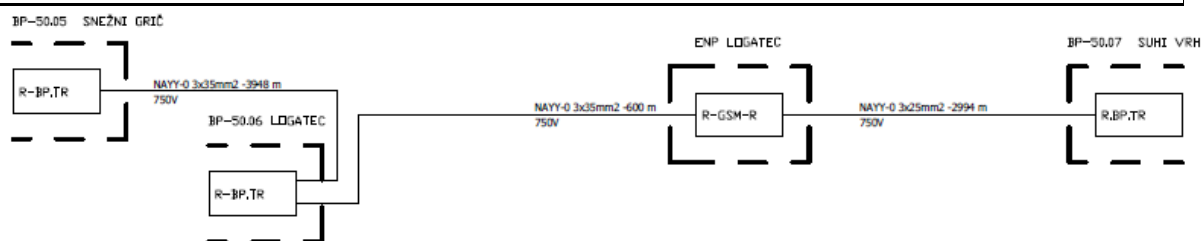
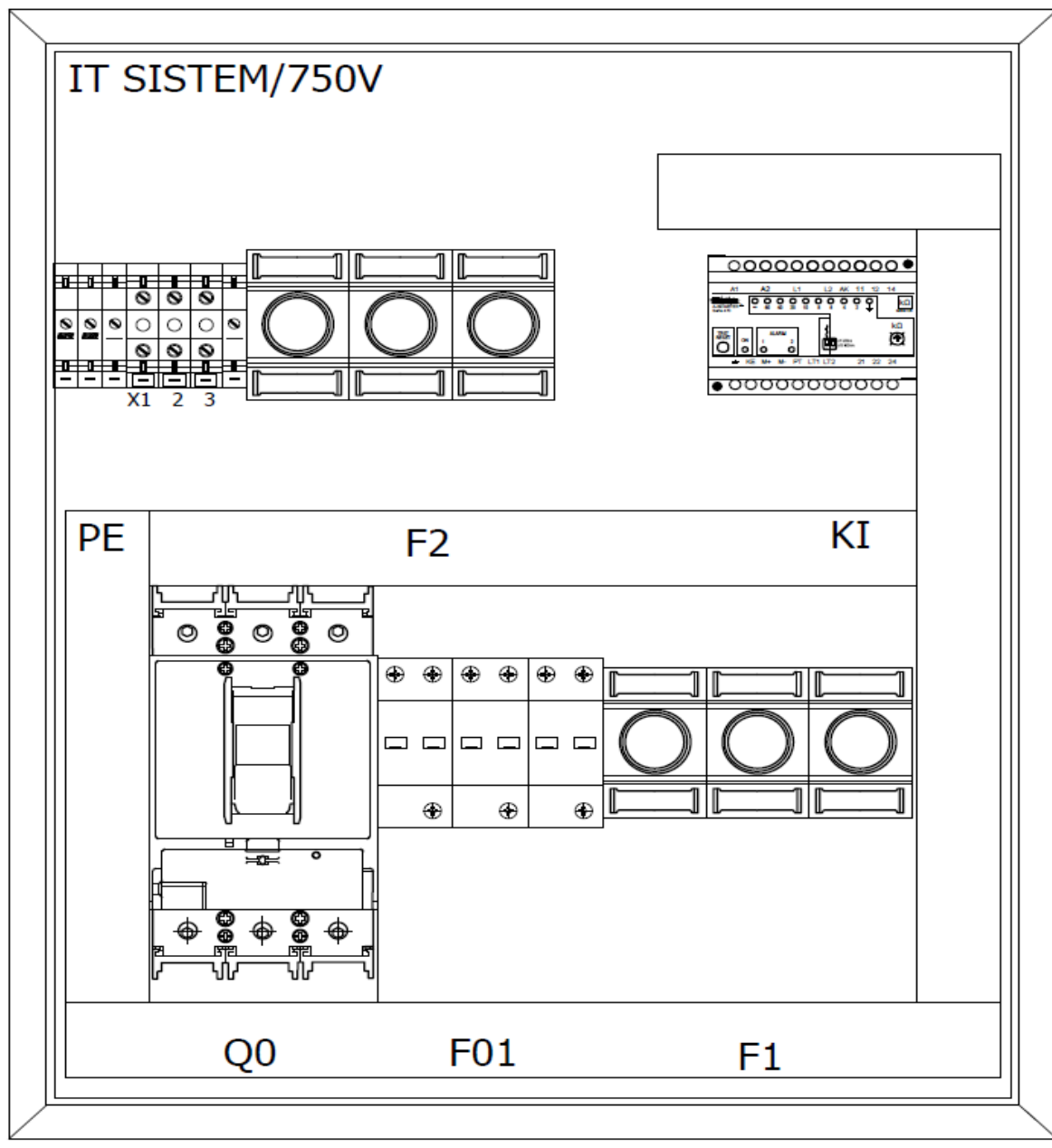
F1 – napajanje iz ENP Logatec (dovod) 3 x 20 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita

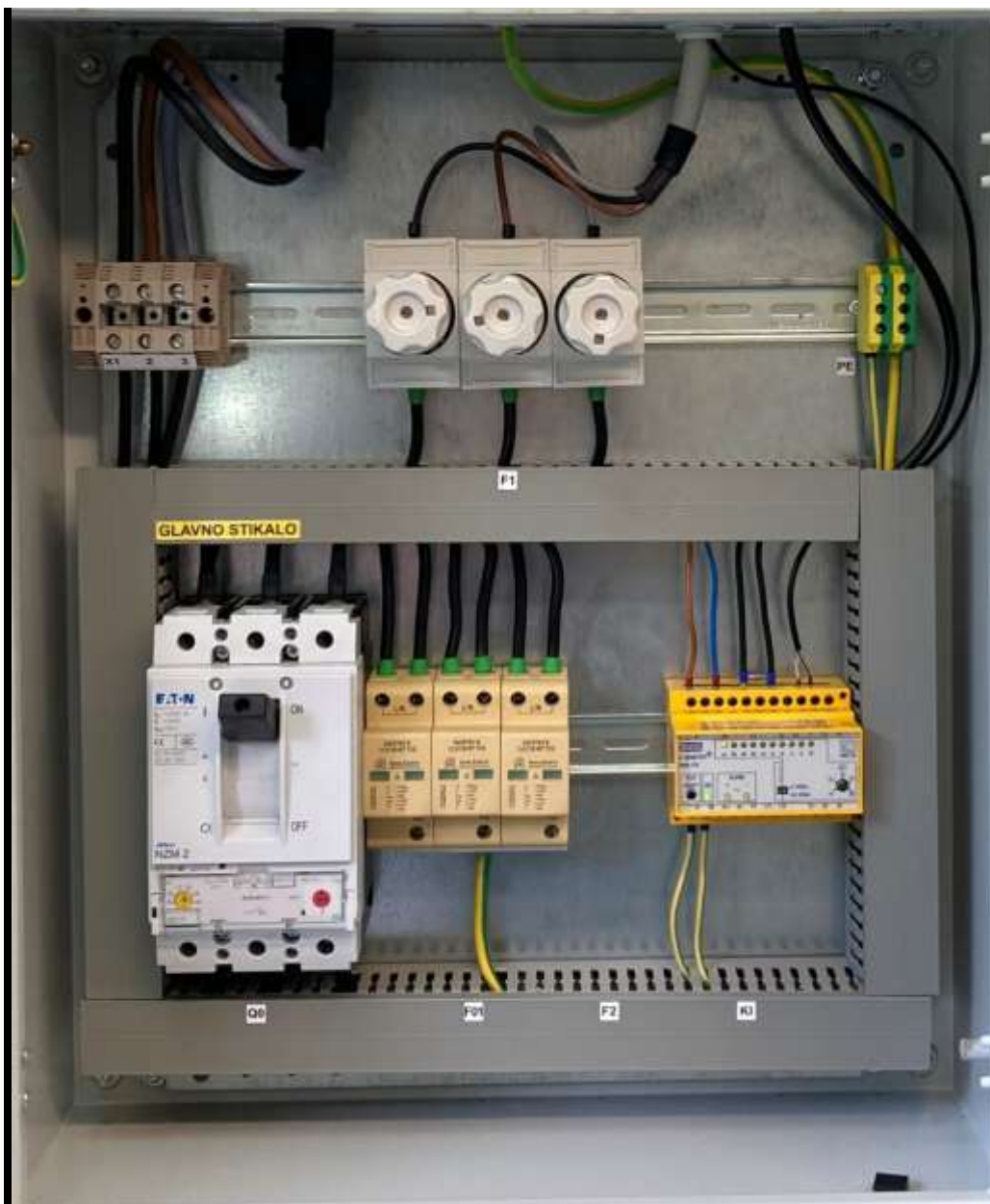
KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR v BP-50.06 LOGATEC



Slika 25: Shema BP Logatec

(Iskrate, 2017)



Slika 26: BP 50.07 Suhi Vrh
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 10 A 750 V

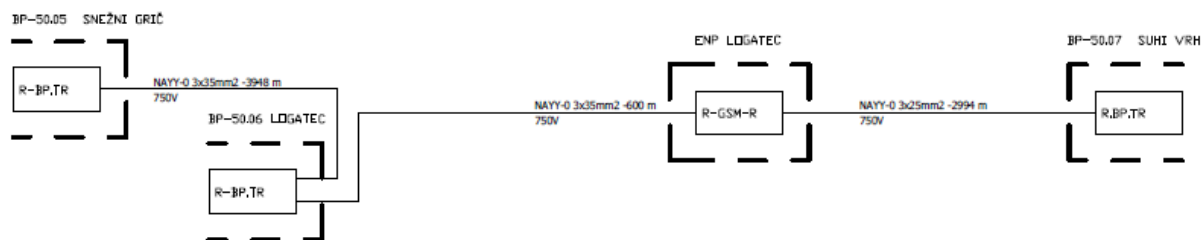
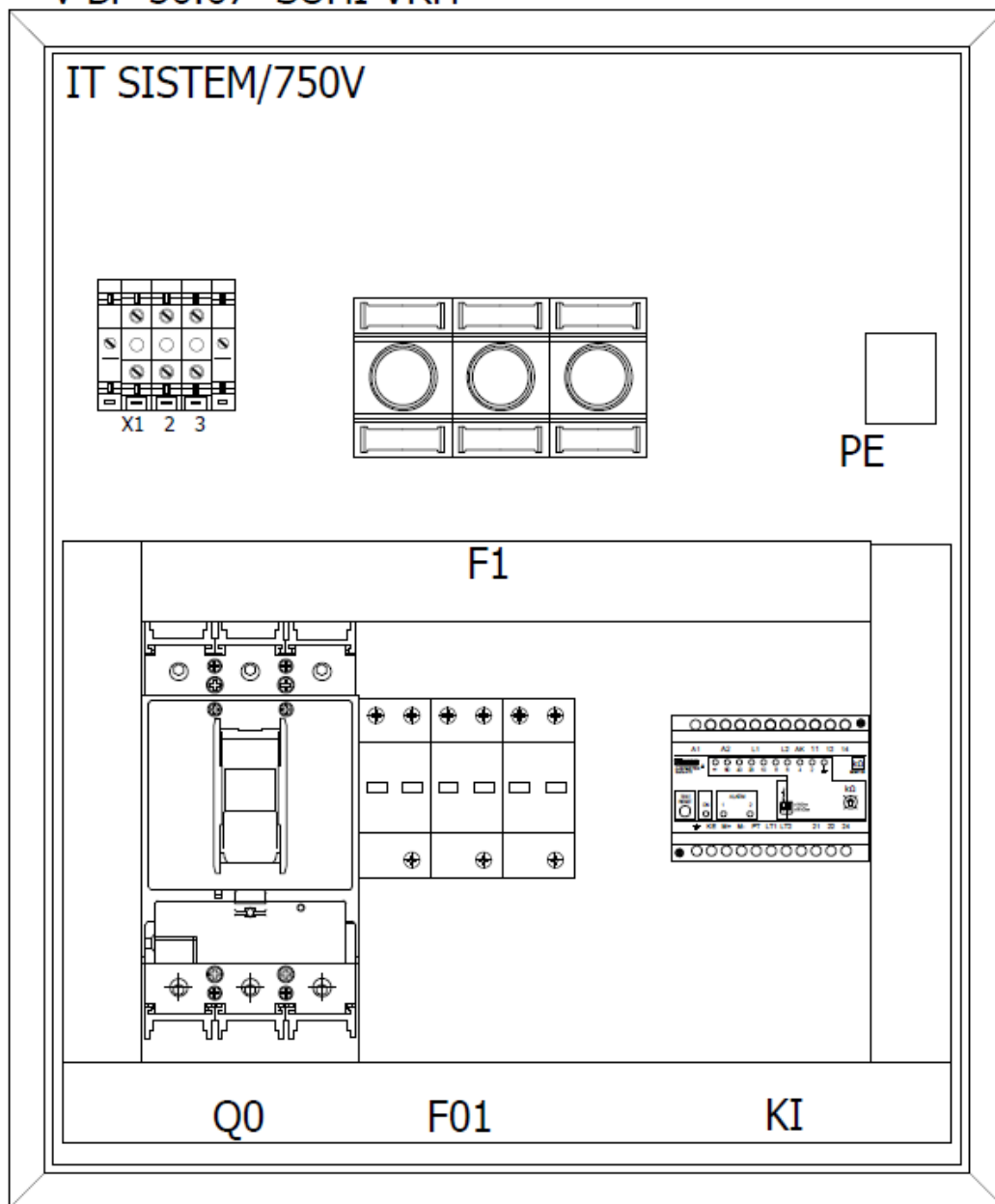
F1 – napajanje iz ENP Logatec (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR v BP-50.07 SUHI VRH



Slika 27: Shema BP Suhi Vrh
(Iskratel, 2017)



Slika 28: BP 50.08 Planina
(Lastni vir)

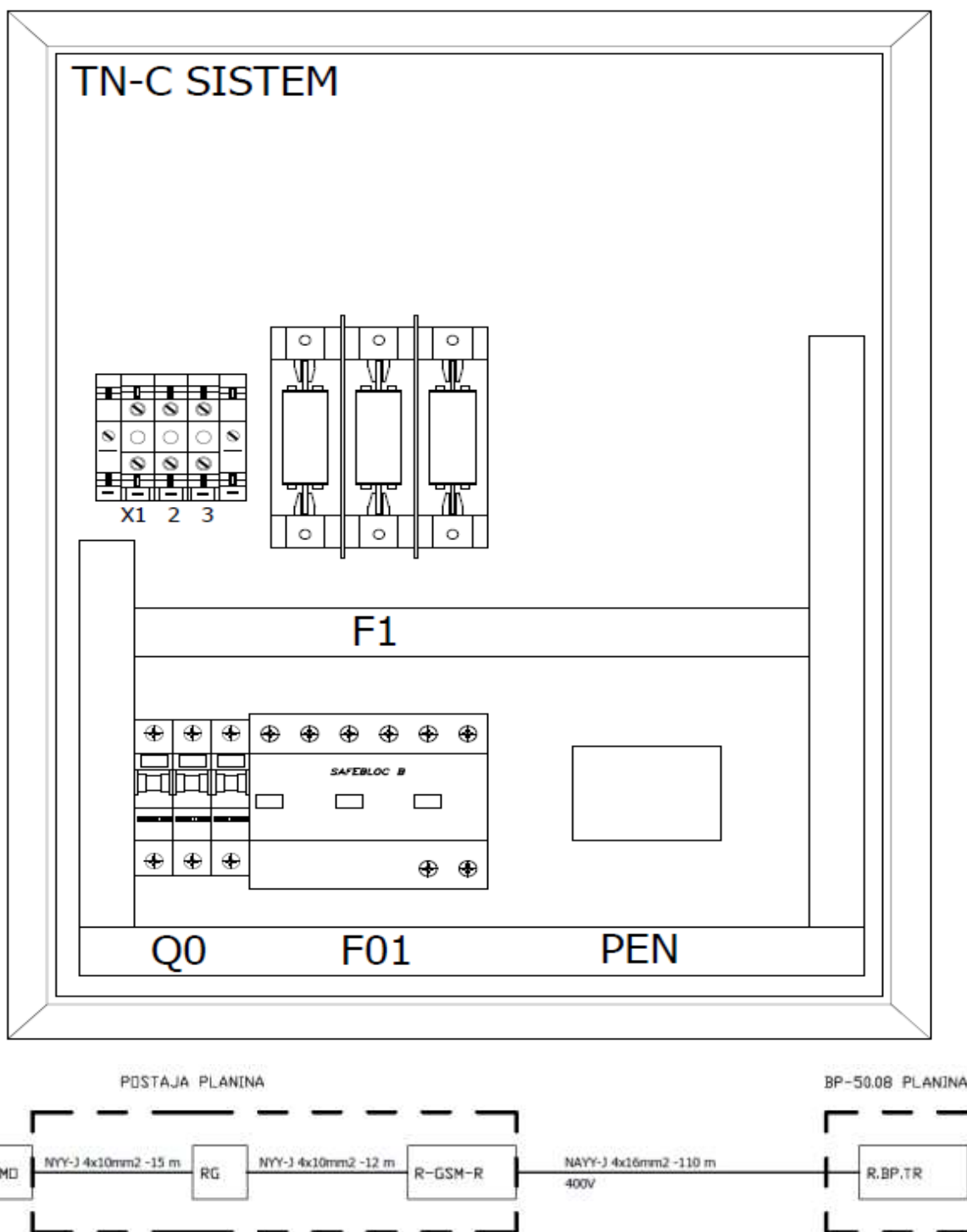
Sistem TN-C – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Planina (dovod) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR (TIP 1) v BP-50.08 PLANINA



Slika 29: Shema BP Planina
(Iskratel, 2017)



Slika 30: BP 50.09 Rakek
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Rakek (dovod) 3 x 20 A 400 V

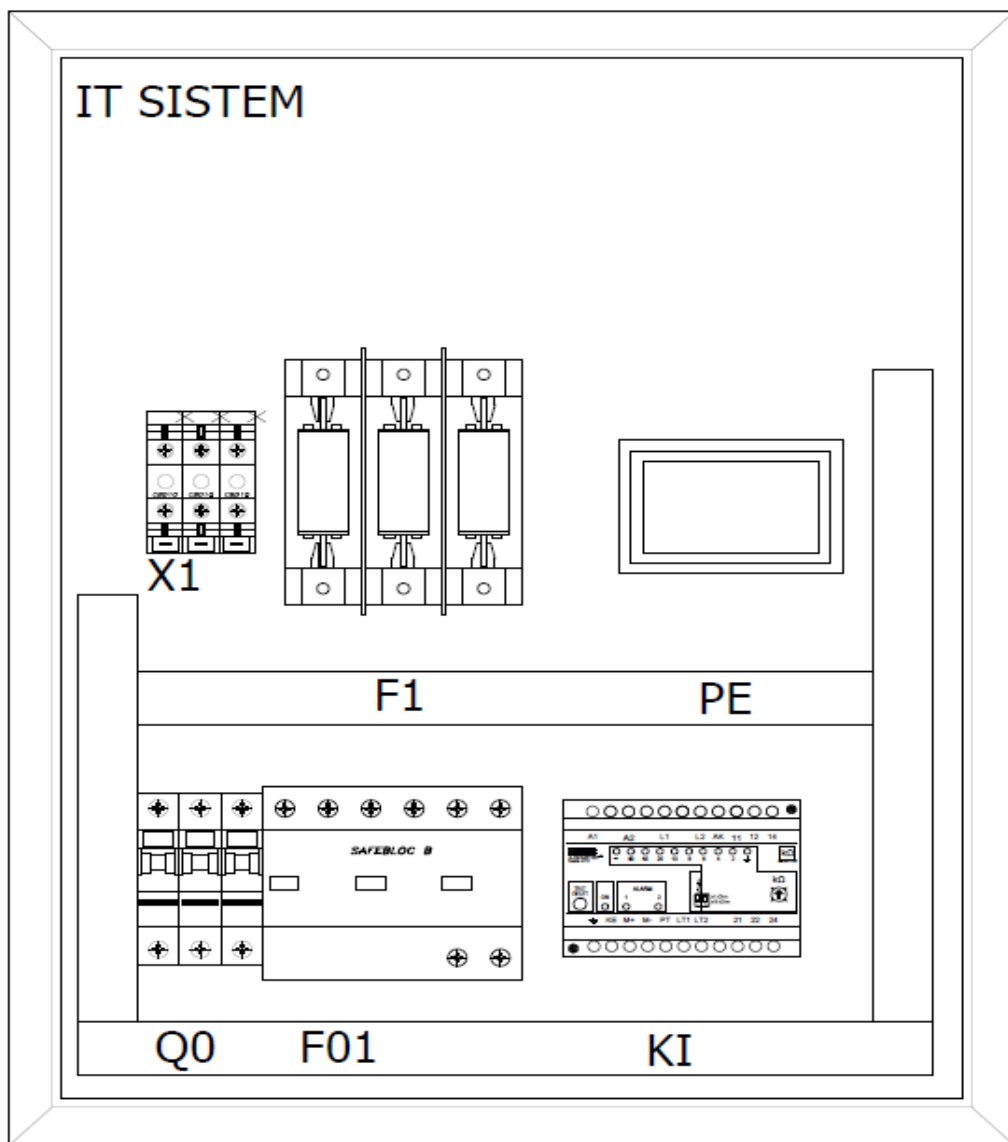
Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

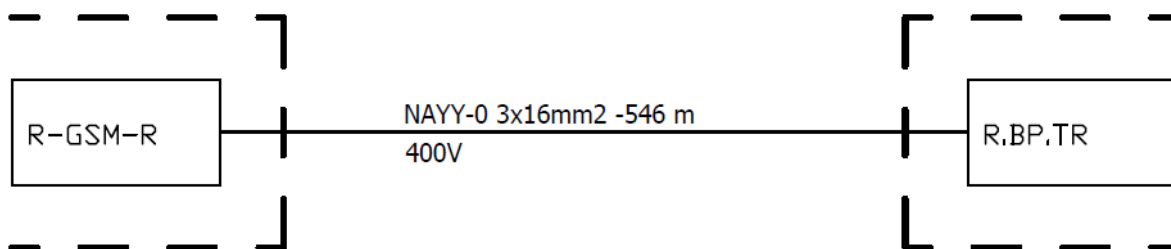
R-BP-TR

v BP-50.09 RAKEK



POSTAJA RAKEK

BP-50.09 RAKEK



Slika 31: Shema BP Rakek
(Iskratel, 2017)



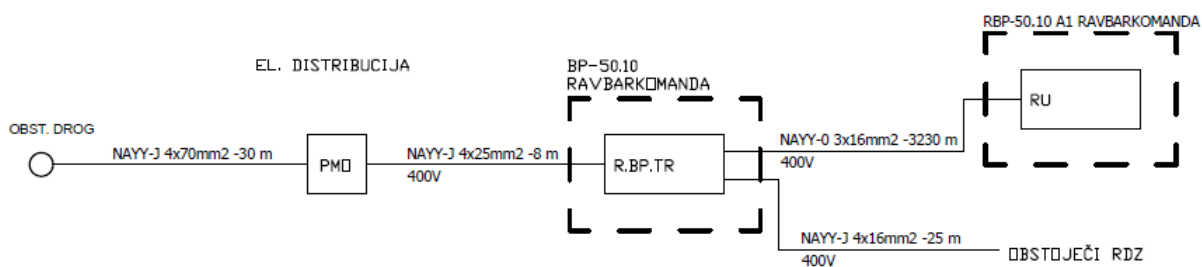
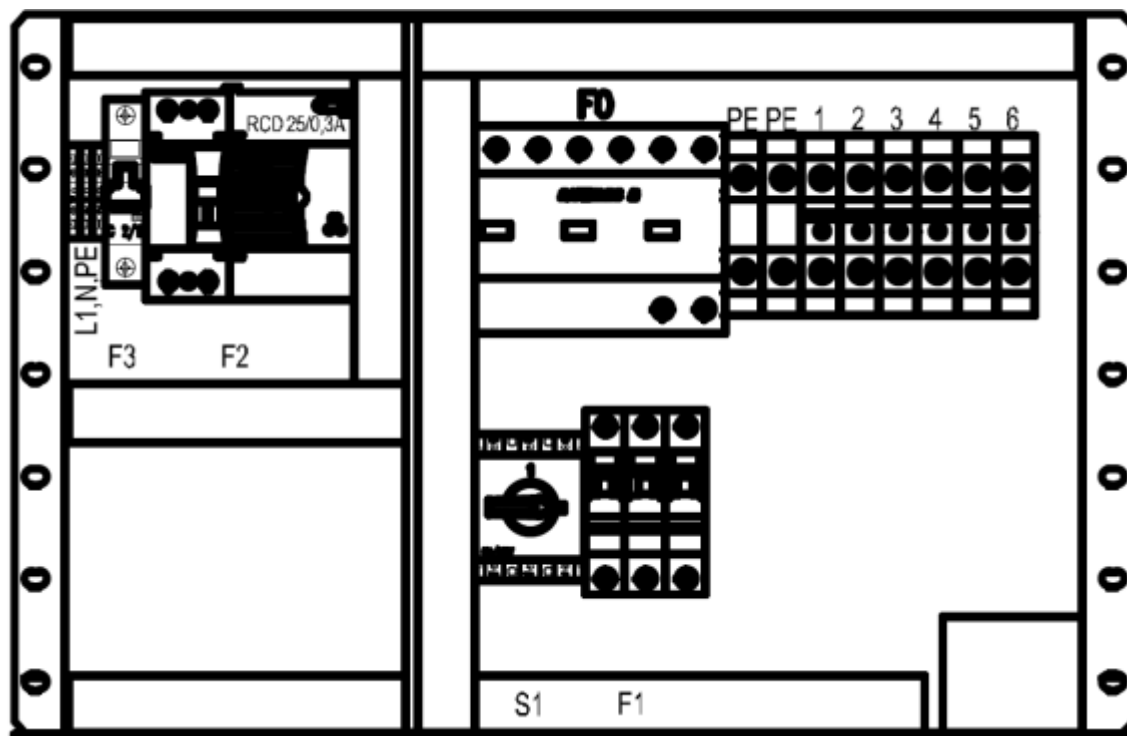
Slika 32: RBP 50.10 A1 Ravbarkomanda
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

F1 – napajanje iz BP Ravbarkomanda (dovod) 3 x 10 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 33: Shema RBP Ravbarkomanda
(Iskrate!, 2017)



Slika 34: BP 50.10 Ravbarkomanda
(Lastni vir)

Sistem TN-C – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

Q0 – dovod iz distribucije (**dovod**) 3 x 25 A

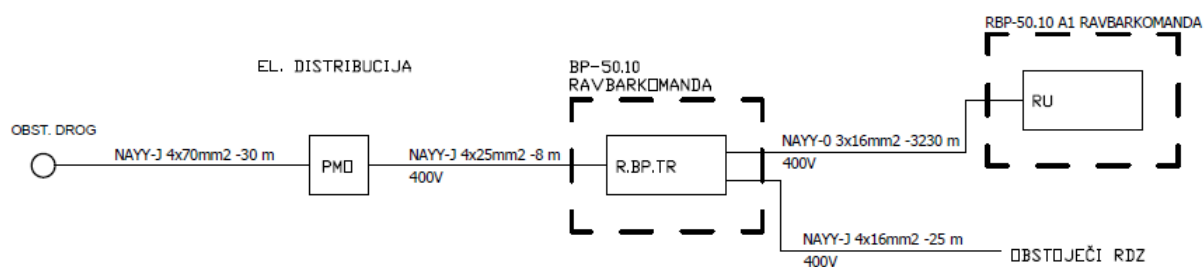
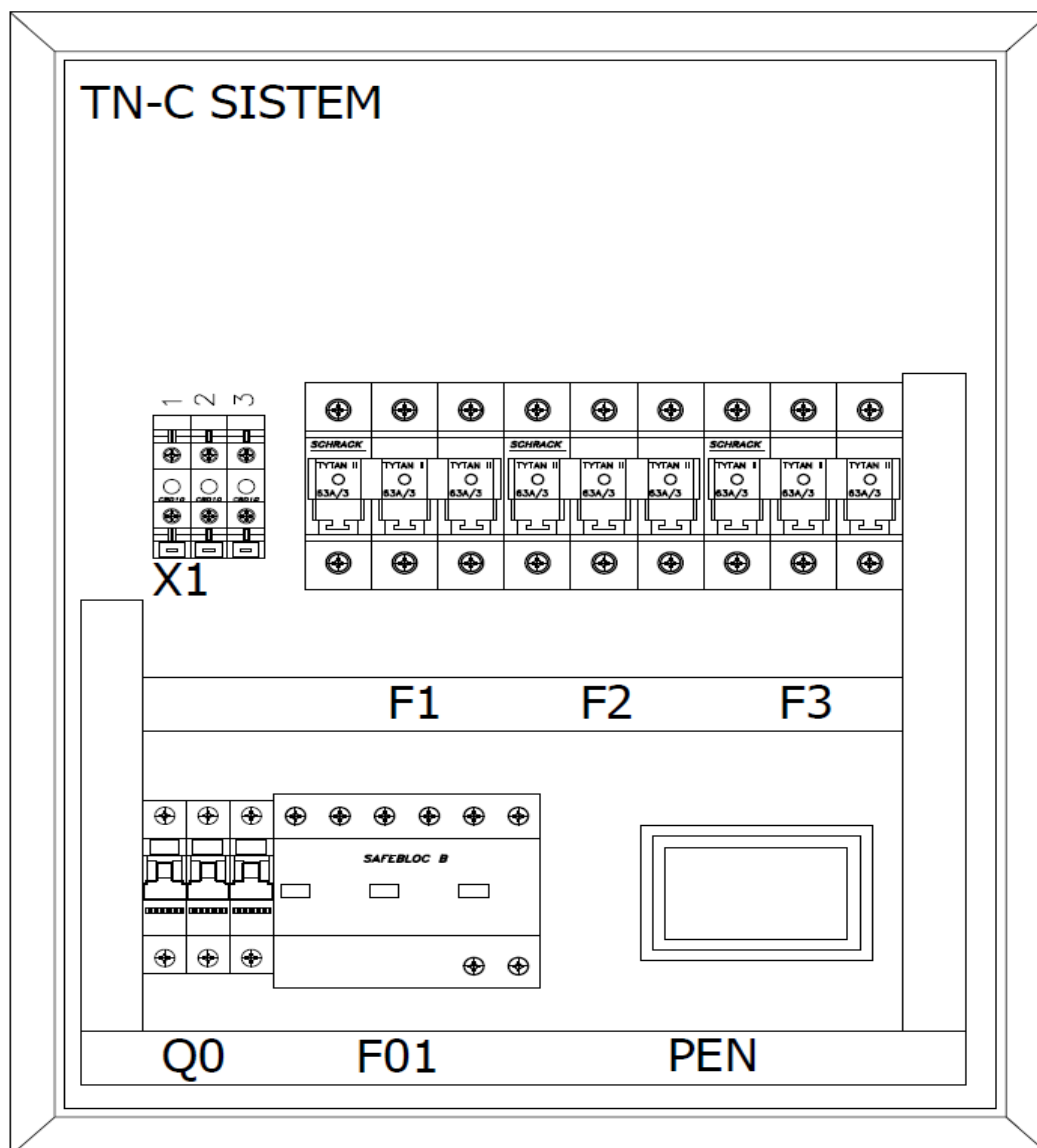
F1 – odvod 3 x 16 A (napajanje BP Ravbarkomanda)

F2 – odvod 3 x 16 A (RDZ)

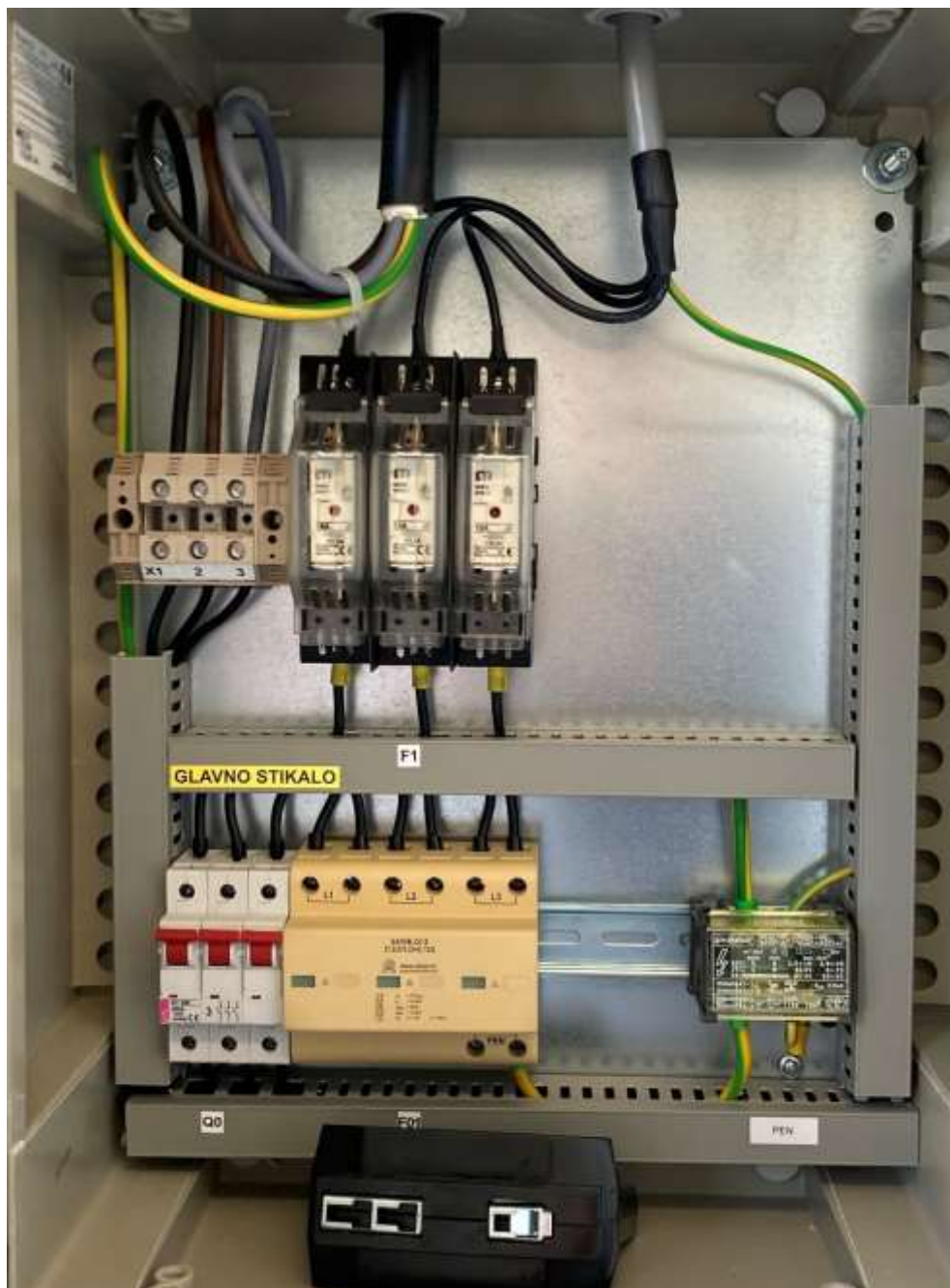
F3 – odvod 3 x 10 A (RBP Ravbarkomanda)

Q0 – glavno stikalo 40 A

R-BP-TR BP-50.10 RAVBARKOMANDA



Slika 35: Shema BP Ravbarkomanda
(Iskratel, 2017)



Slika 36: BP 50.11 Postojna
(Lastni vir)

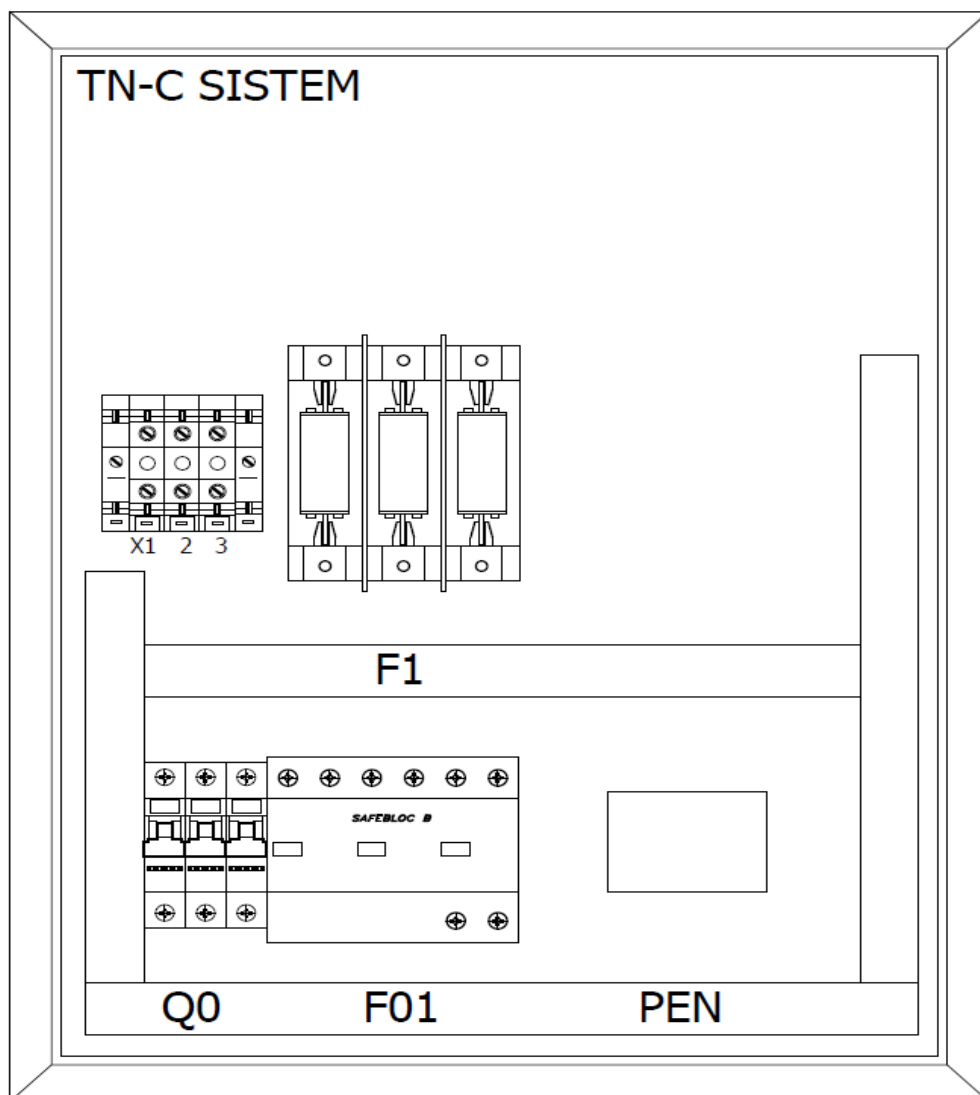
Sistem TN-C – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400V

F1 – napajanje iz železniške postaje Postojna (**dovod**) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo **40 A**

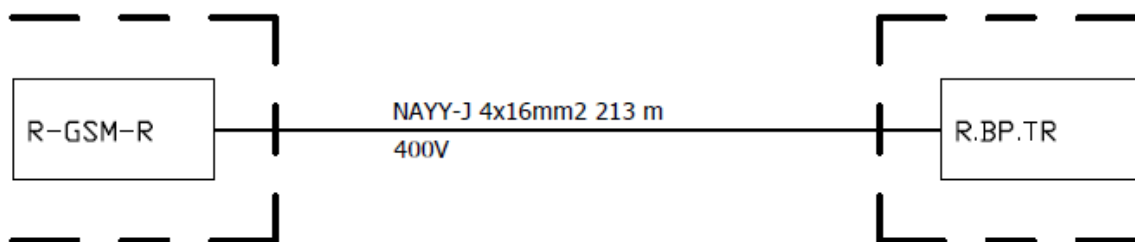
F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-50.11 POSTOJNA



POSTAJA POSTOJNA

BP-50.11 POSTOJNA



Slika 37: Shema BP Postojna
(Iskratel, 2017)



Slika 38: BP 50.12 Prestranek
(Lastni vir)

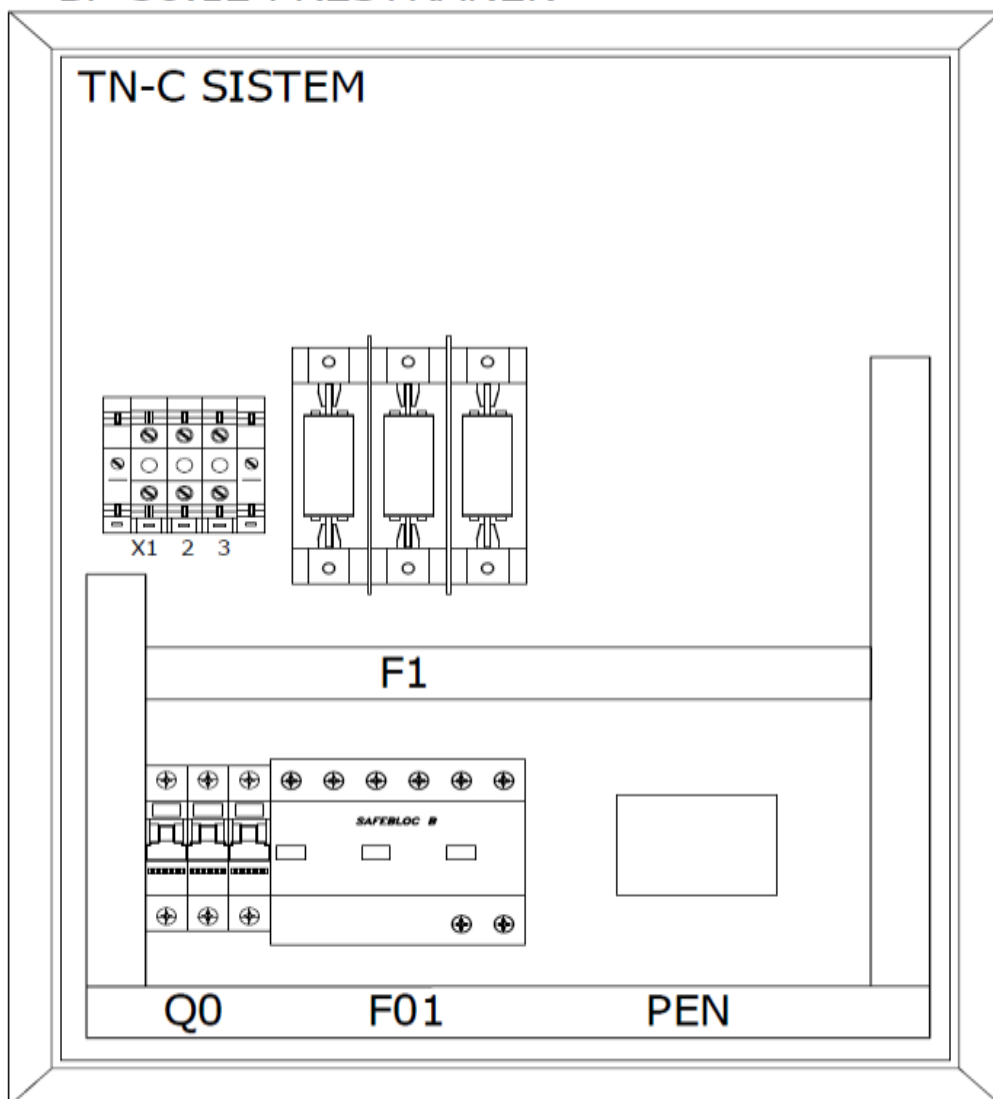
Sistem TN-C – napetost (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Prestranek (dovod) 3 x 20 A 400 V

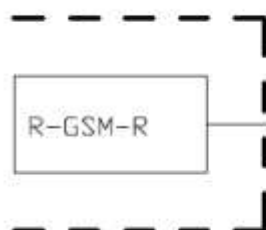
Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR BP-50.12 PRESTRANEK

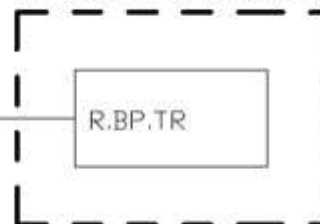


POSTAJA PRESTRANEK

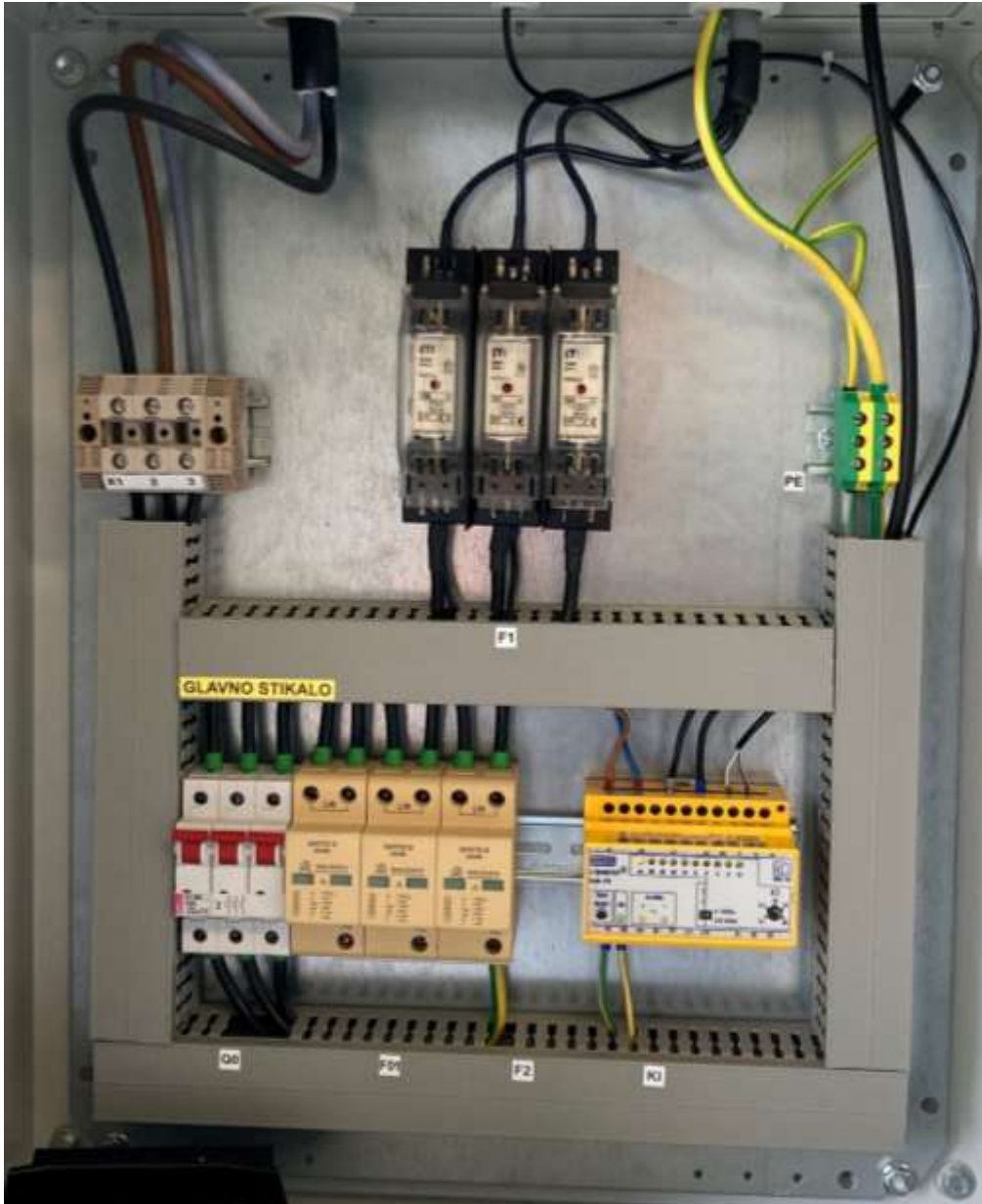


NAYY-J 4x16mm² 150 m
400V

BP-50.12 PRESTRANEK



Slika 39: Shema BP Prestranek
(Iskratel, 2017)



Slika 40: BP 50.13 Pivka
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

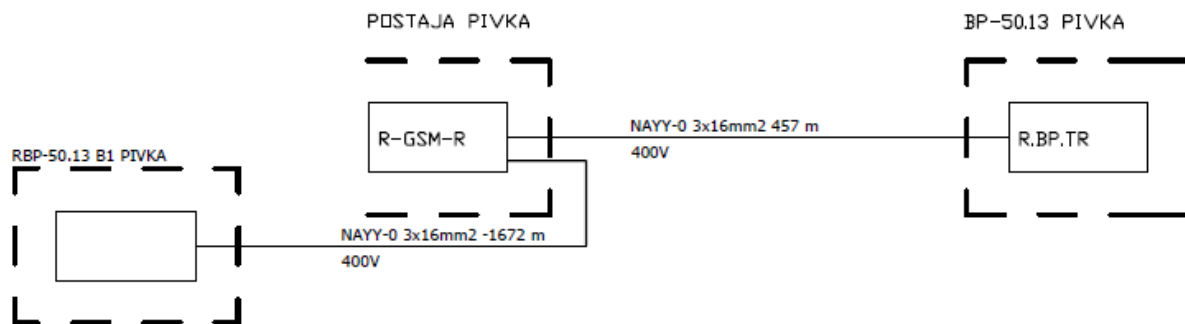
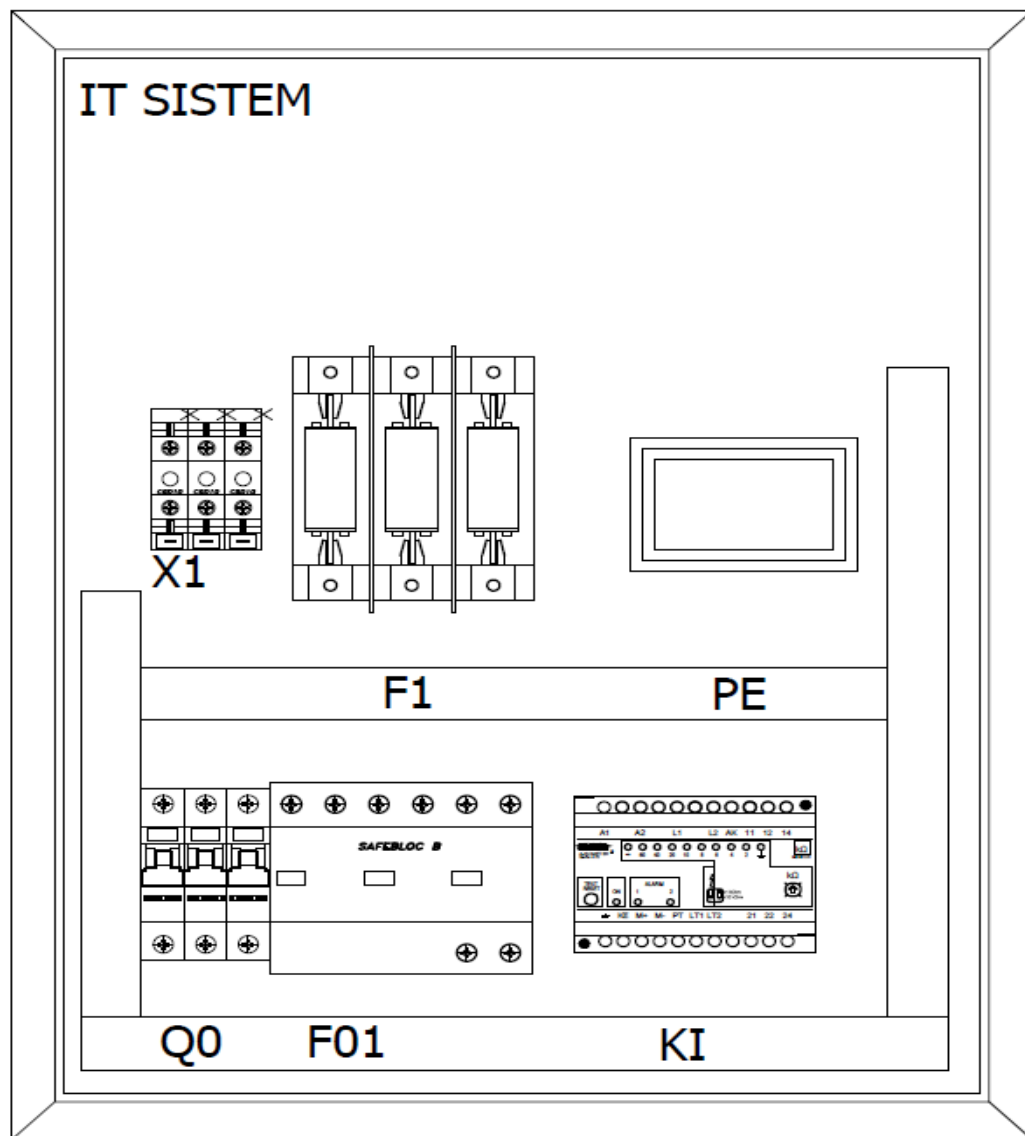
F1 – napajanje iz železniške postaje Pivka (dovod) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

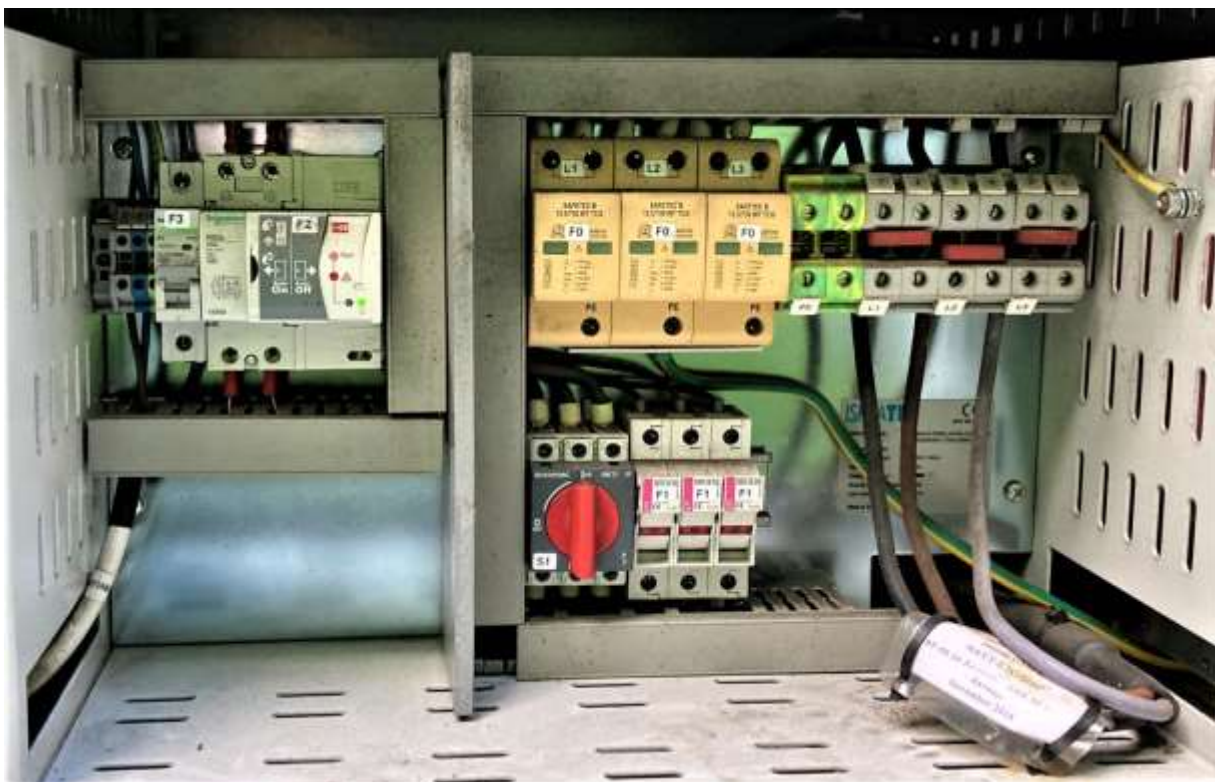
F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR v BP-50.13 PIVKA



Slika 41: Shema BP Pivka
(Iskratel, 2017)



Slika 42: RBP 50.13 B1 Pivka
(Lastni vir)

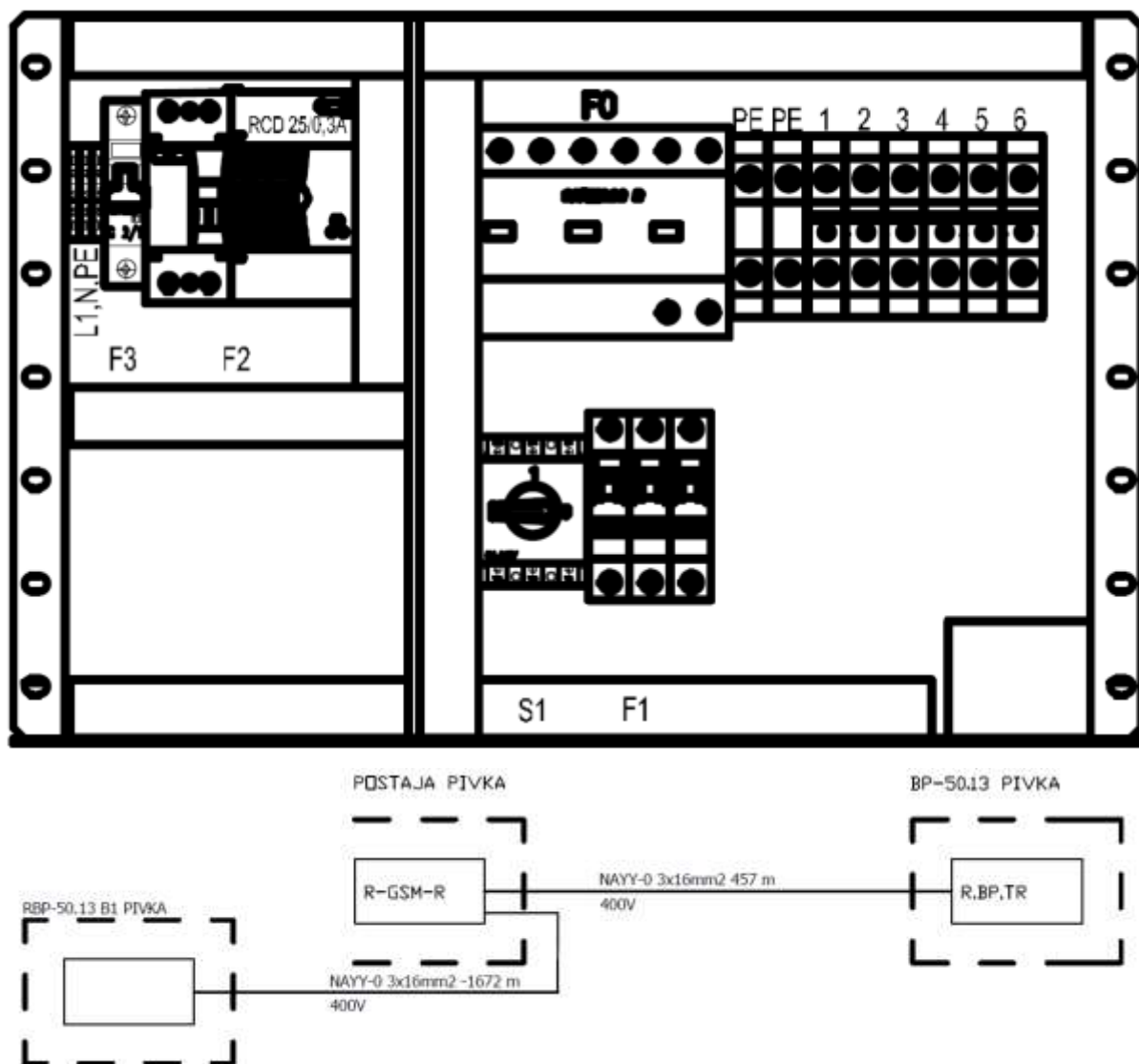
Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Pivka (**dovod**) 3 x 10 A 400 V

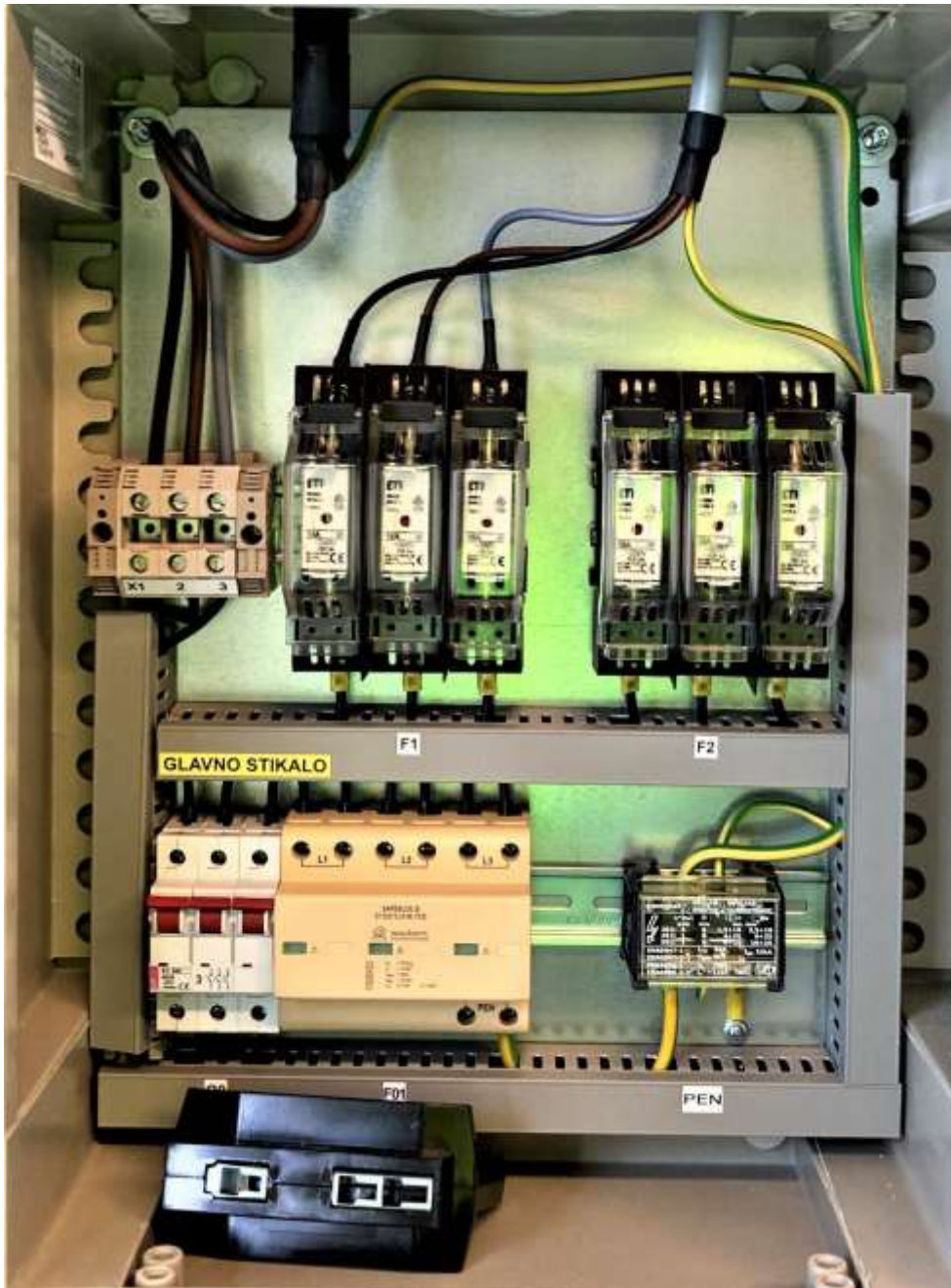
Q0 – glavno stikalo **20 A**

F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije



Slika 43: Shema RBP Pivka
(Iskratel, 2017)



*Slika 44: BP 50.14 Neverke
(Lastni vir)*

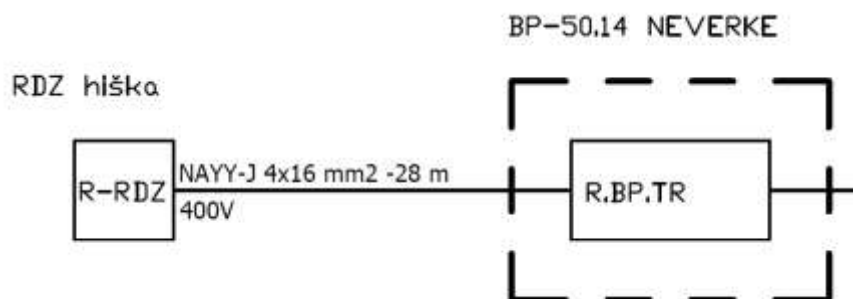
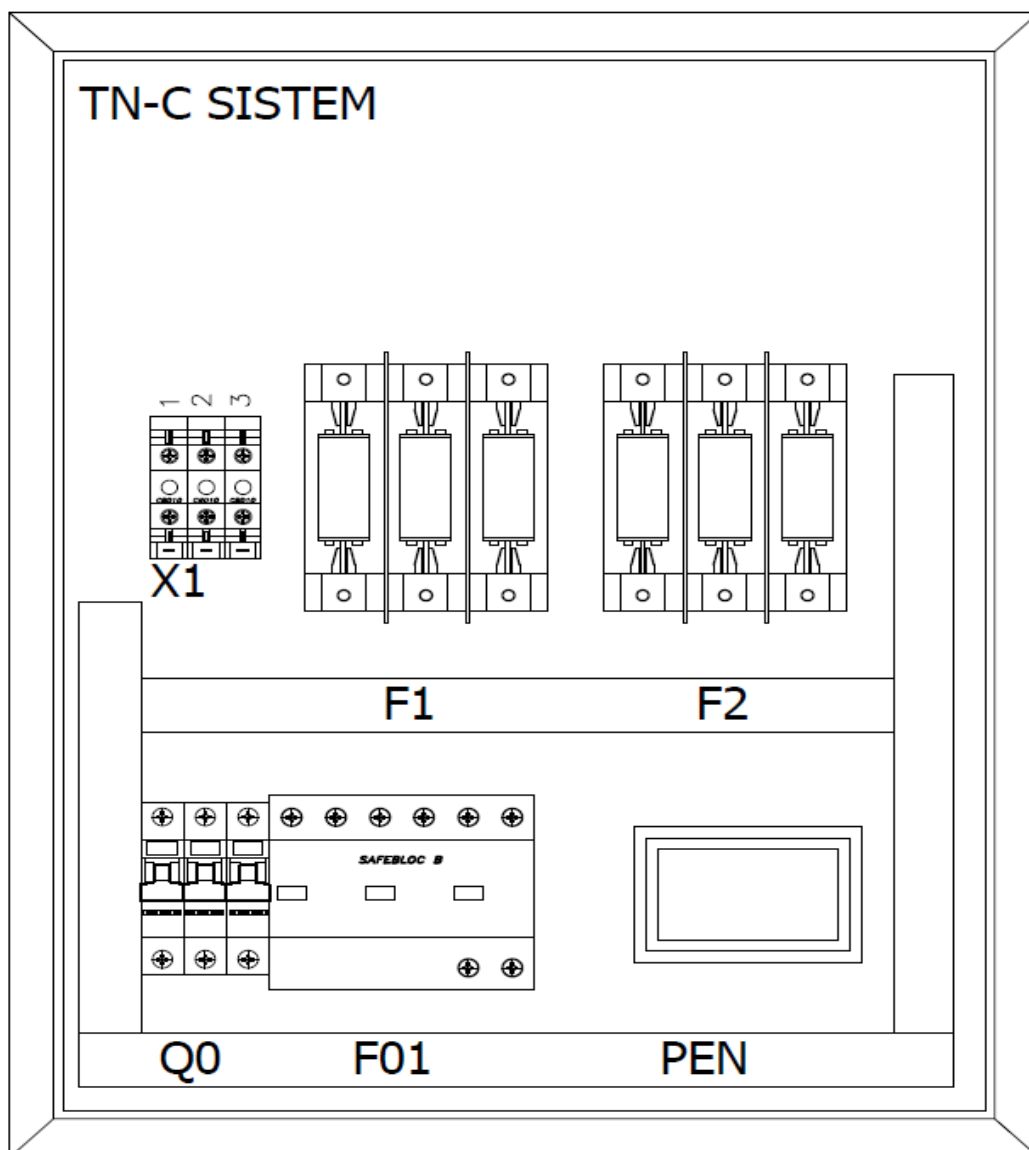
Sistem TN-C – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz distribucije (Silos krmila Neverke) **(dovod) 3 x 20 A 400 V**

Q0 – glavno stikalo **20 A**

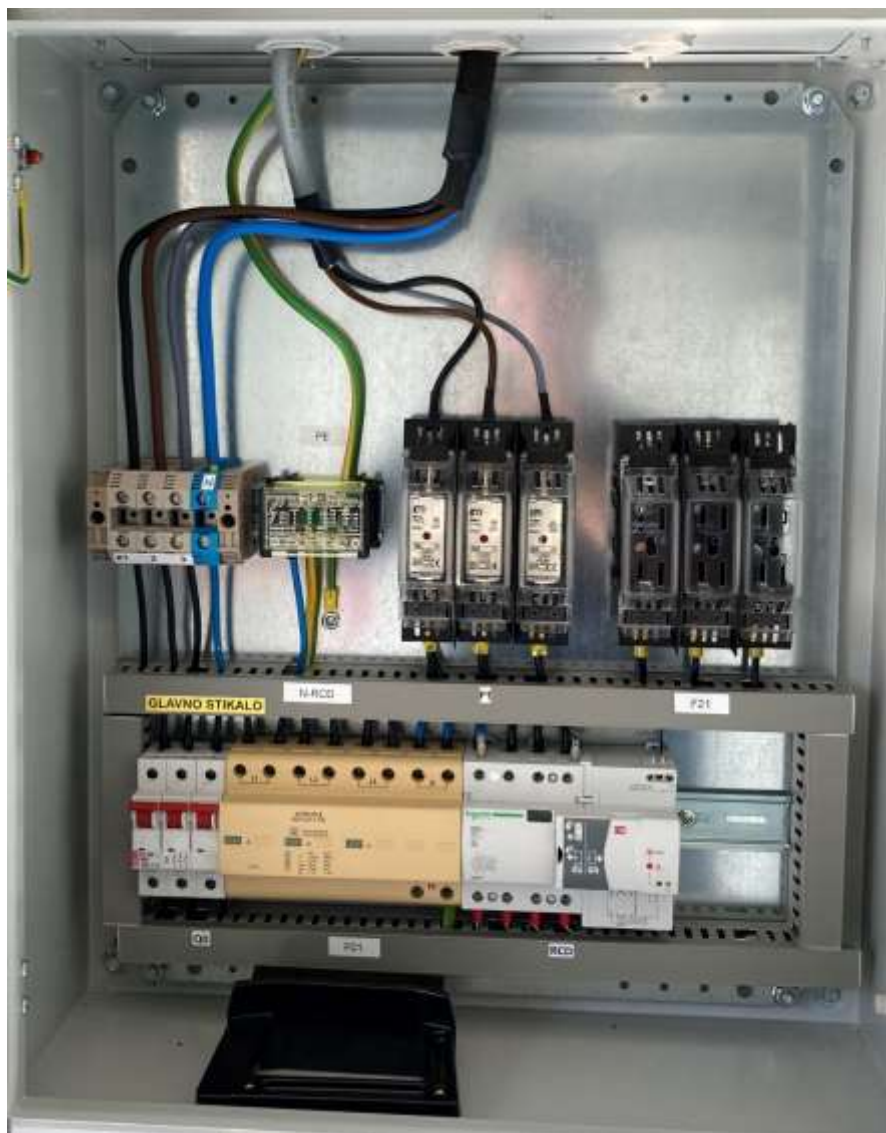
F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR BP-50.14 NEVERKE



Slika 45: Shema BP Neverke

(Iskrate!, 2017)



Slika 46: BP 50.15 Košana
(Lastni vir)

Sistem TT – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz distribucije (dovod) 3 x 20 A 400 V

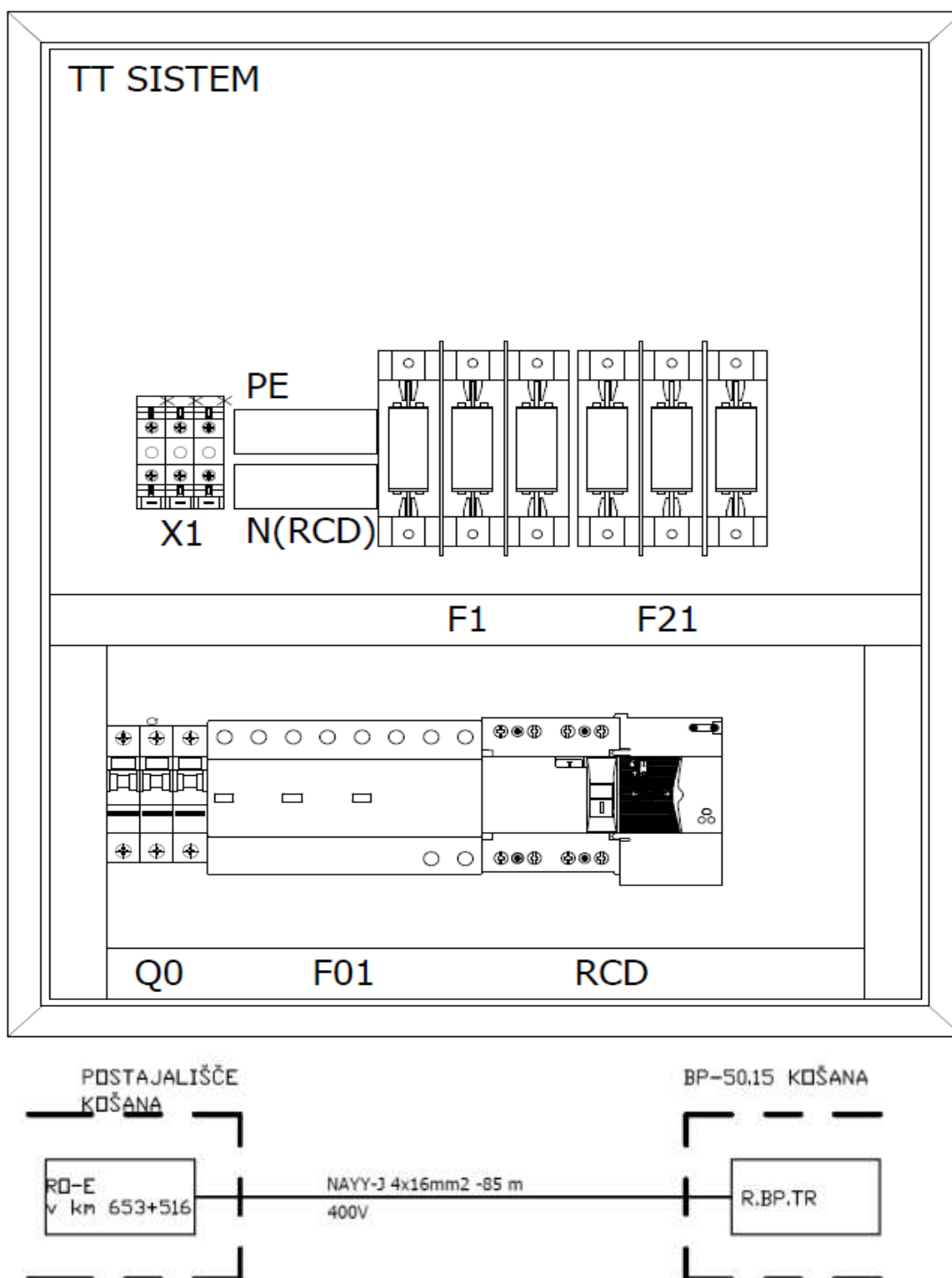
F21 – rezerva

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

RCD –stikalo FID z možnostjo ponovnega vklopa

R-BP-TR v BP-50.15 KOŠANA



Slika 47: Shema BP Košana
(Iskrate, 2017)



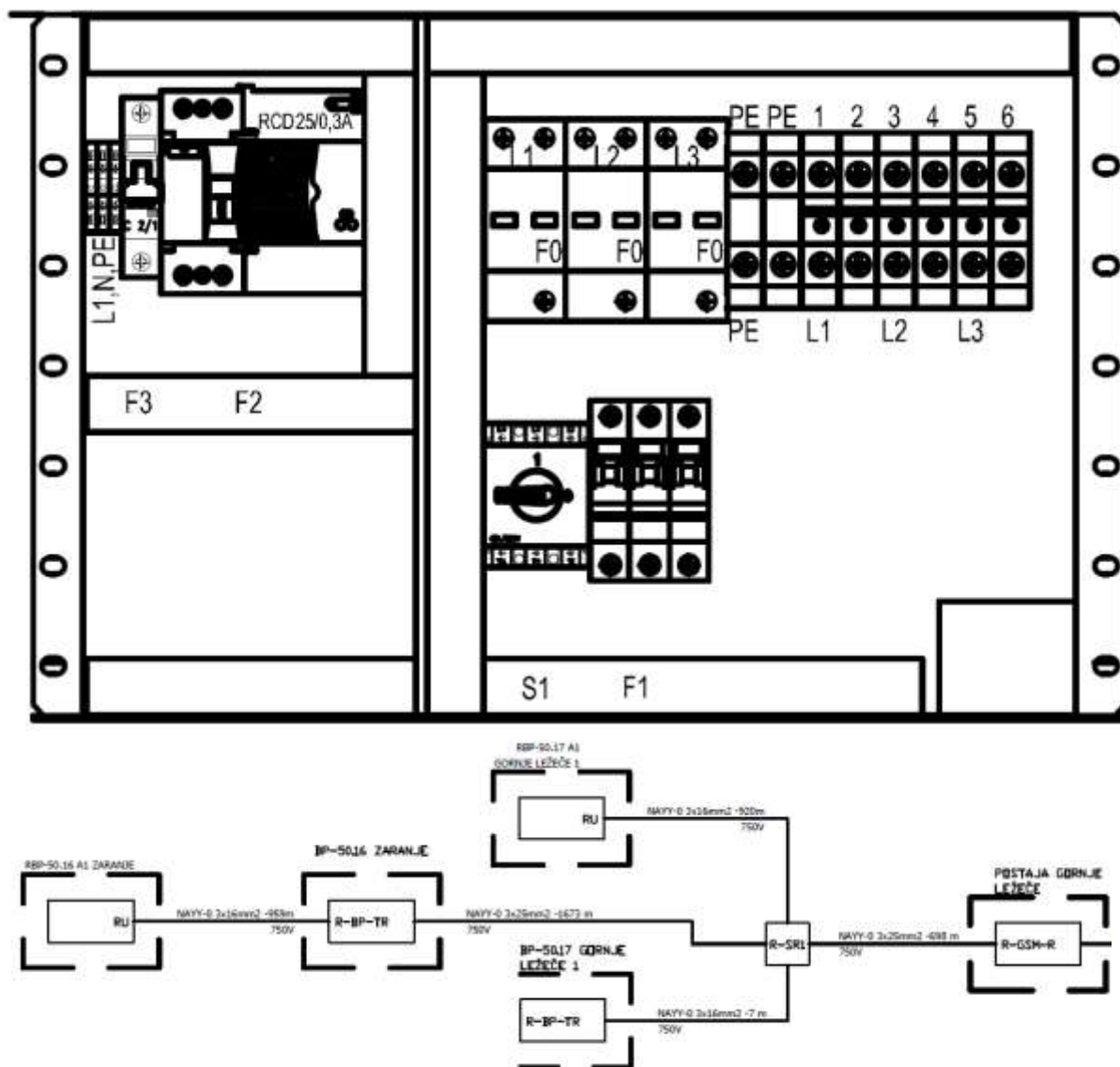
Slika 48: RBP 50.16 A1 Zaranje
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 750 V

F1 – napajanje iz BP Zaranje (dovod) 3 x 10 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 49: Shema RBP Zaranje
(Iskratel, 2017)



Slika 50: BP 50.16 Zaranje
(Lastni vir)

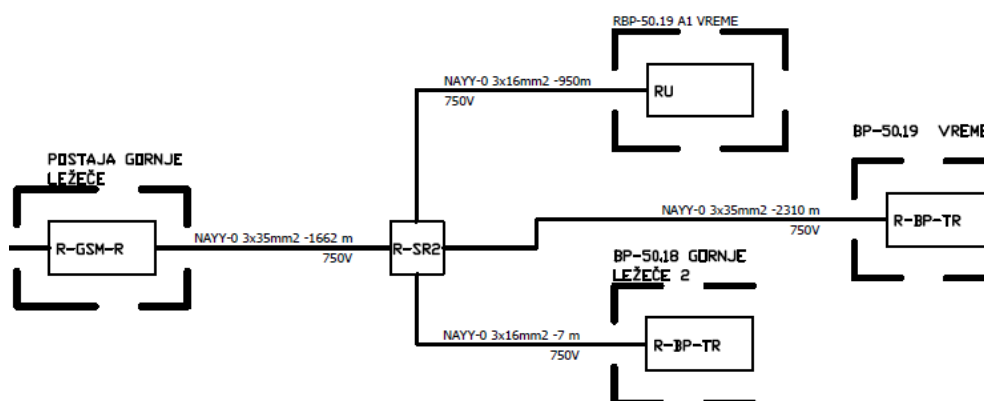
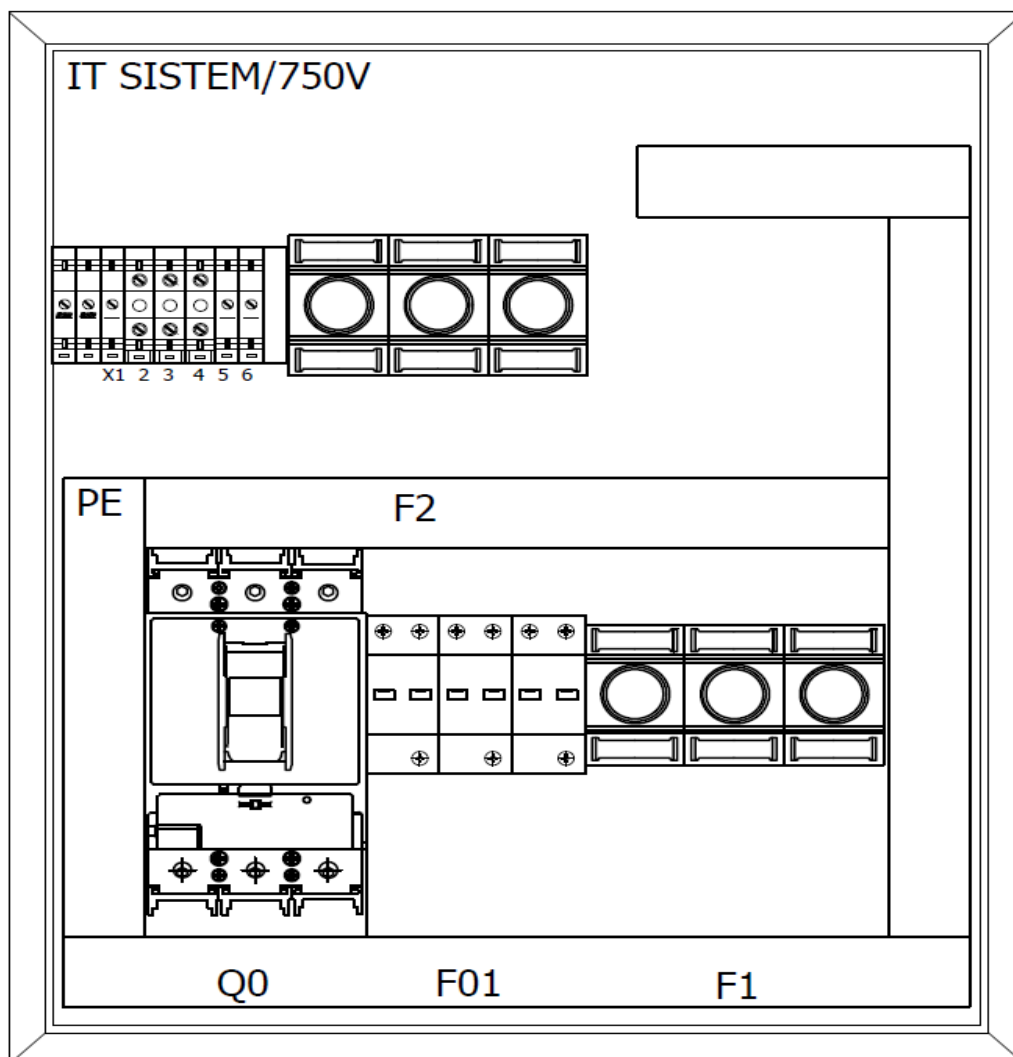
Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 16 A 750 V

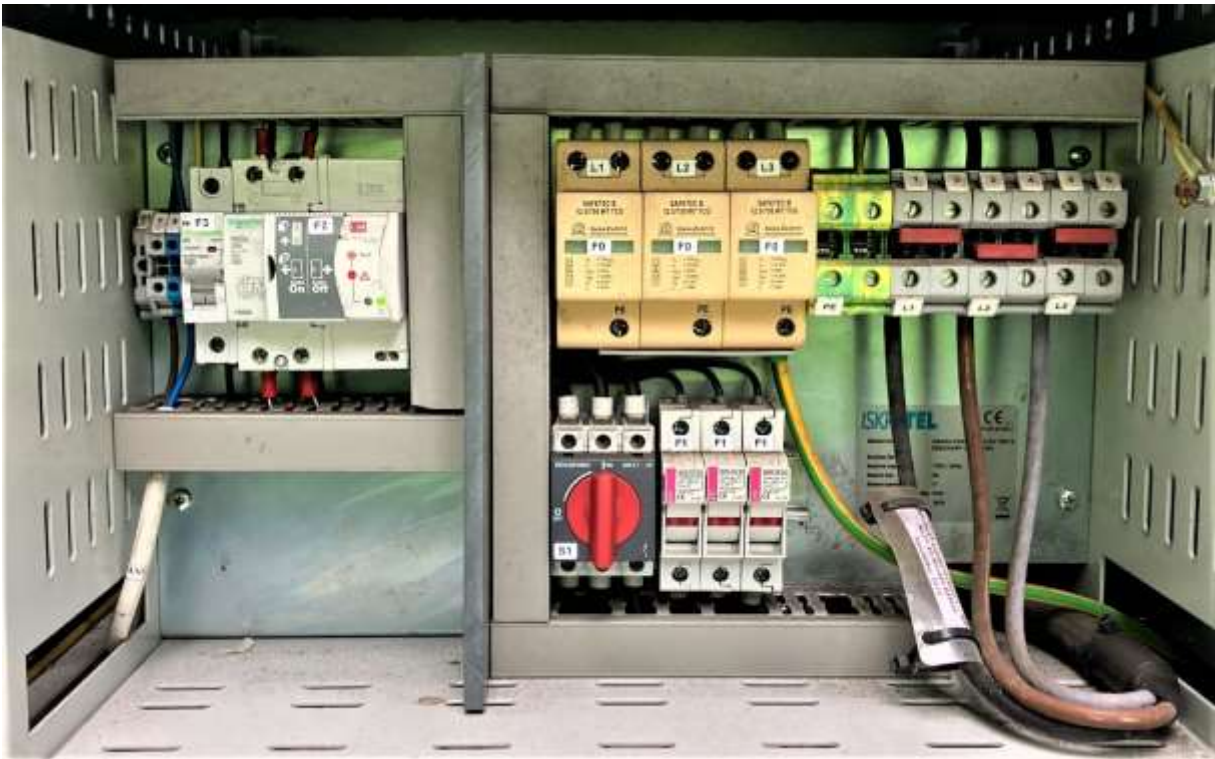
Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-50.16 ZARANJE



Slika 51: Shema BP Zaranje
(Iskratel, 2017)



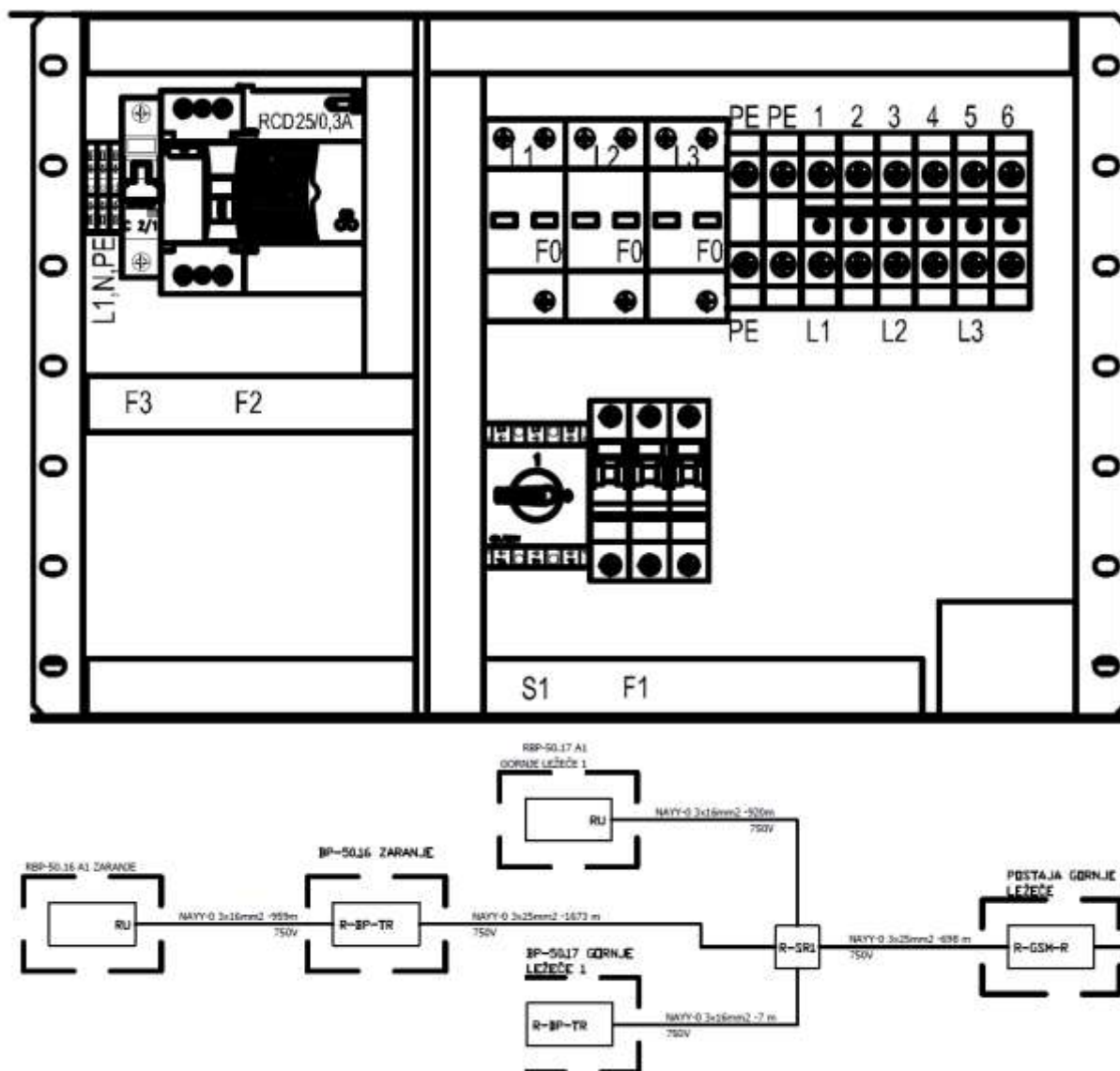
Slika 52: RBP 50.17 A1 Gornje Ležeče 1
(Lastni vir)

Sistem TN-C – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

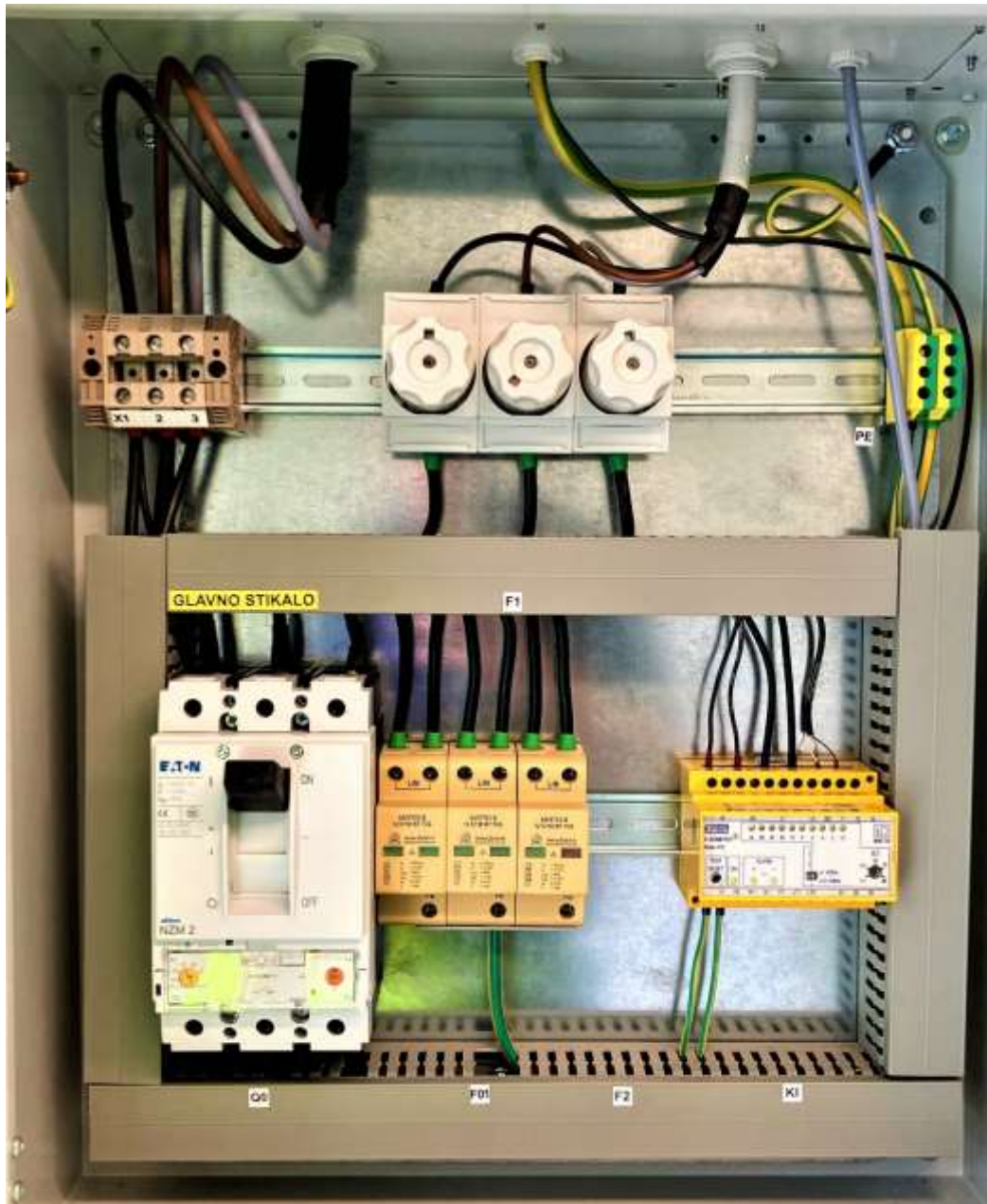
F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 10 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 53: Shema RBP Gornje Ležeče 1
(IskrateL, 2017)



Slika 54: BP 50.17 Gornje Ležeče 1
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

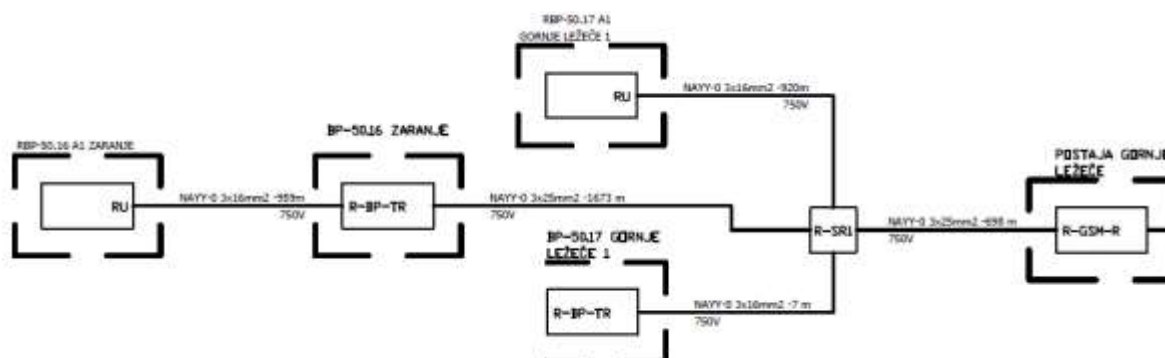
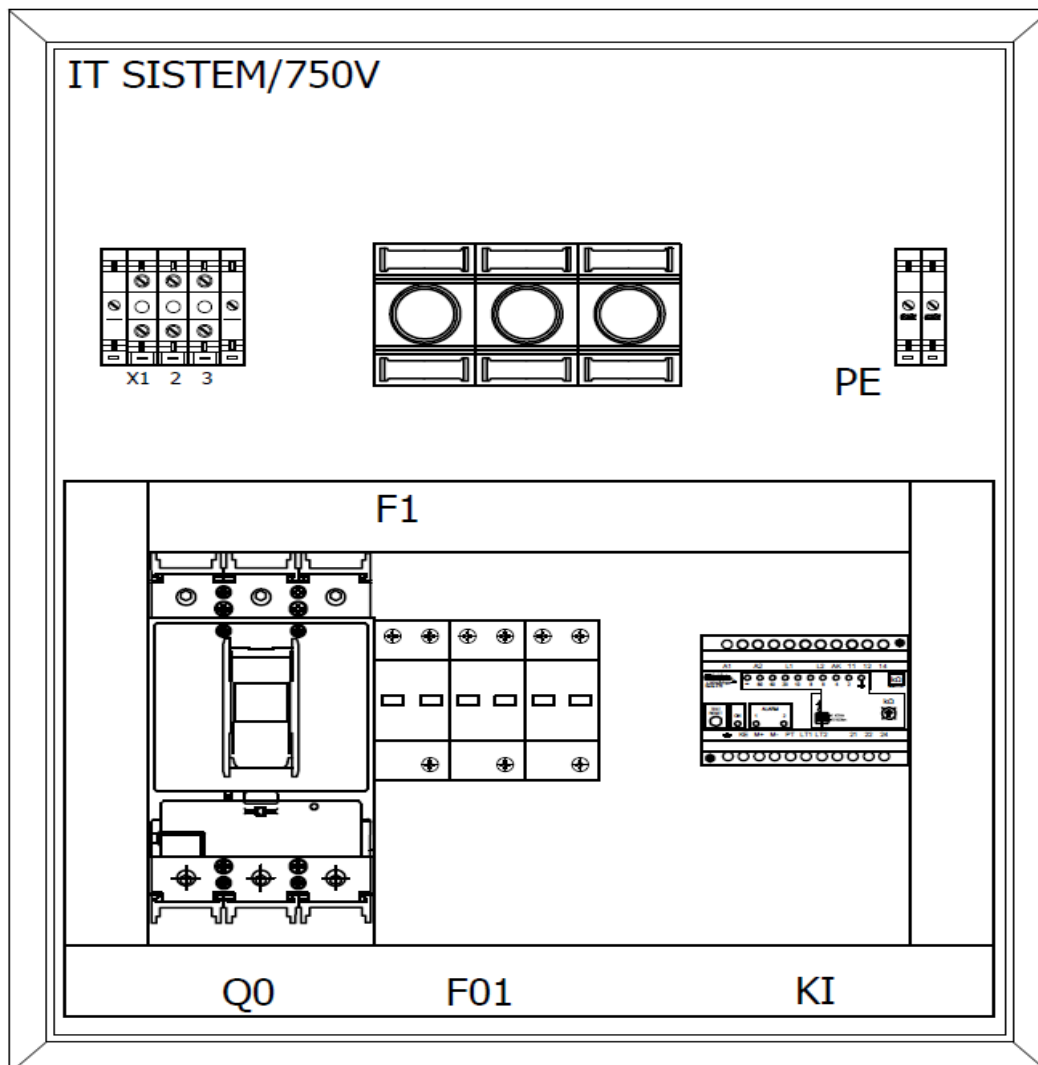
F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

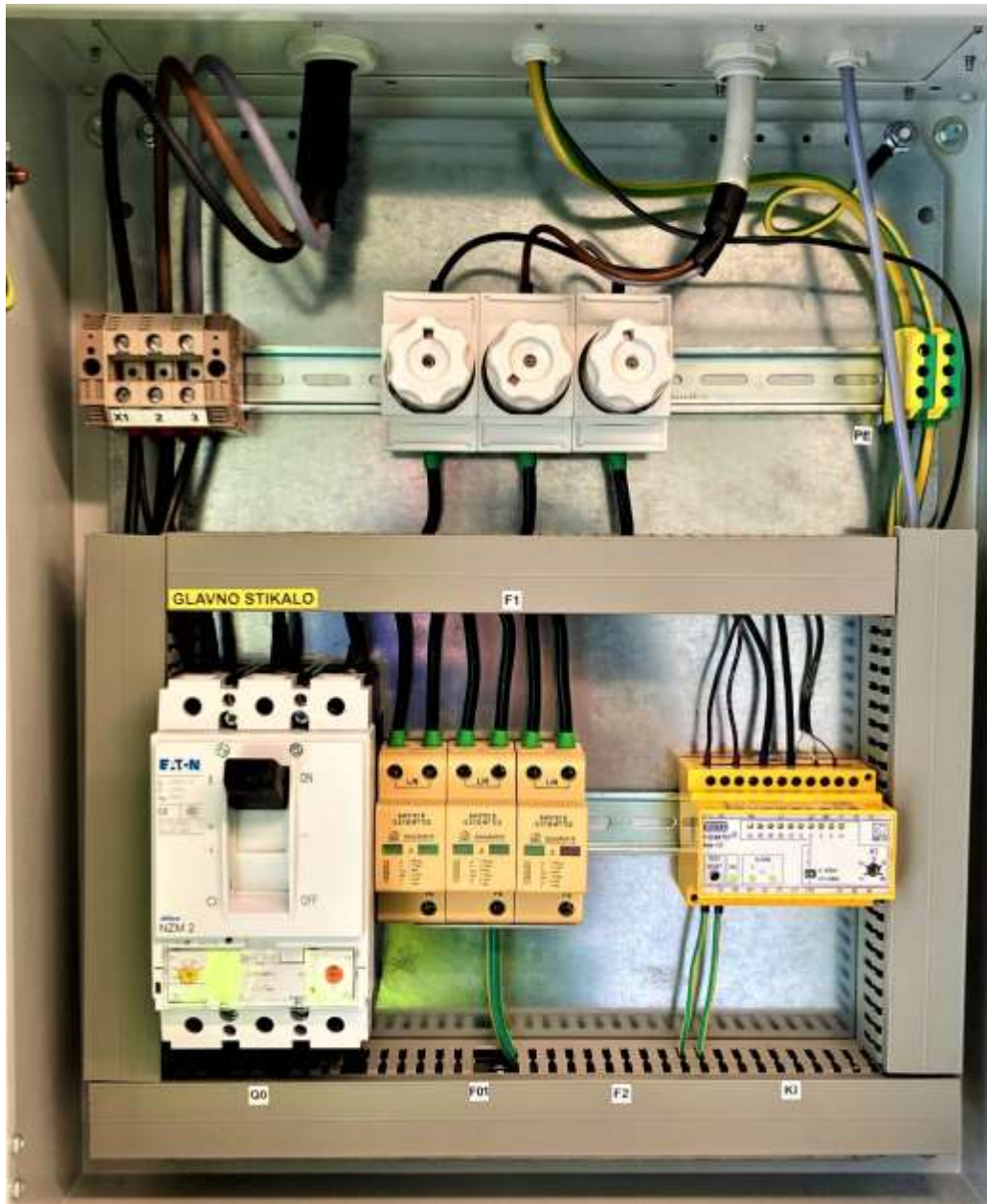
F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR v BP-50.17 GORNJE LEŽEČE 1



Slika 55: Shema BP Gornje Ležeče 1
(Iskrate!, 2017)



Slika 56: BP 50.18 Gornje Ležeče 2
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

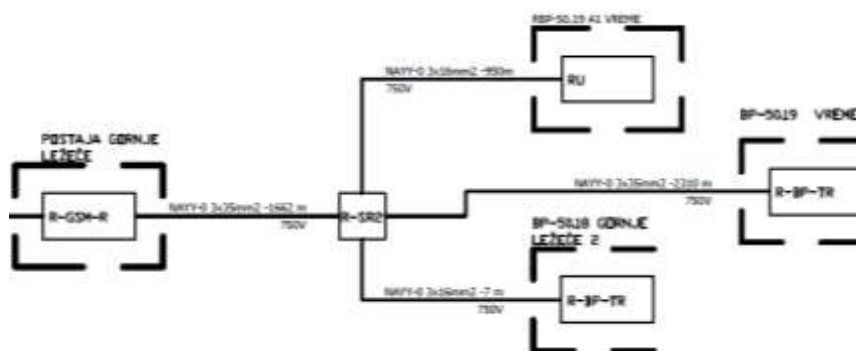
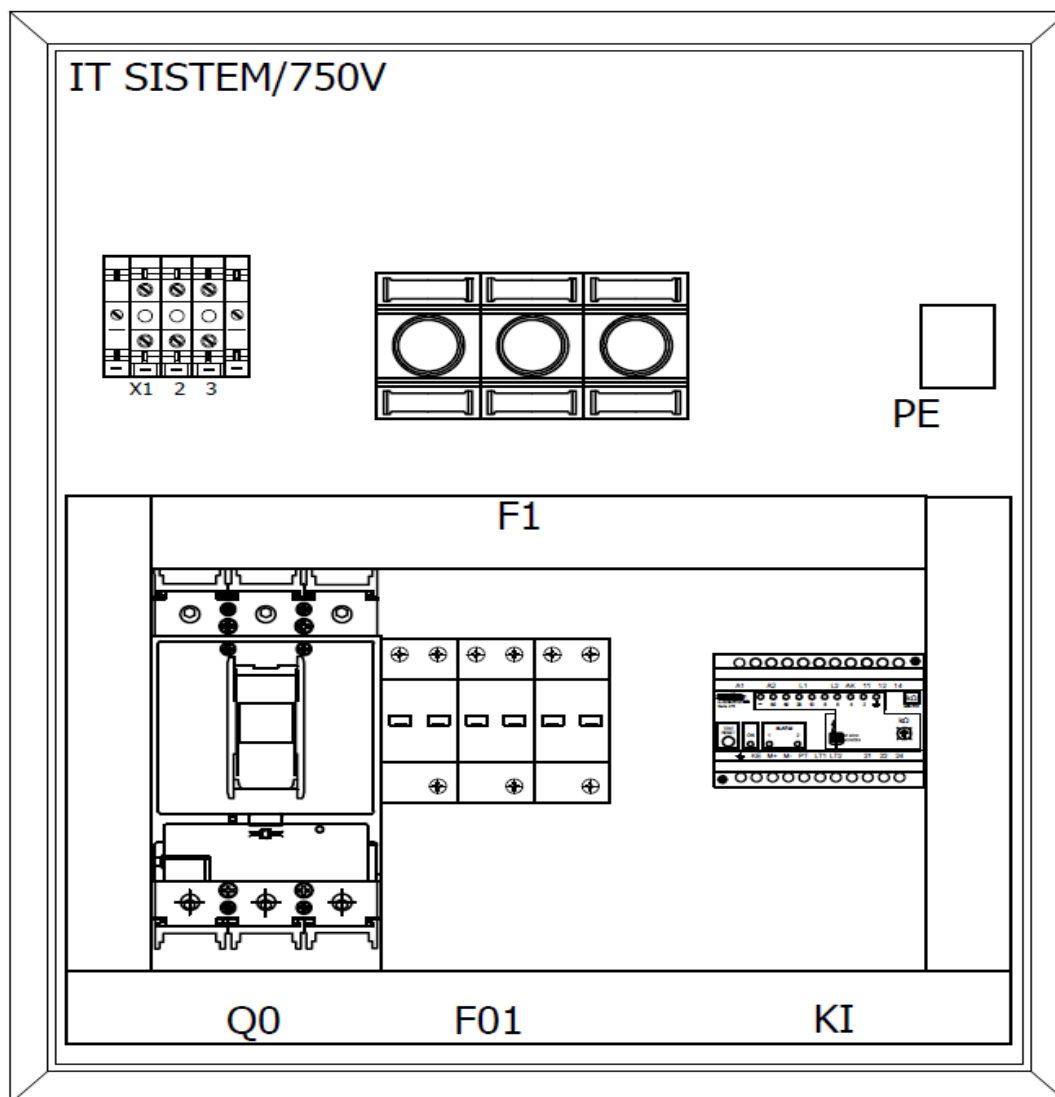
F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR v BP-50.18 GORNJE LEŽEČE 2



Slika 57: Shema BP Gornje Ležeče 2
(Iskrate, 2017)



Slika 58: BP 50.19 Vreme
(Lastni vir)

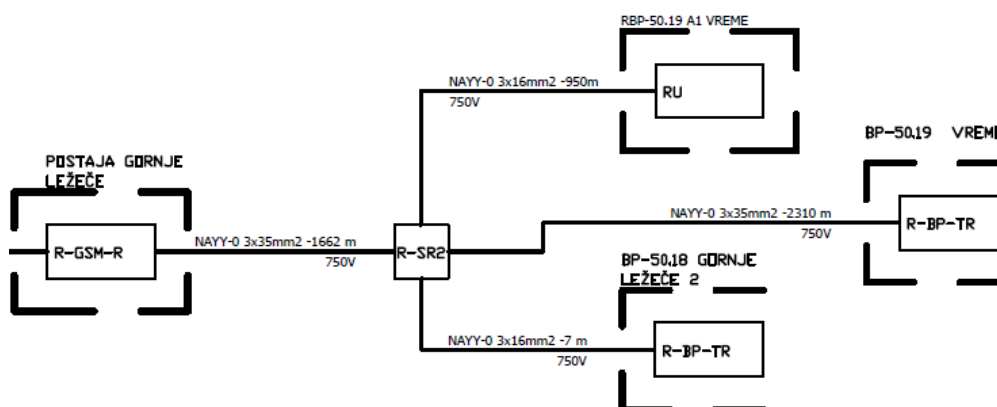
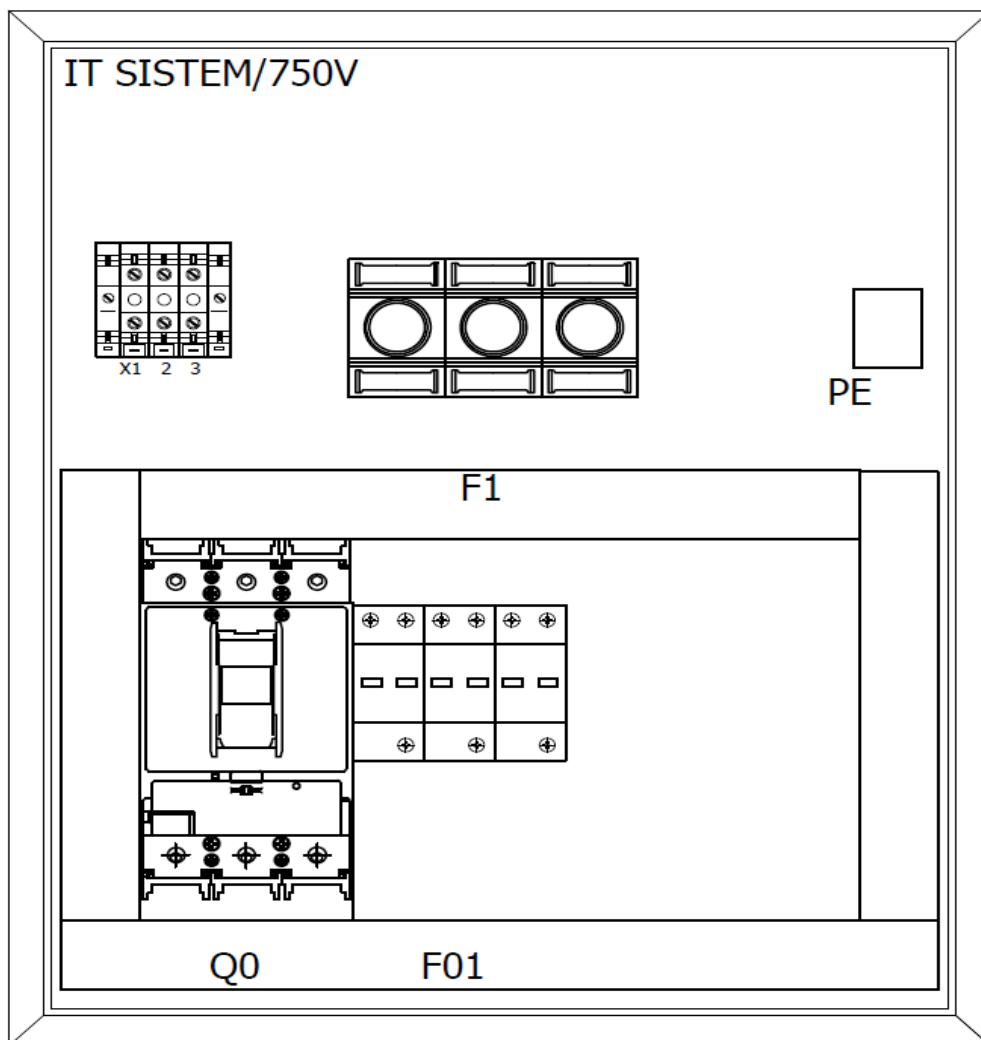
Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 16 A

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-50.19 VREME



Slika 59: Shema BP Vreme
(Iskratel, 2017)



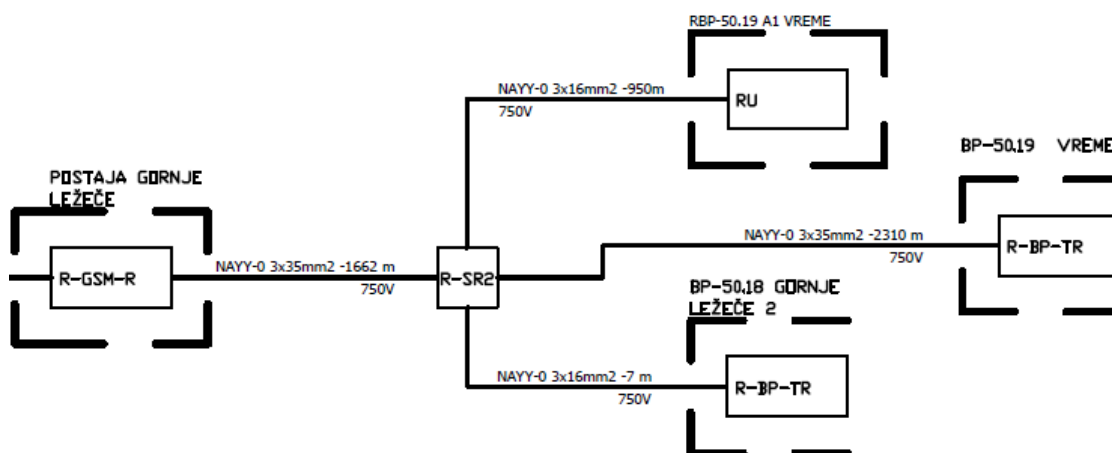
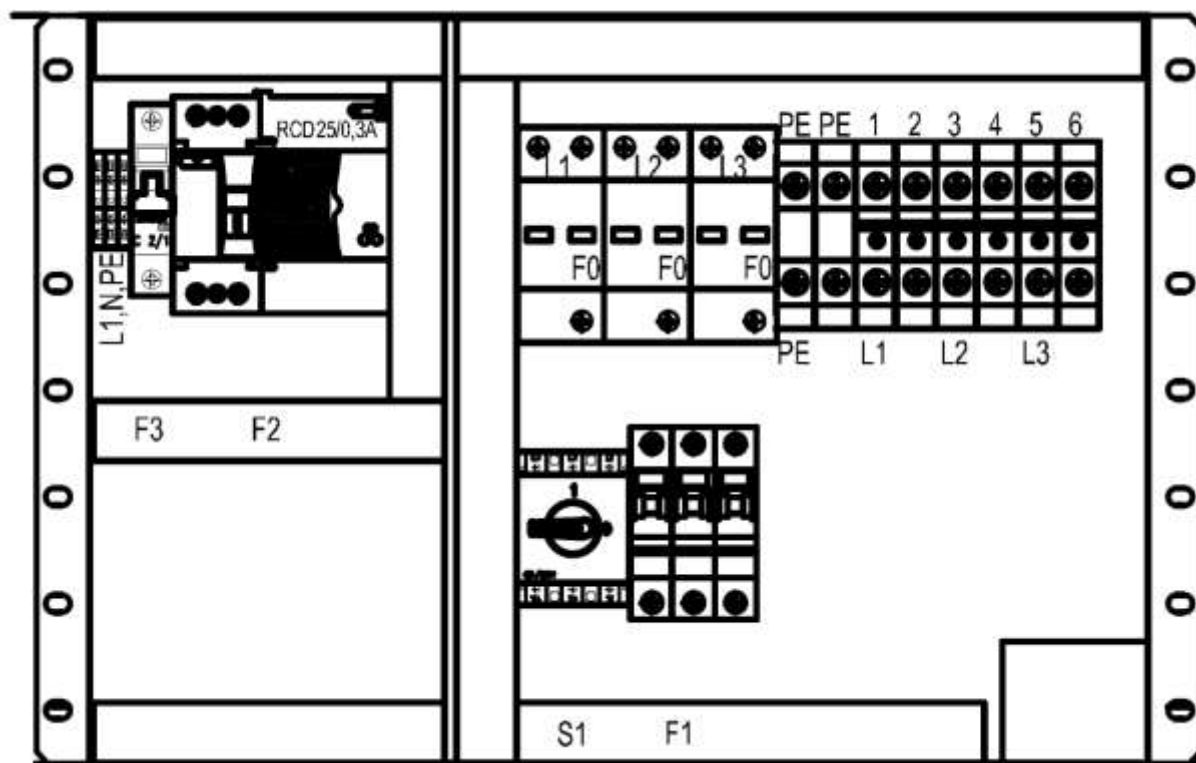
*Slika 60: RBP 50.19 A1 Vreme
(Lastni vir)*

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 750 V

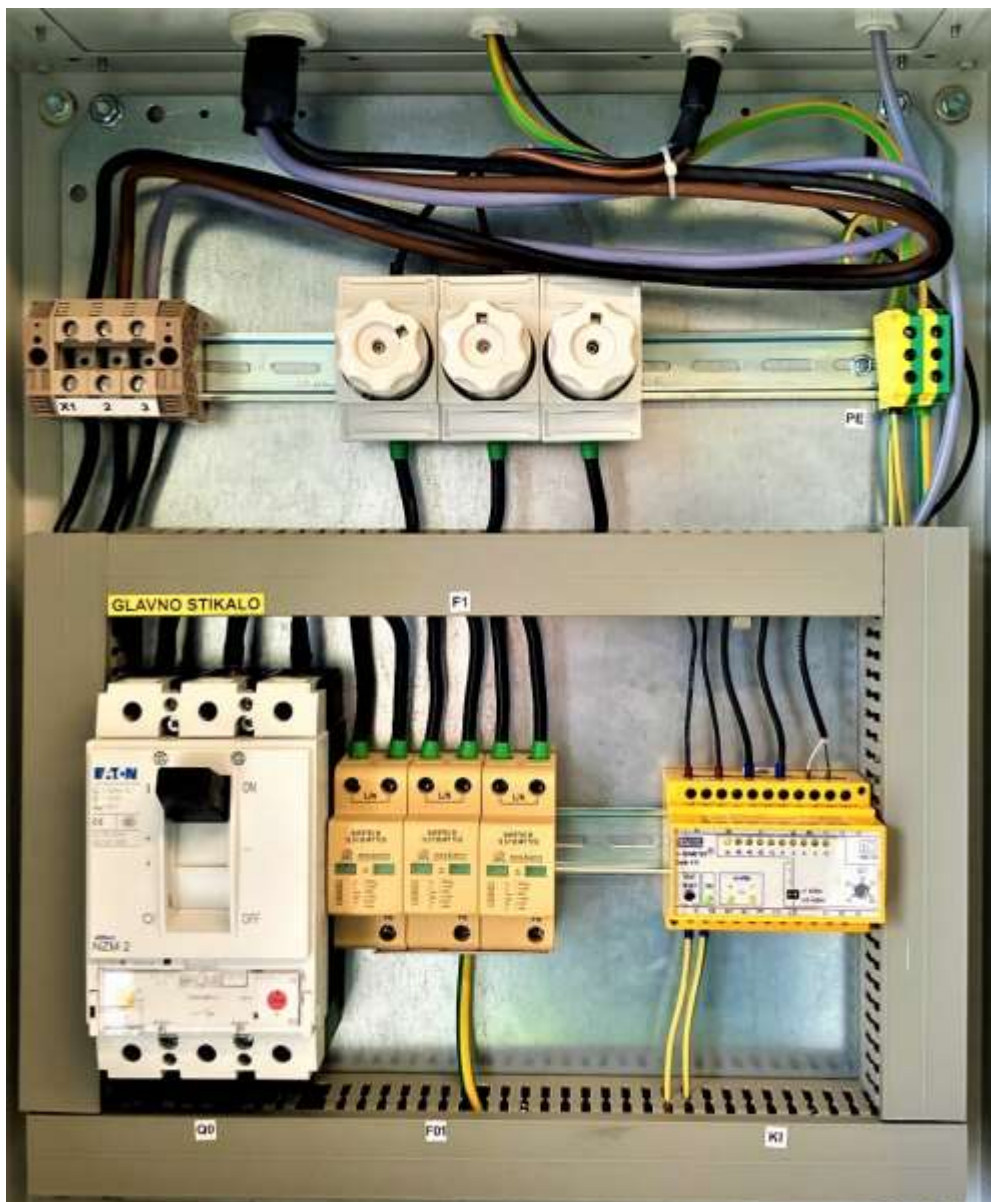
F1 – napajanje iz železniške postaje Gornje Ležeče (dovod) 3 x 10 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 61: Shema RBP Vreme
(Iskratel, 2017)



Slika 62: BP 50.20 Ravni
(Lastni vir)

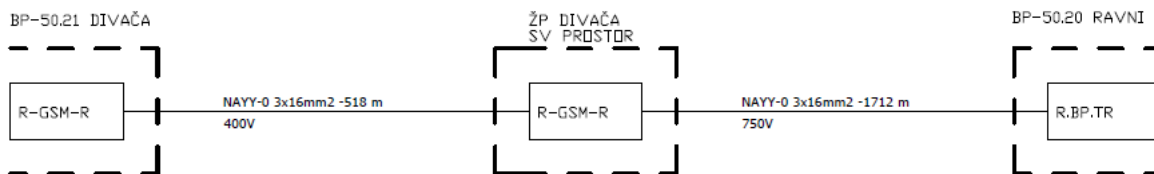
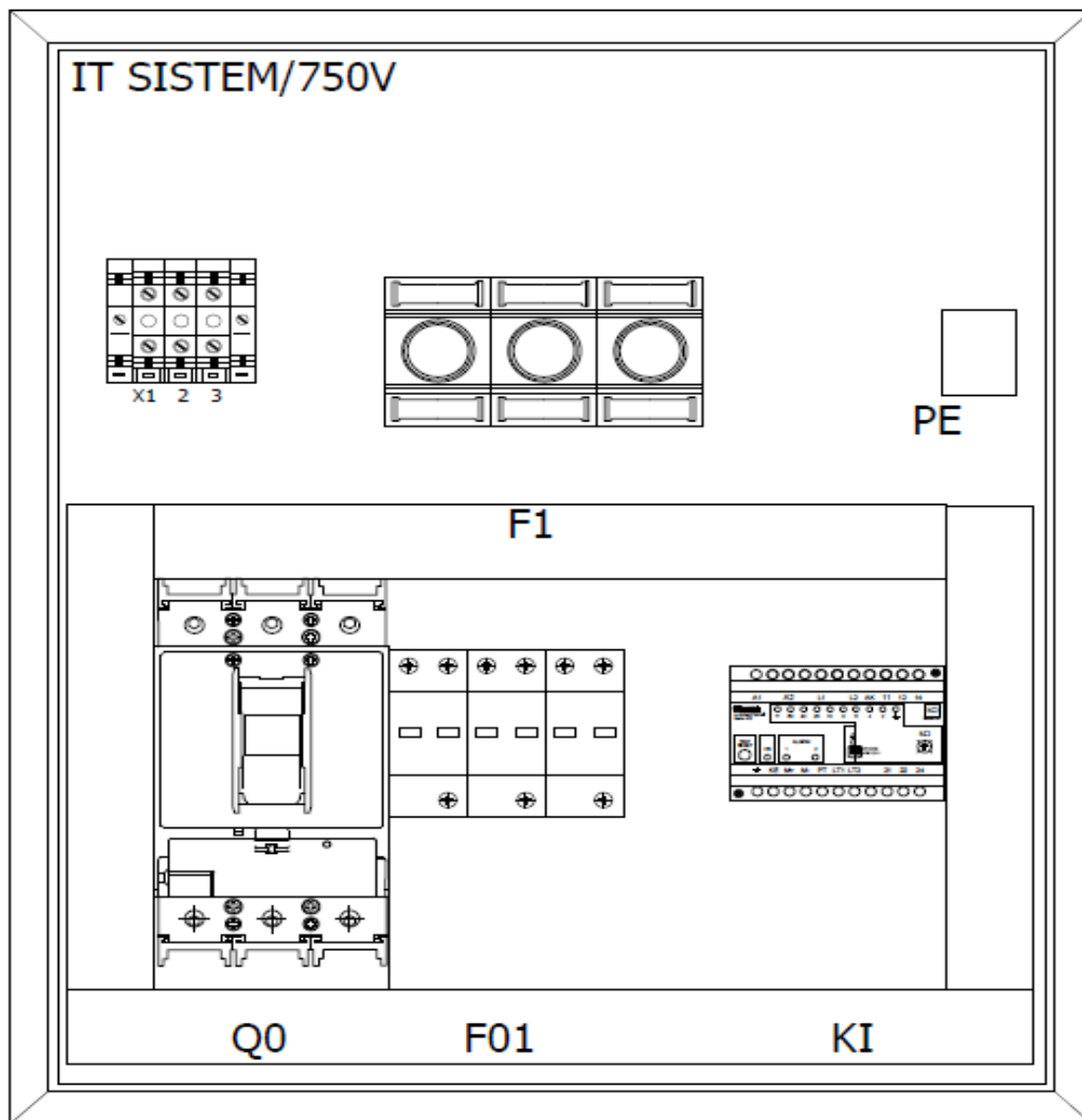
Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Divača (dovod) 3 x 10 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

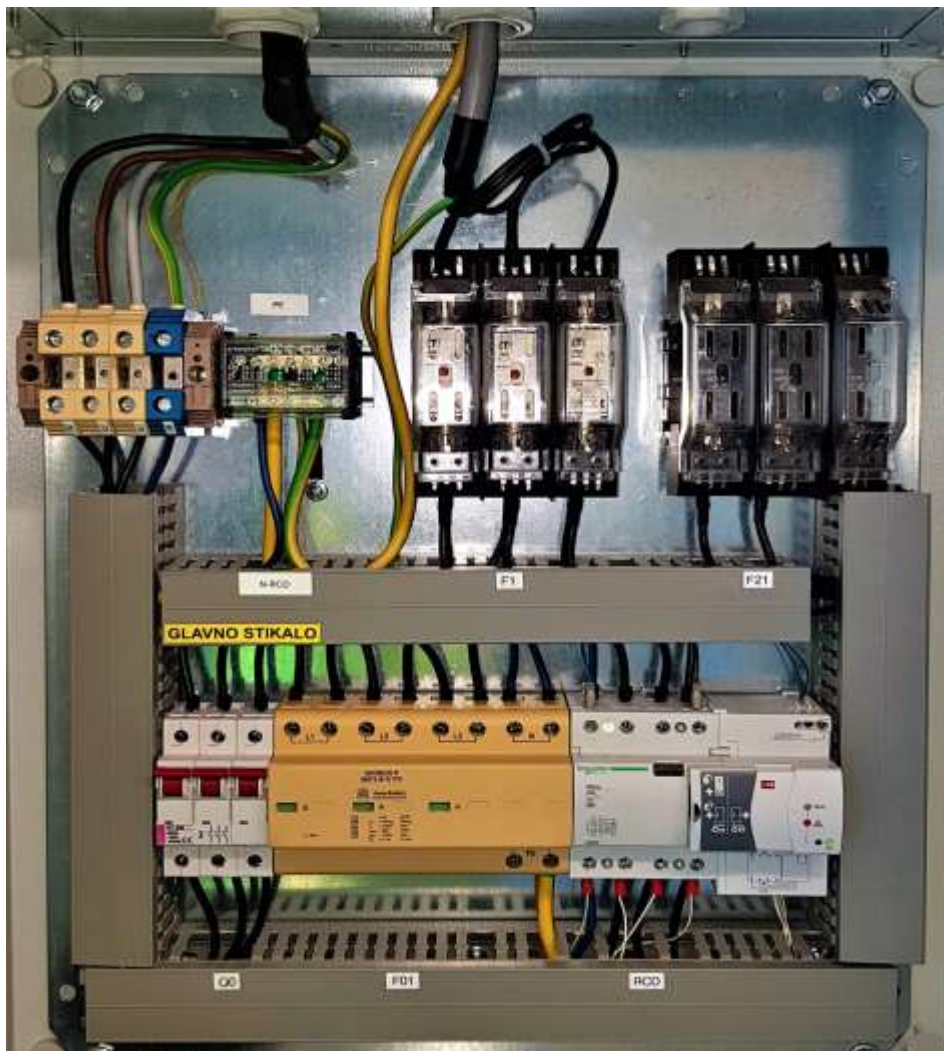
F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-50.20 RAVNI



Slika 63: Shema BP Ravni
(Iskratel, 2017)

Proga G64 (Pivka–Ilirska Bistrica-državna meja)



Slika 64: BP 64.01 Narin
(Lastni vir)

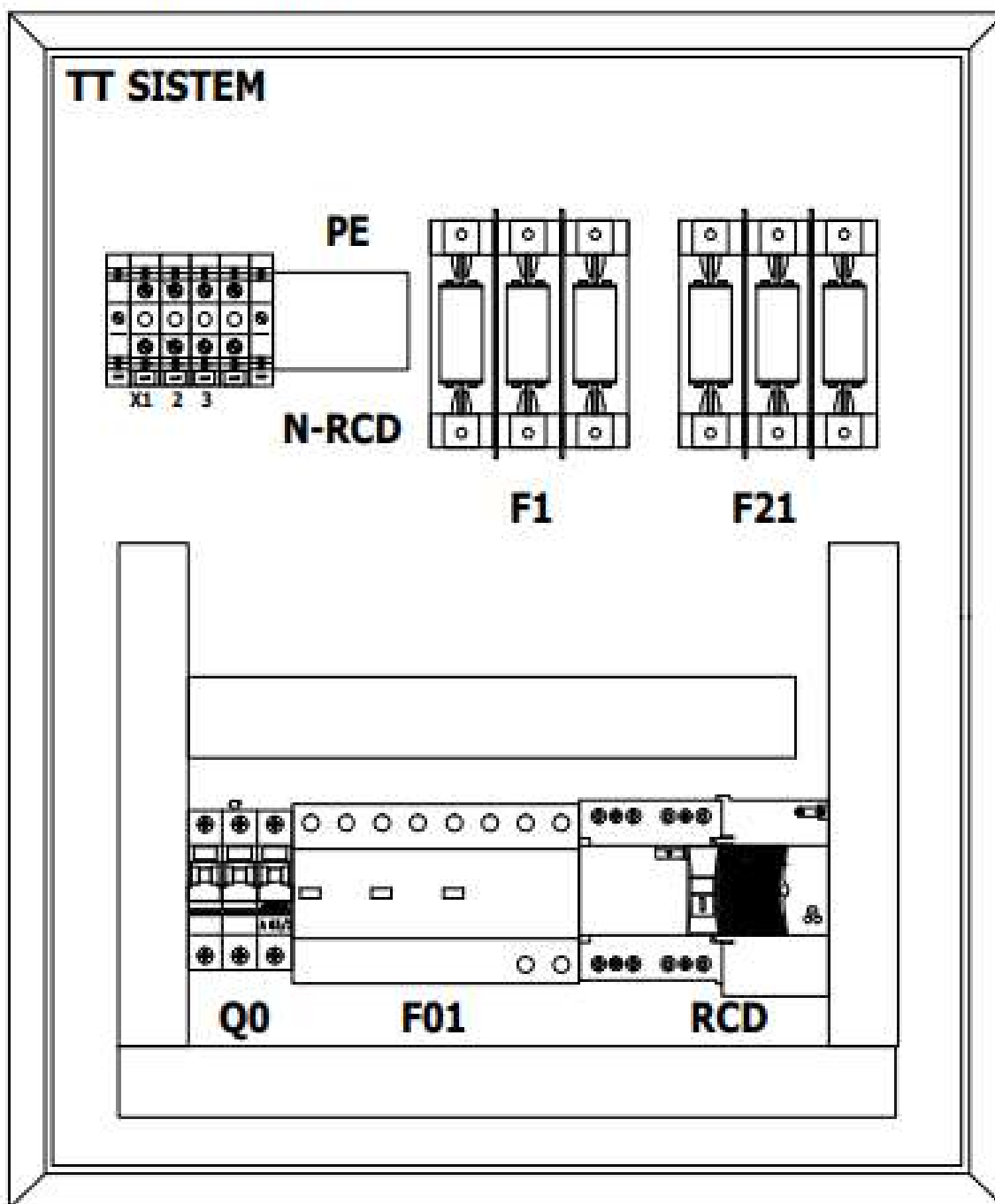
Sistem TT – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz distribucije (dovod) 3 x 20 A

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR (šxvxd:500x600x220mm)
v **BP-64.01 Narin**



Slika 65: Shema BP Narin
(Iskratel, 2017)



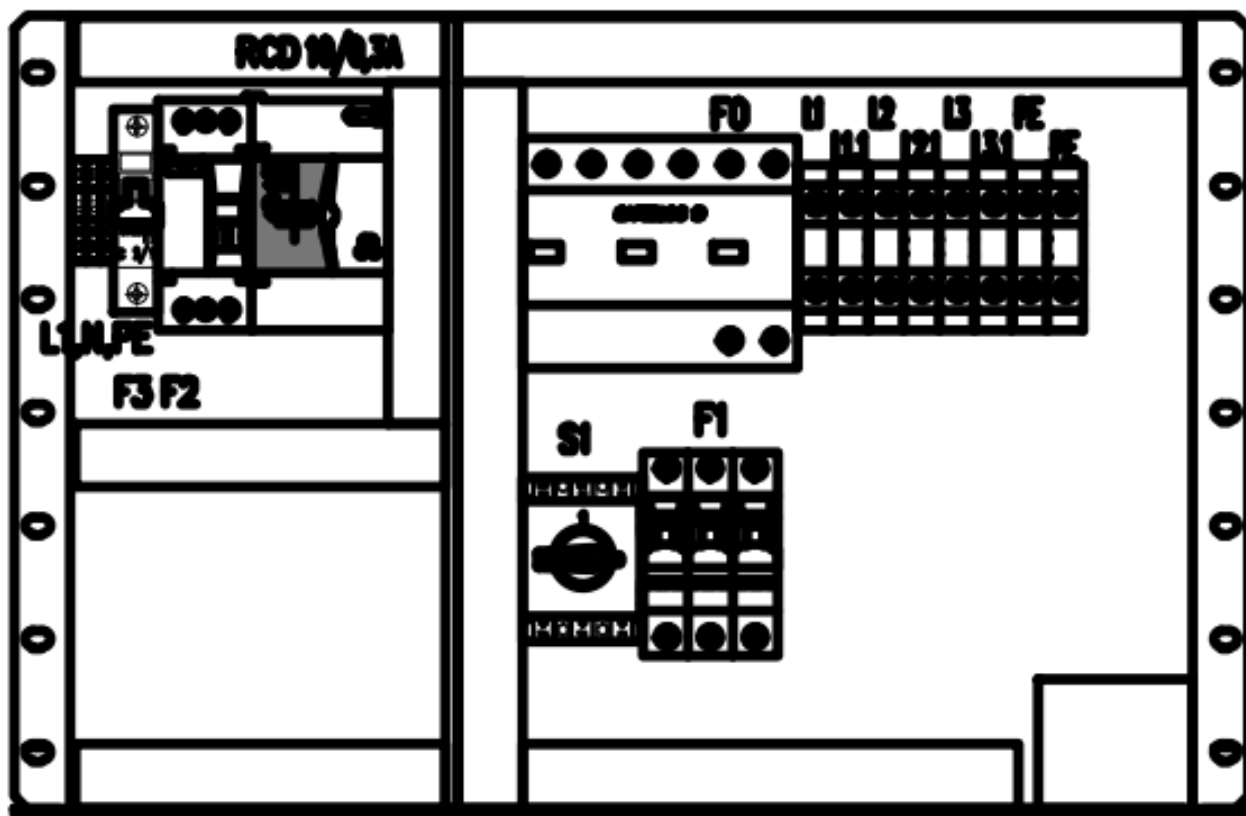
Slika 66: RBP 64.02 B1 Jakšič
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 750 V

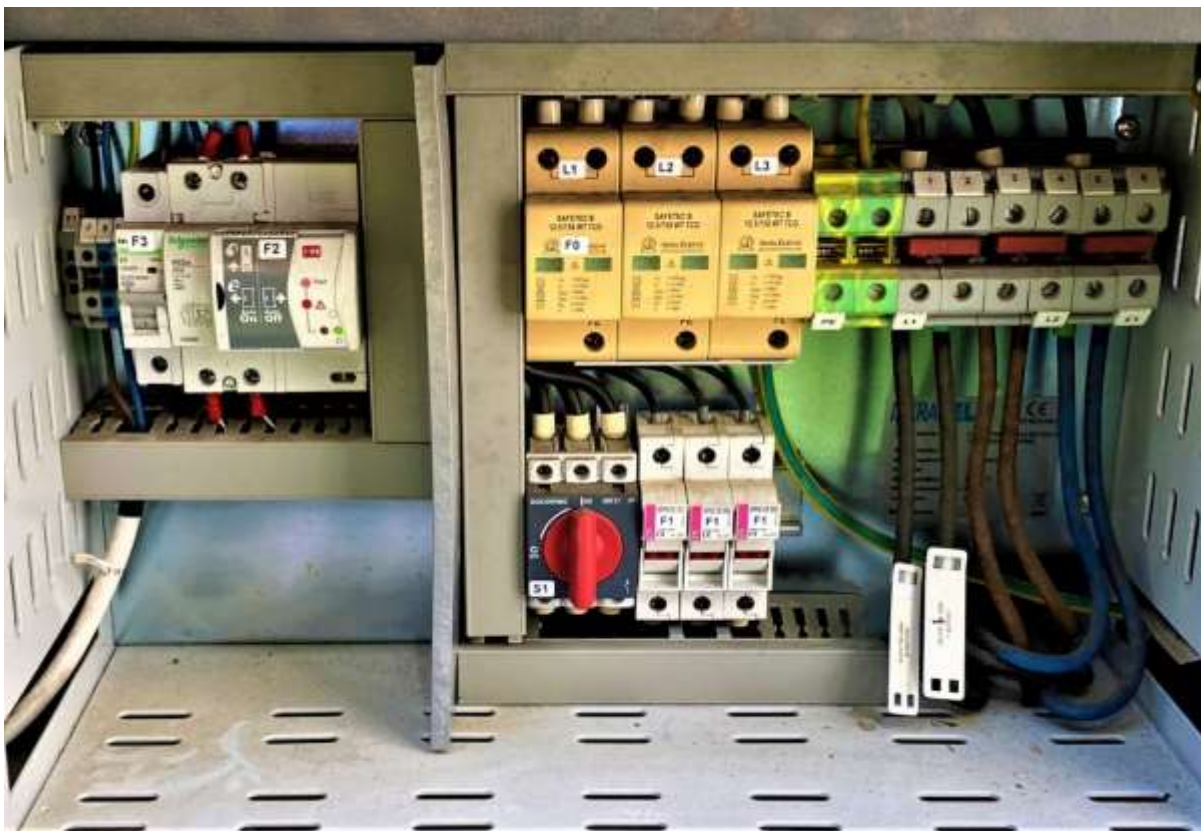
F1 – napajanje iz železniške postaje Kilovče (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 67: Shema RBP Jakšič
(Iskratel, 2017)



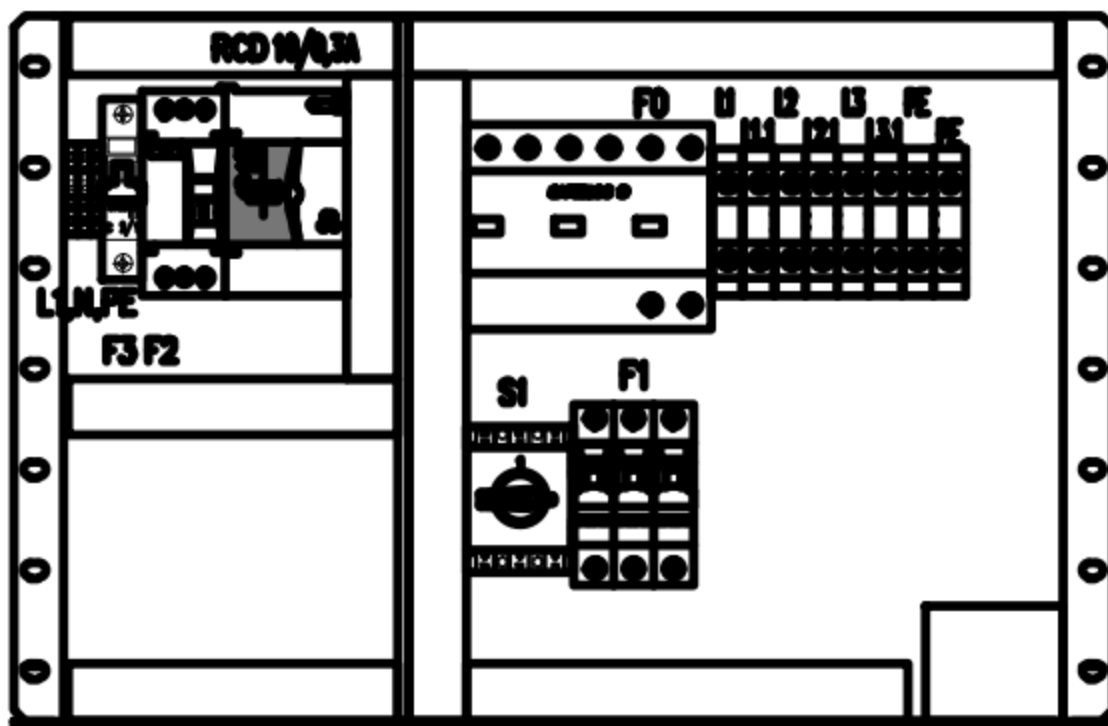
Slika 68: RBP 64.02 B1 Jakšič
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Kilovče (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 69: Shema RBP Jakšič B1
(Iskratel, 2017)



Slika 70: BP 64.02 Jakšič
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

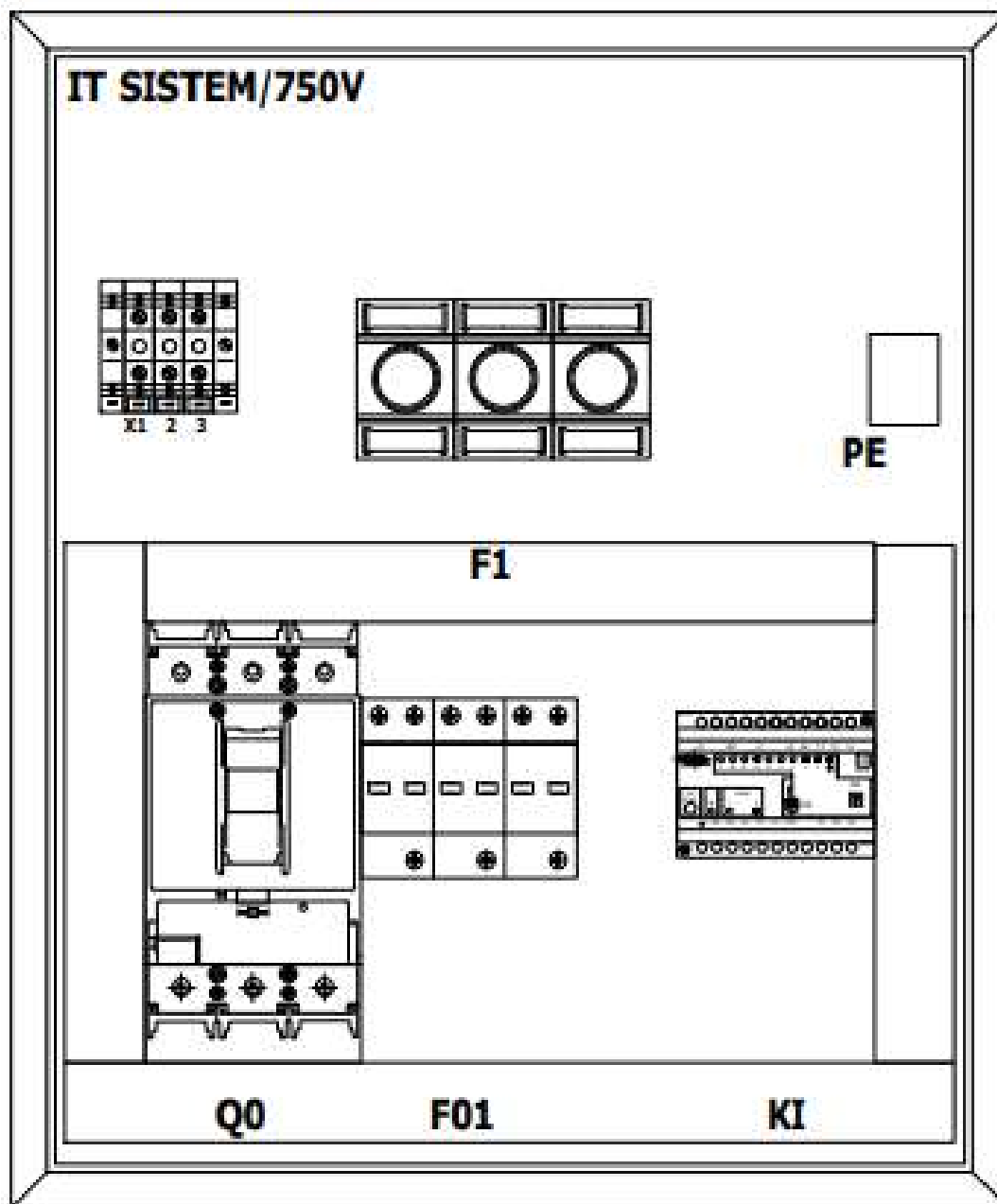
F1 – napajanje iz železniške postaje Kilovče (dovod) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

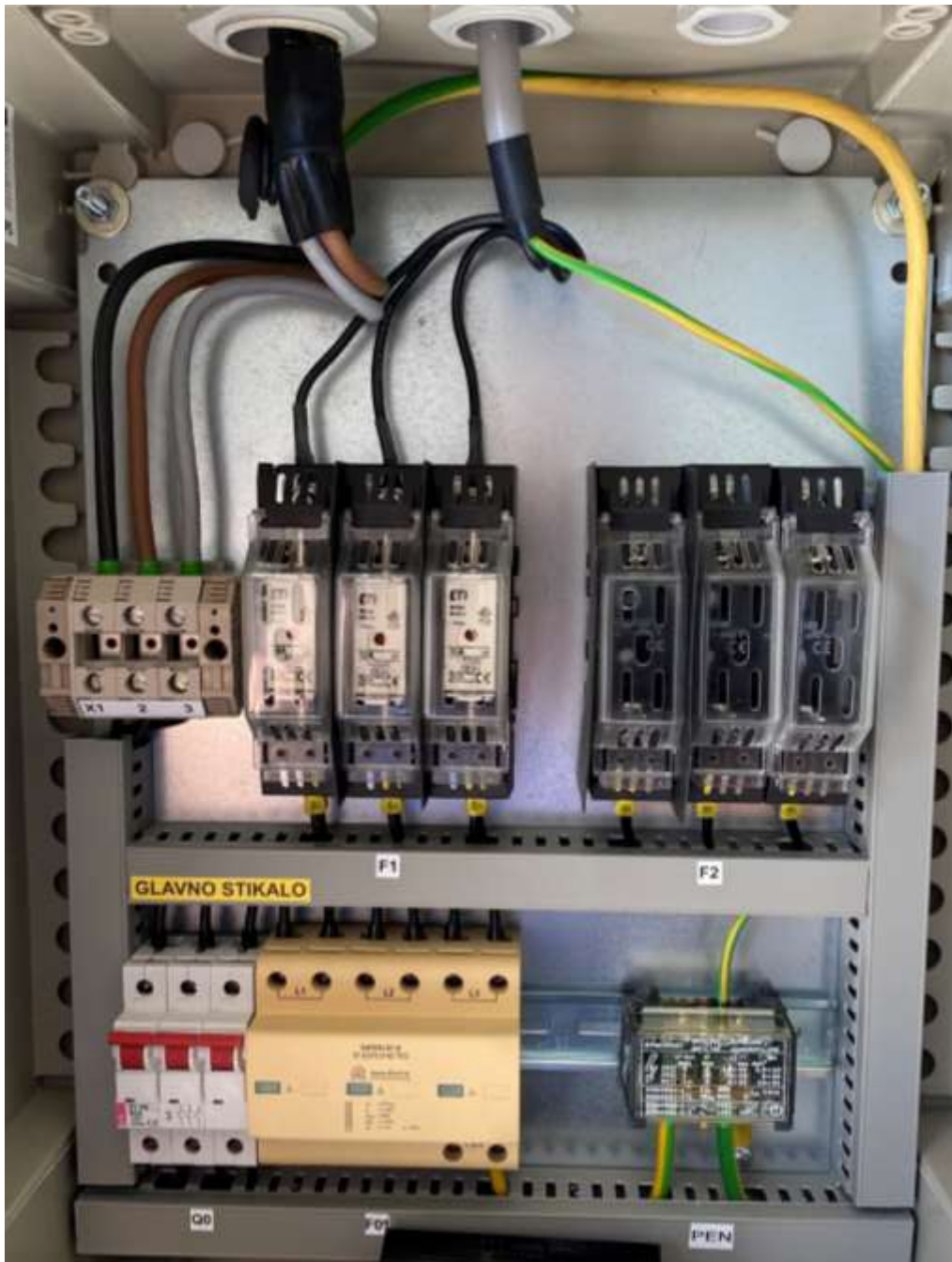
F01 – prenapetostna zaščita

KI – naprava za nadzor izolacije

R-BP-TR (šxvvg:500x600x220mm)
v BP-64.02 Jakšič



Slika 71: Shema BP Jakšič
(IskrateL, 2017)



Slika 72: BP 64.03 A1 Kilovče
(Lastni vir)

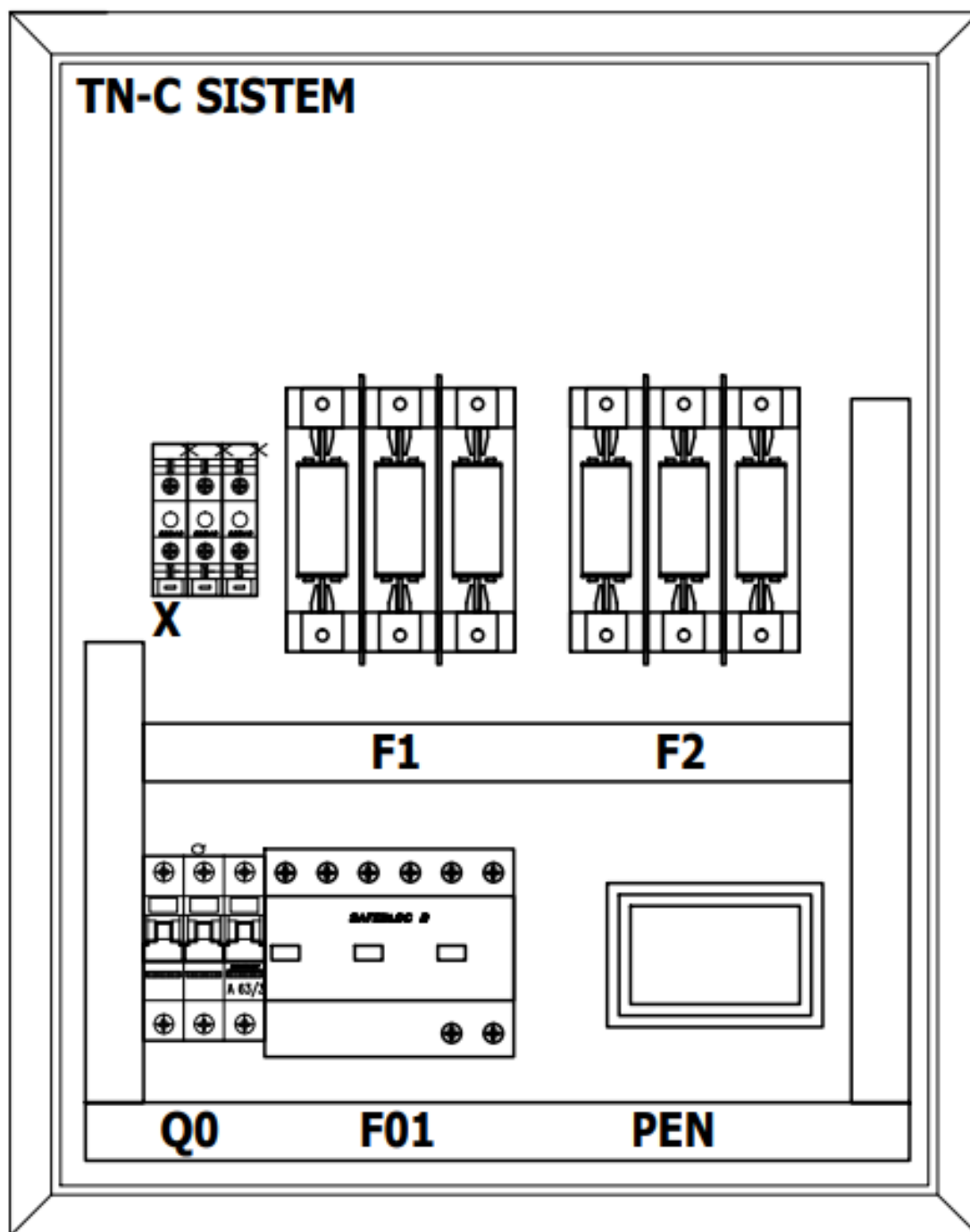
Sistem TN-C – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Kilovče (dovod) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-64.03 KILOVČE



Slika 73: Shema BP Kilovče
(Iskratel, 2017)



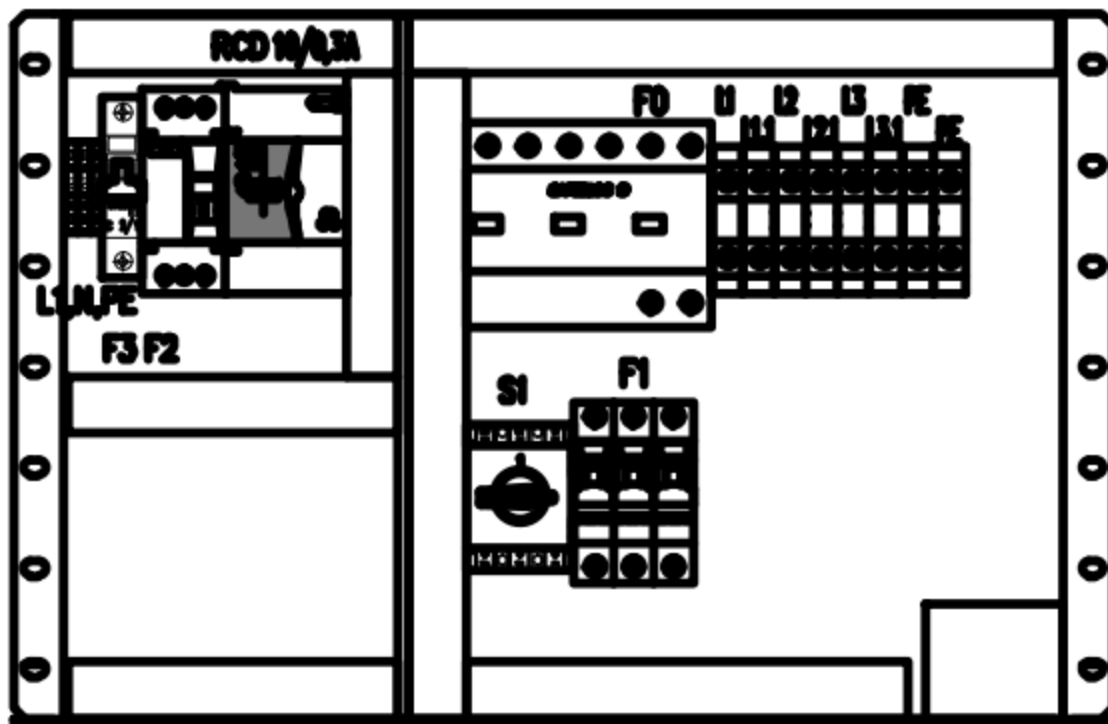
Slika 74: RBP 64.03 A1 Kilovče
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 750 V

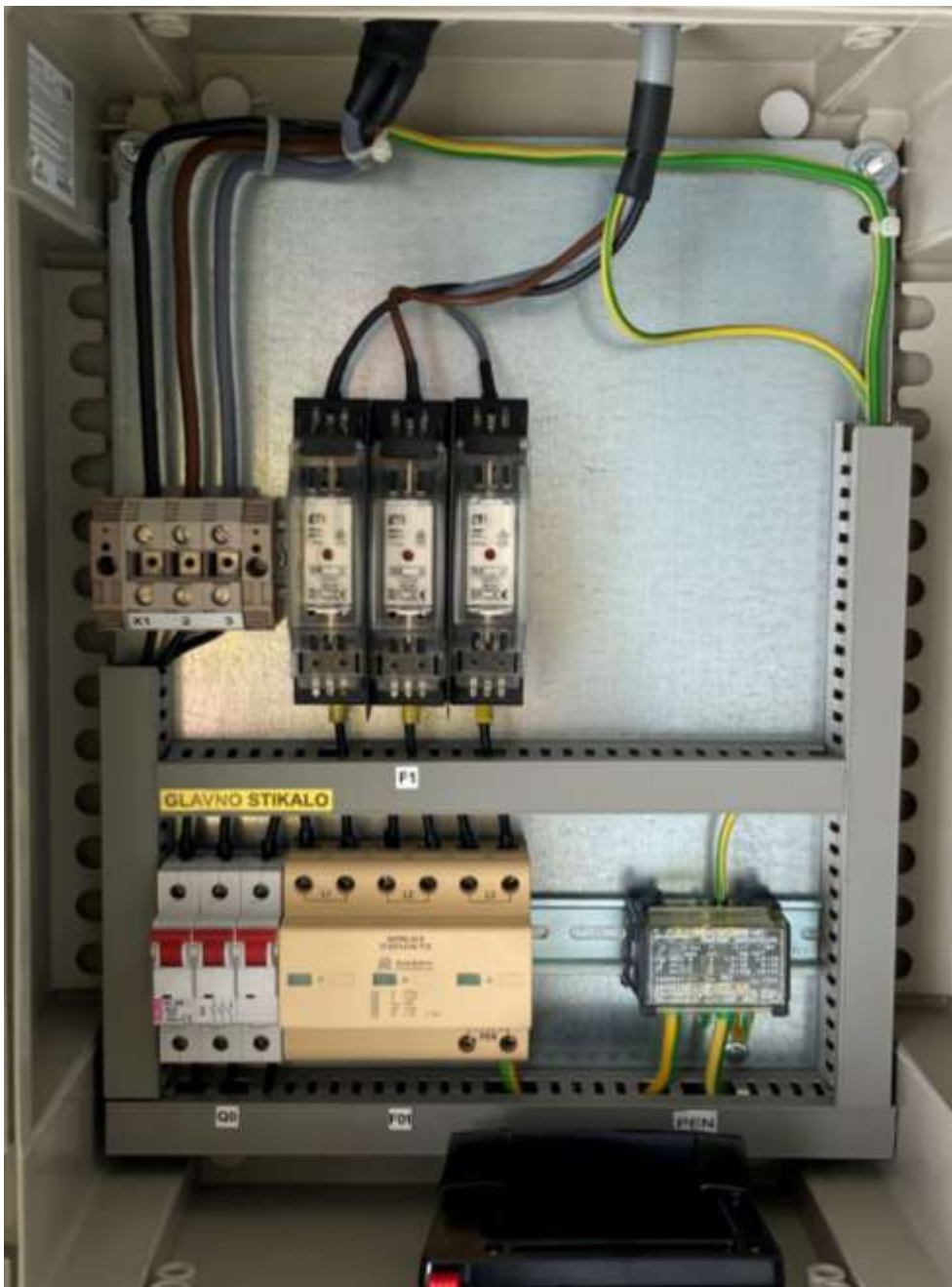
F1 – napajanje iz železniške postaje Kilovče (**dovod**) 3 x 16 A 750 V

Q0 – glavno stikalo **20 A**

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 75: Shema RBP Kilovče
(Iskratel, 2017)



Slika 76: BP 64.04 Mereče
(Lastni vir)

Sistem TN-C – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

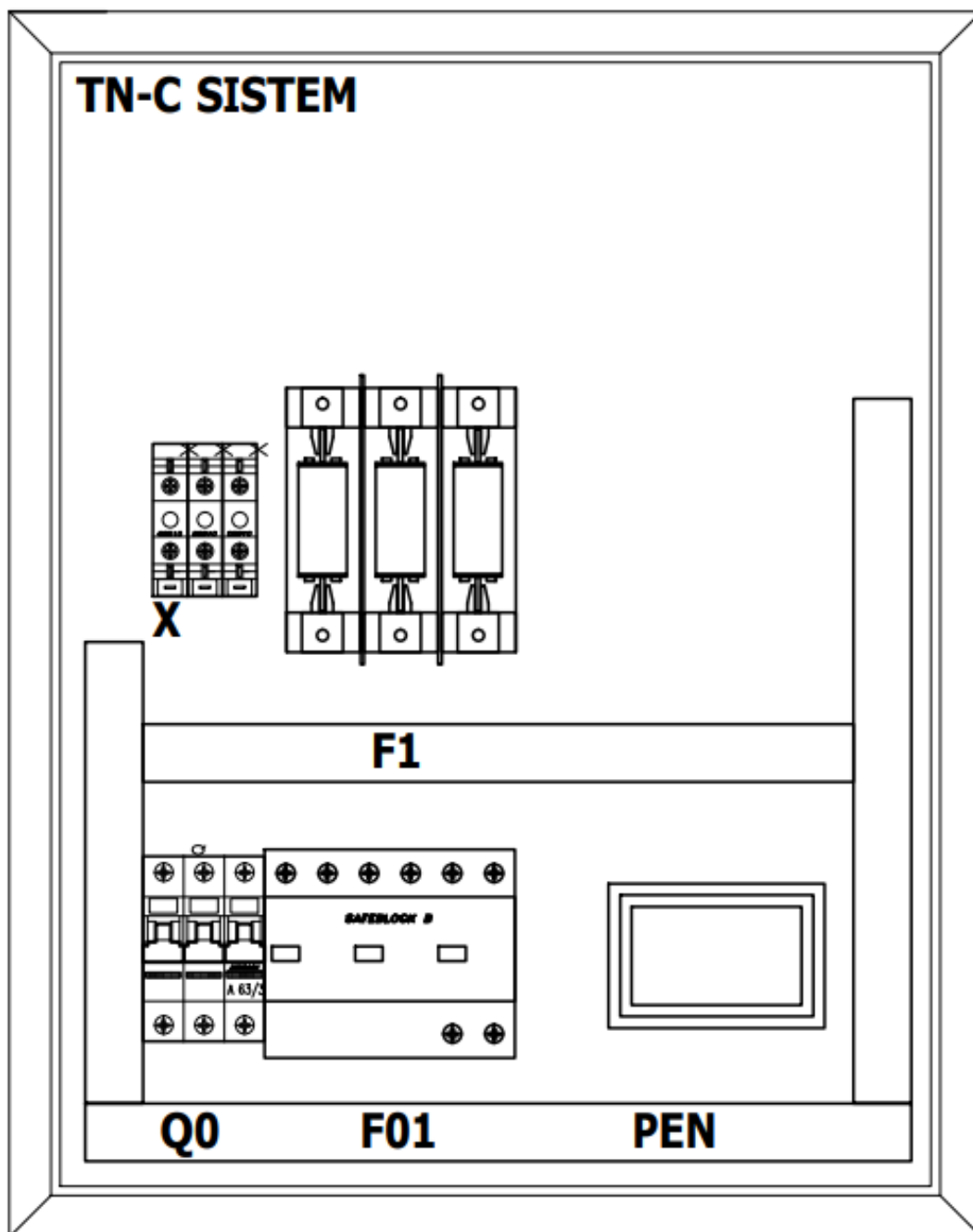
F1 – napajanje iz distribucije (dovod) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR

v BP-64.04 MEREČE



Slika 77: Shema BP Mereče
(Iskratel, 2017)



Slika 78: BP 64.05 Ilirska Bistrica
(Lastni vir)

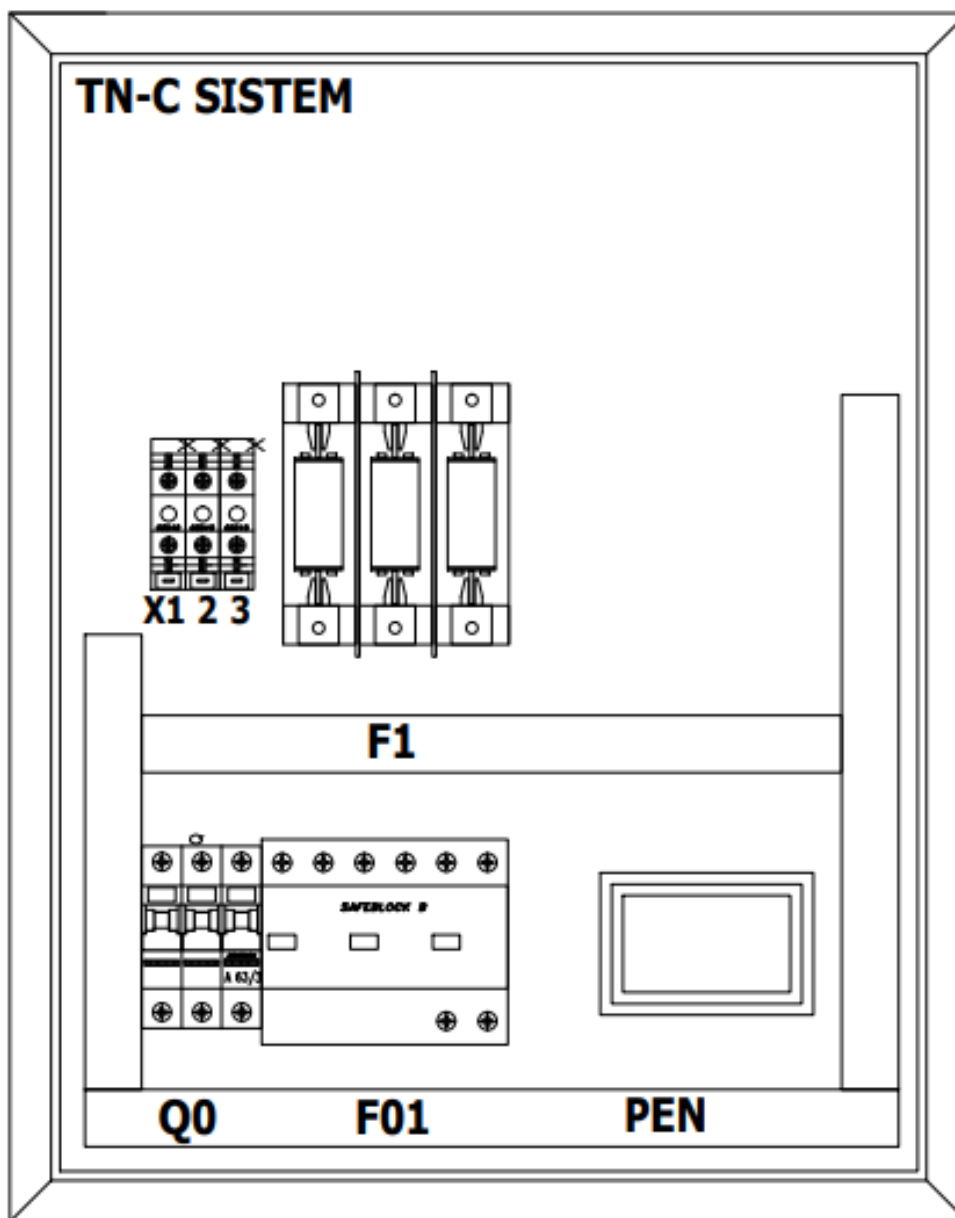
Sistem TN-C – napetost F1 (varovalke) 3 x 16 A 400 V

F1 – napajanje iz železniške postaje Ilirska Bistrica (dovod) 3 x 20 A 400 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR v BP-64.05 Ilirska Bistrica



Slika 79: Shema BP Ilirska Bistrica
(Iskratel, 2017)



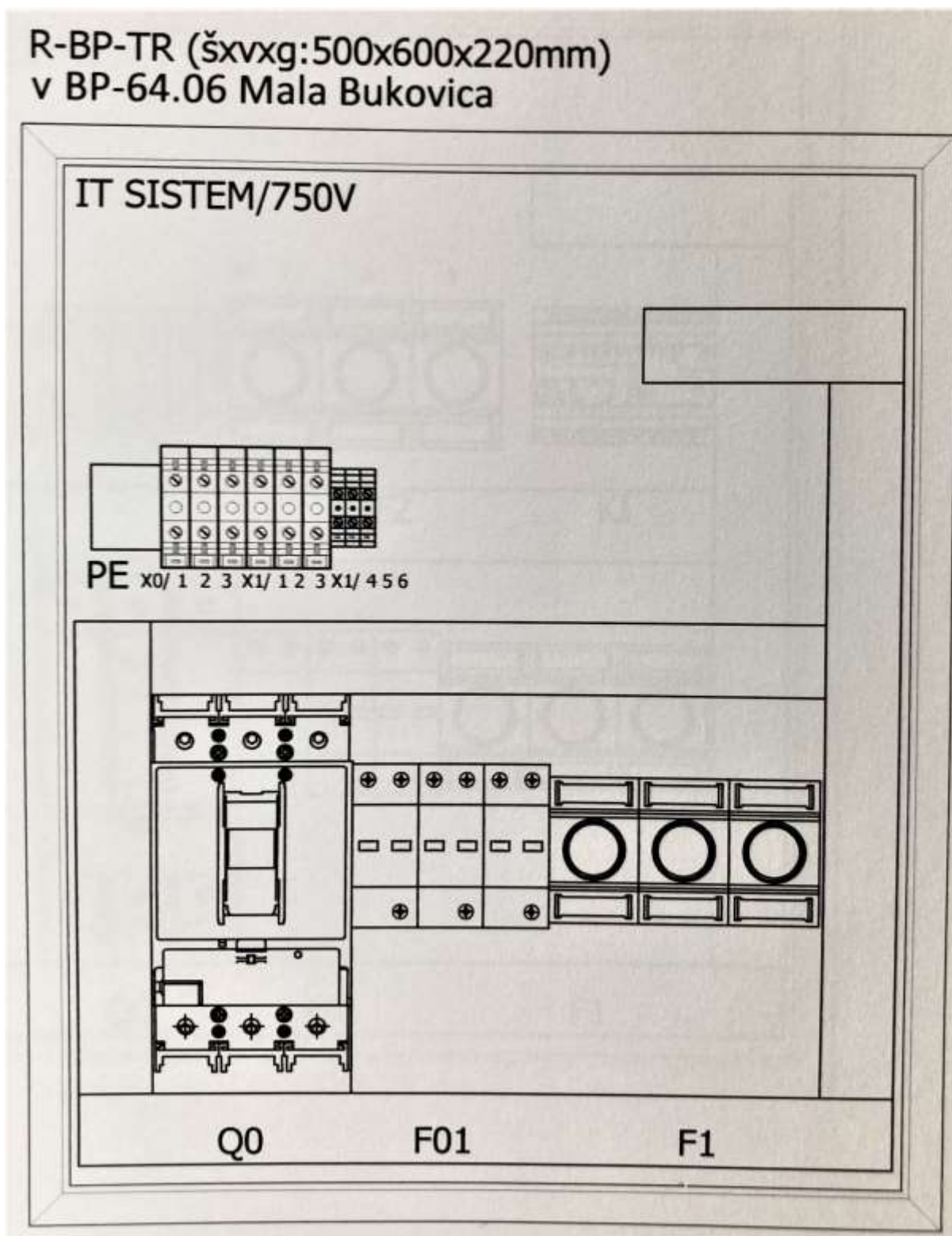
*Slika 80: BP 64.06 Mala Bukovica
(Lastni vir)*

Sistem IT – napetost F1 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

F1 – napajanje iz NPR Mala Bukovica (dovod) 3 x 16 A

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita



*Slika 81: Shema BP Mala Bukovica
(Iskratel, 2017)*



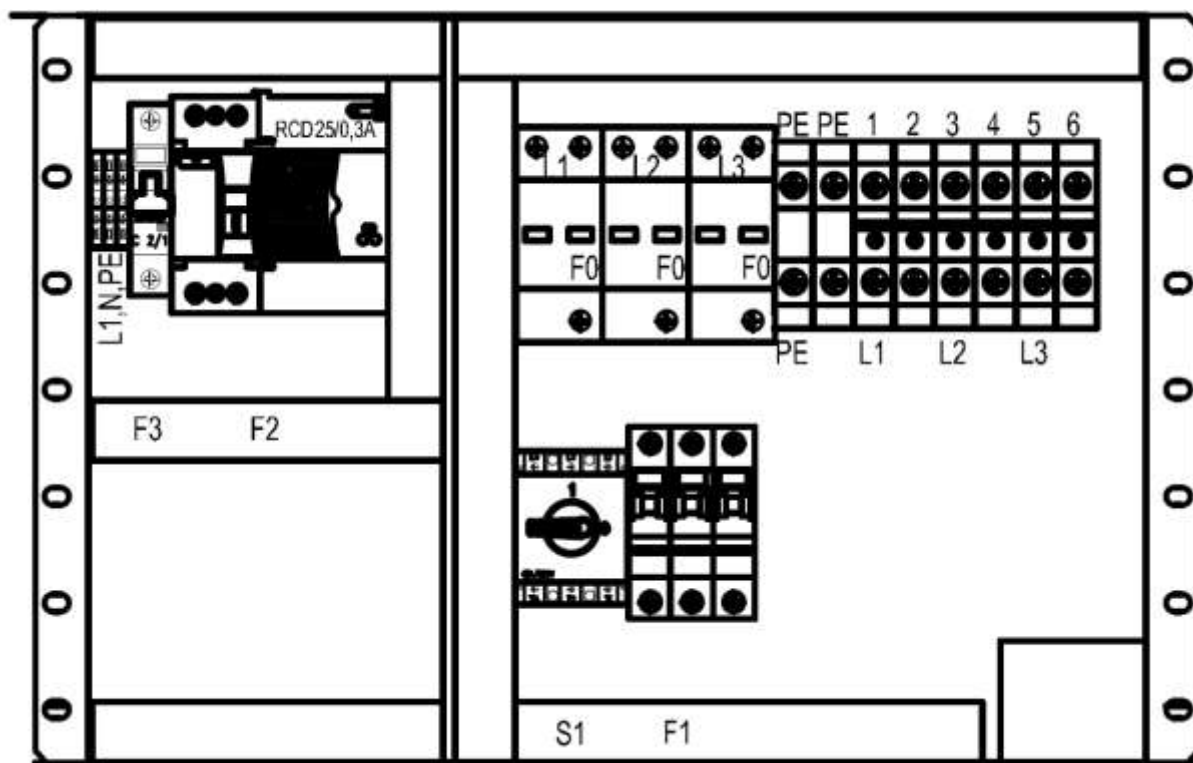
Slika 82: RBP 64.07 Malo Brdo
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost (varovalke) 3 x 6 A 750 V

F1 – napajanje iz BP Malo Brdo (dovod) 3 x 10 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 20 A

F01 – prenapetostna zaščita



Slika 83: Shema RBP Malo Brdo
(Iskratel, 2017)



Slika 84: BP 64.07 B1 Malo Brdo
(Lastni vir)

Sistem IT – napetost F2 (varovalke) 3 x 10 A 750 V

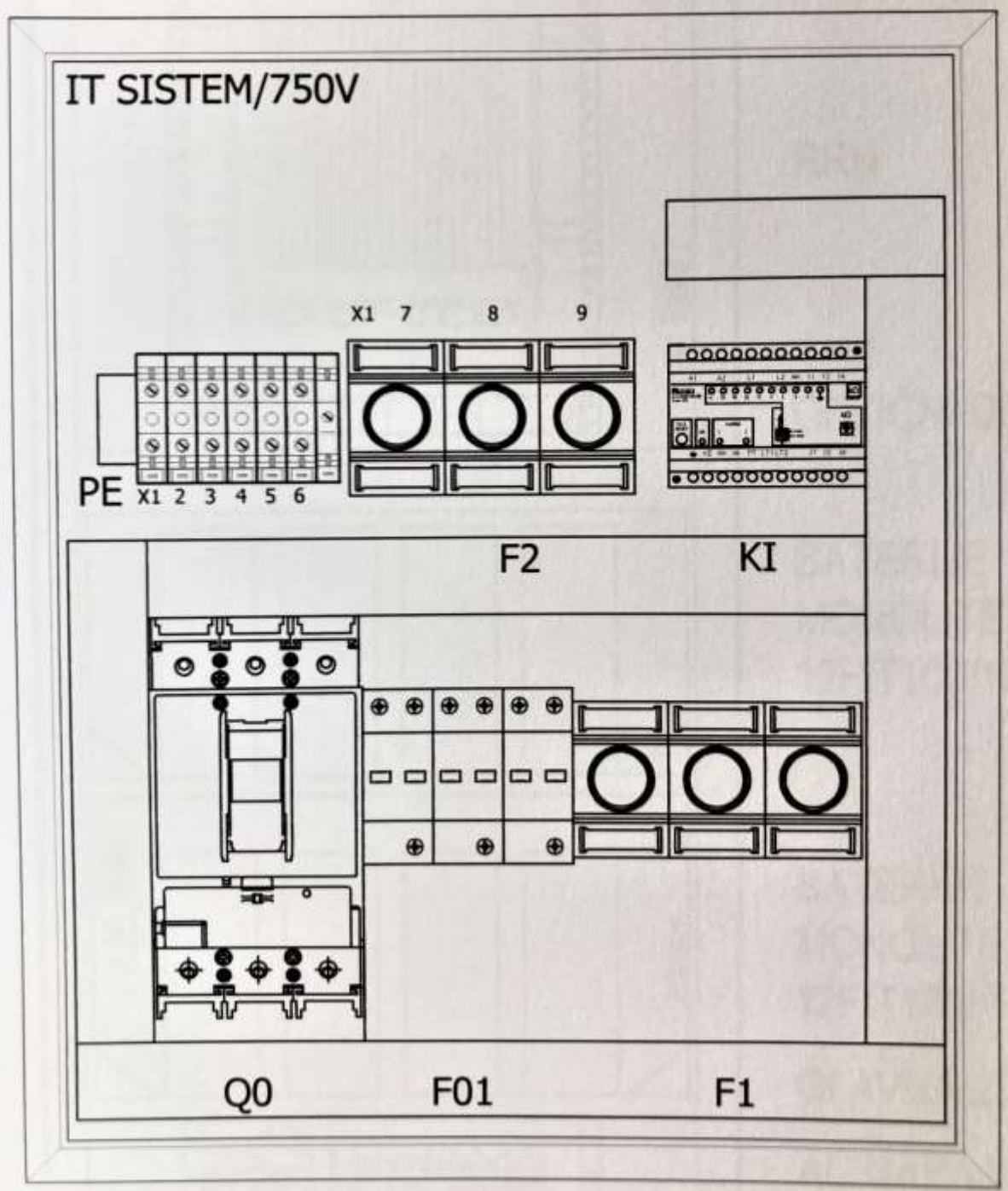
F1 – napajanje iz NPR Mala Bukovica (dovod) 3 x 16 A 750 V

F2 – odvod za repetitor Malo Brdo 3 x 6 A 750 V

Q0 – glavno stikalo 40 A

F01 – prenapetostna zaščita

R-BP-TR (šxvxd:500x600x220mm)
v BP-64.07 Malo Brdo



Slika 85: Shema BP Malo Brdo
(Iskratel, 2017)