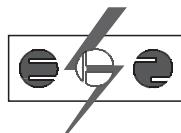


BIBLIOTEKA ELEKTROTEHNIČKOG DRUŠTVA - ZAGREB

Željko Novinc
ELEKTROTEHNIČKE INSTALACIJE



Kogen

Zagreb, 2007.

Elektrotehničke instalacije
dr. sc. Željko Novinc

Izdavač:
Kigen d.o.o. Zagreb

Za izdavača:
Erna Lojna Lihtar

Urednik:
Nenad Lihtar

Recenzenti:
dipl. ing. Ante Gobov
dipl. ing. Josip Moser

Grafički urednik:
Branko Jurak

Oblikovanje naslovnice:
Sandra Ilievski

Lektura:
Vera Vujović

Tisk:
GZH d.o.o., Zagreb

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 634851 ISBN 978-953-6970-34-6

Sva prava pridržana. Ni jedan dio ove knjige ne smije se umnožavati ili prenosi elektronički ili mehanički u bilo kojem obliku ili značenju, uključujući fotokopiranjem, presnimavanjem te bilo kojim drugim sustavom prenošenja informacija bez pismene dozvole Izdavača.

ISBN 978-953-6970-34-6

Željko Novinc

ELEKTROTEHNIČKE INSTALACIJE

- elementi projekcije, projektiranja, norma, teorije, prakse,
mjernih metoda, uređaja i opreme -



Zagreb, srpanj 2007.

SADRŽAJ

	Stranica
UVOD	11
1. ELEKTROTEHNIČKE INSTALACIJE	13
1.1. Elektrotehničke instalacije i rasvjeta - neki elementi iz teorije i prakse	13
1.1.1. Elektroinstalacijski materijal i pribor	13
1.1.1.1. "Goli" vodič	13
1.1.1.2. Kabeli i kabelski pribor	14
1.1.1.3. Pad napona i strujno opterećenje kabela	19
1.1.1.4. Instalacijske cijevi i pribor	25
1.1.1.5. Utični pribor	26
1.1.1.6. Osigurači	27
1.1.1.7. Instalacijske sklopke	33
1.1.1.8. Elementi gromobranske instalacije	42
1.1.1.9. Komponente EIB-sustava	42
1.1.2. Zaštita od električnog udara	46
1.1.2.1. Djelovanje električne energije na ljudski organizam	46
1.1.2.2. Zaštita od izravnog dodira dijelova pod naponom	47
1.1.2.3. Označavanje mehaničke zaštite	49
1.1.3. Uredaji elektrotehničkih instalacija	50
1.1.3.1. Brojila utrošene električne energije	50
1.1.3.2. Razvodni uredaji	52
1.1.3.3. Kućni priključak	56
1.1.3.4. Izjednačivanje potencijala u objektu	60
1.1.3.5. Pomoći izvori električne energije	61
1.1.3.6. EIB-instalacijski sustav i njegovo programiranje	61
1.1.3.7. Telefonske centrale	62
1.1.3.8. Sustav kabelske televizije (KTV, CATV)	63
1.1.3.9. Interfoni (portafoni)	69
1.1.3.10. Protupožarni alarmni sustav	69
1.1.3.11. Protuprovalni alarmni sustav	72
1.1.3.12. Uredaji za podizanje i spuštanje roleta	73
1.1.3.13. Uređaj za stalni nadzor izolacije	74
1.1.4. Električna rasvjeta	75
1.1.4.1. Svojstva svjetla	75
1.1.4.2. Električni izvori svjetla	75
1.1.4.3. Svjetlosne armature	79
1.1.4.4. Zahtjevi za dobrom rasvjetom	81

1.1.4.5. Proračun električne rasvjete	82
1.1.4.6. Proračun električne rasvjete primjenom računala	82
1.1.4.7. Električna rasvjeta zatvorenih prostora	83
1.1.4.8. Električna rasvjeta otvorenih prostora	83
1.1.5. Izvedba elektromonterskih radova	84
1.1.5.1. Izvedba uzemljenja.	84
1.1.5.2. Spajanje uzemljenja	86
1.1.5.3. Proračun uzemljivača	87
1.1.5.4. Montaža gromobranske instalacije.	89
1.1.5.5. Podzemno polaganje kabela.	90
1.1.5.6. Postavljanje "golih" vodiča	91
1.1.5.7. Postavljanje samonosivih kabelskih snopova	92
1.1.5.8. Postupci izvedbe elektrotehničkih instalacija	92
1.1.5.9. Podžbukna izvedba elektrotehničkih instalacija bez instalacijskih cijevi	93
1.1.5.10. Podžbukna izvedba instalacija u instalacijskim cijevima	95
1.1.5.11. Nadžbukna izvedba elektrotehničkih instalacija	96
1.1.5.12. Instalacije u betonskim kanalima.	98
1.1.5.13. Instalacije u metalnim kanalima	99
1.1.5.14. Vodiči na nosivom užetu	100
1.1.5.15. Vodiči na nosivoj konstrukciji	101
1.1.5.16. Sabirnički razvod	101
1.1.5.17. Instaliranje u kabelskim kanalima	103
1.1.6. Izvedba telekomunikacijskih instalacija	103
1.1.7. Izvedba signalnih instalacija	105
1.1.8. Izvedba elektrotehničkih instalacija na mjestima ugroženim eksplozivnim smjesama	105
1.1.9. Provjera ispravnosti (sigurnosti) elektrotehničkih instalacija	106
1.1.9.1. Pregled instalacija u toku radova	106
1.1.9.2. Ispitivanje rasvjete	106
1.1.9.3. Ispitivanje utičnica	107
1.1.9.4. Ispitivanje gromobranske instalacije	107
1.1.9.5. Ispitivanje i pregled razvodne ploče	108
1.1.9.6. Provjera radova u kupaonici	108
1.1.9.7. Ispitivanje instalacija slabe struje.	109
1.1.9.8. Mjerjenje otpora uzemljenja	109
1.1.9.9. Mjerjenje otpora izolacije kabela	110
1.1.10. Otklanjanje kvarova na elektrotehničkim instalacijama	111
1.1.11. Popis potrebnog elektroinstalaterskog alata, opreme, pribora i uređaja	111
1.1.12. Korisne tablice i popisi za elektroinstalatere	113
1.1.13. Primjer jednog projekta elektrotehničkih instalacija i rasvjete.	125
1.2. Osnovno što treba znati o zaštitnim mjerama u elektrotehničkim instalacijama	141
1.3. Sustavi zaštite sa zaštitnim vodičem	143
1.3.1. Automatski isklop opskrbe el. energijom u TT-sustavu (ranije - zaštitno uzemljenje)	145
1.3.2. Automatski isklop opskrbe el. energijom u TN-sustavu (ranije - nulovanje)	147

1.3.3. Automatski isklop opskrbe el. energijom u IT-sustavu (ranije - nadzor izolacije)	149
1.3.4. Zaštita strujnim zaštitnim sklopkama (RCD, FID, FI) i naponskim zaštitnim sklopkama	150
1.3.5. Mjere zaštite u javnim razdjeljnim mrežama	151
1.4. Načela ispitivanja zaštite	152
1.4.1. Mjerenje otpora uzemljenja	153
1.4.2. Mjerenje otpora petlje	156
1.4.3. Mjerenje otpora izolacije	157
 2. ELEMENTI TEORIJE I PRAKSE MJERENJA OTPORA UZEMLJENJA	161
2.1. Wennerova metoda mjerenja specifičnog otpora tla.	164
2.2. Tropolno/četveropolno mjerenje otpora tla.	166
2.3. Selektivno mjerenje otpora uzemljenja primjenom strujnih klješta i dvije sonde.	168
2.4. Mjerenje otpora uzemljenja primjenom samo jednog para strujnih klješta	171
2.5. Impedancija uzemljenja R^* i mjerenje malenih otpora	175
2.6. Tehničke značajke suvremenih mjerila otpora uzemljenja	176
2.7. Opće napomene o primjeni suvremenih ispitivala kvalitete (otpora) uzemljenja	186
 3. ISPITIVANJE KVALITETE IZOLACIJE ELEKTROTEHNIČKIH INSTALACIJA U GRAĐEVINAMA	189
3.1. LEM (NORMA) ISO - obitelj ispitivala kvalitete izolacije električnih vodiča	190
3.2. Tehničke značajke i neke mogućnosti ispitivala tipa UNILAP ISO 5 kV	194
3.3. Mjerenje otpora izolacije primjenom priključka GUARD	199
3.4. Primjeri mjerenja otpora izolacije	203
 4. UNIVERZALNA ISPITIVALA SIGURNOSTI ELEKTROTEHNIČKIH INSTALACIJA U GRAĐEVINAMA	207
4.1. Uredaji tipa LEM (NORMA) SATURN 100plus	207
4.1.1. Mjerenje i ispitivanje primjenom uređaja tipa SATURN 100plus	208
4.1.1.1. Opis i dijelovi uređaja	208
4.1.1.2. Mjerenje s uređajem tipa SATURN 100plus	209
4.1.1.3. Opći podatci o uređaju tipa SATURN 100plus	229
4.1.2. Uredaji tipa LEM (NORMA) UNILAP 100XE	231
4.2.1. Tehničke značajke i mogućnosti uređaja tipa UNILAP 100XE	234
4.2.2. Primjeri primjene ispitivala elektrotehničkih instalacija tipa UNILAP 100XE	245
4.2.3. Programska potpora tipa WinSAT 100	252
4.1.3. Uredaj METREL Eurotest 61557	255
4.3.1. Opis i funkcija uređaja	258
4.3.2. Opći savjeti za rad s uređajem tipa Eurotest 61557	260
4.3.3. Usporedba uređaja UNILAP 100XE i Eurotest 61557	262
4.4. Uredaji FLUKE serije 1650	263
 5. ISPITIVANJE SIGURNOSTI ELEKTROTEHNIČKIH INSTALACIJA NA STROJEVIMA	265
5.1. Uredaj BELMET MI 60204SAFEGUARD - LEM MachineTest 204	265

5.1.1. Hrvatska i europska norma HRN EN 60204.....	265
5.2. Rad s uređajem tipa BELMET MI 60204SAFEGUARD - LEM MachineTest 204.....	268
5.2.1. Mjerenje pada napona na zaštitnom vodiču (U_{PE}) i otpora odgovarajuće peltje (R_{PE}) kvara.....	271
5.2.2. Mjerenje otpora izolacije na strojevima	273
5.2.3. Mjerenje probajne čvrstoće dielektrika (visokonaponsko ispitivanje).....	274
5.2.4. Mjerenje preostalog napona primjenom ispitivača ResTest 204.....	276
5.3. Tehničke značajke i mogućnosti uređaja tipa 60204SAFEGUARD	280
5.4. Hrvatske norme na području ispitivanja elektrotehničkih instalacija na strojevima i uređajima, te na području sigurnosti mjerne, upravljačke i laboratorijske opreme	283
 6. UREĐAJI ZA ISPITIVANJE SKLOPOVA ZA ZAŠTITU OD NADSTRUJE	297
6.1. Opći opis tipičnog OCPT-uređaja	297
6.2. Primijene norme i sigurnosne mjere	297
6.3. Opis uređaja tipa OCPT	300
6.3.1. Prednja ploča uređaja	300
6.3.2. Pretinac za pribor i pločica s kratkim podsjetnikom.....	301
6.4. Osnovna teorija OCPT-a	302
6.4.1. Osnovna teorija o sklopovima za zaštitu od nadstruja	302
6.4.2. Osnovna teorija o ispitivanju polariteta strujnih transformatora	305
6.5. Izvedba konkretnih ispitivanja s OCPT-om	306
6.5.1. Prikљučivanje uređaja OCPT na mrežni napon	306
6.5.2. Općenito o potrebno raspoloživim ispitnim vodičima	306
6.5.3. Mjerenje vremena reagiranja OCPD-a	307
6.5.3.1. Skloovi OCPD s ugrađenom strujnom sklopkom	308
6.5.3.2. Skloovi OCPD bez ugrađene strujne sklopke	309
6.5.4. Određivanje polariteta strujnih transformatora	312
6.6. Održavanje uređaja tipa OCPT	314
6.6.1. Izmjena osigurača	314
6.6.2. Čišćenje uređaja	314
6.6.3. Periodično umjeravanje uređaja	314
6.6.4. Servis uređaja	314
6.7. Tehničke značajke uređaja tipa BELMET MI OCPT.....	315
 7. OSNOVE BESKONTAKTNOG MJERENJA TEMPERATURE.....	317
7.1. Izbor sustava i parametara beskontaktnog mjerena temperature	318
7.2. Utjecaj okoline na kvalitetu beskontaktnog mjerena temperature	321
7.3. Beskontaktna mjerila temperature iz serije RAYTEK RANGER MX	321
7.3.1. Pregled obilježja obitelji infracrvenih mjerila temperature RAYTEK MX	323
7.3.1.1. Tehničke značajke i mogućnosti mjerena mjerilom tipa RANGER MX (Ahlborn AMiR).....	325
7.4. Termovizionska analiza objekata.....	333

8. ISPITIVANJE ELEKTRIČNIH BROJILA	339
8.1. Trofazno prijenosno ispitivalo električnih brojila - PWS 2.3	334
8.2. Trofazno prijenosno ispitivalo električnih brojila u građevinama - PTS 2.3	345
8.3. Trofazno prijenosno ispitivalo električnih brojila u građevinama - PTS 3.3	346
8.4. Električna brojila na strojevima	349
8.4.1. Električno brojilo tipa LEM EM4T	349
9. PRAKSA I NORME IZ PODRUČJA ELEKTROINSTALACIJA	355
9.1. Razlučivost digitalnih mjernih uređaja	355
9.2. Međunarodne norme na području ispitivanja elektrotehničkih instalacija u građevinama ..	356
9.3. Popis međunarodnih i europskih norma u području elektrotehničkih instalacija u građevinama (nazivi na engleskom jeziku, sredina 2003.)	359
9.4. Popis hrvatskih norma u području elektrotehničkih instalacija u građevinama (zgradama) ..	364
9.5. Nova izdanja međunarodne norme IEC 60364	375
LITERATURA	379
KAZALO POJMOVA	381
POPIS KRATICA	389
POPIS OZNAKA	393
O autoru	397
PRILOZI	
1. Prijedlog PROTOKOLA - sigurnost strojeva s elektrotehničkom instalacijom, prema normi HRN EN 60204	399
2. Prijedlog elektrotehničkog nazivlja	401
3. Izvodi iz PRAVILNIKA O ELEKTRIČNOJ OPREMI NAMIJENJENOJ ZA UPORABU UNUTAR ODREĐENIH NAPONSKIH GRANICA	414
4. Popis tehničkih odbora (TO) Hrvatskog zavoda za norme (HZN, dio bivšeg DZNM) u vezi s elektrotehnikom (E)	421
5. Servisiranje elektrotehničke opreme	422
6. Prijedlozi nabave opreme za ispitivanje elektrotehničkih instalacija	432

PREDGOVOR

Riječ autora

Pred vama je znatno izmijenjeno i dopunjeno izdanje knjige "Ispitivanje sigurnosti elektrotehničkih instalacija", Kigen - 2005, praktički nova knjiga. Ova i ona prethodna međusobno se nadopunjaju. No, u ovoj je knjizi veća pozornost posvećena elementima teorije i prakse projektiranja, izvedbe i provjere elektrotehničkih instalacija, dakle ne samo elektrotehničkih NN instalacija u građevinama. Pod provjerom elektrotehničkih instalacija podrazumijeva se ovdje njihov pregled, osobito tijekom prvog puštanja u rad, te ispitivanje sigurnosti u redovitim vremenskim intervalima prema važećim normama i pravilnicima, tj. zakonima. Dio o primjeni suvremene mjerne opreme skraćen je, ali su i tu dane neke nove informacije, osobito gledi beskontaktnog mjerjenja temperature i termovizije.

U ovoj knjizi pokušao sam svoja znanja i iskustva sažeto predložiti ljudima koji se na bilo koji način bave elektrotehničkim i drugim instalacijama, te im dati prijedloge, ukazati na neke elemente teorije i prakse o kojima uvijek treba voditi računa, osobito kad se sigurnost i pouzdanost elektroinstalacija provjeravaju. Dakako, o normama i preporukama treba voditi dužnu brigu, pratiti ih i primjenjivati. Elektrotehničke instalacije osobno doživljavam kao krvne žile i živce u našem organizmu. One sve povezuju, napajaju, uskladjuju, upravljuju, ali ako se o njima ne brinemo dovoljno i na pravi način, mogu uzrokovati i velike probleme. To nam je svima dobro poznato, zar ne?

I u ovu knjigu utkan je dio mog života i života moje obitelji, na ovaj ili onaj način. Znam da mnogo toga i nadalje trebamo još naučiti i spoznati, a život i životna energija konačni su i s vremenom sve manji kod svakog pojedinca. Zato većina ljudi i dalje "trči" kroz život, pokušavajući ga učiniti čim više smislenim i kvalitetnim. I ova knjiga dio je moje "životne utrke". Ako pomogne mojim prijateljima i kolegama obavljati posao bolje, brže i kvalitetnije, moj trud nije bio uzaludan. Dapače.

Ova knjiga ne može se koristiti kao zamjena za odgovarajuće (navedene) norme, već treba služiti čitateljima prije svega kao podsjetnik, te kao svojevrsni vodič i priručnik.

Molim čitatelje da sve svoje dobronamjerne napomene i prijedloge šalju na e-mail adresu: zeljko.novinc@zg.t-com.hr

Unaprijed hvala.

U Zagrebu, 10. travnja 2007.

dr. sc. Željko Novinc, dipl. ing. el.

Novinc Ž.

*KNJIGU POSVEĆUJEM
SVOJOJ DJECI.*

UVOD

Prošlo je već više od stotinu godinu kako ljudi koriste blagodati električne energije. Želja da u svojim domovima i na svojim radnim mjestima uvijek imaju na raspolaganju taj snažni i sigurni oblik energije bila je ostvarena ubrzo nakon puštanja u rad prvih snažnijih generatora, [8,9, 15]. Da bi tu kvalitetnu energiju sa što manje gubitaka doveli do svakog trošila, trebalo je posebno brzo osmisliti elektrotehničku instalaciju zasnovanu na kvalitetnim vodičima, koja bi na pouzdan i siguran način dovodila električnu energiju do trošila. Dakako, ljudi su to i načinili, ali su se ubrzo susreli s problemom ispitivanja i održavanja sigurnosti tih elektrotehničkih instalacija.

Pod provjerom elektrotehničkih instalacija podrazumijeva se njihov pregled, osobito tijekom prvog puštanja u rad, te ispitivanje sigurnosti u redovitim vremenskim intervalima. Za kućanstva to je svakih 10 godina, a za privredne objekte svakih oko dvije godine, ovisno o tipu. Osobito je provjeru važno obavljati pri primopredaji objekata (građevina), zbog npr. promjene vlasnika, renoviranja i slično.

Broj parametara elektrotehničke instalacije koje je trebalo i treba redovito kontrolirati i nadzirati, bivao je iz godine u godinu sve veći, tako da danas, uz dosta znanja, treba i raspolažati doista snažnom i kvalitetnom ispitnom i mjernom opremom, kako bismo sve te elemente kvalitetno nadzirali. Osnovni parametri koje treba kontrolirati kod ispitivanja niskonaponske (NN) elektrotehničke instalacije (naponi do 1000 V AC i 1500 V DC), jesu:

- otpor uzemljenja (i specifični otpor tla),
- otpor i parametri izolacije vodiča, podova i zidova,
- parametri FID (RCD) sklopki (jakost struje i brzina aktiviranja, struja kratkog spoja i kvara, itd.),
- impedancija i/ili otpor petlje kvara,
- jakost struje i vrijeme reagiranja rastalnih i automatskih osigurača (instalacijskih prekidača),
- probojna čvrstoća dielektrika i struje odvoda (curenja, rasipanja),
- preostali napon na utikaču nekog stroja nakon isklopa iz električne mreže,
- kontrola brojila električne energije,
- temperatura svih elemenata elektrotehničke instalacije.

Autor je u ovoj knjizi želio obraditi prije svega problematiku pregleda i ispitivanja elektrotehničkih instalacija na niskom naponu, i to kako raznih instalacija u građevinama, tako i instalacija u strojevima. U kombinaciji s knjigom istog autora: **KAKVOĆA ELEKTRIČNE ENERGIJE - norme, teorija, mjerne metode, uređaji i nadzor, te primjeri i iskustva iz hrvatske prakse**, [8], pokrivena je u znatnoj mjeri problematika uporabe i kontrole električne energije i instalacija na niskom naponu (NN). U budućnosti autor planira objaviti i knjigu iz područja ispitivanja i održavanja zaštitnih sustava u elektroprivredi i industriji, čime bi bila pokrivena i problematika održavanja sigurnosti rada sustava na srednjem (SN) i visokom naponu (VN), tj. ispitivanje: zaštitnih releja na primarnoj i sekundarnoj razini, ispitivanje pretvarača, prekidača, sklopki, kabelskih glava, prenaponskih odvodnika, izolatora, monitoring transformatora i slično.

Zaštitne mjere u primjeni na niskonaponskim (NN) mrežama i instalacijama važan su dio svakog elektroenergetskog sustava. Ponajprije stoga što je svaki potrošač električne energije najčešće ovisan o distributivnoj mreži i instalaciji niskog napona, pa je potrebno osigurati pouzdano i neopasano (sigurno) korištenje svih električnih uređaja (trošila) napajanih tim mrežama. Zaštitne se mjere odnose ponajprije na zaštitu od strujnog udara kod dodira s opasnim naponima, koji se mogu pojaviti npr. u slučaju kvara na instalaciji. Zato je potrebno provoditi kvalitetno ispitivanje primjene zaštitnih mjera na elektrotehničkim instalacijama uz pomoć kvalitetnih uređaja tipa npr. UNILAP 100XE, Eurotest 61557 i sličnih, čija je namjena provjeravanje i određivanje razine sigurnosti izvedene instalacije.

Ocjenu ispravnosti instalacije treba, dakako, temeljiti ne samo na ishodu jednoga mjerenja, već na opsežnom mjerenu parametara svih dijelova instalacije i uspoređivanju vrijednosti, koje trebaju biti unutar dozvoljenih, što je definirano odgovarajućim normama i pravilnicima te zakonima. Jedna od važnijih informacija o sigurnosti električne mreže jest npr. podatak o naponu dodira (pogreške, kvara), koji prema normama mora biti manji od 50 V (odnosi se na PE vodič, tj. vodič zaštitnog uzemljenja). Potrebno je dobro upoznati sve elemente teorije glede zaštitnih mjera, koje se koriste kao zaštita od izravnog dodira te kao zaštita od neizravnog dodira. Potrebno je staviti naglasak na sustave mreža i zaštitne mjere (sklopove) na zaštitnim vodičima, čija je namjena neposredno i automatsko isklapanje izvora napona nakon nastale pogreške (kvara). Potrebno je poznavati pojmove kao što su: zaštitno uzemljenje, nulovanje, zaštitne strujne sklopke (RCD, tj. FID) te njihovu ulogu, sustav izoliranog voda, ulogu raznih tipova osigurača, kao i metode mjerenja karakterističnih veličina, npr.: otpor uzemljenja, otpor petlje i otpor izolacije, odnosno novije izraze i pojmove kao što su: automatski isklop napajanja u TN-, TT- i IT-sustavima (mrežama), SELV, PELV, FELV i slične.

U knjizi su iscrpno opisane metode mjerenja raznih parametara NN električne mreže, dan je detaljan opis svih mogućnosti mjerjenja uređajima koje je autor odabrao kao reprezentativne na ovom području mjerjenja. Detaljno su opisani i svi elementi mjerjenja: napona, frekvencije, otpora, te određivanje smjera okretnog polja, ispitivanje vodljivosti, zatim mjerjenje otpora vodiča zaštitnog uzemljenja (PE, engl. protective earth), otpora petlje, te provjera zaštitnih strujnih sklopki itd. Također je opisana i pravilna uporaba ispitnih uređaja pri svakom mjerenu, zatim su objašnjene neke poruke na zaslонu mjernih uređaja u slučaju pogreške pri radu ili kvara, te su na kraju svih poglavila dani i tehnički podaci o odabranim mjernim uređajima. Namjera autora nije bila promicati neke od uređaja, već ukazati čitateljima na koje parametre valja obratiti pozornost kod ispitivanja sigurnosti elektrotehničkih instalacija (EI) i odabira pravog ispitnog i mjernog uređaja. Dani su i osnovni elementi provjere, projektiranja EI, norma, teorije, prakse, mjernih metoda i uređaja.

Ova knjiga ne može se koristiti kao zamjena za odgovarajuće (navedene) norme, već treba služiti čitateljima prije svega kao podsjetnik, te kao svojevrsni vodič i naputak.

Sve navedene dimenzije orientirne su i danas vrijede, no, treba ih provjeravati u normama koje dolaze.

1. ELKTROTEHNIČKE INSTALACIJE

1.1. Elektrotehničke instalacije i rasvjeta - neki elementi iz teorije i prakse

U nama dostupnoj našoj stručnoj literaturi nije do sada na sasvim prikladan način obrađena problematika elektrotehničkih instalacija i rasvjete, a željeli smo pomoći našim stručnjacima (ponajprije elektroinstalaterima), učenicima i nastavnicima u školama, u kojima se nastava odvija prema novom programu za zanimanja električar, elektroinstalater, elektromonter i sl., koji je razrađen u okviru npr. programa PHARE VET, Bolonjskog procesa i sličnih. Ovo poglavlje je uz odobrenje autora [16] Amir Halep, Elektrotehničke instalacije i rasvjeta u biti prijevod pojedinih poglavlja iz navedene knjige, uz izmjene i dopune, sukladno normama u Hrvatskoj.

Elektrotehničke instalacije izvode se u stambenim građevinama, poslovnim prostorima, industriji, poljoprivrednim dobrima, gradilištima itd. Postoje, kao što je poznato, sljedeće vrste elektrotehničkih instalacija: elektroenergetske, gromobranske munjovodne (LPS), informatičko-telekomunikacijske i signalne. Elektroenergetske instalacije izvode se kako bi se osiguralo napajanje trošila električnom energijom. Gromobraska instalacija postavlja se u cilju zaštite ljudi i građevina od štetnog djelovanja atmosferskog električnog pražnjenja. Telekomunikacijske instalacije omogućavaju prijenos informacija (podataka).

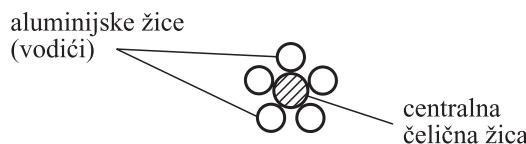
Postoje sljedeće vrste informatičko-telekomunikacijskih instalacija: telefonske instalacije, instalacije interfona, instalacije zajedničkih radijskih i TV-antena, instalacije kabelske televizije, instalacije razglosa, instalacije računalnog sustava, instalacije središnjeg sustava sata itd. U signalne instalacije pripadaju: instalacije električnog zvonca, instalacije protupožarnog sustava, instalacije protuprovalnog sustava i instalacije poziva u hotelima i bolnicama. Kao što se vidi, signalne i informatičko-telekomunikacijske instalacije srodne su pa je očekivano da daljim razvojem tehnike dođe do njihova integriranja. Elektroenergetske i gromobranske instalacije pripadaju u skupinu instalacija "jake struje", dok se telekomunikacijske i signalne instalacije ubrajaju u instalacije "slabe struje". Iako ova podjela nije više uobičajena, vrlo često se susreće u praksi.

1.1.1. Elektroinstalacijski materijal i pribor

1.1.1.1. "Goli" vodiči

"Goli" metalni vodiči su žice i šipke različitih oblika i presjeka, bez izolacije. Upotrebljavaju se u električnim postrojenjima i za izvedbu nadzemnih zračnih mreža. U postrojenjima se najčešće koriste pravokutne bakrene šipke (sabirnice) za električno povezivanje elemenata postrojenja. Za izradu nadzemnih telefonskih mreža koriste se bakrene žice, a za elektroenergetske nadzemne mreže vodiči od alučela. Alučel je kombinacija čeličnih i aluminijskih žica.

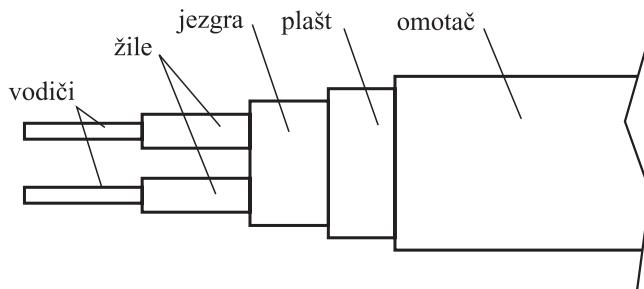
Čelične žice imaju veliku zateznu čvrstoću, a aluminijске su dobri vodiči, tako da alučel predstavlja dobru kombinaciju. Presjek alučelnih vodiča prikazan je na slici 1.1.1.



Slika 1.1.1 - Presjek alučelnih vodiča

1.1.1.2. Kabeli i kabelski pribor

Kabeli (vodiči) služe za napajanje trošila električnom energijom i za prijenos električnih odnosno optičkih signala. Električni signali prenose se bakrenim vodičima, dok se optički signali vode kroz stakleno vlakno. Optički kabeli su u sve široj upotrebi u komunikacijama. Konstrukcijski elementi kabela prikazani su na slici 1.1.2.

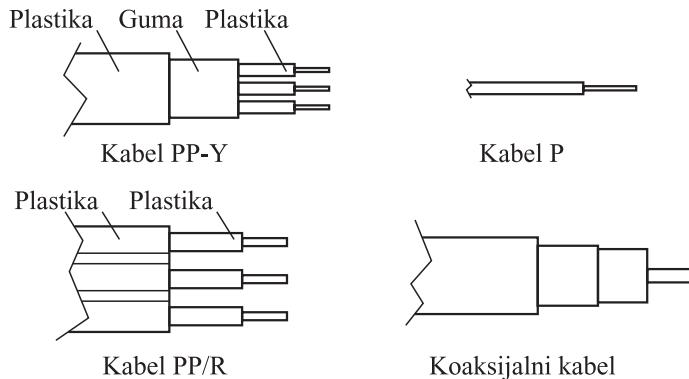


Slika 1.1.2 - Konstrukcijski elementi kabela

Vodiči s izolacijom zovu se najčešće "žile". Cjelina od nekoliko žila zove se "jezgra". Plašt se postavlja u cilju zaštite jezgre. Plašt se izrađuje od gume, PVC-a ili metala. Omotač je mehanička zaštita kabela. Kod telekomunikacijskih kabela žile se formiraju u "parice" i "četvorku". Dvije žile čine paricu, a četiri četvorku. Vodiči mogu biti puni i pleteni od više tanjih žica. Za pomicna trošila obvezno se upotrebljavaju pleteni vodiči. Danas se koriste sljedeći izolacijski materijali: guma, polivinilklorid (PVC), polietilen i silikonske gume, a ima i drugih materijala. Kabeli izolirani gumom koriste se za napajanje pomicnih trošila. Kabeli izolirani polivinilkloridom u najširoj su upotrebi. Polivinilklorid gori samo ako je iznad plamena, ali se plamen ne širi. Polietilen ima sva dobra svojstva polivinilklorida, a uz to ima veću otpornost na povišene temperature. Silikonske gume koristi se za izolaciju kabela koji napajaju grijače i drugdje gdje je prisutna visoka temperatura. Kompletna oznaka kabela prema valjanoj HR normi ima sedam dijelova, ali u praksi se najčešće koriste skraćene oznake. Npr. kabel sa tri žile presjeka vodiča $2,5 \text{ mm}^2$ izoliran polivinilkloridom označava se npr. kao:

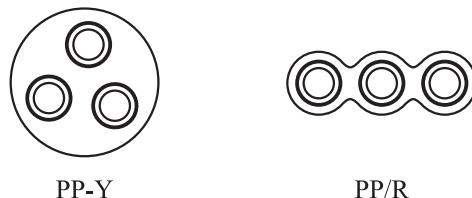
PP-Y $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$.

Kako je vidljivo, prvi dio oznake odnosi se na vrstu izolacije, a drugi na broj i presjek vodiča. Najčešće upotrebljavani kabeli su: P/L, GG/J, P, P/F, PP-Y, PP/R, PP 00, PP41, PP 44, TI, Y(St)Y, X 00-A, X 00/0-A i koaksijalni kabeli (slika 1.1.3).



Slika 1.1.3 - Najčešće upotrebljavani kabeli su: P/L, GG/J, P, P/F, PP-Y, PP/R, PP 00, PP41, PP 44, TI, Y(St)Y, X 00-A, X 00/0-A i koaksijalni kabeli

Kabel P/L upotrebljava se za napajanje pomičnih trošila manje snage, kao što su to npr. stolne svjetiljke, radio-aparati itd. Sadrže dvije žile sa pletenim vodičima. Za napajanje pomičnih trošila, kao što su npr. električni štednjaci, miješalice i sl. koriste se kabeli GG/J. Sadrže tri ili pet žila, ovisno o tome da li napajaju jednofazna ili trofazna trošila. Kabel P ima jednu žilu s punim vodičem, a koristi se za označenje u elektroormarima. Kabel P/F ima jednu žilu s pletenim finožičnim vodičem, a najčešće se koristi za galvansko izjednačavanje potencijala. Kabeli tipa PP-Y i PP/R koriste se za izvedbu elektrotehničkih instalacija niskog napona. Kabel PP-Y je okruglog, a PP/R plosnatog presjeka. Kabel PP-Y je kvalitetniji u odnosu na PP/R (slika 1.1.4). Nova norma HD 361S3: 2001 ima druge oznake.



Slika 1.1.4 - Kabel PP-Y je kvalitetniji u odnosu na PP/R

Kabel PP/R ne smije se koristiti u vlažnim prostorijama, kao što su to npr. kupaonice i podrumi, i ne smije se niti postavljati izravno na drvo. Kabel PP-Y smije se koristiti u vlažnim prostorijama i smije se postavljati izravno na drvo. Kabeli PP-Y i PP/R izrađuju se kao trožilni i peterožilni. Trožilni se koriste za napajanje monofaznih, a peterožilni trofaznih trošila. Kod trožilnog kabela izolacija faznog vodiča (L) je crne boje, izolacija neutralnog vodiča (N) je plave, a zaštitnog vodiča (PE) žuto-zelene boje.

Peterožilni kabel ima još dva fazna vodiča, jedan smeđe i jedan crne boje. S obzirom da kod peterožilnog kabela imamo dvije crne žile, one se razlikuju tako što je jedna na obodu, a druga u sredini kabela.

Kabel PP-Y ne smije biti izložen izravnom sunčevom svjetlu. Tamo gdje je prisutno direktno djelovanje sunčevih zraka koristi se kabel PP 00. Za kabel PP-Y koriste se i oznake PGP i NYM. Kabeli PP 00, PP 41 i PP 44 koriste se za napajanje trošila većih snaga. Kabel PP 00 ima plašt i omotač od polivinilklorida, dok PP 41 i PP 44 imaju ispod plašta metalne omotače, što ih čini daleko otpornijim na mehanička naprezanja. Kabel PP 44 ima omotač od pocinčane žice, što ga čini otpornim na agresivne sredine, tako da se može polagati u rijeke i more. Druga oznaka za kabel PP 00 je NYY. Kabel TI koristi se za izvedbu telefonskih instalacija, a Y(St)Y za prijenos podataka brzinom do 10 Mbit/s. Za visoke brzine prijenosa podataka koriste se osmožilni kabeli UTP, FTP i STP. Kabeli X 00-A i X 00/0-A imaju vodič od aluminija, a izolaciju od polietilena. Kabel X 00/0-A, za razliku od X 00-A, ima nosivo uže. Oni predstavljaju samonosive kabelske snopove (SKS) i koriste se za niskonaponske nadzemne mreže i za nadzemne kućne priključke. Koaksijalni kabeli impedancije 75Ω koriste se za antenske instalacije i kod pojedinih vrsta računalnih mreža, [16].

Zbog protjecanja električne struje kroz vodič dolazi do zagrijavanja vodiča i njihove izolacije. To je osobito štetno u slučaju kratkih spojeva, kada kroz kable teku veoma jake struje, uslijed kojih može doći i do izgaranja izolacije. Vrijeme u kojem smije teći struja kratkog spoja, a da ne dođe do oštećenja kabela, računa se prema jednadžbi:

$$t_z = \left(\frac{k \times A}{I_{KS}} \right)^2 [s], \quad (1.1.1)$$

gdje je:

A [mm^2] - presjek vodiča

I_{KS} [A] - struja kratkog spoja

k - koeficijent, ovisan o vrsti kabela.

Energija zagrijavanja vodiča računa se pomoću jednadžba:

$$E = I_{KS}^2 \times R \times t_z = I_{KS}^2 \times \frac{\rho \times l}{A} \times t_z \quad [\text{J}], \quad (1.1.2)$$

$$E = c \times I \times A \times \Delta T \quad [\text{J}],$$

gdje je:

E - energija zagrijavanja

ρ - specifični otpor vodiča

l - duljina vodiča

A - presjek vodiča

c - specifična toplina vodiča

ΔT - dozvoljeno povećanje temperature vodiča.

Iz navedene dvije jednadžbe dobiva se vrijeme zagrijavanja, tj. trajanje kratkog spoja, t_z :

$$\frac{I_{KS}^2 \times \rho \times l \times t_z}{A} = c \times l \times A \times \Delta T \quad (1.1.3)$$

$$t_z = \frac{c \times \Delta T}{\rho} \times \frac{A^2}{I_{KS}^2} \quad [\text{s}]$$

$$t_z = \left(\frac{k \times A}{I_{KS}} \right)^2 \quad [\text{s}] \quad k = \sqrt{\frac{c \times \Delta T}{\rho}}$$

Koeficijenti za bakrene vodiče iznose:

$k = 115$ za izolaciju od polivinilklorida (PVC)

$k = 134$ za izolaciju od gume

$k = 143$ za izolaciju od polietilena.

Zaštitni uređaj (osigurač ili sl.) mora reagirati u vremenu kraćem od t_z , da se izolacija kabela ne ošteti.

U ovoj analizi treba imati u vidu i norme:

- IEC 60724,
- HRN HD 384.4.43S2
- HRN HD 384.5.54S1 .

Primjer:

Bakreni kabel izoliran polivinilkloridom s presjekom $A = 50 \text{ mm}^2$ opterećen je strujom kratkog spoja $I_{KS} = 5 \text{ kA}$. Izračunati koliko je maksimalno dozvoljeno trajanje kratkog spoja.

Rješenje:

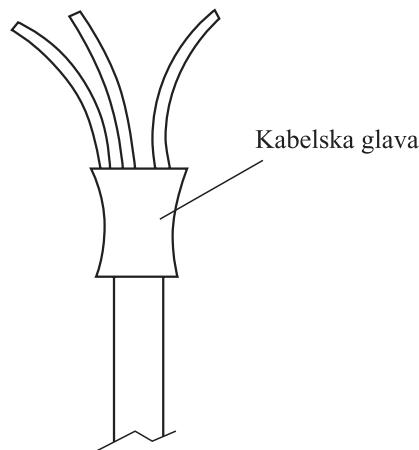
$$t_z = \left(\frac{k \times A}{I_{KS}} \right)^2 = \left(\frac{115 \times 50}{5000} \right)^2 = 1,32 \quad [\text{s}]$$

Kabel u ovom primjeru smije biti u kratkom spoju najduže 1,32 sekunde.

Kabelski pribor čine sljedeći elementi:

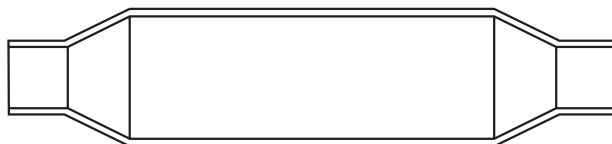
1. kabelske kape
2. kabelske glave
3. kabelske spojnice
4. kabelske papučice (stopice)
5. spojne čahure
6. kabelske obujmice
7. kabelske uvodnice.

Kabelske kape upotrebljavaju se kao privremena zaštita krajeva kabela od prodora vlage, koja može štetno utjecati na izolaciju kabela. Izrađuje se od tzv. "kabelske mase", kojom se zalijava kraj kabela. Kabelska glava je trajna zaštita kraja kabela od prodora vlage, a ujedno omogućava da se krajevi kabela otvore i žile pripreme za spajanje. Na slici 1.1.5 prikazan je kraj kabela s kabelskom glavom.



Slika 1.1.5 - prikaz kraja kabela s kabelskom glavom

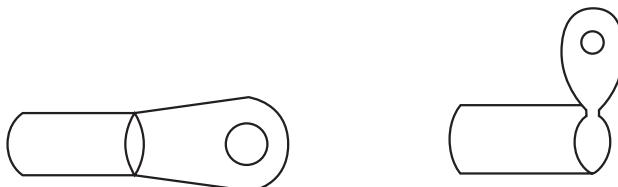
Kabelske spojnice upotrebljavaju se za spajanje kabela. Dugo vremena bile su u upotrebi metalne spojnice, a danas se sve više koriste spojnice od smolastih masa. Presjek metalne spojnice dan je na slici 1.1.6.



Slika 1.1.6 - Presjek metalne spojnice

Spajanje vodiča obavlja se tvrdim lemljenjem ili kabelskim čahurama, nakon čega se spojica zaljeva kabelskom masom za izolaciju. Kod spojnice od smolastih masa ne obavlja se zalijevanje. Postoje toploskupljajuće i hladnoskupljajuće spojnice od smolastih masa. Toploskupljajuće spojnice se zagrijavanjem plinskim plamenikom sljepljuju za kabel. Sljepljivanje hladnoskupljajućih spojница obavlja se kemijskim putem.

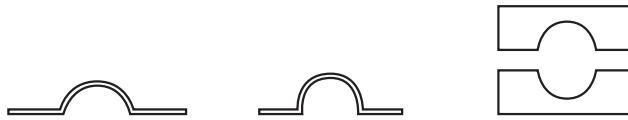
Kabelske papučice (stopice) koriste se za spajanje kabela u elektroormarima. Postoji ravna papučica i papučica za spajanje pod pravim kutom, kao što je to prikazano na slici 1.1.7.



Slika 1.1.7 - Ravna papučica i papučica za spajanje pod pravim kutom

Spojne čahure služe za spajanje vodiča. Dva kraja vodiča uvlače se u čahuru, a zatim se klještimi obavlja stiskanje čahure, čime se ostvaruje spoj vodiča.

Kabelske obujmice upotrebljavaju se za postavljanje vodiča na zidove, stropove, užad i metalne konstrukcije. Izrađuju se od metala i plastike, a učvršćuju se čavlima, vijcima, lijepljenjem i savijanjem. Na slici 1.1.8 prikazane su različite konstrukcije obujmica.



Slika 1.1.8 - Prikaz različitih konstrukcija obujmica

Za učvršćivanje kabela na metalne šipke koriste se savitljive obujmice izrađene od limene trake presvučene plastikom.

Kabelske uvodnice služe za uvođenje kabela u elektroormare. Izrađuju se od metala i plastične, a uloga im je daštite izolaciju kabela od oštećenja i da omoguće brtvljenje uvoda kabela u ormar.

1.1.1.3. Pad napona i strujno opterećenje kabela

Odabir presjeka kabela obavlja se prema dva kriterija: prema padu napona na kabelu i prema strujnom opterećenju kabela. Usporedimo li vodič s vodovodnom cijevi, pad napona može se usporediti s padom tlaka, a strujno opterećenje s protokom. Ako kroz previše tanku cijev pokušamo propustiti veliku količinu vode, doći će do pucanja cijevi. Analogno tome, ako kroz previše tanak vodič pokušamo propustiti jaku struju, doći će do pregorijevanja vodiča. Osim toga, pri proračunu strujnog opterećenja, s obzirom da nije svejedno je li trošilo stalno u pogonu ili samo povremeno, vodi se računa i o stalnosti rada trošila te o ukupnom opterećenju trošila. Prema valjanim propisima dozvoljen je pad napona 3 posto na kabelima koji napajaju rasvjetu, a 5 posto za sva ostala trošila. Postotni pad napona računa se prema jednadžbi:

$$u = \frac{\Delta U}{U} \times 100 \quad [\%] \quad (1.1.4)$$

gdje je:

ΔU [V] - apsolutni pad napona

U [V] - napon izvora.

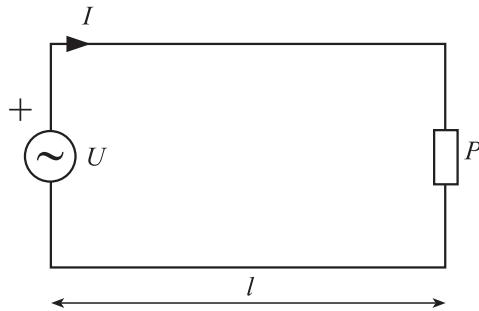
Primjer:

Izračunati postotni pad napona koji napaja rasvjetu, ukoliko je apsolutni pad napona $\Delta U = 11,83$ V, a mrežni napon $U = 400$ V.

Rješenje:

$$u = \frac{\Delta U}{U} \times 100 = \frac{11,83}{400} \times 100 = 2,958 \% < 3 \%$$

Promatrajmo jedno jednofazno trošilo (slika 1.1.9).



Slika 1.1.9 - Jednofazno trošilo

Apsolutni (ΔU) i postotni pad napona ($u \%$) na vodiču računaju se prema jednadžbama:

$$\Delta U = R \times I = R \times \frac{P}{U} = \frac{2 \times l \times \rho}{A} \times \frac{P}{U} \quad [\text{V}] \quad (1.1.5)$$

$$u = \frac{\Delta U}{U} \times 100 = \frac{200 \times l \times P \times \rho}{U^2 \times A} \quad [\%]$$

gdje je:

- R [Ω] - otpor vodiča
- I [A] - struja u vodiču
- P [W, kW] - snaga trošila
- l [m] - duljina vodiča
- ρ [$\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$] - specifični otpor vodiča
- A [mm^2] - presjek vodiča.

Ako se snaga uvrštava u kW te ako još uvrstimo specifične otpore bakra i aluminija, dobivamo jednadžbe za proračun pada napona na jednofaznim kabelima (vodičima), npr. pri naponu $U = 220/230\text{V}$:

$$u = \frac{0,0741 \times l \times P}{A} \quad [\%] \quad - \text{bakar} \quad (1.1.6)$$

$$u = \frac{0,119 \times l \times P}{A} \quad [\%] \quad - \text{aluminij.}$$

Istim postupkom dobivaju se i jednadžbe za trifazni sustav linijskog napona 380/400 V:

$$u = \frac{0,0124 \times l \times P}{A} \quad [\%] \quad - \text{bakar} \quad (1.1.7)$$

$$u = \frac{0,02 \times l \times P}{A} \quad [\%] \quad - \text{aluminij.}$$

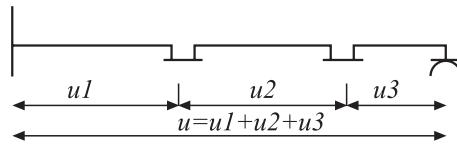
Primjer:

Izračunati postotni pad napona na trofaznom bakrenom kabelu presjeka $A = 120 \text{ mm}^2$ i duljine 160 m, koji napaja trošilo snage $P = 116 \text{ kW}$.

Rješenje:

$$u = \frac{0,0124 \times l \times P}{A} = \frac{0,0124 \times 160 \times 116}{120} = 1,92 \% < 5 \%$$

Ako kabel napaja više trošila, pad napona na kraju vodiča računa se kao zbroj padova napona na pojedinim dionicama (slika 1.1.10).



Slika 1.1.10 - Ako kabel napaja više trošila, pad napona na kraju vodiča računa se kao zbroj padova napona na pojedinim dionicama

Za računanje struja jednofaznih i trofaznih trošila koriste se jednadžbe:

$$I = \frac{P}{U_f \times \cos\varphi} \quad [\text{A}] \quad - \text{jednofazno trošilo} \quad (1.1.8)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_l \times \cos\varphi} \quad [\text{A}] \quad - \text{trofazno trošilo}$$

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

gdje je:

- P [W] - snaga trošila
- $\cos\varphi$ - faktor snage trošila
- U_f - fazni napon
- U_l - linijski napon.

Primjer:

Izračunati struju jednofaznog trošila snage $P = 2500 \text{ W}$, faktora snage $\cos\varphi = 0,7$, pri faznom naponu $U_f = 230 \text{ V}$.

Rješenje:

$$I = \frac{P}{U_f \times \cos\varphi} = \frac{2500}{230 \times 0,7} = 15,53 \quad [\text{A}]$$

Primjer:

Izračunati struju trofaznog trošila snage 116 kW, faktora snage 1,0 pri linijskom naponu 400 V.

Rješenje:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_l \times \cos\varphi} = \frac{116000}{\sqrt{3} \times 400 \times 1,0} = 167,4 \text{ [A]}$$

Ovako izračunana struja mora se podijeliti faktorima korekcije, ako se polaže više kabela u kabelskom kanalu i ako temperatura okoline odstupa od 30 °C. Korigirana vrijednost struje računa se prema jednadžbi:

$$I_Z = \frac{I}{k_1 \times k_2} \quad [A] \quad (1.1.9)$$

Korekcijski faktor za broj kabela u kabelskom kanalu k_1 dan je u tablici 1.1.1.

Tablica 1.1.1

BROJ KABELA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_1	1,00	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60

Korekcijski faktor za temperaturu okoline dan je u tablici 1.1.2.

Tablica 1.1.2.

°C	15	20	25	30	35	40	45
k_2	1,15	1,10	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82

Tu je potrebno i konzultirati normu HRN HD 384.5.523S2, jer koeficijenti k_1 i k_2 ovise i o izolaciji kabela.

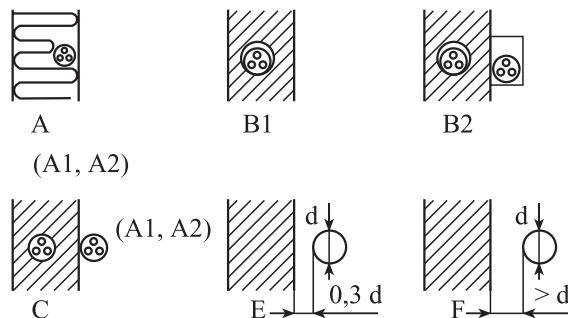
Kada je u pitanju napajanje elektromotora, korigirana struja dodatno se uvećava za 50 posto. To je potrebno zbog činjenice da elektromotori pri uklapanju povlače nekoliko puta jače struje nego pri normalnom pogonu. Za tako određenu struju motora očitava se potreban presjek u tablici propisanoj normom HRN HD 384.5.523S2 (DIN VDE 0298 T4, JUS N B2 752). Navedena tablica ima šest stupaca za jednofazna i šest stupaca za trofazna trošila. Npr., za kabel PP-Y 3x1,5 mm², koji napaja jednofazna trošila imaju se dozvoljene struje prema tablici 1.1.3.

Tablica 1.1.3.

UVJETI	A	B1	B2	C	E	F
I [A]	15,5	17,5	15,5	19,5	20	20

Prvi stupac je označen slovom A i odnosi se na vodiče instalirane u termoizoliranim zidovima i kanalima. Drugi stupac, B1, odnosi se na kabele instalirane u instalacijskoj cijevi ili kanalu unutar zida od betona ili cigle. Stupac B2 odnosi se na kabele instalirane u instalacij-

skoj cijevi ili kanalu, koji su montirani na zid. Stupac C odnosi se na kabele instalirane na zid ili u zid od betona ili cigle bez instalacijskih cijevi. Stupac E odnosi se na kabele u zraku, udaljene minimalno za 1/3 debljine (promjera) kabela od zida. Posljednji, stupac F, odnosi se na kabele u zraku udaljene od zida minimalno za jedan promjer kabela (slika 1.1.11).



Slika 1.1.11 - Kada je u pitanju napajanje elektromotora korigirana struja dodatno se uvećava za 50 posto. Za određenu struju motora očitava se potreban presjek u tablici propisanoj normom DIN VDE 0298 T4

Normom DIN VDE 0100 T430 predviđena je iznimka za kabele koji napajaju trofazne protočne bojlere. Za napajanje trofaznih protočnih bojlera vrijedi tablica 1.1.4.

Tablica 1.1.4.

A [mm ²]	A	B1	B2	C	E	F
4	-	-	-	40 A	40 A	40 A
6	40 A	40 A	40 A	50 A	50 A	50 A
10	50 A	-	-	-	-	-

Primjer:

Odrediti potreban presjek jedne žile trofaznog bakrenog kabela za napajanje jednofazne utičnice 16 A, ako se kabel instalira podžbukno u juvidur-cijev, uz temperaturu okoline do 40 °C. Ukupna duljina kabela je 17 m.

Rješenje:

Dozvoljen postotni pad napona je $u = 5 \%$, tako da minimalan presjek kabela mora biti:

$$A \geq \frac{0,0741 \times l \times P}{u} = \frac{0,0741 \times l \times U \times I \times 10^{-3}}{u} = \frac{0,0741 \times 17 \times 230 \times 16 \times 10^{-3}}{5} = 0,927 \approx 1 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Korigirana vrijednost struje je:

$$I_z = \frac{I}{k_1 \times k_2} = \frac{16}{1 \times 0,88} = 18,2 \text{ [A]}$$

Kabel instaliran podžbukno u juvidur-cijev pripada u skupinu B1. Iz tablice očitavamo da struji 18,2 A odgovara kabel presjeka $2,5 \text{ mm}^2$.

Primjer:

Odrediti kabel za napajanje elektromotora snage $P = 7,5 \text{ kW}$ s iskorištenjem $\eta = 0,82$ i faktorom snage $\cos \varphi = 0,80$. Duljina kabela je $l = 35 \text{ m}$, a instalira se na kabelskom regalu u skupini od šest kabela na temperaturi okoline do 40°C .

Rješenje:

Električna snaga motora je:

$$P_{el} = \frac{P}{\eta} = \frac{7,5}{0,82} = 9,1 \quad [\text{kW}]$$

Dozvoljeni postotni pad napona je $u = 5\%$, tako da minimalni presjek kabela mora biti:

$$A \geq \frac{3 \times 0,0124 \times l \times P_{el}}{u} = \frac{3 \times 0,0124 \times 35 \times 9,1}{5} = 2,37 \quad [\text{mm}^2]$$

Koefficijent 3 je stavljen radi uvećanja za tri puta zbog jače struje pri pokretanju.

Struja motora je:

$$I = \frac{P_{el}}{\sqrt{3} \times U_l \times \cos \varphi} = \frac{9100}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,80} = 16,42 \quad [\text{A}]$$

Korigirana vrijednost struje je:

$$I_Z = \frac{I}{k_1 \times k_2} = \frac{16,42}{0,65 \times 0,88} = 28,7 \quad [\text{A}]$$

Tu vrijednost struje uvećavamo za 50 posto:

$$I_{Zl} = 1,5 \times I_Z = 1,5 \times 28,7 = 43,05 \quad [\text{A}]$$

Kabel instaliran na kabelskom regalu pripada skupini B2.

Iz tablice očitavamo da struji $I = 43,05 \text{ A}$ odgovara presjek 10 mm^2 .

Primjer:

Odrediti kabel za napajanje elektromotora snage $P = 7,5 \text{ kW}$ s iskorištenjem $\eta = 0,86$ i faktorom snage $\cos \varphi = 0,84$. Duljina kabela je $l = 15 \text{ m}$, a instalira se nadžbukno na temperaturi okoline do 35°C .

Rješenje:

Električna snaga motora je:

$$P_{el} = \frac{P}{\eta} = \frac{7,5}{0,86} = 8,7 \quad [\text{kW}]$$