



ELEKTROTEHNIŠKO DRUŠTVO MARIBOR



Radenci, 28. marec 2019

**IZOBRAŽEVANJE S PODROČJA
MOČNOSTNE ELEKTROTEHNIKE
IN SODOBNIH ELEKTRIČNIH
INŠTALACIJ**

ELEKTROTEHNIŠKO DRUŠTVO MARIBOR



40. KOTNIKOVI DNEVI

**IZOBRAŽEVANJE S PODROČJA
MOČNOSTNE ELEKTROTEHNIKE
IN SODOBNIH ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ**

RADENCI, 2019

Posvetovanje:

40. KOTNIKOVI DNEVI
Radenci - Hotel Radin, 28. marec 2019

Organizator:

ELEKTROTEHNIŠKO DRUŠTVO MARIBOR
Glavni trg 17 b, 2000 Maribor

Predsednik ED:

mag. Gerhard ANGLEITNER

Urednik:

mag. Marjan ZORMAN

Avtorji referatov:

1. *Jože Unk , Katarina Seliger*
2. *Ervin Seršen*
3. *Marko Kotnik*
4. *mag. Darko Koritnik*
5. *mag. Dejan Matvoz*
6. *mag. Mitja Koprivšek*
7. *mag. Bogomil Jelenc*
8. *mag. Miran Horvat*
9. *mag. Andrej Orgulan*
10. *mag. Drago Pavlič*

*Oblikovanje in računalniška obdelava
zbornika povzetkov in referatov:*

Bogomir VEBER

Zbornik: www.ed-mb.si

Geslo za prenos zbornika: edmb2019

***Vse pravice pridržane. Ponatis celote ali posameznih delov je dovoljen samo z dovoljenjem
organizatorja in vedno z navedbo vira***

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

621.3(082)

KOTNIKOVI dnevi (40 ; 2019 ; Radenci)

Izobraževanje s področja močnostne elektrotehnike in sodobnih električnih inštalacij [Elektronski vir] / 40.
Kotnikovi dnevi, Radenci, [28. marec 2019] ; [urednik Marjan Zorman] ; [organizator] Elektrotehniško društvo
Maribor. - El. zbornik. - Maribor : Elektrotehniško društvo, 2019

Način dostopa (URL): www.ed-mb.si

ISBN 978-961-93635-6-0

1. Zorman, Marjan 2. Elektrotehniško društvo (Maribor)

COBISS.SI-ID 96245505

ISBN 978-961-93635-6-0



9 789619 363560 >



VSEBINA

UVOD mag. Rudi Zorko

Poročilo za leto 2018 in plan dela EZS v letu 2019

1. **Jože Unk , Katarina Seliger**

PREVAJANJE STANDARDOV IN UPORABA EZS GLOSARJA KOT PRIPOMOČKA PRI PREVAJANJU ELEKTROTEHNIŠKIH BESEDIL I

2. **Ervin Seršen**

NEAKTIVNOST ELEKTROTEHNIŠKE STROKE NA PODROČJU ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ II

3. **Marko Kotnik**

ZGODE IN NEZGODE PRI IZVAJANJU ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ III

4. **mag. Darko Koritnik**

SELEKTIVNOST PRETOKOVNIH ZAŠČIT V ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH IV

5. **mag. Dejan Matvoz**

PRIKLJUČEVANJE ELEKTRARN Z ZAHTEVAMI RFG VI

6. **mag. Mitja Koprivšek**

NOVE STIKALNE REŠITVE V BATERIJSKIH HRANILNIKIH ELEKTRIČNE ENERGIJE VI

7. **mag. Bogomil Jelenc**

ČETRТА INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA V ENERGETIKI, MASIVNI PODATKI IN UMETNA INTELIGENCA (BIG DATA & ARTIFICIAL INTELLIGENCE) VII

8. **mag. Miran Horvat**

MERITVE NN/SN KABLOV Z MERILNIM VOZILOM VIII

9. **mag. Andrej Orgulan**

FLIKER IN STROBOSKOPSKI POJAV PRI UPORABI LED SVETILK V NOTRANJI RAZSVETLJAVI IX

10. **mag. Drago Pavlič**

NOVOSTI IN SPREMEMBE PRI PRENOVI PRAVILNIKA IN TEHNIČNE SMERNICE ZA NIZKONAPETOSTNE INŠTALACIJE X

40. KOTNIKOVI DNEVI Radenci – Hotel Radin, 28. marec 2019

ORGANIZATOR:

ELEKTROTEHNIŠKO DRUŠTVO MARIBOR
Glavni trg 17 b, 2000 Maribor

NAMEN:

Posvetovanje - dopolnilno izobraževanje je namenjeno strokovnjakom elektroenergetike s področja vzdrževanja, projektiranja, investicijske dejavnosti, predavateljem strokovnih šol in zainteresirani javnosti.

Referenčne teme za leto 2019:

- ♦ *Alternativni viri električne energije in njihovo vključevanje v elektroenergetske sisteme,*
- ♦ *Novi standardi SIST na področju električnih instalacij in njihova uporaba v praksi,*
- ♦ *Problematika, izkušnje, pomanjkljivosti pri uporabi obstoječih veljavnih standardov,*
- ♦ *Predstavitev velikih tehnoloških projektov in novosti s področja električnih instalacij,*
- ♦ *Vpliv porabnikov na kakovost napetosti in toka v električnih instalacijah,*
- ♦ *Učinkovita raba inteligentnih električnih instalacij, dosedanje izkušnje, investitorjev,*
- ♦ *Uporaba in vpliv LED razsvetljave na električne instalacije,*
- ♦ *Delo pod napetostjo na nizkonapetostnih instalacijah in vzdrževanje,*
- ♦ *Ekologija na področju elektroenergetike, vplivi na okolje.*

Pobude za reševanje aktualne problematike iz razprav udeležencev in predavateljev posredujemo, v smislu zaključkov posvetovanja, ustreznim državnim institucijam.

*Vsem udeležencem, ki so pooblaščen inženirji in aktivni člani Inženirske zbornice Slovenije (IZS), bo organizator usposabljanja uredil dodelitev kreditnih točk. Udeleženci bodo prejeli **štiri (4) točke** iz izbirnih vsebin, za usposabljanje v smislu Splošnega akta o stalnem poklicnem usposabljanju pooblaščenih inženirjev. Seznam in potrdilo udeležbe aktivnih in pasivnih pooblaščenih inženirjev na usposabljanju, bo organizator dostavil IZS.*

V avli hotela prikaz proizvodnih programov s področja električnih inštalacij, merilnih inštrumentov in opreme za elektroenergetske naprave

ORGANIZACIJSKI ODBOR:

*mag. Marjan Zorman
mag. Gerhard Angleitner
Bogomir Veber
mag. Darko Koritnik
Matjaž Miklavčič
Drago Černoga
Aleksander Obrecht
Franjo Lavrenčič
Štefan Lutar*



ČETRTEK 28. 03. 2019



Radenci, 28. marec 2019

09.30 ZAČETEK POSVETOVANJA

UVOD

09.30 ZAČETEK POSVETOVANJA

UVOD mag. Rudi Zorko

Poročilo za leto 2018 in plan dela EZS v letu 2019

10.00 - 12.30

PREDSTAVITEV REFERATOV

1. *Jože Unk, Katarina Seliger*

PREVAJANJE STANDARDOV IN UPORABA EZS
GLOSARJA KOT PRIPOMOČKA PRI PREVAJANJU
ELEKTROTEHNIŠKIH BESEDIL

2. *Ervin Seršen*

NEAKTIVNOST ELEKTROTEHNIŠKE STROKE NA
PODROČJU ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ

11.00 - 11.15

ODMOR ZA KAVO

3. *Marko Kotnik*

ZGODE IN NEZGODE PRI IZVAJANJU ELEKTRIČNIH
INŠTALACIJ

4. mag. *Darko Koritnik*

SELEKTIVNOST PRETOKOVNIH ZAŠČIT V ELEKTRIČNIH
INŠTALACIJAH

5. mag. *Dejan Matvoz*

PRIKLJUČEVANJE ELEKTRARN Z ZAHTEVAMI RFG

12.30 - 13.30 KOSILO

13.30 - 16.00

PREDSTAVITEV REFERATOV

6. mag. *Mitja Koprivšek*

NOVE STIKALNE REŠITVE V BATERIJSKIH
HRANILNIKIH ELEKTRIČNE ENERGIJE

7. mag. *Bogomil Jelenc*

ČETRТА INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA V ENERGETIKI,
MASIVNI PODATKI IN UMETNA INTELIGENCA
(BIG DATA & ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

8. mag. *Miran Horvat*

MERITVE NN/SN KABLOV Z MERILNIM VOZILOM

9. mag. *Andrej Orgulan*

FLIKER IN STROBOSKOPSKI POJAV PRI UPORABI
LED SVETILK V NOTRANJI RAZSVETLJAVI

10. mag. *Drago Pavlič*

NOVOSTI IN SPREMEMBE PRI PRENOVI
PRAVILNIKA IN TEHNIČNE SMERNICE ZA
NIZKONAPETOSTNE INŠTALACIJE

9.00 - 16.00

PREDSTAVITEV PROIZVODNEGA PROGRAMA

V avli hotela bo prikaz proizvodnih
programov s področja električnih inštalacij,
merilnih inštrumentov in opreme za
elektroenergetske naprave.

16.00 ZAKLJUČEK POSVETOVANJA

OB 40. JUBILEJNIH KOTNIKOVIH DNEVIH

Začetki Elektrotehniškega društva Maribor segajo v leto 1951, ko so se združili takratni strokovnjaki s področja elektrotehnike, zaposleni v glavnem v obratih za proizvodnjo in razdeljevanje električne energije podjetja Državnih elektrarn Slovenije. Aktivnosti prvih članov tega združenja so se odvijale v Elektrotehniški sekciji Društva inženirjev in tehnikov v Mariboru. Leta 1963 se je dejavnost razširila na ves severovzhodni del Slovenije, zato se je sekcija preimenovala v Elektrotehniško društvo Maribor. Glavna dejavnost društva je vseskozi bila in je še usmerjena v skrb za razvoj elektrotehniške stroke in dvig strokovne ravni in zavesti članstva. Začetki tega in podobnih posvetovanj segajo v leto 1957, ko je bil organiziran prvi seminar za izvajalce električnih instalacij. Vedno več novosti na področju tehniške regulative in sodobnih materialov ter tehnologij pa je privedlo do organizacije vsakoletnega dvodnevne srečanja slovenskih strokovnjakov kot posvetovanje o močnostni elektrotehniki in sodobnih električnih instalacijah, ki že nekaj let poteka v Radencih, od leta 2001 imenovano Kotnikovi dnevi. Pred dvema letoma smo posvetovanje skrčili na en dan.

Na začetku je bila vsebina predavanj in predstavitev vezana izključno na energetiko. Zadnja leta pa se tudi na teh področjih čuti močan vpliv elektronike, informatike in telekomunikacij. Vsebine iz teh področij se zato vsaj v informativnem značaju pojavljajo vedno pogostejše na dnevnem redu posvetovanj. Z vstopom v evropsko skupnost smo dolžni prilagoditi tehniško regulativo in zakonodajo ter izobraževati kadre, ki se že vsa ta leta v praksi srečujejo z najnovejšimi materiali in tehnologijami.

Letos bomo predstavili novosti s področja vključevanja alternativnih virov v elektroenergetske sisteme električne energije. Predstavljeni bodo novi standardi SIST na področju električnih instalacij in njihova uporaba v praksi, problematiko, izkušnje in pomanjkljivosti pri uporabi obstoječih veljavnih standardov ter novosti s področja električnih instalacij. Poudarek bo tudi na uvajanju LED razsvetljave v notranjih prostorih.

Popestritev vsakoletnega posvetovanja predstavlja prikaz proizvodnih programov s področja električnih inštalacij, merilnih inštrumentov in opreme za elektroenergetske naprave.

Kaj lahko rečemo ob letošnjem jubileju? Na dosedanjih 39. posvetovanjih je preko 9400 udeležencev poslušalo več kot 400 referatov. Na letošnjem srečanju se jim pridružuje 10 novih in čeprav zadnja leta zanimanje s strani poslušalcev in s strani razstavljalcev upada, pogumno in z upanjem vztrajamo naprej.

Zaželimo 40. jubilejnim Kotnikovim dnevom uspešno delo.

mag. Gerhard Angleitner
predsednik ED Maribor



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT I

Jože Unk, univ. dipl. inž. el.

joze.unk@telemach.net

Katarina Seliger, univ. dipl. bibl.

katarina.seliger@ezs-zveza.si

Elektrotehniška zveza Slovenije

PREVAJANJE STANDARDOV IN UPORABA EZS GLOSARJA KOT PRIPOMOČKA PRI PREVAJANJU ELEKTROTEHNIŠKIH BESEDIL PREDSTAVITEV DELA SKUPINE

Prevajanje standardov in izrazov terminoloških glosarjev ne pomeni le dostopnost prevedenega besedila, temveč tudi bogatitev slovenskega besednega zaklada z novimi izrazi in izpeljankami.

Kratek pregled jezikovne situacije na slovenskem

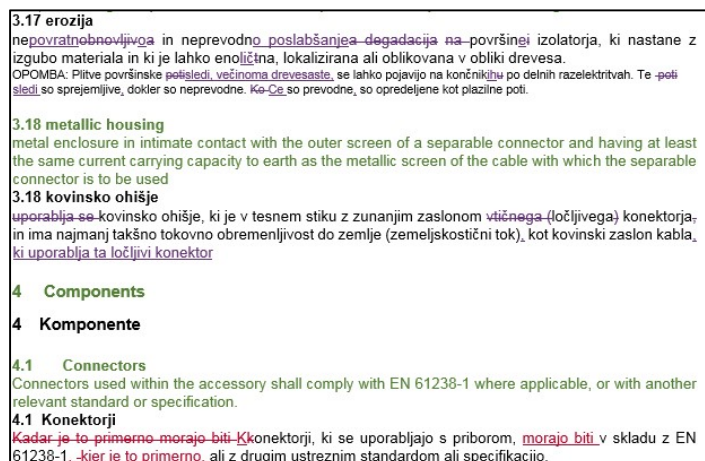
Slovenski narod je dolga stoletja deloval kot narod zaradi svojega jezika. Z Brižinskimi spomeniki se je slovenski jezik prvič pojavil v pisani besedi. Nekaj stoletij kasneje, v času Primoža Trubarja, je bil eden od evropskih jezikov, v katerega so se takrat prevajala pomembna besedila, sočasno kot v druge jezike. Že takrat se je vedelo, da je za razvoj naroda potreben tudi razvoj jezikovne situacije. Leta 1848 so bili Slovenci prav na podlagi skupnega jezika ustavno priznani kot ena od narodnosti monarhije (pri čemer je imel veliko vlogo Jernej Kopitar). Leta 1945 je bil ustanovljen Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU z namenom zbiranja jezikovnega gradiva, ki ga uporablja za izdelavo temeljnih del slovenskega jezikoslovja, kot so slovarji, zbirke in priročniki slovenskega jezika. V okviru terminoloških sekcij pripravlja in izdaja terminološke slovarje. Področje elektrotehnike je vključeno v novi slovenski tehniški slovar (STS), ki je doslej izšel v enem poskusnem zvezku (A-B) leta 2007. Letos se delo na slovarju končuje, tako da bo po 35 letih zavzetega dela v celoti izdan v začetku prihodnjega leta – 2020.

Bistvo naporov za uveljavitev oziroma utrditev lastnega jezika so besede, pojmi. In to slovenske besede, ki morajo biti čimbolj točne, ki morajo čimbolj odzvanjati pomen, idejo. Tudi slovenski elektrotehniki so od samih začetkov uvajanja elektrotehniške znanosti v slovenske dežele, seveda takrat skozi fiziko, utrjevali stare pojme v novih ali razširjenih pomenih in uvajali nove besede, nove pojme (neologizme). To poteka pri izdelavi STS – in tudi drugih terminoloških slovarjev – še danes.

STS je namenjen vsem, ki se ukvarjajo s tehniko. Vendar je to slovenski razlagalni slovar – Si/Si. Naš Glosar pa podaja prevode tujih besed, izrazov, pojmov v strokovne slovenske izraze. Nudi uporabo strokovnih tehniških izrazov za poimenovanja gradnikov, pojavov in postopkov iz tehniških terminoloških in področnih standardov. Pravilen strokovni izraz omogoča natančno izražanje in je podlaga za enoumno sporazumevanje. S tem namenom EZS aktivno sodeluje pri zbiranju predlogov, ki jih za prevajanje standardov dajejo distribucije, posamezniki, društva in podjetja s področja elektrotehnike, in prevajanju terminoloških ter področnih standardov.

Prevajanje in usklajevanje standardov

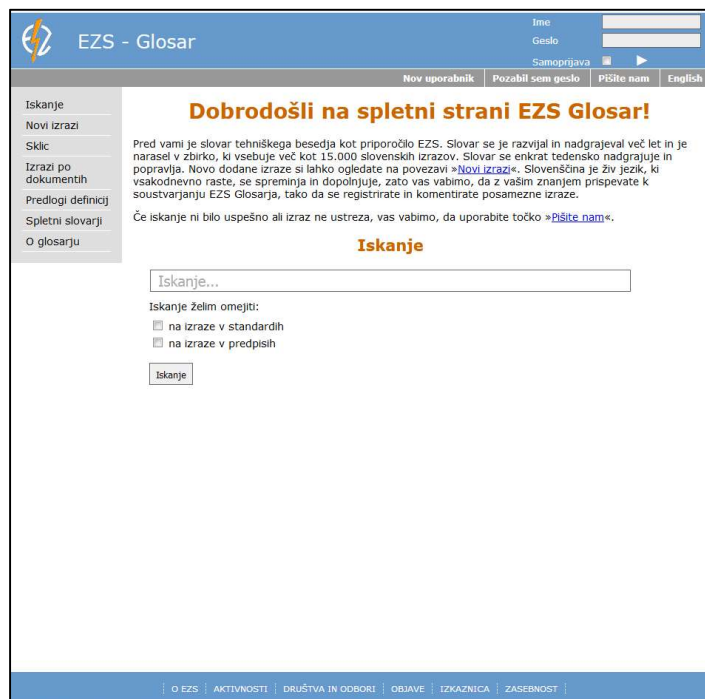
Proces prevajanja standardov se začne že z samim zbiranjem predlogov za prevajanje, ki jih Elektrotehniški zvezi Slovenije dajejo posamezniki in industrija. Na podlagi določenih meril (ali je standard v procesu prenove, ali je standard vključen v direktive / uredbe EU in drugih meril) se pripravi ožji seznam standardov, ki gre v prevod v tekočem letu. Na podlagi seznama standardov poišče EZS prevajalce, strokovnjake na svojem področju. Prevajalci dobijo poleg izvirnikov tudi določena prevajalska navodila in vodila, v katerih je navedeno, da morajo pri iskanju izrazov v čim večji meri uporabljati EZS Glosar, ki je s svojo bogato zbirko izrazov idealen pripomoček za vse prevajalce. Prevajalec mora najprej prevesti definicije, ki jih nato uskladi s strokovnim lektorjem. Šele nato se lahko loti prevoda preostalega besedila standarda. Po oddaji prevoda celotnega besedila gre standard ponovno v postopek terminološkega usklajevanja. Standard ni popolnoma usklajen, dokler se o celotnem usklajenem prevodu ne strinjata prevajalec in usklajevalec.



Slika 1: Primer usklajevanja besedila

EZS Glosar

V letih prevajanja standardov in zbiranja strokovnega izrazja se je pokazala vrzel na področju dostopnosti elektrotehniške strokovne terminologije, ki bi na enem mestu vsebovala izraze iz standardov, pravilnikov ali splošne izraze. Zato je Elektrotehniška zveza Slovenije (EZS) v začetku leta 2016 sprejela odločitev, da na področju terminologije naredi dodaten korak, ki bo pripomogel k čim ustrežnejši in poenoteni rabi tehniških izrazov tako na strokovnem kot tudi na praktičnem področju. Zato je pripravila in javno objavila spletni elektrotehniški glosar - EZS Glosar z izrazi – in teh je vedno več - z vseh področij, ki pokrivajo elektrotehniško stroko.



Slika 2: Vstopna stran EZS Glosarja

EZS Glosar ima vedno večjo vlogo v praksi ne le med prevajalci, temveč tudi med uporabniki stroke, saj vsebuje izraze iz področnih in terminoloških standardov, direktiv in uredb, splošnih in pravnih izrazov. Vsem je skupno, da so to izrazi s področja elektrotehnike, energetike, telekomunikacij in nekateri izrazi s področij, ki so povezani z elektrotehniko. Izrazov, po katerih se lahko išče, je že skoraj 16 000. Kar pomeni, da je zbirka zelo obsežna.

V letu 2016, ko je bila postavljena osnovna zbirka izrazov, jih je bilo nekaj manj kot 10 000. Zbirka je takrat omogočala le enostavno iskanje. V letu 2018 smo EZS Glosar prenovili, tako da je sedaj prijaznejši za uporabo. Omogoča namreč omejitev prikaza rezultatov, kar pride prav še posebej, če se iščejo izrazi iz standardov ali pravnih izrazi. Poleg tega se je na novo dodala tudi možnost izpisa izrazov po določenem dokumentu, naj bo to terminološki standard, področni standard ali uredbe in direktive EU.

Izpis izrazov po dokumentih

Pokaži izraze, ki se nahajajo v:

- ☐ IEV terminološkem slovarju
- ☒ Področnem standardu
- ☐ Uredbah in direktivah EU

Iskanje

501

- EN 50110
- EN 50119
- EN 50126
- EN 50129
- EN 50143
- EN 50160
- EN 50173
- EN 50182

Slika 3: Izpis izrazov po dokumentih

Zelo dobrodošla novost v EZS Glosarju je tudi prikaz definicij izrazov. To je zelo pomembno, ker zagotavlja enotno razumevanje posameznega pojma. Trenutno ima sicer le 10 % izrazov zapisane definicije, vendar bomo po dogovoru s SIST v EZS Glosar sčasoma vnesli vse definicije s področnih standardov, ki spadajo na SIST pod področje *Standardizacija – elektrotehnika, informacijska tehnologija in telekomunikacije*. V EZS Glosarju ni definicij izrazov iz terminoloških standardov, je pa dodana spletna povezava na izraz v terminološkem slovarju IEC .Electropedia-i, kjer sta na voljo definiciji v angleškem in francoskem jeziku, zraven pa vsaj še izraz v nemškem jeziku.

dvovijačna žarilna nitka

IEV
845/EZS

SI	dvovijačna žarilna nitka
EN	coiled-coil filament 845-08-05
DE	Doppelwendel
FR	filament à double boudinage filament bispiralé

Komentarji ►

Slika 4: Primer izpisa izraza iz terminološkega standarda

preverjalni preskus

EN
61439-1

SI	preverjalni preskus preskus, izveden na vzorcu SESTAVA ali delih SESTAVOV, da se preveri, ali zasnova izpolnjuje zahteve ustreznega standarda za SESTAV OPOMBA: Preverjalni preskusi so enakovredni preskusom tipa.
EN	verification test test made on a sample of an ASSEMBLY or on parts of ASSEMBLY to verify that the design meets the requirements of the relevant ASSEMBLY standard NOTE Verification tests are equivalent to type tests.
DE	Nachweis durch Prüfung zu zeigen, dass die Bauart die Anforderungen der zutreffenden Schaltgerätekombinationsnorm erfüllt Anmerkung 1 zum Begriff: Nachweise durch Prüfung entsprechen Typprüfungen.

Komentarji ►

Slika 5: Primer izpisa izraza iz področnega standarda

gozdna biomasa

EU
2018/2001

SI	gozdna biomasa pomeni biomaso, proizvedeno v gozdarstvu
EN	forest biomass means biomass produced from forestry
DE	forwirtschaftliche Biomasse Biomasse aus der Forstwirtschaft
FR	biomasse forestière la biomasse issue de la sylviculture
IT	biomassa forestale la biomassa risultante dalla silvicoltura
HU	erdei biomassza erdőgazdálkodásból származó biomassza
HR	šumska biomasa znači biomasa proizvedena u šumarstvu
ES	biomasa forestal la biomasa producida en la silvicultura
PL	biomasa leśna oznacza biomasę pochodzącą z produkcji leśnej

Komentarji ►

Slika 6: Primer izpisa izraza iz Direktive EU

Slika 7: Primeri izpisov izrazov z dodanimi definicijami

Velikokrat se zgodi, da ima določen izraz v angleščini preveč splošen pomen oziroma ne zajema bistva. Zato se, če je le mogoče, izrazom dodajajo tudi prevodi v drugih jezikih. Najširše sta v EZS Glosarju poleg angleščine zastopana francoščina in nemščina. Skupaj je v Glosarju možen prikaz izraza v 11 evropskih jezikih¹, vendar trenutno nima noben zapis izrazov v vseh vključenih jezikih. Pri izrazih, ki so objavljeni v direktivah in uredbah, pa so dodani tudi izrazi in definicije iz drugih uradnih jezikov Evrope.

²

¹ slovenščina, angleščina, nemščina, francoščina, italijanščina, madžarščina, hrvaščina, srbsščina, ruščina, španščina, poljščina

² Na tem mestu bi želeli opozoriti, da slovenski izrazi in definicije, ki so objavljeni v Uredbah ali direktivah EU, **niso vedno ustrezni!**

V sodelovanju z urednikom Revije ER, Ervinom Seršenom, objavljamo na spletu EZS kot del vsebine podstrani *Predlogi definicij* (www.eglosar.si/Predlogi-definicij) tudi izraze, ki so objavljeni v aktualni številki ER. Izrazov, ki so objavljeni na tej spletni podstrani, je več, saj so vedno objavljeni izrazi iz dveh od naslednjih treh področij: iz EU zakonodaje, terminoloških standardov ali področnih standardov. Navadno so objavljeni taki izrazi, ki v strokovni javnosti niso usklajeni ali pa so celo objavljeni neustrezni prevodi (npr. določeni izrazi v Direktivah in Uredbah EU) in primeri definicij iz terminoloških ali področnih standardov, ki so v prevajanju in se zanje ve, da niti stroka sama ni popolnoma usklajena v terminologiji. Vsi izrazi, objavljeni na podstrani, so objavljeni tudi v EZS Glosarju, kjer jih je mogoče tudi komentirati oziroma predlagati boljše, pravilnejše. Če so komentarji konstruktivni, so tudi vidni pri samem prikazu izraza.

mejna poškodovanost; mejna poškodba

EN
50341/Fle/Y

SI	mejna poškodovanost; mejna poškodba
EN	damage limit

Komentarji ▾

mihab	Popravek prevoda [05.03.18 ob 08:33] Izraz bi prevedel kot "meja nastanka poškodb" ali "meja s škodnimi posledicami". To je vrednost obremenitve, kjer se pojavijo prve nepovratne poškodbe preizkušanca. [06.03.18 ob 11:11]
Odgovor administratorja	prevod je bil narejen skladno s spodnjim besedilom/pomenom v omenjenem standardu! c) the component with the lowest reliability ideally has a ratio of the damage limit (corresponding to the serviceability state) to the failure limit (corresponding to the ultimate limit state) close to 1,0; c) v idealnem primeru ima komponenta z minimalno zanesljivostjo razmerje med mejno poškodovanostjo (glede na stanje uporabnosti) in mejno porušitvijo (glede na mejno stanje nosilnosti) blizu 1,0.

Za komentiranje morate biti prijavljeni

Slika 5: Primer izraza z vidnim komentarjem

Čeprav je EZS Glosar prosto dostopen šele 2 leti, se je pokazalo, da je nujno potreben. V lanskem letu smo začeli beležiti uporabo EZS Glosarja (funkcije iskanja). Vodenje pregleda obiska je pokazalo, da se dnevno povprečno uporablja od 100- do 150-krat. Že same številke povedo, da je EZS Glosar na tem mestu pokrila veliko vrzel in upamo, da je pripomogel tudi k ustreznejši, pravilnejši rabi izrazov.

S sprotnim vnašanjem in popravljanjem izrazov že vnesenih izrazov v EZS Glosarju ter obnavljanjem zbirke tako želimo doseči čim večjo dostopnost do objavljenih slovenskih izrazov in ažurirano terminologijo.

Sklep

Prevajanje standardov in drugih besedil s področij elektrotehnike ni namenjeno samo sebi, temveč v prvi meri, da se še naprej ohranja in razvija slovenski jezik. **Narod brez lastnega besedja na vseh področjih začne nazadovati in kmalu se zdi samoumevno, da so pomembnejši dokumenti ali standardi dostopni le v tujih jezikih.** Pri EZS se trudimo, da do tega ne bi prišlo.

Viri

Elektrotehniška zveza Slovenije. *Interno gradivo*

EZS Glosar. Dostopno na: www.eglosar.si

Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša. Dostopno na: <https://isjfr.zrc-sazu.si/>

Seliger, K. (2016). EZS Glosar - glosar elektrotehniškega izrazja. V: *ER : elektrotehnika za praktično rabo* 17(3), str. 15-16.

Slovenski inštitut za standardizacijo. Dostopno na: www.sist.si



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT II

Ervin Seršen, univ. dipl. inž. el.

sersen.ervin@gmail.com

NEAKTIVNOST ELEKTROTEHNIŠKE STROKE NA PODROČJU ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ

Neaktivnost elektrotehniške stroke na področju standardizacije električnih inštalacij¹

1. Uvod

V novejšem času se pomembnost standardov vedno bolj povečuje. Največ jih uporablja industrija, uveljavljajo se pa tudi pri uvajanju najnovejših tehnologij, na primer, pri sončnih inštalacijah, hranilnikih električne energije, polnjenju električni vozil in v »prosumerjevih« inštalacijah [1]. Vzrok je v tem, da se pripravljavci standardov, kjer imajo glavno besedo predstavniki industrije, hitro dogovorijo o pravilih, ki omogočajo njihovim proizvodom vstop na trg.

V našem zakonodajnem sistemu spadajo električne inštalacije v Zakon o graditvi objektov. V nekaterih drugih državah je enako gledanje, ker se pač električne inštalacije stalno vgradijo v objekt.

Evropski hamonizacijski dokumenti HD, ki se uporabljajo na področju električnih inštalacij, nastanejo na podlagi standardov IEC serije IEC 60364-X-XX ali 60364-X-XXX.

2. Nekaj zgodovine o predpisih in standardih

2.1. Predpisi za električne inštalacije

Prvi predpisi o nevarnosti električnega udara in električnih inštalacijah so bili izdani leta 1882 v Veliki Britaniji, ki so jih pripravili v »Institution of Electrical Engineers«. V Avstriji (takrat Avstro-Ogrska monarhija) je bil v letu 1883 ustanovljen »Elektrotechnischer Verein Österreichs«, ki je tudi izdal pravila za izvajanje električnih inštalacij. Leta 1896 je podobne predpise izdal v Nemčiji »Verband Deutscher Elektrotechniker« in v Franciji leta 1911 »Union des Syndicats de l'Electricité in France«.

2.2. Ustanovitev tehničnega odbora za električne inštalacije v IEC (»Electrical installations and protection against electric shock«)

Prva pobuda za standardizacijo električnih inštalacij je bila dana na generalnem zasedanju IEC že leta 1908, vendar ni bilo potrebnega soglasja za pripravo standarda. Med letom 1908 in 1965 je bilo več razprav o potrebnosti priprave standarda za električne inštalacije. Tudi UNESCO je podpiral pripravo standardov za pomoč državam v razvoju. Leta 1965 so vendar pri IEC ustanovili delovno skupino, ki je dosegla mednarodni sporazum o poenotenju določenih vidikov v električnih inštalacijah tako, da je Svet IEC v letu 1967 ustanovil tehnični odbor za pripravo priporočil (standardov) za osnovno varnost v fiksnih električnih inštalacijah, ki je dobil številko 64. Do danes je ta tehnični odbor izdal skupno 75 standardov, tehničnih specifikacij in tehničnih poročil v katerih obravnava električne inštalacije in zaščito pred električnim udarom.

2.3. Ustanovitev tehničnega odbora za električne inštalacije v CENELEC

2.3.1. Področje dela tehničnega odbora in aktivnost

CLC/TC 64 pripravlja evropske standardizacijske dokumente na dveh področjih:

- a) Zaščita pred električnim udarom, ki izhaja iz opreme, inštalacij in iz drugih sistemov ne glede na napetost. CENELEC dokumenti, ki obravnavajo te teme, so naslednji:

¹ Opomba avtorja: Lastnik materialnih avtorskih pravic v vseh navedenih standardizacijskih dokumentih je Slovenski inštitut za standardizacijo.

- **SIST EN 61140:2016:** Zaščita pred električnim udarom - Skupni vidiki za inštalacijo in opremo,
- **SIST HD 193 S2:2000** (HD 193 S2:1982) Napetostna območja za električne inštalacije zgradb (IEC 60449:1973 + A1:1979)

Opozoriti je treba, da IEC/TC 64 izdaja in vzdržuje nekatere "osnovne varnostne publikacije" na to temo. Takšen status standardov v CENELEC ne obstaja.

- b) Načrtovanje, inštaliranje in verifikacija vseh vrst fiksnih NN električnih inštalacij razen tistih inštalacij, ki so pokrite v CLC tehničnih odborih, kot so: TC 9X (Electrical and electronic applications for railways), TC 44X (Safety of machinery: electrotechnical aspects).

V CENELEC se za nizkonapetostne električne inštalacije uporabljajo naslednji standardi oziroma harmonizacijski dokumenti:

- serija standardov **HD 60364** (1 do 6) za nizkonapetostne električne inštalacije,
- **SIST-TP CLC/TR 50479:2007** Vodilo za električne inštalacije - Izbira in namestitvev električne opreme - Inštalacijski sistemi - Omejitev segretka na priključkih,
- **SIST-TP CLC/TR 50480:2011** Določanje prereza vodnikov in izbira zaščitnih naprav,
- **SIST HD 308 S2:2002** Identifikacija žil v kablilih in zvijavih vrvicah,

2.3.2. Standardi sprejeti v CLC TC 64 in objavljeni v OJEC (Official Journal European Commission)

Tehnični odbor TC 64 pripravlja standarde s področja zaščite pred električnim udarom in električnih inštalacij. Te nevarnosti izhajajo iz opreme in inštalacij, neodvisno višine napetosti. Edini harmonizirani standard, ki je trenutno objavljen v Evropskem uradnem listu v okviru *Pravilnika o omogočanju dostopnosti električne opreme na trgu, ki je načrtovana za uporabo znotraj določenih napetostnih mej* (Uradni list RS, št. 39/2016) (Direktiva LVD) je standard **SIST EN 61140:2002 Zaščita pred električnim udarom – Splošni pogledi na napeljave in opremo** (objava 14.9.2018). Ta standard ni namenjen samostojni uporabi, ampak je osnovna varnostna publikacija namenjena drugim tehničnim odborom. V njem so temeljna načela in skupne zahteve za električne inštalacije in opremo ne glede na velikost napetosti. Standard **SIST EN 61140:2016 Zaščita pred električnim udarom - Skupni vidiki za inštalacijo in opremo** je bil pripravljen v IEC TC 64 in dan v paralelno glasovanje, sprejet pa 11.2.2016. Preveden je tudi v slovenski jezik in se prodaja za 105,00 EUR, medtem ko v angleškem jeziku stane 80,00 EUR.

2.4. Ustanovitev tehničnega odbora za električne inštalacije na SIST in delo v njem

Tehnični odbor ta SIST TC ELI (Električne inštalacije) je bil ustanovljen že v letu 1991, še po takrat veljavnem Zakonu o standardizaciji (Uradni list SFRJ 7/88 in 23/91). Današnje pravne podlage za delo so:

- Zakon o standardizaciji (Uradni list RS št. 59/99),
- Sklep o ustanovitvi SIST (Uradni list RS, št. 70-3343/2000, in sprememba Uradni list RS, št. 91-4591/2002),
- Statut Slovenskega inštituta za standardizaciji (Uradni list RS št. 99/2002 in 91/2002),
- Poslovnik o ustanavljanju in načinu dela tehničnih delovnih teles Slovenskega inštituta za standardizacijo,

- Navodilo o postopku sprejemanja slovenskih nacionalnih standardov in drugih dokumentov s področja slovenske nacionalne standardizacije in Poslovnik strokovnega sveta,
- Navodilo SIST o varstvu pravic intelektualne lastnine.

Naloga vseh tehničnih odborov na SIST je sprejemanje evropskih standardov, posebno harmoniziranih standardov, ki so objavljeni v Evropskem uradnem listu (Official Journal of the European Union) oziroma v Sloveniji objavljeni na spletni strani pristojnega ministrstva.

Izmed 108 dokumentov (stanje 28.2.2019) [2] sprejetih v tehničnem odboru CLC TC 64, je edini standard *EN 61140:2016*, ki je bil sprejet tudi v sistem slovenske standardizacije in je na seznamu harmoniziranih standardov v tako imenovani direktivi LVD. Pri nas je to *Seznam harmoniziranih standardov, katerih uporaba ustvari domnevo o skladnosti proizvoda z zahtevami Pravilnika o omogočanju dostopnosti električne opreme na trgu, ki je načrtovana za uporabo znotraj določenih napetostnih mej (objavljen na spletni strani Ministrstva za gospodarski razvoj in tehnologijo)* [3]. Vsi ostali dokumenti so tako imenovani »harmonizacijski dokumenti HD« (angl.: Harmonization Document; nem.: Harmonisierungsdokument;), ki se praviloma privzamejo kot slovenski nacionalni standardi [4].

NAVODILO o postopku sprejemanja slovenskih nacionalnih standardov in drugih dokumentov s področja slovenske nacionalne standardizacije je bilo sprejeto na osmi seji 5.11.2002 in dvajseti seji 26.10.2005. V 10. členu je napisano, da pristojni strokovni svet oziroma tehnični odbor določi status sprejetega standardizacijskega dokumenta. Naveden je primer za harmonizacijski dokument, ki se praviloma privzame kot slovenski nacionalni standard.

Poslovnik Strokovnega sveta SIST [5] sta oba strokovna sveta sprejela v maju 2010.

V 1. členu je zapisano, da se s Poslovnikom ureja način dela in odločanja Strokovnega sveta v povezavi z mednarodnimi in evropskimi organizacijami s področja standardizacije, kjer prihaja do vsebinskih prekrivanj področij. Omenjen je tudi CENELEC, ki pa je svoja pravila sprejel v letu 2017 v »*CEN/CENELEC Internal Regulations, Part 2, Common Rules For Standardization Work*« [6]. V njem je za električne inštalacije med definicijami naveden »harmonizacijski dokument«, ki je standard in se mora implementirati v nacionalno standardizacijo z razglasitveno objavo (public announcement), kjer je navedena številka dokumenta HD in naslov. Dokumenti HD so normativni dokumenti, ki so nastali iz mednarodnih standardov IEC serije 60364-X-XX(X). V sistem nacionalnih standardizacij se morajo sprejeti **samo po vsebini**, kot je zahtevano v »*Aneksu A Internal Regulations Part 2 Common Rules For Standardization Work*«. Vsaka država lahko v te dokumente navede svoje posebnosti, ki so obvezne samo za tisto državo, za ostale je to samo informacija. Če so v dokument HD vnesene dodatne zahteve, se mora standard označiti z drugo številko in to javiti v CENELEC.

Tehnični odbor SIST TC/ELI sprejema dokumente HD samo tako, da spredaj napiše SIST HD in prevede naslov. Slovenske posebnosti niso vnesene, kljub temu, da so nekatere dodatna zahteve navedene v Tehnični smernici za NN inštalacije TSN 02.

Ko je EZS omenila pomanjkljivost, da ni slovenskih posebnosti, je bil neformalni odgovor SIST, da predlagajo pripravo izvirnega slovenskega standarda po postopku določenem v 12. členu *Navodil o postopku sprejemanja standardov*. Po tem postopku je potrebna pobuda za sprejem standarda in po odobritvi standardizacijskega projekta, mora tehnični sekretar obvestiti

kontaktno točko, ki izvede notifikacijo [7]. Po mojem osebnem mnenju je to samo dodatno delo z notifikacijo in čakanje na zaključek postopka po treh mesecih.

Standardi iz področja električnih inštalacij so zanimivi in potrebni za mala in srednja podjetja, posebej pa za samostojne podjetnike, ki nastopajo na trgu kot projektanti, izvajalci inštalacij in pregledniki. Pogrešam večje aktivno sodelovanje.

2.5. Kako to delajo drugi

V Nemčiji označijo take standarde z dvojnim logom, kot je dogovorjeno med DIN in VDE. Primer:

DIN VDE 0100-712 VDE 0100-712:2016-10; Erichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-12: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme; Deutsche Übernahme HD 60364-7 712:2016



DEUTSCHE NORM		Oktober 2016
	DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etx Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.		
ICS 27.160; 91.140.50		
Ersatz für DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06 Siehe Anwendungsbeginn		
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme; Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2016		
Low-voltage electrical installations – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Photovoltaic (PV) systems; German implementation HD 60364-7-712:2016		
Installations électriques basses tensions – Partie 7-712: Exigences pour les installations et emplacements spéciaux – Systèmes photovoltaïques (PV); Mise en application allemande de HD 60364-7-712:2016		
Gesamtumfang 37 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		
© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN, Berlin, und des VDE, Frankfurt am Main, gestattet. Einzelverkauf und Abonnements durch VDE VERLAG GMBH, 10625 Berlin Einzelverkauf auch durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin		
Preis: 24 € VDE-Vertr.-Nr. 0100340		

V standard so navedli dodatne zahteve, ki so zanimive za Nemčijo. V ta standard so zapisali, da se vse obstoječe »sončne elektrarne«, ki še niso označene z znaki, opremijo z znaki po novem standardu.

V Avstriji je sprejet standard označen tudi z dvojnim logom:

ÖVE/ÖNORM E 8001-4-712:2009-12-01 Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V - Teil 4-712: Photovoltaische Energieerzeugungsanlagen - Errichtungs- und Sicherheitsanforderungen

Na Nizozemskem imajo zahteve iz tega standarda zapisane v standardu NEN 1010 (NEN 1010:2015 nl - Electrical installations for low-voltage - Dutch implementation of the HD-IEC 60364-series)

3. Nov pristop – New Approach

Evropska Komisija je že pred 20 leti objavila dokument z imenom *Resolucija Sveta z dne 7. maja 1985 o novem pristopu k tehnični standardizaciji in standardom*. V njem so navedene bistvene zahteve, ki jih mora proizvod izpolnjevati, da se lahko označi z oznako »CE«.

Evropska unija je povabila standardizacijske organizacije k sodelovanju pri pripravi zakonodaje in jim v ta namen podelila mandat (standardization request). To je mehanizem Evropske komisije, ki standardizacijskim organizacijam naroči pripravo in sprejetje standarda za podporo evropski politiki in zakonodaji. Ta standard se nato objavi tudi v Evropskem uradnem listu, pri nas se objavi na spletni strani pristojnega ministrstva.

Standardi so dokumenti pripravljeni s konsenzom vseh sodelujočih, ki jih nato objavi priznan organ (Body; Institution; v Sloveniji SIST!) s specifičnimi nalogami in sestavo. Standardi so zaščiteni kot avtorsko delo in so plačljivi. Zakonodajni akti ozirom predpisi so dokumenti, ki jih sprejmejo in objavijo državni organi, so obvezni ter javno dostopni.

Direktive novega pristopa opredeljujejo "bistvene zahteve", povezane z zdravjem, varnostjo in okoljskimi vprašanji. Teh direktiv je bilo takrat več kot 20 in so se sklicevale na standarde. Če je proizvod ustrezal zahtevam navedenim harmoniziranim standardom, se je lahko označil z oznako »CE« in proizvajalec je napisal EU izjavo o skladnosti. Iz tega je sledila »domneva«, da proizvod ustreza bistvenim zahtevam navedenim v vsej zakonodaji. Domneva je nastala zaradi tega, ker je lahko vse opravil proizvajalec oziroma tisti, ki je dal proizvod na trg, ni bilo pa nujno, da je imel dovolj znanja in opreme za pripravo poročila. Če proizvod ni ustrezal standardom, ker je bila uporabljena najnovejša tehnologija, ki še ni bila zajeta v standardu, je bilo treba proizvod preveriti v tako imenovani »akreditirani ustanovi za ugotavljanje skladnosti«. Taka ustanova se preverja, če ima na voljo dovolj sposobnega osebja z znanjem in opremo za izvajanje dela.

3.1. Slovenski inštitut za standardizacijo - SIST

V 7. členu Zakona o standardizaciji je napisano, da je SIST pravna oseba javnega prava vpisana v sodni register, zadolžena za izdajo standardov. Po standardizacijski terminologiji je to »body« in to je SIST. Drug organ je pa »Standardizing Body«, ki opravlja priznane dejavnosti na področju standardizacije. V SIST opravlja to nalogo **Strokovni svet za področje elektrotehnike, informacijske tehnologije in telekomunikacij**. V Avstriji opravlja te naloge na področju elektrotehnike OVE prej ÖVE (Österreichische Verband für Elektrotechnik), ki zastopa področje elektrotehnike in informacijske tehnologije na nacionalni in mednarodni ravni. Podobno je v Nemčiji, kjer opravlja naloge iz področja elektrotehnike »DKE Deutsche Komite für Elektrotechnik« v katerem sta združena VDE in DIN. VDE se ukvarja z varnostjo v elektrotehniki, DIN se ukvarja s področjem elektrotehnike, ki nima neposredne povezave z varnostjo.

3.2. Uporaba »Novega pristopa« za električne inštalacije

V Zakonu o standardizaciji 23. člen določa, da je uporaba slovenskega standarda prostovoljna, razen v primeru, da je določena s predpisom [8].

V našem zakonodajnem sistemu spadajo električne inštalacije v domeno Gradbenega zakona (Uradni list RS št. 61/17), ki v 24. členu nalaga ministru za okolje in prostor podrobno določitev

bistvenih zahtev. Minister izda *Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne inštalacije v stavbah* [9] v katerem je določena **domneva v skladnosti s predpisom**, če ustreza zahtevam v njem navedenih standardov. Pravilnik v 14. členu zahteva revizijo, ki je potrebna takrat, ko projektant električne inštalacije ne projektira po 8. členu, ki dovoljuje uporabo tudi drugih ukrepov – ne samo uporabo standardov. Zagotoviti se mora enaka varnost, ki se dokaže z revizijo.

Na podlagi tega Pravilnika je v 7. členu določeno, da izda minister pristojen za gradbene zahteve *Tehnično smernico TSG-N-002 Nizkonapetostne električne inštalacije* [10] v kateri so kot referenčni dokumenti navedeni slovenski standardi privzeti iz evropskih harmonizacijskih dokumentov (HD) iz področja električnih inštalacij.

Tehnični smernici TSG-N-002 Nizkonapetostne električne inštalacije izdani v letu 2009 in v letu 2012 sta bila izdani z upoštevanjem postopka informiranja *Uredbe o postopkih notifikiranja na področju standardov, tehničnih predpisov in postopkov ugotavljanja skladnosti* [11]. Pri vsaki notifikaciji je določen trimesečni rok mirovanja, ki se je zaključil 14.12.2012. Pred potekom trimesečnega roka predpis ne sme biti izdan. V tem času imajo države članice možnost dajanja pripomb.

Objave vseh držav se lahko vidijo na spletni strani TRIS (Technical Regulation Information System). Na tej spletni strani se lahko pregledajo objave drugih držav, ki notificirajo največkrat predpise. V času notifikacije in tudi po njej se lahko ti predpisi pregledajo v jeziku države, ki je dala predpis na notifikacijo in po določenem času tudi v prevedenem besedilu. To pa ne velja za vse države. Tako sem našel za Nemčijo, ki je dala na notifikacijo VDE-AR-4105 [12]. (»Power Generating Plants Connected to the Low-voltage Grid«) na katerega se sklicuje v standardu EN 50549-1 (»EN 50549-1: Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks - Part 1: Connection to a LV distribution network – Generating plants up to and including Type A«, da ogled besedila pod številko »217/373/D« v notifikaciji ni možen [13] (»NO INFORMATION IS AVAILABLE FOR THIS CONTRIBUTION«). Vzrok je verjetno v tem, ker so v času priprave VDE-AR-4105, ta predlog prodajali.

Nov Gradbeni zakon je ukinil revizijo, zato je v predlogu novega pravilnika o električnih inštalacijah, ki še ni izdan, uveden pregled projektanta, ki ni sodeloval pri projektiranju te stavbe.

4. Aktivnosti v IEC TC 64

4.1. Sprejemanje novih standardov in predlogov

Kot je znano, dokumenti HD v evropskem tehničnem odboru CLC TC 64, nastajajo iz standardov IEC 60364-X-XX(X) tako, da se izvede paralelno glasovanje v IEC in CENELEC. Že v fazi CDV (Committee Draft for Vote) posamezni nacionalni komiteji v dodatku A (List of notes concerning certain countries«) navedejo odstopanja za njihovo državo.

Odstopanja v posameznih državah so nam lahko vodilo s kakšnimi težavami se v teh državah ukvarjajo. Pregled in preučitev teh odstopanj bi nas lahko vodilo do priprave predloga za odstopanje v Sloveniji. To odstopanje bi se nato pojavilo v evropskem dokumentu HD v poglavju (Special National Conditions«.

4.1.1. SIST HD 60364-8-2:2019

V slovenskem tehničnem odboru je bil sprejet ta standard kot SIST HD 60364-8-2 Nizkonapetostne električne inštalacije - 8-2. del: Električne inštalacije proizvajalcev-

odjemalcev (Low-voltage electrical installations - Part 8-2: Prosumer's low-voltage electrical installations). Standard je bil pripravljen v IEC TC 64 in brez sprememb sprejet tudi kot dokument HD.

V standardu so prikazane različne sheme vezav in definicije. Nekatere od njih bi celo lahko ustrezale definicijam, ki se nahajajo v predlogu *Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov* [14], ki je bila dana v javno obravnavo 21.12.2018. Pripombe so se zbirale do 21.1.2019, vendar v času priprave tega prispevka niso dosegljive.

Izrazi iz predloga uredbe:

- **individualna samooskrba** (individual PEI (PEI: prosumer electrical installation)): naprava za samooskrbo je priključena na notranjo nizkonapetostno električno inštalacijo stavbe;
- **skupinska samooskrba** (Collective PEI): naprav za samooskrbo za dve ali več merilnih mest iste večstanovanjske stavbe (vendar ne nujno vsa), preko katerih odjemalci odjemajo električno energijo za lastne potrebe, lahko pa tudi eno ali več merilnih mest, preko katerih se z električno energijo oskrbujejo skupni prostori večstanovanjske stavbe ali skupne naprave te stavbe (v nadaljevanju: merilna mesta skupne rabe);
- **OVE skupnost** (Shared PEI): naprava za samooskrbo za dve ali več merilnih mest priključenih na omrežje iste transformatorske postaje.

V Dodatku E v standardu je v poglavju »List of notes concerning certain countries« za Avstrijo napisano: »In Austria, national regulations exist. The content of the document will therefore be used for information only«. Za točko 6.4 in 6.5, kjer se obravnava »Collective PEI« in »Shared PEI« je napisano: »In Austria, there is no legal basis to establish such a system«.

Ko bo izšel prenovljen *Pravilnik o tehničnih zahtevah naprav za samooskrbo z električno energijo iz obnovljivih virov energije* (Uradni list RS, št. 1/16 in 46/18), bo verjetno potrebno javiti spremembo v CENELEC, če bodo odstopanja od standarda.

4.1.2. IEC TS 60364-8-3 ED1

Pametno omrežje potrebuje nove standarde! Prosumerjeva električna inštalacija bo morala komunicirati s pametnimi inštalacijam na višjem nivoju. Za uspešno delovanje takih inštalacij je nujna medsebojna dvosmerna povezava. V odjemalčevi inštalaciji se bodo pojavili signali za krmiljenje odjema in proizvodnjo električne energije. Novi standardi bodo morali omogočiti preverjanje stabilnosti, interoperabilnosti in varnosti, kar je značilno za pametno omrežje in v skladu s tehničnim poročilom IEC TR 63097 *Smart grid standardization roadmap*. Ko tako dvosmerno omrežje obratuje, je nujno zagotoviti varnost v stavbah ter zaščiti električne inštalacije pred strelo in okvaro.

V tem času še ni »prave volje« za pripravo standarda, zato se je v IEC pripravil predlog »tehnične specifikacije«. Ta se navadno izda takrat, ko je tema še v razvoju in ni konsenza za sprejetje mednarodnega standarda. Tudi ta tehnična specifikacija bi morala biti zanimiva za nas.

4.2. Aktivnosti IEC TC 64 na področju »balkonskih sončnih elektrarn«

Zaradi pojava tako imenovanih naprav »PV Plug & Play«, ki se množično pojavljajo na trgu, je nastala potreba tudi po standardizaciji teh naprav. V predlogih standardov se pojavlja izraz »AC modul« [15], ki pomeni kombinacijo DC-AC razsmernika, AC izhoda s konektorji in

mehanskimi montažnimi sredstvi tako, da osončena naprava proizvaja električno energijo. V zadnjem času tako napravo imenujejo »vtična proizvodna naprava«.

Standardi za električne inštalacije so pripravljeni tako, da so vsi viri električne energije stalno (fiksno) priključeni na električno omrežje. S pojavom električnih vozil so se pojavili prenosni viri, ki se priključujejo na omrežje. Podobno velja tudi »balkonske sončno elektrarno«.

4.2.1. Dokument 64/2253/CD Electrical installations of buildings - Part 5-55:

Selection and erection of electrical equipment - Other equipment;

Amendment on Clause 551

Tehnični odbor je poslal v razpravo dokument 64/2253/CD (Committee Draft) IEC 60364-5-55/AMD3 ED2 dne 22.12.2017. Pripombe so bile poslane do 16.3.2018 z naslovom: »Electrical installations of buildings - Part 5-55: Selection and erection of electrical equipment - Other equipment ; Amendment on Clause 551«. Bistvo tega predloga je bilo, da se nobena proizvodna naprava ne sme priključiti z vtičem v vtičnico. Če se izvede tak priključek, morata biti vtič in vtičnica posebne vrste in nezamenljiva normalnimi vtiči in vtičnicami. Ker pa nekatere države dovoljujejo priključitev tudi s standardnimi vtiči in vtičnicami pod posebnimi pogoji in zaradi precej pripomb, so se v tehničnem odboru odločili pripraviti vprašalnik.

4.2.2. Vprašalnik 64/2357 Requirements for the use of pluggable generating sets

Po pregledu pripomb in po predlogu Nemčije, so pripravili vprašalnik za nacionalne komiteje, ki je bil poslan 7.12.2018.

V njem želijo komentar k prvemu vprašanju:

- 1. Tam, kjer se uporablja vtična proizvodna naprava kot paralelni dodaten vir napajanja, mora biti zagotovljena posebna namenska priključna točka. Ta priključna točka mora biti:
 - nameščena v posebni tokokrog priključen v razdelilniku,
 - ne sme biti združljiva z obstoječimi veljavnimi standardi za vtiče in vtičnice,
 - varovana z zaščitno napravo na diferenčni tok RCD z naznačenim diferenčnim tokom manjšim kot 30 mA, ki izklopi vse vodnike pod napetostjo.

in odgovor na drugo in tretje vprašanje:

- 2. Ali je lahko v tokokrog vezana več kot ena proizvodna naprava?
- 3. So kakšne posebne zahteve, ki bi se jih moralo upoštevati pri obravnavi priključne točke?

Odgovori so zbrani v dokumentu »Report of Comments on 64/2357/Q (Requirements for the use of pluggable generating sets)«. Nekaj tipičnih odgovorov:

- brez komentarja na vprašanje št. 1 AT, BE, CH, CZ, DK, FR, IT, NL, PT,
- Nemčija ne podpira navedene zahteve v posebni točki, ampak predlaga, da se besedilo nadomesti z njihovim predlogom (64/Sydney/Germany/01) predstavljenim v Sydneyju,
- Švedska: RCD mora biti tip B ali A v kombinaciji z napravo za zaznavo enosmernega toka (RCD-DD), ki ustreza standardu IEC 62955; prva alineja v vprašalniku se naj dopolni: priključen na ločen distribucijski tokokrog napajan iz razdelilnika,
- itd.

4.2.3. Vprašalnik 64/2356/Q »Possible conversion of IEC 60364-5-55 Clause 551 to a new Part 7«

IEC 60364-5-55 v točki 551 spreminja splošna pravila serije standardov IEC 60364. Zaradi tega bi se moral tak standard prenesti v IEC 60364 del 7.

V vprašalniku so spraševali nacionalne komiteje, ali se naj ta predlog iz 60364-5-55 prenese v del 60364-7-7XX. Odgovori so zbrani v dokumentu Report of Comments on 64/2356/Q. Avstrijci in Nemci odgovarjajo, da ni potrebe po premestitvi.

5. Uredba 2016/631 in predlog standarda prEN 50549-1

Na evropskem nivoju je bila sprejeta *UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/631 z dne 14. aprila 2016 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje* [16]. Z njo želijo čim bolj harmonizirati pravila za priključitev elektroenergijskih modulov na omrežje in velja za nove priključitve. Tako kot vsaka uredba ima tudi ta izraze in definicije, ki pa ni nujno, da so enaki, kot jih uporablja stroka. V tretji točki predloga standarda prEN 50549-1 pod opombo piše: »Terms and definitions are selected to achieve consistency with IECV (cf. www.electropedia.org) and CENELEC terminology, recognizing that terms in COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 may deviate«.

Standard je bil že sprejet v sistem slovenske standardizacije kot: *SIST EN 50549-1:2019 Zahteve za vzporedno vezavo generatorskih postrojev z javnim razdelilnim omrežjem - 1-1. del: Vezava z nizkonapetostnim razdelilnim omrežjem - Generatorski postroji do vključno tipa A*

Uredba je bila izdana 14.4.2016 in v 72. členu je napisano, da začne veljati dvajseti dan po objavi v Uradnem listu Evropske unije. Piše še, da se uredba prične uporabljati v treh letih po objavi in je v celoti zavezujoča ter se neposredno uporablja v vseh državah članicah.

Evropski mandat [17], ki se imenuje tudi »zahteva za standard (standardization request)« je mehanizem s katerimi Evropska Komisija pri evropskih standardizacijskih telesih zahteva pripravo evropskega standarda in ga tudi financira.

Na podlagi EC mandata M/490 z naslovom *Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment* [18] je bil pripravljen standard EN 50549-1. Standard je bil pripravljen v tehničnem odboru CLC/TC 8X »System aspects of electrical energy supply«, ki ima pri nas zrcalni tehnični odbor SIST TC NTF (Oskrba z električno energijo), katerega vodi mag. Dejan Matvoz iz Elektro inštituta Milan Vidmar. V dodatku H, ki je informativen, je primerjalna tabela v kateri so zapisane posamezne točke standarda in točke uredbe 2016/631. Če proizvodna naprava (generating plant) ustreza evropskemu standardu, potem ustreza tudi uredbi pod pogojem, da se z vsemi nastavitvami strinja tudi operater distribucijskega omrežja.

V dodatku D, ki je informativen, je pregled posameznih nacionalnih zahtev in priporočil. Nekaj teh:

Austria	TOR D4 Technical and organisational rules by e-control Part D: Special technical rules Section D4: Operation of generating stations in parallel with distribution networks
Germany	VDE-AR-N 4100 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Niederspannungsnetz und deren Betrieb VDE-AR-N 4105 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz VDE-AR-N 4110 Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb
Slovenia	SONDO and SONDSEE (Slovenian national rules for connection and operation of generators in the distribution network)

Zahteve za Slovenijo so bile pripravljene v SIST TC NTF (Oskrba z energijo). Iz tega sledi, da tudi v tehničnih odborih v SIST spremljajo zahteve v standardih in jih znajo prilagoditi zahtevam našega omrežja. Ta standard bo nadomestil standard EN 50438:2013 in tehnično specifikacijo CLC/TS 50549-1:2015.

6. Sklep

Standardi za električne inštalacije so navedeni v *Tehnični smernici TSG-N-002 Nizkonapetostne električne inštalacije*. Ker je v 8. členu tehnične smernice napisano, da se lahko uporabijo pri projektiranju in vzdrževanju tudi drugi ukrepi, če je z njihovo uporabo zagotovljena enaka varnost, izhaja iz tega, da standardi niso obvezni, ampak so samo pripomoček.

Tehnološki razvoj se hitro spreminja, uvajajo se nove tehnologije, zato se tudi standardi, ki jih diktirajo vodilna podjetja, hitro spreminjajo in varnostne zahteve zvišujejo. Pripravo predlogov standardov je treba spremljati kljub temu, da smo omejeni s kadri. Iz davkoplačevalskega denarja [19] se namreč **plačuje članarina v IEC in CENELEC, ki znaša okrog 100.000 EUR**. Zato je treba v to spremljanje vsaj na področju električnih inštalacij vključiti čim več zainteresiranih. Standardi iz področja električnih inštalacij so pomembni za mala in srednja podjetja, pa tudi za projektante električnih inštalacij, ki so na trgu dela kot »samostojni podjetniki«. Zaradi omejenih finančnih sredstev, je treba zagotoviti dostop do »obdelanih« informacij, ki se pojavljajo v predlogih standardov.

Predlagam:

- bolj aktivno sodelovanje v delu tehničnega odbora SIST/TC ELI (Električne inštalacije) vseh tistih, ki so povezani z električnimi inštalacijami;
- pod okriljem EZS in IZS ustanoviti delovno skupino, ki bo redno spremljala predloge novih standardov in z vsebino seznanjala člane EZS in IZS,
- posebej se zanimati za odstopanja oziroma posebnosti, ki jih predlagajo zlasti nacionalni komiteji Avstrije, Nemčije in morda Švice,
- EZS in IZS naj razmislita o izdaji komentarjev k sprejetim standardom in pridobiti sponzorje, ki proizvajajo inštalacijski material ali projektirajo in izvajajo električne inštalacije,
- Slovenskemu inštitutu za standardizacijo predlagati, da omogoči dostop do vsebine standardov na javnih mestih kot so: fakultete, strokovne šole, IZS in njene regionalne gospodarske zbornice, Obrtna zbornica Slovenije in njene območne enote, knjižnice, ...,
- v delo v standardizaciji se naj vključijo učitelji strokovnih predmetov na šolah, morda na način, da se jih včlani v SIST kot častne člane,
- preveriti, če je res, da mora biti vse, kar se financira iz davkoplačevalskega denarja dosegljivo (kako je s pripravljalnimi dokumenti in Zakonu o javno dostopnih informacijah,
- razmisliti o sodelovanju z avstrijskim OVE,
- pripraviti predlog za dopolnitev Navodila o sprejemanju standardov, kjer se podrobno določi sprejem harmonizacijskega dokumenta v s slovenskimi posebnostmi,
- kljub dodatnim stroškom pri prevajanju standardov, dati predlog na SIST, da se standardi iz področja električnih inštalacij zaradi njihovega števila, ponudijo s posebnim popustom.

7. Literatura

- [1] SIST HD 60364-8-2:2019 Nizkonapetostne električne inštalacije - 8-2. del: Električne inštalacije proizvajalcev-odjemalcev
- [2] https://www.cenelec.eu/dyn/www/f?p=104:22:952285128751601:::FSP_ORG_ID,FSP_LAN_G_ID:1257163,25#2 (dostop 3.3.2019)
- [3] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.C_.2018.326.01.0004.01.SLV (dostop 3.3.2019)
- [4] 10. člen Navodila o postopku sprejemanja slovenskih nacionalnih standardov in drugih dokumentov s področja slovenske nacionalne standardizacije (<http://www.sist.si/navodilo-o-sprejemanju-standardov>) (dostop 3.3.2019)
- [5] http://www.sist.si/image/catalog/DOWNLOAD/Poslovnik_Strokovnega_sveta_SIST_2010.pdf (dostop 3.3.2019)
- [6] https://boss.cenelec.eu/ref/IR2_E.pdf (dostop 3.3.2019)
- [7] Uredbo o postopkih notificiranja na področju standardov, tehničnih predpisov in postopkov za ugotavljanje skladnosti (Uradni list RS, št. 66/2000)
- [8] Zakon o standardizaciji (Uradni list RS, št. 59/99)
- [9] Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 41/09, 2/12 in 61/17 – GZ)
- [10] http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev_objektov/tsg_N_002_2013_nizkonapetosne_el_instalacije.pdf (dostop 3.3.2019)
- [11] Uradni list RS št. 66/2005 in 35/2005
- [12] <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris> (dostop 3.3.2019)
- [13] <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search/?trisaction=search.detail&year=2017&num=373> (dostop 3.3.2019)
- [14] http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/zakonodaja/energetika/predlogi_pravnih_aktov/uredba_samooskrba_ee_jo_dec2018.pdf (dostop 3.3.2019)
- [15] 64/2154/FDIS Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations -Solar photovoltaic (PV) power supply systems
- [16] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631&from=EN>
- [17] <https://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whatwestandfor/supportlegislation/europeanmandates.html>
- [18] ftp://ftp.cencenelec.eu/CENELEC/EuropeanMandates/M_490.pdf (dostop 3.3.2019)
- [19] 20. člen Sklepa o ustanovitvi SIST (Uradni list RS, št. 70-3343/2000, in sprememba Uradni list RS, št. 91-4591/2002)



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT III

Marko Kotnik, univ. dipl. inž. el.

marko.kotnik@dri.si

DRI, družba za razvoj infrastrukture, d.o.o., Ljubljana, Kotnikova ulica 40

ZGODE IN NEZGODE PRI IZVAJANJU ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ

Povzetek: Niskonapetostne električne inštalacije morajo pri svojem delovanju zagotavljati električno varnost, predvsem zaščito pred električnim udarom. Zahteve za električno varnost, ki jih mora izpolnjevati niskonapetostna električna inštalacija, natančno podajajo deli standarda SIST HD 60364 – Niskonapetostne električne inštalacije.

Na posamezna poglavja ali dele tega standarda se navezujejo drugi standardi, kar je potrebno upoštevati, če je električna inštalacija nameščena na objektu, kjer se srečamo tudi z inštalacijami visoke napetosti, napravami, ki so sicer priključene na električno inštalacijo, zahtevani pa so dodatni pogoji, svoj sistem inštalacije ali zaščite pred električnim udarom.

Določene naprave in oprema se morajo ob izpadu omrežne napetosti napajati preko varnostnega napajanja.

Na objektih železniške infrastrukture je veliko vrst električnih inštalacij, ki se med sabo prepletajo, a morajo delovati pravilno, tudi varno. Zahteve za električno varnost in električni udar so na področju železnic združene v standardu SIST EN 50122–1, Železniške naprave – Fiksne inštalacije – Električna varnost, ozemljitev in povratni vod – 1. del: Zaščita pred električnim udarom. Standard podaja zahteve za zaščitne ukrepe, pomembne za električno varnost v stalno nameščenih inštalacijah glede na izmenični ali enosmerni sistem vleke in na katerokoli inštalacijo, ki je v vplivnem območju napajalnega sistema električne vleke.

UVOD

Ko se dan prevesi v večer, ko sonce sporoča, da se odpravlja spat, je opazovanje sončnega zahoda ob lepem vremenu nekaj fantastičnega, očarljivega in predstavlja neizmerno lepoto. Naši kraji se potopijo v noč, ki naznanja obdobje počitka.

So pa področja in objekti, kjer življenje poteka 24 ur na dan. To so predvsem stavbe in objekti ob infrastrukturnih prometnicah, letališke stavbe in objekti, železniške postaje in objekti ter mnogi drugi objekti, kot so npr. bolnice. Moderni omenjeni objekti so danes zamišljeni in izvedeni tako, da poleg potniških terminalov predstavljajo centre nočnega življenja, kot so nakupovalni centri, zabavišni lokali, restavracije, kina in tako dalje.

Vse to omogočajo naprave, ki so priključene na električno napetost preko nizkonapetostnih električnih inštalacij. V omenjenih objektih se z električno energijo napajajo porabniki, kot so razsvetljava, ventilacijske naprave, naprave za ogrevanje in hlajenje, alarmne in krmilne naprave, kot tudi premična oprema, kot so kuhinjski aparati, video naprave in še veliko tega.

Za funkcioniranje omenjenih objektov skrbijo nepogrešljive električne inštalacije. Zanesljivo obratovanje omogočajo le kvalitetno izvedene električne inštalacije, kjer je upoštevana tudi električna varnost.

Referat opisuje izvedbo nizkonapetostnih električnih inštalacij na območju elektrificirane železnice.

REGULATIVA

Regulativo na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij ureja vsaka članica Evropske unije samostojno. V Sloveniji na tem področju velja Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Ur. list RS 41/2009 in 61/2017). V pomoč pravilniku je Tehnična smernica – Nizkonapetostne električne inštalacije iz leta 2013. V pravilniku je zapisano, če so pri projektiranju, izvedbi in vzdrževanju električnih inštalacij v stavbah v celoti uporabljeni ukrepi oziroma rešitve, navedeni v tehnični smernici oziroma v dokumentih, na katere se le-ta sklicuje, velja domneva o skladnosti z zahtevami pravilnika. Možna je uporaba standardov, o njih nekaj več v nadaljevanju.

Standard SIST HD 60364 – Nizkonapetostne električne inštalacije ima več delov, ki obravnavajo različne teme s področja nizkonapetostnih električnih inštalacij.

Regulativa na področju železnic je evropsko regulirana. Težnja je, da se vzpostavi »interoperabilnost« na evropskem železniškem omrežju, kar pomeni prost pretok železniškega transporta v Evropi, tako tudi poenotenje predpisov.

Krovni dokument na tem področju je Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta o interoperabilnosti železniškega sistema v Evropski uniji. Na osnovi te direktive so izdane Uredbe za različna področja železniškega sistema. Vsi navedeni dokumenti pa se sklicujejo in zahtevajo uporabo harmoniziranih standardov, s skupnim naslovom Železniške naprave. V referatu so obravnavane dodatne zahteve za varnost električnih inštalacij, ki jih podaja standard SIST EN 50122–1 – Železniške naprave – Fiksni postroji – Električna varnost, ozemljevanje in povratni tokokrog. 1. del podaja dodatne zahteve za zaščitne ukrepe pred električnim udarom.

ELEKTRIČNE INŠTALACIJE IN SISTEMI NA ŽELEZNICI

Na področju železniške infrastrukture se med seboj prepletajo nizkonapetostne električne inštalacije, ki služijo večim zaključenim sistemom, kot so:

- električne inštalacije v stavbah (mala moč, prezračevanje, razsvetljava – zunanja in notranja itd.);
- električne inštalacije signalnovarnostnih naprav;

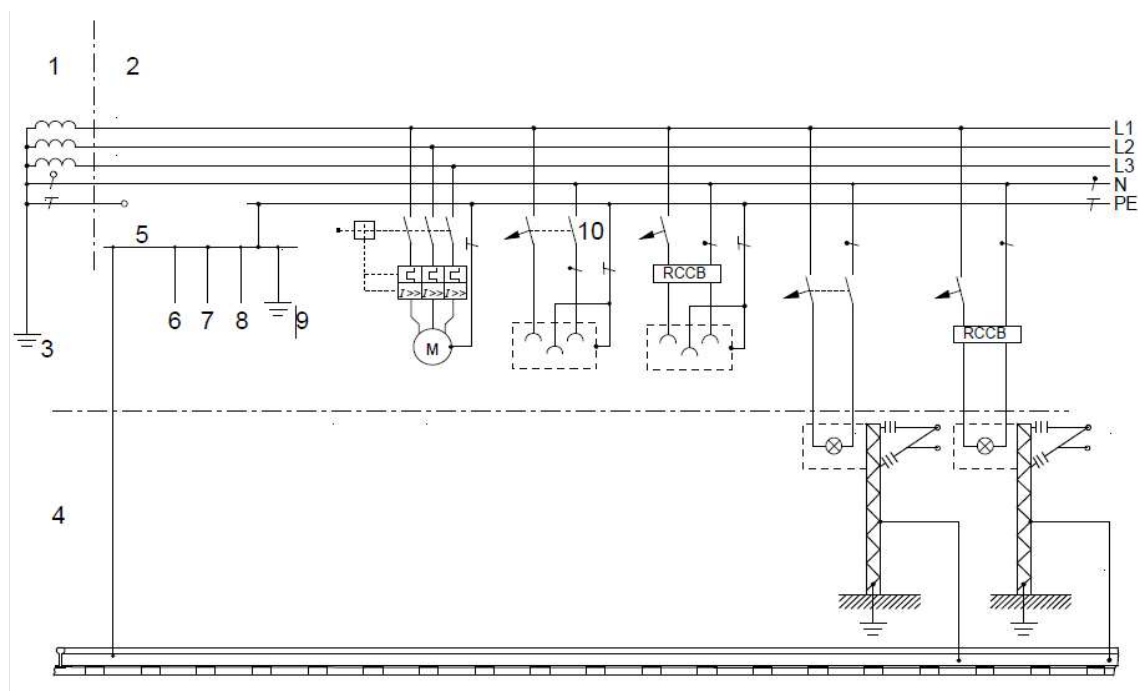
- električne inštalacije za gretje kretnic;
- inštalacije alarmnih sistemov (požar, vlom, kontrola pristopa itd.);
- električne inštalacije visoke napetosti za vleko vlakov;
- električne inštalacije naprav za obveščanje potnikov in ostale komunikacijske inštalacije.

Pri načrtovanju in izvedbi inštalacij za naprave v območju elektrificirane železnice je potrebno upoštevati možnost negativnega vpliva električne vleke tako na inštalacije, vsekakor pa na distribucijsko omrežje, ki napaja zgoraj navedene inštalacije in porabnike. Upoštevati je potrebno tudi električno varnost. V standardu SIST EN 50122–1 so prikazani in opisani potrebni ukrepi za zmanjšanje teh vplivov. Osnovni ukrepi so:

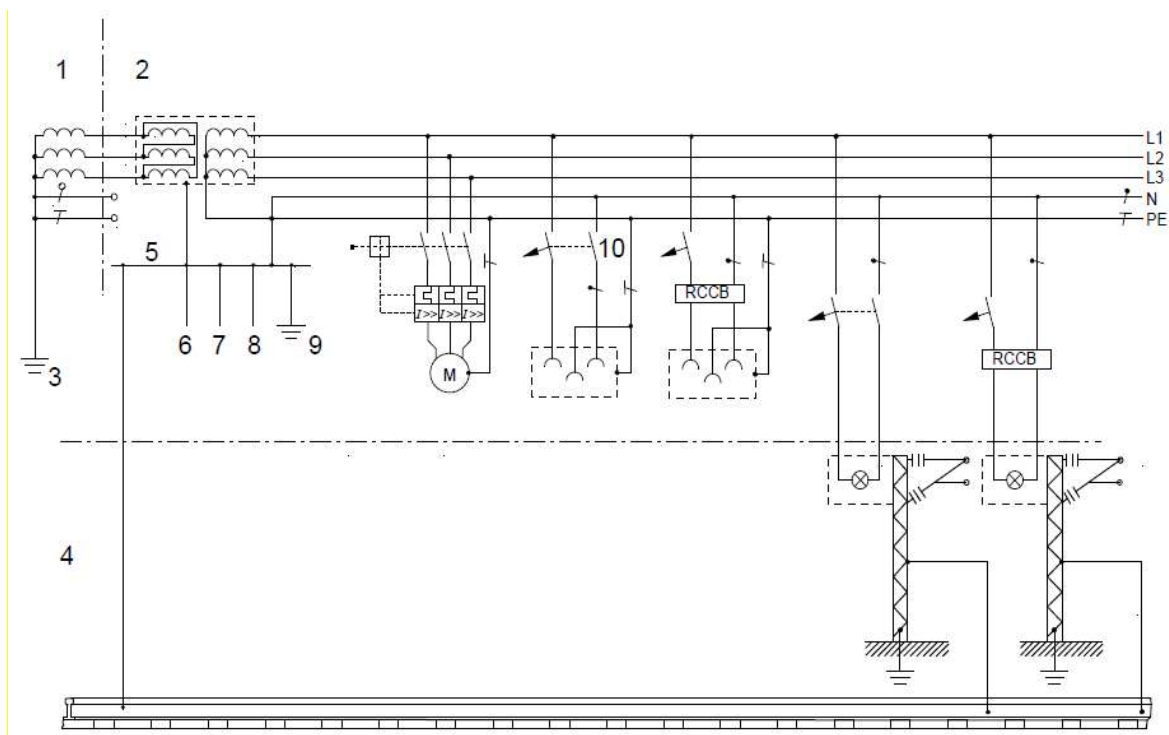
- vsi objekti v območju elektrificirane železnice naj imajo enotno ozemljilo, ki ni galvanско povezano z drugimi ozemljili;
- nevtralni vodnik distribucijskega sistema ne sme biti povezan z ozemljilnim sistemom (vseh) inštalacij v vplivnem območju elektrificirane železnice;
- na celotnem področju mora biti izvedena ustrezna izenačitev potencialov.

NAPAJANJE ELEKTRIČNIH INŠTALACIJ

Viri napajanja za nizkonapetostne električne inštalacije so različni. V največ primerih se napajajo iz javnih distribucijskih omrežij, oziroma sistemov, srednjenapetostnega kot tudi nizkonapetostnega nivoja.

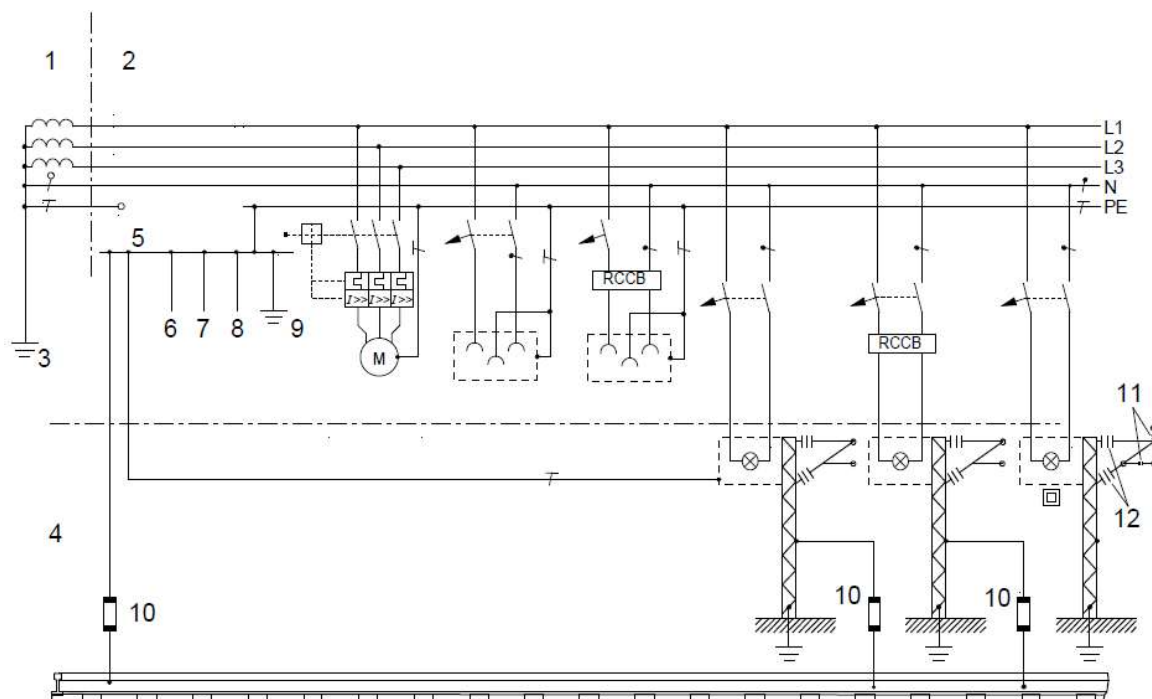


Slika 1 (Sistem TT)

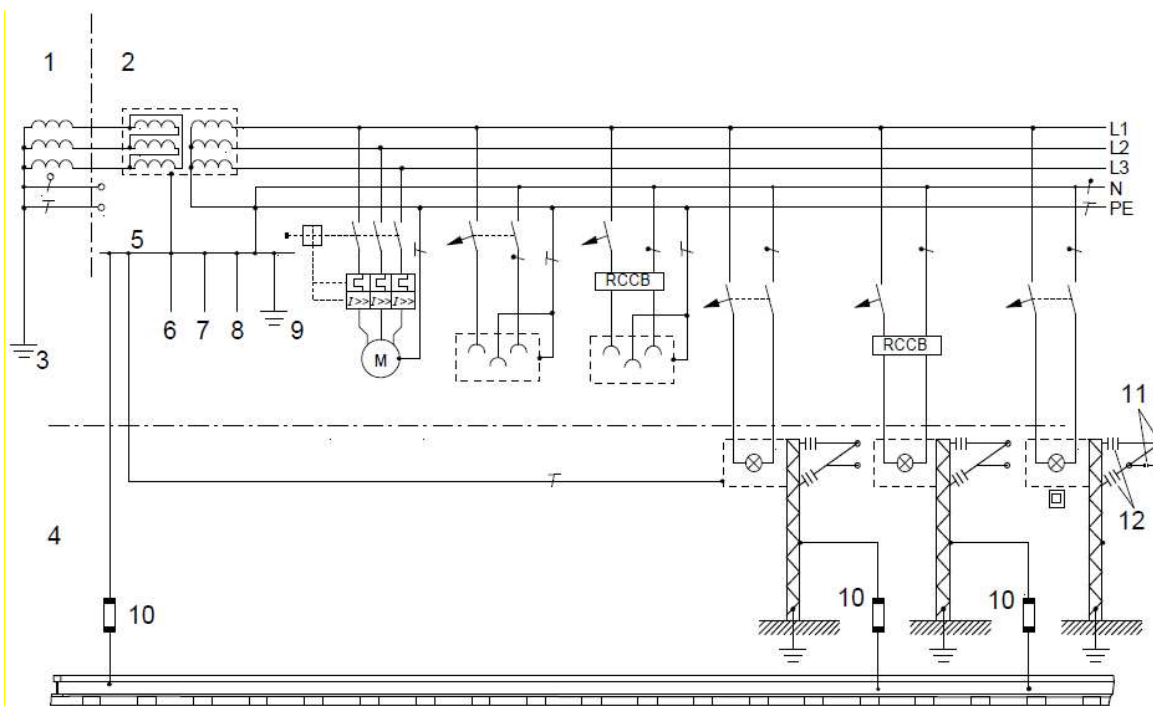


Slika 2 (Sistem TN)

Sliki 1 in 2: izmenični sistem vleke



Slika 3 (Sistem TT)



Slika 4 (Sistem TN)

Sliki 3 in 4: enosmerni sistem vleke

Oznake na slikah 1 do 4 pomenijo:

- 1 električno (javno) omrežje
- 2 železniško omrežje
- 3 ozemljilo javnega omrežja
- 4 cona voznega voda in odjemnika toka
- 5 zbiralka glavne izenačitve potencialov
- 6 kovinski cevovodi
- 7 gretje (kretnic)
- 8 zaščita pred strelo
- 9 ozemljilo železniškega sistema
- 10 izmenični sistem: potrebno, če potencial tirnice naraste nad 50 V.
enosmerni sistem: omejevalec napetosti (VLD).

Kot prikazujejo slike od 1 do 4, se na vplivnem območju elektrificirane železnice (enosmerni ali izmenični sistem vleke) izbere in izvede lokalni sistem ozemljitve inštalacij. Standard SIST EN 50122–1 predvideva uporabo sistema TN-S in sistema TT inštalacij. Ne priporoča sistema IT. Pri uporabi sistema TN-S, je potrebno vgraditi ločilni transformator.

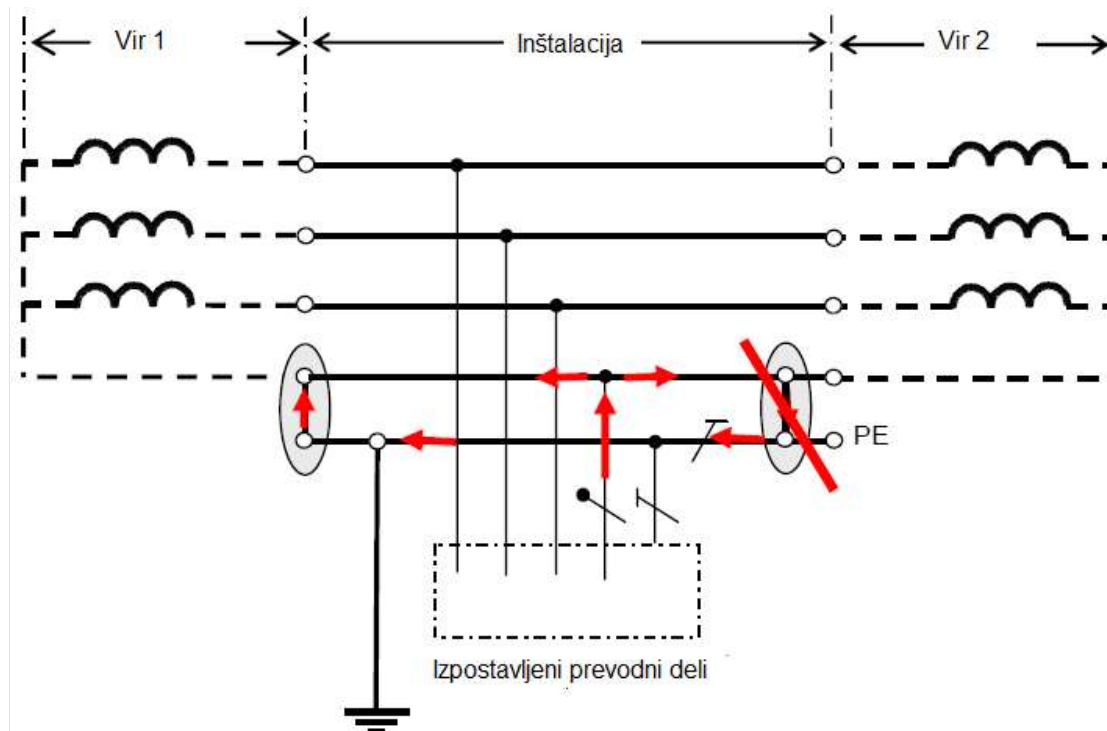
Nizkonapetostna električna inštalacija se v največ primerih napaja iz distribucijskega omrežja. Lahko se napaja že v osnovi iz nizkonapetostnega vira, tudi ob izpadu omrežne napetosti vlogo napajalnega vira prevzamejo diesel-električni agregati, elementi neprekinjenega napajanja, z eno besedo sistemi varnostnega napajanja.

V sistemih, kjer je možnost napajanja z več viri, je treba izvesti ukrepe, da del obratovalnega toka ne teče po nepredvidenih poteh. Ti toki lahko povzročijo požar, korozijo in elektromagnetne motnje. Razlago in ukrepe podaja standard SIST HD 60364 v delih 1 in 4-44. Dokumenta podajata pomembna pravila, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju takšnega sistema.

Pri inštalaciji z več viri napajanja morajo biti zvezdišča različnih virov zaradi EMC vplivov medsebojno povezana z ustrezno izoliranim vodnikom, ki je ozemljen le enkrat, v eni sami točki. Ta povezava z ozemljitvijo mora biti v nizkonapetostnem razdelilniku.

Če je več ozemljenih zvezdišč pri več virih napajanja, se lahko zgodi, da tok nevtralnega vodnika teče proti pripadajočemu zvezdišču tako po nevtralnem vodniku, kot tudi po zaščitnem vodniku, kar prikazuje slika 5.

Kjer so povezave izvedene z enožilnimi kabli, skozi katere teče izmenični tok, se okrog posamezne žile kabla vzpostavi krožno elektromagnetno polje, ki lahko vpliva na elektronsko opremo. V posameznem vodniku se pojavijo višje harmonske komponente, ki povzročijo podobna elektromagnetna polja, a se jakost teh polj z oddaljenostjo zmanjšuje hitreje, kot polje osnovne komponente.



Slika 5

Omenjeni standard poda tudi opozorilo, da se mora izvesti prekop napajanja iz enega vira na drugega s stikalno manipulacijo, kjer se preklopi linijske vodnike in nevtralni vodnik.

IZENAČITEV POTENCIALOV

Na območju železniške postaje, postajališča ali tehničnih območjih in celotni železniški infrastrukturi je veliko kovinskih konstrukcij, kot so stebri voznega voda, kandelabri razsvetljave, kovinske nadstrešnice peronov, kovinske ograje, stebri signalov itd (glej slike od 1 do 4). Zaradi električne varnosti standard SIST EN 50122–1 zahteva, da so vsi izpostavljeni prevodni deli, ščiteni z isto zaščitno napravo, med seboj povezani v zaščitno izenačitev potencialov in ozemljeni na ozemljilni sistem, ki je skupen temu delu inštalacije.

Prav tako standard SIST HD 60364–4-41 podaja zahteve za zaščito pred električnim udarom s samodejnim odklopom napajanja. Izvesti je potrebno zaščitno ozemljitev in zaščitno izenačitev potencialov.

Hkrati dotakljivi izpostavljeni prevodni deli morajo biti z ustreznim zaščitnim vodnikom spojeni na isti ozemljitveni sistem posamično, v skupinah ali skupno.

V vsakem tokokrogu inštalacije objekta mora biti zaščitni vodnik, ki je ozemljen preko ozemljitvene sponke ali zbiralke.

Po SIST HD 60364–4-41 mora objekt imeti ozemljitveni vodnik z glavno ozemljitveno zbiralko, na katero so povezani vsi tuji prevodni deli. Ta zahteva je prikazana tudi na slikah 1 do 4.

SIST EN 50122–1 opozarja, da morajo imeti zaščitni vodniki električne inštalacije ustrezen presek, da se ne pregrejejo, če po njih teče del toka povratnega voda. Načrta povratnega voda in izenačitve potencialov morata biti medsebojno usklajena, tudi glede koordinacije izolacije napajalnih in komunikacijskih kablov, ki so priključeni na opremo, nameščeno znotraj cone voznega voda ali odjemnika toka. Za primer zemeljskega stika na sistemu voznega voda mora biti oprema (vodniki in druga oprema) izbrana tako, da se ne poškoduje.

Standard podaja cono voznega voda in cono odjemnika toka v posebnem poglavju, kar je bilo opisano in prikazano v referatu lanskega posvetovanja.

INŠTALACIJE, OGROŽENE ZARADI POVRATNEGA VODA ELEKTRO VLEKE

Za zmanjšanje uhajavih tokov noben element povratnega voda ne sme imeti neposrednega galvanskega stika z inštalacijo, komponentami ali kovinskimi konstrukcijami, ki niso izolirane od zemlje. Takšne vrste inštalacije so dejansko vedno v območju cone voznega voda, oziroma cone odjemnika toka. Kot primer navedimo inštalacije za gretje kretnic in inštalacije za signalnovarnostne naprave. Zahteve za izvedbo inštalacij za signalnovarnostne naprave podajajo posamezni proizvajalci teh vrst naprav.

Drugače je z inštalacijami za gretje kretnic, kjer so grelci nameščeni neposredno na tirnice. Če je povezava inštalacij z elementi povratnega voda (tirnice) neizogibna, je potrebno zaradi zaščite pred električnim udarom zmanjšati tudi vplive uhajavih in blodečih tokov, kot tudi vpliv toka povratnega voda na takšno inštalacijo.

Standard sicer priporoča, da se uporabita sistema TN ali TT inštalacij, v tem primeru se lahko uporabi tudi sistem IT inštalacije.

Zaščita pred posrednim dotikom za opremo ali inštalacijo, ki ni razreda II, mora biti izvedena, skladno s SIST HD 60364-4-41, saj je inštalacija v območju cone voznega voda, oziroma cone odjemnika toka. V takem primeru se izbere zaščitni ukrep električno zaščitno ločevanje, kjer je osnovna zaščita zagotovljena z osnovno izolacijo delov pod napetostjo, zaščita ob okvari pa z enostavno ločitvijo tokokrogov od drugih tokokrogov in zemlje.

Tokokrogi takšnih inštalacij z več porabniki morajo biti zaščiteni pred mehanskimi poškodbami in okvaro izolacije. Po standardu SIST HD 60364-4-41 morajo biti izpostavljeni prevodni deli medsebojno povezani z neozemljenim vodnikom za zaščitno izenačitev potencialov, na železnici je to od zemlje izolirana tirnica.

Zagotovljeno mora biti, da ob nastanku dveh okvar, katerih posledica je različen potencial na dveh izpostavljenih prevodnih delih, zaščitna naprava odklopi napajanje v času, ki je predpisan za zaščitni ukrep s samodejnim odklopom napajanja in ga standard podaja v tabeli.

Priporoča se, da zmnožek nazivne napetosti tokokroga v voltih in njegove dolžine v metrih ne presega vrednosti 100 000 in da dolžina kablov in vodnikov ni daljša od 500 m.

ZAKLJUČEK

Referat obravnava le klasične nizkonapetostne električne inštalacije, kjer se želi prikazati kompleksnost potrebnih rešitev in izvedbe. Tema referata je nastala na osnovi izkušenj s konkretnih projektov na javni železniški infrastrukturi, ki so bili in so še v teku v Sloveniji.

Električne inštalacije na območju železnice, kot tudi na drugih objektih so kompleksna zadeva. Izkušnje kažejo, da električne inštalacije nekega železniškega objekta projektira več projektantov elektrotehniške stroke. Ker se te inštalacije med seboj prepletajo, je nujno medsebojno sodelovanje projektantov.

Še vedno velja, da je možna tehnično in ekonomsko optimizirana zasnova električnih inštalacij, če so koordinirani koraki ukrepov že v fazi projektiranja med projektanti gradbenih konstrukcij, projektanti vseh elektrotehniških sistemov in opreme ter električnih inštalacij. To velja za izvedbo inštalacij na vsakem objektu, pa tudi za vzdrževanje v fazi obratovanja.

UPORABLJENA LITERATURA

SIST EN 50122–1

Železniške naprave – Stabilne naprave – Električna varnost, ozemljitev in povratni vod
– 1. del: Zaščitni ukrepi pred električnim udarom

SIST IEC 60364–1

Niskonapetostne električne inštalacije – 1. del: Temeljna načela, ocena splošnih
karakteristik, definicije

SIST IEC 60364–4-41

Niskonapetostne električne inštalacije – 4-41. del: Zaščitni ukrepi – Zaščita pred
električnim udarom

SIST HD 60364–4-442

Niskonapetostne električne inštalacije – 4-442. del: Zaščitni ukrepi – Zaščita
niskonapetostnih inštalacij pred časnimi prenapetostmi zaradi zemeljskega stika v
visokonapetostnem sistemu in zaradi napak v niskonapetostnem sistemu.



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT IV

mag. Darko Koritnik, univ. dipl. inž. el.

darko.koritnik@icem-tc.si

Infrastrukturni center za energetske meritve ICEM-TC

SELEKTIVNOST PRETOKOVNIH ZAŠČIT V ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Povzetek

Kratek stik ali preobremenitev ni normalno obratovalno stanje, vendar je pričakovano. Električne inštalacije morajo biti zasnovane in izvedene tako, da takšni dogodki ne povzročijo dodatnih poškodb ali okvar. Najpomembnejši ukrep za zaščito inštalacij pred povišanim tokom je vgradnja ustreznih zaščitnih naprav, ki morajo povišane toke prekiniti in okvarjeno mesto ločiti od omrežja.

Kakovost električne energije zajema različne parametre, med drugim tudi zanesljivost napajanja. Vsak izklop odjemalca pomeni zmanjšanje zanesljivosti in s tem slabšo kakovost električne energije.

Zagotavljanje varnosti tokokrogov brez nepotrebnega zmanjševanja kakovosti električne energije zahteva preudarno načrtovanje nadtokovnih zaščit. V primeru okvare mora zaščita ustrezno ločiti okvarjeno mesto vendar pri tem ne sme izklopiti ostalih odjemalcev oz. izklopi le manjšo skupino odjemalcev. Ta koncept projektiranja in izvajanja zaščit se imenuje selektivnost zaščit.

Načrtovanje nadtokovnih zaščit z zagotavljanjem selektivnosti temelji na določenih pravilih. V prispevku so predstavljena ta pravila za dve najbolj pogosti nadtokovni zaščiti v nizkonapetostnih inštalacijah: taljivo varovalko in inštalacijski odklopnik. Razloženi so fizikalni procesi delovanja teh naprav ter standardi, ki določajo njihove karakteristike in njihovo povezavo s pravili za zagotavljanje selektivnosti.

1 UVOD

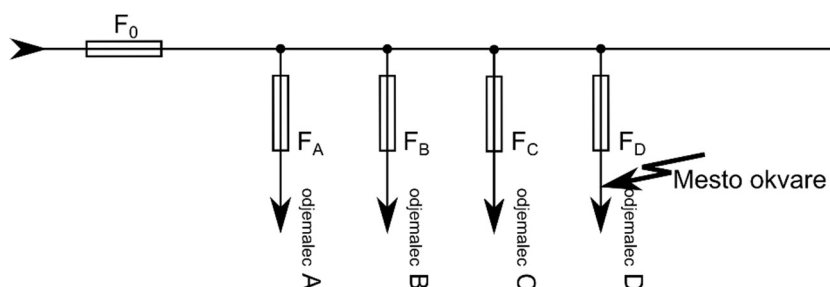
Osnovni podatek dimenzioniranja posameznega segmenta ali elementa električne inštalacije je nazivni tok. Vsa oprema mora biti izbrana tako, da lahko trajno prevaja nazivne toke. Občasno pa lahko stečejo tudi večji toki od nazivnih. Povečanje toka preko nazivnih vrednosti je lahko posledica različnih vzrokov. Tudi posledice povišanih tokov so različne, v vsakem primeru pa morajo zaščitni elementi preprečiti ali omejiti škodo na napravah ali inštalaciji. Vse naprave zdržijo določeno povečanje toka, vendar omejeni čas. Pogoste so kratkotrajne preobremenitve, ki niso nevarne za opremo in jih ne obravnavamo kot stanja, ki zahtevajo delovanje zaščite. Če pa je ta čas predolg, pa morajo zaščitni elementi tokokrog prekiniti. Vsaka prekinitev napajanja pa predstavlja motnjo v oskrbi in je s stališča obratovalne zanesljivosti nezaželeno. Kompromisov pri zaščiti ni in ne sme biti. V primeru okvare, ki ogroža opremo in ljudi moramo preprečiti ali omejiti škodo tako, da izklopimo vir napajanja. Lahko pa omejimo število naprav oz. področje, ki ga zaščita izklopi. To dosegamo z določenimi pravili dimenzioniranja nadtokovne zaščite, ki jih združujemo pod pojmom »selektivnost nadtokovnih zaščit«.

2 SELEKTIVNOST NADTOKOVNIH ZAŠČIT

Električne inštalacije so praviloma izvedene radialno. Takšna izvedba je pregledna in enostavna. Slabost pa so veliki padci napetosti in majhna zanesljivost obratovanja. Prekinitev omrežja v določeni točki, povzroči prekinitev napajanja vsem odjemnikom, ki se napajajo preko te točke.

S konceptom selektivnosti zagotavljamo zanesljiv izklop mesta okvare, vendar z izklopom minimalnega števila odjemalcev.

Primer: Okvara v tipični inštalaciji radialne izvedbe.



Slika 1: Primer okvare v radialnem omrežju

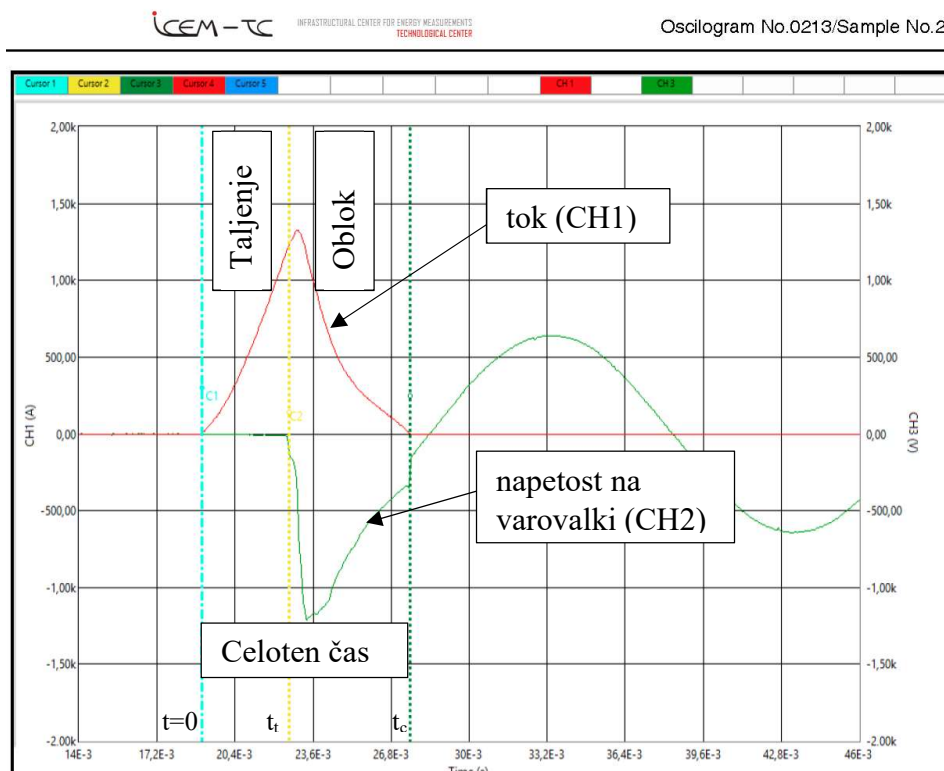
Na sliki je prikazana preprosta radialna inštalacija. Preko varovalke F_0 se napajajo odjemalci A, B, C, D. Vsak odjemalec pa je dodatno varovan še z varovalko F_A , F_B , F_C , F_D . Okvara, npr. kratek stik se pojavi na vodu do odjemalca D. Zaščita mora mesto okvare odklopiti. Teoretično lahko to naredi varovalka F_0 , F_D ali pa obe. Če deluje varovalka F_0 , bo mesto okvare izklopljeno s čemer se zaščiti omrežje, naprave in tudi ljudje. Vendar to pomeni, da izpade napajanje vsem odjemalcem (A, B, C, D). S stališča zanesljivosti delovanja, morajo ostati odjemalci A, B in C v obratovanju, izklopiti pa je potrebno le vod do odjemalca D. Omrežje predvsem zaščitni elementi morajo biti dimenzionirani tako, da bo v primeru opisane okvare delovala le varovalka F_D , medtem ko bodo ostale varovalke še naprej prevajale. Kratek stik ni edina okvara, ki jo je potrebno selektivno izklopiti. Enako velja tudi za preobremenitve ali druge vzroke povišanega toka. Selektivnost nadtokovnih zaščit mora biti zagotovljena na celotnem območju okvarnih tokov od nazivnega pa vse do tokov popolnega kratkega stika.

3 DELOVANJE TALJIVIH VAROVALK

Taljive varovalke so na videz preprost element, ki dobesedno predstavlja najšibkejši člen v tokokrogu. V primeru nedopustnega povečanja toka taljivi element pregori v kontroliranem okolju in tako prekine tokokrog.

Proces pregorevanja taljivega elementa je nazorno viden v primeru kratkega stika:

Primer taljive varovalke ETI D02 gG 400 V 25 A, ki je prekinjala tokokrog 450 V, 1268 A, $\cos\varphi = 0,29$.



Slika 2: Oscilogram delovanja taljive varovalke v kratkem stiku.

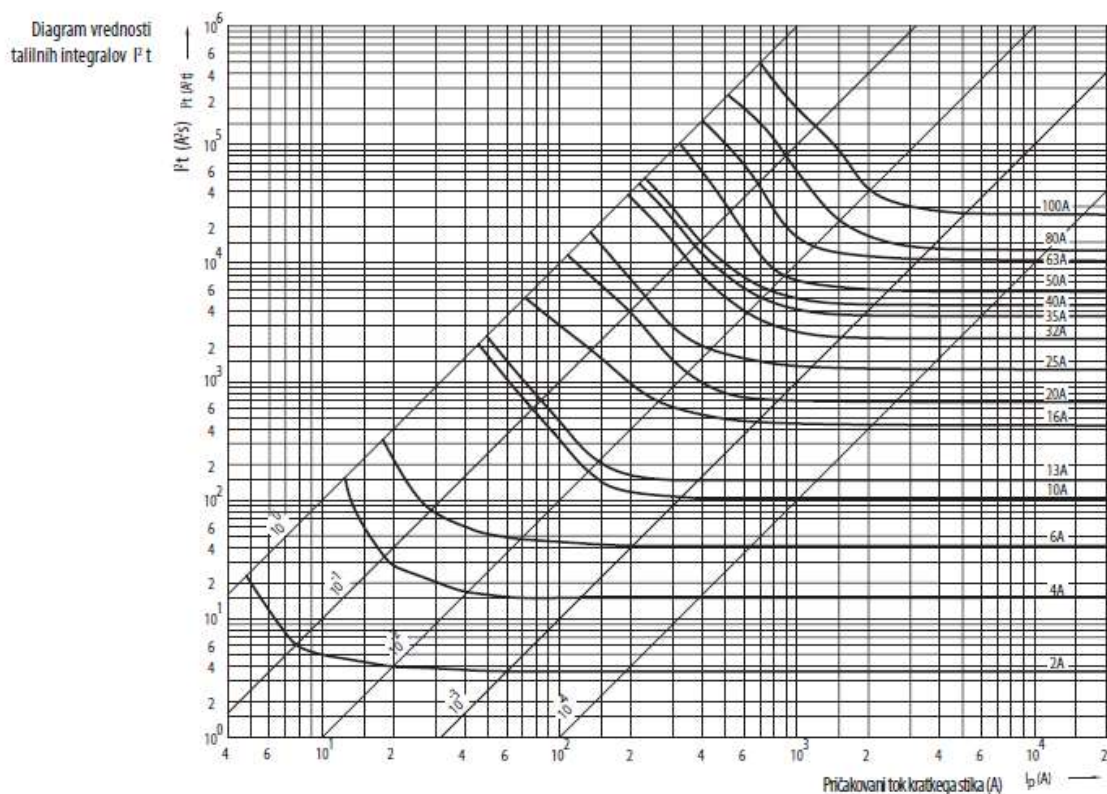
Celoten proces je razdeljen na dva dela:

1. **Taljenje oslabitev.** V tem času se oslabljenja mesta taljivega elementa segrevajo, kar se vidi v rahlem povišanju upornosti. Na oscilogramu se to nakazuje kot povišanje padca napetosti na varovalki. Če v tem času tok preneha teči ali se zmanjša, se taljivi element ohladi in lahko nemoteno obratuje dalje. Koliko časa lahko teče določen tok skozi varovalko, da le-ta še ni trajno poškodovana nam pove specifična energija:

$$i^2 t_t = \int_0^{t_t} i^2 dt \quad (1)$$

V obravnavanem primeru znaša specifična energija taljenja $1440 \text{ A}^2\text{s}$

Če skozi varovalko 25A steče tokovni sunek s specifično energijo manjšo od $1440 \text{ A}^2\text{s}$, ta varovalka ne bo pregorela. Nekateri proizvajalci podajajo tudi diagrame specifične energije taljenja v odvisnosti od pričakovanega toka kratkega stika:



Slika 3: Primer diagrama talilnih specifičnih energij za taljive varovalke ETI DI-DV, gG

2. **Oblok.** Močnejši tokovni sunek od specifične energije taljenja povzroči taljenje oslabljenih delov. Staljen material (baker pri 1085 °C) ima bistveno večjo upornost, zato se ti deli še intenzivneje segrevajo in posledično se material upari (baker pri 2567 °C). Ob prisotnosti obloka se tokokrog prekine. Časovni integral kvadrata toka v času obloka je specifična energija obloka.

$$i^2 t_o = \int_{t_t}^{t_c} i^2 dt \quad (2)$$

Za potrebe selektivnosti je pomembna specifična energija celotnega procesa pregorevanja varovalk:

$$i^2 t_c = \int_0^{t_c} i^2 dt \quad (3)$$

4 ZAHTEVE STANDARDOV ZA TALJIVE VAROVALKE

Področje nizkonapetostnih taljivih varovalk za inštalacije obravnava serija standardov:

SIST EN 60269 Nizkonapetostne varovalke.

V standardu SIST EN 60269 -2 je področje selektivnosti neposredno ali posredno obravnavano na več mestih v smislu preskusnih zahtev za varovalke. Najbolj nazorno je zagotavljanje selektivnosti vidno v poglavju 8.7.4 *Verification of overcurrent discrimination*.

Preglednica 113 iz standarda nazorno kaže, da je selektivnost zagotovljena, če je razmerje med nazivnimi toki varovalk vsaj 1:1,6

Table 113 – Test currents and I^2t limits for discrimination test

I_n A	Minimum pre-arcing I^2t		Maximum operating I^2t		Discrimination ratio
	Prospective I r.m.s. kA	I^2t A ² s	Prospective I r.m.s. kA	I^2t A ² s	
2	0,013	0,67	0,064	16,4	Can be calculated
4	0,035	4,90	0,130	67,6	
6	0,064	16,40	0,220	193,6	
8	0,100	40,00	0,310	390,0	
10	0,130	67,60	0,400	640,0	
12	0,180	130,00	0,450	820,0	
16	0,270	291,00	0,550	1 210,0	1:1,6
20	0,400	640,00	0,790	2 500,0	
25	0,550	1 210,00	1,000	4 000,0	
32	0,790	2 500,00	1,200	5 750,0	
40	1,000	4 000,00	1,500	9 000,0	
50	1,200	5 750,00	1,850	13 700,0	
63	1,500	9 000,00	2,300	21 200,0	
80	1,850	13 700,00	3,000	36 000,0	
100	2,300	21 200,00	4,000	64 000,0	
125	3,000	36 000,00	5,100	104 000,0	
160	4,000	64 000,00	6,800	185 000,0	
200	5,100	104 000,00	8,700	302 000,0	
224	5,900	139 000,00	10,200	412 000,0	
250	6,800	185 000,00	11,800	557 000,0	
315	8,700	302 000,00	15,000	900 000,0	
400	11,800	557 000,00	20,000	1 600 000,0	
500	15,000	900 000,00	26,000	2 700 000,0	
630	20,000	1 600 000,00	37,000	5 470 000,0	
800	26,000	2 700 000,00	50,000	10 000 000,0	
1 000	37,000	5 470 000,00	66,000	17 400 000,0	
1 250	50,000	10 000 000,00	90,000	33 100 000,0	

Slika 4: Preskusne zahteve za minimalne in maksimalne specifične energije
po standardu SIST HD 60269-2:13

Primer:

Za obravnavo si pogledjmo 16A varovalko in prvo višjo, s katero sta selektivni. Po pravilih selektivnosti (1:1,6) je to 25A. Kot vidimo, velja tudi pravilo dveh stopenj nazivnih tokov.

Če sta takšni varovalki vezani v tokokrogu zaporedoma in steče kratkostični tok (550A), mora 16A varovalka pregoreti preden se stali taljivi element 25A varovalke. Maksimalna specifična energija celotnega procesa pregorevanja 16A varovalke je lahko največ $1\,210\,000\text{ A}^2\text{s}$. Istočasno pa pri enakih testnih pogojih tolikšna specifična energija ne sme degradirati taljivega elementa 25A varovalke. Torej mora biti minimalna specifična energija taljenja 25A varovalke najmanj $1\,210\,000\text{ A}^2\text{s}$.

Na ta način standard zagotavlja selektivnost varovalk katerih je nazivni tok v razmerju vsaj 1:1,6 za področje kratkega stika. Selektivnost mora biti zagotovljena za celotno območje tokovnih preobremenitev. Standard podaja dodatne zahteve oz. preskuse s katerimi se zagotavlja selektivnost za nižje toke, ki jih mora varovalka izklopiti.

5 ZAGOTAVLJANJE SELEKTIVNOSTI PRI TALJIVIH VAROVALKAH

Pri varovanju s taljivimi varovalkami se selektivnost zagotavlja z izborom nazivnih tokov. Kot je opisano v prejšnjem poglavju sta varovalki selektivni, če je razmerje nazivnih tokov vsaj 1:1,6. Nabor standardnih nazivnih tokov je narejen tako, da je to razmerje zagotovljeno, če izberemo takšne varovalke, da sta med njima vsaj dve stopnji nazivnih tokov.

Na primer: Če želimo selektivno zaščito z 16A varovalko mora pred to varovalko biti vsaj 25A varovalka. Kombinacija 16A in 20A varovalke ne zagotavlja selektivnosti.

Preskus:

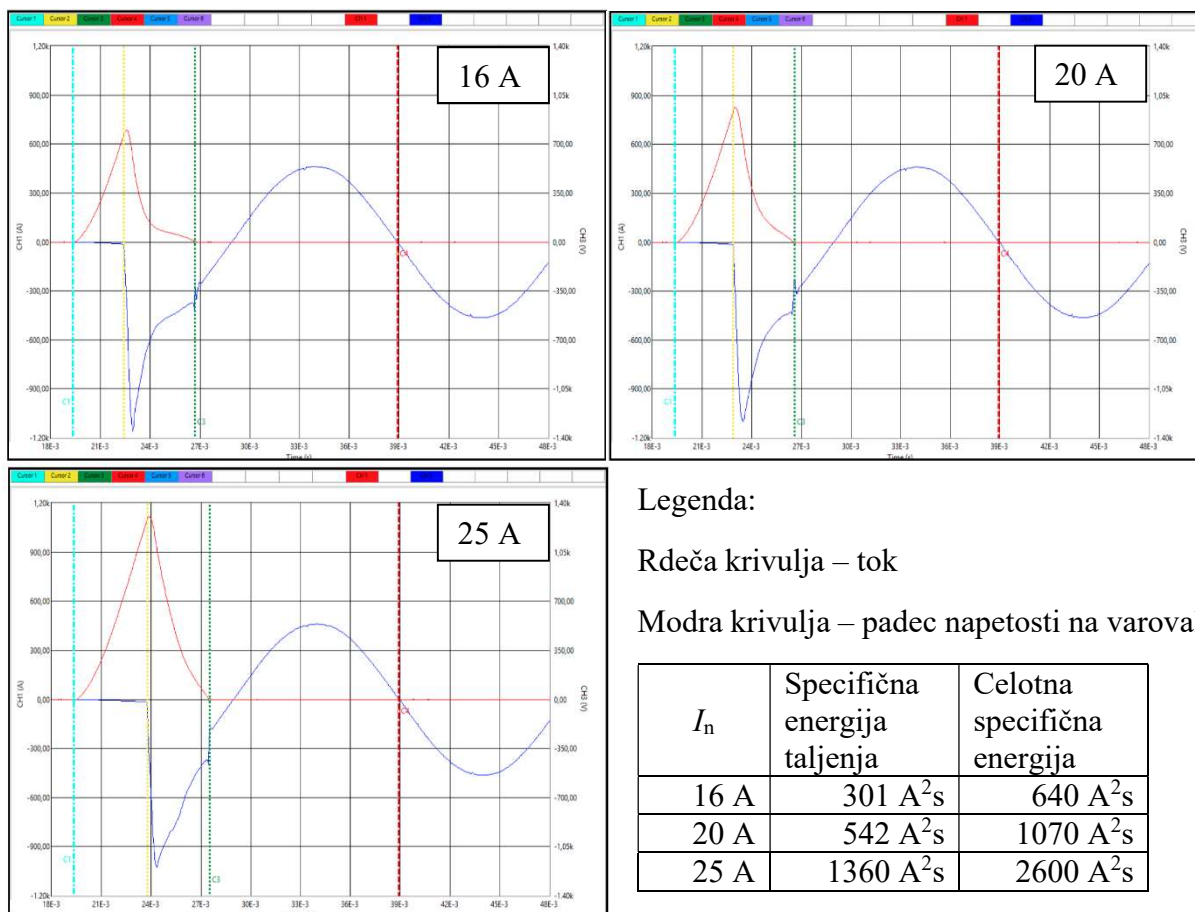
Toki kratkega stika ali preobremenitve lahko segajo nazivnih pa vse tja do nekaj kA. Selektivnost mora biti zagotovljena na celotnem področju. Za preskus smo izbrali tipične razmere medfaznega kratkega stika v električni inštalaciji:

$$U_p = 377\text{ V}$$

$$I_{ks} = 939\text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,27$$

Preskusili smo tri varovalke pri popolnoma enakih pogojih, kot so navedeni zgoraj in pri enakem kotu vklopa 10° .



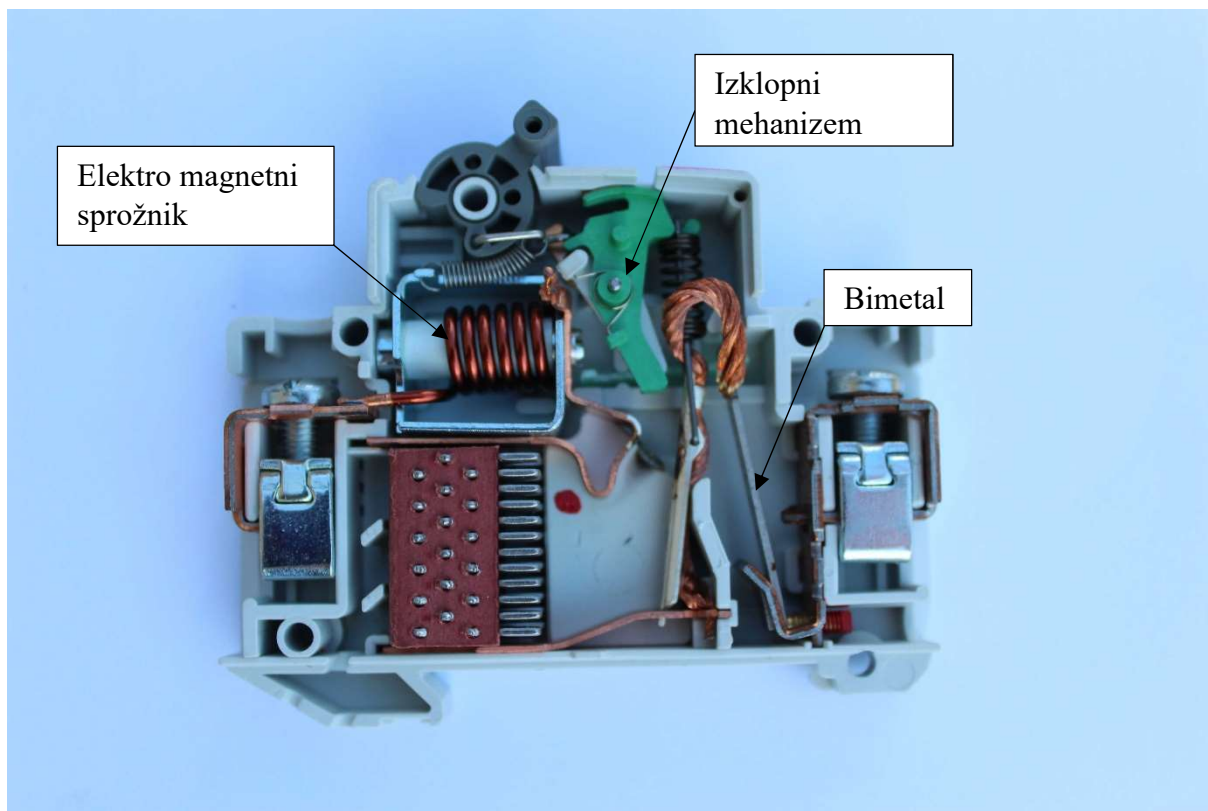
Slika 5: Primer delovanja in specifičnih energij taljivih varovalk v realnih pogojih kratkega stika

Iz specifičnih energij izmerjenih pri preskusu vidimo, da 16A in 20A varovalki nista selektivni. Celotna specifična energija 16A varovalke (640 A²s) je večja kot specifična energija taljenja 20 A varovalke (542 A²s). Pri takšnih kratkostičnih pogojih bi pregoreli obe varovalki.

6 DELOVANJE INŠTALACIJSKIH ODKLOPNIKOV

Inštalacijski odklopnik je nadtokovna zaščitna naprava, ki deluje v celotnem tokovnem območju: od preobremenitev do maksimalnih kratkostičnih tokov definiranih kot izklopna zmogljivost odklopnika. Nabor standardnih nazivnih tokov je enak kot pri taljivih varovalkah: 6, 10, 16, 20...vendar praviloma le za nazivne toke do 63A.

Delovanje v celotnem tokovnem področju zagotavljata dva neodvisna sistema proženja izklopa.



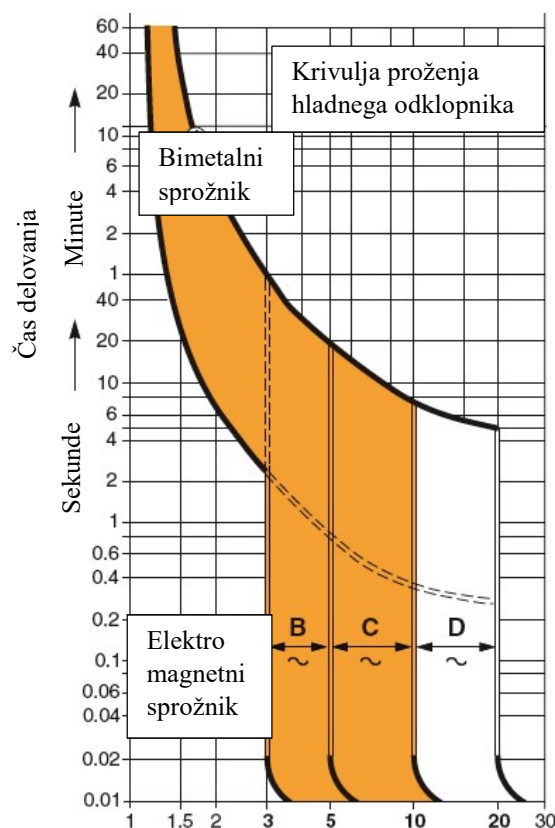
Slika 6: Zgradba inštalacijskega odklopnika

Preobremenitev, kjer toki dosegajo do 3 kratnik nazivnega toka zazna in proži bimetalni sistem. Ključni element je ploščica iz dveh kovin (bimetal), z različnima temperaturnima raztezkoma. Tok vedno teče skozi bimetal, in ga segreva. V področju nazivnih tokov in malo preko ($1,13 \times I_n$) se bimetal nekoliko segreje in ukrivi, vendar ne toliko, da bi sprožil odklopni mehanizem. Pri večjem toku pa se mora po določenem času ukriviti toliko, da sproži izklop.

Kratek stik povzroči bistveno višje okvarne toke od nazivnih. V tem primeru deluje elektromagnetni sprožnik. Sestav navitja, feromagnetnega jedra in vzmeti se pri povečanem toku premakne in sproži izklopni mehanizem.

I/t karakteristike

Odvisnost časa proženja od toka je podana v i/t karakteristiki. Obstajajo različne karakteristike (B, C, D). Glede na namembnost se pri projektiranju izbere ustrezna karakteristika. V hišnih inštalacijah se najpogosteje uporabljajo inštalacijski odklopniki z B karakteristiko



Slika 7: Primer i/t karakteristike

Inštalacijski odklopnik deluje v dveh režimih. Nizke preobremenitve izklaplja bimetalni sprožnik, katerega karakteristike morajo ustrezati zgornjemu delu krivulje. Kratkostične toke (npr. za B karakteristiko več kot 3 kratnik nazivnega toka) pa proži elektro magnetni sprožnik. Glede na zahtevano i/t karakteristiko se izbere nastavitev oz. izvedba elektromagnetnega sprožnika. Meje delovanja tega sprožnika so definirane v spodnjem delu i/t karakteristike.

7 ZAHTEVE STANDARDOV ZA INŠTALACIJSKE ODKLOPNIKE

Karakteristike inštalacijskih odklopnikov ureja standard SIST EN 60898-1:2004 Električni pribor - Odklopniki za nadtokovno zaščito za gospodinske in podobne instalacije - 1. del v poglavju 9.10 »Test of tripping characteristic«.

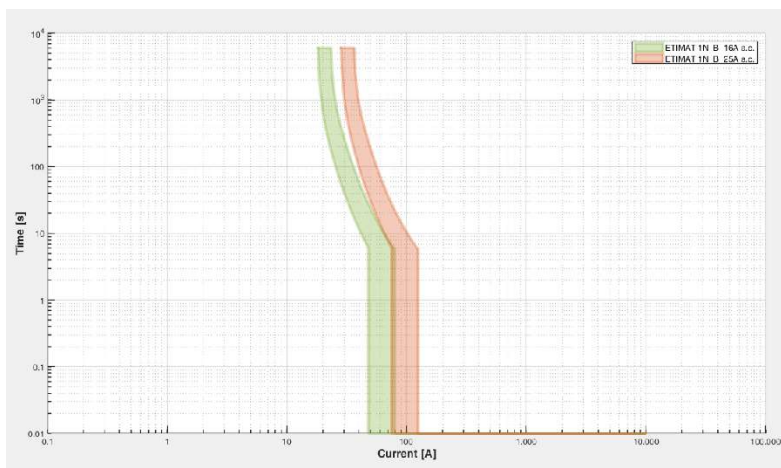
I/t karakteristika delovanja inštalacijskega odklopnika se preverja le v nekaj točkah karakteristike. Pogoji so različni glede na nazivne toke in karakteristike. Preskusni pogoji so definirani preprosto: Standard podaja preskusno napetost, tok in $\cos \varphi$, ter čas v katerem mora oz. ne sme odklopnik delovati.

Preglednica 1: Primer preverjanja karakteristike inštalacijskega odklopnika 16A, B karakteristika:

Preskusni pogoji:	Čas delovanja:
$1,13 \times I_n = 18,08 \text{ A}$	$t > 1 \text{ h}$
$1,45 \times I_n = 23,2 \text{ A}$	$t < 1 \text{ h}$
$2,55 \times I_n = 40,8 \text{ A}$	$1 \text{ s} < t < 60 \text{ s}$
$3 \times I_n = 48 \text{ A}$	$t > 0,1 \text{ s}$
$5 \times I_n = 80 \text{ A}$	$t < 0,1 \text{ s}$

8 ZAGOTAVLJANJE SELEKTIVNOSTI PRI INŠTALACIJSKIH ODKLOPNIKIH

Kot osnovo za zagotavljanje selektivnosti lahko izberemo enak pogoj kot pri taljivih varovalkah, torej sta nazivna toka v razmerju 1:1,6.



Slika 8: primerjava i/t katarakteristik

Za primer smo uporabili karakteristike inštalacijskih odklopnikov ETIMAT 10 1N 16A in 25A karakteristike B.

Na prvi pogled sta odklopnika selektivna vendar je potrebno karakteristiki pogledati segmentno:

V področju delovanja bimetala torej do 3 kratnika nazivnega toka karakteristiki delovanja ne prekrivata. 16A odklopnik bi pri tokih do 48A ($3 \times 16A$) zagotovo izklopil prej preden bi 25A odklopnik sprožil izklopni mehanizem. V tem področju povišanih tokov sta odklopnika selektivna.

Področje tokov med 3 in 5 kratnikom nazivnega toka proži bimetalni sprožnik. Karakteristiki se v zelo majhnem področju pokrivata. Teoretično bi lahko pri toku med 75A ($3 \times 25A$) in 80A ($5 \times 16A$) prožila oba odklopnika in s tem ne bi dosegali selektivnosti. Če uporabimo inštalacijska odklopnika istega tipa, istega proizvajalca in upoštevamo pravilo 1:1,6 bosta skoraj zagotovo selektivna tudi v področju 3 do $5 \times I_n$.

Kratkostični toki v omrežju in inštalacijah so večinoma nekaj 100A, torej bistveno več kot do sedaj obravnavano področje tokov. Delovanje pri teh tokih se na diagramu vidi kot dve črti, ki se prekrivata na dnu oscilograma. V tem področju inštalacijska odklopnika zagotovo prožita istočasno in ne delujeta selektivno.

Inštalacijski odklopniki so nadtokovne zaščite od katerih pričakujemo, da bodo ustrezno delovale na celotnem področju povišanih tokov. Če opazujemo kombinacijo inštalacijskih odklopnikov ETIMAT 1N 16A in 25A z B karakteristiko, lahko sklepamo, da selektivno delujeta do tokov okoli 125A ($5 \times 25A$). Za toke nad 125A pa vse do njune izklopne zmogljivosti 10000A pa selektivnosti ne zagotavljata.

V splošnem velja, da z inštalacijskimi odklopniki ne moremo zagotavljati selektivnega delovanja v primeru kratkih stikov.

9 Sklep

Selektivnost delovanja zaščite je pomemben člen pri projektiranju in izvedbi električnih inštalacij. Zaščita mora zagotavljati zanesljiv in pravočasen odklop v primeru okvare ali podobnega stanja, ki ogroža naprave in/ali ljudi. Istočasno pa mora biti zagotovljena zanesljiva dobava električne energije.

Selektivnost nadtokovnih zaščit je le eden izmed ukrepov oz. pogojev projektiranja električnih inštalacij. Izbor ustreznih elementov in njihova uporaba zagotavlja selektivnost. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da niso vsi elementi primerni za vse.

S taljivimi varovalkami je enostavno. Selektivnost je zagotovljena v celotnem področju nadtokov, če je razmerje nazivnih tokov vsaj 1:1,6. Seveda ob pogoju, da imajo varovalke isto karakteristiko (gG, aM...).

Inštalacijski odklopniki z razliko od taljivih varovalk ne zagotavljajo selektivnosti na celotnem tokovnem področju. Pri kratkostičnih tokih ($<5 \times I_n$) bodo izklopili vsi inštalacijski odklopniki v liniji.

Zato se inštalacijski odklopniki uporabljajo na zadnjem nivoju nadtokovnih zaščit, torej tik pred porabniki. Na višjih nivojih, kot so na primer skupni vodi, pa se uporabljajo taljive varovalke. Z ustreznim izborom te kombinacije lahko zagotovimo tako selektivnost kot tudi ustrezne nivo zaščite tokokrogov.



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT V

mag. Dejan Matvoz, univ. dipl. inž. el.

dejan.matvoz@eimv.si

Elektroinštitut Milan Vidmar

PRIKLJUČEVANJE ELEKTRARN Z ZAHTEVAMI RFG

POVZETEK

*Uredba Komisije (EU) 2016/631 z dne 14. aprila 2016 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje oziroma na kratko Network Code: Requirements for Generators (NC RfG) je šla ekspresno skozi evropsko zakonodajno kolesje po postopku komitologije. Dokument je veljaven in ga je treba vpeljati v slovensko zakonodajo najkasneje do konca aprila 2019. Ker so distribucijska omrežja evropskih držav zelo različna NC RfG dopušča odprte meje za nekatere parametre (t.i. *neizčrpne zahteve* in tudi za *neobvezne zahteve*), ki jih lahko določi vsaka država posebej v okviru postavljenih omejitev tako, da ustrezajo značilnostim njihovega omrežja.*

NC RfG prinaša novosti in zahteve glede zmožnosti in obratovanja proizvodnih naprav (PN) v distribucijskih omrežjih. Nekatere zahteve so delno v nasprotju s tem, kar se od PN zahteva trenutno, ko še ni obratovalne komunikacije med operaterjem omrežja in PN v distribucijskem omrežju. Zahteva po takšni komunikaciji z vsako PN pa odpira nove možnosti obratovanja le-teh in hkrati tudi nadzora ter omejevanja obratovanja s strani sistemskega (SO) in distribucijskega operaterja omrežja (DO). PN so razdeljene v razrede glede na svojo naznačeno moč. Za vsak razred veljajo določene zahteve. Prav tako se PN ločijo po tipu: sinhronsko povezane in ostale. Tudi za vsak tip veljajo svoja pravila in zahteve. Uveden je postopek certificiranja in dokazovanja skladnosti z zahtevami NC RfG ter omrežnimi pravili SONDSEE, spet glede na razred PN.

V referatu je podan pregled novosti in bistvenih sprememb na področju priključevanja in obratovanja elektrarn (oziroma proizvodnih naprav), ki so posledica posodobitve obstoječih Navodil in hkratne vpeljave NC RfG v slovensko zakonodajo.

1 Uvod

Skupno evropsko prenosno omrežje za električno energijo je nastalo zaradi želje po stabilizaciji obratovanja posameznih prenosnih sistemov držav članic. Jugoslavija je že leta 1974 postala članica zahodnoevropskega združenja operaterjev prenosnih omrežij UCPTE. Vsaka država članica je skrbela za ravnotežje proizvodnje in porabe električne energije v svojem omrežju. V primeru izpadov posameznih proizvodnih enot ali večjih porabnikov v enem sistemu se je zaradi relativno velike moči v celotnem sistemu frekvenca relativno malo spremenila. Sistem je tako postal bolj odporen na motnje.

Med tem je v okviru Evropske skupnosti (ES) električna energija postala blago. In kot z vsakim blagom se tudi z električno energijo da trgovati. Z namenom poenotenja in reguliranja trga z električno energijo je nastalo evropsko združenje operaterjev prenosnih omrežij za električno energijo ENTSO-E. Tako so čez noč mednarodne povezave, ki so pred tem služile kot nujna pomoč v primeru težav v omrežju, postale avtoceste za trgovanje z električno energijo med

različnimi območji ES. Pretoki med državami so se večali. Zavezanost ES k subvencioniranju obnovljivih virov je na tem področju stanje le še poslabšala. Ker so omrežja primorana sprejeti vso električno energijo proizvedeno na t.i. »zelen« način, so se začeli dogajati nekontrolirani pretoki električne moči med prenosnimi omrežji držav članic, ki so bili posledica različnih nepričakovanih obratovalnih stanj v omrežju, razmer na trgu z električno energijo ali pa samo nenatančnih napovedi proizvodnje vetrne in sončne energije, predvsem v Nemčiji in na Danskem, kjer je tega ogromno. In če se v takih nepričakovanih obratovalnih stanjih zgodi še izklop ali izpad enega ali več elementov v omrežju, potem havarija že trka na vrata. Ostali elementi se preobremenijo, pride do kaskadnih izpadov le-teh in celoten sistem lahko delno ali v celoti razpade.

In delni razpadi (ločitev na več neodvisnih delov omrežja) so se v preteklih petnajstih letih tudi zgodili. Pri tem zastavitve nadfrekvenčnih zaščit proizvodnih naprav (PN), ki so jih uporabljali v t.i. »zelenih« evropskih državah prav nič niso pomagale, ampak so naredile prav nasproten učinek. Na srečo popolnega razpada ENTSO-E omrežja (še) ni bilo.

Ravno v izogib razpadom ENTSO-E omrežja, ki prinašajo ogromno gospodarsko škodo, je pod okriljem ENTSO-E nastala kopica omrežnih pravil oziroma kodeksov omrežja (angl. Network Codes – NC), ki naj bi uredili in poenotili obratovanje vseh uporabnikov omrežja, od najvišjih napetostnih nivojev pa vse do nizkonapetostnega omrežja. Eden izmed kodeksov omrežja je tudi *Uredba Komisije (EU) 2016/631 z dne 14. aprila 2016 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje* [2] oziroma na kratko *Network Code: Requirements for Generators (NC RfG)*. Ta kodeks ureja priključevanje in obratovanje proizvodnih naprav na vseh napetostnih nivojih. Nanaša se predvsem na tista področja priključevanja in obratovanja PN, ki vplivajo na vzdrževanje čim bolj konstantne frekvence v omrežju ter napetostne podpore ob okvarah v omrežju.

V Sloveniji že imamo v veljavi dobra *Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10 MW* [3] (Priloga 5 SONDO 2011). Ta navodila so bila v zadnjem letu osvežena s trenutnim stanjem tehnike in njenim pričakovanim razvojem. Z dodatkom zahtev iz NC RfG pa bodo kot nova navodila SONDSEE [1] tudi s širšega systemskega stališča pomagala reševati problematiko obratovanja malih elektrarn v distribucijskih omrežjih, kakor tudi elektroenergetskega omrežja v celoti. Ne gre pozabiti, da so bila prav slovenska Navodila SONDO 2011 na področju regulacije jalove moči malih elektrarn v SN in NN omrežju sploh prva v Evropi, ki so to zahtevo vpeljala. Prav tako so nastavitve iz slovenske zaščitne sheme prevzeli tudi v »zelenih« evropskih državah, kjer so se prej oklepali svojih, preverjeno napačnih, nastavitvev.

Navodila SONDSEE bodo veljala za novo priključene PN in za vse obstoječe PN, ki bodo zaradi rekonstrukcije ali povečave moči morale pridobiti novo *Soglasje za priključitev*. In pri

pridobivanju novega *Soglasja* bo treba izpolniti tudi vse zahteve, ki ob postavitvi obstoječe PN še niso bile potrebne. To pa zna biti v določenih primerih velika težava.

Uvaja se certificiranje PN, ki je povzeto po nemškem sistemu certificiranja, kjer se spremlja in ocenjuje PN že v fazi projektiranja, izgradnje in po priključitvi v omrežje. Zahtevani so tipski testi za PN manjših moči ter *in-situ* testi in simulacije za PN večjih moči. V večini držav ES, ki nimajo takega sistema certificiranja (med drugim tudi Slovenija), imamo velike težave z njegovim vzpostavljanjem.

Za postavitev podobnega sistema certificiranja PN, kot ga imajo na primer v Nemčiji, smo enostavno premajhni. Poleg tega razen nekaj primerov tudi nimamo večjih proizvajalcev (s tem so mišljeni pravi proizvajalci in razvijalci, ne samo monterji ali sestavljalci) teh naprav, ki bi imeli od njega koristi. Po drugi strani pa je treba zaščititi operaterja distribucijskega omrežja tako, da mu ne bo treba za vsako PN posebej prek priključitve pregledovati merilnih poročil, ampak bo samo preveril navedbe na posebni skupni izjavi-certifikatu, ki jo bo moral pridobiti investitor od prodajalca oziroma dobavitelja te opreme. Glede na razred PN bo imela izjava zelo enostavno ali pa bolj kompleksno podlago.

Uvedba zahtev iz NC RfG prinaša še eno pomembno dejstvo za distribucijsko omrežje: komunikacije in podatki. Po novem bo treba do vsake PN vzpostaviti komunikacijo, preko katere bosta lahko DO in SO spremljala obratovanje PN, hkrati pa jo v kritičnih situacijah tudi omejevala oziroma dinamično postavljala pravila za njeno obratovanje. Omejevanje se bo smelo uporabiti samo takrat, ko bo to podprto z odločitvijo sistemov za spremljanje stanja in optimiranja obratovanja distribucijskega oziroma prenosnega omrežja. Povezave bodo morale biti zanesljive, spremljati bo treba tudi pravilnost odziva na prejet ukaz. Vse to zna biti tako s tehničnega kot tudi iz organizacijskega vidika velik izziv.

2 Uredba NC RfG

Uredba NC RfG [2] določa štiri vrste zahtev:

- **obvezna zahteva**, pomeni, da mora proizvodna naprava to zahtevo obvezno izpolniti;
- **neobvezna zahteva** pomeni, da se lahko zadevni operater omrežja ali sistemski operater odločita, ali bosta določeno zahtevo zahtevala;
- **izčrpna zahteva** pomeni, da je zahteva natančno določena že v RfG;
- **neizčrpna zahteva** pomeni, da je v RfG določeno dovoljeno območje za to zahtevo, zadevni operater omrežja ali sistemski operater pa določita natančne vrednosti iz tega območja.

Splošni koncept določanja neizčrpnih zahtev na nacionalnem nivoju naj bi sledil naslednjim načelom:

- Če za določeno zahtevo **že obstaja** vrednost v nacionalnih predpisih oziroma obratovalnih navodilih omrežja ali pogodbah za priključitev in je ta vrednost **znotraj dovoljenega območja**, ki je podano v RfG, se potrdi za vrednost in se uporablja še naprej.
- Če za določeno zahtevo **že obstaja** vrednost v nacionalnih predpisih oziroma obratovalnih navodilih omrežja ali pogodbah za priključitev a je ta vrednost **izven dovoljenega območja**, ki je podano v RfG, se izbere najbližja še dovoljena vrednost.
- Če za določeno zahtevo **še ne obstaja** vrednost v nacionalnih predpisih oziroma obratovalnih navodilih omrežja ali pogodbah za priključitev, se jo na podlagi zakonitosti obratovanja omrežja in zmožnosti generatorjev v omrežju ugotovi in predlaga ustrezno vrednost.

NC RfG določa dve glavni skupini **proizvodnih naprav (PN)** oziroma **energijskih modulov (EM)** glede na njihove tehnične lastnosti, ki vplivajo na način obratovanja:

- **sinhrono povezan energijski modul (SPGM)** ali »po domače«: sinhronski generator in
- **modul v proizvodnem polju (MPP)**, ki predstavlja vse ostale vrste proizvodnih naprav, priključenih v elektroenergetsko omrežje (asinhronske generatorji, pretvorniške PN,...).

Glede na pričakovane različne sposobnosti teh dveh skupin naprav sledijo tudi različne tehnične zahteve za njih.

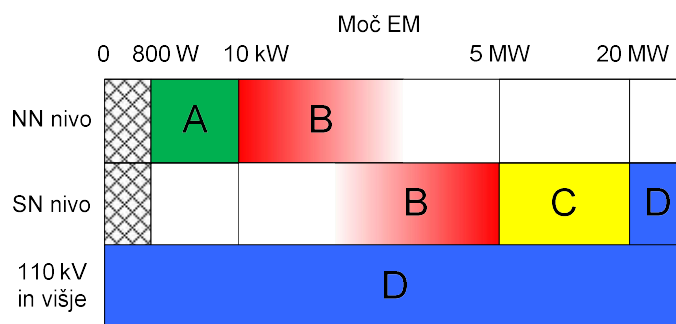
Uredba določa štiri glavne razrede EM (A, B, C in D), ki se lahko razdelijo tudi v pod-razrede in se za njih določijo različne zahteve. Nekatere zahteve so lahko specifične za določene EM in se jih lahko določi za vsako PN posebej in individualno glede na zmožnosti.

3 Razredi proizvodnih naprav

Proizvodne naprave s skupno močjo do 800 W niso zajete v določila NC RfG in lahko priključevanje ter obratovanje teh naprav uredi vsaka država članica EU povsem po svoje. Za PN nad 800 W pa obstajajo v okviru NC RfG zahteve glede na razred, kamor določena PN spada.

V Sloveniji je bila razmejitev med razredi opravljena po naslednjem principu. Pri razmejitvi razredov smo zasledovali pri nas že določena pravila za obratovanje PN v okviru obstoječih navodil SONDO in zahteve, ki so za posamezen razred PN zahtevane oziroma dovoljene v okviru NC RfG. Da bi se zahteve iz NC RfG kar najbolj skladale z zahtevami v že obstoječih navodilih SONDO, so bile posledično postavljene meje med razredi, kot je prikazano na sliki

1.



Slika 1 - Povzetek razmejitve razredov A, B, C in D po moči EM in napetostnih nivojih.

Zahteve za EM **razreda A** so izmed vseh najbolj enostavne. To se EM moči od 800 W naprej. Omogočati morajo konstantno delovno moč v okviru zahtevanih frekvenčnih meja, poleg tega pa tudi omogočati zmanjšanje delovne moči pri povišani frekvenci po vnaprej nastavljeni karakteristiki. Po izpadu napajanja se morajo biti sposobne samostojno priključiti nazaj v omrežje pod določenimi pogoji. Operater distribucijskega omrežja jim lahko (če se v posameznem primeru tako odloči) daljinsko onemogoči obratovanje (stikalo ON/OFF).

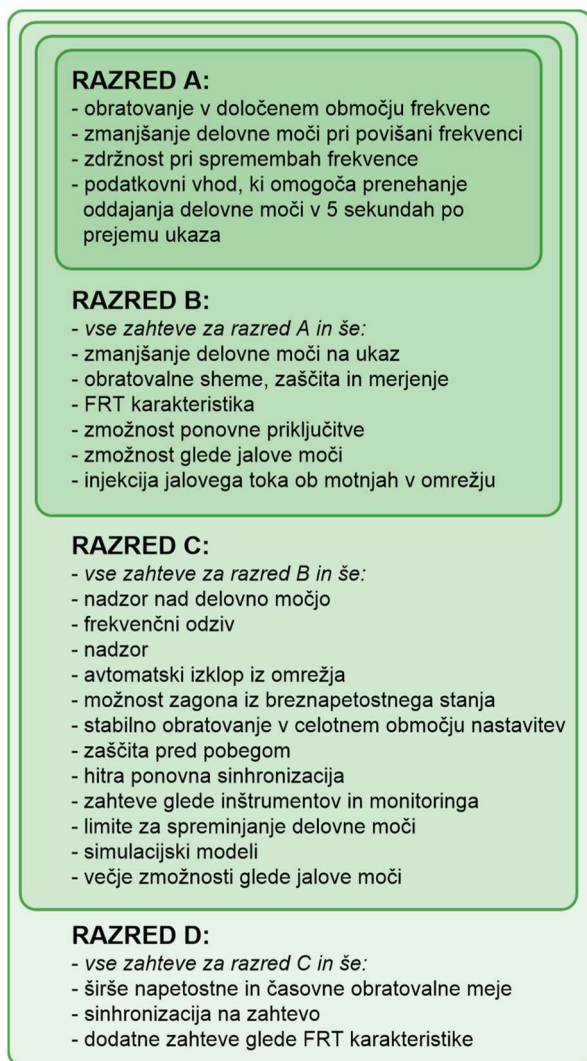
EM **razreda B** so malo večjih moči od razreda A. Poleg zahtev za razred A morajo omogočati tudi:

- omejevanje največje dovoljene delovne moči s strani operaterja distribucijskega omrežja, ki je lahko izvedeno daljinsko, če se operater distribucijskega sistema v posameznem primeru tako odloči;
- resinhronizacijo tudi po večjem dogodku v omrežju;
- implementacijo karakteristike FRT (Fault-Ride-Through) in
- relativno enostavno regulacijo jalove moči.

Zahteve za **razreda C in D** v SN omrežju so že zelo kompleksne in po funkcionalnosti ne odstopajo veliko od zahtev za elektrarne, ki so priključene v 110 kV omrežje. To so EM, na katere lahko operater prenosnega omrežja aktivno računa v primeru težav s sistemsko frekvenco. Poleg zahtev za razred B morajo omogočati tudi funkcionalnosti, ki na podlagi sistemske frekvence posegajo v delovno točko delovne moči, tako po vrednosti, kot tudi dinamiki spreminjanja in doseganja te točke. Za ta razreda EM je treba podati tudi dinamični model za simulacije, ki omogoča analize dinamičnih stanj v omrežju. Zahtevan obseg regulacije jalove moči je večji kot pri razredu B. Predvideno je tudi dušenje sistemskih nihanj. Če je z operaterjem omrežja tako dogovorjeno mora biti EM sposoben zagona iz breznapetostnega stanja (t.i. "black start"), otočnega obratovanja in imeti mora možnost ozemljitve nevtralne točke.

Za razsmerniške tipe EM razredov C in D v SN omrežju je zahtevana t.i. "sintetična inercija", ki pri vetrnih EM s pomočjo modifikacije regulacije elektrarne v času prehodnega pojava v omrežju (upada frekvence) črpa moč iz rotirajočih mas rotorja za ublažitev prehodnega pojava. Operater prenosnega omrežja (sistemski operater) nad EM razredov C in D v SN omrežju opravlja monitoring glede upoštevanja pravil za spreminjanje delovne moči glede na sistemsko frekvenco. Če operater prenosnega omrežja ne more zagotoviti ustreznega obsega sekundarne in terciarne regulacije delovne moči od ponudnikov teh storitev, lahko preko AGEN zahteva to storitev od generatorjev razredov C in D v SN omrežju, seveda ob kompenzaciji stroškov ter upoštevanju dinamike teh virov in omejitev zaradi njihovega primarnega vira energije (predvsem aktualno pri obnovljivih virih primarne energije).

Proizvodne naprave, ki vključujejo EM razreda D in se bodo priključevale v distribucijsko omrežje, morajo zadostiti vsem pravilom, ki veljajo za razred D v SONDSEE. Prav tako pa morajo glede obratovanja in zaščite zadostiti pogojem iz Sistemskih obratovalnih navodil za prenosno omrežje (SONPO).



Slika 2 prikazuje povzetek zahtev za posamezne razrede v skladu z NC RfG.

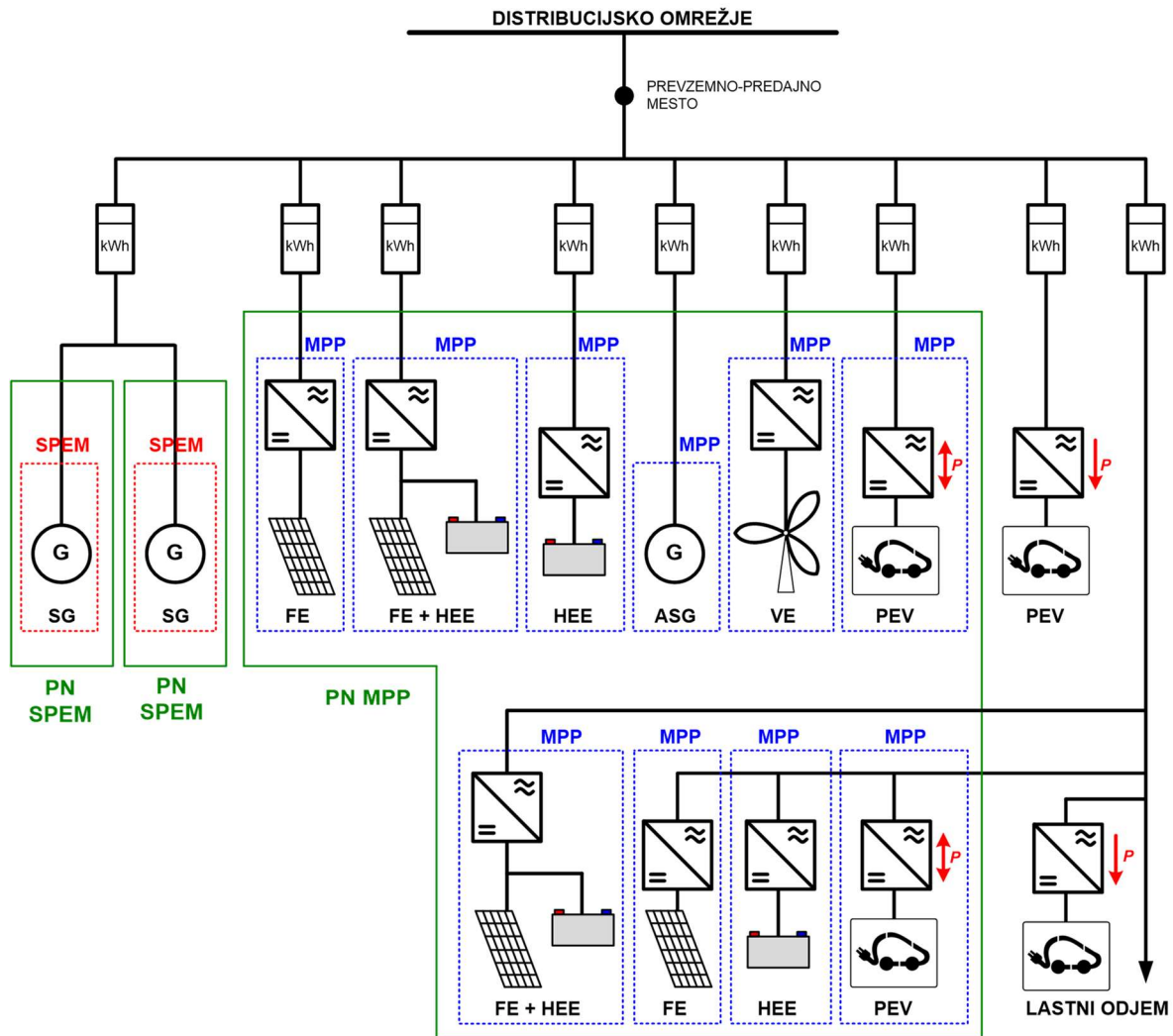
4 Elektroenergijski moduli (EM) in proizvodne naprave (PN)

NC RfG prinaša določene nove pojme in klasifikacije PN. Elektroenergijski modul (EM) je najmanjša samostojna enota, priključena v izmenično omrežje omrežne frekvence in napetosti. EM je lahko sinhronsko povezan elektroenergijski modul – SPEM (sinhronski generator) ali modul v proizvodnem polju – MPP.

Vsak sinhronski generator (SG) je ne glede na način vezave števecv električne energije svoja PN v smislu zahtev iz RfG. V okviru enega *Soglasja za priključitev* je lahko priključenih več PN različnih vrst (SPEM in MPP). Moč vseh EM posamezne vrste v okviru enega *Soglasja za priključitev* določa potrebne lastnosti vsakega posameznega EM v smislu zahtev iz RfG.

Primer: *Soglasje za priključitev* dovoljuje priključitev 9 kW PN. Na podlagi tega je priključena fotonapetostna elektrarna (FE) moči 9 kW, kjer posamezni EM izpolnjujejo zahteve iz RfG za razred A. V okviru tega soglasja želimo priključiti v omrežje končnega odjemalca še PEV 4 kW. Če je PEV takšna, da na svojih priključnih sponkah ni sposobna oddajati delovne moči, novega soglasja ne potrebujemo. Če je PEV takšna, da je na svojih priključnih sponkah sposobna oddajati delovno moč v omrežje, potrebujemo za njeno priključitev novo soglasje. Ker je sedaj skupna moč vseh EM MPP v okviru novega soglasja 13 kW, mora vsak EM (FE in PEV), ki spadajo pod novo soglasje, izpolnjevati vse zahteve za razred B iz RfG. Če bi namesto PEV želeli priključiti v omrežje sinhronski generator (SG) moči 100 kW, bi prav tako potrebovali novo soglasje. Novo soglasje bomo dobili za PN SPEM, ki bo moral ustrezati razredu B. Stara FE pa bo tudi po novem soglasju za priključitev še naprej lahko obratovala kot razred A.

Če bi si za priključitev PEV oziroma SG iz zgornjih primerov omislili novo prevzemno-predajno mesto, potem bi bili obstoječa FE in katera koli izmed obeh novih PN povsem ločeni PN z ločenimi soglasji.



Slika 3 - Splošni prikaz klasifikacije proizvodnih naprav (PN) glede na vsebovane elektroenergijske module (EM).

5 Priključevanje proizvodnih naprav

NC RfG obravnava samo PN, ki spadajo v razrede A, B, C in D. NC RfG ne obravnava PN moči do 800 W, prav tako ne hranilnikov električne energije in naprav za rezervno napajanje.

5.1 Proizvodne naprave moči do 800 W

Za priključitev mikro-EM vseh vrst (na primer fotonapetostni moduli, HEE,...) v distribucijska NN omrežja obstajajo ločena pravila glede največje dovoljene moči takega EM in zahtev glede požarne varnosti v omrežju končnega uporabnika omrežja. Pod pojmom mikro-EM so mišljeni eno- ali večfazni EM, ki se v omrežje priključujejo v končne tokokroge znotraj omrežja končnega odjemalca. Dovoljeni načini izvedbe priklopov teh naprav so določeni v ustreznih zadevnih pravilnikih in standardih. Taka PN v nobenem trenutku ne sme v omrežje DO oddajati delovne moči (vsota delovnih moči vseh treh faz na PPM v istem trenutku). Če PN te vrste v katerem koli trenutku v omrežje DO oddaja delovno moč, ima DO pravico takega končnega

uporabnika omrežja brez predhodne najave takoj izključiti iz omrežja po principu samodejnega izklopa.

Vsaka naprava, ki se priključuje v električno omrežje končnega odjemalca, mora izpolnjevati zahteve *Pravilnika o NN električnih inštalacijah v stavbah* in ostale zakonodaje ter standardov, ki se nanašajo na to področje.

5.2 Proizvodne naprave za rezervno napajanje

Proizvodne naprave za rezervno napajanje so naprave, ki so v omrežje priključene omejen in točno določen čas, vendar v času, ko obratuje paralelno z omrežjem DO, na svojih sponkah ne oddajajo delovne moči v interno omrežje. Če pride do izpada omrežja DO in ločitve med internim omrežjem in omrežjem DO, te PN prevzamejo otopno napajanje internega omrežja.

Te PN se priključujejo v omrežje po principu porabniškega priklopa (način obratovanja P). S tem priklopom moramo na ločilnem mestu zagotoviti, da delovna moč ne teče v distribucijsko omrežje. Ti viri po navadi obratujejo v prostem teku ali z zmanjšano močjo in sinhronizirani z distribucijskim omrežjem. V primeru izpada distribucijskega omrežja na ločilnem mestu lahko ob primernem dimenzioniranju agregata brezprekinitveno prevzamejo obremenitev objekta, kateremu so namenjeni. Za čas po ponovni vzpostavitvi omrežja do prehoda agregata v prosti tek se priporoča vgradnja sistema, ki omejuje proizvodnjo delovne moči proizvodne naprave glede na porabo objekta. Na ta način se minimizira možnost delovanja zaščite pred povratno močjo na ločilnem mestu.

5.3 Hranilniki električne energije (HEE)

Ne glede na določila NC RfG, kjer so HEE izvzeti iz obveznosti uporabe določil te uredbe, se za priključevanje in obratovanje HEE do izdaje posebnih navodil za priključevanje in obratovanje HEE uporabljajo vse določbe SONDSEE. HEE se tako glede na uporabljen tehnologijo pri pretvorbi shranjene energije v električno energijo omrežne frekvence obravnava kot vsak drug EM (SPEM ali MPP), odvisno od izvedbe.

V času, ko HEE na svojih sponkah odjema delovno moč iz omrežja, se obravnava kot porabnik električne energije. V tem času veljajo zanj enaka pravila in obveze kot za vse ostale porabniške naprave v omrežju uporabnika omrežja, vključno z dovoljenim odjemom jalove moči.

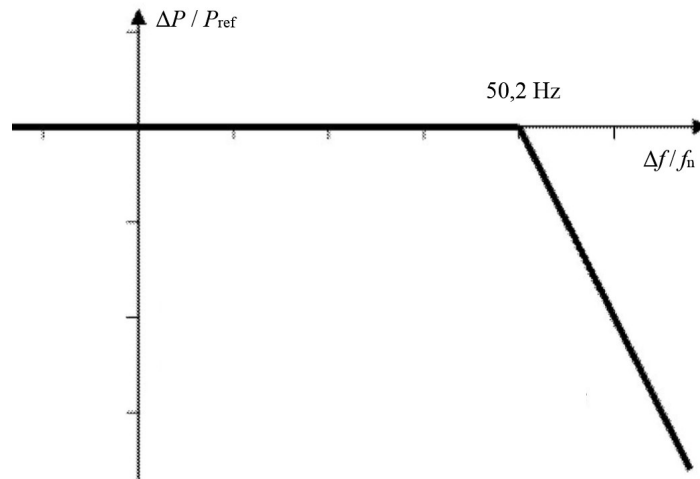
V času, ko HEE na svojih sponkah proizvaja delovno moč (na svojih sponkah oddaja delovno moč v omrežje) se obravnava kot proizvajalec električne energije (proizvodna naprava oziroma EM) in zanj veljajo vse določbe SONDSEE (vključno z načinom obratovanja, regulacijo jalove moči,...).

6 Obratovanje proizvodnih naprav

V tem delu so predstavljene bistvene spremembe glede obratovanja PN, ki so vezane na vpeljavo določil iz NC RfG v slovensko zakonodajo.

6.1 Omejevanje delovne moči PN

Pomembna sprememba pri obratovanju proizvodnih naprav je obvezno omejevanje delovne moči PN pri porastu frekvence preko meje 50,2 Hz.



Slika 4 - Obvezno omejevanje delovne moči PN pri povišanju frekvence preko 50,2 Hz.

Omejevanje delovne moči mora slediti naslednji karakteristiki:

$$P_{PGM} = \min \left[(P_{SET} + \Delta P_{SO}), \left(P_{SET} + \Delta P_{SO} + P_{MAX} \frac{50,2 - f_{ACT}}{0,05 \cdot f_N} \right) \right] \leq P_{DO-LIM}, \quad (1)$$

- kjer so:
- P_{PGM} - izhodna trenutna moč EM,
 - P_{SET} - nastavljena želena delovna moč EM,
 - P_{MAX} - naznačena delovna moč EM,
 - f_{ACT} - trenutna frekvenca omrežja,
 - f_N - nazivna frekvenca (50Hz),
 - ΔP_{SO} - zahteva po spremembi delovne moči s strani sistemkega operaterja (C in D),
 - P_{DO-LIM} - omejevanje delovne moči s strani distribucijskega omrežja (B, C in D).

Delovno moč sme proizvodni napravi razredov B, C in D znižati tudi distribucijski operater omrežja, če bi zaradi prevelike proizvodnje PN lahko prišlo do zamašitev v omrežju.

Prav tako sme razredoma C in D omejiti delovno moč sistemski operater, če je to potrebno zaradi stabilnosti obratovanja prenosnega omrežja. Sistemski operater sme zaradi zagotavljanja stabilnosti obratovanja prenosnega omrežja tudi zahtevati povečanje delovne moči PN razredov C in D, dokler je to v okviru omejitev, ki jih postavi operater distribucijskega omrežja.

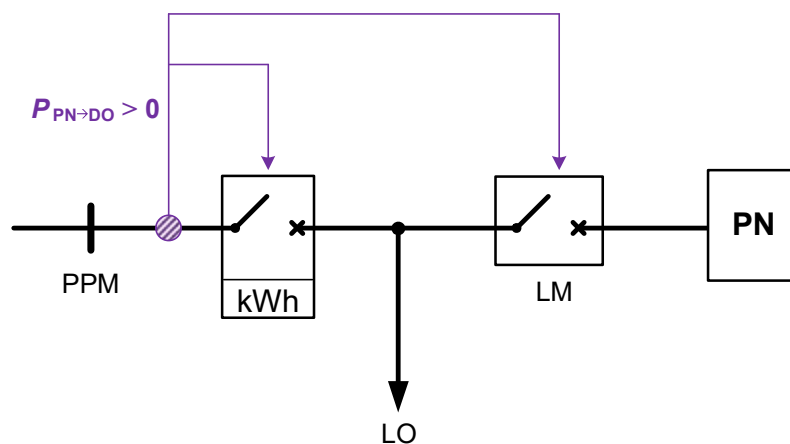
$$P_{PGM} = \text{MAX} \left[(P_{SET} + \Delta P_{SO}), \left(P_{SET} + \Delta P_{SO} + P_{MAX} \frac{49,8 - f_{ACT}}{0,05 \cdot f_N} \right) \right] \leq P_{DO-LI} \quad (2)$$

6.2 Zaščita pred povratno delovno močjo v distribucijsko omrežje

Zaščita pred povratno delovno močjo v distribucijsko omrežje je obvezen element pri porabniški priključitvi proizvodne naprave v distribucijsko omrežje (tip P). Pri tej vrsti priključitve DO pričakuje, da je tok delovne moči na prevzemno-predajnem mestu vedno samo v smeri iz omrežja DO proti uporabniku sistema in nikoli obratno. Zaradi tega tudi ni potrebne posebne presoje v smislu napetostnih razmer pri priključitvi proizvodne naprave v omrežje DO.

Mora pa biti izpolnjen obvezen pogoj, da delovna moč ne teče v omrežje DO. Prav zaradi tega morajo imeti vse proizvodne naprave, ki so priključene v omrežje DO po porabniškem principu, zaščito pred povratno delovno močjo v distribucijsko omrežje, ki deluje, kadar je integral vsote delovnih moči vseh treh faz v smeri omrežja DO. To pomeni, da je v določenem časovnem obdobju delovna moč tekla v omrežje DO.

Zaščita pred povratno delovno močjo v distribucijsko omrežje deluje na LM PN ali na števec električne energije, odvisno od moči PN in izvedbe LM. Lastnosti delovanja te zaščite so enake kot lastnosti delovanja zaščite v primeru tokovne preobremenitve.



Slika 5 – Prikaz možnosti delovanja zaščite pred delovno močjo v omrežje.

6.3 Pogoji pod katerimi se je EM sposoben avtomatsko vključiti v omrežje

V skladu z zahtevami RfG so spremenjeni tudi pogoji za vključitev PN v omrežje po tem, ko se je sama ali zaradi delovanja napetostno-frekvenčnih zaščit na LM izključila iz omrežja. Namen spremembe je v tem, da se čim bolj omeji stihijsko vključevanje PN v omrežje ob morebitnem sestavljanju omrežja po njegovem razpadu. V praksi to zajema tudi stanje, ko avtomatika EM po določenem stanju mirovanja (neobratovanja) EM ponovno vključi EM v distribucijsko omrežje.

Za PN razreda A in razreda B veljajo naslednji pogoji:

1. Napetostno območje na točki priključitve na omrežje: $0,9 \text{ p.u.} \leq U \leq 1,1 \text{ p.u.}$
2. Frekvenčno območje: $49,8 \text{ Hz} \leq f \leq 50,1 \text{ Hz}$.
3. Ukaz na vhodni vmesnik elektroenergijskega modula za prenehanje zagotavljanja delovne moči na izhodu elektroenergijskega modula ni aktiven.
4. Čas opazovanja (čas, v katerem morajo biti neprekinjeno izpolnjeni vsi zgoraj zahtevani pogoji) je 60 s.
5. Največja dovoljena hitrost spremembe želene delovne moči: $\Delta P_{\text{zel}} \leq 20 \% P_{\text{max/min}}$.

Avtomatski ponovni vklop na omrežje za elektroenergijske module razreda C, po nenamernem izklopu zaradi motnje v omrežju, ni dovoljen, razen če zadevni sistemski operater v sodelovanju z zadevnim sistemskim operaterjem prenosnega omrežja ne določi drugače. Avtomatski vklop na omrežje je odvisen od posameznega dovoljenja, ki se ga določi v *Soglasju za priključitev*.

PN razreda D se ne smejo avtomatsko ponovno vključiti v omrežje. Pogoji za vključitev razreda D na omrežje so določeni v *Soglasju za priključitev*.

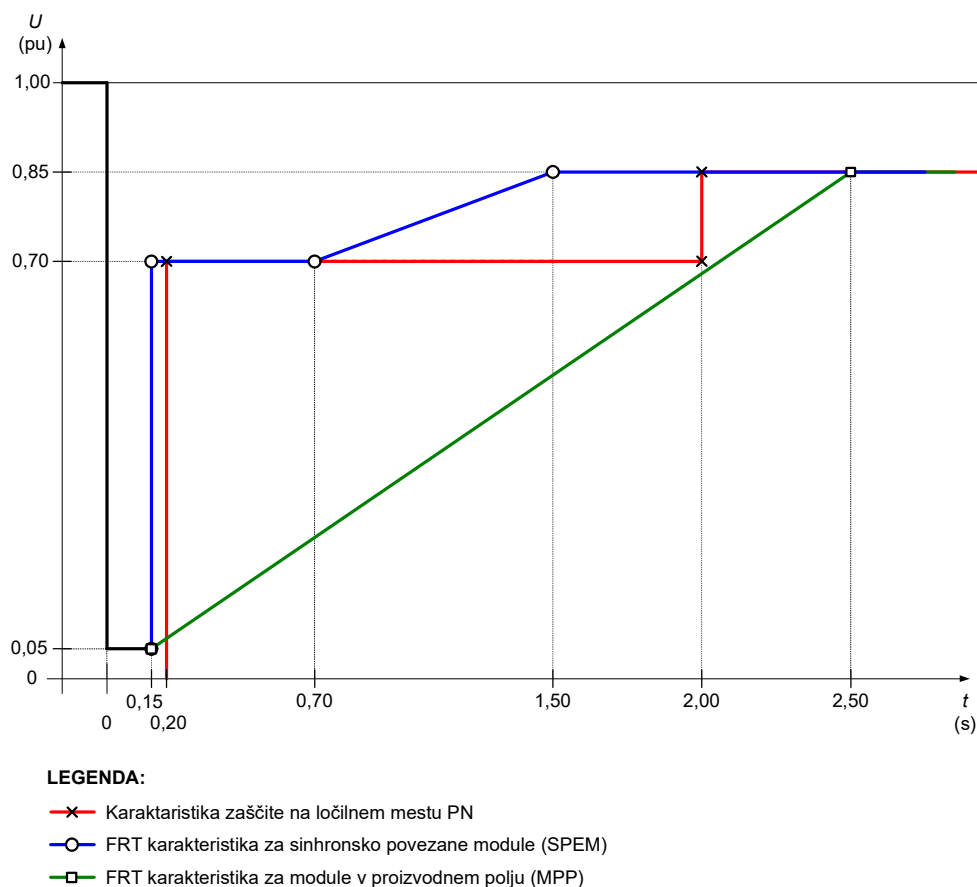
6.4 FRT karakteristika proizvodnih naprav

FRT karakteristika (angl. *Fault-Ride-Through*) opisuje zahtevano sposobnost PN, da se obdrži v obratovanju, če se zaradi dogodkov v omrežju zgodi upad napetosti. S FRT karakteristiko se določi zahtevana robustnost PN na dogodke v omrežju. FRT karakteristika je določena za razrede B, C in D. Za razred A ni posebnih zahtev glede FRT karakteristike.

FRT karakteristika za **sinhronsko povezane module** (sinhronske generatorje oziroma SPEM). Zaščita v omrežju in z njo povezana zaščita na generatorjih upošteva zmožnosti tehnologije sinhronskih generatorjev, kjer njihova vztrajnost in sinhronska povezanost postavljata omejitve.

FRT karakteristika za **module v proizvodnem polju** (MPP). Zaščita v omrežju in z njo povezana zaščita na generatorjih upošteva zmožnosti pretvorniške tehnologije. Pri tem se upošteva, da so zaradi odsotnosti vztrajnosti in zmožnosti hitre regulacije pretvornika MPP bolj odporni na motnje v omrežju. Zaradi tega je FRT karakteristika za MPP bolj zahtevna, kot pa

je za SPEM. Ta karakteristika omogoča bodočo izvedbo t.i. microgrids omrežij ob dinamični prilagoditvi delovanja zaščite v omrežju. Slika 6 prikazuje FRT karakteristiko za EM razredov B, C in D v NN in SN omrežju.



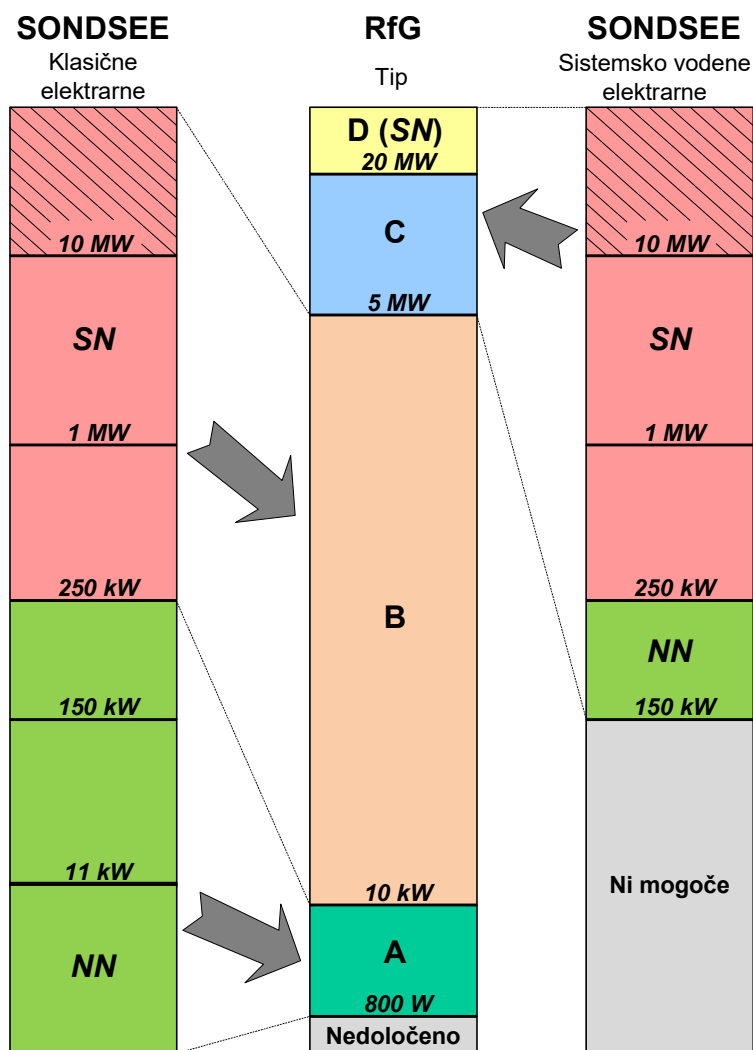
Slika 6 - FRT karakteristika za EM tipov B, C in D v NN in SN omrežju.

6.5 Zaščita na LM

Zaščita na LM je po svojih splošnih nastavitvah ostala praktično enaka, kot je bila pred uvedbo pravil iz NC RfG. Edina pomembna sprememba je v tem, da je bila zaradi zahtev po širšem frekvenčnem območju obratovanja EM v NC RfG (do 51,5 Hz), splošna nadfrekvenčna zaščita spremenjena iz 51,0 Hz na 52,0 Hz.

Z uvedbo razredov EM pa se je spremenila porazdelitev zaščitnih sheme glede na moči posameznih PN. V SONDSEE (pred uvedbo pravil iz RfG) so bile sheme v grobem razdeljene na dva dela: PN s komunikacijo z DO in PN brez komunikacije. Če je imela PN vzpostavljeno komunikacijo z DO in s tem omogočen vpogled v stanje in obratovanje dela distribucijskega omrežja, kamor je priključena, so bile nastavitve zaščite na LM drugačne (bolj »široke«), saj je PN vedela v kakšnem omrežju obratuje in je temu primerno lahko tudi pravočasno reagirala (»Sistemske vodene elektrarne«). Te PN so imele tudi možnost obratovanja z delovno močjo

po statiki, kar je omogočalo tudi nadzorovano otočno obratovanje z delom distribucijskega omrežja v primeru izpada napajalnega izvoda. Ostale PN, ki te komunikacije niso imele, ali če je bila obstoječa komunikacija prekinjena, so imele t.i. »klasične« zaščitne sheme. Na sliki 7 je prikazana korelacije med obstoječimi zaščitnimi shemami v SONDSEE in novimi shemami v skladu z RfG.

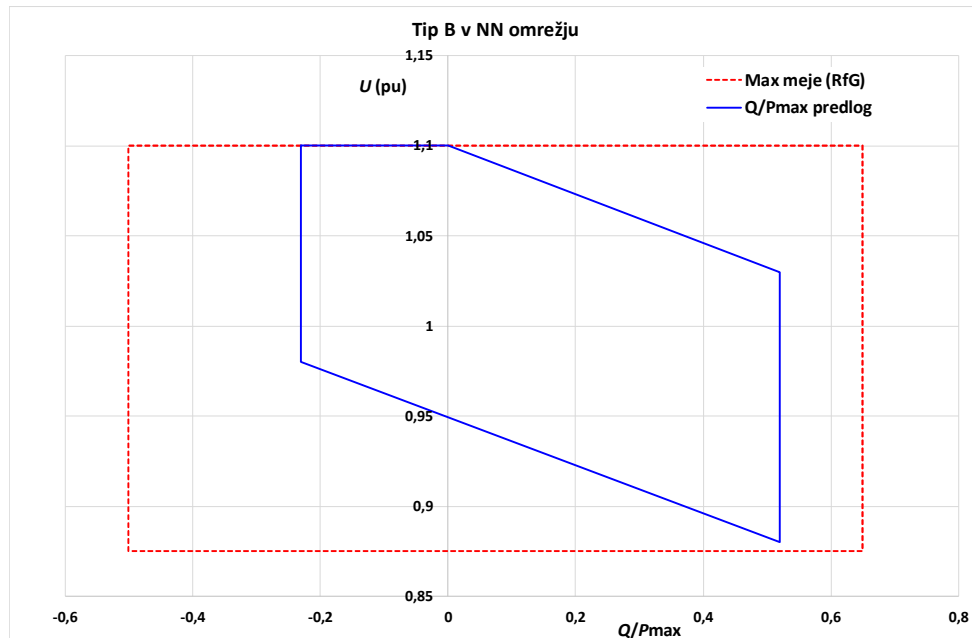


Slika 7 - Relacije med trenutno veljavnimi mejami med posameznimi razredi, proizvodnih naprav glede na vrsto zaščitne sheme in mejami razredov A, B, C in D, ki veljavni v Sloveniji.

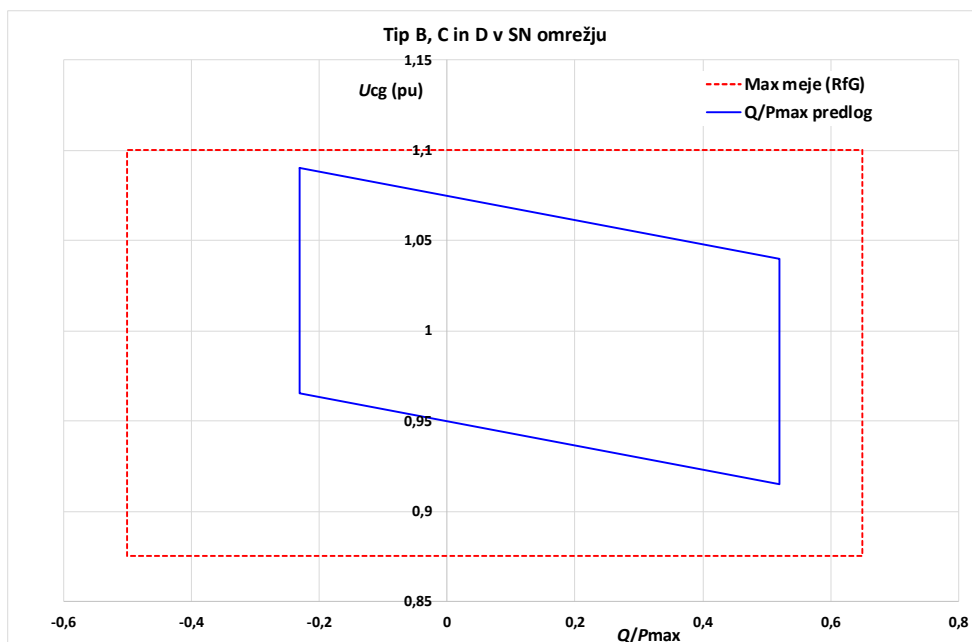
6.6 Napetostna stabilnost in zagotavljanje jalove moči

Karakteristika jalove moči proizvodnih naprav je ostala praktično enaka, kot je bila pred uvedbo določil iz NC RfG. Dodane pa so zahtevane karakteristike relativne jalove moči glede na napetostni nivo na priključnem mestu (t.i. profil $U-Q/P_{\max}$). Karakteristiki se razlikujeta samo glede napetostnega nivoja priključitve EM, ne razlikujeta pa se glede uporabljene tehnologije oziroma vrste EM (SPem oziroma MPP).

Tako mora EM tip B, priključen v NN omrežje, izpolnjevati minimalno sposobnost glede jalove moči (profil U - $Q/P_{\max}$), kot je prikazana na sliki 8. EM tipov B, C ali D, ki so priključeni v SN omrežje, pa imeti minimalno sposobnost glede jalove moči, kot je prikazana na sliki 9.



Slika 8 - Karakteristika zagotavljanja jalove moči (profil U - $Q/P_{\max}$) za vse vrste EM (SPEM in PPM) tip B, priključene na NN nivo.



U_{cg} je dogovorjena napetost, ki jo poda zadevni sistemski operater omrežja.

Slika 9 - Karakteristika zagotavljanja jalove moči (profil U - $Q/P_{\max}$) za vse vrste EM (SPEM in PPM) tip B, tip C in tip D, priključene na SN nivo.

7 Komunikacija s proizvodno napravo

7.1 Nabor podatkov za izmenjavo

Glede na vrsto akterja omrežja je določen tudi nabor podatkov, ki si jih izmenjuje PN s tem akterjem. Določeni so samo tisti podatki, ki so neposredno vezani na obratovanje PN in nujno potrebni za izpolnjevanje zahtev obratovanja v distribucijskem omrežju in izpolnjevanja zahtev RfG. Zaradi tega povezava med operaterjem distribucijskega omrežja in sistemskim operaterjem, kakor tudi povezava med sistemskim operaterjem in ponudnikom sekundarne/terciarne regulacije v Navodilih nista obravnavani, saj ne sodita neposredno v ta okvir. Vsekakor pa morata biti na primeren način urejeni tudi ti dve povezavi, saj v nasprotnem primeru ni mogoče zagotavljati v nadaljevanju navedenih komunikacijskih shem.

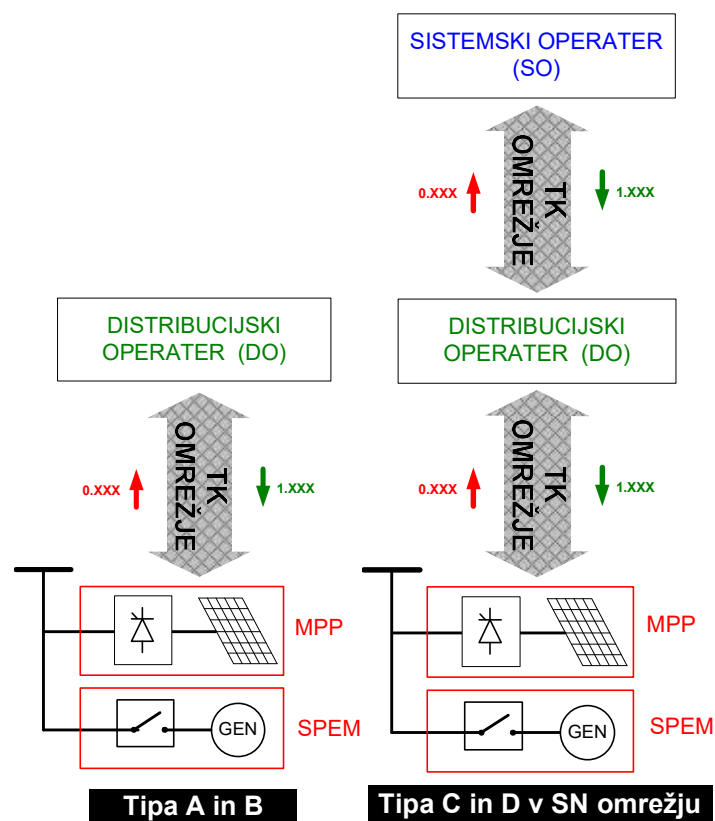
EM pošilja tiste vrste podatkov posameznim deležnikom, ki so za njih aktualni in relevantni. **Operaterju distribucijskega omrežja (DO)** je EM dolžan posredovati podatke o stanju na ločilnem mestu (LM), svojem obratovanju in nastavitvah določenih parametrov. **Sistemskemu operaterju (SO)** je EM dolžan posredovati samo podatke, ki so vezani na obratovanje EES kot celote in se tičejo nastavitvev in stanja glede delovne moči EM.

Operater distribucijskega omrežja lahko EM-ju posreduje podatke in ukaze, ki se tičejo obratovanja EM -ja v omrežju. DO lahko izključi določen EM iz obratovanja oziroma mu omeji delovno moč. Prav tako mu lahko (za določene razrede) nastavlja nekatere parametre, ki se tičejo obratovanja jalove moči oziroma obvladovanja napetostnega profila v omrežju. Vsi ti podatki **imajo najvišjo prioriteto**. Če je s tem naborom poslana EM -ju določena nastavev, omejitev ali ukaz ga ne more preklicati ali spremeniti ali kako drugače onemogočiti noben ukaz ostalih deležnikov.

Sistemski operater lahko EM-ju posreduje podatke in ukaze, ki so vezani na obratovanje EES kot celote in se tičejo nastavitvev in stanja glede delovne moči EM -ja. Ti podatki so **po prioriteti drugi po vrsti**. Če je s tem naborom poslana EM -ju določena nastavev ali ukaz ga ne more preklicati ali spremeniti ali kako drugače onemogočiti nobena nastavev ali ukaz agregatorja sistemskih storitev, lahko pa jo prekliče oziroma onemogoči ukaz ali nastavev zadevnega operaterja omrežja (DO).

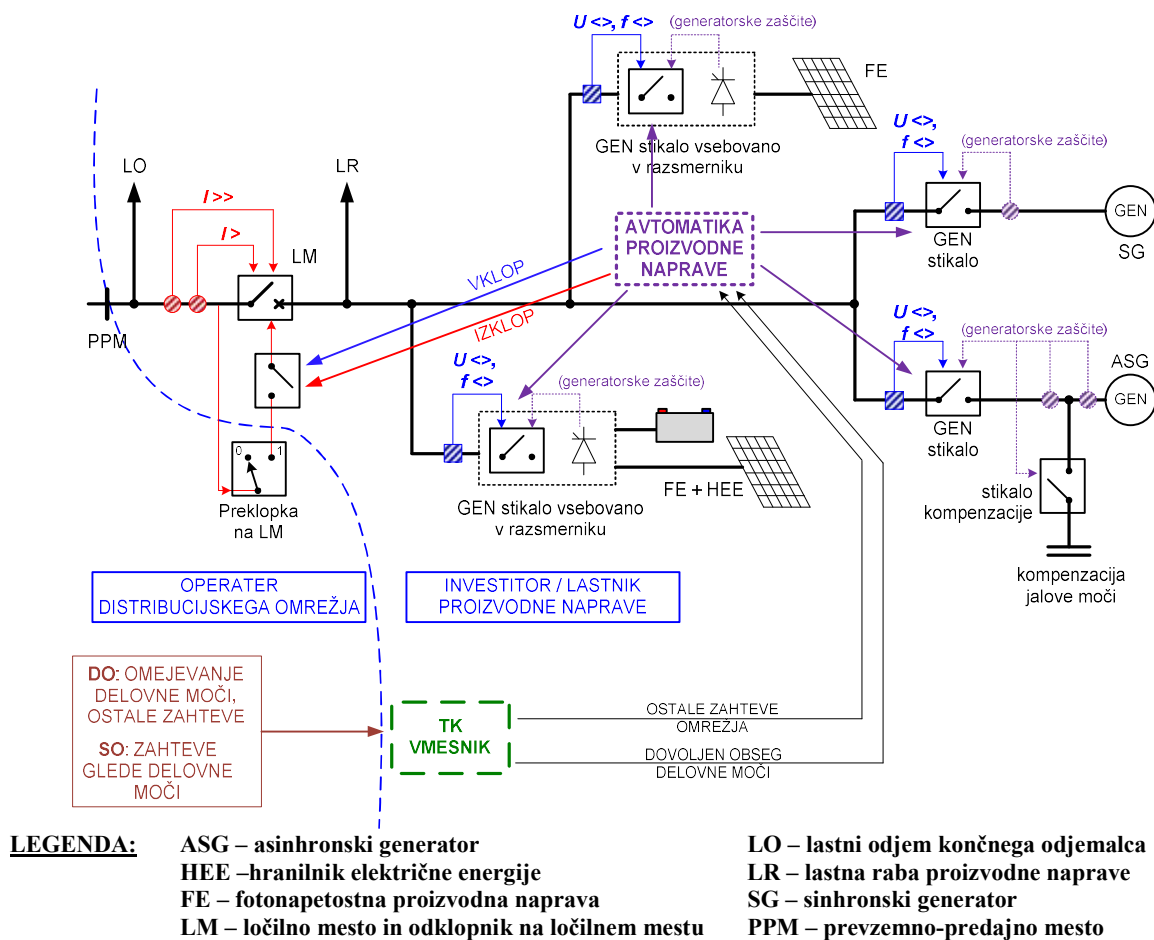
7.2 Komunikacijske sheme

V grobem je predvidena komunikacijska shema, ki je prikazana na sliki 10. DO vzpostavi komunikacijo s PN za namene obratovanja PN v omrežju. SO pa preko komunikacije z DO komunicira tudi s PN v distribucijskem omrežju.



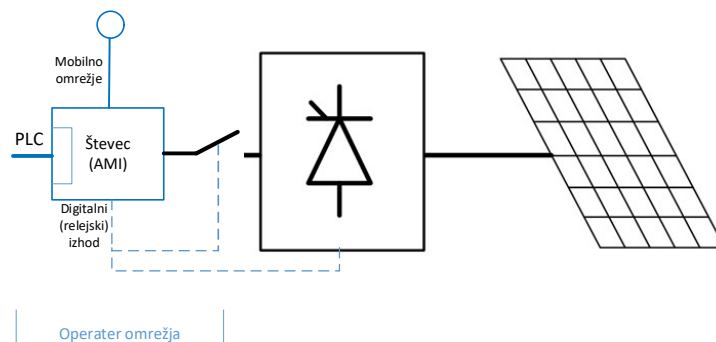
Slika 10 – Princip delovanja komunikacije za proizvodne naprave različnih razredov.

Glede na način izvedbe EM in njihovih povezav znotraj določene PN so lahko izvedbe komunikacije znotraj PN različne in prilagojene željam oziroma zmožnostim investitorja PN. Na sliki 11 je prikazan primer popolnoma porazdeljenega ločilnega mesta za PN z močjo največ 30 kW. DO (in tudi SO) do PN dostopata preko ene komunikacijske vstopne točke. Investitor PN pa mora zagotoviti ustrezno komunikacijo od te točke do svojih EM.

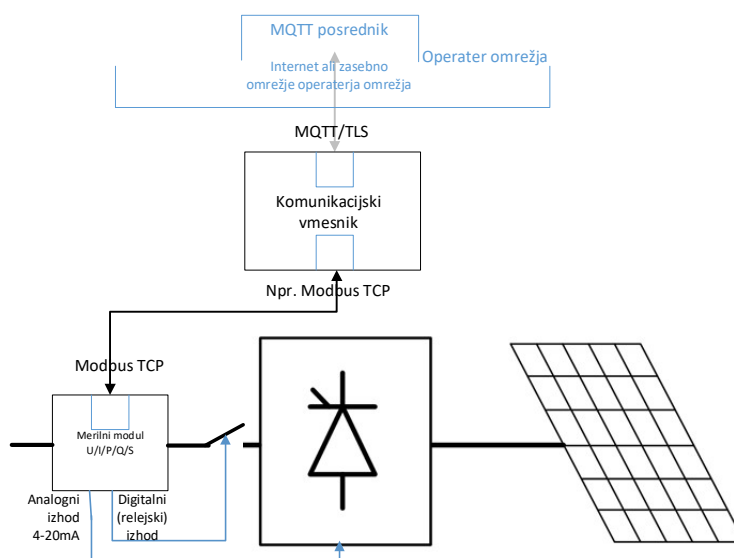


Slika 11 - Primer popolnoma porazdeljenega ločilnega mesta za PN z močjo največ 30 kW.

Komunikacijske sheme so glede izbire vrste komunikacije med DO in PN prilagodljive glede na situacijo. Zahtevana pasovna širina in največji čas latentnosti povezave je odvisen od razreda PN oziroma EM. Na primer za razred A se predvideva, da bodo zadostovale že obstoječe vrste komunikacij, ki se uporabljajo za dostopanje do števcov AMI. Po drugi strani pa se za komunikacijo do EM razreda D zahteva zelo hitra in zanesljiva komunikacija, ki se lahko doseže samo z namenskimi ali zasebnimi povezavami med komunikacijskim centrom DO in PN. Na slikah 12 in 13 sta prikazana dva primera izvedbe komunikacij za razreda A in B, pri čemer je za razred B kot primer izvedbe prikazana uporaba druge naprave oziroma krmilnika.



Slika 12 - Princip daljinske komande za prenehanje/vzpostavitev zagotavljanja delovne moči na izhodu EM za razred A.



Slika 13 - Primer izvedbe meritev in komand za razred B preko druge naprave oziroma krmilnika.

8 Certificiranje in zagotavljanje skladnosti

Skladnost PN se spremlja s pomočjo certifikatov, ki jih podajo proizvajalci naprav oziroma jih pridobi lastnik naprave na podlagi ustreznih simulacij in meritev EM.

8.1 Simulacije za zagotavljanje skladnosti

Simulacije se opravijo na vseh proizvodnih napravah tip C in D. S simulacijami se preveri delovanje posameznih sklopov PN in njihov vpliv na obratovanje PN na ločilnem mestu (LM). S simulacijami se vedno ugotavlja vpliv vseh EM določene PN na LM PM.

Na podlagi uspešno opravljenih simulacij DO za PN izda *Obvestilo o odobritvi začasnega obratovanja PN*. V času začasnega obratovanja pa se opravijo meritve (testi) na PN, s katerimi se dokazuje skladnost s slovenskimi omrežnimi pravili (SONDSEE).

8.2 Preizkusi za zagotavljanje skladnosti

Preizkusi se opravijo na vseh proizvodnih napravah tip C in D. S preizkusi se preveri delovanje posameznih sklopov PN in njihov vpliv na obratovanje PN na ločilnem mestu (LM). S preizkusi se vedno ugotavlja vpliv vseh EM določene PN na LM PM.

Na podlagi uspešno opravljenih preizkusov DO za PN izda *Končno obvestilo o odobritvi obratovanja PN*. Ne glede na tip EM (SPEM ali MPP) je treba obvezno opraviti meritve karakteristike jalove moči in preizkus delovanja zaščite na LM PN.

8.3 Postopek za pridobitev končnega obvestila in preverjanje skladnosti za posamezne tipe EM

Glede na razred PN ločimo več vrst postopkov. Za razred A je postopek zelo enostaven, medtem ko so za razreda C in D potrebne tudi simulacije in električne meritve na mestu priključitve PN v omrežje.

8.3.1 Enostaven postopek, razred A, do 10 kW v NN omrežju

Za ta razred so dovolj ustrezni opremni certifikati, ki jih poda proizvajalec opreme. Posebno preverjanje ni potrebno.

8.3.2 Poenostavljen postopek, razred B, priključeni v NN omrežje

Za ta razred so potrebni ustrezni opremni certifikati oziroma ostala dokumentacija, kot je navedeno v Navodilih. Poleg tega je za poenostavljen postopek potrebno preveriti tudi skladnost ostalih parametrov (skupaj 16) EM z omrežnimi pravili. Preizkus določenih parametrov je lahko tipski.

8.3.3 Standarden postopek, razred B, priključeni v SN omrežje

Za ta razred so potrebni ustrezni opremni certifikati oziroma ostala dokumentacija, kot je navedeno v Navodilih. Poleg tega je za standarden postopek potrebno preveriti tudi skladnost ostalih parametrov (skupaj 16) EM z omrežnimi pravili. Preizkus parametrov ne more biti tipski, ampak se jih preveri na vsaki PN posebej.

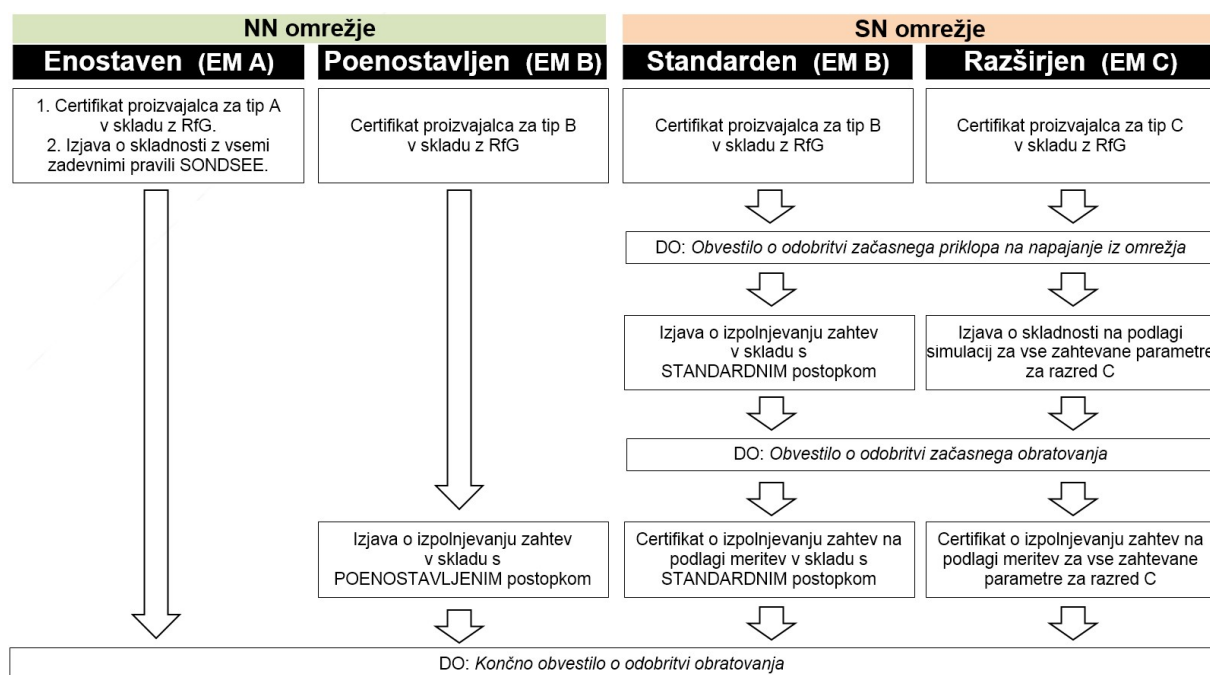
8.3.4 Razširjen postopek, razred C, priključeni v SN omrežje

Za ta razred je potrebna individualna obravnava posamezne PN. Zagotavljanje skladnosti z omrežnimi pravili se dokazuje s pomočjo simulacij na modelih in meritev PN med začasnim obratovanjem. S tem preverjanjem se zagotovi skladnost z omrežnimi pravili in skladnost z določili uredbe RfG.

8.3.5 Popoln postopek, razred D v SN omrežju

Za ta razred se vsi potrebni postopki izvedejo skladno z zahtevami iz obratovalnih navodil za prenosno omrežje električne energije.

Slika 14 prikazuje povzetek postopka glede skladnosti za posamezne razrede EM.



Slika 14 - Povzetek postopka glede skladnosti za posamezne razrede EM.

9 ZAKLJUČEK

Trenutna prenova navodil za priključevanje proizvodnih naprav (PN) v distribucijsko omrežje vsebuje osvežitev zaradi spremenjenega stanja tehnike na tem področju, prav tako pa tudi vsa potrebna določila iz NC RfG. Spremenjena pravila bodo veljala za novo izdana *Soglasja za priključitev*, kakor tudi za soglasja, ki bodo izdana zaradi rekonstrukcije ali povečave moči obstoječih PN.

V skladu z zahtevami NC RfG bodo morali biti elektroenergijski moduli v PN bolj odporni na motnje v omrežju, obenem pa bodo morali pomagati vzdrževati čim bolj konstantno frekvenco omrežja. Biti bodo morali tudi ustrezno certificirani in omogočati bodo morali vplivanje na njihovo obratovanje s strani systemskega operaterja in operaterja distribucijskega omrežja. Omejevanje obratovanja posamezne PN bo mogoče samo, če bo to nujno potrebno zaradi zagotavljanja stabilnosti celotnega omrežja ENTSO-E ali zaradi zamašitev v lokalnem omrežju.

Pri obratovanju PN v skladu z novimi pravili bo treba vzpostaviti sistem ustrezne avtomatske komunikacije med SO in DO ter naprej od DO do vsake nove PN. Zahteve glede načina komunikacije in potrebna vsebina izmenjanih podatkov so odvisne od razreda posamezne PN ter zmožnosti izvedbe komunikacije na mestu priključitve PN.

LITERATURA IN VIRI

- [1] *SONDSEE Priloga – Navodila za priključevanje in obratovanje proizvodnih naprav električne moči do 10 MW*, dokument v javni obravnavi, dostopen na naslovu: <https://www.sodo.si/o-nas/aktualno/javna-obravnavo-sistemskih-obratovalnih-navodil-za-distribuc>.
- [2] *Uredba Komisije (EU) 2016/631 z dne 14. aprila 2016 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje*. Uradni list Evropske unije z dne 27.4.2016 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:32016R0631>.
- [3] *SONDO, Priloga 5: Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn moči do 10 MW*. <https://www.sodo.si/files/366/SONDO%202011%20Priloga%205.pdf>
- [4] *Določitev neizčrpnih pogojev za vpeljavo določil Requirements for Generators v slovensko zakonodajo – Osutek študije št. 2346*. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana, 2019.



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT VI

mag. Mitja Koprivšek, univ. dipl. inž. el.

mitja.koprivsek@jeti.si

ETI Elektroelement d.o.o. Izlake

NOVE STIKALNE REŠITVE V BATERIJSKIH HRANILNIKIH ELEKTRIČNE ENERGIJE

Predstavitev



- Prispevek bo pokazal :
 - na razvoj novih rešitev nadtokovne zaščite v baterijskih hranilnikih električne energije,
 - na nove zahteve, ki se pojavljajo v primeru načrtovanja in izgradnje takšnih hranilnikov.
- Koncept rešitve deloma izhaja iz rešitev, ki smo jih v 2018 pokazali na temo nadtokovne zaščite v baterijskih električnih vozilih,
- Baterijski sistemi za shranjevanje električne energije postajajo konkurenčna rešitev v primerjavi z drugimi viri električne energije, še posebej to velja v kombinaciji s PV in/ali vetrno energijo

Varnostni izzivi

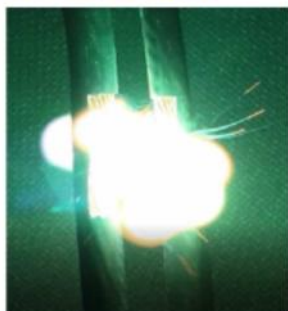


Varnostni izzivi

- Kako zagotoviti varnost pri uporabi HV baterijskega sistema



<https://www.fz-landeck.at/cms/index.php/33-aktuelle-beitraege-blog/einsatz/532-2017-brand-eines-elektrofahrzeuges-auf-der-a16.html>



- Preskus je bil izveden na dveh kablju s presekom 120mm² z razdaljo med kabloma 20mm. Električni pogoji: 500Vdc, 100Adc,

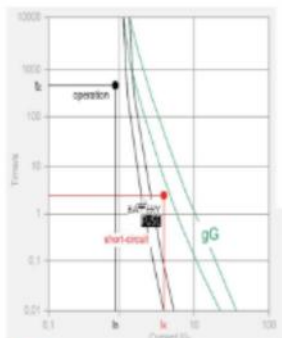
Video posnetek električnega obloka, napajanega s 500Vdc in 250Adc



Power needs control

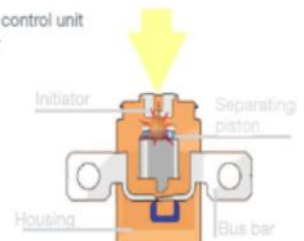
4

- VAROVALKE so odlična rešitev problema



- Pyro-stikala

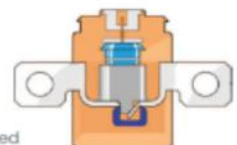
Trigger pulse of control unit
deploys initiator



Combustion and
acceleration of piston



Cutting edge hits bus bar

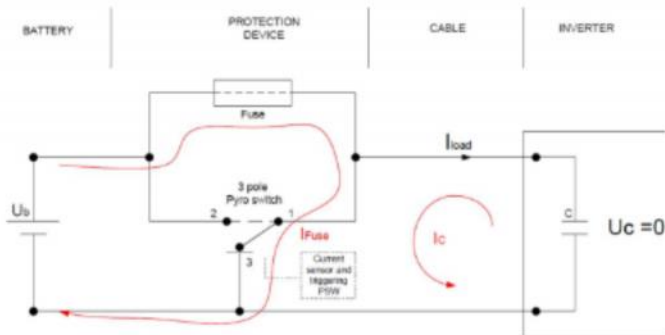


Disconnection completed

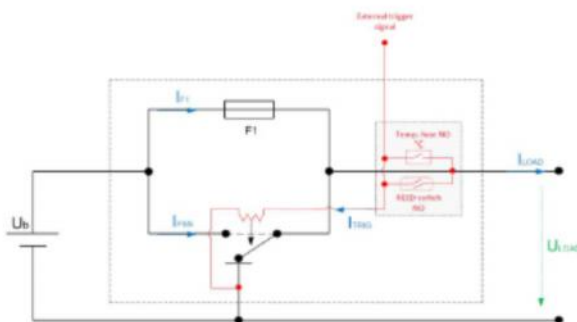
Power needs control

5

Predlagana rešitev Triggy Fuse:



- Posebna konstrukcija Pyro-stikala s tremi kontakti
- Posebna izvedba paralelne vezave Pyro-stikala in Varovalke



Izvedba z nadtokovnim senzorjem

Power needs control

6

Zahteve

Zahteve za velike baterijske hranilnike

- Velike moči, npr.: 5MW in več
- Napetosti : do 1500V dc
- Nazivni tokovi: do 400A (tudi 500A)
- Visoki pričakovani kratkostični tokovi do 100kA
- Baterijski tokokrogi imajo nizko induktivnost, torej je časovna konstanta <1msek,
- V primeru baterijskega tokokroga, ki napaja inverter z električnim motorjem, so časovne konstante višje, predvidoma višje od 3-5 msek,



https://www.google.si/search?q=battery+storage+power+station&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=dVy2Lz0TZquZyMn253A%252CEUgk4zI2BpcVJM%252C_&vet=1&usq=A14_-kTyrYmUAg3TmYM9qY2acG5TAy1A2A&sa=X&ved=2ahUKEwjvN2itu3gAhWkxosKHRGrDFwQ9QewB3oECAYQDA&imgsrc=dVy2Lz0TZquZyM

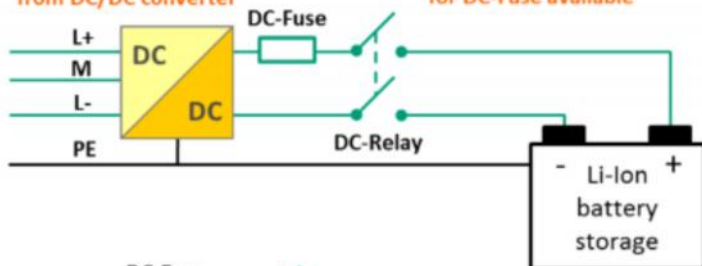
Power needs control

7

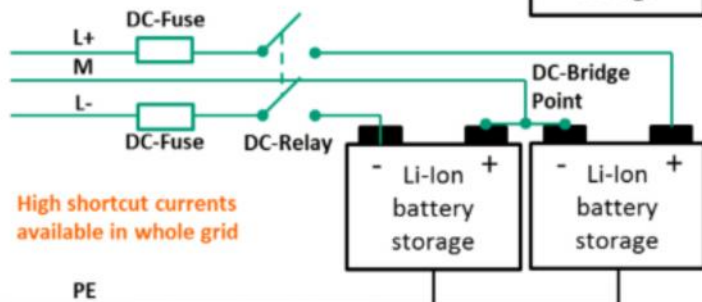
Aplikacija

less shortcut currents limited
from DC/DC converter

High shortcut power
for DC-Fuse available



DC varovalka v glavnem
baterijske tokokrogu v seriji s
stikalom



Povezane baterije za doseganje
večjih moči:

?vprašanja:

1.kako doseči višje nazivne
tokove nadtokovnih zaščitnih
naprav?

2.Kako zagotoviti zaščitno
stikalne naprave in same
baterije?

Power needs control

Overview of Different Topologies and Control
Strategies for DC Micro Grids

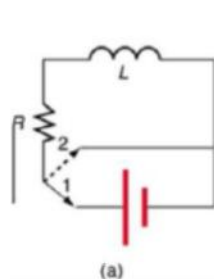
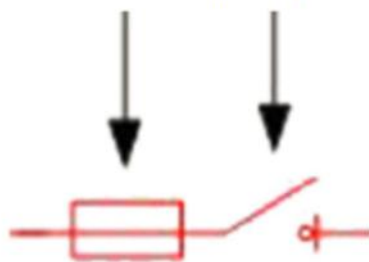
Bernd Wundke*, Leopold Ott*, Julian Kaiser*, Yunchao Han*, Fabian Farsmann*, Martin Mitz*

*Power Electronics Division, Fraunhofer Institute for Integrated Systems and Device Technology, Erlangen, Germany;
bernd.wundke@inf.fraunhofer.de

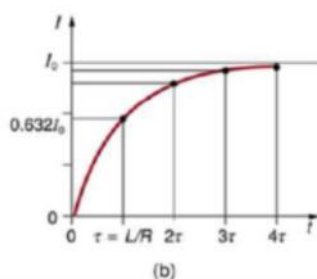
8

Aplikacija

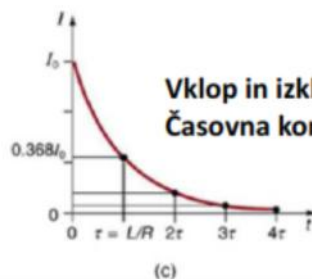
DC varovalka v glavnem baterijske tokokrogu v seriji s
stikalom



(a)



(b)



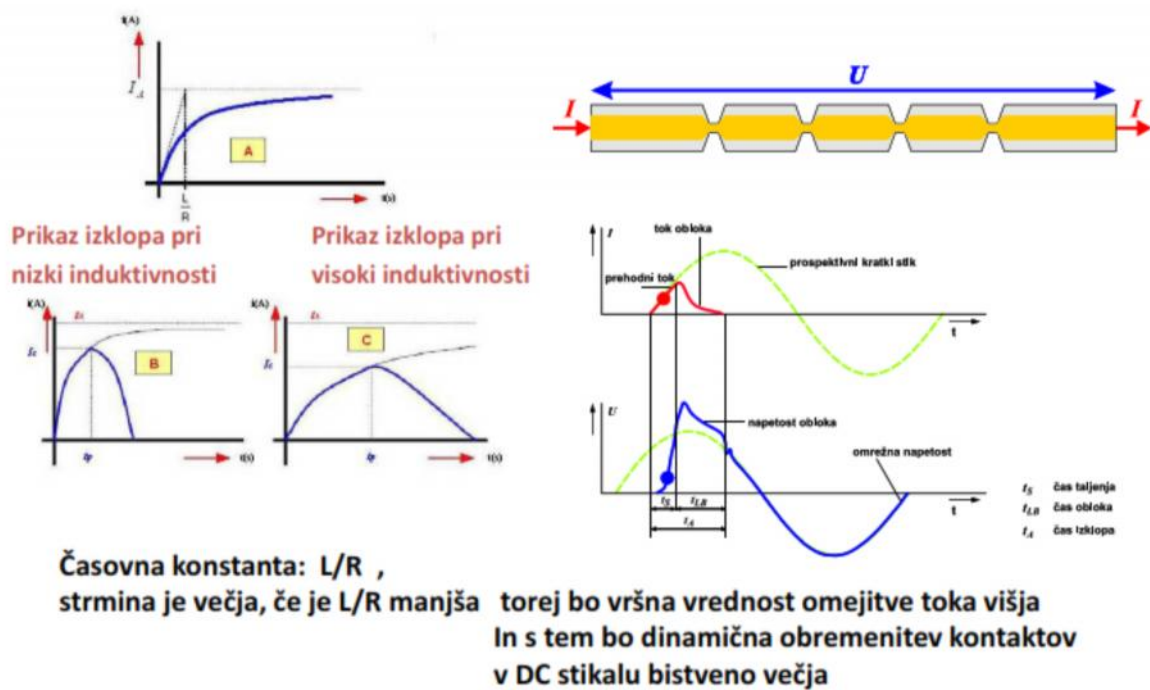
(c)

Vklop in izklop DC toka
Časovna konstanta: L/R

Časovna konstanta: L/R , strmina je večja, če je L/R manjša

Power needs control

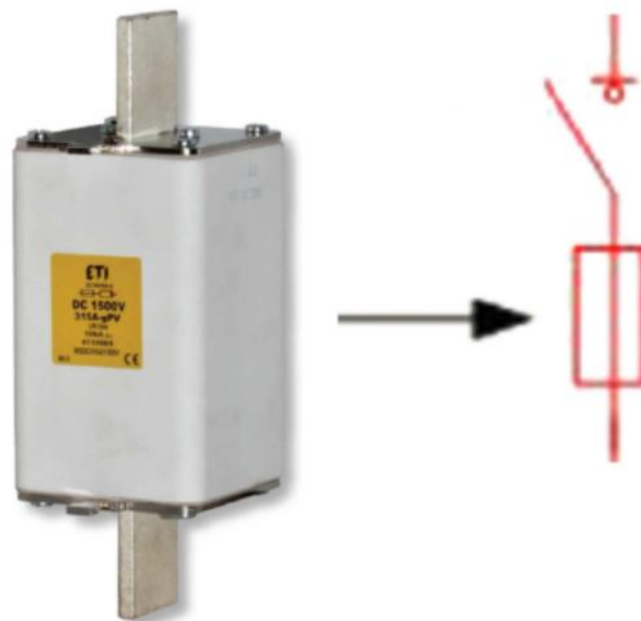
9



DC varovalka 1500V dc,

nazivni tokovi do 500A,

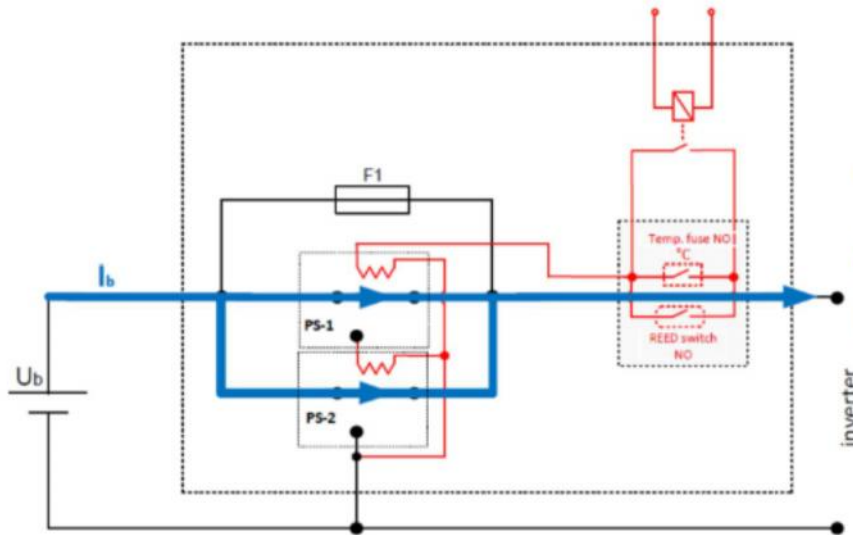
Odlično deluje pri nizkih in
visokih časovnih konstantah



Kako doseči višji nazivni tok ??

Osnovni cilji:

- Doseči nazivni tok do 600A in napetost do 1500Vdc,
- Rešitev: dva pyro-stikala (oba s tretjim kontaktom) v paralelni vezavi, z varovalko, v sekvenčnem delovanju



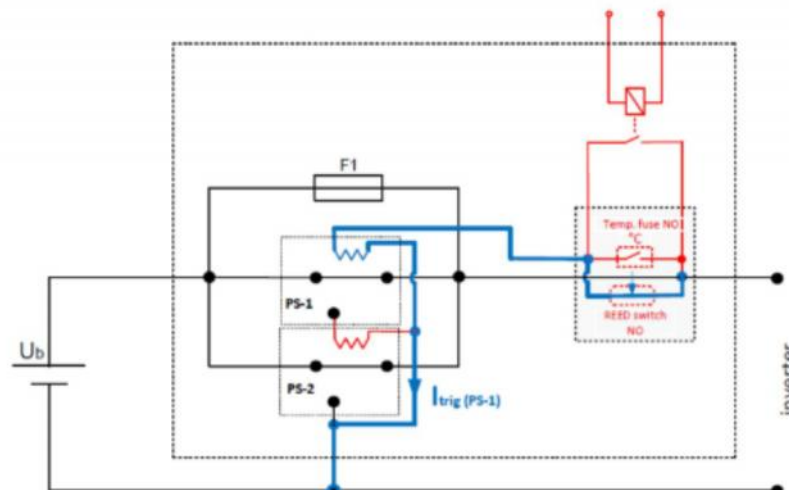
Normalno delovanje:

Glavni tokokrog, tok teče skozi dva enaka tri-kontaktna pyro-stikala

Power needs control

12

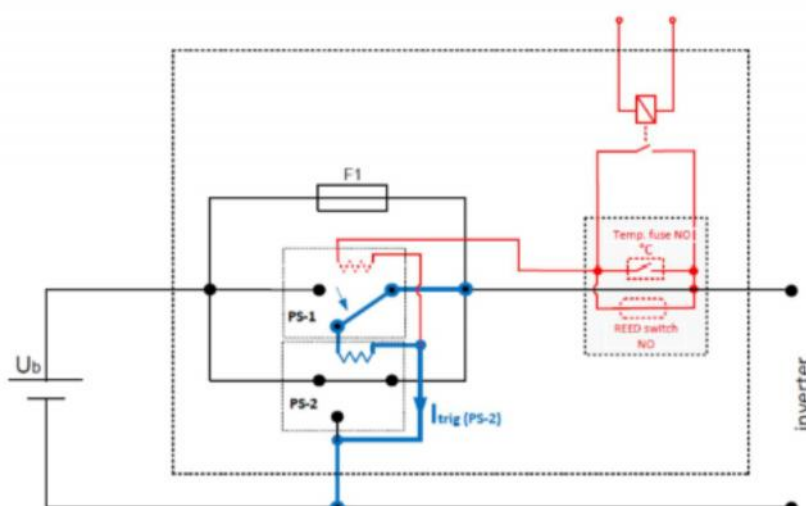
Kako deluje izvedba z dvema tri-kontaktima pyro-stikaloma in varovalko?

Detekcija kratkega stika
in proženje prvega pyro-
stikala

Power needs control

13

Kako deluje izvedba z dvema tri-kontaktnima pyro-stikaloma in varovalko?

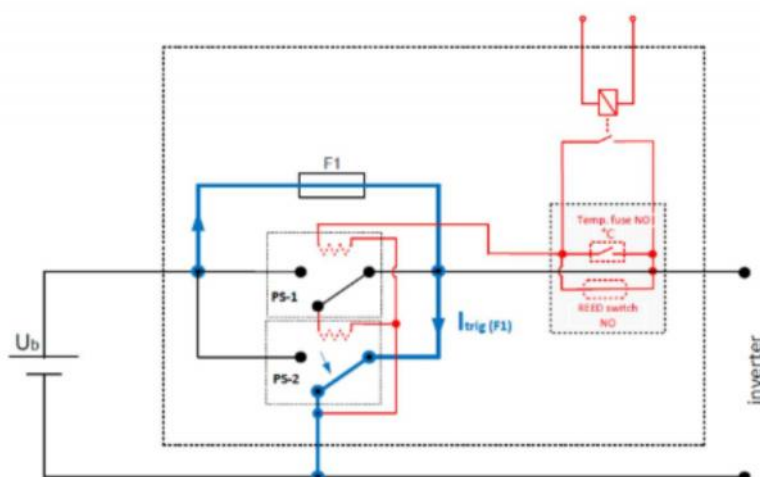


Odprtje kontakta PS-1 in
vklop prožilnega
tokokroga drugega
pyro-stikala PS-2

Power needs control

14

Kako deluje izvedba z dvema tri-kontaktnima pyro-stikaloma in varovalko?

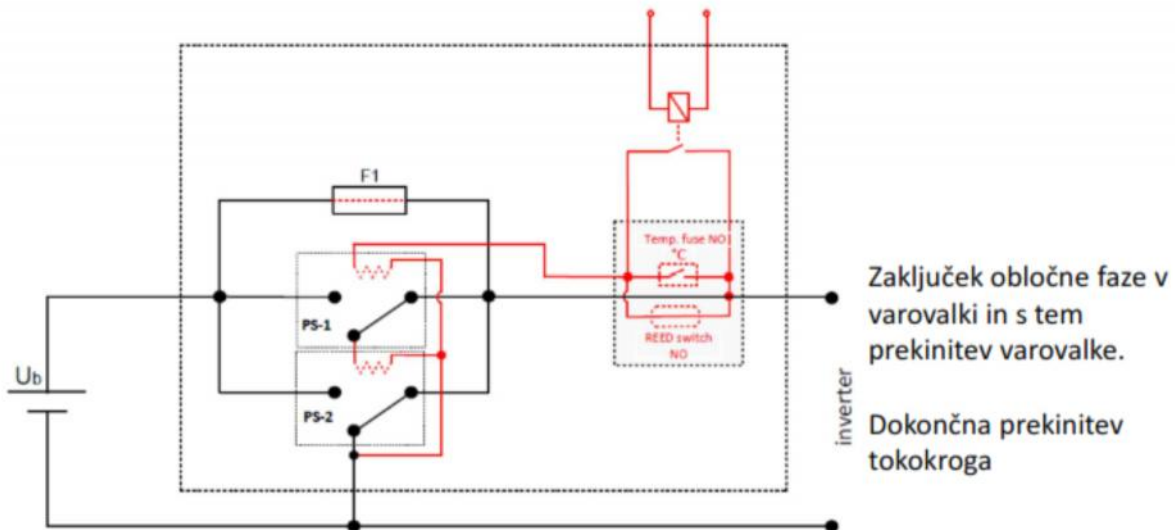


Odprtje kontakta PS-2 in
vklop vzporednega
tokokroga z varovalko

Power needs control

15

Kako deluje izvedba z dvema tri-kontaktnima pyro-stikaloma in varovalko?



Prikazani prispevek poskuša prikazati dve rešitvi za nadtokovno zaščito v velikih baterijskih sistemih

1. DC Varovalka 1500V
2. Triggy-Varovalka, v posebni paralelni-hibridni izvedbi kombinacije dveh pyro-stikal in varovalke

Obe zaščitni napravi oz. rešitvi vebujeta vse najboljše lastnosti Varovalke in hibridne kombinacije Pyro-stikala+varovalke in skupaj zagotavljata:

- Zelo nizke izgube
- Visoko izklopno zmogljivost
- Odlično koordinacijo s stikalnimi napravami
- Dolgo življenjsko dobo in visoko odpornost na ciklične obremenitve
- Visoke varnostne standarde
- Visoko stopnjo uporabnosti in nizke operativne stroške
- **Vse to so pomembne lastnosti, ki jih zahtevajo moderni veliki baterijski hranilniki električne energije.**

Hvala za pozornost !





Radenci, 28. marec 2019

REFERAT VII

mag. Bogomil Jelenc, univ. dipl. inž. el.

Bogomil.jelenc@elektro-maribor.si

ELEKTRO MARIBOR d.d.

ČETRТА INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA V ENERGETIKI, MASIVNI PODATKI IN UMETNA INTELIGENCA (BIG DATA & ARTIFICIAL INTELLIGENCE)

1 Uvod

V zadnjih dveh stoletjih je svet doživel tri industrijske revolucije. Prva nam je dala parni stroj, druga telefon, žarnico in motor z notranjim izgorevanjem. Nato je sledil preskok do 80. let 20. stoletja, ko se je odvila tretja, imenovana tudi digitalna revolucija. V njej smo bili priča iznajdbi interneta in osebnega računalnika. Da, še vedno živimo v digitalni revoluciji vendar se je digitalno razvilo in prevzelo povsem nov pomen. Leta 2016 je profesor Klaus Schwab, ustanovitelj in izvršni predsednik svetovnega ekonomskega foruma (World Economic Forum) postavil novo obdobje, četrto industrijsko revolucijo. To revolucijo zaznamujejo znanstveno tehnološki preboji, ki združujejo fizične, digitalne in biološke svetove:

- Umetna inteligenca in strojno učenje.
- Internet stvari (IoT)
- Avtonomna vozila
- Robotika
- Nanotehnologija
- Biotehnologija
- 3D tiskanje

Vsak od teh prebojev, ki jih poganja razvoj IT ima svoj izziv pa tudi nešteto novih priložnosti. V vsaki industrijski revoluciji je bilo ključno hitro sprejetje in prilagoditev novih tehnologij. V nadaljevanju bom opisal nekaj pomembnih poudarkov, ki jih bodo podjetja morala rešiti v prihodnosti.

2 Podatkovni Silosi

Današnji uporabniki, pa ne samo milenijci, se zavedajo, da jim je digitalna doba prinesla predvsem izbiro. Zvestobi blagovni znamki, ali podjetju, se uporabniki danes veliko lažje odrečejo na podlagi svoje zadnje izkušnje s podjetjem, njegovo storitvijo ali izdelkom. Podjetja morajo nenehno skrbeti za stranke. Poudarek delovanja podjetij mora biti nenehno ustvarjanje dodatne vrednosti in dokazovanja pri stranki. Vse to je mogoče izvajati samo s podatki. Plaz podatkov, ki se dogaja v zadnjem času je veliko breme. Številne preizkušene (starejše) rešitve, ki jih uporabljajo podjetja preprosto niso kos velikanskim količinam podatkov. Da je problem še večji, se mnoga podjetja ubadajo z izzivom, kako podatke pretvoriti v poslovno koristne informacije. Zvrhano čašo problemov pa povzroča dejstvo, da so v podatkih številne podrobnosti strank, tako osebne kot druge informacije, ki predstavljajo pomembno varnostno tveganje. Uredba GDPR namreč grozi z velikanskimi kaznimi.

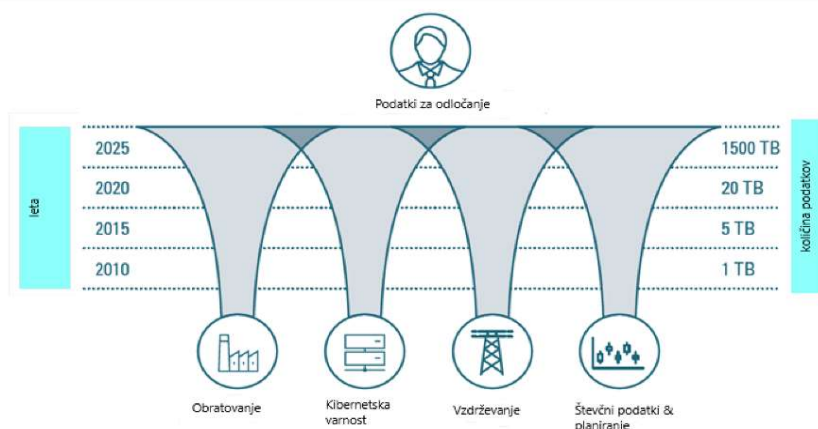
V zadnjih nekaj letih je bilo veliko napisanega na temo umetne inteligence (AI) in strojnega učenja (ML). Od Googlovega avtonomnega –samo vozečega avtomobila preko podjetja Apple s produktom Siri, do različnih produktov za pametne stavbe ozir. pametne električne inštalacije. Nekatere največje družbe na svetu, kot so Amazon, Facebook, Alphabet (Google) svoje uspehe

gradijo na rabi podatkov, s katerimi strankam zagotavljajo izjemne storitve. Te družbe poznajo svoje stranke in jim zagotavljajo ustrezne uporabniške izkušnje. Ravno zaradi tega se stranke k njim vedno znova vračajo. S takšnim pristopom so ta podjetja dvignila lestvico uporabniške izkušnje tudi za vsa druga podjetja. Neglede na velikost podjetja jih vedno več ugotavlja, da ustrezno delo s podatki prinaša tudi pozitivne učinke v bilanco podjetja. Zato se zatekajo k tehnologijam, ki jim pomagajo iz množice podatkov izluščiti koristne informacije, s katerimi ustvarjajo boljše uporabniške izkušnje ali pa sprejemajo boljše poslovne odločitve, v vsakem primeru pa ustvarjajo veliko konkurenčno prednost.

Toda, kako se ti primeri uporabe lahko prenesejo v bolj konservativne industrijske panoge kot je energetika in energetska infrastruktura, ki se pogosto omenjajo kot tehnološki zamudniki? V nasprotju s tem kar bi na prvi pogled pričakovali sta umetna inteligenca in strojno učenje idealna za energetski sektor. Glede na velike količine podatkov, ki se v teh panogah že ustvarjajo še posebej pa z upoštevanjem vseh dodatnih senzorjev ozir pametnih naprav, ki jih bo dodal Internet stvari (IoT) – je implementacija vseh teh naprav v internet energije (IoE) v okviru energetskega sektorja popolno okolje za aplikacije ML.

Velika ovira za boljšo integracijo ML med gospodarskimi družbami, popolnoma enak problem pa je prisoten tudi znotraj družb, med organizacijskimi enotami, je tradicionalen pristop organizacije procesov, ki privede do t.i. podatkovnih silosov (slika 1). Obstaja več virov podatkovnih silosov v glavnih poslovnih panogah-procesih: proizvodnja, obratovanje, vzdrževanje, investicije in gradnja omrežja, števčni podatki, planiranje in analiza, trgovanje z električno energijo, upravljanje s tveganji, kibernetika varnost, ipd. Več virov podatkovnih silosov je pravzaprav znotraj enega podjetja praktično bolj ali manj med posameznimi organizacijskimi enotami- službami, sektorji, oddelki.

Podjetja namreč zaradi svoje organizacije dela in procesov poslovne procese ter definicije podatkov tradicionalno oblikujejo znotraj poslovnih funkcij ali oddelkov. Temu nato sledi tudi razvoj procesov skupaj z novimi tehnologijami, ki se tokom časa uvedejo v procese same, kot primarne ali kot podporne. Ločeno se vpeljuje računalniško podporo ozir. algoritme, ki so specifični za vsako enoto posebej. Posledično se gradi ločene baze podatkov, ki so minimalno ali sploh ne medsebojno povezane.



Slika 1: Podatkovni silosi v energetiki

To ima za posledico neskladje definicij med posameznimi procesi, oddelki in funkcijami kar se običajno opazi na stikih teh procesov. Slednje lahko dodatno zaplete geografska razpršenost

podjetja z geografsko razporejenimi organizacijskimi enotami [1]. Posledica teh neskladnosti so analitični in podatkovni silosi, ki se med seboj slabo ali sploh ne povezujejo. Zelo prodorno misel na to temo je izrazil Jeffrey Akers, glavni strateg pri Hewlett Packard Enterprise: »Veliko se dogaja z analitiko podatkov, toda mi še naprej gradimo vedno več podatkovnih silosov. Moramo jih začeti homogenizirati. Vsi podatki morajo biti vključeni – povezani v sisteme. Samo to bo omogočalo podjetjem dobro prihodnosti. "

Kar je danes splošno znano in prisotno, namreč, da podporni procesi (računovodstvo, kadrovska podpora, marketing...) delujejo kot enoten sistem za celotno podjetje, torej za vse enote. Žal pa ta pristop ne velja za strokovne procese ozir. službe, sektorje, oddelke, ki se ukvarjajo z glavno dejavnostjo. Med seboj so tradicionalno (podatkovno) povezani zgolj na stikih procesov. Posledično ustvarjajo minimalno povezane podatkovne silose. Podatkovni silosi so torej funkcionalne celote, kot so na primer strežniki, mrežna oprema, sistemski programi in aplikacije, predvsem pa specializirani algoritmi in sistemi, ki so med seboj povezani le toliko, da informacijska podpora deluje. Druga značilnost je stroga in toga organiziranost. Znotraj posameznega podatkovnega silosa je veliko pododdelkov in ravni. Vlada stroga hierarhija. Vsaka raven ima svojega "šefa", ki se večinoma trudi povečati pomembnost svojega položaja ozir. organizacijske enote. Tudi zato je komunikacija z drugimi otežena ali celo popolnoma prekinjena. [2]

Delno rešitev opisanega problema ponuja uporaba IT integracijskih standardov na osnovi IEC CIM standarda (Common Information Model – družina standardov IEC61970, IEC61968 in IEC62325). [3] Omenjeni IT integracijski standardi lahko povežejo obstoječe IT/OT sisteme (geografski informacijski sistem – GIS, sistem za upravljanje z merilnimi podatki, Metering Data Management System – MDMS, sistem za upravljanje s porabo – Demand Response Control System – DRCS, Distributed Management System – DMS kot je bilo uspešno izvedeno v okviru projekta NEDO. V omenjenem primeru se je pokazalo, da je možno uspešno povezovanje podatkovnih silosov z obstoječim naborom (količino) podatkov v njih. Prva faza tega projekta je bila priprava podatkovne strategije na osnovi funkcionalnosti, ki jih vpeljuje projekt NEDO. Projekt integracije podatkov/sistemov je torej osnovni, prvi korak k razbijanju podatkovnih silosov. Če se količina podatkov bistveno poveča, kar se pričakuje v bližnji prihodnosti, je nujno potrebno pred integracijo definirati tudi ustrezne algoritme na podlagi AI in ML, ki izluščijo informacije hkrati pa prinesejo številna odkritja, spoznanja, optimizacijo celotnega procesa in kibernetsko varnost. Za tak razširjen pristop pa je podatkovna strategija neizogibna.

Podjetja torej danes potrebujejo podatkovno strategijo. Gre za zavestni, miselni premik v poslovanju. Veliko je primerov, ko podjetja ustanavljajo oddelek, ki se ukvarja s podatki ali pa celo najamejo t.i. skrbnike za podatke (Chief Data Officer). Pogosto se žal to stori precej površno in nedomišljeno, saj čas pogosto pokaže, da so ustvarili novo ozko grlo oziroma nov podatkovni silos. Potrebne spremembe namreč niso zgolj tehnične in omejene na uvajanje različnih tehnoloških rešitev. Za podatke, namreč, mora biti odgovoren vsak zaposlen, kar pomeni spremembo miselnosti – kulture podjetja ozir. nov način razmišljanja in delovanja. To pa je proces, ki zahteva sodelovanje vseh vpletenih od vodstva do zaposlenih in se ga prav gotovo ne da opraviti čez noč.

3 Prenos in distribucija električne energije: Več kot Pametni števeci

Pred nekaj desetletji je Savdski naftni minister, šejk Yamani požel navdušenje s svojim pogledom na globalni razvoj: "Kamena doba se ni končala zaradi pomanjkanja kamna. Prav tako bo dobe naftnih derivatov konec mnogo prej, kot bo zmanjkalo nafte."

Danes živimo v dobi, ki ji pravimo Informacijska doba in prav gotovo nismo v nevarnosti, da nam bo zmanjkalo podatkov ozir. informacij iz podatkovnih baz. Prevladuje splošno mnenje, da smo preobremenjeni s količino podatkov. Pravzaprav je podatkov že toliko, da skoraj več ne omogočajo "normalnega" shranjevanja, obdelave, analize, razlage in uporabe podatkov za ukrepanje na podlagi analize, kar so klasični pristopi, ki smo jih vajeni vse od začetkov digitalne revolucije in razvoja računalništva.

Eskalacija podatkov v okviru Interneta stvari (IoT) presega zmogljivosti tradicionalnega računalništva. Vprašanje na mestu je, kako potem te podatke uporabiti in jih pretvoriti v uporabne informacije.

Obstaja veliko virov, ki napovedujejo eksponentno rast podatkov do leta 2020 in naprej. Prav tako so strokovnjaki soglasni, da se bo velikost digitalnega sveta podvojila vsake dve leti kar v letih od 2010 do 2020 znese 50-kratnik.



Slika 2: Rast količine podatkov v digitalnem svetu

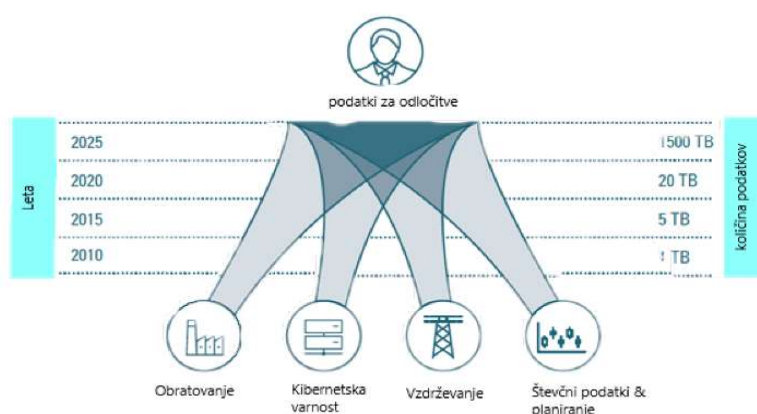
Torej napredek vseh naprav in (pod)sistemov, ki se uporabljajo za zagotavljanje izvajanja primarne dejavnosti (senzorji, zaščitne naprave, naprave krmiljenja in vodenja, števeci...), poleg ekspanzije v številu enot prinaša tudi ekspanzijo v količini podatkov, ki jih želimo zajemati, obdelati in arhivirati, kar pa s tradicionalnim pristopom ne gre.

Zaključek ozir. rešitev se ponuja kar sama, potreben je nov pristop, nova paradigma, kaj in kako od podatkov, razpoložljivih ali razširjenih iz obstoječih in novih naprav- senzorjev izkoristiti. Ker so sodobne naprave in (pod)sistemi, že optimizirani ni več prisotne funkcionalne paradigme, ki izhaja iz organiziranosti procesov. Velja tudi obratno saj so sodobne naprave več funkcijske (npr. sodoben pameten števec in podatki, ki jih je sposoben zajeti in nato posredovati nikakor ni več naprava, specializirana za obračun porabljene električne energije). Poleg tega imajo prav vse sodobne naprave v energetskega sistema, na primarni ravni, relativno veliko procesorsko moč.

Ključni dejavnik na poti k rešitvi opisanega problema obdelave podatkov podatkovno intenzivnih sistemov je hitra analiza podatkov in na njeni osnovi grupiranje (selekcija) informacij iz velike količine podatkov. Razvoj pametnih števecov se danes po eni strani dogaja

v možnosti implementiranja določenih algoritmov v napravo samo, po drugi strani pa se razvoj trudi povečati komunikacijsko moč naprave.

Trenutni razvoj teče v smeri pristopov z uporabo tehnologij za velike podatkovne baze in integracijo le teh. Z njimi bi najprej izluščili in odklenili podatke iz vseh obstoječih podatkovnih silosov ter jih osvobodili spon in okvirjev le teh. Od tod naprej se lahko vključi možnosti umetne inteligence, da se pridobi vpogled v različne primere uporabe. Ta preobrazba bo nedvomno vodila do številnih novih odkritij in spoznanj, kar bo omogočilo združitev nekaterih ločenih poslovnih procesov, v vsakem primeru pa bo prinesla optimizacijo in veliko dodano vrednost. Slika 3 prikazuje povečanje uporabnih podatkov po odpravi podatkovnih silosov.



Slika 3: Reševanje problema podatkovnih silosov

Na temo uporabe umetne inteligence v gospodarskih javnih službah (utility podjetjih) je bilo opravljenih veliko raziskav. Eden od poudarkov je bil, kako umetna inteligenca in strojno učenje lahko vplivata na organizacijo in izvajanje osnovnih nalog. Rezultati teh raziskav so prvenstveno izpostavili dve prednosti strojnega učenja:

- povečana kibernetska varnost in
- zagotavljanje boljših odločitev na podlagi podatkov.

Zagotavljanje teh prednosti z uporabo ML pokaže moč podatkov iz vsakega podatkovnega silosa (obratovanje, vzdrževanje, števni podatki in obračun, planiranje in analiza, kibernetska varnost...). S smotrno uporabo in analizo teh podatkov pa se izboljšuje izkušnja IoE.

Slika 3 prikazuje najpogostejše podatkovne silose znotraj t.i. utility podjetja, ki so z integracijo in posledično pridobitvijo dodatnih informacij preko uporabe AI in ML ustvarili veliko več uporabnih informacij za odločanje.

Če jo primerjamo z izhodiščnim stanjem, prikazanim na sliki 1 je jasno, da je bilo pred integracijo podatkov, kljub enaki količini podatkov, na razpolago bistveno manj koristnih informacij.

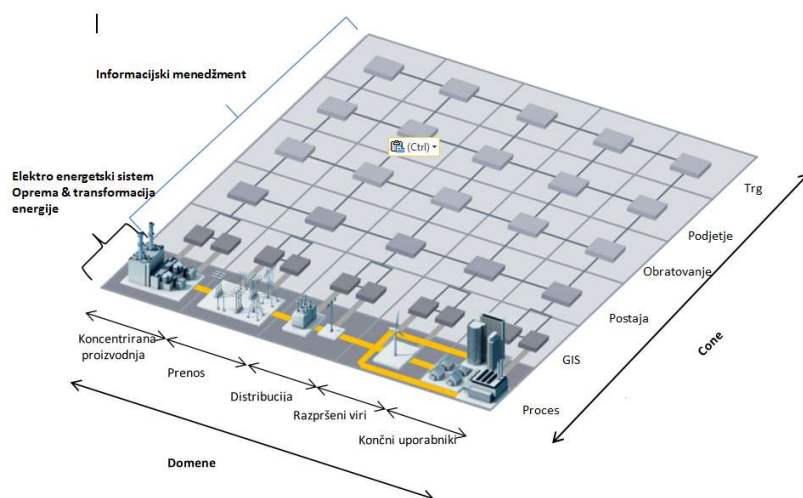
4 Internet Energije (IoE)

Internet energije (IoE) je mogoče na splošno opredeliti kot nadgradnjo ozir. digitalizacijo elektroenergetske infrastrukture. Na ta način bi lahko povečali proizvodnjo čiste, obnovljive energije ter povečali učinkovitost celotne verige dobave električne energije z boljšim izkoristkom obstoječe infrastrukture. Istočasno bi v proces aktivno vključili potrošnika-uporabniku. To je ena ključnih idej zakonodajnega svežnja EU „Čista energija za vse Evropejce“, ki je namenjen posodobitvi evropskega trga z električno energijo in olajšanju prehoda na bolj decentralizirane ter čiste energetske rešitve.

Slika 4 prikazuje arhitekturni model evropskih pametnih omrežij po CEN-CENELC-ETSI [2]. Na njej je prikazan tipičen proces in sodelujoči členi od proizvodnje do prodaje električne energije ozir. končnega odjemalca- uporabnika (potemnjeno). Tradicionalno je razdeljen na štiri področja (domene) kar ustvarja štiri podatkovne silose v elektroenergetiki, ki so prikazani na sliki 4. Seveda med proizvodnjo, prenosom in distribucijo obstaja določena izmenjava podatkov, lahko bi ji rekli nujna izmenjava za varno in zanesljivo obratovanje. Ideja, ki se pojavlja v ozadju IoE je namreč v tem, da bi z večjo povezanostjo določenih podatkovnih baz sistem pridobil veliko več koristnih informacij. Vsaka od sodelujočih domen deluje po bolj ali manj enakih principih, ki so prikazani kot cone. Tudi cone znotraj enega podjetja ustvarjajo podatkovne silose. Vidimo, da je rezultat množica bolj ali manj samostojnih podatkovnih baz, ki so medsebojno slabo, ali sploh ne, povezane. Veliko število podatkovnih baz predvsem pa velika količina podatkov znotraj posamezne baze sta dejstvi.

Na sliki 4 vidimo, da je con označenih kot informacijski menedžment šest, pri čemer ni nakazanega organizacijskega vidika, torej služb, sektorjev, oddelkov. V najslabšem primeru tako nastajajo ločeni podatkovni silosi tako po procesih kot po conah. Posledično se je za medsebojno povezovanje takšnih baz ozir. podatkovnih silosov pojavilo ime: masovne podatkovne baze (Big Data). Kot praktičen prikaz je Sloveniji v teku prva faza razvojno demonstracijskega projekta NEDO. Projekt zajema več funkcionalnosti, med drugim funkcionalnost Krmiljenja porabe (Demand Response). V okviru te funkcionalnosti ELES kot sistemski operater prenosnega omrežja preko Elektra Maribor, kot operaterja distribucijskega omrežja, dostopa do končnih odjemalcev na nizkonapetostnem omrežju, ki ob potrebi sistema prilagodijo svoj odjem. Projekt je pokazal velik potencial, saj so urne prilagoditve sodelujočih odjemalcev v rangi 30% njihovega trenutnega odjema. Tak rezultat, interpoliran na večje število odjemalcev sistemskemu operaterju obeta ogromno terciarno rezervo.

Če torej ločene cone iz slike 1 ustrezno povežemo slika 3, IoE deluje kot en sistem, kjer se določeni podatki delijo in analizirajo in s tem ustvarjajo nove informacije za učinkovitejše rezultate tako za elektroenergetski sistem ozir. operaterje, ki zanj skrbijo predvsem pa za potrošnike- uporabnike, ki jim tako lahko damo aktivno vlogo. In ravno to je bistvo svežnja direktiv evropske zakonodaje Čista energija za vse Evropejce ozir. Zimskega paketa.



Slika 4: Arhitekturni model evropskih pametnih omrežij

Umetna inteligenca (AI) ima potencial, da se spopade z prihajajočimi težavami v prenosu in distribuciji električne energije. Le te lahko strnemo v tri skupine:

- Rast števila razpršenih virov (samooskrba),
- razmah e- mobilnosti in
- rast števila vključenih pametnih naprav (vključno z IoT ter pametnimi stavbami in/ali pametnimi mesti in skupnosti).

V zadnjem času je bilo veliko napisanega o masovni implementaciji pametnih števecov ter o večji vključenosti uporabnikov v nadzor porabe - naprav v gospodinjstvu, s ciljem večje energetske učinkovitosti. Čeprav bo zagotovo velik problem količina podatkov (ocenjuje se 96 milijonov odčitkov na dan x število števecov) umetna Inteligenca na nekaterih specifičnih področjih naravnost blesti.

Področje umetne inteligence je zelo široko, tudi v energetiki. Obstaja veliko primerov uporabe analize podatkov iz velikih podatkovnih baz (Big Data Analytic) saj se javne službe ozir. podjetja, ki se ukvarjajo z distribucijo/prenosom električne energije med seboj razlikujejo glede na poslovne potrebe okolja v katerem delujejo, tehnoloških zmožnosti, strateških usmeritev podjetij pa tudi energetske politike države. Posledično različne podjetja, ki izvajajo javne službe dajejo poudarek različnim področjem uporabe podatkovne analitike znotraj posameznih poslovnih področij: obratovanje, vzdrževanje, podpora uporabnikom, napovedovanje bremen, kibernetska varnost, števčni podatki in obračun, razvoj in analitika... Simbolično je nekaj področij prikazanih na sliki 1. Povezovanje omenjenih področij je bistvo pametnih omrežij (Smart Grid). V prvem poglavju je bil argumentirano pojasnjen prvi korak, pristop k digitalizaciji podatkov ozir. k podatkovni analitiki velikih podatkovnih baz.

Kot rezultat so se pojavile skupine področij kjer podatkovno analitiko, umetno inteligenco in strojno učenje dosega odlične rezultate.

Izmed vseh naprav v elektroenergetskem sistemu, ki se uporabljajo za merjenje, tipanje stanj v omrežju (senzorji) je največ nameščenih pametnih števecov. Posledično so algoritmi umetne inteligence, ki obdelujejo te podatke vodilni ozir. so v največjem številu in najbolj razviti. To

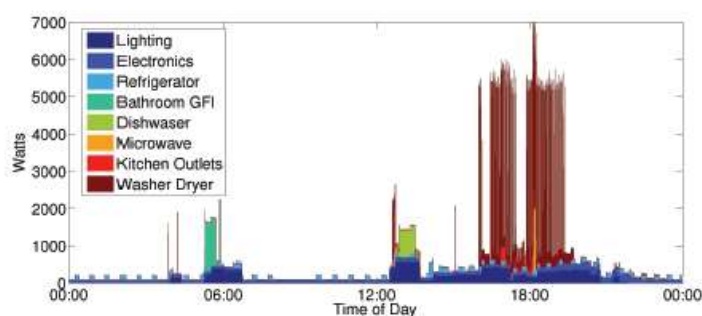
so tako imenovani sistemi za obdelavo števnih podatkov (Meter Data Management System – MDMS). MDMS sistem je edini sistem, ki (potencialno) podatkovno povezuje končnega uporabnika z ostalimi sistemi, algoritmi in bazami podatkov ostalih domen in deležnikov procesa dobave električne energije do končnega odjemalca. Nenazadnje je v preambuli svežnja direktiv evropske zakonodaje: "Čista energija za vse Evropejce" zapisano:

"Učinkovito povezovanje ustreznih digitalnih tehnologij v energetske sektorju, ima za posledico integrirane vrednostne verige in učinkovitejše poslovne procese. Krepitev upravljanja z energetskeimi sredstvi, povečanje udeležbe potrošnikov in inovativno upravljanje omrežja, ustvarjanje novih poslovnih modelov in priložnosti ter inovativnih energetskeih storitev, ki temeljijo na podatkih posledično privede k povečanju uporabe obnovljivih virov energije in povečanju energetske učinkovitosti, ki temelji na optimiziranem upravljanju z energetskeimi sredstvi. Posledično omogoča dostop do cenejše in trajnostne energije za uporabnike energije kar se preslikuje v povečanje blaginje družbe."

V nadaljevanju bom prikazal tipično uporabo AI in ML, ki se že uporablja oziroma jo je mogoče na trgu tudi že kupiti kot izdelan produkt. Imenuje se razčlenjevanje porabe. Osnovna ideja ni nova je pa v preteklosti brez uporabe umetne inteligence ni bilo mogoče izvesti z zadovoljivimi rezultati. Razčlenjevanje porabe je namreč uporaba umetne inteligence kar na treh karakterističnih, tipičnih področjih, kjer umetna inteligenca kaže svojo moč in uporabnost. Govorimo o področjih prepoznavanja vzorcev, združevanja- grupiranja podatkov v gruče ter pridobivanja in napovedovanja informacij iz časovno odvisnih podatkov (časovnih zaporedij). V elektrotehniki oziroma energetiki predstavlja največji delež podatkov prav segment časovno odvisnih podatkov saj so vse meritve ozir. fizikalne (elektrotehniške) veličine časovno odvisne.

5 Razčlenjevanje porabe električne energije

Razčlenitev porabe energije je način s katerim se vzorci porabe zbirajo z razčlenitvijo informacije iz enega samega domačega senzorja (pametnega števca). Takšna aplikacija zahteva uporabo ML, ker je potrebno analizirati na tisoče energijskih „podpisov“, da bi našli vzorce uporabe (slika 5).



Slika 5: Razčlenjen dnevni diagram porabe povprečnega gospodinjstva

Rezultat tega pristopa so prihranki, ki so lahko veliki. Ko uporabniki ugotovijo, koliko vsaka naprava prispeva k njihovu računu za energijo se namreč lahko primerno odzovejo- spremenijo svoj način porabe, kar vpliva na strošek porabljene energije. Pristopi ozir. modeli so lahko različni. Če so uporabniki primerno motivirani preko tarifnega modela, če jih istočasno

ustrezno motivira prodajalec energije ali agregator in v določenih primerih še sistemski operater so lahko prihranki občutni.

Obstaja veliko študij na temo obnašanja uporabnikov. Zanimive rezultate imajo predvsem tiste, ki se ukvarjajo s spremembo vzorca obnašanja uporabnika zaradi podrobnega prikaza njegovih "energetskih" navad. Velika večina uporabnikov se namreč prične obnašati veliko bolj varčno. Osnovna ideja razčlenjevanja porabe je torej v tem, da s podrobnim prikazom njegove porabe prične odjemalec spreminjati navade (seveda v nekih okvirjih ugodja) kar prinese, da se njegov vzorec porabe prične spreminjati. V tem procesu ima z nasveti za spreminjanje vzorca porabe aktivno vlogo ponudnik te funkcionalnosti. Preko sprememb, ki jih odjemalec sprejema in sprotno spremlja, odjemalec spozna, da ima vpliv na svoj strošek za energijo in posredno na elektro energetski sistem. Končno se po nekem času z novim vzorcem poistoveti. Rezultat je dolgoročni prihranek pri porabi. Na ravni sistema, ko se integrirajo prihranki več odjemalcev, so rezultati posledično zelo veliki. [2], [3].

Obstajata dva osnovna pristopa prikaza rezultatov odjemalcu: direktni in indirektni ozir. neposredni in posredni. Neposredni pristop temelji na ekranih (displejih) na katerih se na ustrezen način prikazujejo podatki ali kar podatki direktno prebrani iz števca. Posredni pristop temelji na podatkih, ki jih ustrezno obdela nek operater (ponudnik te storitve) in jih ustrezno obdelane pošilja v prikaz nazaj k odjemalcu. V to kategorijo štejemo tudi najenostavnejšo možnost bolj pogostih izdajanj računov ali izdajanja računov z razčlenjeno porabo. Čeprav je odziv odjemalcev na te povratne podatke dobro raziskan so se najnovejše študije osredotočile na razlike med obema osnovnim pristopoma. Poleg raziskav katera oblika prikaza je za odjemalca optimalna in uporabniško prijaznejša so študije obdelale tudi učinkovitost obeh metod [2].

Medtem, ko so neposredno prikazani podatki trenutni, so kot taki za nekatere odjemalce težje razumljivi. Po drugi strani se posredne povratne informacije prikazujejo z neko časovno zakasnitvijo, vendar pa se lahko prikažejo mnogo bolj uporabniško prijazno. Ugotovitve kažejo, da so povratne informacije bolj uporabne, če se pogosteje prikazujejo in to v daljšem časovnem intervalu. Predstavljene morajo biti na preprost, smiseln način kar se doseže z algoritmi za razčlenjevanje porabe električne energije. Pri tem popolna natančnost razčlenitve ni tako pomembna. Po [3] neposredne povratne informacije prinašajo prihranke v višini 5- 15% na nivoju regije (RTP) medtem ko posredne povratne informacije prinašajo prihranke v višini 0 – 10 % na istem nivoju. V času, ko je varčevanja, tudi z energijo, eden glavnih aspektov vsake družbe je prihranek 5% na nivoju posameznega odjemalca ogromen.

Na operativni strani analiza energetskih podpisov posameznih naprav prinaša tudi druge rezultate. Prepozna lahko namreč odstopanja ozir. sumljive vrednosti porabe naprav zaradi fizičnega ali digitalnega (hackerskega) manipuliranja naprav, prepozna sofisticirane kraje, okvare števca, izpade napajanja na najnižjem, nizkonapetostnem nivoju, ipd.

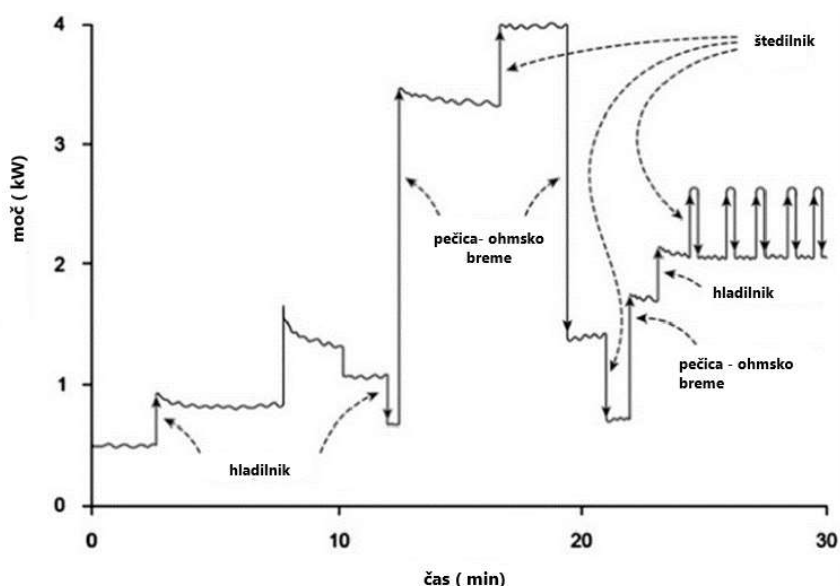
Nedvomno pa je po drugi strani potrebno omeniti tudi potencialna tveganja. Glavno tveganje je možnost zlorab teh podatkov. Iz razčlenjevanja porabe ozir. vzorca posameznega odjemalca se da namreč sklepati kdaj je doma in kdaj ne (varnostno tveganje), na marketinškem nivoju lahko prihaja do zlorab podatkov preko kreiranja namenskih produktov za določene skupine odjemalcev (nelojalna konkurenca) ipd. Podrobneje bo ta tveganja in predvsem pogoje in zaveze definirala še nesprejeti del zakonodajnega sveženja, t.i. "Zimskega paketa" ozir. svežnja

8. direktiv EU, ki ima naziv "Čista energija za vse Evropejce", o čemer govorim v zadnjem poglavju tega referata.

Razčlenjevanje porabe je tipična aplikacija AI, ki temelji na prepoznavi vzorcev in grupiranju podatkov. Najpriročnejši senzor je pametni števec. Ta rešitev je ne samo najcenejša temveč tudi iz stališča namestitve senzorja - naprave najprimernejša. Obstaja namreč več načinov ozir. možnosti zajemanja podatkov. Najenostavnejši pristop je merilnik energije, ki ga namestimo k posamezni napravi navadno kar v vtičnico. Ta rešitev je iz stališča montaže najenostavnejša in relativno poceni vendar jih potrebujemo za optimalno pokritje vseh večjih porabnikov v povprečni hiši vsaj 10, kar pa več ni tako poceni.

Obstajajo tudi drugi načini- naprave za zajemanja podatkov (slika 8) vendar je najugodnejši pristop preko obstoječega pametnega števca.

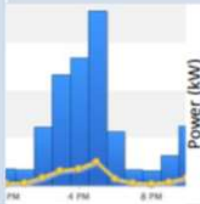
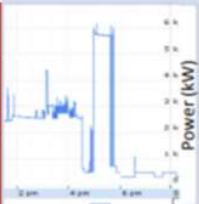
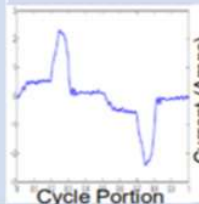
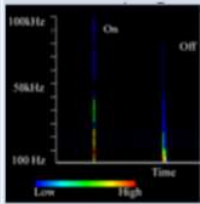
Celoten pristop temelji na razčlenjevanju skupne porabe – meritve na osnovi karakterističnih oblik – odtisov posameznih porabnikov, kot je prikazano na sliki 6.



Slika 6: Razčlenjen urni diagram porabe povprečnega gospodinjstva

Sliki 5 in 6 prikazujeta prepoznavo vzorca porabe posameznega porabnika v skupnem izmerjenem signalu porabe (Hart 1992)

Povsem logično vprašanje, ki se pojavi je kakšna je optimalna frekvenca vzorčenja in posledično kakšna je količina podatkov, ki se pri tem ustvarja.

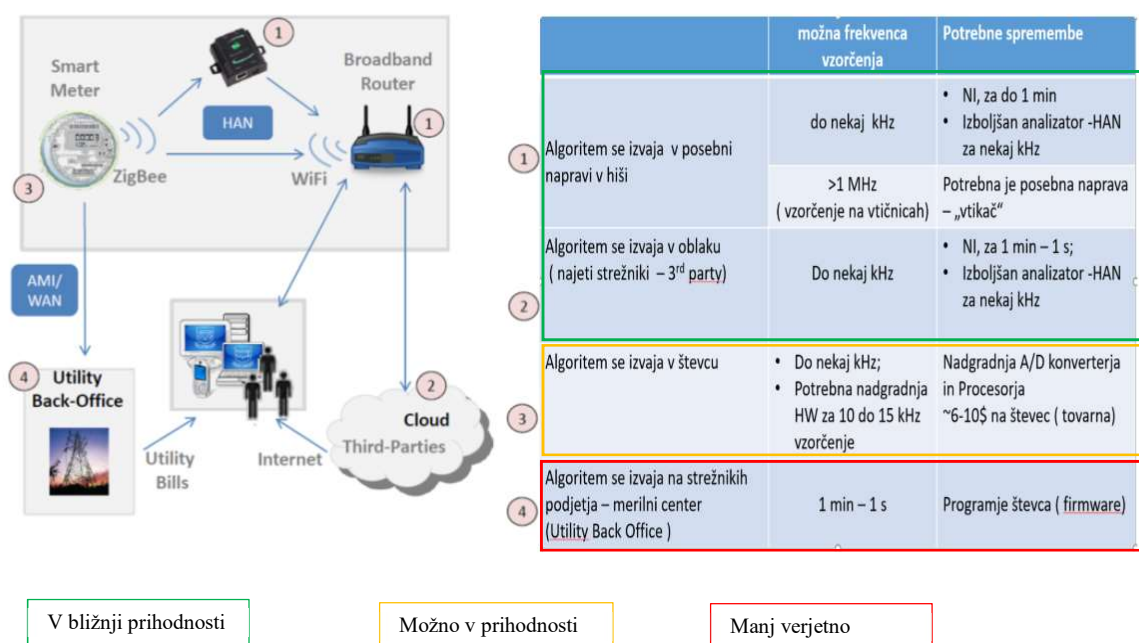
Frekvenca vzorčenja	1 h – 15 min	1 min – 1 s	10Hz-2kHz	10kHz-15kHz	> 1 MHz
prikaz podatkov			podobno prejšnjim grafom		
uporaba Algoritmi	Vidni vzorci porabe; Trajanje in čas obremenitve sta natančna vendar povprečena	Stacionarna stanja vklopi/izklopi Časovno definirani	Harmoniki nižjega reda	Harmoniki srednje frekvence – z njihovo pomočjo se da določati vrsto porabnika	Višji harmoniki-določanje vrste naprave in karakterističnih signalov posameznih vrst naprav
prepoznane naprave	Glavne kategorije stacionarnih in spremenljivih bremen, Slaba ločljivost za nekatera konična bremena kot klimatizacija	Do 10 tipičnih bremen: Hladilnik, klimatska naprava, grelci, črpalke, pralni stroj, sušilec perila ipd.	Neobdelano, zelo malo študij na to temo, najverjetneje zato ker oprema stane enako kot za višje frekvence vzorčenja	20 – 40 bremen: opekač kruha, friteza, toplotna črpalka, bela tehnika s toplotno črpalco, računalnik ipd.-in vse prepoznane s frekvenco vzorčenja 1 min – 1 sec	40- 100 specifičnih bremen. Loči 2 tipa razsvetljave (led-razsvetlitev v žlahtnem plinu). Zahteva ločeno prenašanje podatkov o porabi energije

Slika 7:Frekvenca vzorčenja diagrama porabe in možnosti razčlenitve signala

V praksi se uporabljata dva pristopa na katerih temeljijo algoritmi. Prvi temelji na dogodkih v opazovani coni drugi pa ne. Pristop na podlagi dogodkov temelji na zaznavanju vklopa porabnika, kar se v signalu prav gotovo pozna. Slabost tega pristopa je predpostavka, da se porabniki vklopljajo ločeno oziroma vsak posebej in tako ne pokrije možnosti, da se dva ali več porabnikov vključi istočasno. Takšen primer je seveda v realnosti mogoč vendar je takrat merjeni signal drugačen. Signal je v interferenci posameznih signalov ozir. porabnikov. To pomanjkljivost se odpravlja z višjo frekvenco vzorčenja (1 Hz ali več) pri kateri je verjetnost istočasnosti zelo majhna.

Drugi pristop se ne naslanja na zaznavanje dogodka (vklopa) za klasificiranje signala. Po tem pristopu se vsa merjena moč (signal), ki je v interferenci vzorči. Pristop temelji na kreiranju modela v smislu skritega modela Markova (SMM). To je stohastični model, ki se lahko opiše z dvema naključnima procesoma. Prvi naključni proces ustreza verigi Markova, katerega stanja in prehodi med njimi so označena z verjetnostjo. Stanja v verigi so navzven skrita. Namesto tega obstaja drugi naključni proces, ki daje v vsakem trenutku vidne znake verjetnosti porazdelitve, ki je odvisna od stanja verige. Običajno je naloga iz teh znakov ugotoviti zaporedje skritih stanj. Nazoren primer je problem jetnika, ki ga zanima vreme. Jetnik pozna, kakšna je verjetnost, da je vreme sončno, oblačno ozir. deževno. Ve tudi s kakšno verjetnostjo sledi sončnemu vremenu oblačno ozir. deževno. Edini jetniku dostopni podatek so paznikovi čevlji. Pri tem pa jetnik tudi ve, kakšna je verjetnost, da so čevlji prašni v jasnem, oblačnem ozir. deževnem vremenu. Iz tega lahko sklepa, kako se zunaj vreme spreminja.

Poleg teh dveh pristopov se pri razčlenjevanju porabe običajno uporabljajo še dodatne informacije kot so ura v dnevu, dan v tednu, statistika delovanja posameznega porabnika, vremenski podatki ipd.



Slika 8: Frekvenca vzorčenja diagrama porabe in možnosti razčlenitve signala

Poleg optimalne frekvence vzorčenja je ključno vprašanje tudi mesto namestitve algoritma, ki je povezano z možnostjo strojne opreme in posledično frekvenco vzorčenja. Slika 8 prikazuje vse štiri možnosti namestitve algoritma v povezavi z možnimi frekvencami vzorčenja, ki jih omejuje strojna oprema na mestu namestitve. Trenutni razvoj teče v smeri povečanja zmogljivosti procesiranja podatkov v števcu samem. V to smer razvoj peljejo praktično vsi proizvajalci pametnih števcov v svetovnem merilu.

5.1 Pametni števci in varstvo osebnih podatkov

Mojca Prelesnik, informacijska pooblaščenka: "Pametni števec natančno pokaže dinamiko življenja. Torej iz porabe se da sklepati marsikaj, ne samo to, ali si doma ali nisi, še več, kdaj imaš vklopljene najrazličnejše gospodinjske naprave. Naredi prerez tvojega življenja."

Pametni števci obdelujejo osebne podatke, a le v hišah in stanovanjih, kjer živi zgolj ena oseba. Posledično bi morali distribucijski operaterji pridobiti soglasje uporabnikov za zbiranje teh podatkov ali pa bi morala za to obstajati zakonska podlaga.

Govorimo o višjih intervalih (frekvencah) vzorčenja - 15 min (ali manj) torej o meritvah iz katerih se da razbrati omenjene vzorce. Zaradi omejitev, ki jih prinaša varstvo osebnih podatkov se brez soglasja trenutno višji intervali na nivoju posameznega gospodinjstva (števca) ne uporabljajo. Se pa lahko takšni intervali uporabljajo na kumulativnih nivojih kot npr. transformatorska postaja SN/NN, nizkonapetostni izvod NN, posamezne veje omrežja ipd. To dejstvo je za dvig spoznavnosti NN omrežja več kot dovolj. Znano je namreč, da za poznavanje

stanj v omrežju potrebujemo poznane napetosti v vozliščih (kar ni osebni podatek) ter tokove v posameznih vejah (kar ni osebni podatek, če ni v veji zgolj en odjemalec).

Evropska komisija je 30. novembra 2016 izdala zakonodajni sveženj „Čista energija za vse Evropejce“, namenjen posodobitvi evropskega trga z električno energijo in olajšanju prehoda na bolj decentralizirane ter čiste energetske rešitve. Paket ima tudi ime "Zimski paket".

Decentralizacija je gonilo inovacij in ključni dejavnik za ponovno uravnoteženje energetskih ukrepov v korist nove politike, ki temelji na povpraševanju. Potrošniki so opremljeni z ustreznimi orodji za dejavno sodelovanje v tej spremembi paradigme. Pametni merilni sistemi so eno od »pravih orodij« za doseganje koristi potrošnikov, saj omogočajo uporabnikom, da se odločajo o svoji porabi energije tako, da se odzovejo na tarife v realnem času.

Medtem ko splošna uredba o varstvu osebnih podatkov (GDPR) določa splošni pravni okvir za zagotavljanje zasebnosti in varstva podatkov končnih uporabnikov (potrošnikov) v okviru uvedbe pametnih števecov, predlog Komisije za prenovitev direktive o električni energiji (Electricity Directive), ki je del paket „čista energija za vse Evropejce“ posebej ureja uporabo pametnih števecov. Predlog direktive vključuje podrobne določbe s katerimi se vprašanja varstva podatkov ustrezno obravnavajo. Razume se, da bo Direktiva, ko bo sprejeta, delovala kot lex specialis glede na splošno veljavne določbe GDPR.

	European Commission Proposal	EU Inter-institutional Negotiations	European Parliament Adoption	Council Adoption	Official Journal Publication
Energy Performance in Buildings	30/11/2016	Political Agreement	17/04/2018	14/05/2018	19/06/2018 - Directive (EU) 2018/844
Renewable Energy	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2008	21/12/2018 - Directive (EU) 2018/2001
Energy Efficiency	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Directive (EU) 2018/2002
Governance	30/11/2016	Political Agreement	13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Regulation (EU) 2018/1999
Electricity Regulation	30/11/2016	Political Agreement	-	-	-
Electricity Directive	30/11/2016	Political Agreement	-	-	-
Risk Preparedness	30/11/2016	Political Agreement	-	-	-
ACER	30/11/2016	Political Agreement	-	-	-

Slika 9: Pregled stanja svežnja direktiv "Čista energija za vse evropejce" (4. december 2018)

6 Sistemi pametnega merjenja in EU Zakonodaja

Pametni števeci so elektronske naprave, ki merijo proizvodnjo in porabo električne energije v realnem času ter sporočajo te informacije upravljavcu infrastrukture za storitve spremljanja stanja omrežja in obračunavanja. Pametni števeci omogočajo potrošnikom, da prilagodijo svojo porabo, v času in obsegu, cenam energije v realnem času. S prilagoditvijo porabe jim potencialno pomagajo učinkoviteje upravljati svojo porabo in znižati stroške.

Pričakuje se, da bo uporaba pametnih števcov izboljšala storitve za potrošnike, z natančnejšim zaračunavanjem, lažjim in hitrejšim preklapljanjem med tarifami in plačili. Prav tako bo povečala možnosti za potrošnike, ki proizvajajo lastno energijo, da se odzovejo na cene in prodajajo presežek proizvedene energije v omrežje.

Zamisel o opremljanju potrošnikov z inteligentnimi sistemi, ki jim omogočajo upravljanje porabe energije, je bila razvita v Direktivi o energetskih storitvah iz leta 2006 (ESD) in pozneje vključena v (še vedno veljaven) tretji energetski sveženj iz leta 2009, ki je z integracijo trga znotraj EU pomenil prelomnico v energetskem sektorju. S tretjim svežnjem se je fokus dejansko usmeril na razvoj učinkovitega maloprodajnega trga, pri čemer so bili posebni ukrepi namenjeni predvsem zagotavljanju številnih pravic potrošnikom energije (pravica do zamenjave ponudnikov energije in prejemanje jasnih računov za energijo). Direktiva o električni energiji iz leta 2009 močno spodbuja uporabo pametnih merilnih sistemov ravno zaradi vidika koristi potrošnikov.

V istem smislu direktiva o energetski učinkovitosti iz leta 2012 (EED) vključuje obsežen sklop ukrepov za merjenje in obračunavanje, z namenom razširitve področja uporabe in dodatnih pojasnil določb. Poleg tega EED prvič obravnava zasebnost in varnost podatkov pri namestitvi pametnih števcov in kot obveznost držav članic predvideva skladnost z ustrežno zakonodajo Unije o varstvu podatkov in zasebnosti.

Paket čiste energije iz leta 2016, znan tudi kot „zimski paket“, se še bolj ujema s to sliko. Komisija je priznala, da je čas za posodobitev obstoječega okvira za povečanje prožnosti in decentralizacije današnjega energetskega sektorja, ter ustvarjanja okolja, ki bo olajšalo „premik paradigme“ k bolj konkurenčni in potrošniško usmerjeni strukturi trga.

Predlog prenovljene direktive o električni energiji zlasti uvaja nove pravice in krepitev vloge končnih odjemalcev. Določa boljšo zaščito končnih uporabnikov, kot so pravice do jasnejših informacij za zaračunavanje, certificiranih orodij za primerjave, upravičenost do dinamične tarife ipd.. Pametni števeci so ključno orodje, ki omogoča učinkovito izvajanje teh pravic. V zvezi s tem prenovljena direktiva določa posebne usmeritve za pametne merilne sisteme in njihovo povezljivost ter posveča poseben oddelek (členi 19–24) funkcionalnim in upravljavskim vprašanjem v zvezi z njimi.

Člen 20 predloga določa sedem načel, ki jih je treba uporabljati pri uvajanju pametnih števcov. Od teh sedmih načel se štiri nanašajo na varstvo osebnih podatkov, vključno s pravicami posameznikov, na katere se nanašajo podatki. Zlasti v točkah b) in c) je navedeno, da se varnost sporočanja podatkov in varstvo podatkov končnih potrošnikov zagotovi v skladu z ustrežno zakonodajo Unije na področju varnosti in varstva podatkov. V zvezi s pravicami posameznikov,

na katere se nanašajo podatki, točka e) določa, da imajo odjemalci energije pravico do dostopa do merilnih podatkov o porabi električne energije v razumljivi obliki, medtem ko točka f) od držav članic zahteva, da zagotovijo, da so potrošniki ustrezno obveščeni o namestitvi pametnih števecov za zbiranje in obdelavo njihovih osebnih podatkov.

Poleg zgoraj navedenih načel se bolj specifičen sklop določb (členi 23–24 in Priloga III) osredotoča na dostop do energetskega podatkov in njihovo upravljanje ter ponovno poudarja, da je treba zagotoviti najvišjo raven kibernetske varnosti in varstva podatkov z uporabo najboljših razpoložljivih tehnologij.

6.1.1.1 Ključna vprašanja glede varstva podatkov v sistemih pametnega merjenja v okviru GDPR in zimskega paketa

Pametni števec zbira in obdeluje vse večje količine osebnih podatkov. Ti podatki se zbirajo povsod v pametnem elektroenergetskem sistemu, vključno z domovi potrošnikov in po možnosti električnimi vozili. V zvezi s tem je zaupanje končnih potrošnikov ključnega pomena. Brez ustreznih jamstev za varstvo podatkov bodo potrošniki verjetno neradi prevzeli tveganja in lahko potencialno zavrnejo inovacije ozir. pametne števce ter se odločajo za klasične (indukcijske) števce.

Naložbe v tehnologijo pametnega merjenja so odvisne tudi od zaupanja potrošnikov v javne službe in omrežne operaterje. Cilj osnutka direktive je spodbuditi udeležbo potrošnikov s privlačnimi spodbudami, hkrati pa ustvariti nerazdružljivo povezavo med tehničnimi meritvami pametnih števecov in skladnostjo s standardi EU na temo zasebnosti in varnost podatkov.

Pametni merilni sistemi obdelujejo velike količine podatkov kot del svojih rutinskih tehničnih operacij. Prvo vprašanje, ki se pojavi je torej ali se vsi ti podatki štejejo za osebne podatke.

Dvoma ni, ko govorimo o standardnih podatkih pri sklepanju pogodbe za priključek in montažo pametnega števca, tj. Ime, naslov in informacije za obračun in način plačila, ki so nedvomno „osebni podatki“. Zagata se pojavi pri „energetskih podatkih“ potrošnikov, ki jih je prenovljena direktiva o električni energiji označila kot podatke o merjenju in porabi. Čeprav se ti podatki na prvi pogled lahko štejejo za tehnične podatke in posledično velja, da ne spadajo v področje Uredbe o varstvu osebnih podatkov (GDPR), so dejansko in neločljivo povezani s fizično osebo (primer je identifikacijska številka števca ali merilnega mesta). Ti podatki se zato štejejo za osebne podatke, ker so povezani z določenim ali določljivim uporabnikom in razkrivajo informacije o njegovi porabi energije. Preko njih je namreč mogoč vpogled v vsakdanje življenje posameznika na katerega se ti podatki nanašajo. Kadar je posameznik, na katerega se nanašajo osebni podatki aktivni odjemalec ("prosumer"), ki električno energijo porablja in proizvaja, se „energetski podatki“ nanašajo na količino energije in velikost moči, ki se pošilja v ali porablja iz omrežja.

Zgornja razlaga „energetskih podatkov“ kot osebnih podatkov bi bila v skladu z Uredbo o GDPR, katere opredelitev osebnih podatkov vključuje informacije, ki razkrivajo gospodarski položaj posameznika. „Energetski podatki“ so zato vedno bolj dragoceno sredstvo ne le za končne potrošnike, ki lahko prilagodijo svoje obnašanje različnim tarifam (tudi dinamičnim tarifam) z namenom, da bi zmanjšali svoje izdatke za energijo, ampak tudi in zlasti za oblikovalce politik, ki imajo preko njih na razpolago dragocen instrument (povratne

informacije potrošnikov v realnem času) za učinkovito usmerjanje, spremljanje in ocenjevanje ukrepov na tem področju.

Vendar pa se lahko podatki, zbrani s pametnimi števci, uporabijo tudi za druge namene. Podatki o energiji omogočajo boljše razumevanje segmentacije kupcev, vedenja kupcev in načina, kako cene vplivajo na porabo. Ti podatki se lahko uporabijo za posebne študije profiliranja, npr. z zbiranjem občutljivih informacij o energijskem odtisu končnega uporabnika v njegovem zasebnem okolju.

Pametni števci bodo verjetno vplivali na konkurenčni pritisk na trgih oskrbe z energijo, saj bo zagotavljanje natančnih in zanesljivih pretokov podatkov s pomočjo infrastrukture pametnega merjenja omogočilo lažje in hitrejše preklapljanje med dobavitelji. Dostop do podatkov o energetske preferencah bo zato pomembna prednost za energetske javne službe. Zato je treba zagotoviti ustrezno raven zaščite tako v fazi prenosa kot v fazi obdelave, da se prepreči nepooblaščen profiliranje potrošnikov, ki temelji na podrobnih odčitkih merilnika in drugih možnih obdelavah teh podatkov.

Poleg tega se bodo potencialna tveganja, povezana z zbiranjem podrobnih podatkov o porabi, verjetno povečala v okviru tako imenovanega „interneta stvari“, kjer se lahko podatki o energiji kombinirajo s podatki iz drugih virov, kot so podatki o geografski lokaciji, podatki, ki so na voljo s sledenjem in profiliranjem na internetu, sistemi za video nadzor in sistemi za radiofrekvenčno identifikacijo (RFID). Bistveno tveganje je možnost, da bi pametni števci lahko predstavljali vhodna vrata, preko katerih bi se lahko dostopalo do digitalne domene gospodinjstva.

LITERATURA

- [1] The Data Warehouse Toolkit, Third edition, Ralph Kimball, Margy Ross, Wiley Computer Publishing,
- [2] Siloed Data Is Killing Your Business Analytics
<https://www.cyfe.com/blog/siloed-data-is-a-destroyer/>
- [3]https://www.researchgate.net/figure/271266299_fig3_Fig-4-CENCENELECETSI-Smart-Grid-Architecture-Model-43
- [4] Četrta industrijska revolucija, Klaus Schwab, World Economic Forum, 2016
- [5] Algorithms for Energy Dissagregation, Albert Fiol, Universitat Politecnica de Catalunya, 2016
- [6] Energy Dissagregation, Non-intrusive load monitoring, W.H.C.Janssen, Master of Science Thesis, 2018
- [7] <https://lids.mit.edu/research/research-highlights/power-disaggregation>



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT VIII

mag. Miran Horvat, univ. dipl. inž. el.

miran.horvat@telektro-maribor.si

MERITVE NN/SN KABLOV Z MERILNIM VOZILOM

Meritve NN/SN kablov z merilnim vozilom

mag. Miran Horvat

Elektro Maribor d. d., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor

miran.horvat@elektro-maribor.si

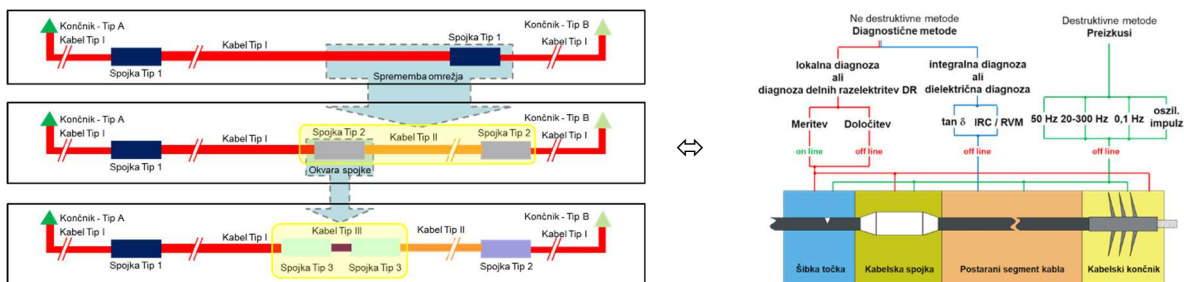
Povzetek

Od prvih položitev kablov, tako v Elektro Maribor in ostalih distribucijskih podjetjih, je minilo že kar nekaj časa, več kot štiri desetletja. Vsa distribucijska podjetja v zadnjih letih, še posebej po vremensko katastrofalnem letu 2014, v okviru prizadevanj za povečanje robustnosti vse bolj povečujemo obseg in delež podzemnih kablovodov tako v NN kot SN omrežju. Samo v Elektro Maribor, ki oskrbuje približno 220.000 uporabnikov, znaša delež podzemnih kablovodov v SN omrežju približno 30% oz. 1.130 km in v NN omrežju 57% oz. 6.934 km po podatkih iz leta 2017.

Električna energija je postala sestavni del našega življenja, zato ne preseneča, da vsaka prekinitev njene dobave povzroča precejšnjo nejevoljo pri odjemalcih. Hkrati se povečuje tudi pritisk na zagotavljanje nemotene oskrbe vse ure in dni v letu, s tem pa tudi zahteve po čim prejšnji odpravi morebitnih okvar. Delno te zahteve distributerji rešujemo z zaznavanjem, ki pa ni povsod izvedljivo.

V okviru distribucijskih podjetij in Gospodarsko interesnega združenja distribucije električne energije (GIZ DEE) je bila v preteklosti izdelana tipizacija za izbiro, naročanje in polaganje kablovodov in pribora (<http://www.giz-dee.si/TIPIZACIJA>). Delo omenjene skupine za tipizacijo nadaljuje skupina za kablovode skupaj s strokovnjaki iz Elektroinštituta Milan Vidmar z namenom, da tipiziramo meritve kablov po polaganju, še posebej pa obdelamo tematiko diagnostike kablov.

V prispevku bodo prikazane meritve, ki jih že sedaj uspešno opravljamo takoj po polaganju – napetostni preizkusi osnovne izolacije in plašča. Prav tako že sedaj uspešno lociramo vse okvare na kablovodih, večino s specializiranimi merilnimi vozili ali prenosno merilno opremo. Ker pa želimo vedeti, kaj se v življenjski dobi kabla dogaja, še posebej po odpravi okvar, pa vsa distribucijska podjetja pospešeno nabavljamo in uvajamo še merilno opremo za izvedbo diagnostike kablov s priborom. Z meritvami dielektričnih izgub oz. tangens delta ter meritvami delnih praznitev ugotavljamo "kondicijo" kablov skupaj s končniki in vsemi vgrajenimi spojkami, kot je prikazano na naslednji sliki.



Prav z namenom diagnosticiranja kabla so prvi pričeli na Elektro Gorenjska z nabavo specializirane opreme, v letu 2018 pa sta specializirano vozilo za meritve kablov nabavila še Elektro Maribor in Elektro Celje. Ostali dve distribucijski podjetji se še pripravljata na uvedbo diagnosticiranja kablov.

Na sami konferenci bo eno izmed teh vozil tudi predstavljeno s praktičnim demonstracijskim primerom meritve.

1 UVOD

Elektro distribucijska podjetja v Republiki Sloveniji že od 70-let prejšnjega tisočletja pospešeno gradimo kabelska omrežja pretežno v podzemni izvedbi, ponekod tudi v nadzemni izvedbi. Kabelska omrežja prevladujejo na nizkonapetostnem omrežju (NN) in srednjenapetostnem nivoju (SN), kjer je danes skupna pokritost s kablovodi že več kot 50%, dočim je na visokonapetostnem omrežju (VN) vloga kablovodov skoraj zanemarljiva. Prve kablovode s papirno izolacijo in svinčnim plaščem PILC (tudi oljni kabli) so v 80-letih nadomestili kabli z izolacijo iz umetnih mas, kot so PVC, PE in današnji materiali iz omreženega polietilena XLPE. Zaradi znanih kemijskih lastnosti teh izolacijskih materialov nam je poznano, da že tekom procesa proizvodnje kabla z izolacijo iz sintetičnih materialov lahko pride do nepravilnosti, ki kasneje privedejo do okvar, vplivajo pa tudi na skrajšanje življenjske dobe. Še posebej se te okvare izražajo pri sami izgradnji oz. vgradnji, kjer človeški faktor ni povsem zanemarljiv. Prav tako so poznana dejstva, da je izolacija podvržena staranju, prag dielektrične vzdržnosti se manjša, s tem pa prihaja do lokalnih prenapetosti v izolaciji kabla in posledično do prebojev, kar ima za posledico okvare in izpad takšnega kablovoda. Zanimivo pri tem je, da proces staranja izolacije ni linearen proces, kar pri oceni izolacijske sposobnosti predstavlja še dodaten problem, prav tako je odvisen od velikosti električnega polja. Pri tem pa strmimo, da bi za vgrajene kablovode radi (s)poznali te procese in na podlagi meritev določili prag staranja oz. ocenili, v kakšni "kondiciji" je vgrajena oprema.

Za oceno stanja kablov, mimogrede razvoj je star že več kot 100 let, razvoj kablov z izolacijo iz ekstrudiranega polietilena oz. XLPE pa že 60 let, so se v preteklosti ukvarjali razne tehniške skupine tako v nacionalnih komitejih za pripravo standardizacije kot v mednarodnih komitejih in raziskovalnih institucijah povsod po svetu. Takšne skupine so formirane pri IEC, VDE, IEEE, EPRI v okviru delovnih skupin, prav tako pri CIGRE-ju, če omenim le največje. Iz vseh analiz, opravljenih meritev in nenazadnje velike baze izkušenj so postopoma prišli standardi in razna priporočila, kako določene kable testirati in preizkušati, tako pri izdelavi, tovarniških preizkusih in pa seveda po polaganjih kablov ter tekom njihove življenjske dobe. Slednje nas tudi najbolj zanima, preizkušanje kablov s priborom, kot so spojke, končniki in konektorji, rečemo jim kar kablovodi. Za distribucijska podjetja je še posebno zanimiv SN napetostni nivo, čeprav večina zakonitosti velja tudi za NN kablovode, dočim so visokonapetostni kablovodi obdelani v ločenih standardih in drugih dokumentih, kar pa ni predmet tega prispevka.

Kako je standardizacija v tem segmentu urejena, ali sledi vsem novim dognanjem zadnjega stanja tehnike, ali so za preizkušanje po polaganju predpisane metode z evalvacijo rezultatov, kje so morda pasti in kako in na kakšen to izvajamo v distribucijskih podjetjih, bo predmet tega prispevka.

Pri pripravi tega prispevka sem podrobno pregledal standardizacijo, predpise in merilne postopke, ki so za takšne meritve predpisani. Podan bo kratek pregled vseh ugotovitev. Prav tako sem pregledal večino relevantnih študij tega področja, največja je sigurno v okviru Electric Power Research Institute oz. EPRI iz Palo Alta v ZDA, ki pa je žal za širšo javnost nedosegljiva. Druga večja študija, morda celo največja, ki se je v zadnjih letih oz. desetletju izvaja, pa je študija "*Cable Diagnostic Focused Initiative (CDFI)*" [3, 4] iz Georgia Institute of Technology NEETRAC (National Electric Energy Testing Research and Applications Center). Prav omenjena študija, v nadaljevanju CDFI, ki traja že od leta 2005 s prvim odzivnim poročilom v decembru 2010 (Phase I) [3] in delnim v februarju 2016 (Phase II) [4] je s področja meritev in standardizacije kabelskih meritev najpomembnejša, saj so pri njej sodelovali vsi najpomembnejši izdelovalci merilne opreme, med drugim tudi avstrijski Baur in Nemški Megger, prej SebaKMT. Večino merilne opreme teh dveh omenjenih proizvajalcev je v uporabi v slovenskih distribucijskih podjetjih.

Na podlagi dolgoletnih raziskav in testiranj so prišla priporočila za posamezne meritve, njihova evalvacija rezultatov in kar je najpomembneje, večina ugotovitev zadnjih let so zapisane v IEEE standardih iz družine 400 oz. njihovih priporočilih, prav tako v priročnikih posameznih ponudnikov tozadevne merilne tehnike in pa v odzivnih poročilih CDFI v okviru NEETRAC [4].

Žal po pregledu standardov SIST, IEC in VDE lahko zaključim, da v marsičem zaostajajo za zadnjim stanjem tehnike, ponekod so celo v nasprotju z najnovejšimi ugotovitvami. Prav tako v omenjenih standardih področje diagnostike kablov ni obdelano ali pa je samo omenjeno, kar pa je v IEEE 400 že

deloma vključeno. Če povzamem, razvoj t.i. kabske merilne tehnike, še posebej na področju diagnostike je marsikje prehitelo standardizacijo, kar za neukega merilca vnaša še dodatno nesigurnost. Obstaja pa še nevarnost, da pri takih meritvah nevede zaradi neznanja in izkušenj lahko povzročimo še dodatno škodo, ki se kasneje odraža v krajši življenjski dobi od pričakovane.

Tega dejstva smo se še kako dobro zavedali tudi uporabniki vseh petih distribucijskih podjetij, še posebej v zadnjem desetletju, saj je razmah tovrstne merilne tehnike na področju kabskih meritev šel nezadržno pot naprej, kljub pomanjkljivi standardizaciji in priporočilom. Prav zaradi teh znanih dejstev se je konec leta 2017 formirala v okviru Gospodarsko interesnega združenja distribucije električne energije programska skupina za kablovode (GIZ PS za kablovode), sestavljena iz vseh distribucijskih podjetij in predstavniki Elektroinštituta Milan Vidmar (EIMV) z namenom pripraviti tipizacijo tovrstnih meritev s področja meritev kablov, po vzoru skupine za tipizacijo. Nenazadnje, s področja tipizacije imamo dokaj urejeno področje izbire, nabave in vgradnje kablovodov, področje po vgradnji s spremljanjem staranja ter ugotavljanjem preostale življenjske dobe pa je neobdelano.

Sedaj še ne morem podati nobenih konkretnih rezultatov omenjene skupine, saj se je njeno delo komaj pričelo. Naj pa bo za začetek ta članek prispevek k pregledu in resnosti tematike, ki zajema predvsem diagnostiko kablovodov. V prihodnje nas torej čaka še obilica dela, verjamem, da bo iz tega dela nastalo kar nekaj prispevkov, ki bodo dali jasnejšo sliko v razumevanju staranja opreme, predvsem pa dala jasnejša navodila merilcem, na kakšen način in kako interpretirati dobljene rezultate. Nenazadnje, proces diagnosticiranja se je v distribucijskih podjetjih že začel, najprej s spremljanjem tehnike in občasnimi meritvami v sodelovanju s posameznimi proizvajalci merilne opreme, kasneje pa z nabavo tovrstne opreme. Prvi na tem področju so nedvomno bili na Elektro Gorenjska, v 2018 letu smo temu sledili še na Elektro Maribor in Elektro Celje z nabavo najsodobnejše merilne opreme za kabske meritve do 36 kV.

Za zaključek še naj povem, da je večina uporabljenega materiala za ta pregledni prispevek bila v izvirnem angleškem jeziku, nemalo problemov sem imel s prevajanjem strokovnega izrazoslovja, predvsem s področja fizike in kemije. Pri tem sem si pomagal s spletnim slovarjem Elektrotehniške zveze Slovenije EZS [5] in spletnim slovarjem Elektropedija [6]. V kolikor je kakšen izraz nejasen oz. strokovno neustrezen se opravičujem, vsekakor pa je uporaba ustreznega tehniškega pojmovanja v tehniki še vedno premalo spoštovana in uporabljena. Tudi na tem področju bo potrebno malo več angažiranosti s strani tehniškega osebja.

2 PROCESI STARANJA S PREGLEDOM NAPAK NA KABELSKIH SISTEMIH

Vzroki lokalnih povečanj prenapetosti so lahko različni, večina od njih pa lahko privede do porušitve izolacijske trdnosti, le ta pa povzroči preboj in nezmožnost delovanja posameznega elementa. V nadaljevanju bo podan pregled tipičnih nepravilnosti, ki se lahko pojavijo v sami izolaciji kablovodov, le ti pa lahko privedejo do lokalnih preobremenitev oz. prenapetosti in porušitve izolacijske trdnosti.

❖ **Pri tovarniški izdelavi kablov:** povečanje lokalnih električnih prenapetosti izolacije, ki lahko privedejo do okvar ali celo skrajšanja življenjske dobe sestavljajo:

- vdolbine oz. praznine v izolaciji,
- nečistoče v izolaciji,
- slab oz. neustrezen plašč kabla,
- nepravilnosti oz. izbokline na ekranu vodnika,
-

❖ **Pri montaži kablovodov:** nepravilnosti se pokažejo pri povečanih električnih lokalnih preobremenitvah oz. lokalnih prenapetostih, ki lahko privedejo do okvar ali skrajšanje življenjske dobe:

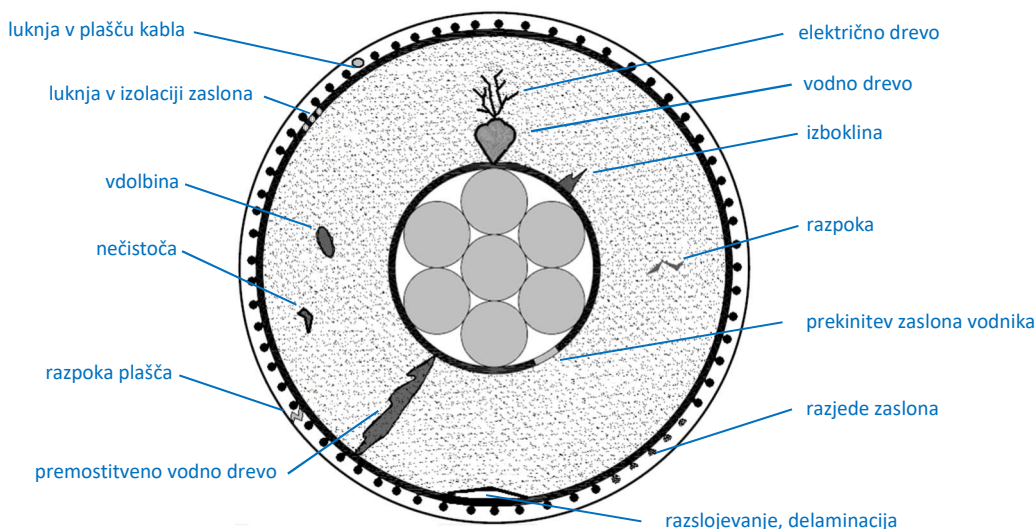
- oslabitev izolacije zaradi nepravilnosti rezov,
- vnašanje nečistoč pri sestavljanju kablovodov,

- nepravilna izdelava, npr. zaradi napačnih postopkov ali celo nenamerne uporabe določenih komponent ali materialov,
 - nenatančnost spajanja,
 -
- ❖ **Vplivi okolja:** npr. vdora vlage ali vode, nepravilna izbira kabla brez zapor proti vdoru vlage, poškodbe plašča. Privedejo do:
- povečanja vodnih dreves, ki lahko kasneje prerastejo v električna drevesa,
 - korozije oz. erozije zunanjega ekrana plašča,
 -
- ❖ **Spremembe zaradi električnih lastnosti oz. polj:** zmanjšujejo dielektrično trdnost. Učinek je običajno lokalni, če je okoljski vpliv lokalni:
- korozija oz. razjedanje zunanjega ekrana,
 -

Prav tako na povečanje lokalnih preobremenitev izolacije v srednjenapetostnih omrežjih in s tem povečanjem možnosti okvar oz. prebojev vplivajo še ostali faktorji, na katere pa lahko vplivamo in jih tudi z ustreznimi ukrepi poizkušamo zmanjšati. Ti so:

- ❖ **Termično pregrevanje,** ki zmanjšuje dielektrično trdnost. Omejimo jo lahko s krajšimi dolžinami in s pravilno položitvijo:
- Slabo izvedeni priključki,
 - Nepravilna uporaba dodatne opreme,
 - Tokovne preobremenitve za dano okolje in obratovalne pogoje (globalno),
 - Bližina drugih kablskih povezav ali drugih toplotnih virov (lokalno),
 -
- ❖ **Agresivno okolje:** zmanjšuje dielektrično trdnost. Učinek je lahko lokalni, če je vpliv na okolje lokalni, ali pa globalni:
- Kemični vpliv (npr. puščanje transformatorskega olja, petrokemična razlitja, gnojila, ...),
 - Poplave,
 -

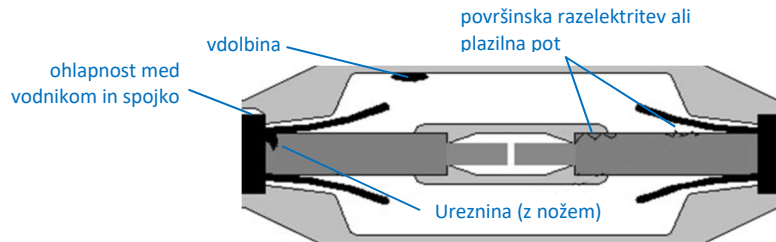
Vse te možne pomanjkljivosti oz. nepravilnosti v kablovodih iz omreženega polietilena XLPE lahko preprosto strnjeno prikažemo z naslednjo sliko.



Slika 1: Tipične nepravilnosti kabla z XLPE izolacijo in z njimi povezane okvare

Pri kablovodih s papirno izolacijo PILC dodatno vpliva še pomanjkanje olja oz. izsušenost, morda zaradi prevelikih višinskih razlik, prav tako pa ni zanemarljiv vdor vlage oz. vode v papirno izolacijo, ki dodatno poslabša dielektrično trdnost.

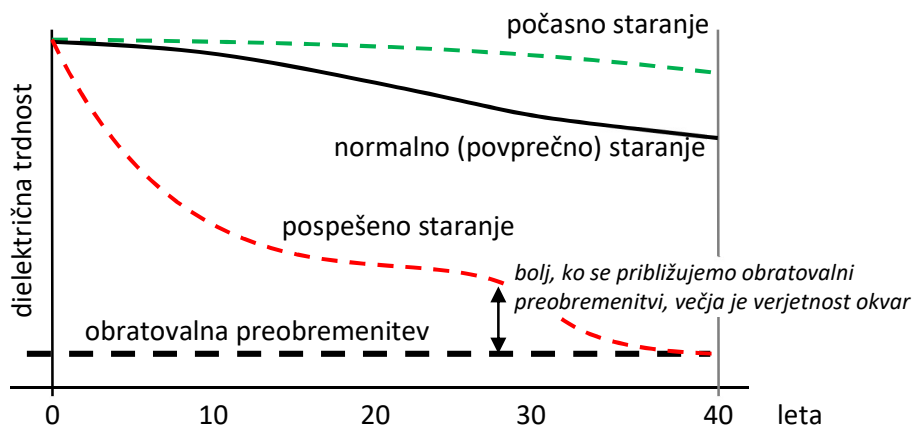
Dodatno se nepravilnosti v izolaciji odražajo tudi pri kabelskem priboru, kot so spojke, končniki in konektorski priključki, ki dodatno poslabšajo dielektrično trdnost, ki lahko privedejo do prebojev oz. skrajšanju življenjske dobe.



Slika 2: Tipične nepravilnosti kabelske spojke in z njimi povezane okvare XLPE

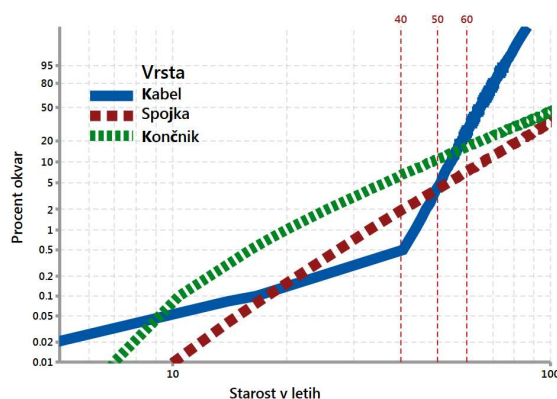
Znano je dejstvo, da je tekom let proces staranja za posamezne vgrajene elemente različen. Za nas je zanima skupna življenjska doba oz. proces staranja. Določitev življenjske dobe je možen le na podlagi statističnih podatkov in vseh zajetih vplivov, ki lahko vplivajo na skupno življenjsko dobo, kar pa je zahtevno opravilo. Zbiranje podatkov, ki jih sedaj nimamo, bodo za uspešno določitev preostale življenjske dobe s pomočjo diagnostičnih metod in ostalih obratovalnih podatkov v prihodnje več kot potrebni. Pa še vedno zaradi neznanih kemijskih procesov, predvsem pa zaradi stohastičnosti procesov le prvi približek, seveda preko opazovanja trendov.

Naslednja slika prikazuje različne potoke staranja, od počasnega do pospešenega, pri tem so zajeti vsi znani vplivi, ki lahko vplivajo na zmanjšanje dielektrične trdnosti oz. življenjsko dobo. Z dobro in pravilno izbiro, pravilno montažo in rednim vzdrževanjem lahko dosežemo želeno počasno staranje ali vsaj normalno, nasprotno smo obsojeni na pospešeno staranje. Proces staranja dielektrikov pa je neizbežen, poleg tega pa ni niti linearen.



Slika 3: Življenjski cikel staranja kablovoda [3]

Seveda na življenjsko dobo kablovoda vplivajo vsi vgrajeni elementi, pri tem pa je pomembno vodenje natančne statistike okvar za posamezne elemente in preventivno vzdrževanje. Spodnja slika npr. prikazuje procent okvar za posamezne gradnike kablovoda s prikazom Weibullovih krivulj.



Slika 4: Primer prikaza Weibullovih krivulj okvar za različne elemente [3]

V splošnem lahko rečemo, da so dielektrične izgube odvisne od napetosti E , frekvence f oz. ω , relativne dielektrične konstante ε in izgubnega kota tangens delta $\tan \delta$.

$$\text{Dielektrične izgube} \propto \omega \cdot E^2 \cdot \varepsilon \cdot \tan \delta$$

Pred bilo kakšno okvaro predhodno obstajajo električna drevesa ali plazilne poti, ki so končni vzrok oslavitve dielektrične trdnosti oz. povod za preboj izolacije. Edino vprašanje pri tem je, kako in na kakšen način te nepravilnosti zaznamo ali opazimo, preden pride do okvare.

V spodnjih preglednicah je par tipičnih primerov poslabšanj, ki preko procesa staranja privedejo do trajnih okvar.

Preglednica 1: Procesi staranja in mehanizmi razgradenj za kable z omreženim polietilenom XLPE [3]

Vrsta poslabšanja	Proces staranja	Tipični vzroki	Primeri
Vodna drevesa	nepopolnost izolacije vpijanje vlage veliko vodnih dreves povečanje lokalnega električnega polja in okvar zaradi nastajanja električnih dreves zmanjšanje dielektrične trdnosti	Vdor vlage	
Korozija (razjeda) zaslona	prekinitev zaslona naraščanje napetosti na površini plašča razelektritve na površini plašča erozija zmanjšanje dielektrične trdnosti	Neoplaščen kabel v zemlji. Zadrževanje vode v plašču kabla. Kemijski vplivi zemljine.	
Velika ali manjša vsebnost vodnih dreves	veliko majhnih porazdeljenih nepravilnosti vpijanje vlage velika gostota metaljčkastih vodnih dreves povečanje izgubnega faktorja zmanjšanje dielektrične trdnosti	Vdor vlage (zunanja in preko vodnika)	
Termična	povečanje temperature vodnika oksidacija razgradnja izhlapevanje reakcije (ionske) zmanjšanje izolacijske trdnosti zmanjšanje dielektrične trdnosti	Slaba namestitvev priključkov. Nepravilna izbira dodatne opreme. Prevelika tokovna obremenitev.	

Vrsta poslabšanja	Proces staranja	Tipični vzroki	Primeri
Razelektritve v dielektriku		Nepravilnosti v proizvodnji (vdolbine, mehurčki, praznine, nečistoče, razpoke)	
Kemično		Petrokemijski vplivi (uhajanje transformatorskega olja, gnojila)	

Preglednica 2: Procesi staranja in mehanizmi razgradenj za kable s papirno izolacijo PILC [3]

Vrsta poslabšanja	Proces staranja	Tipični vzroki	Primeri
Pomanjkanje olja		Prevelika višinska razlika. Nepravilnost svinčenega plašča (razpoke in korozija)	
Termična		Prevelika tokovna obremenitev za dano okolje in obratovalne pogoje.	
Vdor vlage		Napake na svinčnem plašču (razpoke, korozija)	

Preglednica 3: Procesi staranja in razgradenj za kabelski pribor z omreženim polietilenom XLPE [3]

Vrsta poslabšanja	Proces staranja	Tipični vzroki	Primeri
Termična	Že pri izvedbi montaže spojke.	Slaba izvedba. Nepravilna izbira spojke.	
Plazilni toki zaradi notranjih nečistoč		Slaba izvedba. Vdor vlage.	
Plazilni toki zaradi zunanjih nečistoč		Onesnaženo okolje. UV degradacija.	
Razelektritve v dielektriku		Tovarniški defekti. Naravno staranje. Slaba izvedba.	

Preglednica 4: Procesi staranja in razgradenj za kabelski pribor s papirno izolacijo PILC [3]

Vrsta poslabšanja	Proces staranja	Tipični vzroki	Primeri
Pomanjkanje olja		Prevelika višinska razlika. Nepravilnost svinčenega plašča (razpoke in korozija)	
Termična		Slaba izvedba. Vdor vlage. Pregrevanje zaradi vplivov okolja in obratovanja. Slab dizajn spojke.	
Lokalne električne prenapetosti		Raztrganje papirne izolacije pri slabi izvedbi.	
Onesnaženje izolacije XLPE kabla v sami spojki		Slaba zasnova spojke. Slaba izvedba.	

3 PREGLED PREDPISOV, STANDARDOV IN PRIPOROČIL

V nadaljevanju bo podan kratek pregled standardizacije in priporočil s področja preizkušanj kablovodov za srednje napetostni nivo do 36 kV, s poudarkom na izvajanju meritev in preizkusov takoj po izgradnji oz. položitvi ter v času življenjske dobe za namen diagnostike oz. ugotavljanja ustreznosti dielektrične trdnosti izolacije.

3.1 SODO Navodila za vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja [14]

Za začetek pogledimo SODO-va Navodila za vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja-verzija 1.3, 31.7.2018 [14], ki predstavljajo biblijo vzdrževalnih del distribucijskega elektroenergetskega omrežja.

Preglednica 5: Izsek tabele vzdrževanja NN VODOV: kablovodi in kabelska kanalizacija

Oznaka	V.#.NN.KAB			
NN VODI: KABLOVODI IN KABELSKA KANALIZACIJA				Verzija 1.3 velja od 31.7.2018
DELO	Št.	OPRAVILO	ROK	OPOMBA
03 MERITVE IN PREIZKUSI	1	Preizkušanje izolacijske trdnosti kablov in ostale meritve na njih	PP	
	2			

Preglednica 6: Izsek tabele vzdrževanja VN in SN VODOV: kablovodi in kabelska kanalizacija

Oznaka	V.#.VN&SN.KAB			
VN in SN VODI: KABLOVODI IN KABELSKA KANALIZACIJA				Verzija 1.3 velja od 31.7.2018
DELO	Št.	OPRAVILO	ROK	OPOMBA
03 MERITVE IN PREIZKUSI	1	Preizkušanje izolacijske trdnosti kablov in ostale meritve na njih	PP	
	2			
04 DIAGNOSTIKA	1	Diagnostične meritve za ugotavljanje kvalitete oz. obratovne zanesljivosti kablov in kabelskih glav oz. končnikov (Izolacijska upornost, tg. delta, parcialne praznitve)	PP	
	2			

PP – po potrebi

Vidimo, da je tako za NN in SN kablovode predpisano preizkušanje izolacijske trdnosti kablov in ostale meritve na njih, mišljeno takoj po polaganju in preden je kablovod prvič priključen na električno omrežje. Pri SN kablovodih je še predpisana diagnostika (izolacijska upornost, tg. delta in parcialne praznitve). Roki niso podani oz. je zapisano po potrebi (PP), prav tako niso podrobno podane metode preizkušanja.

3.2 GIZ TS-11 – Smernice in navodila za izbiro, polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov nazivne napetosti 1 kV do 35 kV [13]

Drugi, za nas še pomembnejši dokument, je tehnična smernica GIZ TS-11, sestavljena iz študije EIMV št. 2090:2011, ki v 10. poglavju *Odvijanje in polaganje kablov* v 151. členu definira meritve po polaganju [13].

Po delnem in pred popolnim zasutjem kabla je potrebno izvesti:

- napetostni preskus zunanega plašča skladno z navedbami v 296. in nadaljnjih členih,
- napetostni preskus glavne izolacije kabla po namestitvi spojk,
- ponovni napetostni preskus plašča,
- posneti natančen potek trase kablovoda, označiti križanja z ostalimi objekti, mesta spojk in točno dolžino kabla.

Nadalje so v 16. poglavju Pogoji za zagotavljanje kvalitete v posameznih podpoglavjih definirani preizkusi po polaganju. Naj jih strnjeno navedem:

Preskusi kablov po polaganju z enosmerno napetostjo

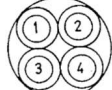
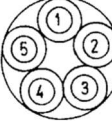
- NN kable za nazivno napetost 0,6/1 kV se preskuša z enosmerno napetostjo v skladu s standardom HD 603 S1/A3, SN kable za nazivne napetosti od 6/10 kV do 18/30 kV se preskuša z izmenično napetostjo v skladu s standardom HD 620 S2. Preskušanje kablov za nazivne napetosti od 6/10 kV do 18/30 kV po polaganju z enosmerno napetostjo v skladu s SIST standardi je predvideno samo še do razveljavitve HD 620 S1, oziroma v skladu z IEC 60502-2:2005.
- Preskusi z enosmerno napetostjo se izvajajo na popolnoma izgotovljenem ali izdelanem kablovodu pred stavljanjem v obratovanje. Kontrolo dielektrične trdnosti novopoloženih kablov z enosmerno napetostjo je potrebno opraviti z napetostmi, ki jih prikazuje tabela 27 in po vrstnem redu priključevanja napetosti iz priloge št. 19.33.
- Pri preskušanju kablov s kovinskimi zasloni preko posameznih faz je dopustno preskušati vse tri žile paralelno.
- Ozemljevanje in praznjenje SN kabla po preskušanju je dovoljeno le preko zaščitnega upora.
- Pri preskušanju kabla, ki je priključen na transformator ali kovinsko oklopljene celice, je potrebno višino preskusne napetosti določiti sporazumno s proizvajalcem transformatorja in kovinsko oklopljenih celic ter proizvajalcem kabla in kabskega pribora in prenapetostnih odvodnikov.
- Po preskušanju mora merilec izdati ustrezni protokol z rezultati preskušanja.

Tabela 27: Kontrola dielektrične trdnosti novopoloženih kablov z enosmerno napetostjo, ki jih prikazuje tabela po vrstnem redu priključevanja napetosti iz priloge št. 19.33

Nazivna napetost kabla U_0/U (kV)	0,6/1	0,6/1	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Preskusna napetost	Enosmerna preskusna napetost (kV) / Čas preskušanja (min)				
Vrsta izolacije	PVC	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Standard					
HD 603S1/A3	15-30	15-30			
IEC60502-1	15	15			
HD 620 S2 10-C			ni predvideno	ni predvideno	ni predvideno
IEC 60502-2:2005			$4 \cdot U_0 / 15$	$4 \cdot U_0 / 15$	$4 \cdot U_0 / 15$

Priloga 19.33. Način priključitve preizkusne napetosti

Zap. štev.	Konstrukcija kabla	Izvedba	Način priključitve
1.	Preizkus enožilnega kabla z ekranom ali kovinskim plaščem		1 proti Z
2.	Preizkus trižilnega ekraniziranega kabla		1+2+3 proti Z
3.	Preizkus trižilnega kabla s skupnim ekranom, koncentričnim vodnikom, kovinskim plaščem ali armaturo		1 proti 2+3+Z 2 proti 3+1+Z 3 proti 1+2+Z

Zap. števil	Konstrukcija kabla	Izvedba	Način priključitve
4.	Preizkus štirižilnega kabla brez zunanje kovinske zaščite		1 proti 2+3+4 2 proti 3+4+1 3 proti 4+1+2 4 proti 1+2+3
5.	Preizkus petžilnega kabla brez zunanje kovinske zaščite		1 proti 2+3+4+5 2 proti 1+3+4+5 3 proti 1+2+4+5 4 proti 1+2+3+5 5 proti 1+2+3+4

Z - zaščitni vodnik oziroma zemlja

OPOMBA: V kolikor imajo kabli pod zap. števil 4 in 5 zunanji kovinski plašč ali armaturo, je potrebno vsako žilo preizkusiti proti ostalim žilam in proti kovinskemu plašču kot pod zap. števil 3.

Preskušanje kablov po polaganju z izmenično napetostjo

- Preskušanje SN kablov po polaganju se izvaja z izmenično napetostjo industrijske frekvence $2 \cdot U_0$ v trajanju 60 min ali napetostjo zelo nizke frekvence 0,1 Hz (VLF) $3 \cdot U_0$ v trajanju 60 min. Pri iskanju napake pa se poleg zgornjih dveh napetosti dopušča tudi preskušanje z enosmerno napetostjo in sicer za 6/10 kV z do 48 kV, za 12/20 kV z 76 kV in za 18/30 do 108 kV (SIST HD 620 S2 10-C-25 tč.16).
- Preskušanje kabla z nazivno omrežno napetostjo je dovoljeno samo v izjemnih primerih, ko se ne da izvesti preskusov navedenih v točki a). Kabel se pri preskušanju priključi na nazivno omrežno napetost v času trajanja 24 ur (poskusno obratovanje). Če v tem času ne pride do preboja, se smatra, da je kabel obratovalno sposoben. Preskušanje kabla z nazivno omrežno napetostjo dovoljuje samo standard IEC 60502-2, prav tako preskušanje z enosmerno napetostjo.
- Po izvedbi napetostnega preskušanja po polaganju je potrebno izdelati protokol z rezultati preskušanja.

Tabela 28: Vrednosti izmenične preskusne napetosti za novopoložene kable

Nazivna napetost kabla U_0/U (kV)	0,6/1	0,6/1	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Vrsta izolacije	PVC	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Izmenična preskusna napetost 50 Hz(kV)			$2 \cdot U_0$	$2 \cdot U_0$	$2 \cdot U_0$
Čas preskušanja AC			60 minut	60 minut	60 minut

(PVC kabli 0,6/1 kV v skladu z HD 603 S1 A3 Part 3 Section G)

(XLPE kabli 0,6/1 kV v skladu z HD 603 S1 A3 Part 5 Section G)

(XLPE kabli 6/10 kV – 18/30 kV v skladu z HD 620 S2 Part 10 Section C)

Preskušanje kablov po polaganju z izmenično napetostjo zelo nizke frekvence

- Preskušanje obstoječih in novopoloženih kablov z izolacijo iz polietilena (PE) ali iz omreženega polietilena (XLPE) je dovoljeno z izmenično napetostjo zelo nizke frekvence (0,1 Hz) v skladu z navodili proizvajalca naprave. Višino preskusne napetosti frekvence 0,1 Hz prikazuje tabela 29.

Tabela 29: Vrednosti preskusne napetosti frekvence 0,1 Hz za kable z izolacijo iz XLPE

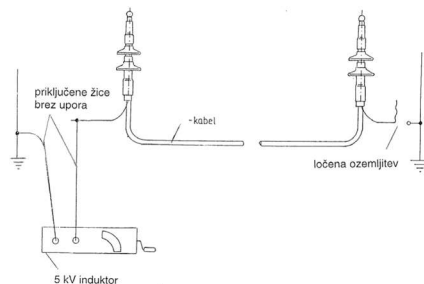
Nazivna napetost kabla U_0/U (kV)	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Vrsta izolacije	XLPE	XLPE	XLPE
Izmenična preskusna napetost ($3 \cdot U_0$) frekvence 0,1 Hz (kV)	18	36	54 (60)
Čas preskušanja (min)	60 minut	60 minut	60 minut

Preskušanje zunanjega plašča kabla po polaganju

- Preskušanje zunanjega plašča SN kabla nazivne napetosti 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35 kV) se izvaja na položenem kable, zasutim s plastjo drobne zemlje ali peska z enosmerno napetostjo 5 kV v trajanju 1 minute pred in po montaži spojk. (Pri kable s PVC plaščem je vrednost enosmerne preskusne napetosti 3 kV). Preskusno napetost se priključi med kovinski ekran kabla kot eno elektrodo in zemljo kot drugo elektrodo (SIST HD 620 S2 Part 10-C). Preskušanje zunanjega plašča NN kabla v standardu ni predvideno, saj ga ni mogoče izvesti, ker ti kabli nimajo električnega kovinskega zaslona. (SIST HD 603 S1/A3 Part 3-G in Part 5-G).
- V primeru kadar nimamo izvora enosmerne napetosti za preskušanje zunanjega plašča kabla, je dopustna uporaba elektronskega aparata z lastnim napajanjem nazivne napetosti 5 kV (priloga 19.32). Plašč kabla mora imeti pri preskušanju z napetostjo 5 kV upornost izolacije večjo od 5 MΩ.
- Po elektromontažnih delih je potrebno opraviti končno preskušanje zunanjega plašča kabla z enosmerno napetostjo 3 kV (PVC plašč) oziroma 5 kV (PE plašč) v trajanju 1 minute.
- V primeru, da rezultati preskušanja niso pozitivni, oziroma če se pojavi ena ali več napak na zunanjem plašču kabla, jih je potrebno locirati in popraviti. Za lociranje napak v izolaciji se uporabljajo naslednje napetosti (skladno s SIST HD 620 S2 Part 10-C-25):
 - Enosmerna napetost za 6/10 kV do 48 kV, za 12/20 kV do 76 kV in za 18/30 do 108 kV,
 - Izmenična napetost do $2 \cdot U_{0r.m.s.}$ in impulzna napetost za 6/10 kV do 48 kV, za 12/20 kV do 76 kV in za 18/30 do 108 kV.

- Rezultati preskušanja zunanjega plašča kabla skupaj s protokolom o preskušanju dielektrične trdnosti izolacije kabla so sestavni del protokola pri stavljanju kabla pod napetost.

Priloga 19.32. Preizkušanje zunanjega plašča kabla z induktorjem (vezalna shema)



1. Pri preizkušanju je potrebno kot osebno zaščitno sredstvo uporabljati zaščitne rokavice
2. Bakreno žico ekrana je potrebno na obeh straneh kabla ločiti od ozemljitve
3. Kabelski induktor za 5 kV je potrebno priključiti na bakreno žico in ozemljitev
4. Pri dvigovanju napetosti moramo spremljati vrednost izolacijske upornosti. Dober kabelski plašč ima vrednost izolacijske upornosti večjo od 5 MΩ.
5. Kabelski plašč po preskusu ozemljimo preko zaščitnega upora, po preteku ene minute pa ga smemo direktno ozemljiti.

Preskušanje izolacije kabla v obratovanju

- Po elektromontažnih delih zaradi popravil ali spajanja obstoječih kablov so dovoljene reducirane vrednosti napetosti za preskušanje izolacije kablov v obratovanju. Za preskušanje kablov v obratovanju veljajo 70 % vrednosti enosmerne preskusne napetosti glede na vrednosti pri preskušanju na novo položenega kabla. (IEC 60502-2:2005).

Iz naštetega vidimo, da so bile meritve osnovne izolacije in preizkus plašča definirani v skladu s takrat veljavno standardizacijo in prakso. Predviden je bil tudi preizkus z VLF napetostjo, pri tem pa sama oblika ni nikjer definirana. Dobro znano pa nam je, da glede na stanje tehnike je le ta bila cos-pravokotne oblike, o sinusni obliki takrat še ni bilo govora.

Vse to so osnovne metode preizkušanja vzdržnosti izolacije s predpisano napetostjo in časovnim trajanjem. Rezultat nam poda le ustreznost napetostne vzdržnosti in nič drugega. Lahko bi rekli, da ta segment preizkusov spada pod destruktivne metode.

3.3 SIST HD 620 S2:2010 [15], DIN VDE 0276-620:2018-04

Cenelecov harmonizacijski dokument HD 620 S1 iz leta 1996, v Sloveniji SIST HD 620 S2:2010 z naslovom "*Distribution cables with extruded insulation for rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV*" je definiran kot pred verzija mednarodnim IEC standardom, ki so sledila v nadaljevanju. Prav tako je povzel ta harmonizacijski dokument nemški VDE in jih strnil v VDE 0267 HD 620 S1:1996 ter z najnovejšo izdajo iz leta 2018 DIN VDE 0276-620:2018-04.

Družina standardov serije 621 velja za kable s papirno izolacijo "*Medium voltage impregnated paper insulated distribution cables*".

V petem poglavju je omenjeno testiranje kablov po polaganju.

Preglednica 7: Izvleček iz standarda

	Preizkus	Zahteve	Metoda preizkusa
1.	Napetostni preizkus izolacije		
1.1	AC preizkusna napetost 45 do 60 Hz • preizkusna napetost (RMS) $2 \cdot U_0$ • čas trajanja 60 min ali:	brez okvare pri preizkusu	
1.2	AC preizkusna napetost 0,1 Hz • preizkusna napetost (RMS) $3 \cdot U_0$ • čas trajanja 60 min		

U_0 – fazna napetost, definirana kot $U/\sqrt{3}$.

Preizkus z DC napetostjo ni omenjen.

3.4 IEC 60502-2 Edition 3.0 / 2014-02 [16]

Naslednji standard, ki je sledil predhodnemu je IEC 60502-2 z naslovom "*Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)*". V 20. poglavju so definirani električni preizkusi po polaganju, povzeti v nadaljevanju.

20 Električni preizkusi po izgradnji (polaganju)

20.1 Splošno

Preizkusi po izgradnji se izvedejo, ko je namestitev kabla in dodatne opreme končana.

Priporoča se enosmerni DC preizkus zunanega plašča v skladu s točko 20.2 in po potrebi preskus osnovne izolacije v skladu s točko 20.3. Za objekte, kjer se izvaja samo preskus zunanega plašča v skladu s točko 20.2, lahko postopki zagotavljanja kakovosti med namestitvijo dodatkov nadomestijo preskus izolacije.

20.2 Preizkus zunanega plašča z enosmerno DC napetostjo

Velikost napetosti in trajanje sta predpisana v poglavju 5 standarda IEC 60229: 2007. Uporabi se med vsakim kovinskim plaščem ali kovinskim zaslonom in ozemljitvijo.

Da je preizkus učinkovit, je potreben dober kontakt ozemljitve s celotno zunanjo površino plašča. Prevodni sloj plašča pri tem pomaga.

20.3 Preizkus osnovne izolacije

20.3.1 Izmenični AC preizkus

Definiran je izmenični AC napetostni preizkus v skladu s standardom IEC 60060-3 in točkami a), b) ali c), ki si sledijo:

- a) 15 minutni preizkus z medfazno napetostjo U , frekvence med 20 Hz in 300 Hz, med vodnikom in kovinskim ekranom plašča;
- b) 24 urni preizkus z nazivno fazno napetostjo U_0 ;
- c) 15 minutni test nazivne efektivne (RMS) vrednosti napetosti $3 \cdot U_0$ frekvence 0,1 Hz med vodnikom in kovinskim ekranom plašča.

Opomba 1: Med AC napetostnim preizkusom se lahko spremlja $\tan \delta$ in/ali delne praznitve.

Opomba 2: Za naprave, ki so bile že v uporabi, se lahko uporabijo nižje preizkusne napetosti in/ali krajši časi preizkusa, odvisno od starosti, okolja, zgodovine okvar in namena preizkusa.

20.3.2 Enosmerni DC preizkus

Kot alternativa AC preizkusu je pri enosmernem DC napetostnem preizkusu preizkusna napetost $4 \cdot U_0$ v trajanju 15 minut.

Enosmerni preizkus lahko ogrozi dielektrično trdnost. Priporoča se le test z izmenično AC napetostjo.

Opomba: Za naprave, ki so bile že v uporabi, se lahko uporabijo nižje preizkusne napetosti in/ali krajši časi, odvisno od starosti, okolja, zgodovine okvar in namena preizkusa.

V standardu je omenjeno, da med osnovnim napetostnim preizkusom spremljamo tudi parametre $\tan \delta$ in/ali delne praznitve PD. Prav tako so skladno s horizontalnim standardom IEC 60060-3 definirane oblike preizkusnih napetosti.

Enosmerni preizkus osnovne izolacije ni priporočen.

3.4.1 IEC 60229: 2007 [17]

Standard IEC 60229 "*Electric cables – Tests on extruded oversheaths with a special protective function*" v 5 poglavju navaja enosmerni DC napetostni preizkus plašča po vgradnji (polaganju).

5 Električni preizkus plašča po izgradnji (polaganju)

Kadar se opravi preskus plašča po izgradnji kabla, je enosmerna preizkusna napetost DC reda velikosti 4 kV na milimeter debeline plašča, vendar največ 10 kV DC v trajanju 1 minute. Meritev se izvede med kovinskim ekranom kabla in ozemljitvijo, pri tem se vsi ostali prevodni deli kratko staknejo in ozemljijo.

3.4.2 IEC 60060-3: 2006 [18]

V horizontalnem standardu IEC 60060-3:2006 "*High-voltage test techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*" so definirane oblike preizkusnih napetosti, kot so enosmerna napetost, izmenična napetost, impulzne napetosti, izmenična napetost zelo male frekvence VLF in dušena izmenična napetost DAC. Za nas najbolj zanimivo je 9. poglavje, v katerem je definicija in oblika izmenične napetosti zelo male frekvence VLF.

9 Preizkusi z napetostjo zelo male frekvence VLF

9.1 Splošno

Te določbe se nanašajo na posebne preskuse.

9.2 Definicija napetosti zelo male frekvence VLF

9.2.1 Napetosti zelo male frekvence VLF

Izmenična napetost zelo male frekvence z valovno obliko med cos-pravokotno in sinusno.

9.2.2 Vrednost preskusne napetosti

Najvišja vrednost VLF napetosti

Opomba: Ustrezni tehnični odbor lahko zahteva meritev RMS vrednosti preskusne napetosti namesto največje vrednosti za primere, kjer je RMS vrednost pomembnejša, na primer tam, kjer so fizikalni učinki na izolacijo odvisni od nje.

9.2.3 Najvišja vrednost

Največja vrednost VLF napetosti, ne glede na majhna visokofrekvenčna nihanja.

9.2.4 Efektivna oz. RMS vrednost

Kvadratni koren povprečne vrednosti kvadrata napetostnih vrednosti pri celotnem ciklu izmenične napetosti.

Opomba 1: Za pravilno sinusno obliko je ta vrednost najvišja vrednost, deljena s kvadratnim korenom.

Opomba 2: Za pravilno pravokotno obliko je ta vrednost enaka najvišji vrednosti.

9.3 Preizkusna napetost

9.3.1 Oblika napetosti

Preizkusna napetost mora biti izmenična frekvence med 0,01 Hz in 1 Hz.

Opomba: V zvezi s širokim frekvenčnim območjem mora ustrezni tehnični odbor določiti frekvenčno območje, odvisno od fizikalnih učinkov na preskušani objekt, trajanje preskusa in vrednost napetosti.

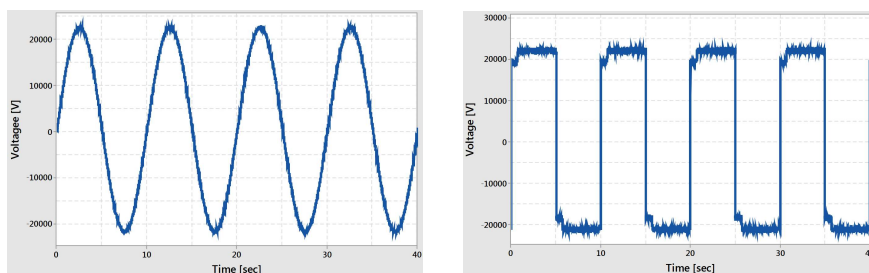
Sinusna oblika VLF napetosti naj bo v obeh pol ciklih podobna. Rezultat visokonapetostnega preizkusa naj ne bi vplival na majhna odstopanja od sinusne oblike, če je razmerje maksimalne vrednosti napetosti in efektivne vrednosti RMS v območju $\sqrt{2} \pm 15\%$.

Opomba: Če razmerje med maksimalno in efektivno vrednostjo presega $\sqrt{2} \pm 5\%$, je potrebno preveriti, da se pozitivne in negativne maksimalne vrednosti ne razlikujejo za več kot 2%.

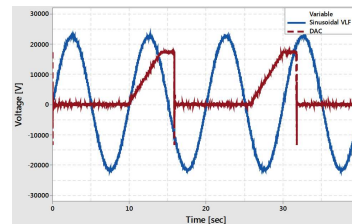
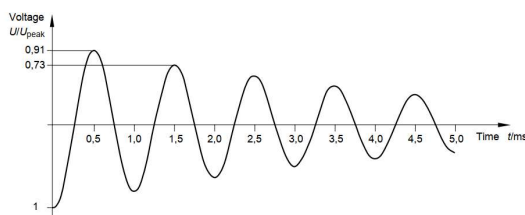
Pravokotna oblika vala VLF napetosti se naj približuje pravokotni obliki v obeh pol valih. Spremembo polaritete je potrebno nadzorovati, da se izognemo prenapetostim, ki jih povzročajo prehodni pojavi. Razmerje med maksimalno in efektivno vrednostjo mora biti znotraj $1,0 \pm 5\%$.

9.3.2 Odstopanje

Izmerjena vrednost preizkusne napetosti mora biti v območju $\pm 5\%$ določene vrednosti, razen če pristojni tehnični odbor ne določi drugače.



Slika 5: Primeri oblike preizkusne napetosti (levo sinusna, desno cos-pravokotna oblika)



Slika 6: Oblike napetosti (levo dušen (damped) AC DAC, desno primerjava DAC – VLF sinus)

Kot vidimo, standardi, ki so v veljavi še zdaleč niso popolni oz. nepoznavalcu celo vnašajo zmedo. Diagnostične metode so zgolj omenjene, konkretnih napotkov ni.

Na srečo je združenje elektrotehnikov IEEE izdalo serijo priporočil, ki so izdani pod skupino standardov IEEE 400. Primerljivi so našim tehničnim smernicam. Pri tem je imel veliko vlogo NEETRAC s študijo CDFI, kateri izsledki so v večini vključeni v IEEE standarde in njihova priporočila.

3.5 Družina IEEE 400 standardov in priporočil [8, 9, 10, 11, 12]

Poleg prej omenjenih standardov je družina IEEE 400 standardov in pripadajočih priporočil en izmed pomembnejših dokumentov, saj s konkretnimi priporočili in ovrednotenjem merilnih rezultatov podaja poglobljen pogled v obravnavano tematiko, predvsem na področju diagnostike kablov. V večini primerov jih citirajo proizvajalci merilne opreme, nenazadnje so pri izdelavi študij in standardizacije sodelovali. Družino standardov in priporočil sestavljajo:

IEEE 400-2012	IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above
IEEE 400.1-2007	IEEE Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with High Direct Current Voltage
IEEE 400.2-2013	IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz)
IEEE 400.3-2006	IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment
IEEE 400.4-2015	IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with Damped Alternating Current (DAC) Voltage

V IEEE 400.1-2007 [9] so definirani enosmerni DC napetostni preizkusi kablov iz papirne izolacije in preizkušanje plaščev. Preizkušanje osnovne izolacije z enosmerno napetostjo pri kablji z PVC, PE in XLPE ni priporočeno. Z vidika diagnostike kablovodov pomembnejši so naslednji standardi ali priporočila, opisuje pa tehnike meritev $\tan\delta$ in delnih praznitev PD. Na kratko bodo prestavljeni v nadaljevanju prispevka.

3.5.1 Meritev $\tan\delta$

Definirani sta dve vrsti preizkusov z VLF napetostjo:

- **Preizkus osnovne izolacije z VLF napetostjo**
 - sinusne oblike ($2-3 \cdot U_0$, 0,1 Hz, 15-60 minut, priporočeno 30 minut. Za postarane kable 75% preizkusne napetosti),
 - cos-pravokotne oblike ($2-3 \cdot U_0$, 0,1 Hz, 15-60 minut, priporočeno 30 minut,
 - Za postarane kable uporabimo 75% preizkusne napetosti.
- **VLF diagnostične metode**
 - VLF tangens delta (VLF-TD),
 - VLF diferenčni tangens delta (VLF-DTD),
 - VLF časovno stabilni tangens delta (VLF-TDTS),
 - VLF dielektrična spektroskopija (VLF-DS),
 - VLF loss current harmonics (VLF-LCH) – še v pripravi,
 - VLF odvodni tok (VLF-LC) – še v pripravi,
 - VLF meritev delnih praznitev (VLF-PD),
 - VLF kombinirani test (VLF-MW).

*VLF preizkusna napetost je s standardom definirana s sinusno obliko napetosti.

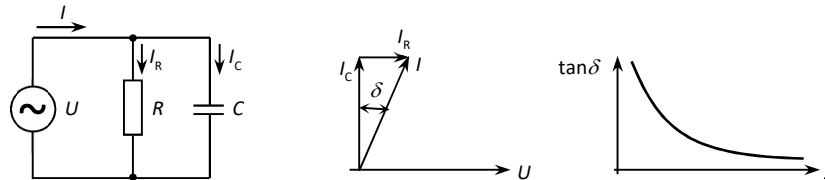
Meritve $\tan\delta$ (VLF-TD, VLF-DTD, VLF-TDTS) z VLF napetostjo se danes uporabljajo za spremljanje staranja in poslabšanja izolacije kablov in so ena najbolj uporabljenih metod na terenu. Z njo odkrivamo degradacijo izolacije (vodna drevesa), korozijo kovinskega ekrana in vlago v izolaciji. Seveda, kot vsaka metoda ima svoje prednosti in slabosti, predvsem pa omejitve. Prikazano v naslednji strnjeni preglednici, povzeto po CDFI študiji.

V dielektričnih izgubah v glavnem prevladujejo prevodne izgube, ki se dogajajo v izolacijskem materialu. Dielektrične izgube, ki jih pogosteje imenujemo kar $\tan\delta$, lahko predstavimo z naslednjo preprosto enačbo:

$$\tan\delta = \frac{P}{Q} = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C} = \frac{\kappa_{\infty}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r'}$$

kjer so:

- I_R ohmska komponenta toka vodnika zaradi izolacije
- I_C kapacitivna komponenta toka vodnika
- R ohmska upornost izolacije kabla
- C kapacitivnost kabla



Slika 7: Nadomestna vezava in kazalčni diagram prikaza $\tan\delta$

Preglednica 8: Splošne prednosti in slabosti meritev $\tan\delta$

Prednosti	• Rezultati meritev so preproste številčne vrednosti in jih lahko enostavno in hitro primerjamo z drugimi meritvami ali z referenčnimi vrednostmi. • S štirimi osnovnimi funkcijami $\tan\delta$ pri VLF jih lahko razvrstimo glede na pomembnost pri oceni stanja. • Zagotavlja nam splošno oceno stanja izolacije (kabel, spojke, končniki). • Meritve na eni fazi lahko primerjamo z meritvami sosednjih faz v primeru enake konfiguracije. Velja tudi za T-spojke, če so vgrajene. • Izmerjena vrednost je dobra indikacija morebitne prisotnosti vodnih dreves. • Zunanji vplivi na meritev so zanemarljivi. • S periodičnimi meritvami in opazovanjem trendov ugotavljamo morebitna poslabšanja izolacije. • Podatki pri nazivni napetosti U_0 so boljši indikator stanja kot pri višji napetosti, npr. $2 \cdot U_0$. • Izmerjene vrednosti, ki se spreminjajo v odvisnosti od dolžine preskusnega kablovoda, lahko pokažejo na težave s korodiranim zaslonom. • Spreminjajoč se rezultat meritev ali celo nestabilen med meritvijo nakazuje na večanje okvare, ki lahko privede do trajne okvare oz. preboja. • Meritev je neodvisna od dolžine in vgrajenih spojk ali končnikov. • Zelo majhno tveganje za dodatne okvare med meritvijo. • Periodične meritve se lahko uporabijo za napovedovanje stopnje staranja/degradacije kablovoda.
Slabosti	• Lokacijo morebitnih nepravilnosti ni možno ugotoviti. • Meritve se lahko izvedejo le pri izklopljenem kablovodu. • Sam po sebi ni učinkovit test pri zagonskih meritvah po polaganju.
Neznano	• Potrebno bo vzpostaviti metode za razlago rezultatov za mešane (hibridne) kablovode. • Začetna analiza lahko zazna težave s korozijo ekrana, vendar pa bo potrebno še dodatno raziskovanje med razmerjem $\tan\delta$ in stopnjo korozije. • Različne frekvence merilne napetosti vplivajo na rezultat meritve. Potrebna bo še dodatna analiza izmerjenih vrednosti pri različnih frekvencah in jih podrobno določiti. • Vpliv temperature na rezultate meritev bo potrebno še dodatno raziskati. • Izpostavljenost izmenični AC napetosti 50 Hz in VLF napetosti do sedaj še ni bila ugotovljena, kar pa ne pomeni, da je ni. • Dodatno bo potrebno še analiziranje vpliva posameznih ali izoliranih dolgih vodnih dreves na meritev $\tan\delta$. • Analizirati bo potrebno uporabnost izmerjenih vrednosti pri zagonskih meritvah s primerjavo kasnejših meritev.

Izbira preizkusne napetosti in oblike je pomembna, prav tako je pomembna velikost merilne naprave.

Preglednica 9: Izbira meril: različne metode testiranja z VLF izmenično napetostjo

primerjava	Preizkus izolacije		Diagnostične metode	
oprema	vir VLF cos-pravokotne oblike napetosti	vir VLF sinusne oblike napetosti	vir VLF napetosti z dodatno opremo: VLF-TD/VLF-DTD/VLF-TDTS/VLF-LCH, VLF DS, VLF-LC, VLF-MW	vir VLF napetosti in oprema za detekcijo VLF PD
enostavnost	priključitev vira in nastavitev vrednosti napetosti in časa trajanja preizkusa		priključitev vira in dodatne opreme, če je potrebna. Učinkovitost teh metod temelji na učinkovitosti filtriranja zunanjih vplivov.	
detekcija splošnega stanja/lokacija napak	odkrita napaka v izolaciji ali spojki/končniku		Splošno stanje izolacije	odkrita napaka v izolaciji ali spojki/končniku

Na merilne rezultate vplivajo različni faktorji, predstavljeni v preglednici.

Preglednica 10: Pregled VLF AC merilnih metod v odvisnosti od vrste kabla in/ali stanja izolacije

Stanje kablovoda	Diagnostična metoda				
	Napetostni preizkus	VLF-MW	VLF-TD VLF-DTD VLF-TDTS VLF-DS	VLF-PD	VLF-LC VLF-LCH
Kabli s korodiranim kovinskim zaslonom	Sprejemljivo	Sprejemljivo	Sprejemljivo	Slabo (op. 1)	Slabo
Povečano število vodnih dreves	Sprejemljivo	Dobro	Dobro	Slabo (op. 2)	Dobro
Nekaj večjih defektov ali nekaj večjih lokalnih električnih dreves	Dobro	Sprejemljivo/Dobro (op. 3)	Sprejemljivo/Dobro (op. 2)	Sprejemljivo/Dobro	Sprejemljivo/Dobro (op. 3)
Defekti v spojkah ali končnikih	Sprejemljivo/Dobro (op. 4)	Sprejemljivo/Dobro (op. 3)	Sprejemljivo (op. 3)	Sprejemljivo (op. 2)	Sprejemljivo (op. 3)
Mešana izolacija (papir in/ali XLPE)	Dobro	Dobro (op. 4)	Slabo/Dobro (op. 4)	Dobro (op. 5)	Slabo/Dobro (op. 4)

Opomba 1: Meritev delnih razelektritev PD je lahko manj občutljiva pri postaranih kablích s povitim ekranom saj lahko zaradi pokritosti s korozijo povzroča slabljenje PD signala. Občutljivost PD meritve se zmanjša s povečanjem razdalje merjenega kablovoda.

Opomba 2: Delne razelektritve (PD) lahko detektiramo samo, če je eno ali več aktivnih električnih dreves ali plazilnih poti ali s plinom napolnjene vbokline v kabelski izolaciji ali spojkah. Poleg tega je potrebno opozoriti, da se lahko pogoji nastanka PD pri VLF razlikujejo od frekvence.

Opomba 3: Priporočljivo je, da se dodatno preskušanje razlikuje od splošnega celotnega poslabšanja.

Opomba 4: Ker ta preskusna tehnika meri povprečje vseh skupnih izolacij, ki se preskuša, se priporoča dodatno preskušanje za merjenje posameznih odsekov izolacije. VLF-TD, VLF-DTD, VLF-TDTS, VLF-DS, ali ne-VLF tehnike se lahko uporabijo za razlikovanje različnih izolacij kablovodov. Če posameznih odsekov ni mogoče izmeriti, preskusna metoda morda ni uporabna.

Opomba 5: Različne konstante širjenja različnih kabelskih odsekov (različnih velikosti in/ali izolacij) lahko otežijo iskanje PD.

V prilogi I standarda so podane orientacijske vrednosti, pri katerih je potrebno ukrepanje. Tabele veljajo za Evropo, ZDA ima malo drugačne vrednosti.

Preglednica 11: Orientacijske vrednosti ocene stanja kablovodov na osnovi PE izolacije (PE, XLPE)

Ukrep	VLF-TDTS časovna stabilnost (merjena s standardno deviacijo pri U_0) [10^{-3}]		diferenčni VLF-DTD (razlika vrednosti VLF-TD med $2,0 \cdot U_0$ in $0,5 \cdot U_0$) [10^{-3}]		VLF-TD Vrednost pri $2,0 \cdot U_0$ [10^{-3}]
ni potreben	< 0,1	IN	< 0,6	IN	< 1,2
spremljanje	0,1 do 0,5	ALI	0,6 do 1,0	ALI	1,2 do 2,0
intervencija	> 0,5	ALI	> 1,0	ALI	> 2,0

Preglednica 12: Orientacijske vrednosti ocene stanja kablovodov na osnovi PE izolacije z dodanimi aditivi (TRXLPE, kopolimeri)

Ukrep	VLF-TDTS časovna stabilnost (merjena s standardno deviacijo pri U_0) [10^{-3}]		diferenčni VLF-DTD (razlika vrednosti VLF-TD med $2,0 \cdot U_0$ in $0,5 \cdot U_0$) [10^{-3}]		VLF-TD Vrednost pri $2,0 \cdot U_0$ [10^{-3}]
ni potreben	< 0,5	IN	< 1,5	IN	< 8,0
spremljanje	0,5 do 1,0	ALI	1,5 do 3,0	ALI	8,0 do 10,0
intervencija	> 1,0	ALI	> 3,0	ALI	> 10,0

Opomba: Zaradi dolgotrajnega učinka polimerizacije se povprečni rezultati TD pri $2 \cdot U_0$ takoj po proizvodnji kopolimernih izolacij lahko izmerijo bistveno višje. Po enem ali dveh letih se lahko absolutne vrednosti TD znižajo blizu ravni, ki so podobne izolacijami iz XLPE ali PE.

Preglednica 13: Mednarodni podatki za polnjene izolacije (npr. mineralno napolnjen EPR)

Ukrep	VLF-TDTS časovna stabilnost (merjena s standardno deviacijo pri U_0) [10 ⁻³]		diferenčni VLF-DTD (razlika vrednosti VLF-TD med $2,0 \cdot U_0$ in $0,5 \cdot U_0$) [10 ⁻³]		VLF-TD Vrednost pri $2,0 \cdot U_0$ [10 ⁻³]
ni potreben	< 0,5	IN	< 4,0	IN	< 10,0
spremljanje	0,5 do 1,0	ALI	4,0 do 10,0	ALI	10,0 do 80,0
intervencija	> 1,0	ALI	> 10,0	ALI	> 80,0

Preglednica 14: Mednarodni podatki za stanje izolacij iz papirja (npr. PILC)

Ukrep	VLF-TDTS časovna stabilnost (merjena s standardno deviacijo pri U_0) [10 ⁻³]		diferenčni VLF-DTD (razlika vrednosti VLF-TD med $2,0 \cdot U_0$ in $0,5 \cdot U_0$) [10 ⁻³]		VLF-TD Vrednost pri $2,0 \cdot U_0$ [10 ⁻³]
ni potreben	< -0,5	IN	-20,0 do 20,0	IN	< 50,0
spremljanje	0,5 do 1,0	ALI	-20,0 do -50,0 ali 20,0 do 50,0	ALI	50,0 do 100,0
intervencija	> 1,0	ALI	< -50,0 ali > 50	ALI	> 100,0

Preglednica 15: TD-stabilnost kot indikator slabosti v kablovodu

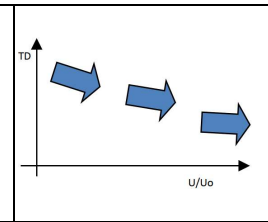
Std. deviacija / stabilnost	Indikacija	Potreba po meritvi	Zahtevana akcija	Komentar
< 0,010·10 ⁻³	- Kabel v dobri kondiciji - Prisotnost vodnih dreves - samo nekaj PD	- TD - PD	Ni potrebe, kabel je v dobri kondiciji	- DTD ponavlja nizke - Ni PD ali intenzivnih PD
0,010·10 ⁻³ do 0,100·10 ⁻³	- vodna drevesa in PD - samo koncentrirana PD	- TD - PD	- Zmerno staranje zaradi vodnih dreves če ni PD; - analiziranje PD koncentracije	- Zmerna vodna drevesa zaradi staranja, ni potrebe po dodatnih akcijah; - Zamenjava spojke, če so PD koncentrirane.
0,100·10 ⁻³ do 0,500·10 ⁻³	vdor vode/vlage v spojko	- TD - PD morda ne bo pokazal visokih PD vrednosti	- Samo TD lahko pokaže ta efekt. - Rezultati PD ni mogoče uporabiti.	- morebitna lokacija poškodbe plašča lahko pokaže vdor vode. - PD kalibracija grafa morda pokaže spojko s prisotnostjo vode.
> 0,500·10 ⁻³	visok vdor vode v spojko	- TD - z PD	- Samo TD lahko pokaže ta efekt. - PD ne pokaže nobene slabe točke. Potreba po zamenjavi spojke. - Pregled PD kalibracije grafa.	- morebitna lokacija poškodbe plašča lahko pokaže vdor vode. - PD kalibracija grafa morda pokaže spojko s prisotnostjo vode.

Za zaključek pogledajmo še kratek pregled oz. usmeritve pri pregledu gibanja trendov $\tan \delta$.

Preglednica 16: Pregled trenda gibanja TD

- Stabilne vrednosti pri vseh napetostih - Nizka standardna deviacija ⇒ Stabilno stanje ⇒ Indikacija PD dejavnosti, zmerna prisotnost vodnih dreves	
- Povečanje TD z napetostjo - Zmerna vrednost standardne deviacije ⇒ Razvoj uhajanja, plazilnih poti, termični tok ⇒ Razvoj vodnih dreves v električna drevesa ⇒ Indikacija večanja uhajanja pri višanju napetosti	
- Zmanjšanje TD z napetostjo - Večje zmanjšanje pri višjih napetostih - Zmerna standardna deviacija ⇒ Indikacija prisotnosti vlage ⇒ Indikacija PD, TD se povečuje z napetostjo ⇒ Uparjanje vode/vlage po določenem času ⇒ Indikacija prisotnosti vode/vlage v spijkah ali kabelskih končnikih ⇒ Priporočene ponovne meritve ⇒ Po uparitvi vode/vlage vrednosti postanejo stabilnejše pri ponovitvi meritve TD	

- Negativni trend DTD, padanje TD pri višanju napetosti
- Zmanjšanje TD pri večanju napetosti
- Višja stopnja upadanja pri višjih napetostih
- Visoka standardna deviacija
- ⇒ Indikacija prisotnosti vlage/vode
- ⇒ Pri prisotnosti napetosti se takoj začne uparjanje vode
- ⇒ Indikacija vlage/vode v spojkah ali kablskih končnikih
- ⇒ Priporočene ponovne meritve
- ⇒ Pri uparjanju vlage se vrednosti stabilizirajo



Kot vidimo, je zapisanega, potrjenega in ugotovljenega z različnimi študiji in meritvami kar nekaj materiala, katere pomagajo merilcem pri evalvaciji dobljenih rezultatov. Poglejmo še za drugo večje področje diagnostike, to je področje delnih razelektritev, ki pa se še posebej v zadnjem obdobju parih let pospešeno razvija.

3.5.2 Meritev delnih razelektritev PD

Skladno s standardom IEC 60270 so delne razelektritve, rečemo jim tudi parcialna praznjenja, definirana kot "lokalne električne razelektritve, ki le delno premostijo izolacijo med vodniki in, ki se lahko zgodijo ali pa ne in pri tem privedejo do prevajanja". Delne razelektritve so na splošno posledica koncentracije lokalnih prenapetosti v izolaciji ali na površini izolacije. Na splošno se take razelektritve odražajo kot pulzi zelo kratkih časovnih dolžin, po navadi manj kot 1 μ s. PD impulz definiramo kot tokovni ali napetostni impulz, ki je posledica delne razelektritve, ki se pojavi znotraj merjenega objekta. Pojav PD se po navadi pojavi znotraj vboklin, praznin, razpok v trdnem izolacijskem mediju ali v mehurčkih v tekočem dielektriku. Pri kablovodih razlikujemo dve vrsti PD glede na pojavnost: površinske in notranje razelektritve.

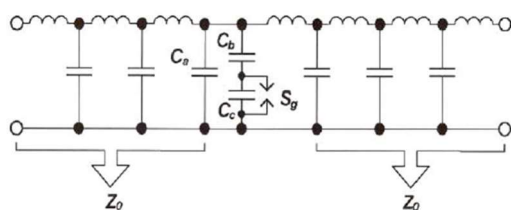
Površinske razelektritve:

Se na splošno pojavijo zaradi napak oz. nepravilnosti v kablskem priboru (spojke ali končniki) ali na površini izolacije kabla, ki zaradi električnega polja privedejo do delnih dielektričnih porušitev. Dodatno k razelekritvam vplivajo še razne kontaminacije in prisotnost vlage. Pri tem se ustvari tokovni impulz, ki ga ustvari ti viri razelektritve, zaključuje se skozi vodnik in se vrne preko zaslona kabla.

Notranje razelektritve:

Je posledica notranjih napak izolacije, kot so vdolbine oz. praznine v samem dielektriku. Kavitacija je plinska praznina v dielektričnem materialu, ki se lahko ustvari med proizvodnim postopkom, namestitvijo ali pod vplivom električnega polja. Pri tem zaradi povišanega električnega polja oz. napetosti v tej majhni praznini ali zračni reži lahko pride do ionizacije plina. Povečano električno polje ustvari spremembo napetosti proti potencialu zemlje oz. zaslonu kabla, le ta pa je lahko tako velika, da pride do razelektritev. V tem primeru impulzi PD potujejo preko vodnika in se vrnejo skozi zaslon kabla. Da zagotovimo proces razelektritve v takšnem mehurčku napolnjenem s plinom, mora električno polje v njem preseči porušitveno trdnost plina, na voljo morajo biti tudi prosti elektroni za sprožitev elektronskega plazma. Električno polje, pri katerem pride do pojava razelektritve rečemo začetna električno polje razelektritve.

Obnašanje PD v takšnih mehurčkih v dielektriku lahko predstavimo s preprostim enakovrednim vezjem, znanim kot "abc kapacitivni model", ki sta ga leta 1932 razvila Gemant in Philippoff. Znan je tudi pod imenom tri (3) kapacitivni model, shematično prikazan na naslednji sliki.



- C_a - kapacitivnost preostalega dela, ki ne vsebuje napake,
- C_b - kapacitivnost okrog vdolbine,
- C_c - kapacitivnost vdolbine, mehurčka, praznine
- S_g - iskro, ki predstavlja razelektritev C_c
- C_b in C_c nista merljiva, odvisna pa sta od lege v izolaciji kabla.

Slika 8: abc kapacitivni model, imenovan tudi tri (3) kapacitivni model

Za boljše razumevanje še pogledimo Townsendov zakon razelektritve, ki pravi, da proces ionizacije plina, kjer se prosti elektroni pospešijo z električnim poljem, trčijo s plinskimi molekulami in posledično osvobajajo dodatne elektrone. Ti elektroni so nato pospešeni in brez dodatnih elektronov. Rezultat je razmnoževanje plazov elektronov, ki omogočajo električno prevodnost v plinu. Razelektritev zahteva vir prostih elektronov in električno polje; brez obojega se pojav ne zgodi.

Paschenov zakon pa pravi, da je prebojna napetost v homogenem električnem polju odvisna od tlaka plina in razdalje med elektrodama. Paschen je ugotovil, da je napetost pri kateri pride do preboja, enaka:

$$V_{pd} = \frac{a \cdot p \cdot d}{b + \ln(p \cdot d)}$$

kjer so:

V_{pd}	-napetost pri kateri pride do preboja
p	-tlak plina, ki se nahaja med elektrodama oz. v praznini (mehurčku)
d	-razdalja med elektrodama oz. velikost praznine (mehurčka)
a	-konstanta, ki je odvisna od sestave plina med elektrodama (praznini)
b	-konstanta, ki je odvisna od sestave plina med elektrodama (praznini)

Paschenovo enačbo bi naj inženir, ki se ukvarja z meritvami kablov in pri tem uporabljal testiranje PD, razumel, saj iz enačbe sledi, da:

- Razelektritve se lahko zgodijo le v vrzelih – pri PD testiranju lahko najdemo samo praznine, ne pa onesnaženja oz. kontaminacijo, razen če se pozneje izločijo iz izolacije in tako postanejo praznine oz. vrzeli.
- Da pride do razelektritev v teh prazninah, morajo biti izpolnjeni še trije pogoji:
 - Ne smejo biti v celoti napolnjeni s tekočino;
 - Če so napolnjeni s plinom, mora biti tlak dovolj nizek, da je začetna napetost razelektritve enaka ali manjša od preizkusne napetosti,
 - Biti morajo dovolj veliki; manjše praznine zahtevajo višje začetne napetosti razelektritve.

Pri meritvah PD morajo biti v času meritve izpolnjeni še trije predpogoji:

- Praznine morajo biti v stanju, ki jim omogoča razelektritve,
- Napetost mora biti dovolj visoka, da sproži razelektritev (začetna napetost),
- PD signal mora doseči merilnik primerno neoslabljen in nerazpršen, da ga lahko prepoznamo kot PD signal, ne glede na prisoten šum.

Če povzamemo, so delne razelektritve PD stohastični (verjetnostni) proces. Lahko je ali pa ni prisoten v praznini, odvisno od vseh zgoraj opisanih parametrov in pogojev. Če torej ni zaznana nobena delna razelektritev PD, to lahko pomeni, da ni prisotnih praznin ali da je prisotna praznina, ampak da niso dani pogoji za razelektritve. To je zelo pomembno dejstvo pri meritvah z zelo kratkimi časovnimi vrednostmi oz. hitrimi pojavi, povezano s tveganjem za "napačne negativne" rezultate meritev.

Iz vsega zapisanega vidimo, da meritve delnih razelektritev zahtevajo poznavanje vsaj osnov fizikalnih in kemijskih pojavov v samih dielektrikih, evalvacija izmerjenih rezultatov pa je pri zahtevna. Zahteva znanje in izkušnje, ki se pridobijo tekom opravljanja meritev ter spremljanje najnovejših ugotovitev.

Meritve delnih praznitev v standardih IEEE še niso zajete, izdana so le priporočila. Vzporedno z izsledki študije CDFI se pričakuje, da bodo v letu ali dveh vključeni v standardizacijo, do takrat pa lahko zgolj upoštevamo razna priporočila proizvajalcev opreme ali izdelovalcev študij, npr. CDFI, podana v nadaljevanju prispevka. Nenazadnje, že sama oblika in frekvence preizkusne napetosti vpliva na same vrednosti meritev, ki med seboj niso primerljivi.

Preglednica 17: Splošne prednosti in slabosti meritev delnih razelektritev PD

Prednosti	- Določimo lahko eno ali več lokalnih delnih razelektritev. - Delektiramo lahko le električna drevesa, plazilne poti in razelektritve v vdolbinah, če je v njih prisotnost plina ali tekočin. - Primerna za vse vrste kablovodov. - Če je rezultat meritev PD brez razelektritev je velika verjetnost, da v naslednjih letih ne bo prišlo do okvar. - Za odkrivanje delnih razelektritev pri napetosti večji od U_0 so potrebne t.i. off-line metode. - Osnovni rezultati so na voljo že po končani meritvi. - Preskus lahko ustavimo, če opazimo "nesprejemljive" nivoje delnih razelektritev PD.
Slabosti	- Ni možno zaznati vseh možnih napak na kablovodih – samo tiste, kjer nastanejo razelektritve in jih zaznamo z merilno opremo. - Vodnih dreves ne moremo zaznati, zaznamo jih lahko le, ko preidejo v električno drevo. - Ne moremo oceniti splošne oz. globalne degradacije v primeru velike gostote napak, kot so vodna drevesa ali onesnaženja, porazdeljena po večjem delu dolžine. - Ni splošnih enotnih meril za oceno stanja meritve, kot je npr. dobro/slabo.
Neznano	- Ni znano, ali so cikli ali čas pri povišani napetosti kritični parameter pri ugotavljanju tveganja poškodb kablovoda. - Rezultati meritev PD na kablovodih niso neposredno primerljivi s tovarniškimi meritvami posameznih sklopov kablovoda. - Različni ponudniki merilne opreme za meritve PD uporabljajo različne merilne metode senzorje, frekvence merjenja, pasovne širine, metriko in oceno občutljivosti. Rezultati različnih ponudnikov opreme meritev PD so težko oz. nemogoče primerljivi med seboj. - Interpretacija signalov PD meritev je zelo zahtevna (želja opredelitve rezultatov preskusov po kriterijih kot so npr. "dobro/slabo", "sprejemljivo/nesprejemljivo", "uspešno/neuspešno", "odloži/popravi/zamenjaj", "1/2/3/4/5" itd.). - Lociranje in karakterizacijo PD virov je še dodatno oteženo zaradi vplivov šumov, slabljenja, disperzije, dodatne kabelske opreme in kompleksnosti samih kablovodov. - Ni še popolnoma jasno, katere značilnosti PD razelektritev zagotavljajo dobre informacije o morebitnih težavah (tj. ali bo napaka tudi dejansko privedla do okvare). - Rezultate mešanih oz. hibridnih kablovodov je težko interpretirati. - Korozija ekrana (traku ali žičk) lahko privede do napačnih rezultatov meritev, npr. odsotnost delnih razelektritev PD. - Vpliv napetostnega vira na meritve PD še ni popolnoma raziskana (AC 50 Hz, VLF sinus, VLF cos-pravokotni, DAC).

Preglednica 18: Prednosti in slabosti meritev delnih razelektritev PD brez izklopa (on-line) glede na izbrani vir

Uporabljen vir	Prednosti	Slabosti
AC 50 Hz napetosti obratovanja (izklop ni potreben)	- Ni potrebe po dodatnem napajanju merilne opreme. - Oblika in frekvenca merilne napetosti je enaka obratovalnim vrednostim. - Ni potrebe po izklopu merjenega kablovoda. - Enostavno spremljanje v daljšem časovnem obdobju (10 do 60 minut ali več), večja verjetnost pojavljanja in detekcije delnih praznitev PD. - Detekcija PD pri normalni delovni temperaturi kablovoda.	- Delne razelektritve PD, ki se pojavljajo pri višjih napetosti od obratovalne ni možno zaznati. - Ocena občutljivosti ni možna. - Zahteva usposobljenega tehnika za pridobivanje podatkov in usposobljenih inženirjev za razlago rezultatov. - Podrobne ocene so na voljo šele po več dnevih ali tednih. - Senzorje je potrebno uporabiti na vsakem kablovodu (bodisi zaporedno ali hkrati) in na vsakem koncu preskušane kablovoda. - V večini primerov senzorji vzdolž kablovoda niso posebej nameščeni. PD identificiramo le med dvema senzorjema na kablovodu. Vendar pa se lahko spremembe frekvenčnih spektrov uporabijo za sklepanje bližine senzorjev. - V nekaterih primerih se rezultati podajo z velikostjo oz. stopnjo - poseben pomen vsake stopnje je težko razložiti. - Ni mogoče kombinirati z drugimi diagnostičnimi meritvami.

Preglednica 19: Prednosti in slabosti meritev delnih razelektritev PD pri izklopu (off-line) glede na izbrani vir

Uporabljen vir	Prednosti	Slabosti
AC 30 – 300 Hz	- Oblika in frekvenca preizkusne napetosti je podobna obratovalni napetosti. - Določimo lahko najnižjo zaznavno raven PD. - Z napetostjo višjo od U_0 lahko odkrivamo PD, ki jih običajno ni pri napetosti U_0. - Lahko izmerimo začetno napetost razelektritve.	- Velika, težka in draga merilna oprema. - Uporaba povišane napetosti ($> U_0$) lahko povzroči nadaljnje degradacije. - Kratek (manj kot minutni) čas za pridobivanje podatkov morda ne bo zajel določenega PD. - Rezultati so opisani z stopnjami (ravni), nabojem in napetostjo in jih je težko enostavno razložiti.

Uporabljen vir	Prednosti	Slabosti
AC VLF 0,01 – 1 Hz Sinusna in/ali cos- pravokotna oblika	- Majhna in enostavna oprema za rokovanje. - Z napetostjo višjo od U_0 lahko odkrivamo PD, ki jih običajno ni pri napetosti U_0. - Lahko izmerimo začetno napetost razelektritve.	- Uporaba povišane napetosti ($> U_0$) lahko povzroči nadaljnje degradacije. - Kratek čas za pridobivanje podatkov (nekaj ciklov) morda ne bo zajel vseh PD. - Ne posnema v celoti oblike obratovalne napetosti ali frekvence. - Obnašanje PD na teh frekvencah še ni dobro obdelano in razumljeno. - Potrebni posebni filtri in nastavitve za VLF vire.
Dušen AC (DAC) (30 Hz do 500 Hz)	- Lahko istočasno pri eni meritvi (ciklu) PD izmerimo začetno napetost razelektritve (PDIV) in ugasnitveno napetost (PDEV) - Napetostni vir in merilnik PD sta integrirana v eni enoti. - Enostavnost uporabe.	- Upravljamo samo prvi cikel napetosti. - Ne posnema v celoti oblike obratovalne napetosti ali frekvence. - Primerjave so težavne, ker se uporabljena napetost in stopnja upada razlikujeta v odvisnosti od impedance. - Obnašanje PD ni dobro razumljeno pri uporabi oblike napetosti z upadanjem (dušenjem). - Težko je opredeliti dosleden proces testiranja PD. - Le v nekaj ciklih je mogoče zaznati PD.

Za konec še par priporočil okvirnih izmerjenih vrednosti, povzetih po proizvajalcu opreme. Velja le za meritve PD z VLF sinusno obliko frekvence 0,1 Hz.

Nov XLPE kablovod

Brez PD ob zagonu novega kablovoda

$< 100 \text{ pC}$ Velikost PD do napetosti $1,7 \cdot U_0$ mora biti manjša od 100 pC.

V obratovanju XLPE kablovod, skupaj s spojkami in končniki, pri napetosti PDIV $> U_0$:

500 pC Lokacija, ki se vodi v evidenci, ne zahteva nujnega ukrepanja.

Priporoča se ponovitev meritev po 2 letih.

2.000 pC Lokacija, ki se vodi v evidenci, potreba po srednjeročni zamenjavi.

Priporoča se ponovitev meritev po 1 letu.

V obratovanju XLPE kabel skupaj s spojkami in končniki, pri napetosti PDIV $< U_0$:

500 pC Priporoča se ponovitev meritev po 6 mesecih.

2.000 pC Možnost okvar. Potreba po planu zamenjave.

4.000 pC Zelo velika možnost okvar. Potreba po čim hitrejši zamenjavi.

3.6 Povzetek standardov in priporočil

Za konec pregleda relevantnih predpisov, standardov in ostale dokumentacije pogledajmo še kratek povzetek ugotovitev. Kar hitro vidimo, da so se z najnovejšimi ugotovitvami oz. dobro inženirsko prakso vrednosti parametrov preizkusov skozi čas spreminjali, težnja je k meritvam z izmenično AC napetostjo zelo male frekvence oz. VLF, zaželeno čiste sinusne oblike, čim manjše amplitude, zaradi znanih dejstev o dielektrikih pa so preizkusi z enosmerno napetostjo DC odsvetovani ali celo prepovedani.

Preglednica 20: Povzetek standardov in priporočil za SN kablovode

Dokument	Zagonski preizkusi	Vzdrževalni preizkusi
SODO navodila 1.3/2018	Preizkus izolacijske trdnosti	Diagnostika (izolacija, tan δ , delne praznitve)
GIZ TS-11 Smernica (2011)	DC - $4 \cdot U_0$, 15 min. AC 50 Hz - $2 \cdot U_0$, 60 min. VLF - $3 \cdot U_0$, 60 min. DC - 5 kV, 1 min. (plašč)	70 % vrednosti DC
SIST HD 620 S2 (2010), VDE 0276-620 (2018)	AC 45-60 Hz - $2 \cdot U_0$, 60 min. VLF 0,1 Hz - $3 \cdot U_0$, 60 min. DC - 5 kV, 1 min. (plašč)	-

Dokument	Zagonski preizkusi	Vzdrževalni preizkusi
IEC 60502.2 (2014)	DC - $4 \cdot U_0$, 15 min. (se ne priporoča) AC 20-300 Hz - $1 \cdot U_0$, 15 min. AC 50 Hz - $1 \cdot U_0$, 24 ur (brez obremenitve) VLF 0,1 Hz - $3 \cdot U_0$, 15 min. - <i>TD ali PD spremljanje priporočeno</i>	Niso zajeti
IEC 60229 (2007)	DC - 4 kV/mm izolacije, največ 10 kV 1 min. (plašč)	
IEEE 400.2 (2013)	<i>Preizkus:</i> VLF 0,1 Hz sinus - 26 kV_{rms} , 15-60 min. (za 20 kV) VLF 0,1 Hz prav. - 37 kV_{rms} , 15-60 min. (za 20 kV) VLF MWT (TD/PD) spremljanje <i>Diagnostika:</i> VLF TD - $0,5 \cdot U_0 - 2,0 \cdot U_0$ (tangens delta) VLF PD - $0,5 \cdot U_0 - 2,0 \cdot U_0$ (delne razelektritve)	<i>Preizkus:</i> 20 kV_{rms} , 15-60 min. (za 20 kV) 28 kV_{rms} , 15-60 min. (za 20 kV) VLF MWT (TD/PD) spremljanje <i>Diagnostika:</i> VLF TD - $0,5 \cdot U_0 - 1,5 \cdot U_0$ VLF PD - $0,5 \cdot U_0 - 1,5 \cdot U_0$

Preglednica 21: Pregled uporabljenih merilnih virov napetosti v odvisnosti od vrste meritev

Zahteva	50 Hz resonančni	VLF sinus	VLF cos pravokotni	DAC
Preizkusni napetostni test v skladu s IEC, VDE (CENELEC), IEEE	DA	DA	DA	DA
Testni signal odvisen od bremena	Testna frekvenca odvisna od dolžine kablovoda	DA	Fazno nihanje se spreminja v območju 30-250 Hz skladno z IEEE 400.2, odvisnost od obremenitve	Testna frekvenca odvisna od dolžine kablovoda
$\tan\delta$ natančnost	visoka	visoka ($1 \cdot 10^{-4}$)	neprimerna za $\tan\delta$	srednja
$\tan\delta$ občutljivost/ primerljivost	srednje, občutljivost manj kot pri VLF	visoka	neprimerna za $\tan\delta$	srednja, odvisna od bremena
PD možnost lokacije	DA	DA	DA	DA
PD velikost in PD vzorec primerljiv z meritvijo pri 50 Hz	DA	DA	še ni podrobno raziskano	DA
PD začetna napetost primerljiva z meritvijo pri 50 Hz	DA	DA	še ni podrobno raziskano	DA
Kompaktni napetostni vir	NE	DA	DA	DA

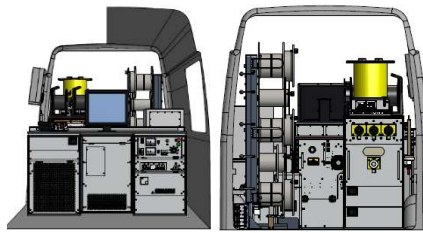
Pri enostavnem napetostnem preizkusu ni nobenega zagotovila, da:

- ocenimo kakovost kablovoda in s tem tveganje za okvare,
- ni načina, da s prilagoditvijo obsega preskusa (bodisi zmanjšanjem ali povečanjem) ocenimo kakovost kablovoda,
- ni načina, da presodimo kakovost kablovoda pri uspešno izvedenem napetostnem preizkusu.

Kvalitetno oceno stanja lahko damo le podlagi diagnostičnih metod, $\tan\delta$ in/ali delnih razelektritev PD, še posebej, če imamo za kablovod še zgodovino izvedenih meritev.

4 MERILNO VOZILO IN OPREMA ZA KABELSKKE MERITVE

Na Elektro Maribor, prav tako v ostalih distribucijskih podjetjih, imamo že od leta 1970 v uporabi merilno opremo za opravljanje osnovnih napetostnih preizkusov izolacije kablovoda. Prav tako poleg te opreme uporabljamo opremo za detekcijo in lokacijo okvar, za nazivni napetostni nivo do 20 kV. Z zadnjo nadgradnjo merilne opreme v letu 2018 smo pridobili sodobno merilno vozilo, ki poleg najsodobnejše računalniško vodene opreme za prej opisane meritve omogoča še vpogled v stanje kablovoda – diagnostiko kablovoda. Diagnostika kablovoda bo v prihodnje učinkovito orodje za ugotavljanje stanja kablovoda, še posebej ob dejstvu, da je te merilne opreme vedno več na trgu, prav tako se izvajajo bazične raziskave na področju dielektrikov in z njimi povezanimi pojavi. S pomočjo preprostih meritev $\tan\delta$ ter malo bolj kompleksnih meritev delnih razelektritev bomo lahko uspešno iskali morebitne šibke točke, tako ob zagonskih meritvah in kasneje v celotni življenjski dobi kablovoda brez dodatnih stresov za kablovode. Vgrajena merilna oprema, zasnovana za trifazne meritve z vgrajenim lastnim agregatom električne napetosti, vse skupaj podprto z računalniško vodeno tehniko ter programsko nadgradljivo s strani proizvajalca je vgrajeno v kombinirano vozilo. S tem smo naredili prve korake na področju ocenjevanja stanja kablovoda, ki jih do sedaj nismo poznali. Osnovni podatki o vgrajeni merilni opremi so podani v nadaljevanju.



Slika 9: Pogled v notranjost vozila (levo komandni prostor, desno merilni prostor)

Programabilni visokonapetostni generator

Služi za ustvarjanje napetosti za določanje položaja napake na kablu in preizkušanje:

- VLF truesinus®, frekvence 0,01–1 Hz, izhodna napetost 0 – 57 kVrms,
- VLF-pravokotna napetost, frekvence 0,01–1 Hz, izhodna napetost 0 – 80 kV,
- Enosmerna napetost (stabilizirana DC napetost s pozitivno in negativno polariteto), 0 do ± 80 kV,
- največja kapacitivnost kablovoda: do 20 μF ,
- Največja razelektritvena energija: 15 kJ

Udarni generator

Je osnovni sestavni del sistema. Služi kot generator napetost do 40 kV, kot tudi udarni generator, pomemben za proces lociranja napak.

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| • Območje udarne napetosti: | 0-8 / 0-16 / 0-32 kV |
| • Energija prenapetosti: | 2100 J |
| • DC napetost: | 0 - 40 kV, 50 mA |
| • Zaporedje impulzov: | 3 - 20 krat/min. ali en pulz |

Izžigalna enota

Je del sistema za določanje položaja napak na kablilih in se uporablja za pretvorbo visokoohmskih kabljskih napak v nizkoohmske z izžiganjem s stalnim oblokom. Z inštrumentom za določanje položaja napak na kablu je veliko lažje določiti nizkoohmske napake kot visokoohmske. Zaradi koračno nastavljive najvišje izhodne napetosti je mogoče napravo prilagoditi vsaki napaki posebej. Naraščanje toka je omogočeno s postopnim zmanjševanjem izhodne napetosti med izžiganjem po preboju na mestu napake. Naprava je opremljena s samodejno razelektritveno enoto in z možnostjo ozemljitve preizkušanca.

- Izhodna napetost do 10 kV DC.
- Max. izhodni tok 32 A.
- Največja moč 2,3 kVA s šestimi izhodnimi napetostmi s posamezno elektronsko regulacijo napetosti in toka.
- Integralni priključek za priključitev zunanega ohmmetra.
- AC izhod za uporabo v nizkonapetostnem sistemu.

Ehometer IRG

Ehometer ali reflektometer, rečemo mu tudi kabljski radar, je popolnoma avtomatski in je sestavni del sistema, potreben za večino procesov lokacije napak. Voden je s programsko opremo in vodnikom za vodenje pri iskanju napake. Tehnologija vključuje preverjene, a tudi neprestano izboljšane načine lokacije napak.

- | | |
|---|---------------------------|
| • Impulzna širina: | 20 ns – 1,3 ms |
| • Merilni impulz: | 20 - 200 V |
| • Izhodna impedanca: | 8 - 2,000 Ohm |
| • Hitrost prenosa: | 400 MHz |
| • Vhodni signal: | -10 to +60 dB |
| • SIM/MIM: | 5 meritev |
| • Razpon prikaza: | 10 m ~ 1.000 km |
| • Ločljivost (@ $v/2 = 80 \text{ m}/\mu\text{s}$): | 0,1 m |
| • Točnost: | 0,1% |
| • Časovni faktor razmnoževanja $v/2$: | 20 - 150 m/ μs |

Lociranje napake na plašču kabla

- Samostojni inštrument, ki se uporablja za testiranje plaščev kablov in iskanje kabelskih napak pred namestitvijo, kot tudi za določanje mesta napake.
- Preskušanje kablov v nizkonapetostnih kablovodih kot tudi preizkušanje plašča kablov do 10 kV DC v kombinaciji z natančnem pred lociranjem napak in pin pointing-om pokrivajo celotno zahtevo za uporabo na terenu.
- Detekcija napake na kablju in plašču kabla z visoko občutljivim merilnim mostom v skladu z Murrayjem in Glaserjem do 10 kV.

Sistem za naknadno določanje položaja

Uporablja se vedno v kombinaciji z generatorjem udarne napetosti.

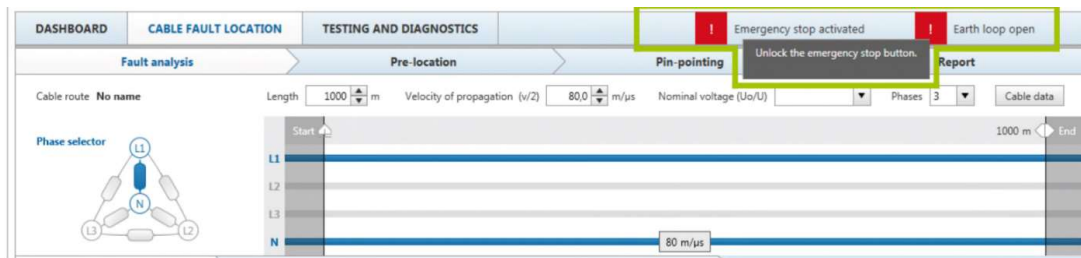
Sistem za naknadno določanje položaja je namenjen za:

- akustično naknadno določanje položaja napak na kablju,
- naknadno določanje položaja napak na kabelskem plašču in zemljostičnih napak po metodi koračne napetosti,
- določanje kabelske trase.

Zgoraj omenjena osnovna oprema je namenjena napetostnim preizkusom ter iskanju in natančnemu lociranju okvar na kablovodih.

Kot dodatna oprema, vgrajena v vozilo pa je za namene diagnostike vgrajena še prenosna naprava za diagnostiko in odkrivanje delnih praznitev. Sestavni del sistema sta še VF filter, namenjen zmanjševanju zunanjih vplivov na merilne rezultate, ki se ga priključi na VN vhod te enote in kalibrator. Vrednotenje meritev je podprto z računalniškim sistemom.

Merilni sistem je v celoti računalniško voden, z vodiči vodi merilno osebje, prav tako pa je poskrbljeno za varnost ob morebitni napačni priključitvi ali opustitvi ozemljevanja. Primer takšnega opozorila je na naslednji sliki.



Slika 10: Primer opozoril v programski opremi

5 ZAKLJUČEK

Z nadgradnjo merilne opreme, ki poleg osnovnih napetostnih preizkusov v smislu kontrole osnovne izolacije ter odkrivanja natančnih mest okvar nudi z dodatno vgrajeno opremo za diagnostiko še podrobnejši vpogled v stanje kablovodov. Hitra odprava napak je povezana z indeksi kakovosti dobave električne energije in zadovoljstvom naših uporabnikov, stanje vgrajene opreme pa nam bo dalo širši pogled, ne samo za namen vzdrževanja, ampak tudi za namen planiranja investicij dotrajanih kablovodov. Predpogoj za uspešno analizo stanja kablovodov je nedvomno kvalitetno vodenje vseh podatkov, zgodovine okvar in drugih posegov na samih posameznih elementih kablovoda. Samo po sebi je umevno, da takšne količine podatkov ne moremo in ne smemo voditi "ročno", uporaba sodobnih informacijskih sistemov je predpogoj za uspešne analize. Nenazadnje, le ena meritev, opravljena za potrebe diagnosticiranja kablovoda ali drugega elementa omrežja, ne pove preveč o sami vgrajeni kvaliteti opreme. Potrebni so predhodni podatki o zgodovini merjenja z meritvami, na podlagi trendnih funkcij ali bolj sofisticiranih statističnih metod pa lahko kvalitativno ocenjujemo stanje te opreme. Prav tako je in bo potrebna podrobnejša analiza posameznih okvar, ki jih do sedaj nismo

izvajali ali smo jo le poredkoma. Proces vzpostavitve uspešnega diagnosticiranja ni enostaven proces, terjal bo kar nekaj napora, študiranja in izvedenih meritev, ki bodo dali prepotrebne izkušnje in znanja. Nenazadnje bo vpeljan proces zahteval dodatno usposobljene merilce, ki bodo morali sodelovati z že vpeljanimi ekipami za kabske meritve in se pri tem dopolnjevati. Že iz vsega napisanega v tem prispevku lahko zaključimo, da procesi staranja niso linearni procesi, na določenih področjih še dokaj neraziskani, ampak izrazito stohastični. Odvisni so od mnogih faktorjev, nekaterih se morda še ne zavedamo, kot. npr. pri enostavnem iskanju okvare na kablovodu ali pa nezahtevnem napetostnem preizkusu novega in deloma starega kablovoda, kjer lahko vede ali nevede s previsoko preizkusno napetostjo ali nepravilno obliko napetosti naredimo več škode kot koristi. Bodimo optimistični, opremo imamo, potrebno bo pričeti z uvajanjem in spoznavanjem vseh čarov diagnosticiranja. Pri tem bo v bodoče v pomoč tudi skupina za kablovode v okviru GIZ DEE, ki pripravlja usmeritve in bo sodelovala pri izmenjavi posameznih izkušenj posameznih distribucijskih podjetij.

6 LITERATURA

1. William Thue, *Electrical Power Cable Engineering - Third Edition*, CRC Press, 2012
2. Frank J. Wester, *Condition assessment of power cables using partial discharge diagnosis at damped AC voltages*, Optima Grafische Communicatie, Rotterdam, The Netherlands, 2004
3. Hartlein, R.A. & Hampton, R.N., *Diagnostic Testing of Underground Cable Systems (CDFI - Cable Diagnostic Focused Initiative)*, Georgia Tech Research Corporation, december 2010 (https://www.neetrac.gatech.edu/publications/CDFI_Phase_1_Final-Report.pdf)
4. <https://www.neetrac.gatech.edu/publications.html>
5. Spletni slovar: <http://www.eglosar.si/>
6. Spletni slovar: <http://www.electropedia.org/>
7. Podatkovna baza o okvarah in meritvah VDE: <http://www.vde-kabeldatenbank.de/>
8. IEEE 400-2012, *IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above*, 2012
9. IEEE 400.1-2018, *IEEE Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded AC Power Cable Systems Rated 5 kV to 500 kV Using High Voltage Direct Current (HVDC)*, 2018
10. IEEE 400.2-2013, *IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)(less than 1 Hz)*, 2013
11. IEEE 400.3-2006, *IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment*, 2006
12. IEEE 400.4-2015, *IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with Damped Alternating Current (DAC) Voltage*, 2015
13. GIZ TS-11, *Smernice in navodila za izbiro, polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov nazivne napetosti 1 kV do 35 kV*, GIZ-DEE, december 2014 (<http://www.giz-dee.si/TIPIZACIJA>)
14. SODO, *Navodila za vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja v. 1.3*, 31.7.2018 (<https://www.sodo.si/za-distributerje/vzdrzevanje>)
15. SIST HD 620 S2:2010, *Distribution cables with extruded insulation for rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV (Distribucijski kabli z ekstrudirano izolacijo za nazivne napetosti od 3,6/6 (7,2) kV do vključno 20,8/36 (42) kV)*, maj 2010 (<http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=1e77d7dd-5ec4-40de-8d8d-173836c50546>)
16. IEC 60502-2:2014, *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)*, 2014 (<https://webstore.iec.ch/publication/2272>)
17. IEC 60229:2007, *Electric cables - Tests on extruded oversheaths with a special protective function*, 2007 (<https://webstore.iec.ch/publication/1066>)
18. IEC 60060-3:2006, *High-voltage test techniques - Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*, 2006 (<https://webstore.iec.ch/publication/302>)
19. Baur GmbH, *Navodila za uporabo merilnega vozila za kabske meritve*, 2018



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT IX

mag. Andrej Orgulan, univ. dipl. inž. el.

andrej.orgulan@uni-mb.si

FLIKER IN STROBOSKOPSKI POJAV PRI UPORABI LED SVETILK V NOTRANJI RAZSVETLJAVI

Povzetek

Zatem, ko so LED svetlobni viri skoraj v celoti nadomestili tradicionalne svetlobne vire v cestni razsvetljavi in v gospodinjstvih, smo priča popolnemu preskoku tehnologije tudi v notranji razsvetljavi. Spremembe tehnologije vedno povzročijo tudi spremembe standardov in predpisov, saj le z upoštevanjem teh lahko zagotovimo kakovostno in zanesljivo obratovanje naprav.

Časovna nestalnost oddane svetlobe je pri LED svetlobnih virih odvisna od uporabljenega koncepta napajanja, usmerniškega in krmilnega vezja. Kljub znanim, tako tradicionalnim kot naprednim rešitvam, ki omogočajo delovanje s časovno skoraj nespremenljivim svetlobnim tokom, je zaradi manjšanja stroškov na trgu dostopnih kar nekaj predstikalnih naprav z opazno valovitostjo usmerjene napetosti in toka. Ker oblika toka skozi svetleče diode določa tudi časovni potek oddanega svetlobnega toka, se pri takšnih izvedbah lahko pojavi opazno utripanje svetlobe že v normalnih obratovalnih razmerah.

Ti pojavi so bili za LED svetlobne vire pričakovani, zato so mednarodne standardizacijske organizacije že pred desetletjem pripravile smernice za omejevanje utripanja svetlobe LED svetilk [1]–[3] v zadnjih nekaj letih pa so te omejitve že zapisane v standardih IEC, IEEE in nekaterih lokalnih zakonih.

V prispevku so prikazani:

- standardi in kriteriji za vrednotenje in omejevanje utripanja in migotanja svetlobe ter njihovi vzroki,
- rezultati meritev utripanja in migotanja svetlobe pri različnih tipih napajalnikov uporabljenih v LED svetilkah in
- ocene primernosti različnih vrst napajalnikov za uporabo na različnih področjih v razsvetljavi.

1 Uvod

Vsaka sprememba tehnologije, ki se na trgu uveljavi je lahko uspešna le zaradi tehničnih prednosti ali nižjih stroškov investicije in rabe. Tehnologije svetlečih diod so v zadnjih letih popolnoma nadomestile večino tradicionalnih svetlobnih virov, najprej v zunanji in nato še v notranji razsvetljavi. Pri uspešni uveljavitvi LED svetlobnih virov so imele odločilno vlogo mnoge prednosti, ki jih te imajo pred primerljivimi tehnologijami svetlobnih virov, kot so odličen svetlobni izkoristek ob dobrem ali odličnem indeksu barvnega videza, velika izbira barvnih temperatur in neprimerljivo daljša življenjska doba. Tudi večina sekundarnih lastnosti, kot so možnost regulacije svetlobnega toka, vklopni čas, odpornost na vplive okolice je vsaj primerljiva drugim tehnologijam ali boljša. Obstaja le še nekaj posebnih primerov razsvetljave, kjer je uporaba tradicionalnih svetlobnih virov smiselna bolj zaradi tipičnih omejitev tehnologije svetlečih diod, kot so na primer prostori z zelo povišano temperaturo okolice ali potreba po izredno velikih paketih svetlobnega toka v mali prostornini, kot so reflektorji za razsvetljavo velikih površin, kjer imajo prednost metalhalogenidne sijalke. Tudi ti primeri, ki so povezani pretežno z omejeno zmožnostjo odvajanja presežne toplote bodo verjetno kmalu preteklost.

Zagotavljanje časovne stalnosti svetlobe je predvsem v notranji razsvetljavi eden izmed osnovnih kriterijev kakovosti. LED svetlobni viri imajo zaradi svoje zahteve po usmerjeni napajalni napetosti potencial, da bi zagotavljale časovno enakomerno svetlobo skoraj imuno na spremembo napajalne napetosti. Pri tradicionalnih svetlobnih virih, v notranji razsvetljavi so desetletja dolgo prevladovala fluorescenčne sijalke, še vedno prisotne v veliki večini razsvetljivih naprav, saj so dobro znane vse pomanjkljivosti, tudi na primer problem stroboskopskega pojava pri uporabi magnetnih dušilk.

Poleg stroboskopskega efekta, so lahko posledice časovne nestalnosti oddanega svetlobnega toka še migotanje in utripanje svetlobe [4]. Utripanje svetlobe (s stalno frekvenco) zaradi katerega lahko pride do stroboskopskega učinka ali tudi neugodnega občutja pri uporabnikih zaradi flikerja sta posledica uporabljenega usmerniškega vezja in drugih rešitev pri načinu napajanja, oziroma krmiljenja svetlečih diod. Migotanje svetlobe z nestalno frekvenco pa je motnja, ki nastane zaradi kolebanja napajalne napetosti in lahko povzroča neugodje ali moti sposobnost opravljanja vidnega dela pri uporabnikih.

Časovna odvisnost svetlobnega toka in s tem tudi svetilnosti LED svetlobnih virov in svetilk je bolj kot od izbire LED panela odvisna od vrste uporabljenega usmerniškega in krmilnega vezja v elektronski predstikalni napravi. Predstikalna naprava je na področju razsvetljave ustaljen izraz za vse električne naprave v svetilki, potrebne za delovanje svetlobnega vira, v primeru svetlečih diod zajema napajalni del z usmernikom in krmilnikom izhodnega toka oz. v nekaterih primerih tudi napetosti kakor tudi morebitne komunikacijske naprave in krmilnik režima delovanja. Kljub smernicam stroke in standardizacijskih ustanov se je v primeru LED svetlobnih virov za skupek teh elementov uveljavil izraz »LED driver«, ki ga vsak proizvajalec tolmači malo po svoje, nekateri kot celotna napajalna naprava in nekateri le kot tokovni krmilnik. Kljub vrsti znanih in cenovno ugodnih rešitev za napajanje LED panelov s konstantnim tokom [5]–[7], je na trgu prisotnih tudi vrsta napajalnikov z veliko valovitostjo usmerjenega napajalnega toka in napetosti, kakor tudi takšne, ki namesto krmiljenja toka za delovanje pri nazivnih razmerah uporabljajo krmiljenje izhodne napetosti.

2 Pojavi povezani s časovno neenakomernostjo svetlobe

Pojavi povezani s časovno neenakomernostjo svetilnosti so:

- utripanje oddane svetlobe, oz. svetilnosti zaradi valovitosti usmerjene napetosti v frekvenčnem območju do 100 Hz ali 120 Hz ki nastaja med običajnim delovanjem LED svetilke in je značilen za vrsto LED napajalnika. Pojav lahko povzroča neprijeten ali moteč občutek pri nekaterih opazovalcih, oz. fliker, večina ljudi pa utripanja nad približno 50 Hz ne opazi, če valovitost ne preseže 30%. Nad nekaj 100 Hz je lahko valovitost tudi 100% in za ljudi še vedno neopazna;
- utripanje oddane svetlobe oz. svetilnosti zaradi velike valovitosti usmerjene napetosti v višjem delu frekvenčnega območja do nekaj 100 Hz, ki prav tako nastaja med normalnim delovanjem in lahko povzroča stroboskopski pojav. Stroboskopski pojav je učinek zaradi utripajoče svetlobe s stalno frekvenco zaradi katere es lahko rotirajoči ali odmikajoči se deli naprav zdijo kot da navidezno mirujejo. Pojav je lahko opazen tudi kot premikajoči se del svetlejše ali temnejše slike na ekranih ali kot prekinjajoče se zaporedje slik osvetljenih delov, če se mnogokratniki frekvenc svetlečih in opazovanih predmetov skladajo in
- migotanje svetlobe zaradi odziva napajalnega vezja na kolebanje napajalne napetosti kot je znano iz delovanja IEC / UIE flikermetra. Ta pojav povzroča neprijeten ali moteč občutek pri ljudeh, ki so izpostavljeni takšni svetlobi.

2.1 Primeri v katerih je pojav migotanja svetlobe pomemben.

Med prvima dvema in zadnjim pojavom je velika razlika, saj prva dva nastajata med normalnim obratovanjem svetilk, tudi pri konstantni napajalni napetosti. Za vrednotenje njunega učinka ni potreben statistični pristop, oz. ga lahko uporabimo za primerjavo, medtem ko zadnji pojav zaradi kolebanja napajalne napetosti ne moremo vrednotiti drugače kakor statistično.

2.2 Neželeni pojavi pri ljudeh.

Splošna razsvetljava in prostori kjer se mlajši, predvsem otroci zadržujejo dlje časa. V nekaterih primerih lahko prevelika modulacija svetlobe povzroči on neugodju tudi druge, mnogo težje posledice kot so migrene, glavobole, raztresenost in nezmožnost opravljanja dela teh v skrajnih primerih pri fotoobčutljivih ljudeh tudi napade epilepsije. Frekvenčno območje občutljivosti je med 3 in 70 Hz. Najobčutljivejša je mladina v času pubertete, lahko pa tudi nekaj prej, že pri 7 letih. Pogostost pojava je v tej starostni skupini do 5 krat večja kot pri drugih. Fotoobčutljivi ljudje so pogosto občutljivi tudi na prostorske vzorce, ki jih lahko utripanje svetlobe ojači, kot so na primer vzporedni svetlo-temni vzorci, ki se tipično pojavljajo pri stopnicah, če se te premikajo je pojav še ojačan.

Lahko se pojavijo nekateri biološki učinki tudi do frekvenc okrog 165 Hz. Pojav je bil poznan pri uvajanju fluorescenčne razsvetljave, ki utripa pri 100 Hz. Nekateri ljudje so imeli pod to razsvetlavo glavobole, vendar pojav ni podrobno raziskan. Znano je predvsem to, da so posledice težje pri večjih vrednostih osvetljenosti in skoraj neopazen pri manjših (pod 50 lx). Na pojave vpliva položaj svetlobnega vira v vidnem polju, frekvenca, delo ki ga oseba opravlja in prostorska porazdelitev svetlobnih virov v vidnem polju.

2.3 Stroboskopski učinek

Najbolj znan je stroboskopski učinek pri industrijskih delovnih mestih z rotirajočimi ali hitro premikajočimi se stroji. Ti lahko v primeru utripajoče svetlobe navidezno mirujejo. Pojav je znan in tradicionalna razsvetljava je bila zato priključena trifazno, omenjeni stroji pa morajo imeti tudi svoj, časovno konstanten svetlobni vir.

Stroboskopski učinek se pojavlja pri svetlobi, ki utripa v frekvenčnem območju med 50 in 300 Hz. Preprečimo ga, če zmanjšamo valovitost svetlobe na manj kot 33 %, kar s sodobnimi svetlobnimi viri ni težko doseči, vendar imajo nekateri tudi tisti namenjeni za industrijska delovna mesta valovitost (odstotek flikerja) v podobnem velikostnem razredu [8] [9].

Razen tipičnega pojava stroboskopskega učinka lahko utripajo svetloba tudi pri višjih frekvencah privede do neželenih učinkov zaporedja slikic (phantom array). Pojav je opazen tipično do frekvence 500 Hz, v nekaterih primerih tudi do 2500 Hz in lahko povzroča motnje pri izbiri drugače mirujočih objektov, ki se nenadno premaknejo. Pojav je opazen pri 100% modulaciji svetlobe in je odvisen od položaja objekta v vidnem polju. pojav se lahko preveri s hitrim premikom prstov pod tako modulirano svetlobo.

Drugi pojavi vezani na stroboskopski učinek so opazni pri snemanju slikovnih zaslonov, ali tudi svetlih objektov osvetljenih z modulirano svetlobo.

3 Merila in postopki vrednotenja časovnih sprememb svetlobe

Zaradi razlik v načinu nastanka motenj opisanih v uvodnem poglavju, se tudi merila in postopki vrednotenja razlikujejo, če želimo da so učinkoviti.

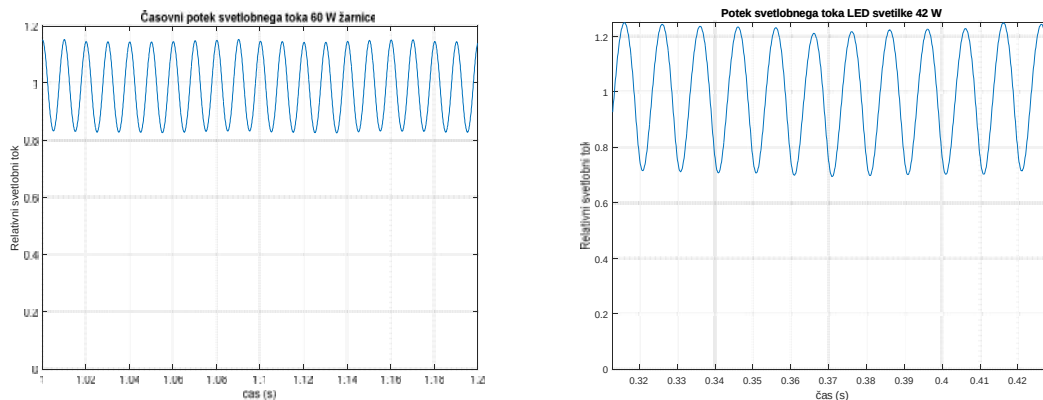
Le redki opazovalci so občutljivi na spremembe svetlobe v vidnem polju s frekvenco 100 Hz in več, ki nastopajo ob normalnem obratovanju svetlobnih virov, tako žarnic kot sijalk. Je pa valovitost oddanega svetlobnega toka s temi frekvencami lahko vzrok nastanka stroboskopskega učinka. Merila bi zato lahko razdelili na:

- merila za vrednotenje utripanja svetlobe med obratovanjem v nazivnih pogojih, vključno z občutljivostjo svetlobnih virov na enakomerno pojavljajoče se motnje napajalnih napetosti in
- merila za vrednotenje sprememb svetlobe, ki se pojavljajo zaradi dejanskih motenj v napajalni napetosti – flikermetri.

3.1 Vrednotenje pojavov med normalnim obratovanjem LED razsvetljave - utripanje svetlobe, stroboskopski učinek in občutljivost virov na spremembe napetosti

Utrpanje svetlobe je enakomeren pojav časovnih sprememb izhodne veličine, ki jo večinoma prisotna pri svetlobnih virih kot sinusna ali pravokotna modulacije izhodnega signala zaradi izvedbe usmerniškega vezja ali zaradi enakomernih sprememb v napajalni napetosti. Za analizo in razumevanje meril za vrednotenje utripanja svetlobnih virov je primernejša sinusna modulacija, saj je pravokotna in druge oblike sestavljena iz množice višjih harmonikov. Po drugi strani so dejanske motnje, ki se pogosto pojavljajo zaradi delovanja naprav, največkrat podobne odzivu na stopnično vzbujanje.

Primer moduliranega svetlobnega toka je prikazan na sliki 1, ki prikazuje relativni svetlobni tok žarnice z žarilno nitko in LED svetilke s tovarniškim napajalnikom, napajane s sinusno napetostjo modulirano z relativno malim pravokotnim signalom. Modulacija časovnega poteka svetlobnega toka je sinusna z dvojno frekvenco napajalne napetosti. Velikost modulacije je odvisna od izvedbe, tipično je z manjšanjem steklene bučke modulacija večja, modulacija se večja tudi z velikostjo nazivne napetosti pri isti moči, saj mora v tem primeru biti žarilna nitka tanjša.



Slika 1: Časovni potek relativnega svetlobnega toka 60 vatne žarnice napajane s sinusno napetostjo z modulirano z 0,4 % pravokotnim signalom trajanja 60 ms in 42 W LED svetilke s tovarniškim napajalnikom

Manjša odstopanja v modulaciji razkrije šele Fourierjeva analiza signala. V primeru signala na sliki 1 vidimo iz slike 2, ki prikazuje rezultate Fourierjeve analize, da je svetlobni tok moduliran še z nekaj frekvencami nižjih frekvenc z amplitudami velikostnega razreda pod 0,25 % njegove efektivne vrednosti (slika 2b), ki skupaj tvorijo pravokotno modulacijo osnovnega signala s približno 8,3 Hz.

Za potek oddanega svetlobnega toka na sliki 1 smo žarnico napajali s sinusno napetostjo, modulirano s pravokotnim signalom

$$u(t) = U \cdot \sqrt{2} \sin(\mu \cdot t) (1 + A_m \cdot \text{signum}(\sin(\mu_m \cdot t))) \quad (1)$$

kjer je:

- U – efektivna vrednost napajalne napetosti (230 V)
- ω – krožna frekvenca napajalne napetosti ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$) (s^{-1})
- ω_m – krožna frekvenca modulacije s pravokotnim signalom in
- A_m – amplituda modulacije osnovnega signala s pravokotnimi pulzom,

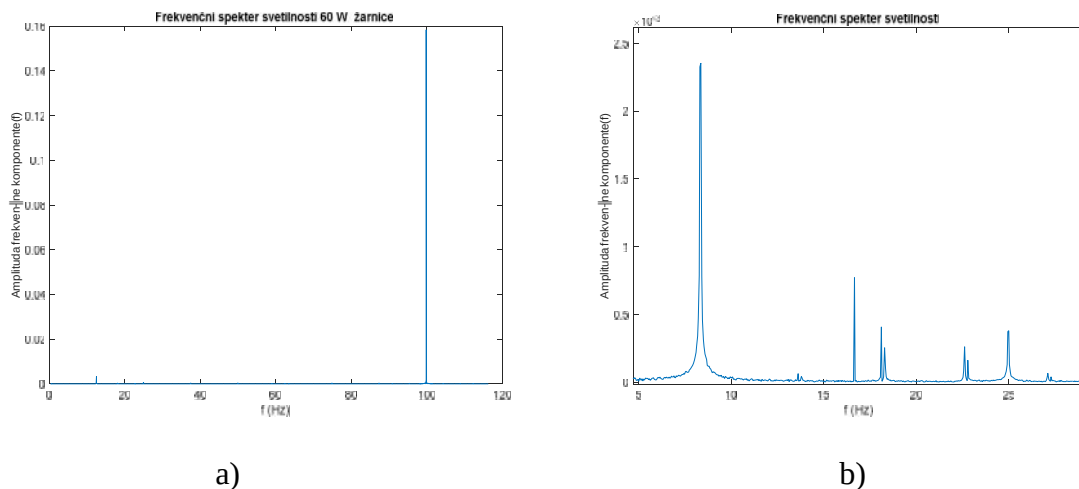
Potek oddanega svetlobnega toka bi lahko zapisali kot:

$$\varphi(t) = \Phi_m (1 + A_1 \cdot \sin(2\mu t) (1 + A_2 \cdot \text{signum}(\sin(\mu_m t)))) \quad (2)$$

kjer je:

- $\varphi(t)$ – časovni potek oddanega svetlobnega toka,
- Φ_m – srednja vrednost oddanega svetlobnega toka (1, če prikazujemo relativne vrednosti),
- A_1 – amplituda modulacije pri osnovni frekvenci (100 Hz pri frekvenci napetosti 50 Hz) in
- A_2 – amplituda modulacije osnovnega signala s pravokotnimi pulzom,

Namesto modulacije s pravokotnim pulzom, bi lahko uporabili tudi modulacijo s sinusnim potekom manjše frekvence kot osnovni signal.

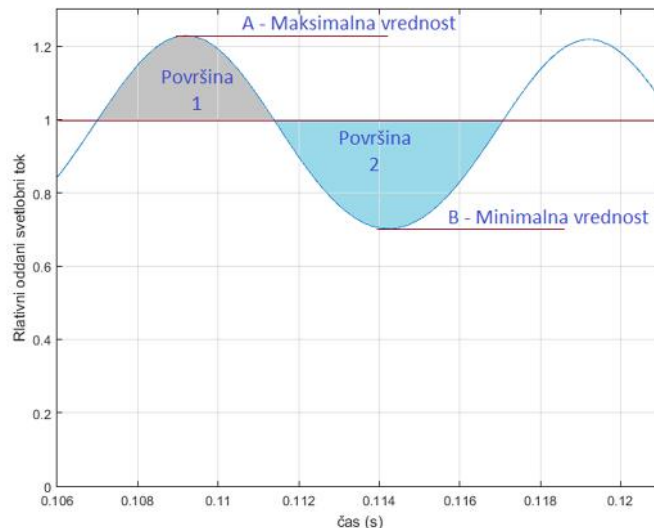


Slika 2: Fourierjeva analiza signala svetlobnega toka iz slike 1 a) glavna harmonska komponenta napajalne napetosti in b) povečava frekvenčnega območja do 30 Hz

Občutljivost človeškega vida na utripanje svetlobe je tipično omejena okrog 55 Hz, nekateri pa zaznavajo tudi spremembe svetlobe s frekvencami do okrog 100 Hz [8], [10]–[13]. Delež ljudi, ki zaznavajo utripanje svetlobe s frekvencami nad 50 Hz je okrog 5 %.

Za vrednotenje utripanja svetlobe med ustaljenim obratovanjem LED svetil moramo ovrednotiti amplitudo valovitosti oddanega svetlobnega toka pri izbrani frekvenci. V preteklosti sta se v te namene uporabljali dve merili, ki pa nista upoštevali frekvence valovitosti:

- odstotek flikerja in
- indeks flikerja.



Slika 3: Prikaz valovitosti oddanega svetlobnega toka za prikaz odstotka in indeksa flikerja

Indeks flikerja je glede na valovitost na sliki 3 definiran kot [4], [8]:

$$In \quad f = \frac{P \quad \bar{f} \quad 1}{(P \quad \bar{f} \quad 1 + P \quad \bar{f} \quad 2)} \quad (3)$$

Odstotek flikerja je velikost modulacije v odstotkih:

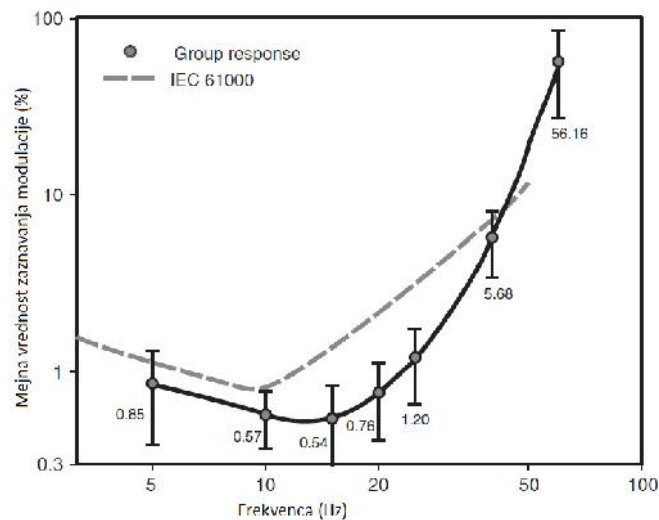
$$M \quad \% = 100 \cdot \frac{(M \quad -M)}{(M \quad +M)} = 100 \cdot \frac{(A-B)}{(A+B)} \quad (4)$$

Predvsem drugo merilo, odstotek flikerja izračunan po enačbi (4), postane uporabno, če upoštevamo tudi frekvenco modulacije.

Takšen pristop je izbran v standardu IEEE 1789-2015 in navodilih za njegovo uporabo, kjer je vrednotenje časovne nestalnosti oddane svetlobe svetlobnih virov in svetilk zasnovano na modulaciji, oz. odstotku flikerja in občutljivosti človeškega očesa na spremembe pri določeni frekvenci (slika 5).

Za tradicionalne svetlobne vire sta bili obe vrednosti za posamezne tehnologije znani, odstopanja in vrednotenje so začeli ocenjevati šele z večjim deležem uporabe elektronskih

predstikalnih naprav. Obe merili sta se uporabljali že v preteklosti, vendar le za vrednotenje utripanja svetlobe v ustaljenem obratovanju svetilk.



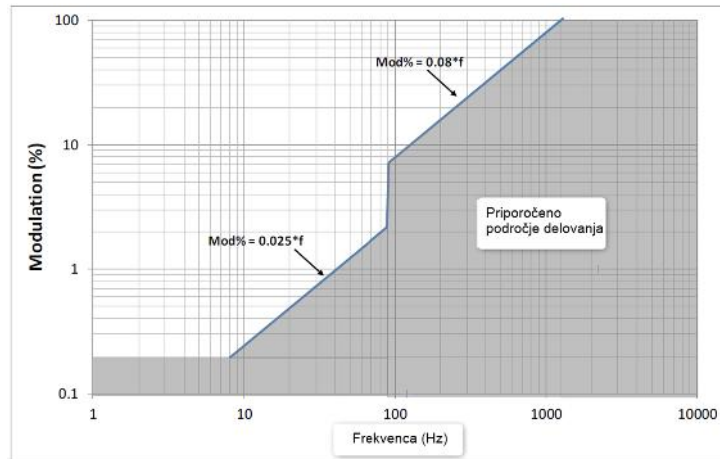
Slika 4: Potrebna velikost modulacije svetlobe, da jo udeleženci zaznajo v odvisnosti od frekvence modulacije [10]

IEC krivuljo, prikazano s črtkano krivuljo na sliki 4, lahko prikažemo v logaritemskem merilu na frekvenčni osi, in jo lineariziramo po odsekih. Na ta način dobimo 3 različna frekvenčna območja, prikazana na sliki 5, kjer mejo še sprejemljive modulacije zapišemo kot:

$$\begin{array}{ll}
 - M \% < 0,1 & \text{z } f < 5 \text{ Hz} \\
 - M \% < 0,025 \cdot f & 5 \text{ Hz} < f < 90 \text{ Hz} \\
 - M \% < 0,08 \cdot f & \text{z } f > 90 \text{ Hz}
 \end{array} \quad (3)$$

Velikost motnje, ki jo predstavlja utripanje svetlobe je odvisna od njene amplitude in frekvence utripanja in jo večinoma poznamo že iz karakteristik IEC flikermetra, le da, če vrednotimo neposredno svetlobo in ne spremembe napetosti, je frekvenca največje občutljivosti dvojna, torej 17,7 Hz. Potrebna modulacija, da udeleženci zaznajo utripanje svetlobe v odvisnosti od frekvence modulacije je prikazana na sliki 5 [10].

Standard IEEE 1789 je namenjen izključno vrednotenju flikerja zaradi svetlobnih virov napajanih s konstantno nazivno napetostjo, kar je v standardu tudi navedeno, kljub temu so rezultati primerni tudi za vrednotenje sprememb pri nižjih frekvencah, ki nastanejo zaradi motenj v napajalni napetosti. Skladnost dovoljenih mejnih vrednosti modulacije svetlobnega toka s trenutnimi vrednostmi flikerja dobljenimi z uporabo IEC flikermetra so bili potrjeni v več raziskavah [14], [15]



Slika 5: Mejne vrednosti sprejemljive modulacije, glede na frekvenco (IEEE 1789)[9]

3.2 Vrednotenje sprememb svetlobnega toka in svetilnosti zaradi kolebanja napajalne napetosti – flikermeter

Za vrednotenje učinka neperiodično spreminjajočega se svetlobnega toka na opazovalce je bil že pred desetletji vpeljan IEC flikermeter. Merilna metoda in postopek vrednotenja je prirejen za vrednotenje kolebanj napetosti in njenega učinka na spremembe svetlobnega toka referenčne žarnice z žarilno nitko. Izbrana je bila najbolj uporabljena žarnica, v ZDA 60W in 75W v delu sveta, ki uporablja višjo, 230 V napetost. V zadnjem desetletju so bili standardi za izdelavo in preverjanje flikermetrov toliko posodobljeni in odpravljene nekatere nejasnosti v delovanju, da so postali dostopni širši stroki in se ga je dalo enostavno dodati v skoraj vsako meritev trenutne napetosti, ki temelji na A/D pretvorbi.

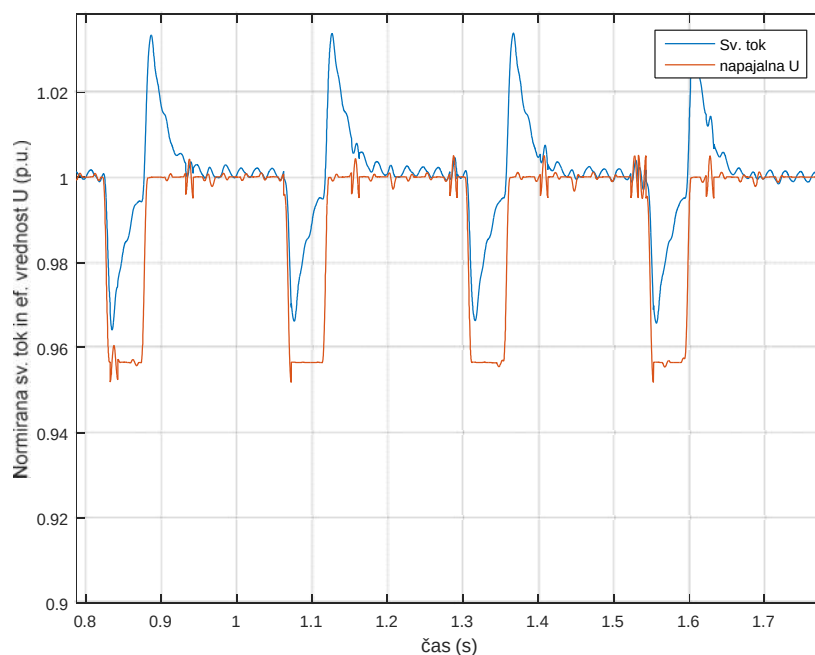
Za določanje učinka flikerja na opazovalce se uporablja potek demodulirane trenutne napajalne napetosti, oziroma odstopanja v efektivni vrednosti napetosti, računani na polovici periode. Ta neposredno vpliva na oddan svetlobni tok žarnice po enačbi (5). Učinek spreminjajoče se svetlobe v vidnem polju opazovalca se vrednoti glede na velikost spremembe in frekvenco pojavljanja motenj po znani krivulji na sliki 4.

Potek efektivnih vrednosti napajalne napetosti z vključeno motnjo in efektivnih vrednosti oddanega svetlobnega toka 40 W LED svetilke je prikazan na sliki 6.

$$\frac{aU}{U} = \left(\frac{aL}{L} \right)^{\gamma} \quad (5)$$

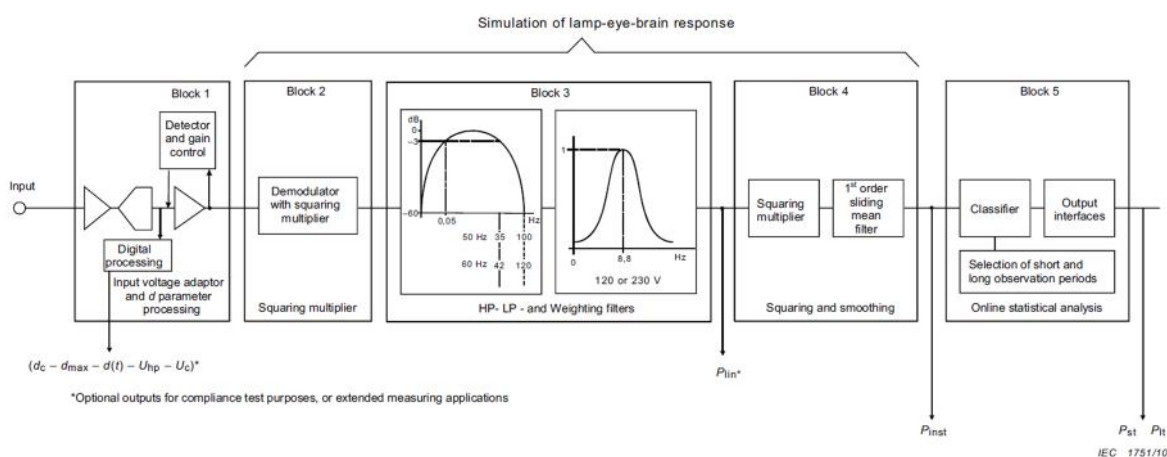
kjer je

- γ med 3,4 in 3,8 za referenčne žarnice,
- $\Delta U/U$ razmerje razlike med dvema zaporednima efektivnima vrednostima napetosti, proti nazivni vrednosti
- $\Delta L/L$ razmerje razlike v svetilnosti oz. svetlosti vira v tem obdobju proti nazivni vrednosti



Slika 6: Potek efektivne vrednosti napetosti s 50 ms trajajočo motnjo in odziv LED svetilke

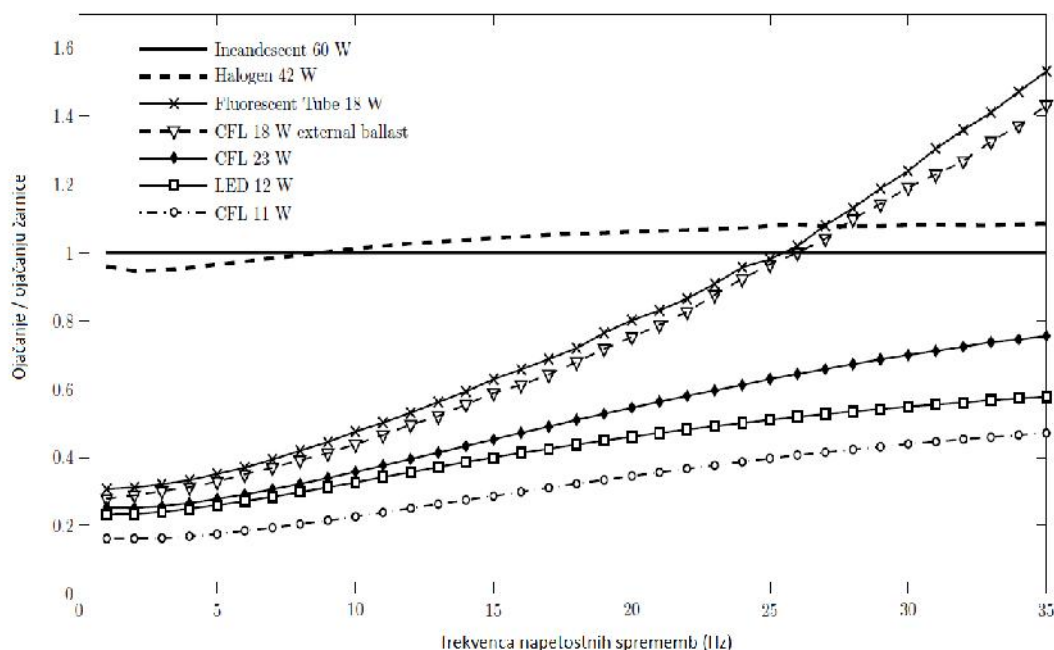
Poglavitna posebnost IEC flikermetra s svojo merilno metodo je, da lahko glede na rezultat statistično presodimo s kakšno verjetnostjo se lahko pojavijo neželeni neugodni ali celo moteči pojavi zaradi migotanja svetlobe. Izhod iz bloka 4 na sliki 7 je trenutna jakost flikerja P_{inst} , ki pri vrednosti 1 označuje mejo znosnosti migotanja svetlobe. Glede na pogostost pojavljanja motenj se nato izračunavata kratkotrajna (10 minutni) in dolgotrajna jakost flikerja.



Slika 7: Blokovni diagram IEC flikermetra [1], [3]

Glede na napetostni profil odjemnega mesta, lahko s pomočjo IEC flikermetra predvidimo, če in kako pogosto bo presežena še sprejemljiva mera jakosti flikerja. Ta odvisnost je bila zlahka predvidljiva in dokaj linearna dokler so bili svetlobni viri pretežno napetostna bremena. Že uveljavitev fluorescenčnih sijalk v poslovni in gospodinjstvi rabi je predstavljala težavo pri vrednotenju, saj je bila presoja sprejemljivosti flikerja vezana na odziv žarnice, elektronske

predstikalne naprave pa večinoma niso bile več predvidljivo odvisne od sprememb napetosti, odvisno od zasnove usmerniškega in krmilnega dela. Večinoma so svetlobni viri napajani z EPN manj občutljivi na spremembe napetosti, vendar ne vsi. Že nekatere kompaktne fluorescenčne sijalke, ki so se uporabljale pretežno v gospodinjstvih, so bile v omejenem frekvenčnem območju občutljivejše od žarnic z žarilno nitko [16]–[18].



Slika 8: Ojačenje spremembe svetlobnega toka pri spremembi napetosti v odvisnosti od frekvence za različne svetlobne vire [16]

Odziv razsvetljave z LED svetlobnimi viri in svetilkami je podobno nepredvidljiv, kakor odzivi drugi svetlobnih virov napajanih z EPN.

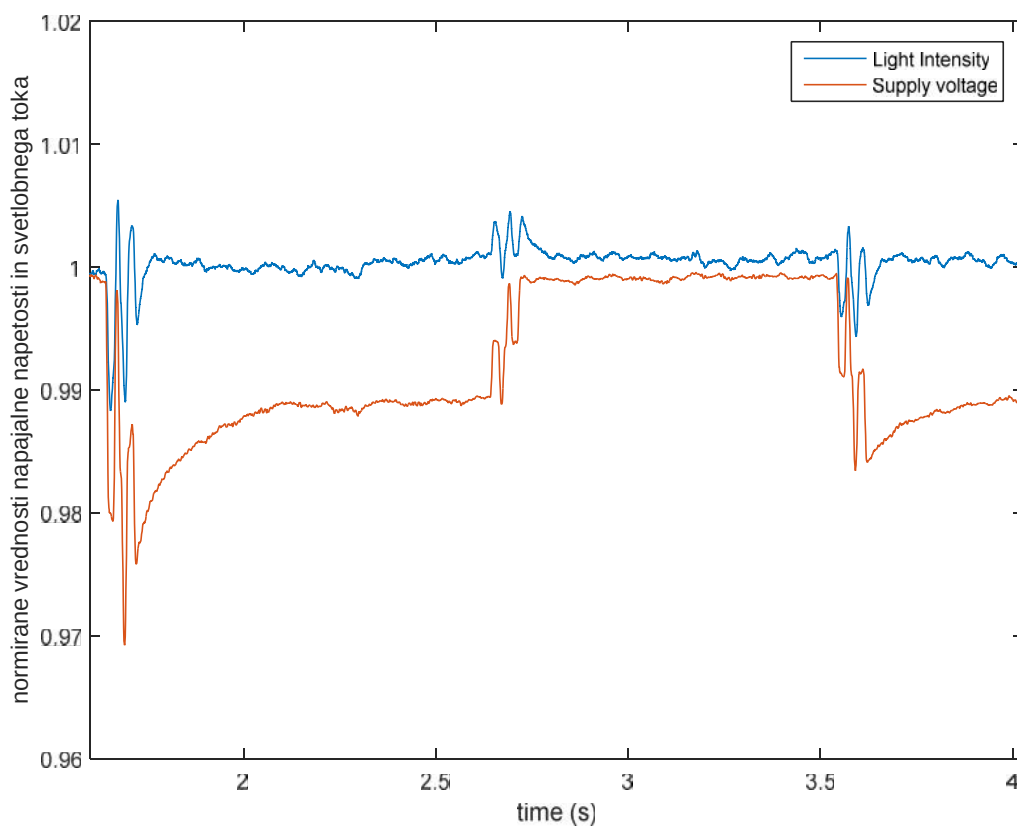
V zadnjem desetletju je bila narejenih kar nekaj poskusov, da bi v modelu IEC flikermetra zamenjali odziv žarnice z žarilno nitko z modelom, ki bi lahko predstavljal odziv sodobnih svetlobnih virov na kolebanje napetosti, kar je po svoje že v osnovi obsojeno na neuspeh. Kljub temu, da model žarnice v merilnem postopku (blok 4 IEC flikermetra) ne predstavlja več dejanskega učinka na zaznavanje jakosti flikerja, obstaja nekaj razlogov, da tega modela ne spreminjamo:

- sodobni svetlobni viri se lahko odzivajo na kolebanje napetosti zelo različno, od popolne imunosti do velike občutljivosti, odvisno od izvedbe usmerniškega in krmilnega vezja (driverja),
- odziv žarnice je pri malih spremembah linearen in napetostno odvisen, odziv EPN LED svetlobnih virov je lahko napetostno odvisen in deloma linearen, lahko pa tudi nelinearen ali celo brez odziva,
- IEC flikermeter je namenjen ocenjevanju kakovosti napetosti in ne ocenjevanju kakovosti razmer razsvetljave na delovnih mestih.

Tudi zadovoljive napetostne razmere po standardu EN 50160 ne pomenijo, da v lokalnem okolju ne bo prišlo do neželenih pojavov migotanja svetlobe.

Nekateri neželeni učinki so povezani tudi z delovanjem naprav v lokalnem okolju, kot so na primer pisarniški tiskalniki ali večnamenske naprave (fotokopirne naprave, optični čitalniki ali stroji v industrijskem okolju). Zagonski toki so omejeni po standardu IEC 61000-3-3, vendar se proizvajalci poslužujejo različnih načinov omejevanja toka, ki lahko pri občutljivih usmerniških vezjih v LED svetilkah povzročijo zelo moteče migotanje svetlobe.

Primer motečega flikerja je podan na sliki 9, ki prikazuje potek napajalne napetosti in svetlobnega toka v pisarni ob vklopu fotokopirne naprave v bližini. Izkazalo se je, da je nevtralni vodnik med lokalno razdelilno omarico in priključno elektro omarico v stavbi sicer zaradi starosti električnih inštalacij neustrezno dimenzioniran, vendar bi tudi v primeru ustreznega nevtralnega vodnika prišlo do neželenega flikerja, saj je tok naprave ob vklopu in med delovanjem moduliran s frekvenco v neugodnem območju.



Slika 9: Potek napajalne napetosti in svetlobnega toka svetilk ob vklopu pisarniške večopravilne naprave

3.3 Vrednotenje sprememb svetlobnega toka in svetilnosti – svetlobni flikermeter

Predvsem zaradi zadnje točke, torej, da je IEC flikermeter namenjen vrednotenju napetosti in ne razsvetljave, so bili v zadnjih letih razviti svetlobni flikermetri, kjer namesto prvih nekaj blokov v IEC flikermetru ki predstavljajo meritev napetosti in odziv žarnice na njeno kolebanje

merimo dejanske spremembe v svetlobi in jih vrednotimo glede na znan frekvenčni odziv na sliki 4. [10], [18].

Pristop meritve dejanskih časovnih sprememb svetlobe, namesto kolebanja napetosti sicer reši težave z modelom neobstoječega svetlobnega vira v merilni metodi pri čemer še vedno obdržimo vse prednosti merilne metode, kot je na primer statistično vrednotenje, vendar prinaša nekaj novih težav:

- pojavi se vprašanje, kaj bi želeli omejevati pri takšnem vrednotenju: odziv pri normalnem obratovanju, ali odzive na zunanje vplive;
- meritve dejanskega stanja na delovnih mestih bi pomenila prekinitev delovnega procesa,
- težko bi izključili zunanje vplive, kot so sence premikajočih se objektov, dnevna svetloba itd.

Svetlobni flikermeter bi torej bil laboratorijska naprava in ne more biti uporabljen za ocenjevanje migotanja svetlobe na delovnih mestih, za ta namen je dovolj, če poznamo odzive uporabljenih komponent razsvetljave, ki jih lahko učinkovito omejujemo z nekaj dodatnimi standardi.

4 Zaključki

LED tehnologije, ki uspešno zamenjujejo druge svetlobne vire na vseh področjih razsvetljave, imajo potencial, da ob pravilni izbiri uporabljenih komponent kot so usmerniška in krmilna vezja za napajanje svetlečih diod in krmiljenje njihovega delovanja postanejo imune na kolebanje napetosti. Vendar standardov za vrednotenje kakovosti napetosti še ne moremo spreminjati in zavreči delov, ki postavljajo omejitve za nizkofrekvenčne spremembe kot so ponori, kolebanje ipd., saj so uporabljene tehnologije usmerniških vezij, ki bi zagotavljale imunost, sicer znane in dosegljive, sorazmerno tem lastnostim pa je večja tudi njihova cena.

Spremembe tehnologije v razsvetljavi ne pomenijo izboljšav na vseh področjih, vsaj ne takojšnjih. LED tehnologije prinašajo ob mnogih dobrih lastnostih tudi nekaj sprememb kot tudi so možno utripanje svetlobe zaradi usmerniškega vezja in stroboskopski učinek, ki jih mora stroka najprej dobro razumeti in izbrati načine za njihovo omejevanje, zatem pa delo prepustiti službam za preverjanje skladnosti.

Ena izmed možnosti je striktno preverjanje imunosti na spremembe napajalne napetosti, kot so opisane v novih IEEE in IEC standardih za elektromagnetno združljivost in jih uzakoniti, podobno kot je to že storila na primer ena izmed zveznih držav v ZDA – Kalifornija.

Nekateri neželeni učinki so povezani tudi z delovanjem naprav v lokalnem okolju, kot so na primer pisarniški tiskalniki ali večnamenske naprave (fotokopirne naprave, optični čitalniki ali stroji v industrijskem okolju). Zagonski toki so omejeni po standardu IEC 61000-3-3, vendar se proizvajalci poslužujejo različnih načinov omejevanja toka, ki lahko pri občutljivih usmerniških vezjih v LED svetilkah povzročijo zelo moteče migotanje svetlobe.

5 Viri

- [1] International Electrotechnical Commission, "IEC 61000-3-3 ed. 3.0 B:2013. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits - Limitation of Voltage Changes, Voltage Fluctuations and Flicker in Public Low-voltage Supply Systems, for Equipment with Rated Current <16 A per Phase and not Subject to Conditional Connection." IEC Standard, 2013.
- [2] "IEEE Recommended Practice--Adoption of IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC)--Testing and measurement techniques--Flickermeter--Functional and design specifications," IEEE.
- [3] International Electrotechnical Commission, "IEC 61000-4-15 ed. 2.0 B: 2010. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications," IEC, Geneva, IEC Standard, 2017.
- [4] "Flicker: Understanding the New IEEE Recommended Practice," p. 26.
- [5] H. Ahn, S. Hong, and O. Kwon, "A Highly Accurate Current LED Lamp Driver With Removal of Low-Frequency Flicker Using Average Current Control Method," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 10, pp. 8741–8753, Oct. 2018.
- [6] P. Fang and Y.-F. Liu, "Energy Channeling LED Driver Technology to Achieve Flicker-Free Operation With True Single Stage Power Factor Correction," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 5, pp. 3892–3907, May 2017.
- [7] Y. Li, J.-W. Lim, and H.-J. Kim, "A Low-Cost Digital PWM-Controlled LED Driver with PFC and Low Light Flicker," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 6, pp. 2334–2342, Nov. 2015.
- [8] J. Bullough, K. Sweater Hickcox, T. Klein, and N. Narendran, "Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort," *Light. Res. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 337–348, Sep. 2011.
- [9] "IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers," IEEE.
- [10] D. Bodington, A. Bierman, and N. Narendran, "A Flicker Perception Metric," *Light. Res. Technol.*, vol. 48, no. 5, pp. 624–641, Aug. 2016.
- [11] D. L. Geiger and S. M. Halpin, "Flicker Limit Compliance Assessment in the Presence of Background Disturbances," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 33, no. 6, pp. 3028–3035, 2018.
- [12] M. Perz, "Modelling visibility of temporal light artefacts," p. 170.
- [13] J. D. Bullough, N. P. Skinner, and K. S. Hickcox, "Visual Task Performance and Perceptions of Lighting Quality Under Flickering Illumination," *J. Light Vis. Environ.*, vol. 37, no. 4, pp. 189–193, 2013.

- [14] M. Perz, D. Sekulovski, I. Vogels, and I. Heynderickx, "Quantifying the Visibility of Periodic Flicker," *LEUKOS*, vol. 13, no. 3, pp. 127–142, Jul. 2017.
- [15] K. R. Shailesh and T. Shailesh, "Review of photometric flicker metrics and measurement methods for LED lighting," in *2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India, 2017, pp. 1–7.
- [16] I. Azcarate, J. J. Gutierrez, A. Lazkano, P. Saiz, L. A. Leturiondo, and K. Redondo, "Sensitivity to flicker of dimmable and non-dimmable lamps," in *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, Graz, Austria, 2012, pp. 344–347.
- [17] W. L. Kling, J. F. G. Cobben, J. H. Blom, R. Cai, and J. M. A. Myrzik, "Flicker responses of different lamp types," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 3, no. 9, pp. 816–824, Sep. 2009.
- [18] J. J. Gutierrez *et al.*, "Sensitivity of modern lighting technologies at varying flicker severity levels," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 92, pp. 34–41, Nov. 2017.



Radenci, 28. marec 2019

REFERAT X

mag. Drago Pavlič, univ. dipl. inž. el

drago.pavlic@esotech.si

Esotech d.d.
IZS- MSE

NOVOSTI IN SPREMEMBE PRI PRENOVI PRAVILNIKA IN TEHNIČNE SMERNICE ZA NIZKONAPETOSTNE INŠTALACIJE

Povzetek

V letu 2017 je bila sprejeta nova zakonodaja s področja gradnje objektov v najširšem smislu. Glede na to, da se je ta zakonodaja pričela uporabljati v letu 2018, je bilo v vmesnem času sprejetih kar nekaj podzakonskih aktov. Zaradi spremenjenih razmer, zakonodajnih zahtev in pa precejšnjih sprememb na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij, še posebej glede na zadnje stanje tehnike na tem področju in strokovne trende ter potrebe uporabnikov, je bil neizbežen korak, ki je vodil k pripravi sprememb Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. [41/09 in 2/12](#)) in [pripadajoče tehnične smernice](#); TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije.

Dejstvo je, da se standardi spreminjajo hitreje, kot pa je možnost spreminjati smernice. Posledično se je od leta 2013 pojavilo kar nekaj novih sodobnih rešitev v povezavi z novimi tehnologijami, predstavljenih v standardih, ki jih bo potrebno vsaj v minimalnem obsegu vključiti v prenovljeno tehnično smernico.

Prispevek obravnava in opozori na ključne bistvene novosti, ki bodo vključene v prenovo Pravilnika za nizkonapetostne inštalacije. Prav so v prispevku prikazane vse ključne spremembe in dopolnitve pripadajoče tehnične smernice, kjer velja opozoriti med drugim na več novih poglavij, med drugim poglavje, ki govori o energijski učinkovitosti električnih inštalacij. Prav tako je v poglavje posebnih primerov električnih inštalacij dodano poglavje, ki obravnava smernice za polnilnice električnih avtomobilov v stavbah in pa tudi poglavje o fotonapetostnih elektrarnah, priključenih v nizkonapetostne električne inštalacije. Tovrstnih sprememb in novosti je seveda predvidenih še več, zato je prav, da se z njimi seznanimo.

Na tem mestu velja opozoriti, da sta v času nastajanja prispevka tako Pravilnik, kot tudi pripadajoča tehnična smernica z vsemi vključenimi spremembami še vedno v obravnavi, s strani delovne skupine so bili končni predlogi v mesecu februarju 2019 predani na resorno ministrstvo (MOP), ki bo sedaj izvedel nadaljnje korake do sprejema dokumentov. Za strokovno javnost je pomembna informacija, da se javna obravnava še ni pričela, zato je pričakovati, da bo v končnih in sprejetih dokumentih še sigurno kakšna sprememba.

1. UVOD

V letu 2017 je bila sprejeta nova zakonodaja s področja gradnje objektov v najširšem smislu. Glede na to, da se je ta zakonodaja pričela uporabljati v letu 2018, je bilo v vmesnem času sprejetih kar nekaj podzakonskih aktov. Zaradi spremenjenih razmer, zakonodajnih zahtev in pa precejšnjih sprememb na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij, še posebej glede na zadnje stanje tehnike na tem področju in strokovne trende ter potrebe uporabnikov, je bil neizbežen korak, ki je vodil k pripravi sprememb Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. [41/09 in 2/12](#)) in [pripadajoče tehnične smernice](#); TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije.

Pobuda za prenovo imenovanega Pravilnika se je nekako začela s sestankom o »boljši zakonodaji na elektro področju«, ki je potekal dne 12.10.2016 na Ministrstvu za gospodarski razvoj in tehnologijo (MGRT) na pobudo Inženirske zbornice Slovenije (IZS) in sicer njene Matične sekcije elektroinženirjev (MSE) in v sodelovanju z Elektrotehniško zvezo Slovenije EZS kot odgovor na dopis IZS glede predlogov po boljši zakonodaji na elektro področju.

Tega sestanka so se poleg predstavnikov IZS in EZS udeležili tudi predstavniki Slovenskega društva za geoelektriko, statično elektriko in strelovode (SDGSES), predstavniki Slovenskega inštituta za standardizacijo (SIST). Podanih je bilo kar nekaj pobud in sprejet je bil sklep, da se pripravi seznam predpisov, ki jih je potrebno posodobiti oz. na novo pripraviti.

Aktivnosti v zvezi s tem so nato stekle in tako je 15.3.2017 potekal sestanek koordinacijske skupine v širši sestavi, ki je pripravila bistvene povzetke problemov, nato pa je sledil dopis s strani IZS in EZS na MGRT, ki je vseboval podrobno problematiko in sicer sestavljeno iz sledečih sklopov; **tehniški predpisi, elektrotehniška zakonodaja in predpisi ter financiranje izdelave pravilnikov in uporabe standardov**. Dopis je bil poslan poleg MGRT-ju tudi Ministrstvu za javno upravo, Ministrstvu za infrastrukturo in na Ministrstvo za okolje in prostor. V dopisu je bilo opozorjeno, da prevelika deregulacija na področju elektrotehničnih predpisov ne dosega zelenega namena in je celo škodljiva za tehniko in tehnologijo vseh tehniških sistemov v družbi. Opozorjeno je bilo, da je pri pripravi Gradbenega zakona in Pravilnika o vsebini projektne dokumentacije zakonodajalec nezadostno upošteval ali celo zanemarjal tehniško in tudi elektrotehniško stroko. Tako imenovani novi način (New approach) predvideva samo pravilnike namenjene varnosti in kakovosti, posledično pa ministrstva ne podpirajo tehniških smernic. Situacija je v realnosti drugačna, posamezno področje (kot n.pr. Nizkonapetostne električne inštalacije) vsebuje izjemno število standardov (tudi do 50) in v teh primerih uporabniki poleg standardov potrebujejo tehniško smernico, ki ji »new approach« ni naklonjen, zato

zgolj sprejemanje pravilnikov s citiranjem standardov ne sme postati praksa, še posebej če standardi niso prevedeni in dostopni. IZS in EZS podpirata takšne tehnične smernice, ki so uporabne za širše področje uporabe (od monterja do projektanta in inšpektorja). Pri tem je potrebno povedati, da SIST nasprotuje izdajanju smernic in zavzema stališče ter meni, da bi tehnične smernice morale postati »nacionalne tehnične specifikacije«, ki bi jih seveda izdajal SIST, predpisi pa bi se potem nanje sklicevali na nakazovalni ali splošni način. V strokovnih združenjih se pri tem seveda postavlja vprašanje, kje bo SIST dobil dovolj strokovnjakov za pripravo teh dokumentov glede na to, da ima že pri prevajanju standardov težave v pomanjkanju strokovnjakov in finančnih sredstev.

S tem dopisom je bilo zavzeto tudi stališče, da je nujno potrebna prenova tehnične smernice TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije kakor tudi TSG-N-003:2013 Zaščita pred delovanjem strele in seveda hkrati njunih nadrejenih Pravilnikov.

Na ta način je bil v nadaljevanju sprožen pričetek prenove teh dokumentov na MOP, ki je pooblastil EZS, da v okviru postopka prenove vodi celoten postopek do predaje končnih predlogov za javno obravnavo na MOP.

2. PRENOVA PRAVILNIKA ZA NIZKONAPETOSTNE ELEKTRIČNE INŠTALACIJE

Uvodoma je že bilo povedano, da je bil v letu 2017 sprejet nov Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. [61/17](#)), ki se je pričel uporabljati s 1. junijem 2018.

Gradbeni zakon je posegel direktno tudi v Pravilnik za nizkonapetostne električne inštalacije, saj če pogledamo samo prehodne določbe tega zakona, lahko ugotovimo, **da je sprejeti zakon v 122. členu razveljavil 15. člen** Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 41/09 in 2/12), kateri je pojasnjeval in opredelil inšpekcijski nadzor. Z ukinitvijo tega člena so bile tudi ukinjene naloge inšpekcije in inšpektorjev, pristojnih za energetiko ter inšpektorjev, pristojnih za požarno varnost. Je res, da se ta ukinitvev uporablja do uskladitve zakonov, s katerimi se v skladu s tretjim odstavkom 8. člena Gradbenega zakona ureja pristojnost inšpektorjev na posameznem delovnem področju.

Hkrati je Gradbeni zakon v 123. členu podaljšal veljavnost izvršilnih predpisov, med drugim tudi Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 41/09 in 2/12).

Glede na dejstvo, da se standardi spreminjajo hitreje (včasih v povprečju na 5 let, sedaj že na 2 leti), kot pa je možnost spreminjati smernice in da je od zadnje izdaje smernice poteklo že 5 let, je bilo pravzaprav nujno pristopiti k posodobitvi smernice in prav tako tudi v naslovu imenovanega Pravilnika. Dejstvo je tudi, da se je od leta 2013 (sprejetje Pravilnika in Smernice) postavilo kar nekaj novih sodobnih rešitev v povezavi z novimi tehnologijami, predstavljenih v standardih, ki jih bo potrebno vsaj v minimalnem obsegu vključiti v prenovljeno tehnično smernico, kar pa mora omogočiti posodobljeni Pravilnik.

2.1. KLJUČNE SPREMEMBE PRI PRENOVI PRAVILNIKA

Gradbeni zakon v 24. členu opredeljuje podrobnejšo določitev bistvenih in drugih zahtev, ki jih pristojni minister predpiše v ustreznih predpisih. Ti predpisi se lahko sklicujejo na standarde ali tehnične smernice oziroma določijo, da velja domneva skladnosti z zahtevami predpisa, če ustreza zahtevam v njem navedenih standardov ali tehničnih smernic. V nadaljevanju zakon v istem členu opredeljuje tudi metode in postopek, v katerem se dokaže, da projekt, v katerem je projektant uporabil rešitve zadnjega stanja gradbene tehnike, zagotavlja vsaj enako stopnjo zanesljivosti kot projekt, pripravljen z uporabo tehničnih smernic in obveznih ali priporočenih standardov. V ta namen je bil pripravljen predlog sprememb Pravilnika, ki je bil v večini že usklajen z MOP, tako da večjih sprememb ni pričakovati.

Prva sprememba v predlogu Pravilnika je že v 1. členu, ki govori o vsebini in uporabi pravilnika. Namreč do sedaj je v pravilniku zapisano, da le ta določa zahteve, s katerimi se zagotavlja varnost nizkonapetostnih električnih inštalacij in naprav (kar skupaj obravnavamo v pravilniku, kot električne inštalacije) v stavbah. V novem predlogu je namesto naprav dodano »**na inštalacije trajno povezane naprave in oprema**«, ki bistveno spremeni pogled na načrtovanje električnih inštalacij.

Glede na to, da je v Pravilniku navedeno, da se le ta uporablja pri projektiranju in gradnji novih stavb in rekonstrukciji obstoječih stavb ter njihovem vzdrževanju, je bilo v postopku usklajevanja ugotovljeno, da je nejasno podana vsebina, zato je bilo v predlog novega Pravilnika dodana uporaba le tega **tudi za druge vrste posegov v obstoječe električne inštalacije**.

Pri opredelitvi izrazov je v 3.členu predloga Pravilnika dodano, **da naprave in oprema lahko proizvajajo in shranjujejo električno energijo**, kar bo podrobno opredeljeno v tehnični smernici. S tem se opredeljujejo nove tehnologije, ki jih mora upoštevati tako Pravilnik kot tehnična smernica. Prav tako je v tem členu dodana opredelitev električnih inštalacij, ki jih predlog Pravilnika **loči na zahtevne in manj zahtevne nizkonapetostne električne inštalacije**.

Pri tem se je razvnela strokovna razprava, saj ločevanje na manj zahtevne in zahtevne nizkonapetostne električne inštalacije, ki je opredeljeno v predlogu Pravilnika v elektrotehniških predpisih nima nobene tehnične podlage. Tudi v sedaj veljavnem Pravilniku imamo opredeljene nizkonapetostne električne inštalacije z nazivno izmenično napetostjo do vključno 1000 V oziroma z nazivno enosmerno napetostjo do vključno 1500 V.

V strokovnih krogih se je razvnela polemika, da je delitev električnih inštalacij na manj zahtevne in zahtevne le plod administrativnih ovir in zaslužkarstva pri opredelitvi preglednikov, čeprav je to na koncu le merilec električnih inštalacij. Zaenkrat je ta delitev ostala v predlogu Pravilnika, čeravno je bila stroka pri tem precej razdeljena.

V predlogu Pravilnika ostaja enaka zahteva glede prepovedi strožjih zahtev glede varnosti ob izdaji soglasja o priključitvi in izvedbi priključitve objekta na distribucijsko omrežje s strani sistemskega operaterja distribucijskega omrežja (SODO), kakor tudi ostaja prepoved predpisovanja vrste in izvedbe zaščite pred električnim udarom.

Prav tako je praktično enako opredeljena uporaba tehnične smernice, kjer je v predlogu Pravilnika v 7. členu ponovno opredeljena izdaja tehnične smernice TSG-N-002 Nizkonapetostne električne inštalacije s strani pristojnega Ministrstva.

Predlog Pravilnika še vedno v 8. členu dopušča uporabo rešitev (pri projektiranju, izvedbi ali vzdrževanju) v skladu z zadnjim stanjem gradbene tehnike, pri čemer mora biti zagotovljena izpolnitev zahtev Pravilnika in vsaj enaka stopnja varnosti, kot če bi uporabili tehnično smernico. Pri tem je potrebno upoštevati tudi zahteve Gradbenega zakona. Velja opozoriti, da je bilo veliko polemike glede izraza »stanje gradbene tehnike«, kjer je bilo podanih kar nekaj predlogov in obrazložitev, da se v tem izrazu opusti pojem gradbene, torej bi se uporabljal samo izraz »stanje tehnike«.

Glede na ugotovitve prakse pri uporabi Pravilnika, je bil v predlogu Pravilnika **dodan 8a. člen, ki opredeljuje izvajalca preverjanja**, katerega naloge so opredeljene v 9. in 11. členu predloga Pravilnika. Tako je v tem členu opredeljeno, **da naloge, povezane s preverjanji električnih inštalacij** smejo opravljati le posamezniki s pridobljeno nacionalno poklicno kvalifikacijo (NPK) za preverjanje zahtevnih električnih inštalacij in nacionalno poklicno kvalifikacijo za preverjanje manj zahtevnih električnih inštalacij. Še posebej je tem členu navedeno, da so v pripadajoči tehnični smernici v poglavju 12. Preverjanje ustreznosti podane podrobne pristojnosti za preverjanja nizkonapetostnih električnih inštalacij. Posebej je v predlogu Pravilnika v tem istem členu opredeljeno tudi **preverjanje električnih inštalacij pri eksplozijsko ogroženih objektih oziroma prostorih**. Te naloge lahko opravljajo le posamezniki s pridobljeno NPK za preverjanje zahtevnih električnih inštalacij ob prisotnosti pooblaščen osebe lastnika za delo v eksplozivnem okolju. Prav tako so v tem členu opredeljeni pogoji za opravljanje nalog preverjanja električnih inštalacij državljanov drugih držav.

Novost v predlogu Pravilnika je tudi **v imenovanju izvajalca preverjanja**, kjer je v 9. členu Pravilnika določeno, **da mora investitor pred pričetkom izvajanja del** zagotoviti imenovanje izvajalca preverjanja. Pri gradnji istega objekta izvajalec preverjanja ne more biti hkrati v vlogi nadzornika. Prav tako je opredeljena novost, da **mora izvajalec preverjanja za novo izvedene električne inštalacije** ob sodelovanju nadzornika **v vseh fazah gradnje opraviti vizualni pregled, preskus in meritve**

vgrajenih električnih inštalacij in ne samo po končanih delih, kot je to sedaj opredeljeno v veljavnem Pravilniku.

Na tem mestu velja opozoriti, da je del stroke želel uveljaviti v predlog Pravilnika določbo, da mora prvo preverjanje izvajati zgolj preglednik zahtevnih električnih inštalacij, kar je bilo nesprejemljivo za enostavne in nezahtevne objekte, še posebej, če govorimo o nezahtevnih električnih inštalacijah (kot so bile opredeljene na vztrajanje dela stroke). Del stroke je v tem delu predlagal, da bi zahteva za prve preglede veljala zgolj za manj zahtevne in zahtevne objekte po Uredbi o razvrščanju objektov (Ur. list RS št. 37/2018).

Tudi v 11. členu predloga Pravilnika, ki obravnava redna in izredna preverjanja, je uvedenih kar nekaj sprememb. Predvsem se je spremenil rok za redno preverjanje električnih inštalacij v stavbah iz 8 na 16 let. Pri tem pa je predlog **Pravilnika omejil redno preverjanje za stavbe, ki so v javni rabi, na 8 let**. Posebej so opredeljena preverjanja za stavbe, kjer se skladiščijo eksplozivi oziroma imajo prostore s potencialno eksplozivno atmosfero. V tem primeru je potrebno ravnati skladno s predpisi, ki urejajo protiekspluzijsko zaščito, **zato je opredeljeno izvajanje rednih preverjanj enkrat na leto, vizualni pregledi pa se morajo izvajati vsakih 6 mesecev**.

Novost v tem členu je redno preverjanje električnih inštalacij v stavbah ali električno zaključenih celotah, ki imajo na nizkonapetostno inštalacijo **priključene naprave za proizvodnjo in hranjenje električne energije, ki mora biti izvajano v rokih, ki niso daljši od 8 let**. V kolikor pa imajo stavbe na nizkonapetostno inštalacijo **priključene polnilnice električnih vozil, je treba redna preverjanja izvajati v rokih, ki niso daljši od 4 let, najmanj na pol leta pa je potrebno izvajati vizualni pregled**.

Prav tako **se izredno preverjanje opravi po priključitvi novih naprav za proizvodnjo in hranjenje električne energije**, ki lahko vplivajo na varnost.

Navedba podlage za projektiranje (13. člen) ostaja praktično enaka, s tem da je v predlogu Pravilnika zahteva usklajena z veljavno gradbeno zakonodajo. Sprememba pa se pojavi v 14. členu, ki govori o obveznosti preverjanja dokumentacije za izvedbo gradnje. Gradbeni zakon in njegovi podzakonski akti so namreč ukinili pojem revizija, zato se je v tem členu pojavil pojem preverjanja dokumentacije za izvedbo gradnje. Postavljeni so pogoji, kdo lahko izvede to preverjanje in je posebej poudarjeno, da za potrebe projektanta lahko preverjanje opravi le pooblaščen inženir elektrotehniške stroke. Prav tako so opredeljene poslovne relacije med projektantom in pooblaščenim inženirjem, ki opravlja preverjanje. Velja poudariti, da ostaja predmet preverjanja in pa zapisnik o preverjanju praktično enak, kot je opredeljeno v veljavnem Pravilniku.

Kot je običajno, ima predlog Pravilnika tudi končne in prehodne določbe, ena izmed njih se nanaša na obstoječe stavbe, zgrajene pred 16.6.2009.

3. PRENOVA TEHNIČNE SMERNICE TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije

Neizpodbitno dejstvo je, kar sem že omenil v prejšnjem poglavju, da se standardi spreminjajo hitreje (včasih v povprečju na 5 let, sedaj že na 2 leti), kot pa je možnost spreminjati smernice in da je od zadnje izdaje smernice poteklo že 5 let, zato je bilo s stališča stroke nujno pristopiti k posodobitvi v naslovu tega poglavja imenovane smernice. Dejstvo je tudi, da se je od leta 2013, ko je bila sprejeta sedaj veljavna tehnična smernica TSG-N-002, postavilo kar nekaj novih sodobnih rešitev v povezavi z novimi tehnologijami, predstavljenih v standardih, ki jih je potrebno vsaj v minimalnem obsegu vključiti v prenovljeno tehnično smernico. S strani MOP je bila za nosilca prenove smernice izbrana EZS, pri prenovi pa so aktivno sodelovali predstavniki IZS-MSE, predstavniki SDGSES in OZS, kakor tudi zainteresirana strokovna javnost. Skupina je delo na prenovi zaključila v mesecu januarju 2019, nato pa je s strani EZS dne 5.2.2019 na MOP bil poslan osnutek prenovljene Tehnične smernice. Vodenje nadaljnje aktivnosti v zvezi z obnovo, ki izhaja iz osnutka, sedaj vodi MOP, pri tem bo aktivno sodelovala še EZS. Pričakovati je, da bo v kratkem objavljena javna razprava, v kateri bo MOP pozval k razpravi in dopolnitvi predloga smernice strokovno javnost (v času priprave tega referata se javna razprava še ni pričela).

V sedaj še veljavni obravnavani tehnični smernici je že v uvodnem poglavju (poglavje 0.1.1 Zakonska podlaga za izdajo tehnične smernice) sklic na neveljaven Zakon o graditvi objektov, kar je še en razlog več, da je bila prenova smernice nujna. V osnutku Tehnične smernice sledeča poglavja niso bila (zaenkrat) korigirana, saj se bodo posodobila, ko bo sprejet nov Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije:

- poglavje 0.1.1; Zakonska podlaga za izdajo tehnične smernice
- poglavje 0.1.2; Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah - Pravni okvir delovanja smernice
- poglavje 0.1.3; Pravne posledice (ne)uporabe tehnične smernice

3.1. KLJUČNE SPREMEMBE PRI PRENOVI TEHNIČNE SMERNICE

Od sprejetja tehnične smernice v letu 2013, pa do danes, je bilo na področju predpisov in standardov ter drugih dokumentov sprejetih cela vrsta novih dokumentov, ki so v predlogu prenovljene Tehnične smernice v poglavju **0.2 Referenčni dokumenti** tudi navedeni. Tako so v poglavju **0.2.1 Predpisi** navedeni sledeči novi pomembnejši predpisi (niso naštet predpisi, ki so samo dopolnjeni, so pa sicer zajeti v seznamu v smernici):

- Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17- popr.),
- Energetski zakon (Uradni list RS, št. 17/14 in 81/15),
- Uredba o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 37/18),
- Pravilnik o omogočanju dostopnosti električne opreme na trgu, ki je načrtovana za uporabo znotraj določenih napetostnih mej (Uradni list RS, št. 39/16),
- Pravilnik o elektromagnetni združljivosti (Uradni list RS, št. 39/16),
- Pravilnik o tehniških normativih za zaščito nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih transformatorskih postaj (Uradni list RS, št. 90/15),
- Pravilnik o protieksplzijski zaščiti (Uradni list RS, št. 141/16),
- Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo objektov (Uradni list RS, št. 36/18),
- Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije (Uradni list RS, št. 97/15 in 32/18),
- Pravilnik o tehničnih zahtevah naprav za samooskrbo z električno energijo iz obnovljivih virov energije (Uradni list RS, št. 01/16 in 46/18),
- Pravilnik o zaščiti nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih transformatorskih postaj (Uradni list RS, št. 90/15),
- Uredba o vzpostavitvi infrastrukture za alternativna goriva v prometu (Uradni list RS, št. 41/17),
- In še kar nekaj pomembnejših pravilnikov.

V nadaljevanju so v poglavju **0.2.2 Standardi** navedeni sledeči novi pomembnejši standardi, ki jih v do sedaj veljavni smernici ni ali pa so pomembno spremenjeni (niso pa naštet standardi, ki so samo spremenjeni, so pa sicer zajeti v seznamu v smernici):

- SIST EN 1838; Razsvetljava – Zasilna/nujnostna razsvetljava,
- SIST 1050; Dimenzijske zahteve za vtiče in vtičnice za hišno in podobno uporabo,
- SIST EN 50549-1; Zahteve za vzporedno vezavo generatorskih postrojev z javnim razdelilnim omrežjem - 1. del: Priklop na nizkonapetostno razdelilno omrežje - Generatorski postroji do vključno tipa A,
- SIST EN 50549-1-2; Zahteve za vzporedno vezavo generatorskih postrojev z javnim razdelilnim omrežjem - 1. del: Priklop na nizkonapetostno razdelilno omrežje - Generatorski postroji do vključno tipa B,
- SIST EN 50575; Elektroenergetski, krmilni in komunikacijski kabli - Kabli za splošno uporabo za gradbena dela glede na zahteve za odpornost proti požaru,
- SIST EN 60079-14; Eksplozivne atmosfere- 14. del: Načrtovanje, izbira in namestitvev električnih inštalacij,
- SIST EN 60079-17; Eksplozivne atmosfere- 17. del: pregledovanje in vzdrževanje električnih inštalacij,
- SIST EN 60079-19; Eksplozivne atmosfere- 19. del: Popravilo obnova in remont opreme,
- SIST EN 60364; Nizkonapetostne električne inštalacije- vsi deli posodobljeni,
- SIST EN 60364-7-704; Nizkonapetostne električne inštalacije - 7-704. del: Zahteve za posebne inštalacije ali lokacije – Gradbišča,
- SIST HD 60364-8-1; Nizkonapetostne električne inštalacije - 8-1. del: Energijska učinkovitost,

- SIST HD 60364-8-2; Nizkonapetostne električne inštalacije - 8-2. del: Nizkonapetostne električne inštalacije proizvajalcev- odjemalcev,
- SIST EN 60898-2; Električni pribor - Odklopniki za nadtokovno zaščito za gospodinjstvo in podobne inštalacije - 2. del: Odklopniki za izmenično in enosmerno napetost,
- SIST EN 60947-1; Nizkonapetostne stikalne naprave – 1. del: Splošna pravila,
- SIST EN 60947-2; Nizkonapetostne stikalne naprave – 2. del: Odklopnik,
- SIST EN 60947-3; Nizkonapetostne stikalne naprave – 3. del: Stikala, ločilniki, ločilna stikala in stikalni aparati z varovalkami,
- SIST-TP IEC/TR 61439-0; Sestavi nizkonapetostnih stikalnih in krmilnih naprav - 0. del: Navodila za specificiranje sestavov,
- SIST EN 61439; Sestavi nizkonapetostnih stikalnih in krmilnih naprav- vsi deli,
- SIST EN 61851-1; Sistem za polnjenje električnih vozil prek kabla - 1. del: Splošne zahteve,
- SIST EN 61851-21; Sistem za polnjenje električnih vozil prek kabla - 21. del: Zahteve električnega vozila pri kabelski priključitvi na izmenično/enosmerno napajanje,
- SIST EN 61851-22; Sistem za polnjenje električnih vozil prek kabla - 23. del: Postaja za kabelsko polnjenje električnega vozila z izmeničnim tokom,
- SIST EN 61851-23; Sistem za polnjenje električnih vozil prek kabla - 23. del: Postaja za kabelsko polnjenje električnega vozila z enosmernim tokom,
- SIST EN 62446-1; Fotonapetostni sistemi- Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje- 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje- Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor,
- SIST EN IEC 62485-2; Varnostne zahteve za sekundarne baterije in baterijske naprave- 2. del: Nepremične baterije,
-

Za projektiranje in gradnjo novih električnih inštalacij se vedno upošteva zadnje stanje tehnike, kar mora biti tudi navedeno na projektni dokumentaciji. Odstopanja od zahtev pravilnika, njemu pripadajoče smernice oziroma standardov, morajo biti potrjena in dokumentirana.

Novost je dodana v poglavju **0.2.3 Smernice in drugi dokumenti**, kjer so poleg smernic dodana tudi priporočila EZS in sicer;

- Priporočilo EZS; Agregati za rezervno napajanje; EZS TPR-02-2013,
- Priporočilo EZS; Uporaba premičnih agregatov za zasilno nadomestno napajanje družinskih hiš in kmetij; EZS TPR-5-2018

Velja opozoriti, da je v strokovnih krogih potekala tudi razprava ali vključiti med smernice tudi Prostorsko tehnično smernico TSG-12640-001: 2008 za zdravstvene objekte. Ugotovljeno je bilo, da je Ministrstvo za zdravje v letu 2018 objavilo javni razpis za izbiro izvajalca za prenovu te smernice in bo le ta prenovljena skladno s razpisom najhitreje proti koncu leta 2019. Zato je v delovni skupini bilo sprejeto, da je dovolj, da je v osnutku Tehnične smernice navedba standarda SIST HD 60364-7-710; Nizkonapetostne električne inštalacije – 7-710. del: Zahteve za posebne inštalacije ali lokacije – Medicinski prostori med referenčnimi dokumenti, ostale posebne zahteve

glede na namen in izvedbo električnih inštalacij pa naj pripravijo pripravljavci Prostorske smernice za zdravstvene objekte.

Pri opredeljevanju pomena izrazov (poglavje **0.3 Pomen izrazov**) se je podrobno opredelil izraz »električna inštalacija« in sicer z dodatnim (sodobnim) izrazom »informacijsko komunikacijska inštalacija (IKI)«, ki je splošen izraz za električne povezave in opremo praviloma male napetosti, ki je namenjena prenašanju podatkov upravljanju, prenašanju avdio / video signalov povezavi naprav informacijske tehnologije, signalizaciji, idr. in ni neposredno povezana z električno inštalacijo (in nadomešča oz. razširja v preteklosti splošen izraz »šibkotočna inštalacija«). V osnutku Pravilnika je v 9. členu omenjen izraz »ocena združljivosti«, zato je bilo nujno potrebno ta izraz pojasniti v osnutku Tehnične smernice in pomeni pregled skladnosti izvedenih priključkov na električno inštalacijo objekta z ozirom na projektne rešitve oz. projektna izhodišča.

Glede na to, da je bila v osnutku Pravilnika vpeljana delitev električnih inštalacij na zahtevne in manj zahtevne, je bilo potrebno dopolniti tudi izraze, kjer se je pri zahtevnih nizkonapetostnih električnih inštalacijah dopolnil izraz z definicijo le teh, za inštalacije nameščene v stavbah z nameščenim lastnim virom za proizvodnjo električne energije. Stroka glede delitve in kriterijev ni bila enotna, zato je v javni razpravi pričakovati dodatne predloge. V nadaljevanju je nato pojasnjeno, kaj je to in sicer; Objekti z lastnim električnim napajanjem ali pretvarjanjem so objekti, v katerih trajno poteka napajanje električne inštalacije v posredni povezavi z omrežjem z lastnim proizvodnim virom električne energije, namenjenem za lastno potrošnjo ali oddajanje energije v električno omrežje (dizelski električni agregati, sončne elektrarne, obnovljivi viri energije, vodne elektrarne, vetrne elektrarne, bioplinarne, hranilniki električne energije in tiste UPS naprave, nad nazivno navidezno močjo 41 kVA ipd.). V to skupino spada (celotni) glavni električni razvod inštalacij in povezanih delov ozemljitvenega sistema v objektih (stavbah), v katerih je nameščena transformatorska postaja.

Prav tako je glede na izraz » Električno zaključena celota«, ki se pojavlja v osnutku Pravilnika, bilo potrebno le tega pojasniti v smernici. Izraz je v predlogu pojasnjen na sledeči način; Električno zaključena celota inštalacije pomeni za nove objekte kar obsega PZI (projekt za izvedbo, popravljen ali dopolnjen) oziroma PID (projekt izvedenih del). Pred preverjanjem električne inštalacije v objektu mora lastnik objekta zagotoviti posnetek obstoječega stanja električnih inštalacij.

To je bistvena novost, ki bi naj odpravila težave preglednikov v praksi.

V izrazih so podrobno pojasnjeni tudi sledeči izrazi; Elektroenergetska naprava, Naprava za proizvodnjo električne energije, Hranilnik električne energije, Razdelilnik itd.

Med izrazi je opredeljenih nekaj novih izrazov s področja e-mobilnosti. Na novo je pojasnjen tudi izraz »Polnilno mesto«, ki pomeni vmesnik, preko katerega je mogoče polniti eno električno vozilo ali zamenjati baterijo enega električnega vozila.

Pojasnjena sta tudi izraza »običajno polnilno mesto« in »polnilno mesto visoke moči«. Običajno polnilno mesto pomeni polnilno mesto, ki omogoča prenos električne energije na električno vozilo z močjo, ki je manjša ali enaka 22 kW, razen naprav z močjo, manjšo ali enako 3,7 kW, ki so nameščene v zasebnih gospodinjstvih in niso dostopne javnosti. Polnilno mesto visoke moči pa pomeni polnilno mesto, ki omogoča prenos električne energije na električno vozilo z močjo, večjo od 22 kW.

V poglavju **1. Namen in področje uporabe** je posebej dodatno opredeljeno, kje se Tehnična smernica ne uporablja in sicer je dodano za drugo električno opremo od priključnih sponk naprej. S tem je bilo dodatno pojasnjeno, katera električna oprema je predmet obravnave po tej smernici in kje je meja.

Nekaj korekcij oz. dopolnitev je bilo izvedeno tudi v poglavju **3. Zahteve za projektiranje in izvedbo nizkonapetostnih električnih inštalacij**. V splošnem delu tega poglavja sta bili podani dve dodatni zahtevi in sicer:

- Za projektiranje električne inštalacije je treba upoštevati pogoje, kot jih poda upravljalca distribucijskega omrežja. Med pogoji je podan tudi sistem ozemljitve, s katerim distributer zagotavlja varno delovanje nizkonapetostne inštalacije tudi v primeru kratkih stikov na visokonapetostni strani napajalnega sistema. Nevarna napetost, ki se v omenjenem primeru lahko pojavi na nizkonapetostni strani je predmet distributerja in se nanjo s projektom nizkonapetostnega dela električne inštalacije ne da vplivati niti je ne more preglednik oceniti da bi vplivala na rezultat pregleda.
- V nizkonapetostni električni inštalaciji, na katero so priključene naprave za proizvodnjo in shranjevanje električne energije, je pri določitvi in dimenzioniranju zaščite pred električnim udarom in preobremenitvami vodnikov potrebno upoštevati spremenjene pretoke električne energije, različna obratovalna stanja, v katerih deluje inštalacija ter predvsem okvare, ki se lahko v nizkonapetostni električni inštalaciji pojavijo.

Velja omeniti dopolnitev v podpoglavju **3.2.2. Načini napeljave/položitve kablov**, kjer je dodana zahteva za polaganje informacijsko komunikacijskih inštalacij ločeno od električnih inštalacij, pri čemer je zahtevana najmanjša razdalja brez pregrad 200 mm, če pa se uporablja zaprti jekleni parapet z debelino sten 1,5 mm pa je razdalja lahko tudi 0 mm. Pri tem pa se smernica skliče tudi na standard, v katerem so podane podrobnejše zahteve. Prav tako je na mestu opozorilo za dopolnitev podpoglavja **3.2.3. Dimenzioniranje vodnikov**, kjer je bila dodana zahteva glede upoštevanja preobremenitve ter okvarnih stanj v primerih, ki se lahko pojavijo, ko so na nizkonapetostno električno inštalacijo priključene naprave za proizvodnjo in shranjevanje električne energije. Prav tako je v smernici podan napotek, da

podrobnejše zahteve za najmanjše prereza vodnikov opisuje standard SIST HD 60364-5-52.

V poglavju **3.6.2. Napisne ploščice na razdelilnikih** je podana zahteva, da je pred izdajo izjave o skladnosti za razdelilnik in najkasneje pred začetkom njegovega obratovanja treba preveriti oznake na sestavu, dokumentacijo, identifikacijo naprav in sestavnih delov, kar za razdelilnik poda njegov proizvajalec.

Vse do 8. poglavja so bile v osnutku Tehnične smernice izvedene le manjše korekcije, ki so vezane na spremembo v standardih, napake v še sedaj veljavni smernici ali pa dodatna pojasnila.

Precejšnjo prenovo je doživelo poglavje **8. Električni razdelilniki**, saj je bil upoštevan standard SIST EN 61439 z vsemi njegovimi deli. V smernici je sedaj pojasnjena razlika med proizvajalcem (izvirnim) sestava in izdelovalcem sestava (inštalater). Če je pred izdelan razdelilnik vgrajen in uporabljen po navodilih proizvajalca (izvirnega), potem zanj veljajo specifikacije, kot jih podaja in zanje garantira proizvajalec, v primeru dodelav oziroma predelav takega razdelilnika, nepravilne vgradnje ali nepravilne uporabe pa za pravilno delovanje razdelilnika odgovarja inštalater/ izdelovalec sestava. Ne glede na proizvajalca/ izdelovalca/inštalaterja morajo razdelilniki v predvidenem okolju ustrezati konstrukcijskim zahtevam in lastnostim, ki so v predlogu smernice natančno navedene. Prav tako je pojasnjeno, da je glede na področje uporabe za razdelilnike treba pri zahtevah upoštevati osnovni standard SIST EN 61439-1 in del iz serije standardov, ki pokriva posamezno področje uporabe.

Zahteve glede izvedbe električnega razdelilnika so podane v poglavju **8.2 Izvedba električnega razdelilnika**. Za zagotovitev pravilnega delovanja in uporabo električnega razdelilnika morajo biti podane karakteristike, ki so v tem podpoglavju natančno opisane. S tem je v smernici uvedenih kar nekaj novih pojmov ter zahtev, kot na primer:

- naznačena napetost sestava U_n , mora biti najmanj nazivna napetost električnega sistema,
- naznačena napetost izolacije U_i (napetost, na katero se nanašajo napetosti za preizkus napetostne vzdržnosti ter plazilne razdalje in mora biti enaka ali višja od U_n , oziroma U_e (naznačena napetost tokokroga v sestavu) za isti tokokrog),
- naznačen tok sestava I_nA (je manjši od naznačenega toka dovodnih tokokrogov)
- naznačen pogojni kratkostični tok sestava $I_{ca}()$,
- naznačen pogojni kratkostični tok tokokroga v sestavu $I_{cc}()$,
- naznačen faktor sočasnosti RDF (glej tabelo 4 v smernici),
- vrsta ozemljitvenega sistema za katerega je razdelilnik razvit,
- posebni pogoji delovanja, če so $()$,
- izvedba sestava (npr. odprti, vgradni...)
- način naprav(e) za zaščito pred kratkim stikom,

- itd.

Smernica nas za načrtovanje in izvedbo zelo jasno usmerja na uporabo standarda.

Povsem novo poglavje v osnutku Tehnične smernice je poglavje **9. Energijska učinkovitost električnih inštalacij**.

V skrbi za okolje, za čim bolj ugodno razporejanje in upravljanje z viri energije in potrošniki, zaradi uporabe razpršenih virov energije, ki so vezani na javno nizkonapetostno električno omrežje tudi preko električnih inštalacij končnih porabnikov, je treba to upoštevati tudi pri projektiranju novih ali projektiranju predelav obstoječih nizkonapetostnih električnih inštalacij. V smernici so zajeta področja, kjer se projektira energijsko učinkovitost in sicer:

- električne inštalacije bivališč,
- električne inštalacije poslovnih prostorov,
- industrijske električne inštalacije in
- infrastrukturne električne inštalacije.

Pri projektiranju energijsko učinkovitih električnih inštalacij smernica predvideva sledeča izhodišča:

- energijski profil bremena (delovna in jalova energija),
- razpoložljivost lokalnih virov (sončne elektrarne, vetrne turbine, generatorji, itd.) in shranjevanje,
- znižanje izgub energije pri električnih inštalacijah,
- razporeditev tokokrogov glede na energijsko učinkovitost (mreže),
- uporaba energije na osnovi zahtev uporabnikov,
- struktura tarif v ponudbi dobavitelja električne energije,

s tem, da se zadrži kvaliteto uslug in lastnosti električne inštalacije. Podrobnejše zahteve za upravljanje energijske učinkovitosti električnih inštalacij so podane v SIST HD 60364-8-1.

Osnutek Tehnične smernice v obravnavanem poglavju obravnava potrošnika, ki je hkrati tudi proizvajalec električne energije. Uvaja se pojem »prosumer«. Pri tem je električna inštalacija potrošnika/proizvajalca (PEI) lahko ali pa ni priključena na javno električno omrežje. Poraba in proizvodnja energije iz obnovljivih virov (kot sta sončna in vetrna elektrarna) je prekinjajoča, zato se priporoča uporabo lokalnih hranilnikov električne energije kapacitete, ki omogoča otočno ali ločeno delovanje. Podrobnejše zahteve za PEI so podane v SIST HD 60364-8-2.

Lokalni proizvodni nizkonapetostni viri električne energije se delijo po tipih. Pri tem se tip A in tip B (obnovljivi in drugi viri) lahko priključijo v obstoječi nizkonapetostni sistem. Energijo, ki jo proizvaja lokalni proizvodni vir, se praviloma uporabi za delovanje potrošnikov, ki so vezani na isto nizkonapetostno električno inštalacijo, lahko pa se višek električne energije dobavlja v javno omrežje v skladu z dogovorom s sistemskim distributerjem. Novost, ki jo uvaja osnutek smernice so lokalni proizvodni viri tipa A (do skupne moči 600 VA), ki se lahko priključi v končni tokokrog hišne nizkonapetostne inštalacije. Treba je povedati, da je velikost oz. moč vira še predmet strokovne diskusije in bo znana šele ob sprejetju tehnične smernice na MOP in po uskladitvi z

ministrstvom, pristojnim za energetiko. Podrobne zahteve za priklop lokalnih proizvodnih virov tipa A in tipa B podaja standard SIST EN 50549-1.

Poglavje **10. Zagotavljanje pravilnega in nemotenega delovanja električne opreme** ima v osnutku vključenih nekaj manjših sprememb oziroma dopolnitev. V celoti pa je dodano novo podpoglavje **10.6 Posebne zahteve**, v katerem je opredeljeno, kdaj je potrebno vgraditi posebno napravo za omejevanje števila vklopov. V osnutku smernice je zapisano, da je to napravo treba vgraditi za opremo z naznačenim tokom do 16 A, ki ne ustreza zahtevam standarda SIST EN 61000-3-3 in ni priključena pod posebnimi pogoji in to:

- za enofazni priključek z zagonskim tokom do 18 A: 6 vklopov/uro,
- za enofazni priključek z zagonskim tokom do 24 A: 3 vklopi/uro,
- trifazni priključek z zagonskim tokom do 30 A: 6 vklopov/uro,
- trifazni priključek z zagonskim tokom do 40 A: 3 vklopi/ur.

Če taka oprema prenese preizkus, mora biti v njenem navodilu podana v skladu z zahtevami standarda SIST EN 61000-3-3 najvišja dovoljena impedanca napajalnega omrežja. Ta vrednost je navedena v soglasju za priključitev oziroma se je treba dogovoriti z distributerjem. Primer take opreme je na primer toplotna črpalka.

Posebni primeri električnih inštalacij ter zahteve za izvedbo le teh so podane v poglavju **11. Zahteve za posebne primer električnih inštalacij in lokacij**. Že podpoglavje **11.2.1 Zasilna razsvetljava** je precej posodobljeno ter jasno opredeli, da se zasilna razsvetljava deli na varnostno razsvetljava in nadomestno razsvetljava. Pri tem je varnostna razsvetljava tisti del zasilne razsvetljave, ki osebam omogoča varen umik iz prostora ali stavbe ali omogoča osebam, da pred umikom končajo potencialno nevaren delovni proces, sestavlja jo:

- varnostna razsvetljava evakuacijske poti (poti rešitve),
- protipanična varnostna razsvetljava,
- varnostna razsvetljava posebej ogroženih delovnih mest.

Varnostna razsvetljava evakuacijske poti (poti rešitve) je tisti del varnostne razsvetljave, ki zagotavlja učinkovito prepoznavo in uporabo evakuacijske poti. V osi evakuacijske poti mora zagotoviti osvetljenost na tleh najmanj 1 lx.

Protipanična varnostna razsvetljava je tisti del varnostne razsvetljave, ki zagotavlja dovolj svetlobe da prepreči paniko in omogoči ljudem doseči evakuacijsko pot. Uporabi se povsod tam, kjer ni možno natančno določiti evakuacijske poti npr. dvorane, avle ipd. Na tleh mora zagotoviti osvetljenost najmanj 0,5 lx.

Varnostna razsvetljava posebej ogroženih delovnih mest je tisti del varnostne razsvetljave, ki zagotavlja varnost ljudem, vpletenim v potencialno nevaren proces. Na tleh mora zagotoviti osvetljenost 10 % splošne razsvetljave, vendar ne manj kot 15 lx.

Nadomestna razsvetljava je tisti del zasilne razsvetljave, ki omogoča, da se normalne dejavnosti nadaljujejo bistveno nespremenjene po izpadu splošne razsvetljave; nadomestna razsvetljava se napaja iz ločenega vira.

Kapaciteta akumulatorske baterije mora brez pomoči omrežja zagotoviti najmanj neprekinjeno delovanje varnostne razsvetljave skladno z Elaboratom požarne varnosti oz. kot je navedeno v TSG-1-001 – Požarna varnost v stavbah.

Napajanje varnostne razsvetljave je lahko preko skupne akumulatorske baterije (v smernici obravnavano kot Centralno varnostni napajalni sistem) ali pa s posamičnim akumulatorskim napajanjem svetilk.

V osnutku smernice je navedena tudi zahteva, da sme stikalo za izklop varnostne razsvetljave biti samo v glavnem razdelilniku. V posameznih tokokrogih varnostne razsvetljave ne sme biti stikal. Še nekaj sprememb je navedenih v tem poglavju, žal v tem referatu ne morem predstaviti vseh.

Osnutek smernice nam v podpoglavju **11.2.4. Električne inštalacije v požarno ogroženih prostorih** prinaša spremembo in sicer je predvidena v tovrstnih prostorih vgradnja RDC stikal, katerih naznačeni tok je največ 0,1 A (prej 0,3A).

Pri obravnavi posebnih prostorov je v podpoglavju **11.3.1 Kopalnice** podana zahteva, da se dopolnilna zaščita pred električnim udarom izvede z uporabo ene ali več zaščitnih naprav na preostali (diferenčni) tok najmanj tipa A (sedaj smernica nima te zahteve), katerih naznačeni obratovalni preostali tok ni višji od 30 mA. Pri posebnih prostorih je predlaganih še nekaj sprememb, ki so vključene v osnutek smernice.

S spremembo in razvojem tehnologij, ki se vključujejo ter povezujejo v nizkonapetostne električne inštalacije je bila stroka soglasna, da je potrebno dodati celotno novo podpoglavje **11.3.7 Sončne elektrarne oziroma sončna fotonapetostna napajalna omrežja**, v katerem so podane smernice za izvedbo tovrstnih tehnologij in inštalacij. Pri namestitvi in inštalaciji kablov je treba upoštevati standarde serije SIST HD 60364, posebej pa standard SIST HD 60364-7-712, s sledečimi zahtevami :

- kable na enosmerni strani (d.c.) strani je treba izbrati in položiti tako, da je tveganje za kratek stik in zemeljski stik minimalno, kar se lahko izvede z:
 - enožilnimi kabli z nekovinskim plaščem,
 - izoliranim (enožilnim) vodnikom položenim v izolirano elektroinštalacijsko cev ali kanal
 - vodnik mora biti odporen na UV-sevanje (na primer H07RN-F).
- zaščito pred električnim udarom se izvaja s posebno pozornostjo, ker se šteje, da je oprema na enosmerni strani pod napetostjo tudi, če je izmenična stran ločena od omrežja oziroma je pretvornik ločen od enosmerne strani.

Posebej je v osnutku smernice opredeljeno, da morajo izmenični tokokrogi imeti vgrajeno zaščito RCD tipa B v skladu z SIST EN 62423, razen če je:

- v pretvorniku izvedena vsaj enostavna ločitev med enosmerno in izmenično stranjo,
- ali če je v inštalaciji izvedena vsaj enostavna ločitev med pretvornikom in RCD z ločenim navitjem v transformatorju,
- ali če je pretvornik v skladu z SIST EN 62109-1 in ni zahteve po RCD tipu B, kar mora biti napisano v navodilih proizvajalca pretvornika.

Prav tako je zaradi vzdrževalcev, inšpektorjev, distributerjev, gasilcev in reševalcev bistveno, da je označena prisotnost fotonapetostne inštalacije v stavbi. V osnutku smernice je opredeljena oblika znaka, velikost znaka in lokacija namestitve.

V tem podpoglavju so zapisane zahteve tudi za **»balkonske« sončne elektrarne**, ki so lahko priključene v eno vtičnico, kot prenosne sončne elektrarne z vtičem in sicer:

- skupne moči največ 600 VA,
- lastnik mora o namestitvi take naprave javiti operaterju distribucijskega omrežja:
 - vsaj 14 dni pred priključitvijo,
 - predložiti »ES – izjavo o skladnosti«, kjer so navedeni vsi standardi za celotno napravo,
 - predložiti navodila za montažo in priključitev (če mora sončno elektrarno priključiti certificiran inštalater oziroma vgraditi prenosni RCD tipa B),
- če ni v mikropretvorniku sončne elektrarne vgrajen RCD, se mora pred vtičnico namestiti RCD tipa B,
- vodnik od mikropretvornika do vtiča mora biti odporen na UV-sevanje (na primer H07RN-F),
- mikropretvornik mora ustrezati standardom serije EN IEC 62109-X,
- oznake in njihova mesta namestitve, če je namestitev potrebna, določi proizvajalec naprave,
- priklop se ne sme izvesti preko običajne kombinacije vtikač/vtičnica.

Z razvojem e-mobilnosti je bila stroka enotna, da je potrebno v osnutek smernice vključiti novo podpoglavje **11.3.8 Polnilnice električnih avtomobilov**, v katerem je podana zahteva, da je pri izvedbi posebnih električnih instalacij- polnilnic električnih avtomobilov potrebno upoštevati zahteve standarda SIST HD 60364-7-722, pri čemer je navedenih nekaj teh zahtev:

- pri običajni uporabi se vsaka posamezna priključna točka uporablja z nazivnim tokom,
- vse priključne točke se lahko uporabljajo istočasno, zato mora biti faktor razpoložljivosti dovodne inštalacije enak 1, ta faktor se lahko zmanjša pod pogojem, da je na voljo nadzor polnjenja bremena,
- pri TN sistemu mora biti končni tokokrog, ki oskrbuje priključno točko v TN-S izvedbi,
- zaščita pred vdorom vode mora biti najmanj IPX4,
- zaščita pred trdimi delci mora biti najmanj IP4X,

- v primeru, da je polnilnica nameščena na javnih površinah (parkirišče), je treba zagotoviti zaščito pred mehanskimi poškodbami in silovitimi udarci stopnje AG3.
- uporaba naprav za zaščito pred električnim udarom s samodejnim odklopom napajanja,
 - zaščitna naprava na preostali tok, ki ščiti vsako priključno točko kot dodatna zaščita, mora biti najmanj tipa A z naznačenim delovalnim preostalim tokom največ 30 mA,
 - če je polnilna postaja opremljena z vtičnico ali priključkom za vozila, skladnim s SIST EN 62196, mora biti zagotovljen zaščitni ukrep proti d.c. okvarnemu toku razen, če tega zagotavlja polnilna postaja. Za vsako priključno točko morajo biti naslednji uporabljeni ukrepi:
 - uporaba naprave za zaščito s preostalim tokom tipa B,
 - uporaba naprave za zaščito s preostalim tokom tipa A skupaj z napravo z zaznavanjem enosmernega preostalega toka (RCD-DD) ustrezno s SIST EN 62955 ali
 - uporaba naprave za zaščito s preostalim tokom tipa F skupaj z napravo z zaznavanjem enosmernega preostalega toka (RCD-DD) ustrezno s SIST EN 62955.
- v IT tokokrogih za polnjenje električnih vozil je treba uporabiti nadzorovalnik izolacijske upornosti (IMD), ki je skladen s SIST EN 61557-8, razen v tokokrogih, ki imajo samodejni odklop napajanja ob prvi napaki,
- IMD da zvočno ali svetlobno opozorilo z naslednjima zahtevama:
 - predhodno opozorilo: zgornja meja praga za prvo okvaro je 300 Ω/V , pri tem se začeto polnjenje nadaljuje, novo polnjenje je onemogočeno,
 - opozorilo: zgornja meja praga za drugo okvaro je 100 Ω/V , pri tem se mora polnjenje izključiti v 10 s.

Vizualni pregled polnilne postaje se izvaja najmanj enkrat na teden, da se preveri:

- opremo, da nima vidnih poškodb, ki bi lahko ogrozile njeno varnost,
- pravilno delovanje polnilne postaje, da ni indikacij delovnih okvar ali motenj.

Redne preglede polnilnic pa se izvaja najmanj enkrat letno.

V nadaljevanju so v osnutku smernice v poglavju **10.3.9 Druge posebne vrste električnih inštalacij** podane splošne zahteve, med drugim tudi za hranilnike električne energije.

Posebna pozornost pri prenovi smernice je bila namenjena poglavju **12. Preverjanje ustreznosti**, saj je dodano celotno novo podpoglavje **12.1.1. Pristojnosti preglednika**. Pri tem poglavju je bilo veliko strokovne diskusije, kaj vključiti v osnutek smernice in kaj ne. Verjamem, da se bo ta strokovna diskusija nadaljevala tudi, ko bo izvedena javna obravnava predloga Tehnične smernice. Predvsem bo verjetno razburkala strokovno (in investitorsko) javnost zahteva, da mora biti preglednik izbran ob začetku gradnje. Pristojnosti preglednika so podane celovito in široko, medtem, ko so **odgovornosti preglednika** (podpoglavje **12.1.2**) podane samo v dveh alinejah. Verjamem, da bo tudi o tem še tekla razprava.

V nadaljevanju je korigirano in dopolnjeno podpoglavje **12.2. Vizualni pregled**, medtem ko sta podpoglavja **12.3 Preskusi** in **12.4 Meritve** v osnutku tehnične smernice ločena. Še posebej je v slednjem posebej opredeljena meritev kakovosti električne energije v skladu s SIST EN 50160 in sicer:

- za manj zahtevne električne inštalacije v objektih za bivanje, kjer se izvede trenutne meritve pri obremenitvi do deklarirane priključne moči,
- za manj zahtevne električne inštalacije v objektih za opravljanje dejavnosti ali objektih z znatnim vplivom na odjem, kjer se izvede meritve v trajanju en delovni dan v tednu, z 1 min intervalom, ob zagonu vseh močnejših porabnikov,
- za zahtevne električne inštalacije se izvede meritve v trajanju enega tedna z 10 min intervalom, ob najbolj neugodnem režimu dela.

Za vse te primere so navedeni v smernici zahtevani postopki in zahtevane merilne metode, ki jih je potrebno izvesti.

Novost je tudi dodano podpoglavje **12.5 Vzdrževalni pregled**, v katerem je navedeno, kdo lahko opravlja te preglede in kaj je potrebno vizualno pregledati in kako je z vodenjem evidence o pregledih.

Posebej aktualno bo poglavje **12.6 Obdobja za preverjanje**, ki zajema obsežno tabelo za priporočena obdobja, zahtevnost in obseg preverjanj glede na vrsto in zahtevnost stavb. Tabela zajema opredelitev prvega preverjanja ter obdobja pregledov in preverjanj električnih inštalacij za stavbe, objekte v javni rabi, gradbeno inženirske objekte ter ostale inštalacije ter opremo. Tudi na tem področju se pričakuje v času javne obravnave precej različnih strokovnih in drugih pogledov ter pripomb.

V zadnjem podpoglavju osnutka smernice **12.7 Zapisnik o preverjanju** pa podrobno podaja usmeritve glede zapisnika, obenem pa zahteva, da ima zapisnik o preverjanju najmanj vsebino, kot je določena v standardu SIST HD 60364-6.

4. ZAKLJUČEK

Dejstvo, da se v tehniki in tehnologiji dnevno dogajajo spremembe in uvajajo nove tehnologije, ki so največkrat zapisane v standardih, je bilo nujno, da je stroka in resorno ministrstvo pričelo s prenovo Pravilnika in Tehniške smernice s področja nizkonapetostnih električnih inštalacij. Že iz predstavljenega referata je razvidno, da prinaša prenova teh dokumentov veliko novosti, ki pa še zdaleč niso zajete vse. Sprejemanje pravilnikov zgolj s citiranjem standardov ne sme postati praksa, vsaj ne na obravnavanem področju, sploh pa še v tem primeru, ko standardi niso niti vsi prevedeni, kaj šele dostopni. Zavedati se moramo, da standardi v obravnavani smernici vsebujejo preko 2000 strani strokovnega teksta, kar je za uporabnika (od monterja do projektanta ter drugih) lahko zelo visoka bariera pri uveljavljanju

strokovnosti. Zato je delovna skupina sledila cilju, da mora biti v smernici razvidno, kaj je obvezni del (ki je pokrit z zakoni in pravilniki) in kaj je priporočen del (nekatero vsebine iz standardov). Glede na to, da bo s strani MOP izvedena še javna obravnava, je glede na obsežno strokovno tematiko pričakovati aktiven odziv strokovne javnosti, ki se z obravnavanim Pravilnikom in Tehnično smernico tako ali drugače srečujejo v praksi.

5. VIRI IN LITERATURA

- [1] Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. [41/09 in 2/12](#))
- [2] [Tehnična smernica](#); TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije.
- [3] Končni predlog Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (31.januar 2019, predano na MOP v februarju, 2019)
- [4] Končni predlog [Tehnična smernica](#); TSG-N-002: Nizkonapetostne električne inštalacije (31.januar 2019, predano na MOP v februarju, 2019)
- [5] [Gradbeni zakon \(Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17- popr.\)](#).
- [6] [Zakoni in predpisi, navedeni v predlogu tehnične smernice](#).
- [7] [Standardi, navedeni v predlogu tehnične smernice](#).
- [8] [Zapisniki usklajevalnih sestankov delovne skupine za prenovu Pravilnika in Tehnične smernice](#).



Hišna polnilna postaja Energijske plus

Za varno in učinkovito polnjenje vseh vrst električnih vozil v udobju vašega doma.

- **Možnost prednastavitve časa polnjenja** (v času nižje tarife, Zlatih ur, v primeru več tarif).
- **Omogoča dinamično polnjenje**, saj lahko polnite z največjo razpoložljivo močjo z zaščito pred preobremenitvijo varovalke.
- **Odporna** na vremenske razmere.
- Podpira polnjenje **vseh tipov električnih vozil**.

Možnost
plačila na
obroke.



Prihranek pri času polnjenja:



Navadna vtičnica za
povprečen avto:
12h



Polnilna postaja Energijske plus
z močjo 11 kW:
3h

Energijska plus d.o.o., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor

080 21 15
www.energijaplus.si

ENERGIJA PLUS

Pokrijte domače potrebe po elektriki

Investirajte v sončno
elektrarno na ključ in si
zagotovite takojšnji
prihranek pri elektriki.

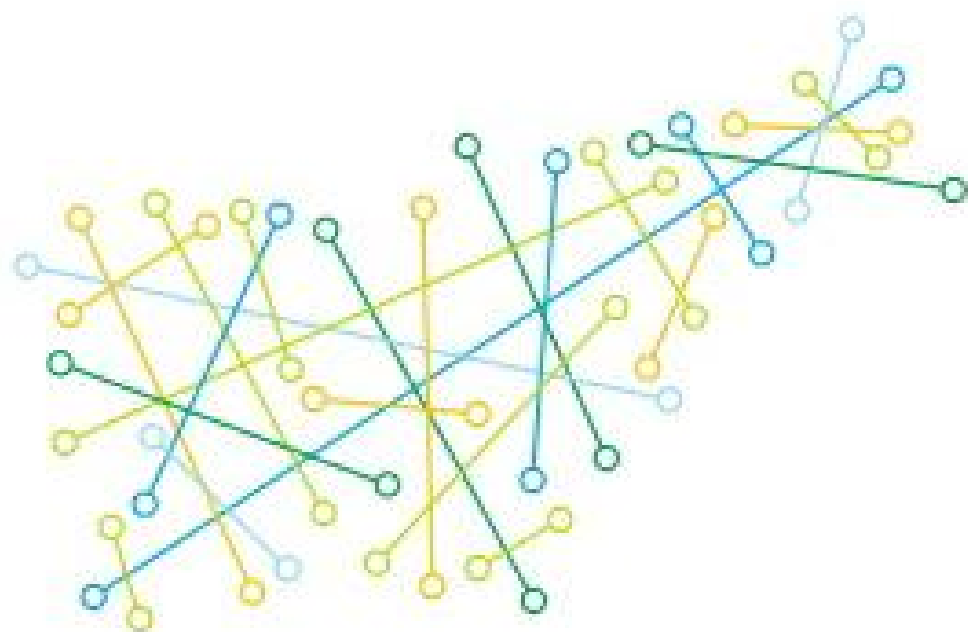
SONČNI PLUS



Energijska plus d.o.o., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor

080 21 15
www.energijaplus.si

ENERGIJA PLUS



SODO

SISTEMSKI OPERATER
DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA Z
ELEKTRIČNO ENERGIJO

ISARIA d.o.o.

Z VAMI IN ZA VAS – 29 LET



Klauke®

Spojni material, ročna in hidravlična
orodja za spajanje in rezanje



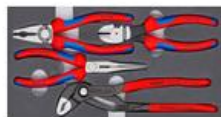
HEPCO&BECKER
Kovčki in torbe za orodje



GREENLEE
A Tooltron Company

TEXTRON

Orodja za luknjanje pločevine
Naprave in pribor za polaganje kablov
Merilni instrumenti
in indikatorji



KNIPEX®

KNIPEX
Drobno ročno orodje



ISARIA d.o.o., Čeče 2a, 1420 Trbovlje – T: 03 56 31 800 - isaria.trbovlje@siol.net



Radenci, 28. marec 2019

ISBN 978-961-93635-7-7



ELEKTROTEHNIŠKO DRUŠTVO MARIBOR