

Okvare v omrežju

Seminarska naloga pri predmetu Razdelilna in industrijska
omrežja

Izdelal:

Viktor Dimitrovski 64150418

Kazalo

Kazalo.....	2
1. Uvod.....	3
2. Vrste okvar.....	3
2.1 Kratki stiki.....	4
2.2 Zemeljski stiki.....	6
2.3 Prekinitve vodnikov in kablov.....	8
2.4 Prenapetosti.....	9
2.5 Preobremenitve.....	10
2.6 Delne razelektritve v kablov.....	11
2.7 Upad frekvence in napetosti.....	11
3. Vzroki in preprečevanje okvar.....	12
3.1 Zunanji vzroki.....	13
Izredne vremenske razmere iz z njimi povezani dogodki.....	13
Napake zaradi okoliške flore in favne.....	14
Lociranje napake.....	15
3.2 Notranji vzroki.....	16
Transformator.....	16
Prenapetostni odvodnik.....	18
Izolatorji.....	19
Problemi v izolacijski materialov (Kablov).....	20
4. Statistika okvar.....	21
4.1 Kazalniki.....	23
SAIFI.....	24
SAIDI.....	24
5. Literatura.....	25

1. Uvod

V seminarski nalogi “Okvare v omrežju”, govorimo o napakah na elektroenergetskem sistemu s poudarkom na distribucijskih omrežjih. Prvi del naloge se govori na najpogostejše napake v omrežju, njihove fizikalne zakonitosti in posledice, ki jih povzročijo. V drugem delu beseda teče o vzrokih zanje, ki jih v grobem delimo na zunanje in notranje ter o možnih ukrepih za zmanjšanje števila napak.

Napake v omrežju so nezaželene, saj lahko povzročajo materialno škodo na elementih v omrežju, prekinitev napajanja porabnikov ter ogrožajo življenja ljudi in živali bodisi neposredno (električni udar) ali pa posredno (požar). Ena izmed definicij napak se glasi:

“Napaka je stanje, ki povzroči, da se naprava, del naprave ali element ne odzoveta na pričakovan način, na primer kratek stik ali prekinitev vodnika”

2. Vrste okvar

V elektroenergetskem omrežju poznamo več različnih vrst okvar, ki pa jih lahko po njihovih značilnostih razvrstimo v skupine:

- Kratki stiki
- Zemeljski stiki
- Prekinitve vodnikov in kablov
- Prenapetosti
- Preobremenitve
- Delne razelektritve v kablov
- Upad frekvence in napetosti

Najbolj pogosta in bržkone tudi najbolj poznana napaka med laiki je kratek stik, sledi mu zemeljski stik. Med napake lahko štejemo tudi prenapetosti, ki pa pravo škodo povzročijo šele takrat, ko pride do preboja oz. preskoka na izolaciji, torej kratkega ali zemeljskega stika. Omeniti velja še preobremenitve omrežja, ki so nevarne zaradi prekomernega segrevanja komponent sistema, kar seveda pomeni nezaželeno skrajševanje življenjske dobe naprav.

Okvare lahko delimo tudi na:

- prehodne
- trajne.

Za prehodne napake je značilno, da jih sistem odpravi sam po sebi, pri tem pa ne utrpi trajnih posledic (škode). Praviloma sicer pride do odziva zaščite, ki izklopi okvarni tok, vendar se sistem hitro odzove s pomočjo t.i. avtomatskega ponovnega vklopa in samodejno vključi napajanje ter tako povrne stanje pred pojavom napake. Tipični primeri okvar te vrste so udari strele, ki ne povzročijo poškodb naprav, medfazni kratek stik, ki ga povzročijo živali (predvsem ptiči) ter razne veje dreves, ki padejo na vodnike in povzročijo bodisi zemeljski ali kratek stik.

2.1 Kratki stiki

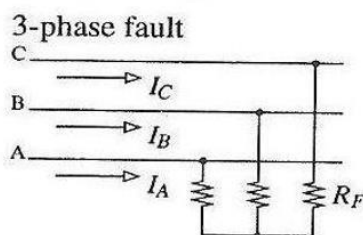
Kratek stik je neobičajna povezava (vključno z oblokom) relativno nizke impedance med dvema točkama z različnima potencialoma, ne glede na to ali je povzročena namerno ali po nesreči.

Ločimo jih glede na število vodnikov, ki sodelujejo pri napaki. Najpogostejši je dvopolni oz. medfazni kratek stik, ki je posledica stika dveh faznih vodnikov. Stakneta se lahko na več načinov. Ena izmed možnosti je, da se stakneta neposredno, brez kakršnekoli upornosti napake med njima. To se denimo lahko zgodi ob izrazito vetrovnem vremenu, ko vodniki na daljnovodih tako močno zanihajo, da med njimi pride do stika. Druga možnost pa je, da se stik sklene preko neke upornosti napake, denimo preko telesa živali ali pa veje, ki pade na daljnovod in povzroči, da med dotičnima fazama steče okvarni tok. Napaka je praviloma prehodne narave in ne povzroča škode na omrežju z izjemo kratkotrajne prekinitve napajanja.

Naslednji tip kratkega stika, katerega se pogosto obravnava, sicer ni ravno pogost v realnosti, je pa zelo pomemben pri izračunih kratkostičnih tokov. To je seveda tripolni kratek stik pri katerem praviloma steče največji okvarni tok in je zato merilo za dimenzioniranje odklopne zmogljivosti zaščitnih naprav (odklopnikov) ter ostalih

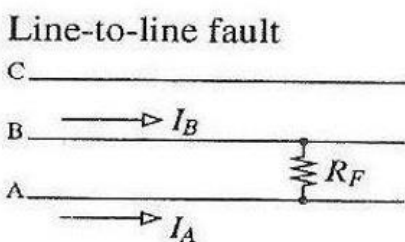
elementov, ki se ne smejo v času trajanja napake prekomerno segreti. V nasprotju z intuitivnim mišljenjem, da so visoki kratkostični toki problematični, pa si po navadi želimo prav to, saj nam to garantira, da bodo okvaro zaščitne naprave hitro zaznale in jo posledično tudi hitro izklopile. V posameznih situacijah, ko je kratkostični tok vendarle prevelik (stikala bi bila predraga) pa vendarle posežemo po omejitvah tokov kratkih stikov. Okvarne toke zmanjšamo tako, da povečamo impedanco omrežja (okvarne zanke). To lahko dosežemo na več različnih načinov (npr. ločitve zbiralk, povečanje kratkostične napetosti transformatorjev, itd.).

Kratke stike obravnavamo s pomočjo simetričnih komponent, saj so v splošnem tovrstne napake nesimetrične in se torej ne moremo več sklicevati na simetrični sistem trifaznih napetosti. Izpeljava teh izračunov ni predmet te seminarske naloga zato spodaj prilagam le rezultate.



$$I_A = \frac{V_{LN}}{Z_1 + R_F}$$

Slika 1. Trifazni kratek stik



$$I_A = -I_B = -j \frac{\sqrt{3}V_{LN}}{2Z_1 + R_F}$$

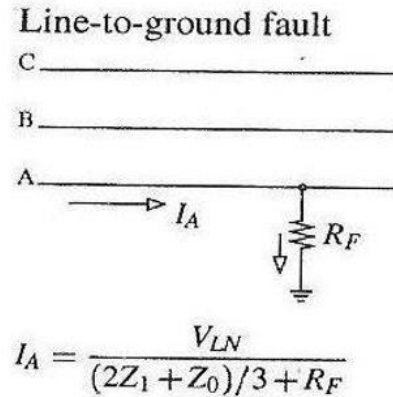
Slika 2. Medfazni kratek stik

K zgornjima slikama dodajmo še komentar, da je V_{LN} fazna napetost sistema, Z_1 je direktna impedanca sistema, R_F pa morebitna upornost napake.

2.2 Zemeljski stiki

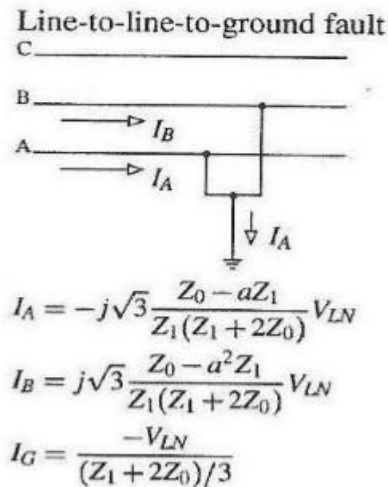
Najbolj pogosta napaka na distribucijskih omrežjih srednje napetosti spada med zemeljske stike. To je enopolni zemeljski stik, ki nastane tako, da se preko neke upornosti napake sklence prevodna pot od faznega vodnika do zemlje. Upornost napake je lahko relativno visoka zato je zemeljskostični tok po navadi precej manjši od denimo dvopolnega kratkostičnega. Pri velikosti toka je pomembno tudi, kakšna podlaga je na mestu, kjer pride do napake. Povsem jasno je, da imajo kamnita kraška tla bistveno večjo upornost na kilometer kot razmočena tla Ljubljanskega barja. Drug pomemben parameter, ki v veliki meri določa velikost tovrstnega okvarnega toka, pa je način ozemljevanja sekundarja transformatorja. Največji zemeljskostični toki se praviloma pojavijo tam, kjer je transformator direktno ozemljen, najmanjši pa tam, kjer je zvezdišče sekundarja izolirano in lahko tečejo le kapacitivni toki. Slednje je odvisno od velikosti omrežja oz. njegove kapacitivnosti, saj večja kapacitivnost pomeni tudi večji tok in posledično višjo napetost dotika na mestu napake. Največjo težavo pri zemeljskih stikih pa predstavlja odkrivanje letih oz. njihovo izklapljanje. Kot smo že omenili, so lahko okvarni toki v rangu bremenskih zato jih ne moremo zaznavati na enak način kot kratkostične. V zadnjem času je bilo narejeno veliko raziskav na področju zaznavanja in kar nekaj metod je šlo v smeri preučevanja pojava, ki praviloma nastane ob stiku z zemljo, to pa je oblok. Ob nastanku obloka se v omrežju pojavijo višje harmonske komponente, ki bi jih zaščitni sistemi lahko zaznali. Težava pri zaznavanju pa je lahko tudi preobčutljivost zaščitnih naprav, ki reagirajo ne samo na nevarne zemeljske stike, ampak tudi ob kakšnih drugih pojavih, ki pa niso nevarni in s tem močno poslabšajo zanesljivost oskrbe porabnikov z električno energijo. Proti temu, se lahko »borimo« z alarmom, ki vzdrževalce le opozori na pojav napake, ti pa morajo nato na teren, da vse skupaj preverijo. To zahteva kar nekaj časa, poleg tega pa se nam pojavi podoben problem kot pri avtomatskem izklopu. Ravno tako lahko pride do večjega števila lažnih alarmov in sčasoma lahko vzdrževalci nehajo preverjati napake in posledično morda ignorirajo realno napako, ki dejansko povzroča

škodo in je nevarna ljudem in živalim. Zemeljskostični toki so še posebej problematični na srednjih napetostih, saj so na visoki napetosti večji in jih zaščitne naprave lažje zaznajo.



Slika 3. Enopolni zemeljski stik

Zgoraj opisani enopolni zemeljski stik pa ni edini mogoč stik z zemljo. Možen je denimo še dvopolni zemeljski stik do katerega pride v trenutku, ko imamo dva fazna vodnika sklenjena med sabo in še d ozemlje. Izpeljava okvarnega toka je v tem primeru nekoliko bolj zapletena.



Slika 4. Dvopolni zemeljski stik

2.3 Prekinitve vodnikov in kablov

Tovrstna napaka je podobna zemeljskemu stiku saj se tudi tu okvarni tok zaključuje preko zemlje oz. njene upornosti. Glavna razlika pa je v tem, da je fazni vodnik prekinjen in zato celoten tok teče po zemlji in ne samo del. Razlika je tudi na bremenski strani voda, saj ob prekinitvi vodnika vsaj ena faza izpade, torej je njena napetost enaka nič. To pa povzroči izrazito nesimetrično napajanje trifaznih bremen (izpeljava s pomočjo simetričnih komponent). Najbolj to občutijo trifazni motorji, ki so eni izmed večjih porabnikov električne energije. Pojavi se inverzno magnetno polje, ki izrazito zmanjša in popači navor motorja ter poveča izgube. Stroji se posledično začno segrevati in zato jih je potrebno izključiti iz omrežja za kar po navadi poskrbijo lastne zaščitne naprave. Segrevanje motorjev preko dovoljenih temperatur moramo preprečiti, saj s pregrevanjem slabimo izolacijo in končni fazi jo lahko tudi uničimo. Pride namreč do preboja, bodisi med navitji iste faze (medovojni stik) ali pa celo med navitji različnih faz kar pomeni, da se stroj oslabi oz. uniči.

Takšna situacije je sicer tudi izredno nevarna, saj poškodovani vodnik praviloma leži na tleh in je lahko še pod napetostjo, saj, kot smo že dejali, ni nujno, da zaščita izklopi napajanje že takoj ob stiku z zemljo. Pri tem pa je pomembno tudi s katerega dela stebra pade vodnik. V kolikor je prišlo do poškodbe s strani kjer prevladuje poraba, napetost ne bo enako visoka kot v primeru padca z napajalne strani.

Do okvar prihaja pretežno zaradi preboja izolacije med vodniki v kablu in na kabelskih končnikih. Pogoste so tudi mehanske poškodbe z delovnimi stroji, ter zaradi zemeljskih plazov in erozije (voda zdere kabel, s sabo prinese drevo in kabel utrga).



Slika 5. Pretrgani zemeljski kabel

2.4 Prenapetosti

Prenapetost je po definiciji napetostni impulz, ki je »naložen« (superponiran) na nazivno napetost v omrežju in jo tako presega. Glede na nastanek jih delimo na notranje in zunanje. Verjetno najbolj znana prenapetost spada med zunanje, to je seveda udar strele. Poudarimo, da ni vseeno kam strela udari s stališča EEO, saj se morebitna škoda močno razlikuje od mesta udara. Če denimo strela udari direktno v fazni vodnik, to praviloma povzroči največjo škodo, saj izredno visoka prenapetost skoraj zagotovo uniči vse naprave v bližini, če niso še kako drugače varovane. Na srečo so tovrstni dogodki v Sloveniji redki, oz. jih ni, saj so daljnovodi (sploh tisti, ki so izpostavljeni) zaščiteni z zaščitno vrvjo. Zaščitna vrv je vodnik, po katerem sicer ne teče električni tok in ni pod napetostjo, nahaja pa se najvišje od vseh vodnikov in je torej najbližja točka preko katere lahko pride do razelektritve. Zaščita je učinkovita, če tvorita navpična premica skozi zaščitno vrv in najbolj izpostavljen fazni vodnik, kot največ 30° . Višek elektrine, ki nastane ob udaru v vodnik pa nato preko ozemljilne upornosti stebra steče v zemljo. Tovrstna zaščita ni vsemogočna, saj lahko zaradi dviga potenciala stebra (preko njegove upornosti steče tok velikosti nekaj 10kA) pride do povratnega preboja s stebra nazaj na fazni vodnik. V tem primeru pride do povišanja napetosti v faznem vodniku in navadno zaščita odreagira in posledično pride do prekinitve napajanja. Praviloma je napaka prehodnega tipa, včasih pa se zgodi, da pride do

uničenja kakšnega od elementov in potrebna je intervencija vzdrževalcev. V distribucijskem omrežju so najbolj zaščiteni transformatorji kot najdražji deli distribucije. Varovani so s pomočjo prenapetostnih odvodnikov, ki so ob dovolj velikem dvigu napetosti zmožni odvesti elektrino v zemljo, še preden bi dvig napetosti na transformatorju pripeljal do preboja izolacije.

Omenimo še notranje prenapetosti, ki praviloma niso tako velike, zato pa lahko trajajo dlje časa. Naprej jih delimo na stikalne in časne prenapetosti. Stikalne prenapetosti so posledica raznoraznih stikalnih manevrov kot na primer vklop dolgega voda z neobremenjenim transformatorjem, izklop bremena na koncu dolgega voda, vklop neobremenjenega transformatorja, itd. Poenostavljeno povedano, previsoke napetosti se lahko pojavijo tam kjer vklopimo nekakšno kombinacijo L in C bremena (nihajni krog). Njihovo trajanje se meri v milisekundah, sledijo pa značilni dvojni eksponencialni krivulji.

Za konec povejmo še nekaj o stikalnih prenapetostih, ki so po velikosti najmanjše, a zato trajajo bistveno dlje časa. Pojavljajo se ob zemeljskih stikih (dvig napetosti v »zdravih« fazah), ob hitrih razbremenitvah, ferorezonanci ... Ne smemo pozabiti niti na t.i. Ferantijev efekt, ki povzroči dvig napetosti na koncu voda, ki je obremenjen pod naravno močjo. Efekt traja dokler voda ne izklopimo oz. dodatno obremenimo.

2.5 Preobremenitve

Proti preobremenitvam je naše omrežje dobro odporno, saj lahko nekaj časa obratuje tudi nad svojo nazivno obremenitvijo brez, da bi mu bila povzročena trajna škoda. To seveda ne traja v nedogled, saj se ob toku, ki je večji od nazivnega, začnejo vse naprave počasi pregrevati kar ima vrsto negativnih učinkov. Kot že nekajkrat do sedaj, se tudi tu pokaže kot najbolj občutljiv del omrežja transformator, ki se mu zaradi povišanja temperature slabi dielektrična trdnost izolacijskega olja ter papirne izolacije, s tem pa se mu skrajšuje življenjska doba. Vodniki so na to občutljivi manj, saj je njihova maksimalna temperatura odvisna od meje, ko se ob ohladitvi vrne v prvotno stanje (meja elastičnosti) in torej ne utрпи trajnih deformacij. Naslednja omejitev na katero prav tako ne smemo pozabiti pa je ravno tako povezana s prvo, gre pa za ohranjanje potrebne varnostne višine na okolico pod vodniki.

2.6 Delne razelektritve v kablov

Po definiciji, so delne razelektritve »lokalna električna praznitev, ki le delno premosti izolacijo med prevodnimi deli v bližnji ali daljni okolici vodnika«. Navzoče pa so lahko v trdnih snoveh, tekočinah in tudi v plinih. Značilno zanje je, da v času njihovega nastanka ne povzročijo takojšnjega preboja dielektrika, v daljšem časovnem obdobju pa se kot posledica njihovega delovanja pojavi erozija materiala, kar povzroči degradacijo dielektrika, v našem primeru kableske izolacije. V zadnjem času je zaradi vse večjega obsega kableskega omrežja in staranja izolacije, detekcija delnih razelektritev v kableski izolaciji postala eden izmed pomembnih kriterijev za ocenjevanje kvalitete kableske izolacije.

Izvori delnih razelektritev v plinih so ostre konice in robovi, majhni delci nečistoč, hrapavost površin in praske. Zato morajo biti naprave, kjer nastopa plin kot izolacijski element, izdelane zelo natančno. Po montaži se vedno izvede tudi napetostni preskus oz. preskus delnih razelektritev. V tekočinah so vzroki za nastanek delnih razelektritev podobni, le da so zaradi večjih dielektričnih konstant tekočine bolj odporne na takšne motnje. Večji problem v tekočinah predstavljajo plinski mehurčki, ki so električno bolj obremenjeni od okoliške tekočine in zato pride do praznjenj pri zelo majhnih vrednostih električne poljske jakosti. Na izolacijske tekočine zelo slabo vpliva tudi prisotnost vlage, zato morajo biti pred vakuumskim polnjenjem v napravo zelo dobro osušene (npr. transformatorsko olje). V trdnih snoveh pa se dielektrične praznitve pojavljajo zaradi napak v materialu, kot so majhne razpoke ali votlinice napolnjene z zrakom, razne nečistoče v materialu zaradi slabe tehnologije izdelave. To so mesta, kjer se poveča električna poljska jakost in zmanjša dielektrična trdnost materiala, kar privede do razelektritve in nepopravljive škode v materialu. S časom nastanejo prevodni kanali, ki se vedno bolj širijo, dokler ne pride do preboja celotnega dielektrika.

2.7 Upad frekvence in napetosti

Večina modernih bremen ima izredno majhno toleranco glede nihanja napetosti in frekvence, ki naj bi v Sloveniji znašali čim bližje 50Hz in 400V (efektivna, medfazna). Na težave z nihanjem frekvence smo na veliki večini stare celine že pozabili, saj smo del zelo

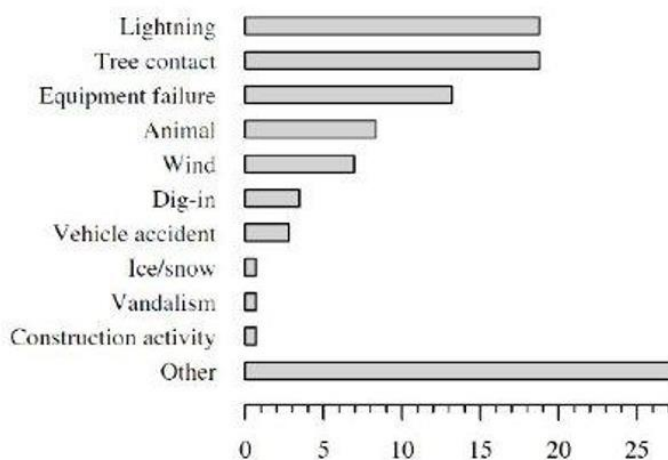
velikega EES, ki nam z množico elektrarn zagotavlja napajanje tudi ob izpadu katere od večjih enot v Sloveniji. Kljub temu omenimo, da je frekvenca zelo pomemben parameter, saj je z njo povezana prenesena delovna moč, predvsem pomembna pa je s stališča nasičenja transformatorskih jeder. Ob padcu frekvenca in ohranjanju enake efektivne vrednosti napetosti transformatorska jedra hitro preidejo v nasičenje kar ima poleg poslabšanja napetostnih razmer za posledico povečanje histereznih izgub in seveda pregrevanje.

Nihanje napetosti v omrežju je sploh na podeželju, kjer omrežje ni tako močno, bolj pogost pojav. Zahtevnejša bremena kot so denimo motorji potrebujejo napetost čim bolj konstantne vrednosti. Moč oz. navor je namreč tesno povezan s priključeno napetostjo in v kolikor ne želimo močno poslabšati navorne karakteristike moramo zagotoviti napetost v bližini nazivne.

3. Vzroki in preprečevanje okvar

Ena izmed možnih delitev vzrokov za nastanek okvar je na podlagi izvora. Napake lahko izvirajo bodisi zaradi zunanjih vplivov, bodisi iz elektroenergetskega sistema. V obeh primerih lahko nastanejo tako prehodne kot tudi trajne napake.

Iz rezultate različnih raziskav imamo rezultate, ki nam podajajo vpogled v pogostost posameznih vzrokov za napake. Praviloma prednjačijo razlogi kot so strele, kontakti z drevesi ter živalmi in notranje napake v sistemu, najde pa se še marsikaj drugega.



Slika 6. Razlogi za napake v EEO

3.1 Zunanji vzroki

Izredne vremenske razmere iz z njimi povezani dogodki

Odpornost EEO na izredne vremenske razmere, ki se lahko pojavijo na območju kjer je postavljeno distribucijsko omrežje, seveda ni neskončna. Glede na izkušnje in zgodovinske podatke se odločimo za dimenzioniranje stebrov, vodnikov, RTP-jev, itd. Poskušamo najti optimalno varianto, ki ob sprejemljivih stroških izgradnje omogoča dovolj visoko stopnjo zanesljivosti. Jasno je, da niso vse območja enako izpostavljena izjemnim vremenskim vplivom, kot so denimo velike količine snega, močan veter, žled in udari strel.

Če se najprej ozremo na prehodne napake je poleg udara strele omembe vreden še dotik med faznima vodnikom zaradi nihanja le-teh v močnem vetru. Problematične razpetine kjer se to pogosteje pojavlja oz. je to moč upravičeno pričakovati je rešitev dokaj enostavna. Nekje med obema stebroma lahko namestimo izolator, ki s svojo dolžino zagotavlja oporno točko, vendar moramo paziti, saj moramo vzeti nekoliko daljšega od tistih, ki so obešeni na stebrih. Razlog se skriva v dejstvu, da je med njegova koncema medfazna napetost in ne fazna kot med stebrom in vodnikom. Vremenske nevšečnosti sicer ogrožajo tudi mehansko trdnost, v prvi vrsti daljnovodnih stebrov pa tudi vodnikov. V Sloveniji razen na nekaterih tipičnih izpostavljenih delih ni mogoče z omembe vredno verjetnostjo pričakovati tako močnega vetra, ki bi lahko rušil jambore in pretrgal vodnike. Morda celo edino tako območje je zgornja Vipavska dolina kjer pa razen vodov srednje napetosti (20kV) ni drugih vodov, ki bi imeli dovolj visoke stebre oz. bi bili pomembni za širšo regijo. Vsi daljnovodi so dimenzionirani, da zdržijo nekoliko več od svoje lastne teže v primeru, da so dodatno obteženi bodisi snegom, bodisi z ledom. V Sloveniji se pogosto uporablja varnostni faktor $k=1,6$ kar pomeni, da so daljnovodi dimenzionirani glede na 1,6-kratnik minimalne obremenitve. Glede na lokalne specifike se lahko upošteva tudi višji faktor, denimo 2,5. Jasno je, da z naraščanjem varnostne rezerve močno naraščajo tudi stroški postavitve zato se moramo pri tem nekje ustaviti. Faktor je določen izkustveno, glede na zgodovino vremenskih ujm pa tudi glede na pričakovane pogostosti pojavov v prihodnosti, razlike v ceni...

Napake zaradi okoliške flore in favne

Na srečo so hujše poškodbe zaradi žledu relativno redke, so pa zato bolj pogoste napake, ki izvirajo iz neposredne okolice energetskih objektov.

V prvi vrsti so tu drevesa, ki lahko povzročijo tako kratke in zemeljske stike kot tudi prekinitev vodnikov (redkeje). Klasičen primer napake je veja, ki pade na dva vodnika različnih faz. Sveža veja ima načeloma relativno visoko impedanco in če pade na 20kV daljnovod ne bo povzročila napake v trenutku, saj bo tok premajhen, da bi sprožil zaščito. Kljub vsemu pa zaradi toka veja oz. kos lesa vse bolj ogleni, s čimer se mu povečuje prevodnost in slej ko prej pride do dovolj velikega toka, da zaščita daljnovod izklopi. V kolikor v vsem tem času veja ne pade z vodnikov, ponovni vklop napetosti ni mogoč. Napako je potrebno fizično odstraniti kar pomeni, da je napaka trajna in povzroči daljšo prekinitev napajanja.

Drevesa pa nam lahko ponagajajo tudi malce drugače. Denimo, da pride do stika med fazo in zemljo preko drevesa, ki ima zelo veliko prehodno upornost. Konvencionalna zaščita sploh na srednje napetostnem nivoju ne bo odreagirala, saj je zemeljskostični tok zelo majhen (razreda amperov). Probleme povezane z izklopom oz. odpravo toka zemeljskega stika smo že opisali v poglavju o zemeljskih stikih zato tu samo na hitro ponovimo, da kljub temu, da sistem lahko obratuje praktično nemoteno med takim zemeljskim stikom, je to nevarno za ljudi in živali, ki se preveč približajo okvari zaradi relativno velike napetosti dotika. Druga nevarnost pa je povezana z oblokom, ki lahko nastane, saj ima tako visoko temperaturo, da lahko poškoduje oz. celo stopi aluminijast vodnik v bližini katerega se pojavi.

Do padanja vej oz. celotnih dreves pride na primer ob žledu, snegolomu, ki praviloma nastane v jesenskem oz. spomladanskem času, ko je večja verjetnost padanja mokrega snega, ki bolj obteži veje in jih posledično lahko močno ukrivi, pa tudi zlomi.

Ne tako redek razlog za okvare pa so lahko tudi živali, v prvi vrsti ptice, ki med pristajanjem oz. vzletanjem naredijo medfazni kratek stik. Praviloma se to za ptice slabo konča, dobra stvar pa je v tem, da gre v večini primerov za prehodno napako, saj ptica

pogine in pade na tla in daljnovod lahko ob ponovnem vklopu obratuje naprej. Naslednje mesto kjer lahko pride do napake zaradi živali so manjši transformatorju, ki so nameščeni na stebrih. Priključki posameznih faz srednje napetosti so med samo oddaljeni le nekaj 10 cm in kakšna malce večja žival, ki je ali vešča plezanja ali zna leteti lahko povzroči kratek stik in s tem (kratkotrajni) izpad napajanja za vse uporabnike, ki so priključeni na to transformatorsko postajo. Za konec omenimo še eno možnost, ki je ravno tako povezana z daljnovodi in lahko ubije žival, čeprav se ne odrazi nujno v napaki. Če se žival nahaja v bližini izolatorja in se denimo deloma še dotika faze, deloma pa tudi izolatorja (vzdolž katerega potencial proti masi sicer pada) lahko po njej steče nek tok, ki je lahko tudi smrten.

Veliko večino tovrstnih težav lahko izločimo, če redno vzdržujemo traso s sekanjem posameznih vej ali celotnih dreves za katere lahko upravičeno domnevamo, da zaradi svoje bližine lahko povzročijo škodo. Ravno tako moramo redno čistiti zemljišče, ki se nahaja pod daljnovodi zaradi ohranjanja ustreznih varnostnih razdalj. Marsikaj pa lahko naredimo tudi s izbiro trase, ki poteka po lažje dostopnem območju z manj možnosti za tovrstne napake, čeprav ta kriterij ob vseh težavah z umeščanjem tras v prostor navadno nima velike veljave. V kolikor zaznamo, da se na kakšnem od transformatorjev pogosteje pojavljajo napake pa jih lahko dodatno zaščitimo in s tem fizično preprečimo dostop do priključkov, čeprav lahko to za sabo potegne določene težave z odvajanjem toplote.

V kolikor je območje zelo obremenjeno s pogostimi zemeljskimi stiki to lahko rešujemo tudi s pomočjo polizoliranih vodnikov oz. celo s kabli (popolnoma izoliranimi), ki jih ravno tako napeljemo po stebrih.

Lociranje napake

Ko v našem omrežju pride do trajne napake jo želimo čim prej odpraviti. Če pa jo želimo odpraviti jo moramo najprej poiskati kar pa je lahko zelo dolgotrajno in zahtevno. V osnovi pa je vse skupaj zelo enostavno, pomagamo si namreč s pomočjo Ohmovega zakona ob predpostavki, da poznamo tok in napetost ob okvari:

$$d = \frac{U}{I * Z_l}$$

Pri čemer je U fazna napetost ob okvari, I tok ob okvari, Z_1 pa impedanca napake na enoto dolžine. Spomnimo, da so vse vrednosti na desni strani v splošnem kompleksne, medtem ko je razdalja lahko le realno število. Če naše podatke vstavimo v enačbo, moramo dobiti razdaljo katere imaginarna komponenta je zelo blizu nič. Če ni, smo nekje naredili napako. Najbrž se kritičnemu bralcu že svita kje bi lahko nastale težave. Impedanca napake se namreč spreminja glede na tip okvare. Prav gotovo bo drugačna pri dvopolnem kratkem stiku kot pri enopolnem zemeljskem stiku. Dodatno se izračun impedance lahko začini zaradi prehodne upornosti napake ali pa spremembe preseka vodnika na okvarni zanki. Najnovejši algoritmi za izračun lokacije napake uporabljajo vse mogoče impedance pri izračunu, upoštevati morajo denimo spreminjajočo upornosti zemlje glede na tip tal kjer teče okvarni tok, upornost napake... V kolikor želimo vse skupaj malce poenostaviti namesto kompleksnih vrednosti veličin uporabimo kar njihove absolutne vrednosti. Algoritmi pogosto delujejo tako, da varirajo katero izmed spremenljivk (upornost napake) in tako predlagajo rešitev, ki se najboljše ujema. Ta pristop ima tudi slabo stran, saj lahko variacija prehodne upornosti zabriše druge napake in posledično pridemo celo do slabše ocene za oddaljenost.

3.2 Notranji vzroki

V tem poglavju se bomo nekoliko bolj natančno posvetili preučevanju napak s stališča posameznih naprav in ne zunanjih vplivov. V večini primerov, ko imamo opraviti z notranjimi vzroki gre za trajne napake, ki zahtevajo intervencijo in posledično zamenjavo oz. popravilo poškodovane naprave. Posvetili se bomo tudi previdnostnim ukrepom, ki nam pomagajo preprečevati okvare in posledično zagotoviti večjo zanesljivost napajanja.

Transformator

Kot smo že nekajkrat omenili je glavni sovražnik transformatorja pregrevanje kar pa ne moremo nujno enačiti s preobremenjevanjem. Vsak transformator ima določeno nazivno moč, ki je tesno povezana z toplotnimi izgubami oz. sposobnostjo odvajanja toplote. Če je moč toplotnih izgub v navitjih in železnem jedru večja od sposobnosti stroja pri odvajanju toplote se temperatura jedra začne povečevati. Poskrbeti moramo, da se temperatura pri dolgotrajnem obratovanju ne razlikuje bistveno od nazivne. Kratkotrajno (v skladu z

navodili proizvajalca) ga sicer lahko preobremenimo in temperatura v kotlu se sme dvigniti nad nazivno, a to sme trajati le omejen čas. S pretiravanjem v tej smeri namreč izrazito začne padati življenjska doba. Nekako splošno velja, da z dolgotrajnim, konstantnim obratovanjem z 10°C nad nazivno temperaturo skrajšamo življenjsko dobo za polovico.

Kljub dejstvu, da ne presežemo nazivne moči pa se nam lahko določeni deli transformatorja segrejejo preko dovoljene temperature, to so t.i. vroče točke. Praviloma nastajajo na vrhu transformatorja, kamor z naravnim kroženjem transformatorskega olja prihaja najbolj vroč del olja. To je težavno s stališča staranja papirne izolacije, ki se s ponovnim ohlajanjem ne povrne v svoje prvotno stanje pa tudi s stališča nastajanja mehurčkov (mest z manjšo gostoto) v olju, ki imajo manjšo dielektrično trdnost kar utegne voditi v delne razelektritve in posledično uničevanje olja (zogleneli trdni delci). Olje se sicer lahko ohladi in praktično povsem povrne v prejšnje stanje, a trdni delci začnejo krožiti po kotlu in povzročati nadaljnjo škodo. Zavaljo vseh teh indikatorjev, ki nam nakazujejo stanje transformatorja se to že mnoga leta s pridom uporablja za diagnosticiranje morebitnih napak in monitoring stanja transformatorjev v EES. Na podlagi fizikalno-kemijskih preiskav olja je mogoče dobro določiti stanje stroja in morebitno potrebo po izrednem vzdrževanju oz. zamenjavi. To v Sloveniji počnejo na Elektroinštitutu Milan Vidmar na Oddelku za fizikalno-kemijsko diagnostiko transformatorjev.

Najhujši sovražnik enih izmed najdražjih strojev v EES pa so konstrukcijske napake, ki imajo za posledico lokalno (pre)veliko električno polje, ki vodi v zgoraj omenjene težave.

Na spodnji sliki vidimo goreč transformator kar je ena izmed najhujših pa tudi najdražjih nesreč, ki lahko doletijo EES. Do tega pride zaradi napake znotraj stroja kar pripelje do obloka. V kolikor zaščitne naprave okvare ne uspejo dovolj hitro izključiti lahko le-ta začne segrevati olje in ga pripelje celo do vrenja, posledično pa začne nastajati plin, ki pa imamo mnogo manjšo gostoto kot olje samo in posledično se začne pritisk v kotlu močno povečevati. Tukaj do požara še ne pride, saj kisik ni prisoten. V primeru, ko pa pride do eksplozije oz. poškodovanja ohišja pa nastanejo pogoji, ki omogočajo vdor kisika in transformator lahko tudi zagori. Pogasiti ga je izredno težko, saj je transformatorsko olje v osnovi gorljiv ogljikovodik.



Slika 7. Goreč transformator

Prenapetostni odvodnik

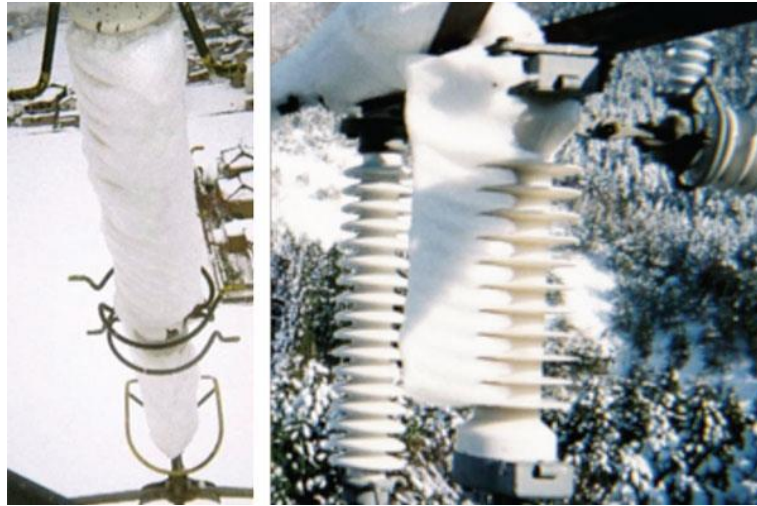
Prenapetostni odvodniki so naprave katerih naloga je ščitenje dragih naprav pred prenapetostmi. V prvi vrsti gre za ščitenje transformatorjev, katerih uničenje je precej drago tako s stališča nakupa oz. popravila kot morebitnega izpada napajanja. Za zagotavljanje ustreznega ščitenja morajo biti postavljeni dovolj blizu naprave. Dandanes se pogosto uporablja kovinsko-oksidge odvodnike, ki so zelo kakovostni, imajo dobre zaščitne karakteristike in so relativno poceni. Njihovo delovanje je osnovano na nelinearni karakteristiki upornosti, ki je močno odvisna od padca napetosti na njem. Ko je na njem nazivni padec napetosti je njegova upornost zelo velika in preko njega v zemljo praktično ne teče noben tok. V primeru pojava dovolj visoke prenapetosti (strmina čela, napetost delovanja) pa se njegova napetost močno zmanjša in tako je sposoben odvesti vso odvečno elektrino v zemljo, s tem pa prepreči poškodbe na ostalih napravah. Edina težava je v temperaturni odvisnosti karakteristike, saj z višanjem temperature upornost proti zemlji pada, s tem pa se seveda poveča tok, ki teče preko njega in posledično se odvodnik še dodatno segreje in kaj hitro se ujamemo v pozitivno povratno zanko, ki se zaključuje z uničenjem odvodnika. Ta problem je izrazit pri časnih prenapetostih, ki trajajo dlje časa in se ima tako odvodnik čas segreti. Omenjeni problem je potrebno upoštevati pri izbiri odvodnika, saj približno vemo kakšne so najvišje temperature okolja v katerem bo postavljen, pogostost časnih prenapetosti (Ferantijev efekt...) in pri dimenzioniranju hladilnih reber.



Slika 8. Prenapetostni odvodnik

Izolatorji

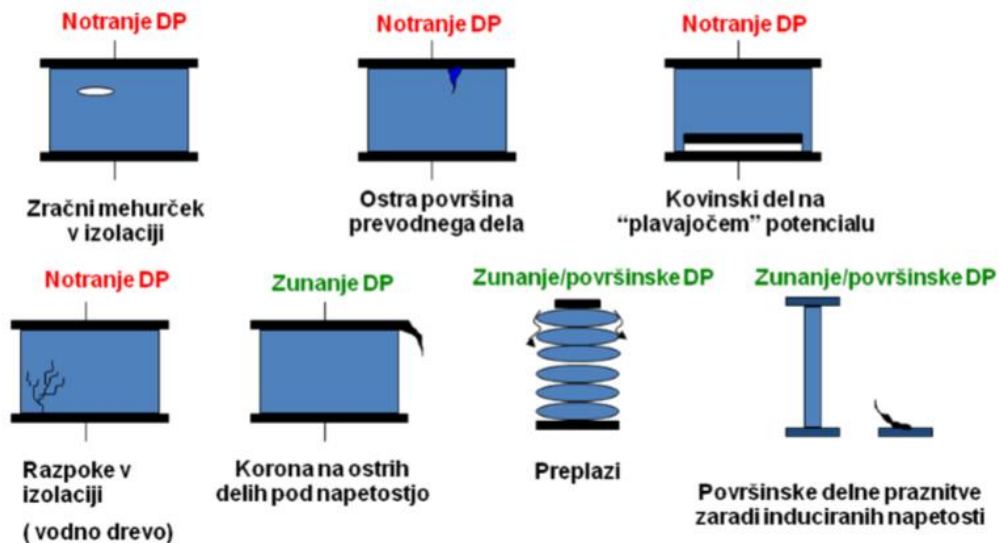
Na izolatorjih, ki visijo na daljnovodnih stebrih, imamo opraviti z relativno velikimi padci napetosti, ki ne padajo linearno (enakomerno) preko celotnega izolatorja. Najboljše izolacijske lastnosti ima čist izolator, saj je njegova površinska upornost zelo velika. Le to dosežemo s primernim oblikovanjem, ki učinkovito podaljšuje t.i. plazilno pot, ki je najkrajša pot vzdolž celotne površine med obema elektrodama. Če pa se iz takšnih ali drugačnih razlogov začne na njemu nabirati vlaga (sneg, led) ali nečistoče (smog, aerosoli, prah,) pa se le ta zmanjšuje in lahko pride do preskoka s faznega vodnika na jambor (zemeljski stik).



Slika 9. Primer zaledenelega izolatorja

Problemi v izolacijski materialov (Kablov)

Vzroki za nastanek in lokacija nastanka delnih praznitev so lahko zelo različni. V splošnem pa je skupno njihovemu razvoju, da v zelo nehomogenem električnem polju, kateremu je podvržen nek izolacijski material, pride do porušitve dielektrične trdnosti tega materiala.



Slika 10. Različni vzroki nastanka DP

Kot fizikalni primer lahko vzamemo plinski mehurček v nekem trdnem dielektriku – kondenzatorju. Dielektrična trdnost trdega izolacijskega materiala je v nasprotju z mehurčkom zelo velika. Zato je električno polje, kateremu je izpostavljen dielektrik, porazdeljena tako, da je električna poljska jakost največja v zračnem mehurčku in manjša v njegovi okolici.

Pri spremljanju delnih praznitev lahko opazimo pojave, ki nastopajo kot posredni znaki le teh. Značilno zanje je, da se pojavijo le na mestu nastanka delne praznitve in se kasneje ne morejo preoblikovati v kakšno drugo obliko. Na kablovodih npr. zaznamo delne praznitve le kot tokovne impulze na koncih kabla. Na samem mestu nastanka pa spremljajo pojav delnih praznitev še elektromagnetni, svetlobni in ultrazvočni impulzi. Vendar jih, ker je kabel položen v zemlji, na samem mestu izvora zelo težko neposredno zaznamo. Za lociranje mesta nastanka teh pojavov pa je ključno poznavanje lastnosti teh pojavov in njihovo širjenje skozi material – dielektrik. Pri analizi parcialnih praznjenj pa je včasih zelo težko izločiti motnje, ki imajo podobne učinke, nastanejo pa iz čisto drugih vzrokov.

Metode za zaznavanje parcialnih praznjenja:

- Tokovni impulzi
- Elektromagnetno valovanje
- Svetloba
- Toplota
- Zvok
- Kemične reakcije

4. Statistika okvar

Okvare so v EES nezaželjene, saj povzročajo stroške tako distribucijskim podjetjem kot tudi uporabnikom. Najbolj občutljivi so industrijski uporabniki, saj so dandanes proizvodni procesi polni takšnih in drugačnih krmilnikov oz. računalnikov, ki so občutljivi že tudi na večje nihaje napetosti kaj šele na popolnem izpade napajanja. Neredko se zgodi, da se ob tem zaustavijo in zato se proizvodni proces prekine kar predstavlja strošek oz. izpad

prihodka poleg tega pa lahko povzroči škodo na strojih in napravah, ki so narejeni za obratovanje brez prekinitve.

Za izboljšanje omrežje v zadni časi se izvaja kabliranje oziroma zamenjava na dalnovodov z kablenskimi vodi. Glavni argumenti za izgradnjo omrežja s kabli, položenimi v zemljo, napram nadzemnim vodom, so navedeni v nadaljevanju.

Umestitev v proctor

Nadzemni vodi, visoko, srednje in nizkonapetostni, so v urbanih naseljih in zazidalnih območjih nezaželeni, ker zasedajo prostor za gradnjo objektov. Problem je tudi zaradi poteka tras skozi gozdove, saj je za nemoteno obratovanje potrebno vzdrževati ustrezen koridor s poseki.

Vpliv na okolje

S stališča javnosti je zelo pomemben psihosocialen vidik vidne izpostavljenosti in sprejemljivosti pri prebivalstvu. Tako so za javnost kablovodi bolj sprejemljivi in manj moteči kot nadzemni vodi, ki vplivajo na videz pokrajine.

Neprekinjenost oskrbe

Vodi, izvedeni s polaganjem kablov v zemljo, so zaščiteni pred meteorološkimi vplivi in tako s stališča neprekinjenosti zanesljivejši od nadzemnih vodov. Statistike dogodkov kažejo, da je razmerje med načrtovanimi in nenačrtovanimi dogodki pri SN nadzemnih vodih 30:70, pri kablovodih pa 75:25 v prid načrtovanih dogodkov, ki se ne obravnavajo v okviru neupravičeno nedobavljene električne energije. Res pa je, da lahko odprava okvare na kablovodu v zemlji traja dalj časa, kot na nadzemnem vodu.

Kakovost napetosti

Impedanca elektroenergetskih kablov znaša manj kot polovico impedance nadzemnih vodov. S povečevanjem prereza nadzemnih vodov praktično nič ne zmanjšamo njihove impedance, zato kabliranje omrežij izboljša tudi kakovost napetosti.

Izgube električne energije

Največji ekonomsko utemeljen prerez SN nadzemnih vodov je 70 mm² Al. Običajni prerez kablovoda, s katerim nadomeščamo nadzemne vode, pa je 150 mm² z več kot polovico manjšo ohmsko upornostjo in posledično manjšimi izgubami pri prenosu električne energije.

4.1 Kazalniki

V zadnjih desetletjih se daje vedno večji poudarek zanesljivi oskrbi z električno energijo in zato so se uveljavili tudi raznorazni kazalci s katerimi le-to ovrednotimo. Število in trajanje izpadov lahko ovrednotimo z različnih stališč, denimo s stališča celotnega EES. Kazalci razpoložljivosti, kot so LOLE, LOLP in ENS, so statističnega značaja in temeljijo na velikem časovnem intervalu opazovanja. Kljub temu pa v razdelilnih sistemih ne dajejo zadovoljivega opisa obnašanja sistema. Za podrobnejšo obravnavo izpadov napajanja z električno energijo so kazalci naravnani na:

- Odjemalca
- Moč in energijo
- Napajalno območje

Kazalci se lahko uporabijo tudi kot kriterij za ocenjevanje morebitnega neizpolnevanja pogodbenih obveznosti na trgu z električno energijo. Zanesljivost je namreč najbolj pomemben parameter kakovosti dobavljene električne energije, poleg kakovosti napetosti in komercialne kakovosti.

Kot uporabnika nas zanima predvsem dvoje: število izpadov na časovno enoto in trajanje posameznih izpadov. Nekoliko je lahko varljivo predvsem skupno trajanje izpadov v enem letu, saj je izredno pomembno tudi število izpadov, ki je privedlo do tega trajanja. Za uporabnika je namreč bistveno slabše, če v enem letu doživi petnajst dvominutnih izpadov kot enega polurnega.

SAIFI

Povprečni sistemski kazalec frekvence prekinitev SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), tudi f_{CS} določa izraz:

$$SAIFI = \frac{\sum_i n_i}{N_s T} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

kjer je n_i število prekinitev napajanja odjemalca i v periodi T , N_s število vseh odjemalcev, λ_i pa pogostost izpadov in N_i število porabnikov v vozlišču i .

Soroden kazalec je CAIFI, pri katerem pa je popolnoma vseeno kolikokrat je posamezni odjemalec brez napajanja, važno je le skupno število.

SAIDI

Sistemski povprečni kazalec trajanja prekinitev U_{CS} , tudi SAIDI (System Average Interruption Duration Index) je definiran kot:

$$SAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_s} = \frac{\sum T_i N_i}{\sum N_i}$$

kjer je t_{ij} trajanje j -te prekinitve i -tega odjemalca, T_i letno trajanje prekinitve, N_i število porabnikov v točki odjema i .

Podobno kot je CAIFI soroden kazalcu SAIFI je tudi kazalec CAIDI soroden kazalcu SAIDI.

Zgoraj omenjeni kazalci pa seveda niso edini, ki so se uspeli uveljaviti. Poznamo denimo še ASAI, MAIFI, AENS, ACCI in druge.

5. Literatura

- 1) Papič I., Žunko P., Elektroenergetska tehnika I, Založba FE in FRI, Ljubljana 2007
- 2) Babuder M., Visokonapetostna tehnika, Založba Fe in FRI, Ljubljana 2004
- 3) Miljavec D. in Jereb P., Električni stroji – temeljna znanja, 1. izdaja, 1.natis., samozaložba, Ljubljana 2005
- 4) Gubina F., Delovanje elektroenergetskega sistema, Založba FE in FRI, Ljubljana 2004
- 5) Short Tom A., Electric Power Distribution Handbook, CRC Press, 2004
- 6) Risto K. Ačkovski., Električni merži (začasni učbenik), Skopje 2012
- 7) Viljem Bonča., DIAGNOSTIKA IN PREIZKUŠANJE KABELSKE IZOLACIJE (magistrsko delo), Velenje 2013
- 8) SISTEMSKI OPERATER DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA Z ELEKTRIČNO ENERGIJO, d. o. o., NAČRT RAZVOJA DISTRIBUCIJSKEGA OMREŽJA ELEKTRIČNE ENERGIJE V REPUBLIKI SLOVENIJI ZA DESETLETNO OBDOBJE OD LETA 2015 DO 2024, Maribor 2015