**Univerzitet u Sarajevu**

**Elektrotehnički fakultet u Sarajevu**

**VIJEĆE DOKTORSKOG STUDIJA**

**Zmaja od Bosne bb**

**71000 Sarajevo**

**Bosna i Hercegovina**

**mr.sc. Sakib Jusić, dipl. ing. el.**

**Ul. A. Izetbegovića P+4+M**

**72240 Kakanj**

**Bosna i Hercegovina**

**Mob. +38761175933**

**e-mail: s.jusic@elektroprivreda.ba**

**Sarajevo, 01. 06. 2016. godine**

**Predmet: Molba za odobrenje prijedloga teme doktorske disertacije (projekta)**

Poštovani,

Obraćam Vam se molbom da u skladu sa članom 32. Pravila studiranja za treći ciklus studija Univerziteta u Sarajevu, prema kojem Vijeće doktorskog studija obrazuje Komisiju za razmatranje prihvatljivosti predložene teme i određuje nastavnika/ mentora/supervizora tokom pripreme doktorske disertacije (projekta), razmotrite i odobrite prijedlog teme doktorske disertacije (projekta) sa radnim naslovom:

**"Balansiranje opterećenja u inteligentnoj elektroenergetskoj distibutivnoj niskonaponskoj mreži sa značajnom penetracijom fotonaponskih elektrana"**

Molim Vas da se izvrši imenovanje nastavnika/ mentora/ supervizora i da se zakaže termin odbrane prijedloga teme doktorske disertacije.

Užu oblast doktorske teze i okvirni koncept teme definisao sam sa izabranim akademskim savjetnikom Doc. dr. sc. Selmom Hanjalić.

Tematika koja će biti obrađivana u predloženoj doktorskoj disertaciji odnosi se na napredne tehnologije u oblasti proizvodnje električne energije i inteligentne elektroenergetske sisteme.

Uz prijavu prijedloga teme doktorske disertacije (projekta) prilažem obrazloženje prijedloga teme doktorske disertacije sa:

1. CV kandidata sa profesionalnim aktivnostima, objavljenim radovima - referencama

2. Pregledom stanja u oblasti istraživanja,

3. Motivacijom i ciljevima za istraživanje,

4. Metodologijom i planom istraživanja,

5. Očekivanim naučnim doprinosom disertacije i

6. Pregledom polazne literature.

S poštovanjem,

Podnosilac Molbe:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

( mr.sc. Sakib Jusić, dipl. ing. el.)

**OBRAZLOŽENJE PRIJEDLOGA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE (PROJEKTA)**

**1. CURRICULUM VITAE**

**LIČNI PODACI:**

* Ime (ime oca ) i prezime : *Sakib ( Jusuf) Jusić*
* Datum i mjesto rođenja : *03.08.1966.g. Poljani- Kakanj*
* Državljanstvo: *BiH*
* Adresa stanovanja : *A. Izetbegovića P+4+M 72240 Kakanj - BiH*
* E-mail adresa : [*s.jusic@elektroprivreda.ba*](mailto:s.jusic@elektroprivreda.ba)

**OBRAZOVANJE :**

* Osnovna škola: *“Rudi Čajavec” Kakanj 1973-1981.g.*
* Srednja škola : *Elektrotehnička- elektroenergetika- Srednjoškolski centar Kakanj 1981-*

*1985. g.*

* Fakultet : *Diplomirani inženjer elektrotehnike*- *smjer elektroenergetika-Elektrotehnički*

*fakultet Sarajevo 1986-1991.g.*

* Postdiplomski studij : *Magistar elektrotehničkih nauka- smjer elektroenergetika-*

*Elektrotehnički fakultet Sarajevo - 2007.g.*

* *Trenutno pohađam doktorski studij na ETF u Sarajevu*
* *Na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Zenici imenovan u zvanje Viši asistent- oktobar 2014.g.*

***PROFESIONALNO ISKUSTVO :***

* Period od 1991-1993.g.- *Srednjoškolski centar Kakanj - Profesor elektroenergetske*

*1993-1999.g.(vanredno) grupe predmeta*

* Period od 1993-1994.g.- *TRO „Rudstroj „ Kakanj „ - Inženjer konstruktor*
* Period od 1994-1999.g.- *„Elektrodistribucija“ Zenica – Vodeći inženjer u Poslovnici*

*Kakanj*

* Period od 1999- 2005.g.- *„Elektrodistribucija“ Zenica – Rukovodilac Poslovnice Kakanj*
* Period od 2005-2009.g.- *„Elektrodistribucija“ Zenica - Rukovodilac Poslovnice Visoko*
* Period od 2009-2011.g.- *„Elektrodistribucija“ Zenica – Direktor*
* Period 08.2011-02.2012.g.-*„Elektrodistribucija“ Zenica – Tehnički direktor*
* Od 01.02.2012.- *„Elektrodistribucija“ Zenica – Rukovodilac Sektora za priključenja*
* Od oktobra 2014.g. *– Viši asistent u svojstvu spoljnog saradnika na Mašinskom fakultetu*

*Univerziteta u Zenici*

**OSTALE AKTIVNOSTI :**

* Period 2000-2004.g.- *Vijećnik u OV Kakanj*
* Period 2003-2010.g.- *Član UO Narodne tehnike ZE-DO Kantona*
* Period 2007-2010.g.- *Predsjednik Rukometnog kluba Kakanj*
* Period 2010-2012 g.- *Zamjenik predsjednika SKUPŠTINE PRIVREDNE KOMORE ZE-*

*DO KANTONA, Član Skupštine PRIVREDNE KOMORE FBiH*

* *Od 2010. g.- Član BHK CIGRE*

**SAVJETOVANJA-SEMINARI- KURSEVI**

* *Učešće i objave stručnih radova na savjetovanjima BHK CIGRE 2005.g., 2007.g., 2009.g.,2013.g.,2015.g.*
* *Učešće i objave stručnih radova na međunarodnim savjetovanjima YUKO CIRED 2004.g., 2006.g. , 2008.g. i 2014.g.*
* *Objava stručnog rada na međunarodnom savjetovanju CONFERENCE IYCE 2007.g.*
* *Učešće i objave stručnih radova na međunarodnim savjetovanjima IEEP 2013.g. i 2015.g. ,*
* *Učešće i objava stručnog rada na međunarodnom savjetovanju CG KO CIGRE 2015.g. ,*
* *Kursevi engleskog jezika u periodu 1995-1999.g.*
* *Certifikat INTERNOG AUDITORA ISO standarda 2007.g.*
* *Kursevi iz oblasti menadžmenta – ORGANIZACIJA, UPRAVLJANJE I VOĐENJE KOMPANIJE - ADIZES ASEE 2009-2011.g.*
* *CERTIFIKAT O ZAVRŠENOM USAVRŠAVANJU PREDSJEDNIKA I ČLANOVA NADZORNIH ODBORA I UPRAVA PRIVREDNIH DRUŠTAVA 2014.g.*

**OBJAVLJENI RADOVI- REFERENCE**

1. S. Jusić, *“OPRAVDANOST UVOĐENJA KOMPENZACIJE REAKTIVNE SNAGE U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI“,* OKRUGLI STO “GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ DJELATNOSTI”, Zenica , 16.05. - 17.05.2003.
2. S. Jusić*, “INTEGRATED SYSTEM OF PROTECTION AND CONTROL IN S/S CATICI 35/10(20) kV,2x2.5 MVA”,* REGIONALNO SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA, Herceg Novi, Crna Gora, 5-8. Oktobar 2004
3. S. Jusić*, “EFEKTI GALVANSKOG RAZDVAJANJA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE 10 ( 20 ) kV U OPĆINI KAKANJ”,* VII SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA CIGRE, NEUM, 25.09 – 29.09.2005
4. S. Jusić*, “* *THE PREDICTION OF LOAD IN PROCESS OF RESTORATION OF POWER SUPPLY IN A DISTRIBUTION SYSTEM“*, DRUGO REGIONALNO SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA Srbija, Zlatibor, Hotel Palisad 17 - 20. oktobar 2006.
5. S. Jusić, M. Hajro, *“HLADNO VRŠNO OPTEREĆENJE U DIJELOVIMA ELEKTROENERGETSKE DISTRIBUTIVNE MREŽE“,* VIII SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA CIGRE, NEUM, 21.10 – 25.10.2007
6. S. Jusić, S. Hanjalić, *“**The Prediction of Load in Process of Restoration of Power Supply in a Distribution System*“ , IYCE 2007 CONFERENCE
7. S. Jusić*, “* *THE ANALYSE OF BASIC PARAMETERS OF COLD LOAD PICKUP IN PARTS OF DISTRIBUTION SYSTEM “*, VI SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA SA REGIONALNIM UČEŠĆEM ,Srbija, Vrnjačka Banja, 30.09- 03.10.2008.
8. S. Jusić,*“ ANALIZA OSNOVNIH PARAMETARA HLADNOG VRŠNOG OPTEREĆENJA U DIJELOVIMA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE“,* IX SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA CIGRE, NEUM, 27.09 – 01.10.2009.
9. S. Jusić, Š. Fehrić, *“**INFLUENCE OF SOLAR PANELS TO THE ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK "*, Četvrta regionalna konferencija: Industrijska energetika i zaštita životne sredine u zemljama Jugoistočne Evrope IEEP 2013 Divčibare, 26-29. jun 2013.
10. *S.* Jusić, Š. Fehrić, *“ANALIZA UTICAJA PRIKLJUČENJA SOLARNIH ELEKTRANA NA ELEKTROENERGETSKU DISTRIBUTIVNU MREŽU“ “,* XI SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA CIGRE, NEUM, 15.09 – 19.09.2013.
11. S. Jusić*, E. Hrnjić, “* *EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA MODELA HLADNOG VRŠNOG OPTEREĆENJA U STAMBENIM PODRUČJIMA“*, IX SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA SRBIJE- SA REGIONALNIM UČEŠĆEM, Vrnjačka Banja, 22.09- 26.10.2014.
12. S. Jusić*,* F. Begović, D. Pihljak*, “ FAKTOR SNAGE U STAMBENOM KONZUMU NA PRIMJERU NISKONAPONSKE DISTRIBUTIVNE MREŽE U OPŠTINI TEŠANJ-BiH “*, IV SAVJETOVANJE CG KO CIGRE Institut “Dr Simo Milošević” Igalo, 11 - 14.05.2015.
13. S. Jusić, F. Begović, *“**TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE IN THE WORK OF MICRO AND MINI SOLAR POWER PLANT CONNECTED TO THE POWER DISTRIBUTION NETWORK IN THE MUNICIPALITY TEŠANJ”,* Peta regionalna konferencija: Industrijska energetika i zaštita životne sredine u zemljama Jugoistočne Evrope IEEP 2015 Zlatibor, Srbija, 24-27. jun 2015.
14. S. Jusić, S. Hanjalić, F. Begović, *“ UTICAJ NELINEARNIH OPTEREĆENJA NA FAKTOR SNAGE U SEKTORU STAMBENE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE“ “,* XII SAVJETOVANJE BOSANSKOHERCEGOVAČKOG KOMITETA CIGRE, NEUM, 04.– 08.10.2015.

**2. PREGLED STANJA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA**

Tradicionalne, postojeće nacionalne elektroenergetske infrastrukture građene su na principima i modelima predviđanja potražnje za električnom energijom. Iako su te infrastrukture godinama zadovoljavale naše potrebe, porast potražnje za električnom energijom je činjenica koja tu infrastrukturu pomiče prema njezinim limitima te svakodnevno povećava vezane rizike u njihovoj veličini, broju i složenosti. Dodatne izazove pred elektroenergetske infrastrukture stavljaju i potrošači, čija pozicija u elektroenergetskom sistemu sa pasivne sve više prelazi u aktivnu, očekujući pri tome odgovarajuću tehnološku i operativnu podršku distributera električne energije.

Isto tako, evropski trend deregulacije elektroenergetskog sektora kojim države nastoje da demonopoliziraju i uspostave konkurentsko elektroenergetsko tržište, iziskuje od aktera uspostavu novih poslovnih modela i prilagođavanje pripadajućih elektroenergetskih infrastruktura [1].

Rješavanje svih navedenih izazova vodi ka integraciji principa i koncepata elektroenergetske sa informatičko-komunikacionom oblašću. Upravo iz tog objedinjavanja proizlazi modernizacija elektroenergetskog sistema postavljanjem u mrežu aktivnih elemenata za daljinsko praćenje i upravljanje elektroenergetskim sistemom te tokovima i potrošnjom električne energije, a s konačnim ciljem uspostave inteligentne mreže (eng. *Smart Grid*) sposobne za adaptivnu i optimalnu proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju električne energije.

Institut inženjera elektrotehnike i računarstva (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, www.ieee.org*) i Američki nacionalni institut za standarde i tehnologije (*National Institute of Standards and Technology - NIST, www.nist.gov*) zajedničkim su naporima pokrenuli razvoj tehnoloških standarda za uspostavu inteligentnih elektroenergetskih mreža [2], [3]. Ti dokumenti sadrže konceptualni model inteligentnih elektroenergetskih mreža zasnovan na sljedećim domenima: masovna proizvodnja, prenos, distribucija, korisnici, usluge, operacije, tržišta.

Svaki od domena sadrži odgovarajuće aktivne elemente inteligentne elektroenergetske mreže međusobno povezane dvosmjernim komunikacionim vezama i energetskim tokovima. IEEE dalje svaki od domena, koje predlaže NIST, detaljno razrađuje na fundamentalnim nivoima: nivou energije, komunikacionom nivou i informaciono-informatičkom nivou.

Koordinirano funkcionisanje svih subjekata u inteligentnoj mreži vodi ka efikasnom i održivom sistemu uz visok stepen kvaliteta i pouzdanosti snabdijevanja korisnika [4],[5].

Nizom donesenih direktiva, Evropska Unija je pokazala snažnu orijentiranost ka razvoju inteligentne elektroenergetske mreže [6]. U Izvještaju iz 2014.g. urađenog u *Institutu za energiju i transport JRC-a Evropske komisije* navodi se da aktuelna baza broji 459 projekata u oblasti inteligentnih mreža, od kojih 211 projekata pripada grupi istraživačkih i razvojnih projekata (*Research and Development - R&D*), dok je 248 projekata iz grupe demonstracionih i fizički postavljenih (*Demo and Deployment - D&D*) [7]. Evidentirani projekti su bez izražene pravilnosti distribuirani po Evropi i različite zemlje su na drugačiji način rasporedile fokus na pojedine aspekte inteligentne mreže. Tako je cilj najskupljeg projekta iz oblasti inteligentnih mreža *Grid4EU*, čiji su nosioci 6 operatora distributivnih sistema koji pokrivaju 50% potrošača električne energije u Evropi (*ERDF*, *Enel Distribuzione*, *Iberdrola*, *CEZ Distribuce*, *VattenfallEldistribution* i *RWE*), da se u četvorogodišnjem periodu testiraju potencijali inteligentne mreže u pogledu integracije obnovljivih izvora energije i električnih vozila u sistem, automatizacije mreže, skladištenja električne energije, poboljšanja energetske efikasnosti i kontrole opterećenja. Dosadašnji rezultati projekta su opisani u više od 80 publikacija [8], [9].

Rezultati,diskusije i zaključci i ostalih projekata su dati kao korisne smjernice za naredne korake sa aspekata cjelovitog koncepta inteligentne mreže [10],[11], napredne infrastrukture za mjerenje [12], integracije obnovljivih izvora energije [13], upravljanja potrošnjom [14], skladištenja energije [15][16], integracije električnih vozila [17], itd. Najveći napredak u realizaciji je do sada postignut u segmentu inteligentnih mjerenja. Prema direktivi 2009/72/EC Evropske komisije, postavljen je cilj da do 2020. godine udio inteligentnih brojila u ukupnom broju dostigne 80%. Evropska komisija u svojim dokumentima izvještava da je zadovoljna sa progresom [18], dok postoje i primjeri kalkulacija nezavisnih institucija u kojima se tvrdi da korist od prelaska na inteligentna brojila nije na zadovoljavajućem nivou [19].

Osim EU, izuzetan značaj razvoju tehnologije inteligentnih mreža pridaje se i u SAD. Paket mjera za izlazak iz recesije, poznat pod originalnim nazivom *American Recoveryand Reinvestment Act of 2009 (ARRA)*, značajno je podržao napredak u ovoj oblasti [17], a segmenti inteligentnih mreža koji su najviše razvijeni su: napredna infrastruktura za mjerenje, tehnologije upravljanja potrošnjom na strani korisnika, upravljanje distributivnom mrežom i upravljanje prenosnom mrežom [20].

Od ostalih regiona u svijetu, intenzivnom razvoju inteligentnih mreža posvetile su se i Kina [21], Indija [22], te Japan, Južna Koreja, Australija i Kanada [23].

U BiH je u posljednjih nekoliko godina ostvaren određeni napredak u segmentu ugradnje inteligentnih brojila. [24]

Jedan od neizostavnih elemenata u kreiranju moderne energetike jeste i distribuirana proizvodnja električne energije, koja svakako zaslužuje najvišu pažnju u planiranju jer se odražava ponajprije na pouzdanost snabdijevanja, efikasnost sistema i zaštitu okoline.

Opšta svijest o negativnom djelovanju prekomjernih emisija CO2 postala je glavna pokretačka snaga koja u 21. vijeku striktno određuje smjer razvoja energetike. Usvajanjem glavnih energetskih ciljeva Evropske Uni­je, kolokvijalnog naziva „20-20-20“ (u odnosu na 1990. godinu za 20%: smanjiti potrošnju energije, smanjiti emisiju CO2 i povećati udio obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji primarne energije), stvoren je put prema snažnom uvođenju distribuiranih sistema za distribuira­nu proizvodnju energije, dok su energetskim subjektima postavljeni prilično zahtjevni kriteriji s kojima se teško nose.

Zbog toga su se uveliko počeli instalirati fotonaponski paneli i vjetroturbine za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, ali i plinski uređaji poput kogeneracija, mikrokogeneracija, toplotnih pumpi i hibridnih sistema, koji znatno poveća­vaju efikasnost pretvorbe i također koriste obnovljive izvore energije. Smisao je jasan, lokalnim korištenjem proizvedene energije pokušati ispuniti zadane ciljeve EU-a: smanjiti energetske gubitke, povećati korištenje obnovljivih izvora energije i smanjiti emisiju CO2.

Pad cijena opreme distribuiranih sistema, poticajne državne subvencije i povoljne otkupne cijene za proiz­vedenu električnu energiju doveli su do nekontroli­sane masovne instalacije distribuiranih izvora različi­tih snaga. Pritom se nije vodilo računa o adekvatnom planiranju i usklađivanju takvih projekata sa stanjem i mogućnostima energetske infrastrukture. Takvo je djelovanje izazvalo određene implikacije na snabdijevanje električnom energijom. Prekomjernom proizvodnjom električne energije iz distribuiranih izvora, u uslovima niske potrošnje, dolazi do zagušenja mreže [25].

Tokovi snaga u distributivnim mrežama bez distribuiranih izvora energije su jednosmjerni, odnosno teku u jednom smjeru i to od mjesta preuzimanja električne energije pa do potrošača. Priključenjem nekog distribuiranog izvora energije, dolazi do promjene smjerova tokova snaga, distributivni vodovi postaju dvostrano napajani, a distributivna mreža nije više pasivna već postaje aktivna [26]. U uslovima jakog prisustva distribuirane proizvodnje u potpunosti se mijenjaju tokovi snaga, a ukupni gubici električne energije se uglavnom smanjuju, kao što je predstavljeno u literaturi [27-29].

U posljednjih nekoliko godina, porast instalacije fotonaponskih sistema u elektroenergetski sistem, i to većinom u niskonaponske distributivne mreže, je značajan. S obzirom na raspoloživ solarni potencijal širom svijeta [30-35], kao i na kontinuirano smanjivanje cijena komponenti fotonaponskih sistema kao posljedice razvoja tehnologije proizvodnje fotonaponskih ćelija i ekspanzije tržišta [36-38], zaključuje se da je sasvim opravdana pojava sve većeg broja fotonaponskih sistema priključenih na distributivnu mrežu [39, 40].

Fotonaponski sistem predstavlja integrisan skup fotonaponskih modula i drugih komponenti, projektovan tako da primarnu solarnu energiju direktno pretvara u električnu energiju kojom se osigurava rad određenog broja potrošača istosmjerne (DC) i/ili naizmjenične (AC) struje. Kod fotonaponskih sistema povezanih na distributivnu mrežu, istosmjerna struja dobijena u fotonaponskim modulima se pretvara u naizmjeničnu struju pomoću invertora koji je povezan na mrežu tako da se, osim napajanja potrošača, vrši i razmjena električne energije sa mrežom [41]. Projektovanje fotonaponskih sistema se najčešće vrši na osnovu njihove godišnje proizvedene energije, koja je također dobar parametar za praćenje dugoročnih karakteristika fotonaponskog sistema. Za predviđanje godišnje proizvedene energije fotonaponskog sistema neophodni su pouzdani modeli i metode s obzirom na stohastičku prirodu solarnog zračenja i na veliki broj uticajnih faktora (ambijentalni uslovi i performanse sistema) [42]. U literaturi su dati modeli za predviđanje snage i energije solarnog zračenja po jedinici površine (iradijacije i insolacije) [43-45], kao i statističko modelovanje električne energije proizvedene fotonaponskim sistemom [46-48].

Povezivanje fotonaponskih sistema utiče na različite načine na distributivnu mrežu. U literaturi [49] navedeni su uticaj na relejnu zaštitu, uticaj na kvalitet električne energije, uticaj na pouzdanost i stabilnost sistema. Povezivanje fotonaponskih sistema izaziva promjenu tokova snaga kroz distributivne vodove i transformatore [49], a kao posljedica toga dolazi do promjene napona i gubitaka snage u distributivnoj mreži [50-56].

Da li će novopriključeni izvor imati pozitivan ili negativan uticaj na naponske prilike u mreži zavisi od više faktora: mjesta priključka izvora, snage priključenog izvora, konfiguracije mreže, dnevnih dijagrama opterećenja mreže, itd. U [57] je ustanovljeno da priključenje fotonaponske elektrane u radijalnu mrežu ima najveći uticaj na naponske prilike ako se priključi na sami kraj radijalnog voda, vodeći računa o naponskim ograničenjima. U [58] je korišten IEEE testni sistem i u MATLAB okruženju provedena analiza za jedan tipični dnevni dijagram proizvodnje fotonaponske elektrane i dnevni dijagram potrošnje. Cilj je bio analizirati uticaj na razliku maksimuma i minimuma napona za slučajeve sa i bez ugrađene fotonaponske elektrane. Ustanovljeno je da se izborom i ugradnjom elektrane tačno određene snage može dovesti do minimiziranja ove razlike. Autori u [59] i [60] daju metod za odabir optimalne snage i mjesta ugradnje fotonaponske elektrane u radijalnu mrežu. Također, data je i procedura za minimizaciju ukupnih gubitaka radijalne mreže u toku jednog dana, pri čemu se izbjegava inverzni tok snage ka transformatorskoj stanici. Isto tako, u [61-64] obrađuju se razne metode optimizacije u cilju smanjenja gubitaka u mreži. Mogućnost priključenja određene snage fotonaponskog sistema na izvodu niskog napona određena je nivoom i rasporedom opterećenja izvoda kao i udaljenošću mjesta priključenja od tranformatorske stanice (TS) 10(20)/0,4 kV [65].

Kapacitet distributivne mreže za prihvat distribuiranih izvora je ograničen karakteristikama mreže i potrošnje na toj mreži. Distribuirani izvori većih snaga priključuju se na SN mrežu i obično se nalaze u sistemu daljinskog vođenja tako da dispečer može direktno upravljati prekidačem za odvajanje elektrane te izdavati naredbe za povećanje ili smanjenje izlazne snage generatora. Međutim, najveći udio u broju distribuiranih izvora otpada na mikro i mini fotonaponske sisteme izgrađene na krovovima stambenih i poslovnih objekata koji se priključuju na niskonaponsku mrežu. Fotonaponski sistemi su jako osjetljivi na promjene insolacije te se ponašaju različito od generatorskih sistema. Stoga je upravljanje takvim sistemima znatno teže i zavisi isključivo o upravljačkim sklopovima koji su najčešće ugrađeni u invertore. Invertori osim izmjenjivačkih funkcija imaju i zaštitne i upravljačke funkcije. Prije puštanja fotonaponskog sistema u pogon podešava se zaštita te se zadaju parametri za upravljanje nakon čega je rad invertora potpuno samostalan i automatiziran. Ako je na istom izvodu priključen veći broj fotonaposnkih sistema, u slučaju porasta napona iznad dozvoljene granice ili naglih promjena insolacije može doći do neusklađenosti rada invertora. Stoga se kod velike gustine takvih sistema pojavljuje potreba za primjenom inteligentnih mreža (eng. *Smart Grids*) [66].

Porast nivoa penetracije fotonaponskih sistema u distributivnoj mreži unosi još veće promjene tokova snaga i otežava održavanje naponskih nivoa u propisanim granicama, što uz sezonske i dnevne varijabilnosti opterećenja i proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sistema, dodatno usložnjava pogon distributivne mreže. Zbog tih i drugih razloga, postoji rastuća potreba za alatima koji bi pomogli u upravljanju distributivnom mrežom sa povećanom penetracijom fotonaponskih elektrana [67].

U literaturi [68] razvijen je matematički izraz za izračunavanje napona u pojedinačnom čvorištu distributivnog voda sa priključenim jednim fotonaponskim sistemom. Rezultati su pokazali da granična snaga fotonaponskog sistema zavisi od lokacije, kao i orijentacije opterećenja. U [69] je prezentiran model procjene najviše dopuštene snage distribuirane proizvodnje kroz analizu naponskih osjetljivosti. Precizni rezultati dobijeni su za pojedinačni distribuirani izvor, te se sugeriše pristup za više distribuiranih izvora uz više ponavljanja postupka. Rad [70] pokazuje da se veća granična snaga fotonaponskih sistema dobija instaliranjem više fotonaponskih elektrana raspoređenih duž distributivnog voda u odnosu na jednu fotonaponsku elektranu priključenu na kraju voda.

U [71], za pojedinačni distributivni vod, izvedena je jednostavna jednačina za procjenu granične snage priključenja fotonaponskih sistema za dato opterećenje, transformatorsko podešenje regulatora napona i faktor snage, uz pretpostavku da je fotonaponska elektrana priključena na kraju voda. U [73], kvantificirani su uticaji na stabilnost napona, uz varijabilnost napona u transformatorskoj stanici ostvarenog regulacionom preklopkom na transformatoru, u zavisnosti od nivoa snage fotonaponske elektrane priključene na kraju određenog distributivnog voda. U [72] i [73], određena je maksimalna snaga distribuiranih izvora za određene konfiguracije distributivnih vodova. Radovi [74] i [75] predlažu metode za određivanje optimalne snage i lokacije za pojedinačne distribuirane izvore, dok su u literaturi [76] - [80] predložene metode za regulaciju napona u prisutnosti distribuiranih izvora.. U radu [81] predstavljena je metoda za određivanje maksimalne snage priključenja fotonaponskih sistema u niskonaponsku distributivnu mrežu za različite raspone i opterećenja distributivnih vodova, te za slučajeve priključenja više fotonaponskih elektrana manjih snaga raspoređenih duž distributivnog voda.

Efekti rada fotonaponske elektrane na elektroenergetski sistem su dominantno određeni sučeljavanjem vremenskih dijagrama potrošnje i dijagrama proizvodnje fotonaponskih elektrana. Ova sučeljavanja određuju tokove snaga kroz elemente distributivnog sistema, a time i definišu gubitke u distributivnoj mreži.

Nepredvidiva proizvodnja obnovljivih izvora električne energije stvara neravnotežu između proizvodnje i potrošnje, što dovodi do jednog od osnovnih problema u mrežama sa distribuiranim izvorima- balansiranju opterećenja [82].

Opšte prihvaćeno rješenje za balansiranje opterećenja je koncept inteligentnih mreža.Većina autora se slaže da inteligentna mreža integrira informacione i komunikacione tehnologije podataka za praćenje i kontrolu proizvodnje, distribucije, skladištenja i potrošnje električne energije kako bi se postigla bolja efikasnost, ekonomičnost, sigurnost i pouzdanost [83-86].

Inteligentna mreža je koncept s mnogo elemenata, gdje se praćenjem i kontrolom svakog elementa u lancu proizvodnje, prenosa, distribucije i potrošnje omogućava mnogo efikasnija isporuka i korištenje električne energije [87], a jedna od karakteristika inteligentne mreže je sposobnost balansiranja opterećenja, odnosno potražnje u realnom vremenu. Upravljanje opterećenjem može povećati efikasnost snižavanjem vršnog opterećenja i prebacivanjem opterećenja na više povoljnijih dnevnih perioda. Neki od kućanskih aparata (klima uređaji, mašine za pranje i sušenje, zamrzivači, grijači i frižideri) mogu biti privremeno isključeni ili sa odgođenim isključenjem bez snažnog uticaja na stanovništvo. Terenski testovi u SAD-u pokazali su da optimizacija rada tih aparata već može dovesti do značajnih smanjenja vršnog opterećenja[88].

**3. MOTIVACIJA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA**

Energetski sektor u savremenim društvima se danas nalazi pred izazovima koji su takvog karaktera da zahtijevaju organizovan pristup, pošto je manevarski prostor za optimalna rješenja dodatno sužen ograničenjima koja nameću zaštita životne sredine, raspoloživi energetski resursi, ekonomska ograničenja i moderne tehnologije.

Planiranje razvoja energetskog sistema u budućnosti mora se provoditi uz uvažavanje sve većih ekoloških problema i konstantnog zagađivanja atmosfere, što nameće potrebu za smanjenjem emisija stakleničkih gasova.

Novi trendovi u reformi energetskog sektora, s ciljem smanjenja uticaja na okolinu prije svega kroz smanjenje emisija CO2 , predstavljaju krupne izazove za tradicionalne elektroenergetske sisteme u novim uslovima rada u okviru održivog planiranja, što prevashodno, podrazumijeva sljedeće:

* razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija, koje omogućavaju nove metode za nadzor i upravljanje mrežom,
* liberalizaciju tržišta električne energije, koja ima za cilj da podstakne konkurenciju i poboljša kvalitet, ali koja nesumnjivo usložnjava princip funkcionisanja mreže,
* razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije i njihovim sve većim udjelom u elektroenergetskoj mreži,
* mogućnost da korisnici učestvuju u elektroenergetskom sistemu kao proizvođači energije, a ne samo kao kupci, što je do skoro bio samo slučaj,
* razvoj tehnologija za upravljanje opterećenjem, sa ciljem efikasnijeg i ekonomičnijeg snabdijevanja, u skladu sa cijenom električne energije i, indirektno, u skladu sa ostalim elementima mreže i
* pojava električnog vozila kao potrošača autentičnih karakteristika, sa velikom snagom punjenja baterija i mogućnošću za skladištenje viškova energije iz elektroenergetskog sistema.

Intenzivnije promjene u energetskom sektoru, potaknute i usvajanjem određenih zakona, direktiva, strategija i smjernica, su već uočljive u razvijenim zemljama, u kojima se težnja ka održivom sistemu provodi intenzivnim korištenjem obnovljivih resursa i unapređenjem energetske efikasnosti.

U većini zemalja u razvoju, koje uglavnom karakterišu konvencionalni energetski sistemi, najčešće bazirani na eksploataciji fosilnih goriva, promjene energetskog sektora su osjetno slabijeg intenziteta. Međutim, znatan broj njih je već preuzeo obavezu implementacije dijela obaveza, a time i realizaciju veoma ambicioznih ciljeva iz ove oblasti. Zato ni elektroenergetski sektor zemalja u razvoju neće ostati izvan uticaja pomenutih transformacionih procesa.

U savremenom elektroenergetskom sistemu, distributivni podsistem je izložen najvećim promjenama, jer se u njemu pojavljuje i distribuirana proizvodnja - elektrane relativno male snage, koje su na mrežu priključene na distributivnom naponskom nivou, u blizini potrošača. Također, i sami korisnici energije, industrijski, komercijalni ili stambeni, mogu da investiraju u sopstvene proizvodne kapacitete. Time im se otvara mogućnost da balansiraju između vlastite proizvodnje i kupovine energije od snabdjevača. Kod krajnjih korisnika se umjesto klasičnih brojila ugrađuju inteligentna brojila koja se umrežavaju u tzv. naprednu infrastrukturu za mjerenje (AMI - A*dvanced Metering Infrastructure*). Komunikacija postaje dvosmjerna, pa osim što snabdjevači očitavaju podatke o potrošnji, oni korisnicima šalju informacije o cijeni električne energije, daju statistiku potrošnje i savjete za uštedu. Određenim uređajima čije je vrijeme rada fleksibilno, kao što su npr. bojleri, veš mašine, uređaji za grijanje i hlađenje, moguće je upravljati tako da se uključuju u periodima kada je cijena električne energije niža. Posebno karakterističan prijemnik energije je električno vozilo. Sa snagama i do pedesetak kilovata, električna vozila itekako utiču na vršnu snagu potrošnje i zagušenja kapaciteta distributivne mreže. S druge strane, baterije električnih vozila predstavljaju alternativu za skladištenje energije u dužim periodima parkiranosti. Skladištenje energije je veoma važno s obzirom da proizvodnja iz obnovljivih izvora najčešće ne koincidira sa potrebama potrošnje. Na primjer, fotonaponski sistemi najviše proizvedu oko podneva, a vršna snaga potrošnje se javlja u sumrak. Iz tog razloga se u sistem povezuju i posebni uređaji za skladištenje energije, koji pomažu oko balansiranja između proizvodnje i potrošnje, povećavaju ekonomsku efikasnost i pouzdanost. Očigledno je da moderna mreža postaje veoma kompleksan sistem i da su za optimalno koordinisanje svih njenih učesnika potrebni najsavremeniji upravljački informaciono-komunikacioni resursi. Intenziviranjem upotrebe informacionih i komunikacionih tehnologija, tradicionalna elektroenergetska mreža se transformiše u inteligentnu (pametnu, naprednu) mrežu. Detaljnija analiza energetske efikasnosti, koja ne sagledava samo skup mjera na strani proizvođača ili potrošača, već efikasnost na cijelom toku konverzije energije od primarne do finalne, uključujući i gubitke, pokazuje da inteligentne mreže sa svojim velikim potencijalom omogućavaju osjetno kvalitetniju primjenu mjera energetske efikasnosti dijelom i zato jer se smanjenjem vršnog opterećenja smanjuju gubici u prenosu energije, a dijelom i zato što su nadzor i upravljanje energetskim procesima na osjetno višem nivou, posebno na srednjenaponskom i niskonaponskom nivou.

Bez obzira na određene prepreke koje još uvijek stoje na putu provedbe projekata obnovljivih izvora energije,današnje okruženje i uslovi u BiH zasigurno su znatno povoljniji od onih prije nekoliko godina. Donesene zakonske odredbe kojima se utvrđuje obaveza preuzimanja električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije prema zajamčenim tarifama sasvim sigurno doprinosi sve većem interesu kako domaćih tako i stranih investitora za projekte obnovljivih izvora energije s jedne strane, te proizvođača opreme, projektanata i izvođača s druge strane.

Upravo zbog poticajnih otkupnih cijena, korištenje energije sunčevog zračenja za proizvodnju električne energije posljednjih godina je i u našem okruženju u sve većem porastu.

Fotonaponske elektrane imaju brojne prednosti od kojih su, između ostalih, i sljedeće:

sunčeva energija je besplatna i praktički neiscrpna, tehnologija pretvaranja energije je čista, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sistema, karakterizira ih visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi itd. Nedostaci fotonaponske elektrane su ti što proizvodnja ovisi o osunčanosti, potrebne su velike površine, tehnologija pretvaranja sunčeve u električnu energiju je još uvijek skupa, a sve to uz malu efikasnost. Time su ulaganja u fotonaponske elektrane teško isplativa bez nekih dodatnih poticaja.

Poticajne otkupne cijene proizvedene električne energije su i glavni razlog zbog čega se novoizgrađene fotonaponske elektrane u našem okruženju isključivo priključuju kao distribuirani izvori na elektroenergetsku distributivnu mrežu, i to pretežno na niskonaponskom nivou. Zbog mnogih pogodnosti u narednom periodu očekuje se sve veći broj priključenih mikro i mini fotonaponskih elektrana instaliranih na krovovima poslovnih i stambenih objekata. Porast nivoa penetracije fotonaponskih sistema u niskonaponskoj distributivnoj mreži unosi značajnije promjene tokova snaga i otežava održavanje naponskih nivoa u propisanim granicama, što uz sezonske i dnevne varijabilnosti opterećenja i proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sistema, dodatno usložnjava pogon distributivne mreže. Zbog tih i drugih razloga, postoji rastuća potreba za alatima koji bi pomogli u upravljanju distributivnom mrežom sa povećanom penetracijom fotonaponskih elketrana.

Kao posljedica rastuće pažnje koja se posvećuje pitanju racionalnog korištenja energije, mjerenje električne energije u elektroprivrednim preduzećima postaje sve važnija aktivnost. To je ujedno i oblast koju karakterizira sve intenzivnija primjena savremenih tehnologija gdje se prije svega misli na različita rješenja iz domena tzv. inteligentnih mjerenja. Pomenuta kretanja ne mogu zaobići ni elektroprivredne kompanije iz našeg okruženja, tako da i one počinju bilježiti prve korake u izgradnji odgovarajuće infrastrukture za inteligentno mjerenje električne energije.

Sistem daljinskog očitanja i upravljanja brojilima električne energije ( u nastavku AMR/AMM

sistem) predstavlja tehnologiju za automatsko prikupljanje/upravljanje podataka mjerenih veličina (električna energija, voda, toplota, i sl.) i njihovo prenošenje do centra očitanja/upravljanja. Razvoj ove tehnologije započeo je najprije sa funkcijom AMR–a (od engl. *Automated Meter Reading*), koja je omogućila daljinsko prikupljanje podataka i njihov prenos do centralnog računarskog sistema za obračun i vršenje različitih analiza. Druga funkcija - AMM (od engl. ***A****utomated* ***M****eter* ***M****anagement*) predstavlja proširenje AMR –a i uključuje mogućnost izvršenja različitih vrsta tzv. *„customer-oriented“* usluga putem sistema.

U posljednje vrijeme koristi se i pojam AMI (od eng. *Automatic Meter Infrastructure*) sistemi koji osim brojila uključuju hardver, softver, komunikacije, kontrolere i monitore potrošnje kod potrošača, itd.

Inteligentni mjerni sistemi predstavljaju okosnicu inteligentnih mreža, jer je brojilo prisutno kod svih kupaca električne energije i na neki način predstavlja ulaz prema drugim mrežama kupca (npr. telekomunikaciona mreža i sl.).

Činjenica da sam u dosadašnjoj profesionalnoj karijeri bio vrlo aktivni učesnik u poslijeratnoj revitalizaciji i izgradnji elektroenergetskih distributivnih mreža, kao i da je moj trenutni angažman vezan za razvoj elektroenergetske distributivne djelatnosti, te vrlo aktuelna problematika koja se odnosi na predmetnu oblast, predstavljali su mi posebnu motivaciju za provođenje detaljnijih istraživanja na predloženu temu doktorske disertacije.

Pošto je koncept inteligentnih mreža opšte prihvaćeno rješenje za, između ostalog, i efikasno uravnoteženje proizvodnje i potrošnje u realnom vremenu, osnovni ciljevi istraživanja na predloženu temu odnose se na maksimizaciju pozitivnih efekata pri provođenju neminovne transformacije tradicionalnih elektroenergetskih distributivnih niskonaponskih mreža u inteligentne mreže sposobne za prihvat značajnog broja mikro i mini fotonaponskih elektrana, stavljajući u aktuelnom trenutku akcenat na automatizaciju distributivnog podsistema u smislu daljnje implementacije inteligentnih mjernih sistema, upravljanja opterećenjem na strani potrošnje i unapređenja DMS (*Distributed Management System*) sa integrisanim SCADA sistemom u centrima upravljanja (SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*).

U drugoj fazi treba računati sa razvojem i ostalih komponenata inteligentne mreže, koje će se, iako uz određeno kašnjenje, neizostavno nametnuti i kod nas kao potreba.

**4. METODOLOGIJA I PLAN ISTRAŽIVANJA**

Planirana istraživanja tokom izrade doktorske disertacije (projekta) ogledaju se u sljedećem::

Istraživanje će se temeljiti na prikupljanju podataka iz sekundarnih i primarnih izvora podataka, zatim će se adekvatnim naučnim metodama i tehnikama izvršiti obrada podataka i na kraju će se prezentirati rezultati istraživanja.

Kao najvažniji sekundarni izvor podataka pri izradi doktorske disertacije koristit će se literatura napisana od domaćih i stranih autora iz oblasti istraživanja, objavljena u različitim formama: knjigama i priručnicima, doktorskim disertacijama, magistarskim i specijalističkim radovima, člancima i studijama, te sa interneta.

Izvršit će se analiza problematike priključenja distribuiranih izvora na elektroenergetsku distributivnu mrežu, sa posebnim osvrtom na značajnu penetraciju mikro i mini fotonaponskih elektrana kao intermitentnih obnovljivih izvora u niskonaponsku distributivnu mrežu, te predložiti najpodesniji metod za određivanje maksimalne snage njihovog priključenja na primjeru realne niskonaponske mreže na području Podružnice “Elektrodistribucija” Zenica, koristeći se pri tome adekvatnim programskim paketima ( Matlab, DigSilent)

Na bazi dostupne literature i domaćih iskustava izvršit će se teoretska razrada i predložiti model optimalne transformacije konvencionalne u inteligentnu elektroeneregetsku distributivnu mrežu sa priključenim fotonaponskim elektranama, akcentirajući problematiku balansiranja opterećenja na osnovu vremenskih dijagrama proizvodnje i potražnje. Pri tome će se koristiti i evaluirati rezultati raspoloživih podataka i izvršenih mjerenja u niskonaponskim distributivnim mrežama, a u cilju оsmišlјаvаnjа, tеstirаnjа i оdаbirа nајpоgоdniје mеtоdе balansiranja opterećenja, uvažavajući pоstојеćе stаnje, tеhničkо-tеhnоlоške i еkоnоmske mоgućnоsti u našem okruženju.

Nа оsnоvu rеаlnih mjеrеnjа оptеrеćеnjа i proizvodnje električne energije iz fotonaponskih elektrana nа primjеru kоnkrеtnоg SN/NN trаnfоrmatorskog područja, izvršit će se simulacija uticaja primjene formulisane metode na preoblikovanje vremenskog dijagrama opterećenja i smanjenje vršnog opterećenja. Pri tome će se pretpostaviti više scenarija, od nultog do maksimalnog nivoa penetracije fotonaponskih elektrana. Simulacije će se izvršiti korištenjem adekvatnog programskog paketa ( Power World).

Kompariranjem i ocjenjivanjem sa stanovišta tehno-ekonomske opravdanosti, sigurnosti i pouzdanosti snabdijevanja u uslovima liberalizovanog tržišta električne energije, smanjenja negativnog uticaja na okolinu i transfera tehnologija, predložit će se uspostava formulisanog modela, čijom će se pretpostavljenom dinamikom primjene na širokom konzumnom području maksimizirati pozitivni efekti inteligentnog balansiranja opterećenja u niskonaponskoj mreži sa značajnom penetracijom fotonaponskih elektrana .

**5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS PREDLOŽENE TEZE DISERTACIJE**

Očekivanja od istraživanja koja se odnose na predloženu temu doktorske disertacije su da se dobije teoretsko-metodološki i aplikativni naučni doprinos.

U *teoretsko-metodološkom smislu*, očekivani naučni doprinos predložene teme doktorske disertacije ogleda se u :

* naučno utemeljenoj sistematizaciji i analizi dosadašnjih teoretsko-metodoloških saznanja o uticaju distribuiranih obnovljivih inermitentnih izvora električne energije na elektroenergetsku distributivnu mrežu, sa posebnim osvrtom na značajan udio fotonaponskih elektrana u niskonaponskoj distributivnoj mreži
* kreiranju metodologije koja će osigurati optimalnu transformaciju konvencionalnih u inteligentne elektroenergetske mreže
* doprinosu formulisanja modela inteligentnog balansiranja opterećenja u niskonaponskim distributivnim mrežama sa značajnom penetracijom fotonaponskih elektrana

Očekivani *aplikativni naučni doprinos* predložene teme doktorske disertacije ogleda se u:

* Formulisanju najpogodnije metode za određivanje maksimalnog nivoa penetracije fotonaponskih elektrana u niskonaponsku distributivnu mrežu
* Definisanju ključnih uređaja na strani potrošnje, čijim će se monitoringom i inteligentnim upravljanjem ostvariti najveći maksimalni pozitivni efekti balansiranja opterećenja, uvažavajući pri tome jasan ekonomski interes potrošača da participiraju u složenim procesima uvođenja inteligentnih mreža, uglavnom u cilju upravljanja opterećenjem.
* Uvažavajući tehno-ekonomsku opravdanost, sigurnost i pouzdanost snabdijevanja u uslovima liberalizovanog tržišta električne energije, smanjenja negativnog uticaja na okolinu i transfera tehnologija, formulisanju modela balansiranja opterećenja čijom će se pretpostavljenom dinamikom primjene na širokom konzumnom području maksimizirati pozitivni efekti inteligentnog balansiranja opterećenja u niskonaponskoj mreži sa značajnom penetracijom fotonaponskih elektrana .

# 6. PREGLED POLAZNE LITERATURE

1. *Final Guidelines of Good Practice on Regulatory Aspects of Smart Metering for Electricity and Gas*. European Regulators Group for Electricity & Gas. Bruxelles, 8 February 2011. Ref: E10-RMF-29-05.
2. Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Approved IEEE Smart Grid Standards*. http://smartgrid.ieee.org/standards/approved-ieee-smart-grid-standards
3. National Institute of Standards and Technology, NIST & the Smart Grid. www.nist.gov/smartgrid/nistandsmartgrid.cfm
4. M. G. Morgan, J. Apt, L. B. Lave, M. D. Ilic, M. Sirbu,and J. M. Peha, *“The many meanings of smart grid”*,Tech. Rep., Carnegie Mellon University, July 2009.
5. A. Carvallo and J. Cooper, “The Advanced Smart Grid:“The Advanced Smart Grid:Edge Power Driving Sustainability,“ Norwood: Artech House, 2011.
6. M. A. Brown and S. Zhou, “Smart-Grid Policies: An International Review,“ *Wiley Interdisciplinary Reviews:Energy and Environment*, vol. 2, no.2, pp. 121-139,2013.
7. C. F. Covrig, M. Ardelean, J. Vasiljevska, A. Mengolini,G. Fulli, and E. Amoiralis, “Smart Grid Projects Outlook 2014,” European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, 2014.
8. L. Bertling Tjernberg, “The Smart Grid Experience in Europe,” IEEE Smart Grid Newsletter, August 2014.
9. The Grid4EU project, “Publication & articles, [Online]. http://www.grid4eu.eu/dissemination/publications. Aspxf
10. M. Delfanti, E. Fasciolo, V. Olivieri, and M. Pozzi,“A2A project: A practical implementation of smart grids in the urban area of Milan,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 2-19, March 2015.
11. C. Gouveia, D. Rua, F. J. Soares, C. Moreira, P. G. Matos, and J. A. Peças Lopes, “Development and implementation of Portuguese smart distribution system,“*Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp.150-162,March 2015.
12. G. López, J. I. Moreno, H. Amarís, and F. Salazar, “Paving the road toward Smart Grids through large-scale advanced metering infrastructures,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 194-205, March 2015.
13. G. Bianco, C. Noce, and G. Sapienza, “Enel Distribuzione projects for renewable energy sources integration in distribution grid,“ *Electric Power Systems Research*, vol.120, pp. 118-127, March 2015.
14. E. Karfopoulos, L. Tena, A. Torres, Pep Salas, Joan Gil Jorda, A. Dimeas, and N. Hatziargyriou, “A multi-agent system providing demand response services from residential consumers,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 163-176, March 2015.
15. M. Koller, T. Borsche, A. Ulbig, and G. Andersson,“Review of grid applications with the Zurich 1 MW battery energy storage system,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 128-135, March 2015.
16. S. Barsali, M. Ceraolo, R. Giglioli, and D. Poli, Storage applications for Smartgrids,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 109-117, March 2015.
17. D.Sbordone, I. Bertini, B. Di Pietra, M.C. Falvo, A. Genovese, and L. Martirano, “ EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm,“ *Electric Power Systems Research*, vol. 120, pp. 96-108, March 2015.
18. European Commission, “Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity,” Report from the Commission, June 2014.
19. T. Zgajewski, “Smart electricity grids: A very slow deployment in the EU,” Egmont Paper No. 74, The Royal Institute for International Relations, Brussels,Belgium, February 2015.
20. US Department of Energy, “2014 Smart Grid System Report,” Report to Congress, August 2014.
21. Research in China, “China Smart Meter Industry Report,2014-2018,” Report, October, 2014.
22. Ministry of Power - Government of India, “Smart Grid Vision and Roadmap for India,” Report, August, 2013.
23. Global Smart Grid Federation, “2012 Report,” Report, 2012.
24. Zeljković Č., Mršić P., Lekić Đ., Trendovi implementacije inteligentnih elektroenergetskih mreža, ENEF 2015, Banja Luka, 25-26. septembar 2015. godine, str. 47-51
25. Šunić M., Kukulj N.,Kolundžić S., *Zašto distribuirana proizvodnja energije?,* PLIN - broj 3 - godina XIII - rujan 2013.
26. F. P. Vahl, R. Ruther, N. C. Filho, The influence of distributed generation penetration levels on energy markets, Energy Policy 62 (2013), pp. 226-235
27. D. Q. Hung, N. Mithulananthan, R.C. Bansal, Analytical strategies for renewable distributed generation integration considering energy loss minimization, Applied Energy 105 (2013), pp.75-85
28. M.A.Choundhry, H. Khan, Power loss reduction in radial distribution system with multiple distributed energy resources trough efficient islanding detection, Energy 35 (2010), pp. 4843-4861
29. A.A.Bayod-Rujula, Future development of the electricity systems with distributed generation, Energy 34 (2009), pp. 377-383
30. U.S. Solar Resource Maps, Available: http://www.nrel.gov/gis/solar.html.
31. M. Suri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, H. A. Ossenbrink, Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, Solar Energy, 81 (2007), pp. 1295–1305.
32. K. Mohammadi, A. Mostafaeipour, M. Sabzpooshani, Assessment of solar and wind energy potentials for three free economic and industrial zones of Iran, Energy, 67 (2014), pp. 117-128
33. V. Sharma, S. S. Chandel, Performance analysis of a 190kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India, Energy, 55 (2013), pp. 476-485.
34. I. R. Pillai, R. Banerjee, Renewable energy in India: Status and potential, Energy, 34 (2009), pp. 970-980
35. A. Bahadori, C. Nwaoha, S. Zendehboudi, G. Zahedi, An overview of renewable energy potential and utilization in Australia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21 (2013), pp. 582–589
36. D. Zhang, Q. Chai, X. Zhang, J. He, L. Yue, X. Dong, S. Wu, Economical assessment of large-scale photovoltaic power development in China, Energy, 40 (2012), pp. 370-375
37. A. La Tour, M. Glachant, Y. Meniere, Predicting the costs of photovoltaic solar modules in 2020 using experience curve models, Energy, 62 (2013), pp. 341-348
38. M. Bazilian, I. Onyeji, M. Liebreich, I. MacGill, J. Chase, J. Shah, D. Gielen, D. Arent, D. Landfear, S. Zhengrong, Re-considering the economics of photovoltaic power, Renewable Energy, 53 (2013), pp. 329–338
39. A. Strzalka, N. Alam, E. Duminil, V. Coors, U. Eicker, Large scale integration of photovoltaics in cities, Applied Energy, 93 (2012), pp. 413–421
40. Connecting the Sun: Solar photovoltaic son the road to large-scale grid integration, European Photovoltaic Industry Association – EPIA, Available: http://www.connectingthesun.eu accessed September 2012.
41. Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems,Stanford University
42. D. L. King, W. E. Boyson, J. A. Kratochvil, “Analysis of Factors Influencing the Annual Energy Production of Photovoltaics Systems”, Photovoltaic Specialists Conference, 2002.
43. M. J. Ahmat, G. N. Tiawari, “Solar radiation models – review”,International Journal of Energy and Environment, Volume 1, Issue 3, 2010, pp. 513-532.
44. S. Kaplanis, E. Kaplani, “A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation *I*(*h*, *nj*) values”, Renewable Energy 32, 2007, pp. 1414-1425.
45. P. Bacher, “Short-term Solar Power Forecasting”, Kongens Lyngbay 2008, IMM-2008-13.
46. O. Perpinan, E. Lorenzo, M. A. Castro, “On the calculation of energy produced by PV grid-connected system”, Progress in Photovoltaics Research and Applications (2007), Volume: 15, Issue: 3, Publisher: Wiley Online Library, Pages: 265-274.
47. M. Brabec, E. Pelikan, P. Krč, K. Eben, P. Musilek, “Statistical Modeling of Energy Production by Photovoltaic Farms”, IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2010.
48. O. Perpinan, “Statistical analysis of performance and simulation of twoaxis tracking PV system”, Solar Energy, 83:11(2074-2085)
49. M. Karimi, H. Mokhils, K. Naidu, S. Uddin, A.H.A. Bakar, Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53 (2016), pp. 594-605
50. W. Hsieh, C. Lin, C. Chen, C. T. Hsu, Impact of PV generation to voltage variation and power losses of distribution systems, Power Systems, IEEE Transactions on, 27 (2012), pp. 1090-1097
51. A. G. Marinopoulos, M. C. Alexiadis, P. S. Dokopoulos, Energy losses in a distribution line with distributed generation based on stochastic power flow, Electric Power Systems Research, 81 (2011), pp. 1986–1994.
52. M. Delfanti, D. Falabretti, M. Merlo, Dispersed generation impact on DN losses, Electric Power Systems Research, 97 (2013), pp. 10–18.
53. M. Thomson, D.G. Infield, Impact of widespread photovoltaics generation on distribution systems. IET Renewable Power Generation, 2007; 1, (1), pp. 33-40
54. R. A. Jarb, Minimum loss operation of distribution networks with photovoltaic generation. IET Renewable Power Generation, 2014; 8, (1), pp. 33-44
55. J. V. Paatero, P. D. Lund, Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity DNs, Renewable Energy, 32 (2007), pp. 216–234
56. A. Zidan, E. El-Saadany, Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation, Energy, 59 (2013), pp. 698-707
57. L.Li, Z. Yi, T. Zhang, W. Sun, A. Xu, “Study on influence of inserted photovoltaic power station to voltage distributing of distribution network,” IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), Tianjin, 2012.
58. J.X. Li, J.H. Zheng, S.Z. Zhu, X.Y Wang, L. Shu, “Study on Impact of Grid Connection of Distributed Photovoltaic System on Distribution Network Peak-valley Difference Considering Photovoltaic Volatility,” International Conference on Electricity Distribution (CICED), Kina, 2012.
59. A. Al-Sabounchi, J. Gow, M. Al-Akaidi, H. Al-Thani, “Minimizing line energy loss of radial distribution feeder with a PV distributed generation unit avoiding reverse power, flow,” 2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), pp. 1-6, 2011.
60. A. Al-Sabounchi, J. Gow, M. Al-Akaidi, “Simple procedure for optimal sizing and location of a single photovoltaic generator on radial distribution feeder,” IET Renewable Power Generation, Volume 8, Issue 2, pp. 160-170, 2014.
61. X. Wang, J. Gao, W. Hu, Z. Shi, B. Tang, “Research of effect on distribution network with penetration of photovoltaic system,” 45th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Vels, 2010 .
62. N.A. Ahmad, I. Musirin, S.I. Sulaiman, “Loss minimization of distribution system with photovoltaic injection using Swarm evolutionary programming,” 7th International IEEE Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), Langkawi, 2013
63. R.A. Jabr, “Minimum loss operation of distribution networks with photovoltaic generation,” IET Renewable Power Generation, Volume 8, Issue 1, pp. 33-44, 2014.
64. K.M.L. Prasanna, R.J.R. Kumar, A. Jain, J. Somlal, “Optimal Reconfiguration of Radial Distribution System Having Photovoltaic Distributed Generation with Controlled Voltage,” International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), Nagercoil, 2015.
65. M. Marković, S. Minić, M. Ivanović: “Analiza uticaja priključenja fotonaponskih sistema na funkcionisanje mreže niskog napona,” CIRED R-2.05, Srbija, 2012.
66. J.H.R. Enslin, H. Alatrash : "Distribution network impacts of high penetration of distributed photovoltaic systems“, CIRED 2011, 21st International conference on electricity distribution, Frankfurt, Njemacka, lipanj 2011., Referat br. 1058
67. Braun M, Stetz T, Brundlinger R, Mayr C, Ogimoto K, Hatta H et al. Is the distribution grid ready to accept large scale photovoltaic deployment? State of the art, progress and future prospects. *Progress in Photovoltaics 2012, 6;681-697.*
68. Conti S, Raiti S, Tina G, Vagliasindi U. Study of the impact of PV generation on voltage profile in LV distribution networks. *IEEE Porto PowerTech Conference,* 2001
69. Ayres H.M, Freitas W, De Almeida M.C, Da Silva L.C.P. Method for determining the maximum allowable penetration of distributed generationwithout stead-state violations. *IET Generation, Transmission and Distribution 2010, 4;495-508.*
70. *C*anova A, Giaccone L, Spertino F, Tartaglia M. Electrical impact of photovoltaic plant in distributed network. *IEEE Transactions on Industry Applications 2009, 45;341-347.*
71. *S*hayani R.A, Goncalves De Oliviera M.A. Photovoltaic generation penetration limits in radial distribution systems. *IEEE Transactions of Power Systems 2011, 26;1625-1631.*
72. *P*aatero J.V, Lund P.D. Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity distribution networks. *Renewable Energy 2007,32;216-234.*
73. *S*hao M, Walling R, Cleary J. Steady-state methodology for investigating the relationship between photovoltaic (PV) facility size, location, and voltage impact. *Power and Energy Society General Meeting, IEEE 2012*
74. *A*bri R.S.A, El-Saadany E.F, Atwa Y.M. Distributed generation placement and sizing method to improve the voltage stability margin in a distribution system. *2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, 2011*
75. *O*choa L.F, Padilha-Feltrin A, Harrison G.P. Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index. *IEEE Transactions on Power Delivery 2006, 21;1452-1458*
76. *O*’Gorman R, Redfern M. The impact of distributed generation on voltage control in distribution systems. *18th International Conference on Electricity Distribution, CIRED, 2005*
77. *B*ollen M.H.J, Sannino A. Voltage control with inverter-based distributed generation. *IEEE Transcations on Power Delivery 2005, 20;519-520*
78. *V*iawan F.A, Karlsson D. Voltage and reactive power control in systems with synchronous machine-based distributed generation. *IEEE Transactions on Delivery 2008, 23;1079-1087*
79. *L*iu X, Aichhorn A, Liu L, Li H. Coordinated control of distributed energy storage system with tap changer transformers for voltage rise mitigation under high photovoltaic penetration. *IEEE Transactions on Smart Grid 2012, 3;897-906*
80. Watanabe M, Matsuda K, Futakami T, Yamane K, Egashira R. *China International Conference on Electricity Distribution, 2012*
81. *H*eslop S., MacGill I., Fletcher J., Lewis S., *Method for determining a PV generation limit on low voltage feeders for evenly distributed PV and Load,* Energy Procedia 57 ( 2014 ) 207 – 216
82. Moldes, E. R. Flexible load management in Smart grids. Master Thesis, Aalborg Universitet, 2013.
83. Carvallo, A.; Cooper, J. The Advanced Smart Grid – Edge Power Driving Sustainability, Artech House, Norwood, 2011.
84. Ekamayake, J.; Liyanage, K.; Wu, J.; Yokohama, A.; Jenkins, N. Smart Grid – Technology and Applications, John Wiley & Sons, Chichester, 2012.
85. U. S. Department of Energy, Smart Grid / Department of Energy, 2012-06-18.
86. Hammerstrom, D. J.; Pacific Northwest Gridwise Testbed Demonstration Projects, Part I. Olympic Peninsula Project, 2014-01-15
87. Klaić, Z.; Šljivac, D.; Fekete, K.; and Kraus, Z. Load Management Scheme Using Air Conditioning Electric Power Consumption and Photovoltaic Power System Generation. // Journal of Energy and Power Engineering. 8 (2014), pp. 1926-1932
88. Moldernik, A.; Bakker, V.; Bosman, M. G. C.; Hurink, J. L.; and Smit, G. J. M. Domestic Energy Management Methodology for Optimizing Efficiency in Smart Grids. //Proceedings of 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference / Bucharest, 2009, pp 1-7.