



Elektroprivreda

ČASOPIS ZAJEDNIČKE JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE • THE JOURNAL OF THE UNION OF YUGOSLAV
ELECTRIC POWER INDUSTRY • REVUE DE L'UNION YOUGOSLAVE DE L'ELECTRICITE • ВЪВЕЖАЕ ОБЪЕДИНЕНИМ
ЮГОСЛАВСКОГО ЭЛЕКТРОПРОМЫСЛА • ZEITSCHRIFT DES JUGOSLAWISCHEN ELEKTREIZITÄTSWIRTSCHAFT

Godina Year	LVIII	April-Jun April-June	Broj No.	2
----------------	-------	-------------------------	-------------	---

Sadržaj	Strana Page	Content
---------	----------------	---------

Miroslav Benišek i Branimir Jovanović
ISTRAŽIVANJA NIKOLE TESLE RESEARCH OF NIKOLA TESLA IN THE FIELD
U OBLASTI MAŠINSTVA 3 OF MECHANICAL ENGINEERING

Jovan Nahman
DOPRINOSI NIKOLE TESLE CONTRIBUTIONS OF NIKOLA TESLA
U OBLASTI PRENOSA I DISTRIBUCIJE 16 IN THE FIELD OF TRANSMISSION
ELEKTRIČNE ENERGIJE AND DISTRIBUTION OF ELECTRICAL ENERGY

Mladen Apostolović i Ivan Škokljević
ASPEKTI PRAKTIČNE PRIMENE METODE IMPLEMENTATION ASPECTS
KOORDINISANE AUKCIJE PRENOSNIH KAPACITETA 26 OF TRANSMISSION CAPACITY
ZASNOVANE NA TOKOVIMA SNAGA COORDINATED AUCTIONING

Petar Vukelja, Jovan Mrvić,
Dejan Hrvić, Milutin Savičević, Zoran Božović i Ilija Zec
PRENAPONI PRI SKLOPNIM OPERACIJAMA RESEARCH OF SWITCHING OVERVOLTAGES
VAKUUMSKIH I MALOULJNIH PREKIDAČA 35 OF DIFFERENT TYPES CIRCUIT BREAKERS AT A5
U RAZVODU 6 kV BLOKA 5 „TENT-A” UNIT OF „NIKOLA TESLA” THERMAL POWER PLANT

Branislav Orešković i Miroslav Nimrihter
UTICAJ DISTRIBUTIVNE AUTOMATIKE DISTRIBUTION AUTOMATICS INFLUENCE
NA POUZDANOST NAPAJANJA POTROŠAČA 49 ON RELIABILITY OF CONSUMERS' POWER SUPPLY

Rade Ćirić,
Antonio Padilha Feltrin i Iara Fernanda Ehrenberg Dossi Denis
REGULACIJA NAPONA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA VOLTAGE REGULATION IN DISTRIBUTION NETWORKS
SA MALIM GENERATORIMA 61 WITH EMBEDDED GENERATORS

Dragan Trtica
PRIMENA CUSUM METODE THE APPLICATION OF THE CUSUM METHOD
U ANALIZI 69 IN ANALYZING
ENERGETSKE EFIKASNOSTI POSTROJENJA THE ENERGY EFFICIENCY OF A POWER PLANT

Žarko Markov
MEŠOVITA KORPORACIJSKA TELEFONSKA MREŽA 75 MIXED CORPORATE TELEPHONE NETWORK

Momčilo Gojčić
PROPISI IZ OBLASTI METROLOGIJE 84 REGULATIONS RELATED TO METROLOGY

IZDAVAČ:
PUBLISHER:

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 2686-633, 2643-823, 2688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 686-398

Internet strana: www.eps.co.yu; www.epcg.cg.yu;

Elektronska pošta: jugel@sezampro.yu; jugel@beocity.net

DIREKTOR I GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK
DIRECTOR AND CHIEF EDITOR

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.

IZDAVAČKI SAVET
PUBLISHING COUNCIL

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.,

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, predsednik;

Prof. dr Jeroslav Živanić, dipl. ing. el., predsednik Upravnog odbora JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Dr Duško Tubić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Dr Slobodan Ružić, dipl. ing. el., Agencija za energetske efikasnost, inženjering i konsalting
„Energy Saving Group”, Beograd, član;

Vladimir Vujović, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić, član;

Dragutin Martinović, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić, član;

REDAKCIONI ODBOR
EDITORIAL BOARD

Prof. dr Miroslav Benišek, dipl. ing. maš., Mašinski fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Ilija Vujošević, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Podgorica, član;

Prof. dr Branislav Đorđević, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Jovan Nahman, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Beograd, član;

Prof. dr Dragan Popović, dipl. ing. el., Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, član;

Prof. dr Dragutin Salamon, dipl. ing. el., Elektrotehnički fakultet, Beograd, član;

Dr Petar Vukelja, dipl. ing. el., Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, član;

Dr Veselin Ilić, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Mojkovac, član;

Dr Branko Stojković, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić, član;

Dr Duško Tubić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, predsednik;

Dr Rade Filipović, dipl. ing. el., Beograd, član;

Mr Dragan Vlasisavljević, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Mr Gojko Dotlić, dipl. ing. el., JP „Elektromreža Srbije”, Beograd, član;

Mr Radmilo Ivanković, dipl. ing. el., Beograd, član;

Mr Miroslav Marković, dipl. ing. el., „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić, član;

Gojko Vlasisavljević, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Aleksandar Vlajčić, dipl. ing. el., pomoćnik ministra za rudarstvo i energetiku u Vladi Republike Srbije, Beograd, član;

Mihajlo Gavrić, dipl. ing. građ., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Milan Jakovljević, dipl. ing. rud., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Mladen Serventi, dipl. ek., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Vojislav Škundrić, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd, član;

Momčilo Gojgić, dipl. pravnik, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, član;

Lela Lončar, dipl. filolog, Beograd, član.

TEHNIČKI UREDNIK
TECHNICAL EDITOR

Jovo Todorović dipl. teh.

LEKTOR I PREVODILAC
LINGUISTIC REVIEW
& TRANSLATION

Zlata Milinović,

dipl. filolog

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.9

621.31

ELEKTROPRIVREDA : časopis Zajednice
jugoslovenske elektroprivrede / glavni i
odgovorni urednik Branislav A. Bošković. –
God. 1, br. 1 (1948)– . – Beograd
(Balkanska 13) : Zajednica jugoslovenske
elektroprivrede, 1948– (Beograd :
Kultura). – 28 cm

Tromesečno

ISSN 0013-5755 = Elektroprivreda

COBISS.SR-ID 32023

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Printed by: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies

Istraživanja Nikole Tesle u oblasti mašinstva

1. UVOD

Da bi se sagledao Teslin životni i istraživački put i njegovo, na prvi pogled za mnoge neshvatljivo, okretanje istraživanju u oblasti mašinstva neophodno je ovde pomenuti važnije datume njegovog životnog puta:

1856. godine, 10. jula – rođen u Smiljanu (otac – Milutin, majka – Georgina);

1862-1874. godine – osnovna i niža gimnazija u Smiljanu i Gospiću a viša u Karlovcu;

1875-1878. godine – Tehnička škola u Gracu;

1880. godine – završene studije u Pragu;

1882. godine – otkriva princip rotacionog magnetnog polja u Budimpešti;

1883. godine – pravi prvi model indukcionog motora u Strazburu;

1884. godine – odlazi u Ameriku i radi kratko u Edisonovoj Laboratoriji;

1885. godine – osniva preduzeće „Tesla Arc Light Company” i

1887. godine – osniva drugo preduzeće „Tesla Electric Company”.

Ova preduzeća Tesli omogućavaju da ostvari finansijska i materijalna sredstva za dalja istraživanja na realizaciji polifaznog sistema prenosa snage i indukcionih motora;

1887-1900. godine – intenzivan rad u oblasti elektrotehnike:

- motori i generatori naizmjenične struje;
- prenos električne snage;
- veštačko osvetljenje;
- visokofrekventne struje;
- struje visokog napona;

- rentgenski zraci;
- rezonantni električni oscilator;
- eksperimenti u Kolorado Springsu;
- bežični prenos signala. Ideja o svetskom sistemu telekomunikacija i bežični prenos energije. Gradi antenu svetske radio stanice na Long Ajlend-u;
- Telemehanika. Radio upravljani model broda;
- veliki broj predavanja i naučno-stručnih članaka;
- veliki broj patenata.

1902-1925. godine – istraživanja u oblasti mašinstva;

– razmena energije fluid „ mehanički sistem „ električna energija;

– vakuum pumpe;

– merenje frekvencije obrtanja;

– merač brzine;

– merači protoka,

– brodski brzinomer;

– valvularni provodnik (hidraulična dioda);

– aparati za vazdušni transport – vazduhoplovi sa vertikalnim poletanjem;

– fontana i

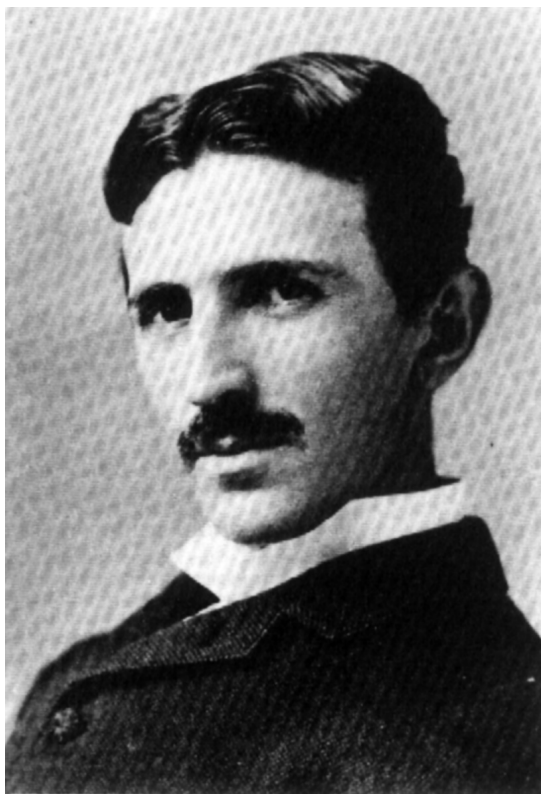
– klipne mašine.

1943. godine, 7. januara – umire u Njujorku.

Kako se može videti, najznačajnija otkrića u oblasti elektrotehnike Nikola Tesla je ostvario do kraja devetnaestog veka. Tada, u četvrtoj deceniji života, započinje istraživanja na više različitih tema, a posebno ga zaokupljaju otkrića na polju visokih napona i visokih frekvencija, koja su ga dovela do ideje o bežičnom svetskom prenosu signala i energije, koji se oslanja na njegov pronalazak rezonantnog električnog oscilatora.

Bitne eksperimente je obavio u Colorado Springsu i na osnovi njih je želeo da u Long Ajlendu izgradi Antenu svetske radiostanice koristeći pomoć bogatog industrijalca Dž. P. Morgana (J. P. Morgan).

Započeti radovi 1901. godine, na izgradnji Antene prekidaju se krajem iste godine. Kriza na njujorškoj berzi mnogo je obezvređila dobijena sredstva za projekat i, ujedno, bez ikakvih objašnjenja, Dž. P. Morgan Tesli otkazuje dalju pomoć. Tesla doživljava par teških godina, kada uporno traži mogućnost za ostvarenje svoje ideje o svetskom sistemu telekomunikacija izgradnjom Antene. Verovatno, u želji da dođe do finansijskih sredstava, okreće se istraživanju u oblasti mašinstva. Sa druge strane Tesla je iskoristio priliku da praktično razradi jednu današnju ideju koju je u to vreme već bio osmislio. Sledećih dvadeset i pet godina života svoja istraživanja će posvetiti isključivo mašinstvu, koristeći i svoje pronalaskeske u oblasti naizmeničnih struja (motore i generatore).



Nikola Tesla

Slika 1. Nikola Tesla u 39-oj godini života, na pragu ozbiljnih istraživanja u oblasti mašinstva

Rad u oblasti mašinstva, bitno je ovde napomenuti, započinje istraživanjima na transformaciji energije mehaničkog sistema na fluid i obrnuto. Tesla je došao do originalnog rešenja, do tada neprimenjanog, da korišćenjem adhezivnih i viskoznih svojstava fluida u graničnom sloju, jednostavnom konstrukcijom pomoću rotirajućih blisko za vratilo učvršćenih diskova, umesto lopatica hidrauličnih turbomašina, izvrši prenos energije mehaničkog sistema (rotirajućih diskova) na fluid i obrnuto (ideja o fluidnoj propulziji). Ovu svoju ideju i pronalazak će kasnije koristiti u nizu svojih patenata i realizovati na mnogim izvedenim mašinama.

U većini biografskih prikaza Teslinog života i dela, njegovo bogato delo u oblasti mašinstva samo se sporadično spominje. U bogatoj dokumentaciji koju je Tesla ostavio za sobom i koja se čuva u Muzeju Nikole Tesle u Beogradu, u zbirci naučnih dokumenata, samo u grupi turbomašina, postoji 6 671 stranica originalnih Teslinih beležaka, crteža, skica, proračuna, merenja i drugog naučno-istraživačkog materijala koji se odnose na Teslin rad u ovoj oblasti. Već prvi i površan pregled pokazuje da se radi o vrednom materijalu koji Tesla uglavnom nije objavio za života, pa je pravi obim njegovog istraživanja ostao nepoznat naučnom svetu. U arhivi i biblioteci Muzeja postoji još vrednih dokumenata i pomenutoj dokumentaciji treba dodati bogatu prepisku sa kompanijama i pojedincima, patente i patetne prijave, fotografije, novinske isečke i tehničku literaturu. Sve ovo čini jedan bogat fond više od 10 000 dokumenata, koji se vremenski proteže na period između 1902. i 1925. godine. U pitanju je dug vremenski period u kome je Tesla istraživao veliki broj turbomašina, pumpi, duvaljki, kompresora, parnih i gasnih turbina i drugih mašina i uređaja i postoji veliki prostor da se do kraja utvrdi šta je Tesla sve radio i kolika je vrednost ovog dela njegovog istraživanja u oblasti naučnog i inženjerskog rada.

2. HRONOLOGIJA ISTRAŽIVANJA I OTKRIĆA NIKOLE TESLE U OBLASTI MAŠINSTVA

Istraživanja u oblasti mašinstva Nikola Tesla je započeo, kako je već to u Uvodu napomenuto, istraživanjima u oblasti turbomašina. Ovakvo Teslino interesovanje nije nimalo čudno, ako se uzme u obzir da je to bilo vreme intenzivnog industrijskog razvoja, kada su mašine za transformaciju energije u cilju proizvodnje korisnog rada (turbine) i, obrnuto, mašine za predaju energije fluidu korišćenjem rada (pumpe, kompresori, ventilatori itd.) bile u centru pažnje. O istorijatu ovog interesovanja i same ideje postoji Teslino svedočanstvo [1] izneto u jednom iz-

veštaju pod naslovom „Teslina parna i gasna turbina” u kome se kaže:

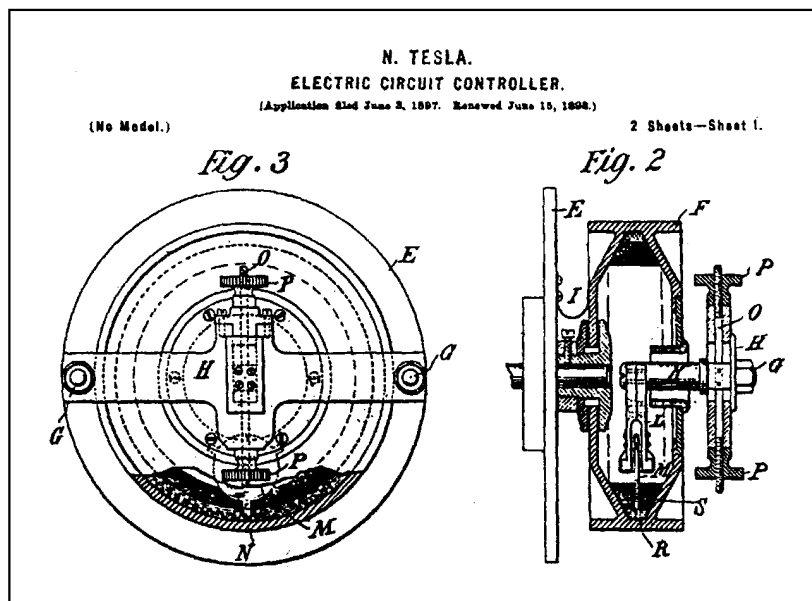
„Autor koristi ovaj naziv sa izvesnim oklevanjem i samo zato jer nalazi da je neophodno za konkretnost i preciznost njegovih tvrdnji. Tragovi prvih koncepcija ovog pogonskog motora vode ga do njegovog otkrića obrtnog magnetnog polja i pronalaska indukcionog motora koji je omogućio idealno jednostavne načine za elektrodinamičko transformisanje energije. Budući da je veoma zainteresovan za mehaniku, profesionalno i na drugi način, odmah mu se pojavila ideja da ispita da li bi se termo-dinamičko pretvaranje energije moglo ostvariti na neki analogan način i tako razviti toplotni motor sveden na najelementarnije principe konstrukcije. Imajući ovo u vidu posvetio je pažnju rotacionim mašinama sa lopaticama i sličnim organima impulzije, ali se uskoro uverio da je uspešno rešenje ležalo u drugom pravcu. Ovaj početni rad iako plodan u izvesnom smislu, bio je formalan i možda neophodan za evoluciju ideje koja se konačno uobličila u njegovom umu i rezultirala u planu pritisne mašine ili turbine pogonjene na nov način. Klip ili rotor, konstruisan kao što je već prikazano, bio je oblikovan da rotira slobodno u neznatno većem kućištu sa izlaznim otvorima blizu ležajeva i tangencijalnim prorezima na periferiji. Radni fluid pušten kroz ove poslednje, trebalo je da stvara vrtlog u kućištu i prolazeći kroz prolaze između ploča, da ih za sobom vuče trenjem”.

Takođe iz materijala Tesline zaostavštine [2] može se preciznije videti kako je došlo do ostvarenja prethodno iznete ideje:

1. Zamislio sam pronalazak izložen u izjavi o prioritetu još u januaru 1902. i eksperimentisao sam u razvoju iste od tada.
2. Načinio sam prve kompletne crteže pronalaska početkom 1906. u januaru ili februaru.
3. Objasnio sam prvi put kompletan pronalazak drugima oko 1. juna 1906.
4. Primenio sam pronalazak u praksi tokom 1907. u toku oktobra ili novembra te godine.”

Dakle, prve Tesline ideje vezane za rad na turbini koja bi obavljala uspešno termodinamičko pretvaranje energije, vraćaju nas u najuspešniji i najplodniji period njegovog života, kada je radio na primeni polifaznog sistema i svog indukcionog motora, oko 1888. godine. Konkretno uobličavanje principa na kome bi počivao rad takve mašine, nastalo je

1902. godine, usred rada na bežičnom prenosu energije i projektu „Vordenklif” (Wardenclif). Interesantno je primetiti da između ova dva datuma postoji period kada je princip, idejno rešen pomenute 1902. godine, bio takoreći „poluuobličen”. U pismu svom patentnom advokatu Parkeru Pejdzu (Parker Page), od 1. septembra 1898. godine [3], objašnjavajući svoj rad na prekidačima kola, Tesla je na više mesta spominjao „malu turbinu pogonjenu mlazom žive”, „mali disk pogonjen mlazom žive”, „kolo pogonjeno fluidom”. I u sudskom procesu koji je 1916. godine vodio protiv pronalazača Askvita (Asquith) u vezi sa prioritetom otkrića brzinoera, Tesla dovodi u vezu rad na prekidačima kola sa radom na hidrauličnim mašinama. Iz patenta „Prekidač električnog kola” br. 609 251, koji je dobio 16. avgusta 1898. godine [4], sa crteža 2 i 3 (slika 2.), jasno je da je mislio na mehanički deo prekidača koji se sastoji iz šupljeg doboša F koga obrće elektromotor, unutar koga se, pričvršćen na poluosovini K i ramu L, nalazi disk M koji može slobodno da se obrće oko osovine i koji ima zupce N na obodu.

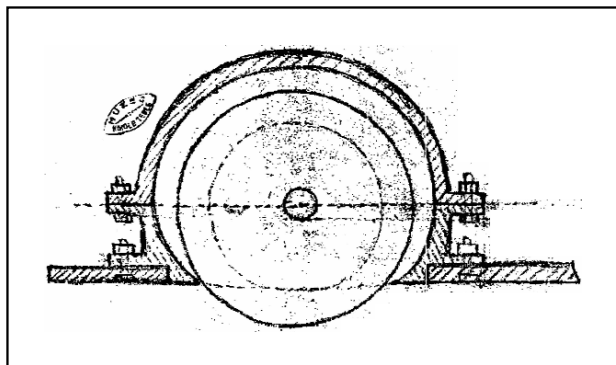


Slika 2. Deo mehanizma za prekidač kola u kome je delimično iskorišćena ideja novog principa prenosa energije

U časopisu „New York World” [5] 5. januara 1908. godine pod naslovom „Predviđanja Nikole Tesle za 1908. godinu” Nikola Tesla je objavio svoja razmatranja o različitim problemima nauke i tehnologije: o bežičnom prenosu, radiju, radioaktivnosti, vazduhoplovstvu... a poslednji pasus članka je posvetio problemima brodske propulzije. U članku se kaže: „Postoji obilje dokaza koji pokazuju da će značajna poboljšanja biti načinjena u brodskoj propulziji. Brojne teorije ukazuju da je ono što pogoni

brod reaktivni mlaz; prema tome, propeler je osuđen na neefikasnost pri velikim brzinama. Uvešće se nov princip.”

Svemu ovome su prethodila teorijska razmatranja, data u beleškama [6], koje je Tesla objavio 21. septembra do 14. novembra 1907. godine, iz kojih se vidi da je Tesla svoju ideju primenio za novi pogon putničkog broda „Luzitanija”, mlazom koji bi stvarao njegov hidraulički propulzor sa diskovima. Na slici 3. prikazana je originalna skica Teslinog hidrauličkog propelera.



Slika 3. Originalna skica Teslinog hidrauličkog propelera iz 1907. godine

Ako je uopšte moguće nekim datumom označiti početak Teslinog rada na primeni novog principa mehaničkog prenosa energije fluida, onda je možda najbolje uzeti 18. februar 1908. godine, jer je tog dana na Teslinu adresu u hotel „Valdorf Astorija” u Njujorku stiglo pismo Voltera Najta (Walter Knight) [7], glavnog inženjera Američko-britanske kompanije za proizvodnju oružja, parnih mašina i protivpožarnih uređaja (American and British Manufacturing Company), u daljem tekstu ABMC, u kome on obaveštava Teslu da je uspešno obavljeno testiranje jedne Tesline pumpe: „Kao što vam je poznato, Američko-britanska kompanija me je odredila da svedočim i prikupim podatke vezane za Teslinu hidrauličnu pumpu koja je za vas proizvedena u njenoj fabrici oružja u Bridžportu. Ja sam svoj izveštaj poslao gospodinu Hedliju sa dobijenim rezultatima i obavešten sam da on sa vama pregovara o proizvodnji i razvoju otkrića. Verujem da vi znate kako ćete dovršiti svoje pregovore sa gospodinom Hedlijem i ja ću ih podržati sa svoje strane.”

Zatim mu 19. februara Džozef Hedli (Joseph Hoadley) piše: „Dobio sam izveštaj iz fabrike oružja u Bridžportu u vezi sa troškovima nove Tesline hidraulične pumpe koja je za vas bila napravljena u fabrici i koju sam video u radu prekjuče. Američko-britanska kompanija koju ja kontrolišem, bila bi voljna da preduzme ekskluzivnu proizvodnju ovog

otkrića za pumpanje, pomorske i druge svrhe. Ovaj koncern ima najviši ugled među ostalim komercijalnim ustanovama i poseduje ne samo fabriku oružja i borbene tehnike u Bridžportu, već i veliku Džordž X. Korlis fabriku parnih mašina u Providensu, na Rod Ajlendu. Oni takođe proizvode čuvene Amoskig protivpožarne mašine, koje se čine posebno prilagođene za korišćenje Tesline pumpe. Spreman sam da dovršimo pregovore oko izvođenja ovog posla i bilo bi mi drago da se što pre čujemo. Mogu da vam kažem da sam celu stvar izložio gospodinu Enderju Flečeru iz Flečerove brodogradilišne kompanije u Habokenu u Nju Džersiju koji gradi turbinske čamce za Jejl i Harvard. On je jedan od naših velikih nabavljača i želi što pre da vas vidi i da razgovara o primeni vašeg otkrića u brodskoj propulziji.”

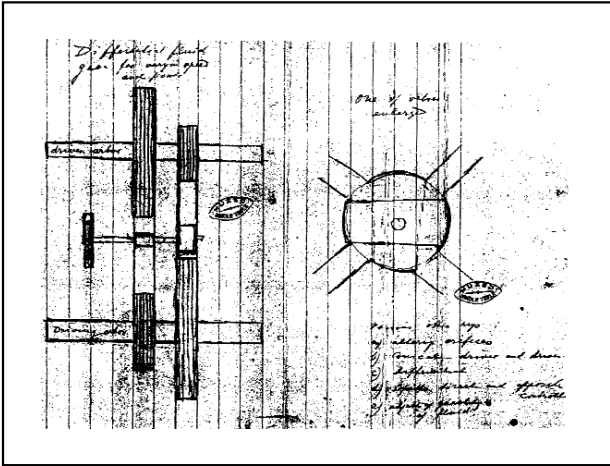
Memorandum sporazuma o saradnji koji su Tesla i Hedli potpisali 6. januara 1908. u prisustvu Voltera Najta predviđao je osnivanje kompanije za eksploataciju Teslinih patenata iz oblasti brodske propulzije. Hedli je dao avans od 1 000 dolara i stavio je na raspolaganje radionice svoje fabrike, kao i svoje brodove („Alabama” i „Den”) na koje je Tesla trebalo da ugradi nov sistem propulzije [9]. Takođe je dogovoreno da se prema Teslinim nacrtima u ABMC-u napravi jedna hidraulična pumpa i testira. Kao što se vidi iz citiranog pisma od 19. februara, Hedlijeva reakcija je bila povoljna i Tesla je dobio zeleno svetlo za rad. Iznajmio je kancelarije u ulici Brodvej br. 74 u Njujorku i tu organizovao neku vrstu projektnog biroa iz koga je upravljao radom na konstrukciji i eksperimentima u Bridžportu i Providensu.

U to vreme, 1907. godine, kako navodi Teslin biograf Džon O’Nil (Jon O’Nil), Tesla vrši prve eksperimente sa parnom turbinom koja je imala obrtno kolo sastavljeno od dvanaest diskova prečnika 12,7 cm, koja je bila pogonjena vazduhom pod pritiskom i razvijala je brzinu obrtanja od 20 000 min⁻¹.

Tesla u to vreme još ne prijavljuje patente svojih pronalazaka već radi na projektima i realizaciji mašina zasnovanih na svojoj ideji o fluidnoj propulziji obrtnim kolima bez lopatica.

U toku 1908. godine ostvaruje sledeće:

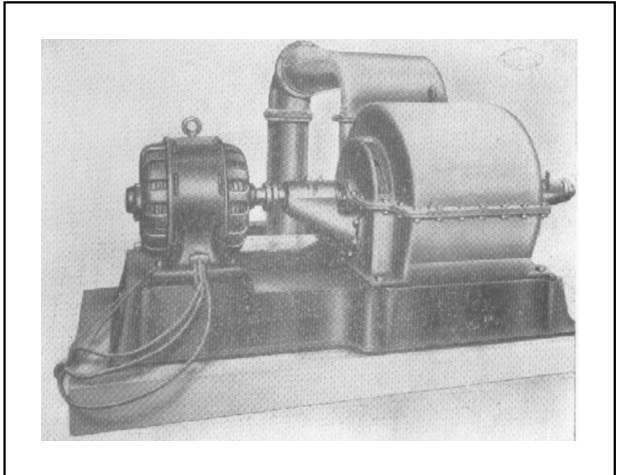
- daje dva posebna rezultata pri radu na hidrauličnom propeleru sa diskovima: ideja o hidrauličnom prenosniku snage (slika 4.) i ideja o električnom pogonu broda i
- konstruiše na osnovu svojih ideja dvostepeni kompresor za napajanje visokih peći. Eksperimenti na izvedenoj mašini su obavljani uspešno u fabrici ABMC (American British Motor Company). Kompresor je bio pogonjen Delavalovom turbinom snage 22,4 kW. Na slici 5. prikazani su originalni crteži dvostepenog kompresora. Dva bočna



Slika 4. Originalne skice hidrauličkog prenosnika snage kompresora su sabijala vazduh u prvom stepenu a središnji je bio dvostrujni koji je sabijao vazduh do konačne vrednosti.

U toku 1909. godine ostvaruje:

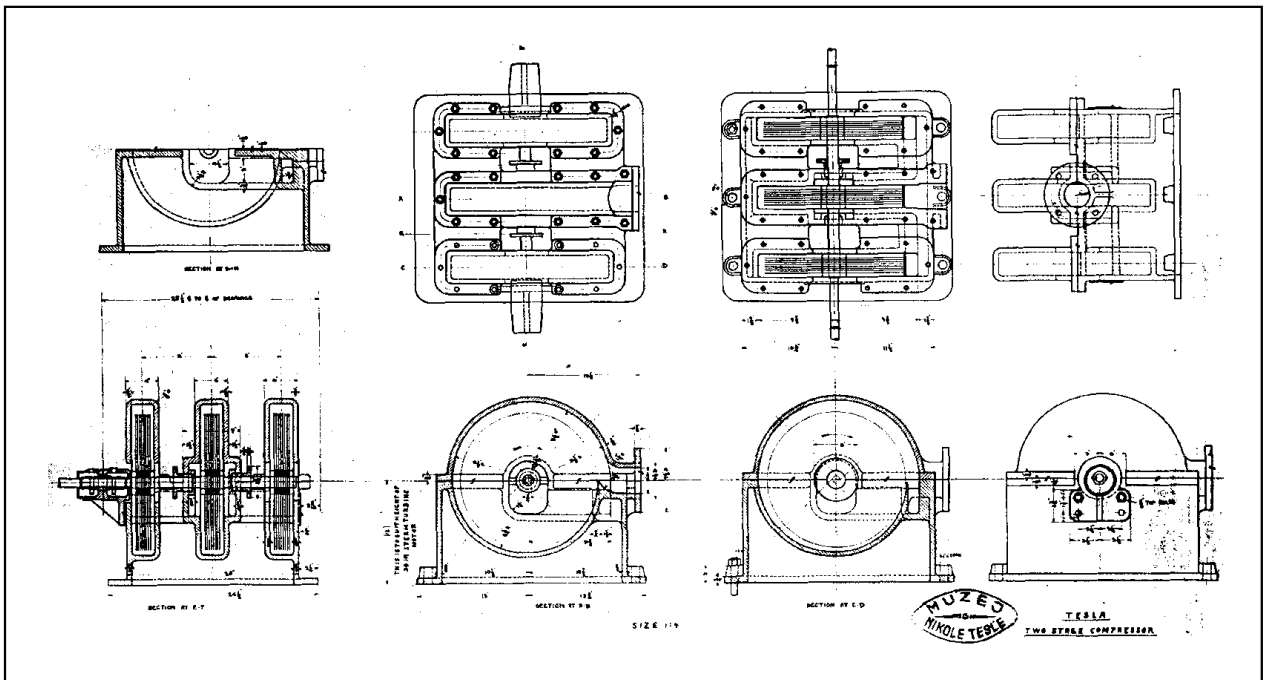
- duvaljku za livnicu u Korlisu u Providensu za firmu ABMC. Kompresor je bio pogonjen Teslinim trofaznim indukcionim motorom snage 37,3 kW. Duvaljka je imala sledeće karakteristike: protok 2 800 m³/min; brzina obrtanja 3 450 o/min i protok 6,9 kRa. Na slici 6. je dat šematski prikaz i izgled već izvedene duvaljke.
- pumpu visokog pritiska za kotlovsko postrojenje za firmu AVMS, napora 214 m i protoka 0,047 m³/s. Takođe je ova pumpa imala i drugu namenu za



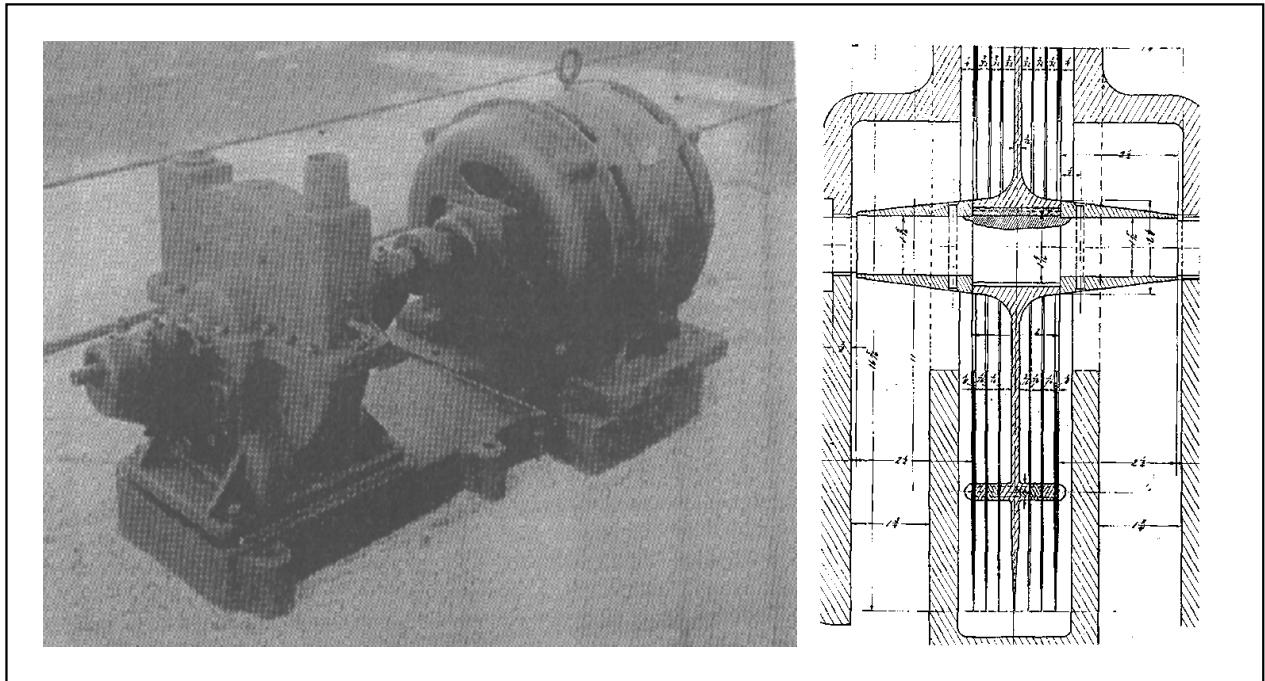
Slika 6. Šematski prikaz i izgled duvaljke za livnicu u Korlisu

pumpanje sumporne kiseline u kompaniji ACCIC („Alabama Consolidated Coal and Iron Company”) u rudniku uglja i fabrike za preradu gvozdene rude. Na slici 7. je dat prikaz pumpe sa indukcionim motorom.

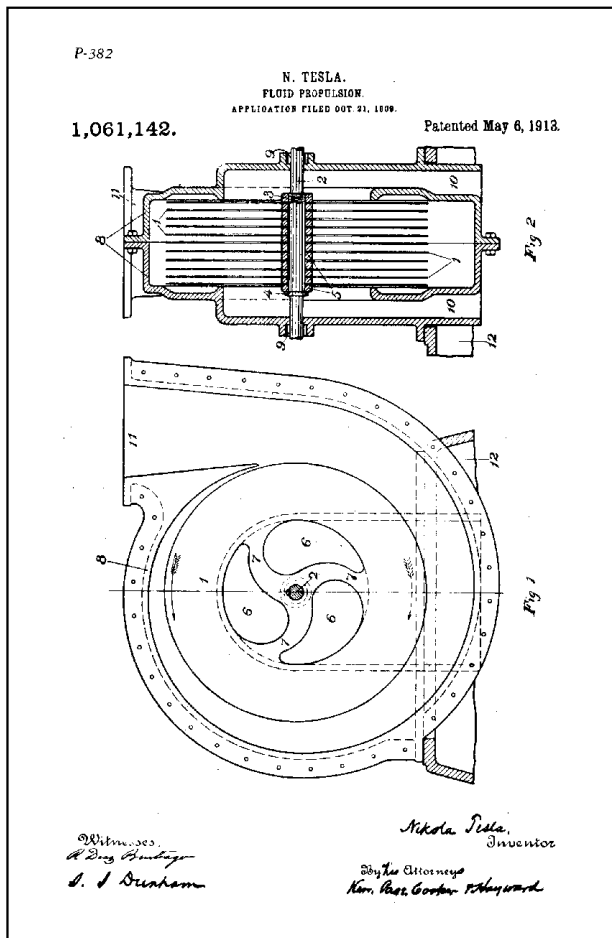
- prijavljuje najzad, nakon svih eksperimenata i izrada prototipova svoja dva najznačajnija pronalaska. Prvi pronalazak „Turbina” prijavljuje 21. oktobra 1909. godine i drugi „Propulzija fluida” 29. oktobra 1909. godine koji su prihvaćeni od strane Američkog patentnog zavoda 6. maja 1913. godine. Na slikama 8. i 9. date su funkcionalne skice patenata „Turbina” i „Propulzija fluida”



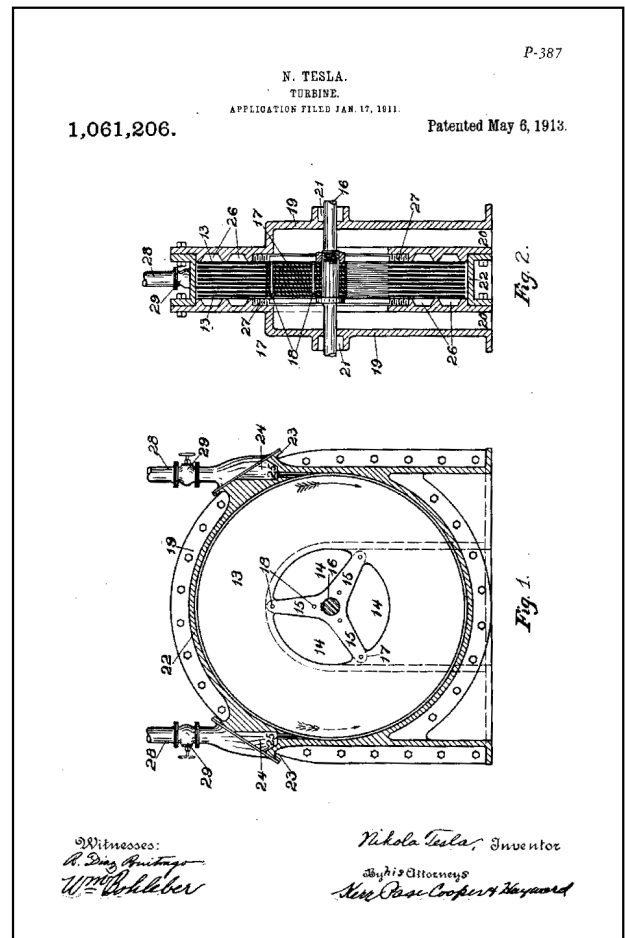
Slika 5. Originalni konstruktivni crtež Teslinog dvostepenog kompresora za napajanje visokih peći



Slika 7. Pumpa visokog pritiska sa skicom obrtnog kola za firme ABMC i ACCIC



Slika 8. Patentni crtež Nikole Tesle „Propulzija fluida”



Slika 9. Patentni crtež N. Tesle „Turbina”

U patentu „Propulzija fluida” Nikola Tesla je zaštitio princip prenosa energije sa radnog kola turbomašine, sačinjenog od niza korotirajućih diskova, na fluid uz pomoć adhezivnih i viskoznih sila

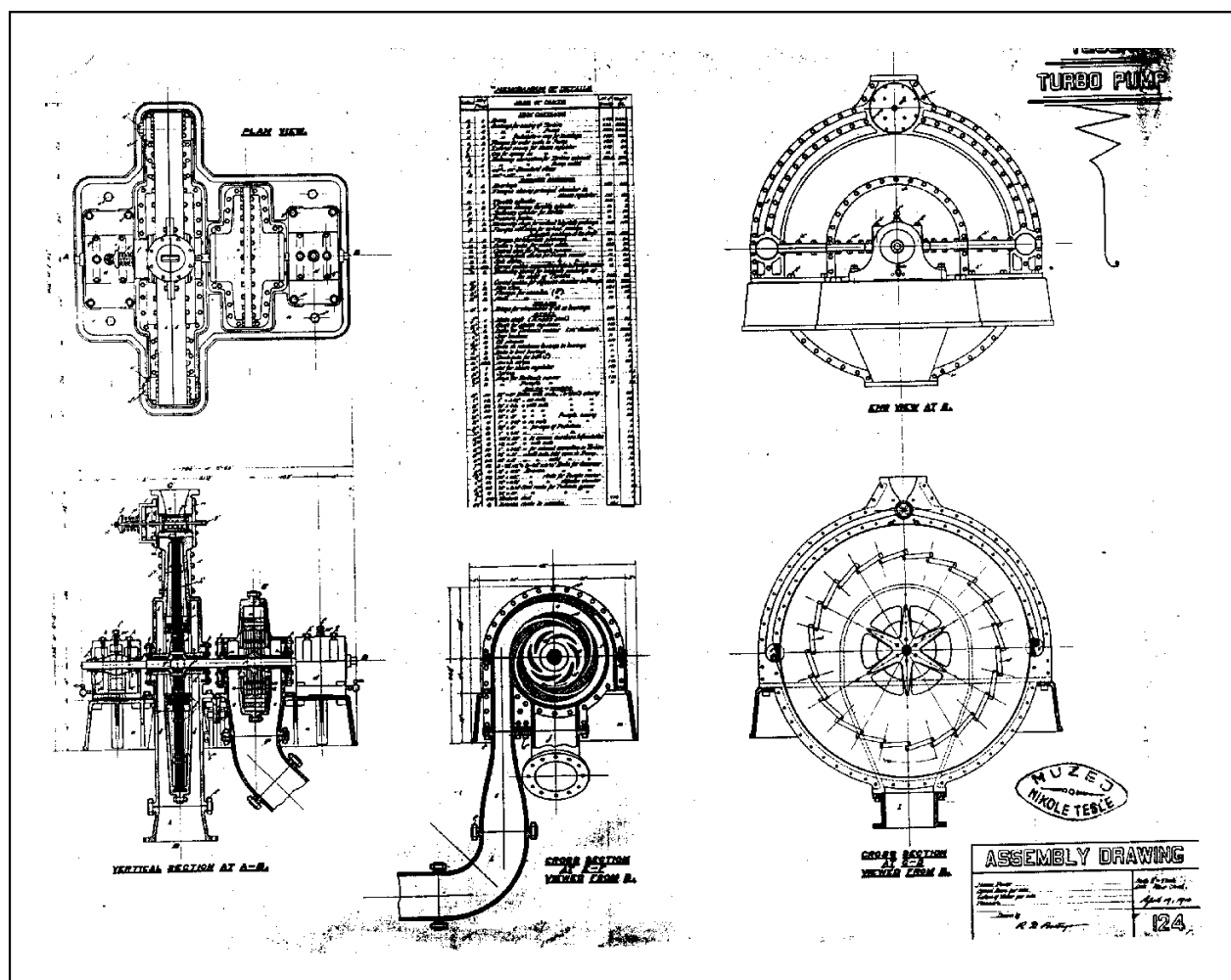
U ovom patentu Tesla je zaštitio još dve ideje vezane za primenu ovog principa. Jedna je upotreba ovakvih pumpi za pumpanje prljavih, muljevutih tečnosti i uopšte tečnosti koje sadrže krupne čvrste komade. U tom slučaju Tesla predlaže konstrukciju diskova bez paoka i centralnih otvora, s tim da je svaki disk smešten u posebno kućište. Druga upotreba je za kompresiju ili razređivanje vazduha, ili gasova uopšte. Visoki pritisci se mogu dobiti stepenom ili rednom vezom radnih kola ili „samostalnim obrtnim kolom, pogodnim skretanjem fluida kroz obrtne ili stacionarne prolaze”. Pod ovim je Tesla, verovatno, mislio na konstrukciju sličnu onoj koju je koristio u hidrauličnim kočnicama, kod kojih je svaki disk radnog kola bio bez centralnog otvora i okružen stacionarnim zidovima kućišta. Fluid je bio usisavan u komoru prvog diska, potiskivan na njegov obod sa jed-

ne strane, a zatim sa druge strane istog diska strujao do centra gde je bio usisavan u komoru sledećeg diska, i tako sve do izlaza iz kućišta kola.

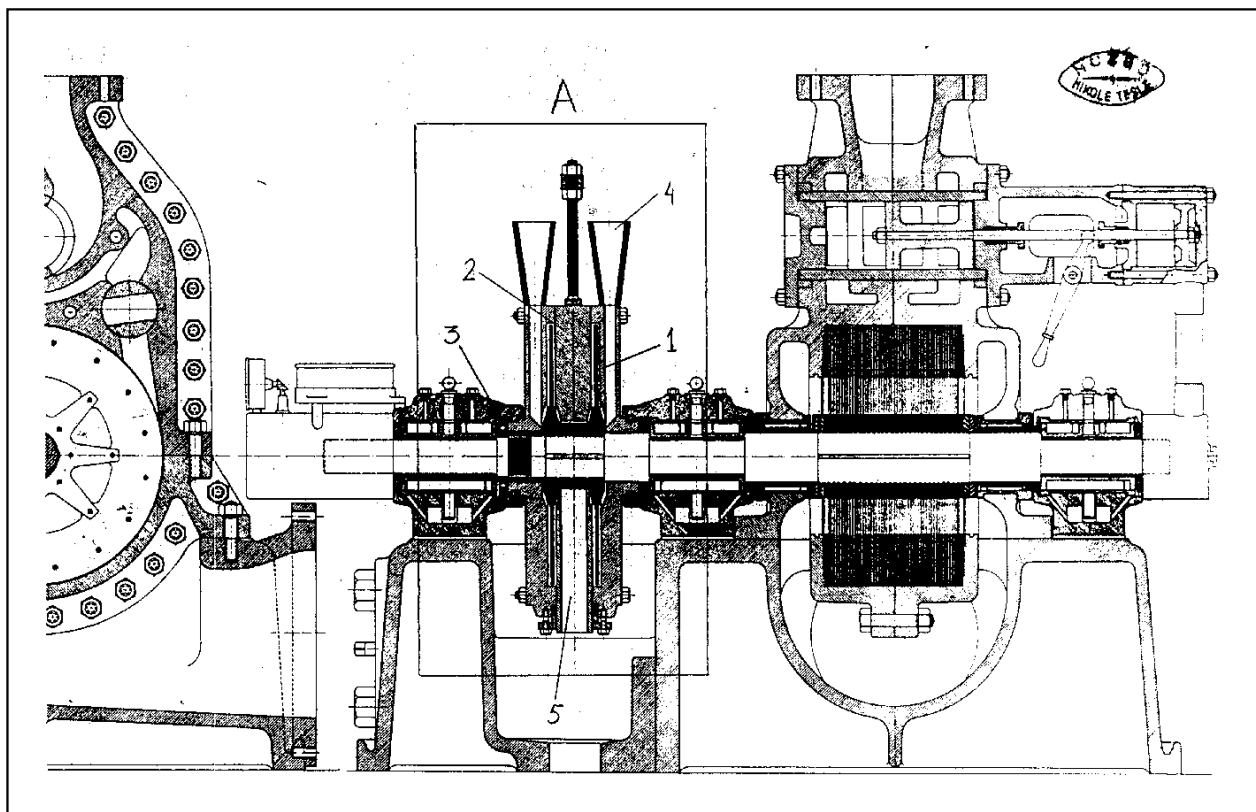
U patentu „Turbina” Nikola Tesla je zaštitio osnovni princip razmene energije fluida sa mehaničkim sistemom – obrtnim kolom koje se sastoji od niza korotirajućih razmaknutih diskova. Fluid ulazi tangencijalno u obrtno kolo i izlazi kroz centralne otvore oko vratila kola. Mašina može raditi i reverzibilno.

Za firmu APCC (American Pipe and Construction Company) 1910. godine konstruiše turbo pumpu na osnovu svog principa, pogonjenu turbinom. Pumpa je pri ispitivanju postigla protok od 0,18 m³/s pri naporu od 27 m. Na slici 10. su prikazani originalni crteži turbo pumpe.

Parnu turbinu sa obrtnim kolom sa diskovima snage 7,5 MW Tesla konstruiše 1913. godine. Ovu turbinu Tesla je ispitivao u Edisonovoj centrali, pri tome je koristio sopstveni uređaj sa dva diska koji je po potrebi mogao služiti kao merač brzine obrtanja



Slika 10. Turbo pumpa za firmu APCC

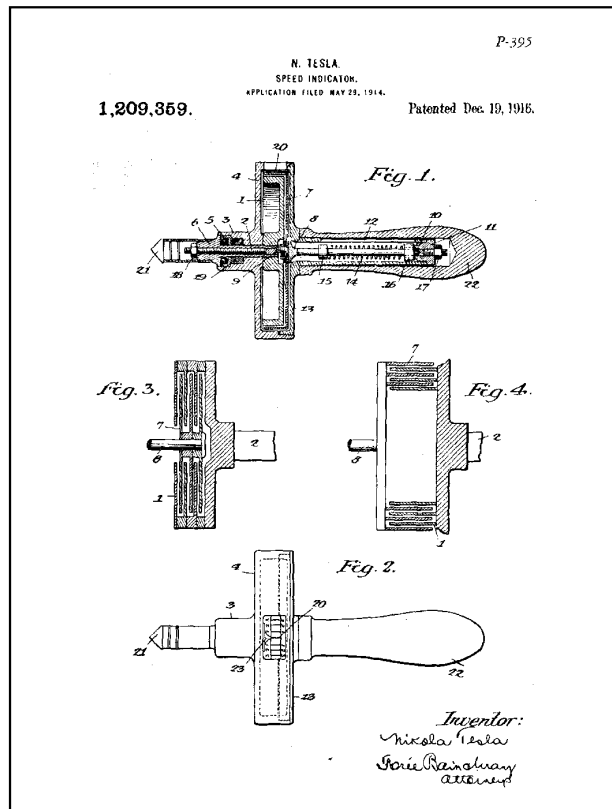


Slika 11. Crtež parne turbine sa hidrauličnom kočnicom

(tahometar) ili kao kočnica za merenje momenta. Konstrukcija mernog uređaja momenta i brzine obrtanja nastala je nakon višegodišnjeg istraživanja i otkrivanja zakonitosti promene momenta i brzine obrtanja zavisno od vrste fluida, rastojanja diskova od kućišta i drugih uticajnih veličina. Crtež turbine sa mernim uređajem je prikazan na slici 11.

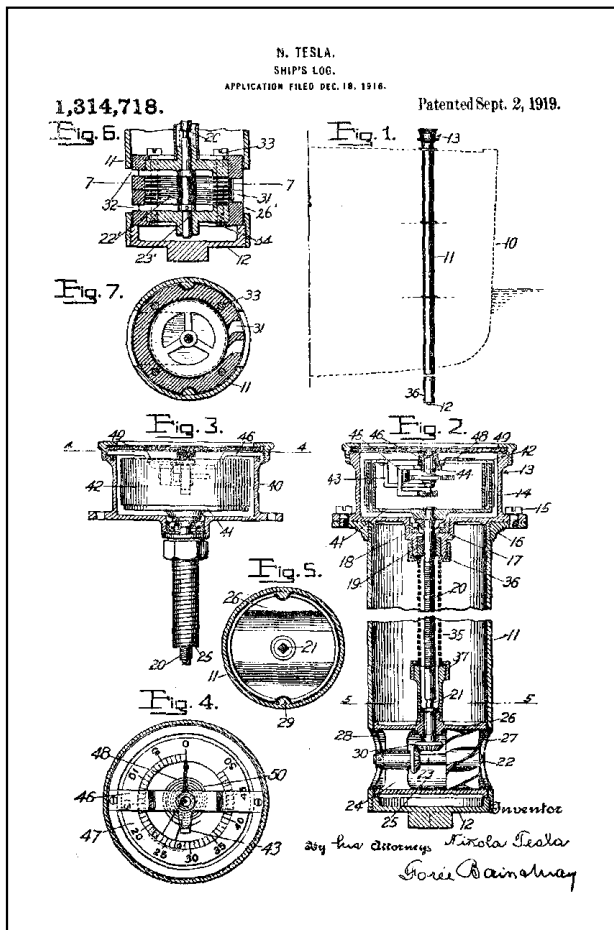
Posle nekoliko poslovnih neuspeha, uvidevši da stvar sa turbinama i pumpama neće ići tako lako kako je on u početku mislio, Tesla je, već sasvim zagrejan za probleme mašinske tehnike, zaštitio još nekoliko pronalazaka. Najpre je 1914. godine dobio, pomalo iznenađujuće i čini se van kursa njegovog uobičajenog interesovanja, patent „Fontana”. U stvari, radilo se o poslovnoj saradnji Tesle sa jednom malom kompanijom – Tifani Studio – kojoj je obećao, uz odgovarajuću finansijsku naknadu, projekat i izradu jedne fontane originalne konstrukcije. Najviše zahvaljujući Tesloj neposlovnosti saradnja je propala.

Sa komercijalnog aspekta, najbolji potez je povukao potpisavši ugovor sa Valtam Voč (Waltham Watch) kompanijom iz Masačusetsa, koja je finansirala njegov istraživački i eksperimentalni rad na novim tipovima mernih instrumenata. Za ovu kompaniju Tesla je razvio pet mernih uređaja koje je patentirao u Američkom patentnom zavodu:



Slika 12. Patentni crtež „Merača brzine obrtanja”

- „Merač brzine obrtanja” pronalazak prijavljuje 29. maja 1914. godine a patent (slika 12.) mu je dat 19. decembra 1916. godine.
- „Brzinomer broda” pronalazak prijavljuje 18. decembra 1916. godine a patent (slika 13.) mu je dat 2. septembra 1919. godine.

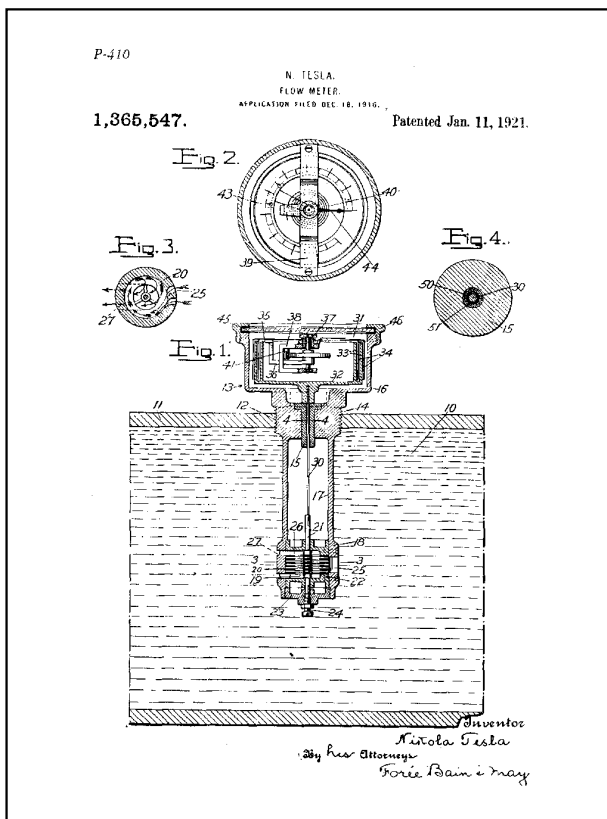


Slika 13. Patentni crtež „Brzinomer broda”

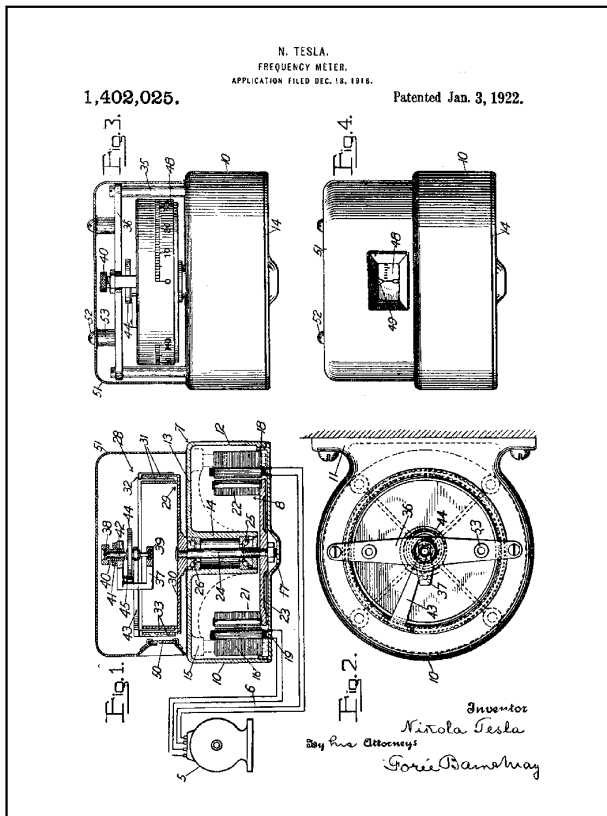
- „Protokomer” pronalazak prijavljuje 18. decembra 1916. godine a patent (slika 14.) mu je dat 11. januara 1921. godine.
- „Merač frekvencije” pronalazak prijavljuje 18. decembra 1916. godine a patent (slika 15.) mu je dat 3. januara 1922. godine.

Nikola Tesla je svoju ideju (novi princip) o bezlopatičnom prenosu energije sa fluida na mehanički sistem (i obrnuto) sastavljen od paralelno postavljenih rotirajućih diskova primenio na čitav niz uređaja i mašina koje su bile predmet njegovog interesovanja.

U jednom svom neobjavljenom tekstu [13] on kaže: „Na ovaj novi način se toplotna energija pare ili eksplozivnih mešavina može pretvarati sa velikom ekonomičnošću u mehanički rad; kretanje se može preneti sa jednog na drugo vratilo bez čvrste



Slika 14. Patentni crtež „Protokomer”



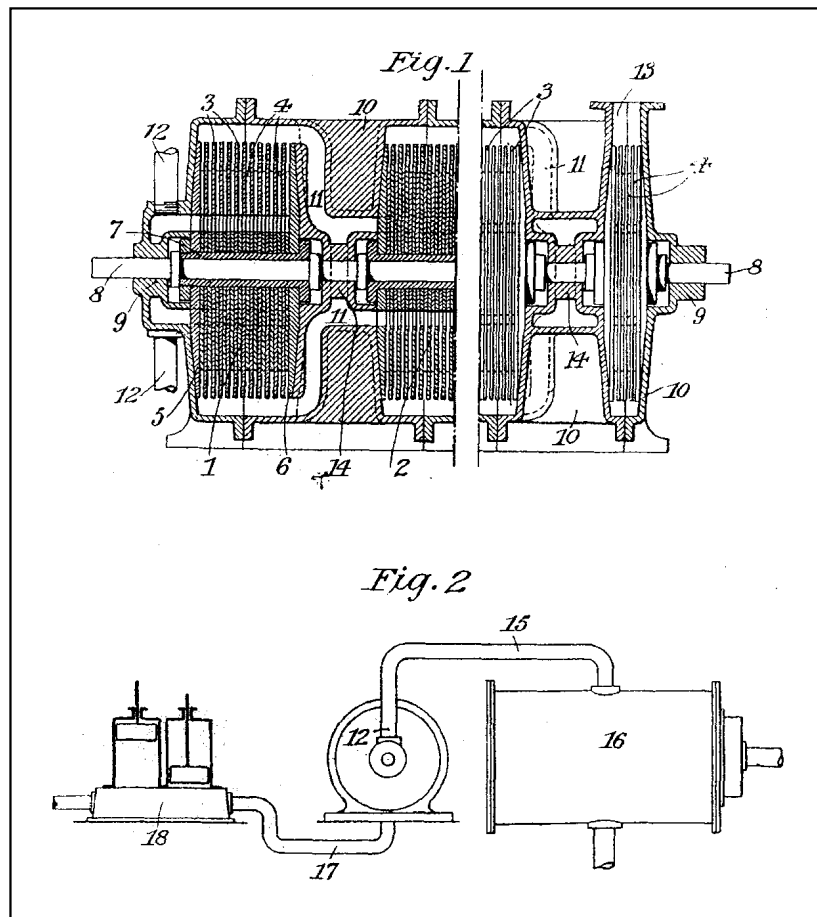
Slika 15. Patentni crtež „Merač frekvencije”

veze; vozila se mogu pogoniti velikom brzinom; voda dizati ili vazduh sabijati; skoro savršen vakuum se može postići; materija se može zamrzavati i gasovi pretvarati u tečnost”.

kroz izlaz (13) u znatno smanjenoj količini. Potpritisk koji se proizvede na ovaj način može biti izuzetno visok zbog očigledno jedinstvenih osobina uređaja, navedenih ranije, i kako fluidi nezavisno od svoje

gustine bivaju isisani velikom brzinom, gubici kroz rukavce, ležišta i spojeve od nezatnog su uticaja.”

Patentni zavod u Vašingtonu je izdao 3. februara 1920. godine Tesli još jedan vredan patent pod nazivom „Ventilski vod” (slika 17.). U pitanju je naprava bez pokretnih delova koja ima ventilsko dejstvo zahvaljujući pogodno razmeštenim kanalima u svojoj unutrašnjosti. Ono što predstavlja pravu vrednost i univerzalnost ovog i sličnih Teslinih pronalazaka jeste činjenica da je u patentima insistirao na tome da se radi o pronalasku pre svega novog principa, metode ili aparata, pa tek onda na njihovoj primeni. Tako je u patentu „Ventilski vod”, (u slobodnom prevodu „fluidna dioda”), Tesla prvenstveno opisao uređaj bez pokretnih delova, koji sprečava fluid pod pritiskom da struji u jednom pravcu a dozvoljava da u suprotnom pravcu prođe skoro neometano, pa je tek na kraju patenta opisao neke od mogućih primena. Zahvaljujući ovakvom pristupu, kada je 60-tih godina fluidna dioda bila upotrebljena u jednoj sasvim novoj oblasti, kao element memorije pneumatskih računara, nije moglo da se zaobide Teslino ime i



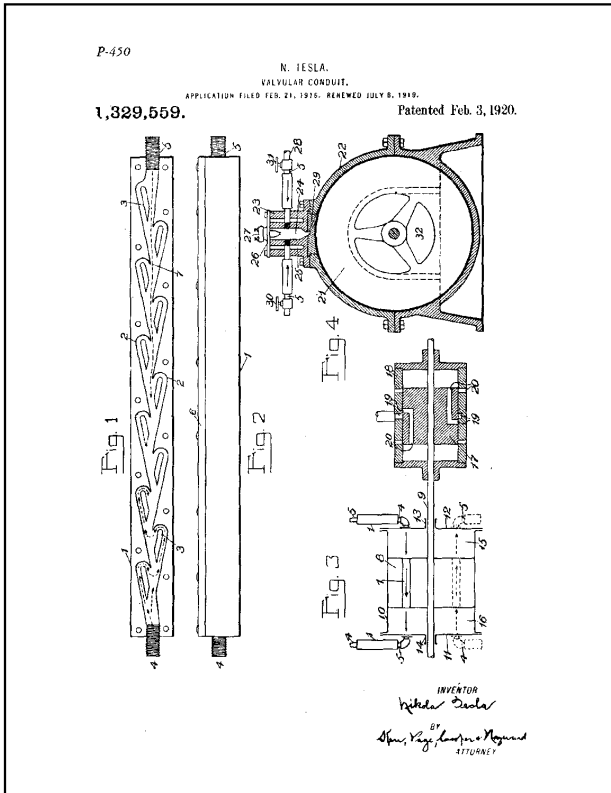
Slika 16. Patentni crtež Tesline Vakum pumpe

Tesla je na svim ovim primenama radio u izvesnoj meri, ali bez komercijalnog uspeha. U patentu „Poboljšani proces i uređaj za proizvodnju visokog vakuuma” koji je u Velikoj Britaniji podneo 24. marta 1921. godine i koji je bio prihvaćen 4. maja 1922. godine, Tesla je zaštitio vakuum pumpu (slika 16) u kojoj je iskoristio pojavu da se osobine adhezije i viskoznosti zadržavaju u gasovima i parama čak i pri visokim stepenima razređenosti. Na slici se vidi da ovu višestepenu pumpu čini niz radnih kola u zajedničkom kućištu (10), ali u posebnim komorama.

Tesla ovako opisuje rad svoje vakuum pumpe [17]: „Pošto se ulazi (12) povežu sa sudom koji treba isprazniti jednim, za vazduh nepropusnim spojem, i pošto sistem radi na velikoj obimskoj brzini, fluidi zbog svojih osobina viskoznosti i adhezije, bivaju izvučeni iz suda dok se ne postigne onaj potpritisk koji je naznačen. Pri svom prolazu kroz niz kola, fluidi se sabijaju u stepenima i bivaju izbačeni

da se ne kaže da je prvi patent u toj oblasti, još davne 1920. godine, dao Nikola Tesla.

Poslednja dva patenta predstavljena u ovom radu, ujedno poslednji koje je dobio u tehnici, jesu „Metod vazdušnog transporta” i „Aparat za vazdušni transport” (slika 18) iz 1928. godine. Opet pomalo iznenađujuće, reklo bi se da se Tesla pred kraj svog života okrenuo vazduhoplovstvu. Međutim, činjenica je da se on izuzetno zanimao za vazduhoplovstvo od rane mladosti do, tako reći, kraja svog života, o čemu postoji više svedočanstava od autobiografskih kazivanja, do crteža, rukopisa, patenata, pisama itd. Dva patenta iz 1928. godine bila su kruna tog interesovanja i u njima je istakao vrednost dva otkrića: nov način vertikalnog poletanja sa nastavkom leta kao kod običnog aviona i drugo, nov tip pogonskog motora u vidu njegove usavršene turbine, za koji je smatrao da će izuzetno dobro zameniti klasične motore sa unutrašnjim sagorevanjem.

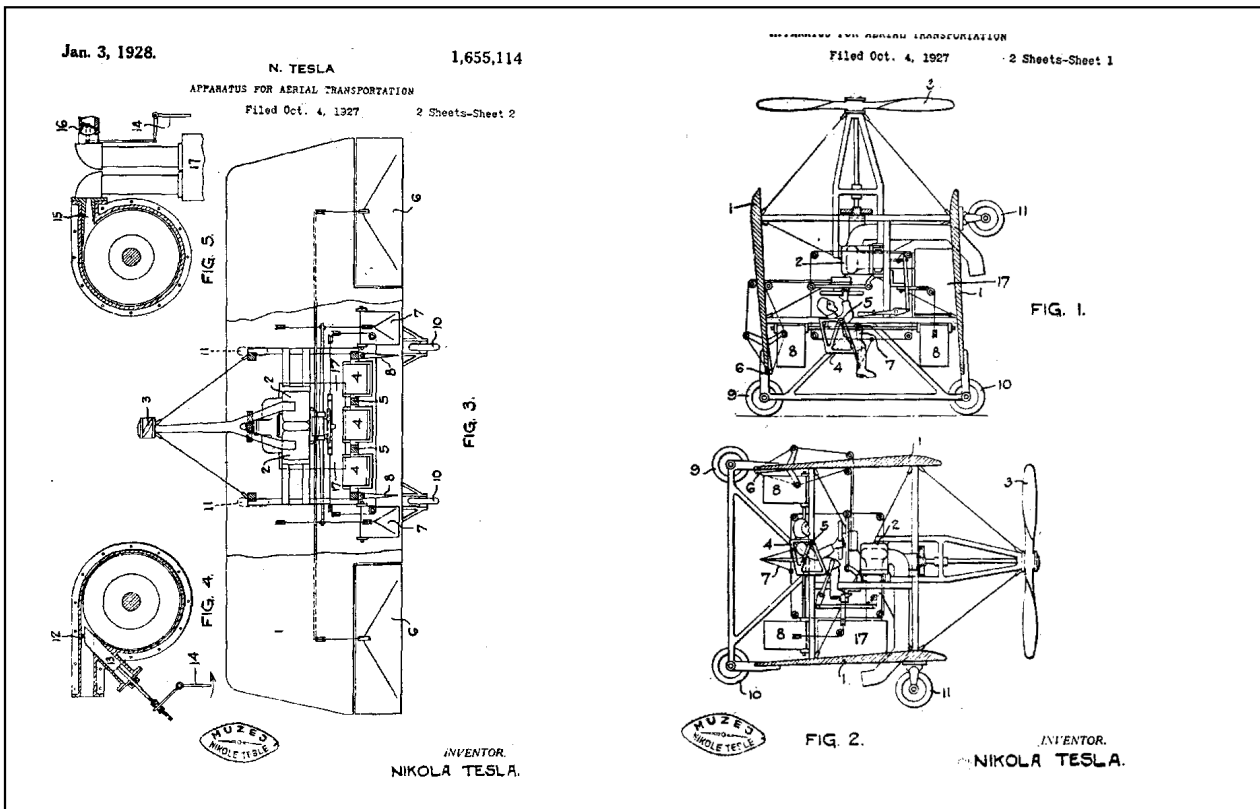


Slika 17. Patentni crtež „Ventilskog voda”
takozvana „fluidna dioda”

3. ZAKLJUČAK

Sagledavajući Teslin rad u oblasti mašinstva, a to važi i u drugim oblastima njegovog istraživanja može se reći da je Tesla tražio rešenja koja su zasnovana na fizičkim jasnim zakonima, ali da se pri tom nije zadovoljavao uhodanim inženjerskim principima struke već je imao svoj sopstveni put kojim je dolazio do originalnih rezultata. Može se reći da je Tesla tragao za neponovljivim ali jedinstvenim rešenjima koja drugim istraživačima nisu bila na „umu”. Sam Tesla, u jednom intervjuu objavljenom 4. aprila 1926. godine u časopisu „Brookline Eagle” [15] je opisao osnovne faze svoje naučno-istraživačke metode:

„U mom radu, ja prvo dobijem „osećaj” da postoji rešenje nekog problema. Ovaj osećaj mi mnogo znači, jer kada ga dobijem ja uvek do kraja uspem da rešim problem. Verovatno je on indikacija da je podsvest marljivo na putu, ili je već pronašla rešenje. Onda ja uopšteno razmišljam o problemu, ne koncentrišući se posebno na bilo koju tačku. Mogu da prođu meseci ili čak godine sa jednom idejom u takvom stanju, koja je duboko u mojoj glavi. Konačno ideja je sazrela i slika koja je u početku bila nejasna, postaje sve oštija – sve dok ne postane realnost. Pošto je opšti oblik utvrđen, ja nastavljam da



Slika 18. Aparat za vazdušni transport patentni crteži I i II

usavršavam mašinu ili ideju – odlučujući da li će raditi efikasno ili da li će je jedna ili druga stvar napraviti. Vizija je tako jasna da mogu da kažem da li su neki delovi u neravnoteži. Konačno mogu da dam tačne mere majstoru čak ako nisam napravio ni skicu. Modeli ne služe da bi sa njima eksperimentisao već da bih dokazao ideje koje sam stvorio u svom umu.”

Takođe o tome govori u jednom drugom intervjuu [15] aprila 1921. godine u časopisu „The American Magazine” u članku pod nazivom „Pustite vašu maštu da radi za vas”:

„Uz pomoć vizualizacije, koju sam naučio u svojim dečaćkim naporima da se oslobodim neprijatnih predstava, razvio sam ono što je, verujem, nov metod materijalizovanja inventivnih ideja i koncepcija. To je metod koji može biti od velike koristi svakom maštovitom čoveku, bilo da je on pronalazač, poslovan čovek ili umetnik. Neki ljudi, od trenutka kada treba da konstruišu neki uređaj ili obave bilo kakav posao, navaljuju na njega bez odgovarajuće pripreme, i odmah bivaju zaokupljeni detaljima, umesto centralnom idejom. Oni mogu da ostvare rezultat, ali žrtvuju kvalitet. Evo, ukratko, mog sopstvenog metoda: Pošto osetim želju da izumem određenu stvar, mogu da prođu meseci ili godine sa određenom idejom negde u mojoj glavi. Kad god mi se svidi, ja u mašti razmišljam o tom problemu bez svesne koncentracije. Ovo je period inkubacije. Onda sledi period direktnih napora. Pažljivo biram moguća rešenja problema. Razmatram i postepeno usmeravam svoj um na suženo polje istraživanja. Sada, pošto svesno razmišljam o tom problemu i njegovim specifičnim osobinama, počinjem da osećam da ću rešiti problem. Divno je to što ako zaista to osetim, ja znam da ću rešiti problem i doći do onog za čim trigram.

Kako se vidi iz prethodno priloženog materijala u ovom radu, Tesla je svoja istraživanja u mašinstvu, kojima je ostao veran skoro trideset godina svoga života, započeo sa turbomašinom bez lopatica, jedinstvenom po konstrukciji i načinu razmene energije između fluida i mehaničkog sistema. Sagledavajući sve relevantne činjenice, Nikola Tesla je svojom idejom, realizacijom i istraživanjem, otkrio suštinski novi tip radijalne turbomašine koja ranije nije bila poznata. Naime, do tada su bile u upotrebi (a i danas su) samo mašine u kojima se energija razmenjivala između mehaničkog sistema i fluida primenom: kola sa lopaticama, klipova i cilindara i obrtnih klipova u kućištu, dok Teslina turbomašina razmenjuje energiju sa mehaničkim sistemom pomoću „nevidljivih lopatica”. „Nevidljive lopatice” nastaju dejstvom naponskog stanja viskoznog fluida, koje se formira u prostoru između dva ili više korotirajućih diskova.

Fenomen strujanja, više no upotreba u praksi, izazvao je veliki broj istraživača da se pozabavi Teslinim turbomašinama. Ipak, poslednjih godina interesovanje za primenu u praksi raste zbog izvanrednih osobina koje ova turbomašina ima kao pumpa u specijalnim domenima primene.

Predaja energije fluida mehaničkom sistemu (turbina) Teslinim principom, nije pokazala dobre osobine upotrebom konvencionalnog fluida (voda, vazduh i vodena para). Međutim, postoje indicije, što je Tesla u svojim razmatranjima i predvideo, da se upotrebom novih fluida (eksplozivnih) može ova efikasnost – stepen korisnosti povećati.

Princip razmene energije u bezlopatičnim turbomašinama je primenljiv na čitav niz pronalazaka i sam Tesla ga je koristio obilno u svojim patentima. Danas nekoliko firmi u svetu proizvodi Tesline pumpe za transport tečnosti i mešavina velike viskoznosti (ulja, maltera, tečnog betona i dr.). Posebno je danas u upotrebi Teslin princip – propulzija fluida u izradi modernih molekularnih pumpi.

Iako je istraživanje i realizacija turbomašina bez lopatica najvažnije Teslino delo u oblasti mašinstva, nimalo nisu od male važnosti i ostala njegova istraživanja. Spomenimo samo „fluidnu diodu” koja je neizostavni deo pneumatskih računara. Posebno treba istaći njegova razmišljanja o iskorišćenju geotermalne energije i korišćenja temperaturske razlike slojeva morske vode u cilju proizvodnje korisnog rada. Njegovo široko interesovanje za sve delatnosti koje mogu obezbediti bolji i humaniji život ljudi se prostire i na oblast vazduhoplovstva („Aparat za vazdušni transport” i Overkraft).

Stručna kultura mašinskog inženjera i kreativnost genija omogućila je Tesli da sa lakoćom rešava tekuće mašinske probleme kao i da u stvaranju novih mašina iskoristi efekte koje su drugi smatrali štetnim i nepoželjnim.

Tesla je sebe posvetio nauci, ali ne onoj čiji će rezultati ostati u okviru stručnih časopisa, već nauci koja od ideje i papira silazi u laboratoriju a iz nje u praksu.

4. LITERATURA

- [1] Arhiv Muzeja Nikole Tesle, (AMNT), K.348 F841.
- [2] Arhiv Muzeja Nikole Tesle, (AMNT), K.346 F814.
- [3] Pismo Tesla – Parker Page od 1 septembra 1898 AMNT, prepiska.
- [4] Teslin patent br. 609251 – ELECTRIC CIRCUIT CONTROLLER, zbirka patenata AMNT.
- [5] „NICOLA TESLA’S FORECAST FOR 1908”, N.Y. World, 5. january 1908.
- [6] AMNT, K.348 F1729.

- [7] Pismo Tesla – ABMC, AMNT, prepiska sa kompanijama.
- [8] Pismo J.H. Hadley – Tesla, AMNT, prepiska sa pojedincima.
- [9] Memorandum sporazuma o saradnji Tesla – ABMC, AMNT, grupa PRAVNI POSLOVI, k.59.
- [10] Dž. O'Nil: NENADMAŠNI GENIJE, Beograd 1952, str. 78.
- [11] Jovanović B: TESLINA OTKRIĆA U MAŠINSTVU, Muzej Nikole Tesle, Beograd 1986.
- [12] Benišek M., Jovanović B.: ISTRAŽIVANJA U OBLASTI TESLINIH TURBOMAŠINA, Tesla III Milenijum, V Međunarodna konferencija (rad po pozivu), Zbornik radova, Tom. I, strane 33 do 82.
- [13] AMNT, K.451 F1699.
- [14] Teslin patent br. 179043 od 4. maja 1922, patentiran u Velikoj Britaniji, IMPROVED PROCESS AND APPARATUS FOR PRODUCTION OF HIGH VACUUM .
- [15] Jovanović B: TESLIN DOPRINOS METODOLOGIJI ISTRAŽIVANJA U MAŠINSTVU, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd 1995.
- [16] Benišek M., Jovanović B.: ISTRAŽIVANJA U OBLASTI TESLINIH TURBOMAŠINA, Teslin doprinos nauci, kulturi i savremenoj civilizaciji, Nedelja Nikole Tesle u Novom Sadu, 18-22. 11. 1996, Zbornik radova, str. 21 do 31

Rad je primljen u uredništvo 25. 05. 2006. godine



Miroslav Benišek (1946), Šef Katedre i Rukovodilac Centra za hidraulične mašine i energetske sisteme na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Radio u preduzeću Janko Lisjak a nakon toga od 1972. godine radi na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Diplomirao 1969. godine, magistrirao 1976. godine i doktorirao 1979. godine Redovni član Akademije inženjerskih nauka SCG od 2004. godine. Oblast istraživanja: Mehanika fluida, Hidraulične mašine i Tehnika merenja.



Branimir Jovanović je rođen 12. februara 1955. godine u Beogradu, gde je i diplomirao 1981. godine na Mašinskom fakultetu sa temom „Teslini radovi u vazduhoplovstvu”. Od 1977. godine radio je u Muzeju Nikole Tesle kao student demonstrator a posle završenih studija zaposlio se u Muzeju na neodređeno vreme. U Muzeju je proveo sledećih 20 godina na pozicijama arhiviste i kustosa a od 1996. do 2001. godine bio je direktor. Magistrirao je 1987. godine na Filozofskom fakultetu u Zagrebu – odsek za interdisciplinarnе studije istorije i filozofije nauke – sa temom „Teslina istraživanja u mašinstvu – mehanički oscilatori”. Doktorirao je 1995. godine na Mašinskom fakultetu u Beogradu sa temom „Teslin doprinos metodologiji istraživanja u mašinstvu”. Autor je brojnih radova iz oblasti istorije nauke, posebno o Teslinim doprinosima, više domaćih i međunarodnih izložbi, četiri knjige od kojih je najznačajnija monografija „Tesla-duh, delo, vizija” izdata 2001. godine. Osnivač je i direktor Centra Tesla.

Doprinosi Nikole Tesle u oblasti prenosa i distribucije električne energije

Stručni rad

UDK: 62-533.7; 621.313.12; 621.05

1. UVOD

Krajem 19. veka prenos i distribucija električne energije izvodili su se jednosmernim naponom. Zbog relativno niskih napona koji su se postizali generatorima jednosmerne struje prenos električne energije na daljinu bio je ograničen padovima napona i gubicima energije. Dodatne teškoće u razvoju sistema snabdevanja električnom energijom jednosmernom strujom stvarali su problemi vezani sa prekidanjem struje i problemi u komutaciji generatora i motora jednosmerne struje.

Prenos električne energije naizmeničnom strujom realizovan je 1886. godine u Americi. Primećen je jednofazni sistem sa sinhronim generatorom koji je proizvodio Westinghaus (Westinghouse) i transformatorom prema konstrukciji Vilijama Stenlija (William Stanley). Sistem je korišćen za napajanje osvetljenja u gradu Greit Berington (Great Barington) u Masačusetsu (Massachusetts).

2. PATENTI NIKOLE TESLE

Nikola Tesla je, jednovremeno sa Westinghausom i Stenlijem, radio na prenosu energije naizmeničnom strujom ali višefaznim sistemima, bazirajući se na koncepciji svog višefaznog motora koji omogućava korišćenje naizmenične struje i za pokretanje radnih mašina. U svojim 9 patenata koje je prijavio u periodu od 1883. do 1894. godine Tesla je predložio i eksperimentalno verifikovao nekoliko rešenja za prenos električne energije višefaznim sistemom naizmenične struje kojim se prekoračuju

ograničenja jednosmernog prenosa u pogledu moguće snage i daljine prenosa električne energije i omogućava, posredstvom električne energije, prenos na daljinu mehaničke energije.

U patentu Patent No. 382.280 od 1. maja 1888. godine opisuje se način napajanja Teslinog motora iz odgovarajućeg sinhronog generatora. Na ovaj se način posredstvom prenosa energije naizmeničnom strujom, mehanička energija kojom se pokreće generator može preneti na daljinu i dobiti od motora koji generator napaja. Na slici 1, skica Fig.9, dato je rešenje za dvofazne mašine. Motor M ima rotor D od čeličnih limova koji je oblikovan odsecanjem dva naspramna odsečka od punog kruga, prikazanog crt-kastim linijama. U patentu se kaže da navedeno oblikovanje nije neophodno jer se rotor motora obrće saglasno obrtanju rotora generatora G i kada je kružnog preseka. Dvofazni namotaj statora nalazi se na magnetnom kolu u obliku torusa. Dvofazni namoti generatora nalaze se na rotoru a njihovi se krajevi, preko provodnika koji idu duž vratila, dovode na kružne prstenove na koje se vezuju odgovarajući fazni namoti motora preko provodnika LLL'L'. Na skicama Fig.10 i Fig.12 prikazani su poprečni presek i pogled odozgo na jednu alternativnu konstrukciju dvofaznog motora, a skica Fig.11 je izgled poprečnog preseka dvofaznog generatora.

Na slici 2, skica Fig.13, prikazana je šema napajanja trofaznog motora iz odgovarajućeg sinhronog generatora čiji je presek dat na skici Fig.14. Na skici Fig.15 dato je alternativno rešenje dvofaznog napajanja motora. Skica Fig.16 pokazuje horizontalni presek motora.

(No Model.)

4 Sheets—Sheet 2.

N. TESLA.

ELECTRICAL TRANSMISSION OF POWER.

No. 382,280.

Patented May 1, 1888.

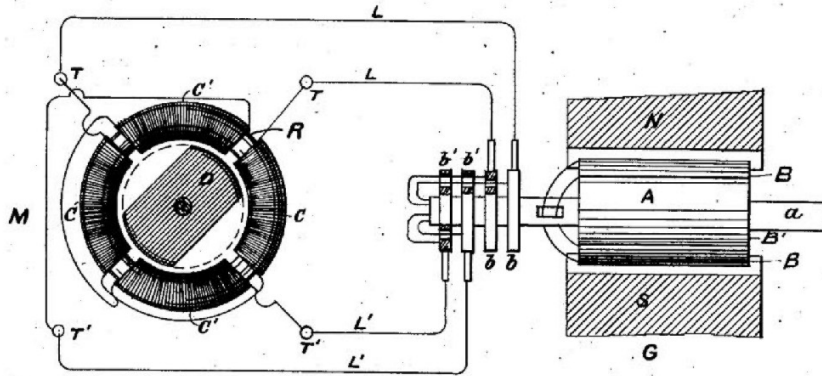


Fig. 9

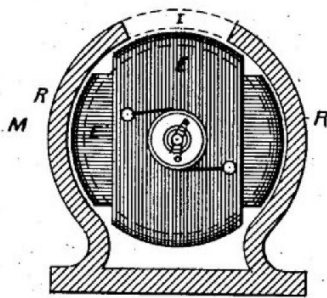


Fig. 10

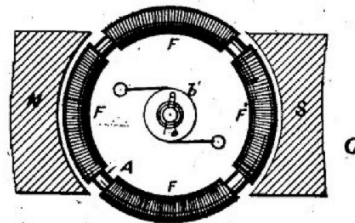


Fig. 11

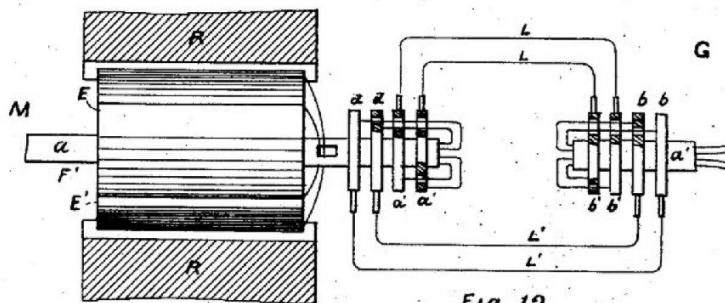


Fig. 12

WITNESSES:

D. H. Sherman.
Marvin A. Curtis.

INVENTOR.

Nikola Tesla.
BY
Duncan, Curtis & Kluge
ATTORNEYS.

Slika 1. Konstrukcije dvofaznog motora napajanog iz dvofaznog generatora naizmenične struje (faksimil: Patent No. 382.280, Fig. 9 – Fig. 12)

(No Model.)

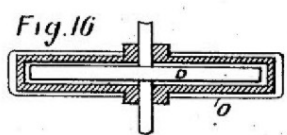
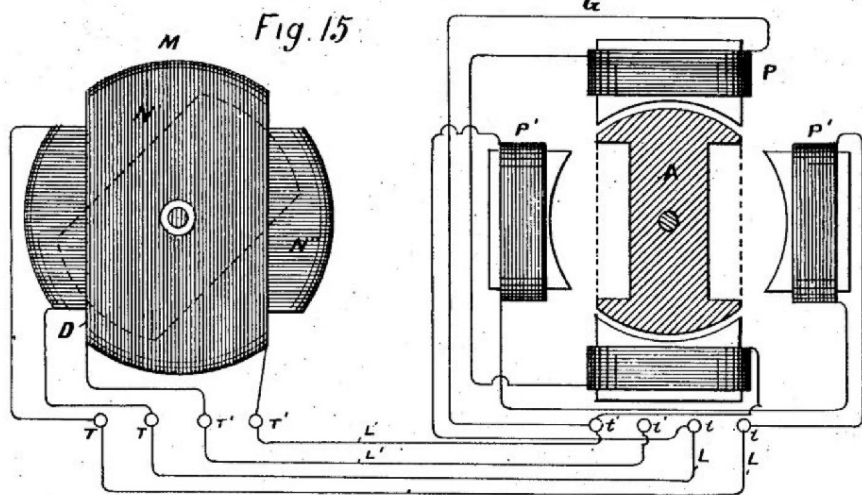
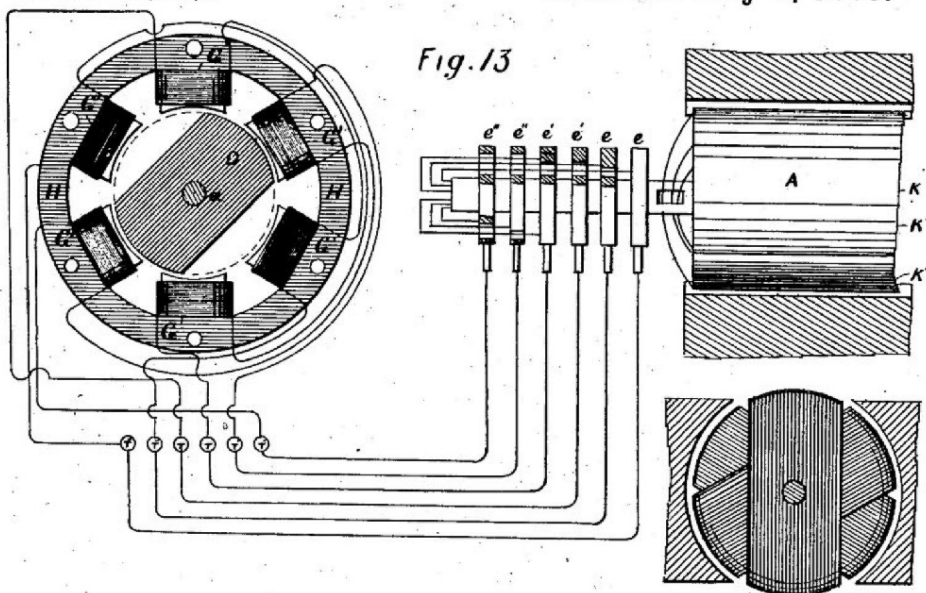
4 Sheets—Sheet 3.

N. TESLA.

ELECTRICAL TRANSMISSION OF POWER.

No. 382,280.

Patented May 1, 1888.



WITNESSES:
D.H. Sherman
Marvin A. Curtis

INVENTOR,
Nikola Tesla.
BY
Duncan, Curtis & Page
ATTORNEYS.

Slika 2. Napajanje trofaznog i dvofaznog motora iz sinhronog generatora (faksimil: Patent No. 382.280, Fig. 13- Fig. 16)

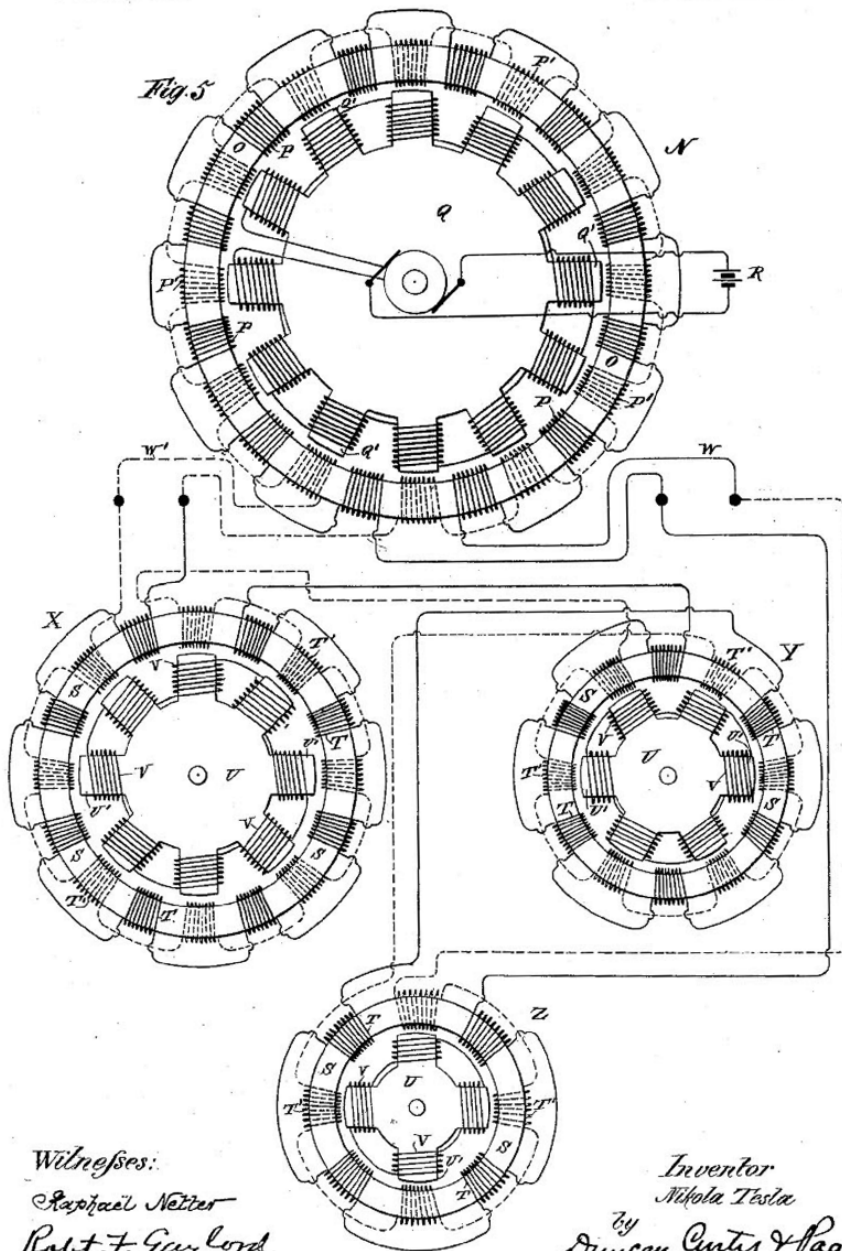
Patent No. 487.796 od 13. decembra 1892. godine daje rešenje za napajanje više dvofaznih motora iz istog sinhronog generatora. Različite brzine obrtanja rotora motora postižu se konstruktivno,

ugradnjom različitog broja parova polova. Motori su izvedeni sa kratkospojenim namotima na rotoru što je inicijalna koncepcija danas široko rasprostranjenih asinhronih motora.

(No Model.)

3 Sheets—Sheet 3.

N. TESLA.
 SYSTEM OF ELECTRICAL TRANSMISSION OF POWER.
 No. 487,796. Patented Dec. 13, 1892.



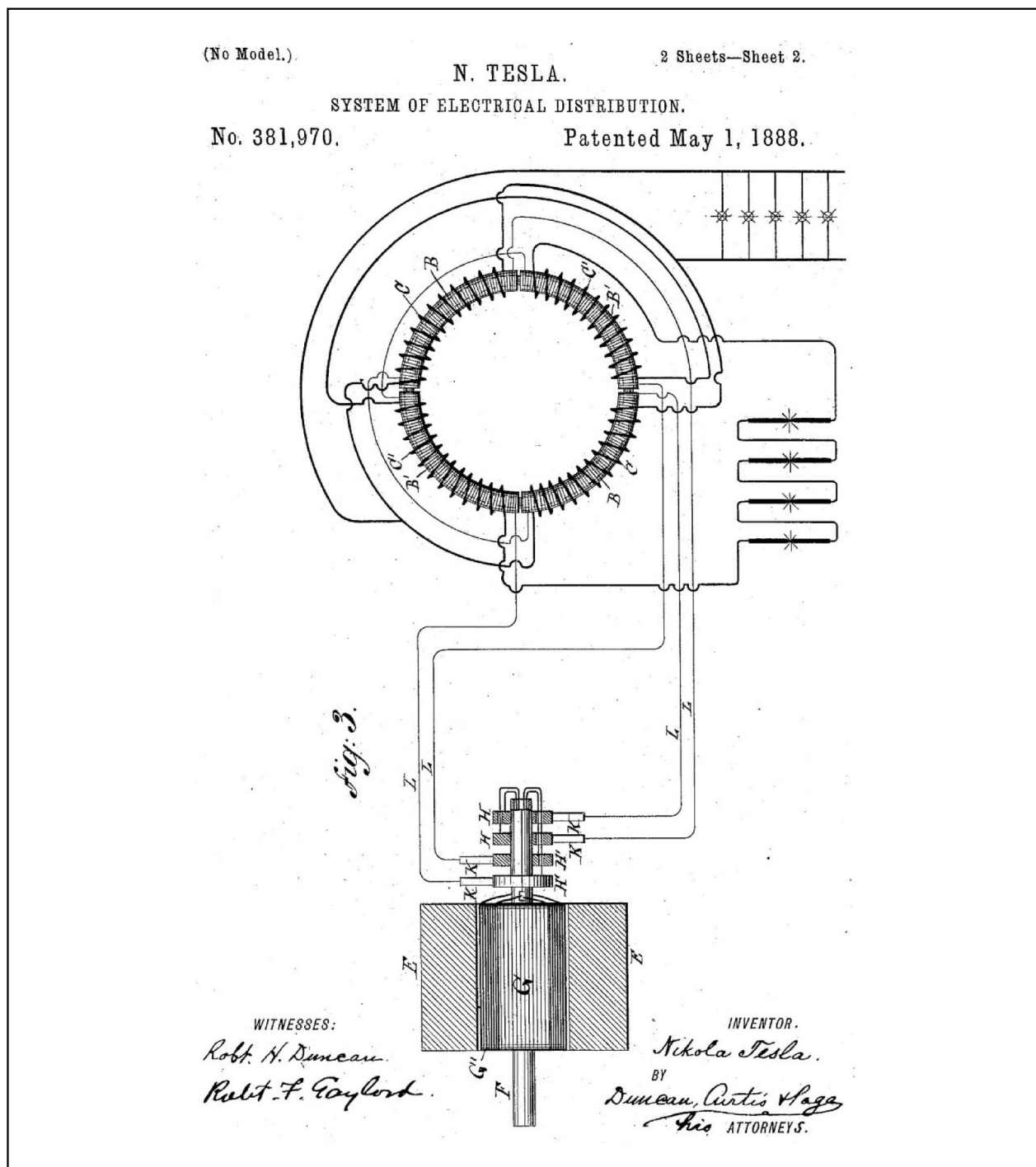
Witnesses:
Raphael Netter
Robert F. Gaylord

Inventor
Nikola Tesla
 by *Duncan, Curtis & Page*
 Attorneys

Slika 3. Napajanje motora sa različitim brzinama obrtanja (faksimil: Patent No. 487.796, Fig. 5)

U Patentu No. 381.970 od 1. maja 1888. godine Nikola Tesla je predložio koncepciju dvofaznog transformatora kojim se omogućava prilagođavanje napona potrebama prenosa energije na daljinu i potrebama potrošača (slika 4). Jezgro transformatora je u obliku torusa. Primarni dvofazni namoti napajaju se iz dvofaznog sinhronog generatora G preko četiri

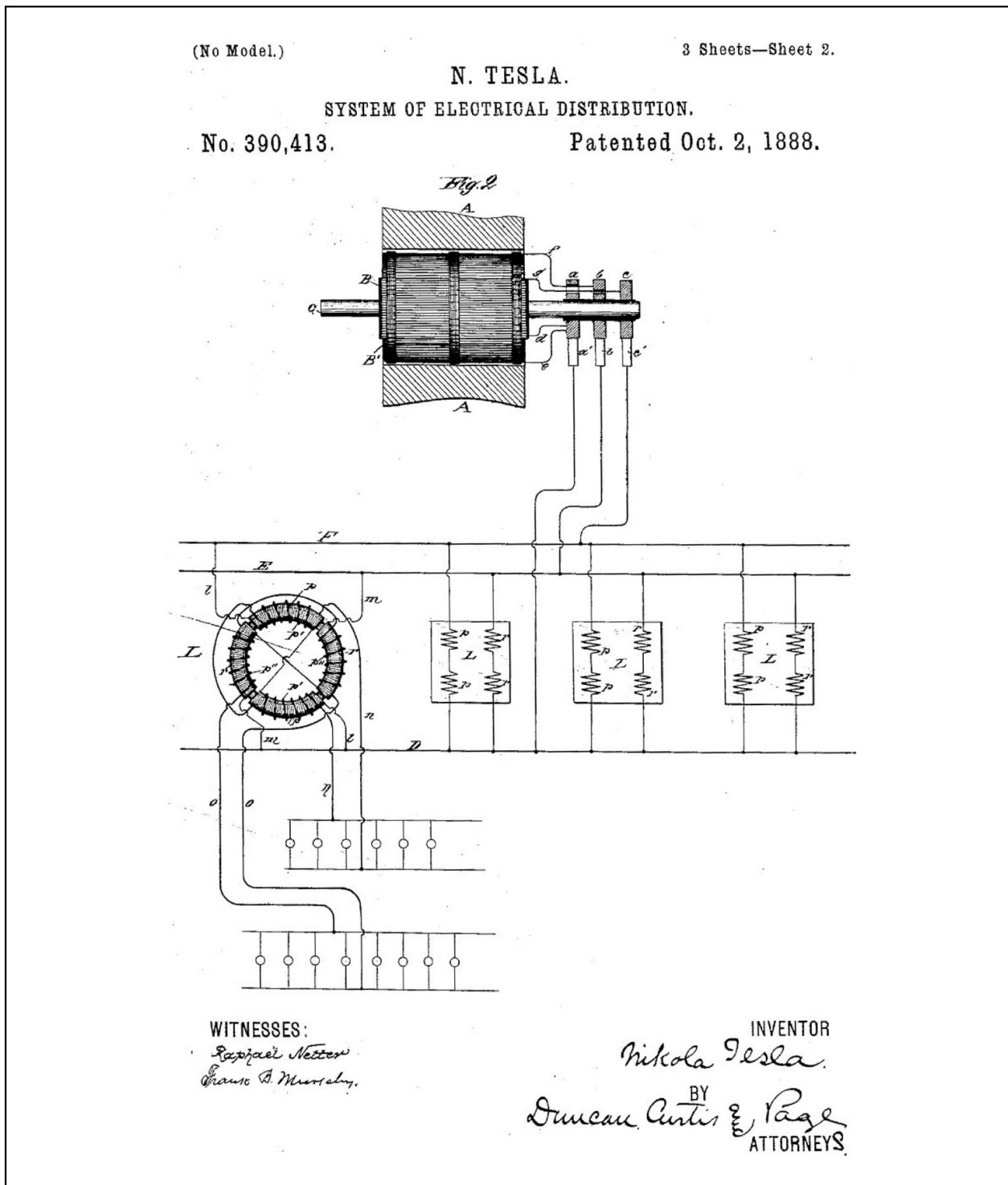
provodnika koji se vezuju na odgovarajuće krajeve faza ovih namota. Sekundarni namoti su preko broja navojaka i preseka provodnika prilagođeni u pogledu napona i struja potrošačima. Šema napajanja nacrtana je za slučaj kada su potrošači svetlosni izvori različite vrste.



Slika 4. Dvofazni transformator za napajanje osvetljenja
(faksimil: Patent No. 381.970, Fig. 3)

U patentu Patent No. 390.413, 2. oktobar 1888. godine, Tesla rešenja iz prethodnih patenata uprošćava tako što umesto dva odvojena povratna provodnika za napajanje dvofaznog motora ili transformatora, koristi jedan zajednički provodnik čime se

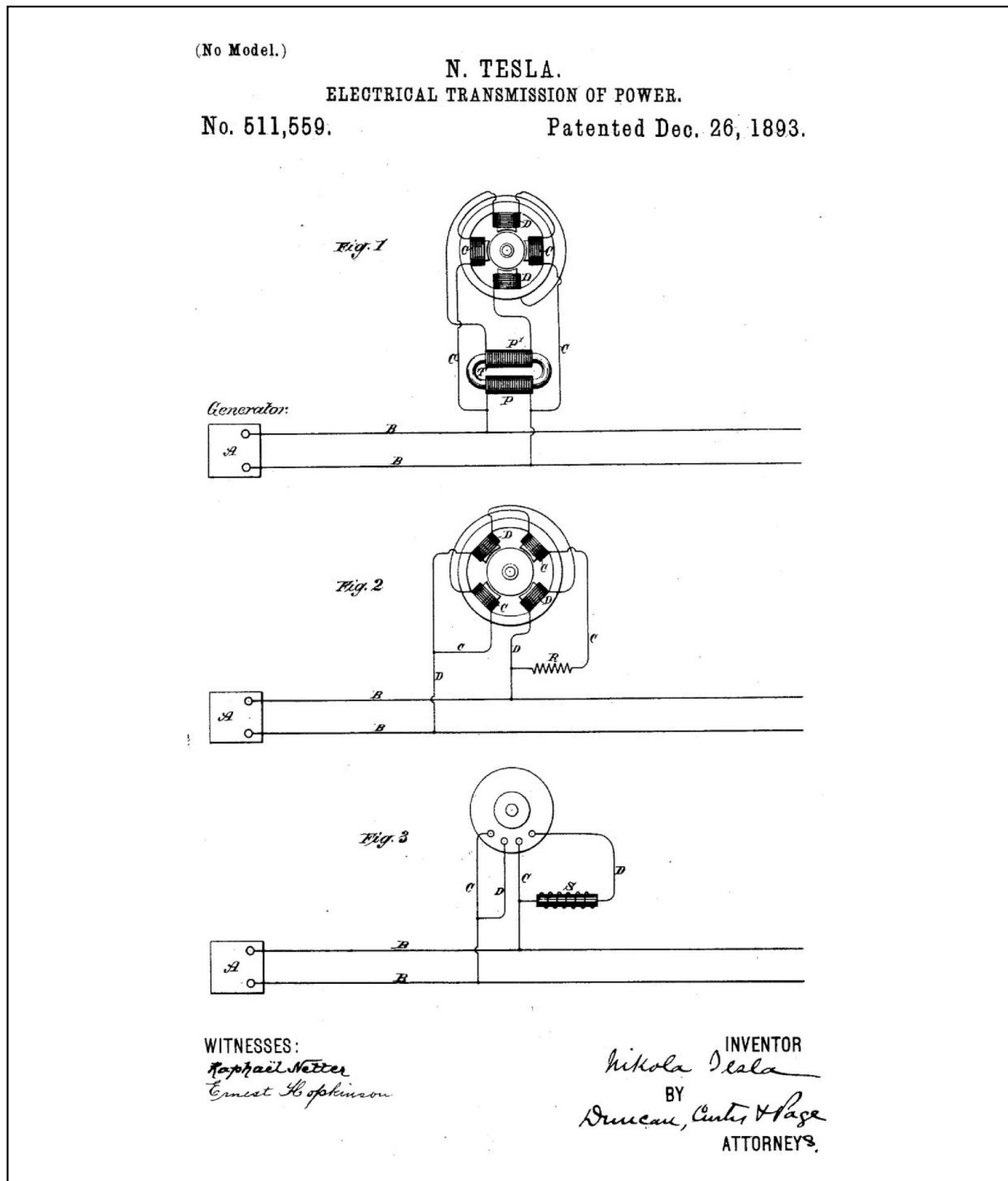
potreban broj provodnika za prenos električne energije smanjuje na 3. Na slici 5 prikazana je dvofazna distributivna mreža sa četiri transformatora (samo je prvi nacrtan detaljno) koji napajaju osvetljenje.



Slika 5. Dvofazna distributivna mreža sa transformatorima
(faksimil: Patent No. 390.413)

Koncepciju jednofaznog napajanja dvofaznog motora Tesla je izložio u patentu Patent No. 511.559 od 26. decembra 1893. godine. Zamisao se sastoji u tome da se dvofazni sistem stvara na samom motoru tako što će mu se po amplitudi i/ili fazi promeni-

ti struje koje protiču kroz različite namote. Ovo se ostvaruje umetanjem transformatora, induktivnog kalema ili otpornika u kolo namota, kako je pokazano na slici 6.



Slika 6. Jednofazno napajanje dvofaznog motora
(faksimil: Patent No. 511.559, Fig. 1 – Fig.3)

Na slici 7 prikazano je rešenje sa podešivim otpornikom u jednom od namota i podešivom induktivnošću u drugom namotu. Induktivnost se podešava pomeranjem čeličnog jezgra kalema.

(No Model.)

3 Sheets—Sheet 3.

N. TESLA.

SYSTEM OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION.

No. 511,560.

Patented Dec. 26, 1893.

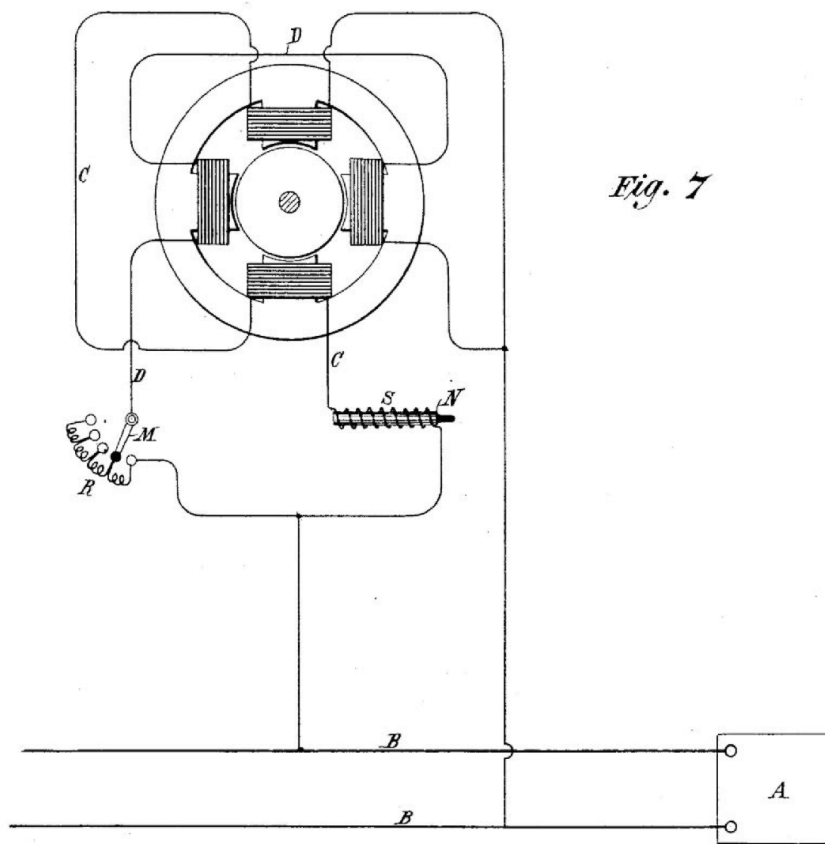


Fig. 7

WITNESSES

Raphael Netter
James H. Easton

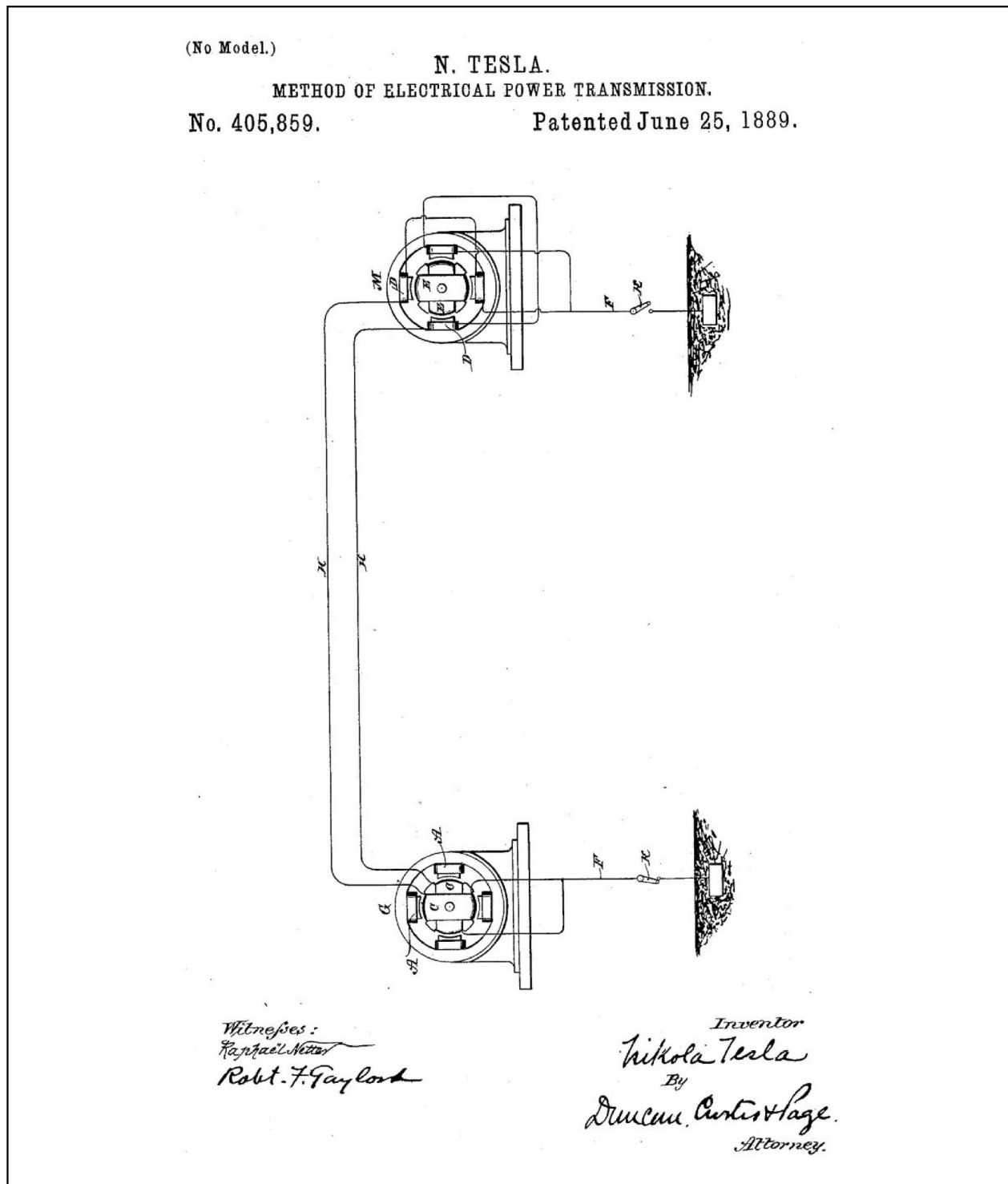
INVENTOR

Nikola Tesla
BY
Duncan & Page
ATTORNEYS.

Slika 7. Jednofazno napajanje dvofaznog motora
(faksimil: Patent No. 511.560, Fig. 7)

U patentu Patent No.405.859, od 25. juna 1889, predlaže se rešenje sa dvofaznim napajanjem preko dva provodnika u kome se zemlja u periodu puštanja u pogon dvofaznog motora koristi kao povratni provodnik a zatim ova veza prekida.

Koncepcije izložene u patentima No. 511.560 i No. 405.859 predstavljaju inicijalni oblik danas široko prihvaćenog rešenja jednofaznog asinhronog motora sa namotom za pokretanje sa fazno pomerenom strujom.



Slika 8. Jednofazno napajanje dvofaznog motora sa povratnom vezom preko zemlje
(faksimil: Patent No. 405.859)

3. ZAKLJUČAK

Iz prethodno opisanog može se zaključiti da je u svojim patentima Nikola Tesla inicirao ideju prenosa energije višefaznim sistemima, predložio i realizovao više konstruktivnih rešenja kojima se omogućuje prenos i distribucija električne energije na daljinu različitim potrošačima, uključujući motorne pogone, sa naponima i snagama prilagođenim zahtevima prenosa, distribucije i potrošača. Pomenute ideje i tehnička rešenja, koja su pionirska u ovoj oblasti, otvorila su perspektivu za dalji razvoj više-

faznih sistema naizmjenične struje u oblasti prenosa i distribucije električne energije koji danas predstavljaju jedan od osnovnih načina transfera energije u svetu.

4. LITERATURA

- [1] Nikola Tesla, Lectures, PATENTS, Articles, Muzej Nikole Tesle, Beograd, 1956.
- [2] ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK, CSE Westinghouse El. Corp., Fourth Edition, Pittsburgh, 1950.



Jovan Nahman rođen je u Beogradu. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na Energetskom odseku, diplomirao je 1960. godine i doktorirao 1969. godine. Do 2001. godine bio je stalno zaposlen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu kao redovni profesor. Na diplomskim studijama predavao je predmete Elektrane i razvodna postrojenja i Opšta energetika, a na postdiplomskim studijama predmete Visokonaponska postrojenja i Pouzdanost elektroenergetskih sistema. Drži nastavu iz navedenih predmeta na postdiplomskim studijama. Bavi se problematikom projektovanja, eksploatacije, analize performansi i održavanja elektroenergetskih postrojenja i mreža.

Mladen Apostolović i Ivan Škokljev

Aspekti praktične primene metode koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta zasnovane na tokovima snaga

Pregledni rad
UDK: 621.3.05; 621.31; 621.3.016.24

Rezime:

Zagušenja prenosnih kapaciteta predstavljaju situaciju kada ne mogu svi zahtevi za prenosom električne energije biti zadovoljeni a da se ne ugrozi sigurnost rada elektroenergetskih sistema. Zagušenja nastaju zbog nedovoljnih prenosnih kapaciteta interkonektivnih dalekovoda i predstavljaju prepreku slobodnoj međunarodnoj trgovini električnom energijom. Stoga je potrebno uvođenje metode za efikasnu dodelu tih kapaciteta uz poštovanje ekonomskih principa. U ovom radu su, pored teorijskih aspekata, razmatrane i mogućnosti praktične primene metode koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta na realnoj interkonekciji u regionu jugoistočne Evrope. Ova metoda obezbeđuje optimalno korišćenje oskudnih prenosnih kapaciteta interkonektivnih dalekovoda uz uvažavanje fizičke raspodele tokova aktivnih snaga kroz interkonektivnu mrežu, koje je neophodno radi održavanja sigurnosti funkcionisanja elektroenergetskih sistema na zadovoljavajućem nivou.

Ključne reči: prenosni kapacitet, interkonekcija, aukcija

Abstract:

IMPLEMENTATION ASPECTS OF TRANSMISSION CAPACITY COORDINATED AUCTIONING

Transmission capacity congestion represents the situation when it is not possible to satisfy all electric power transfer demands without jeopardizing the power system security. Congestions appear due to insufficient transmission capacities of interconnection lines and they represent an obstacle to free cross-border electricity trade. Introduction of efficient method for allocation of those capacities, strictly based on economical principles is, therefore, needed. Beside theoretical aspects, possibilities of practical implementation of coordinated auctioning method for transmission capacity allocation in the South-east European region are presented in this paper. This method ensures optimal use of scarce transmission capacities of interconnection lines, taking into consideration physical redistribution of real power flows through interconnected network, which is necessary for maintaining security of power system functioning at the desired level.

Key words: transmission capacity, interconnection, auction

Mr Mladen Apostolović, dipl. ing. el. – JP EPS – Direkcija za trgovinu električnom energijom,
11 040 Beograd, Vojvode Stepe 412, e-mail: mladen.apostolovic@eps.co.yu
Prof. dr Ivan Škokljev, dipl. ing. el., – Elektrotehnički fakultet, 11 000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73,
e-mail: skokljev@etf.bg.ac.yu

1. UVOD

Jedan od proklamovanih ciljeva Energetske zajednice jugoistočne Evrope (Energy Community for South East Europe) je i promovisanje međudržavne trgovine električnom energijom između zemalja potpisnica, što će se između ostalog postići i uspostavljanjem zajedničkih pravila za dodelu prenosnih kapaciteta interkonektivnih dalekovoda u sklopu procesa upravljanja zagušenjima (Congestion Management) [1].

Do pojave zagušenja, prvenstveno prenosnih kapaciteta interkonektivnih dalekovoda, dolazi kada zahtevi aktera na tržištu za prenosom električne energije prevaziđu fizičke mogućnosti visokonaponskih mreža. Ovaj problem je prisutan u prenosnim sistemima jugoistočne Evrope, pa samim tim i u prenosnom sistemu Srbije, već više godina, a naročito je aktuelizovan nakon rekonekcije dve UCTE sinhronne zone u oktobru 2004. godine. Postoji više uzroka ovog problema, a za prenosni sistem Srbije su najvažniji oni koji se ogledaju u činjenici da se preko njega obavlja velika prekogranična tj. međudržavna razmena električne energije koja je rezultat više faktora, od kojih su najvažniji sledeći:

- geografski položaj Srbije sa osam granica i deset interkonektivnih dalekovoda naponskih nivoa 400 kV i 220 kV,
- okruženje koje, sa jedne strane čine sistemi sa velikim viškovima električne energije (pre svih Rumunija i Bugarska), a sa druge strane sistemi koji su uvozno orijentisani (Crna Gora, Albanija, Makedonija, Grčka, Hrvatska i Mađarska),
- pojava znatno većeg broja trgovaca električnom energijom u regionu jugoistočne Evrope,
- različit stepen deregulacije elektroenergetskog sektora, a posebno liberalizacije tržišta električne energije pojedinih država u regionu.

Još jedan opšti faktor koji važi za sve elektroenergetske sisteme (EES) u regionu je da su oni izrazito međuzavisni što znači da sve planirane, a zatim i ostvarene međudržavne razmene električne energije između dva sistema izrazito utiču i na tokove snaga u svim ostalim, a naročito susednim, sistemima. Primera za ovo ima mnogo, a najočitiiji je onaj da se realizacija izvoza iz EES Bugarske u EES Grčke sa samo nešto više od polovine obavlja preko interkonektivnog dalekovoda na njihovoj granici, a da se ostatak realizuje velikom većinom preko EES-a Srbije i Makedonije.

Svi navedeni faktori uslovljavaju neophodnost primene adekvatnih procedura za upravljanje zagušenjima (i u okviru njih procedure za dodelu prenosnih kapaciteta interkonektivnih dalekovoda) na regionalnom nivou u jugoistočnoj Evropi [2,3].

2. DODELA PRENOSNIH KAPACITETA I ZAGUŠENJA

Nameri tržišnih učesnika da se realizuje njihov međusobni komercijalni ugovor o kupoprodaji električne energije tj. transakcija, ukoliko kao posledicu ima razmenu električne energije između dve (regulacione) oblasti u interkonekciji, mora da prethodi zakup prenosnog kapaciteta interkonektivnih dalekovoda koji je potreban za ostvarivanje te transakcije. Ovaj zakup odobravaju operatori prenosnog sistema (TSO - Transmission System Operator) koji upravljaju datim regulacionim oblastima. Zahtevani iznosi transakcija se izražavaju u MW, odnosno ugovara se srednjekatna aktivna snaga kojom će se električna energija razmenjivati između datih oblasti. U isključivoj nadležnosti TSO-a je da prihvati ili pak da odbije zahtevane transakcije ukoliko proceni da bi njihovo ostvarivanje dovelo do ugrožavanja rada EES-a. U Evropi se trenutno pretežno koriste izračunate vrednosti neto prenosnih kapaciteta - NTC (Net Transfer Capacity) [4] kao merilo mogućnosti ostvarivanja planiranih razmena električne energije na pojedinim granicama između TSO-a. U kontekstu NTC-a, zagušenje se može definisati kao slučaj kada planirane razmene prevazilaze vrednost NTC-a koja je ponuđena na korišćenje akterima na tržištu. Kako su tokovi snaga u mreži i planirane razmene (transakcije, odnosno komercijalni ugovori) po svojoj prirodi različiti, ograničavanje iznosa planiranih razmena na pojedinim granicama teško da može da pomogne u očuvanju sigurnosti rada sistema u uslovima intenzivne razmene električne energije između država i velikog broja transakcija. Stoga se pristupilo novom načinu procene uticaja transakcija električne energije na prenosnu mrežu kroz metodu koordinisane aukcije.

3. METODA KOORDINISANE AUKCIJE PRENOSNIH KAPACITETA

Metoda koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta [5–10] uvažava fizičke tokove aktivnih snaga u prenosnoj mreži koji su posledica međudržavne razmene električne energije, a kroz centralizovan optimizacioni algoritam jednovremeno, na ekonomski efikasan i tehnički prihvatljiv način, dodeljuje raspoložive prenosne kapacitete interkonektivnih dalekovoda onim učesnicima na tržištu zainteresovanim za međudržavnu trgovinu koji te prenosne kapacitete najviše cene. Novine koje uvodi ova metoda u odnosu na postojeće metode su načini modelovanja prenosne mreže pomoću:

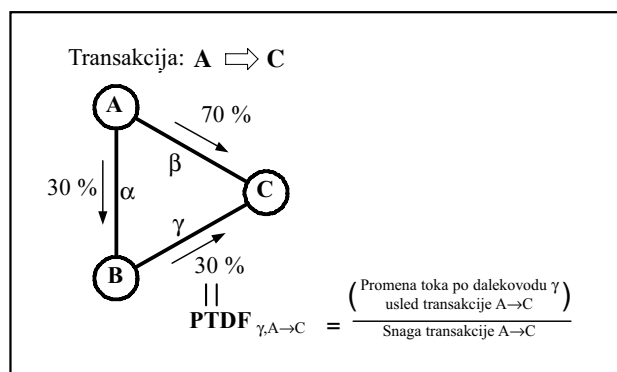
- distributivnih faktora transfera snage - PTDF (Power Transfer Distribution Factor), i

– fizičkih kapaciteta na granici - BC (Bottleneck / Border Capacity).

Matrica PTDF faktora [11] preslikava uticaj planiranih međudržavnih razmena električne energije na tokove aktivnih snaga po interkonektivnim dalekovodima, a vrednosti BC, koje predstavljaju izračunate fizičke kapacitete interkonektivnih dalekovoda na granicama između pojedinih elektroenergetskih sistema, postavljaju fizička ograničenja tokovima snaga po tim dalekovodima.

Osnovna razlika između postavljenih ograničenja međunarodnoj trgovini koja se trenutno primenjuju (NTC) i onih u metodi koordinisane aukcije (BC) je ta što NTC označava maksimalno moguću dozvoljenu sumu planiranih razmena koje su prijavljene (i odobrene za realizaciju) na nekoj granici, dok BC označava maksimalno moguću dozvoljeni fizički tok aktivne snage po interkonektivnim dalekovodima na toj granici.

PTDF faktori predstavljaju linearizovani uticaj (komercijalnih) transakcija električne energije na tokove aktivnih snaga po interkonektivnim dalekovodima, odnosno pokazuju koliki deo aktivne snage neke transakcije teče po posmatranom dalekovodu. PTDF faktori zavise od topologije i parametara mreže, ali su nezavisni od izbora balansnog čvora za njihov proračun i tokova snaga u sistemu [11]. Na slici 1 je pored prikaza uprošćenog modelovanja EES-a za potrebe dodele prenosnih kapaciteta (čvorovi ↔ TSO-i tj. regulacione oblasti, grane ↔ interkonektivni dalekovodi tj. granice - uska grla za prenos električne energije), grafički predstavljen i suštinski smisao PTDF faktora.



Slika 1. Ugovorena razmena električne energije između dve oblasti i odgovarajuća raspodela tokova aktivnih snaga na svim granicama

Za potrebe koordinisane aukcije se primenjuje optimizaciona metoda linearnog programiranja (LP) [12] koja vrši maksimizaciju kriterijumske (ciljne, objektivne) funkcije po izabranim promenljivima, uz poštovanje zadatih linearnih ograničenja. Kriterijumska funkcija predstavlja dobit koja se ostvaruje od koordinisane aukcije. Optimizacioni problem stoga može biti definisan kao:

Maksimiziraj: $\Sigma c \cdot PT$ (1)

pri ograničenjima: $PTDF^T \cdot PT \leq BC$ (2)

$0 \leq PT \leq PT_{zahtev}$ (3)

gde je c vektor cena ponuđenih za ostvarivanje transakcija, a PT_{zahtev} i PT vektori zahtevanih i dodeljenih snaga pojedinim transakcijama, respektivno.

Kriterijum za selektivno prihvatanje transakcija je odnos (količnik) ponuđene cene pojedine transakcije i njenog PTDF faktora na zagušenoj granici, što znači da prednost imaju transakcije za koje je ponuđena viša cena a imaju manji PTDF faktor.

Naplaćivanje uspešnim učesnicima nakon aukcije se obavlja po principu određivanja marginalne cene (marginal pricing), a ostvareno je korišćenjem tzv. „cene u senci” (shadow price) pridružene svakom ograničenju BC. Ova cena predstavlja marginalnu novčanu tržišnu vrednost kapaciteta odgovarajućih dalekovoda a izračunava se kao promena kriterijumske funkcije (1) do koje bi došlo kada bi se raspoloživi prenosni kapacitet inerkonektivnog(ih) dalekovoda na nekoj granici (npr. na granici ϵ) promenio za jediničnu vrednost. Ovakvim određivanjem cena se dobijaju lokacioni signali za investiranje u mrežu jer one imaju vrednost veću od nule samo u slučajevima postojanja zagušenja, a inače su jednake nuli i važi princip „nema zagušenja-nema plaćanja”. Konačna cena koju će platiti svi učesnici koji trguju iz oblasti X u oblast Y se dobija pomoću formule:

$$c_{X \rightarrow Y} = \sum_{\epsilon} \{ PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Y} \cdot \text{cena u senci}(\epsilon) \} = \quad (4)$$

$$= \sum_{\epsilon} \left\{ PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Y} \cdot \frac{\Delta(\text{kriterijumska } f - ja)}{\Delta(BC(\epsilon))} \right\}$$

Svrhu i način korišćenja prihoda koji TSO-i ostvare od aukcija određuju odgovarajuće regulatorne agencije i on treba da se upotrebi za povećanje (nedovoljnih) prenosnih kapaciteta, garantovanje već dodeljenih prenosnih kapaciteta ili smanjivanje nacionalnih tarifa za pristup mreži.

4. PRILAGODAVANJE METODE ZA PRAKTIČNU PRIMENU

Teorijske osnove predložene metode koje su prezentovane u prethodnom poglavlju su poslužile kao polazište za istraživanje mogućnosti praktične primene ove metode na realnoj interkonekciji. Tom

prilikom je uočeno nekoliko, prvenstveno tehničkih, problema koji se tiču praktičnih proračuna na realnoj interkonekciji matrice PTDF faktora i fizičkih kapaciteta na granici - BC, kao i određivanja fizičkih kapaciteta na granici raspoloživih za aukciju. Ne manje bitna su i pitanja formiranja i uloge aukcijske kuće koja bi sprovedila aukcionu proceduru, zatim vremenske dinamike sprovođenja koordinisane aukcije kao i načina uvažavanja obodnih sistema koji se graniče sa regionom u kome je koordinisana aukcija primenjena, a ne učestvuju u njoj. Predlog rešenja uočenih problema i odgovori na otvorena pitanja će biti prezentovani u tekstu koji sledi.

4.1. Proračun matrice PTDF faktora

Proračun elemenata PTDF matrice se radi na usaglašenom regionalnom matematičkom modelu EES-a pomoću DC proračuna tokova snaga, čije su prednosti u odnosu na AC proračun prikazane u [13]. Linearizovani, raspregnuti DC proračun tokova snaga je pogodan zbog mogućnosti eksplicitne primene metode superpozicije, kao i zbog toga što se u njemu pojavljuju samo aktivne snage koje su i predmet interesovanja (proizvod kojim se trguje na aukciji prenosnog kapaciteta je upravo MW). Još jedan argument u korist DC proračuna je da u fazi dodele prenosnih kapaciteta postoji mnogo pretpostavki koje unose značajnu grešku u čitav proces (npr. raspored i angažovanje proizvodnih kapaciteta, izračunate vrednosti prenosnih kapaciteta, itd.), te je greška DC aproksimacije prihvatljiva. Vrednost PTDF faktora na jednoj granici za izabrani pravac i smer transakcije se dobija tako što se u jednoj oblasti (izvor) proporcionalno baznom stanju linearno poveća proizvodnja aktivne snage u svim PV čvorovima, ukupno za iznos od 100 MW, dok se u drugoj, odgovarajućoj oblasti (ponor) za razmatranu transakciju, proizvodnja na isti način smanji. Algebarski zbir promena tokova aktivne snage po svim interkonektivnim dalekovodima na posmatranoj granici daje procentualnu vrednost PTDF faktora (zbog pogodno izabranog iznosa transakcije od 100 MW, koji inače ne utiče na rezultate pošto se radi o DC proračunu koji ne uvažava gubitke aktivne snage). Sa ciljem ubrzavanja proračuna na opisani način se proračunavaju samo oni redovi PTDF matrice koji se odnose na transakcije koje predstavljaju izvoz iz svake pojedinačne oblasti u proizvoljno izabranu „referentnu” oblast, tzv. hab (hub). Zatim se korišćenjem osobina asocijativnosti i simetrije:

$$PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Y} = PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Z} + PTDF_{\epsilon, Z \rightarrow Y} \quad (5)$$

$$PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Y} = -PTDF_{\epsilon, Y \rightarrow X} \quad (6)$$

jednostavno dobijaju i preostali elementi kompletne PTDF matrice (slika 2).

$$PTDF = \begin{matrix} & DV \alpha & DV \beta & \dots & DV \epsilon \\ \begin{matrix} A \rightarrow B \\ A \rightarrow C \\ \dots \\ X \rightarrow Y \end{matrix} & \begin{bmatrix} PTDF_{\alpha, A \rightarrow B} & PTDF_{\beta, A \rightarrow B} & \dots & PTDF_{\epsilon, A \rightarrow B} \\ PTDF_{\alpha, A \rightarrow C} & PTDF_{\beta, A \rightarrow C} & \dots & PTDF_{\epsilon, A \rightarrow C} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ PTDF_{\alpha, X \rightarrow Y} & PTDF_{\beta, X \rightarrow Y} & \dots & PTDF_{\epsilon, X \rightarrow Y} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Slika 2. Opšti oblik PTDF matrice

4.2. Proračun fizičkih kapaciteta na granici (BC) i određivanje njihovih vrednosti koje su raspoložive za aukciju

Predložena procedura za proračun BC vrednosti koristi dobro poznati proračun NTC-a [4] i ideju koja potiče iz načina proračuna raspoloživih prenosnih kapaciteta u Sjedinjenim Američkim Državama. Pretpostavimo situaciju bez planiranih razmena električne energije između EES-a u kojoj je svaki EES samoizbalansiran. I u ovom slučaju zbog povezanosti visokonaponske prenosne mreže postoje tokovi snaga po interkonektivnim dalekovodima koji se nazivaju prirodnim tokovima snaga (natural flows). Maksimalna vrednost dodatnih razmena, u odnosu na zadati bazni režim bez razmena, koja se može ostvariti između dve susedne oblasti uz poštovanje svih postavljenih tehničkih kriterijuma sigurnosti (koji uvažavaju i „n-1” kriterijum za ispade svih elemenata EES-a uključujući i interkonektivne dalekovode), predstavlja jednu vrstu neto prenosnog kapaciteta (NTC) između te dve oblasti. Jedina razlika u odnosu na klasični NTC je ta što se on računa na modelima EES-a koji predstavljaju najbolje procenjeno stanje za razmatrani period u budućnosti a ne na samoizbalansiranim EES. Maksimalni dozvoljeni tok aktivne snage po posmatranom interkonektivnom dalekovodu, koji odgovara ovom programu razmene, je upravo fizički kapacitet na njihovoj granici - BC. Pošto se na osnovu definicije PTDF faktora može izračunati uticaj planiranih razmena na tokove aktivnih snaga po dalekovodima, ukoliko se uzme da su ukupne planirane razmene jednake vrednosti izračunatog NTC-a i primeni PTDF faktor koji se odnosi na razmatrane oblasti (između kojih je računat NTC) i na njihovu međusobnu granicu, sledi da se fizički kapaciteti na granici mogu jednostavno izračunati korišćenjem sledeće formule:

$$\begin{aligned}
 & [\text{Prirodni tokovi snaga za nulte razmene}] && (a) \\
 + & [\text{PTDF}] \square [\text{NTC}] && (b) \\
 = & [\text{BC tj. fizički kapacitet na granici}] && (c)
 \end{aligned}$$

što znači da se za proračun BC vrednosti može u potpunosti koristiti postojeća, uhodana i dobro poznata procedura proračuna NTC-a, pri čemu se u ovom slučaju ne analiziraju planirane razmene između dva EES-a, već fizički tokovi snaga na svakoj od njihovih granica.

Na tokove snaga interkonektivnih dalekovoda, pored realizacije planiranih razmena, utiče i niz drugih faktora koji predstavljaju neminovnost zajedničkog rada u interkonekciji. Da bi se na kraju mogli uporediti stvarni, proračunati tokovi snaga sa vrednošću fizičkih kapaciteta BC na svakoj granici i proveriti da li postoje zagušenja na nekoj od njih, neophodno je modelovati i uticaje prirodnih tokova snaga, kompenzacionih programa, transakcija koje su dobile kapacitet u nekoj od prethodnih faza dodele i obodnih sistema, a koji se ogledaju u zauzimanju postojećih prenosnih kapaciteta. Sagledavajući sve navedene uticaje na tokove snaga, dobija se sledeća formula za njihovo izračunavanje:

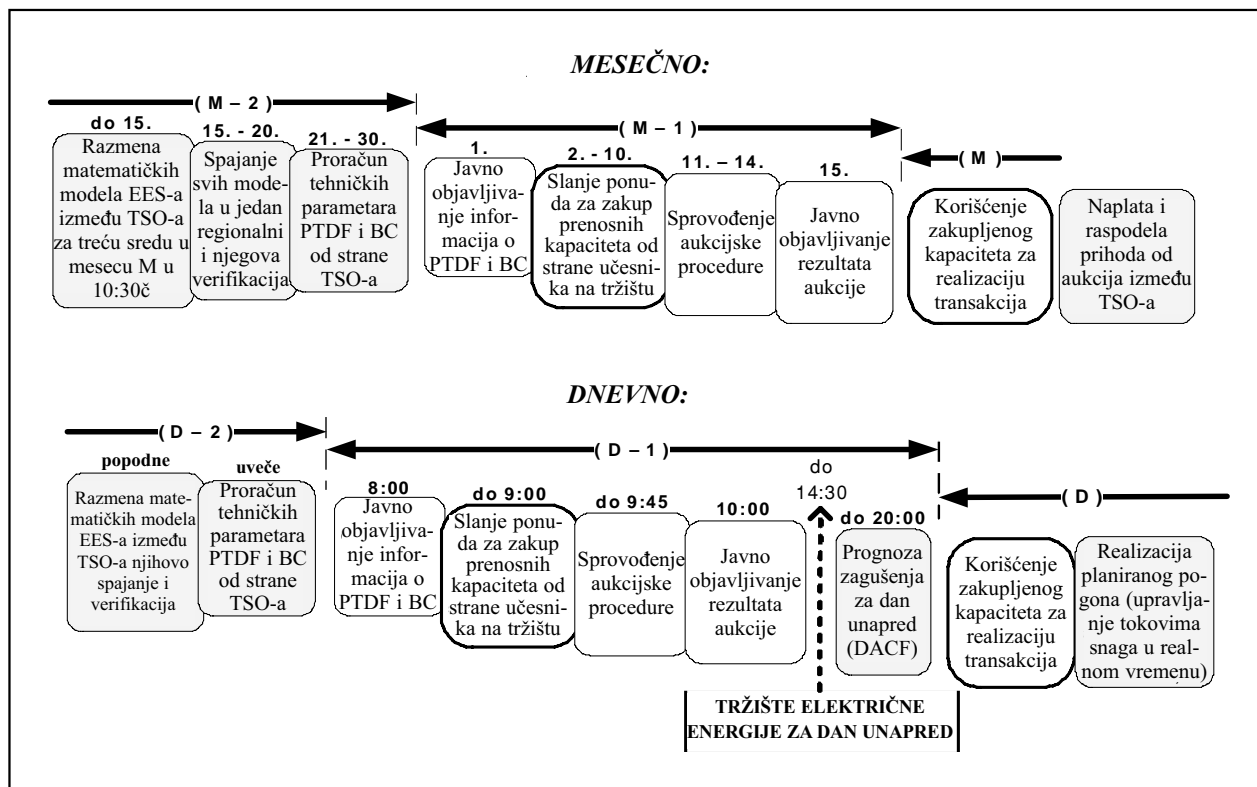
$$\begin{aligned}
 & [\text{PTDF}] \square [\text{Planirane razmene}] && (d) \\
 + & [\text{Prirodni tokovi snaga za nulte razmene}] && (e) \\
 + & [\text{Tokovi usled kompenzacionih programa}] && (f) \\
 + & [\text{Tokovi usled već prihvaćenih transakcija}] && (g) \\
 + & [\text{Tokovi usled uticaja obodnih oblasti}] && (h) \\
 = & [\text{Tokovi po interkon. dalekovodima}] && (i)
 \end{aligned}$$

Ograničenje koje nameće sigurnost rada EES-a je da tokovi aktivnih snaga po interkonektivnim dalekovodima (i) moraju da budu \leq od fizičkih kapaciteta na granici (c). Fizički kapaciteti na granici koji su raspoloživi za aukciju se mogu izračunati iz prethodne dve jednačine kao: $BC_{\text{aukcija}} = (c) - (e) - (f) - (g) - (h)$, na osnovu čega se može definisati i konačno ograničenje koje će biti korišćeno u aukciji:

$$[\text{PTDF}] \square [\text{Planirane razmene}] \leq [BC_{\text{aukcija}}] \quad (7)$$

4.3. Aukcijska kuća

Uloga aukcijske kuće (auctioning office) je da prikuplja potrebne informacije od TSO-ova (PTDF i BC) i od učesnika na tržištu (ponude za zakup prenosnih kapaciteta), zatim da sprovodi dogovorenu optimizacionu proceduru i, na kraju, da javno izveštava sve zainteresovane učesnike o ishodu aukcije. Da bi se obezbedila zahtevana nepristrasnost i oču-



Slika 3. Mesečna i dnevna dinamika sprovođenja koordinisanih aukcija

vala tajnost komercijalno poverljivih podataka u sprovođenju metode koordinisane aukcije, poželjno je da aukcijska kuća bude u vlasništvu svih TSO-ova koji učestvuju u ovoj metodi kako bi mogli na najdirektniji način da utiču na njen korektan rad.

4.4. Vremenska dinamika sprovođenja koordinisanih aukcija

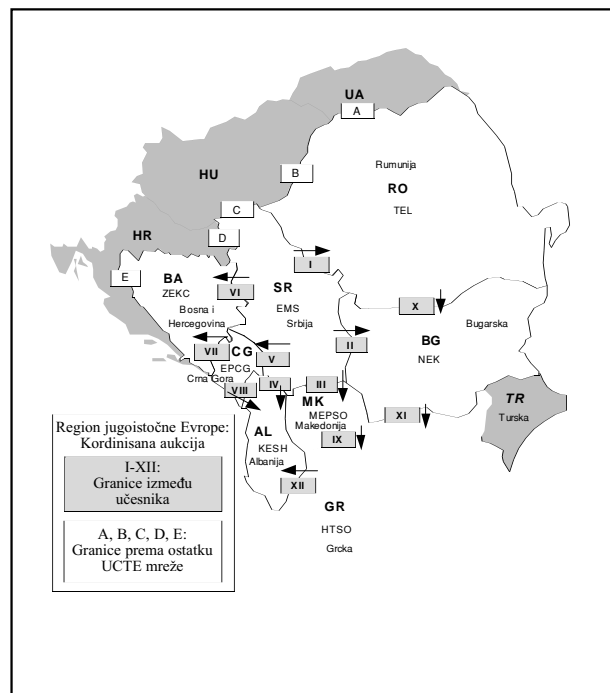
Predložena vremenska dinamika sprovođenja metode koordinisane aukcije na mesečnom i dnevnom vremenskom horizontu je prikazana na slici 3.

4.5. Obodni efekti

Primena ove metode samo u jednom delu interkonekcije iziskuje da je ostatak interkonekcije predstavljen adekvatnim ekvivalentom u regionalnom modelu na kome se izračunavaju PTDF i BC. Kada se govori o interakciji sa obodnim oblastima, koje su susedne sa razmatranim regionom, po pitanju dodelje prenosnih kapaciteta na zajedničkim granicama jedno moguće rešenje je da se na tim granicama sprovede bilateralno dogovorene metode za dodelu prenosnih kapaciteta, ali onda one obavezno moraju da se sprovedu pre koordinisane aukcije kako bi se uvažio njihov uticaj na tokove aktivnih snaga u regionu. Drugo, kvalitetnije rešenje je da se kapaciteti na dotičnim granicama dodeljuju u okviru same metode koordinisane aukcije, ali to onda zahteva da TSO-i koji su nadležni za te obodne oblasti odobre da njihove kapacitete na tim granicama dodeljuje aukcijska kuća u okviru regiona.

5. PRIMER PRAKTIČNE PRIMENE

Države koje su razmatrane kao učesnici u metodi koordinisane aukcije u regionu jugoistočne Evrope [14], odnosno njihovi respektivni TSO-i, kao i pojednostavljeno modelovanje njihovih prenosnih mreža za potrebe sprovođenja ove metode pomoću čvorova (TSO-i) i grana (interkonektivni dalekovođi tj. granice) je prikazano na slici 4.



Slika 4. Pojednostavljeno modelovanje EES-a u regionu jugoistočne Evrope za potrebe sprovođenja metode koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta

Za proračun ulaznih podataka (tehničkih parametara) za metodu koordinisane aukcije, odnosno PTDF faktora i fizičkih kapaciteta na granici - BC, korišćen je reprezentativni matematički model EES-a jugoistočne Evrope za jedan tipičan dan zime 2004/2005. u kome su modelovane kompletne prenosne mreže naponskih nivoa 400 kV i 220 kV kao i sve elektrane koje su priključene na ove naponske nivoe. Mreže naponskih nivoa 150 kV, 120 kV i 110 kV su modelovane samo u onim sistemima u kojima imaju značajnu ulogu u prenosu električne energije.

Sa ciljem razjašnjavanja osnovnih karakteristika metode koordinisane aukcije, analiziraće se jedan zahtevani skup transakcija, odnosno ponuda od strane učesnika na tržištu. Za rešavanje optimizacionog problema je korišćen samostalno razvijeni računarski program [5]. U tabeli 1 su prikazani tokovi sna-

Tabela 1.

Tokovi snaga uzrokovanih realizacijom transakcija pre i posle aukcije

GRANICA:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TSO A	EMS	EMS	EMS	EMS	EMS	EMS	EPCG	EPCG	MEPSO	TEL	NEK	HTSO
TSO B	TEL	NEK	MEPSO	KESH	EPCG	ZEKC	ZEKC	KESH	HTSO	NEK	HTSO	KESH
BCaukcija (A->B)	468	323	235	60	44	90	283	103	463	610	283	116
Tok (A->B) : pre	-394	-292	143	-17	-103	-34	-9	-1	-121	-286	297	-52
Tok (A->B) : posle	-389	-289	135	-18	-102	-35	-6	-4	-129	-288	283	-48
BCaukcija (B->A)	-736	-444	-478	-125	-314	-174	-458	-148	-474	-870	-350	-128

Tabela 2.

Rezultati koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta

Zagušena granica NEK → HTSO sa „cenom u senci” od 6,086 96 €/MW							
Transakcija	Zahtevana snaga (MW)	Odobrena snaga (MW)	Ponuđena cena (€/MW)	PTDF faktor na zagušenoj granici (%)	cena/PTDF	Konačna naplaćena cena (€/MW)	Ukupno plaćanje (+) i primanje (-) (€)
1. CG_SR1	300	300	0,5	-8,9	-5,6	-0,54	-162
2. SR_CG1	100	100	2,0	8,9	22,5	0,54	54
3. SR_CG2	87	87	1,9	8,9	21,3	0,54	47
4. SR_MK1	90	90	2,0	30,9	6,5	1,88	169
5. SR_MK2	50	50	2,4	30,9	7,8	1,88	94
6. SR_MK3	41	41	2,5	30,9	8,1	1,88	77
7. BA_SR1	53	53	1,0	-4,3	-23,3	-0,26	-14
8. BA_CG1	20	20	2,0	4,6	43,5	0,28	6
9. MK_GR1	10	10	3,0	13,0	23,1	0,79	8
10. GR_AL1	30	30	1,0	-22,2	-4,5	-1,35	-41
11. GR_MK1	93	93	0,5	-13,0	-3,8	-0,79	-73
12. AL_SR1	100	100	0,5	-21,7	-2,3	-1,32	-132
13. BG_GR1	250	235	3,5	57,5	6,1	3,50	823
14. BG_GR2	50	50	4,0	57,5	7,0	3,50	175
15. BG_SR1	325	325	3,0	13,6	22,1	0,83	270
16. BG_SR2	250	250	2,9	13,6	21,3	0,83	208
17. RO_SR1	233	233	2,0	8,4	23,8	0,51	119
18. RO_GR1	30	30	3,5	52,3	6,7	3,18	95
19. RO_GR2	10	0	2,5	52,3	4,8	3,18	0
SUMA :							1 723
Ukupno plaćanje:							2 145
Ukupno nagrađivanje:							422

ga po granicama, pre i posle aukcije, kao i kapaciteti raspoloživi za aukciju, a kompletni rezultati aukcijske procedure su dati u tabeli 2. Treba napomenuti da tokovi snaga na granicama u tabeli 1 ne predstavljaju ukupne fizičke tokove aktivnih snaga po interkonektivnim dalekovodima na tim granicama, već samo onaj deo tih tokova koji je uzrokovan ostvarivanjem razmatranih međudržavnih transakcija električne energije.

Ukoliko bi u razmatranom slučaju bile prihvaćene sve zahtevane transakcije, tok po granici i u

smeru NEK → HTSO bi prevazišao dozvoljenu vrednost od 283 MW za 13,555 MW. Optimizaciona procedura daje odgovor na pitanje koje od transakcija ne mogu biti prihvaćene u cilju očuvanja sigurnog rada interkonektivnih EES. Transakcije sa rednim brojevima 1, 7, 10, 11 i 12 imaju negativan PTDF faktor na zagušenoj granici pa se ne razmatraju jer njihovim smanjenjem ili ukidanjem ne bi moglo da se postigne eliminisanje zagušenja. Najmanji odnos cena/PTDF faktor ima transakcija sa rednim brojem 19.) RO_GR2, pa će ona prva biti umanjena.

Međutim, čak i kompletnim odbijanjem ove transakcije, tok po zagušenoj granici (tačnije po interkonektivnim dalekovodima na njoj) će se smanjiti za 10 MW \square 52,3 % = 5,23 MW što je nedovoljno (ukupno prekoračenje je 13,555 MW), pa je sledeća transakcija kandidat za redukovanje snage ona sa rednim brojem 13.) BG_GR1. Da bi se tok po zagušenoj granici sveo na dozvoljena 283 MW, ovu transakciju je potrebno umanjiti za (13,555 MW - 5,23 MW) / 57,5 % = 14,478 MW, odnosno zaokruženih 15 MW, pošto se kapaciteti zakupljaju sa rezolucijom od najmanje 1 MW. U tabeli 2 je interesantno primetiti da je npr. transakcija 18.) RO_GR1 prošla aukciju iako ima istu ponuđenu cenu kao i transakcija 13.) BG_GR1 upravo zbog manjeg PTFDF faktora na zagušenoj granici. Usled postojanja samo jednog zagušenja, marginalnu cenu postavlja poslednja delimično ili u celini prihvaćena ponuda (kao i kod klasičnih bilateralnih aukcija) a to je u ovom slučaju ponuda za transakciju 13.) BG_GR1 i njena cena od 3,5 €/MW koja postavlja marginalnu cenu zagušene granice (tzv. „cenu u senci“) na vrednost od 6,086 96 €/MW = 3,5 €/MW / 57,5 %, na osnovu koje će se izvršiti naplaćivanje (kao i nagrađivanje) korišćenja prenosnih kapaciteta, a na osnovu jednačine (4).

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu razmatranja prikazanih u ovom radu može se zaključiti da se primenom metode koordinisane aukcije prenosnih kapaciteta postojeći i raspoloživi prenosni kapaciteti interkonektivnih dalekovoda, koji predstavljaju oskudni resurs u uslovima deregulacije elektroenergetskog sektora i intenzivnih međudržavnih razmena električne energije, optimalno koriste, uz zadovoljenje postavljenih kriterijuma sigurnosti i uz poštovanje osnovnih ekonomskih (tržišnih) načela. Primena metoda koje na adekvatan način odgovaraju izazovima slobodnog tržišta će doprineti integraciji regiona jugoistočne Evrope u jedno odista zajedničko tržište električne energije na tlu čitave Evrope.

7. LITERATURA

- [1] Mijailović S., Vujasinović Z., Apostolović M., „PREGLED AKTUELNIH METODA ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJIMA U PRENOSNOJ MREŽI U EVROPI“, Elektroprivreda, br. 1, 2004, str. 40-55
- [2] Mijailović S., Vujasinović Z., Apostolović M., „PRIMENA METODA ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJIMA U PRENOSNOJ MREŽI U JUGOISTOČNOJ EVROPI“, Elektroprivreda, br. 2, 2004, str. 9-25
- [3] Vujasinović Z., Apostolović M., Mijailović S., „DEVELOPMENT OF CONGESTION MANAGEMENT PROCEDURES IN SOUTH-EAST EUROPE“, Proceedings of the 5th Balkan Power Conference, Sofia-Bulgaria, 14-18 September 2005
- [4] PROCEDURES FOR CROSS-BORDER TRANSMISSION CAPACITY ASSESSMENTS, ETSO, October 2001
- [5] Apostolović M., Škokljević I., „KOORDINISANE AUKCIJE PRENOSNOG KAPACITETA - PRIMENA DISTRIBUTIVNIH FAKTORA TRANSFERA SNAGE“, 12. simpozijum JUKO CIGRE Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu, Bečići, 2004. godine, referat I.7
- [6] COORDINATED AUCTIONING; A MARKET-BASED METHOD FOR TRANSMISSION CAPACITY ALLOCATION IN MESHED NETWORKS, ETSO, April 2001
- [7] Purchala K., Meeus L., Belmaus R., „IMPLEMENTATION ASPECTS OF COORDINATED AUCTIONING FOR CONGESTION MANAGEMENT“, IEEE Bologna Power Tech Conference, 2003
- [8] Purchala K., Van Craenenbroeck T., Van Hecke J., „COORDINATED AUCTIONING ALGORITHM FOR CONGESTION MANAGEMENT“, Modern Electric Power Systems conference, Wroclaw, Poland, 11-13 September 2002
- [9] Audouin R., Chaniotis D., Tsamasphyrou P., Coullondre J.-M., „COORDINATED AUCTIONING OF CROSS-BORDER CAPACITY: AN IMPLEMENTATION“, Proc. IEE 5th International Conference on Power System Management and Control, London, 2002, pp. 25-30
- [10] Perez-Arriaga I.J., Olmos L., „A PLAUSIBLE CONGESTION MANAGEMENT SCHEME FOR THE INTERNAL ELECTRICITY MARKET OF THE EUROPEAN UNION“, IIT Madrid, July 2003
- [11] Wood A.J., Wollenberg B.F., „POWER SYSTEM SECURITY“, „POWER GENERATION, OPERATION AND CONTROL“, Power Technologies, Inc. Schenectady, New York and Rennselaer Polytechnic Institute Troy, New York, 1984.
- [12] Bazaraa M., Jarvis J.J., Sherali H.D., „LINEAR PROGRAMMING AND NETWORK FLOWS“
- [13] „PILOT-PROJECT ON COORDINATED AUCTION OF TRANSMISSION CAPACITY IN SOUTH-EAST EUROPE, 1st phase results (for 5th Athens Forum)“, ETSO October 2004
- [14] „COORDINATED AUCTIONS IN SEE REGION - Activity Report (for 6th Athens Forum)“, ETSO May 2005

Rad je primljen u uredništvo 03. 02. 2006. godine



Mladen Apostolović je rođen 06. 10. 1975. godine u Beogradu. Diplomirao je 2000. godine i magistrirao 2005. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Trenutno je zaposlen u Elektroprivredi Srbije u Beogradu, u Direkciji za trgovinu električnom energijom. Oblasti stručnog interesovanja su metode za upravljanje zagušenjima u visokonaponskoj prenosnoj mreži i organizovana tržišta električne energije. Kao autor ili koautor beleži 16 referenci objavljenih radova i 3 međunarodne studije.



Ivan Škokljev rođen je 1953. godine u Beogradu. Diplomirao je (1977. godine), magistrirao (1984. godine) i doktorirao (1990. godine) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Radni staž ostvaruje u Energodati – Beograd (1977-1980. godine) i na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na smeru Elektroenergetski sistemi, u svim zvanjima (od 2003. kao redovni profesor). Stručno interesovanje obuhvata šire oblasti teorije električnih kola, planiranja i eksploatacije elektroenergetskih sistema, a uže sigurnost, pouzdanost i proračun tokova snaga. Više puta boravio u inostranstvu. Autor je više od stotinu referenci.

*Petar Vukelja, Jovan Mrvić,
Dejan Hrvić, Milutin Savičević, Zoran Božović i Ilija Zec*

Prenaponi pri sklopnim operacijama vakuumskih i malouljnih prekidača u razvodu 6 kV bloka 5 „TENT-A”

Stručni rad

UDK: 621.3.015.3; 621.3.066; 621.314.21; 621.313.333

Rezime:

U radu su prezentirani rezultati eksperimentalnih istraživanja prelaznih naponskih i strujnih režima pri uključenju i isključenju visokonaponskih motora i transformatora 6 kV/0,4 kV vakuumskim i malouljnim prekidačima u 6 kV razvodu bloka 5 „TENT-A”. Konstatovano je da postoje značajne razlike u prenaponskim procesima pri radu vakuumskih i malouljnih prekidača i da pri pojedinim operacijama prekidača prenaponi mogu značajno da naprežu izolaciju namotaja statora motora i izolaciju 6 kV namotaja transformatora.

Ključne reči: *prenapon, prekidač, visokonaponski motor, transformator*

Abstract:

**RESEARCH OF SWITCHING OVERVOLTAGES OF DIFFERENT TYPES CIRCUIT BREAKERS
AT A5 UNIT OF „NIKOLA TESLA” THERMAL POWER PLANT**

The paper presents the results of research of transient voltages and currents occurred during switching of high voltage induction motors and transformers 6 kV/0.4 kV of unit 5 at thermal power plant „Nikola Tesla A”. Two types of circuit breakers are analyzed, vacuum and minimum oil type circuit breaker. There is a significant difference between them regarding the use of vacuum or minimum-oil type circuit breakers.

Key words: *over-voltage, circuit breaker, high voltage motor, transformer*

1.UVOD

U okviru revitalizacije bloka 5 „TENT-A” izvršena je i revitalizacija razvodu 6 kV. Između ostalog, u razvodu 6 kV izvršena je zamena postojećih malouljnih vakuumskim prekidačima. Prethodno je u razvodu 6 kV bloka 3 „TENT-A”, takođe u toku njegove revitalizacije, izvršena zamena malouljnih prekidača vakuumskim, ali drugog proizvođača nego u bloku 5. Prekidači i jednog i drugog proizvođača su

tako montirani u izvlačivim kolicima da se mogu koristiti u ćelijama oba bloka.

Promenom prekidača u razvodu 6 kV bloka 5 menjaju se prelazni naponski i strujni procesi koji nastaju pri njihovom uključenju i isključenju. Da bi se ustanovila slika tih procesa pri radu vakuumskih prekidača, bilo je potrebno izvršiti eksperimentalna istraživanja u razvodu bloka 5. Razvodi bloka 3 i bloka 5 su slični te se može očekivati da su i prelazni naponski i strujni procesi slični u njima pri

Dr Petar Vukelja dipl. ing.el., Jovan Mrvić dipl. ing. el., Dejan Hrvić dipl. ing. el.

– Elektrotehnički institut „Nikola Tesla” 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a

Milutin Savičević dipl. ing., Zoran Božović dipl. ing., Ilija Zec dipl. ing. – JP „EPS” PD Termoelektrane „Nikola Tesla” „TENT-A”, 11 500 Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog 44

sklopnim operacijama vakuumskih prekidača istog tipa. Zato je prihvaćeno da se u 6 kV razvodu bloka 5 izvrše istraživanja sa vakuumskim prekidačima oba proizvođača i uporede prelazni procesi. Određena saznanja o ovim prelaznim procesima pri radu malouljnih prekidača poznata su na osnovu izvršenih istraživanja u toku poslednjih dvadeset godina u više 6 kV razvodu „TENT-A”. Međutim smatralo se da bi bilo korisno istražiti ove procese i pri radu malouljnih prekidača u istim uslovima pogona da bi se mogli uporediti sa procesima pri radu vakuumskih prekidača. Tako su, u istim konfiguracijama izvršena istraživanja prelaznih naponskih i strujnih procesa pri uključenju i isključenju visokonaponskih motora sa kratkospojenim rotorom i transformatora 6 kV/0,4 kV sa tri tipa prekidača, jedan malouljni i dva vakuumska.

2. ISTRAŽIVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

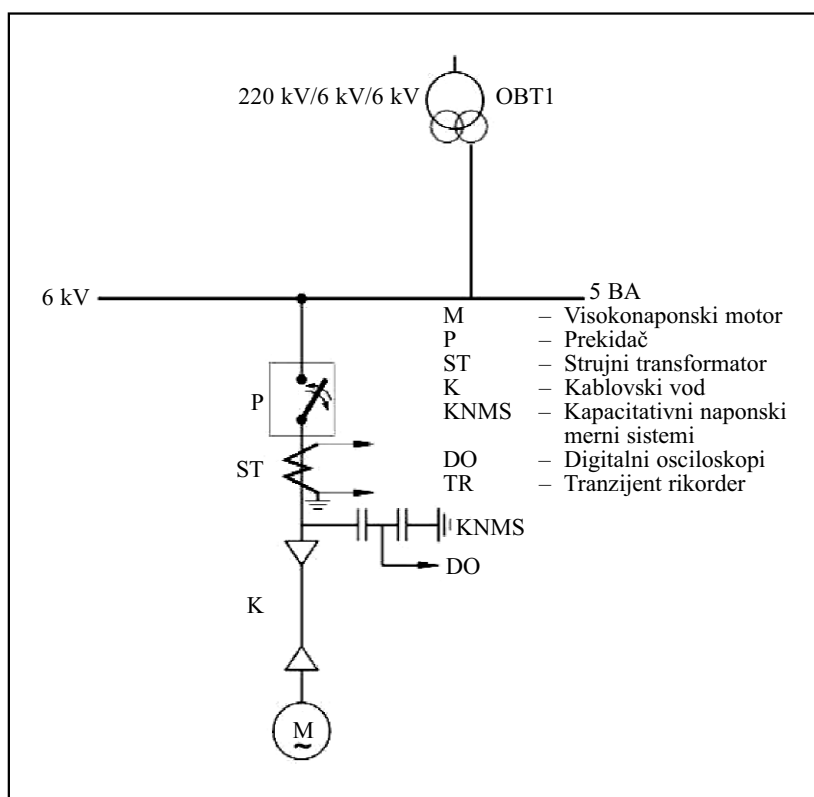
Istraživanja prelaznih faznih napona i prelaznih struja izvršena su pri uključenju i isključenju četiri motora sa kratkospojenim rotorom naznačenog napona 6 kV snaga: 200 kW, 500 kW, 630 kW i 6,5 MW i dva suva transformatora 6 kV/0,4 kV snaga 1 000 kVA i 1 250 kVA. Određen broj isključenja visokonaponskih motora izvođen je u toku njihovog zaleta.

Izvršeno je od četiri do osam ciklusa uključenje-isključenje svakog motora i transformatora sa svakim od tri tipa prekidača: malouljnim-tip M, vakuumskim-tip V1 i vakuumskim-tip V2.

Prelazni fazni naponi su snimani digitalnim osciloskopima koristeći kapacitivne naponske merne sisteme koji verno prenose pojave sa visokog na niski napon od 2 MHz do nekoliko Hz. Snimanje prelaznih faznih napona je vršeno na početku kablovskog voda motora, odnosno transformatora, neposredno iza prekidača. Kablovski vodovi su dužine približno od 20 m (motor 6,5 MW) do 200 m (motor 500 kW). Prelazne struje su snimane tranzijent rikorderom koristeći strujne transformatore na ulazu u kablovske vodove. Jednopolna šema istraživanja prelaznih faznih napona i prelaznih struja pri uključenju i isključenju visokonaponskih motora data je na slici 1.

Sa snimaka prelaznih faznih napona pri uključenju, isključenju u normalnom radu i isključenju u zaletu svakog visokonaponskog motora sa svakim od tri tipa prekidača očitane su maksimalne vrednosti prenapona. Formirani su uzorci prenapona sve tri faze pri uključenju, pri isključenju u normalnom radu i pri isključenju u zaletu svakog motora, za svaki prekidač. Srednje i maksimalne vrednosti prenapona u uzorcima su date u tabeli 1. Na isti način su formirani uzorci prenapona pri uključenju i isključenju transformatora 6 kV/0,4 kV za svaki prekidač i njihove srednje i maksimalne vrednosti su date u tabeli 2. Prenaponi su dati u relativnim jedinicama (r.j.) kao odnos maksimalne vrednosti prelaznog faznog napona i amplitude napona ustaljenog režima. Sa snimaka prelaznih struja pri uključenju očitane su njihove udarne vrednosti (maksimalna vrednost struje pri uključenju) za svaki visokonaponski motor i transformator i formirani su uzorci udarnih struja za sve tri faze. Srednje i maksimalne vrednosti udarnih struja u uzorcima su date u tabelama 1 i 2.

Karakteristični snimci prelaznih faznih napona i struja pri uključenju i isključenju visokonaponskih motora i suvih transformatora 6 kV/0,4 kV dati su na slikama od 2 do 13.



Slika 1. Jednopolna šema istraživanja prelaznih faznih napona i prelaznih struja pri uključenju i isključenju visokonaponskih motora

Tabela 1.

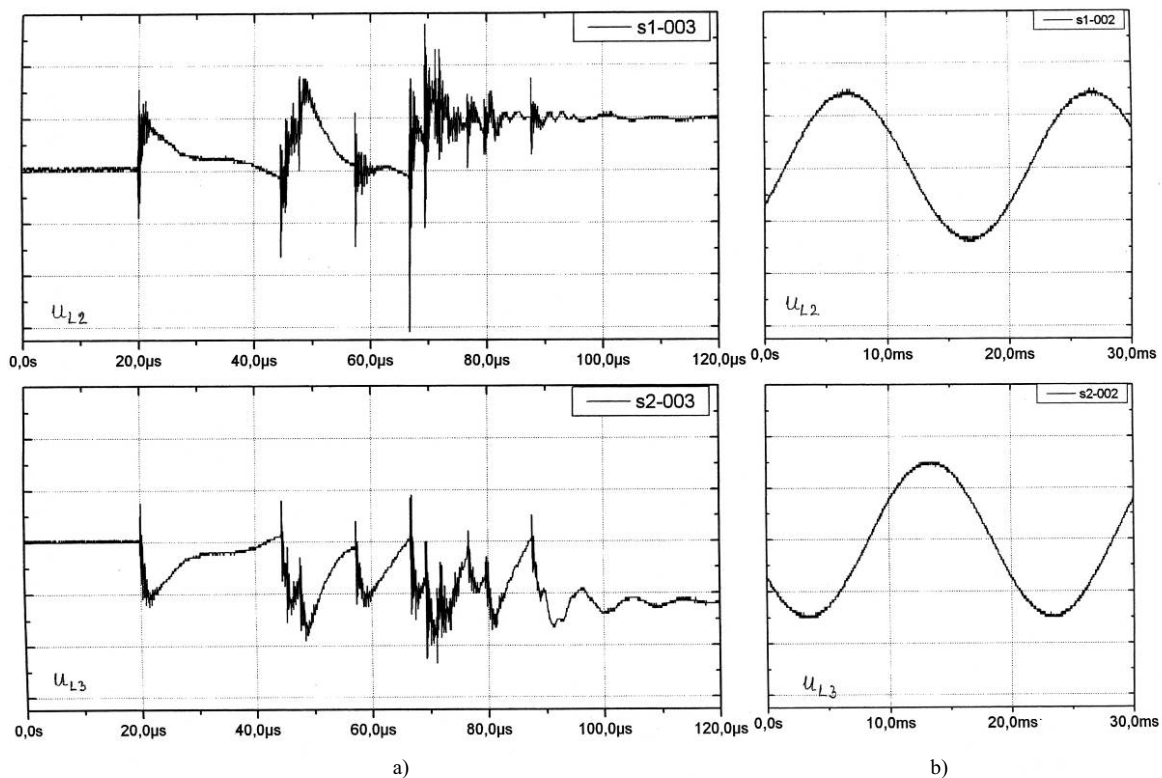
Srednje i maksimalne vrednosti prenapona u uzorcima pri uključenju i isključenju u normalnom radu i isključenju u zaletu 6 kV motora i srednje i maksimalne vrednosti udarnih struja u uzorcima pri uključenju 6 kV motora

Redni broj	Motor 6 kV	Tip prekidača (V1-vakuumski; V2-vakuumski; M-malouljni)	Operacija prekidača (U-uključenje; I-isključenje u normalnom radu; I ₂ -isključenje u zaletu)	Srednja (U_{sr}) i maksimalna (U_{max}) vrednost prenapona u uzorku		Srednja (I_{sr}) i maksimalna (I_{max}) vrednost udarne struje pri uključenju	
				U_{sr} (r.j.)	U_{max} (r.j.)	I_{sr} (A)	I_{max} (A)
1.	200 kW	V1	U	1,35	2,14	308	379
			I	1,62	2,95		
			I ₂	1,20	1,50		
		V2	U	1,21	1,74	300	409
			I	1,48	2,40		
			I ₂	1,36	1,74		
M	U	1,12	1,60	313	394		
	I	1,18	1,75				
2.	500 kW	V1	U	1,11	1,35	598	725
			I	1,10	1,45		
			I ₂	1,22	3,30		
		V2	U	1,31	2,13	601	707
			I	1,38	2,00		
			I ₂	1,19	1,36		
M	U	1,27	1,63	594	786		
	I	1,37	2,25				
3.	630 kW	V1	U	1,12	1,52	820	1 014
			I	1,44	3,90		
			I ₂	1,13	1,46		
		V2	U	1,27	1,95	810	1 063
			I	1,20	2,02		
			I ₂	1,39	2,00		
M	U	1,20	1,59	810	1 100		
	I	1,54	1,91				
4.	6,5 MW	V1	U	1,69	2,60	8 080	9 949
			I	1,02	1,10		
			I ₂	1,00	1,00		
		M	U	1,25	1,55	7 715	12 792
			I	1,02	1,10		

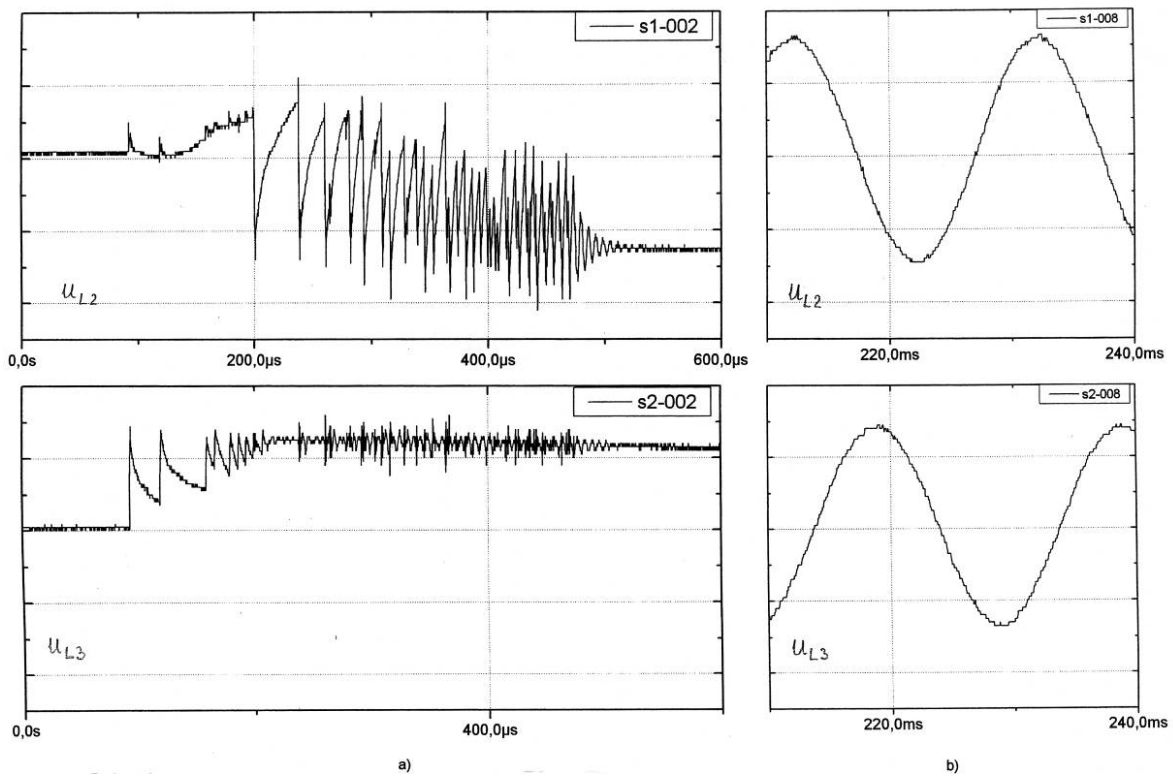
Tabela 2

Srednje i maksimalne vrednosti prenapona u uzorcima pri uključenju i isključenju transformatora 6 kV/0,4 kV i srednje maksimalne vrednosti udarnih struja u uzorcima pri uključenju transformatora 6 kV/0,4 kV

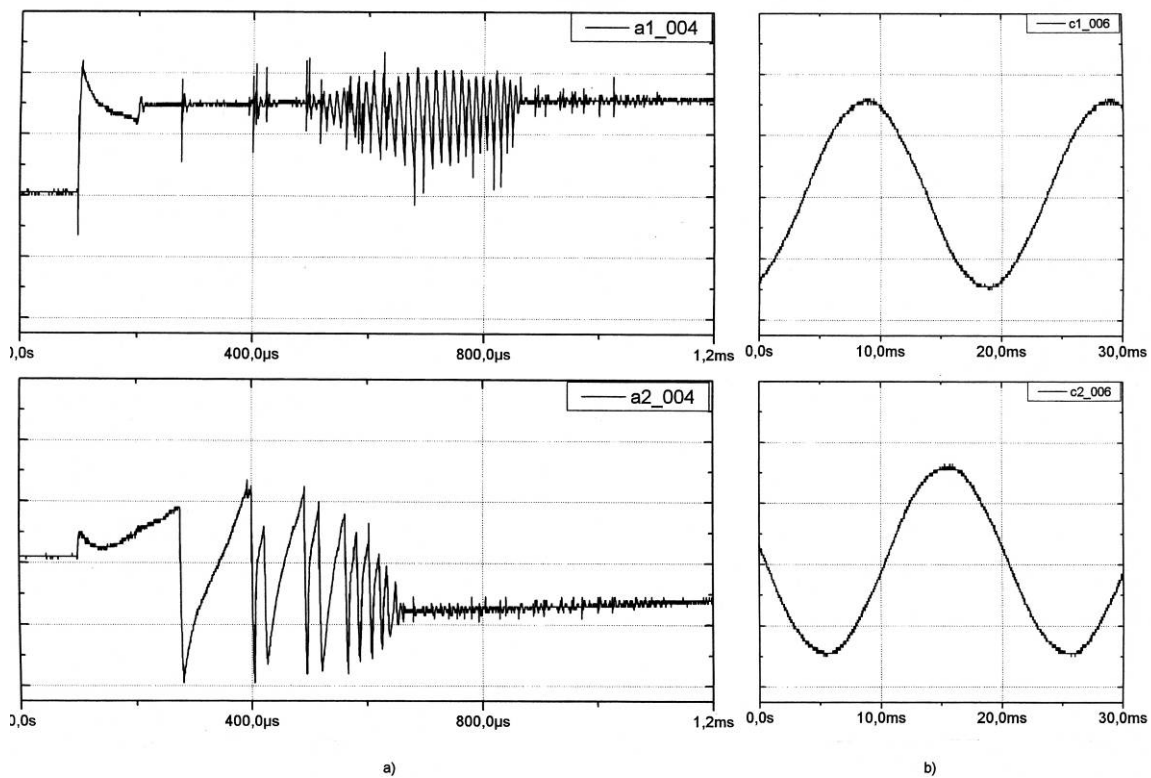
Redni broj	Transformator	Tip prekidača (V1-vakuumski; V2-vakuumski; M-malouljni)	Operacija prekidača (U-uključenje; I-isključenje)	Srednja (U_{sr}) i maksimalna (U_{max}) vrednost prenapona u uzorku		Srednja (I_{sr}) i maksimalna (I_{max}) vrednost udarne struje pri uključenju	
				U_{sr} (r.j.)	U_{max} (r.j.)	I_{sr} (A)	I_{max} (A)
1.	1 000 kVA	V1	U	1,27	1,70	554	812
			I	1,47	2,10		
		V2	U	1,29	1,90	335	774
			I	1,48	2,74		
		M	U	1,18	1,75	437	827
			I	1,34	2,42		
2.	1 250 kVA	V1	U	1,15	1,80	405	953
			I	1,40	2,00		
		V2	U	1,18	1,52	410	1 030
			I	1,37	2,25		
		M	U	1,21	1,42	535	1 025
			I	1,31	1,81		



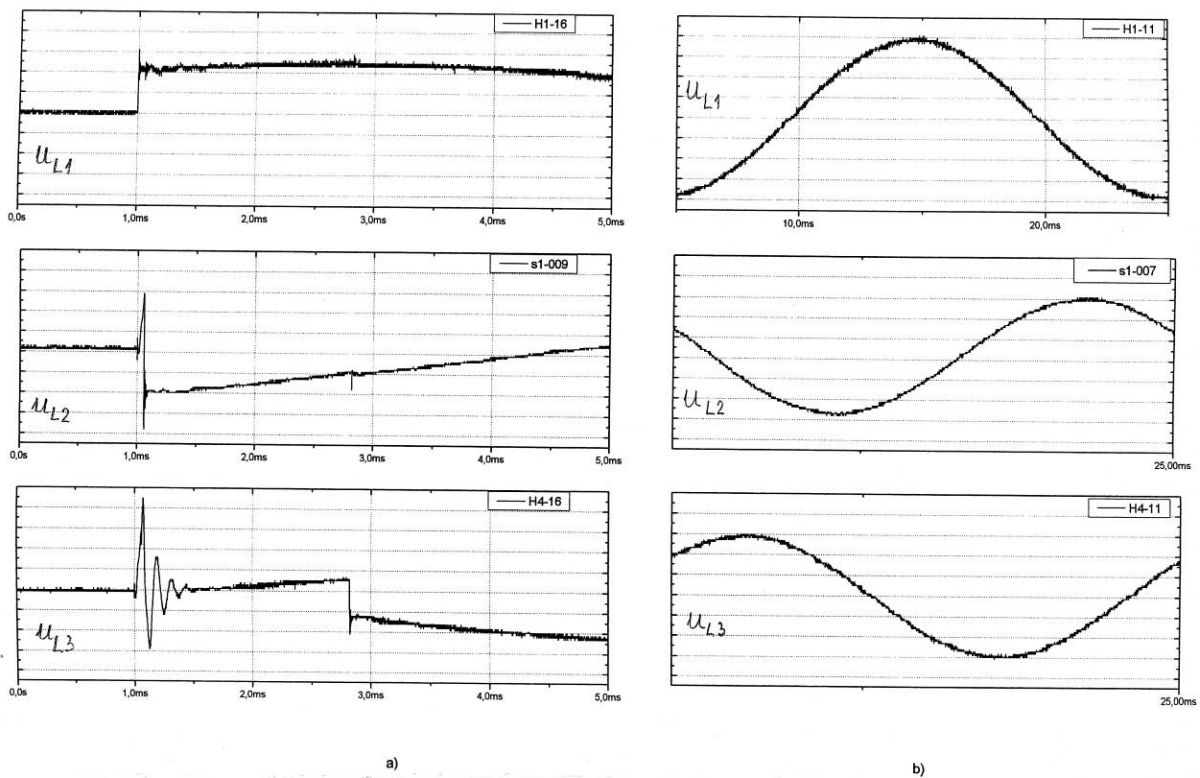
Slika 2. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 6,5 MW pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem tipa V1 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



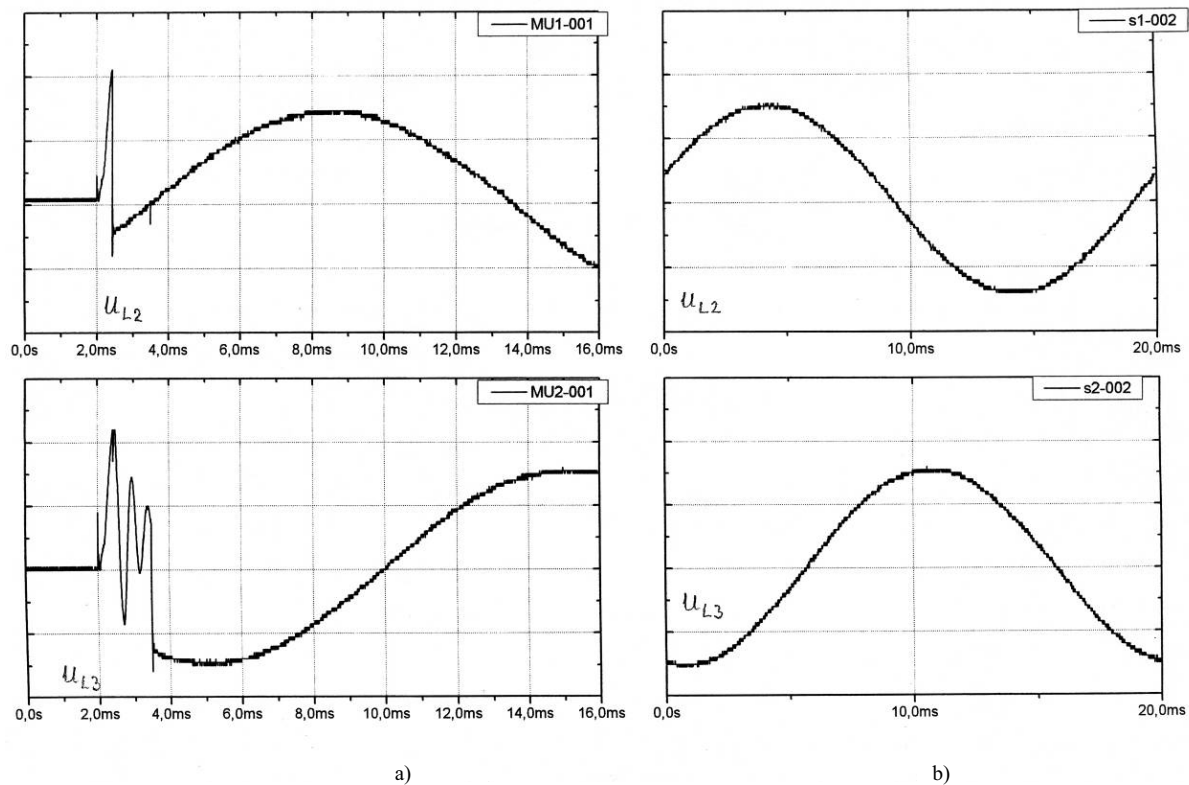
Slika 3. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 630 kW pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem tipa V1 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



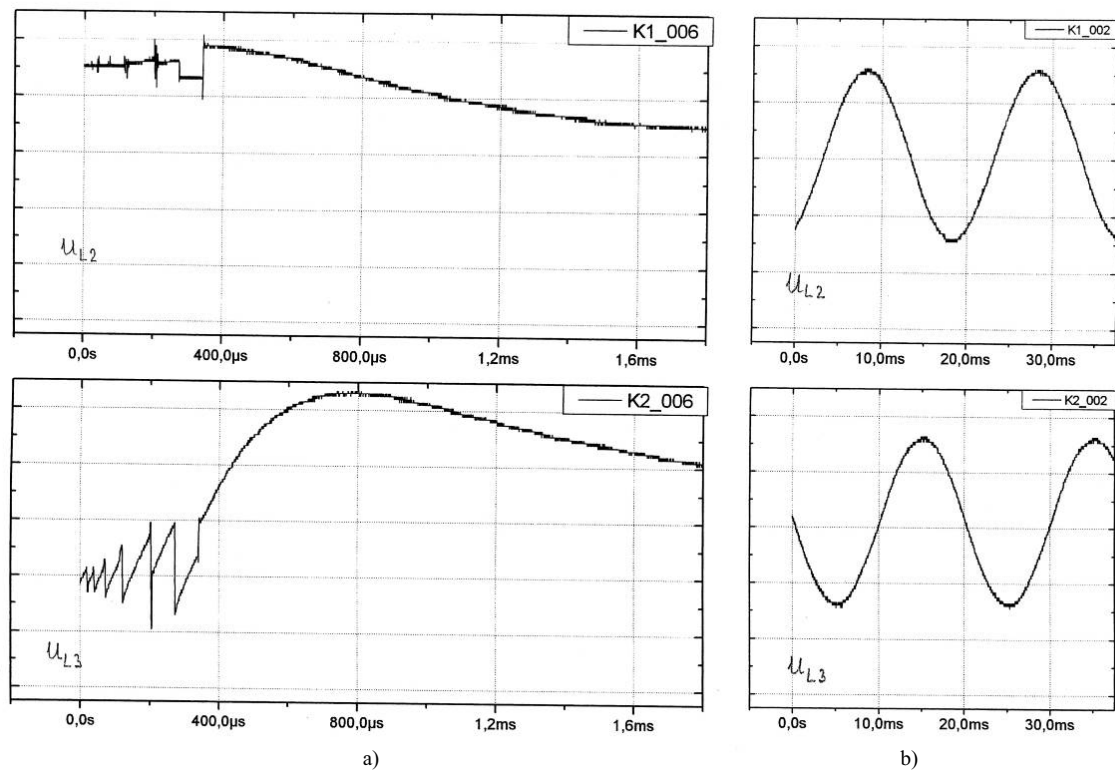
Slika 4. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 200 kW pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem tipa V2 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



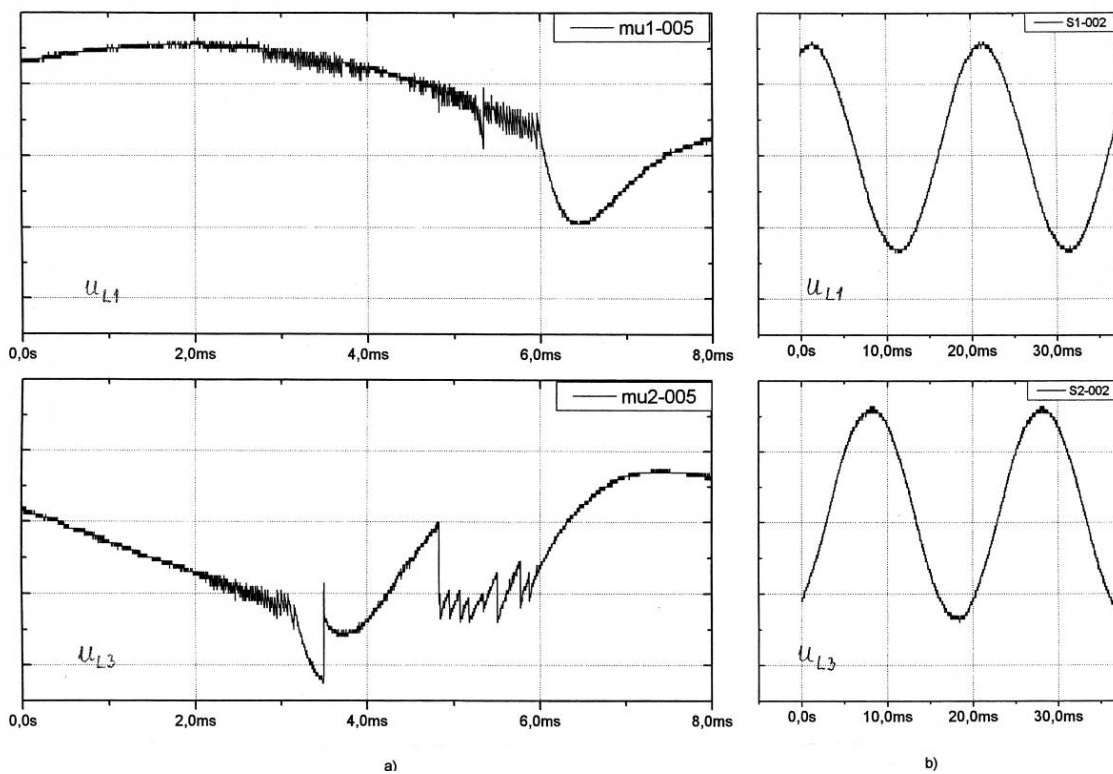
Slika 5. Prelazni fazni naponi u_{L1} , u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 6,5 MW pri njegovom uključenju malouljnim prekidačem (a) i naponi u_{L1} , u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



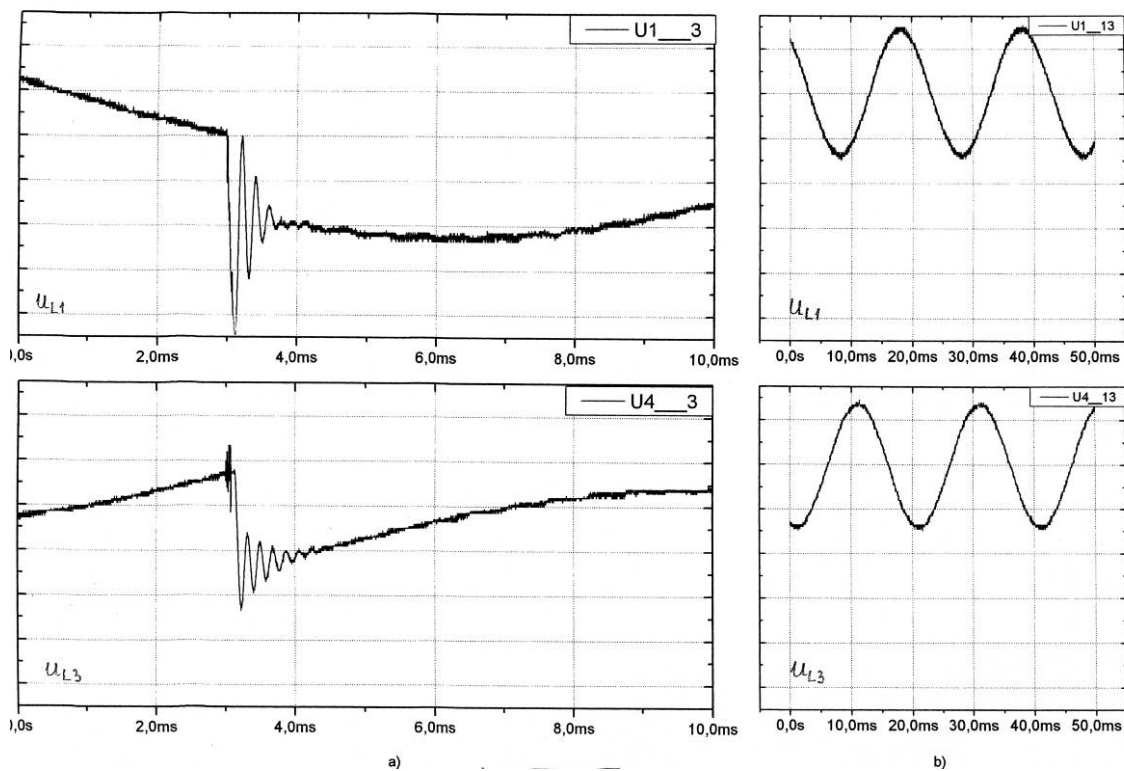
Slika 6. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 500 kW pri njegovom uključenju malouljnim prekidačem (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



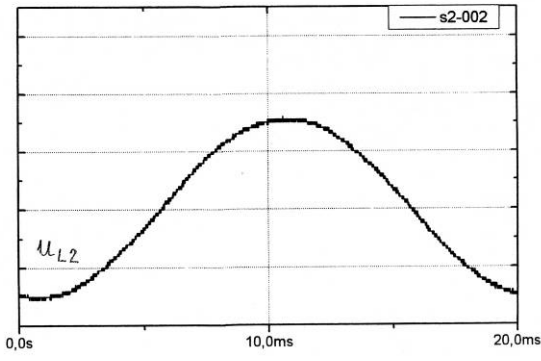
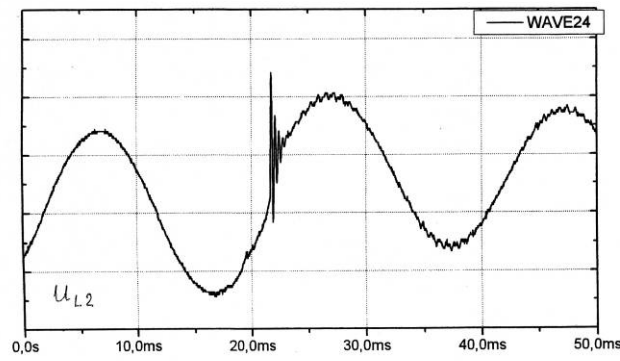
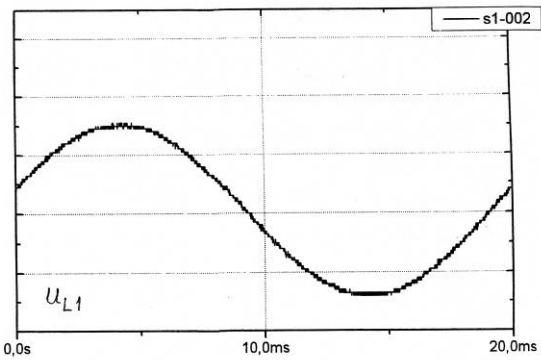
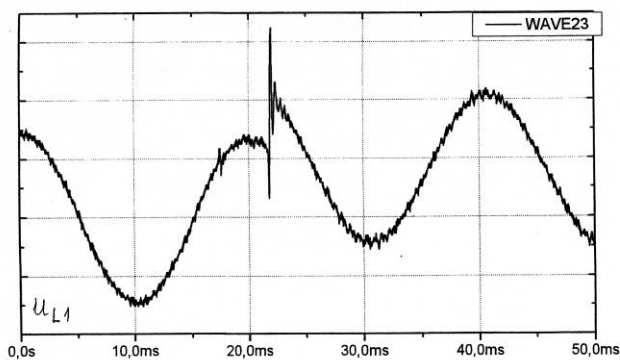
Slika 7. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod transformatora 6 kV/0,4 kV pri njegovom isključenju vakuumskim prekidačem tipa V1 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



Slika 8. Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod transformatora 6 kV/0,4 kV, 1 000 kVA pri njegovom isključenju malouljnim prekidačem (a) i naponi u_{L1} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



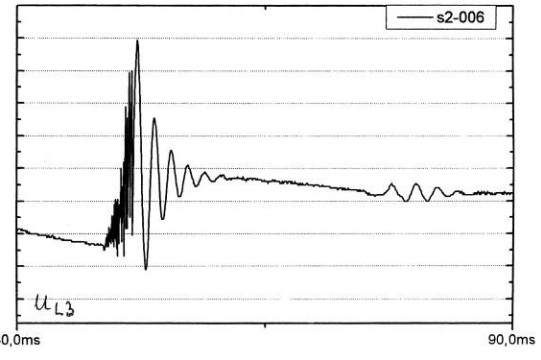
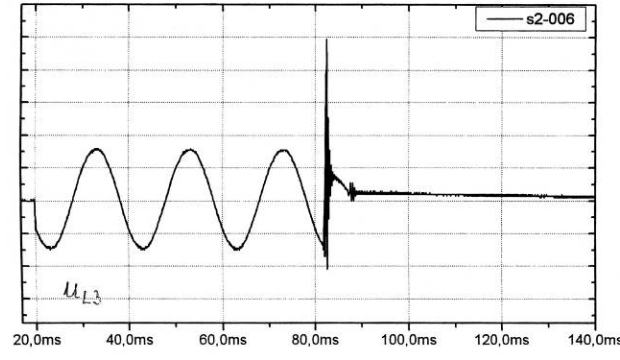
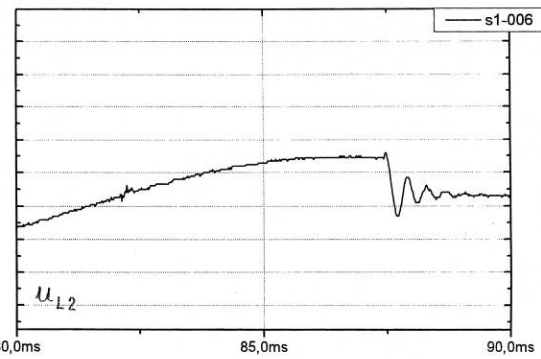
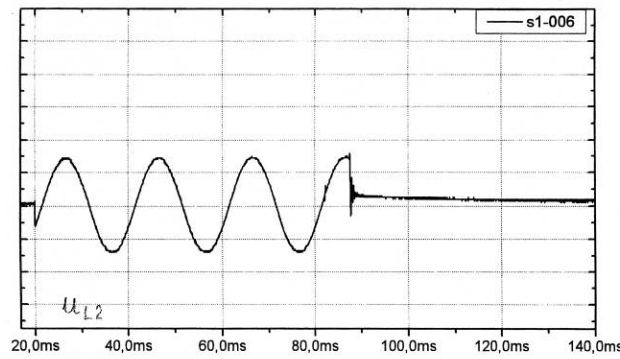
Slika 9. Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 630 kW pri njegovom isključenju vakuumskim prekidačem tipa V1 (a) i naponi u_{L1} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



a)

b)

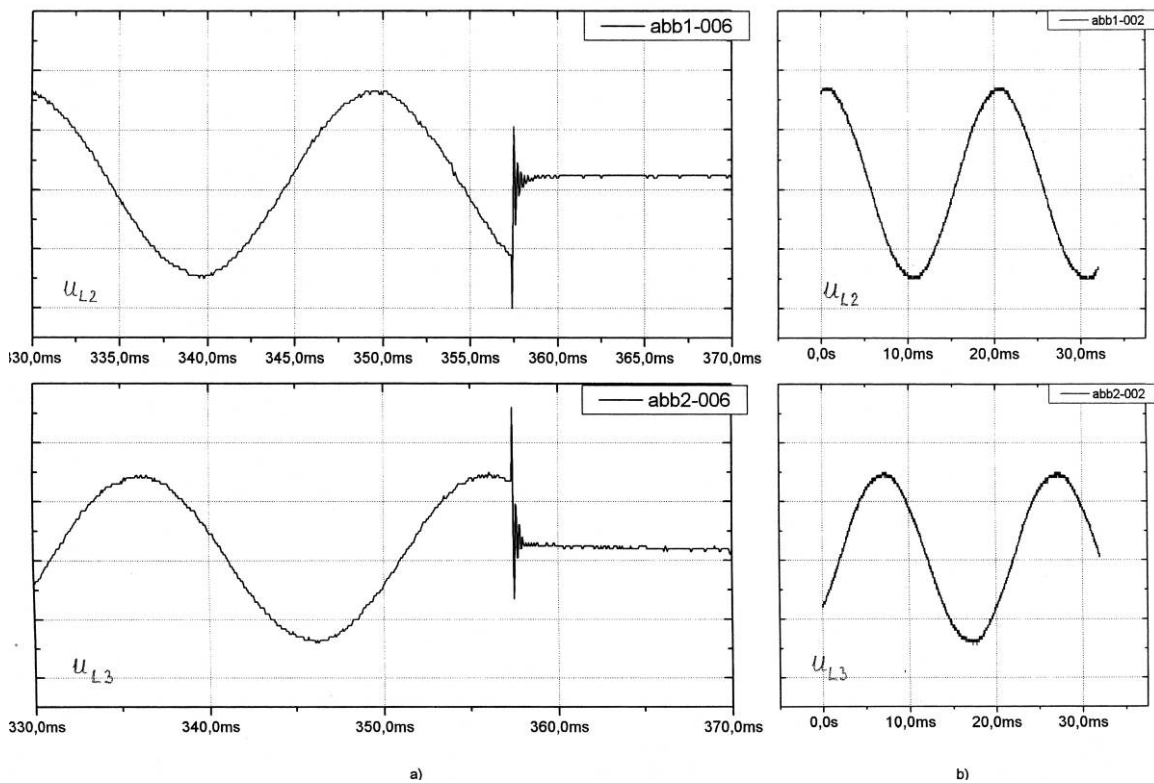
Slika 10. Prelazni fazni naponi u_{L1} i u_{L2} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 500 kW pri njegovom isključenju malouljnim prekidačem (a) i naponi u_{L1} i u_{L2} u ustaljenom režimu rada (b)



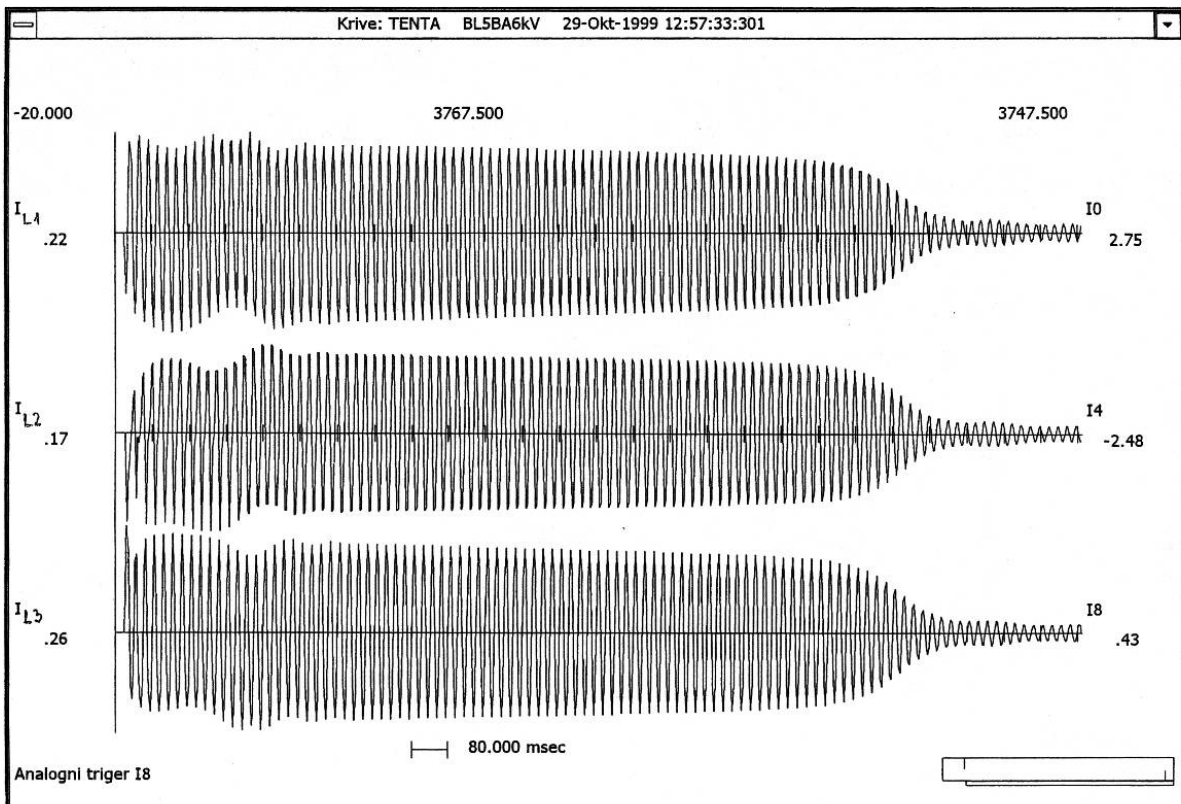
a)

b)

Slika 11. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 500 kW pri njegovom uključenju i isključenju u toku zaleta vakuumskim prekidačem tipa V1 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u toku isključenja u zaletu motora (b)



Slika 12. Prelazni fazni naponi u_{L2} i u_{L3} na ulazu u kablovski vod motora 6 kV, 630 kW pri njegovom isključenju u toku zaleta vakuumskim prekidačem tipa V2 (a) i naponi u_{L2} i u_{L3} u ustaljenom režimu rada (b)



Slika 13. Prelazne struje i_{L1} , i_{L2} i i_{L3} motora 6 kV, 200 kW pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem tipa V1

Uključenja visokonaponskih motora i transformatora 6 kV/0,4 kV vakuumskim i malouljnim prekidačima dovode do pojave prenapona na njihovoj izolaciji (slike od 2 do 6). Viši prenaponi se javljaju kada se uključenja vrše vakuumskim prekidačima u odnosu na prenapone pri uključenju malouljnih prekidača. Razlog su pojave višestrukih prethodnih paljenja električnog luka između kontakata vakuumskih prekidača. Ove pojave su posledica prekidanja visokofrekventne struje pri prolasku kroz nulu. U procesu uključenja vakuumskog prekidača između njegovih kontakata, u toku približavanja pokretnih kontakata nepokretnim, uspostavlja se električni luk koji se gasi i ponovo pali. To se dešava pri nekim uključenjima i nekoliko desetina puta. Svako paljenje električnog luka izaziva nagli skok napona na ulasku u kablovski vod motora. Strmine tog skoka napona su veoma velike. U pojedinim slučajevima, kod prvih prethodnih paljenja električnog luka prelazile su i 50 kV/μs. Naponski proces u pojedinim fazama izgleda kao kolona sečenih talasa (slike 2, 3 i 4). Najviši prenaponi u takvoj koloni sečenih impulsa su najčešće između 1 r.j. i 1,5 r.j., ali pojedini prelaze i 2,5 r.j. Procesi višestrukih prethodnih paljenja električnog luka su znatno izraženiji pri uključenju 6 kV motora nego transformatora 6 kV/0,4 kV. Što je kraći kablovski vod motora, na izolaciji namotaja njegovog statora se pojavljuju viši prenaponi i sa većim strminama. Kod malouljnih prekidača nema pojava prethodnih paljenja električnog luka u procesu uključenja, jer malouljni prekidač ne može da prekida visokofrekventnu struju kao vakuumski (slike 5 i 6). Prenaponi su viši kada je u razvodu 6 kV priključeno manje potrošača (motora, transformatora 6 kV/0,4 kV). Ustanovljeno je da se tada kod uključenja vakuumskih prekidača povećava broj paljenja i gašenja električnog luka.

Isključenja vakuumskih i malouljnih prekidača takođe u većini slučajeva dovode do prenapona (slike od 7 do 12). Isključenja transformatora 6 kV/0,4 kV sa vakuumskim i malouljnim prekidačima dovode do pojave ponovnih paljenja električnog luka između njihovih kontakata (slike 7 i 8). To je posebno izraženo kod isključenja malouljnih prekidača (slika 8). Pojavljuje se i više desetina ponovnih paljenja električnog luka. Najviši izmereni prenapon pri isključenju transformatora 6 kV/0,4 kV malouljnim prekidačima je 2,42 r.j., a pri isključenju vakuumskim prekidačima je 2,74 r.j.. Pri isključenju 6 kV motora u normalnom radu vakuumskim i malouljnim prekidačima takođe dolazi do pojave visokih prenapona na izolaciji namotaja statora prema masi (slike 9 i 10). Viši su pri isključenju vakuumskih prekidača. Najviši izmereni pri isključenju visokonaponskih motora vakuumskim prekidačima je 3,9 r.j., a pri isključenju malouljnim prekidačima je 2,25 r.j.. Prenaponi su viši pri isklju-

čenju motora manjih snaga. Isključenja motora u zaletu vakuumskim prekidačima dovode do pojave sečenja struje pre njenog prolaska kroz prirodnu nulu, a u određenim slučajevima, i do ponovnih paljenja električnog luka između njihovih kontakata (slike 11 i 12). Prenaponi mogu da budu visoki. Viši su, takođe, ako je motor manje snage; najviši izmereni je 3,3 r.j. Istraživanja prenapona pri isključenju motora u zaletu nisu vršena malouljnim prekidačima. Poznato je da ovakva isključenja malouljnim prekidačima mogu da dovedu do veoma visokih prenapona. To su pokazala i istraživanja u razvodima 6 kV TENT-A izvršena pre devetnaest godina sa istim malouljnim prekidačima pri isključenju motora u zaletu. Najviši izmereni je 4,45 r.j.[2].

Nema bitne razlike u obliku, učestanosti i visini prenapona koji se javljaju pri uključenju i isključenju 6 kV motora i transformatora 6 kV/0,4 kV vakuumskim prekidačima tipa V1 i V2. Nedostatak jednih i drugih je pojava višestrukih prethodnih paljenja električnog luka između njihovih kontakata u procesu uključenja. Serija od nekoliko do nekoliko desetina kratkih sečenih naponskih talasa, često u sve tri faze, u veoma kratkom vremenu značajno napreže međunavojnu izolaciju namotaja statora motora. Trajanje prenaponskog procesa, koji izaziva jedan pol prekidača, je najčešće od 100 μs do 400 μs. Ovi prenaponi naprežu i izolaciju prema masi, kako namotaja statora motora tako i ostale opreme u razvodu 6 kV, posebno ako je malo prisutnih potrošača na sabirnicama 6 kV. Prenaponski procesi pri isključenju, kada je na sabirnicama prisutno više potrošača, su slični po učestanostima i obliku, ali sa nižim vrednostima prenapona nego kada su sabirnice 6 kV bez opterećenja.

Prelazne struje visokonaponskih motora pri njihovom uključenju vakuumskim i malouljnim prekidačima su slične i po amplitudama i po obliku (slika 13). To isto važi i za prelazne struje pri uključenju transformatora 6 kV/0,4 kV. Najveće vrednosti udarnih struja transformatora nisu prelazile šestostruku vrednost amplitude njegove naznačene struje. Vrednosti udarnih struja pri uključenju motora su znatne za pojedine motore. Dostižu i više od 12 puta veću vrednost od amplitude struje u normalnom radu motora.

3. DIELEKTRIČNA ČVRSTOĆA IZOLACIJE TRANSFORMATORA 6 kV/0,4 kV I NAMOTAJA STATORA VISOKONAPONSKIH MOTORA

3.1 Dielektrična čvrstoća izolacije namotaja 6 kV transformatora 6 kV/0,4 kV

Suvi transformatori 6 kV/0,4 kV snage 1 000 kW i 1 250 kW bloka 5 „TENT-A”, kao i drugi visoko-

naponski transformatori, pretpostavlja se da su ispitani u skladu sa odgovarajućim JUS, odnosno IEC standardima. Naznačeni kratkotrajni podnosivi napon industrijske učestanosti njihovih 6 kV namotaja je 20 kV, a naznačeni podnosivi atmosferski udarni napon 60 kV. Podnosivi naponi međunavojne izolacije namotaja 6 kV nisu poznati za talase čija su vremena čela manja od vremena čela atmosferskog udarnog napona.

3.2 Dielektrična čvrstoća izolacije namotaja statora visokonaponskih motora

Prema standardu IEC 60034-15 naznačeni kratkotrajni podnosivi napon industrijske učestanosti namotaja statora visokonaponskog motora prema masi je:

$$U_i = 2U_n + 1 \quad (1)$$

a podnosivi atmosferski udarni napon:

$$U_p = 4U_n + 5 \quad (2)$$

gde je U_n – naznačeni napon motora izražen u kV. Podnosivi napon međunavojne izolacije za talase vremena čela većeg od 0,5 μ s je jednak:

$$U_{mp} = U_p / 2 \quad (3)$$

Pod pretpostavkom da su ispitivanja izolacije namotaja statora motora naznačenog napona 6 kV snaga: 200 kW, 500 kW, 630 kW i 6,5 MW u razvodu 6 kV bloka 5 „TENT-A” izvršena u skladu sa standardom IEC 60034-15, njihovi podnosivi naponi su bili u početku eksploatacije: $U_i = 13$ kV, $U_p = 29$ kV i $U_{mp} = 14,5$ kV.

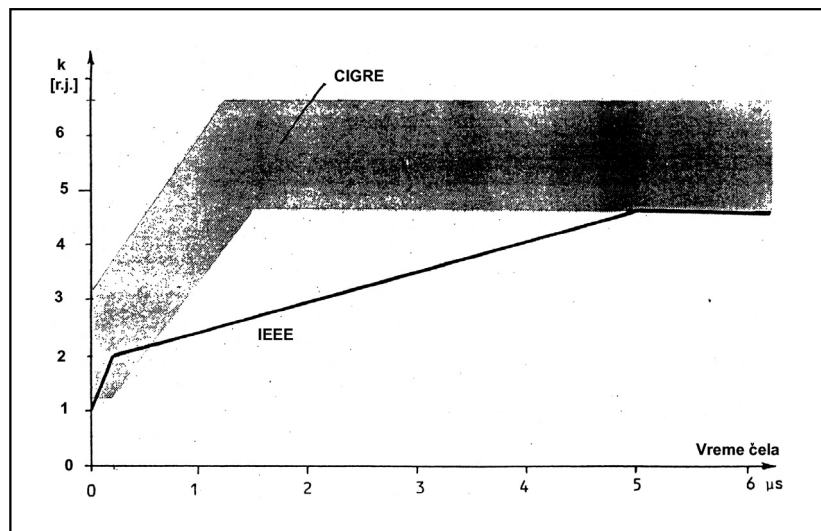
Dielektrična izdržljivost međunavojne izolacije namotaja statora motora za vrlo strme prenapone, čije vreme čela je manje od vremena čela atmosferskih udarnih napona, je nedovoljno poznata. Ne postoje opšte prihvaćeni kriterijumi o njenim podnosivim naponima. Početkom osamdesetih godina Radna grupa IEEE je predložila kriterijume za impulsnu dielektričnu čvrstoću izolacije prema masi i međunavojne izolacije namotaja statora visokonaponskih motora. Nešto slično je uradila i Radna grupa CIGRE 13.02.

Radna grupa IEEE je predložila da se za dielektričnu izdržljivost izolacije visokonaponskih motora

za impulsne napone prihvati kriterijum dat na slici 14 u vidu dijagrama koji predstavlja zavisnost minimalnih podnosivih napona izolacije namotaja statora od vremena čela istih. Ordinata k na slici 14. predstavlja odnos vrednosti minimalnog podnosivog impulsnog napona izolacije i temene vrednosti faznog napona, koja je jednaka $\sqrt{2} U_n / \sqrt{3}$, gde je U_n naznačeni napon motora. Kada je vreme čela prenapona 5 μ s i više, smatra se da je njegova raspodela uglavnom ravnomerna duž namotaja statora motora. Takvi prenaponi dominantno naprežu izolaciju namotaja statora prema masi. Procenjeno je da minimalni podnosivi napon izolacije namotaja statora prema masi u tom slučaju iznosi:

$$U = 1,25 \sqrt{2} (2U_n + 1) (kV_n) \text{ za } t_c \geq 5 \mu s \quad (4)$$

Prenaponi sa velikom strminom čela raspoređuju se na prve navoje namotaja statora motora, te je u tom slučaju dominantno naprezanje međunavojne izolacije. Procenjeno je da je podnosivi napon međunavojne izolacije za prenapone vremena čela 0,1 μ s jednak temenoj vrednosti faznog napona, za prenapone čela 0,2 μ s jednak dvostrukoj temenoj vrednosti faznog napona i da za prenapone vremena čela od 0,2 μ s do 5 μ s linearno raste od dvostruke temene vrednosti faznog napona do napona definisanog relacijom (3). Može se smatrati da je za motore naznačenog napona 6 kV podnosivi napon izolacije



Slika 14. Zavisnost minimalnih podnosivih napona izolacije namotaja statora visokonaponskih motora od vremena čela istih

namotaja statora prema masi za prenapone vremena čela od nanosekundnog do milisekundnog područja 23 kV ili više, odnosno faktor podnosivog prenapona je najmanje $k=4,69$ r.j. Kada se radi o prenaponima vremena čela ispod 5 μ s, a nižim od 23 kV, smatra

se da izolacija namotaja prema masi motora naznačenog napona 6 kV nije ugrožena, ali može biti ugrožena međunavojna izolacija.

Za prenapone vremena čela reda 0,1 μ s, odnosno strmine reda 50 kV/ μ s može se smatrati da podnosi napon međunavojne izolacije namotaja statora motora naznačenog napona 6 kV iznosi $6\sqrt{2/\sqrt{3}}$ kV. Porastom vremena čela prenapona, zadržavajući mu istu visinu, međunavojna izolacija se manje napreže, jer se prenapon ravnomernije raspoređuje na ulaznim navojcima namotaja statora motora; sada upadni prenapon može da bude viši, a da ne ugrozi međunavojnu izolaciju. Tako npr. međunavojna izolacija podnosi upadne prenapone visine do 10 kV vremena čela 0,2 μ s, upadne prenapone visine do 12,5 kV vremena čela 1 μ s i tako dalje prema dijagramu na slici 14 do upadnog prenapona visine 23 kV vremena čela 5 μ s i više. Tada postaje dominantno naprezanje fazne izolacije namotaja statora prema masi.

Radna grupa 13.02 CIGRE je dala oblast podnosivih udarnih napona izolacije namotaja statora visokonaponskih motora u funkciji vremena čela istih. Oblast je predstavljena na slici 14.

3.3. Usvojene vrednosti podnosivih napona izolacije namotaja 6 kV transformatora 6 kV/0,4 kV i izolacije namotaja statora 6 kV motora

3.3.1. Usvojene vrednosti podnosivih napona izolacije namotaja 6 kV transformatora 6 kV/0,4 kV

Suvi transformatori 6 kV/0,4 kV, snaga 1 000 kVA i 1 250 kVA su već dugo u radu u razvodu 6 kV bloka 5 „TENT-A”. Dielektrična čvrstoća njihove izolacije je manja od one koja je postojala u početku eksploatacije. Došlo je do njene degradacije, jer je bila izložena različitim naprezanjima. Pad njenih podnosivih napona prema masi ne bi trebalo da bude ispod 70 % vrednosti njenih ispitnih napona, odnosno za 6 kV namotaj minimum 14 kV za napon industrijske učestanosti i 50 kV za prenapone čija su čela bliska podnosivom ispitnom atmosferskom udarnom naponu. Takođe i međunavojna izolacija ne bi trebalo da bude ugrožena od prenapona koji ulaze u namotaje 6 kV ako im je amplituda ispod 50 kV, a vreme čela veće od vremena čela podnosivog ispitnog atmosferskog udarnog napona.

3.3.2. Usvojene vrednosti podnosivih napona izolacije namotaja statora 6 kV motora

U pogledu sagledavanja dielektrične izdržljivosti izolacije namotaja statora za impulsne napone,

naročito za dielektričnu izdržljivost međunavojne izolacije, postoje značajne razlike između kriterijuma koje su dali: IEC 60034-15, Radna grupa IEEE i Radna grupa 13.02 CIGRE. Da bi se mogla sagledati napregnutost, odnosno ugroženost izolacije namotaja statora visokonaponskih motora, koji se nalaze u razvodima sopstvene potrošnje termoelektrane, potrebno je usvojiti određene impulsne podnosive napone izolacije namotaja istih. Radna grupa IEEE oštrije ocenjuje dielektričnu izdržljivost izolacije namotaja statora motora nego Radna grupa 13.02. CIGRE i standard IEC 60034-15. Jedan od razloga za to je što je u kriterijum Radne grupe IEEE ugrađeno i starenje izolacije u pogonu. Donja granica oblasti impulsnog podnosivog napona izolacije namotaja statora prema masi po Radnoj grupi 13.02. CIGRE je praktično jednaka minimalnom podnosivom impulsnom naponu iste izolacije po Radnoj grupi IEEE, odnosno faktor podnosivog prenapona je $k=4,69$ r.j. Prema standardu IEC 60034-15 taj faktor je $k=5,92$ r.j. S obzirom da je Radna grupa IEEE u svoj kriterijum ugradila starenje izolacije, usvojeno je da je podnosivi impulsni napon izolacije namotaja statora prema masi motora, koji su već duži period u eksploataciji, jednak $k=4,69$ r.j. Razlike u proceni podnosivih impulsnih napona međunavojne izolacije prema kriterijumima Radne grupe IEEE i Radne grupe 13.02. CIGRE i prema standardu IEC 60034-15 su značajne; znatno su niži impulsni podnosivi naponi prema kriterijumu Radne grupe IEEE. Prema standardu IEC 60034-15 nisu definisani podnosivi udarni naponi međunavojne izolacije namotaja statora motora kada su im vremena čela ispod 0,5 μ s. Poznato je da se prenaponi sa takvim i nižim vremenima čela od 0,5 μ s javljaju pri operacijama određenih vrsta prekidača. Neki proizvođači iz Evrope tvrde da su impulsni podnosivi naponi međunavojne izolacije za njihove motore znatno iznad minimalnih prema kriterijumu Radne grupe IEEE. Za visokonaponske motore, koji se nalaze u razvodu sopstvene potrošnje bloka 5 „TENT A” nema podataka o impulsnim podnosivim naponima njihove međunavojne izolacije. Kao i za izolaciju namotaja statora prema masi, usvojen je podnosivi impulsni napon njihove međunavojne izolacije prema kriterijumu Radne grupe IEEE.

4. NAPREZANJA IZOLACIJE 6 kV NAMOTAJA TRANSFORMATORA 6 kV/0,4 kV I IZOLACIJE NAMOTAJA STATORA 6 kV MOTORA PRI DELOVANJU SKLOPNIH PRENAPONA

Eksperimentalna istraživanja prenapona pri uključenju i isključenju prekidača u 6 kV razvodu

„TENT-A” su pokazala da se na izolaciji namotaja statora visokonaponskih motora i na izolaciji 6 kV namotaja transformatora 6 kV/0,4 kV mogu pojaviti prenaponi različitih amplituda, strmina, oblika i učestanosti.

Pri uključenju vakuumskih prekidača javljaju se ne visoki, ali veoma strmi prenaponi na izolaciji namotaja statora 6 kV motora, pa delimično i na izolaciji 6 kV namotaja transformatora 6 kV/0,4 kV. Njihove amplitude retko prelaze 2,5 r.j. na izolaciji motora, a ispod su 2 r.j. na izolaciji 6 kV namotaja transformatora, ali strmine mogu da budu i iznad 50 kV/ μ s. Prema usvojenim kriterijumima za podnosive napone izolacije ovi prenaponi značajno naprežu, pa mogu i da ugroze međunavojnu izolaciju 6 kV namotaja transformatora i namotaja statora visokonaponskih motora. Izolacija prema masi nije od njih ugrožena. Pri isključenju istih prekidača javljaju se u pojedinim slučajevima visoki prenaponi, ali ne iznad usvojenih podnosivih napona.

Prenaponi koji se javljaju pri uključenju malouljnih prekidača su znatno ispod usvojenih podnosivih napona izolacije prema masi i međunavojne izolacije namotaja statora. Pri isključenju u normalnom radu visokonaponskih motora i transformatora malouljnim prekidačima javljaju se nešto viši prenaponi, ali takođe ispod usvojenih podnosivih napona. Međutim, isključenja u zaletu visokonaponskih motora malouljnim prekidačima mogu da dovedu do prenapona koji značajno naprežu, pa mogu i da ugroze izolaciju prema masi namotaja statora motora.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata istraživanja prelaznih naponskih i strujnih režima pri uključenju i isključenju prekidača u razvodu 6 kV bloka 5 „TENT-A” može se zaključiti sledeće:

– *Vakuumski prekidači uključenjem menjaju prenaponsko stanje na izolaciji 6 kV namotaja transformatora 6 kV/0,4 kV i na izolaciji namotaja visokonaponskih motora u odnosu na ono koje je postojalo pri uključenju malouljnih prekidača. Stvaraju prenapone vrlo strmog čela (strmine slične i veće od atmosferskih prenapona). Značajno naprežu međunavojnu izolaciju namotaja statora motora, pa i međunavojnu izolaciju 6 kV namotaja transformatora 6 kV/0,4 kV. Proizvođače vakuumskih prekidača, koji su ugrađeni u razvode 6 kV bloka 5 i bloka 3, treba upoznati sa ovim pojavama i zatražiti mišljenje o potrebi preduzimanja mera ili sredstava za njihovo ublažavanje. Jed-*

no od efikasnih sredstava za smanjenje strmina i amplituda ovih prenapona je ugradnja R-C kola prema masi na priključke prekidača na ulazu u kablovske vodove.

- *Prelazni naponski procesi pri isključenju vakuumskih prekidača se razlikuju od istih procesa pri isključenju malouljnih prekidača. Kod malouljnih prekidača javlja se veći broj ponovnih nastajanja električnog luka. Dielektrička naprežanja izolacije prema masi veća su pri isključenju motora vakuumskim prekidačima u toku njihovog normalnog rada nego pri isključenju malouljnim prekidačima istih motora u istim uslovima. Obrnuto je pri isključenju motora u zaletu. Malouljni prekidači mogu da dovedu do veoma visokih prenapona opasnih za izolaciju namotaja statora prema masi. Zato je potrebno, ako se budu koristili malouljni prekidači, onemogućiti njihovo uključenje kada nisu ispunjeni svi tehnološki uslovi za rad pogona koji oni pokreću. Neispunjenje ovih uslova dovodi do reagovanja relejne zaštite i isključenja motora u toku zaleta.*
- *Nema bitne razlike u visini udarnih struja i vremenu trajanja prelaznih strujnih procesa kada se transformatori 6 kV/0,4 kV uključuju malouljnim i vakuumskim prekidačima. To isto važi kada se uključuju 6 kV motori malouljnim i vakuumskim prekidačima.*

6. LITERATURA

- [1] ISTRAŽIVANJA PRENAPONA I STRUJA PRI UKLJUČENJU I ISKLJUČENJU PREKIDAČA U RAZVODU 6 kV BLOKA 5 „TENT A”, Elaborat br.310414, Institut „N. Tesla”, Beograd 2004.
- [2] ISTRAŽIVANJE PRELAZNIH FAZNIH NAPONA U SISTEMU 6 kV TE „NIKOLA TESLA A” PRI UKLJUČENJU I ISKLJUČENJU MOTORA 6 kV”, Izveštaj br.328608, Institut „N. Tesla”, Beograd 1986.
- [3] IEEE Working Group Progress Report IMPULSE VOLTAGE STRENGTH OF AC ROTATING MACHINES, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.8, August 1981, pp 4041-4053.
- [4] Working Group 13.02 of Study Committee 13 INTERRUPTION OF SMALL INDUCTIVE CURRENTS, Chapter 3, Part B, Electra, July 1984, No.95, pp 31-47.

Rad je primljen u uredništvo 25. 05. 2006. godine



Petar Vukelja je rođen 02. 01. 1947. godine u Prnjavoru (Republika Srpska). Osnovnu školu i gimnaziju je završio u Srpcu i Derventi. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1965. godine i diplomirao 1969. godine. Na istom fakultetu je magistrirao 1977. godine i doktorirao 1998. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od sto radova u domaćim i međunarodnim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.



Jovan Mrvić je rođen 11. 04. 1965. godine u Beogradu gde je i završio osnovnu školu i gimnaziju. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1984. godine a diplomirao je 1993. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od pedeset radova u domaćim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.



Dejan Hrvić je rođen 04. 06. 1961. godine u Beogradu gde je i završio osnovnu školu i gimnaziju. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1981. godine a diplomirao je 1986. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od trideset radova u domaćim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.



Milutin Savićević je rođen 1954. godine u Prištini. Diplomirao je 1980. godine na energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Po diplomiranju je radio na projektovanju u Agroiženjeringu Beograd, a od 1982. godine radi u TE „Nikola Tesla” Obrenovac. Do 2000. godine radio je u neposrednom procesu Proizvodnje, a od tada je u menadžmentu JP TENT zadužen za proizvodne procese u svim termoelektranama ovog preduzeća, kao i za uvođenje novih tehnologija. Autor i koautor je više stručnih radova publikovanih u stručnim časopisima i zbornicima sa savetovanja (JUCO-CIGRE, ENERGIJA i dr.) iz oblasti: uvođenja SCADA sistema, unapređenja održavanja, modernizacije blokova TENT-a. Aktivno popularizuje privredu i naučne institucije Srbije njihovim angažovanjem u velikim Projektima u EPS-u.



Zoran Božović, rođen 1951. godine u Beogradu. Završio srednju elektrotehničku školu „Nikola Tesla” 1970. godine u Beogradu. Diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu 1976. godine u Beogradu, energetski odsek. Od 1970. godine zaposlen u TE „Nikola Tesla” Obrenovac, na poslovima inženjera izvršenja šefa službe i glavnog inženjera održavanja do 1998. godine. Poslove Direktora TENT-a obavljao do marta 2006. godine. Od 1. marta 2006. godine raspoređen na poslovima Pomoćnika direktora u Direkciji za proizvodnju energije Elektroprivrede Srbije. Autor više članaka iz oblasti eksploatacije i ispitivanja na generatorima većih snaga, objavljenim u stručnim časopisima i zbornicima radova CIGRE. Učestvovao u radu specijalističkih timova na izradi tehničkih preporuka i primeni ispitnih metoda na visokonaponskim postrojenjima i električnim mašinama.



Ilija B. Zec je rođen u Vrtoču, Bosanski Petrovac 1955. godine. Diplomirao je 1981. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Od 1981. godine zaposlen je u TE „Nikola Tesla – A”, Obrenovac. Bavi se održavanjem generatora, 6 kV prekidača i razvodnih postrojenja i ostale elektroenergetske opreme.

Uticaj distributivne automatike na pouzdanost napajanja potrošača

Prethodno saopštenje
UDK: 621.31; 621.316; 330.113.6

Rezime:

Uređaji distributivne automatike su razvijeni da bi se povećala pouzdanost napajanja potrošača. Ovi uređaji omogućavaju skraćivanje postupka detekcije deonice voda u kvaru, a time se skraćuje vreme trajanja otkaza potrošača, kada se desi iznenadni otkaz-kvar u mreži. U ovom radu su razmatrani efekti primene lokatora kvara i fider menadžera, kao elemenata distributivne automatike. Računarski program, kojim se izračunavaju ocene efekata primene lokatora kvara i fider menadžera, koristi kvazi statističku simulacionu metodu Monte Karlo. Rezultati proračuna su predstavljeni u članku, a neophodni su za tehno-ekonomsku ocenu opravdanosti primene automatike.

Ključne reči: prognoza pokazatelja pouzdanosti, Monte Karlo simulacije, distributivna automatika, lokator kvara, fider menadžer

Abstract:

DISTRIBUTION AUTOMATICS INFLUENCE ON RELIABILITY OF CONSUMERS' POWER SUPPLY

Distribution automatics equipment is developed to increase consumer supply reliability. These devices are reducing fault time when sudden outage occurs in network. Effect of applying feeder manager and fault locator as distribution automatics are considered in this article. Computer program, developed to calculate the effects of application of fault locator and feeder manager, is using the quasi statistic Monte Carlo simulation method. Calculated data are presented in this paper and they are necessary for the techno-economical estimate of justification of automatic equipment application.

Key words: prognosis of power reliability indices, Monte Carlo simulation, distribution automatics, fault locator, feeder manager

1. UVOD

Prekidi napajanja potrošača se dešavaju zbog planskih prekida napajanja i iznenadnih otkaza. Uskraćivanjem energije pojedini poslovi se ne mogu obaviti i zbog toga nastaje šteta koju trpe potrošači.

U poslednje vreme je aktuelna estimacija šteta, koju potrošači trpe zbog prekida napajanja, i pokazatelja pouzdanosti napajanja potrošača.

Ulaganje u smanjenje inteziteta otkaza može biti vrlo skupo (zamena ili remont deonica) i zahteva posebno planiranje. Drugi način da se utiče na poka-

Branislav Orešković, dipl. ing el. – JP „EPS” PD „Elektrovojvodina”, 21 000 Novi Sad, Bulevar Oslobođenja 100, email: branislav.oreskovic@zev.co.yu

Dr Miroslav Nimrihter, dipl. ing el. – FTN, 21 000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, email: nimm@zuns.ns.ac.yu

zatelje pouzdanosti je skraćenje beznaponske pauze. U ovom radu posebno je razmotrena primena distributivne automatike kojom se ubrzava otkrivanje deonice u kvaru, odnosno skraćuje trajanje prekida napajanja potrošača.

Dat je prioritet istraživanju skraćenja trajanja vremena bez napajanja potrošača, u uslovima havarije, jer su ulaganja u ovu oblast najmanja, a efekti ulaganja značajni.

Jedan od načina poboljšanja pokazatelja pouzdanosti električne energije je primena fider menadžera kao najmodernijih uređaja u distributivnoj automatiki, zatim lokatora kvara i uređaja za daljinsko uključivanje rezerve. Fider menadžeri poseduju mogućnost ocene distance do mesta kvara, na osnovu digitalnih podataka dobijenih od mernih sistema. Lokatori kvara ili drukčije nazvani „indikatori prolaska struje kvara” reaguju kada se javi struja kvara na mestu njihove ugradnje.

Definisanjem performansi sistema koje se zahtevaju, kao i nastale štete zbog prekida napajanja, može se izvršiti analiza troškova i uraditi cost/benefit analiza da bi se ocenila ekonomska opravdanost investiranja.

2. POUZDANOST DISTRIBUTIVNE MREŽE

Pouzdanost Elektroenergetskog sistema (EES), ma kojeg njegovog dela ili elementa, definiše se kao verovatnoća da će oni sa uspehom vršiti svoje funkcije u određenom periodu i u specificiranim uslovima.

2.1. Neekonomski pokazatelji pouzdanosti

Ovi parametri uzimaju u obzir štete usled otkaza samo implicitno, tj. bez uvažavanja novčanih iznosa štete.

a) U_i - očekivano godišnje trajanje prekida napajanja i -tog potrošačkog čvora (TS SN/NN)

$$U_i = \lambda_i \cdot r_i \text{ (h/godišnje)} \quad (1)$$

λ_i – intenzitet prekida napajanja potrošača (1/godini)
 r_i – prosečno trajanje vremena prekida napajanja i -tog potrošača po otkazu (h)

Na osnovu izraza se vidi da očekivano godišnje trajanje otkaza zavisi od dužine trajanja beznaponske pauze i od inteziteta otkaza (godišnjeg broja prekida napajanja).

Slede definicije nekih od pokazatelja pouzdanosti.

SAIDI – prosečni godišnji indeks trajanja prekida napajanja je:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \text{ (h/godišnje)} \quad (2)$$

N_i – broj potrošača u potrošačkom čvoru i za posmatrani deo mreže, $i=1(I)n$.

n – broj potrošačkih čvorova za posmatrani deo mreže

b) Numerički pokazatelji pouzdanosti nisu samo orijentisani na broj potrošača (*SAIDI*) već i na prosečnu godišnju snagu (P_{sri}) u pojedinim čvorovima (*ENS*). P_{sri} je mera godišnje utrošene energije, pa donekle i mera zarade na tom čvoru od prodate energije.

ENS – godišnja neisporučena energija potrošačima zbog kvarova je:

$$ENS = \sum_{i=1}^n P_{sri} \cdot U_i \text{ (kWh/godišnje)} \quad (3)$$

P_{sri} – srednja godišnja snaga i -tog potrošačkog čvora, odnosno transformatorske stanice SN/NN.

2.2. Ekonomski pokazatelji pouzdanosti

Ovi pokazatelji pouzdanosti uzimaju u obzir novčani iznos štete (npr. \$/godišnje) koju trpe potrošači usled prekida napajanja. Ekonomski pokazatelji zavise od vrste i veličine potrošača, trajanja otkaza, vrste otkaza (iznenadni ili planirani) i dr.

Ukupna šteta koju usled jednog prekida trpi n čvorova na vodu (\mathcal{S}) se može oceniti na različite načine. Jedan od načina je dat na osnovu jedinične cene štete $C_{\square}(i)$ (din/kW^{max}) po jedinici maksimalne snage potrošačkog čvora i (P_{maxi} (kW)). Šteta usled kvara na sekciji k , koju trpi posmatrani deo mreže izračunava se pomoću relacije:

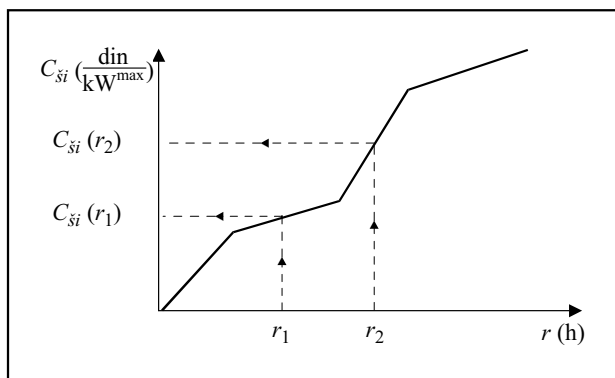
$$\square = \sum_{i=1}^n C_{\square}(r(i,k)) \cdot P_{maxi} \quad (4)$$

$r(i,k)$ – vreme trajanja bez napajanja potrošačkog čvora i , tokom jednog kvara kada je deonica voda k u kvaru.

Jedinične cene štete predstavljaju cenu štete po jedinici maksimalne godišnje snage potrošača (din/kW^{max}) i funkcija su trajanja otkaza i tipa potrošača.

Savremeni pristup oceni šteta usled otkaza je primenom krivih koje ukazuju na zavisnost štete koje trpe potrošači pojedinih potrošačkih čvorova od trajanja svakog pojedinačnog otkaza. Treba uočiti da je ta zavisnost nelinearna funkcija vremena. Svaki tip potrošača ima svoju zavisnost štete od trajanja otkaza.

Primer zavisnosti promene štete ($C_{\delta i}$) u funkciji trajanja otkaza (r) za potrošački čvor i prikazan je na slici 1.



Slika 1. Kriva štete čvora i u zavisnosti od trajanja otkaza

3. METODE I UREĐAJI ZA PRONALAZAK MESTA KVARA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA

U dosadašnjoj praksi upravljanja mrežom metode detekcije deonice u kvaru na srednjenaponskim vodovima su se bazirale na iskustvu dispečera i metodi sekcionalizacije. Metoda sekcionalizacije se sastoji iz isključenja dela mreže, manipulisanja rastavljačima i ponovnog uključenja, dok se ne odredi koji deo mreže (deonica) je u kvaru. U mnogim distributivnim mrežama, ekipa za otkrivanje deonice u kvaru nema informacija gde da traži mesto kvara. Ovaj nedostatak informacija, u mrežama koje su dužine od nekoliko km do nekoliko desetina kilometara, utiče na vreme uspostavljanja napajanja potrošača tj. na pokazatelje pouzdanosti i štetu koju potrošači trpe zbog prekida napajanja. Uređaji distributivne automatike omogućiće ekipi na terenu da smanji broj manipulacija i da skрати put kretanja dok se ne uspostavi napajanje potrošača. Za unapređenje metode i tehnike za pronalazak deonice u kvaru koriste se lokatori kvara u mreži i fider menadžeri. Osim ovih uređaja, mogu da se koriste i uređaji za automatsko uključenje rezerve, mrežni osigurači, različiti tipovi rastavljača snage (sekcionalizatori) i sl.

3.1. Lokatori deonice u kvaru

Lokatori deonice u kvaru (indikatori prolaska struje kvara) se uglavnom koriste u radijalnim srednjenaponskim mrežama. Mesto na kojem mogu biti instalirani lokatori su nadzemni ili kablovski vodovi.

Osnovna podela lokatora deonice u kvaru je na:

1. lokatore sa lokalnim pokazivanjem stanja
2. lokatore sa daljinskim pokazivanjem stanja (kod dispečera).

U oba slučaja lokator detektuje prolazak struje kvara, aktivira se ukoliko je na putu struje i time ukazuje da je deonica u kvaru bliže kraju voda. Ukoliko se lokator ne aktivira, to znači da je kvar bliže prekidaču odnosno početku voda. Ukoliko ima više lokatora, deonica u kvaru se nalazi između poslednjeg koji je proradio i prvog u nizu koji nisu proradili.

3.2. Fider menadžeri

Savremena digitalna zaštita je multifunkcionalna pa tako, pored standardnih funkcija, relejne zaštite izvoda imaju i funkcije nadzora električnih veličina pre i neposredno nakon kvara. Izmerene vrednosti struja i napona u poslehavarijskom režimu su osnova za izračunavanje impedanse petlje kvara i ocenu distance od releja do mesta kvara. Poznavajući procenjenu vrednost distance do mesta kvara skraćuje se vreme trajanja postupka određivanja deonice u kvaru, a time i ukupno trajanje otkaza. Ovakvi, multifunkcionalni releji često se zovu fider menadžeri.

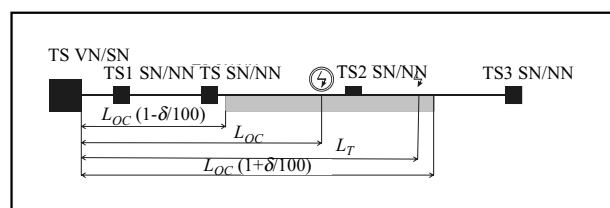
Usled prelaznih procesa, netačnosti merenja električnih veličina, snage opterećenja, otpora luku na mestu kvara, aktivne i reaktivne snage dolazi do netačne ocene rastojanja od fider menadžera do mesta kvara. Maksimalna greška ovih uređaja (δ) u % [6] definisana je sledećom relacijom:

$$\delta = \left| \frac{L_{OC} - L_T}{L_{OC}} \right| \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

L_T – rastojanje od fider menadžera do mesta kvara u mreži u (km)

L_{OC} – ocenjeno rastojanje od strane fider menadžera u (km)

Na osnovu poznavanja maksimalne greške (δ) rezultata rada fider menadžera i ocenjenog rastojanja do mesta kvara (L_{OC}) ocenjuje se zona voda u kojoj se nalazi kvar. Ilustracija je na sledećoj slici.



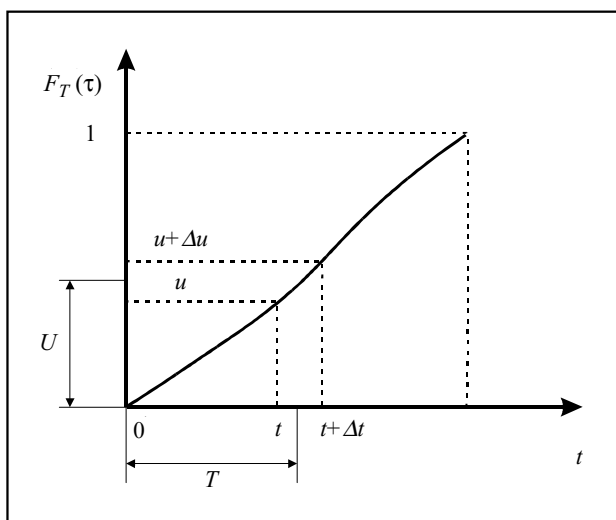
Slika 2. Ilustracija zone gde se nalazi stvarno mesto kvara na osnovu maksimalne greške fider menadžera i ocenjenog rastojanja do mesta kvara

4. PODACI I MODEL KORIŠĆENI ZA PRORAČUN

Hronološki nizovi otkaza i obnavljanja napajanja su osnova za ocenu pokazatelja pouzdanosti. U fazi planiranja nije moguće primeniti istorijske podatke, nego se moraju generisati budući tokovi događaja, da bi se prognozirali pokazatelji pouzdanosti. Kvazi statistička metoda Monte Karlo se zasniva na generisanju hronoloških nizova slučajnih događaja otkaza i obnavljanja napajanja. Ovako generisani hronološki nizovi su osnova za kvazi statističku obradu i donošenje zaključaka u fazi planiranja.

4.1. Metoda Monte Karlo

Generisanje slučajnih brojeva sa zadatom raspodelom može se rešiti pomoću metode Monte Karlo. Neka je veličina u funkcija raspodele verovatnoće neke slučajne promenljive $T(u = F_T(\tau))$ što je na slici 3 prikazano.



Slika 3. Funkcija raspodele slučajne promenljive t

Tada važi sledeći izraz:

$$P(u < U < u + \Delta u) = P(t < T < t + \Delta t)$$

$$P(t < T < t + \Delta t) = F_T(t + \Delta t) - F_T(t) \quad (6)$$

$$P(u < U < u + \Delta u) = \Delta u$$

Iz izraza se vidi da ako veličina u ima uniformnu raspodelu u intervalu $[0,1]$, može se generisati slučajna veličina T sa zadatom raspodelom kao $T = F_T^{-1}$. Kvazislučajni brojevi sa uniformnom raspodelom u intervalu od 0 do 1 se mogu dobiti pomoću izraza:

$$r_{k+2} = r_{k+1} + 33 \cdot r_k - |r_{k+1} + 33 \cdot r_k| \quad ; k = 1, 2, \dots \quad (7)$$

r_k – generisan k – ti broj, gde se za početne vrednosti uzima da je $r_0=0,7614$ i $r_1=0,2376$

4.2. Statistička obrada podataka

Na osnovu centralnogranične teoreme iz populacije N čija je srednja vrednost (μ) nepoznata, a standardna devijacija poznata, dobija se interval poverenja rezultata.

$$P\left(\bar{X} - t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{X} + t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}\right) = 1 - \alpha \quad (8)$$

$1 - \alpha$ – koeficijent pouzdanosti

t_α – tablična vrednost koeficijenta za usvojenu pouzdanost

Za usvojeni koeficijent pouzdanosti $1 - \alpha = 0,9973$ ($t_\alpha = 3$) kriterijum za potreban obim simulacija je dat kao:

$$\left| \bar{X}_J - \bar{X}_{J-1} \right| \leq \varepsilon_J \wedge N_J \geq t_\alpha \cdot \frac{\sigma_J^2}{\varepsilon_J^2} \quad (9)$$

$$\varepsilon_J = k \cdot \bar{X}_J$$

\bar{X}_J – srednja vrednost izračunatih veličina nakon J -te grupe simulacija

N_J – ukupan broj simulacija

σ_J – standardna devijacija izračunatih veličina nakon J -te grupe simulacija

k – koeficijent tačnosti rezultata

Izračunate vrednosti, metodom proračuna Monte Karlo, su razvrstane u Q klasa na osnovu pravila Stardžersa.

$$Q = 1 + 3,3 \cdot \log(N)$$

$$h = \frac{X^{\max} - X^{\min}}{Q} \quad (10)$$

N – obim slučajnih veličina

h – širina jedne klase

X^{\max}, X^{\min} – maksimalna i minimalna izračunata vrednost

Ukoliko dobijeni rezultat (\bar{X}_j) izračunat nakon J -te grupe simulacija pripada klasi m , to znači da:

$$\bar{X}_j \in \left[X^{\min} + (m-1) \cdot h, X^{\min} + m \cdot h \right) \quad (11)$$

$$m = 1, 2, \dots, Q$$

Ukoliko je bilo ukupno N_j proračuna relativna učestanost rezultata po klasama (f_m) se smatra da aproksimira funkciju gustinu raspodele verovatnoće pojavljivanja dobijenih rezultata.

$$f_m = \frac{N(m)}{N_j} \quad (12)$$

$N(m)$ – broj izračunatih rezultata koji pripadaju klasi m .

Poznavanje oblika krive učestanosti pojavljivanja rezultata nam pokazuje rasipanje rezultata oko očekivanih vrednosti i u kom intervalu se dobijeni rezultati pojavljuju.

4.3. Matematički model rada mreže

Za izradu programa za prognozu pokazatelja pouzdanosti napajanja potrošača i štete koju potrošači trpe zbog prekida napajanja u toku godine potrebno je modelovati dva podmodela. Prvi predstavlja model rada radialne srednjenaponske distributivne mreže, a drugi je model za ocenu trajanja otkaza. Na osnovu dobijenog trajanja otkaza vršen je proračun nastale očekivane štete i pokazatelja pouzdanosti zbog prekida napajanja i neisporučene električne energije.

a) Model rada mreže

Pregledom podataka u ED „Novi Sad” i postupka ekipe za otkrivanje deonice u kvaru, ekipe za identifikaciju mesta kvara i ekipe za opravku deonica u kvaru izvršeno je modelovanje. U oko 95 % svih prekida napajanja potrošača uzrok prekida napajanja je kvar na vodovima distributivne mreže. Takođe je utvrđeno da su prilikom prekida napajanja potrošača višestruki kvarovi u napojnoj mreži potrošača jako retki. Uticaj kvarova ostalih elemenata je znatno manji pa zato nije razmatran, kao ni višestruki kvarovi.

Svaka deonica sistema u toku procesa svoga rada može imati dva stanja: stanje ispravnog rada (I) i stanje otkaza (O). Otkaz voda se modeluje intenzitetom otkaza koji je proporcionalan dužini voda l (km) i podužnom-jediničnom intenzitetu otkaza voda ($1/\text{godina} \cdot \text{km}$)

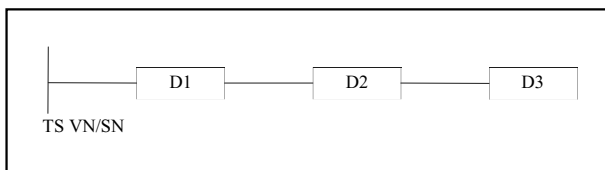
$$\lambda = \lambda_0 \cdot l \text{ (1/godina)} \quad (13)$$

Na osnovu inteziteta otkaza i zaključka iz literature [3] da sve veličine trajanja ispravnog rada imaju eksponencijalnu raspodelu dobija se izraz za dužinu trajanja ispravnog rada jedne deonice:

$$T = -\frac{\ln(1-r)}{\lambda} \quad (14)$$

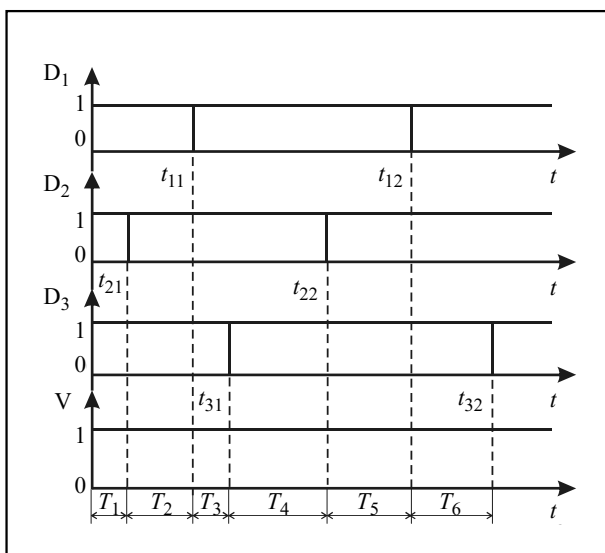
r – slučajan broj sa uniformnom raspodelom u intervalu od 0 do 1.

Za objašnjenje matematičkog modela za ocenu pouzdanosti mreža, uzet je model voda od 3 redno povezane deonice predstavljen na slici.



Slika 4. Distributivni vod sa 3 deonice

Pretpostavlja se da se u početnom trenutku sve deonice nalaze u stanju ispravnog rada. Trajanje vremena ispravnog rada svake deonice ima eksponencijalnu raspodelu verovatnoće. Kad su sve deonice voda u stanju I , tada vod ispravno radi. Vod prelazi u stanje otkaza kada se desi otkaz bilo koje deonice voda. Prvi kvar će se javiti na deonici koja ima najkraće trajanje vremena ispravnog rada. Na primeru sa slike 5 vidi se da je to deonica D_2 . Nakon toga ponovo se generiše trajanje vremena ispravnog rada opravljene deonice. Zatim se ispituje koja deonica ima najkraće vreme rada da bi se odredio novi trenutak otkaza.



Slika 5. Ilustracija promene stanja deonica voda D_1, D_2, D_3

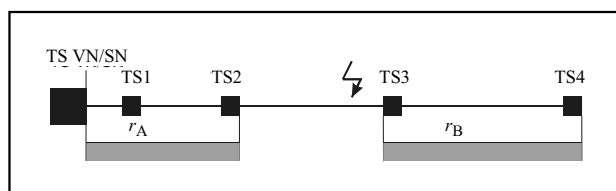
Primenom relacije (14) generiše se trajanje ispravnog rada pojedinih deonica t_{11}, t_{21}, t_{31} . Prvi otkaz voda dešava se u trenutku T_1 pri čemu je:

$$T_1 = \min\{t_{11}, t_{21}, t_{31}\} = t_{21} \quad (15)$$

b) Model za ocenu trajanja otkaza voda u kvaru

Bilo je potrebno modelovati dve veličine: postupak ekipe na otkrivanju deonice u kvaru i postupak uspostavljanja napajanja potrošača. Potrošači

koji se napajaju iz čvorova između početka voda i deonice u kvaru obnavljaju napajanje odmah nakon izolovanja deonice u kvaru (r_A). Potrošači koji su između deonica u kvaru i kraja voda imaju trajanje otkaza (r_B) koje je zavisno od postojanja i vrste uključivanja alternativnog izvora napajanja (vod bez rezerve, vod sa rezervom koji se uključuje automatski ili ručno). Potrošači nakon kvara u mreži ne dobijaju napajanje jednovremeno (slučaj A i slučaj B).



Slika 6. Ilustracija trajanja vremena uspostavljanja napajanja u zavisnosti od mesta kvara u mreži

1. Vreme trajanja postupka za lokaciju deonice u kvaru (r_A) sastoji se iz vremena pripreme za odlazak na intervenciju (r_t) i vremena traženja deonice u kvaru (r_p).

$$r_A = r_p + r_t \quad (16)$$

Vreme pripreme (r_p) se sastoji iz vremena za dojavu nastanka trajnog kvara dispečerskom centru i vremena dolaska ekipe koja se nalazi na terenu do dolaska u TS VN/SN radi kontrole stanja u postrojenju (r_s).

$$r_p = r_i + r_s \quad (17)$$

Ekipa potom odlazi do voda u kvaru i počinje postupak detekcije deonice u kvaru. U zavisnosti od tipa distributivne automatike, primenjuju se različiti postupci za traženje deonice u kvaru od kojih zavisi trajanje vremena utrošenog na manipulacije rastavljačima (r_m) i trajanje vremena utrošenog na prevoz ekipe (r_a).

$$\begin{aligned} r_i &= r_m + r_a \\ r_m &= M \cdot T_{man} \\ r_a &= DLTD \cdot \frac{FKN}{V_a} \end{aligned} \quad (18)$$

M – broj manipulacija za detektovanje mesta kvara

T_{man} – trajanje jedne manipulacije

$DLTD$ – zbir dužina deonica koje se pređu tokom traženja mesta kvara

FKN – faktor nepoklapanja trase voda i puta koji pređe ekipa

V_a – brzina prevoznog sredstva

2. Vreme trajanja postupka za obnavljanje napajanja (r_{ob}) zavisi od postojanja ili nepostojanja rezervnog napajanja.

I. Ukoliko ne postoji rezervno napajanje, potrebno je odrediti mikrolokaciju kvara (r_μ) i opraviti vod (r_{op}).

$$r_{ob} = r_\mu + r_{op} \quad (19)$$

II. Ukoliko rezervno napajanje postoji, tada vreme obnavljanja napajanja zavisi od načina uključivanja rezervnog napajanja. Kada je neophodno da ekipa ode do rezervnog napajanja i izvrši manipulaciju, tada je:

$$r_{ob} = DLRUR \cdot \frac{FKN}{V_a} + T_{man} \quad (20)$$

$DLRUR$ – put koji ekipa pređe do najbližeg rezervnog izvora napajanja

III. Ako postoji mogućnost automatskog ili daljinskog uključivanja rezervnog izvora napajanja, trajanje postupka obnavljanja u ovom slučaju je praktično nula.

Potrošači u ostatku mreže će dobiti napajanje nakon vremena r_B .

$$r_B = r_A + r_{ob} \quad (21)$$

c) Proračun nastale štete zbog neisporučene električne energije i pokazatelja pouzdanosti

U radu su za ocenu štete uzeti rezultati iz literature [14]. U istraživanju je data jedinična cena štete ($C_{\$i}$), izraženo u $\$/kW^{\max}$, tokom jednog prekida napajanja. Ovde šteta, po smislu, odgovara definiciji iz izraza (4). Zavisnost od trajanja otkaza r_i iskazana kao parcijalno linearnaizovana funkcija trajanja otkaza na vremenskim segmentima ($r \leq 2$ h; 2 h $\leq r \leq 3$ h i 3 h $\leq r \leq 8$ h). U sledećoj formuli je dat izraz za jediničnu štetu koju trpe domaćinstva [14] u proizvodljivom i -tom čvoru zbog otkaza čije je trajanje r_i .

$$C_{\$i} \left[\frac{\$}{kW_{\max}} \right] = \begin{cases} r_i & r_i \leq 2h \\ 4 \cdot r_i - 6 & 2h \leq r_i \leq 3h \\ 2 \cdot r_i & 3h \leq r_i \leq 8h \end{cases} \quad (22)$$

Proizvoljni čvor i ima trajanje otkaza r_A , ako se čvor nalazi između početka voda i deonice u kvaru. U suprotnom slučaju trajanje otkaza čvora i je r_B .

Posledice otkaza se modeluju prosečnim trajanjem r_i [h] pojedinog iznenadnog prekida napajanja i -tog potrošačkog čvora ($i=1, (1), N$) od N posmatranih čvorova

$$STETA_k = \sum_{i=1}^N C_{\dot{s}_i} \cdot P_{\max i} \quad (23)$$

$STETA_k$ – novčana šteta zbog prekida napajanja na delu mreže za kvar k

Za seriju K simulacija kvarova dobija se kumulativna šteta potrošača. Na osnovu izračunatog protoklog višedecenijskog vremena tokom simulacije (TY_K) se proračunava godišnja šteta. Ovo predstavlja jednu srednju vrednost štete nakon višedecenijskog rada voda \overline{STE}_j .

$$\overline{STE}_j = \frac{\sum_{k=1}^K STETA_k}{TY_K} \quad (24)$$

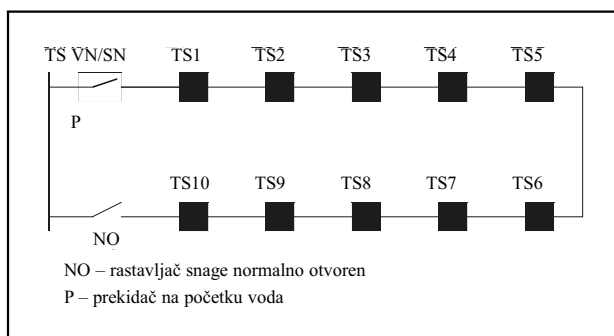
Kasnijom statističkom obradom, kada je obim uzorka reprezentativan, određuje se kojoj klasi izračunata vrednost pripada.

Na sličan način se proračunavaju i klasifikuju rezultati za dobijene vrednosti ENS i $SAIDI$ u skladu sa izrazima (2) i (3).

5. ISTRAŽIVANJE UTICAJA DISTRIBUTIVNE AUTOMATIKE NA POUZDANOST MREŽA

Da bi se istražio uticaj distributivne automatike i doneli generalni zaključci za distributivnu mrežu, u vezi pouzdanosti napajanja i primene distributivne automatike, bilo je potrebno izvršiti istraživanje na test mreži koja se sastoji iz jednog izvoda.

Test mreža se sastoji iz 10 identičnih potrošačkih čvorova (TS SN/NN) i 10 identičnih deonica u mreži. Sve deonice imaju iste parametre sa stanovišta pouzdanosti napajanja i svi potrošački čvorovi imaju identičan konzum (opterećenje, vrsta potrošača, broj potrošača). Mreža poseduje rezervno napajanje u potrošačkom čvoru 10 koje se uključuje ručno, zatvaranjem normalno otvorene sklopne naprave (NO). Za proračun štete koje potrošači trpe, zbog prekida napajanja, uzet je model opisan u tački 4.



Slika 7. Izgled test mreže sa 10 potrošačkih čvorova

Funkcije raspodela slučajnih veličina iz matematičkog modela (tačka 4.3.) su generisane metodom Monte Karlo i imaju eksponencijalnu raspodelu.

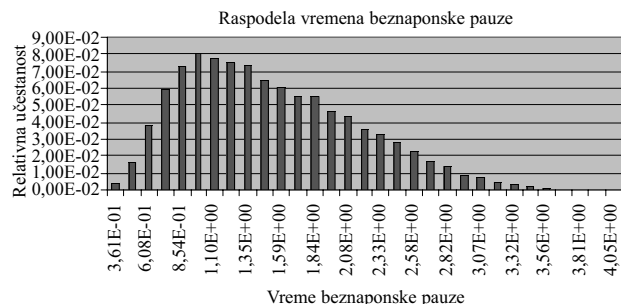
Testirana su dva osnovna tipa mreže:

1. Mreže sa implementiranim lokatorima kvara
2. Mreže sa implementiranim fider menadžerima

Na mreži sa lokatorima kvara simulirane su situacije sa daljinskom signalizacijom lokatora u dispečerskom centru i situacija sa lokalnim pokazivanjem lokatora kvara. Ispitan je i uticaj za obe vrste distributivne automatike na test mreži bez mogućnosti rezervnog napajanja i sa mogućnošću rezervnog napajanja. Posebno je proučen slučaj kada je uključene rezervnog napajanja moguće obaviti daljinski (dispečer uključuje rezervno napajanje) i slučaj kada se vrši lokalno uključivanje rezerve (ekipa za manipulaciju na terenu vrši uključivanje rezervnog napajanja)

5.1. Istraživanje uticaja lokatora kvara

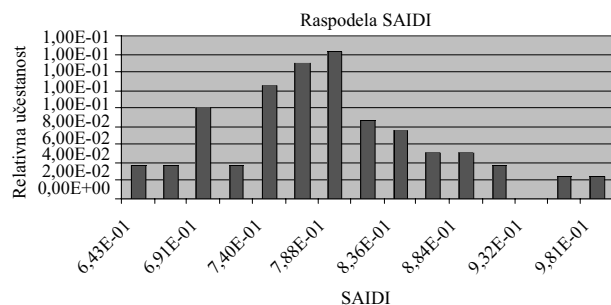
Kako je vreme trajanja otkaza slučajna veličina tako su i vrednosti dobijene metodom Monte Karlo simulacijama takođe slučajne veličine. Izračunate vrednosti su predstavljene na slici 8 i 9.



Slika 8. Funkcija gustine raspodele trajanja otkaza potrošačkih čvorova u (h) prilikom kvarova u mreži

Vidi se da vreme prekida napajanja varira u opsegu od 0,643 časa do 0,981 časova godišnje.

Na sledećoj slici su predstavljene izračunate vrednosti $SAIDI$.

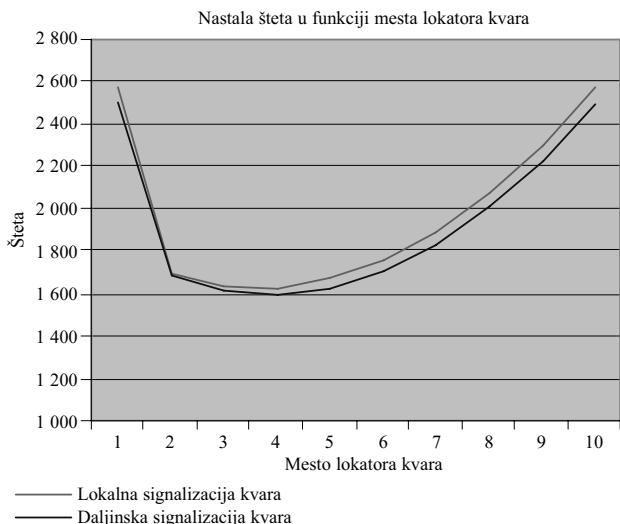


Slika 9. Raspedela SAIDI u (h/godišnje) po klasama u mreži bez distributivne automatike u časovima

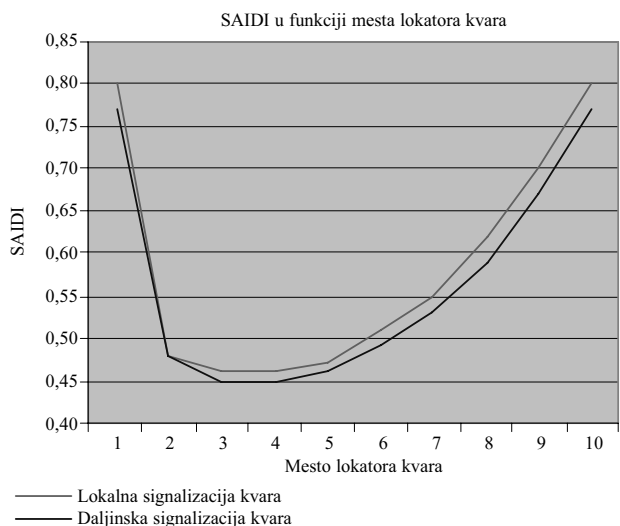
Kako su trajanja vremena prekida napajanja potrošača slučajne veličine, vrednosti SAIDI su u opsegu od 0,643 do 0,981 za test mrežu, dok je srednja vrednost 0,798.

a) ocena optimalnog mesta postavljanja lokatora kvara

Razmatran je zatim uticaj kada se u mreži postavi jedan lokator kvara i kada se menja pozicija njegovog postavljanja u mreži.



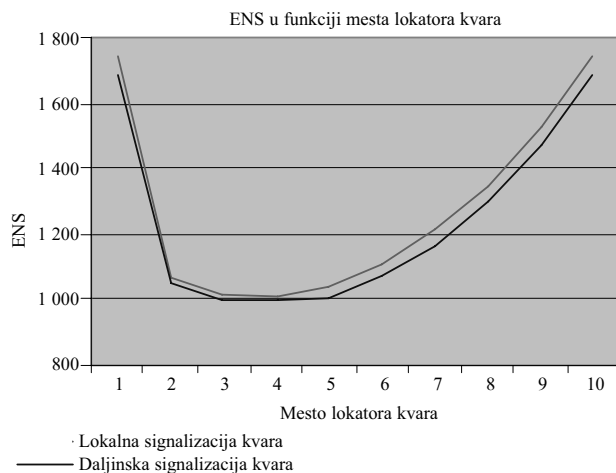
Slika 10. Očekivane vrednosti srednjih godišnjih šteta u (\$/godišnje) kada se menja mesto postavke lokatora kvara za različit tip signalizacije



Slika 11. Očekivane vrednosti srednjih godišnjih vrednosti SAIDI u (h/godišnje) sa promenom mesta lokatora kvara za različit tip signalizacije

Na istoj slici su predstavljeni rezultati za mrežu sa daljinskom signalizacijom lokatora kvara (od

strane dispečera), kao i za mrežu sa lokalnim očitavanjem lokatora kvara (od strane ekipe na terenu) u test mreži.



Slika 12. Očekivane vrednosti dobijenih srednjih godišnjih vrednosti ENS, u (kWh/godišnje), kada se menja mesto postavke lokatora kvara u test mreži za različit tip signalizacije lokatora

Na osnovu slika 10, 11 i 12 se vidi da je optimalno mesto za postavku jednog lokatora u test mreži kod potrošačkog čvora 4. U ovom slučaju optimalno mesto postavke lokatora kvara je na istom mestu bez obzira da li posmatramo nastalu štetu kod potrošača zbog neisporučene energije, SAIDI ili ENS. Mesto optimuma na krivama nije izraženo. Vidi se da je uticaj daljinske signalizacije lokatora zanemarljiv.

b) uticaj primene lokatora kvara u mreži sa rezervnim napajanjem

Da bi se video efekat primene lokatora kvara u test mreži, upoređeni su rezultati dobijeni za mrežu bez lokatora kvara i mrežu sa lokatorom kvara.

Tabela 1. Pokazatelji pouzdanosti i šteta u mreži sa lokatorom kvara i bez distributivne automatike

	Mreža bez lokatora kvara	Mreža sa lokatorom u čvoru 4
šteta (\$/godišnje)	2 587	1 627
SAIDI (h/godišnje)	0,798	0,460
ENS (kWh/godišnje)	1 749	1 008

Iz tabele 1. se vidi da je u test mreži uticaj lokatora kvara na pokazatelje pouzdanosti isporučene energije značajan, odnosno da je primena lokatora u ovoj mreži opravdana.

c) uticaj primene više lokatora kvara u mreži sa rezervnim napajanjem

Ispitan je uticaj više lokatora kvara u test mreži. Na osnovu izračunatih vrednosti je dobijeno da je optimalno mesto za postavljanje 2 lokatora kvara na kraju deonica 3 i 7. Potom je pronađeno optimalno mesto 3 lokatora kvara u test mreži sa lokalnom signalizacijom kvara i ručnim uključenjem rezerve, a to je na kraju deonica 2, 5 i 8. U tabeli 2. su dati dobijeni rezultati.

Tabela 2.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta sa optimalno postavljenim lokatorima kvara

Broj lokatora kvara u mreži	Šteta (\$/godišnje)	SAIDI (h/godišnje)	ENS (kWh/godišnje)
0	2 587	0,80	1 748
1	1 626	0,46	1 008
2	1 409	0,38	841
3	1 313	0,35	768

Na osnovu vrednosti iz tabele 2. se vidi da postavljanjem jednog lokatora kvara u mreži na optimalnom mestu imamo značajano poboljšanje indeksa pokazatelja pouzdanosti. Dodavanjem svakog sledećeg lokatora doprinos poboljšanju indeksa pouzdanosti je sve manji, iako ukupna pouzdanost raste.

Koliki je bio doprinos kada je dodat prvi lokator u mrežu u odnosu na mrežu bez lokatora, potom uticaj kada je dodat drugi lokator kvara u odnosu na mrežu bez lokatora i taj doprinos je predstavljen na sledećoj tabeli.

Tabela 3.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta u procentima u odnosu na vrednosti za test mrežu bez lokatora kvara na optimalnom mestu

Dodati lokator	štete (%)	SAIDI (%)	ENS (%)
1	62,852 73	57,50	57,665 90
2	54,464 63	47,50	48,112 13
3	50,753 77	43,75	43,935 93

Iz tabele 3. se vidi da je šteta postavljanjem jednog lokatora kvara pala na 62,85 %, a postavljanjem 2 lokatora kvara pala je na 54,46 % i potom, postavljanjem 3 lokatora na 50,75 % u odnosu na mrežu bez lokatora. Vidi se da se dodavanjem lokatora kvara u mreži, efekti na pokazatelje pouzdanosti smanjuju.

d) uticaj primene lokatora kvara povećanjem dužine i snage voda

Kako su dužine deonica između TS u test mreži iste ispitan je uticaj promene njihovih dužina na pokazatelje pouzdanosti.

Tabela 4.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta energije promenom dužine deonica u test mreži bez lokatora kvara

Dužina deonica (km)	bez lokatora		
	šteta (\$/godišnje)	SAIDI (h/godišnje)	ENS (kWh/godišnje)
0,5	2 587	0,8	1 749
1,0	6 785	2,17	4 746
2,5	29 247	9,69	21 233

Tabela 5.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta promenom dužine deonica sa lokatorom kvara na optimalno postavljenom mestu

Dužina deonica (km)	lokator u čvoru 4		
	šteta (\$/godišnje)	SAIDI (h/godišnje)	ENS (kWh/godišnje)
0,5	1 627	0,46	1 008
1,0	3 795	1,11	2 438
2,5	13 542	4,22	9 248

Iz tabele 4 i 5 se vidi da, iako je povećanje dužine deonica linearno, pokazatelji pouzdanosti se menjaju eksponencijalno. Postavljanjem lokatora kvara u test mrežu znatno su poboljšani pokazatelji pouzdanosti napajanja potrošača.

e) uticaj postojanja i vrste rezervnog napajanja

Da bi se ispitaio kakav je uticaj vrste i postojanja rezervnog napajanja, izvršeno je testiranje na mreži bez primenjene distributivne automatike. Ispitano je kakav će indeks pouzdanosti električne energije biti u mreži bez rezervnog napajanja i u mreži kada rezervno napajanje postoji u čvoru 10. Ispitane su dve mogućnosti za alternativno napajanje, i to kada je uključeno rezervnog napajanja ručno (kada ekipa na terenu mora uključiti rezervno napajanje) i daljinsko (kada dispečer ima mogućnost da uključuje rezervno napajanje).

Iz rezultata iz tabele 6. se vidi da su u mreži bez rezervnog napajanja pokazatelji pouzdanosti električne energije znatno lošiji nego u mreži sa rezervnim napajanjem (oko 3 puta). Takođe se vidi da je uticaj uključivanja rezervnog napajanja od strane dis-

pečera vrlo mali sa stanovišta pokazatelja pouzdanosti napajanja

Tabela 6.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta promenom vrste rezervnog napajanja u mreži bez lokatora kvara

Vrsta rezervnog napajanja	šteta (\$/godisnje)	SAIDI (h/godisnje)	ENS (kWh /godisnje)
Automatsko uključenje rezervnog napajanja	2 434	0,74	1 632
Ručno uključenje rezervnog napajanja	2 587	0,80	1 749
Mreža je bez rezerve	8 576	2,91	6 386

5.2. Istraživanje uticaja fider menadžera

Na osnovu rada iz literature [6], [7], [8] usvojeno je da tačnost ocene rastojanja od fider menadžera do mesta kvara u mreži ne prelazi 20 % u odnosu na stvarno mesto kvara.

a) uticaj promene dužine i snage voda

Potom je ispitan uticaj promene dužina deonica, odnosno dužine mreže.

Tabela 7.

Vrednost pokazatelja pouzdanosti i šteta promenom dužine deonica u mreži sa ručnim uključanjem rezerve

Dužine deonice mreže (km)	0,500	1,00	2,500
šteta (\$/godisnje)	1 801	4 547	17 784
SAIDI (h/godisnje)	0,520	1,370	5,690
ENS (kWh/godisnje)	1 136	2 999	12 476

Linearno su produžavane sve deonice u mreži i rezultati su predstavljeni u tabeli 7.

Iz tabele se vidi da se povećanjem dužine deonica u mreži eksponencijalno menjaju pokazatelji pouzdanosti.

Da bi se ispitao uticaj veličine mreže (broj potrošačkih čvorova i dužine), na radialni vod predstavljen na slici 3 dodavano je po 5 potrošačkih čvorova (TS SN/NN).

Iz tabele 8 se vidi da se, linearnim povećanjem broja potrošačkih čvorova u test mreži, eksponencijalno menjaju pokazatelji pouzdanosti.

Tabela 8.

Zavisnost očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta promenom TS SN/NN

Broj potrošačkih čvorova	10	15	20
šteta (\$/godisnje)	1 801	4 610	8 715
SAIDI (h/godisnje)	0,520	0,930	1,300
ENS (kWh/godisnje)	1 136	3 073	5 720

b) uticaj postojanja i vrste rezervnog napajanja

Potom je ispitan uticaj postojanja i nepostojanja rezervnog napajanja potrošača u test mreži kada se rezervno napajanje postavi u čvor 10. Ispitane su dve mogućnosti za alternativno napajanje i to kada je uključeno rezervnog napajanja ručno (kada ekipa na terenu mora uključiti rezervno napajanje) i daljinsko (kada dispečer ima mogućnost da uključuje rezervno napajanje). Rezultati su dati u tabeli 9.

Tabela 9.

Zavisnost pokazatelja pouzdanosti SAIDI i godišnjih šteta u zavisnosti od načina uključanja rezervnog izvora (ručno i automatski) ili bez alternativnog izvora.

	bez rezerve	ručno uključanje	automatsko uključanje
šteta (\$/godisnje)	7 933	1 801	1 645
SAIDI (h/godisnje)	2,700	0,520	0,460
ENS (kWh/godisnje)	5 916	1 136	1 015

Ako se uporede vrednosti iz tabele 9, vidi se da najveću štetu trpe potrošači u mreži bez rezervnog napajanja. Distributivna automatika u tom slučaju ne doprinosi poboljšanju pokazatelja pouzdanosti. Sa druge strane, uticaj daljinskog uključanja sa stanovišta pokazatelja pouzdanosti u mrežama sa fider menadžerom je mali.

c) uporedni rezultati za mrežu sa fider menadžerom i lokatorom kvara

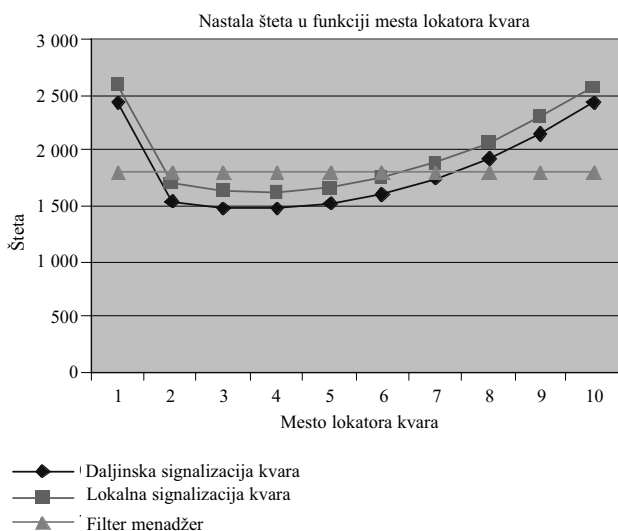
Upoređeni su dobijeni rezultati za test mrežu sa lokatorom kvara na optimalnom mestu ugradnje i mreže sa fider menadžerom. Rezultati su dati u tabeli 1 i 10.

Tabela 10.
Uporedne očekivane vrednosti pokazatelja pouzdanosti i šteta u test mreži sa fider menadžerom i mreži bez distributivne automatike

	Bez fider menadžera	Sa fider menadžerom
šteta (\$/godišnje)	2 587	1 801
SAIDI (h/godišnje)	0,798	0,520
ENS (kWh/godišnje)	1 749	1 136

Na osnovu rezultata u test mreži sa rezervnim napajanjem i distributivnom automatikom, značajno se poboljšavaju pokazatelji pouzdanosti u odnosu na mreže bez distributivne automatike.

Na slici 13 su upoređeni rezultati za mrežu sa primenjenim lokatorima kvara i mrežu sa fider menadžerom. Na osnovu slike 13 se može zaključiti da fider menadžer, iako je moderniji uređaj od lokatora kvara, može da ima manji uticaj od lokatora kvara koji je postavljen na optimalno mesto.



Slika 13. Zavisnost očekivane štete u (\$/godišnje) za test mrežu sa jednim lokatorom kvara i kada se u test mrežu postavi fider menadžer

6. ZAKLJUČAK

Tokom rada distributivne električne mreže dešavaju se iznenadni otkazi-kvarovi koji prouzrokuju prekid napajanja potrošača. Ovi prekidi dovode do nastanka štete kod potrošača i pogoršavaju pokazatelje pouzdanosti isporučene električne energije. U uslovima slobodnog tržišta električnom energijom, regulatorna tela obavezuju distributivna preduzeća da plaćaju penale potrošačima u skladu sa veliči-

nom pogoršanja pouzdanosti. Primenom distributivne automatike moguće je upravljati novčanim iznosom koje distributivna preduzeća moraju da, u vidu penala, plate potrošačima.

U radu je prikazano nekoliko načina da se poboljšaju ovi pokazatelji. Ispitano je koliko iznosi uticaj na pokazatelje i šteta koja potrošači trpe.

Najveće poboljšanje indikatora pouzdanosti napajanja se dobija kada se u mreži bez rezervnog napajanja obezbedi alternativni izvor napajanja. Uticaj daljinskog uključivanja rezervnog napajanja u test mreži je zanemarljiv. Za dalje značajno unapređenje potrebno je primeniti distributivnu automatiku. Može se zaključiti da, što su distributivni vodovi duži i što je veći broj potrošačkih čvorova, to je šteta koju potrošači trpe sve veća. U tom slučaju ulaganje u distributivnu automatiku sa stanovišta ekonomije sve više je opravdano.

U ovom radu su obrađeni fider menadžeri kao najmoderniji uređaji distributivne automatike i lokatori kvara. Smanjenje štete primenom distributivne automatike na test mreži sa rezervnim napajanjem je 37,11 % u odnosu na mrežu bez lokatora kvara (tabela 1.). Pokazano je da fider menadžeri mogu imati manji uticaj na pokazatelje pouzdanosti od lokatora kvara (tabela 10.).

7. LITERATURA

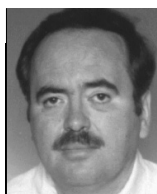
- [1] P. Wang, R. Billington, TIME SEQUENTIAL DISTRIBUTION SYSTEM OF RELIABILITY WORTH ANALYSIS CONSIDERING TIME VARY LOAD AND COST MODELS, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14 No. 3, July 1999.
- [2] S. Lindgren, B. O'Sullivan, A MAINTENANCE FREE MONITORING SOLUTION FOR MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD NETWORKS, TO ADDRESS NEW DEMANDS FROM THE REGULATOR ON POWER QUALITY PERFORMANCE, CIRED, Barcelona, 2003
- [3] R. Billington, R. N. Allan, RELIABILITY EVALUATION OF POWER SYSTEMS, 1996
- [4] A. Dimitrovski, R. Ackovski, MONTE CARLO SIMULATION IN DISTRIBUTION NETWORK ANALYSIS, IEEE/KTH p. SPT PS 26-01-0007, Stockholm Power Tech Conference, June 1995.
- [5] M. Stojaković, Uvod u teoriju verovatnoće i matematičke statistike, 1995.
- [6] D. Bekut B. Orešković INITIAL ESTIMATION OF THE FAULT LOCATION IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS, UPEC, Swansea, 2001.
- [7] D. Bekut, B. Orešković, M. Mirković, PROCENA MESTA KVARA U SREDNJENAPONSKIM MREŽAMA, Nerceg Novi 2001.

- [8] D. Bekut B. Orešković INICIJALNA PROCENA MESTA KVARA U SREDNJENAPONSKIM MREŽAMA, JUKO-CIRED, Herceg Novi, 2000.
- [9] B. Orešković, M. Nimrihter, FAULT LOCATORS IN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION POWER NETWORKS, 13th International Symposium on Power Electronics – Ee 2005., Novi sad, 2005.
- [10] R. E. Brown, S. Gupta, R.D. Christie, S.S. Venkata, R. Fletcher, AUTOMATED PRIMARY DISTRIBUTION SYSTEM DESIGN: RELIABILITY AND COST OPTIMIZATION, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12 No.2, April 1997.
- [11] M. D. Nimrihter, COMPARATIVE ANALYSIS OF SECURITY CONCEPTS FOR URBAN MEDIUM VOLTAGE CABLE DISTRIBUTION NETWORKS, Electric Power Research, No.29, 1994, pp.43-50.
- [12] M. D. Nimrihter: RELIABILITY INDICES ESTIMATION OF DISTRIBUTION CIRCUITS BY APPLICATION OF DISTRIBUTION AUTOMATION, DA/DSM DistribuTech Europe 96, Viena, 8-10. October 1996, pp.547-558.
- [13] M. D. Nimrihter: CHOICE OF OPTIMUM LOCATIONS OF REMOTE CONTROLLED SWITCHING DEVICES, DA/DSM DistribuTech Europe 97, Amsterdam, Netherlands, 14-16. October 1997, poster, Session 2.
- [14] J. Nahman, J. Spirić, D. Perić, Lj. Gerić, M. Nimrihter, D. Salamon, D. Tubić, V. Mijailović, M. Tepavčević, POUZDANOST DISTRIBUTIVNIH SISTEMA, Studija za JP Elektroprivredu Srbije, ETF, Beograd, 1999.

Rad je primljen u uredništvo 11. 04. 2006. godine



Branislav Orešković, dipl. inženjer elektrotehnike, rođen 1971. godine. Diplomirao 1997. na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, smer elektroenergetski. Radio u Beočinskoj fabrici cementa od 1997. do 2005. godine na projektima održavanja i izgradnje elektroenergetskih objekata. Od 2005. godine radi u Privrednom društvu za distribuciju električne energije „Elektrovojvodina“ d.o.o. u Novom Sadu.



Miroslav D. Nimrihter je vanredni profesor na Univerzitetu u Novom Sadu. Diplomirao je, magistrirao i doktorirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Drži predavanja na Institutu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, iz predmeta: „Distributivni sistemi“, „Tehnika visokog napona“ na dodiplomskim studijama i „Distributivni električni sistemi“ i „Pouzdanost elektroenergetskih sistema“ na poslediplomskim studijama. Kao honorarni profesor drži predavanja iz „Relejne zaštite i automatike EES“ na Elektrotehničkom fakultetu u Istočnom Sarajevu. Radio je na naučnim projektima iz oblasti dugoročnog planiranja i projektima vezanim za upravljanje opterećenjem. Objavljuje članke iz pouzdanosti, planiranja optimalne primene distributivne automatike i daljinskog merenja u distributivnim mrežama i asset menadžmenta u elektroprivredi, posebno iz planiranja revitalizacije vodova.

*Rade Ćirić,
Antonio Padilha Feltrin i Iara Fernanda Ehrenberg Dossi Denis*

Regulacija napona u distributivnim mrežama sa malim generatorima

Stručni rad
UDK: 62-533.7; 621.313.12; 621.05

Rezime:

Brojna istraživanja i iskustva iz eksploatacije su pokazala da mali generatori integrisani u distributivne mreže utiču na performanse sistema na različite načine. Ovaj rad prikazuje mogućnosti regulacije napona u distributivnim mrežama sa malim generatorima u stacionarnom stanju. Pored toga analiziran je uticaj različitih metoda regulacije napona na alokaciju gubitaka u distributivnim mrežama. Pri analizi je korišćena IEEE test mreža od 34 čvora.

Ključne reči: *distributivne mreže, distribuirani generatori, regulacija napona*

Abstract:

VOLTAGE REGULATION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH EMBEDDED GENERATORS

Numerous investigations conducted by industry and academy have shown that embedded generators (EGs) integrated into utilities' distribution networks (DNs) could affect the host DN in a number of ways. In this paper possibilities of voltage regulation in distribution networks with EGs in steady state, are presented. Results obtained from the case studies using IEEE 34 nodes test network are presented and discussed.

Key words: *distribution networks, embedded generators, voltage regulation*

1. UVOD

Brojna istraživanja i iskustva iz eksploatacije su pokazali da generatori integrisani u distributivne mreže mogu uticati na performanse sistema na različite načine [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. Integracija malih generatora u distributivne mreže (DM) može izazvati tehničke probleme. Distribuirani generatori (DG) mogu uticati na povećanje struja kvara, izazvati flikere napona, interferirati sa procesom regulacije na-

pona, povećati gubitke u mreži itd. S obzirom da distributivne mreže u prisustvu malih generatora nisu pasivne, mnoga pitanja iz oblasti planiranja, izgradnje, održavanja, i upravljanja distributivnim mrežama zahtevaju preispitivanje.

Prisustvo generatora u distributivnim mrežama značajno utiče na funkcije upravljanja distributivnim mrežama (Distribution Management System) kao što su estimacija stanja, proračun tokova snaga, rekonfiguracija mreže, restauracija pogona posle kvara, ana-

*Dr Rade Ćirić – Izvršno Veće AP Vojvodine, Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj,
21 000 Novi Sad, Bulevar Mihajla Pupina 16,*

Prof. dr Antonio Padilha Feltrin, dr Iara Fernanda Ehrenberg Dossi Denis

– UNESP Ilha Solteira, Av. Brasil Centro 56, CEP 15385-000 Ilha Solteira, SP, Brazil

liza kvara, podešavanje zaštite, regulacija napona i reaktivnih snaga i druge. Naprimer, prisustvo generatora u distributivnoj mreži će sigurno poboljšati kvalitet estimacije stanja s obzirom da su naponi u čvorovima u kojima su priključeni generatori merene veličine i, kao takvi, poznati. Proračun tokova snaga takođe trpi promene zbog prisustva generatora. Određivanje optimalne konfiguracije mreže i restauracija pogona mreže posle kvara su takođe funkcije koje moraju biti modifikovane zbog prisustva malih generatora.

S obzirom da distribuirani generatori značajno utiču na naponski profil i tokove reaktivnih snaga u distributivnoj mreži, potrebno je funkciju regulacije napona i reaktivnih snaga prilagoditi za aktivne mreže, odnosno mreže sa malim generatorima.

Jedno od interesantnih pitanja u vezi malih, elektrana na otvorenom tržištu električne energije je problem alokacije gubitaka na generatore i potrošače u distributivnoj mreži. Mada je problem alokacije gubitaka više izražen u prenosnim mrežama, posle integracije malih elektrana u distributivne mreže i uvođenja otvorenog tržišta električne energije u poslednjoj dekadi, alokacija gubitaka u distributivnim mrežama pobuđuje sve više ineresovanje istraživača [18,19].

U ovom radu su prikazani neki aspekti integracije generatora u distributivne mreže. Osnovni cilj istraživanja je ispitivanje mogućnosti regulacije napona u distributivnim mrežama sa malim generatorima. Uticaj različitih upravljačkih akcija na alokaciju gubitaka u distributivnim mrežama je takođe analiziran. Pri analizi je korišćena IEEE test mreža od 34 čvora.

Rad se sastoji iz sedam celina. U drugom delu rada je razmotren problem regulacije napona u distributivnim mrežama sa malim elektranama. U trećem delu rada je dat kratak prikaz korišćene metodologije za alokaciju gubitaka u distributivnim mrežama. U četvrtom delu rada je opisana korišćena test mreža, dok peti deo sadrži aspekte primene metodologije i rezultate simulacija. Šesti deo rada sadrži zaključna razmatranja, a u sedmom delu je navedena korišćena literatura.

2. REGULACIJA NAPONA

Osnovni alat za analizu regulacije napona u distributivnim mrežama sa malim generatorima u stacionarnom stanju je efikasan algoritam za proračun tokova snaga. U principu mali generatori mogu biti priključeni u distributivnim mrežama i raditi na jedan od sledećih načina:

1. paralelno sa distributivnim vodom, pri čemu generator napaja potrošača sa velikim i nepromenljivim aktivnim i reaktivnim opterećenjem,

2. injektirajući snagu sa specificiranim faktorom snage i

3. injektirajući snagu sa specificiranim naponom u generatorskom čvoru.

Pri proračunu tokova snaga u distributivnoj mreži, u prva dva gore navedena slučaja čvor sa generatorom može biti predstavljen kao PQ čvor. To zahteva malu modifikaciju u algoritmu za proračun tokova snaga, zapravo struja se injektira u čvor. U trećem slučaju kada generator kontroliše amplitudu napona u čvoru u kojem je priključen, neophodno je ovaj čvor modelovati kao PV čvor. Ukoliko je izračunata reaktivna snaga van zadatih granica, reaktivna snaga generatora se postavlja na zadati limit i data generatorska jedinica se u proračunu dalje tretira kao PVQ čvor.

U poslednjih petnaestak godina razvijene su različite metode za modelovanje PV čvorova u distributivnim mrežama [10,11,12,13,14]. Razvijeni su specijalni metodi za jednofazni i trofazni proračun tokova snaga u radijalnim i upetljenim distributivnim mrežama. Iskustvo je pokazalo da se veoma dobri rezultati u modelovanju PV čvorova postižu primenom tzv. „backward-forward” procedura i metoda orijentisanih na grane. Ovi metodi mogu se klasifikovati na sledeći način: metodi zasnovani na sumiranju snaga, metodi zasnovani na sumiranju struja i metodi zasnovani na sumiranju admitansi.

Pri određivanju uticaja malih generatora na regulaciju napona u distributivnim mrežama, u ovom radu je primenjen efikasan i robustan algoritam za proračun tokova snaga predložen u referenci [11]. U ovom algoritmu korišćena je matrica osetljivosti PV čvorova u cilju eliminisanja odstupanja amplitude napona u svim generatorskim čvorovima. Na ovaj način problem kompenzacije amplitude napona u PV čvorovima je transformisan u problem određivanja reaktivne struje injektiranja u svakom PV čvoru tako da amplituda napona ovih čvorova bude jednaka zadatoj vrednosti. S obzirom da je relacija između reaktivne struje injektiranja i amplitude napona generatora nelinearna, tražena reaktivna struja injektiranja generatora se određuje iterativno.

Priključivanje malog generatora na distributivnu mrežu može izazvati napone u mreži koji su izvan propisanih granica [15,16,17]. Uopšteno govoreći postoje dva tipa generatora (obrtnih mašina) koji mogu biti priključeni na distributivnu mrežu: asinhroni generatori (vetrogeneratori) ili sinhroni generatori (hidro, gas, dizel, itd). U slučaju vetrogeneratora, napon u generatorskom čvoru može biti viši od napona u transformatorskoj stanici visoki napon/srednji napon (TS VN/SN). U slučaju sinhronog generatora, napon u TS VN/SN se održava na vrednosti višoj u odnosu na napon u generatorskom čvo-

ru. Odstupanje (porast) napona u generatorskom čvoru u odnosu na TS VN/SN ΔV_r je dato jednačinom (1) [15].

$$\Delta V_r = \left\{ (P_g - P_c) R - (Q_g + Q_c) X \right\} / V_g^* \quad (1)$$

gde je:

P_g – aktivna snaga generatora;

Q_g – reaktivna snaga generatora (proizvodnja ili potrošnja);

P_c i Q_c – snage aktivne i reaktivne potrošnje u generatorskom čvoru;

$Z = R + jX$ – linijska impedansa između TS VN/SN i generatorskog čvora;

V_g – napon u generatorskom čvoru,

V_s – napon u TS VN/SN,

$\Delta V_r = V_g - V_s$ – porast napona u mreži u slučaju generatora.

Postoji više metoda za anuliranje porasta napona u slučaju vetrogeneratora (1): redukcija aktivne snage generatora P_g , povećanje potrošnje reaktivne snage generatora Q_g , ili regulacija napona upravljanjem opterećenjem u generatorskom čvoru P_c [15].

Aktivna snaga proizvodnje generatora se redukuje samo u kritičnim periodima da bi se naponi održali u zadatim limitima. Povećanje snage potrošnje reaktivne snage generatora u cilju neutralisanja previsokog napona izazvanog povećanjem proizvodnje aktivne snage se vrši statičkim var kompenzatorima, baterijama kondenzatora ili preko invertora. Kontrola faktora snage omogućava punu proizvodnju aktivne snage generatora. Upravljanje opterećenjem u generatorskom čvoru je relativno nov metod [15]. Naime, kada je napon na izvodu na gornjoj granici, u generatorskom čvoru se priključuje dodatno opterećenje P_c u cilju redukcije napona.

Uobičajeni metod za anuliranje pada napona u distributivnoj mreži u slučaju da je u mreži priključen sinhroni generator, je povećanje proizvodnje aktivne i reaktivne snage generatora P_g , Q_g .

3. ALOKACIJA GUBITAKA

Poslednjih godina predloženo je više metoda alokacije gubitaka u distributivnim mrežama sa malim generatorima. Idealni metod alokacije gubitaka treba da ispunjava sledeće zahteve [18,19]:

- mora da odražava stvarnu cenu troškova gubitaka koje svaki korisnik izaziva u mreži;
- mora biti konzistentan sa proračunom tokova snaga što znači da zbir alociranih gubitaka svim korisnicima distributivne mreže mora biti jednak

ukupnim gubicima dobijenim na osnovu proračuna tokova snaga;

- mora koristiti podatke dobijene merenjem i
- mora biti jednostavan za razumevanje i primenu.

U tekstu koji sledi je prikazana korišćena metodologija za alokaciju gubitaka u distributivnim mrežama sa malim generatorima, tzv. metod direktnih koeficijenata gubitaka (DLC) (direct loss coefficients).

3.1. Metod direktnih koeficijenata gubitaka (DLC)

Alocirani gubici u distributivnoj mreži $L(i)$ prema metodi direktnih koeficijenata gubitaka (DLC) su predstavljeni jednačinom (2) [19]:

$$L(i) = \gamma(i) \times P(i), \quad (2)$$

gde je $\gamma(i)$ direktni koeficijent gubitaka u čvoru i.

Direktni koeficijenti gubitaka su dati jednačinom (3):

$$\gamma \cong \frac{1}{2} [\Delta\theta \quad \Delta V] [H \quad J]^{-1} \quad (3)$$

gde je:

$[H]$ – Hessian matrica sistema,

$[J]$ – srednja Jacobian matrica sistema.

Važna karakteristika DLC metoda je mogućnost negativne alokacije gubitaka. Negativna alokacija gubitaka pruža mogućnost finansijskog stimulisanja vlasnika generatora koji su dobro pozicionirani u mreži. S druge strane, generatorima i potrošačima koji su loše pozicionirani u mreži se dodeljuju viši gubici. Ukoliko u čvoru nije priključeno ni opterećenje niti generator, alokacija gubitaka u tom čvoru je jednaka nuli. U proračunima tokova snaga u mreži se pretpostavlja da se opterećenja, pa i gubici snage, napajaju iz prenosne mreže, odnosno referentnog čvora u korenu stabla grafa mreže koji se usvaja kao labav čvor (slack node). U metodi DLC se usvaja nulta alokacija gubitaka u referentnom čvoru. U ovom modelu ukupni gubici snage u distributivnoj mreži su neosetljivi na promene aktivnih i reaktivnih injektiranja u referentnom čvoru.

4. TEST MREŽA

Test mreža korišćena u analizi regulacije napona i alokacije gubitaka je modifikovana IEEE 34 radijalna mreža [20], slika 1. Bazni napon mreže je

$V_b=24,9$ kV, bazna snaga $S_b=1$ MVA, referentni napon u TS VN/SN je $V_{ref}=25,647$ kV. Zbog jednostavnosti, a ne gubeći na opštosti, autotransformator i regulator napona u originalnoj IEEE 34 mreži su izostavljeni.

Parametri vodova IEEE 34 mreže su dati u tabeli 1. Snage aktivnog i reaktivnog opterećenja po čvorovima mreže su prikazane u tabeli 2. Tabela 3 sadrži specificirani napon, aktivnu snagu injeckiranja i opseg reaktivne snage injeckiranja generatora u čvoru 23. Snage baterija kondenzatora u čvorovima 28 i 33 su date u tabeli 4.

Tabela 1.

Parametri vodova IEEE 34

Vod	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>R</i> (p.u)	<i>X</i> (p.u)
1	0	1	2,030 825E-3	8,953 083
2	1	2	1,361 754E-3	6,003 423
3	2	3	2,536 956E-2	1,118 441
4	3	4	4,596 905E-2	2,026 589
5	3	5	2,951 780E-2	1,301 320
6	5	6	2,340 171E-2	1,031 687
7	6	7	7,871 413E-4	3,470 187
8	7	8	2,440 138E-4	1,075 758
9	8	9	1,346 012E-3	5,934 020
10	8	10	8,036 713E-3	3,543 061
11	9	11	3,790 085E-2	1,670 895
12	10	12	6,611 987E-4	2,914 957
13	10	13	2,385 038E-3	1,051 467
14	11	14	1,081 532E-2	4,768 037
15	12	15	1,608 917E-2	7,093 062
16	15	16	4,093 135E-4	1,804 497
17	16	17	2,899 042E-2	1,278 070
18	16	18	1,836 401E-2	8,095 946
19	17	19	7,871 416E-4	3,470 187
20	19	20	3,064 467E-3	6,580 539
21	19	21	3,856 993E-3	1,700 392
22	20	22	8,312 212E-3	3,664 518
23	21	23	4,589 034E-3	2,023 119
24	21	24	1,275 169E-3	5,621 703
25	23	25	1,590 025E-3	7,009 778
26	23	26	2,203 996E-4	9,716 525
27	25	27	2,109 539E-3	9,300 102
28	26	28	1,062 641E-3	4,684 753
29	27	29	2,303 996E-4	9,716 525
30	27	30	6,769 415E-4	2,984 361
31	28	31	2,865 194E-3	1,263 148
32	29	32	2,558 431E-3	1,684 948
33	31	33	4,171 849E-4	1,839 199

Tabela 2.

Injeckiranje snage u mreži IEEE 34

Čvor	Aktivna snaga (kW)	Reaktivna snaga (kvar)
0	0,00	0,00
1	19,10	9,87
2	0,00	0,00
3	5,29	2,74
4	0,00	0,00
5	0,00	0,00
6	0,00	0,00
7	0,00	0,00
8	0,13	0,07
9	11,30	5,84
10	14,90	7,71
11	11,84	23,36
12	2,06	1,07
13	0,00	0,00
14	0,00	0,00
15	0,00	0,00
16	1,24	0,64
17	0,00	0,00
18	0,00	0,00
19	4,37	2,26
20	0,00	0,00
21	10,00	5,17
22	27,00	21,62
23	50,00	25,00
24	0,00	0,00
25	46,57	29,72
26	3,04	1,57
27	13,10	6,77
28	149,05	114,90
29	9,20	4,76
30	8,86	7,09
31	7,54	3,90
32	0,00	0,00
33	19,45	15,57

Tabela 3.

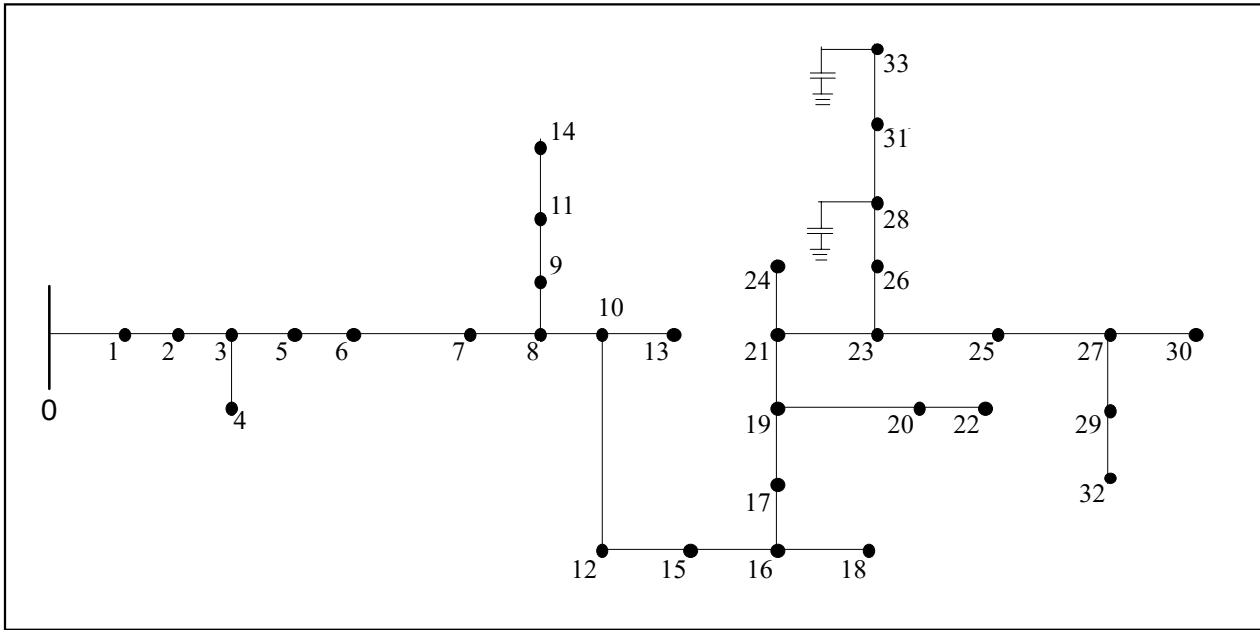
Podaci o generatoru

Generator				
Čvor	V_g (kV)	P_g (kW)	Q_{min} (kvar)	Q_{max} (kvar)
23	24,9	150	15	35

Tabela 4.

Podaci o kondenzatorima

Kondenzatori			
Čvor	Q_c (kvar)	Čvor	Q_c (kvar)
28	100	33	150



Slika 1. Test mreža IEEE 34

5. APLIKACIJA

U ovom istraživanju su vršene simulacije regulacije napona u distributivnoj mreži kontrolom napona i reaktivne snage u generatorskom čvoru 23 i kontrolom napona u čvoru 26. Pored toga, analiziran je uticaj različitih upravljačkih akcija u cilju regulacije napona na alokaciju gubitaka u distributivnoj mreži. Primenjen je efikasan i robustan algoritam za proračun tokova snaga u mreži sa malim generatorima [11].

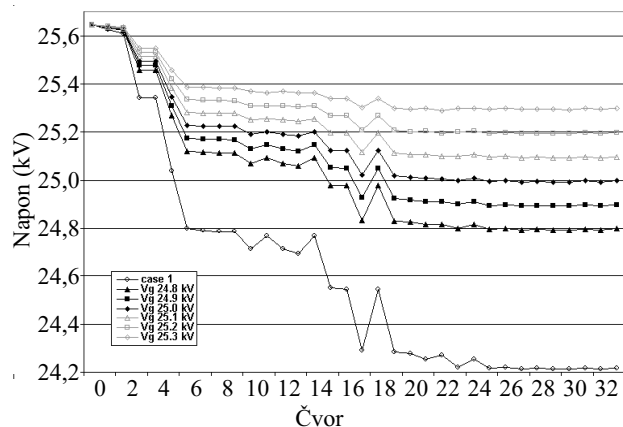
5.1. Primeri

U cilju analiziranja gubitaka u distributivnoj mreži sa malim generatorima nakon izvedenih upravljačkih akcija regulacije napona, primenjen je metod direktnih koeficijenata gubitaka (DLC) [19]. Analizirani su sledeći slučajevi:

1. IEEE 34 distributivna mreža bez generatora, sa kondenzatorima u čvorovima 28 i 33;
2. IEEE 34 distributivna mreža sa generatorom u čvoru 23, sa kondenzatorima u čvorovima 28 i 33;
3. IEEE 34 distributivna mreža sa generatorom u čvoru 23, kondenzatorom u čvoru 33 i bez kondenzatora u čvoru 28 i
4. IEEE 34 distributivna mreža sa generatorom u čvoru 23 bez kondenzatora.

5.2. Rezultati

Dobijeni rezultati pokazuju uticaj generatora na performanse distributivnog sistema (naponski profil,



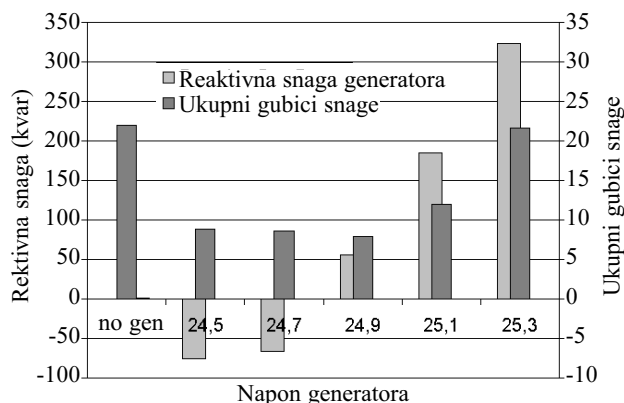
Slika 2. Naponski profil u DM za različite nivoe napona DG u čvoru 23, $P_g = 150 \text{ kW}$; simetrično opterećenje

tokovi aktivnih i reaktivnih snaga, gubici). Slika 2 pokazuje naponski profil u IEEE 34 distributivnoj mreži za različite naponske nivoe generatora u čvoru 23.

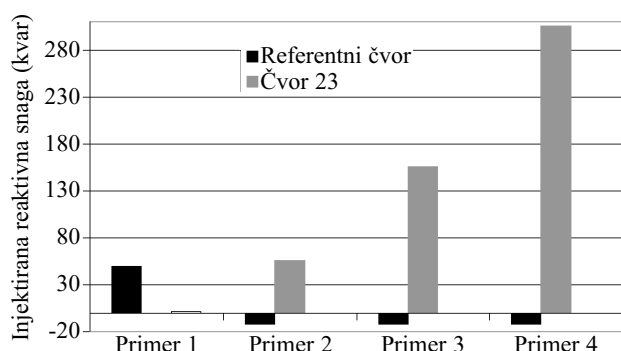
Slika 3 prikazuje regulaciju napona kontrolom reaktivne snage u PV čvoru 23, $P_g = 150 \text{ kW}$. Povećanjem napona generatora raste nivo injektirane reaktivne snage u mrežu i obrnuto. Minimum gubitaka aktivne snage u mreži je ostvaren pri naponu generatora 24,9 kV.

Slika 4 prikazuje injektiranu reaktivnu snagu u referentnom čvoru i generatorskom čvoru u razmatranim slučajevima (1,2,3,4).

Slika 5 prikazuje ukupne gubitke aktivne i reaktivne snage u mreži P_{loss} , Q_{loss} za različite slučajeve (1,2,3,4). Najveći gubici snage su u pasivnoj mreži,

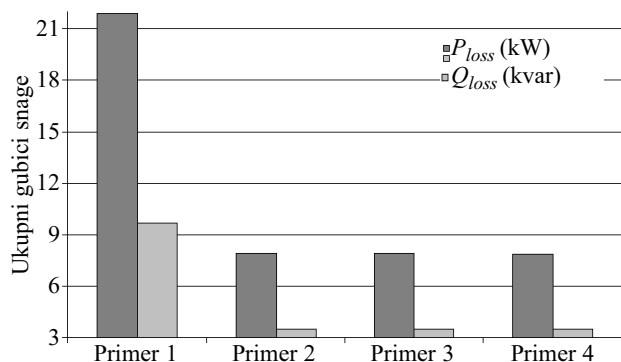


Slika 3. Regulacija napona kontrolom reaktivne snage u PV čvoru 23, $P_g = 150 \text{ kW}$, simetrično opterećenje



Slika 4. Injektirana reaktivna snaga u referentnom čvoru i čvoru 23 za različite razmatrane slučajeve (1-4)

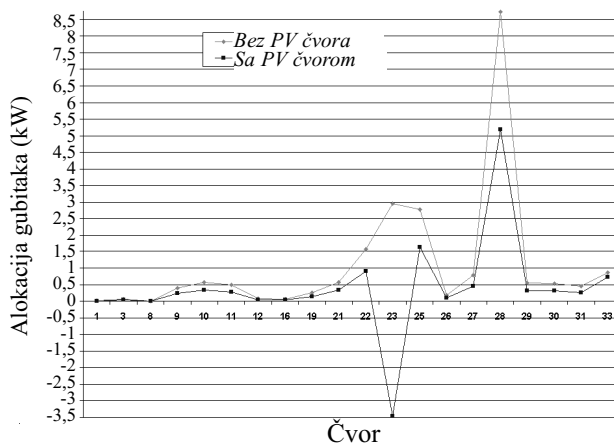
dok su gubici aktivne snage u prisustvu generatora u čvoru 23 smanjeni za 60 %. Prisustvo kondenzatora praktično ne utiče na visinu gubitaka u razmatranoj mreži.



Slika 5 Gubici aktivne i reaktivne snage P_{loss} , Q_{loss} za različite razmatrane slučajeve (1-4)

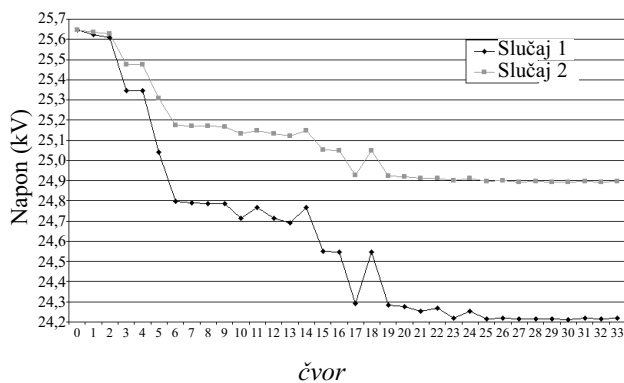
Treba primetiti da generator smanjuje gubitke i struju na distributivnom izvodu do određenog nivoa napona i injektirane aktivne snage. Iznad ovih nivoa napona i snage generatora, struja i gubici na magistralnom delu distributivnog izvoda rastu, usled toka reaktivne snage od generatora prema TS VN/SN.

Alokacija gubitaka u DM sa i bez generatora u čvoru 23, u slučajevima 1 i 2, je prikazana na slici 6. Može se primetiti da kada je generator priključen na mrežu, čvoru 23 je alocirana negativna vrednost gubitaka. Kada su ukupni gubici u mreži redukovani, to važi i za gubitke u svakom čvoru.



Slika 6. Alokacija gubitaka sa i bez generatora u čvoru 23 (slučajevi 1 i 2)

Slika 7 prikazuje naponski profil u mreži sa i bez generatora u čvoru 23, sa naponskom kontrolom u čvoru 26 (slučajevi 1 i 2). Prisustvo generatora u mreži doprinosi poboljšanju naponskog profila.



Slika 7. Naponski profil u DM bez (1) i sa (2) PV čvorom 23, sa kontrolom napona u čvoru 26

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani neki aspekti integracije malih generatora (DG) u distributivne mreže. Osnovni cilj istraživanja je ispitivanje mogućnosti regulacije napona u distributivnoj mreži sa malim generatorom. Rezultati pokazuju da mali generatori u distributivnim mrežama interferiraju sa procesom regulacije napona. Uticaj različitih upravljačkih akcija na alokaciju gubitaka u distributivnim mrežama je takođe analiziran.

U analizi je primenjena metoda direktnih koeficijenata (DLC) (Direct Loss Coefficients) za alokaciju gubitaka. Iskustvo pokazuje da je alokacija gubitaka u aktivnoj distributivnoj mreži složena funkcija opterećenja, konfiguracije mreže, parametara vodova, rasporeda i veličine malih generatora, ali i primenjene metodologije za alokaciju gubitaka. Karakteristika DLC metode je mogućnost negativne alokacije gubitaka generatorima koji su dobro pozicionirani u mreži.

Analize pokazuju da ukupni gubici u mreži, kao i gubici alocirani u čvorovima mogu biti značajno redukovani u prisustvu malih generatora. Pored toga, prisustvo generatora je u razmatranim slučajevima doprinelo poboljšanju naponskog profila i povećanju strujne rezerve radijalnog izvoda. Nivo poboljšanja performansi distributivne mreže zavisi od nivoa napona i injektirane aktivne snage generatora.

Integracija velikog broja malih generatora u distributivnu mrežu može izazvati tehničke i sigurnosne probleme. Iz tih razloga, upravljanje distributivnim mrežama u prisustvu velikog broja distribuiranih generatora predstavlja izazov za istraživače.

7. LITERATURA

- [1] N. Nichols, THE ELECTRICAL CONSIDERATIONS IN COGENERATION, IEEE Trans. on Indus. Appl., vol. IA-21, 754-761, 1985.
- [2] P. A. Nobile, POWER SYSTEM STUDIES FOR COGENERATION: WHAT'S REALLY NEEDED?, IEEE Trans. on Indus. Appl., vol. IA-23, 1987, pp. 777-785.
- [3] Y. Pourcin, J. Fourgous, B. Battalia, TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE CONNECTION OF SMALL GENERATING PLANT TO PUBLIC MV AND LV DISTRIBUTION NETWORKS OPERATED BY ELECTRICITE DE FRANCE, Proceedings. of the 7th International Conference On Electric Distribution, CIRED, 1983, vol. a. 02.
- [4] R. Dugan, D. Rizy, ELECTRIC DISTRIBUTION PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE INTERCONNECTION OF SMALL, DISPERSED GENERATION DEVICES, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, no. 6, 1984, pp. 1121-1127.
- [5] S. K. Salman, I. M. Rida, INVESTIGATING THE IMPACT OF EMBEDDED GENERATION ON RELAY SETTINGS OF UTILITIES' ELECTRICAL FEEDERS, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 16, no. 2, 2001, 246-251.
- [6] S. K. Salman, OPTIMISING SYSTEM LOSSES BY EFFECTIVE COMMUNICATION BETWEEN EMBEDDED GENERATORS AND DISTRIBUTION NETWORKS, Proceedings International Conference and Exhibition on Protecting Electrical Networks and Quality of Supply, 1997.
- [7] E. Lakervi and E. J. Holmes, 1995, ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK DESIGN, IEE Power Engineering Series 21, London: Peter Peregrines Ltd., UK.
- [8] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, and G. Strbac, 2000, EMBEDDED GENERATION, London: IEE Power & Energy Series 31, UK.
- [9] G. Chelli, F. Pilo, G. Carpinelli, A. Russo, DISTRIBUTED GENERATION SETTING AND SIZING UNDER UNCERTAINTY, Proceedings IEEE Porto Power Tech Conference 2001, DRS4-376.
- [10] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, A COMPENSATION-BASED POWER FLOW METHOD FOR WEAKLY MESHED DISTRIBUTION AND TRANSMISSION NETWORKS, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 3, no. 2, 1988, pp. 753-762.
- [11] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, A THREE-PHASE POWER FLOW METHOD FOR REAL-TIME DISTRIBUTION SYSTEM ANALYSIS, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 10, no. 2, 1995, 671-769.
- [12] G. X. Luo and A. Semlyen, EFFICIENT LOAD FLOW FOR LARGE WEAKLY MESHED NETWORKS, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 5, no. 4, 1990, pp. 1309-1316.
- [13] D. Rajicic, R. Ackovski, and R. Taleski, VOLTAGE CORRECTION POWER FLOW, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 9, no. 2, 1994, pp. 1056-1062.
- [14] D. Rajicic and A. Dimitrovski, A NEW METHOD FOR HANDLING PV NODES IN BACKWARD/FORWARD POWER FLOW FOR RADIAL AND WEAKLY MESHED NETWORKS, Proceedings IEEE Porto Power Tech. Conference, 2001, PS03-286.
- [15] N. C. Scott, D. J. Atkinson, and J. Morrell, USE OF LOAD CONTROL TO REGULATE VOLTAGE ON DISTRIBUTION NETWORKS WITH EMBEDDED GENERATION, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 17, no. 2, 2002, 510-515.
- [16] N.D. Hatziaargyriou, T.S. Karakatsanis, M. Papadopoulos, PROBABILISTIC LOAD FLOW IN DISTRIBUTION SYSTEMS CONTAINING DISPERSED WIND POWER GENERATION, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 8, no. 1, 1993, 159-165.
- [17] N.D. Hatziaargyriou, T.S. Karakatsanis, M. Papadopoulos, THE EFFECT OF WIND PARKS ON THE OPERATION OF VOLTAGE CONTROL DEVICES, Proceedings of CIRED 97, pp. 530.1-5.30.5.

- [18] A. J. Conejo, F. D. Galiana, and I. Kockar, Z-BUS LOSS ALLOCATION, IEEE Trans on Power Systems, vol. 16, no. 1, 2001, 105-110.
- [19] J. Mutale, G. Strbac, S. Curcic, and N. Jenkins, ALLOCATION OF LOSSES IN DISTRIBUTION SYSTEMS WITH EMBEDDED GENERATION, IEE Proc.-Gener. Trans. Distrib., vol. 147, no. 1, 2000, 7-14.
- [20] IEEE Distribution System Analysis Subcommittee Report, 2000, RADIAL DISTRIBUTION TEST FEEDERS, Proceedings PES Summer Meeting. Available at: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsa-com/testfeeders.html>.

Rad je primljen u uredništvo 17. 03. 2006. godine

Rade Ćirić je diplomirao na Fakultetu Tehničkih Nauka Univerziteta u Novom Sadu 1987. godine, magistrirao na Elektrotehničkom Fakultetu Univerziteta u Beogradu 1992. godine i doktorirao na Fakultetu Tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu 2000. godine. Završio je post-doktorske studije na državnom univerzitetu UNESP Ilha Solteira - Sao Paulo, Brazil 2001/2002. godine. R. Ćirić je radio u EPS-Elektrovojdina „Novi Sad” na poslovima analize, planiranja, upravljanja i razvoja distributivnih mreža od 1987. do 2003. godine. Dr Ćirić je bio gostujući profesor na University of the West of England (UWE), Bristol, UK, 2004/2005. god. preko fondacije Leverhulme Trust (UK) i od tada je gostujući predavač na ovom univerzitetu. Dr Ćirić je pomoćnik Pokrajinskog sekretara za nauku i tehnološki razvoj, Izvršnog Veća AP Vojvodine od 2005. godine i član skupštine YUKO CIRED-a od 1998. godine.

Antonio Padilha Feltrin je profesor na katedri za elektroenergetske sisteme univerziteta UNESP Ilha Solteira SP, Brazil. Oblast interesovanja Prof. Feltrin-a je analiza i upravljanje elektroenergetskim sistemima.

Iara Fernanda Ehrenberg Dossi Denis je istraživač na katedri za elektroenergetske sisteme univerziteta UNESP Ilha Solteira SP, Brazil. Oblast interesovanja Dr Iara F. Denis je analiza distributivnih sistema i distribuirani generatori.

Dragan Trtica

Primena CUSUM metode u analizi energetske efikasnosti postrojenja

Stručni rad
UDK: 66.012.3; 621.3.017

Rezime:

U radu je predstavljen moćan statistički metod za praćenje energetske efikasnosti postrojenja, koji pruža menadžmentu fabrike jasnu sliku o proizvodnim troškovima u jednom periodu, na osnovu koje može doneti odluku o daljnjim merama usmerenim ka smanjenju troškova, odnosno uštedi energije.

Ključne reči: energetska efikasnost, menadžment, proizvodni troškovi, ušteda energije

Abstract:

*THE APPLICATION OF THE CUSUM METHOD
IN ANALYZING THE ENERGY EFFICIENCY OF A POWER PLANT*

The work represents a powerful statistical method for monitoring the energy efficiency of a power plant, that supplies the factory management with a clear picture about the cost of production in a certain period of time. Based on that information, the management will be able to come to a decision about the measures to be undertaken to reduce the costs and, consequently, save energy.

Key words: energy efficiency, management, costs of production, saving energy

1. UVOD

Praćenje potrošnje energije u početku služi samo za dokumentovanje tekuće situacije. Onog trenutka kada se uspostavi neka istorijska perspektiva - na primer šest meseci do jedne godine od početka prikupljanja podataka - biće moguće da se utvrde izazovni, ali realni ciljevi za poboljšanje energetske efikasnosti, nakon čega će se nastaviti, sa praćenjem napretka ka ostvarivanju utvrđenih ciljeva. Više podataka vodi ka boljem razumevanju energetske efikasnosti postrojenja i utvrđivanju daljih ciljeva potrošnje energije. Praćenje i utvrđivanje ciljeva potrošnje energije predstavlja prikupljanje informacija o

korišćenju energije, njihovo tumačenje i izveštavanje o istim.

Kompletna aktivnost vezana za praćenje i utvrđivanje ciljeva potrošnje energije predstavlja menadžerski pristup koji pomaže preduzećima u minimizaciji gubitaka i smanjenju njihove sadašnje potrošnje energije (i ostalih potrošnih dobara) obezbeđenjem pravovremenih i relevantnih informacija.

Vrste ušteda postignutih primenom uspešnog praćenja i utvrđivanja ciljeva, sa malo i bez ikakvih kapitalnih investicija su: bolja operativna praksa, bolji programi održavanja i obuka zaposlenih. Uz obezbeđenje ušteda u troškovima, sistematsko praćenje i vrednovanje korišćenja energije može dove-

Mr Dragan Trtica, dipl. ing. el. – JP „EPS” PD „Panonske TE-TO” d.o.o Novi Sad, 32 000 Zrenjanin, Pančevačka bb

sti do boljeg kvaliteta proizvoda, odnosno manjeg specifičnog utroška energije po jedinici proizvoda, kao i do smanjenja obima održavanja i gubitaka.

Glavni elementi sprovođenja praćenja i utvrđivanja ovih ciljeva su:

- prikupljanje podataka (očitanjem sa mernih instrumenata);
- analiza podataka (pretvaranje podataka u korisne informacije na osnovu kojih se donosi odluka);
- izveštavanje (prenos podataka do lica koja imaju sposobnost i odgovornost da deluju) i
- akcija (sprovođenje mera koje treba da realizuju postavljene ciljeve).

U daljem tekstu biće više reči o analizi podataka.

2. ANALIZA PODATAKA

2.1. Potrošnja energije i proizvodni odnosi

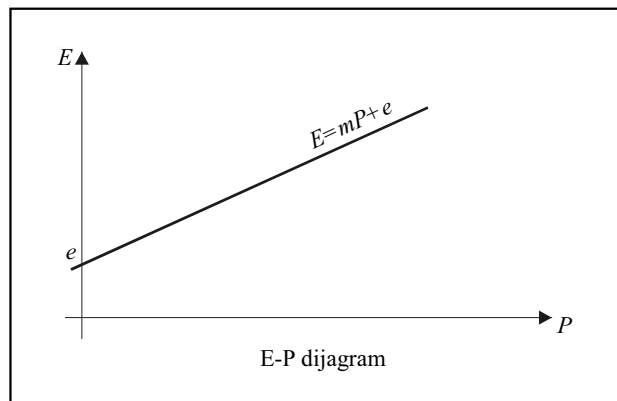
Kvantifikacija odnosa potrošnje i proizvodnje, u daljem tekstu **E – P** dijagram, je značajan zadatak provere učinka procesa i može se izvršiti pomoću rutinski dobijenih podataka uz primenu metoda grafičke analize. U većini postrojenja ovakvi podaci se već prikupljaju. Za većinu standardnih industrijskih postrojenja **E – P** dijagram se približava pravoj liniji. Radi analize uzima se da postoje dva dela energetske potrošnje:

- energija direktno povezana sa proizvodnjom (mP) i
- energija koja nije direktno povezana sa proizvodnjom (e)

Potrošnja energije postrojenja je zbir dve komponente i to je očigledno jednačina prave:

$$E = mP + e$$

gde je E mesečna potrošnja energije, P odgovarajuća mesečna proizvodnja, m predstavlja koeficijent pravca prave E i e je tačka preseka na ordinati. Fi-



Slika 1. Opšti dijagram

zički, „ mP ” označava „korisnu” energiju koja se koristi u procesima, dok se „ e ” odnosi na energiju koja nije povezana sa proizvodnjom, odnosno ona predstavlja potrošnju energije, pri nultoj proizvodnji.

Na osnovu **E – P** dijagrama, rukovodilac energetskeg ili procesnog odeljenja može utvrditi svoje prioritete pa, sa tim u vezi, i tražiti načine za smanjenje neefikasnosti koju predstavlja e .

2.2. CUSUM Metod (CUMulative SUM of difference)

Dijagram mesečne potrošnje energije naspram mesečne proizvodnje omogućava menadžmentu da uoči koji su meseci najbolji u smislu energetske efikasnosti. Pored toga, običan kvalitativni postupak omogućava da se energetska učinkovitost vrednuje za svaki mesec posebno i da se izvrše procene uštede troškova kroz poboljšanja učinka.

Metod kvantitativnih procena ušteda ili gubitaka putem „izračunavanja kumulativnog zbira razlika” poznat je kao CUSUM metod. To je jedina statistička metoda koja se široko primenjuje u programima energetske efikasnosti, a koja nije obuhvaćena opštim udžbenicima o matematičkoj statistici na bilo kom nivou [2].

Tri osnovne svrhe CUSUM-a su:

- locira događaje koji su promenili model u prošlosti identifikovane datumima i određuje faktore koji imaju uticaj na potrošnju energije, a čiji se uticaj može meriti (npr. da bi se obračunale postignute uštede);
- identifikuje one podatke koji predstavljaju način obavljanja procesa u sadašnjosti (identifikacijom svega što je promenilo model, a desilo se ranije – sadašnji model) i
- CUSUM je takođe veoma osetljiv (izmena od 1 % bi lako mogla da se uoči u jednom CUSUM grafikonu sa podešenom razmerom).

Ovom metodom se sabira razlika između predviđenog i stvarnog učinka na bazi vremenskih serija (tj. dnevnih ili nedeljnih) i tako daje devijacija kumulativne sume [1].

Metod se primenjuje na sledeći način:

- izrađuje se **E – P** dijagram za period tokom kojeg se zna da su operacije bile većim delom slične i da nikakve značajne mere energetske efikasnosti ili druge izmene procesa nisu uvedene;
- primenjujući metod najmanjih kvadrata pronalazi se „*best – fit*” linija, tj. prava koja najbolje prolazi kroz dati skup tačaka. Ova jednačina predstavlja polaznu operaciju. Moguće je da se pozicija „*best – fit*” linija proceni ručno lenjirom ili vizuelno poravnavajući tačke. Međutim, primenom EXCEL

programa brzo i lako se radi analiza regresije da bi se dobila „best – fit” prava, a stepen rasipanja tačaka je označen statističkim parametrom R^2 (ima vrednost od jedan ako su sve tačke tačno na liniji). Rasipanje tačaka predstavlja količinu energije koja se koristi za bilo koji nivo proizvodnje, od jednog do drugog vremenskog perioda. Softver daje jednačinu prave, pogodnu za dalju analizu;

- izračunava se iz jednačina procenjeno korišćenje energije od početka perioda i, dalje, nakon vremena kada se uvede mera efikasnosti ili bolji menadžment ili kontrola;
- izračunava se razlika između izračunate i stvarne potrošnje energije za svaki mesec i
- izračunava se kumulativni zbir razlika.

Ako su razlike između stvarne i obračunate potrošnje energije zaista nasumične, neke će biti pozitivne, a neke negativne. Kumulativni zbir razlika treba da osciluje oko nultog nivoa.

CUSUM tehnika omogućava energetsom menadžeru da uporedi učinak u odnosu na bazni period koji se definiše kao period u kome je učinak pogona bio relativno stabilan. Shodno tome, ako su podaci dostupni i ako se analiziraju, kvantitativne promene mogu se ustanoviti kao promene u pravcu CUSUM linije. Ako se evidencija vodi dobro i ako se CUSUM analiza uradi odmah na kraju svakog meseca,

zaposleni u pogonu će najčešće biti u stanju da objasne razloge promene nagiba i smera krive u odnosu na apscisnu osu. To može da bude rezultat mnogih faktora (primer poboljšanja načina rada i obuke rukovaoca, obavljanje velikih remontnih zahvata na osnovnim delovima opreme i sl.).

Postoji mogućnost da se dve ili više značajnih promena u učinku dese istovremeno i u tom slučaju moguće je da se efekti međusobno ponište ili da jedan drugog pojačaju. Stoga, tumačenje učinka može da bude komplikovano i za to je neophodno razumevanje proizvodnog procesa.

Rezultat ovakve analize daje menadžmentu fabrike pouzdane informacije na osnovu kojih se može doneti pravovremena odluka o daljim merama koje imaju za cilj upravljanje svim proizvodnim troškovima u fabrici.

3. TEST PRIMER

U razmatranje su uzeti podaci o ostvarenoj proizvodnji električne energije, toplotne energije i tehnološke pare, kao i o utrošenom gorivu (gas i mazut) u Termoelektrani – Toplani Zrenjanin u sezonama 2003/2004. i 2004/2005. godine.

Radi svođenja različitih vrsta goriva izvršeno je preračunavanje kalorijske vrednosti mazuta na gas

Tabela 1

Tabelarni prikaz proizvodnih parametara

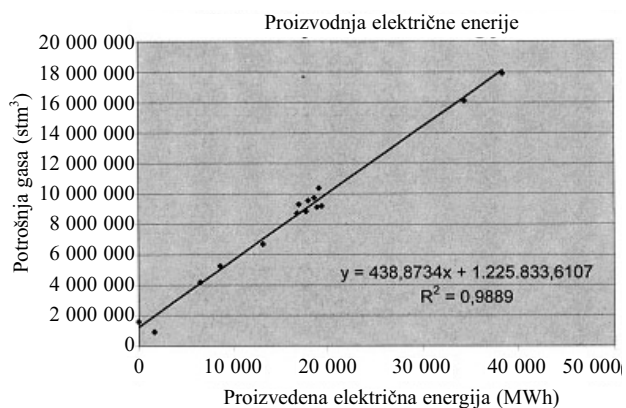
1	PROIZVODNJA						UTROŠAK GORIVA			Specifična potrošnja (stm ³ /MWhe)	Specifična potrošnja (kJ/kWhe)
	Period		Električna energija	Toplotna energija	Tehnološka para	Ekvivalentna električna energija	Gas	Mazut	UKUPNO		
	Datumski	Broj	(MWhe)	(MWht)	(t)	(MWhe)	(stm ³)	(t)	(stm ³)		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003/2004.	15-31. 10.	1	0	7012 5	3 166	84	1 602 652	0,0	1 602 652		
	01-15. 11.	2	6 550	6662 5	2 509	8 928	828 996	2 792,0	4 179 396	468	15 607
	16-30. 11.	3	13 218	5793 5	2 781	15 657	3 468 062	2 689,0	6 694 862	428	14 255
	01-15. 12.	4	8 644	8935 0	3 045	11 948	2 031 021	2 686,0	5 254 221	440	14 661
	16-31. 12.	5	19 437	10776 0	5 730	24 877	2 605 698	5 486,0	9 188 898	369	12 314
	01-15. 01.	6	17 744	11954 0	3 364	22 454	2 387 617	5 380,0	8 843 617	394	13 130
	16-31. 01.	7	18 622	13516 0	5 035	24 233	3 151 665	5 476,0	9 722 865	401	13 376
	01-15. 02.	8	16 990	10374 0	5 010	21 265	6 068 248	2 700,0	9 308 248	438	14 593
	16-29. 02.	9	17 988	10226 0	2 414	21 416	5 342 277	3 507,0	9 550 677	446	14 867
	01-15. 03.	10	16 805	10236 0	4 201	21 042	2 142 222	5 471,0	8 707 422	414	13 795
	16-17. 03.	11	1 667	560 0	665	1 987	217 907	596,0	933 107	470	15 655
2004/2005.	13-31. 12.	12	19 141	12931 0	6 269	24 704	1 750 178	7 184,1	10 371 098	420	13 996
	01-30. 01.	13	38 456	21023 0	7 879	47 830	3 028 516	12 391,0	17 897 716	374	12 475
	01-28. 02.	14	34 389	22733 0	5 677	43 715	2 622 714	11 242,0	16 113 114	369	12 288
	01-17. 03.	15	18 922	10761 0	2 894	23 116	2 794 887	5 264,0	9 111 687	394	13 141

2003/2004.	UKUPNO		137 665	96045 5	37 920	173 890	29 846 365	36 783,0	73 985 965	419	13 978
2004/2005.	UKUPNO		110 908	67448 0	22 719	139 365	10 196 295	36 081,1	53 493 615	384	12 793
SVEUKUPNO			248 573	163493 5	60 639	313 255	40 042 660	72 864,1	127 479 580	403	13 449

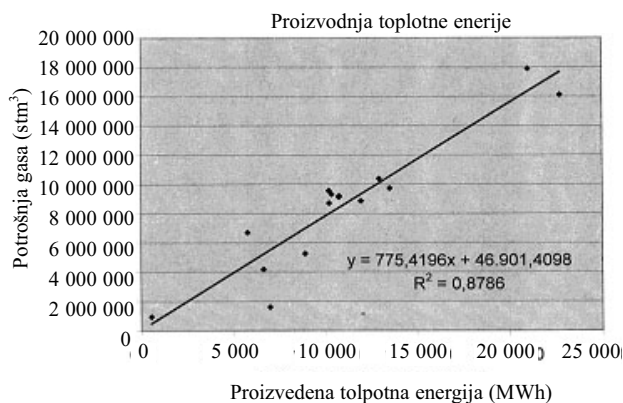
($H_{dgas}=33\,338,33\text{ kJ/stm}^3$ i $H_{dmaz}=40\,000\text{ kJ/kg}$). Takođe, izvršeno je preračunavanje i svodenje svih oblika energije na električnu, prema ustaljenim korelacijama, kako bi se dobili odgovarajući podaci.

U tabeli 1. pri svodenju količina utrošenog mazuta na ekvivalentnu količinu gasa (kolona 10), izvršeno je množenje kolone 9 koeficijentom $1,2 \cdot 10^3$ (odnos $40\,000/33\,333,38$).

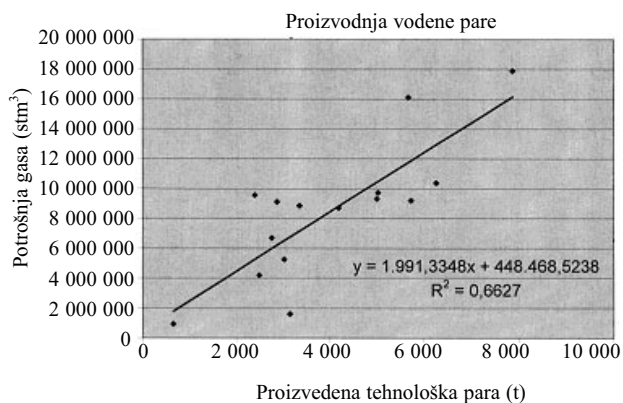
U analizi je uzeto u obzir da se proizvodnja električne energije ostvaruje pomoću mazuta, a proizvodnja toplotne energije i tehnološke pare pomoću gasa. Pri preračunavanju toplotne energije u ekvivalentnu električnu energiju koristili su se važeći normativi za proizvodnju električne energije, toplotne energije i tehnološke pare [3].



Slika 2. E – P dijagram proizvodnje električne energije



Slika 3. E – P dijagram proizvodnje toplotne energije



Slika 4. E – P dijagram proizvodnje tehnološke pare

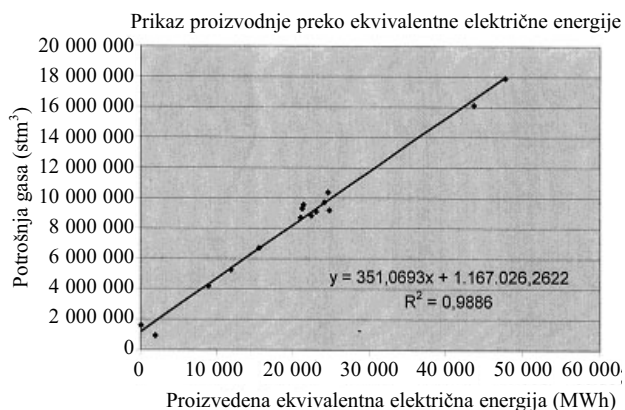
Tabela 2.

Tabelarni prikaz proizvedene električne energije

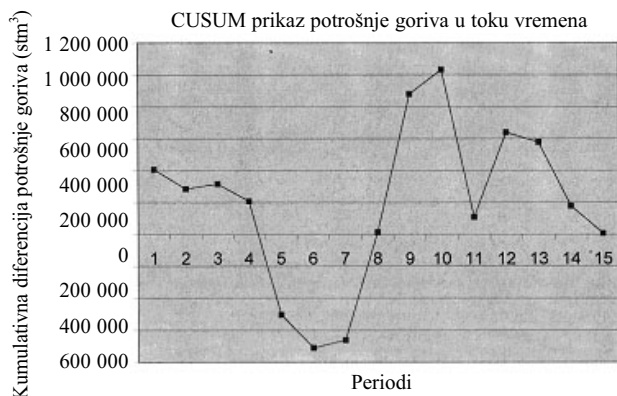
		PROIZVODNJA		GORIVO					
Period		Ekvivalentna električna energija (MWhe)	Ukupno (stm ³)	Sact (stm ³)	Scalc. (stm ³)	Sact.-Scalc (stm ³)	Kumulativno (stm ³)	Pe-	
Datumski	Broj							riod	
								Broj	
2003/2004.	15-31.10.	1	84	1 602 652	1 602 652	1 196 516	406 136	1	
	01-15. 11.	2	8 928	4 179 396	4 179 396	4 301 373	-121 977	284 159	
	16-30. 11.	3	15 657	6 694 862	6 694 862	6 663 718	31 144	315 303	
	01-15. 12.	4	11 948	5 254 221	5 254 221	5 316 602	-107 381	207 921	
	16-31. 12.	5	24 877	9 188 898	9 188 898	9 900 577	-711 679	-503 758	
	01-15. 01.	6	22 454	8 843 617	8 843 617	9 049 936	-206 319	-710 077	
	16-31. 01.	7	24 233	9 722 865	9 722 865	9 674 489	48 376	-661 701	
	01-15. 02.	8	21 265	9 308 248	9 308 248	8 632 515	675 733	14 032	
	16-29. 02.	9	21 416	9 550 677	9 550 677	8 685 526	865 151	879 183	
	01-15. 03.	10	21 042	8 707 422	8 707 422	8 554 226	153 196	1 032 379	
2004/2005.	16-17. 03.	11	1 967	933 107	933 107	1 857 580	-924 473	107 906	
	13-31. 12.	12	24 704	10 371 098	10 371 098	9 839 842	531 256	639 162	
	01-30. 01.	13	47 830	17 897 716	17 897 716	17 958 671	-60 955	578 207	
	01-28. 02.	14	43 715	16 113 114	16 113 114	16 514 021	-400 907	177 300	
	01-17. 03.	15	23 116	9 111 687	9 111 687	9 282 344	-170 657	6 643	

Na slikama 2, 3. i 4. dat je E – P dijagram proizvodnje električne energije, toplotne energije i tehnološke pare

Svođenjem toplotne energije i tehnološke pare na električnu energiju, kao i svođenjem kalorijskih vrednosti mazuta na gas, dobija se tabela 2. Dijagram ekvivalentne električne energije dat je na slici 5, a odgovarajući CUSUM dijagram potrošnje goriva dat je na slici 6.



Slika 5. E – P dijagram ekvivalentne proizvodnje električne energije



Slika 6. CUSUM dijagram

Analizom dijagrama može se zaključiti sledeće:

- CUSUM dijagram je poslužio kao polazna osnova menadžmentu fabrike da u periodu nakon obavljenog remonta u 2005. godini (tačka 12) učini poboljšanja u pogledu energetske efikasnosti. Uočeni su uzroci koji su doveli do naglog porasta utroška energije (tačke 8, 9 i 10). Mnogostruko uvećana vrednost silicijum dioksida u napojnoj demivodi i njeno bacanje iz sistema, zahtevali su dopunu sistema termički kondicioniranom vodom iz postrojenja hemijske pripreme vode. Kao uzročnik

pojave uvećanih vrednosti silicijum dioksida registrovan je toplifikacioni zagrejač. Sanacijom dela cevnog sistema na zagrejaču, u toku remontnog perioda, eliminisan je problem s jedne strane, a takođe, po prvi put je u funkcionalno stanje dovedeno postrojenje hemijske pripreme kondenzata. Gradijent promene (između tačaka 13 i 14) pokazuje značajan napredak u smanjenju proizvodnih troškova;

- Rasipanje tačaka na E – P dijagramu proizvodnje tehnološke pare može se objasniti „slabijim” upravljanjem potrošnjom energije. Ovo se objašnjava činjenicom da se zbog smanjene potrošnje pare od strane industrijskih potrošača pojavljuje problem nepokrivene količine gasa za izmerenu količinu pare i
- Nagib linije na E – P dijagramu proizvodnje ekvivalentne električne energije obično je inherentan projektu procesa i obično se ne može promeniti, a da se na određeni način ne promene detalji procesa. Daljom optimizacijom sagorevanja u kotlovima kroz bolju regulaciju viška vazduha, može se postići „smanjenje” nagiba E – P karakteristike.

4. ZAKLJUČAK

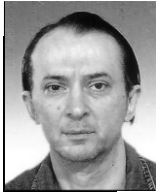
Podaci o specifičnoj potrošnji energije ne znače mnogo sve dok se ne povežu sa obimom proizvodnje ili sa nivoom iskorišćenosti kapaciteta postrojenja. Uzimanje vrednosti specifične potrošnje energije nije dovoljno za dobro gazdovanje energijom.

Novi tržišni principi poslovanja nalažu detaljniju analizu procesa iz kojih bi se mogle izvući korisne informacije za donošenje odluke o daljim koracima u smanjenju troškova proizvodnje ili, eventualno, novim investicijama. CUSUM tehnika predstavlja moćan alat pri identifikaciji proizvodnog procesa, što je svakako polazna tačka u ostvarenju krajnjeg cilja upravljanja energijom u proizvodnim procesima.

5. LITERATURA

- [1] GAZDOVANJE ENERGIJOM U INDUSTRIJI, LDK consultants i Agencija za energetska efikasnost, 2005.
- [2] A. Hold, STATISTICAL TABLES AND FORMULAS, John Willey & Sons, Inc., 1951.
- [3] REŽIMI RADA BLOKA 120 MW U TE-TO ZRE-NJANIN, Glavni projekat, Škoda Export, Prag, 1985.

Rad je primljen u uredništvo 24. 02. 2006. godine



Dragan Trtica rođen je 1960. godine u Zrenjaninu. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na smeru Automatika i računarska tehnika 1987. godine. Magistrirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 2001. godine, na smeru Upravljanje sistemima. Po završetku studija zaposlio se u Termoelektrani-toplani u Zrenjaninu, gde radi i danas, obavljajući funkciju direktora termoelektrane.

Objavio je naučne i stručne radove u domaćim i stranim stručnim časopisima.

Žarko Markov

Mešovita korporacijska telefonska mreža

Stručni rad
UDK: 621.395.74

Rezime:

Razmatra se uvođenje IP telefonske tehnike u korporacijsku telefonsku mrežu. Različiti scenariji izgradnje mešovite mreže se navode saglasno projektu TIPHON. Naglašavaju se razlike između izgradnje mešovite javne i korporacijske mreže. Analizira se EPS-ova telefonska mreža i proces migracije ka IP mreži. Pored mogućeg povećanja raspoloživosti celokupne EPS-ove telefonske mreže navodi se povećani broj TDM - IP konverzija jedne veze kao činilac kome treba posvetiti pažnju u postupku izgradnje mešovite telefonske mreže EPS-a.

Ključne reči: korporacijska telefonska mreža, TDM - IP prelaz, projekat TIPHON

Abstract:

MIXED CORPORATE TELEPHONE NETWORK

Introduction of IP telephony in corporate network is considered. The different TIPHON scenarios are mentioned. The differences between public and corporate telephone networks are pointed out. The TDM - IP migration process in telephone network of Serbian electric power industry is analysed. It is shown that the network availability is increased by introduction of VoIP. The increased number of TDM - IP conversions of one connection is identified as a possible problem.

Key words: corporate telephone network, TDM - IP migration, project TIPHON

1. UVOD

Najviši stepen razvoja telefonske mreže zasnovane na komutaciji kanala ili kola (*circuit switching*) je (uskopojasna) digitalna mreža objedinjenih službi ((N)ISDN, (*Narrowband*) *Integrated Services Digital Network*). Ova tehnika je dobro poznata već dve decenije i poseban osvrt na primenu ove tehnike u EPS-ovoj telefonskoj mreži je dat u [1]. Posmatrajući današnji razvoj telefonske tehnike moglo bi se reći da je tehnika komutacije kola dostigla svoj vrhu-

nac i da se razvoj okreće novoj, tzv. paketskoj (IP, *Internet Protocol*) tehnici, [2]. Osnovno pitanje nije, dakle, kuda se kreće telefonska tehnika već kako uspešno povezati postojeću ISDN mrežu i telefonsku IP mrežu. U ovom kratkom radu se pokazuje kako se ove dve mreže mogu uspešno povezati i kako se u privatnoj tj. korporacijskoj telefonskoj mreži, kakva je EPS-ova telefonska mreža, ove dve mreže mogu iskoristiti za povećanje raspoloživosti telefonskih veza.

Prof. dr Žarko Markov, dipl. ing. el. – Iritel, 11 080 Zemun, Batajnički put 23,

2. KLASIČNA TELEFONSKA MREŽA

Klasična telefonska mreža (SCN, *Switched Circuit Network*) se u ovom razmatranju koristi da se označi digitalna i/ili ISDN telefonska mreža čija su osnovna svojstva sledeća. Klasična digitalna i ISDN mreža se često nazivaju TDM (*Time Division Multiplex*) mrežom prema načelu izgradnje. Delovi analogne mreže koji se i dalje koriste povezuju se na digitalnu (i IP) mrežu preko odgovarajućih interfejsa.

Telefonski vremenski kanali se koriste za prenos digitalizovanog govornog signala protoka 64 kb/s.

Signalizacija je, najčešće, pristupna ISDN (između korisnika i centrale) i mrežna CCS7ISUP (*Common Channel Signaling 7 ISDN User Part*). U privatnim mrežama se kao mrežna signalizacija koristi tzv. signalizacija *Qsig*, koja je slična pristupnoj ISDN signalizaciji, [1].

Numeracija u javnom delu mreže je saglasna sa ITU-T preporukom E.164. Privatne telefonske mreže mogu imati svoje planove numeracije ali na sučelju sa javnom mrežom moraju zadovoljavati preporuku E.164.

Osnovna karakteristika ove mreže je određeni broj korisničkih usluga koje olakšavaju korišćenje mreže i značajno povećavaju procenat uspešnih poziva.

3. IP TELEFONSKA MREŽA

Paketska ili IP telefonska mreža je ona koja koristi tzv. resurse računarskih tj. paketskih mreža za uspostavljanje (virtuelnih) telefonskih veza. Osnovni razlog za razvoj ove telefonske tehnike je korišćenje univerzalnih resursa za sve telekomunikacione službe. Glavna svojstva IP telefonske mreže su sledeća.

Digitalizovani govorni signal se deli na odsečke čije je trajanje od 10 ms do 50 ms koji se prenose tzv. paketima. Govorni signal može ali ne mora biti komprimovan da bi se smanjio potreban bitski protok.

U potpuno paketskim telefonskim mrežama se koriste posebne signalizacije koje su predviđene za multimedijalne komunikacije. To su u javnim mrežama signalizacije po ITU-T preporukama (H.323) ili po IETF standardima (SIP, *Session Initiation Protocol*). U privatnim IP telefonskim mrežama pojavljuju se i neke nestandardne vrste signalizacija.

Adresiranje (numeracija) pojedinih tačaka u IP telefonskim mrežama koristi i domenska imena (URI, *Uniform Resource Identifier*) i uobičajene telefonske brojeve.

Sa korisničkog stanovišta je veoma važno da se u IP telefonskim mrežama nudi bar isti skup korisničkih mogućnosti kao i u klasičnoj ISDN mreži.

4. MEŠOVITA MREŽA

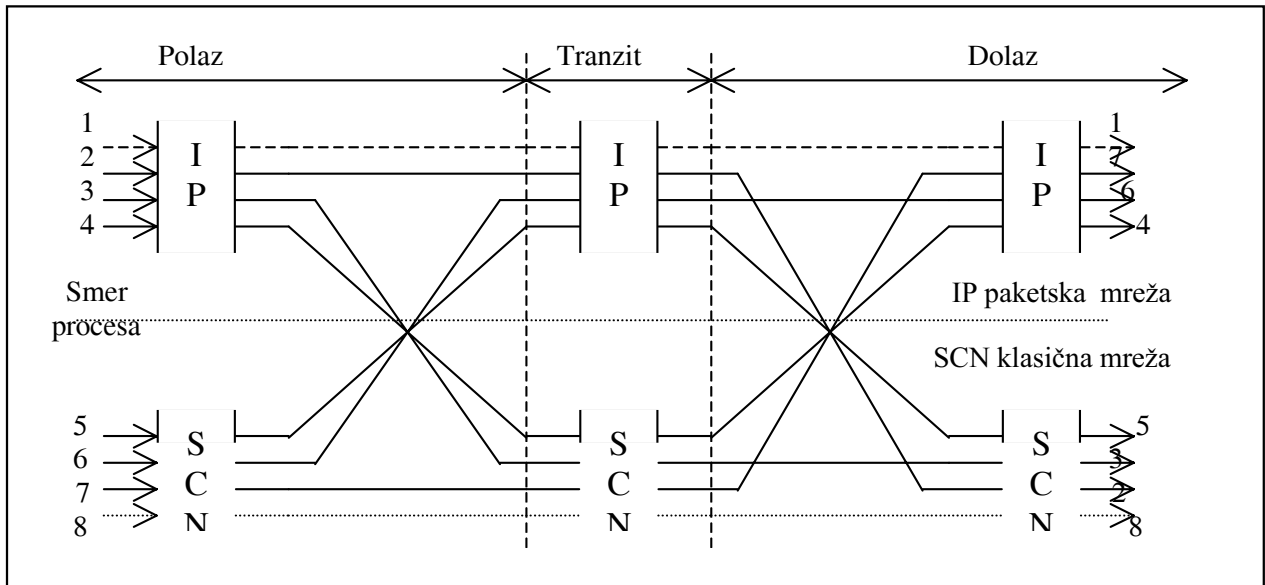
U procesu uvođenja IP telefonske mreže u rad neminovno dolazi do povezivanja klasične i IP telefonske mreže. Ovo se mora desiti zbog toga što svaki korisnik, bilo da koristi klasični ili IP pristup, mora biti dostupan svakom drugom korisniku. Obično se kaže da sučelje dve mreže mora da bude bešavno (*seamless*) tj. takvo da korisnici ne primećuju prelazak iz mreže u mrežu. Organizacije koje se bave standardizacijom u telekomunikacijama su na nekoliko načina opisale organizovanje mešovite mreže. Jedan od opisa mešovite mreže dat je od strane organizacije ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) pod nazivom projekat TIPHON (*Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Networks*). Prema ovom projektu, [3], u procesu prelaska (*migracije*) klasične mreže ka IP mreži, veze se mogu ostvarivati na jedan od osam načina, slika 1. Sama mreža ima polazni, tranzitni i dolazni deo od kojih svaki može biti klasični ili paketski. (Složeniji slučajevi, kao što su mešoviti polazni, tranzitni i dolazni deo, se mogu prikazati kombinacijama jednostavnijih slučajeva.)

Početni od osam slučajeva je slučaj potpuno klasične veze, veza 8 na slici 1, a poslednji je potpuno paketska veza, veza 1 na slici 1.

Ovi slučajevi se mogu svrstati u pet scenarija, tabela 1, od kojih se četiri odnose na veze kroz mešovite mreže a peti (nulti) na čisto paketsku vezu. (Potpuno klasična veza, (SCN, SCN, SCN) slučaj 8 iz tabele 1, se smatra slučajem koji ne pripada projektu TIPHON.)

Scenariji 1 i 2 predstavljaju veze koje prelaze jednu mrežnu granicu tj. veze između korisnika različitih mreža. Ova dva scenarija zahtevaju pretvarače signalizacije i numeracije.

Scenariji 3 i 4 predstavljaju veze između istovrsnih korisnika koje se tranzitiraju kroz mrežu druge vrste. Ova dva scenarija se unekoliko razlikuju. Naime, scenario 3 (slučaj 5) je dosta realan i može se smatrati IP premošćenjem između dve klasične mreže ili dva dela klasične mreže. U ovom slučaju nisu neophodni pretvarači signalizacije i numeracije jer se signalizacija može preneti kroz IP mrežu postupkom ućaurjenja (*encapsulation*). Scenario 4 (slučaj 4) je manje verovatan ali, ako bi do njega došlo, sprovodio bi se uz dvostruko pretvaranje signalizacije i numeracije pošto SCN nema mogućnost ućaurjenja podataka drugih mreža.



Slika 1. Moguće veze u mešovitoj mreži

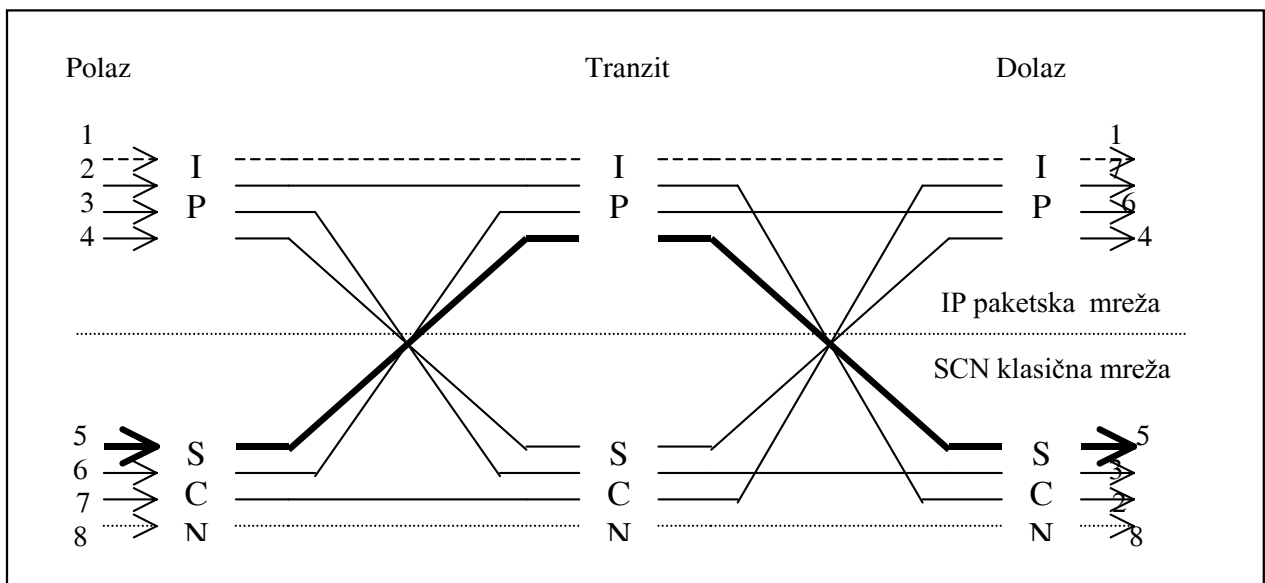
Pet TIPHON scenarija

Slučaj	Polaz	Tranzit	Dolaz	Scenario
1	IP	IP	IP	0
2	IP	IP	SCN	1
3	IP	SCN	SCN	1
4	IP	SCN	IP	4
5	SCN	IP	SCN	3
6	SCN	IP	IP	2
7	SCN	SCN	IP	2
8	SCN	SCN	SCN	n

Tabela 1.

5. MEŠOVITA JAVNA MREŽA

Jedan od uobičajenih načina izgradnje mešovite javne telefonske mreže se zasniva na činjenici da je periferni deo mreže složeniji od tranzitnog. Naime, tzv. inteligencija mreže, koja obezbeđuje korisničke usluge, se najčešće nalazi u perifernom delu mreže. Tranzitni deo mreže ima samo funkcije upućivanja i komutacije govornog signala i signalizacije. Zbog toga se smer procesa paketizacije mreže od tranzitnog ka perifernom sloju smatra logičnim, [4]. Ovaj postupak znači primenu scenarija 3 tj. svodi se na slučaj 5 sa slike 1. Kao što je na slici 2.



Slika 2. TIPHON scenario 3

naglašeno, veza u ovom slučaju dva puta prelazi mrežnu granicu. Na mrežnoj granici se nalaze pretvarači medija (MGW, *Media GateWay*) i prevodioci ili prenosioci signalizacije (SGW, *Signaling GateWay*). Proces prelaska granice je upravljani tzv. kontrolerom medijskih pretvarača (MGC, *Media Gateway Control(er)*) koji se nekad naziva i softsvič (SSW, *Softswitch*).

Sasvim načelna predstava mešovite javne telefonske mreže prema TIPHON modelu sa slike 2. se realno može predstaviti tzv. dekomponovanim modelom, [5], slika 3. U dekomponovanom modelu razlikujemo pomenute delove MGW, SGW i MGC čije su funkcije sledeće:

- MGW pretvara telefonski signal iz jednog oblika u drugi tj. iz TDM kanala sa protokom 64 kb/s u tok paketa i obrnuto.
- SGW pretvara klasičnu telefonsku signalizaciju (najčešće CCS7) u paketski oblik koji je prihvatljiv za MGC.
- MGC upravlja pretvaračima medija, komunicira sa SGW-om i drugim MGC-ovima i vrši upućivanja u paketskoj mreži.

Za komunikaciju elemenata dekomponovanog modela određeni su posebni protokoli a najčešće korišćeni su: SIGTRAN, MGCP, MEGACO, SIP i njegove varijante, H.323, BICC.

Protokol SIGTRAN, [6], služi u komunikaciji SGW - MGC. On služi da signalizacije klasične telefonske mreže CCS7, ISDN i V5 prilagodi prenosu kroz paketsku mrežu.

Protokoli MGCP [7], MEGACO [8], H.248 ostvaruju komunikaciju između MGC i MGW.

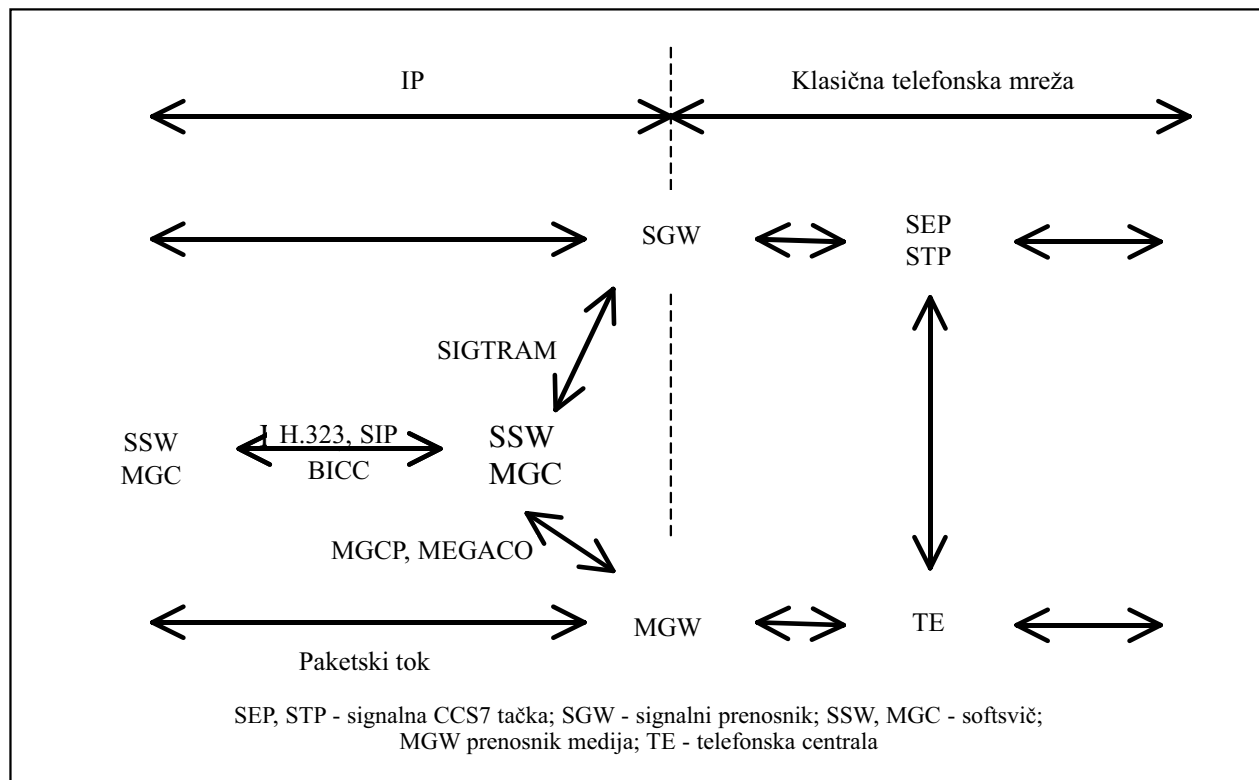
Protokoli H.323, SIP [9], SIP-I [10], SIP-T [11], BICC [10] služe komunikaciji između MGC-ova.

Jedna moguća realizacija scenarija 3 u javnoj mreži je prikazana na slici 4. Tu se pokazuje postupak ostvarenja veze između telefona TA i TB a signalizacijom je označena mrežna signalizacija potrebna za ostvarenje veze.

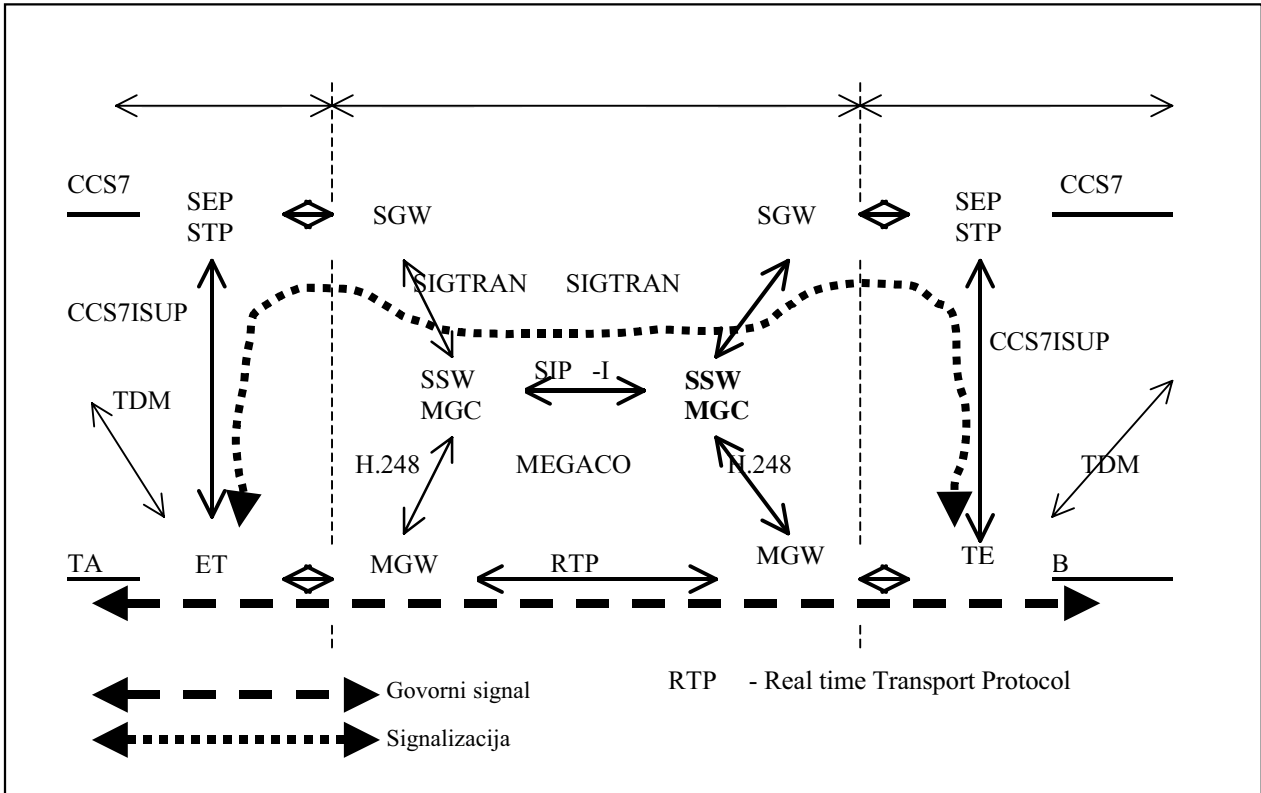
6. MEŠOVITA KORPORACIJSKA MREŽA

Korporacijska (privatna) telefonska mreža ima nekoliko svojstava koja je razlikuju od javne mreže i koja mogu da utiču na izgradnju mešovite mreže. To su veličina i namena telefonske mreže, postojanje privatne računarske mreže, različita signalizacija, centrale sa mešovitim priključcima.

Korporacijska telefonska mreža je uvek znatno manja po broju korisnika od javne mreže pa je i organizacija klasične mreže najčešće jednoslojna za razliku od javne koja je višeslojna i hijerarhijska.



Slika 3. Dekomponovani model



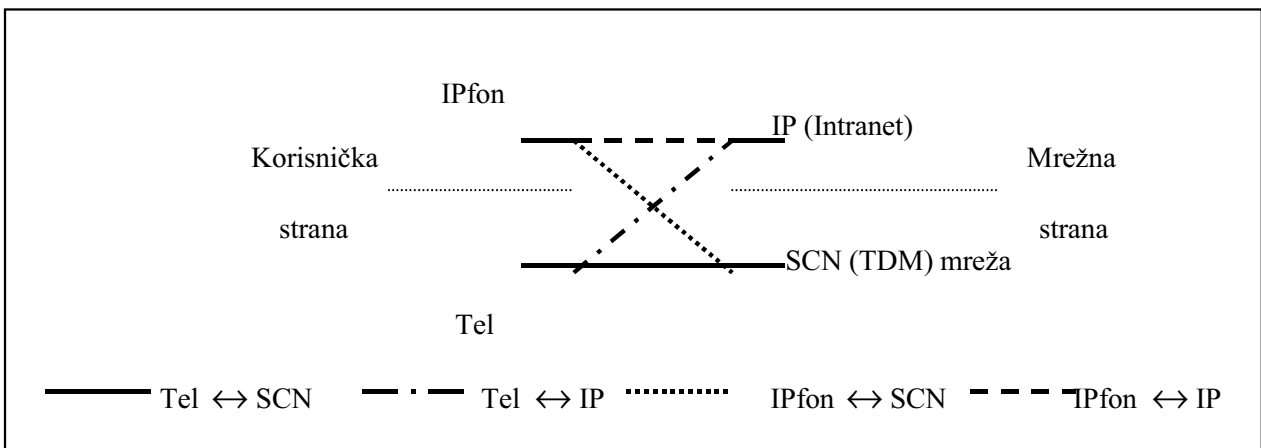
Slika 4. SCN - IP - SCN veza u javnoj mreži

Namena korporacijske mreže nije prvenstveno prodaja telekomunikacionih usluga već povećanje ekonomičnosti i olakšavanje osnovne delatnosti korporacije. U slučaju telefonske mreže EPS-a osnovna namena je pružanje visokorasploživih telefonskih usluga u procesu proizvodnje i prenosa električne energije.

Korporacije imaju svoju računarsku mrežu (Intranet) koja je, kao privatna, kontrolisana sa gledišta pristupa i saobraćajnog opterećenja, pa u pogledu usluga IP telefonije može da pruži visoki kvalitet.

Savremena mrežna signalizacija u klasičnim korporacijskim telefonskim mrežama je *Qsig*. To je mrežna signalizacija izvedena iz pristupne ISDN signalizacije. Signalni kanali ove signalizacije su uvek pridruženi govornim kanalima tj. ne može se govoriti o posebnoj signalnoj mreži kao kod CCS7 u javnoj mreži. Jasno je da se kao prevodioci ove signalizacije u IP telefonske signalizacije ne mogu koristiti oni iz javne mreže.

Sučelje klasične i IP javne mreže se najčešće realizuje uz pomoć signalnog i medijskog prenosnika



Slika 5. Model IPPBX centrale

(SGW i MGW). U novijim korporacijskim centralama (IPPBX) se pojavljuju rešenja sa ugrađenim signalnim i medijskim prenosnicima. Jedna centrala se može povezati na klasičnu mrežu (SCN) ali i na IP mrežu, slika 5. Pored analognih i ISDN telefona (Tel) koji se zasnivaju na tehnici komutacije kanala, na korisničkoj strani je omogućeno da se na centralu priključe IP telefoni (IPfon, *IPphone*). Na ovaj način se omogućava da IPPBX radi i u mešovitom korisničkom okruženju i mešovitom mrežnom okruženju.

Sa slike 5. se vidi da se preko IPPBX mogu ostvariti četiri vrste veza tj. sve kombinacije između IP i klasičnog telefona i IP i klasične mreže.

Uobičajena jednostavna veza korporacijskih centrala je prikazana na slici 6. Ona se obavlja preko javne klasične telefonske mreže (PSTN) koja radi na načelu komutacije kanala.

Uvođenjem IP telefonije preko lokalne korporacijske računarske mreže, ova jednostavna mreža postaje slična onoj koja je prikazana na slici 7.

Organizacija korporacijske mešovite mreže kao na slici 7. pruža korisnicima dve velike prednosti u odnosu na mrežu sa slike 6. Korporacija smanjuje

troškove korišćenja javne mreže jer je put prvog izbora Intranet a put drugog izbora javna mreža. Pored ovog razloga koji se uvek navodi, važno je i povećanje raspoloživosti.

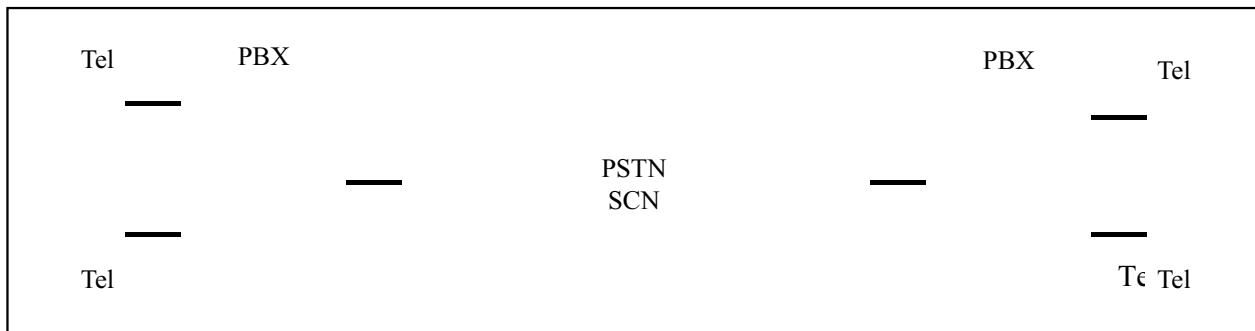
7. MEŠOVITA MREŽA EPS-A

Klasična korporacijska telefonska EPS-ova mreža (TMEPS) je predstavljena jednostavnom slikom 8.

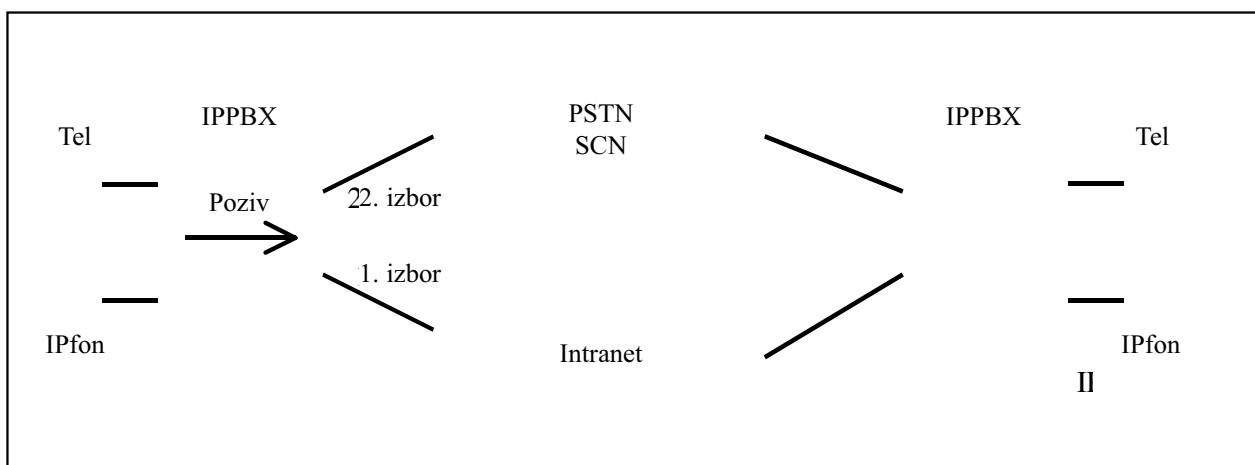
Veze se ostvaruju preko elektroprivrednih i kućnih centrala (EPBX) koje prvenstveno koriste EPS-ovu telefonsku mrežu (TMEPS). Upućivanje koristi obilazno upućivanje (1., 2. i 3. izbor) ali se veza može ostvariti i preko javne mreže (4. izbor).

Buduća mešovita SCN i IP korporacijska mreža EPS-a može izgledati kao na slici 9.

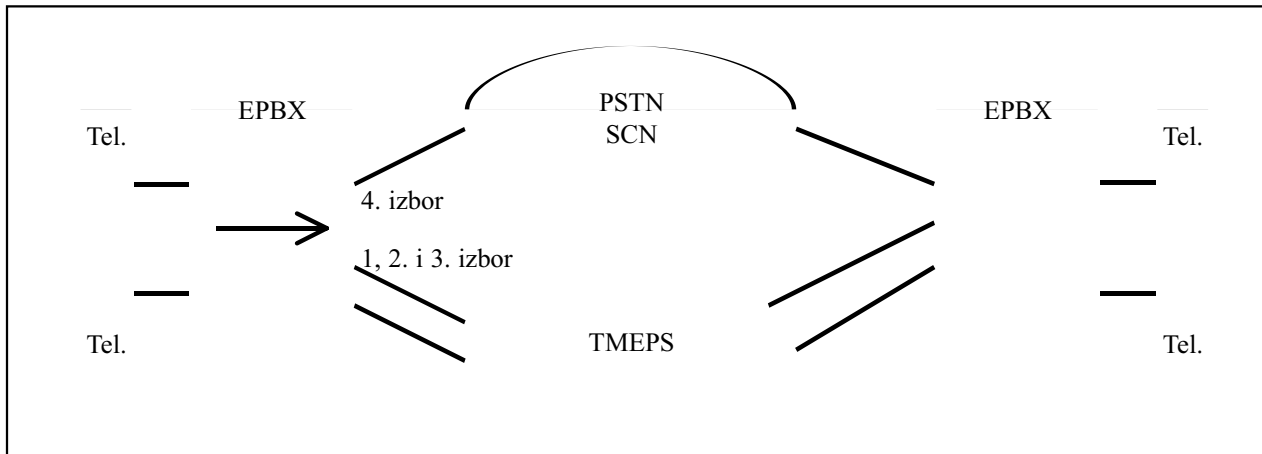
Veze bi se održavale preko tri mreže: digitalne TMEPS, Intraneta i javne PSTN. Jasno je da, kao i do sada, veze preko korporacijskih mreža TMEPS i Intraneta imaju prednost nad vezama preko PSTN. Podrazumeva se da su svi resursi povezani na načelu potpune dostupnosti tj. da svaki telefon (Tel, IPfon) može koristiti sve mrežne resurse



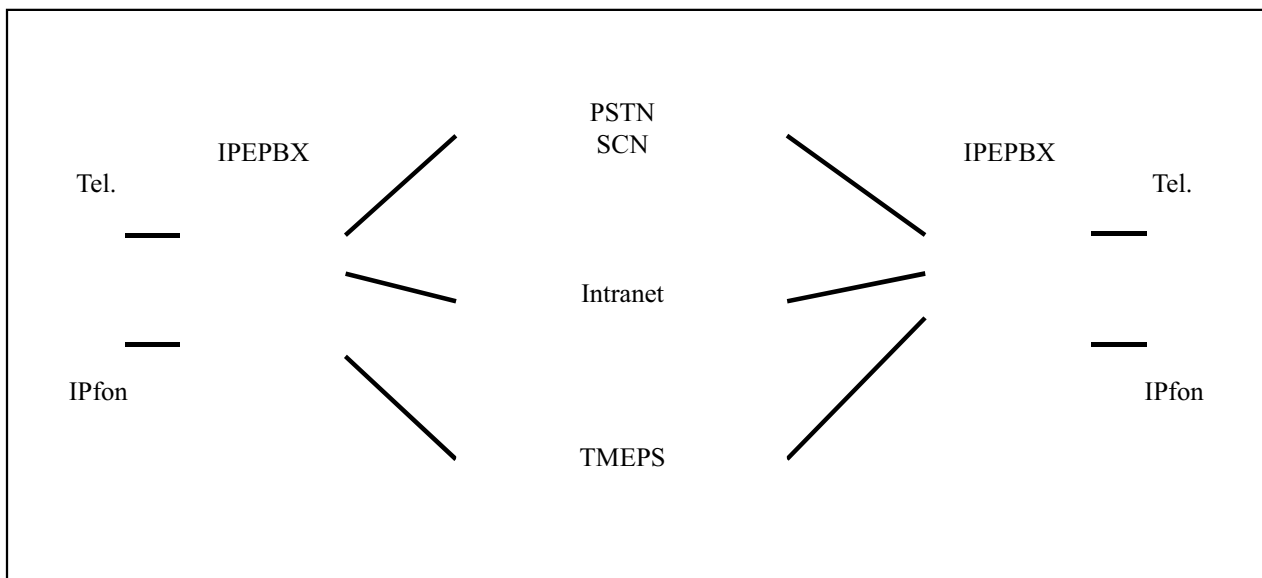
Slika 6. Jednostavna korporacijska mreža



Slika 7. Korporacijska mešovita mreža



Slika 8. EPS-ova SCN telefonska mreža



Slika 9. EPS-ova mešovita telefonska mreža

(TDM, IP) za ostvarenje veze. EPS-ova TDM i IP mreža su u tehnološkom smislu različite mreže ali u funkcionalnom smislu čine jednu mrežu.

Centrale IPEPBX su elektroprivredne centrale koje mogu da rade u IP korisničkom i mrežnom okruženju.

Ovakva mešovita mreža EPS-a bi imala sledeća svojstva.

1. Mrežna raspoloživost se uvećava. Jasno je da uvođenje još jedne mreže, pored raspoložive TMEPS, doprinosi povećanju ukupne mrežne raspoloživosti. Raspoloživost se može znatno uvećati u delovima mreže koji su zvezdastog oblika i u slučajevima perifernih objekata koji su sa mrežom povezani samo jednom (VF) vezom.
2. Broj tranzitiranja govornog signala je nepoznat. Mreža je jednoslojna i broj tranzita nije kontrolir-

san. Ova osobina je poznata i u postojećoj mreži jer obilazno upućivanje i nehijerarhijska mreža neminovno dovode do ovog svojstva.

3. Postupak tranzitiranja može biti trovrstni: TDM \leftrightarrow TDM, TDM \leftrightarrow IP, IP \leftrightarrow IP.
4. Broj konverzija oblika govornog signala TDM \leftrightarrow IP, koji se obavlja u tranzitnim centralama, može (ali ne mora) biti uvećan u polaznoj i/ili dolaznoj centrali.
5. Prelazak veze iz TDM oblasti u IP oblast i obrnuto (TDM \leftrightarrow IP) zahteva konverziju oblika govornog signala i konverziju signalizacije [1], slika 10. Na ovoj slici je prikazan slučaj sa samo jednim tranzitiranjem i tri konverzije. Jasno je da bi u posmatranoj EPS-ovoj mreži moglo biti i složenijih slučajeva.
6. Iz ovih osobina mreže slede dva važna zaključka:

Zbog nepoznatog broja konverzija govornog signala (TDM↔IP) govor se kroz IP mrežu mora prenositi u nekomprimovanom obliku. U suprotnom, kvalitet govornog signala na prijemu bi zavisio od broja konverzija što se ne sme dozvoliti.

Upućivanje u centralama mora da bude tako izvedeno da se broj konverzija TDM↔IP svede na najmanju meru. Ovo se ne sme uraditi deljenjem resursa i odvajanjem TDM saobraćaja od IP telefonskog saobraćaja. Jedno dobro pravilo je sledeće: jedan poziv se prvo nudi resursima iste vrste pa tek ako njih nema slobodnih, može promeniti mrežu. To, na primer, znači da se poziv koji *pođe* sa IPfona, nudi najpre resursima IP mreže i obrnuto. Poštujući ovo pravilo, veza sa slike 10. bi izgledala kao veza sa slike 11.

8. ZAKLJUČAK

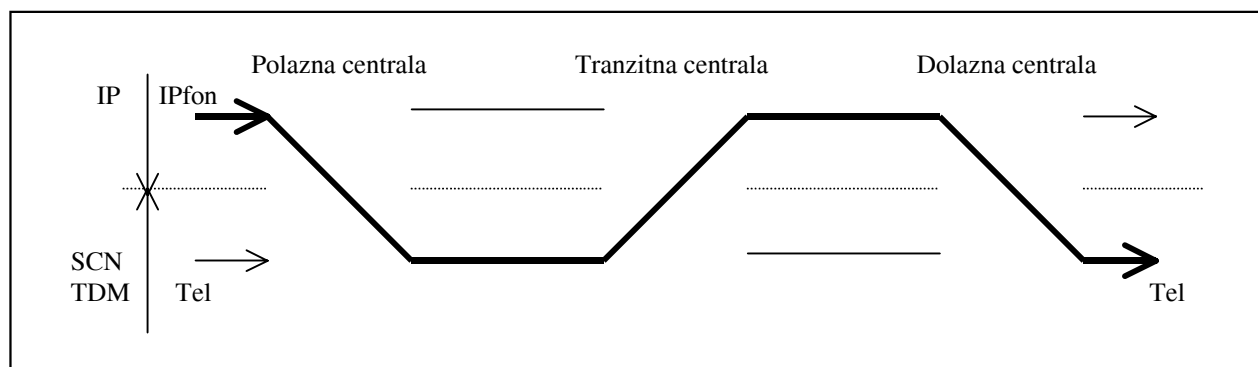
Korporacijsku računarsku mrežu EPS-a treba iskoristiti za izgradnju mešovite telefonske TDM - IP mreže. Načela izgradnje mešovite javne i korporacijske telefonske mreže se razlikuju jer se i svojstva i namene mreža razlikuju. Mešovita mreža će povećati raspoloživost ostvarivanja veza a naročito u njenim perifernim delovima. Jednoslojna struktura sadašnje klasične telefonske mreže je dobra osnova

za uvođenje mešovite TDM - IP mreže. Međutim, jednoslojna mreža ima svojstvo da je broj tranzitiranja signala nepoznat. Zbog toga se moraju primeniti tehnike koje će smanjiti broj konverzija signalizacije i govornog signala na putu kroz mešoviti TDM - IP mrežu.

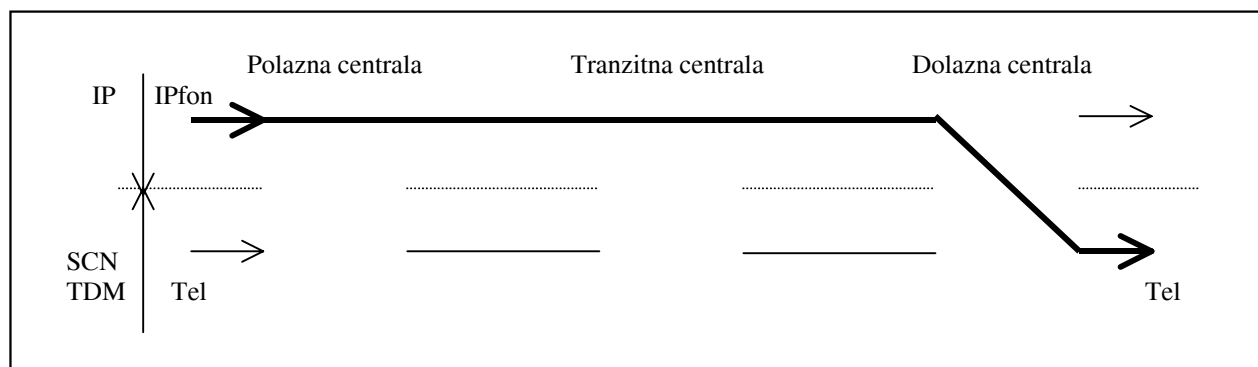
Napomena. Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu: TR6136, *Razvoj elemenata mreža nove generacije*. Sredstva za istraživanje na ovom projektu obezbedilo je Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

9. LITERATURA

- [1] Markov, Ž.: ŠTA ISDN TEHNIKA MOŽE DA DONESE TELEFONSKOJ MREŽI EPS-A, *Elektroprivreda* 4/2005
- [2] Markov, Ž.: ŠTA JE TO IP TELEFONIJA?, DTK EPS, 2004
- [3] ETSI TR101 300, TIPHON, Description of Technical Issues, 1999
- [4] Tehnički zahtevi za TC Beograd 2 u paketskoj tehnologiji sa IP/MPLS okosnicom, Telekom Srbija, 2004
- [5] IETF: Framework Architecture for Signaling Transport, RFC 2719



Slika 10. Moguća veza u mešovitoj mreži



Slika 11. Veza sa slike 10. sa najmanje SCN - IP prelaza

- [6] <http://www.artesyncp.com/resources/whitepapers/sigtran.html>
- [7] IETF: Media Gateway Control Protocol (MGCP), Version 1.0, RFC 3435 (informational)
- [8] IETF: Media Gateway Control, RFC 3015
- [9] IETF: Session Initiation Protocol, RFC 3261
- [10] ITU-T Recommendation Q.1912.5: Interworking between Session Initiation Protocol (SIP) and Bearer Independent Call Control protocol or ISDN User Part
- [11] IETF: Session Initiation Protocol for Telephones, RFC 3372

Rad je primljen u uredništvo 16. 02. 2006. godine



Žarko Markov rođen 1946. godine. Diplomirao 1969, magistrirao 1975. godine i doktorirao 1976. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Radi u Iritelu na razvoju i proizvodnji telefonskih centrala za elektroprivrednu telefonsku mrežu (videti: www.iritel.com/english/products/products.html). Autor nekoliko desetina radova objavljenih u zemlji i inostranstvu, od kojih se petnaestak odnosi na elektroprivrednu telefoniju. Učestvovao u izradi Tehničkih uslova za elektroprivredne telefonske centrale i u projektima digitalne telefonske mreže EPS-a. Objavio nekoliko knjiga i udžbenika. Ima naučno zvanje naučnog savetnika i nastavno zvanje vanrednog profesora. Dobitnik nagrade za elektroniku iz fonda „Prof. Branko Raković” za 1997. godinu.

Propisi iz oblasti metrologije

Stručni rad
UDK: 006.915.2;

1. UVOD

Ustavnom poveljom državne zajednice Srbija i Crna Gora utvrđeno je da Skupština Srbije i Crne Gore donosi zakone i druge akte koji se odnose na mere i dragocene metale. Zakonom za sprovođenje Ustavne povelje državne zajednice Srbija i Crna Gora utvrđeno je da zavod za mere i dragocene metale nastavlja sa radom i obavlja poslove iz svoje nadležnosti do definisanja njegovog konačnog statusa. Iz ovog sledi da postoji obaveza usklađivanja zakona i drugih akata koja se odnose na oblast metrologije.

Naša zemlja je ranije ratifikovala Metarsku konvenciju iz 1875. godine i Konvenciju o ustanovljenju Međunarodne organizacije za zakonsku metrologiju iz 1955. godine. Treba istaći da ratifikovane Konvencije predstavljaju deo našeg unutrašnjeg pravnog sistema i da se neposredno primenjuju na teritoriji državne zajednice Srbija i Crna Gora i da svi zakoni i podzakonski propisi moraju biti u skladu sa ovim konvencijama. Konvencije predstavljaju izvor prava koji je u hijerarhiji pravnih akata i pravnom sistemu naše zemlje iznad nacionalnog zakonodavstva.

Međunarodne organizacije u oblasti metrologije čija je članica i naša zemlja donose druge akte – standarde, preporuke i rezolucije, s tim što se ratifikovanjem konvencija naša zemlja obavezala da ove akte u najvećoj meri primenjuje, tako što će ih ugraditi u svoje propise i primenjivati u praksi.

Skupština Srbije i Crne Gore, na sednici održanoj 22. 10. 2005. godine, donela je Zakon o metrologiji kao *lex specialis* koji je objavljen u „Sl. listu SCG” u br. 44 za 2005. godinu. Ovaj zakon je stupio na snagu 30. oktobra 2005. godine, a primenjuje se

od 1. januara 2006. godine. Mada se u formalno-pravnom smislu radi o novom zakonu, Zakon o metrologiji je zadržao koncepciju Zakona o mernim jedinicama i merilima iz 1994. godine, ali je normativno manjeg obima u odnosu na prethodni zakon koji je imao ukupno 86 članova i šest priloga. Tendencija je da se novodonesenim zakonima normativa po svom obimu smanji po ugledu na slične propise u Evropskoj uniji. Zakonom o metrologiji uređen je sistem mernih jedinica i etalona Srbije i Crne Gore, overavanje merila, ovlašćivanje laboratorija, metrološka kontrola nad prethodno upakovanim proizvodima, važenje stranih znakova i dokumenata, metrološki nadzor, kao i nadležnost organizacije za metrologiju. Ovaj zakon ima 12 poglavlja sa 38 članova.

2. ZAKONSKE MERNE JEDINICE

Zakonske merne jedinice su merne jedinice koje su propisane ovim zakonom i njih čine: jedinice Međunarodnog sistema jedinica (Systeme International d’Unites u skraćenom obliku SI) i jedinice koje nisu obuhvaćene Međunarodnim sistemom jedinica, a koje su dozvoljene na osnovu ovog zakona, s tim što se umnoži i delovi mernih jedinica, nazivi predmetaka i njihove oznake propisuju u skladu sa preporukama CGPM (Conference generale des poids et mesures – Generalna konferencija za tegove i mere. Ovim zakonom Savet ministara je ovlašćen da propiše zakonske merne jedinice koje se koriste i način njihove upotrebe. U tom smislu Savet ministara je doneo Uredbu o zakonskim mernim jedinicama sa šest članova i jednom prilogom. Prema ovoj uredbi zakonske merne jedinice koje se moraju upotrebljavati za izražavanje veličina su date u prilogu 1. ove

uredbe i obavezno se koriste pri upotrebi merila, obavljanju merenja i pokazivanju veličina izraženih u mernim jedinicama u oblasti privrede, zdravlja, javne bezbednosti ili u administrativne svrhe. Ova uredba se ne odnosi na merne jedinice koje se upotrebljavaju u oblasti pomorskog, rečnog, vazdušnog i železničkog saobaraćaja, koje su različite od mernih jedinica čija je primena obavezna na osnovu ove uredbe, ukoliko je upotreba takvih jedinica utvrđena međunarodnim konvencijama i ugovorima koji obavezuju Srbiju i Crnu Goru. Ova uredba utvrdila je da način pisanja mernih jedinica mora biti u skladu sa standardima JUS ISO 31 i JUS ISO 1000.

Ova uredba dozvoljava upotrebu mernih jedinica koje nisu zakonske merne jedinice za proizvode i opremu koji se već nalaze na tržištu, odnosno u upotrebi su do stupanja na snagu iste (11. mart 2006. godine), kao i za komponente i delove proizvoda i opreme koji su neophodni za zamenu ili dopunu komponenata ili delova proizvoda i opreme koji se već nalaze na tržištu, odnosno u upotrebi su do dana stupanja na snagu ove uredbe.

Prilog uz ovu uredbu sadrži: zakonske merne jedinice, koje čine: SI jedinice i njihovi decimalni umnošci i delovi (osnovne jedinice SI, druge jedinice SI, predmeci i njihove oznake koji se koriste za označavanje određenih decimalnih umnožaka i delova, posebno dozvoljeni nazivi oznake decimalnih umnožaka i delova jedinica SI), jedinice definisane na osnovu jedinica SI koje nisu njihovi decimalni umnošci ni delovi jedinica, jedinice koje se koriste sa jedinicama SI čije su vrednosti u jedinicama SI dobijene eksperimentalno, jedinice i nazivi čija je upotreba dozvoljena samo u specifičnim oblastima i kombinovane merne jedinice. U prilogu su dati pregled važećih zakonskih jedinica koji čini sastavni deo ove uredbe (prilog 1) i pravila upotrebe i pisanja mernih jedinica i fizičkih veličina (prilog 2).

3. ORGANIZACIJA ZA METROLOGIJU I METROLOŠKI SAVET

U okviru svoje nadležnosti organizacija za metrologiju stara se o sistemu zakonskih mernih jedinica u Srbiji i Crnoj Gori i ostvaruje, čuva, održava i usavršava etalone Srbije i Crne Gore i obezbeđuje njihovo učešće u međunarodnim aktivnostima, obezbeđuje jedinstvo mera i metrološku sledivost koja predstavlja osobinu rezultata merenja ili vrednosti etalona pomoću kojih se etaloni mogu dovesti u vezu sa naznačenim referencama, nacionalnim ili međunarodnim etalonima, posredstvom neprekidnih lanaca poređenja, koja sva imaju naznačene merne nesigurnosti – nesigurnost se ne odnosi na laboratorije nego na rezultate merenja koje pojedine labora-

torije mogu da ostvare, videti Međunarodni rečnik osnovnih i opštih termina; daju stručno mišljenje za ovlašćivanje laboratorija za overavanje merila i predstavlja Srbiju i Crnu Goru u međunarodnim i regionalnim metrološkim organizacijama i uspostavlja saradnju u ovoj oblasti; sprovodi metrološku kontrolu; saraduje sa odgovarajućim inspekcijskim organima i obezbeđuje stručne osnove za merila i prethodno upakovane proizvode; vodi registar ovlašćenih laboratorija; obezbeđuje metrološke informacije iz ove oblasti zainteresovanim stranama; izdaje službeno glasilo i obavlja druge poslove iz oblasti metrologije.

U skladu sa Uredbom o obrazovanju ministarstava, organizacija i službi Saveta ministara, Ministarstvo za unutrašnje ekonomske odnose obavlja poslove koji se odnose na mere i dragocene metale. Ovom uredbom, a u okviru ovog ministarstva je Zavod za mere i dragocene metale koji predstavlja organizaciju za metrologiju (u daljem tekstu: Zavod) koja, prema ovom zakonu ima organizacione jedinice na teritorijama država članica.

Ministar za unutrašnje ekonomske odnose, u skladu sa ovlašćenjima iz ovog zakona, osniva Metrološki savet kao stručno savetodavno telo i imenuje njegove članove. Metrološki savet predlaže strategiju razvoja u ovoj oblasti, naučne i obrazovne aktivnosti, prioritete u naučnim istraživačko-razvojnim projektima i druge aktivnosti u oblasti metrologije. Ministar za unutrašnje ekonomske odnose je trebalo da svojim aktom osnuje Metrološki savet do 30. aprila 2006. godine, međutim ovaj savet još uvek nije osnovan.

4. ETALONI

Pod etalonom se podrazumeva materijalizovana mera, merilo, referentni materijal ili merni sistem namenjen da definiše, ostvari, čuva ili reprodukuje jedinicu ili jednu vrednost ili više vrednosti jedne veličine, tako da služi kao referenca. Etaloniranje predstavlja skup postupaka kojima se, u određenim uslovima, uspostavlja odnos između vrednosti veličina koje pokazuju merilo ili merni sistem, ili vrednosti koje predstavlja materijalizovana mera ili referentni materijal, s jedne strane i odgovarajućih vrednosti ostvarenih etalonima, s druge strane.

Zavod za mere i dragocene metale ostvaruje, čuva i održava etalone Srbije i Crne Gore i obezbeđuje njihovu sledivost do međunarodnog nivoa. Ukoliko primarni etaloni ostvaruju zakonske merne jedinice, oni se obavezno i redovno porede s nacionalnim primarnim etalonima drugih država, odnosno međunarodnim primarnim etalonima. Međutim, ako se za neke veličine ne održavaju primarni etaloni Srbije i

Crne Gore, ti etaloni moraju biti sledivi do realizacije definicije jedinica ili do primarnih etalona drugih država koji su obuhvaćeni Aranžmanom o međusobnom priznanju nacionalnih etalona i uverenja o etaloniranju i merenju koja izdaju nacionalni metrološki instituti ili međunarodnim primarnim etalonima.

5. MERILA

Pod merilom se podrazumeva uređaj namenjen za merenje sam ili u sastavu sa dodatnim uređajem. Ocenjivanje usaglašenosti merila predstavlja ispitivanje i procenjivanje merila sa ciljem da se utvrdi da li je pojedinačno merilo, partija merila ili proizvedena serija merila usklađena s propisanim zahtevima koji se primenjuju na ovaj tip merila, s tim što ocenjivanje usaglašenosti i merila obuhvata odobrenje tipa merila i overavanje merila.

Merila koja se stavljaju na tržište, odnosno u upotrebu moraju zaštititi interese pojedinaca i pravnih lica, zdravlje i bezbednost ljudi, životinja, kao i životne sredine i ne smeju da budu prepreke u međunarodnoj trgovini.

Odobrenje tipa merila predstavlja odluku zasnovanu na izveštaju o ocenjivanju, tako da se očekuje da daje pouzdane rezultate merenja u određenom periodu. Postupak koji obuhvata pregled i žigosanje, odnosno izdavanje uverenja o overavanju predstavlja overavanje merila, a pri tome se obavezno konstatuje i potvrđuje da je merilo usklađeno sa zakonom propisanim zahtevima.

Ovlašćena laboratorija je laboratorija koja obavlja poslove overavanja merila i to: prvog overavanja merila kad nije prethodno overavano, ponovnog overavanja posle prethodnog overavanja, koje uključuje obavezno periodično overavanje i overavanje posle popravke, kao i obaveznog ponovnog overavanja koje se periodično obavlja po propisanom postupku i u određenim rokovima.

Merilo se stavlja na tržište ili upotrebu samo ako je na propisan način žigosano, odnosno ako je za njega izdato uverenje o odobrenju tipa merila. U roku do 30. juna 2006. godine Zavod treba da propiše vrste i načine označavanja merila, vrste i oblike žigova i drugih znakova koji se upotrebljavaju, sadržaj i oblik uverenja i odobrenja tipa merila i uverenje o overavanju merila, kao i način prestanka važenja žiga i uverenja o overavanju merila.

U roku do 31. decembra 2010. godine Zavod takođe treba da propiše metrološke zahteve koje merila moraju ispunjavati, uključujući i postupke za ocenjivanje usaglašenosti merila s metrološkim zahtevima. Ovi propisi moraju biti zasnovani na sledećim principima: da se primenjuju metrološki zahtevi iz odgovarajućih međunarodnih i evropskih organiza-

cija, da metrološki zahtevi i postupci ne stvaraju nepotrebne prepreke u trgovini i da se merila iz zemlje s kojom je potpisan odgovarajući međunarodni sporazum primenjuju isti postupci, kao i na merila domaćeg porekla ili merila koja potiču iz druge zemlje.

U istom roku do 30. oktobra 2006. godine Zavod treba da propiše vrste merila za koje je obavezno overavanje, odnosno odobrenje tipa merila.

Na zahtev domaćeg proizvođača, uvoznika ili ovlašćenog zastupnika stranog proizvođača merila Zavod odobrava tip merila, s tim što merila i rezultati njihovog merenja moraju biti sledivi do etalona Srbije i Crne Gore ili do nacionalnih etalona drugih država ili do međunarodnih etalona.

Zavod i ovlašćena laboratorija vrše overavanje merila, s tim što Zavod posebnim propisom uređuje način overavanja merila i uslove za overavanje merila.

Domaći proizvođač, uvoznik ili ovlašćeni zastupnik stranog proizvođača je obavezan da podnese merilo na prvo overavanje, a ponovnom overavanju podležu merila koja su u upotrebi. Ukoliko Zavod utvrdi da merilo ne ispunjava propisane metrološke zahteve doneće rešenje kojim se odbija overavanje, odnosno odobrenje merila. Protiv ovog rešenja može se izjaviti žalba Ministrastvu za unutrašnje ekonomske odnose koja ne zadržava izvršenje rešenja.

6. OVLAŠĆENA LABORATORIJA

Ministar za unutrašnje ekonomske poslove svojim rešenjem ovlašćuje laboratoriju za poslove etaloniranja i overavanja merila na osnovu stručnog mišljenja Zavoda. Savet ministara doneće poseban propis u vezi sa ovlašćivanjem laboratorija i zahtevima koje moraju ispunjavati u roku do 30. oktobra 2006. godine.

Prilikom potvrđivanja osposobljenosti ovlašćenih laboratorija može da se uzme u obzir ocena tehničke kompetentnosti iz postupka akreditacije, u skladu sa Zakonom o akreditaciji ili drugog podjednako važnog postupka.

Zavod vrši nadzor nad radom ovlašćenih laboratorija, a Ministar za unutrašnje ekonomske odnose je dužan da propiše način vršenja nadzora u roku do 30. aprila 2006. godine. Međutim, ovaj propis još nije donesen.

Kada Zavod utvrdi da ovlašćena laboratorija ne radi u skladu sa propisima Zavod donosi rešenje kojim određuje rok u kome se moraju otkloniti utvrđene nepravilnosti. Ako ovlašćena laboratorija ne otkloni utvrđene nepravilnosti, Zavod će predložiti Ministru za unutrašnje ekonomske odnose da ukine svoje rešenje o ovlašćivanju. Ovo rešenje je konačno, a ta laboratorija se briše iz registra ovlašćenih laboratorija.

Kad ovlašćena laboratorija prilikom pregleda merila utvrdi da merilo ne ispunjava propisane metrološke zahteve ili nije podesno za nameravanu upotrebu doneće rešenje kojim se odbija overavanje, odnosno odobrenje merila. Protiv ovog rešenja može se izjaviti žalba Ministarstvu za unutrašnje ekonomske odnose koja ne zadržava izvršenje rešenja.

Ovim zakonom je utvrđeno da u Srbiji i Crnoj Gori važe uverenja o odobrenju tipa merila i uverenja o overavanju merila, odnosno žigovi i drugi znaci, u skladu sa međunarodnim ugovorima koji obavezuju Srbiju i Crnu Goru.

7. PRETHODNO UPAKOVANI PROIZVODI

Pod prethodno upakovanim proizvodima podrazumevaju se proizvodi koji su upakovani bez prisustva kupca. Količina tih proizvoda ne može se promeniti bez otvaranja, pri čemu nastaje vidno oštećenje ili bez promene pakovanja proizvoda.

Zavod propisuje metrološke zahteve koje moraju da ispune količine prethodno upakovanih proizvoda i način označavanja količine, kao i dozvoljena odstupanja stvarnih količina od označenih nazivnih količina prethodno upakovanih proizvoda. Rok za donošenje ovih propisa je do 30. oktobra 2006. godine.

Prethodno upakovani proizvodi mogu se staviti na tržište samo pod uslovom da je njihova nazivna količina označena tačno, jasno i nedvosmisleno i pod uslovom da se njihova stvarna količina nalazi u okviru dozvoljenog odstupanja od označene nazivne količine.

8. METROLOŠKI NADZOR

Metrološka kontrola obuhvata sve aktivnosti u vezi sa zakonskom metrologijom koja obuhvata zakonsku kontrolu merila, metrološki nadzor i metrološku ekspertizu.

Metrološki nadzor obuhvata nadzor nad prometom, uvozom, ugradnjom, upotrebom, održavanjem i popravkom merila i obavlja se sa ciljem da se proveri da li se merila upotrebljavaju u skladu sa zakonom i podzakonskim aktima iz oblasti metrologije, kao i da se proveri tačnost količina naznačenih i sadržanih u prethodno upakovanim proizvodima. Ministar za unutrašnje ekonomske odnose je dužan da propiše način vršenja nadzora u roku do 30. aprila 2006. godine, međutim propis još nije donesen.

Privredno društvo, preduzeće, drugo pravno lice, preduzetnik i drugo fizičko lice koji raspolažu merilima koja prema ovom zakonu podležu overavanju, obavezni su da omoguće nesmetano vršenje metrološkog nadzora i da pruže tražene i potrebne podatke. Ovlašćeno lice Zavoda vrši metrološki nad-

zor, s tim što ovlašćeno lice mora da poseduje službenu legitimaciju čiji sadržaj i oblik utvrđuje posebnim propisom Ministar za unutrašnje ekonomske odnose.

Kad ovlašćeno lice u vršenju nadzora utvrdi da su povređeni propisi iz oblasti metrologije Zavod donosi rešenje kojim se privremeno zabranjuje upotreba merila ili njegovo stavljanje na tržište. Ova privremena mera, Zakon o metrologiji član 23, pasusi 1 i 2 traje do overavanja merila. Kada ovlašćeno lice utvrdi da overa merila nije moguća, Zavod donosi rešenje o trajnoj zabrani upotrebe merila ili njegovog stavljanja na tržište. Protiv ovog rešenja može se izjaviti žalba Ministarstvu za unutrašnje ekonomske odnose koja ne zadržava izvršenje rešenja.

9. NAKNADE

Podnosilac zahteva (pravno ili fizičko lice) snosi troškove odobrenja tipa merila, overavanja merila, utvrđivanja ispunjenosti zahteva za ovlašćivanje laboratorija i obavljanje drugih poslova u oblasti metrologije.

Zavod propisuje posebni aktom visinu i način plaćanja naknade za pokriće ovih troškova.

10. PRIVREDNI PRESTUPI I PREKRŠAJI

Prema zakonskoj definiciji privredni prestup je vrsta delikta koja predstavlja društveno štetnu povredu propisa o privrednom i finansijskom poslovanju, učinjenu od pravnog lica i odgovornog lica tog pravnog lica, koja prouzrokuje teže posledice ili može prouzrokovati teže posledice, pod uslovom da je zakonom utvrđena kao privredni prestup i za koji je predviđena kazna.

Prema zakonskoj definiciji prekršaj je vrsta delikta koja predstavlja protivpravno skrivljenu izvršenu radnju koja je zakonom i drugim propisima utvrđena kao prekršaj i za koji je predviđena kazna.

Za vođenje postupka i izricanje kazni za privredni prestup nadležni su sudovi, a za prekršaje organi za prekršaje država članica, u skladu sa zakonima država članica. Što se tiče visine novčanih kazni za privredne prestupe i prekršaje one se utvrđuju propisima država članica.

Za privredni prestup, u skladu sa ovim zakonom, kazniće se novčanom kaznom privredno društvo, preduzeće i drugo pravno lice u sledećim slučajevima: ako upotrebljava merne jedinice koje nisu propisane ovim zakonom ili podzakonskim aktima donesenim na osnovu ovog zakona; ako stavi na tržište ili u upotrebu ili drži spremnjeno za tržište merilo koje nije ni overeno ni žigosano ili za koje nije izdato uverenje o odobrenju tipa merila; ako stavi na

tržište ili drži spremljene za tržište prethodno upakovane proizvode čija nazivna količina nije označena tačno, jasno i nedvosmisleno ili stavi na tržište prethodno upakovane proizvode čija se stvarna količina ne nalazi u okviru dozvoljenog odstupanja od označene nazivne količine; ako stavi na tržište prethodno upakovane proizvode za koje postoji zabrana stavljanja na tržište ili kod kojih nisu otklonjene utvrđene nepravilnosti u označavanju količine prethodno upakovanih proizvoda. Za navedene radnje kazniće se za privredni prestup novčanom kaznom i odgovorno lice u privrednom društvu, preduzeću ili drugom pravnom licu.

U slučaju da neke od navedenih radnji učini preduzetnik ili drugo fizičko lice kazniće se za prekršaj novčanom kaznom.

Za prekršaj, u skladu sa ovim zakonom, kazniće se novčanom kaznom privredno društvo, preduzeće ili drugo pravno lice, preduzetnik ili drugo fizičko lice u sledećim slučajevima: ako ne obezbedi ponovno overavanje merila, ako ne omogući nesmetano vršenje metrološkog nadzora ili ne pruži podatke potrebne za vršenje metrološkog nadzora, ako stavi na tržište ili upotrebi merilo za koje je propisana zabrana stavljanja na tržište i njegova upotreba. Za navedene radnje kazniće se za prekršaj novčanom kaznom i odgovorno lice u pravnom licu.

11. PODZAKONSKI PROPISI

Mali broj odredaba ovog zakona se mogu neposredno primenjivati, a veći broj odredaba upućuje na uređivanje određenih pitanja podzakonskim propisima. Podzakonski akti koji se donose u izvršenju ovog zakona različiti su po donosiocu i postupku donošenja, i po svojstvima i nazivu. Podzakonski akti su veoma brojni, preko pet stotina, i njima se bliže razrađuju odredbe ovog zakona. Podzakonski akti moraju biti u skladu sa ovim zakonom, za njihovo donošenje mora postojati izričito ovlašćenje u ovom zakonu, s tim što se donose po jednostavnijoj proceduri i obavezno se objavljuju u „Službenom listu Srbije i Crne Gore” ili glasilu Zavoda.

Podzakonske propise donose izvršni organi vlasti – Savet ministara, ministar za unutrašnje ekonomske odnose i direktor Zavoda. Ovim propisima se regulišu stručno-tehnička pitanja do kojih se stiglo na osnovu naučnih saznanja i imaju razne nazive: uredba, pravilnik, naredba, odluka, rešenje, uputstvo, tarife i dr.

12. PRELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE

Pored rokova za donošenje pojedinih podzakonskih akata koji su utvrđeni i navedeni u prethod-

nom izlaganju, ovim zakonom je utvrđeno da rešenja, uverenja i žigovi na merilima koji su izdati do dana stupanja na snagu ovog zakona (30. oktobra 2005. godine) ostaju na snazi do dana isteka roka važnosti.

Akreditovane laboratorije za pregled radnih etalona, merila ili uzoraka referentnih materijala koje su akreditovane po Zakonu o mernim jedinicama i merilima („Sl. list SRJ”, br. 80/94, 83/94, 28/96 i 12/98) nastavljaju rad do 30. juna 2006. godine.

Ovim zakonom je utvrđeno da sa 1. januarom 2006. godine prestaje da važi Zakon o mernim jedinicama i merilima iz 1994. godine sa izmenama i dopunama.

13. ZAKLJUČAK

S obzirom da su rokovi za usaglašavanje i donošenje podzakonskih propisa u toku, s jedne strane i da je sproveden referendum u Crnoj Gori 21. maja 2006. godine o istupanju iz državne zajednice Srbija i Crna Gora prema čijim zvaničnim preliminarnim rezultatima referendum je uspeo u korist istupanja i nezavisnosti Crne Gore, to sledi da će Crna Gora kao suverena država biti u obavezi da donese svoj zakon i podzakonska akta u oblasti metrologije, a da će Srbija kao suverena država i pravni sledbenik državne zajednice Srbija i Crna Gora biti u obavezi da izvrši neophodna usklađivanja zakona i drugih propisa u oblasti metrologije.

PRIOLOG 1.

ZAKONSKE MERNE JEDINICE

1. SI JEDINICE I NJIHOVI DECIMALNI UMNOŠCI I DELOVI

1.1 Osnovne jedinice SI

Veličina	Osnovna jedinica SI	
	Naziv	Oznaka
dužina	metar	m
masa	kilogram	kg
vreme	sekunda*	s
električna struja	amper	A
termodinamička temperatura	kelvin	K
količina gradiva (supstancije)	mol	mol
svetlosna jačina (jačina svetlosti)	kandela	cd
*„Dozvoljena je upotreba i naziva sekund”		

DEFINICIJE OSNOVNIH MERA SI

Jedinica dužine je metar. Metar je dužina putanje koju u vakuumu pređe svetlost za vreme od $1/299\,792\,458$ sekundi. (17. zasedanje CGPM 1983, Rezolucija 1).

Jedinica mase je kilogram. **Kilogram** je jednak masi međunarodnog prototipa kilograma. (3. zasedanje CGPM 1901).

Kilogram je jedina osnovna jedinica koja nije redefinisana u vezi sa nemenjajućim prirodnim fenomenom. Međutim, na sastanku Kraljevskog društva u Londonu, 15. februara 2005, naučnici su istakli da masa standardnog kilograma u Parizu treba da bude zamenjena kao zvanična definicija korišćenjem „nepromenljive osobine prirode” (umesto materijalnog predmeta čija masa može blago da se promeni), ali odluke o redefiniciji ne mogu da budu donesene pre 2007. godine.

Jedinica vremena je sekunda. **Sekunda** je trajanje od $9\,192\,631\,770$ perioda zračenja koje odgovara prelazu između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja atoma cezijuma 133. (13. zasedanje CGPM 1967, Rezolucija 1).

Jedinica električne struje je amper. **Amper** je stalna električna struja koja bi, kada bi se održavala u dva prava paralelna provodnika, neograničene dužine i zanemarljivo malog kružnog poprečnog preseka, koji se nalazi u vakuumu na međusobnom rastojanju od jednog metra, prouzrokovala među tim provodnicima silu jednaku $2 \cdot 10^{-7}$ njutna po metru dužine. CIPM (1946), rezolucija 2 odobrena na 9. zasedanju CGPM (1948).

Jedinica termodinamičke temperature je kelvin. **Kelvin** je termodinamička temperatura koja je jednaka $1/273,16$ termodinamičke temperature trojne tačke vode. (13. zasedanje CGPM 1967, Rezolucija 4).

Jedinica količine gradiva (supstancije) je mol. **Mol** je količina gradiva (supstancije) sistema koji sadrži toliko elementarnih jedinica koliko ima atoma u $0,012$ kg ugljenika ^{12}C .

Kada se upotrebljava mol, navode se elementarne jedinice koje mogu biti atomi, molekuli, joni, elektroni i druge čestice ili određene skupine tih čestica. (14. zasedanje CGPM 1971, Rezolucija 3).

Jedinica svetlosne jačine (jačina svetlosti) je kandela. **Kandela** je svetlosna jačina (jačine svetlosti), u određenom pravcu, izvora koji emituje monohromatsko zračenje frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ herca i

čija je jačina zračenja u tom pravcu $1/683$ vata po steradianu. (16. zasedanje CGPM 1979, Rezolucija 3).

1.1.1. Posebno ime i oznaka jedinice SI za temperaturu za izražavanje Celzijusove temperature

Veličina	Jedinica	
	naziv	oznaka
Celzijusova temperatura	stepen Celzijusa	°C

Celzijusova temperatura je definisana kao razlika dve termodinamičke temperature T i T_0 ($t = T - T_0$) gde je $T_0 = 273,15$ K. Temperaturni interval ili razlika temperatura može se izraziti i u stepenima Celzijusa.

1.2 Druge jedinice SI

1.2.1 Izvedene jedinice SI

Jedinice koje su koherentno izvedene iz osnovnih jedinica SI date su kao algebarski izrazi u obliku proizvoda stepenovanih osnovnih jedinica SI.

Jedinica ugla u ravni je radijan. **Radijan** je ugao u ravni između dva poluprečnika kruga koji na njegovom obimu isecaju luk dužine jednake poluprečniku ($1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$). (20. zasedanje CGPM 1995).

Jedinica prostornog ugla je steradian. **Steradian** je prostorni ugao sa temenom u središtu lopte, koji na površini lopte zahvata površinu jednaku površini kvadrata određenog poluprečnikom te lopte ($1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2 / \text{m}^2 = 1$).

Izvedene jedinice SI posebno se mogu izraziti posebnim nazivima i oznakama datim u tabeli 1.2.2. Na primer, SI jedinica za dinamičku viskoznost može se izraziti kao $\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ili $\text{m}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{N}$ ili $\text{s} \cdot \text{Pa}$.

1.3. Predmeci i njihove oznake koji se koriste za označavanje određenih decimalnih umnožaka i delova

Nazivi i oznake decimalnih umnožaka i delova jedinice mase obrazuju se stavljanjem predmetaka ispred naziva „gram” i njihovih oznaka ispred oznake „g”.

Ako je izvedena jedinica izražena u obliku količnika, njeni decimalni umnošci ili delovi se mogu odrediti pridodavanjem predmetka jedinici u brojiocu ili imeniocu, ili u oba.

1.2.2 Izvedene jedinice SI sa posebnim nazivima i oznakama

Veličina	Jedinica		Izraženo	
	Naziv	Oznaka	drugim jedinica SI	osnovnim jedinica SI
frekvencija	herc	Hz		s^{-1}
sila	njutn	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pritisak, naprezanje	paskal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energija, rad, količina toplote	džul	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
snaga ¹ , fluks zračenja	vat	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
naelektrisanje, količina elektriciteta	kulon	C		$s \cdot A$
električni potencijal, razlika električnog potencijala, napon, elektromotorna sila	volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
električna otpornost	om	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
električna kapacitivnost	farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
električna provodnost	simens	S	A/V	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetski fluks	veber	Wb	$V \cdot s \cdot m^2$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetska indukcija	tesla	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
induktivnost	henri	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
svetlosni fluks	lumen	lm	cd·sr	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
osvetljenost	luks	lx	lm/m ²	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
aktivnost radioaktivnog izvora	bekerel	Bq		s^{-1}
apsorbovana doza (jonizujućeg zračenja), specifična predmeta energija, kerma	grej	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
ekvivalentna doza	sivert	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
katalitička aktivnost	katal	kat		$s^{-1} \cdot mol$
ugao u ravni ²	radijan	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$
prostorni ugao ²	steradian	sr		$M^2 \cdot m^{-2} = 1$

1 Posebni nazivi za jedinicu snage su: volt-amper (oznaka VA) koja se koristi za izražavanje prividne snage naizmenične električne struje i „var“ (oznaka var) koja se koristi za izražavanje reaktivne električne snage.

2 Jedinica ugla u ravni i jedinica prostornog ugla su izvedene jedinice (bezdimezione).

Upotreba kombinovanih predmetaka, odnosno predmetaka obrazovanih stavljanjem jedno uz drugo nekoliko gore navedenih predmetaka, nije dozvoljena.

1.4. Posebno dozvoljeni nazivi i oznake decimalnih umnožaka i delova jedinica SI

Veličina	Jedinica		
	Naziv	Oznaka	Vrednost
zapremina	litar	l ili L*	1 l = 1 L = $10^{-3} m^3$
masa	tona	t	1 t = 1 Mg = $10^3 kg$
pritisak	bar	bar	1 bar = $10^5 Pa$

* Dve znake „l“ ili „L“ se ravnopravno mogu koristiti za jedinicu litar. (16. sednica CGPM 1979, odluka 6).

Faktor	Predmetak	Oznaka
10^{24}	jota	Y
10^{21}	zeta	Z
10^{18}	eksa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	ato	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	jokto	y

Predmeci i njihove oznake, navedeni u tabeli u 1.3, mogu se upotrebljavati zajedno sa jedinicama i oznakama iz tabele u 1.4.

2. JEDINICE DEFINISANE NA OSNOVU JEDINICA SI ALI NISU NI NJIHOVI DECIMALNI UMNOŠCI NI DELOVI

Veličina	Jedinica		
	Naziv	Oznaka	Vrednost
ugao u ravni	obrt*		1 obrt = 2π rad
	grad, gon	gon	1 gon = $\pi / 200$ rad
	stepen (ugaoni)	°	1° = $\pi / 180$ rad
	minuta (ugaona)	'	1' = $\pi / 10\ 800$ rad
	sekunda (ugaona)	''	1'' = $\pi / 648\ 000$ rad
vreme	minuta	min	1 min = 60 s
	sat, čas	h	1 h = 3 600 s
	dan	d	1 d = 86 400 s

* Međunarodna oznaka ne postoji.

Predmeci navedeni u tabeli u 1.3, jedino se mogu upotrebljavati uz nazive „grad” i „gon” i oznaku „gon”.

3. JEDINICE KOJE SE KORISTE SA JEDINICAMA SI, A ČIJE SU VREDNOSTI U JEDINICAMA SI ČIJE SU VREDNOSTI DOBIJENE EKSPERIMENTALNO

Veličina	Jedinica		
	Naziv	Oznaka	Vrednost
energija	elektronvolt	eV	Elektronvolt je kinetička energija koju primi elektron pri prolazu kroz polje potencijalne razlike od 1 V u vakuumu
masa	unificirana jedinica atomske mase	u	unificirana jedinica atomske mase jednaka je 1/12 mase atoma ^{12}C

Predmeci i njihove oznake, navedeni u tabeli u 1.3, mogu se upotrebljavati zajedno sa ovim dvema jedinicama i oznakama iz tabele navedene u 3.

4. JEDINICE I NAZIVI ČIJA JE UPOTREBA DOZVOLJENA SAMO U SPECIFIČNIM OBLASTIMA

Predmeci i njihove oznake navedeni u tabeli u 1.3, mogu se upotrebljavati zajedno sa jedinicama i

Veličina	Jedinica		
	Naziv	Oznaka	Vrednost
jačina optičkih sistema	dioptriya		1 dioptriya = 1 m^{-1}
masa dragog kamenja	karat		1 karat = $2 \cdot 10^{-4}$ kg
površina zemljišta	ar hektar	a ha	1 a = 100 m^2 1 ha = 10^4 m^2
dužinska masa tekstilnog vlakna i konca	teks	tex	1 tex = $10^{-6}\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$
krvni pritiska i pritisak drugih telesnih tečnosti	milimetar živinog stuba	mmHg	1 mm Hg = 133 322 Pa
površina efektivnog preseka	barn	b	1 b = 10^{-28} m^2

oznakama iz tabele navedene u 4, izuzev jedinice milimetar živinog stuba i njene oznake.

5. KOMBINOVANE MERNE JEDINICE

Kombinacijom mernih jedinica iz ovog priloga obrazuju se kombinovane merne jedinice.

PRILOG 2.

Pravila upotrebe i pisanja mernih jedinica i fizičkih veličina

Često možemo videti da se upotreba mernih jedinica ne poštuje, pa je dobro da se podsetimo kako se pravilno pišu merne jedinice primenom standarda JUS ISO 31 i JUS ISO 1000.

Oznake mernih jedinica pišu se iza numeričkih vrednosti u izrazima za veličinu, ostavljajući razmak između numeričke vrednosti i oznake merne jedinice. Razmak se ne ostavlja ispred jedinica za ugao u ravni koje se pišu kao eksponent: stepen, minuta i sekunda.

U novi red ne sme se preneti samo oznaka merne jedinice.

Oznake mernih jedinica mogu se upotrebiti i u zaglavlju tabele i ako ne slede numeričku vrednost.

Oznake mernih jedinica, po pravilu, pišu se malim uspravnim slovima latinice i slovima grčke azbuke, ali ako je oznaka jedinice izvedena iz ličnog imena, prvo slovo piše se velikim slovom (osim var).

Puni nazivi mernih jedinica pišu se malim početnim slovom (osim na početku rečenice) čak i za jedinice koje su dobile naziv po prezimenima čuvenih svetskih naučnika.

Izuzetak je litar, čija je zvanična skraćena „L”. Često se koristi, „l” ali je zamenjeno jer previše liči na „1”.

Oznake mernih jedinica ne menjaju se u množini, niti po padežima.

Nazivi mernih jedinica podležu pravilima jezika – imaju i množinu i padežnu promenu.

Naziv predmetka SI i naziv merne jedinice pišu se zajedno kao jedna reč.

Simboli nemaju tačku (.) na kraju osim na kraju rečenice.

Poželjnije je da se simboli pišu rimski uspravno (m za metre, L za litre), da bi se razlikovali od kurzivnih slova korišćenih za matematičke promenljive (m za masu, l za dužinu).

Razmaci treba da se koriste za grupisanje cifara u trojke, npr. 1 000 000 ili 342 142 (nasuprot zarezima i tačkama koji se koriste u drugim sistemima, npr. 1,000,000 ili 1.000.000).

U engleskom jeziku decimalni simbol treba da se piše kao tačka, tj. broj „dvadeset četiri koma pedeset jedan” treba da se napiše kao „24.51”. U svim ostalim jezicima koristi se zarez (tj. „24,51”).

Simboli za izvedene jedinice formirane od više jedinica množenjem se spajaju razmakom ili srednjom tačkom (·), npr. N m ili N m.

Simboli formirani deljenjem dve jedinice spojeni su znakom „kroz” (/) ili imaju negativan eksponent. Na primer, „metar u sekundi” može da se piše „m/s”, „m s⁻¹”, „m s⁻¹” ili m/s. Znak „kroz” ne bi trebalo da se koristi kada je rezultat dvosmislen, tj. „kg m⁻¹ s⁻²” je prikladnije nego „kg/m/s²”.

Tačka se može izostaviti kad je oznaka merne jedinice takva da ne može nastati zabuna.

Kada jedna od dveju pomnoženih jedinica ima oznaku koja je ista kao i oznaka nekog predmetka, mora se upotrebiti razmak, pravilan redosled (jedinica koja ima istu oznaku kao i neki predmetak piše se na kraju) ili, još bolje, tačka kao simbol množenja.

Uz oznaku merne jedinice ne daju se posebne oznake u cilju dodatnog podatka o prirodi veličine ili o merenju koje se razmatra. Na primer: ako izraz treba da znači da je dužina aluminijumske šipke 30 cm piše se

$$l_{Al} = 30 \text{ cm, a pogrešno je } l = 30 \text{ cm}_{Al}$$

Opseg vrednosti, više vrednosti, mere i tolerancije pišu se prema sledećim primerima:

Pravilno:	Pogrešno:
25 °C ± 5 °C, (25 ± 5) °C	25 ± 5 °C
2 kg, 3 kg i 4 kg	2, 3 i 4 kg
80 mm □ 25 mm □ 50 mm	80 □ 25 □ 50 mm
20 kg do 30 kg	20 – 30 kg
	izbegavati: 20 kg – 30 kg

Oznake veličina su, po pravilu, slova latinskog ili grčkog alfabeta, koja ponekad mogu imati indeks. Ove oznake pišu se kurzivom (kosa slova, „italik”), bez obzira na tip slova upotrebljen u ostatku teksta. Iza oznake veličine ne stavlja se tačka, izuzev pri normalnoj interpunkciji, tj. na kraju rečenice.

Indeks koji predstavlja oznaku veličine piše se kurzivom. Svi ostali indeksi pišu se uspravnim slovima, odnosno brojevima.

Primeri: podužna električna otpornost (ρ_l), minimalna električna otpornost (ρ_{\min}), zapremina prve posude (V_1).

Nazivi mernih jedinica mogu se pisati i ćirilicom ili bilo kojim drugim pismom kojim je pisan ostali deo teksta.

14. LITERATURA

- [1] USTAVNA POVELJA DRŽAVNE ZAJEDNICE SRBIJA I CRNA GORA („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 1/03);
- [2] ZAKON ZA SPROVOĐENJE USTAVNE POVELJE DRŽAVNE ZAJEDNICE SRBIJA I CRNA GORA („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 1/03);
- [3] ZAKON O METROLOGIJI („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 44/05);
- [4] ZAKON O MERNIM JEDINICAMA I MERILIMA („Sl. list SRJ”, br. 80/94, 83/94, 28/96 i 12/98);
- [5] UREDBA O OBRAZOVANJU MINISTARSTVA, ORGANIZACIJA I SLUŽBI SAVETA MINISTARA („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 25/03, 50/03, 6/04, 24/04, 9/05 i 35/05);
- [6] UREDBA O ZAKONSKI MERNIM JEDINICAMA („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 10/06);
- [7] ZAKON O AKREDITACIJI („Sl. list Srbije i Crne Gore”, br. 44/05);
- [8] ZAKON O PRIVREDNIM PRESTUPIMA – PREČIŠĆEN TEKST („Sl. list SFRJ”, br. 10/86);
- [9] ZAKON O PREKRŠAJIMA („Sl. glasnik RS”, br. 49/05);
- [10] Nenadić, Bosa ZAKONODAVNA OSNOVA METROLOGIJE – stručno glasilo „Elektroprivreda” br. 2, 1999. godina, str 76-84.



***Momčilo Gojčić** je rođen 1941. godine u Čačku gde je završio je gimnaziju 1960. godine, a diplomirao je na Pravnom fakultetu u Beogradu 1964. godine. Od 1965. do 1978. godine radio je u „Beogradskim elektranama”, a od 1978. godine i dalje radi u Zajednici jugoslovenske elektroprivrede.*

Office of the Mayor

CITY OF NEW YORK



Proclamation

WHEREAS: NIKOLA TESLA IS BEING HONORED IN OUR CITY ON THE TENTH OF JULY, THE 141ST ANNIVERSARY OF HIS BIRTH. TESLA WAS BORN IN 1856 TO SERBIAN PARENTS IN CROATIA, THEN PART OF THE AUSTRO-HUNGARIAN EMPIRE. HE STUDIED ELECTRICAL ENGINEERING AND, REALIZING THE PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE USE OF DIRECT CURRENT, BEGAN TO DESIGN AN ALTERNATING CURRENT MOTOR. HE WAS RECOMMENDED FOR A POSITION IN THOMAS ALVA EDISON'S RESEARCH LABORATORY IN NEW YORK AND MOVED HERE IN 1884. EDISON HIRED TESLA, BUT DID NOT AGREE WITH HIS THEORIES, SO TESLA LEFT AFTER ONE YEAR AND ESTABLISHED THE TESLA ELECTRIC COMPANY IN 1887. SOON HE PATENTED HIS ALTERNATING CURRENT MOTOR AND WAS HIRED BY GEORGE WESTINGHOUSE. THE 1893 COLUMBIAN EXPOSITION IN CHICAGO WAS ELECTRIFIED BY WESTINGHOUSE USING TESLA'S SYSTEM OF POLYPHASE ALTERNATING CURRENT. ALSO IN PARTNERSHIP WITH WESTINGHOUSE, TESLA DESIGNED THE WORLD'S FIRST HYDROELECTRIC GENERATING PLANT, DISTRIBUTING ELECTRICAL CURRENT TO THE CITIES OF NIAGARA FALLS AND BUFFALO; AND

WHEREAS: IN 1897 TESLA, WHO EXPERIMENTED WITH RADIO WAVES, DEMONSTRATED WIRELESS COMMUNICATION OVER 25 MILES; AND THE NEXT YEAR DEMONSTRATED ELECTRICAL ENERGY TRANSMISSION WITH RADIO-CONTROLLED MODEL BOATS. HE INVENTED SEVERAL GENERATING MACHINES AND THE TESLA COIL, WHICH PRODUCED CURRENTS AT A GREAT NUMBER OF FREQUENCIES AND MAGNITUDES. THESE AND OTHER INVENTIONS INSPIRED LATER RESEARCH SCIENTISTS; AND

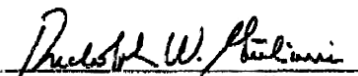
WHEREAS: NIKOLA TESLA SPENT HIS LAST FOUR DECADES LIVING IN OBSCURITY IN OUR CITY. HE HAD PATENTED MORE THAN 700 INVENTIONS IN THE UNITED STATES, AND HIS WORK MADE POSSIBLE INCREASED PRODUCTIVITY IN INDUSTRY, THE MODERN APPLICATIONS OF ALTERNATE CURRENT ELECTRIC POWER, MODERN COMMUNICATIONS, AND SUCH ADVANCES AS ROBOTICS, COMPUTERS, SATELLITES, AND MICROWAVES,

NOW THEREFORE, I, RUDOLPH W. GIULIANI, MAYOR OF THE CITY OF NEW YORK, IN RECOGNITION OF HIS GROUNDBREAKING WORK, DO HEREBY PROCLAIM THURSDAY, JULY 10, 1997 IN THE CITY OF NEW YORK AS

"NIKOLA TESLA DAY"



IN WITNESS WHEREOF I HAVE HEREUNTO SET MY HAND AND CAUSED THE SEAL OF THE CITY OF NEW YORK TO BE AFFIXED.


RUDOLPH W. GIULIANI
MAYOR

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING



2101 Constitution Avenue, NW
Washington, DC 20418
<http://www.nationalacademies.org>

Office of the President
202 334 3701 / Fax: 202 334 1680
E-mail: wwulf@nae.edu

March 22, 2006

Dr. Ljubo Vujovic
General Secretary
Tesla Memorial Society of New York
P.O. Box 863837
Ridgewood, NY 11386

Dear Dr. Vujovic:

On the 150th anniversary of the birth of Nikola Tesla it is appropriate for the whole world to honor him for his many contributions to the understanding and development of the use of electricity. The National Academy of Engineering of the United States is pleased to add its voice to the chorus of accolades, especially since the United States was a primary host to, and beneficiary of his innovations.

Leading up to the new millennium, the NAE undertook a project to identify the 20 greatest engineering achievements of the 20th century – where “greatest” was interpreted to mean impact on peoples quality of life, not just technological “gee whiz”. Electrification was number one on the list! Nikola Tesla deserves much of the credit for this development because of his inventions for the practical use of alternating current and in particular, the multi phase electric motor.

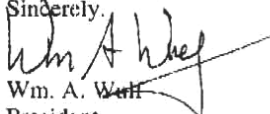
Nikola Tesla was born in Croatia of Serbian parents, was educated in Europe and began his career in the emerging fields of the telephone, telegraph and direct current dynamos, motors and illumination. On immigrating to the United States in 1884 he immediately sought to develop his ideas of multi phase electricity. Through uphill battles among strong advocates of the use of direct current such as Thomas Edison, the development of the energy available at Niagara Falls using Tesla's patented concepts became the turning point for selecting alternating current. Expansion of electrification of the country through this very large-scale demonstration in 1895 set the precedent for all that was to follow.

Tesla's ideas were not to be limited by this success. He had been experimenting with a broad field of concepts from ways to produce very high frequencies and voltages to more efficient methods of producing illumination. Many of these ideas were displayed at the 1892 Columbia Exposition in Chicago.

Out of this work would come the Tesla Coil, which is still in use today for such applications as producing high voltages for television tubes, automobile ignition systems and teaching demonstrations. Perhaps even more importantly were the basic concepts of wireless communications that led to radio and television. While Gulielmo Marconi received worldwide credit for this, the basic patents for these concepts were issued to Tesla.

Tesla was never able to fully capitalize financially on his inventions, preferring instead to see them deployed. As a humanitarian and person of high principle, he held several hundred U.S. patents on his inventions and many more worldwide.

The National Academy of Engineering is pleased to support the celebration of Nikola Tesla's 150th anniversary and to recognize him as one of the most outstanding electrical engineers of all time!

Sincerely,

Wm. A. Wulf
President

Uputstvo autorima za saradnju u stručnom glasilu „Elektroprivreda”

**U stručnom glasilu se objavljuju kategorisani članci:
originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi i stručni radovi
iz oblasti elektroprivrede, odnosno energetike.**

Pismo: ćirilica ili latinica. Na početku se navode imena autora sa zvanjima i akademskim titulama, naziv preduzeća, odnosno dela preduzeća ili ustanove sa adresom, kao i naslov rada (na srpskom i engleskom jeziku). Rezime rada (na srpskom i engleskom jeziku) sadrži kratko izloženu osnovnu strukturu i sadržaj rada, i ne treba da sadrži više od 200 reči. Ključne reči se takođe navode na srpskom i engleskom jeziku.

Treba izbegavati celovita matematička izvođenja vezana za relacije koje opterećuju proučavanje rada. Neophodna matematička izvođenja mogu se dati, po potrebi, kao celine u vidu jednog ili više priloga. Treba obavezno koristiti SI sistem jedinica i opšte prihvaćene pojmove.

Jednačine treba numerisati uz desnu marginu teksta, u malim (okruglim) zagradama. Pozivanje na jednačine u tekstu vrši se pomoću malih zagrada, a pozivanje na literaturu pomoću srednjih (uglastih) zagrada. Značenje skraćenice objasniti pri njenom prvom korišćenju u tekstu. Strane reči se prevode na srpski, a original se piše u zagradi iza prevoda. Napomena u tekstu treba da bude što manje, a ukoliko ih ima, treba da budu kratke. Napomene se označavaju rednim arapskim brojevima i navode se na dnu stranice, kao fusnote. Napomene u tabelama označavaju se malim slovima i navode se odmah ispod tabele. Na kraju rada prilaže se spisak korišćene literature. Za članke, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov ra-

da, pun naziv časopisa, broj i godina publikovanja i prvi i poslednji broj stranice. Za knjige, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov knjige, izdavač i godina izdanja. Za referate sa konferencija, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naziv referata, pun naziv konferencije, broj referata, mesto i vreme održavanja konferencije.

Rad ne treba da prelazi 15 kucanih strana formata A4 sa marginama od 3 cm. Tabele, slike i fotografije treba obeležiti po redosledu i uključiti u tekst.

Autor može dati predlog kategorizacije rada u skladu sa Uputstvom za uređivanje časopisa (originalni naučni rad, prethodno saopštenje, pregledni članak i stručni članak). Autor ne može istu ili sličnu verziju rada istovremeno ponuditi drugim časopisima radi objavljivanja.

Autor dostavlja rad u elektronskom obliku na disketi i na papiru, u tri primerka. Za elektronski oblik rada, preporučuje se autoru da koristi program za pisanje teksta Word i tip slova Times New Roman (font 12, a razmak 1,5).

Rad se šalje na adresu:

**ZAJEDNICA
JUGOSLOVENSKE
ELEKTROPRIVREDE**
Balkanska 13/II, 11000 Beograd