

Igor Žarkić, mag. ing. el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
igor.zarkic@hep.hr

mr.sc. Zdravko Lipošćak, dipl. ing. el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
zdravko.liposcak@hep.hr

Marin Bošković, dipl. ing. el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
marin.boskovic@hep.hr

KRATKOROČNO I DUGOROČNO PLANIRANJE GUBITAKA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Planiranje gubitaka električne energije dobiva sve veći značaj u sektoru distribucije električne energije. Kao činjenice da se točnim planiranjem gubitaka električne energije omogućavaju značajne uštede za HEP ODS, utvrđena je potreba za izradom složenijih algoritama predviđanja gubitaka primjerenih uvjetima poslovanja na tržištu električne energije. Ovaj rad ukazuje na moguće probleme u primjeni dugoročnog planiranja (mjesečno/godišnje) gubitaka te prikazuje novi sustav za kratkoročno planiranje (dan unaprijed) gubitaka u distribucijskoj mreži koji se temelji na modelima neuronskih mreža.

Ključne riječi: gubici, planiranje, realizacija, usporedba, tržište električne energije, neuronska mreža

SHORT-TERM AND LONG-TERM PLANNING OF ENERGY LOSSES IN THE DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

Planning of energy losses becomes increasingly important in the electrical energy distribution sector. As a fact that an accurate prediction of energy for losses provides significant savings for HEP DSO, the need for developing more complex algorithms to predict losses as appropriate for electricity market business conditions, has been established. This paper describes possible problems in long-term planning (monthly/annually basis) and presents new short-term planning (day-ahead) of energy losses in distribution network based on neural network application.

Key words: energy losses, planning, realization, comparison, electricity market, neural network

1. UVOD

Gubici električne energije u distribucijskoj mreži jednaki su razlici energije koja je ušla u mrežu te energije isporučene krajnjim korisnicima. Na mjesečnoj razini, energija koja je ušla u mrežu HEP-Operatora distribucijskog sustava d.o.o. (u daljnjem tekstu HEP ODS) računa se kao suma preuzete energije sa mreže Hrvatskog operatora prijenosnog sustava d.o.o. (u daljnjem tekstu HOPS), iz susjednih država te iz elektrana priključenih na distribucijsku mrežu, umanjenu za energiju predanu iz distribucijske mreže u mrežu HOPS-a i distribucijske mreže susjednih država.

Na mjesečnoj razini, energija koja je isporučena krajnjim korisnicima računa se kao suma:

- izmjerene količine energije (krivulje opterećenja) za kupce kategorije poduzetništvo iz sustava daljinskog očitavanja brojila (AMR),
- izmjerene količine energije za poduzetništvo – ručno očitavanje,
- procijenjene potrošnja energije za poduzetništvo (u slučaju da očitavanje nije bilo moguće),
- predviđene mjesečne potrošnje za dio kupaca kategorije kućanstvo,
- konačnih obračuna na temelju očitavanja nakon polugodišnje potrošnje i razlike u odnosu na predviđene mjesečne potrošnje za kupce kategorije kućanstvo,
- konačnih obračuna na temelju procjene očitavanja nakon polugodišnje potrošnje za dio kupaca kategorije kućanstvo (u slučaju da očitavanje nije bilo moguće).

Nabava energije računa se na osnovu mjerenja oko 300 brojila električne energije koje se gotovo sva očitavaju daljinski, dok se isporučena energija računa na osnovi očitavanja (ili procjena stanja) oko 2,3 milijuna brojila od kojih se daljinski očitava oko 2,6%. Daljinsko očitavanje osigurava istovremenost mjerenja ulaza i izlaza što je bitno za točan izračun gubitaka energije. U tablici I prikazana je struktura potrošnje energije za 2013. godinu prema načinu očitavanja [1]. Ulaz energije u distribucijsku mrežu mjeri se u 15-minutnim intervalima dok se isporučena energija u 15-minutnim intervalima trenutno mjeri na približno 20.500 obračunskih mjernih mjesta na srednjem naponu i niskom naponu priključne snage iznad 30 kW.

Tablica I. Struktura potrošnje prema načinu očitavanja za 2013. godinu

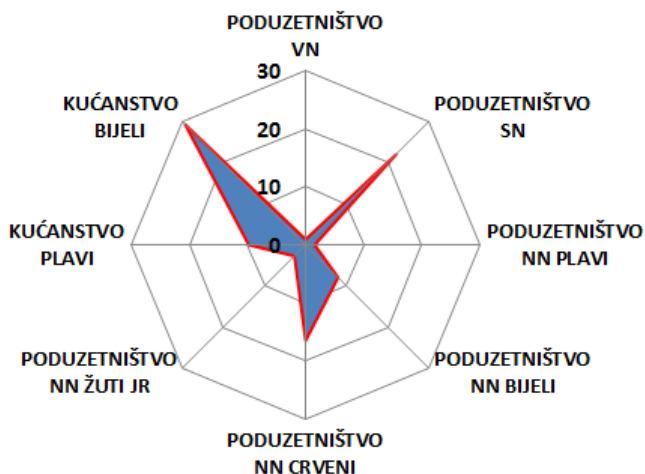
Očitavanje	Kategorija kupaca	Broj OMM	Struktura potrošnje [kWh]	Udio [%]
Intervalno očitavanje	VN + SN + NN (crveni)	20.125	6.286.097.475	43,45%
Mjesečno očitavanje	NN (poduzetništvo)	193.369	1.943.000.924	13,43%
Polugodišnje očitavanje	NN (kućanstvo)	2.148.375	6.236.983.433	43,12%
	UKUPNO	2.361.869	14.466.081.832	100%

Gubici električne energije u distribucijskoj mreži dijele se na tehničke i netehničke gubitke. Tehnički gubici (gubici u užem smislu) nastaju isključivo u elementima mreže svih naponskih razina (vodovima, transformatorima, potrošnja komponenti sustava) i predstavljaju potrošnju energije distribucijske mreže, a netehnički gubici nastaju zbog pogrešaka uzrokovanih složenim poslovnim procesom očitavanja i obračuna potrošnje električne energije te neovlaštenim korištenjem električne energije (krađa energije). Pitanje točnog izračuna razine tehničkih gubitaka složeno je zbog velikog broja elemenata mreže i vremenske promjenjivosti opterećenja koja ovisi o velikom broju korisnika mreže i njihovim trenutnim potrebama te problema nemogućnosti mjerenja velikog broja izlaza energije u isto vrijeme. Prema gruboj procjeni udjela tehničkih i netehničkih gubitaka u ukupnim gubicima distribucijske mreže za 2013. godinu na razini HEP ODS-a, tehnički gubici čine 67%, dok netehnički čine 33% ukupnih gubitaka.

Prema novim Općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom [2] polugodišnje obračunsko razdoblje odnosi se na krajnjeg kupca iz kategorije kućanstva s priključnom snagom do uključivo 20 kW bez daljinskog očitavanja. Drugim riječima, trenutačnim akontacijskim sustavom polugodišnja potrošnja električne energije pojedinog krajnjeg kupca kategorije kućanstvo procjenjuje se temeljem potrošnje odgovarajućeg prethodnog razdoblja, a iznos predviđene mjesečne potrošnje jednak je za svaki mjesec unutar razdoblja. Ova procjena potrošnje, a pogotovo podjela po mjesecima unutar obračunskog razdoblja, ne uzima u obzir procjene klime ni druge predviđive eventualne čimbenike koji mogu utjecati na potrošnju. Navedena procjena polugodišnje potrošnje linearno se razdjeljuje kroz šest mjeseci, što unosi odstupanje u izračunu gubitaka.

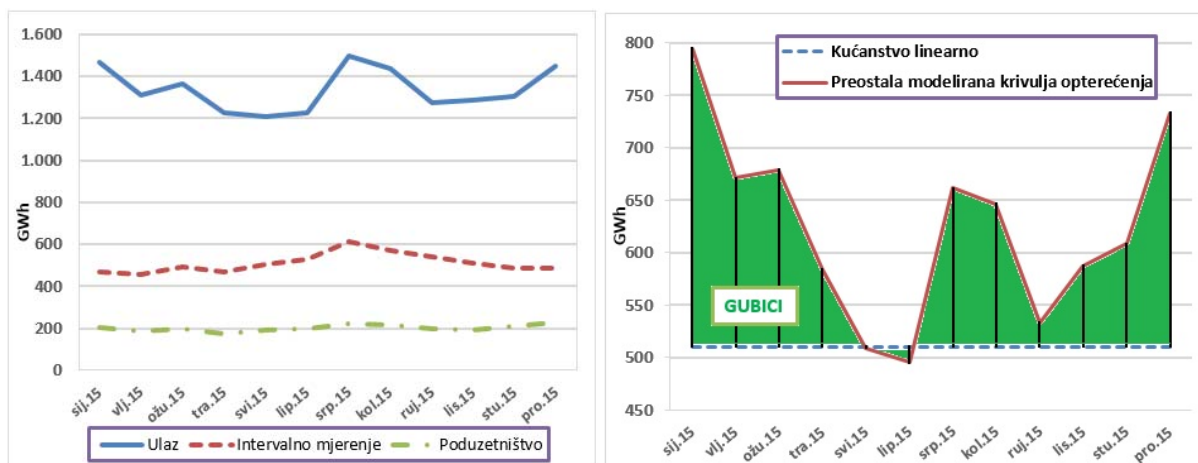
Dodatnu nesigurnost u izračun gubitaka unosi i procjena potrošnje električne energije zbog neomogućavanja pristupa obračunskom mjernom mjestu.

Slika 1 prikazuje utjecaj potrošnje pojedine kategorije kupaca na iznos gubitaka za 2013. godinu, gdje se može uočiti kako najveći utjecaj na razinu gubitaka imaju kupci iz kategorija Kućanstvo na mreži niskog napona - tarifni model Bijeli, Poduzetništvo na mreži srednjeg napona - tarifni model Bijeli te Poduzetništvo na mreži niskog napona - tarifni model Crveni. Budući da se kupci iz navedenih kategorija Poduzetništvo očitavaju daljinski, te time nemaju velik utjecaj na iznos gubitaka, potrebno je detaljnije analizirati utjecaj potrošnje kod kupaca iz kategorije kućanstvo na iznosa gubitaka.



Slika 1. Utjecaj potrošnje pojedine kategorije kupaca na iznosa gubitaka za 2013. godinu

Slika 2a) u nastavku prikazuje ukupnu energiju koja je ušla u mrežu (ostvarena nabava) te mjerene mjesečne potrošnje kupaca kategorije poduzetništvo (mjesečno i intervalno očitavanje) za 2015. godinu. Na slici 2b) prikazana je preostala (modelirana) krivulja opterećenja, koja je razlika ulazne energije i mjerene mjesečne potrošnje kupaca kategorije poduzetništvo te razina potrošnje kupaca kategorije kućanstvo, jednoliko linearno raspoređena po svim mjesecima. Razlika između preostale krivulje opterećenja i linearne potrošnje kupaca kategorije kućanstvo predstavlja energiju gubitaka. Budući da stvarna potrošnja kupaca kategorije kućanstvo nije linearna, ovaj način izračuna energije gubitaka ne odgovara stvarnoj energetskej situaciji u mreži. Prikazana linearna predviđena potrošnja kupaca kategorije kućanstvo tijekom cijele godine u praksi se gotovo nikada ne događa zbog polugodišnjih očitavanja i korekcija predviđanja sukladno stvarnim potrošnjama u odgovarajućim razdobljima. Predviđanje polugodišnje potrošnje kupaca kategorije kućanstvo ne događa se za sve kupce u istom trenutku već sukcesivno za dio kupaca koji su na redu za očitavanje u pojedinom mjesecu.



Slika 2a) Ostvarena nabava i ukupno modelirano opterećenje kupaca s mjesečnim/intervalnim očitanjima prema mjesecima za 2015. godinu; Slika 2b) Analiza osjetljivosti mjesečnog kretanja gubitaka u ovisnosti o linearno modeliranoj krivulji svih kupaca s polugodišnjim očitanjem za 2015. godinu

U pogledu utjecaja na gubitke, potrebno je spomenuti i utjecaj distribuirane proizvodnje. Značajnim porastom ovakvog tipa proizvodnje, njezin utjecaj na gubitke više nije zanemariv. Ukoliko na ili blizu mjesta priključenja elektrane postoji potrošnja koja se vremenski i po iznosu podudara s proizvodnjom, gubici se smanjuju, a u suprotnom dolazi do povećanja gubitaka.

2. DUGOROČNO PLANIRANJE GUBITAKA

Operator distribucijskog sustava osobito je dužan analizirati gubitke u distribucijskoj mreži na godišnjoj razini, uključujući procjenu tehničkih gubitaka i neovlašteno preuzete električne energije, te osiguravati električnu energiju za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži sukladno transparentnim, nepristranim i tržišnim načelima [3]. Sukladno *Pravilima organiziranja tržišta električne energije* (NN 121/15) ugovorni raspored za gubitke je raspored kupoprodaje operatora sustava za dan isporuke koji sadrži plan nabave električne energije za pokriće gubitaka u intervalu od 15 minuta ili višekratnika od 15 minuta [4]. Kako bi se energija za pokriće gubitaka nabavila na tržišnim načelima, bilo je potrebno izraditi godišnji plan gubitaka u 15-minutnim/satnim iznosima. Prema Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o tržištu električne energije (NN 102/15) operator distribucijskog sustava ima obvezu do 30. rujna tekuće godine dostaviti Hrvatskoj energetske regulatornoj agenciji na suglasnost godišnji plan nabave energije za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži za sljedeću godinu. U nastavku su prikazani osnovni koraci i problematika procesa izrade godišnjeg plana satnih vrijednosti energije za pokriće gubitaka na primjeru za 2015. godinu.

2.1. Krivulja planiranih satnih gubitaka na godišnjoj razini

Tržište električne energije trenutno radi sa satnim intervalima nabave i prodaje. Budući većina obračunskih mjernih mjesta nema intervalno mjerenje proizvedene ili potrošene električne energije, za potrebe rada tržišta provedena je studija kretanja potrošnje kupaca kategorije kućanstvo i kupaca kategorije poduzetništvo priključne snage do 30 kW te su na osnovi dobivenih rezultata kreirane nadomjesne krivulje opterećenja i definirana *Pravila primjene nadomjesnih krivulja opterećenja* (u daljnjem tekstu Pravila NKO) [5].

Pravilima NKO definirano je da se gubici računaju prema načelu linearne ovisnosti između gubitaka i opterećenja distribucijskog sustava. Vrijednost krivulje gubitaka snage u distribucijskom sustavu definirana je sljedećim izrazom (1):

$$P_{gds-o}(t) = P_{ds-o}(t) \cdot k_{gub} / 100 \quad (1)$$

gdje je k_{gub} koeficijent gubitaka snage koji se iskazuje u postocima (%), a izračunava se kao prosjek godišnjih gubitaka električne energije u distribucijskom sustavu, u odnosu na prosječnu nabavu električne energije, za četiri prethodne godine. Ovako izračunati satni gubici bolje prate stvarnu

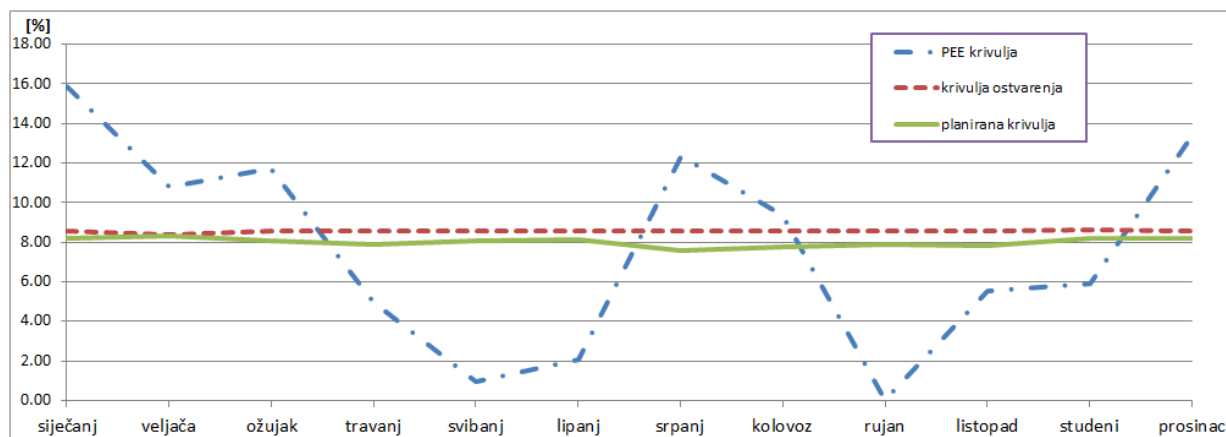
energetsko stanje, a predviđanje ovih gubitaka se svodi na što točnije predviđanje ukupnog opterećenja distribucijskog sustava.

2.2. Praćenje i analiza gubitaka u prethodnoj godini

Budući da operator distribucijskog sustava ima obvezu do 30. rujna tekuće godine dostaviti HERA-i na suglasnost godišnji plan nabave energije za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži za sljedeću godinu, planirani koeficijent gubitaka snage u rujnu tekuće godine može znatno varirati u odnosu na koeficijent gubitaka snage koji HEP-ODS prema Pravilima NKO javno objavljuje na svojim internetskim stranicama, najkasnije do 31. siječnja sljedeće godine.

Za 2015. godinu predviđeni koeficijent gubitaka za 2015. godinu objavljen u rujnu 2014. godine iznosio je 8,25%, dok je nakon zaključenja cijele 2014. godine, planirani koeficijent gubitaka u siječnju 2015. godine iznosio 8,55%.

Sustav praćenja nabave i prodaje električne energije na temelju mjesečnih izdanih računa nabave i prodaje električne energije odnosi se na kalendarsku godinu i zaključuje se s datumom kraja poslovne godine (31.12.). Budući da pojedina polugodišnja obračunska razdoblja kupaca kategorije kućanstvo započinju u različitim mjesecima unutar godine, završetak obračuna kupaca ne poklapa se s završetkom poslovne godine. Problem ovakvog sustava jest da na taj način iz mjeseca u mjesec dio potrošnje električne energije ostaje podobračunat ili preobračunat (na slici 3 prikazano PEE krivuljom koja ima karakteristična odstupanja. Na slici 3 su prikazane razlike između navedene PEE krivulje (obračunski gubici) i krivulja planiranih i ostvarenih (tržišnih) mjesečnih gubitaka temeljenih na opterećenju distribucijskog sustava za 2015. godinu.



Slika 3. Usporedba obračunskih i tržišnih ostvarenih i planiranih gubitaka po mjesecima za 2015. godinu

3. KRATKOROČNO PLANIRANJE GUBITAKA

U prethodnom poglavlju opisano je kako se gubici računaju prema načelu linearne ovisnosti između gubitaka i opterećenja distribucijskog sustava. Zbog obveze nabave električne energije za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži na tržišnim načelima, predviđanje satne potrošnje električne energije, kao osnove za izračun energije gubitaka, dobiva sve veći značaj. Točnije predviđanje gubitaka električne energije omogućava značajne uštede i poboljšanje rezultata ukupnog poslovanja operatora distribucijskog sustava.

3.1. Aplikacija za kratkoročno predviđanje potrošnje i gubitaka električne energije

Postoji više različitih pristupa problemu i algoritama predviđanja potrošnje električne energije, a eksperimentalni rezultati koji su dobiveni na modelima neuronskih mreža pokazali su se zadovoljavajućima i primjenjivima [6]. S ciljem izrade što točnijeg ugovornog rasporeda za nabavu električne energije za pokriće gubitaka u distribucijskoj mreži, HEP-ODS je u suradnji s Fakultetom elektrotehnike i računarstva u Zagrebu razvio inicijalnu aplikaciju koja bi služila za kratkoročno predviđanje ukupne potrošnje i gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži. Programsko sučelje za pokretanje aplikacije izvodi se u programskom okruženju MATLAB tvrtke MathWorks.

Osnovne funkcionalnosti aplikacije su:

- Predviđanje potrošnje električne energije za sljedeći dan i tjedan, za pojedina distribucijska područja i za cjelokupni distribucijski sustav, na satnoj razini na temelju povijesnih i kalendarskih podataka te na temelju meteoroloških prognoza.
- Predviđanje gubitaka električne energije, za pojedina distribucijska područja i za cjelokupni distribucijski sustav na temelju predviđene potrošnje, koristeći linearnu ovisnost ili ovisnost prema polinomu drugog stupnja.

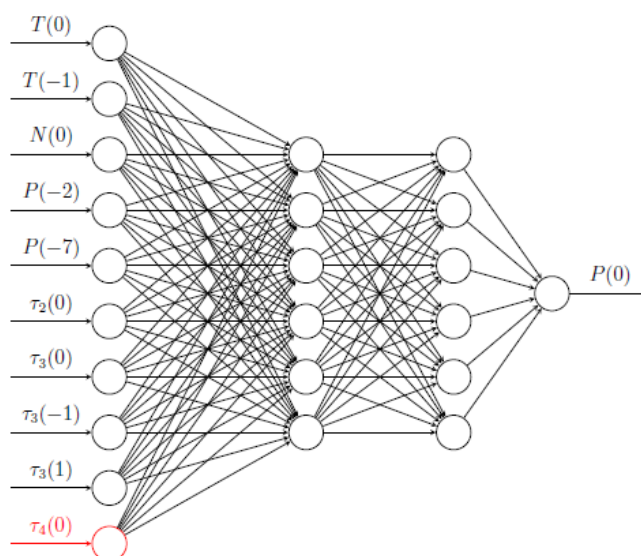
Aplikacija ima mogućnost izrade novih predikcijskih modela, tj. promjena unaprijed definiranog predikcijskog aktivnog modela u bilo kojem trenutku za bilo koje distribucijsko područje (ponovno učenje). Za ispravan rad aplikacije, čiji je mogući model kratkoročnog predviđanja satne potrošnje električne energije prikazan na slici 4, potrebno je osiguravati sljedeće ulazne podatke:

1. temperatura zraka $T(i)$ za $i = 0 \dots -14$ (Pritom oznaka $T(0)$ označava temperaturu zraka u danu za koji se provodi predikcija opterećenja, $T(-1)$ označava temperaturu zraka u danu ranije, $T(-2)$ dva dana ranije itd.)
2. naoblaka $N(i)$ za $i = 0 \dots -14$
3. potrošnja električne energije $P(i)$, za $i = -2 \dots -14$ (potrošnja $P(0)$ se ne koristi u predikciji jer je to upravo vrijednost čija se predikcija traži, dok se pretpostavlja da podatak o potrošnji od dana ranije $P(-1)$ neće biti dostupan u trenutku kad će se provoditi predikcija)
4. vremenski indeks doba godine τ_2
5. tip dana τ_3
6. sat za koji se radi predikcija τ_4 .

Vremenski indeks označava koje je doba godine i računa se preko formule (2):

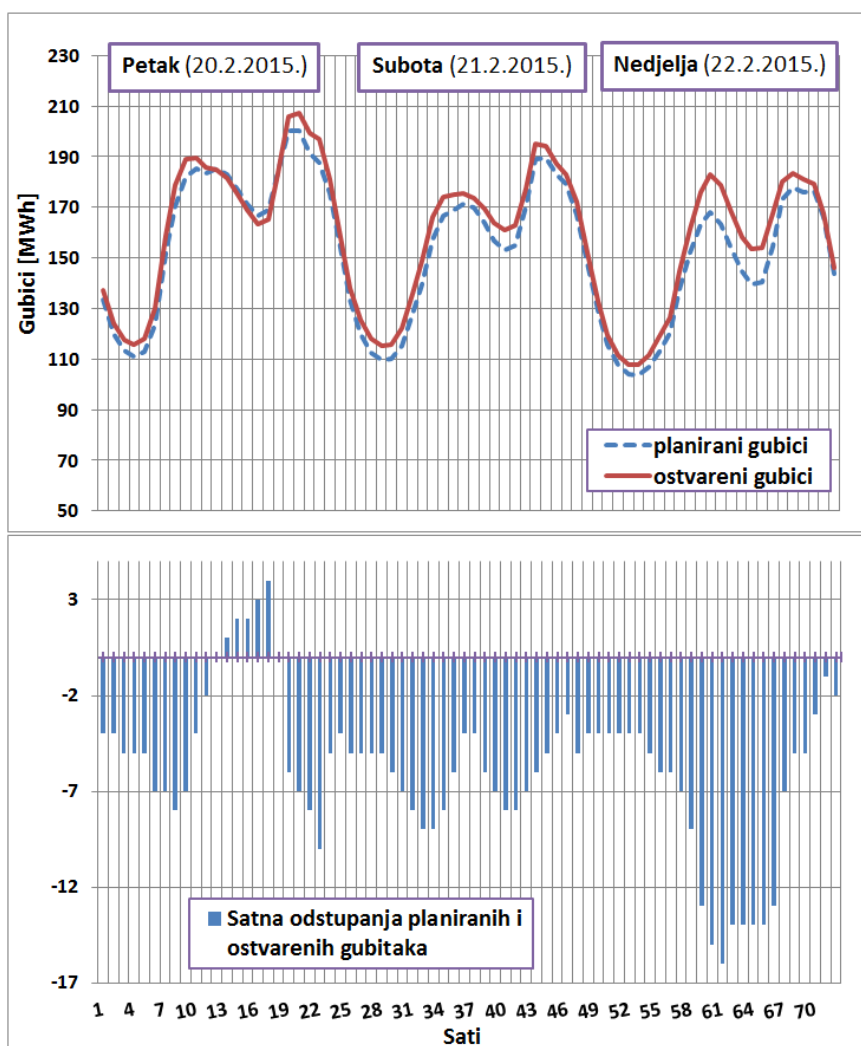
$$\tau_2 = \sin(2\pi t / 365) \quad (2)$$

gdje je t redni broj dana u godini. Pošto je sporo promjenjiv kroz godinu, njegova vrijednost uzima se samo za dan za koji se radi predikcija. Tip dana τ_3 označava je li riječ o radnom danu, suboti, nedjelji ili blagdanu.



Slika 4. Struktura neuronskih mreža s horizontima od 24 i 48 sati

Aplikacijom se ručno, ili pomoću unaprijed definiranih predložaka unose ulazni podaci na temelju kojih se radi predikcija. Nakon definiranja završnih postavki i pokretanja predikcije, u prvom koraku aplikacija proračunava predikcije opterećenja, te naknadno prema tipu modulacije za proračun gubitaka proračunava gubitke. Na kraju izrade predikcija aplikacija crta sumu profila predikcija opterećenja i gubitaka svih označenih distribucijskih područja. Krivulje planiranih opterećenja i gubitaka mogu se pohranjivati za daljnje analize. Slika 5a) prikazuje izlazne rezultate krivulje planiranih i ostvarenih gubitaka za tri karakteristična dana (radni dan, subotu i nedjelju) unutar godišnjeg plana gubitaka, upotrebom modela linearne ovisnosti između gubitaka i opterećenja distribucijskog sustava, dok slika 5b) prikazuje pripadajuća pozitivna i negativna satna odstupanja planiranih od ostvarenih gubitaka u MWh.



Slika 5a) Usporedba planiranih i ostvarenih gubitaka u 2015. godini na dnevnoj razini; Slika 5b) Pozitivna i negativna satna odstupanja planiranih od ostvarenih gubitaka

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu ukazano je na probleme utvrđivanja iznosa gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži. Prikazana su odstupanja gubitaka temeljenih na proračunu iz krivulje opterećenja distribucijskog sustava u odnosu na iznos obračunskih gubitaka prema mjesečnom praćenju iz bilance nabave i prodaje električne energije. Planiranje i izračun gubitaka korištenjem metodologije opisane u *Pravilima primjene nadomjesnih krivulja opterećenja*, tj. računanjem gubitaka prema načelu linearne ovisnosti između gubitaka i opterećenja distribucijskog sustava, bliže je stvarnom energetske stanju u distribucijskoj mreži u odnosu na korištenje podataka o obračunskim gubicima.

Zbog navedenog, za potrebe kratkoročnog i dugoročnog planiranja gubitaka u distribucijskoj mreži, koristi se algoritam (temeljen na neuronskim mrežama) koji u prvom koraku predviđa kratkoročno ili dugoročno opterećenje distribucijskog sustava, a u drugom koraku izračunava energiju gubitaka.

Daljnijim uvođenjem daljinskog očitavanja sukladno obvezama iz novih Općih uvjeta za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom, može se očekivati da će gubitak električne energije biti sve točnije izmjeren i lociran te će se dobiti podaci za točnije proračune predviđanja gubitaka električne energije.

5. LITERATURA

- [1] HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Godišnje izvješće za 2013. godinu
- [2] Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (Narodne Novine, br. 85/15).
- [3] Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o tržištu električne energije (Narodne Novine, br. 102/15).
- [4] *Pravila organiziranja tržišta električne energije* (Narodne Novine, br. 121/15).
- [5] HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., *Pravila primjene nadomjesnih krivulja opterećenja*, travanj 2011
- [6] I. Petrović, J. Matuško, S. Jurić-Kavelj, I. Marković, V. Petrović, „Matematički model kratkoročnog predviđanja satne potrošnje električne energije za distribucijska područja“, studija FER, prosinac 2011.