

DOI: [10.46793/CIGRE37.C5.03](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C5.03)**C5.03****АНАЛИЗА КВАЛИТЕТА ПРОГНОЗЕ ГУБИТАКА НА САТНОМ НИВОУ
УВОЂЕЊЕМ ПЕТНАЕСТОМИНУТНОГ ОБРАЧУНСКОГ ИНТЕРВАЛА****ANALYSIS OF LOSS FORECAST QUALITY ON AN HOURLY BASIS WITH THE
INTRODUCTION OF A FIFTEEN-MINUTE SETTLEMENT INTERVAL****Александар Васковић, Ружица Ашанин, Јадранка Јањанин***

Кратак садржај: Законом о изменама и допунама Закона о енергетици извршено је усклађивање са правном тековином Европске уније о електричној енергији ради остваривања климатске неутралности до 2050. године. Мали корак, али неопходан у спајању националног тржишта електричне енергије у јединствено европско тржиште је прелазак са сатног на петнаестоминутни обрачунски интервал на балансном тржишту електричне енергије, односно обрачун одступања балансно одговорних страна се спроводи на крајем временском интервалу. Ова чињеница подстиче оператора преносног система као одговорног за куповину електричне енергије за надокнаду губитака у преносном систему да преиспита досадашњи начин прогнозе губитака у преносном систему који се ради на сатном интервалу. Тежња оператора преносног система је да прогноза губитака у преносном систему буде што прецизнија, односно да се минимизирају одступања прогнозе на обрачунском интервалу у односу на обрачунске вредности. Циљ овог рада је да се преиспита да ли ће увођење веће временске резолуције, односно прелазак са сатног на петнаестоминутни обрачунски интервал побољшати тачност прогнозе губитака у преносном систему. Анализа ће се спровести коришћењем историјских података прогнозе на сатном нивоу и обрачунских података на петнаестоминутном нивоу и њиховог утицаја на прецизност предикције. На основу добијених резултата, доноси се закључак о потребним корацима оператора преносног система по питању надокнаде губитака у преносном систему како би утицај преласка на краћи обрачунски интервал допринео оптималној набавци електричне енергије за надокнаду губитака у преносном систему.

Кључне речи: Губици у преносном систему, Прогноза, Петнаестоминутни интервал

Abstract: The Law on Amendments and Supplements to the Energy Law has been harmonized with the legal framework of the European Union in the field of electricity to achieve climate neutrality by 2050.

* Aleksandar Vasković, Електромрежа Србије, aleksandarg.vaskovic@ems.rs
Ružica Ašanin, Електромрежа Србије, ruzica.asanin@ems.rs
Jadranka Janjanin, EMS AD Beograd, jadranka.janjanin@ems.rs

A small but necessary step in integrating the national electricity market into a unified European market is the transition from an hourly to a fifteen-minute settlement interval in the electricity balancing market. This means that imbalance settlement for balance responsible parties is conducted over a shorter time interval. This shift encourages the transmission system operator (TSO), as the entity responsible for procuring electricity to compensate for transmission system losses), to reassess the current transmission system losses forecasting methodology, which is based on an hourly interval. The TSO aims to improve the accuracy of transmission system losses forecasts by minimizing deviations between forecasted and actual settlement values at the settlement interval. The objective of this paper is to examine whether increasing the time resolution—i.e., transitioning from an hourly to a fifteen-minute settlement interval—will enhance the accuracy of transmission system losses forecasts. The analysis will be conducted using historical hourly forecast data and settlement data at the fifteen-minute level, assessing their impact on forecast precision. Based on the obtained results, conclusions will be drawn regarding the necessary steps the transmission system operator should take in the transmission system losses compensation process to ensure that the transition to a shorter settlement interval contributes to the optimal procurement of electricity for transmission system losses compensation.

Key words: *Transmission system losses, Prediction, Fifteen-minute settlement interval*

1 УВОД

Европски електроенергетски системи налазе се у фази интензивних реформи, које су покренуте са циљем постизања веће ефикасности рада електроенергетског система и смањења његовог утицаја на животну средину. Једна од кључних области у којима се спроводи измена и унапређење рада електроенергетског система је управљање балансираном тржиштем електричне енергије. Уколико се тачност предвиђања потрошње електричне енергије унапреди допринеће се смањењу оперативних трошкова и повећању стабилности рада електроенергетског система.

У том контексту, прелазак на краће обрачунске интервале требало би да омогући да производња боље прати оптерећење што доводи до ефикаснијег управљања енергетским системом. Уредбом Европске уније 2017/2195 о успостављању смерница за електричну енергију балансирања од 23.11.2017. године у земљама ЕУ је уведен обрачунски интервал од 15 минута са идејом да се интервал у коме се спроводи трговина електричном енергијом поистовети са његовим трајањем. Србија у циљу усклађивања са ЕУ законодавством кроз Закон о изменама и допунама Закона о енергетици увела је од 1.1.2025 године обрачунски интервал од 15 минута. Прелазак са сатног на петнаестоминутни обрачунски интервал намеће учесницима на тржишту електричне енергије потребу да преиспитају досадашњи начин израде прогноза како за производњу тако и за потрошњу. Међу учесницима на тржишту налази се и оператор преносног система у улози одговорног за надокнаду техничких губитака у преносном систему (у даљем тексту: губици) који се мора посветити преиспитивању тренутно важеће методе за прогнозу губитака. Прелазак на краћу временску резолуцију захтева да модели предикције буду прилагођени новим временским интервалима како би оператор преносног система сагледао јаснију слику и донео правовремену одлуку у процесу набавке електричне енергије за надокнаду губитака.

Кроз овај рад анализира се како промена временског интервала, односно обрачунског интервала утиче на квалитет прогнозе губитака и даје одговор на питање да ли прелазак на петнаестоминутни интервал може допринети смањењу одступања планираних вредности губитака у односу на обрачунате. За анализу се користе историјске обрачунате вредности губитака и планиране вредности губитака. Коначан циљ је препознавање акција које је потребно да предузме оператор преносног система како би на оптималан начин спроводио прогнозу губитака.

2 РЕГУЛАТОРНИ ОКВИР И ЗНАЧАЈ ВРЕМЕНСКЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ

Осврнућемо се на један од значајнијих докумената који оператор преносног система доноси, а на који Агенција за енергетику Републике Србије даје сагласност, то су "Правила о раду тржишта електричне енергије" (у даљем тексту: тржишна правила), [1].

Према важећим тржишним правилима, обрачунски интервал је дефинисан као временски период за који се врше обрачуни дефинисани тржишним правилима и који су износили 1 сат до 31.12.2024. у 24:00, а од 01.01.2025. у 00:00 износе 15 минута, [2].

У истим овим правилима дефинисано је да балансна одговорност учесника на тржишту електричне енергије подразумева обавезу обезбеђивања баланса између производње, потрошње и блокова размене електричне енергије за сваки обрачунски интервал, преузимање финансијске одговорности за одступања од неизбалансираног дневног плана рада након завршетка процеса унутардневне измене дневних планова рада као и за сва одступања настала услед разлике остварене производње и потрошње и прихваћених блокова размене електричне енергије, [2].

Уколико претпоставимо да је балансно одговорна страна за балансну групу доставила избалансирани дневни план рада, резултат обрачуна одступања као последица разлике дневног плана рада и остварене производње, потрошње и прихваћених блокова размене електричне енергије представљаће значајан трошак уколико је та разлика велика.

У Србији као што смо навели до краја 2024. године обрачунски интервал је износио 1 сат што значи да је планирање рада баланских група било засновано на 24 вредности. Увођење петнаестоминутног обрачунског интервала захтева прилагођавање досадашњег начина рада у виду новог приступа планирању јер се уводи 96 интервала у којима је потребно планирати вредности за балансну групу, техничких унапређења укључујући надоградњу софтверских решења за праћење потрошње и производње електричне енергије као и за прикупљање података са мерних уређаја, преиспитивање капацитета и организације база података.

Оператор преносног система који има обавезу куповине електричне енергије за надокнаду губитака увођењем петнаестоминутног интервала сусрео се са истим обавезама као остали учесници на тржишту електричне енергије. Обрачунати петнаестоминутни губици су већ годинама на располагању оператору преносног система, али пре промене резолуције обрачунског интервала нису имали велики значај у анализама, све се посматрало на сатном нивоу. У последњих неколико месеци преузимају се кораци како би се процес прогнозе губитака спустио на петнаестоминутну резолуцију јер је чињеница да мања одступања обрачунатих губитака на петнаестоминутном нивоу доприносе ефикаснијем управљању електроенергетским системом, што је од суштинског значаја за стабилност и поузданост снабдевања електричном енергијом.

3 ПРОГНОЗА ГУБИТАКА У ПРЕНОСНОМ СИСТЕМУ

Прогноза губитака у преносном систему представља сложен процес који захтева анализу великог броја улазних података, како би се остварила што већа тачност у предикцији.

3.1 Улазни подаци за прогнозу губитака

Улазни подаци који се користе у процесу прогнозе губитака су следећи: обрачунати подаци, метеоролошки подаци, прогноза конзума, планиране вредности производње и потрошње по ентитетима, прорачун токова снага, естимирани губици и подаци у реалном времену, [3].

3.1.1 Обрачунати подаци

Обрачунати подаци представљају историјске вредности остварене електричне енергије у различитим тачкама електроенергетског система који утичу на губитке. Ови подаци укључују обрачунате вредности производње електричне енергије, потрошње, прекограничне размене и саме обрачунате вредности губитака. Анализа историјских података је од суштинског значаја јер омогућава идентификацију трендова, образаца који се понављају и сезонских варијација који могу допринети будућем сагледавању прогнозе. Међутим, изазов у примени ових података представља чињеница да су доступни тек 12. у месецу за претходни месец, што ограничава њихову употребљивост у прогнозама дан унапред и унутардневним прогнозама. Ипак, ови подаци су од суштинског значаја за анализу историјских вредности.

3.1.2 Метеоролошки подаци

Метеоролошки подаци представљају такође један од најзначајнијих фактора који утичу на губитке у преносном систему, с обзиром на њихову променљивост у зависности од годишњег доба и тренутних временских услова.

Температура има директан утицај на конзум, а конзум на вредност губитака. Утицај температуре је и на електричне карактеристике самих проводника преносног система, мењајући њихов отпор и самим тим и нивое губитака.

Ветар има двоструку улогу, с једне стране, утиче на губитке кроз ефекат хлађења проводника, што може смањити њихов отпор, а с друге стране, директно утиче на производњу из ветроелектрана. Варијабилност производње од брзине ветра на простору Србије је приметна што утиче на вредности губитака.

Падавине и влажност ваздуха утичу на физичких карактеристика проводника, а самим тим и на губитке. Падавине додатно позитивно утичу на хидролошку ситуацију у региону, односно ствара се потенцијал за производњу из хидроелектрана, што ће допринети утицају на губитке.

Будући да се ови фактори константно мењају и међусобно делују, њихова интеграција у моделе прогнозе је неопходна како би се умањила неизвесност и побољшала тачност предикција губитака.

3.1.3 Прогноза конзума

Прогноза конзума представља важан улазни податак у процесу одређивања губитака. Прогнозиране вредности конзума за наредна три дана и корекција прогнозираних вредности за текући дан реализују се помоћу софтвера за краткорочну прогнозу потрошње, који користи напредне алгоритме анализе података.

Вредност конзума има директан утицај на губитке, јер са порастом потрошње расте и оптерећење водова, што доводи до повећања губитака услед повећаних токова снага.

3.1.4 Планиране вредности производње и потрошње по ентитетима

Планиране вредности производње и потрошње по ентитетима играју важну улогу у процесу прогнозирања губитака. Ови подаци омогућавају детаљан увид у начин производње и расподеле електричне енергије, на основу којих се могу предвидети токови снаге и њиховог утицаја на губитке. Количина произведене електричне енергије, као и локација производних капацитета, директно утичу на токове снаге у систему. На основу ових података могуће је предвидети кретање електричне енергије кроз мрежу, што омогућава боље управљање. Посебан значај у овом контексту има активација пумпи у реверзибилним и пумпно-акумулационим хидроелектранама, јер оне представљају флексибилне ресурсе који могу значајно утицати на укупне губитке, у зависности од начина и времена њихове активације.

3.1.5 Прорачун токова снага

Прорачун токова снага је од круцијалног значаја за анализу рада преносног система у дан унапред процесу. За прорачун токова снага користи се TNA софтвер који као улазни податак користи спојени DCF модел преносног система у региону за дан унапред. Применом TNA софтвера могу се прорачунати губици на сатном нивоу који се користе у прогнозама губитака на дан унапред и унутардневном временском хоризонту.

3.1.6 Естимирани губици

Помоћу SCADA/EMS апликације на основу података у реалном времену естимирају се вредности губитака. Апликација без обзира што не може да прорачуна идентичне губитке обрачунатим даје довољно добар изглед сатног дијаграма губитака који помаже у прогнози губитака на дан унапред и унутардневном временском хоризонту.

3.1.7 Подаци у реалном времену

Подаци у реалном времену који се добијају путем SCADA система представљају још један значајан улазни параметар у процесу прогнозирања губитака. Ови подаци су доступни у реалном времену и омогућавају праћење стања у преносном систему, што их чини погодним за коришћење за прогнозу губитака у дан унапред временском хоризонту. SCADA систем обезбеђује податке о измереној активној и реактивној снази и напонима у значајним тачкама преносног система, као што су излази из производних ентитета, стање на далеководима и у трафостаницама, потом вредностима потрошње ентитета и другим кључним параметрима који омогућавају прецизнију анализу и предвиђање губитака.

3.2 Процес прогнозирања губитака

Процес прогнозирања губитака обухвата више временских хоризоната, укључујући годишње, недељне, дневне и унутардневне прогнозе. У зависности од врсте прогнозе и доступних улазних података, примењују се различити методолошки приступи.

Годишња прогноза се спроводи у септембру текуће године за наредну тако што се за сваки месец одређује прогнозирана вредност губитака, што укупно даје 12 података. Уколико дође до већих промена у планираном раду балансних група израђена годишња прогноза губитака се може кориговати.

У овом случају, увођење петнаестоминутног обрачунског интервала нема утицај, јер се прогнозиране вредности не мењају на краћим временским интервалима. С друге стране, код недељних, дневних и унутардневних прогноза, које традиционално користе сатне вредности, прелазак на петнаестоминутни интервал значајно утиче на процес прогнозирања. Ова промена захтева прилагођавање модела и начина обраде података, јер се број прогнозираних вредности учетворостручава, што повећава комплексност анализе и поставља нове захтеве у погледу прикупљања улазних података.

Инжењери одговорни за прогнозу губитака узимају у обзир све релевантне аспекте, укључујући доступне улазне податке за прогнозу губитака наведене у тачки 3.1, при чему доносе одлуке на основу стручне процене, без ослањања на аутоматизоване софтверске алате. Квалитет спроведених прогноза утврђује се за сваки месец, односно врши се анализа одступања прогнозираних вредности губитака у односу на обрачунате губитке. На основу досадашњих резултата, постављен је задовољавајући критеријум за процентуално одступање сатних вредности губитака са прагом до 15 %. Овај критеријум је задовољен, чак је просечна сатна грешка на месечном нивоу у појединим месецима била знатно испод ње. Процес прорачуна одступања прогнозираних вредности у односу на обрачунате је следећи:

$$G = 100 \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{O_t - P_t}{O_t} \right| \quad (1)$$

Где је:

G – Просећна сатна грешка на месечном нивоу у процентима

O_t – Обрачунате вредност губитака на сатном нивоу

P_t – Прогнозиране вредности губитака на сатном нивоу

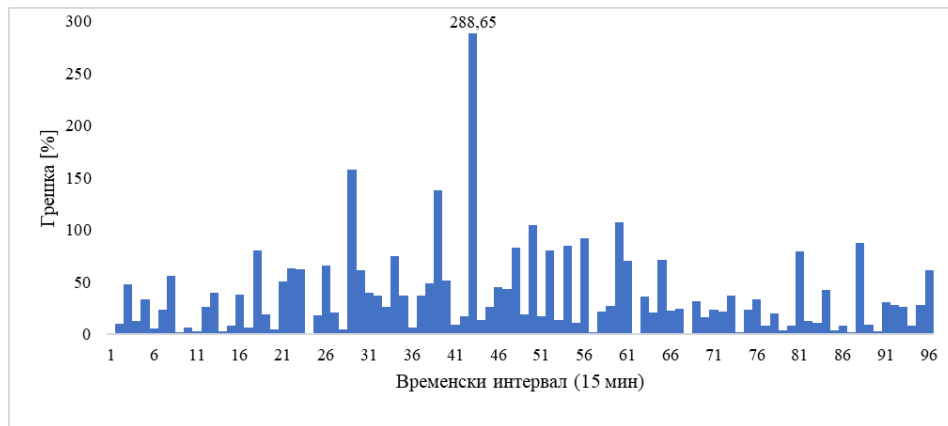
n – Број сати у посматраном месецу

4 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПЕТНАЕСТОМИНУТНОГ ОБРАЧУНСКОГ ИНТЕРВАЛА И ЊЕГОВ УТИЦАЈ НА ПРОГНОЗУ ГУБИТАКА

Прелазак на петнаестоминутни обрачунски интервал представља значајну промену у организацији и раду тржишта електричне енергије и поступку прогнозирања губитака. Анализа која је спроведена пре самог преласка на прогнозирање са петнаестоминутном резолуцијом је спроведена с циљем да се утврди утицај новог обрачунског интервала на тачност прогнозе на сатној резолуцији и идентификују потенцијалне грешке које настају као последица досадашњих методологија предвиђања. Резултати спроведене анализе биће представљени у наставку.

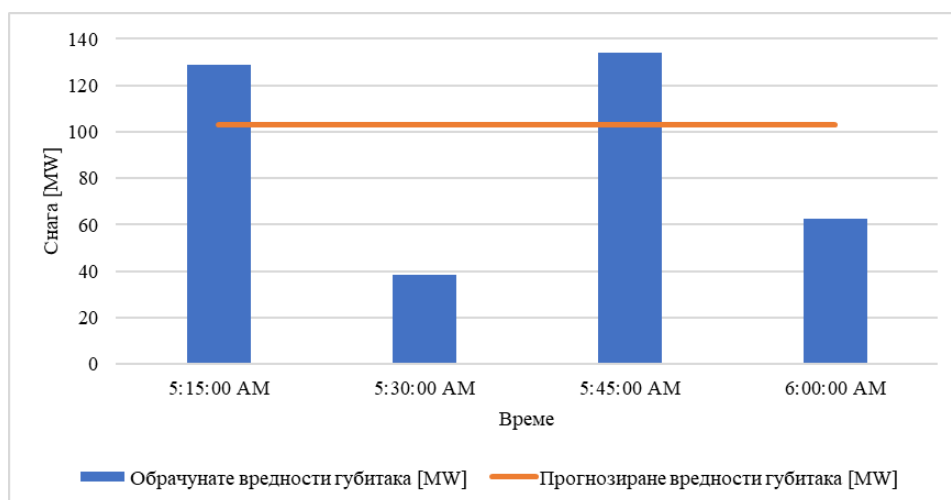
Анализа је извршена тако што су обрачунате вредности губитака у петнаестоминутној резолуцији упоређене са прогнозираним вредностима губитака у сатној резолуцији, које су израђене у прошлости за прогнозу на временском хоризонту дан унапред. Будући да је тренутни метод прогнозе подразумевао једну вредност по сату, у сваком сату су у петнаестоминутне интервале уписиване исте четири вредности. Упоређиване су прогнозиране сатне вредности губитака са обрачунатим петнаестоминутном вредностима, како би се добила јаснија слика о променама у тачности предикције. Спроведена је детаљна компаративна анализа, а добијени резултати су графички приказани како би се визуелно и квантитативно сагледала одступања. Као што се види на

Слици 1 на којој је приказан један дан од 96 временских интервала, у једном од петнаестоминутних интервала забележена је грешка од чак 288,65 %, што указује на значајне промене у тачности прогнозе при коришћењу неконзистентног временског оквира. Приликом рачунања вредности одступања прогнозираних у односу на обрачунате вредности коришћена је формула (1), с тим да су уместо сатних вредности коришћене петнаестоминутне.



Слика 1: Одступање прогнозираних од обрачунатих вредности губитака у једном дану

Додатно, као што се може видети на слици 2, обрачунате вредности губитака на петнаестоминутном нивоу могу значајно да варирају у оквиру једног сата, што директно утиче на грешку прогнозе. Ова варијабилност наглашава изазове у преласку на нови интервал и неопходност коришћења напреднијих метода прогнозирања. Такође, уочено је да је прогнозирана вредност, која је на сатном нивоу представљена као константна средња вредност за цео сат, значајно одступала од стварних обрачунатих вредности у петнаестоминутној резолуцији. Ова одступања доводе до значајног повећања грешке. Конкретно, за посматрани сат приказан на Слици 2 грешка на сатном нивоу за сатни обрачунаски интервал износи 13,68 %, док средња сатна грешка за петнаестоминутни обрачунаски интервал износи 68,59 %. На основу наведеног имамо индикација да постоји ограничење тренутног метода прогнозе. Разлика између обрачунатих и прогнозираних вредности посебно је изражена у тренуцима када долази до наглих промена у губицима, што додатно наглашава потребу за прецизнијим прогнозним методама које би могле да боље прате динамичке варијације у систему.



Слика 2: Одступање обрачунатих и прогнозираних вредности губитака у оквиру једног сата

Како би се схватило да изабрани дан приказан на Слици 2 не представља изолован случај табеларно су приказане упоредне вредности средњих сатних грешака по месецима у периоду 2022-2024. године за сатни и петнаестоминутни обрачунски интервал.

Табела I: Упоредни приказ средње сатне грешке на месечном нивоу за петнаестоминутни и сатни обрачунски интервал у периоду 2022-2024. године

Средња сатна грешка [%]	2022		2023		2024	
	15 минута	1 сат	15 минута	1 сат	15 минута	1 сат
Јануар	17,33	11,64	16,45	9,92	14,70	10,11
Фебруар	16,96	9,89	17,65	11,86	16,77	10,60
Март	20,93	11,44	15,61	9,44	20,80	14,41
Април	17,57	10,00	18,33	15,41	25,95	19,38
Мај	20,56	12,13	17,36	10,82	24,27	13,78
Јун	18,94	11,60	18,75	13,39	19,58	12,51
Јул	22,80	12,66	22,28	14,60	19,74	11,02
Август	21,35	11,49	19,02	11,74	27,17	17,78
Септембар	20,28	11,90	19,01	11,50	23,00	11,67
Октобар	21,00	10,32	19,15	13,15	21,96	14,95
Новембар	19,12	10,09	14,97	10,50	20,12	11,93
Децембар	16,48	10,14	14,38	10,32	19,92	12,96

Анализом вредности грешака приказаних у Табели I јасно се уочава да су грешке у петнаестоминутним интервалима веће. Одступања грешака на месечном нивоу између података добијених прорачуном при сатном обрачунском интервалу и при петнаестоминутном обрачунском интервалу крећу се у опсегу од 10 % до 25 %. У петнаестоминутној резолуцији није могуће у потпуности задржати прецизност у прогнози губитака када се ради без софтвера јер човек не може адекватно испратити корелацију између губитака и других улазних података на краткој временској резолуцији. Изазивачи великог одступања обрачунатих од прогнозираних вредности губитака су свакако динамичне или нелинеарне промене у преносном систему при којима долази до значајних непрецизности у прогнози.

На тржишту електричне енергије у Србији тренутно је дошло до неусклађености обрачунског интервала са тржишним интервалом. Пријава блокова размене између зона трговања и трговина на организованом тржишту електричне енергије остале су у сатној резолуцији док су пријаве производње, потрошње и блокова размене између балансних група унутар зоне трговања и обрачунски интервал прешли на петнаестоминутну резолуцију.

Док траје ова неусаглашеност оператор преносног система и даље као званичну користи прогнозу у сатној резолуцији и паралелно развија нову методологију.

5 ЗАКЉУЧАК

Прелазак на петнаестоминутни обрачунски интервал у великој мери утиче на тачност прогнозирања губитака, посебно у контексту досадашње методологије прогнозе која се ослањала на сатне вредности.

На основу улазних података који су поред сатних вредности доступни и у петнаестоминутној резолуцији закључујемо да се прогноза губитака коју спроводи човек знатно компликује и то не само зато што се број одбирака четири пута повећава, већ што забележене промене у петнаестоминутној резолуцији између два интервала могу бити осетно различите.

Оператор преносног система ЕМС АД Београд је предузео прве кораке у прилагођавању досадашњег рада новом обрачунском интервалу. Започео је проширивање интерне базе података са улазним подацима у петнаестоминутној резолуцији и у скоријој будућности започеће развој модула за прогнозу губитака на бази вештачке интелигенције. Очекује се да би адекватно развијен модул позитивно утицао на побољшање грешке прогнозе губитака.

ЕМС АД Београд тежиће да скрати временски период у коме ће му бити доступни обрачуни подаци. Нове технологије уређаја за мерење електричне енергије и интеграција са адекватним софтверским решењима допринеће у реализацији ове намере и омогућити благовремену корекцију прогнозе.

Такође, увођење напредних софтверских решења за прогнозу губитака представља један од могућих начина за унапређење прецизности предикције. Спроведена анализа грешке прогнозе јасно указује да се предикција губитака никако не сме наставити у временској резолуцији која је неусклађена са обрачунским интервалом, јер су добијена одступања неприхватљива са становишта захтеване тачности. Анализа података за период од 2022. до 2024. године показала је да је минимална средња сатна вредност грешке на годишњем нивоу била у 2023. години и износила је 17,75 %, док је максимална била у 2024. години и износила 21,28 %, што је знатно изнад захтеване тачности, односно да средње сатне вредности грешке буду на нивоу нижем од 15 %.

Тренутно је најзначајнија дневна прогноза губитака која се спроводи у дан унапред процесу. Уколико не буде било могуће задовољити критеријуме тачности прогнозе губитака очекивано је да ће акценат са дневне прогнозе губитака која се спроводи у дан унапред процесу бити пребачен на дневну прогнозу губитака која се спроводи у унутардневном процесу.

У будућем периоду очекујемо да ће додатна аутоматизација, проширивање улазних података и приближавање реалном времену бити довољно да се превазиђе проблем тачности прогнозе у краћем обрачунском интервалу.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Република Србија, Закон о енергетици, Службени гласник РС, бр. 145/2014, 95/2018 - др. закон, 40/2021, 35/2023 - др. закон, 62/2023 i 94/2024.
- [2] Република Србија, Правила о измени Правила о раду тржишта електричне енергије, „Службени гласник РС“, бр. 106/2024
- [3] Електромрежа Србије, PR.NGU.01 - Процедура за прогнозу губитака електричне енергије у преносном систему