

Izbor odgovarajućih vrsti greške prognoze za adekvatnu procenu uspešnosti operativnog planiranja proizvodnje iz različitih tipova obnovljivih izvora energije

Mladen Apostolović*, Miroslav Divčić**, Marijan Rančić***, Risto Vasiljević*

* EFT Trade d.o.o., Beograd, Srbija

** ERS male hidroelektrane d.o.o., Foča, Bosna i Hercegovina / Republika Srpska

*** New Energy Solutions d.o.o., Beograd, Srbija

Rezime - Prognoziranje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora predstavlja veliki izazov proizvođačima, Operatorima sistema za distribuciju i prenos električne energije i trgovcima odnosno otkupljivačima te energije. Operatori sistema se u cilju održavanja sigurnog rada elektroenergetskog sistema u velikoj meri oslanjaju na operativne prognoze proizvodnje samih proizvođača. Većim učešćem obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji, raste interes i važnost što tačnije prognoze proizvodnje iz ovih izvora i sve većeg oslanjanja Operatora sistema na prognoze koje im dostavljaju proizvođači. Poseban izazov u prognozi proizvodnje iz obnovljivih izvora energije čini energija dobijena iz solarnih, vetro i malih protočnih hidroelektrana. Obzirom da izlaskom proizvođača na slobodno tržište ova tema postaje sve aktuelnija, preispituju se, unapređuju i razvijaju različite metode za prognozu proizvodnje i razna sledstvena softverska rešenja. Upporedna analiza i izbor za primenu odgovarajuće metode za (pr)ocenu greške uspešnosti prognoze, upravo je tema ovog rada. Nakon uvodnih razmatranja o značaju adekvatne prognoze proizvodnje iz obnovljivih izvora električne energije, prikazan je način određivanja preciznosti različitih rešenja i dat predlog načina izbora odgovarajućeg merila odnosno vrste grešaka za različite tipove obnovljivih izvora energije. Uz njihove matematičke formulacije, dati su praktični primeri izračunatih različitih merila greške kao što su: standardna devijacija, pristrasnost, srednja apsolutna greška, srednja kvadratna greška, itd., kao i njihove normalizovane procentualne vrednosti. Opisani su uzorci, tok i rezultati obračuna za merenje uspešnosti prognoziranja proizvodnje iz solarnih, vetroelektrana i malih hidroelektrana. Na samom kraju rada su ukratko date napomene o mogućim i potrebnim unapređenjima u cilju bolje što bolje prognoze proizvodnje a i sveobuhvatnije analize različitih vrsti grešaka prognoze.

Ključne reči - obnovljivi izvori, proizvodnja, prognoza, greška, tačnost, odstupanje

I UVOD

Znatno izmenjene tržišne okolnosti u poslednjih nekoliko godina, a koje su se pre svega ogledale u značajnom povećanju cena električne energije, uslovalo je da veliki broj elektrana, pre svega malih priključenih na distributivnu mrežu, napusti razne vrste podsticaja i da izađe na tržište. U tom procesu je jedna stvar presudno uticala na povećanje značaja planiranja i prognoze proizvedene električne energije, a to je činjenica da se,

u generalizovanom slučaju, kada bi proizvođač bio samostalni učesnik na tržištu i (finansijski) balansno odgovoran za svoja odstupanja, u „jednačini“ njegove cene se pojavljuje i trošak debalansa. Debalans predstavlja odstupanje ostvarene proizvodnje u satnoj (perspektivno u 15-ominutnoj rezoluciji) od njene planirane ili tačnije rečeno za predmet ovog rada - prognozirane vrednosti. Ovo odstupanje će se za potrebe ovog rada nazivati još i greška (eng. *error*) prognoze. Ako je ostvarena proizvodnja veća od prognozirane, debalans je pozitivan i za taj višak će proizvođač dobiti neki novac od Operatora balansnog tržišta, ali po pravilu po ceni manjoj od berzanske cene (pa se javlja oportunitetni trošak). Ukoliko je ostvarena proizvodnja manja od prognozirane, debalans je negativan i za taj manjak će proizvođač morati da plati Operatoru balansnog tržišta neki novac, ali po pravilu po ceni većoj od berzanske. Postoji nekoliko načina za fer i transparentno određivanje, obračunavanje i raspodelu ovih troškova debalansa koji su prikazani u [1]. Upravo su ovi najdirektniji mogući cenovni signali uslovlili da se prognozi proizvodnje pristupi na jedan mnogo ozbiljniji i detaljniji način, a sve zarad smanjenja troškova po osnovu debalansa - a samim tim ostvarivanja većeg prihoda (proizvođača). Ovaj rad se neće baviti mnogobrojnim i različitim modelima prognoze [2] koji su specifični za svaku vrstu izvora, već samo izračunavanjem, ocenom i procenom različitih vrsta grešaka prognoze [3,4], a na samom početku se pojavilo nekoliko izazova koji će ovde biti navedeni.

Dobro razrađene metode za procenu prognoze potrošnje se ovde nisu mogle primeniti zbog specifičnosti elektrana i podataka koji će se analizirati. Potrošnja/konzum ima veliku apsolutnu vrednost, decenije istorijskih podataka i dobro raspoređene i proverene u praksi metode za prognozu. Nasuprot teme, u ovom radu će se razmatrati prognoze proizvodnje iz proizvodnih pogona koji koriste obnovljive izvore energije, konkretno solarne i vetroelektrane i male protočne hidroelektrane. Dimenzije instaliranih kapaciteta su čak više stotina puta manje od snage potrošnje konzumnog područja i samim tim svi relativni odnosi će ovde biti mnogo izraženiji.

Sledeći izazov je intermitentnost analiziranih izvora koja utiče na nepostojanje neke bazne i relativno konstantne vrednosti u odnosu na koje se promene tj. odstupanja dešavaju. Intermitentni (povremeni i varijabilni) izvor energije je svaki onaj izvor koji nije neprekidno dostupan zbog nekog činioca na koji se ne može direktno uticati. Ovi izvori mogu samo donekle biti predvidljivi,

a uglavnom zavise od hidro-meteoroloških prilika pa se prognoza njihove odate snage (i proizvedene električne energije) u stvari zasniva na prognozi vremenskih uslova odnosno većem broju parametara koji tu prognozu čine kao što su padavine (kiša i sneg), oblačnost, intenzitet solarne iradijacije, ambijentalna temperatura, brzina i smer vetra, itd., kao i određenom broju tehničkih parametara koji definišu rad same elektrane (tehnička dostupnost, kriva snage, itd.).

Pored intermitentnosti, tokom perioda dostupnosti primarnog izvora energije (sunce, vetar, voda) ovi izvori su i uglavnom neupravljivi (eng. *non-dispatchable*), odnosno nedovoljno upravljivi jer im se dominantno može samo prigušivati tj. smanjivati izlazna snaga, dok su mogućnosti povećanja snage svedene na mogućnosti samo kratkotrajnog povećanja u svrhu stabilizacije frekvencije (vetrogeneratori sa modulima za kontrolu inercije (eng. *synthetic inertia*)). Upravljivost ne treba mešati sa mogućnošću povećanja faktora iskorišćenja primarnog izvora, npr. kod solarnih elektrana zakretanjem panela tokom dana – ali samo kod onih koje su već konstruisane sa treker sistemima a kod vetroelektrana zakretanjem celih turbina nasuprot smeru vetra, kao i lopatica turbine. Zbog prethodno navedenih osobina, ovde se radi o prognozi (eng. *forecast*) a ne o planiranju proizvodnje jer ovi izvori po svojoj prirodi ne mogu da prate i ostvaruju ranije utvrđen zadati plan.

Poslednji izazov koji je uspešno savladan je bila nedovoljna raspoloživost parova podataka potrebnih za analize, pre svega prognoza, ali ponegde i ostvarene proizvodnje u odgovarajućoj (satnoj) rezoluciji ali su autori uspeali da prikupe reprezentativan broj uzoraka sa odgovarajućim podacima potrebnim za predmetne analize. Ulazni podaci o satnim ostvarenim proizvodnjama i njihovim prognozama za tri tipa obnovljivih izvora: solarne i vetroelektrane i male protočne hidroelektrane su pribavljeni za više desetina realnih elektrana iz nekoliko zemalja u regionu. Ovi podaci su prikupljeni, obrađeni i verifikovani (uz korigovanje uočenih grešaka merenja), zatim je obavljeno njihovo svodenje na istu instalisanu snagu od po 50MW za svaki tip izvora posebno, a što je učinjeno radi omogućavanja međusobnog poređenja različitih izvora ali i zbog zaštite poverljivosti podataka koju su prikupljeni sa realnih elektrana iz regiona za prethodne dve godine (2022. i 2023.).

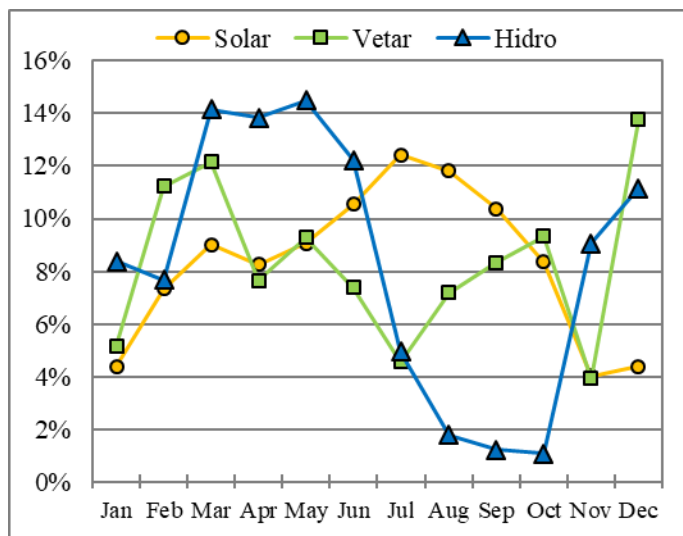
U radu će u narednim poglavljima biti obrađene sledeće teme:

- definisanje osnovnih vrsta grešaka koje će biti korišćene:
 - o proširenje i modifikacija pojedinih formula radi njihovog prilagođavanja specifičnostima, pre svega solara i vetra,
 - o filtriranje prikupljenih podataka odnosno izbor podskupa na kojem se rade analize,
- računanje i uporedni tabelarni i grafički prikaz izabranih vrsta grešaka,
- izbor najpogodnije vrste greške za poređenje prognoze različitih izvora,
- naglašavanje specifičnosti prognoze i računanja grešaka za pojedine izvore,
- zaključak i otvorene stavke za moguće dalje i/ili dublje analize.

II ENERGETSKO-PROIZVODNE KARAKTERISTIKE RAZMATRANIH SKUPOVA ELEKTRANA

Radi boljeg uvida u sezonalnost proizvodnje različitih tipova elektrana, na Slici 1 je prikazana mesečna raspodela proizvodnje elektrana po tipovima. Pored ovoga, u Tabeli 1 su prikazani dodatni podaci koji i nisu od nekog prevelikog značaja za predmetne analize u ovom radu, ali su autori smatrali da je korisno da se uporedo navedu radi boljeg uporednog sagledavanja osobina razmatranih primarnih izvora energije i to:

- koeficijent iskorišćenja instalisane snage, *Kiis* [%] (eng. *capacity utilization factor* - CUF), koji predstavlja odnos stvarno proizvedene električne energije i one koja bi se u tom posmatranom vremenskom periodu mogla proizvesti da je elektrana sve vreme radila punom tj. instalisanom snagom;
- broj sati (ekvivalentnog) punog opterećenja [h] (eng. *full load hours* - FLH), koji se dobija kada se prethodno definisani koeficijent iskorišćenja pomnoži sa ukupnim brojem sati u posmatranom vremenskom periodu i sasvim je analogan prethodnom osim što se izražava u drugim mernim jedinicama.



Slika 1. Raspodela godišnje proizvodnje po mesecima u 2023.

Koeficijent iskorišćenja se u praksi svodi na određeni procenat (manji od 100%) koji zavisi od primenjene tehnologije i vrste primarnog izvora energije koji se transformiše u električnu. Posmatrano na godišnjem nivou, za termoelektrane ovaj koeficijent iznosi preko 80%, a u našem regionu za male protočne hidroelektrane 45–60%, vetroelektrane 25–30% i solarne elektrane 14–20%.

Za vetroelektrane je specifično da oko 25% vremena godišnje ne mogu da rade jer je brzina vetra manja od minimalno potrebne, a oko 5% vremena jer je veća od maksimalno dozvoljene.

Za solarne elektrane je specifično da primarnog izvora energije (sunčevog zračenja tj. iradijacije) sigurno nema bar 40% vremena godišnje, a prvih 5-6 i poslednja 3-4 sata nema tokom cele godine.

I za vetru i za solarne elektrane je zajedničko da tokom godine obavezno i redovno postoji određeni deo vremena kada primarni

izvor energije nije uopšte dostupan (istini za volju ovo važi i za hidro, ali mnogo ređe i to u ekstremno sušnim letnjim mesecima). Zato je i zanimljivo i korisno izračunati ovaj koeficijent samo za onaj period kada elektrane proizvode i on će biti označen sa $Kiis(m)$.

Sa M je označen ukupan broj vremenskih intervala tj. sati u posmatranom periodu za koji se radi analiza greške ($M = 8760$ h godišnje), dok je m broj vremenskih intervala tj. broj "radnih sati" elektrane. Za potrebe ovog rada računaju se sati u kojima su ostvarena ili prognozirana proizvodnja različite od nule. Ovakva definicija proizilazi iz činjenice da se može desiti da je u nekom satu ostvarena proizvodnja jednaka nuli, ali da za taj sat postoji prognoza - pa samim tim i greška koja treba da se uvaži u analizi.

Tabela 1. Koeficijenti iskorišćenja i broj radnih sati u 2023.

Mesec	Solar			Vetar			Hidro		
	$Kiis$ [%]	m [h]	$Kiis(m)$ [%]	$Kiis$ [%]	m [h]	$Kiis(m)$ [%]	$Kiis$ [%]	m [h]	$Kiis(m)$ [%]
Jan	9	330	20	17	570	23	46	744	46
Feb	16	335	32	42	643	44	27	672	27
Mar	18	398	33	41	711	43	25	743	25
Apr	17	432	28	27	690	28	78	720	78
May	18	481	28	31	732	32	43	744	43
Jun	21	481	32	26	674	27	18	720	18
Jul	25	496	37	15	618	18	4	615	4
Aug	23	472	37	24	687	26	9	622	11
Sep	21	401	38	29	682	31	14	720	14
Oct	16	373	33	31	739	32	6	745	6
Nov	8	323	18	14	576	17	28	720	28
Dec	9	315	20	46	683	50	58	744	58
Godina	17	4837	30	29	8005	31	30	8509	30

III DEFINICIJE, OSOBINE I KOMPARATIVNA ANALIZA RAZLIČITIH VRSTI GREŠAKA, ODNOSNO PROMAŠAJA PROGNOZE

Skoro svi novi prognostičarski modeli, odnosno komercijalni softveri koji ih koriste, u većini slučajeva imaju implementirane proverene metode (algoritme) mašinskog učenja, dok su modeli koji su bazirani na veštačkoj inteligenciji u manjini. Ovi algoritmi koriste istorijske podatke o ostvarenoj proizvodnji kako bi našli što tačnije formule koje povezuju hidrometrološke prognoze sa iznosom očekivane proizvodnje. Ovom prilikom, ti algoritmi rade optimizaciju odnosno minimizaciju neke od grešaka prognoze i to samo jedne. Upravo zbog ovog razloga je veoma bitna osnovna tema ovog rada, a to je izbor adekvatne greške prognoze za pojedini vrstu izvora, a koja će se pomenutim algoritmima minimizirati. Što se tiče komercijalnih softvera, moguće je da korisnik izabere samo jednu vrstu greške za minimizaciju. Međutim, što se tiče samih analiza (pa i uporednih) grešaka, može se desiti, a i dešava se, da neka kombinacija grešaka daje bolju sliku o, i uvid u, tačnost neke

prognoze. Novi trendovi koji su se proširili među pružiocima usluga prognoze tokom prethodne godine su upravo usmereni ka ovome. Radi se na kombinovanju više prognostičarskih modela (ili više različitih prognoza različitih pružalaca usluga) uz vrednovanje svakog od njih odgovarajućim težinskim faktorom. Primera radi, dobra metoda sa malom greškom koja po malo ali konstantno "podbacuje" u prognozi, može se dodatno poboljšati kombinovanjem sa nešto lošijom metodom ali koja konstantno po malo "prebacuje" u prognozi, naravno uz uvažavanje odgovarajućih težinskih faktora za svaku od njih u konačnoj prognozi.

Vrste grešaka prognoze koje će biti razmatrane u ovom radu su široko rasprostranjene u praktičnoj upotrebi, pre svega prognostičarskih softvera, a ovde će biti navedene kako njihove matematičke definicije, tako i pojedine osobenosti, a sve kako bi se napravila jasna razlika između sličnih ali i kvalifikovale i diskvalifikovale za potrebe analiza u ovom radu. Obradene osnovne greške se koriste u sličnoj problematici u statističkoj analizi kada treba utvrditi nivo odstupanja jedne pojave od druge tokom nekog vremenskog period (vremenske serije) ili konkretno za problematiku ovog rada, odstupanje prognozirane proizvodnje (koju izrađuje prognostičarski softver) od ostvarene proizvodnje.

Za sve formule u ovom radu će se koristiti sledeće oznake:

- F_t – prognozirana proizvodnja za vremenski interval t , u ovom radu jedan sat (preciznije bi bilo napisati Δt jer se radi o vremenskom intervalu, a ne o jednom trenutku u vremenu, ali je usvojena oznaka t i radi preglednosti, a i jer se ova skraćena varijanta češće koristi u literaturi).
- A_t – ostvarena proizvodnja u satu " t ".
- $\bar{A}_t = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (A_t)$ – aritmetička sredina (prosek) svih ostvarenih proizvodnji u svim (razmatranim) satima.
- $\bar{F}_t = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (F_t)$ – aritmetička sredina (prosek) svih prognoziranih proizvodnji u svim (razmatranim) satima.
- $E_t = (A_t - F_t)$ – odstupanje ostvarene od prognozirane proizvodnje, greška prognoze - promašaj.
- $\bar{E}_t = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (E_t)$ – aritmetička sredina (prosek) svih grešaka prognoze u razmatranim satima.

Slede definicije i komentarisanje različitih vrsta grešaka prognoze.

III-1. Standardna devijacija greške prognoze, $Sdev$

$$Sdev = \sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{t=1}^M (E_t - \bar{E}_t)^2} \quad (1)$$

Kao što se može primetiti iz same formule, standardna devijacija prikazuje prosečno odstupanje svakog pojedinačnog podatka u vremenskom nizu (seriji) od aritmetičke sredine svih podataka. Da bi se osnovna formula standardne devijacije primenila na predmetnu problematiku, posmatraće se numerička (vremenska) serija grupisanih grešaka tj. distribucija frekvencije grešaka, odnosno razlika između ostvarenja i prognoze. Distribucija frekvencije grešaka predstavlja način uređenja serije podataka gde se podaci prikazuju rastući, a frekvencija predstavlja njihov broj pojavljivanja u seriji. Stoga u ovom slučaju standardna devijacija je mera varijabiliteta greške. U ovom slučaju standardna devijacija greške predstavlja prosečno odstupanje

svake individualne greške u svakom satu od prosečne vrednosti greške u celom posmatranom periodu. Standardna devijacija se izražava u istoj jedinici mere kao i posmatrana vremenska serija podataka.

III-2. Pristrasnost, B

Statistički, pristrasnost (eng. *bias*) se definiše kao razlika između pojave koja se procenjuje i matematičkog očekivanja prognozero. Najjednostavnije rečeno, B predstavlja tendenciju kretanja grešaka između prognozirane i ostvarene proizvodnje. Ako je negativna, to znači da prognoza “prebacuje” a ako je pozitivna onda “podbacuje”. Ovo je jedino merilo greške koje daje ovu informaciju, pa ga je poželjno koristiti paralelno sa drugim vrstama grešaka. Prosečna pristrasnost, MB (eng. *mean bias*) se računa po sledećoj formuli:

$$MB = \frac{1}{M} \cdot \sum_{t=1}^M (A_t - F_t) \quad (2)$$

pokazuje tendenciju kretanja promašaja prognoza, tj. da li smo u proseku više grešili u plus (pozitivni debalans) ili u minus (negativni debalans).

Prosečna pristrasnost se obično koristi kao dodatni pokazatelj tendencije (pristrasnosti) grešaka softvera tj. kao dopuna uz druge vrste grešaka za njihovo adekvatnije tumačenje. Ostale metode računanja grešaka nam ne daju ovaj podatak, da li softver i koliko u proseku (u nominalnim vrednostima) greši „nagore“ ili „nadole“ od realizovane proizvodnje.

Nedostatak prosečne pristrasnosti je što sam rezultat ne daje smernice ni indikacije koliko su velike greške koje softver pravi prilikom planiranja pojedinačnih sati. Naime u jednom satu / danu greška softvera može biti nominalno velika u pozitivnom smeru, dok u drugom danu može biti nominalno velika u negativnom smeru, a to će se u kalkulaciji prosečne pristrasnosti kompenzovati.

III-3. Srednja apsolutna greška, MAE

Srednja apsolutna greška (srednji apsolutni promašaj), MAE (eng. *mean absolute error*) se računa po sledećoj formuli:

$$MAE = \frac{1}{M} \cdot \sum_{t=1}^M |A_t - F_t| \quad (3)$$

Prednosti korišćenja ove greške su:

- jednostavna je za izračunavanje,
- lako razumljiva – laka interpretacija,
- nema kompenzovanja pozitivnih i negativnih vrednosti jer se koriste apsolutne vrednosti,
- nema “favorizovanja” negativnih (ni pozitivnih) odstupanja,
- manji uticaj ekstremnih vrednosti na rezultat.

Nedostaci korišćenja ove greške su:

- izražena je u jedinici u kojoj se nalazi vremenska serija podataka,
- nema relativnu vrednost tj. nije u izvornom obliku uporediva sa rezultatima na drugim vremenskim serijama (greškama drugih elektrana),
- tretira sa jednakom važnošću i velike i male promašaje.

Problem uporedivosti ove metode računanja greške se može

otkloniti „relativizacijom“ ili “normalizacijom”, a to se može postići primenom:

- srednje apsolutne procentualne greške, $MAPE$ (eng. *mean absolute percentage error*) ili
- srednje normalizovane apsolutne greške, $nMAE$ (eng. *normalized mean absolute error*).

$MAPE$ se računa po sledećoj formuli:

$$MAPE = \frac{1}{M} \cdot \sum_{t=1}^M \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \quad (4)$$

Prednosti korišćenja $MAPE$ su:

- relativna greška koja omogućava poređenje rezultata sa drugim serijama (elektranama),
- pošto je svako pojedinačno odstupanje normalizovano sa vrednošću ostvarene proizvodnje, ova greška obuhvata više grešaka u sebi jer se agregacija dešava posle relativizacije.

Nedostaci su:

- podaci u vremenskoj seriji kada je ostvarena proizvodnja nula moraju biti izuzeti iz kalkulacije da bi se izbeglo deljenje sa nulom,
- usled normalizacije svakog podatka sa ostvarenom proizvodnjom u tom satu javljaju se još dva problema:
 - o kada je vrednost ostvarene proizvodnje izuzetno mala, vrednost greške može biti ogromna, i
 - o ova greška pridaje veći značaj negativnim odstupanjima nego pozitivnim, odnosno “favorizuje” negativna odstupanja prilikom proračuna greške.

Usled činjenice da se svako pojedinačno odstupanje ostvarene proizvodnje od njene prognoze relativizuje sa samim ostvarenjem u datom satu, negativna odstupanja (iako sa istim iznosom u apsolutnom iznosu) imaju veći uticaj na ukupnu grešku od pozitivnih odstupanja. Primena ovog modela u praksi prilikom računanja greške softvera za prognozu proizvodnje elektrana pri tržišnom plasmanu tj. ukoliko postoji penalizacija debalansa (balansna odgovornost) može imati osnova. Kada uzmemo u obzir da se obično cene pozitivnog i negativnog debalansa razlikuju, odnosno da su cene negativnog debalansa veće nego cene pozitivnog debalansa, odnosno negativni debalans predstavlja direktni trošak dok pozitivni debalans obično predstavlja direktan prihod (ali oportunitetni trošak!), pa sa tog aspekta primena ovog modela može imati komercijalnu opravdanost u analizi greške koju dati određeni softver pravi.

Ipak, naglašavanje negativnog odstupanja i njegovo favorizovanje može dovesti do pogrešnog zaključka o samoj efikasnosti softvera za prognozu. Naime, ukoliko postoji tendencija većeg apsolutnog odstupanja u pozitivnom smeru, to će biti kvantifikovano manje nego manja odstupanja u negativnom smeru, pa se može desiti da jedan softver, iako ima veću nepreciznost, biti kvantifikovan kao “superiorniji” u odnosu na neki drugi (isti slučaj se može desiti prilikom primene istog softvera na više proizvodnih objekata).

U statistici se normalizacija, odnosno postizanje relativnosti neke mere u odnosu na njenu prethodnu apsolutnost, obično postiže deljenjem vrednosti svake pojedinačne greške sa aritmetičkom sredinom čitave serije podataka. Međutim umesto toga, greška se

može podeliti i nekim drugim normalizacijskim faktorima, NF , a što će veoma detaljno biti objašnjeno u sledećem poglavlju. Za sada ćemo se zadržati samo na osnovnoj definiciji normalizacije iz statistike, pa se dobija sledeća formulu za $nMAE$:

$$nMAE = \frac{MAE}{NF} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{t=1}^M |A_t - F_t|}{\frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (A_t)} = \frac{\sum_{t=1}^M |A_t - F_t|}{\sum_{t=1}^M (A_t)} \quad (5)$$

Prednosti korišćenja $nMAE$ su:

- $nMAE$ ne zavisi od broja podataka kada je ostvarena proizvodnja ili prognoza jednaka nuli,
- prikazuje prosečno relativno odstupanje prognoze od ostvarenja i može se predstaviti i procentualno.

Nedostaci korišćenja $nMAE$ su:

- pridaje istu važnost i velikim i malim odstupanjima,
- favorizuje negativna odstupanja u odnosu na pozitivna usled deljenja sa sumom ostvarenja.

III-4. Srednja kvadratna greška, $RMSE$

Standardna kvadratna greška ili standardna greška trenda (tj. standardna greška prognoze), $RMSE$ (eng. *root mean square error*), primenjuje se kada je potrebno proceniti koliko je određeni matematički model (funkcija) tačan u procenjivanju kretanja određene pojave kroz vreme (funkcija trenda), a računa se prema formuli:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{t=1}^M (A_t - F_t)^2} \quad (6)$$

Standardna greška trenda ima veliku primenu u analizi vremenskih serija, a pošto se kretanje proizvodnje elektrana posmatra u vremenu nalazimo da je njena primenljivost na ovu temu opravdana. Ova greška je linearni izraz (kvadratni koren) prosečne kvadratne greške, slično kao i formula za izračunavanje standardne devijacije. U slučaju standardne devijacije koristi se aritmetička sredina posmatrane serije, dok se primenom $RMSE$ posmatra linearni izraz prosečnog kvadratnog odstupanja svakog podatka prognozirane proizvodnje za dati sat t sa odgovarajućim podatkom ostvarene proizvodnje za isti taj sat t .

Prednosti korišćenja ove greške:

- lako razumljiva – laka interpretacija,
- nema kompenzovanja pozitivnih i negativnih vrednosti, jer se koriste kvadrati odstupanja,
- favorizuje tj. naglašava veća odstupanja (zbog kvadriranja).

Nedostaci korišćenja ove greške:

- izražena je u jedinici u kojoj se nalazi vremenska serija,
- nema relativnu vrednost, tj. nije uporediva sa rezultatima na drugim serijama, odnosno sa greškama drugih elektrana.

Pomenuti nedostaci primene ove metode računanja greške se mogu otkloniti / ublažiti primenom „normalizacije“, tj. normalizovanjem rezultata ove greške.

Normalizovanjem $RMSE$ postiže se njena uporedivost sa različitim vrstama serija (tj. elektranama različitih instalisanih snaga, različite geografske lokacije, različite vrste proizvodnje električne energije, itd.). Normalizovana standardna greška

trenda, $nRMSE$ (eng. *normalized root mean square error*) računa se kao:

$$nRMSE = \frac{RMSE}{NF} = \frac{\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (A_t - F_t)^2}}{NF} \quad (7)$$

Ako se uzme u obzir da je $RMSE$ greška neobjašnjene varijacije (prognoze sa ostvarenjem), a standardna devijacija greška objašnjene varijacije (varijacija podataka o ostvarenoj proizvodnji u odnosu na aritmetičku sredinu ostvarene proizvodnje), normalizovanje sa standardnom devijacijom ostvarene proizvodnje može da ima smisla. U tom slučaju stavili bismo u odnos neobjašnjene greške sa objašnjenim greškama, te bi taj odnos davao indikaciju koliko je ostvarena proizvodnja predviđena (objašnjena) prognoziranom proizvodnjom.

Koeficijent determinacije govori koliko jedan model za prognoziranje proizvodnje determiniše (objašnjava / predviđa) ostvarenu proizvodnju. On može imati vrednosti od 0 do 1, gde 0 predstavlja potpuno slučajne pogotke, a rezultat 1 pokazuje savršen model. Kombinacijom $RMSE$ i koeficijenta determinacije, dobija se jasnija indikaciju koliko je neki model prognožiranja dobar ili loš.

Obzirom da rezultat sam po sebi bilo u nominalnom ili procentualnom iznosu može voditi ka pogrešnoj interpretaciji, posebna pažnja se posvećuje tumačenju rezultata normalizovane greške prognoze, imajući u vidu primenu centralne granične teoreme koja kaže da sve neprekidne serije podataka sa velikim brojem posmatranja (u praksi se koristi i broj 30 kao granica za primenu) imaju tendenciju rasporeda serije distribucije frekvencija (numeričke serije grupisanih podataka) po Gausovoj (normalnoj) distribuciji (raspodeli).

Sama greška $RMSE$ govori koliko model prognoze u proseku odstupa od ostvarenja u istoj jedinici mere. Interpretacija $RMSE$, kao i svake standardne greške procene nekog posmatranja modela, mora biti u okvirima intervala poverenja. Npr. $RMSE$ koji je jednak 150, govori da model prognoze u proseku greši 150 kWh/h u odnosu na realizaciju. Ali opet i ovo tumačenje treba uzeti sa rezervom. Naime, sam rezultat ne daje nikakvu indikaciju da li je greška velika ili mala, niti koji je smer odstupanja. Tek upoređivanjem ovog rezultata sa podacima, kao što su prosečna snaga po satu ili instalisana snaga posmatrane elektrane, može se dobiti indikacija da li je veličina greške prihvatljiva ili ne. Zbog toga se u praksi sve više koristi normalizovana greška koja se izražava procentualno i koja daje indikaciju koliko prognoza procentualno greši u odnosu na neki pogodno odabrani faktor normalizacije.

III-5 Opšta razmatranja o vrstama grešaka

U ovom radu dat je akcenat na uticaj različitih vrsta normalizacije na rezultate greške kao i potencijalno modifikovanje (prilagođavanje) određenih kriterijuma u svrhu što preciznijeg tumačenja dobijenih rezultata. Pored prethodno navedenih, postoji još veliki broj različitih vrsta grešaka prognoze koje se javljaju u literaturi, ali njihovo razmatranje prevazilazi obim ovog rada. Na osnovu svega prethodno navedenog se može zaključiti da su „klasične“ vrste grešaka i njihove nesvedene i nerelativizovane vrednosti dobre samo za međusobno poređenje različitih prognostičkih modela

primenjenih na istu elektranu - ili u krajnjem slučaju dve i više ali istog tipa, sličnih dimenzija i energetskih karakteristika.

Za poređenje prognoze za elektrane istog tipa ali značajno različitih snaga ili pak različitog tipa, neophodno je njihovo svođenje i pretvaranje u procenete. *MAE* se koncentriše na medijalnu vrednost. *RMSE* se koncentriše na srednju vrednost greške i zbog kvadriranja u formuli daje značajno veću "težinu" većim greškama – što je i cilj prilikom prognoze proizvodnje, jer veće greške impliciraju i veće troškove (bilo direktne ili oportunitetne).

Iz daljeg razmatranja eliminisace se sve vrste grešaka koje u svojoj definiciji imaju deljenje sa srednjom vrednošću (relativizacija) proizvodnje (kao što je prikazano za standardnu devijaciju ali se npr. odnosi i na *MAD* (eng. *mean absolute deviation*) koji nije razmatran u ovom radu. Drugo, iz analize *MAPE* se može zaključiti da bez dodatnih izmena na izvornoj formuli, nije pogodna za korišćenje za potrebe (uporedne) analize grešaka.

Zaključak svega prethodnog je da je poželjno koristiti *RMSE* ali uz njeno odgovarajuće svođenje na procenete pogodno izabranim parametrom. Izbor odgovarajućeg parametra za svođenje, koji treba da bude u vezi sa tehničkim i eksploatacionim karakteristikama posmatrane elektrane i njenog tipa, predmet je razmatranja u sledećem poglavlju.

IV SVOĐENJE GREŠAKA PROGNOZE NA UPOREDIVE PERCENTUALNE VREDNOSTI

Instalisana snaga elektrane je projektovana vrednost koja predstavlja kapacitet postrojenja u idealnim uslovima i skoro nikada je nije moguće dostići u potpunosti. Za solarne elektrane se razlikuje instalisana snaga panela (DC snaga) i instalisana snaga invertora (AC snaga). U poslednje vreme su investitori shvatili, a relevantni regulatori odobrili, da DC snaga bude veća od AC snage, što je i potrebno i poželjno, prvo za pokrivanje (pre svega termičkih) gubitaka od samih panela do izlaza iz elektrane (tj. do obračunskog mernog mesta), a zatim je ekonomski i opravdano do određenog iznosa, zbog ostvarivanja veće godišnje proizvodnje sa istom AC snagom (koja u velikoj većini slučajeva koincidira sa odobrenom snagom priključka elektrane na mrežu).

Prilagođeni maksimum snage elektrane predstavlja privremeno raspoloživu snagu elektrane, odnosno maksimalnu snagu koja je dostupna u određenom trenutku ili vremenskom periodu. Pored toga što prvenstveno zavisi od pogonske spremnosti elektrane (raspoloživost agregata, invertora, panela, vodova, transformatora, rasklopne opreme, mreže, itd.), prevashodno zavisi prvo od dostupnosti, a zatim i od intenziteta primarnog izvora energije – što naročito dolazi do izražaja kod obnovljivih izvora energije, a kod hidroelektrana zavisi od pada i dotoka.

U ovom radu je pretpostavljeno da je pogonska spremnost svih elektrana i raspoloživost mreža na koje su one priključene jednaka 100% (zbog nedostupnosti relevantnih podataka), što naravno nije u potpunosti tačno ali su autori smatrali da je ovo dovoljno dobra pretpostavka za predmetne analize.

Postoje veoma velike razlike u dostupnosti primarnog izvora energije, kako na dnevnom odnosno satnom, tako i na mesečnom

i sezonskom nivou. Na primer, sunca nema bar devet sati dnevno tokom cele godine, naleti vetra koji se posebno tokom letnjih meseci manifestuju naglim promenama brzine vetra, a svi ovi izvori su sezonski osetljivi po količini raspoloživog resursa, a sunce i voda i po intenzitetu odnosno maksimalnoj raspoloživosti resursa. Ovo je više nego očigledno na primeru solarnih elektrana koje tokom zimske sezone dostižu tek između 50-70% instalisane snage. Stoga je u ovom radu uveden jedan novi način izračunavanja raspoložive snage iz dostupnih podataka o proizvodnji, a koji će detaljno biti opisan kada se budu računale greške prognoze.

Više je nego očigledno da zbog velikog opsega instalisanih snaga pojedinačnih elektrana, bilo koja vrsta apsolutne greške nije pogodna za korišćenje, jer ne mogu da se porede međusobno zbog mogućeg različitog reda veličina instalisanih snaga, od stotina kW malih solara, do stotina MW vetroparkova. Zato je od veoma velike važnosti izbor snage za „normalizaciju“ (svođenje, „relativizaciju“) grešaka.

Kao što je ranije već rečeno, aritmetička sredina nije jedini kriterijum koji se može primeniti za „normalizaciju“. Da bi se rasvetlila prethodno opisana problematika, poređiće se svedene (normalizovane) vrednosti izabranih grešaka sa više vrednosti svođenja (tj. normalizacijskih faktora - *NF*) i to deljenjem osnovnih vrsti grešaka (*MAE* i *RMSE*) sa:

- instalisanom snagom elektrane, što je DC snaga kod solarnih elektrana,
- odobrenom snagom priključka, što je AC snaga kod solarnih elektrana, a za ostale ćemo smatrati da je jednaka instalisanoj snazi,
- jednokratno maksimalnom ostvarenom snagom u "periodu posmatranja" tj. periodu u kome računamo grešku,
- relativnim maksimumom snage, koji se izračunava množenjem jednokratno maksimalne snage, ali ne pod c) već one koja je zabeležena tokom cele godine *M*, i odnosom mesečne i celogodišnje ostvarene proizvodnje,
- prilagođenim maksimumom snage, odnosno realno raspoloživom snagom u "periodu posmatranja", tj. periodu u kome se računa greška,
- aritmetičkom sredinom ostvarene proizvodnje (srednja tj. prosečna vrednost snage) u "periodu posmatranja" tj. periodu u kome se računa greška, po izvornoj definiciji.

Za varijantu normalizacije pod f), mogu se sprovesti i sledeće podvrste proračuna vrednosti normalizacije:

- samo za sate *m* kada je elektrana proizvodila (ovo je uticajno za solar i za vetar, a za hidro samo u letnjim tj. ekstremno sušnim mesecima) i
- za sve sate *M* tokom "perioda posmatranja" odnosno perioda u kome se računa greška.

Prilagođeni maksimum snage, naveden u prethodnom nabranju pod e), predstavlja posebnu vrstu kriterijuma za normalizovanje greške prognoze, a odnosi se na određivanje realnog maksimuma za određeni period posmatranja date elektrane, uprosečavanjem vrednosti ostvarene proizvodnje po pojedinim satima, a zatim utvrđivanjem njihovog maksimuma. Naime, kao što je poznato i više puta pomenuto, pre svega solarne i hidro, a donekle i vetrolektrane, ne mogu da rade svojim punim kapacitetom u

svim periodima tokom godine, pa stoga nije primenljivo uzimati u obzir prilikom normalizovanja maksimalnu vrednost snage po satu (proizvodnje) koju elektrana može realizovati (instalirana/odobrena snaga) tokom cele godine, nego je potrebno odrediti realn(i)je maksimume po svakom posmatranom periodu (najmanje mesečnom, kao što je učinjeno u ovom radu).

Uobičajeno je, naročito u prognostičarskim softverima, korišćenje instalirane ili klasične raspoložive snage za ovu normalizaciju, a koje se ne preporučuje upravo zbog prethodno navedenih razloga različite sezone, dnevne i satne dostupnosti i maksimalne raspoloživosti primarnih izvora energije, jer dovodi do pogrešnih vrednosti grešaka, a samim tim i pogrešnih zaključaka u pojedinim mesecima / sezonama. Nakon uvida u rezultate sprovedenih analiza sa različitim vrednostima normalizacijskih faktora (snaga), autori će probati da dođu do odgovora na pitanje da li je opravdano raditi normalizaciju istom vrednošću tokom cele godine. U svakom slučaju ovakvo računanje je (iz programerskog ugla) lakše i uniformnije. Ali na osnovu sagledavanja fizike problema čini se da nije dovoljno ni dobro ni korisno, a ni sasvim tačno.

Prednosti korišćenja $nRMSE$ sa posebnim normalizacijskim faktorima, u odnosu na $nMAE$ i $MAPE$ su sledeći:

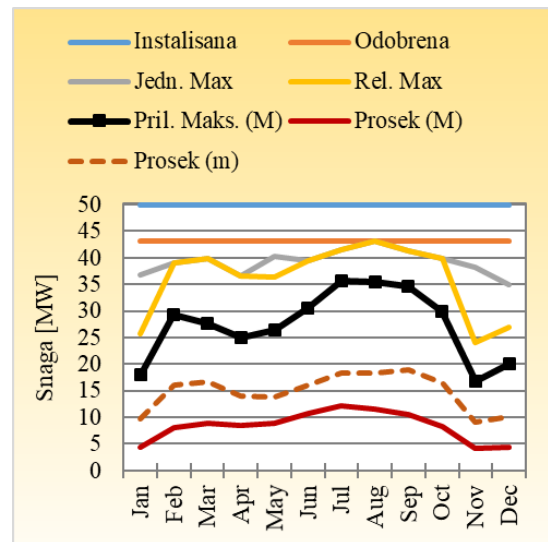
- primena u statistici: $nRMSE$ ima veću primenu u statističkim istraživanjima – dalje analize i kalkulacije intervala poverenja, korelacija i koeficijenta determinacije,
- naglašavanje većih odstupanja: $nRMSE$ daje veću težinu većim odstupanjima što i jeste ultimativni cilj kod izbora prognoze: smanjivanje magnitude pojedinačnih grešaka,
- tretiranje negativnih i pozitivnih odstupanja: $nRMSE$ podjednako tretira pozitivna i negativna odstupanja,
- zastupljenost u praksi: $nRMSE$ je zastupljeniji kao mera greške u prognozama proizvodnje i konzuma,
- uporedivost rezultata: primena različitih NF omogućava ali i ograničava primenu $nRMSE$ samo unutar jednog izvora obnovljive energije. NF omogućava da se za isti izvor energije (sunce, vetar ili hidro) vrši poređenje iznosa greške bez obzira na lokaciju ili instalirani kapacitet. Usled različitih varijabiliteta specifičnih za svaku vrstu obnovljivog izvora energije, unakrsno poređenje nije preporučljivo, jer će voditi ka velikoj diferenciranosti rezultata i pogrešnim tumačenjima usled različitih NF .

V KOMPARATIVNA ANALIZA IZRAČUNATIH GREŠAKA PROGNOZE

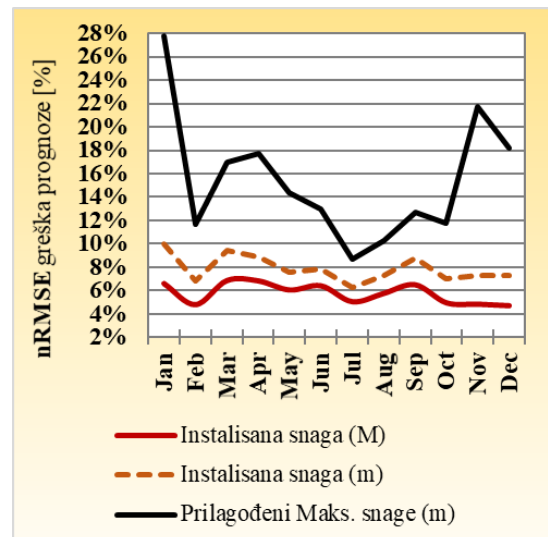
Na slikama 2.-10. su za svaki od tipova izvora prikazane mesečne vrednosti normalizacijskih faktora kao i izračunatih grešaka prognoze $nRMSE$ i $nMAE$ za 2023. godinu. U Tabeli 2 su uporedno dati ovi podaci za obe razmatrane godine, 2023. i 2022.

Na osnovu energetske osobine izvora opisanih u poglavlju II i komparativne analize svih vrsta grešaka, izračunatih sa svim definisanim normalizacijskim faktorima NF (od a) do f) iz poglavlja III-1), odabrano je da se kao NF snage za:

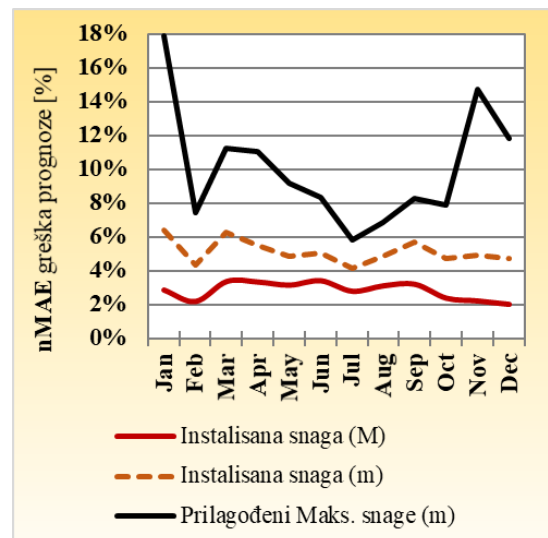
- solarne elektrane koristi: e) Prilagođeni maksimum (M),
- vetroelektrane koristi: d) Relativni maksimum, i za
- hidroelektrane koristi: c) Jednokratni maksimum.



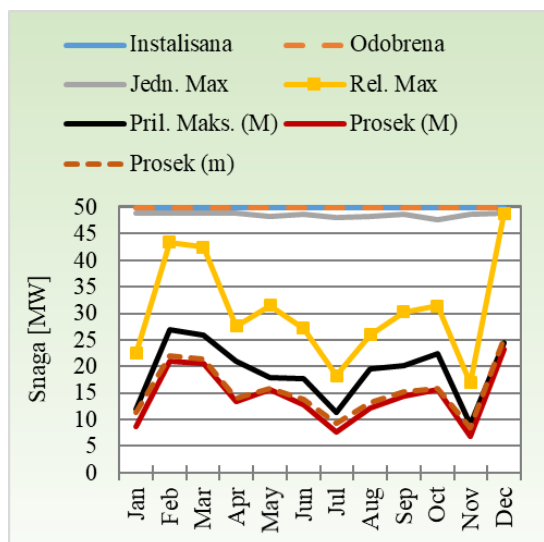
Slika 2. Mesečni normalizacijski faktori (NF) u 2023. za solare



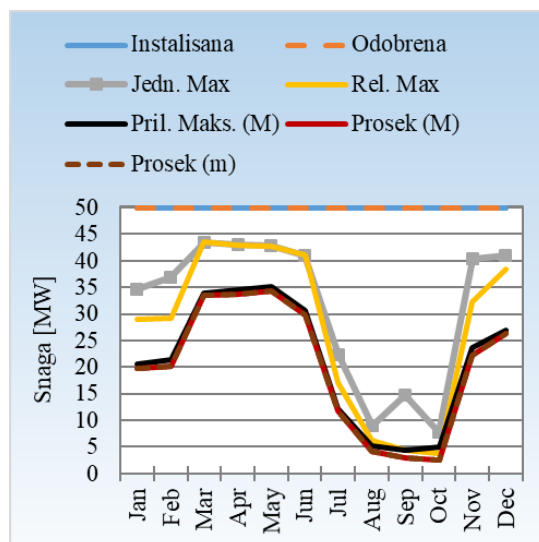
Slika 3. Mesečne greške prognoze $nRMSE$ u 2023. za solare



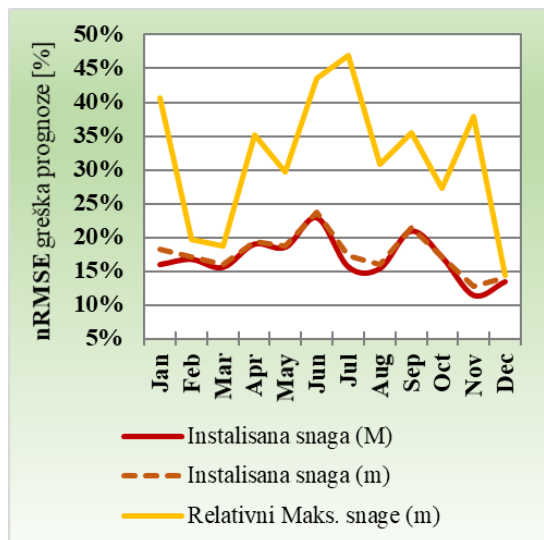
Slika 4. Mesečne greške prognoze $nMAE$ u 2023. za solare



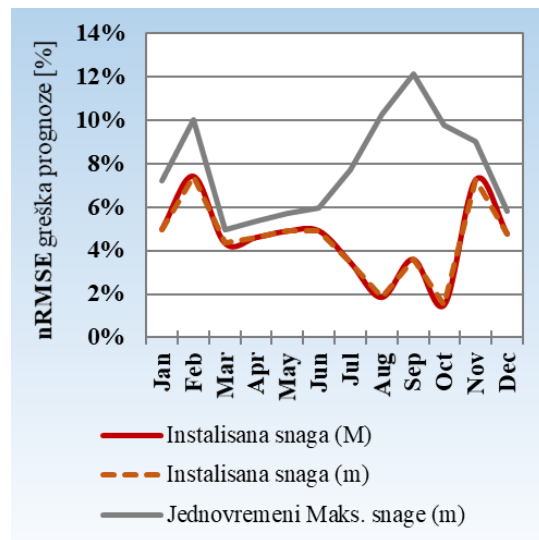
Slika 5. Mesečni normalizacijski faktori (NF) u 2023. za vtro



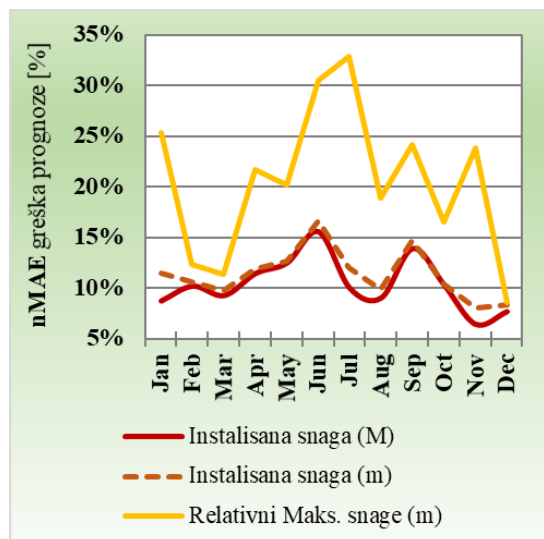
Slika 8. Mesečni normalizacijski faktori (NF) u 2023. za hidro



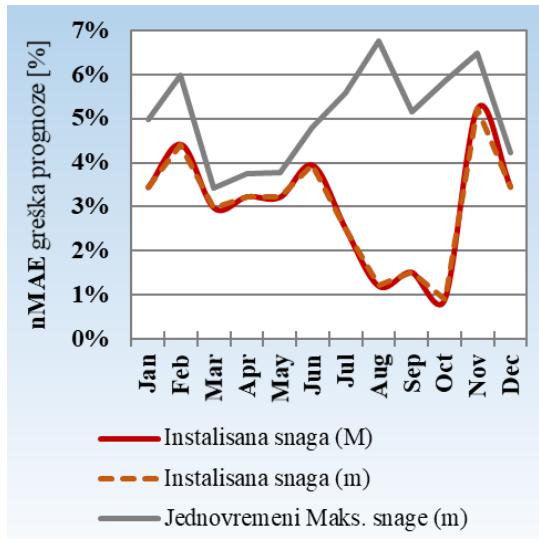
Slika 6. Mesečne greške prognoze nRMSE u 2023. za vtro



Slika 9. Mesečne greške prognoze nRMSE u 2023. za hidro



Slika 7. Mesečne greške prognoze nMAE u 2023. za vtro



Slika 10. Mesečne greške prognoze nMAE u 2023. za hidro

Tabela 2. Mesečne i godišnje vrednosti normalizacijskih faktora i grešaka prognoze $nRMSE$ i $nMAE$ po tipovima izvora u 2022./23.

Tip	SOLAR								VETAR								HIDRO							
Greška	$nRMSE$ [%]				$nMAE$ [%]				$nRMSE$ [%]				$nMAE$ [%]				$nRMSE$ [%]				$nMAE$ [%]			
Godina	2023.		2022.		2023.		2022.		2023.		2022.		2023.		2022.		2023.		2022.		2023.		2022.	
Mesec	Instalisano (M)	Prilagođeni maks.	Instalisano (M)	Prilagođeni maks.	Instalisano (M)	Prilagođeni maks.	Instalisano (M)	Prilagođeni maks.	Instalisano (M)	Relativni maks.	Instalisano (M)	Relativni maks.	Instalisano (M)	Relativni maks.	Instalisano (M)	Relativni maks.	Instalisano (M)	Jednokratni maks.	Instalisano (M)	Jednokratni maks.	Instalisano (M)	Jednokratni maks.	Instalisano (M)	Jednokratni maks.
Jan	6,6	28	3,4	11	2,8	18	1,5	6,8	16	41	21	30	8,7	25	11	16	5,0	7,2	1,1	1,3	3,4	5,0	0,6	0,7
Feb	4,8	12	5,0	21	2,2	7,4	2,2	13	17	20	15	15	10	12	9,2	9,4	7,4	10	1,0	1,5	4,4	6,0	0,4	0,7
Mar	6,9	17	4,8	12	3,3	11	2,4	8,4	16	19	13	21	9,3	11	7,6	12	4,3	5,0	2,0	3,1	3,0	3,4	1,0	1,6
Apr	6,9	18	5,3	12	3,3	11	2,6	7,6	19	35	16	24	11	22	8,7	13	4,6	5,3	4,1	4,5	3,2	3,8	2,7	2,9
Maj	6,1	14	4,7	8,7	3,1	9,2	2,5	5,8	19	30	13	23	12	20	7,9	14	4,9	5,7	4,4	6,0	3,2	3,8	2,7	3,7
Jun	6,4	13	4,5	8,5	3,4	8,3	2,4	5,6	23	43	11	23	16	30	6,7	14	4,9	6,0	5,4	10	3,9	4,8	3,4	6,4
Jul	5,1	8,7	3,5	6,1	2,8	5,8	1,9	4,0	16	47	18	40	10	33	11	23	3,5	7,7	1,9	11	2,5	5,6	1,2	7,1
Avg	5,8	10	3,9	7,8	3,1	6,9	2,1	5,1	15	31	13	57	9,1	19	7,7	33	1,8	10	8,0	19	1,2	6,8	4,4	11
Sep	6,5	13	4,9	10	3,2	8,2	2,5	6,6	21	35	16	32	14	24	10	20	3,6	12	7,5	13	1,5	5,1	5,8	10
Okt	5,0	12	3,6	7,6	2,4	7,9	1,8	5,2	17	27	11	20	10	17	7,5	13	1,5	9,8	2,6	11	0,9	5,9	1,7	7,3
Nov	4,9	22	4,3	16	2,2	15	2,1	11	11	38	19	30	6,5	24	9,7	15	7,3	9,0	7,4	8,8	5,2	6,5	5,4	6,5
Dec	4,7	18	4,8	24	2,0	12	2,0	16	13	14	12	12	7,7	8,6	7,2	7,3	4,8	5,8	7,8	7,9	3,5	4,2	5,6	5,6
Godina	5,9	15	4,4	11	2,8	9,4	2,2	7,0	17	29	15	25	10	18	8,7	14	4,7	5,4	5,2	5,3	3,0	3,4	2,9	3,0

Sa slika prikazanih u ovom poglavlju, očigledno je da se za obe vrste greške, najmanje vrednosti dobijaju kada se za NF koristi instalisana snaga, pa je onda i jasno zašto se upravo one kao merilo grešaka koriste u prognostičarskim softverima. Međutim, može se uočiti još jedna mana ovakvog pristupa, a to je mala (standardna) devijacija mesečnih grešaka tokom godine, odnosno “ublažavanje” vrednosti grešaka u mesecima gde je ona objektivno i po prirodi velika - u mesecima sa malom i/ili volatilnom ostvarenom proizvodnjom (npr. tokom “grejne” sezone, smene godišnjih doba, letnjih suša, itd.).

Sa slika (a posebno iz Tabele 2) se takođe može uočiti da su greške tipa $nRMSE$ većih iznosa (za nekih ~60%) od ekvivalentnih grešaka tipa $nMAE$, što je bilo i očekivano zbog kvadriranja grešaka prilikom izračunavanja $RMSE$. Na slikama 3. i 4. se za obe greške prognoze solara može uočiti da se greška (neopravdano!) smanjuje ako se računa na celom periodu M , a ne kako bi bilo trebalo - samo u periodima m fizičke raspoloživosti primarnog izvora energije. Ova razlika je za vetroelektrane (slike 6 i 7) mala, a za hidro za posmatranu godinu skoro i nepostojeća (slike 9 i 10), a što je direktna posledica međusobnog odnosa M i m koji su navedeni u Tabeli 1.

VI ZAKLJUČAK

Treba napomenuti da ovdašnje elektrane do sada nisu imale ni potrebu ni (ekonomski) podsticaj da poboljša(va)ju svoje modele prognoze zbog toga što neke od njih čak nisu imale ni obavezu prognoze, pa svakako postoji prostor za unapređenje koje je u tržišnim okolnostima plasmana električne energije proizvođača iz obnovljivih izvora energije i neophodno u cilju smanjivanja troškova, prevashodno debalansa.

Upoređivanjem rezultata različitih vrsti grešaka na različite vrste

obnovljivih izvora energije utvrđeno je da ne postoji ultimativno i jedinstveno „najbolji“ metod za izračunavanje greške, te i da izračunata greška ne može samostalno doprineti donošenju zaključka. Npr. korišćenje $(n)MAE$ ili $(n)RMSE$ bez P nema smisla. Autori prilikom odabira vrste greške u ovom radu prednost su dali primeni normalizovane standardne greške prognoze $nRMSE$ u kombinaciji sa srednjom merom tendencije MB , uz posebno i pogodno izbran normalizacijski faktor za svaki od razmatranih obnovljivih izvora energije.

Komparativna prednost primene standardne greške prognoze nad ostalim greškama je prvenstveno u njenoj širokoj statističkoj i teorijskoj primeni za detaljnije analize te sve većoj praktičnoj primeni u elektro-energetskom sektoru prilikom prognoziranja proizvodnje i potrošnje električne energije. Standardna greška prognoze sa adekvatnim normalizacijskim faktorom je upotrebljiva prilikom komparacije kako prognoza različitih proizvodnih objekata unutar istog tipa obnovljive energije, tako i prilikom poređenja preciznosti različitih softvera za prognozu. Stoga autori prednost daju primeni ove metode kao široko primenjivoj i lako razumljivoj metodi za interperataciju i analizu grešaka prognoze proizvodnje obnovljivih izvora energije.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Apostolović, M., Divčić, M., Radojević, P. Komparativna analiza različitih metoda za obračun debalansa, in Proc. *Fleksibilnost elektroenergetskog sistema: zbornik radova 36. Savetovanja CIGRE Srbija 2023.*, Zlatibor, Srbija, R C5 06, pp. 1696-1713, 22-26. maj 2023. <https://doi.org/10.46793/CIGRE36.1696A>
- [2] Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G. *Forecasting: principles and practice*, 3rd edition, OTexts: Melbourne, Australia, 2021. <https://otexts.com/fpp3/> [pristupljeno 10.03.2024]
- [3] Dragović, V. *Statistika*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Istočno Sarajevo, 2008.

- [4] Đurišić, Ž., Lazović, Đ., Džodić, K., Škrbić, B., Batić, I., Radovanović, M., Popović Zdravković, B., Kovačević, B., Đorđević, M. Analiza potrebnih kapaciteta za balansiranje obnovljivih izvora energije u EES-u Srbije za postojeće i perspektivno stanje 2030. godine – I deo: Metodologija, in Proc. *Fleksibilnost elektroenergetskog sistema: zbornik radova 36. Savetovanja CIGRE Srbija 2023.*, Zlatibor, Srbija, R C2 01, pp. 1091-1108, 22-26. maj 2023. <https://doi.org/10.46793/CIGRE36.1109DJ>

AUTORI/AUTHORS

Mladen Apostolović - Senior Menadžer za Portfolio i Obnovljive izvore

energije, EFT Trade d.o.o., mladen.apostolovic@eft-group.net, ORCID [0000-0002-1226-3495](https://orcid.org/0000-0002-1226-3495)

Miroslav Divčić - direktor, ERS male hidroelektrane d.o.o., miroslav.divcic@energy-eastern.eu, ORCID [0009-0004-2261-9063](https://orcid.org/0009-0004-2261-9063)

Marijan Rančić - Business Development Director, New Energy Solutions d.o.o., marijan.rancic@newenergy.rs, ORCID [0009-0001-7326-7027](https://orcid.org/0009-0001-7326-7027)

Risto Vasiljević - Scheduling Manager, EFT Trade d.o.o., risto.vasiljevic@eft-group.net, ORCID [0009-0005-7426-9963](https://orcid.org/0009-0005-7426-9963)

Selection of Appropriate Types of Forecast Errors for Adequate Assessment of Operational Planning Accuracy of the Production from Different Types of Renewable Energy Sources

Abstract – Forecasting electricity production from renewable sources is challenging for producers, distribution and transmission System Operators, electricity traders, and other market participants. To a large extent, to maintain the power system's operational security, System Operators rely on the operational production forecasts of electricity producers. With the greater participation of renewable energy sources in total electricity production, the interest and importance of production forecast from these sources as accurately as possible, and the increasing reliance of the Operator system on the forecasts sent by the producers is growing. A particular challenge in the production forecast from renewable energy sources is the energy obtained from solar, wind, and small run-of-river hydropower plants. Given that with the growing participation of producers in the free market, this topic is becoming more and more relevant, different methods for production forecast and various accompanying software solutions are being reviewed, improved, and developed. Comparative analysis and selection and application of the appropriate method for evaluating forecast accuracy is the topic of this work. After introductory considerations on the importance of the adequate forecast for renewables production, ways for determining the precision of these solutions and the way to choose the appropriate criterion, i.e., the type of forecast errors for different types of renewable energy sources, is presented. Along with the mathematical formulation, a practical example of calculated different kinds of errors (standard deviation, bias, mean absolute error, mean square error, etc.) is given, together with their normalised percentage values. A description of the samples, flow, and results of calculations for measuring the success of production forecasts for solar, wind, and small hydropower plants is given. At the end of the paper, notes on possible and necessary improvements are briefly given, aimed at better production forecast and more comprehensive analysis of different types of forecast errors.

Index Terms – Renewable sources, Production, Forecast, Error, Accuracy, Deviation