



Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o.



MJESEČNI IZVJEŠTAJ O PROIZVODNJI VJETROELEKTRANA U HRVATSKOJ

MONTHLY REPORT ON WIND POWER PLANT GENERATION IN CROATIA



Prosinac/December 2016

SADRŽAJ



CONTENTS

SADRŽAJ	stranica/ page	CONTENTS
1. PREGLED OSNOVNIH PARAMETARA VJETROELEKTRANA U HRVATSKOJ	6	1. BASIC PARAMETERS OVERVIEW OF WIND POWER PLANTS IN CROATIA
2. OSTVARENA PROIZVODNJA VJETROELEKTRANA	10	2. REALIZED WIND POWER PLANT GENERATION
3. PROMJENJIVOST PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA	17	3. WIND POWER PLANT GENERATION VARIABILITY
4. PROGNOZA PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA	20	4. WIND POWER PLANT GENERATION FORECASTING

		stranica/ page		
POPIS TABLICA			LIST OF TABLES	
TABLICA 1	OSNOVNI PARAMETRI VJETROELEKTRANA U REDOVNOM POGONU	8	TABLE 1	BASIC PARAMETERS OVERVIEW OF WIND POWER PLANTS IN NORMAL OPERATION
TABLICA 2	OSNOVNI PARAMETRI VJETROELEKTRANA U POKUSNOM RADU	9	TABLE 2	BASIC PARAMETERS OVERVIEW OF WIND POWER PLANTS IN TESTING OPERATION

		stranica/ page		
POPIS SLIKA			LIST OF FIGURES	
SLIKA 1	LOKACIJE VE U HRVATSKOJ	7	FIGURE 1	WPP LOCATIONS IN CROATIA
SLIKA 2	SATNA PROIZVODNJA SVIH VJETROELEKTRANA	11	FIGURE 2	HOURLY GENERATION OF ALL WIND POWER PLANTS
SLIKA 3	KRIVULJA TRAJANJA ANGAŽIRANE SNAGE SVIH VE I KUMULATIVNA PROIZVODNJA VE U PROMATRAKOM RAZDOBLJU U JEDINIČNIM VRIJEDNOSTIMA	12	FIGURE 3	DURATION CURVE OF ENGAGED CAPACITY OF ALL WIND POWER PLANTS AND CUMULATIVE GENERATION IN GIVEN TIMEFRAME IN PER UNIT
SLIKA 4	STANDARDNA DEVIJACIJA SATNE PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA U JEDINIČNIM VRIJEDNOSTIMA	13	FIGURE 4	STANDARD DEVIATION OF HOURLY GENERATION OF ALL WIND POWER PLANTS IN PER UNIT
SLIKA 5	DNEVNA PROIZVODNJA SVIH VJETROELEKTRANA	13	FIGURE 5	DAILY GENERATION OF ALL WIND POWER PLANTS
SLIKA 6	KRIVULJA TRAJANJA DNEVNE PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA	14	FIGURE 6	AVERAGE DAILY WPP GENERATION DURATION CURVE
SLIKA 7	USPOREDBA SATNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA SUSTAVA I PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA	15	FIGURE 7	COMPARISON BETWEEN HOURLY SYSTEM DEMAND AND WPP GENERATION
SLIKA 8	UDIO PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA U POKRIVANJU SATNOG OPTEREĆENJA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA	16	FIGURE 8	WPP GENERATION SHARE IN COVERING POWER SYSTEM DEMAND
SLIKA 9	MAKSIMALNA POZITIVNA I MAKSIMALNA NEGATIVNA PROMJENA SATNE PROIZVODNJE VE U MJESECU	18	FIGURE 9	MAXIMUM POSITIVE AND MAXIMUM NEGATIVE WIND POWER PLANT HOURLY OUTPUT VARIATION DURING THE MONTH
SLIKA 10	STATISTIČKA RASPODJELA SATNIH PROMJENA PROIZVODNJE VE	19	FIGURE 10	STATISTICAL DISTRIBUTION OF WPP HOURLY OUTPUT VARIATIONS
SLIKA 11	PROGNOZIRANA I OSTVARENA SATNA PROIZVODNJA VJETROELEKTRANA	22	FIGURE 11	FORECASTED AND REALIZED WIND POWER PLANT GENERATION
SLIKA 12	RAZLIKA IZMEĐU PROGNOZIRANE I OSTVARENE SATNE PROIZVODNJE SVIH VE (POGREŠKA PROGNOZE) I PRIPADNA KRIVULJA TRAJANJA	22	FIGURE 12	DIFFERENCE BETWEEN FORECASTED AND REALIZED TOTAL WPP HOURLY GENERATION (FORECAST ERROR) AND ITS DURATION CURVE
SLIKA 13	POGREŠKE PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE VE I PROSJEČNE APSOLUTNE POGREŠKE PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE VE NA DNEVNOJ RAZINI ISKAZANE U POSTOCIMA INSTALIRANE SNAGE VE	23	FIGURE 13	FORECAST ERRORS OF WPP HOURLY OUTPUT AND AVERAGE ABSOLUTE FORECAST ERROR OF WPP HOURLY OUTPUT ON DAILY LEVEL SHOWN IN PERCENTAGE OF INSTALLED WPP CAPACITY
SLIKA 14	SUMA POZITIVNIH POGREŠKI PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE VE (NEGATIVNA ENERGIJA	24	FIGURE 14	SUM OF POSITIVE ERRORS (NEGATIVE BALANCING ENERGY) AND SUM OF NEGATIVE ERRORS (POSITIVE

	URAVNOTEŽENJA) I SUMA NEGATIVNIH POGREŠKI PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE VE (POZITIVNA ENERGIJA URAVNOTEŽENJA)		BALANCING ENERGY) OF WIND POWER PLANT HOURLY GENERATION
SLIKA 15	KORIJEN SREDNJE KVADRATNE POGREŠKE PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE SVIH VE	25	FIGURE 15 ROOT MEAN SQUARE ERROR OF HOURLY WPP GENERATION FORECAST
SLIKA 16	KORIJEN SREDNJE KVADRATNE POGREŠKE PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE SVIH VE U JEDINIČNIM VRIJEDNOSTIMA	26	FIGURE 16 ROOT MEAN SQUARE ERROR OF HOURLY WPP GENERATION FORECAST IN PER UNIT
SLIKA 17	FREKVENCIJA POJAVLJIVANJA POGREŠKE PROGNOZE SATNE PROIZVODNJE SVIH VE	27	FIGURE 17 FREQUENCY OF FORECASTING ERROR OF WIND POWER PLANT HOURLY GENERATION

1.

PREGLED OSNOVNIH PARAMETARA VJETROELEKTRANA U HRVATSKOJ



BASIC PARAMETERS OVERVIEW OF WIND POWER PLANTS IN CROATIA

U prikazu osnovnih parametara vjetroelektrane dijelimo u dvije grupe:

- 1) vjetroelektrane u redovnom pogonu i
- 2) vjetroelektrane u pokusnom radu.

U prosincu 2016. godine je u Hrvatskoj u redovnom pogonu bilo 16 vjetroelektrana, s ukupno instaliranom snagom od 428,15 MW i odobrenom snagom priključenja u iznosu od 420,35 MW (tablica 1).

Najviše vjetroelektrana smješteno je na lokacijama u Šibensko-kninskoj županiji (5), Zadarskoj županiji (5) i Splitsko-dalmatinskoj županiji (3) (slika 1).

Najveći broj vjetroelektrana (10) priključen je na 110 kV prienosnu mrežu, dok su ostale priključene na srednjenaponsku distribucijsku mrežu (35, 30 i 10 kV).

U probnom pogonu / izgradnji bile su još 2 vjetroelektrane, ukupne instalirane snage od 54,9 MW, a ukupno odobrene priključne snage 62,9 MW (tablica 2).

In basic parameters overview wind power plants are divided in two groups:

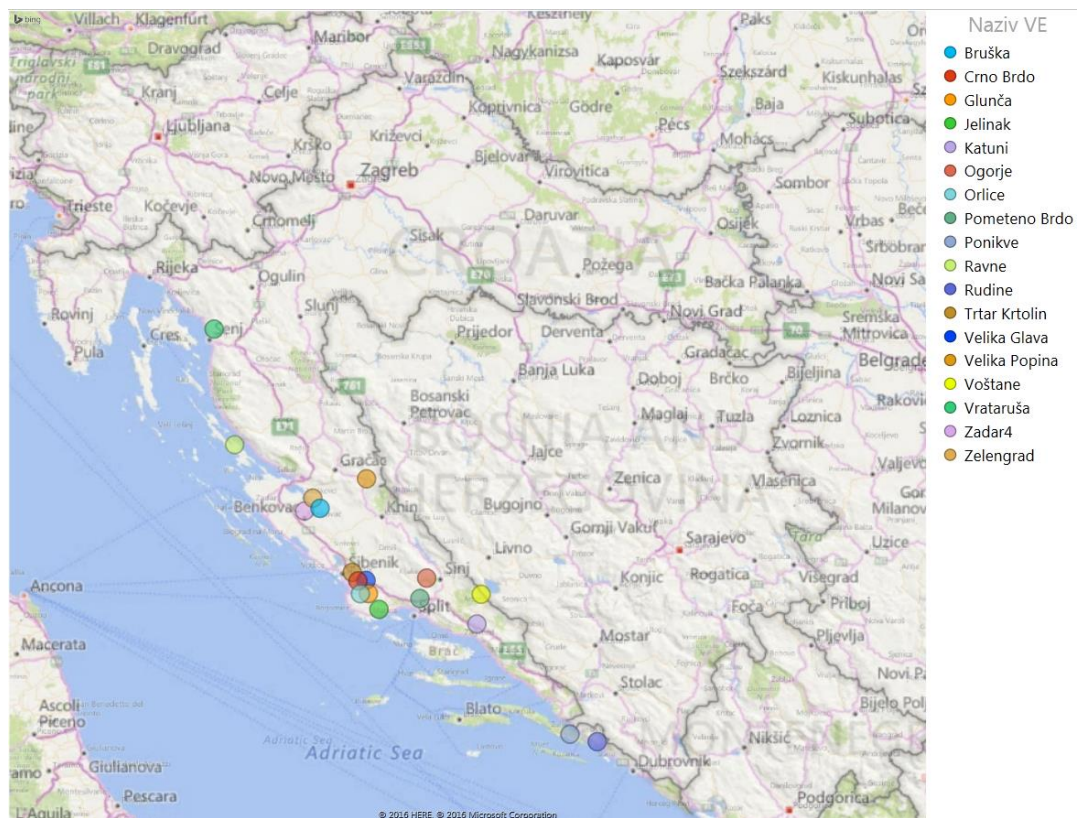
- 1) wind power plants in normal operation
- 2) wind power plants in testing operation or under construction.

In December 2016 in Croatia there were 16 wind power plants with total installed capacity of 428.15 MW and total approved connection capacity of 420.35 MW (Table 1).

The largest number of wind power plants are located in Šibensko-kninska County (5), Zadarska County (5) and Split-Dalmatia County (3).

The largest number of wind power plants (10) are connected to 110 kV voltage level, while the rest are connected to the mid-voltage distribution network (35, 30 and 10 kV).

There were 2 wind power plants in testing operation / construction, with total installed capacity of 54.9 MW and total approved connection capacity of 62.9 MW (Table 2).



Slika 1 Lokacije VE u Hrvatskoj
Figure 1 WPP locations in Croatia

Tablica 1 Osnovni parametri vjetroelektrana u redovnom pogonu

Table 1 Basic parameters overview of wind power plants in normal operation

Br No	Naziv VE WPP name	Lokacija (županija/općina) Location (county/municip.)	Ukupna instalirana snaga (MW) Total installed capacity (MW)	Ukupno odobrena snaga priključenja (MW) Total approved connected capacity (MW)	Napon priključenja (kV) Connection voltage (kV)	U redovnom pogonu od In normal operation since
1	Ravne	Zadarska/Pag	5,95	5,95	10	2005
2	Trtar Krtolin	Šib-Knin/Šibenik	11,2	11,2	30	2007
3	Orlice	Šib-Knin/Šibenik	9,6	9,6	30	2009
4	Vrataruša	Prim-Goran/Senj	42	42	110	2010
5	Velika Popina	Zadarska/Gračac	9,2	9,2	35	2011
6	Pometeno Brdo	Split-Dalm/Split	20	20	110	2010 / 2011 / 2012 / 2015
7	Crno Brdo	Šib-Knin/Šibenik	10,5	10	10	2011
8	Bruška	Zadarska/Benkovac, Obrovac	36,8	36	110	2011
9	Ponikve	Dub-Neret/Ston	36,8	34	110	2012
10	Jelinak	Šib-Knin/Marina, Seget	30	30	110	2013
11	Voštane	Split-Dalm/Trilj	42	40	110	2013
12	Zadar4	Zadarska/Benkovac	9,2	9,2	10	2013
13	Velika Glava	Šib-Knin/Drniš, Šibenik, Unešić	43,7	43	110	2014
14	Zelengrad	Zadarska/Obrovac	42	42	110	2014
15	Ogorje	Split-Dalm/Muč	45	44	110	2015
16	Rudine	Dub-Neret/Dubrovačko primorje	34,2	34,2	110	2015
UKUPNO TOTAL			428,15	420,35		

Tablica 2 Osnovni parametri vjetroelektrana u pokusnom radu

Table 2 Basic parameters overview of wind power plants in testing operation

Br No	Naziv VE WPP name	Lokacija (županija/općina) Location (county/municip.)	Ukupna instalirana snaga (MW) Total installed capacity (MW)	Ukupno odobrena snaga priključenja (MW) Total approved connected capacity (MW)	Napon priključenja (kV) Connection voltage (kV)	Trenutni status Current status
17	Glunča	Šib-Knin/Šibenik	20,7	23	110	Pokusni rad / Testing operation
18	Katuni	Split-Dalm/Šestanovac	34,2	39,9	110	Pokusni rad / Testing operation
UKUPNO TOTAL			54,9	62,9		

2.

OSTVARENA PROIZVODNJA VJETROELEKTRANA



REALIZED WIND POWER PLANT GENERATION

U ovom poglavlju prikazani su podaci o ostvarenoj proizvodnji svih VE u Hrvatskoj. Ukupna mjesečna proizvodnja svih VE u prosincu 2016. godine iznosila je 80012,76 MWh. Na slici 2 prikazana je ukupna satna proizvodnja svih VE u ovom mjesecu. Pri tom je najveća ostvarena satna proizvodnja iznosila 358,57 MWh i ostvarena je 28.12.2016 godine u 21 h, a najmanja 0 MWh ostvarena 5.12.2016 godine u 17 h. Satna proizvodnja veća od 300 MWh ostvarena je tijekom 42 sata u prosincu 2016. godine.

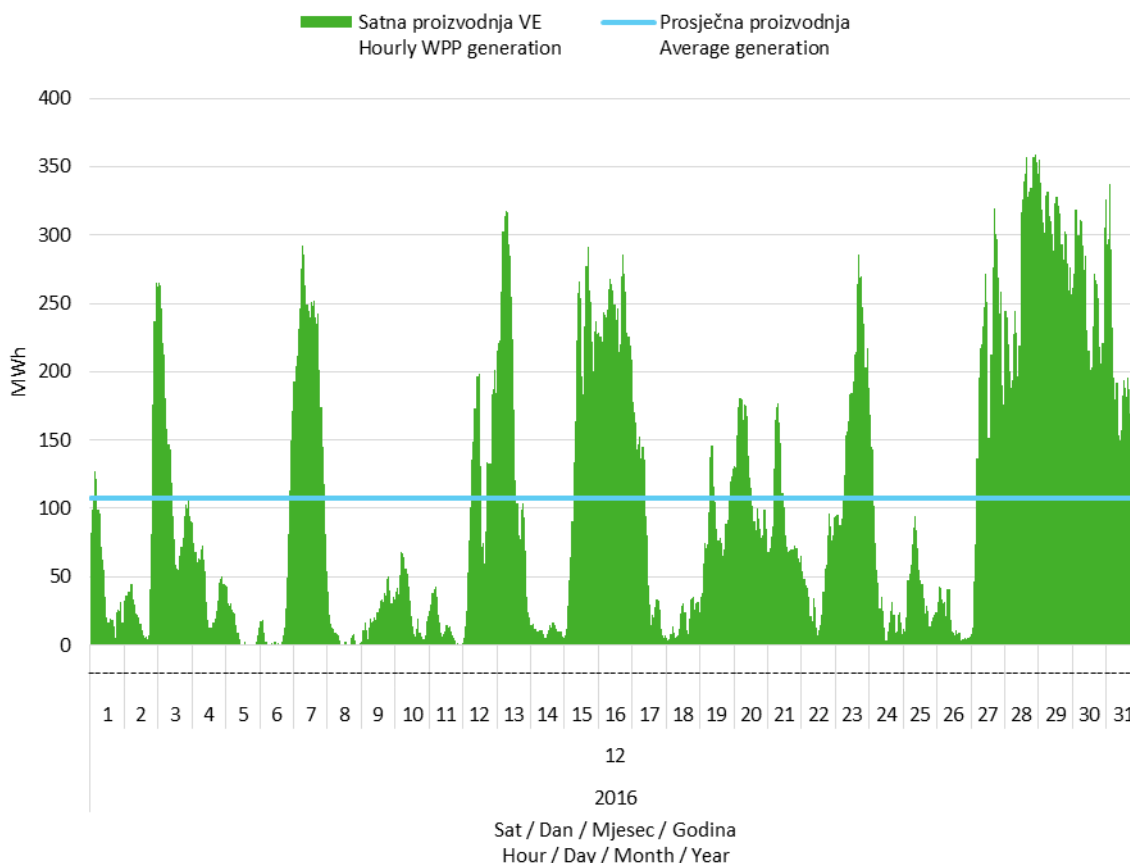
Krivulja trajanja angažirane snage svih VE izražena je specifično u odnosu na instaliranu snagu VE (*engl.* „per unit“ ili p.u.), a za prosinac 2016. godine prikazana je na slici 3 zajedno s krivuljom kumulativne proizvodnje.

Faktor iskorištenja snage svih VE u ovom mjesecu iznosio je 22,26%.

Wind power plant total output in Croatia is presented in this Chapter. Total wind power plant generation in December 2016 was 80012.76 MWh. Figure 2 shows hourly wind power plant generation in this month. Maximum hourly output was 358.57 MWh and it was realized on 28.12.2016 at 21 h, while minimum output was 0 MWh on 5.12.2016 at 17 h. Hourly production higher than 300 MWh occurred in 42 hours in December 2016.

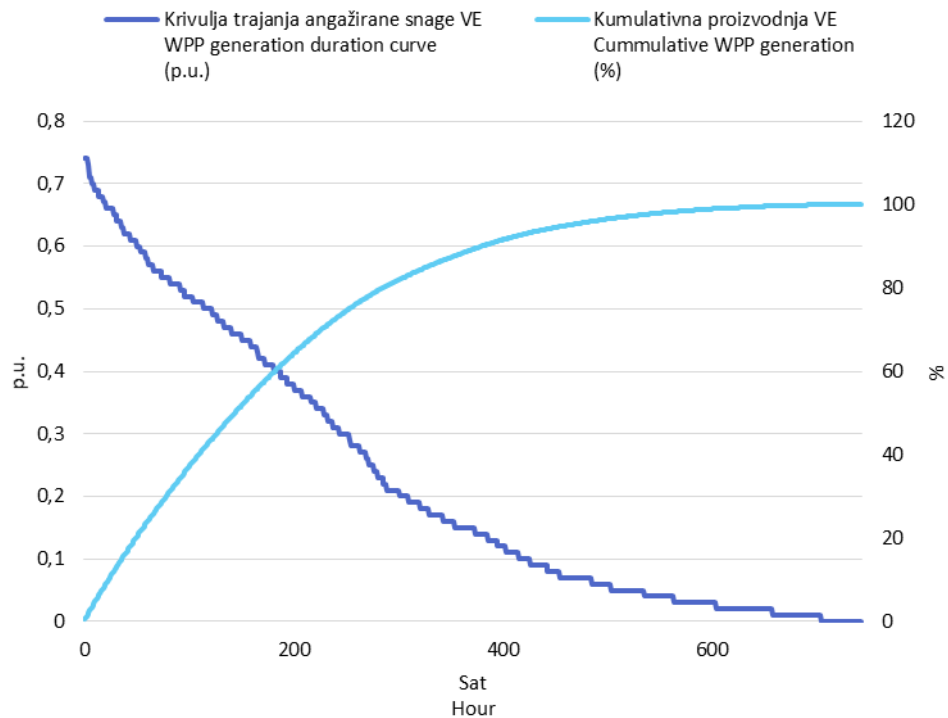
Duration curve of engaged capacity of all wind power plants is expressed in p.u. (per unit of installed WPP capacity) in December 2016 on the Figure 3, along with cumulative generation curve.

Capacity factor of all wind power plants in this month was 22.26%.



Slika 2 Satna proizvodnja svih vjetroelektrana u prosincu 2016. godine

Figure 2 Hourly generation of all wind power plants in December 2016



Slika 3 Krivulja trajanja angažirane snage svih VE i kumulativna proizvodnja VE u prosincu 2016. godine u jediničnim vrijednostima

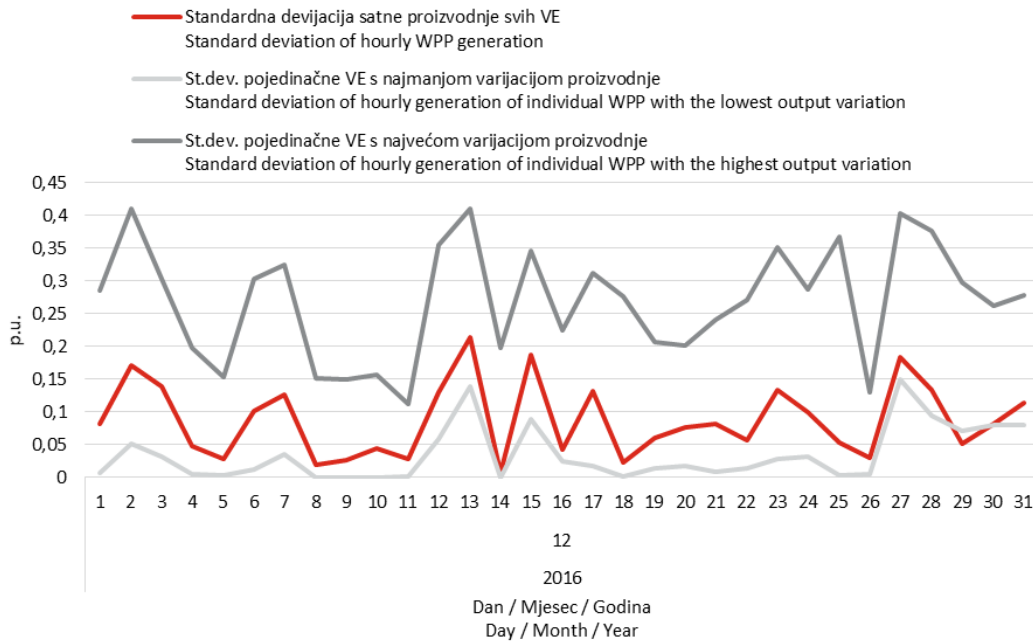
Figure 3 Duration curve of engaged capacity of all wind power plants and cumulative generation in December 2016 in per unit

Jedna od osnovnih karakteristika proizvodnje VE je promjenjivost. Na slici 4 prikazana je standardna devijacija ukupne satne proizvodnje svih VE na dnevnoj razini i u ovom mjesecu kretala se u rasponu 0,006 – 0,214 p.u., gdje p.u. (per unit - jedinična vrijednost) podrazumijeva udio u ukupno instaliranoj snazi svih VE. Prosječna standardna devijacija u ovom mjesecu iznosila je 0,087 p.u.

Premda su sve VE u Hrvatskoj smještene na relativno malom prostoru, postoje značajne razlike u promjenjivosti satne proizvodnje pojedinih VE. Na slici 4 su pored standardne devijacije satne proizvodnje svih VE prikazane i standardne devijacije satne proizvodnje pojedinačnih VE s najvećom, odnosno najmanjom varijacijom proizvodnje u ovom mjesecu. Očito je standardna devijacija pojedinačne VE s najvećom varijacijom proizvodnje značajno veća od standardne devijacije proizvodnje svih VE.

One of the basic characteristic of wind power plant generation is its intermittency. Figure 4 shows standard deviation of total wind power plant hourly output on daily basis. In this month it was in the range 0.006 – 0.214 p.u., where p.u. (per unit) refers to the share in total installed capacity of all wind power plants. Average standard deviation was 0.087 p.u.

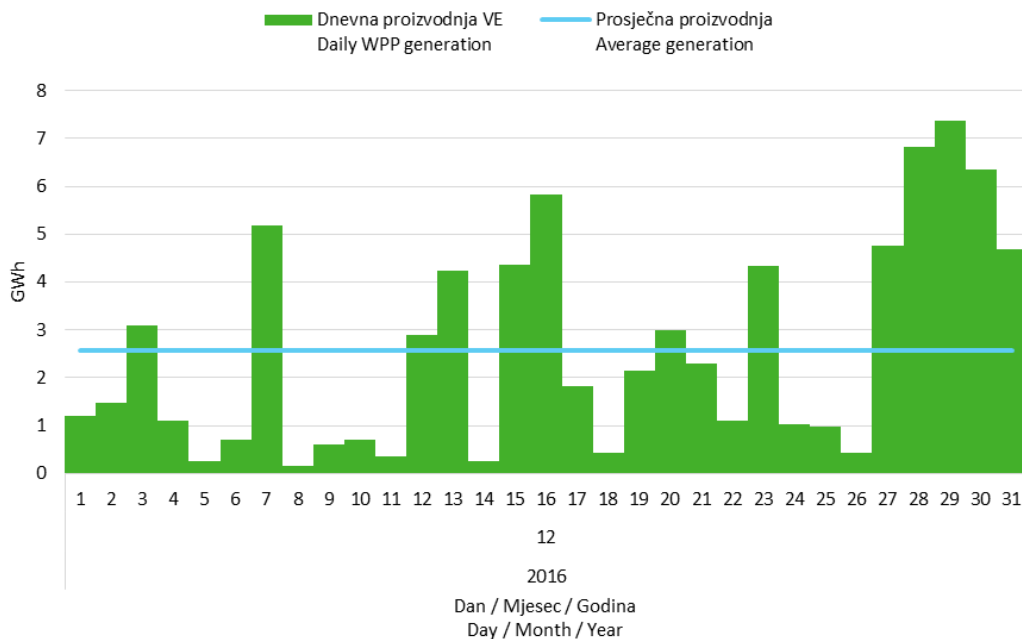
Even though all wind power plants in Croatia are located on relatively small area, there are significant differences among individual wind power plants' generation variations. Beside standard deviation of all wind power plants output, Figure 4 shows standard deviation of individual wind power plants with maximum and minimum generation variations. Clearly, standard deviation of individual wind power plant with the largest output variation is significantly larger than standard deviation of all wind power plants' output.



Slika 4 Standardna devijacija satne proizvodnje vjetroelektrana u jediničnim vrijednostima
 Figure 4 Standard deviation of hourly generation of all wind power plants in per unit

Pored podataka o satnoj proizvodnji VE analiziraju se i podaci o dnevnoj proizvodnji VE. Na slici 5 prikazana je ukupna dnevna proizvodnja svih VE i u ovom mjesecu kreće se u rasponu 0,16 GWh (ostvareno 8.12.2016 godine) – 7,36 GWh (ostvareno 29.12.2016 godine). Prosječna dnevna proizvodnja svih VE iznosila je 2,58 GWh.

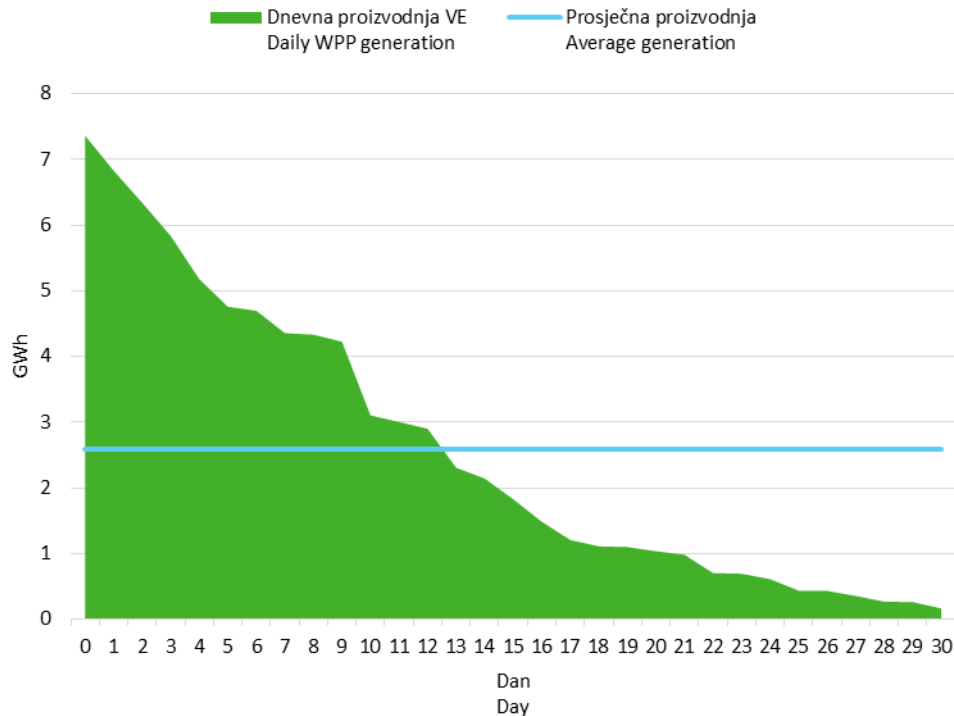
In addition to hourly output, data on daily wind power plants output are analysed. Figure 5 shows total daily wind power plant generation in this month within the range of 0.16 GWh (8.12.2016) – 7.36 GWh (29.12.2016). Average daily generation was 2.58 GWh.



Slika 5 Dnevna proizvodnja svih vjetroelektrana u prosincu 2016. godine
 Figure 5 Daily generation of all wind power plants in December 2016

Podaci o dnevnoj proizvodnji svih VE prikazani su krivuljom trajanja i na slici 6.

Daily generation of all wind power plants are shown on the following Figure 6 with duration curve.

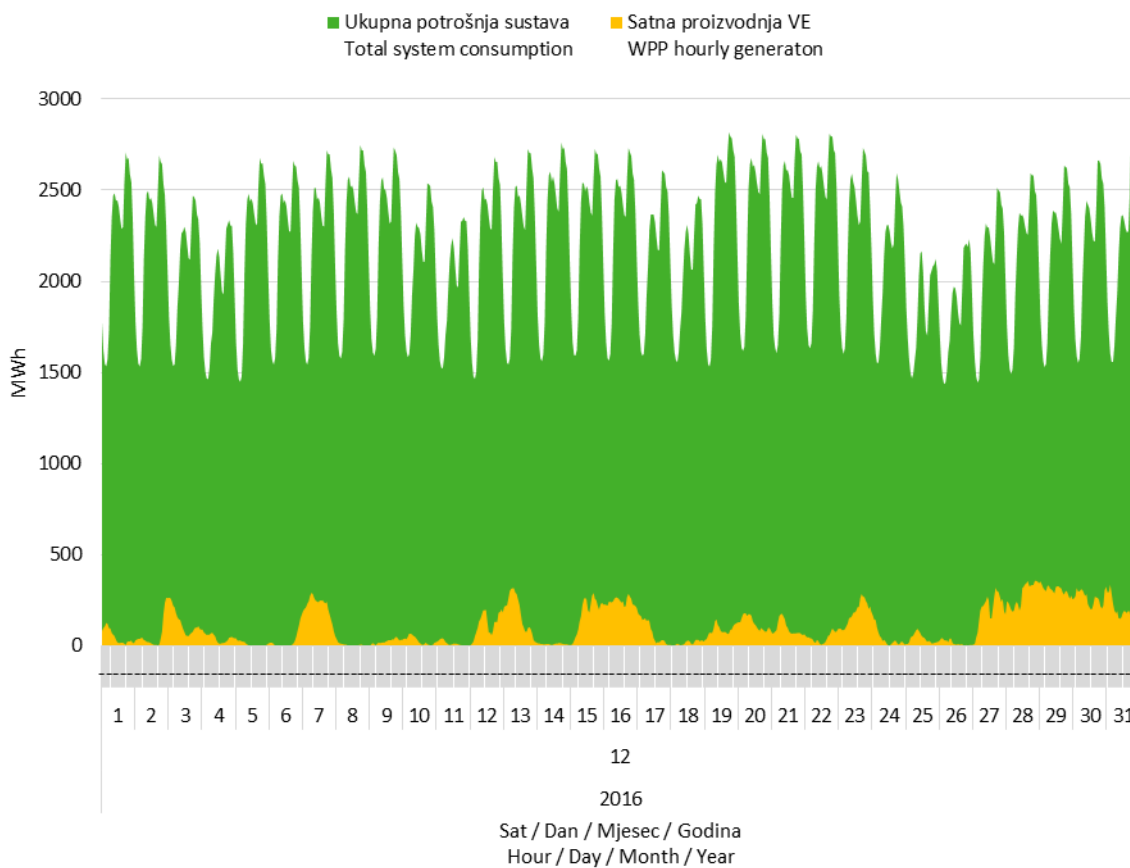


Slika 6 Krivulja trajanja dnevne proizvodnje vjetroelektrana u prosincu 2016. godine

Figure 6 Average daily WPP generation duration curve in December 2016

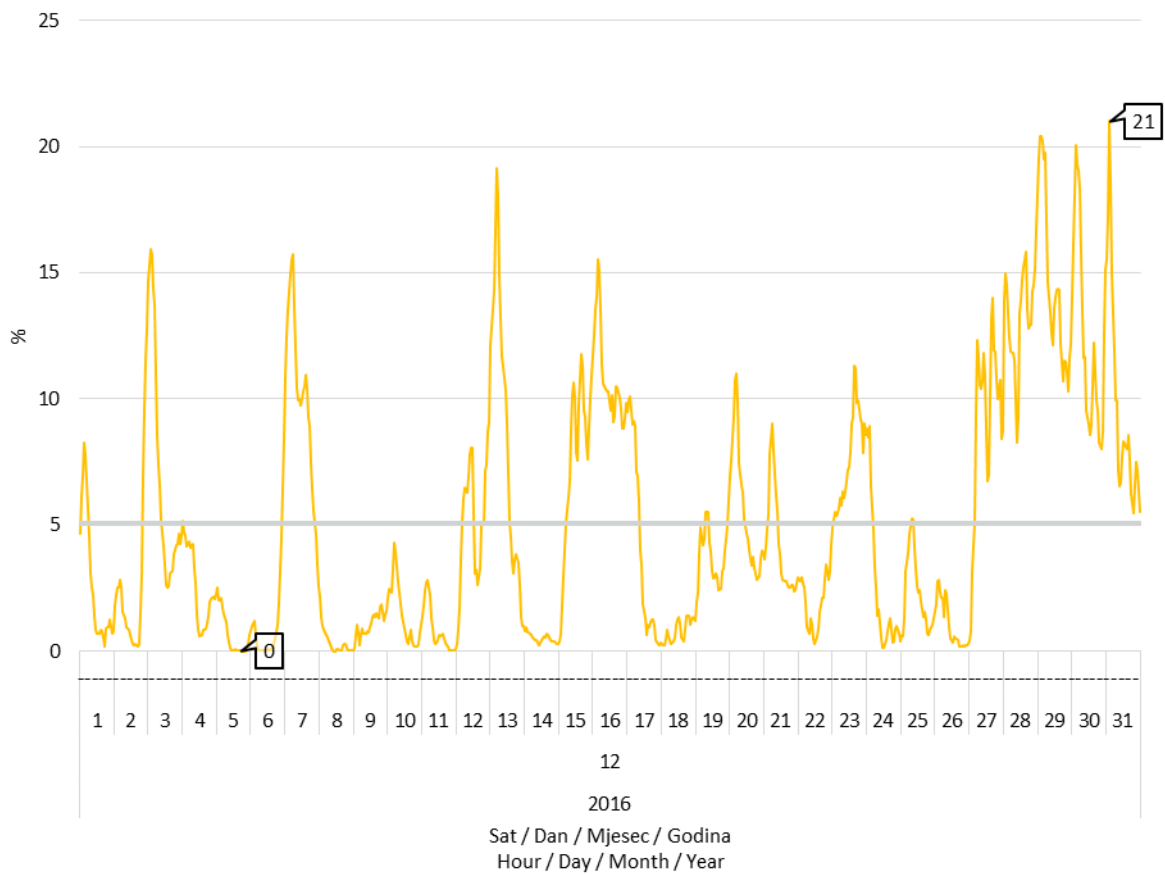
U posljednje vrijeme VE imaju sve veću ulogu u pokrivanju opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske. Na slici 7 prikazana je usporedba satnog dijagrama opterećenja sustava i proizvodnje VE, a na slici 8 prikazan je udio proizvodnje VE u pokrivanju satnog opterećenja sustava. U ovom mjesecu taj udio kreće se u rasponu od 0% do najviše 21% (ostvareno na 31.12.2016 u 2 h), a bio je veći od 15% tijekom 31 sata.

Wind power plants are having an increasing role in covering power system demand in Croatia. Figure 7 shows comparison between hourly demand diagram and wind power generation. Figure 8 shows share of wind power plant generation in covering hourly power system demand. In this month this share was ranging from 0% to 21% (31.12.2016 at 2 h), while it was larger than 15% in 31 hours.



Slika 7 Usporedba satnog dijagrama opterećenja sustava i proizvodnje vjetroelektrana u prosincu 2016. godine

Figure 7 Comparison between hourly system demand and WPP generation in December 2016



Slika 8 Udio proizvodnje vjetroelektrana u pokrivanju satnog opterećenja elektroenergetskog sustava u prosincu 2016. godine

Figure 8 WPP generation share in covering power system demand in December 2016

3.

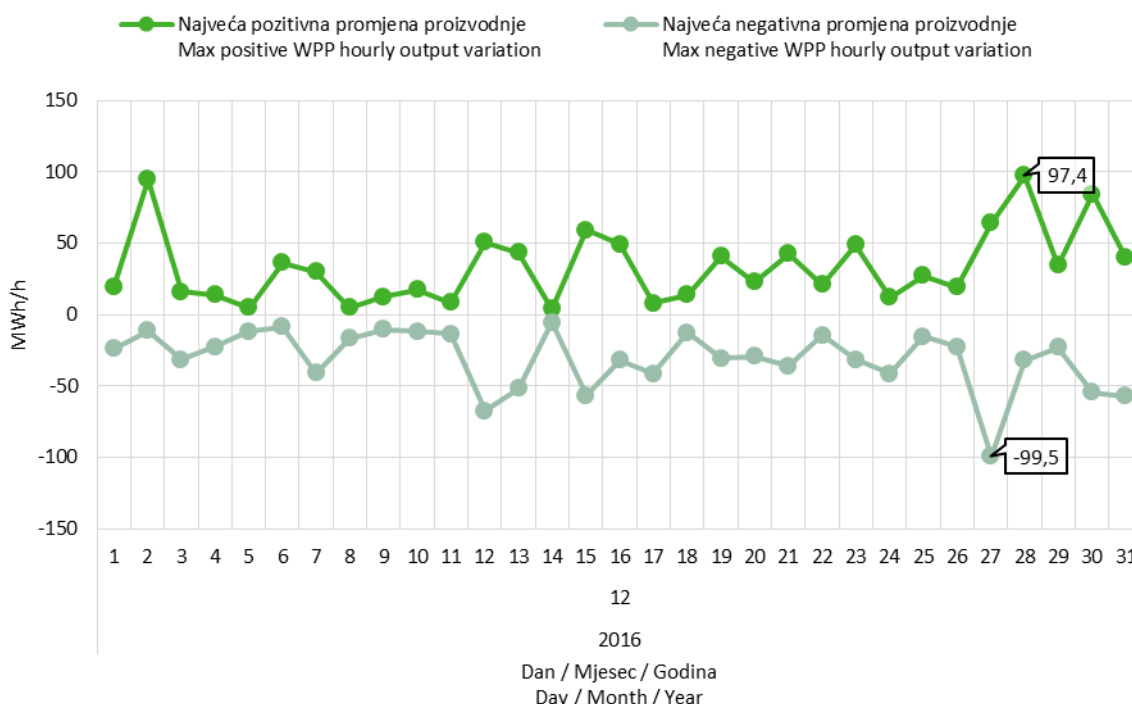
PROMJENJIVOST PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA



WIND POWER PLANT GENERATION VARIABILITY

Za vođenje elektroenergetskog sustava od posebnog je interesa promjenjivost proizvodnje VE. Na slici 9 prikazana je maksimalna pozitivna i maksimalna negativna promjena satne proizvodnje VE u ovom mjesecu. Drugim riječima, prikazana je razlika ostvarene prosječne proizvodnje VE u dva uzastopna sata. Najveća pozitivna satna promjena proizvodnje VE iznosila je 97,4 MW, ostvarena na 28.12.2016 godine, dok je najveća negativna satna promjena proizvodnje VE iznosila -99,5 MW, ostvarena na 27.12.2016 godine. Prosječna pozitivna satna promjena proizvodnje u ovom mjesecu iznosila je 33,53 MW, a prosječna negativna -30,99 MW.

For power system control wind power plant output variation is of utmost interest. Maximum positive and maximum negative wind power plant hourly output variations are given on the Figure 9. In other words, the difference between in hourly WPP output in two consecutive hours is shown. The largest positive hourly WPP output variation was 97.4 MW, realized on 28.12.2016. The largest negative hourly WPP output variation was -99.5 MW, realized on 27.12.2016. Average positive hourly WPP output variation in this month was 33.53 MW, while average negative hourly WPP output variation was -30.99 MW.

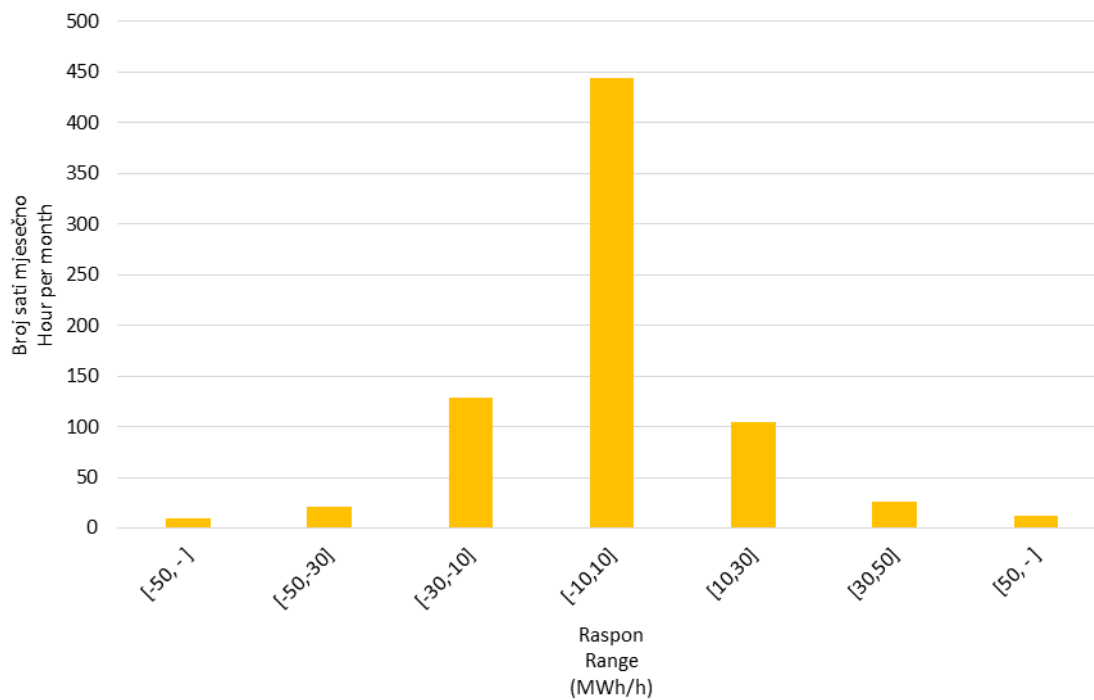


Slika 9 Maksimalna pozitivna i maksimalna negativna promjena satne proizvodnje VE u prosincu 2016. godine

Figure 9 Maximum positive and maximum negative wind power plant hourly output variation in December 2016

Najveći broj satnih promjena proizvodnje VE događa se u rasponu od -30 MWh/h do +30 MWh/h, 676 sati ili 90,86% vremena ovog mjeseca, kako je prikazano slikom 10. Apsolutna vrijednost promjene proizvodnje VE iznad 50 MWh/h (dakle i pozitivne i negativne promjene) pojavile su se u 21 sati, odnosno 2,82% vremena u ovom mjesecu.

The largest amount of WPP hourly output variation was in the range -30 MWh/h to +30 MWh/h, 676 hours, or 90.86% of this month, as shown on the Figure 10. Absolute value of WPP hourly output variations above 50 MWh/h (including both positive and negative variations) happened in 21 hours or 2.82% of this month.



Slika 10 Statistička raspodjela satnih promjena proizvodnje VE u prosincu 2016. godine

Figure 10 Statistical distribution of WPP hourly output variations in December 2016

4.

PROGNOZA PROIZVODNJE VJETROELEKTRANA



WIND POWER PLANT GENERATION FORECASTING

Prognoza proizvodnje VE svakako predstavlja najveći izazov pri većoj integraciji VE u elektroenergetski sustav. Veća pogreška u prognozi VE podrazumijeva veću potrebnu regulacijsku snagu i energiju uravnoteženja, odnosno veće troškove u toj domeni. U Hrvatskoj je prognoza proizvodnje VE za potrebe vođenja elektroenergetskog sustava operativno započela 2011. godine, a provodio ju je i unaprjeđivao HOPS. Promjenom zakonskog okvira od početka 2017. godine prognoza proizvodnje VE prelazi u domenu odgovornosti Hrvatskog operatora tržišta energije (HROTE).

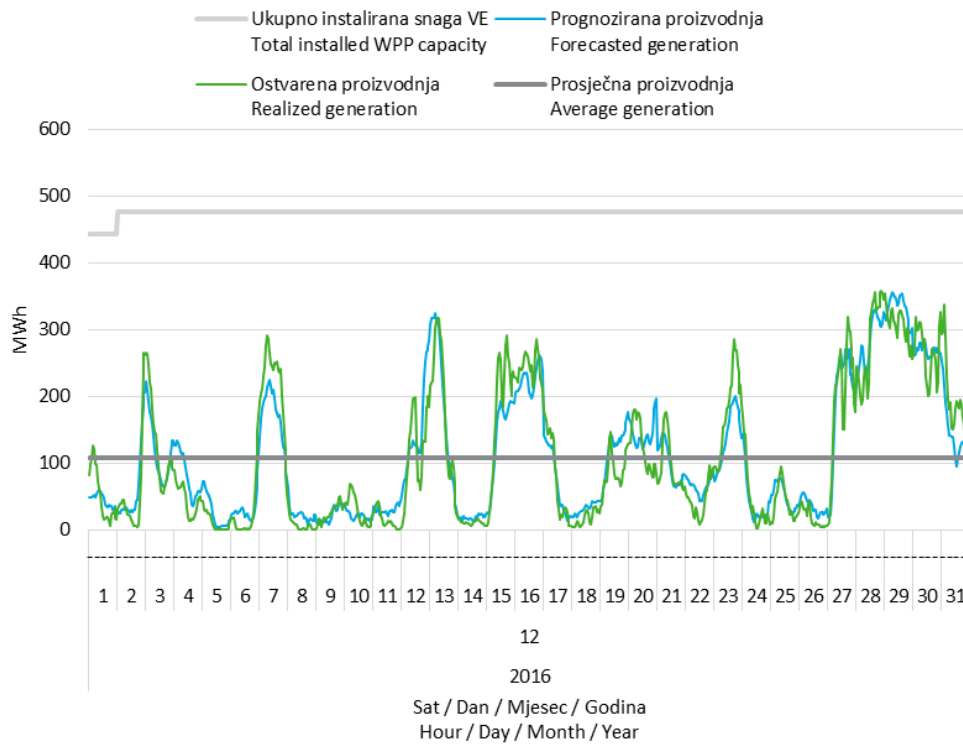
Prognoza proizvodnje VE u promatranom razdoblju provodila se za dan unaprijed.

Na slici 11 prikazane su prognozirane i ostvarene vrijednosti satne proizvodnje VE u ovom mjesecu, dok je na slici 12 prikazana pogreška satne prognoze proizvodnje VE, odnosno razlika između prognozirane i ostvarene satne proizvodnje svih VE. Maksimalna pozitivna pogreška prognoze proizvodnje VE (prognoza veća od ostvarenja) iznosila je u ovom mjesecu 119,1 MW i ostvarena je u 19 h, 12.12.2016 godine. Maksimalna negativna pogreška prognoze proizvodnje VE (prognoza manja od ostvarenja) iznosila je -121 MW i ostvarena je u 2 h, 31.12.2016 godine. Srednja apsolutna pogreška prognoze proizvodnje VE u ovom mjesecu iznosila je 26,78 MW.

Wind power plant generation forecasting is certainly the largest challenge in large scale wind integration in power system. Larger forecast error assumes larger regulation capacity needs and balancing energy, causing therefore higher costs in this segment. In Croatia wind power plant generation forecasting started operating in 2011. It has been implemented and developed by HOPS. Along with legislative changes, from the beginning of 2017 this task is allocated to Croatian Energy Market Operator (HROTE).

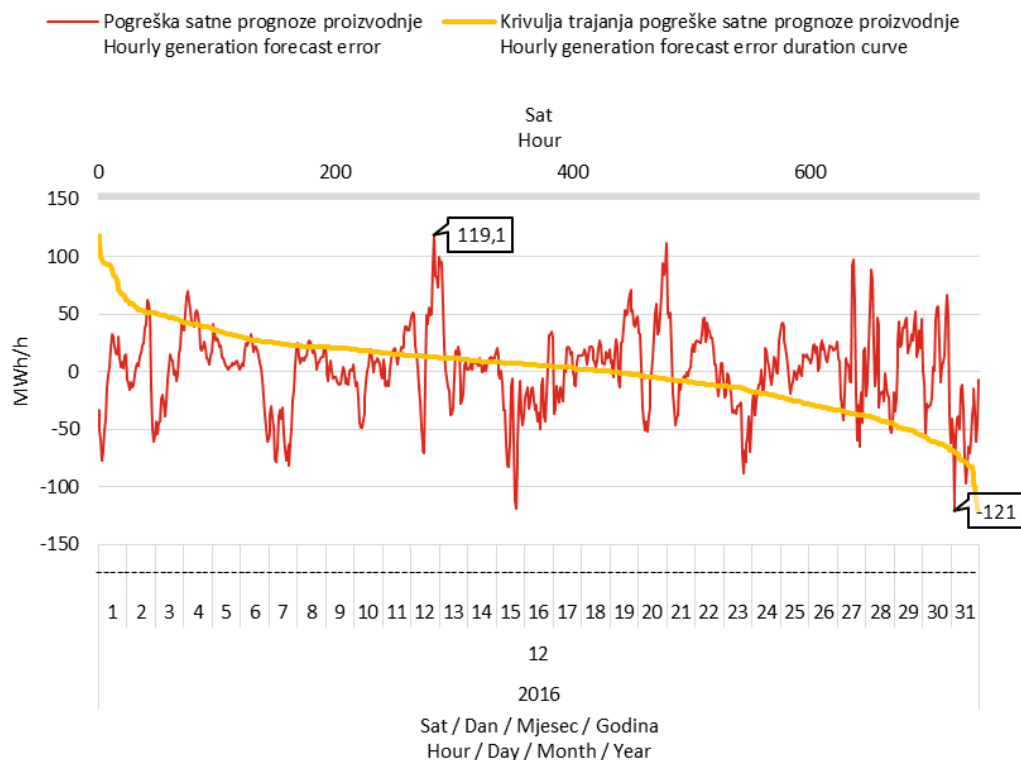
Wind power plant generation forecast was done on day-ahead basis.

Figure 11 shows forecasted and realized wind power plant hourly generation in this month, while Figure 12 shows forecasting error. In other words, it is the difference between forecasted and realized wind power plants hourly output. Forecast error duration curve is shown on the same Figure. Maximum positive forecast error (forecast higher than real output) in this month was 119.1 MW and it occurred on 19 hour, 12.12.2016. Maximum negative forecast error (forecast larger than real output) was -121 MW and it occurred on 2 hour, 31.12.2016. Average absolute forecast error in this month was 26.78 MW.



Slika 11 Prognozirana i ostvarena satna proizvodnja vjetroelektrana u prosincu 2016. godine

Figure 11 Forecasted and realized wind power plant generation in December 2016

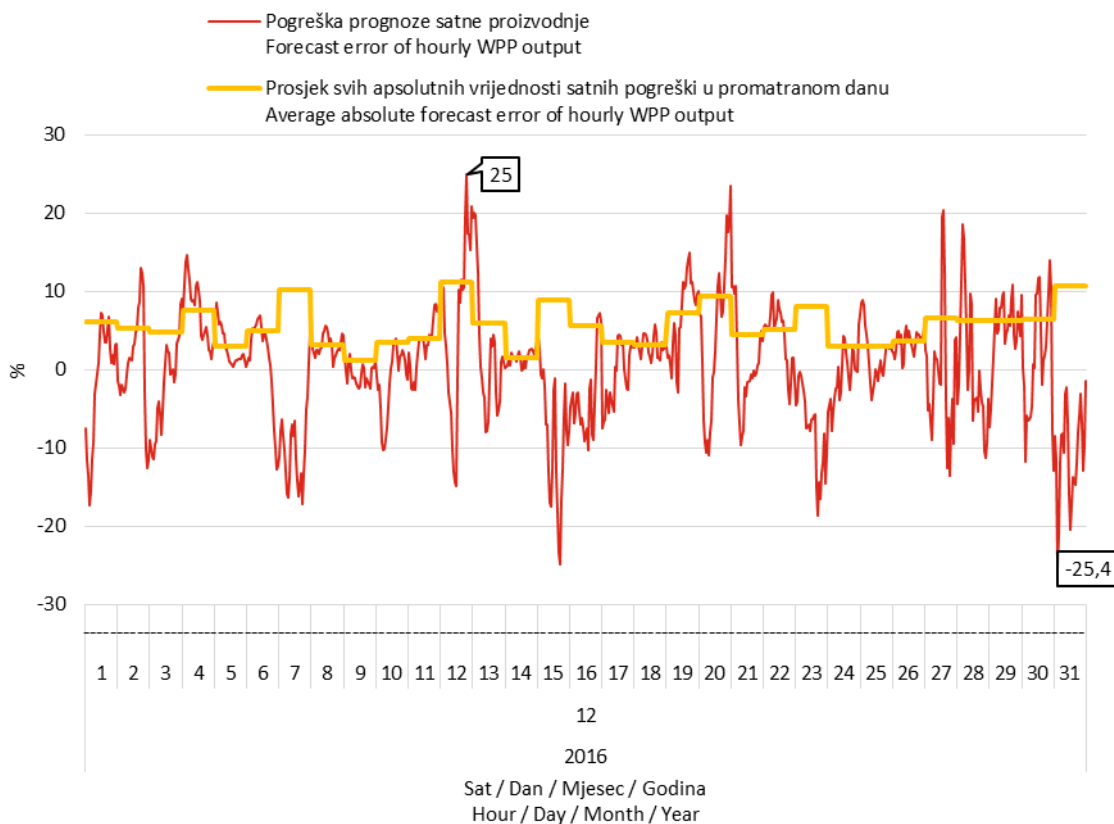


Slika 12 Razlika između prognozirane i ostvarene satne proizvodnje svih VE (pogreška prognoze) i pripadna krivulja trajanja u prosincu 2016. godine

Figure 12 Difference between forecasted and realized total WPP hourly generation (forecast error) and its duration curve in December 2016

Slika 13 prikazuje dvije varijable: pogreške prognoze satne proizvodnje VE te dnevne prosjeke apsolutnih satnih pogrešaka prognoze, sve u odnosu na instaliranu snagu (p.u.). Prva varijabla je prikazana u satnoj domeni, a druga varijabla u dnevnoj domeni kao prosjek svih apsolutnih vrijednosti satnih pogreški u promatranom danu. Dnevni prosjek apsolutne satne pogreške prognoze proizvodnje VE u cijelom mjesecu iznosio je 5,63% instalirane snage VE. Najveća pozitivna pogreška prognoze satne proizvodnje VE iznosila je 25%, a dogodila se 12.12.2016 godine u 19 h, dok je najveća negativna pogreška prognoze satne prognoze iznosila -25,4% dana 31.12.2016 godine u 2 h.

Figure 13 shows two variables: forecast error of WPP hourly output and daily averages of absolute hourly forecast errors, all normalized by installed capacity (p.u.). The first variable is shown on hourly basis, while the second one is given in daily time domain as average value of all hourly absolute forecast errors during the day. Daily average of absolute hourly forecast error of WPP in given timeframe is 5.63% of installed capacity WPPs. The largest hourly forecast error was 25% and happened on 12.12.2016 at 19 h, while the lower hourly forecast error was -25.4% on 31.12.2016 at 2 h.



Slika 13 Pogreške prognoze satne proizvodnje VE i prosječne apsolutne pogreške prognoze satne proizvodnje VE na dnevnoj razini iskazane u postocima instalirane snage VE

Figure 13 Forecast errors of WPP hourly output and average absolute forecast error of WPP hourly output on daily level shown in percentage of installed WPP capacity

Suma pogreški prognoze satnih proizvodnje VE predstavlja potrebnu energiju uravnoteženja. Suma pozitivnih pogreški prognoze (prognoza veća od ostvarenja) u konačnici određuje potrebnu negativnu energiju uravnoteženja u elektroenergetskom sustavu, a suma negativnih pogreški prognoze predstavlja pozitivnu energiju uravnoteženja.

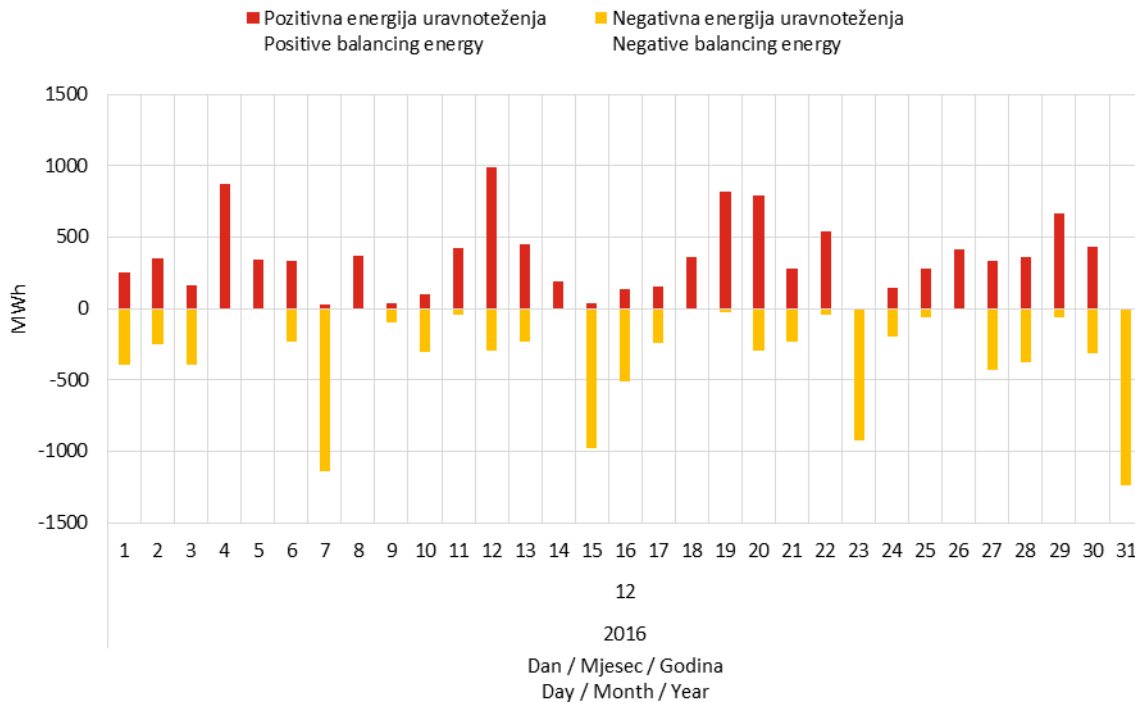
Sum of hourly WPP forecast errors assumes requires energy balancing. Sum of positive hourly forecast errors (forecast larger than realized) represents in the end required negative balancing energy in power system, while sum of negative hourly forecast error represents positive balancing energy.

Slika 14 prikazuje sumu pozitivnih i negativnih pogreški prognoze u ovom mjesecu.

Figure 14 shows sum of positive and negative hourly forecast errors in this month.

Ukupna suma svih pozitivnih pogreški prognoze satne proizvodnje u ovom mjesecu iznosi 10,6 GWh, dok ukupna suma svih negativnih pogreški iznosi -9,3 GWh.

Total sum of all positive hourly forecast errors in this month was 10.6 GWh, while total sum of all negative hourly forecast errors was -9.3 GWh.



Slika 14 Suma pozitivnih pogreški prognoze satne proizvodnje VE (negativna energija uravnoteženja) i suma negativnih pogreški prognoze satne proizvodnje VE (pozitivna energija uravnoteženja) u prosincu 2016. godine

Figure 14 Sum of positive errors (negative balancing energy) and sum of negative errors (positive balancing energy) of wind power plant hourly generation in December 2016

Kao mjera točnosti pogreške prognoze proizvodnje VE, koja daje veću težinu lošim prognozama, često se koristi korijen srednje kvadratne pogreške prognoze prema sljedećoj formuli:

Wind power plant generation forecast error, that “gives more value” to bad forecast, is usually evaluated with root mean square error, according the following equation:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{\text{prognozirano}} - P_{\text{ostvareno}})^2}$$

Gdje je:

RMSE – korijen srednje kvadratne pogreške prognoze proizvodnje VE

$P_{\text{prognozirano}}$ – prognozirana satna proizvodnja VE (MWh/h)

$P_{\text{ostvareno}}$ – ostvarena satna proizvodnja VE (MWh/h)

n – ukupni broj promatranih interval (sati)

i – promatrani interval (sat)

Slika 15 prikazuje ukupni korijen srednje kvadratne pogreške prognoze proizvodnje svih VE na dnevnoj razini. Na dnevnoj razini najveći RMSE iznosio je 60,93 MW, a najmanji 6,86 MW.

Where is:

RMSE – root mean square error of hourly WPP generation forecast

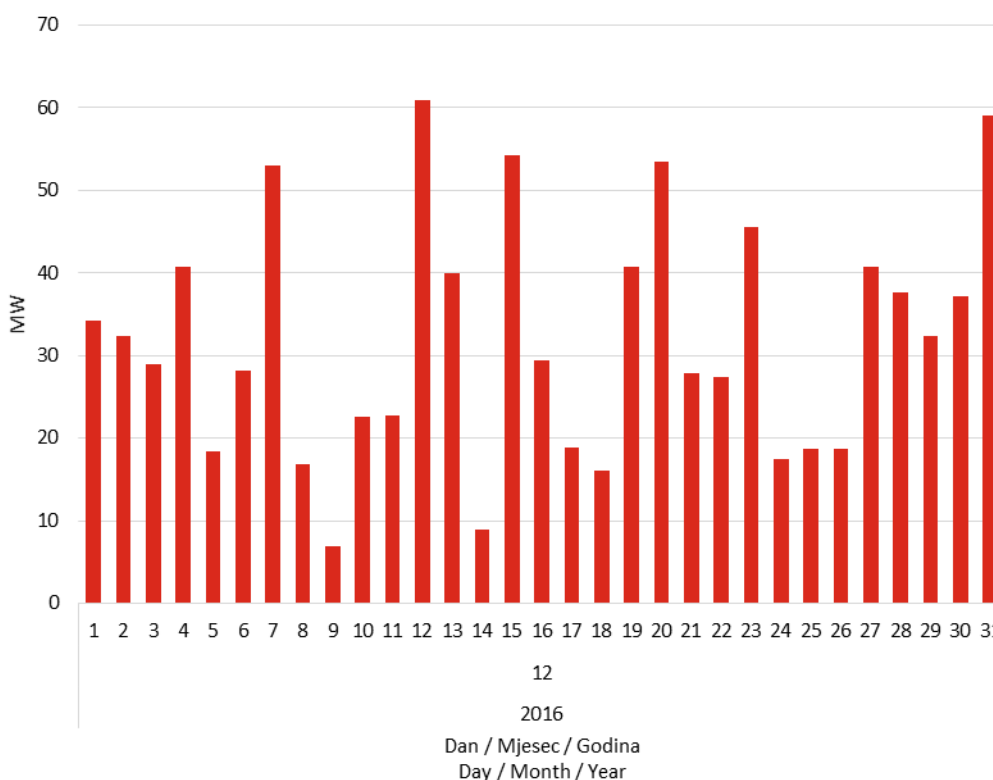
$P_{\text{prognozirano}}$ – forecasted WPP hourly output

$P_{\text{ostvareno}}$ – realized WPP hourly output

n – total number of intervals (hours)

i – single interval (hour)

Figure 15 shows total root mean square forecast error of WPP generation. On daily basis RMSE had the largest value of 60.93 MW, while the lowest value was 6.86 MW.



Slika 15 Korijen srednje kvadratne pogreške prognoze satne proizvodnje svih VE u prosincu 2016. godine

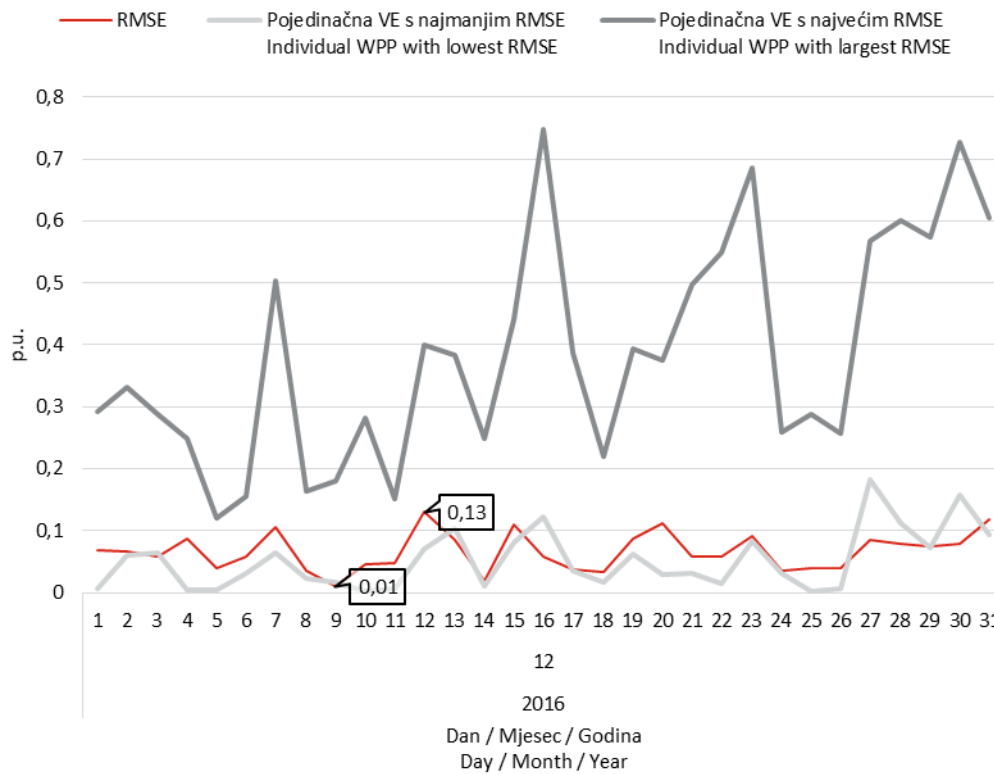
Figure 15 Root mean square error of hourly WPP generation forecast in December 2016

Korijen srednje kvadratne pogreške prognoze može se iskazati i u jediničnim vrijednostima (u odnosu na instaliranu snagu VE), kao na slici 16.

Na istoj slici za svaki dan u ovom mjesecu prikazan je i korijen srednje kvadratne pogreške prognoze za individualne VE koje imaju najveću, odnosno najmanju pogrešku prognoze.

Root mean square error can be presented in per unit (to installed WPP capacity), as shown on the Figure 16.

At the same Figure root mean square values are shown for individual wind power plants with the largest and the lowest root mean square error in each day this month.

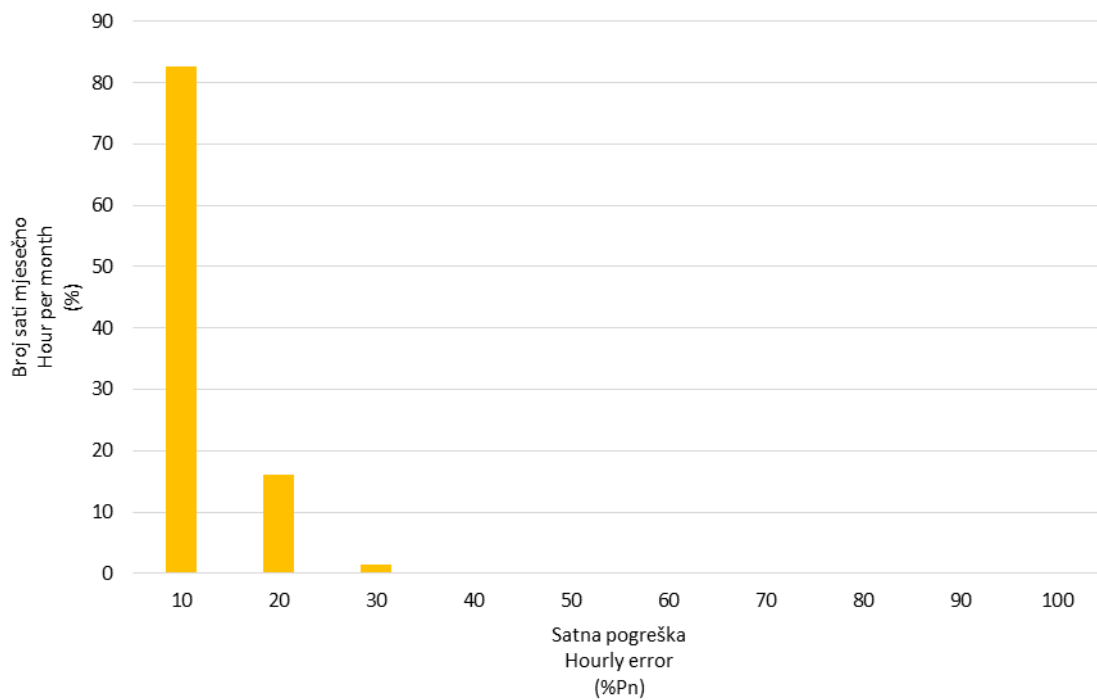


Slika 16 Korijen srednje kvadratne pogreške prognoze satne proizvodnje svih VE u jediničnim vrijednostima

Figure 16 Root mean square error of hourly WPP generation forecast in per unit

Na slici 17 prikazana je frekvencija pojavljivanja pogreške prognoze satne proizvodnje VE ovom mjesecu. Očito je pogreška prognoze bila manja od 10% instalirane snage svih VE u 82,66% slučajeva, dok je u rasponu 10-20% instalirane snage bila u 15,99% slučajeva ovaj mjesec.

Figure 17 shows the frequency of forecast error of hourly WPP production in this month. Clearly, forecast error was below 10 % of installed capacity of all WPPs in 82.66% cases, while it was ranging from 10-20% in 15.99% cases this month.



Slika 17 Frekvencija pojavljivanja pogreške prognoze satne proizvodnje svih VE u prosincu 2016. godine

Figure 17 Frequency of forecasting error of wind power plant hourly generation in December 2016

IZDAVAČ:

Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o.
Kupska 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska

PUBLISHER:

Croatian Transmission System Operator Ltd.
Kupska 4, 10 000 Zagreb, Croatia

ODGOVORNA OSOBA:

Dr.sc. Miroslav Mesić

RESPONSIBLE PERSON:

Miroslav Mesić, PhD

UREDNIK:

Sektor za vođenje EES-a i tržište

EDITOR:

System Operation and Market Department

AUTORSKA PRAVA:

Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o.
Kupska 4, 10 000 Zagreb, Hrvatska

COPYRIGHT:

Croatian Transmission System Operator Ltd.
Kupska 4, 10 000 Zagreb, Croatia