



KATEDRA SIECI ELEKTRYCZNYCH I ZABEZPIECZEŃ

POLITECHNIKA LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel. (+48 81) 53 84 360, fax (+48 81) 538 43 19

<http://weii.pollub.pl>

e-mail: we.kseiz@pollub.pl



**ANALIZA WPŁYWU GENERACJI ŹRÓDEŁ WIATROWYCH
NA POZIOM REZERWY MOCY
W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM**

Autorzy:

dr inż. Zbigniew Połecki – kierownik pracy
prof. dr hab. inż. Piotr Kacejko

Lublin, 30 sierpnia 2016 r.

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Struktura mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym.....	4
3. Obiekt i metoda badań.....	7
4. Wyniki badań.....	20
5. Wnioski.....	44

1. Wstęp

Szybki rozwój energetyki wiatrowej powoduje zmianę struktury wytwarzania w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE). Rozwój ten wyprzedza znacznie rozwój innych źródeł energii, co skłoniło nas do wykonania analizy, której celem jest próba określenia strategii rozwoju KSE.

Długoterminowe analizy pokrycia zapotrzebowania, wykonywane przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA (PSE SA), stanowią podstawę do opracowywania planów rozwoju sieci przesyłowej oraz perspektywicznej oceny stanu bezpieczeństwa dostarczania energii elektrycznej. Operator KSE prowadzi cykliczne badania, których wyniki publikowane są w formie Planów Koordynacyjnych Rocznych (PKR) oraz Planów Koordynacyjnych Miesięcznych (PKM). W roku obecnym opublikowano także opracowanie pt. *Prognoza pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc w latach 2016 – 2035*, w którym szczególny nacisk został położony na rozpoznanie zamierzeń rozwojowych sektora wytwórczego w związku z planowanym wdrożeniem konkluzji BAT do roku 2035. Dla potrzeb prognoz DAPZ (długoterminowych analiz pokrycia zapotrzebowania) przyjęto następujące scenariusze wpływu konkluzji BAT na sektor wytwórczy:

- scenariusz modernizacyjny BAT – zakładający podjęcie działań inwestycyjnych w celu dostosowania jednostek wytwórczych do norm wynikających z konkluzji BAT,
- scenariusz wycofań BAT – zakładający przyspieszenie wycofań jednostek wytwórczych z eksploatacji.

Tabela 1.1. Wyniki prognozy pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc w latach 2016 – 2035, wg danych PSE SA

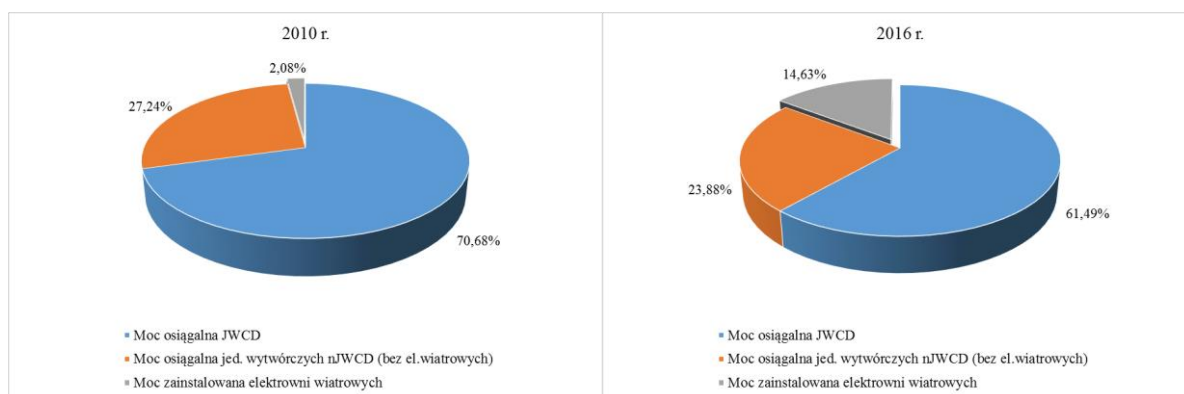
Rok		do 2020	do 2025	do 2030	do 2035
Skumulowane wycofania mocy JWCD ciepłych w scenariuszu modernizacyjnym BAT	MW	2 985	3 210	5 668	13 930
Skumulowane wycofania mocy JWCD ciepłych w scenariuszu wycofań BAT	MW	6 617	9 928	17 321	20 920

Wyniki przedstawione w tym opracowaniu pokazują konieczność szybkiego wzrostu nowych mocy wytwórczych źródeł JWCD, o sumarycznej mocy ok. 5,8 GW. Zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do roku 2035 wymaga, wg autorów, budowy nowych źródeł wytwórczych i tak wg scenariusza modernizacyjnego wypełnienia konkluzji BAT to 23 GW a w scenariuszu wycofań – 30GW. W planach pokazanych w opracowaniu PSE zabrakło jednak docelowej struktury wytwarzania i udziału, jaki w nowych źródłach mogą zająć odnawialne źródła energii, w tym także elektrownie wiatrowe.

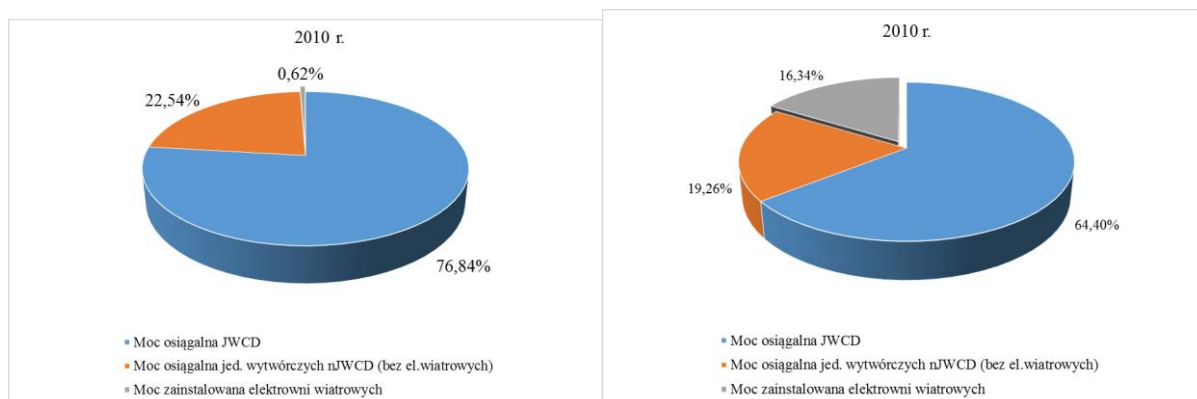
2. Struktura mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym

Od 10 lat w Polsce obserwujemy szybki rozwój energetyki wiatrowej. W 2006 roku były to pierwsze, liczące się źródła, obecnie, na koniec obecnego roku będzie to ponad 6 000 MW mocy zainstalowanej. W oparciu o Plany Koordynacyjne Roczne w tabelach 2.1 oraz 2.2. zostały opisane zmiany struktura mocy w KSE w latach 2010-2018

Zmiany struktury mocy osiągalnej przedstawia rys. 2.1 a mocy dyspozycyjnej rys 2.2. W tym samym czasie moc osiągalna jednostek JWCD praktycznie pozostaje na poziomie poniżej 26 000MW.



Rys. 2.1. Struktura mocy osiągalnej w KSE w latach 2010 oraz 2016



Rys. 2.2. Struktura mocy dyspozycyjnej w KSE w latach 2010 oraz 2016

Tabela 2.1. Średnie miesięczne, prognozowane na koniec roku wartości mocy osiągalnej KSE w szczytach dobowym dni roboczych dla lat 2009-2018

Rok	Moc osiągalna elektrowni krajowych	Moc osiągalna JWCD	W tym:		Moc osiągalna jednostek wytwórczych nJWCD (bez elektrowni wiatrowych)	W tym:				Moc zainstalowana elektrowni wiatrowych
			moc osiągalna JWCD cieplnych	moc osiągalna JWCD wodnych		moc osiągalna nJWCD cieplnych	moc osiągalna nJWCD wodnych	moc osiągalna nJWCD inne odnawialne	moc osiągalna elektrowni przemysłowych	
2009	35 523,00	25 640,00	23 944,00	1 696,00	9 883,00	6 398,00	598,00		2 132,00	755,00
2010	36 504,00	26 282,00	24 586,00	1 696,00	9 105,70	6 360,70	613,00		2 132,00	1 115,90
2011	37 277,00	26 087,00	24 391,00	1 696,00	9 227,00	6 445,00	615,00		2 167,00	1 964,00
2012	38 716,10	26 151,00	24 455,00	1 696,00	9 488,10	6 382,40	619,30	116,00	2 370,40	3 077,00
2013	38 689,00	25 502,00	23 806,00	1 696,00	9 555,90	6 099,80	642,50	425,00	2 388,60	3 631,10
2014	39 086,90	25 211,00	23 515,00	1 696,00	9 835,90	6 061,40	657,20	594,00	2 523,30	4 040,00
2015	40 506,40	26 187,00	24 491,00	1 696,00	9 786,40	6 034,20	644,20	576,00	2 532,00	4 533,00
2016	42 189,50	25 943,00	24 247,00	1 696,00	10 075,50	6 182,50	644,80	672,00	2 576,20	6 171,00
2017	44 205,50	26 905,00	25 209,00	1 696,00	10 361,50	6 225,50	646,50	841,00	2 648,50	6 939,00
2018	44 691,50	26 835,00	25 139,00	1 696,00	10 265,50	6 017,50	646,50	916,00	2 685,50	7 591,00

Tabela 2.2. Średnie miesięczne, prognozowane na koniec roku wartości mocy dyspozycyjnej KSE w szczytach dobowym dni roboczych dla lat 2009-2018

Rok	Moc dyspozycyjna elektrowni krajowych	Moc dyspozycyjna JWCD	W tym:		Moc dyspozycyjna jednostek wytwórczych nJWCD (bez elektrowni wiatrowych)	W tym:				Moc dyspozycyjna elektrowni wiatrowych
			moc dyspozycyjna JWCD ciepłych	moc dyspozycyjna JWCD wodnych		moc dyspozycyjna nJWCD ciepłych	moc dyspozycyjna nJWCD wodnych	moc dyspozycyjna nJWCD inne odnawialne	moc dyspozycyjna elektrowni przemysłowych	
2009	30 352,00	23 469,00	22 369,00	1 100,00	6 883,00	4 906,00	474,00		1 314,00	189,00
2010	29 863,00	22 843,00	21 943,00	900,00	6 741,10	5 008,00	481,00		1 252,10	279,00
2011	32 648,00	23 911,00	22 811,00	1 100,00	6 773,00	4 944,00	484,00		1 345,00	1 964,00
2012	33 463,70	23 398,40	22 198,40	1 200,00	6 988,30	4 943,10	471,20	65,00	1 509,00	3 077,00
2013	34 191,40	23 377,10	22 177,10	1 200,00	7 183,20	4 765,30	515,00	334,00	1 568,90	3 631,10
2014	34 326,40	22 946,70	21 746,70	1 200,00	7 339,70	4 759,40	493,60	376,00	1 710,70	4 040,00
2015	35 747,40	24 187,10	22 787,10	1 400,00	7 027,30	4 413,70	524,20	358,00	1 731,40	4 533,00
2016	37 770,20	24 324,90	22 824,90	1 500,00	7 274,30	4 537,00	512,50	445,00	1 779,80	6 171,00
2017	39 672,70	25 310,60	23 910,60	1 400,00	7 423,10	4 622,40	511,50	473,00	1 816,20	6 939,00
2018	40 992,00	25 879,00	24 379,00	1 500,00	7 522,00	4 491,90	523,10	588,00	1 919,00	7 591,00

3. Obiekt i metoda badań

W pracy została przeanalizowana praca elektrowni ciepłych, w których paliwami są:

- węgiel brunatny,
- węgiel kamienny,
- biopaliwa,
- gaz ziemny,
- gaz koksowniczy;

elektrownie korzystające z odnawialnych źródeł energii tj.:

- elektrownie wiatrowe,
- wodne przepływowe,
- wodne zaporowe,

a także elektrownie szczytowo-pompowe. W tabeli 3.1 zostały wymienione jednostki grafikowe, których pomiary mocy są przekazywane bezpośrednio do PSE. Dane z pozostałych jednostek, w tym także elektrowni wiatrowych, zostały uwzględnione w postaci zagregowanej dla obszarów działania Oddziałów PSE (PSE Oddział w Warszawie, PSE Oddział w Bydgoszczy, PSE Oddział w Katowicach, PSE Oddział w Radomiu, PSE Oddział w Poznaniu). W tabeli 3.1 podano także możliwości świadczenia usług regulacyjnych w KSE. Badania objęły okres od 1 stycznia 2011 r. do 30 czerwca 2016 r. Dane, uzyskane dzięki uprzejmości PSE SA są danymi chwilowymi zapisywanymi w systemach informatycznych PSE z krokiem 15-minutowym. W pierwszej macierzy zamieszczono dane dotyczące wartości chwilowych prognozowanych w dobowych planach koordynacyjnych. Są to:

- Zapotrzebowanie KSE (bez pomp.)
- Saldo wymiany równoległej
- Saldo wymiany nierównoległej NN
- Saldo wymiany nierównoległej 110 kV
- Suma generacji JWCD ciepłych zapl. do pracy
- Suma generacji JWCD wodnych zapl. do pracy
- Planowane pompowanie JWCD wodnych
- Bilans generacji zewnętrznej (w tym wiatr.)
- Planowana generacja el. wiatrowych
- Rezerwa całkowita dodatnia w JWCD
- Rezerwa całkowita ujemna w JWCD

- Rezerwa całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych
- Rezerwa całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych
- Rezerwa całkowita dodatnia dostępna JWCD wodnych (wirująca)
- Rezerwa całkowita ujemna dostępna JWCD wodnych (wirująca)
- Rezerwa zimna

Oznacza to, że wymiar tej macierzy to $192\,764 \times 18$ elementów. Niestety dane dotyczące planów rezerw mocy w systemie informatycznym były zapamiętywane od maja 2013 r. Kolejne macierze danych o wymiarach $192\,764 \times 233$ to chwilowe obciążenie wszystkich źródeł, ich moce dyspozycyjne, moce osiągalne i chwilowe wartości planu rezerwy mocy JWCD.

Druga baza danych obejmuje informacje nt. rzeczywistych wartości obciążeń zarejestrowanych w systemach pomiarowych

1. Data
2. Czas
3. Zapotrzebowanie KSE normalne
4. Saldo wymiany międzynarodowej
5. Suma generacji el. wiatrowych
6. Moc osiągalna elektrowni krajowych
 - elektrownie zawodowe
 - a. JWCD
 - b. pozostałe
 - elektrownie przemysłowe
7. Moc dyspozycyjna elektrowni krajowych:
 - elektrownie zawodowe
 - a. JWCD
 - b. pozostałe
 - elektrownie przemysłowe
8. Obciążenie elektrowni krajowych:
 - elektrownie zawodowe
 - a. JWCD
 - b. pozostałe
 - elektrownie przemysłowe
9. Rezerwa mocy w elektrowniach zawodowych:**

4. Rezerwa mocy w JWCD
 - a. JWCD ciepłne:
 - i. rezerwa wirująca
 - ii. rezerwa zimna
 - b. JWCD wodne


5. Rezerwa mocy pozostała

Metody badawcze


Badane pliki zostały przeanalizowane w programach Statistica 12.5 oraz programie Gretl. Program Gretl, autorstwa Allina Cottrella z Uniwersytetu Wake Forest w Północnej Karolinie w Stanach Zjednoczonych, jest rozwijanym od kilku lat darmowym pakietem ekonometrycznym.

Celem analizy było określenie istotności oraz siły wpływu, jaki ma generacja elektrowni wiatrowych na rezerwy mocy JWCD, zarówno dla zmiennych planu jak i ich realizacji. Poniżej w tabeli przedstawiono badane zmienne zależne oraz niezależne opracowanych modeli.

MODEL 1 „PLAN”

Zmienne niezależne		Zmienne zależne
Planowana generacja elektrowni wiatrowych		Planowana rezerwa wirująca JWCD ciepłnych dodatnia
		Planowana rezerwa wirująca JWCD ciepłnych ujemna
		Planowana rezerwa wirująca JWCD ciepłnych przedział

MODEL 2 „REALIZACJA”

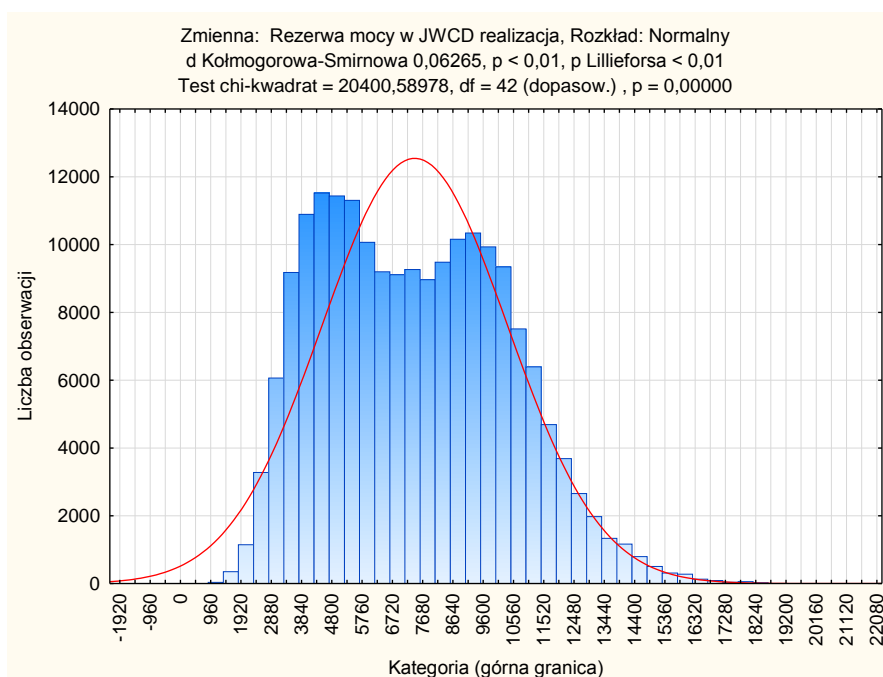
Zmienne niezależne		Zmienne zależne
Moc chwilowa elektrowni wiatrowych realizacja		Rezerwa mocy w JWCD realizacja
Moc osiągalna elektrowni wiatrowych		Rezerwa wirująca ciepłnych w JWCD realizacja

Dokonano analizy metodą eksploracji danych. Dla odpowiednio wybranego modelu, należy przeprowadzić szczegółową analizę zmiennych zależnych.

Zmienne dotyczące rezerw mocy (zarówno planowanych jak i ich realizacji) są szeregami czasowymi o rosnącym trendzie wieloletnim, o silnej autokorelacji z sezonowością roczną, tygodniową oraz dzienną. Zawierają grupy obserwacji odstających, o rozkładzie istotnie różnym od normalnego. Dane pod taką postacią nie nadają się do analizy klasycznej, gdyż nie

spełniają założeń Gaussa-Markowa. W poniższych punktach przedstawiono wykresy i testy statystyczne świadczące o cechach zmiennej Rezerwa mocy w JWCD realizacja.

Brak normalności rozkładu



W programie Statistica automatycznie obliczono wartości istotności dla testów normalności Kołmogorowa – Smirnowa (K-S) oraz testu Lillieforsa.

Postawiono hipotezę:

H0: Badana zmienna ma rozkład normalny

Wobec hipotezy alternatywnej: *H1: badana zmienna nie ma rozkładu normalnego*

W tabeli przedstawiono obliczone statystyki testów oraz empiryczny poziom istotności p-value.

Testy na normalność rozkładu

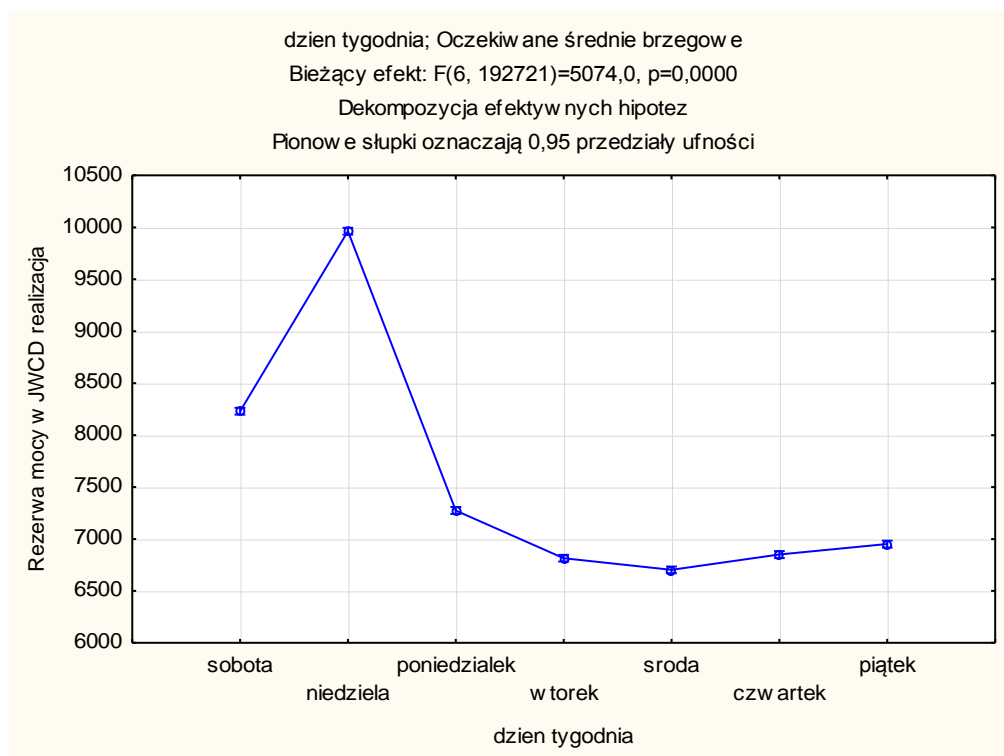
Test	Statystyka testu	p-value
Kołmogorowa - Smirnowa	0,06265	<0,01
Lillieforsa		<0,01

Dla wszystkich testów hipotezę zerową należy odrzucić, zatem nie możemy twierdzić, iż rozkład badanej zmiennej jest rozkładem normalnym.

Istotności różnic w grupach (analiza Anova)

Dla wszystkich zmiennych opisujących pracę systemu elektroenergetycznego występują silne zmienności: dobowe, tygodniowe oraz sezonowe. Zmienności takiej nie podlega produkcja elektrowni wiatrowych.

Przykładowe wyniki analizy wpływu zmienności tygodniowej przedstawia poniższy wykres oraz wyniki pochodzące z pakietu Statistica.



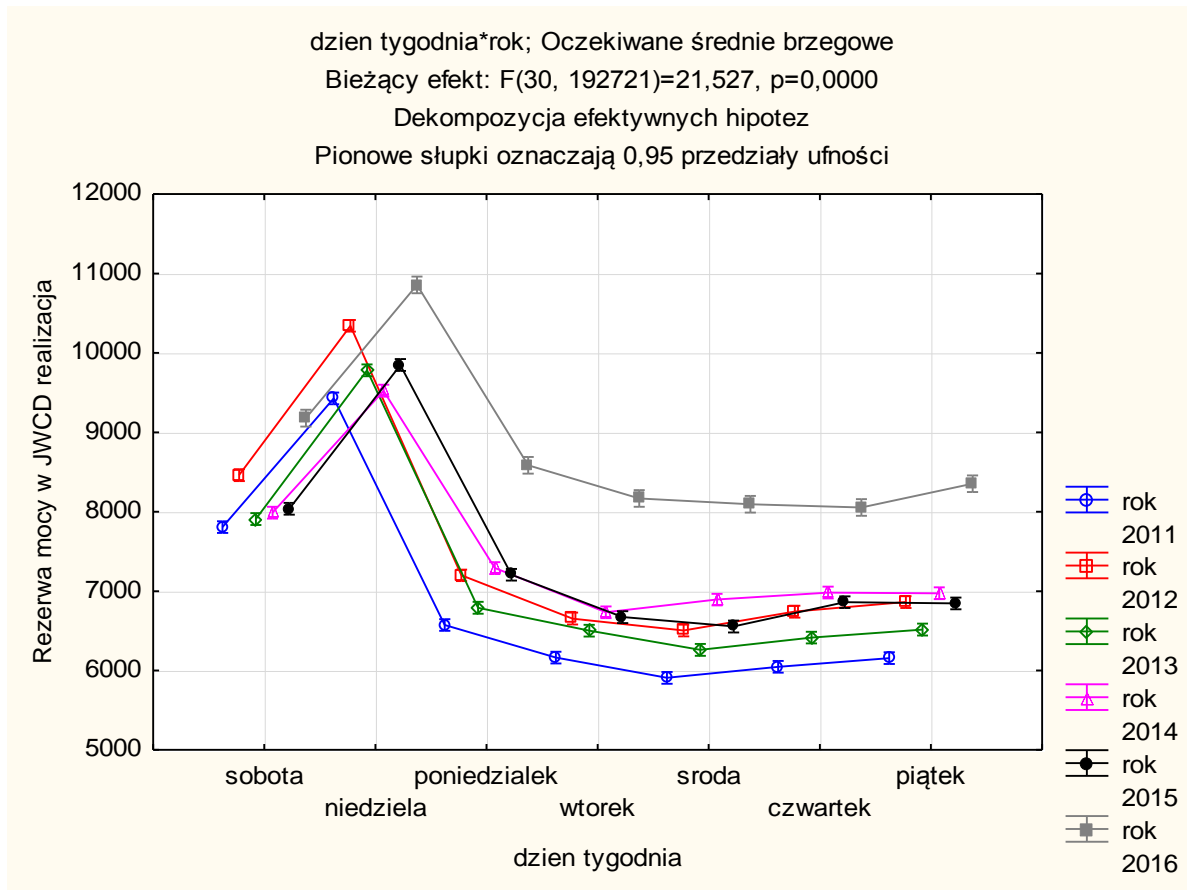
Średnie w grupach wyznaczonych przez dzień tygodnia istotnie różnią się.

dzien tygodnia; Oczekiwane średnie brzegowe (Dane PSE sprawdzone po spotkaniu)						
Bieżący efekt: $F(6, 192721)=5074,0, p=0,0000$						
Dekompozycja efektywnych hipotez						
Nr podkl.	dzien tygodnia	Rezerwa mocy w JWCD realizacja Średnie	Rezerwa mocy w JWCD realizacja Bł. Std.	Rezerwa mocy w JWCD realizacja -95,00%	Rezerwa mocy w JWCD realizacja +95,00%	N
1	sobota	8230,101	16,67420	8197,420	8262,782	27552
2	niedziela	9963,286	16,67803	9930,597	9995,974	27548
3	poniedziałek	7274,254	16,67420	7241,573	7306,935	27552
4	wtorek	6815,612	16,67420	6782,931	6848,293	27552
5	środa	6702,368	16,67420	6669,687	6735,048	27552
6	czwartek	6850,432	16,67515	6817,749	6883,115	27551
7	piątek	6950,975	16,69671	6918,251	6983,700	27456

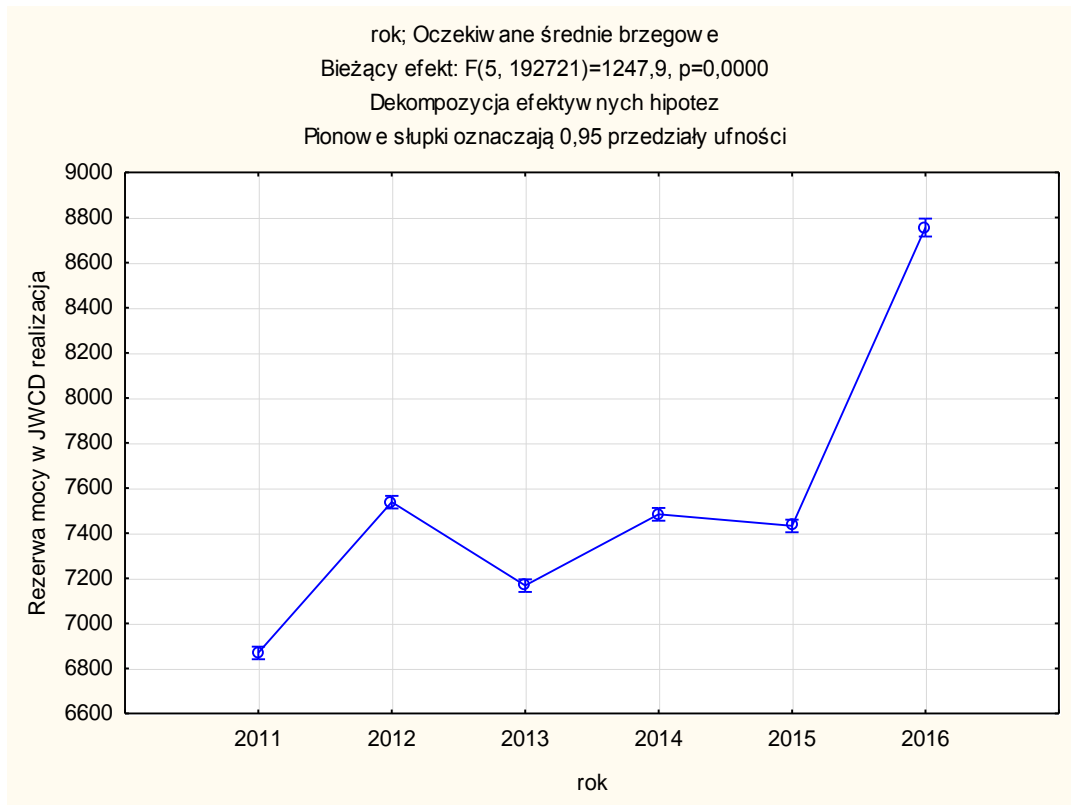
Poniżej przedstawiono test U-Mana Whitneya na równość średnich z rozkładów, jednej wybranej pary. Różnica jest istotna na poziomie empirycznym istotności mniejszym niż 0,001.

Test U Manna-Whitneya (z poprawką na ciągłość) (Dane PSE sprawdzone po spotkaniu)									
Względem zmiennej: dzien tygodnia									
Zaznaczone wyniki są istotne z $p < 0,05000$									
Zmienna	Sum.rang sroda	Sum.rang niedziela	U	Z	p	Z popraw.	p	N ważn. sroda	N ważn. niedziela
Rezerwa mocy w JWCD realizacja	518431110	999601441	138860982	-128,901	0,00	-128,901	0,00	27552	27548

Dodatkowo sprawdzono, czy poziomy poszczególnych parametrów zmieniają się istotnie w badanych latach, wyniki przestawiono na poniższym wykresie oraz tabelarycznie.



Powyżej przedstawiono profile roczne dla zmiennej Rezerwa mocy w JWCD realizacja wraz ze zmienną grupującą dzień tygodnia.



Różnice średnich dla zmiennej grupującej rok również są istotne statystycznie.

rok; Oczekiwane średnie brzegowe (Dane PSE sprawdzone po spotkaniu) Bieżący efekt: $F(5, 192721)=1247,9, p=0,0000$ Dekompozycja efektywnych hipotez						
Nr podkl.	rok	Rezerwa mocy w JWCD realizacja Średnie	Rezerwa mocy w JWCD realizacja Bł. Std.	Rezerwa mocy w JWCD realizacja -95,00%	Rezerwa mocy w JWCD realizacja +95,00%	N
1	2011	6869,009	14,29217	6840,997	6897,022	35040
2	2012	7537,679	14,27284	7509,705	7565,653	35136
3	2013	7167,493	14,29217	7139,481	7195,506	35040
4	2014	7483,689	14,29217	7455,677	7511,701	35040
5	2015	7432,233	14,29217	7404,221	7460,245	35040
6	2016	8755,920	20,24237	8716,245	8795,594	17467

Przeprowadzona wstępna analiza statystyczna pozwoliła na prawidłowe pogrupowanie danych i ich ocenę w różnych przekrojach. Badania zależności pomiędzy mocą planowaną oraz rzeczywistą elektrowni wiatrowych przeprowadzono dla wszystkich badanych lat w grupach dni roboczych i świątecznych uwzględniających szczyty obciążeń przedpołudniowych (rannych) i wieczornych oraz dolin obciążenia.

Tabela 3.1. Obiekt badań (oznaczenia źródeł: WB – węgiel brunatny, WK – węgiel kamienny, GK – gaz koksowniczy, GZ – gaz ziemny, BM – blok biomasowy, WI – elektrownie wiatrowe, WS – elektrownie szczytowo-pompowe, WP – wodne przepływowe, WZ – wodne zaporowe, oznaczenia dyspozycyjności: T – JWCD, N – nJWCD, typy C – ciepne, W – wodne, A – wiatrowe)

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Adamów B1	WB	T	C	T
Adamów B2	WB	T	C	T
Adamów B3	WB	T	C	T
Adamów B4	WB	T	C	T
Adamów B5	WB	T	C	T
Bedzin	WK	N	C	T
Bełchatów B01	WB	T	C	T
Bełchatów B02	WB	T	C	T
Bełchatów B03	WB	T	C	T
Bełchatów B04	WB	T	C	T
Bełchatów B05	WB	T	C	T
Bełchatów B06	WB	T	C	T
Bełchatów B07	WB	T	C	T
Bełchatów B08	WB	T	C	T
Bełchatów B09	WB	T	C	T
Bełchatów B10	WB	T	C	T
Bełchatów B11	WB	T	C	T
Bełchatów B12	WB	T	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Bełchatów B14	WB	T	C	T
Białystok	WK	N	C	T
Bielsko Biała	WK	N	C	T
Bielsko Północ	WK	N	C	T
Blachownia	GK	N	C	T
Bydgoszcz 2	WK	N	C	T
Chorzów - Pasywna	WK	N	C	T
Czechnica	WK	N	C	T
Dolna Odra B1	WK	T	C	T
Dolna Odra B2	WK	T	C	T
Dolna Odra B5	WK	T	C	T
Dolna Odra B6	WK	T	C	T
Dolna Odra B7	WK	T	C	T
Dolna Odra B8	WK	T	C	T
Dychów H1	WS	T	W	T
Dychów H2	WS	T	W	T
Dychów H3	WS	T	W	T
EC Fortum Częstochowa	WK	N	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
EC Gorzów	GZ	N	C	T
EC Rzeszów -Pasywna	GZ	N	C	T
EC Wrotków -Pasywna	GZ	N	C	T
EC Zielona Góra - Pasywna	GZ	N	C	T
Farma wiatrowa Banie	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Bardy Dygowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Bukowsko Nowotaniec	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Bystra	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Chwiram	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Darłowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Dobrzyn	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Gnieźdzewo - Zdrada	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Golice	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Ilza II	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Jagniatkowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Kamieńsk	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Kamionka	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Kanin	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Karcino	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Karnice	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Karscino	WI	N	A	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Farma wiatrowa Kisielice	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Kobylnica	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Koniecwald	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Korsze	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Korytnica	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Krobia I	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Krzecin	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Kukinia	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Lebcz - Gnieźdzewo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Legowo	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Linowo	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Lipniki	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Lukaszów	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Margonin	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Marszewo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Modlikowice	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Moltowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Orłowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Osieki	WI	N	A	T
Farma Wiatrowa Pagów	WI	N	A	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Farma wiatrowa Pelplin	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Piecki	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Potasznia	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Rajgród	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Rymanów	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Scieki	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Słupsk	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Śniatowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Szelf	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Taciewo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Taczalin	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Tolkowiec	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Tychowo (1)	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Tychowo (2)	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Tymien	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Wartkowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Wronki	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Zagórze	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Zajęczkowo	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Zgorzelec	WI	N	A	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Farma wiatrowa Żuromin I	WI	N	A	T
Farma wiatrowa Żuromin II	WI	N	A	T
Gdańsk 2	WK	N	C	T
Gdynia 3	WK	N	C	T
Gorzów	GZ	N	C	T
Jaworzno 2	WK	N	C	T
Jaworzno 3 B1	WK	T	C	T
Jaworzno 3 B2	WK	T	C	T
Jaworzno 3 B3	WK	T	C	T
Jaworzno 3 B4	WK	T	C	T
Jaworzno 3 B5	WK	T	C	T
Jaworzno 3 B6	WK	T	C	T
Karolin	WK	N	C	T
Karolin - Generator 3	WK	T	C	T
Katowice	WK	N	C	T
Konin -Pasywna	WB	N	C	T
Konin TG6 - Pasywna	BM	N	C	T
Kozienice 1 B1	WK	T	C	T
Kozienice 1 B2	WK	T	C	T
Kozienice 1 B3	WK	T	C	T
Kozienice 1 B4	WK	T	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Kozienice 1 B5	WK	T	C	T
Kozienice 1 B6	WK	T	C	T
Kozienice 1 B7	WK	T	C	T
Kozienice 1 B8	WK	T	C	T
Kozienice 2 B09	WK	T	C	T
Kozienice 2 B10	WK	T	C	T
Kraków Leg	WK	N	C	T
Łagisza B10	WK	T	C	T
Łagisza B6	WK	T	C	T
Łagisza B7	WK	T	C	T
Łaziska 2 B1	WK	T	C	T
Łaziska 2 B2	WK	T	C	T
Łaziska 3 B09	WK	T	C	T
Łaziska 3 B10	WK	T	C	T
Łaziska 3 B11	WK	T	C	T
Łaziska 3 B12	WK	T	C	T
Miechowice	WK	N	C	T
Niedzica	WS	N	W	T
Nowa Sarzyna - Pasywna	GZ	N	C	T
Opole B1	WK	T	C	T
Opole B2	WK	T	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Opole B3	WK	T	C	T
Opole B4	WK	T	C	T
Ostrołęka A - Pasywna	WK	N	C	T
Ostrołęka B B1	WK	T	C	T
Ostrołęka B B2	WK	T	C	T
Ostrołęka B B3	WK	T	C	T
Pątnów 1 B1	WB	T	C	T
Pątnów 1 B2	WB	T	C	T
Pątnów 1 B3	WB	T	C	T
Pątnów 1 B4	WB	T	C	T
Pątnów 1 B5	WB	T	C	T
Pątnów 1 B6	WB	T	C	T
Pątnów 2 B9	WB	T	C	T
Połaniec B1	WK	T	C	T
Połaniec B2	WK	T	C	T
Połaniec B3	WK	T	C	T
Połaniec B4	WK	T	C	T
Połaniec B5	WK	T	C	T
Połaniec B6	WK	T	C	T
Połaniec B7	WK	T	C	T
Połaniec bl.9 - Pasywna	BM	N	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Pomorzany	WK	N	C	T
Porąbka Żar H1	WS	T	W	T
Porąbka Żar H2	WS	T	W	T
Porąbka Żar H3	WS	T	W	T
Porąbka Żar H4	WS	T	W	T
Roznów	WZ	N	W	T
Rybnik B1	WK	T	C	T
Rybnik B2	WK	T	C	T
Rybnik B3	WK	T	C	T
Rybnik B4	WK	T	C	T
Rybnik B5	WK	T	C	T
Rybnik B6	WK	T	C	T
Rybnik B7	WK	T	C	T
Rybnik B8	WK	T	C	T
Siekierki	WK	N	C	T
Siersza B1	WK	T	C	T
Siersza B2	WK	T	C	T
Siersza B3	WK	T	C	T
Siersza B6	WK	T	C	T
Skawina 3 - Pasywna	WK	N	C	T
Solina H1	WS	T	W	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Solina H2	WS	T	W	T
Solina H3	WS	T	W	T
Solina H4	WS	T	W	T
Stalowa Wola 2 - Pasywna	WK	N	C	T
Stalowa Wola 3 B7	WK	T	C	T
Stalowa Wola 3 B8	WK	T	C	T
Suma el. Małych ciepłych Bydgoszcz	WK	N	C	T
Suma el. Małych ciepłych Katowice	WK	N	C	T
Suma el. małych ciepłych Poznań	WK	N	C	T
Suma el. małych ciepłych Radom	WK	N	C	T
Suma el. małych ciepłych Warszawa	WK	N	C	T
Suma innych odnawialnych Bydgoszcz	BM	I	W	N
Suma innych odnawialnych Katowice	BM	I	W	N
Suma innych odnawialnych Poznań	BM	I	W	N
Suma innych odnawialnych Radom	BM	I	W	N
Suma innych odnawialnych Warszawa	BM	I	W	N
Suma małych wiatrowych w OAZW_BY_01	WI	I	A	N
Suma małych wiatrowych w OAZW_KA_01	WI	I	A	N
Suma małych wiatrowych w OAZW_PO_01	WI	I	A	N
Suma małych wiatrowych w OAZW_RA_01	WI	I	A	N

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Suma małych wiatrowych w OAZW_WA_01	WI	I	A	N
Suma małych wodnych Bydgoszcz	WP	N	W	T
Suma małych wodnych Katowice	WP	N	W	T
Suma małych wodnych Poznań	WP	N	W	T
Suma małych wodnych Radom	WP	N	W	T
Suma małych wodnych Warszawa	WP	N	W	T
Suma przemysłowych Bydgoszcz	WK	I	C	N
Suma przemysłowych Katowice	WK	I	C	N
Suma przemysłowych Poznań	WK	I	C	N
Suma przemysłowych Radom	WK	I	C	N
Suma przemysłowych Warszawa	WK	I	C	N
Turów B01	WB	T	C	T
Turów B02	WB	T	C	T
Turów B03	WB	T	C	T
Turów B04	WB	T	C	T
Turów B05	WB	T	C	T
Turów B06	WB	T	C	T
Tychy	WK	N	C	T
Włocławek	WP	N	W	T
Włocławek B1	GZ	T	C	T

Obiekt bilansu	Rodzaj paliwa	Dyspozycyjność	Typ	Zawodowa
Wrocław	WK	N	C	T
Zabrze	WK	N	C	T
Żarnowiec H1	WS	T	W	T
Żarnowiec H2	WS	T	W	T
Żarnowiec H3	WS	T	W	T
Żarnowiec H4	WS	T	W	T
ZEC Łódź-Pasywna	WK	N	C	T
Zeran	WK	N	C	T
Żydowo H1	WS	T	W	T
Żydowo H2	WS	T	W	T
Żydowo H3	WS	T	W	T

4. Wyniki badań

W tabelach 4.1, 4.2 oraz 4.3 przedstawiono wartości planowane i rzeczywiste (średnie, minimalne i maksymalne) mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania w KSE oraz poziomów rezerwy mocy w różnych źródłach w latach 2011-2016. Te same wyniki zostały powtórzone dla wybranych grup dni tygodnia (dni roboczych i dni wolnych od pracy) oraz godzin szczytu wieczornego, przedpołudniowego i doliny nocnej.

Tabele 4.4 – 4.6 prezentują wyniki obliczeń uzyskane dla szczytów wieczornych dni roboczych;

Tabele 4.7 – 4.9 prezentują wyniki obliczeń uzyskane dla szczytów przedpołudniowych dni roboczych;

Tabele 4.10 – 4.12 prezentują wyniki obliczeń uzyskane dla godzin szczytu wieczornego dni wolnych od pracy;

Tabele 4.13 – 4.15 prezentują wyniki obliczeń uzyskane dla doli nocnych obciążenia.

W tabelach 4.4 – 4.15 określenie rezerwa szybka oznacza sumę rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD oraz elektrowni szczytowo-pompowych, które jako jedyne są jednostkami centralnie dysponowanymi.

Tabela 4.1. Planowane i rzeczywiste średnie wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w różnych źródłach w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych realizacja	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w JWCD realizacja	Rzeczywista rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych JWCD
2011	343,34	bd	bd	345,16	17 929,86	6 871,37	2 961,88
2012	522,17	bd	bd	529,33	18 005,93	7 525,32	3 254,81
2013	683,67	2 071,40	-2 505,35	687,50	18 114,38	7 165,33	3 247,34
2014	852,78	2 927,72	-3 680,54	865,30	18 211,35	7 481,79	3 069,81
2015	1 168,28	3 147,29	-3 544,87	1 215,52	18 516,43	7 430,29	3 371,60
2016	1 275,08	3 182,55	-3 241,84	1 283,20	18 740,74	8 755,42	3 363,29

Tabela 4.2. Planowane i rzeczywiste minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych i ich mocy osiągalnej, zapotrzebowania w KSE oraz minimalne poziomy rezerwy mocy w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych realizacja	Moc osiągalna el. wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w JWCD realizacja	Rzeczywista rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych JWCD
2011	0,00	bd	bd	0,20	923,74	10 380,90	752,30	145,80
2012	0,00	bd	bd	0,60	1 899,93	11 139,70	915,70	140,70
2013	0,00	-201,60	-7 447,70	4,50	2 562,39	11 242,50	1 272,00	186,80
2014	6,00	-315,50	-7 521,80	3,30	3 386,88	10 745,30	1 282,90	104,80
2015	14,00	-278,80	-7 623,80	6,80	3 729,74	11 240,70	1 237,30	199,20
2016	20,00	-34,90	-7 169,40	14,90	5 111,58	11 751,00	1 917,90	147,60

Tabela 4.3. Planowane i rzeczywiste maksymalne wartości mocy elektrowni wiatrowych i ich mocy osiągalnej, zapotrzebowania w KSE oraz minimalne poziomy rezerwy mocy w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych realizacja	Moc osiągalna el. wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w JWCD realizacja	Rzeczywista rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych JWCD
2011	1 410,00	bd	bd	1 438,60	1 891,11	24 780,10	17 355,20	7 818,10
2012	2 049,00	bd	bd	2 009,10	2 562,39	25 844,70	16 439,60	7 958,40
2013	3 054,00	8 028,50	340,30	3 040,60	3 386,88	24 760,90	16 799,70	8 279,20
2014	3 521,00	7 682,30	176,90	3 571,40	3 729,74	25 534,80	16 322,70	7 718,90
2015	4 358,00	8 303,30	596,40	4 278,90	5 111,58	25 101,10	18 488,30	8 399,60
2016	5 001,30	8 113,50	605,40	4 773,20	5 644,62	25 385,60	16 182,30	8 503,80

Tabela 4.4. Planowane i rzeczywiste średnie wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w źródłach w godzinach szczytu wieczornego dnia roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	357,20	bd	db	356,00	20 821,02	4 208,72	1 540,30	1 227,13	2 767,42
2012	542,17	bd	db	547,57	20 786,24	4 715,34	1 642,73	1 331,76	2 974,49
2013	681,83	1 714,48	-5 352,02	686,41	20 860,04	4 577,08	1 767,53	1 313,61	3 081,14
2014	874,88	1 784,80	-5 227,72	877,60	21 037,20	5 268,40	1 866,72	1 376,94	3 243,67
2015	1 171,56	2 008,03	-5 080,40	1 210,52	21 361,82	5 077,17	2 182,50	1 309,62	3 492,12
2016	1 181,73	2 341,46	-4 482,54	1 172,02	21 494,93	6 648,70	2 443,85	1 298,84	3 742,69

Tabela 4.5. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w KSE w godzinach szczytu wieczornego dnia roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	24,00	bd	db	2,90	13 610,80	752,30	145,80	179,60	441,20
2012	0,00	bd	db	3,80	13 709,40	915,70	140,70	476,50	915,70
2013	6,00	4,70	-417,70	30,80	13 690,70	1 272,00	269,20	264,60	941,10
2014	22,00	11,00	-339,00	13,50	13 961,80	1 282,90	185,30	463,80	1 082,90
2015	40,00	-131,50	-56,70	31,30	14 193,20	1 237,30	319,30	289,80	1 131,00
2016	31,50	600,60	-1 518,90	23,70	14 361,10	2 446,30	462,60	561,10	1 799,20

Tabela 4.6. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w KSE w godzinach szczytu wieczornego dnia roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	1 314,00	bd	db	1 364,80	24 662,50	9 559,90	3 892,80	1 622,00	5 295,00
2012	1 900,00	bd	db	1 956,40	25 583,10	12 948,10	4 672,10	1 675,90	6 099,70
2013	2 990,00	5 531,30	-7 333,50	3 035,10	24 397,50	13 674,00	5 862,40	1 645,00	7 093,00
2014	3 373,00	4 702,00	-7 386,70	3 514,00	25 292,30	15 163,90	4 778,40	1 696,00	6 116,80
2015	4 095,30	5 316,40	-7 555,60	4 019,50	24 708,00	16 466,40	5 486,80	1 696,00	6 928,60
2016	4 457,30	4 943,10	-6 564,90	4 288,60	25 196,80	10 386,20	4 743,10	1 696,00	5 678,30

Tabela 4.7. Planowane i rzeczywiste średnie wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w źródłach w godzinach szczytu przedpołudniowego dnia roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	304,96	bd	bd	292,41	20 342,85	4 346,10	1 533,36	1 332,00	2 865,36
2012	477,90	bd	bd	466,55	20 353,44	4 957,43	1 734,61	1 448,89	3 183,50
2013	604,72	1 448,23	-5 475,08	583,49	20 460,96	4 677,26	1 666,55	1 473,86	3 140,41
2014	696,12	1 533,39	-5 345,09	683,53	20 652,32	5 289,08	1 691,45	1 572,61	3 264,06
2015	1 031,78	1 757,06	-5 165,88	1 058,95	21 059,25	5 100,94	1 994,50	1 502,58	3 497,08
2016	1 161,47	1 869,56	-4 805,89	1 148,25	21 421,56	6 375,79	2 020,80	1 508,07	3 528,86

Tabela 4.8. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w KSE w godzinach szczytu przedpołudniowego dni roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	0,00	bd	bd	0,70	12 968,20	1 737,20	202,90	291,60	587,20
2012	0,00	bd	bd	2,10	12 926,00	1 446,30	196,90	501,00	1 000,90
2013	5,00	52,80	78,70	4,90	12 301,90	2 177,10	248,00	612,20	1 115,00
2014	16,00	36,10	-287,60	3,90	12 553,90	2 643,80	133,50	837,00	1 087,60
2015	22,00	32,70	-55,40	13,50	13 482,20	1 833,40	355,10	789,80	1 170,60
2016	20,00	257,90	-1 764,10	20,20	13 625,70	2 811,90	359,10	726,20	1 676,10

Tabela 4.9. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowanie KSE oraz poziomy rezerwy mocy w KSE w godzinach szczytu przedpołudniowego dnia roboczych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	1 241,00	bd	bd	1 331,20	23 535,20	12 900,60	5 688,70	1 642,00	7 150,60
2012	1 975,00	bd	bd	1 925,30	24 683,30	16 283,40	5 027,20	1 696,00	6 671,20
2013	2 913,00	4 742,00	-7 047,70	2 835,70	23 697,50	16 647,80	4 657,50	1 696,00	6 234,50
2014	2 977,00	4 984,20	-7 312,00	3 112,60	24 585,10	15 882,50	4 965,00	1 696,00	6 660,00
2015	4 320,80	5 263,20	-7 112,00	4 210,30	23 518,10	15 018,70	5 529,80	1 696,00	7 225,80
2016	4 689,40	5 572,90	-7 085,80	4 646,70	24 483,40	11 191,30	5 315,20	1 696,00	6 959,20

Tabela 4.10. Planowane i rzeczywiste średnie wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania mocy w KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach szczytu wieczornego dnia wolnych od pracy w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	325,17	bd	bd	321,04	17 619,81	6 966,17	1 574,08	1 235,07	2 809,26
2012	520,72	bd	bd	524,79	17 821,32	7 737,04	1 956,45	1 349,89	3 306,44
2013	704,68	1 438,44	-2 784,94	707,99	17 944,30	7 206,50	2 037,57	1 346,00	3 383,58
2014	881,02	1 905,28	-4 144,72	899,41	17 934,71	7 381,44	1 974,10	1 416,07	3 390,50
2015	1 215,28	2 185,46	-3 916,34	1 247,28	18 016,60	7 627,15	2 291,43	1 325,55	3 617,59
2016	1 360,88	2 294,56	-3 533,99	1 338,52	18 153,41	8 901,46	2 333,64	1 317,11	3 651,37

Tabela 4.11. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania mocy w KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach szczytu wieczornego dnia wolnych od pracy w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	3,00	bd	bd	3,90	11 962,40	6 871,37	2 961,88	184,00	478,60
2012	19,00	bd	bd	14,90	13 158,00	2 886,30	192,00	547,20	837,10
2013	27,00	-201,60	0,00	20,60	13 720,20	2 555,70	327,60	597,80	925,40
2014	34,00	-219,10	-913,00	27,20	12 308,60	2 509,60	199,00	458,40	970,60
2015	52,00	38,60	-162,00	17,60	13 179,10	2 162,30	375,50	363,20	1 311,70
2016	124,00	342,30	-130,50	98,60	12 950,40	5 011,50	263,10	216,50	770,10

Tabela 4.12. Maksymalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach szczytu wieczornego dnia wolnych od pracy w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	1 395,00	bd	bd	1 424,80	21 794,00	13 892,10	4 924,70	1 622,40	6 225,90
2012	1 755,00	bd	bd	1 796,80	23 336,80	14 189,60	4 709,10	1 675,10	6 304,20
2013	2 796,00	4 799,90	-6 856,60	2 803,50	22 029,20	12 349,70	4 714,90	1 645,00	6 291,90
2014	3 250,00	4 130,90	-6 365,20	3 367,80	22 624,30	12 641,60	4 091,10	1 696,00	5 417,20
2015	4 131,00	5 878,70	-6 819,30	4 183,90	21 475,70	15 095,30	5 341,40	1 696,00	6 770,00
2016	4 262,00	4 795,30	-6 291,50	4 325,30	22 154,30	15 987,30	5 185,60	1 696,00	6 451,80

Tabela 4.13. Planowane i rzeczywiste średnie wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania mocy w KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach dolin nocnych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	368,73	bd	bd	365,96	14 747,86	10 042,32	5 517,09	1 422,10	6 939,18
2012	550,62	bd	bd	558,30	14 771,72	10 612,84	5 713,94	1 538,86	7 252,79
2013	721,15	3 786,93	-790,16	720,86	14 879,72	10 372,93	5 789,07	1 560,48	7 349,55
2014	915,80	5 166,41	-1 318,16	919,04	14 954,64	10 318,96	5 316,70	1 637,10	6 953,80
2015	1 224,62	5 367,75	-1 236,68	1 277,24	15 251,58	10 286,83	5 642,34	1 571,47	7 213,81
2016	1 378,34	5 166,49	-1 166,25	1 381,98	15 443,54	11 505,84	5 401,10	1 571,34	6 972,44

Tabela 4.14. Minimalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania mocy w KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach dolin nocnych w latach w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

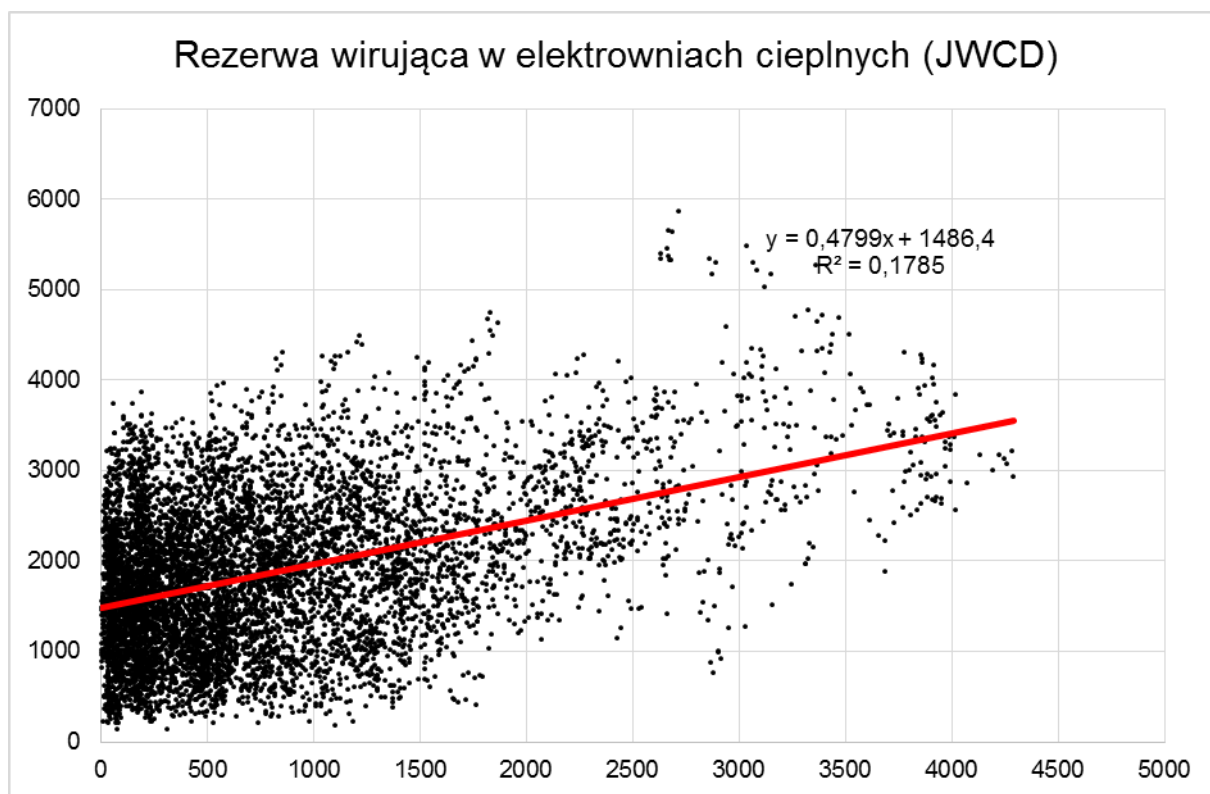
Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	21,00	bd	bd	5,10	10 840,60	6 184,40	1 727,60	770,40	3 159,60
2012	24,00	bd	bd	18,40	11 233,60	5 759,10	2 314,60	731,60	3 711,50
2013	8,00	0,00	340,30	5,50	11 405,80	6 714,30	2 382,80	794,00	3 967,80
2014	13,00	712,30	176,90	11,10	11 115,20	6 684,50	722,50	949,00	2 418,50
2015	23,00	2 103,00	596,40	17,60	11 240,70	5 116,60	2 179,40	845,00	3 605,40
2016	115,00	1 429,90	605,40	88,90	11 816,00	7 048,30	2 394,30	912,00	3 774,10

Tabela 4.15. Maksymalne wartości mocy elektrowni wiatrowych, zapotrzebowania KSE oraz poziomów rezerw mocy w KSE w godzinach dolin nocnych w latach 2011-2016, w MW (bd - brak danych)

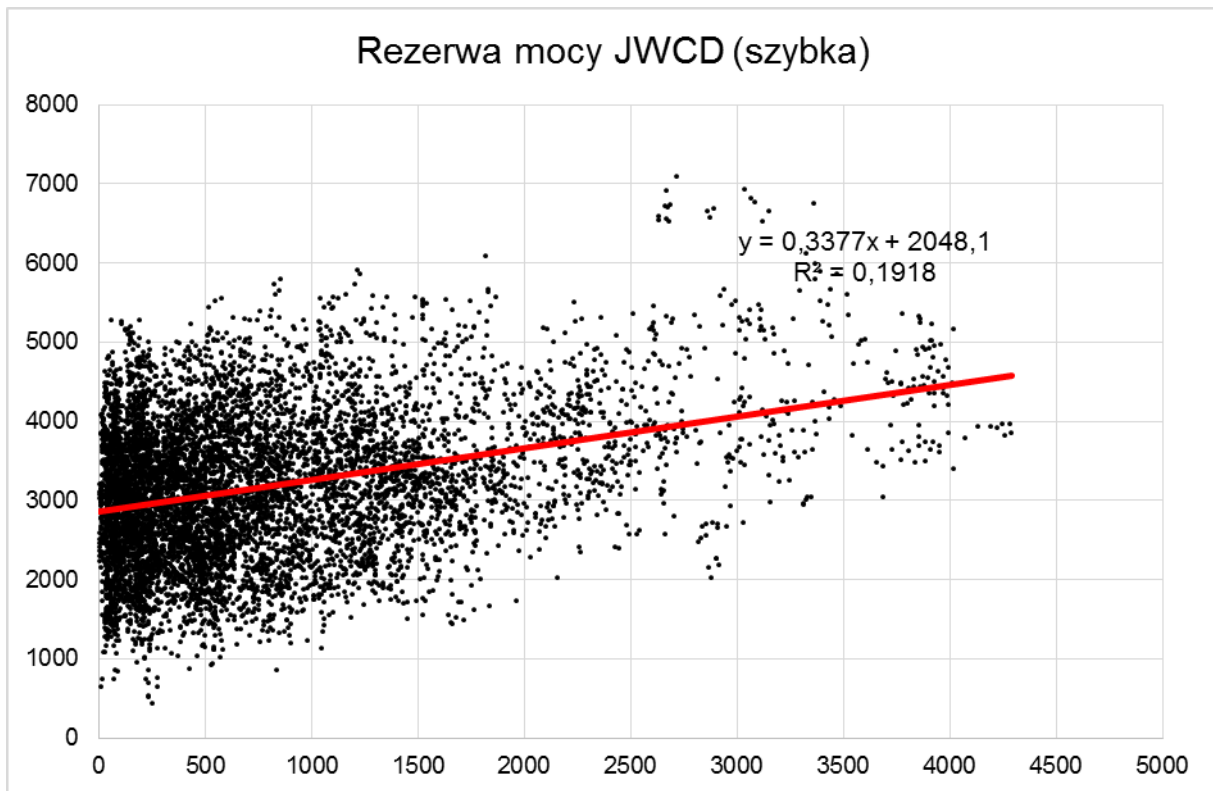
Rok	Planowana generacja el. wiatrowych	Planowana rezerwa mocy całkowita dodatnia wirująca JWCD ciepłych	Planowana rezerwa mocy całkowita ujemna wirująca JWCD ciepłych	Moc chwilowa elektrowni wiatrowych	Zapotrzebowanie KSE normalne	Rezerwa mocy w elektrowniach JWCD	Rezerwa wirująca w elektrowniach ciepłych (JWCD)	Rezerwa JWCD elektrownie wodne	Rezerwa mocy JWCD (szybka)
2011	1 300,00	bd	bd	1 411,30	18 688,60	17 355,20	7 818,10	1 642,00	9 281,10
2012	1 906,00	bd	bd	1 955,10	20 071,80	16 439,60	7 933,40	1 696,00	9 575,40
2013	2 780,00	7 976,40	-4 179,70	2 721,20	17 864,60	16 799,70	8 279,20	1 696,00	9 907,20
2014	3 362,00	7 682,30	-4 576,70	3 459,00	19 009,90	16 265,00	7 718,90	1 696,00	9 384,00
2015	4 358,00	8 225,20	-4 324,50	4 135,80	18 153,40	18 247,10	8 222,70	1 696,00	9 918,70
2016	4 843,00	8 113,50	-4 059,80	4 773,20	18 943,80	16 050,00	8 503,80	1 696,00	10 199,80

Wyniki badań korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi obserwowanymi dla szczytów wieczornych dni roboczych zaprezentowano na rysunkach 4.1 – 4.3. Rys. 4.1 przedstawia wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD szczytach wieczornych dni roboczych. Na rysunku 4.2 przedstawiono wpływ elektrowni wiatrowych na całkowitą rezerwę wirującą w JWCD. Rys 4.3 i 4.4 przedstawiają wyniki badania wpływu poziomu zapotrzebowania mocy w KSE na poziomy rezerwy wirującej w KSE. Rysunki 4.5, 4.6, i 4.7 to chronologiczne wykresy zmian poziomów generacji wiatrowej i rezerwy mocy w KSE w latach 2011-2016.

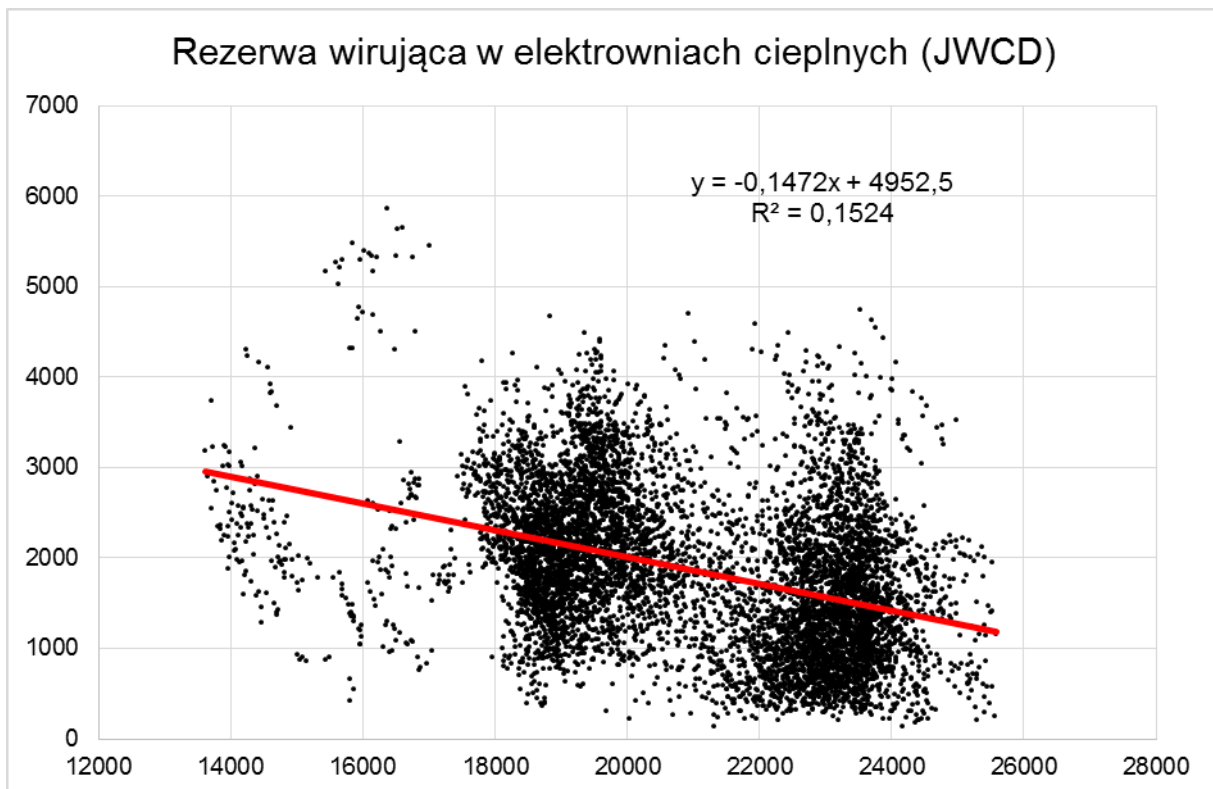
Kolejne rysunki przedstawiają korelacje dla poziomów mocy elektrowni wiatrowych i utrzymywanych rezerw wirujących dla godzin szczytu wieczornego dni wolnych od pracy (rys. 4.8 i 4.9) oraz doliny obciążeń (rys. 4.12 i 4.13). Rys. 4.10 i 4.11 oraz odpowiednio 4.14 i 4.15 pokazują wyniki obliczeń wpływu poziomu zapotrzebowania mocy w systemie na poziom utrzymywanej rezerwy wirującej w KSE.



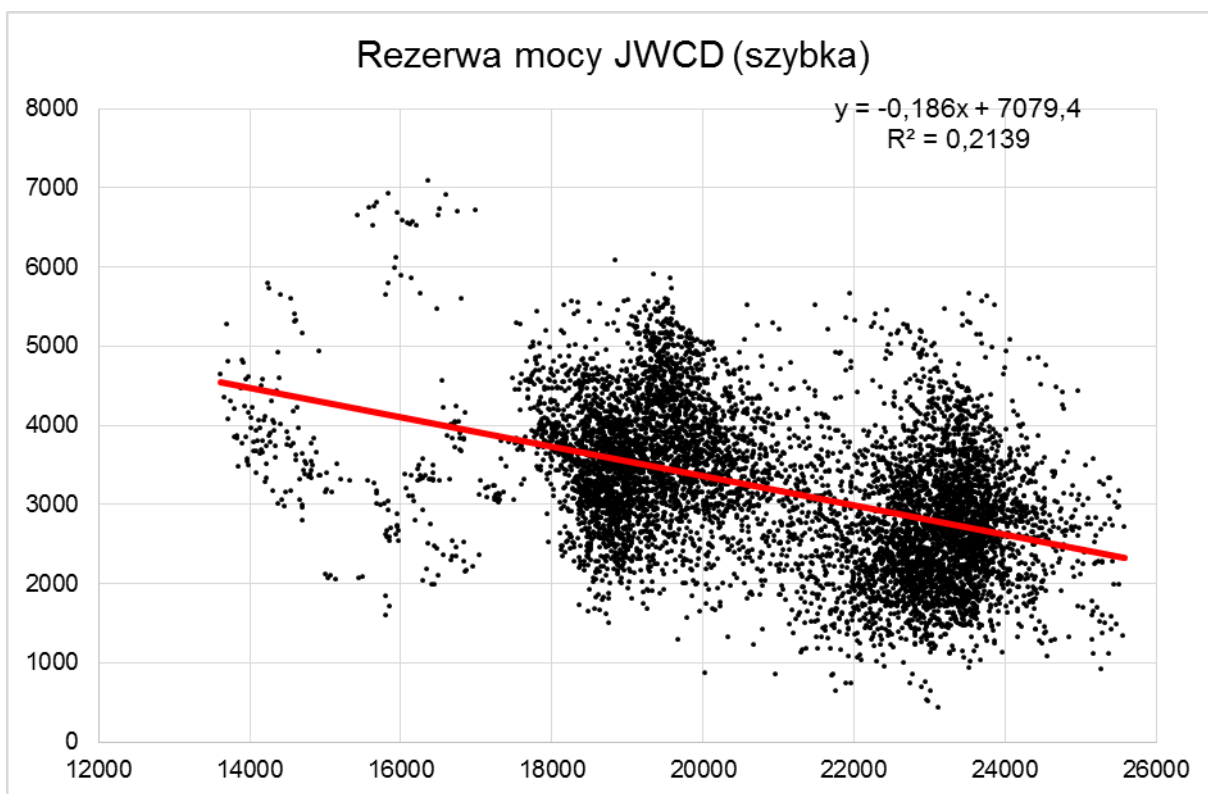
Rys. 4.1. Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w szczytach wieczornych dni roboczych



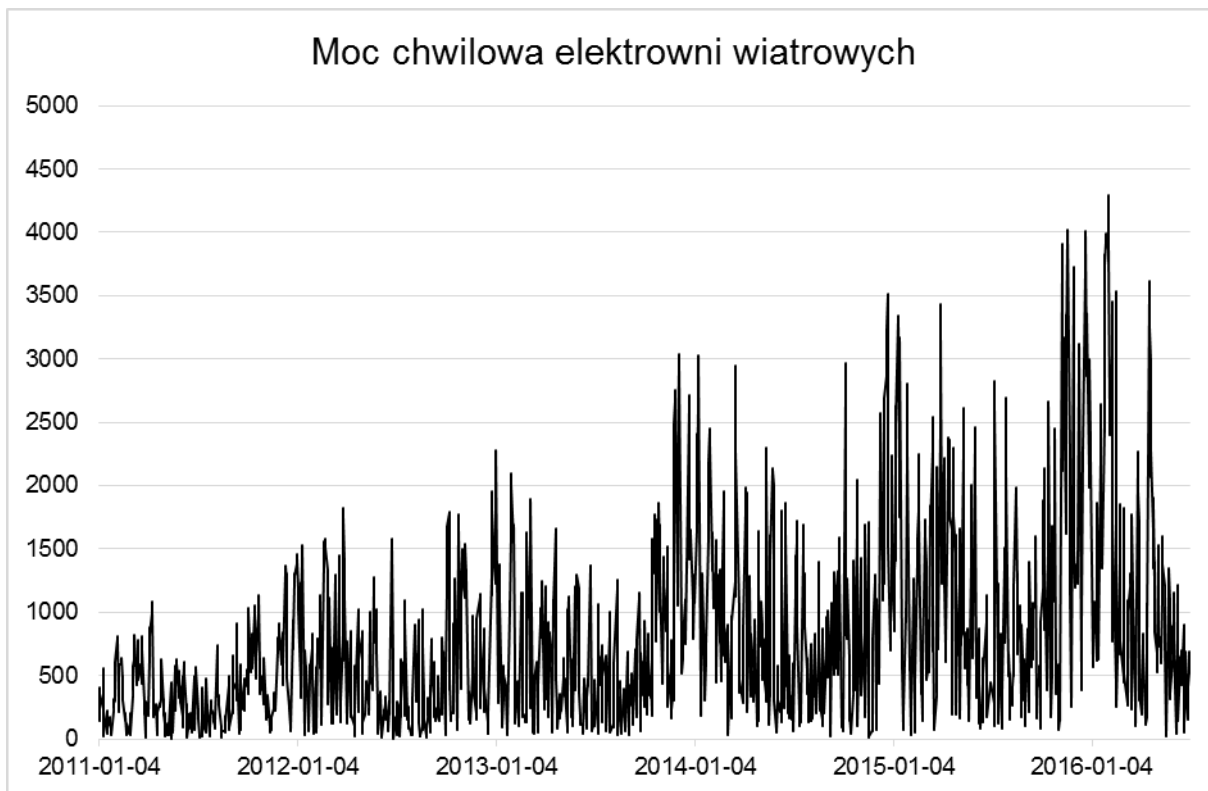
Rys. 4.2 Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni JWCD w szczytach wieczornych dni roboczych



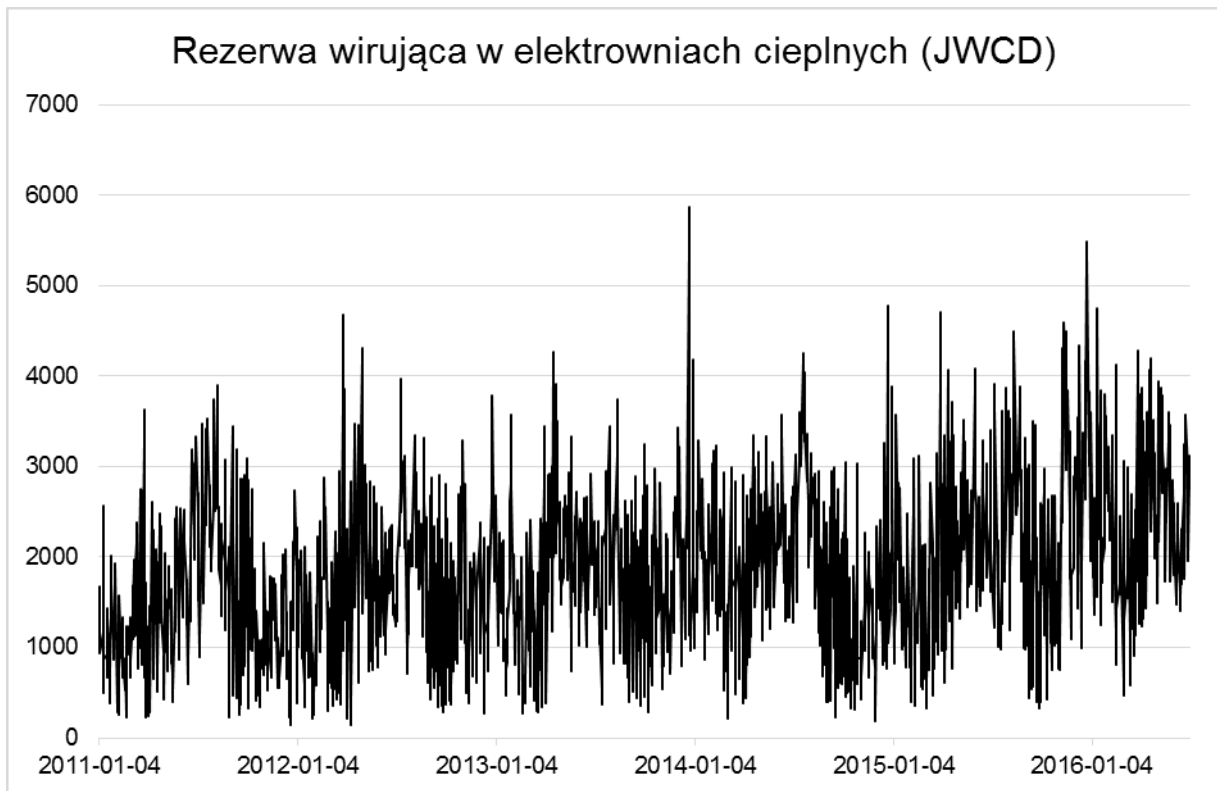
Rys. 4.3 Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni JWCD w szczytach wieczornych dni roboczych



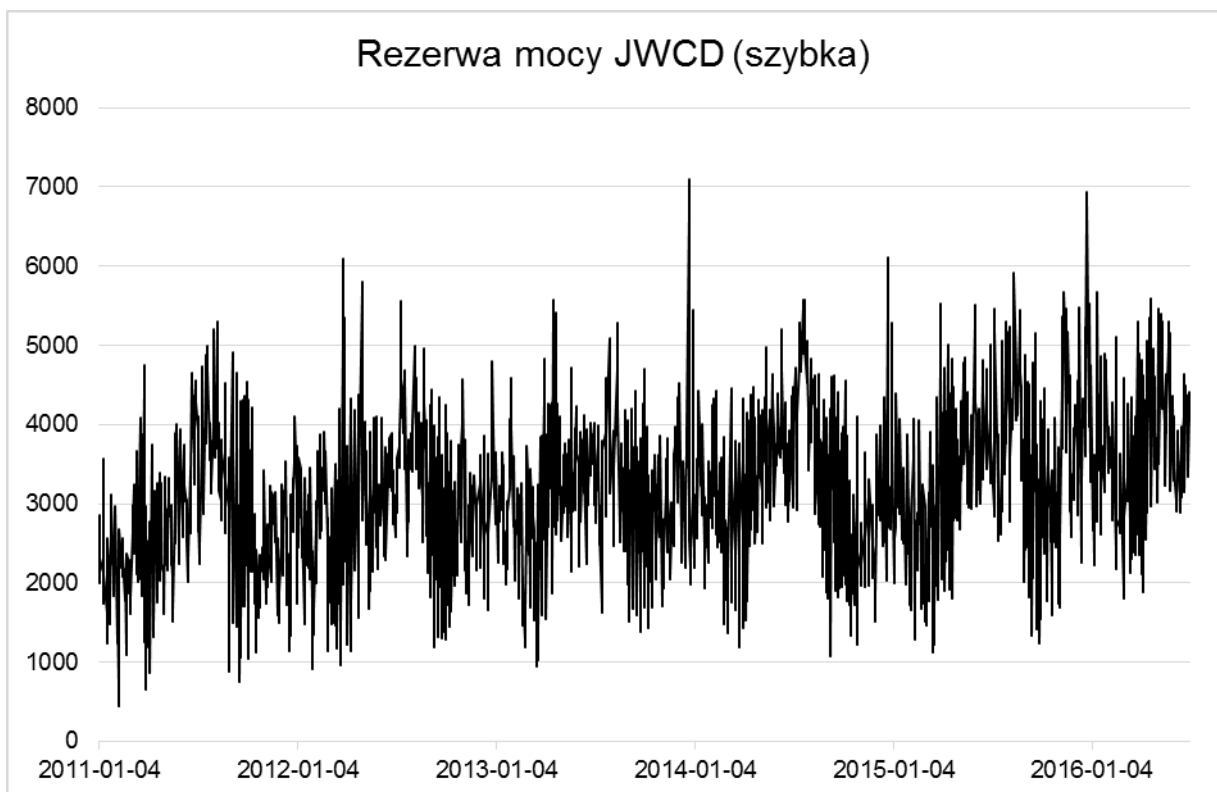
Rys. 4.4. Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w szczytach wieczornych dni roboczych



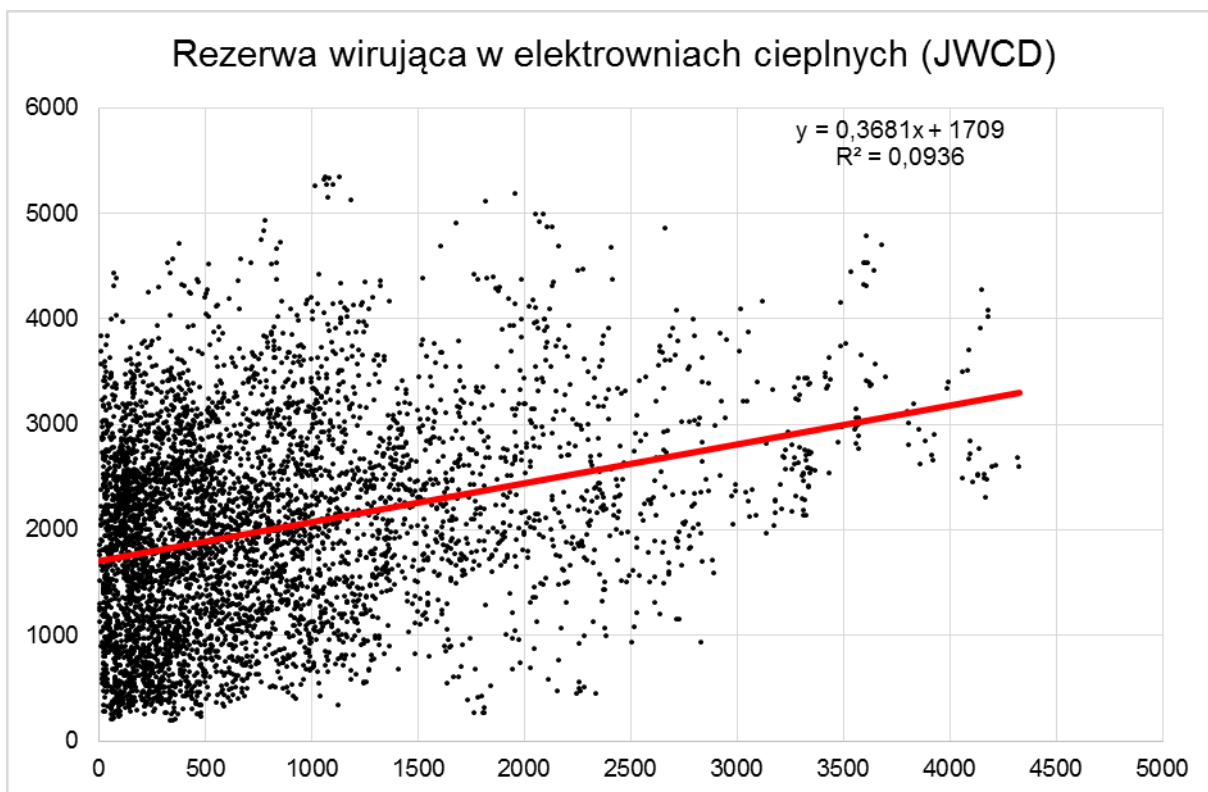
Rys. 4.5. Moce chwilowe elektrowni wiatrowych w KSE w szczytach wieczornych dni roboczych w latach 2011-2016



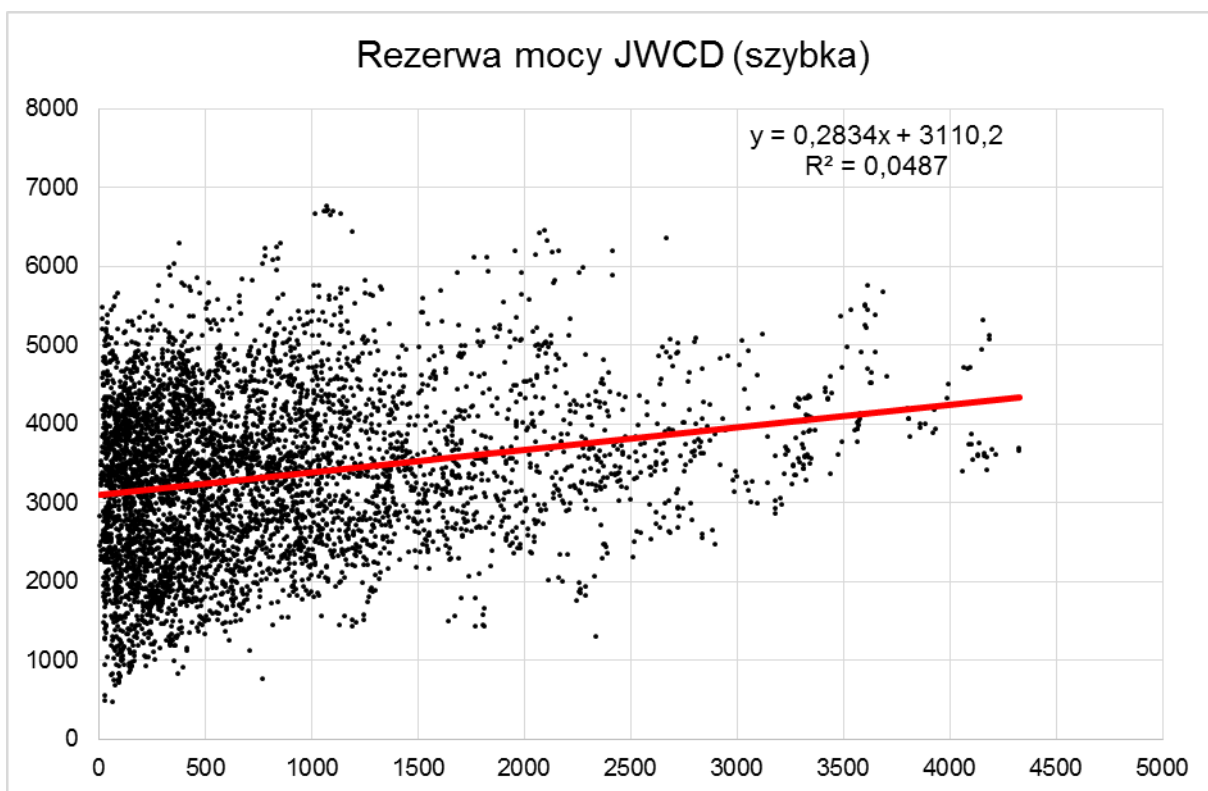
Rys. 4.6. Wartości chwilowe mocy rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w KSE w szczytach wieczornych dni roboczych w latach 2011-2016



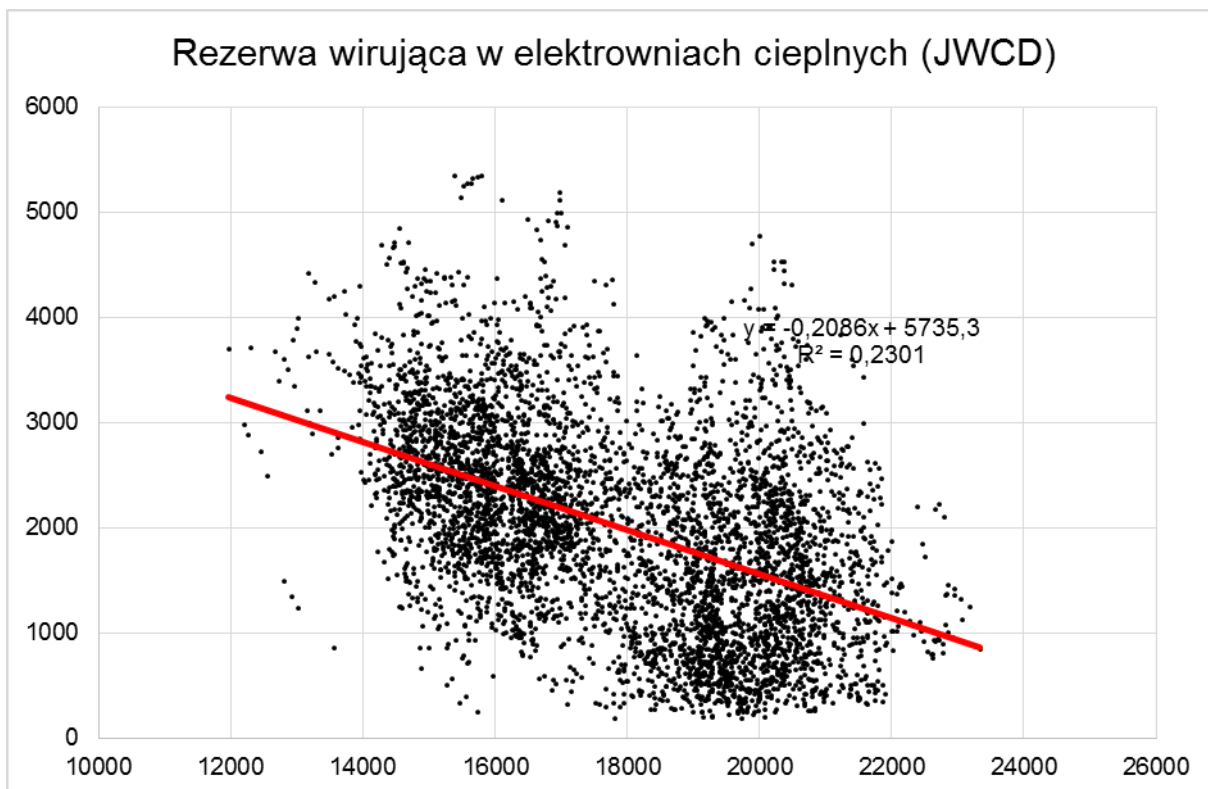
Rys. 4.7. Wartości chwilowe mocy rezerwy wirującej w JWCD w KSE w szczytach wieczornych dni roboczych w latach 2011-2016



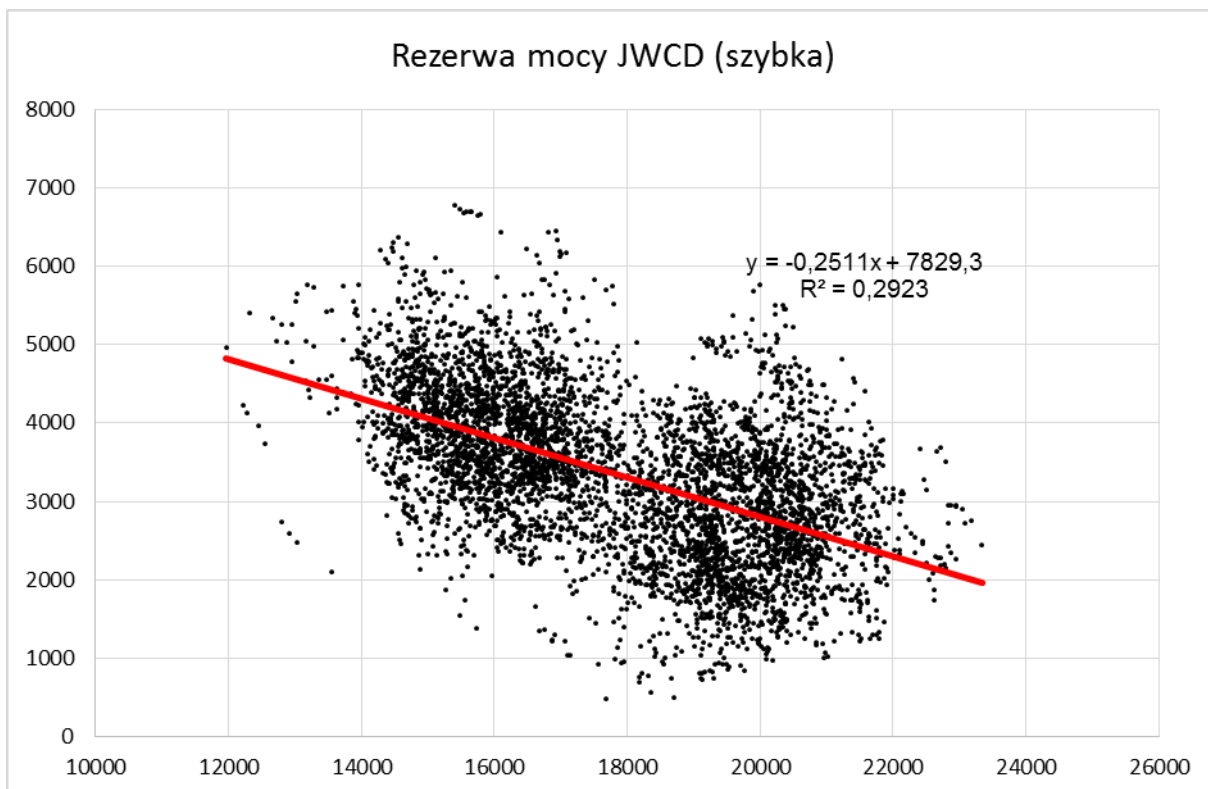
Rys. 4.8. Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w szczytach wieczornych dni świątecznych w latach 2011-2016



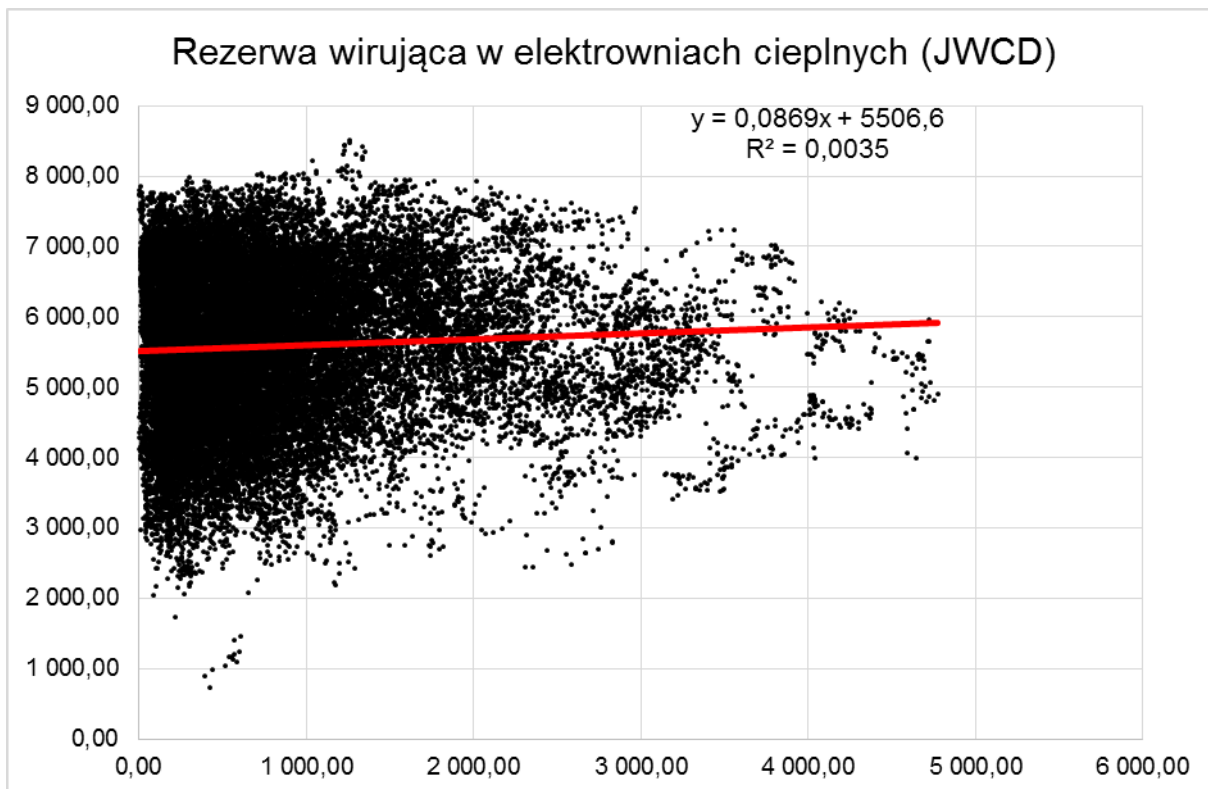
Rys. 4.9. Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni JWCD w szczytach wieczornych dni świątecznych w latach 2011-2016



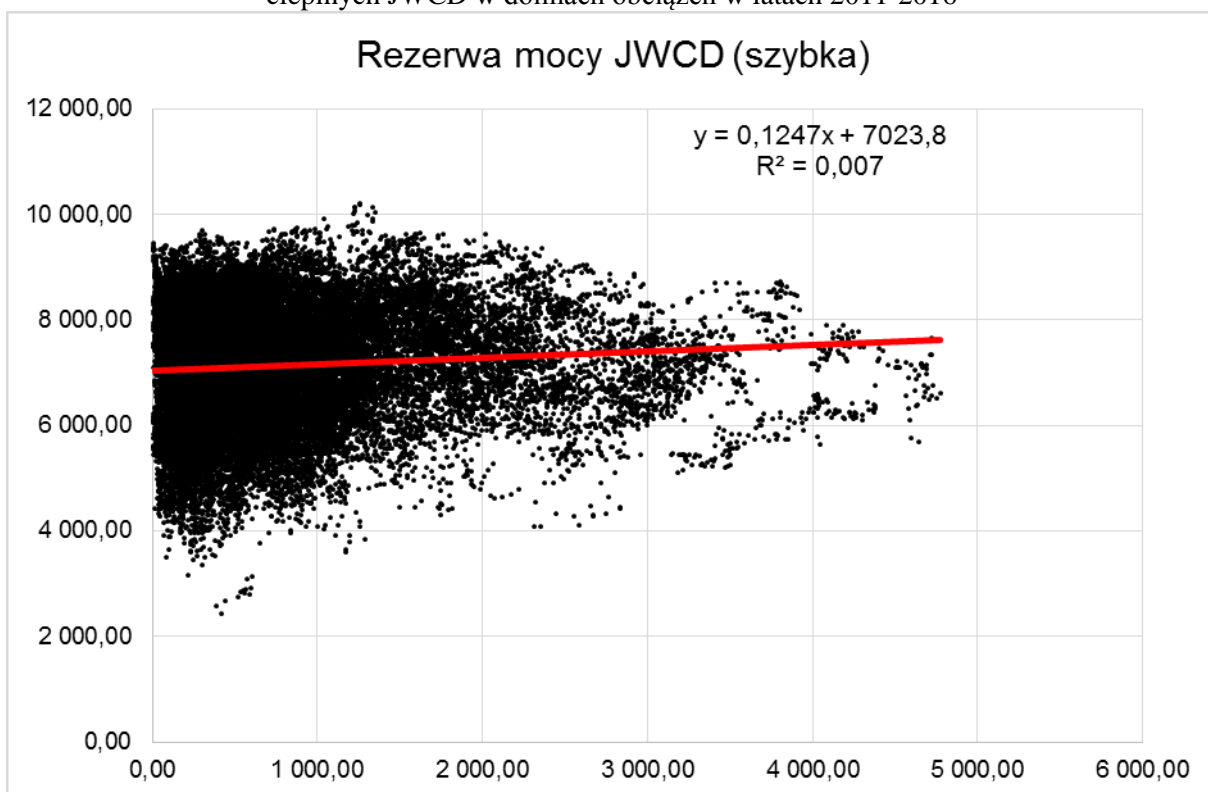
Rys. 4.10. Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w szczytach wieczornych dni świątecznych w latach 2011-2016



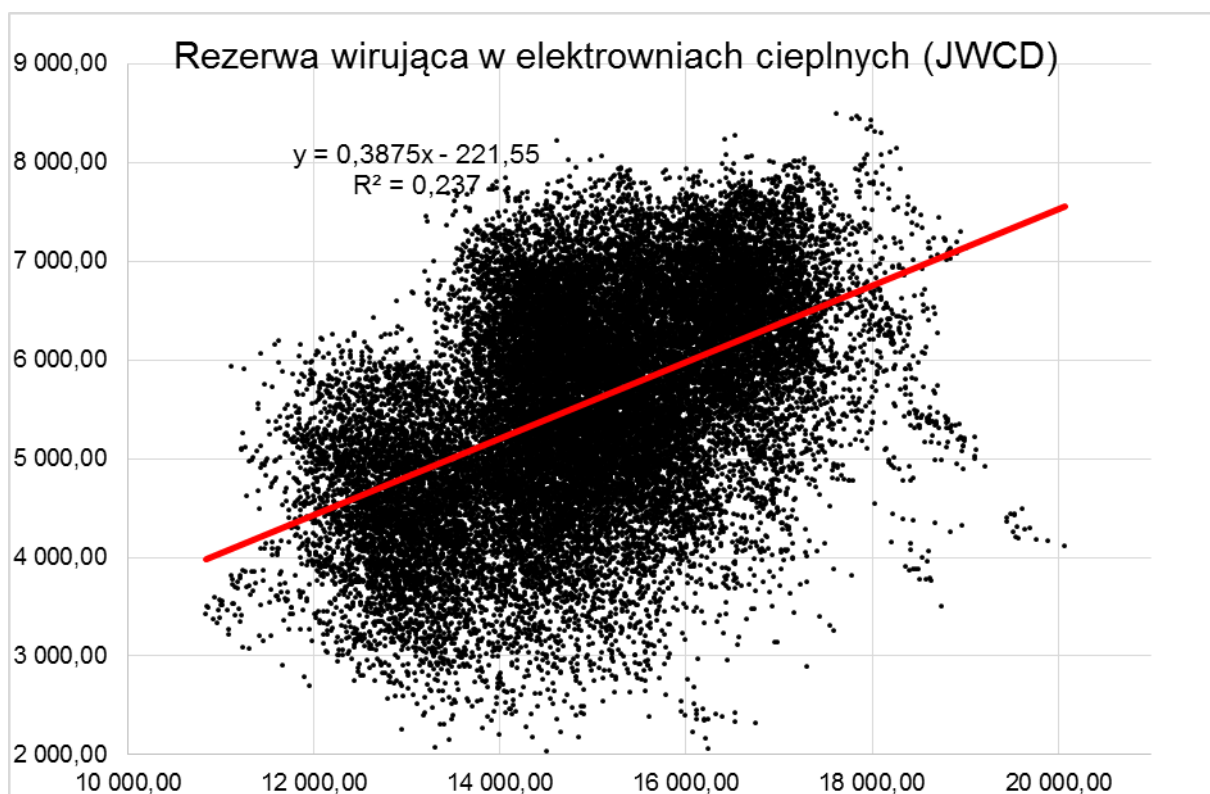
Rys. 4.11. Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej JWCD w szczytach wieczornych dni świątecznych w latach 2011-2016



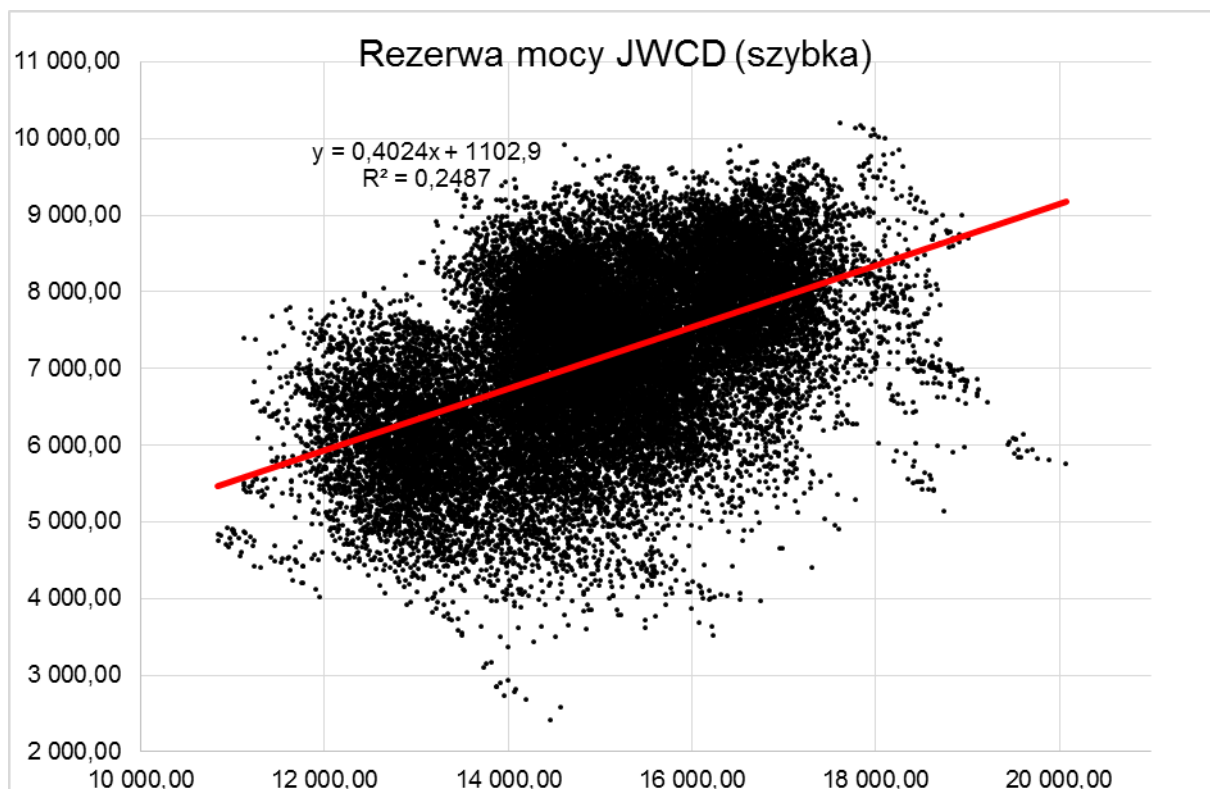
Rys. 4.12. Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w dolinach obciążeń w latach 2011-2016



Rys. 4.13. Wpływ pracy elektrowni wiatrowych na zmiany poziomu rezerwy wirującej JWCD w dolinach obciążeń w latach 2011-2016



Rys. 4.14. Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD w dolinach obciążeń w latach 2011-2016



Rys. 4.15. Wpływ wielkości zapotrzebowania mocy w KSE na zmiany poziomu rezerwy wirującej JWCD w dolinach obciążeń w latach 2011-2016

5. Wnioski

Analiza wyników badań pozwala stwierdzić, że w badanym okresie (2011-2016) średni poziom utrzymywanej rezerwy mocy w KSE wzrósł o 13,5% dla elektrowni ciepłych oraz o 27,5% dla wszystkich JWCD. W tym samym okresie nastąpił wzrost generacji wiatrowej o 270%.

W okresach obciążeń szczytowych na poziom utrzymywanej rezerwy w elektrowniach ciepłych ma wpływ obciążenie KSE. Zwiększenie się obciążenia w systemie skutkuje obniżaniem się rezerwy mocy w elektrowniach ciepłych (średnio ok. 0,15 MW na 1 MW wzrostu zapotrzebowania w dniach roboczych oraz 0,21 MW w dniach świątecznych). Znacznie szybciej obniża się rezerwa mocy w elektrowniach wodnych. W dolinach obciążeń korelacja pomiędzy rezerwą mocy w KSE i zapotrzebowaniem mocy w systemie jest dodatnia. Najmniejsza rezerwa wirująca występuje wówczas, gdy ze względu na bardzo niskie zapotrzebowania część elektrowni ciepłych JWCD zostaje odstawiona do rezerwy a elektrownie szczytowo-pompowe pracują w reżymie pompowym.

Wzrost produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych w szczytach obciążeń jest skorelowany ze wzrostem poziomu rezerwy wirującej. Największy obserwowany wpływ, w badanym okresie, występował w szczytach obciążeń w dniach roboczych (wtorki, środy i czwartki). Wzrost mocy elektrowni wiatrowych wywoływał wzrost poziomu rezerwy wirującej elektrowni ciepłych JWCD o 0,48 MW na 1 MW mocy elektrowni wiatrowych a dla całkowitej wirującej rezerwy mocy w systemie o 0,37 MW. Wyniki te obciążone są jednak dużą niepewnością, gdyż kwadrat współczynnika korelacji Pearson'a (R^2) jest w obu przypadkach niższy od 0,20. Można zatem, w tym przypadku, mówić o trendzie a nie o korelacji zjawisk. Dla pozostałych okresów doby nie występują istotne statystycznie korelacje pomiędzy badanymi zmiennymi, a współczynnik R^2 jest we wszystkich przypadkach mniejszy od 0,1.