

Jakość energii elektrycznej z siłowni wiatrowej

Andrzej Iwaniak, Przemysław Chojnowski

Jednym z najważniejszych problemów użytkowania siłowni wiatrowych jest stabilność napięcia. Jest to szczególnie ważne, gdy elektrownia wiatrowa jest obiektem dużej mocy i jest oddalona od miejsc koncentracji konwencjonalnych elektrowni. Nie bez znaczenia pozostaje też sztywność sieci elektroenergetycznej w miejscu przyłączenia elektrowni wiatrowej.

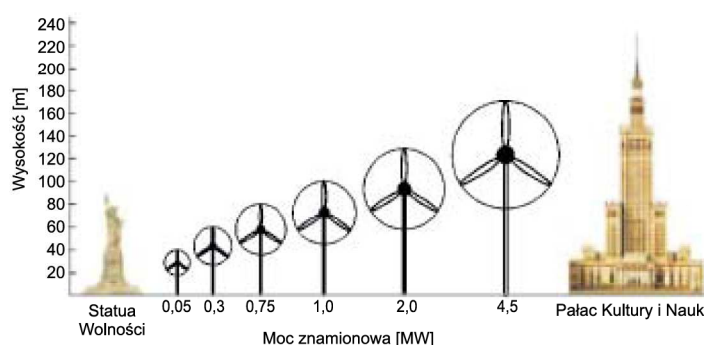
Większość małych i średnich elektrowni wiatrowych nie ma wcale lub ma bardzo ograniczone zdolności regulacyjne i najczęściej pracuje przy współczynniku mocy $\cos \phi = 1$, z uwagi na ekonomiczne uwarunkowania taryfy energetycznej. Siłownie zaopatrzone są w baterie do kompensacji mocy biernej – często sterowane komputerowo, chociaż oparte na tradycyjnych łącznikach kondensatorów.

Wadą generatorów indukcyjnych powszechnie stosowanych w wiatrownicach jest zapotrzebowanie na moc bierną. Stąd powszechne stosowanie baterii kondensatorów o przeróżnych konstrukcjach. Spotyka się systemy regulacji indywidualnej turbozespołów lub centralnej regulacji w stacjach przebiegowych, w miejscach przyłączenia do sieci. Problem stabilności napięciowej jest ważny również z uwagi na indukcyjny charakter generatorów i ich sposób podłączenia do sieci elektroenergetycznej średnich napięć. Siłownia wiatrowa stanowi obciążenie ujemne, które w przypadku zwarcia może być nagle odłączone, zwiększając wartość zapadu napięcia.

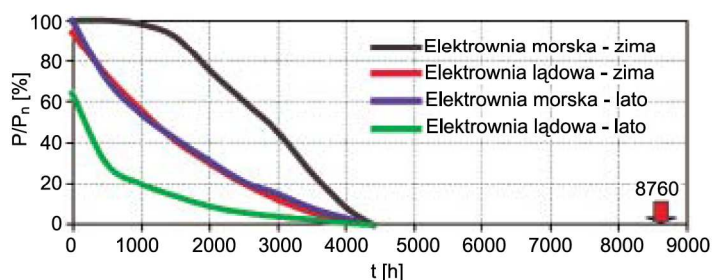
Ważnym problemem regulacyjnym są skutki rezerwowania jednostek z generatorami synchronicznymi w okresach dolin obciążenia. W tym przypadku ograniczona jest zdolność regulacji mocy biernej, szczególnie jeżeli elektrownia wiatrowa jest oddalona od elektrowni konwencjonalnych. Wzrost napięcia w miejscach węzłowych doprowadza wówczas do przepływu dużych wartości prądów wyrównawczych, które są prądami biernymi.

Miejsce przyłączenia elektrowni do sieci elektroenergetycznej jest z reguły również miejscem przyłączenia baterii kondensatorowej do kompensacji mocy biernej. W przypadku długich kabli średniego napięcia rodzi się też problem kompensacji mocy pojemnościowej kabli przez zastosowanie odpowiednich dławików energetycznych. Stąd konieczność stosowania odpowiednich baterii kondensatorowych i regulowanych dławików.

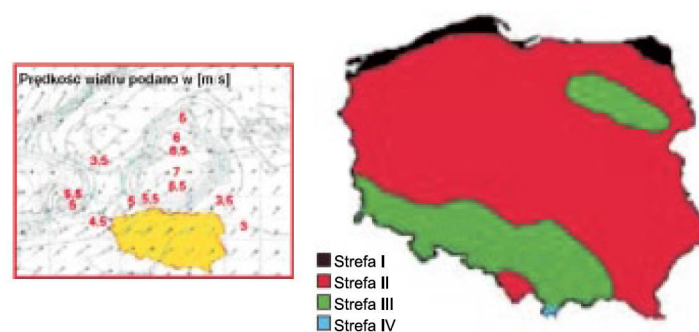
Elektrownie wiatrowe wpływają bardziej na jakość energii elektrycznej niż pogarszające jakość napięcia odbiorniki z przekształtnikami. Duże znaczenie ma typ elektrowni wiatrowej oraz ich różnorodność w systemie. W przypadku zastosowania w systemie dużej liczby elektrowni wiatrowych o identycznej budowie, należy spodziewać się głębszych zmian jakościowych wynikających z budowy



Rys. 1. Szacowana moc elektryczna elektrowni wiatrowej na podstawie jej rozmiaru



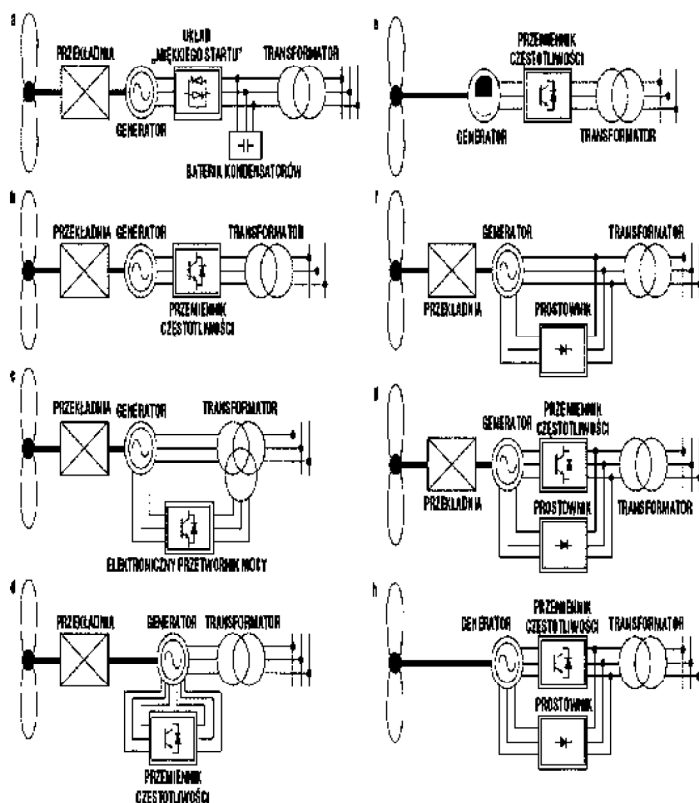
Rys. 2. Stopień obciążenia elektrowni wiatrowej w ciągu roku



Rys. 3. Prędkość wiatru w Polsce i najbliższym sąsiedztwie, z podziałem na strefy

i sposobu regulacji napięcia. Jednak największym problemem jest stosowanie elektrowni wiatrowych w sieciach o małej sztywności, czyli w słabych sieciach wiejskich.

Elektrownie wiatrowe mogą wywoływać migotanie i stany przejściowe napięcia, wynikające z wyłączania i załączania siłowni oraz manewrowania baterią kondensatorów.



Rys. 4. Typy elektrowni wiatrowych stosowanych w Polsce

Migotanie jest wynikiem zmienności prędkości wiatru, a konieczność nadążania za zapotrzebowaniem na moc bierną wywołuje częste rezerwowanie i załączanie poszczególnych członów baterii kondensatorowych. Niestety, dość często załączanie baterii kondensatorowych o dużej mocy wywołuje poważne chwilowe zmiany napięcia w przypadku tzw. twardego załączania kondensatorów.

Powszechne stosowanie łączników w postaci styczników zamiast łączników tyrystorowych znacznie zmniejsza koszty baterii kondensatorowych, lecz jest źródłem poważnych przebiegów. Ocena jakości napięcia zawiera również poziom wyższych harmonicznych za pomocą stosowanego wskaźnika THD (Total Harmonic Distortion). Zawartość wyższych harmonicznych jest normowana, a jej limit, liczony do harmonicznej rzędu 40., nie powinien przekraczać 8%.

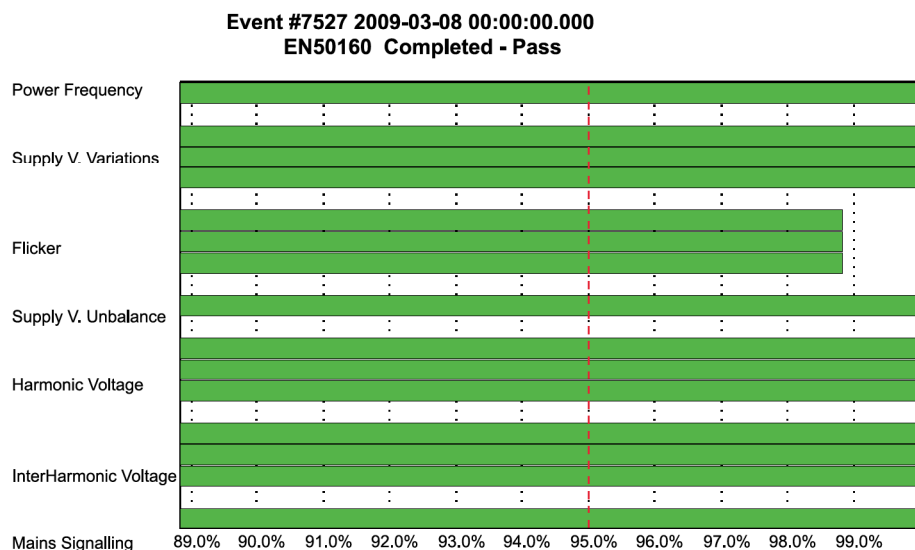
Moc elektrowni wiatrowej jest zależna od jej obiektywnej wielkości i prędkości wiatru występującego na danym terenie. Gdyby moc elektryczną określać tylko parametrem wysokości i rozpiętości śmigła, to można ją łatwo oszacować na podstawie rysunku 1.

Do tego, aby elektrownia wiatrowa posiadała odpowiednią moc, potrzebna jest odpowiednia prędkość wiatru. Rozkład stopnia obciążenia elektrowni wiatrowej zależy od strefy posadowienia elektrowni. Osiągnięcie pełnego obciążenia zdarza się w elektrowniach morskich w okresie zimowym, gdzie ok. 10% czasu zapewnia pełne obciążenie. Elektrownie lądowe rzadko dochodzą do 60% obciążenia, a dodatkowo zaledwie połowa okresu przypadającego na rok nadaje się do uruchamiania śmigła elektrowni (rys. 2).

Spśród stosowanych w Polsce typów elektrowni wiatrowych wyróżnia się osiem różnych rozwiązań technicznych (rys. 4). Badania przeprowadzono przez okres trzech tygodni, badając jakość energii elektrycznej zgodnie z limitami normy europejskiej i polskiej EN/PN 50 160 w torze zasilania elektrowni wiatrowej o mocy 400 kW. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 5.

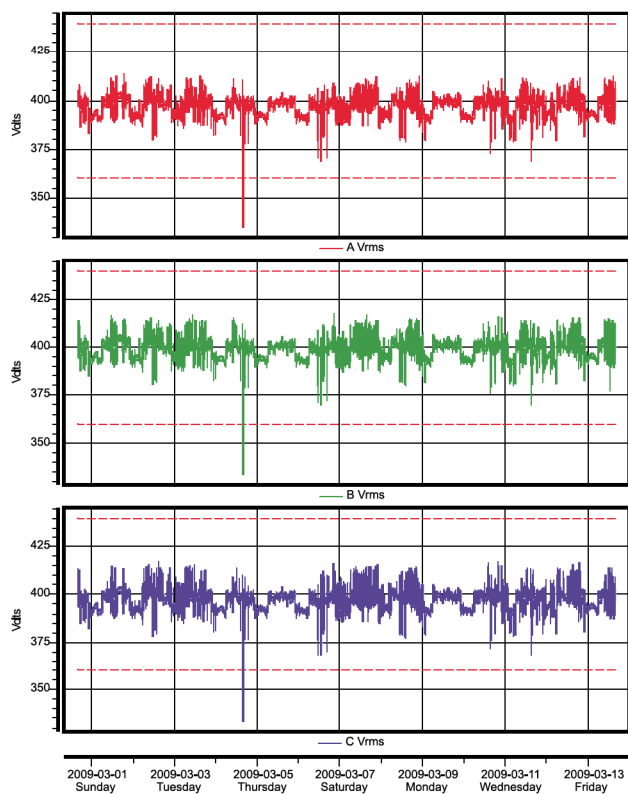
Wszystkie wyróżniki jakości energii elektrycznej, określone dla średnich 10-minutowych, spełniają wymagania normy i są zachowane co najmniej w 98% tych średnich. Wartość napięcia po stronie generatora wiatrowni przedstawiono na rysunku 6. Nie odbiega ona od wartości znamionowej, poza jednym przypadkiem zapadu o więcej niż 10% wartości napięcia. Jest to bardzo dobry wynik jakościowy. Problemem stają się stany przejściowe napięcia, które na rysunku 7 przedstawione są w postaci wartości pikowych (szczytowych) przebiegu sinusoidy napięciowej. Liczne zaburzenia wartości szczytowej napięcia dowodzą występowania przebiegów do wartości szczytowej dochodzącej do 1000 V.

Rys. 5. Ocena jakości napięcia wg normy EN 50 160

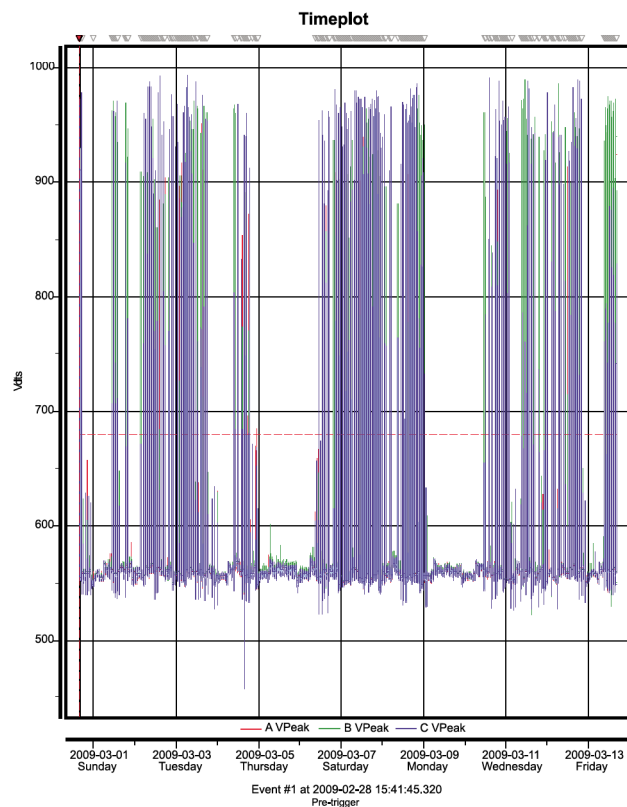


Depth (%)	From	to <	Duration							
			msec	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	min	min
			10<100	.1<5	0.5<1	1<3	3<20	20<60	1<3	>3
Dips										
0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	99	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Interruptions										
99	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporary Overvoltages										
110	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200		0	0	0	0	0	0	0	0	0

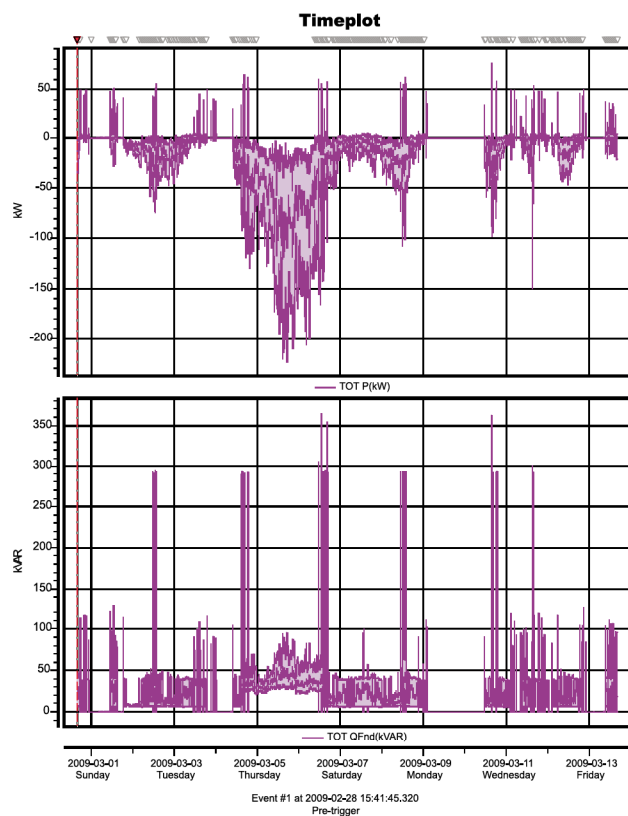
Transient Overvoltage	Counts
110	120
120	140
140	160
160	200
200	0



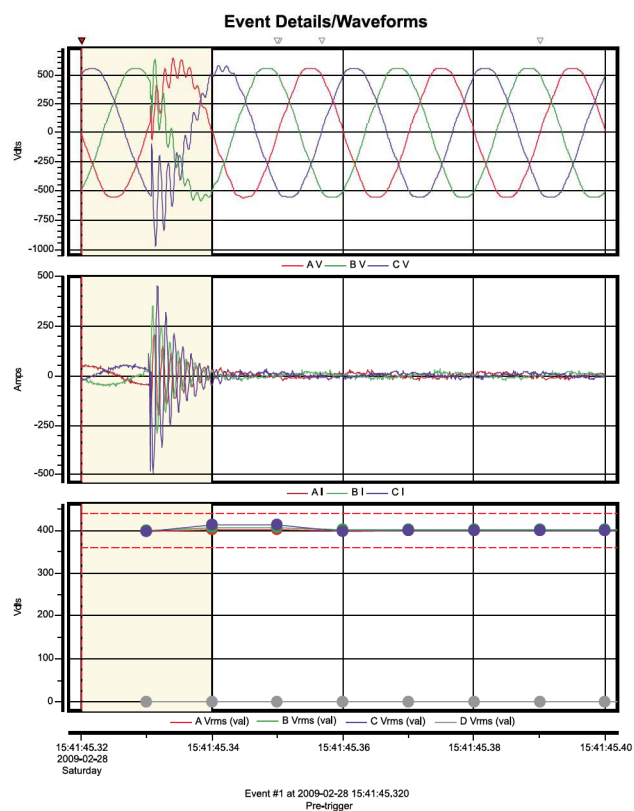
Rys. 6. Wartość skuteczna napięcia po stronie generatora wiatrowni



Rys. 7. Przepięcia generowane w elektrowni wiatrowej



Rys. 8. Wartości mocy czynnej i bierniej elektrowni wiatrowej w okresie dwóch tygodni



Rys. 9. Przepięcia łączniowe baterii kondensatorowej do poprawy współczynnika mocy po stronie niskiego napięcia elektrowni wiatrowej

Wartości mocy biernej i czynnej pobieranej (dodatnia nad osią czasu) i oddawanej (ujemna pod osią czasu) oraz mocy biernej przedstawiono na rysunku 8. W okresie dwóch tygodni maksymalna moc oddawana dochodziła do 200 kW, czyli stanowiła zaledwie 50% wydajności, a w przeważającym czasie pracy nie przekraczała 50 kW. Pobór mocy biernej był regulowany za pomocą baterii kondensatorowej niwelującej pobór mocy biernej przy oddawaniu mocy czynnej do $\text{tg}\varphi < 0,4$.

Brak kompensacji indywidualnej transformatora prowadził do bardzo wysokich wartości współczynnika mocy, dochodzących do $\text{tg}\varphi = 13$, co generowało opłaty za pobór mocy biernej dochodzące do połowy zapłaty za moc czynną oddaną.

Problem przepięć generowany przez elektrownie wynikał z zastosowania nieodpowiednich styczników do kondensatorów i miał bezpośredni związek z kompensacją mocy biernej (rys. 9).

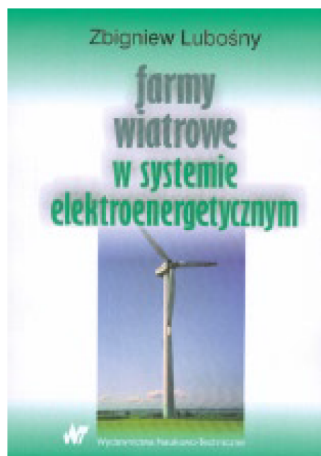
LITERATURA

- [1] Akerman T. Sder L.: Wind Energy and Current Status: a Review. Royal Institut of Technology. Stockholm 2000
- [2] Babdul W.: Wpływ elektrowni wiatrowych na niezawodność elektroenergetycznego systemu przesyłowego. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 2004
- [3] Paska J.: Jakość energii elektrycznej, niezawodność zasilania, bezpieczeństwo energetyczne. *Elektroenergetyka* 2003 nr 4
- [4] Sozański J.: Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. WNT, Warszawa 1990

▼ WYDAWNICTWA

Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym

Zbigniew Lubośny: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009



W przedmowie do książki Autor pisze:

Moim celem jest właśnie przybliżenie czytelnikom (...) problematyki związanej z pracą elektrowni i farm wiatrowych w systemie elektroenergetycznym. Zależało mi przede wszystkim na opisanu oddziaływania elektrowni i farm wiatrowych na system elektroenergetyczny, przedstawieniu możliwości oraz konieczności sterowania elektrowniami i farmami wiatrowymi w podstawowych procesach regulacyjnych, jakie w systemach

elektroenergetycznych są realizowane, a także możliwości oraz konieczności udziału elektrowni i farm wiatrowych w obronie i odbudowie systemu elektroenergetycznego po black out'cie.

Książka jest dedykowana studentom wydziałów elektrycznych i energetycznych wyższych uczelni technicznych, inżynierom w zakładach energetycznych i firmach konsultingowych prowadzących analizy wpływu elektrowni wiatrowych na system elektroenergetyczny, operatorom różnych systemów opracowujących wymagania dla elektrowni i farm wiatrowych, inwestorom farm wiatrowych.

W poszczególnych rozdziałach Autor omawia następujące zagadnienia:

Wiatr jako źródło energii,

Elektrownie wiatrowe – konstrukcje, turbiny wiatrowe, układy sterowania elektrowni wiatrowej, automatyka zabezpieczeniowa elektrowni wiatrowej,

Praca elektrowni wiatrowych w systemie elektroenergetycznym – lokalizacja elektrowni wiatrowych, wahania napięcia, migotanie światła, harmoniczne prądów i napięć, straty mocy,

Farmy wiatrowe – struktura, układy sterowania farm, automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych,

Praca farm wiatrowych w systemie elektroenergetycznym – zmiany strukturalne systemów elektroenergetycznych, lokalizacja farm wiatrowych, przesłanianie elektrowni wiatrowych w farmie, wpływ farm na jakość energii, stabilność systemu elektroenergetycznego, minimalizacja wahań mocy czynnej na wyjściu farmy wiatrowej,

Regulacja napięcia i mocy biernej w systemie elektroenergetycznym – regulacja napięcia, nadrzędna regulacja napięcia i mocy biernej, koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji napięcia i mocy biernej, farmy wiatrowe w procesie regulacji napięć i mocy biernej, farmy wiatrowe w układach regulacji nadrzędnej,

Regulacja częstotliwości i mocy czynnej w systemie elektroenergetycznym – wahania mocy czynnej i częstotliwości, regulacja pierwotna, regulacja wtórna, wymagania UCTE w zakresie regulacji częstotliwości, koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w procesie regulacji częstotliwości i mocy czynnej, farmy wiatrowe w procesie regulacji częstotliwości i mocy czynnej,

Obrona i odbudowa systemu elektroenergetycznego – udział farm wiatrowych w awariach systemowych, koncepcja wykorzystania farm wiatrowych w obronie systemu elektroenergetycznego,

Wymagania stawiane farmom wiatrowym.

Książka zawiera wykaz oznaczeń, skrowidz oraz bogaty zestaw literatury. Szata graficzna książki jest bardzo staranna i czytelna.

K.W.