

## ZINTEGROWANE WYKORZYSTANIE ODNAWIALNYCH ZASOBÓW ENERGETYCZNYCH NA PRZYKŁADZIE „PARKU ENERGETYCZNEGO” W CLAUSTHAL

### STRESZCZENIE

*Problemy współczesnej energetyki i ochrony środowiska związane z wykorzystaniem wyczerpujących się zasobów kopalnych surowców energetycznych są kluczowymi w obecnej dyskusji na temat przyszłości sektora energetycznego. Pomoc w ich rozwiązaniu mogą przynieść badania prowadzone na całym świecie. W skali Europy jednym z największych projektów badawczych dotyczących tej problematyki jest „Park energetyczny” zlokalizowany w Clausthal w Niemczech, około 100 km na południowy wschód od Hanoweru.*

*Na podstawie materiałów z wizyty pracowników Katedry Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych w Clausthal w artykule opisano koncepcję i realizację całego projektu. Przystawiono cele badawcze, strukturę instalacji i rodzaje zastosowanych źródeł oraz niektóre rezultaty prowadzonych tam badań.*

**Słowa kluczowe:** energia odnawialna, elektroniczna maszyna synchroniczna, jakość energii elektrycznej, park energetyczny

### INTEGRATED USE OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES ON THE EXAMPLE OF “ENERGY PARK” IN CLAUSTHAL

*Environmental pollution and limited fossil energy fuels are key problems in current discussion about the future of the energy sector. Number of researches and studies carried on all over the world had been undertaken to solve these problems. One of the biggest research projects in Europe relating new energy technologies is the “Energy Park” located in Clausthal, Germany, about 100 km southeast of Hannover.*

*Based on materials from the visit of employees of the Department of Electrical Drive and Industrial Equipment in Clausthal, there is described the concept and the implementation of the whole project. Research objectives, structure and types of energy sources and some of the results of research conducted there.*

**Keywords:** renewable energy, electronic synchronous machine, electric power quality, energy park

### 1. WSTĘP

W ramach współpracy międzynarodowej Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH utrzymuje stały kontakt z Instytutem Inżynierii Elektrycznej (Institut

für Elektrische Energietechnik (IEE)) (rys. 1) Uniwersytetu Technicznego w Clausthal w Niemczech. Kierownikiem Instytutu jest obecnie profesor Hans Peter Beck.

W sąsiedztwie Uniwersytetu zlokalizowany jest instytut badawczy CUTEC (Clausthaler Umwelttechnik-Institut).



Rys. 1. Instytut IEE (foto: A. Penczek)

\* Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Zajmuje się on szeroko rozumianą tematyką środowiska, obejmującą głównie problematykę gospodarki i przetwarzania odpadów oraz energetyki, klasycznej i odnawialnej. W ramach prowadzonych badań realizowanych jest wiele projektów. Jednym z nich jest „Park Energetyczny”. Partnerami w tym przedsięwzięciu są trzy podmioty. Pierwszy to Instytut CUTEC, następnie Uniwersytet Clausthal z instytutami IEE oraz IEVB. Trzecim partnerem jest przedsiębiorstwo komunalne Stadtwerke Clausthal-Zelleferd GmbH zarządzające na terenie miasta sieciami infrastruktury technicznej (sieć elektroenergetyczna, wodociągowa, gazowa i ciepłownicza).

Projekt rozpoczął oficjalnie działanie dnia 1 stycznia 2000 roku. Jego celem są badania i praktyczna demonstracja wykorzystania różnych odnawialnych źródeł energii jak wiatr, woda, promieniowanie słoneczne oraz biomasa i biopaliwa. Budynki instytutu CUTEC mogą być zasilane ze źródeł odnawialnych dla celów badawczych i demonstracyjnych, a także w przypadku awarii i wyłączenia zasilania sieciowego.

## 2. OPIS PROJEKTU

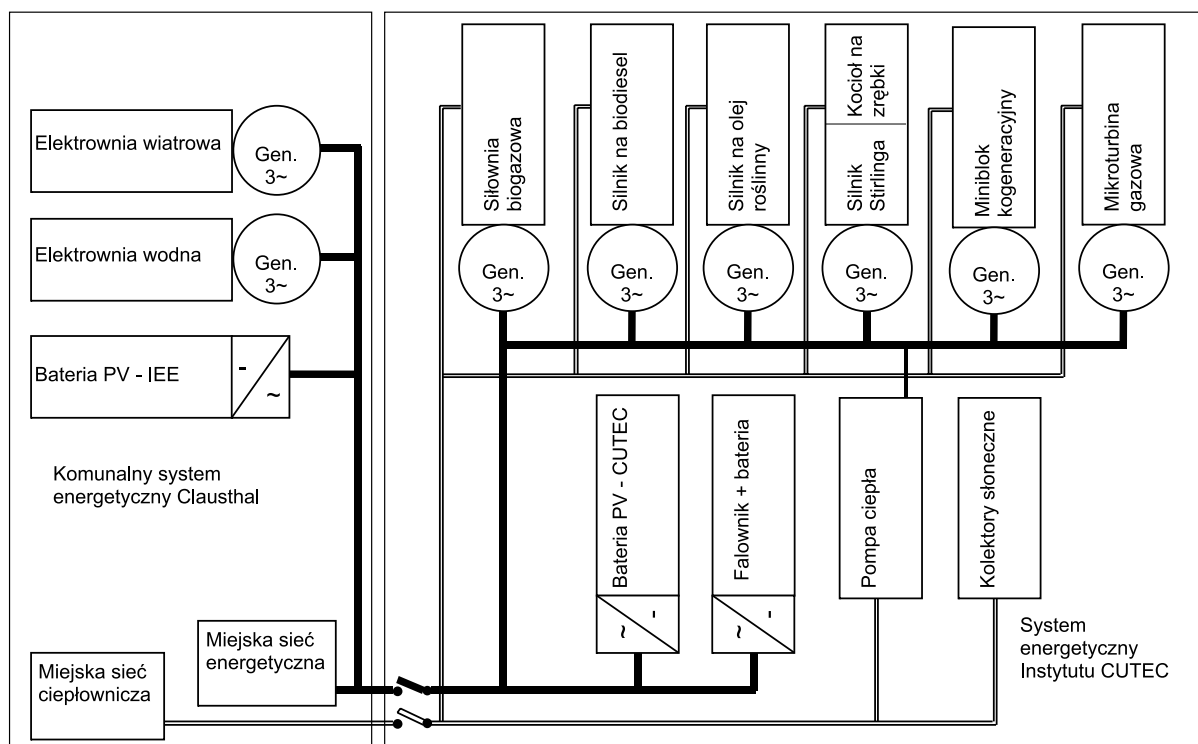
Szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną dla budynków Instytutu CUTEC wynosi 190 kW, przy czym średnio waha się ono w granicach 120–140 kW. Zapotrzebowanie na moc cieplną określono na 150 kW plus 150 kW rezerwy (m.in. na nową halę technologiczną). Wartości te określiły wielkość źródeł koniecznych do pokrycia potrzeb energetycznych obiektu, wraz z zachowaniem rezerwy niezbędnej m.in. w przypadku awarii zasilania zewnętrznego.

Park energetyczny integruje różnego rodzaju źródła odnawialne energii elektrycznej i ciepła w jeden system energetyczny (rys. 2). Są to kolejno: turbina wiatrowa, mała elektrownia wodna, bateria fotowoltaiczna, siłownia biogazowa z silnikiem gazowym, kocioł na zrębki drzewne ze zintegrowanym silnikiem Stirlinga, silnik wysokoprężny na biopaliwo (biodiesel), silnik na olej roślinny, turbina gazowa, mini blok kogeneracyjny oraz kolektory słoneczne i pompa ciepła.

Nadrzędny komputerowy system nadzoru steruje pracą poszczególnych urządzeń, zbiera dane dotyczące ich parametrów pracy, prognozuje obciążenie, a także kontroluje stabilność systemu energetycznego w przypadku pracy autonomicznej (wyspowej). Bateria akumulatorów połączona z falownikiem i filtrami RC tworzy system kondycjonowania energii elektrycznej w sieci.

## 3. ŹRÓDŁA ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁA

Elektrownia wiatrowa jest własnością przedsiębiorstwa komunalnego w Clausthal i jest włączona do sieci energetycznej miasta. Połączona jest z instytutem CUTEC linią napowietrzną o długości 3,3 km. Dane pomiarowe z elektrowni (prędkość i kierunek wiatru, wyprodukowana energia, parametry sieci itp.) są przesyłane łączem stałym do budynku Instytutu. Jest to siłownia Enercon, typ E-18, zainstalowana jest na górze Bockswieser, na północ od Clausthal. Jej moc znamionowa wynosi 80 kW przy prędkości wiatru 13 m/s. Przeciętna wielkość rocznej produkcji energii wynosi około 100 MWh rocznie. Pozostałe dane techniczne elektrowni przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Schemat połączeń źródeł energii elektrycznej i ciepła w parku energetycznym w Clausthal [2]

**Tabela 1.** Dane techniczne elektrowni wiatrowej E-18 [3]

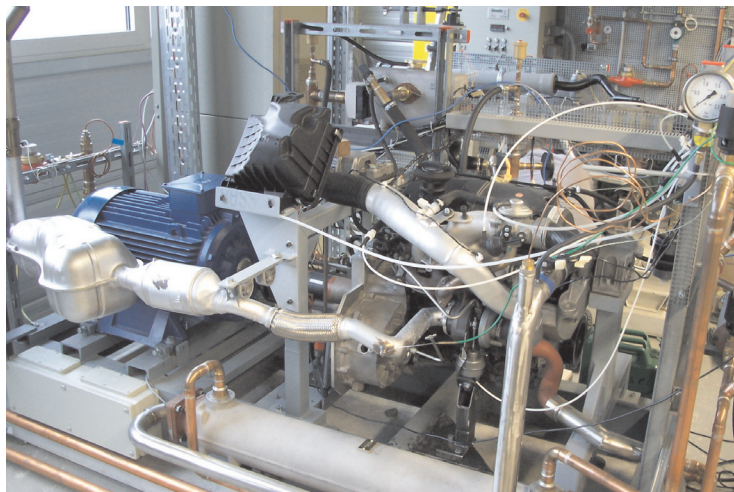
Średnica wirnika	19,40 m
Wysokość masztu	31 m
Prędkość startu elektrowni	3 m/s
Prędkość zatrzymania	25 m/s
Liczba skrzydeł	3 sztywne
Prędkość obrotowa wirnika	20–50 1/min
Regulacja mocy	Stall – z oderwaniem strugi
Generator	Synchroniczny, 6-fazowy o zmiennej prędkości wirowania
Połączenie z siecią	Przekształtnik 12-pulsowy

Mała elektrownia wodna również należy do przedsiębiorstwa komunalnego. Zainstalowana jest w niej turbina o mocy znamionowej 34,5 kW z generatorem asynchronicznym. Spad użyteczny wynosi około 31 m, średni przepływ 0,081 m<sup>3</sup>/s. W czasie roku występują wahania ilości

opadów, co powoduje zmiany średniej miesięcznej wielkości produkcji energii elektrycznej w granicach 2–14 MWh. Elektrownia ta jest połączona z instytutem CUTEC siecią energetyczną o długości około 2,7 km. Średnia roczna produkcja energii elektrycznej w elektrowni wynosi 85 MWh.

Na terenie Parku zainstalowane są dwie baterie paneli fotowoltaicznych. Zbudowane są z modułów z krzemu polikrystalicznego o wymiarach 950×1060 mm. Pierwsza bateria, o mocy szczytowej 2,5 kW<sub>p</sub>, zainstalowana jest na ścianie zewnętrznej budynku instytutu IEE. Druga bateria, o mocy 5,4 kW<sub>p</sub> jest zamontowana na łukowym stelażu (rys. 3), pod kątem około 20°, wzdłuż fasady budynku CUTEC. Panele fotowoltaiczne są połączone z siecią elektroenergetyczną poprzez falowniki o mocy jednostkowej 2 kW łączone równolegle.

Silnik wysokoprężny o mocy 96 kW z wtryskiem na olej roślinny został zainstalowany i uruchomiony w kooperacji z firmą Volkswagen AG. Silnik ten przebudowano do zasilania nowym rodzajem paliwa. Z silnikiem sprzęgnięta jest prądnica asynchroniczna (rys. 4). Moc znamionowa agregatu wynosi 55 kW mocy elektrycznej i 70 kW mocy cieplnej.

**Rys. 3.** Bateria fotowoltaiczna w Instytucie CUTEC (foto: A. Penczek)**Rys. 4.** Silnik wysokoprężny na paliwo roślinne. W głębi silnik na biodiesel (foto: A. Penczek)

Jako agregat na biopaliwo wykorzystywany jest standardowy silnik diesla (VW-Polo) sprzęgnięty z prądnicą o mocy znamionowej 40 kW. Przeprowadzone testy określiły dla tego układu moc elektryczną znamionową na 15 kW (maksymalnie 20 kW) i moc cieplną na 30 kW. W przeciwieństwie do pozostałych układów, ten silnik jest sprzężony z generatorem synchronicznym.

Instalacja beztlenowego wytwarzania biogazu o objętości komory fermentacyjnej około 100 m<sup>3</sup> jest źródłem biogazu dla silnika gazowego. Wykorzystano standardowy silnik zasilany gazem ziemnym z generatorem o mocy 30 kW. Został on dostosowany do zasilania nowym rodzajem paliwa. Silnik biogazowy jest stosowany jako źródło energii pośrednie między szczytowymi i podstawowymi.

Jako podstawowe źródło ciepła dla budynków Instytutu w sezonie grzewczym pracuje kocioł na zrębki drzewne o maksymalnej mocy cieplnej 160 kW. Jest on zintegrowany z silnikiem Stirlinga o mocy 10 kW.

W Parku pracują dwa rodzaje kolektorów słonecznych: próżniowe i płaskie, o powierzchni łącznej 43 m<sup>2</sup> i maksymalnej mocy cieplnej 35 kW. Wytwarzane ciepło jest przechowywane w zbiorniku buforowym o pojemności 700 litrów i stąd jest dostarczane do instalacji cieplej wody użytkowej.

Kolejnym źródłem ciepła jest sprężarkowa pompa ciepła typu powietrze/woda o mocy grzewczej 10 kW i mocy sprężarki 3,4 kW przy współczynniku efektywności COP = 3,0. Przez dodatkowy wymiennik ciepła może ona korzystać z różnego rodzaju dolnych źródeł ciepła (ciepło odpadowe z instalacji, ciepła woda w instalacji kolektorów, itp.). Jest to szczególnie ważne w okresach przejściowych, na początku i końcu sezonu grzewczego, kiedy zakumulowane

w buforze ciepło może być szybko i efektywnie wykorzystane do dogrzania budynku.

Źródłami dodatkowymi energii elektrycznej i ciepła są jeszcze mikro turbina gazowa oraz mini blok kogeneracyjny silnik gazowy Ecopower. Zbiorcze zestawienie wszystkich źródeł energii w systemie przedstawiono w tabeli 2.

#### 4. KOMPUTEROWY SYSTEM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

Bardzo ważnym problemem praktycznym jest połączenie różnych odnawialnych źródeł energii w jeden system energetyczny. W przypadku tego typu źródeł dostępna energia z reguły podlega dużym wahaniom w czasie i jest trudno przewidywalna w dłuższym horyzoncie czasowym. Musi ona przy tym pokryć bieżące potrzeby odbiorców (również zmienne w czasie), przy zachowaniu odpowiednich parametrów jakościowych napięcia w sieci zasilającej budynki Instytutu, tj. głównie jego częstotliwości i stabilności. Stąd też konieczne stało się zbudowanie odpowiedniego komputerowego systemu sterowania i monitoringu energetycznego. System ten (rys. 5) jest oparty na trzech serwerach QNX4 i czterech stacjach roboczych z systemem Windows 2000Pro. Dane pomiarowe zbierane z poszczególnych urządzeń są przesyłane siecią lokalną ProfiBus, siecią energetyczną (transmisja PLC), lub łączami telefonicznymi.

Oprogramowanie nadzorcze posiada wszystkie standardowe funkcje użytkowe charakterystyczne dla tego typu systemów, jak: odczyt i archiwizacja danych, sygnalizacja stanów alarmowych, wymiana danych z innymi bazami danych. Prognozowanie zużycia energii elektrycznej oparte jest na wykorzystaniu sieci neuronowych. Serwer www umożliwi uprawnionym osobom zdalny odczyt danych i nadzór nad pracą systemu.

Tabela 2. Źródła energii elektrycznej i ciepła w „Parku energetycznym” w Clausthal [2, 5]

Źródło energii	Zakres mocy	
	[kW <sub>e</sub> ]	[kW <sub>t</sub> ]
Elektrownia wiatrowa	0–80	0
Elektrownia wodna	0–30	0
Bateria fotowoltaiczna – IEE	0–2,5	0
Bateria fotowoltaiczna – CUTEC	0–5,5	0
Silnik na olej roślinny	20–55	70
Silnik na biodiesel	7–20	30
Kocioł na zrębki drzewne	0	160
Silnik Stirlinga	9	24
Silnik na biogaz	15–25	60
Biogazownia	nie dot.	nie dot.
Kolektory słoneczne	0	10
Pompa ciepła	–4	15
Mikro turbina gazowa	6–28	60
Miniblok kogeneracyjny	2–5	13,5





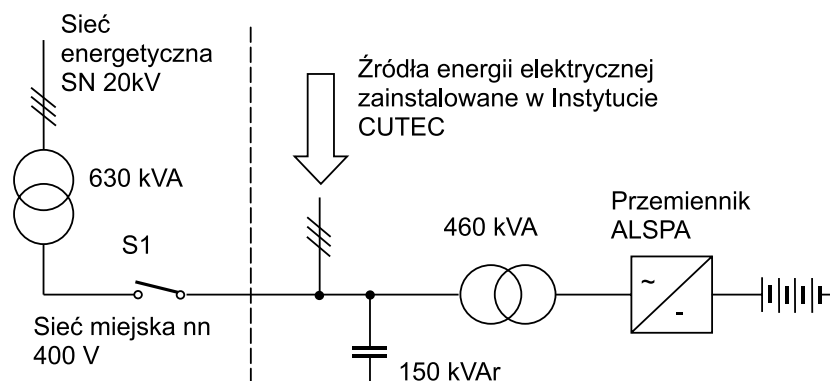
Rys. 5. Widok pomieszczenia z panelami operatorskimi dla systemu zarządzania energią (foto: A. Penczek)

System energetyczny powinien zapewniać zasilanie w energię elektryczną o określonych parametrach przy zmiennych warunkach obciążenia i w sytuacjach awaryjnych (np. odcięcie zasilania w sieci miejskiej). Dla tego celu zbudowano system kondycjonowania i podtrzymania zasilania energii elektrycznej, aktywnie czuwający nad jej jakością. Jest to zagadnienie szczególnie widoczne w przypadku sieci z dużym udziałem źródeł odnawialnych takich jak turbiny wiatrowe lub ogniwa słoneczne, których szybkozmienny charakter dostarczonej energii wpływa negatywnie na stabilność systemu energetycznego. W badanej instalacji dla tego celu wykorzystano koncepcję „elektronicznej maszyny synchronicznej” [1], opartej na przekształtniku statycznym i baterii akumulatorów. Wraz z układem filtrów RC spełnia ona następujące zadania:

- sterowanie i stabilizacja przepływu mocy w sieci poprzez gromadzenie jej krótkotrwałych nadwyżek i uzupełnianie niedoborów,
- kompensacja mocy biernej w sieci,
- kompensacja wyższych harmonicznych,
- kompensacja krótkotrwałych zmian napięcia.

Jak wiadomo, tradycyjna maszyna synchroniczna może być używana do poprawy jakości energii elektrycznej [4]. Wadą takiego rozwiązania są jednak słabe właściwości dynamiczne. Czas reakcji wynosi z reguły minimum kilkadziesiąt milisekund, co przy częstotliwości sieciowej 50 Hz i włączeniu do sieci źródeł o silnych wahanach dostarczonej energii (elektrownie wiatrowe) jest wartością zbyt dużą. Rozwój energoelektroniki pozwolił jednak na układową realizację tego rozwiązania [1, 2]. Elektroniczna maszyna synchroniczna pozwala na sterowanie kierunkiem i przepływem mocy czynnej i biernej w połączonej z nią równolegle sieci przy czasie reakcji rzędu milisekund. Składa się ona z przekształtnika sześciopulsowego połączonego z jednej strony z baterią akumulatorów, a z drugiej – poprzez transformator – z siecią energetyczną. Dzięki użyciu baterii akumulatorów, układ ten staje się statycznym kondycjonerem energii. Przekształtnik jest sterowany sygnałami prądów i napięć sieci mierzonymi w sieci.

Obiekty Instytutu (rys. 6) zasilane są z sieci średniego napięcia 20 kV poprzez stację transformatorową 20/0,4 kV. System kondycjonowania energii elektrycznej oraz filtry RC są wpięte po stronie niskiego napięcia 400 V.



Rys. 6. System kondycjonowania energii elektrycznej

Możliwe są trzy podstawowe tryby pracy tak zbudowanego systemu, tj. praca równoległa, praca wyspowa i praca w trybie ładowania baterii akumulatorów. W trybie pracy równoległej budynki Instytutu są zasilane z miejskiej sieci energetycznej. Zadaniem kondycjonera jest utrzymanie zadanych parametrów jakościowych energii. W trybie pracy wyspowej odbiorniki są zasilane z baterii akumulatorów za pośrednictwem falownika. Dodatkowo, w razie potrzeb, uruchamiane mogą być także inne urządzenia generacyjne. W trybie ładowania baterii następuje jej ładowanie lub kontrolowane rozładowanie, zgodnie z zaleceniami producenta, dla utrzymania odpowiedniej żywotności akumulatorów.

Wielkość baterii określona została przez szereg warunków, z których najbardziej istotny to podtrzymanie zużycia energii w wielkości 100 kWh przez pół godziny z maksymalnym prądem 1 kA. Bateria składa się ze 184 ogniw 6 V typu 90GiV 225 firmy BAE Berliner Batteriefabrik GmbH, w dwóch równoległych szeregach po 92 ogniwa (rys. 7).



Rys. 7. Pomieszczenie z baterią akumulatorów dla systemu kondycjonowania energii (foto: A. Penczek)

Napięcie znamionowe wynosi 552 V. Zastosowano system kontroli akumulatorów AS BMS dla 46 bloków po 12 V każdy. Baterię połączono z siecią zasilającą poprzez cztero-kwadrantowy przemiennik częstotliwości ALSPA MD2000 o mocy 650 kVA oraz transformator sieciowy 460 kVA.

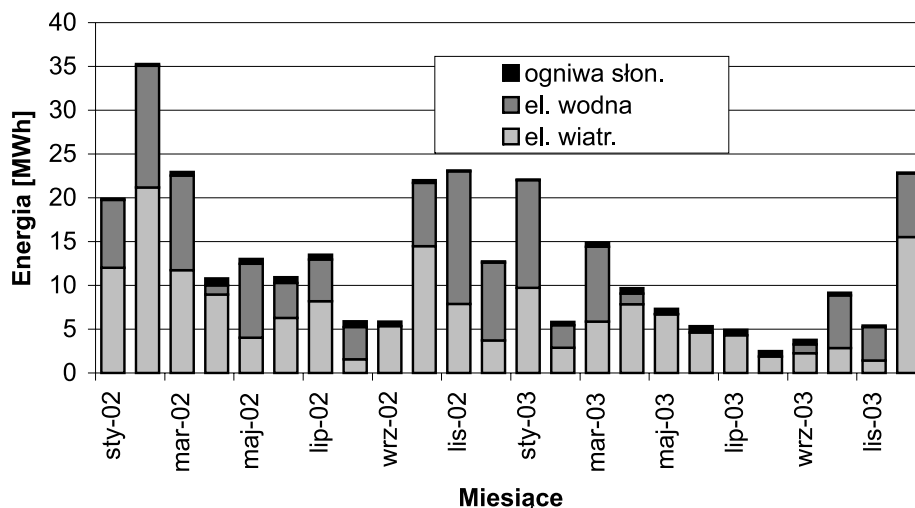
Do redukcji wyższych harmonicznych w sieci zastosowano filtry RC 150kVAr. Filtry mogą pracować zarówno w trybie autonomicznym (wyspowym) jak i równoległym. Podczas procesów łączeniowych w układach z kondensatorami mogą pojawiać się przepięcia i przetężenia. Dla ich złagodzenia zastosowano rezystory odciażające, które złagodziły przetężenia do wartości 2–5 krotności prądu znamionowego w porównaniu do wartości 10–20 przed ich zastosowaniem.

## 5. FUNKCJONOWANIE PARKU ENERGETYCZNEGO

Jak już wspomniano we wstępie, zakres badań prowadzonych na terenie Parku jest bardzo szeroki, stąd też przedstawione zostaną jedynie wybrane ich rezultaty dotyczące jednego z istotniejszych aspektów całego przedsięwzięcia, tj. pokrycia potrzeb energetycznych odbiorców energii przez poszczególne źródła.

I tak przykładowo, w roku 2002 [2] źródła odnawialne pokryły 52,2% spośród 380 MWh całkowitego zużycia energii elektrycznej Instytutu. Z tego energia wiatrowa to 28,0%, energia wodna 22,8%, energia słoneczna z ogniw fotowoltaicznych 1,4%. Pozostałe elementy systemu nie były jeszcze uruchomione. Wielkość energii dostarczanej przez te trzy źródła w okresie 2002–2003 pokazano na rysunku 8. Widoczna jest silna zmienność energii wytwarzanej przez te źródła. Aczkolwiek w przypadku turbiny wodnej i wiatrowej jest ona skorelowana z potrzebami energetycznymi (szczególnie oświetleniem) rosnącymi w okresie jesienno-zimowym i malejącymi latem.

W roku 2003 źródła odnawialne dostarczyły natomiast niemal 297 MWh, co stanowiło już 78,12% zużycia energii



Rys. 8. Energia elektryczna dostarczana przez wybrane źródła odnawialne w latach 2002–2003 [2]

elektrycznej całego obiektu. Wzrost ten spowodowany został uruchomieniem nowych źródeł – elementów systemu energetycznego Parku. Udział energii z poszczególnych źródeł przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Produkcja energii ze źródeł odnawialnych w roku 2003

Źródło	MWh	Udział [%]
Elektrownia wiatrowa	51,0	13,41
Mała elektrownia wodna	41,8	11,00
Baterie fotowoltaiczne	6,4	1,69
Agregat z silnikiem Stirlinga	41,6	10,94
Agregat biogazowy	102,7	27,01
Miniblok kogeneracyjny	18,0	4,74
Turbina gazowa	30,3	7,96
Agregat na biodiesel	5,2	1,36
<b>Razem odnawialne</b>	<b>297,0</b>	<b>78,12</b>
Sieć miejska	83,2	21,88
<b>Razem budynki CUTEK</b>	<b>380,2</b>	<b>100,00</b>

Należy przy tym wspomnieć, iż rok 2003 był rokiem słabym pod względem warunków wiatrowych. W roku 2000 siłownia wiatrowa dostarczyła bowiem 114 MWh energii, w roku 2001 – 89 MWh, zaś w 2002 roku 105 MWh. Podobna sytuacja wystąpiła w elektrowni wodnej. Ze względu na suche lato wyprodukowała ona 41 MWh energii w porównaniu do około 85 MWh w roku 2001 i 2002. Wskazuje to zatem na silną zależność produkcji z tych źródeł od warunków pogodowych.

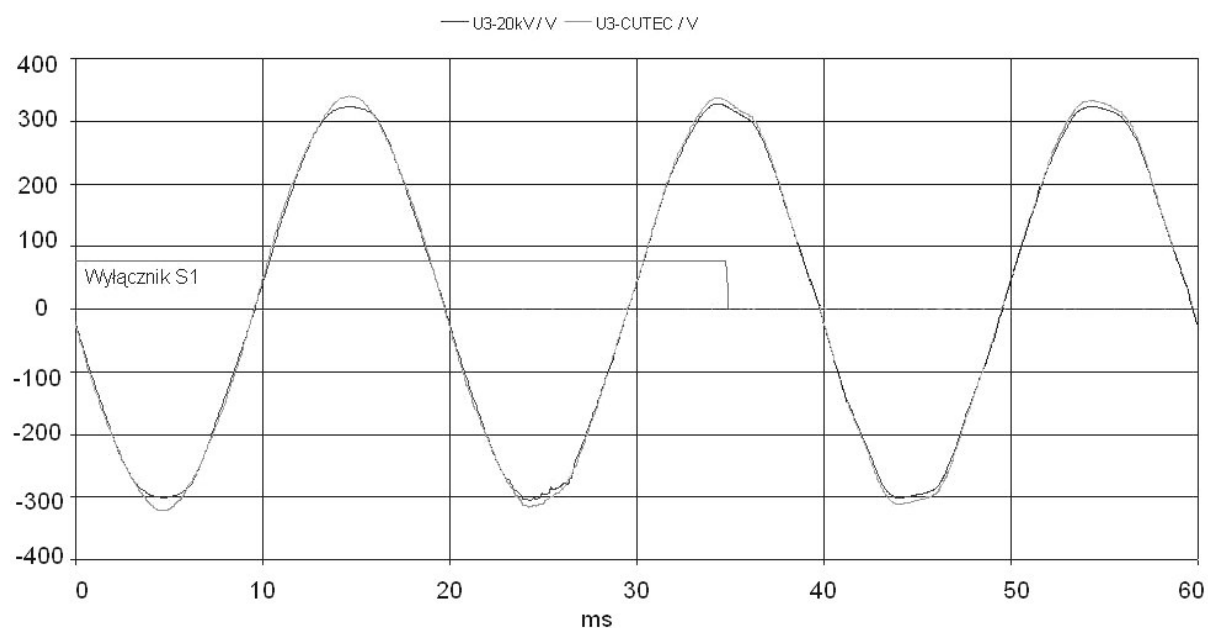
## 6. JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Oprócz zasilania budynków Instytutu przez źródła odnawialne, bardzo istotna jest problematyka jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej. W celu określenia sprawności działania systemu kondycjonowania energii przeprowadzono szereg badań [2, 5]. Przykładowo, na rysunku 9 przedstawiono przebiegi napięć w sieci miejskiej i wewnętrznej CUTEK w przypadku przejścia z trybu pracy wyspowej do zasilania z sieci miejskiej.

Przejście to następuje przy załączeniu S1 z rysunku 6 w chwili 35 ms. Do tego momentu falownik synchronizuje się napięciem sieci zewnętrznej. Pomiary wykonano przy obciążeniu  $P = 30$  kW. Widoczne jest praktycznie bezzakłócenie przejście z jednego trybu pracy do drugiego.

## 7. PODSUMOWANIE

Koncepcja „Parku energetycznego” wykorzystującego odnawialne źródła energii została zrealizowana praktycznie. Obiekt z powodzeniem służy celom badawczym i edukacyjnym. Szczególnie istotne jest tu zastosowanie praktyczne niemal wszystkich dostępnych źródeł energii elektrycznej i ciepła oraz połączenie ich w sieć dla wykorzystania w bieżącym użytkowaniu budynków. Przedstawiony opis nie wyczerpuje w pełni bardzo szerokiego wachlarza prowadzonych prac. Niemniej, wydaje się, iż bliższe przedstawienie tego projektu może być interesujące dla szerszego grona czytelników ze względu na rosnące zainteresowanie tą tematyką również w Polsce.



**Rys. 9.** Przebiegi napięć w sieci w przypadku przejścia z trybu pracy wyspowej do zasilania z sieci miejskiej

## Literatura

- [1] Beck H.-P., Sourkounis C., Wenske J.: *Electronic synchronous machine for power conditioning in distribution networks with high wind energy share*. EPQU'99: International Conference, Electrical Power Quality And Utilisation, Cracow, Poland, 15–17.09.1999.
- [2] Carlowitz O., Siemers W., Beck H.-P., Wehrmann E.-A., Scholz R., Harnaut T.: *Clausthaler Lehr- und Demonstrationsanlage für dezentrale regenerative Energieversorgungssysteme – Energiepark Clausthal – Förderkennzeichen 12809, Berichtszeitraum 1/2000 bis 12/2003*. Clausthal-Zellerfeld, Mai 2004.
- [3] <http://www.stadtwerke.clausthal.harz.de> Przedsiębiorstwo komunalne w Clausthal.
- [4] Tondos M.: *Energoelektronika*. [w:] J. Strojny (red.), Vademecum elektryka, pr. zbiorowa pod red. J. Strojnego, COSiW SEP, 2009.
- [5] Materiały i notatki własne autorów.

Wpłynęło: 11.02.2010

Maciej TONDOS



Profesor nadzwyczajny AGH, uzyskał stopnie naukowe magistra inżyniera, doktora nauk technicznych oraz doktora habilitowanego odpowiednio w latach 1968, 1976, oraz 1990 na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obecnie jest kierownikiem Katedry Auto-

matyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych. Zainteresowania naukowe dotyczą energoelektroniki i napędów zautomatyzowanych. Jest autorem 90 artykułów 60 referatów 40 opracowań dla przemysłu oraz 8 patentów. Jest członkiem European Power Electronics Association oraz IEEE.

e-mail: [tondos@agh.edu.pl](mailto:tondos@agh.edu.pl)



Piotr MICHALAK

Studia magisterskie na kierunku Elektrotechnika, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH, ukończył w roku 1999. Następnie podjął pracę w Katedrze Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych na stanowisku asystenta. Od roku 2009 adiunkt w Katedrze Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska. Zajmuje się problematyką wykorzystania odnawialnych zasobów energetycznych oraz zastosowań energoelektroniki w energetyce odnawialnej. Jest autorem i współautorem 25 referatów i artykułów.

e-mail: [pmichal@agh.edu.pl](mailto:pmichal@agh.edu.pl)