

## Praca wyspowa elektrociepłowni miejskiej w warunkach rozległej awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego

**Streszczenie.** W warunkach rozwoju katastrofalnej awarii systemowej w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE) wydzielanie układów wyspowych zasilanych z jednostek wytwórczych elektrociepłowni miejskich może być jednym ze sposobów utrzymania zdolności wytwórczych elektrociepłowni. Wyspę obciążeniową bloku BC 50 mogą tworzyć odbiory potrzeb własnych i ogólnych EC II Karolin oraz przemysłowe zakłady zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie elektrociepłowni. W artykule przedstawiono stan prac nad przygotowaniem Elektrociepłowni Karolin do automatycznego jej przejścia do pracy wyspowej w warunkach zagrożenia awarią systemową i wyniki pierwszego eksperymentu wydzielenia układu wyspowego z blokiem BC 50.

**Abstract.** Under the conditions of the growth of a catastrophic system failure in the national power system (NPS) secretion island systems powered from CHP plants may be one way to maintain the production capacity of these units. Island system load of the BC 50 power block may create receptions own needs and the overall EC Karolin and industrial plants located in the immediate vicinity of the plant. The article presents the status of the preparation of the CHP Karolin automatic its transition to island operation in hazardous conditions and system failure results of the first experiment of separating the islands of stress block BC 50. (Island operation of CHP plants under the wide catastrophic failure of the power system)

**Słowa kluczowe:** system elektroenergetyczny, blackout, praca wyspowa, elektrociepłownia

**Keywords:** power system, blackout, blackstart, island operation, CHP plant

doi:10.12915/pe.2014.03.09

### Wprowadzenie

Aktualnie, zgodnie ze strategią obrony przyjętą przez ENTSO-E RG CE (ang. Regional Group Continental Europe), nie przewiduje się, w stanie awaryjnym połączonego systemu europejskiego, prewencyjnego (przed zaistnieniem krytycznych parametrów pracy systemu - napięcia oraz częstotliwości), automatycznego wydzielenia jednostek wytwórczych do pracy wyspowej, fragmentów systemów a także systemów krajowych [1-3]. Samoczynne wydzielanie takich układów w wyniku działania odpowiednich układów automatyki, przewidywały pierwsze wersje planów obrony opracowywane dla UCTPE i UCTE (także w opracowywanym planie obrony dla KSE). Przy czym celowe wydzielanie zbilansowanych układów wyspowych należy wyraźnie odróżnić od obszarów (podsystemów) powstałych w wyniku niekontrolowanego awaryjnego rozpadu połączonego systemu.

Wydzielanie w przybliżeniu zbilansowanych niewielkich układów wyspowych w stanach awaryjnych pracy połączonego SE może być jednak skutecznym sposobem ograniczenia zasięgu i skutków awarii systemowych. W tym przypadku pod pojęciem układów wyspowych rozumie się wydzielone części systemu, o mocach rzędu 50–150 MW.

Szczególne znaczenie może mieć wydzielanie wyspowych układów wielkomiejskich, ponieważ utrata zasilania jest szczególnie niebezpieczna w wielkich aglomeracjach, zarówno ze względu na paraliż infrastruktury komunalnej i przemysłowej, jak i zagrożenia dla życia ludzi. Praca wyspowa ciepłowniczych bloków parowych w elektrociepłowniach miejskich może być rozwiązaniem bardzo korzystnym dla poprawy bezpieczeństwa energetycznego dużej aglomeracji miejskiej. Istotą wydzielanych układów wyspowych powinno być zapewnienie zasilania newralgicznych dla elektrociepłowni urządzeń energetycznych gwarantujących ochronę jej układu technologicznego przed uszkodzeniami, ochrona systemu ciepłowniczego oraz stworzenie warunków aktywnego uczestnictwa elektrociepłowni w procesie odbudowy KSE. Warunkiem koniecznym wykorzystania takich bloków do zasilania odbiorców w dużym mieście, po wystąpieniu awarii katastrofalnej w KSE, jest odpowiednie wyposażenie w układy automatyki wydzielające układy wyspowe. Utrzymanie bloków

energetycznych w pracy z lokalną wyspą obciążeniową, stwarza korzystną sytuację, umożliwiającą szybką odbudowę zdolności wytwórczych całej elektrociepłowni.

W 2011 roku podjęto prace w DALKIA Poznań ZEC SA mające na celu określenia możliwości pracy wydzielonej bloków elektrociepłowni Karolin (dalej: EC II Karolin) w stanach rozległej awarii katastrofalnej KSE. W pierwszych etapach pracy dokonano oceny możliwości przejścia bloków do pracy wydzielonej, w szczególności koncepcji wydzielenia układu wyspowego dla bloków ECII Karolin, kryteriów przejścia do pracy wyspowej, możliwości rozbudowy wydzielonego układu wyspowego [4]. Wykonano szereg obliczeń symulacyjnych rozplywu mocy oraz zwarciovych w celu określenia układu pracy rozdzielni 110kV ECII Karolin umożliwiającego realizację pracy wyspowej bloków. W kolejnym etapie pracy przygotowano i przeprowadzono w połowie września br. pierwszy, w pełni udany, eksperyment wydzielenia układu wyspowego z blokiem ciepłowniczym BC 50 o mocy elektrycznej 50 MW. Blok BC 50 wyposażony jest w kocioł parowy typu BFB-110, którego paliwem podstawowym jest biomasa oraz kocioł parowy typu OP-140, opalany węglem kamiennym stanowiącym paliwo podstawowe; oba kotły produkują parę na wspólny kolektor zasilający turbozespół typu 13UP65.

W artykule przedstawiono wyniki opracowywanej koncepcji wydzielenia układu wyspowego z blokiem BC 50 oraz wybrane wyniki pierwszego przygotowywanego i przeprowadzonego eksperymentu systemowego wydzielenia przedmiotowego układu wyspowego.

### Wymagania w zakresie zdolności jednostek wytwórczych do pracy wydzielonej

Zgodnie z Instrukcją Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP) [5] proces przystosowywania jednostek wytwórczych elektrowni do udziału w obronie i odbudowie KSE, przebiega aktualnie w dwóch kierunkach, powodujących uzyskanie przez nie:

- zdolności do samostartu tj. zdolności do uruchomienia elektrowni bez zasilania z KSE wg uzgodnionego z operatorem systemu przesyłowego (OSP) planu i trwałej pracy w układzie wydzielonym oraz gotowość do realizacji poleceń OSP w zakresie uruchamiania kolejnych elektrowni i zwiększania obszaru wydzielonego.

• zdolności do pracy w układzie wydzielonym tj. zdolność do awaryjnego przejścia do pracy samodzielnej, przy braku zasilania z KSE, wg uzgodnionego z OSP planu, i trwałej pracy w tym układzie oraz gotowość do realizacji poleceń OSP w zakresie zwiększania obszaru wydzielonego.

Wymagania dla regulatorów napięć jednostek wytwórczych w zakresie zdolności do obrony i odbudowy zasilania KSE stanowią, że takie jednostki powinny być dostosowane do regulowania napięcia w dozwolonym przedziale zmian oraz do kompensowania mocy biernej w dopuszczalnym obszarze pracy jednostki wytwórczej. Wymagane jest poprawne działanie regulacji napięcia z zachowaniem  $0,95 \leq U \leq 1,05 U_n$  podczas kolejnych skokowych naborów (przyrostów) mocy obciążenia sieci  $\Delta P \leq +0,05 P_n$ .

Regulatory turbin wytwórczych, w zakresie zdolności do obrony i odbudowy zasilania KSE, powinny być zdolne do pracy w trybie regulacji prędkości obrotowej, realizowanej przez proporcjonalny regulator prędkości obrotowej RO(P) zgodnie z zamodelowaną charakterystyką statyczną (zdolność do prowadzenia regulacji częstotliwości w sieci elastycznej). Powinny zapewnić pewne nabieranie skokowych przyrostów mocy od 0 do  $+0,1 P_n$ , podczas ponownego przyłączenia obciążenia przy odbudowie. Zmiany częstotliwości w wyniku jednej skokowej zmiany mocy o wartości  $\Delta P = 0 \pm 0,1 P_n$  nie powinny być większe niż o  $\Delta f < \pm 1,0$  Hz.

Ponadto od jednostek wytwórczych w zakresie zdolności do pracy w układach wydzielonych wymaga się żeby:

- (1) odciążanie/dociążanie turbiny przez regulator prędkości obrotowej RO(P) powinno być wspomagane – szczególnie po przejściu jednostki wytwórczej do pracy wydzielonej lub wyspowej – odpowiednio dopasowanym działaniem regulacji wydajności pary reagującej na dopływ paliwa do kotła (zapewnienie koordynacji pracy kotła i turbiny w trybie regulacji prędkości obrotowej typu P);
- (2) przejściowe zmiany wielkości regulowanych na kotle, które się odznaczają na ogół dużymi inercjami, nie powinny wpływać ujemnie, w wypadku pojawienia się awarii w systemie, na działanie regulacji prędkości obrotowej turbiny, w postaci dodatkowego dla niej zakłócenia.

#### Charakterystyka urządzeń wytwórczych EC II Karolin

Elektrociepłownia EC II Karolin stanowi podstawowe źródło ciepła dla miejskiej sieci ciepłej (MSC) aglomeracji poznańskiej. Produkcja ciepła realizowana jest w skojarzeniu z energią elektryczną w trzech blokach ciepłowniczych:

- blok ciepłowniczy nr 1 – BC50,
- blok ciepłowniczy nr 2 – BC100,
- blok ciepłowniczy nr 3 – BK100.

oraz w kotłowni szczytowej, w skład której wchodzi dwa kotły przepływowe wodne PTWM-180 opalane mazutem i kocioł parowy opalany olejem lekkim.

W tabeli 1 zestawiono moce cieplne i elektryczne EC II Karolin zgodnie z aktualną koncesją.

Całkowita moc elektryczna zainstalowana w EC II Karolin wynosi 269,5 MW, przy czym w blokach BC50 i BC100 podstawowo w całości wytwarzana jest w skojarzeniu z produkcją ciepła, natomiast w bloku BK100 zależy to od trybu pracy (praca ciepłownicza lub kondensacyjna).

Blok BC 50 wyposażony jest w kocioł parowy typu BFB -110 nr 1K1, którego paliwem podstawowym jest biomasa i olej opałowy (mazut), stosowany wyłącznie do jego rozpalania, oraz kocioł parowy typu OP-140 nr 1K2, opalany węglem kamiennym, stanowiącym paliwo podstawowe, i olejem opałowym (mazutem), stosowanym do jego rozpalania i podtrzymania płomienia. Oba kotły

produkują parę na wspólny kolektor zasilający turbozespół typu 13UP65. Kocioł typu BFB -110 nr 1K1, opalany biomasa, oddany został do eksploatacji 7 grudnia 2011 roku i pracuje na bloku ciepłowniczym nr 1 (BC50), wyposażonym w drugi kocioł OP-140 nr 1K2. Oba kotły pracują na jedną turbinę upustowo-ciepłowniczą 13UP65, co powoduje, że układ ten tworzy tzw. duoblok.

Tabela 1. Wielkości mocy cieplnych i elektrycznych poszczególnych jednostek wytwórczych EC II Karolin

<b>Moc cieplna wg koncesji [MW]</b>	
BLOK 1	112
BLOK 2	192
BLOK 3	205
PTWM 180 nr 1	150
PTWM 180 nr 2	120
Olejowy	11,8
<b>Razem EC II Karolin</b>	<b>790,8</b>
<b>Aktualna moc elektryczna wg koncesji [MW]</b>	
BLOK 1	49,0
BLOK 2	100,0
BLOK 3	120,5
<b>Razem EC II Karolin</b>	<b>269,5</b>

Blok BC100 posiada moc elektryczną 100 MW oraz maksymalną moc cieplną 260 MW. Na wyposażeniu bloku znajduje się kocioł parowy OP-430. Kocioł ten współpracuje z turbiną 13UC105.

Blok BK100 posiada moc elektryczną 125 MW oraz maksymalną moc cieplną 206 MW. Na wyposażeniu bloku znajduje się kocioł parowy OP-430. Kocioł ten zasila parą turbinę parową 13UK105. Blok ten może realizować wyłącznie tryb pracy kondensacyjnej lub pracy ciepłowniczo-kondensacyjnej. Stwarza to sytuację, w której poważna część energii elektrycznej wytwarzana jest w skojarzeniu z ciepłem, a jednocześnie wielkość produkcji energii elektrycznej nie zależy bezpośrednio od produkcji ciepła i pozwala na utrzymanie stabilnej pracy urządzeń wytwórczych w okresach dużej zmienności obciążeń cieplnych i hydraulicznych, pochodzących z miejskiego systemu ciepłowniczego.

Poza podstawową działalnością Dalkia Poznań ZEC SA, jaką jest dostawa ciepła w wodzie MSC (ciepło systemowe), firma jest również dostawcą pary technologicznej dla ośmiennych zakładów produkcyjnych. Parę o odpowiednich parametrach uzyskuje się z upustów turbin lub ze stacji redukcyjno-schładzających, zabudowanych na wszystkich trzech blokach.

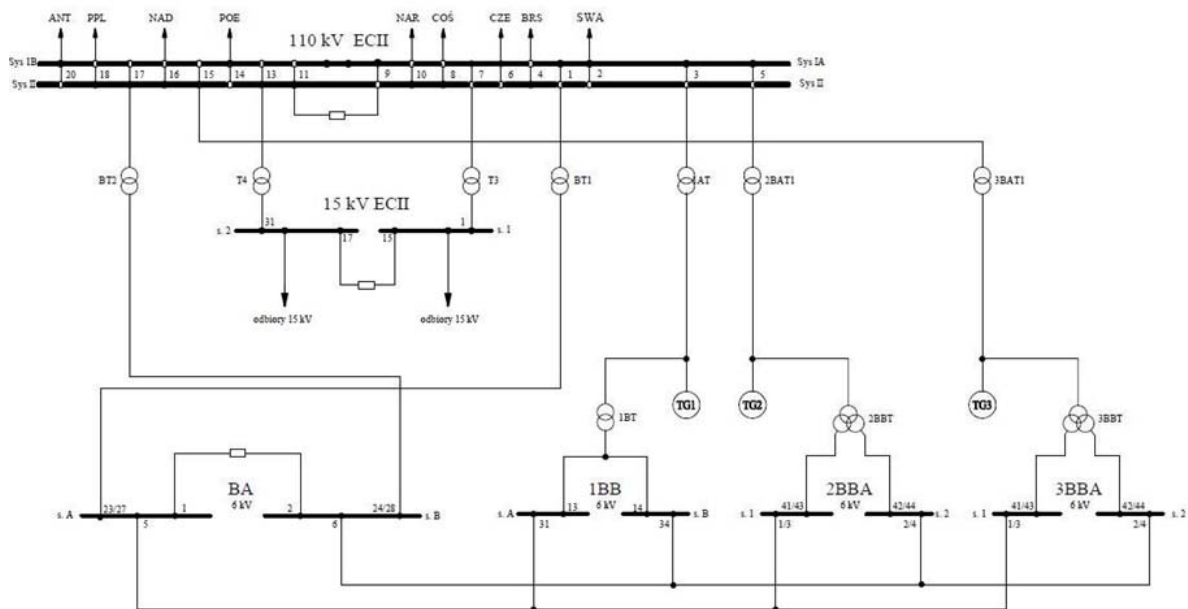
Wielkość poboru ciepła w wodzie gorącej, a przede wszystkim w parze technologicznej, w istotny sposób wpływa na wielkość generowanej mocy elektrycznej. W blokach BC 50 i BC 100, pracujących jako jednostki przeciwprężne, pobór pary technologicznej powoduje zmniejszenie możliwej do osiągnięcia mocy elektrycznej, a parametry wody sieciowej w podturbinowych wymiennikach ciepłowniczych zmieniają rozkład ciśnień w turbinie, powodując zmianę mocy uzyskiwanej w takiej jednostce.

W bloku BK 100, pracującym podstawowo w układzie upustowo-kondensacyjnym, wpływ poboru mocy cieplnej na produkcję energii elektrycznej jest zdecydowanie mniejszy, a zapotrzebowanie na moc cieplną ogranicza zdolności generacyjne energii elektrycznej.

Wyprodukowana energia elektryczna w blokach ciepłowniczych wyprowadzona jest do sieci elektroenergetycznej poprzez rozdzielnię 110 kV EC II Karolin. Rozdzielnia ta pracuje w układzie dwusystemowym, ze sprzęgłem poprzecznym otwartym lub zamkniętym w zależności od układu pracy jednostek wytwórczych w elektrociepłowni.

Dalkia Poznań ZEC SA, jako operator system dystrybucyjnego (OSDn), posiada na swoim terenie rozdzielnie 15 kV z przemysłowymi odbiorcami dystrybucyjnymi. Układ połączeń rozdzielni 110 kV EC Karolin z jednostkami wytwórczymi i siecią dystrybucyjną SN 15 kV Dalkia ZEC oraz potrzebami ogólnymi EC przedstawiono na rys. 1. Zasilanie rozdzielni blokowych potrzeb własnych odbywa się z odczepów turbogeneratorów przez transformatory odczepowe. Ogólne

potrzeby własne zasilane są z rozdzielni 110 kV przez dwa transformatory BT1 i BT2 120/6,3 kV. Rozdzielnia miejska 15 kV zasilana jest z rozdzielni 110 kV przez dwa transformatory T3 i T4. W EC II Karolin zastosowano utajone rezerwowanie rozdzielni 6 kV. Dwa mosty szynowe, pracujące w układzie odgałęźnym, łączą odpowiednio wszystkie sekcje parzyste i nieparzyste rozdzielni BA, 1BB, 2BBA i 3BBA.



Rys.1. Uproszczony schemat elektryczny ECII Karolin – układ normalny

Zgodnie z postanowieniami Urzędu Regulacji Energetyki IRIESP, Dalkia ZEC jako OSDn realizuje swoje obowiązki wobec PSE Operator za pośrednictwem ENEA Operator, która jest OSDp – operatorem posiadającym bezpośrednie połączenia z siecią przesyłową. Bieżąca współpraca ruchowa i eksploatacyjna pomiędzy Dalkia Poznań ZEC SA a Enea Operator sp. z o.o. przebiega na podstawie Instrukcji Współpracy Eksploatacyjno- Ruchowej, która jest załącznikiem do umowy dystrybucyjnej zawartej pomiędzy tymi podmiotami.

Pokrywanie obciążeń elektrycznych w dużym stopniu jest zdeterminowane poziomem zapotrzebowania na ciepło. Ponieważ w duobloku BC 50 jedna z jednostek kotłowych wykorzystuje w 100% paliwo biomasowe obciążone zerową emisją dwutlenku węgla, a jednocześnie jednostka ta posiada najniższe minimum techniczne, przez co dobrze wpisuje się w proces pokrywania obciążeń cieplnych w okresie letnim, należy oczekiwać w najbliższych latach zdecydowanego wzrostu wykorzystania tego bloku. Zerowa emisja dwutlenku węgla i dodatkowe wpływy z tytułu świadectw pochodzenia energii elektrycznej (a w przyszłości może również ciepła) mogą spowodować, że stopień wykorzystania BC50 przekroczy 7500 godzin w roku. Pozostałe dwie jednostki będą stanowiły rezerwę w okresie letnim, a w sezonie grzewczym będą wykorzystywane w stopniu zależnym od obciążeń cieplnych jako uzupełnienie bloku BC50.

### Koncepcja realizacji przejścia do pracy wydzielonej turbozespołów ciepłowniczych

Automatyka bloku – kotła i turbiny – na wszystkich trzech blokach w EC Karolin jest przystosowana do realizacji zrzutu mocy do poziomu potrzeb własnych każdego bloku (praca bloku na potrzeby własne – PPW).

Jednak wielokrotne zdarzenia eksploatacyjne, które miały miejsce na każdym z trzech bloków, potwierdziły, że pomimo prawidłowo realizującej proces odciążenia bloku automatyki regulacji blokowej bloki nie utrzymują się w pracy z obciążeniem potrzebami własnymi. Przyczyną takiego zachowania się urządzeń są elementy wykonawcze automatyki kotłowej, niepotrafiące prawidłowo opanować szybkiego zrzutu wydajności kotłów.

Na podstawie dokonanych ocen można stwierdzić, że prawdopodobieństwo skutecznego przejścia do pracy na potrzeby własne któregośkolwiek z trzech bloków ciepłowniczych, a następnie realizacja pracy wydzielonej elektrociepłowni, jest mało prawdopodobne. Należy stwierdzić, że ten sposób obrony zdolności wytwórczych EC II Karolin jest nierealizowalny przy obecnym stanie technologicznym. Doprowadzenie do pewnego przechodzenia EC II Karolin do pracy wydzielonej, poprzedzonej przejściem jednego lub kilku bloków do pracy na potrzeby własne, wymagałoby wielu przedsięwzięć, między innymi wyposażenia bloków w urządzenia wykonawcze automatyki kotłowej potrafiące prawidłowo opanować szybkie zrzuty obciążenia kotłów, wyposażenia bloków w szybkie stacje zrzutowe zdolne do przejścia nadmiaru pary generowanej w kotle przy awaryjnym odciążeniu turbozespołu oraz zapewnienia możliwości szybkiego zasilania elektrycznego urządzeń potrzeb ogólnych.

W przypadku EC II Karolin przed wystąpieniem krytycznych parametrów pracy systemu elektroenergetycznego ( $f = 47,5 \text{ Hz}$  i  $U = 0,8 \text{ UN}$ ) proponuje się wcześniejsze zainicjowanie wydzielania układu wyspowego, obejmującą odbiorców przyłączonych do rozdzielni 15 kV i potrzeby własne, zasilanego z generatora bloku BC 50.

Przejęcie turbozespołu ciepłowniczego do pracy wyspowej z rozdzielnią 15 kV oraz zasilanie potrzeb własnych jest procesem trudnym, jednak możliwym do zrealizowania przy stosunkowo ograniczonym niezbalansowaniu mocy generowanej z mocą obciążenia. W przypadku wydzielenia układu wyspowego moc zapotrzebowana przez urządzenia potrzeb własnych zależna będzie od konfiguracji urządzeń wytwórczych zasilających tę wyspę. W przypadku najbardziej prawdopodobnym wydzielony układ wyspowy tworzony będzie w oparciu o blok BC50. W takiej sytuacji pokryte muszą być potrzeby własne bloku BC 50 oraz potrzeby pozostałych bloków (jeśli wcześniej pracowały w trybie ciepłowniczym i zostały awaryjnie odstawione) i potrzeby ogólne.

Propozycja wcześniejszego zainicjowania pracy wydzielonego układu wyspowego obejmującego odbiorców przyłączonych do rozdzielni 15 kV i potrzeby własne, zasilaną z generatora bloku BC 50 ma na celu przede wszystkim ochronę układu technologicznego elektrociepłowni przez utrzymanie zasilania kluczowych dla jego bezpieczeństwa urządzeń. Poza tym przejście do pracy na wydzielonej wyspie obciążeniową stwarza możliwości bardzo aktywnego uczestnictwa EC II Karolin w obronie i odbudowie KSE po awarii katastrofalnej. Szczególnie przydatne może być zasilanie kluczowych odbiorców aglomeracji poznańskiej w tym przede wszystkim zapewnienie poprawnego funkcjonowania systemu ciepłowniczego miasta.

Przejęcie turbozespołu ciepłowniczego do pracy wyspowej z rozdzielnią 15 kV oraz zasilanie potrzeb własnych jak już wspomniano jest procesem trudnym. Dotyczy to w szczególności bloku BC50, którego moc w momencie przechodzenia do pracy w wydzielonym układzie wyspowym nie będzie istotnie odbiegać od mocy zapotrzebowanej wyspy po jej wydzieleniu. Moc zapotrzebowana wydzielonej wyspy zawierać się będzie w przedziale 22,5–46 MW, w zależności od pory roku. Blok BC 50 aktualnie realizuje pracę z mocą nominalną 49 MW, przy ok. 19 MW z biomasy (93 t/h pary) i 30 MW z węgla. Dodatkowo blok ten wykorzystuje pracę dwóch kotłów: BFB-110 i OP-140, co powoduje, że jego minimum techniczne jest bardzo niskie i przy pracy tylko z kotłem BFB-110 nie przekracza 10 MW.

Powyższe uwagi wskazują na to, że blok BC50, przechodząc do pracy na wydzielonej wyspie, może pracować w układzie z dwoma kotłami w przypadku większego zapotrzebowania na moc w wyspie lub pozostać w pracy tylko z kotłem BFB przy małych zapotrzebowaniach na moc w wyspie. Wszystko to powoduje, że w przypadku bloku BC 50 zrzuć mocy przy przechodzeniu do pracy wydzielonej będą bardzo łagodne. Argumentem przemawiającym za wykorzystaniem bloku BC 50 w realizacji pracy na wydzielonej wyspie obciążeniową jest fakt, że blok ten w układzie technologicznym EC II Karolin będzie wykorzystywany w największym stopniu.

Rozwój awarii katastrofalnej w swej końcowej fazie charakteryzuje się wystąpieniem zjawisk o charakterze dynamicznym. Istotną w związku z tym staje się szybkość podejmowanych działań, a tym samym wykorzystywanie dostępnych środków technicznych poprzez aktywację automatyczną wydzielenia układu wyspowego, z pominięciem czynnika ludzkiego. Sposób automatycznego wydzielenia układu wyspowego powinien uwzględniać to, które grupy odbiorców powinny znaleźć się w obszarze wyspy. Przyjęto, że w ramach wyspy zasilane będą: urządzenia potrzeb własnych bloku pracującego w wyspie (bloku BC 50), urządzenia potrzeb ogólnych elektrociepłowni, zewnętrzne odbiory przyłączone do rozdzielni 15 kV i ewentualnie potrzeby własne pozostałych

dwóch bloków, jeśli zostały one odstawione awaryjnie w następstwie awarii katastrofalnej. Konieczne staje się wydzielenie w ramach wyspy, oprócz bloku ciepłowniczego BC 50 wraz z rozdzielnią potrzeb blokowych 1BB, również rozdzielni potrzeb ogólnych BA i rozdzielni z nią współpracujących oraz rozdzielni 15 kV.

Aby takie wydzielenie zrealizować, należy zmienić normalny układ pracy GPZ-u EC II Karolin, który stworzy możliwość wydzielenia systemu I rozdzielni 110 kV na potrzeby wydzielanego układu wyspowego.

Automatyczne wydzielenie układu wyspowego obejmowałoby następujące przełączenia:

- wyłączenie linii przyłączonych do systemu I: ANT, POE i SWA
- załączenie sprzęgła między systemami szyn w rozdzielni 6 kV BA
- wyłączenie transformatora rezerwowo-rozruchowego BT2
- załączenie sprzęgła między systemami szyn w rozdzielni 15 kV
- wyłączenie transformatora T4 zasilającego rozdzielnię 15 kV
- otwarcie sprzęgła między systemami I i II rozdzielni 110 kV.

Schemat planowanego wydzielonego układu wyspowego przedstawiono na rys. 2.

Przedstawiony scenariusz wykorzystania bloku ciepłowniczego BC 50 do automatycznego wydzielenia wyspy obciążeniowej, a więc do jego aktywnego udziału w utrzymaniu zdolności wytwórczych EC II Karolin w warunkach awarii katastrofalnej krajowego systemu elektroenergetycznego, wymaga potwierdzenia eksperymentalnego. W tym celu podjęto decyzję o konieczności przeprowadzenia serii badań weryfikujących założoną koncepcję pracy wydzielonej EC Karolin.

W dniu 14 września 2013 przeprowadzono pierwszy eksperyment „ręcznego” wydzielenia układu wyspowego z blokiem ciepłowniczym BC 50.

#### **Eksperyment systemowy wydzielenia układu wyspowego z blokiem ciepłowniczym BC 50 – przeprowadzony 14 września 2013 r.**

Celem eksperymentu było potwierdzenie i rozwiązanie następujących zagadnień:

- potwierdzenie możliwości przejścia bloku ciepłowniczego BC 50 do układu wyspowego z obciążeniem potrzeb własnych elektrociepłowni Karolin i odbiorów przyłączonych linią 110 kV COŚ (Centralna Oczyszczalnia Ścieków) do rozdzielni 110 kV,
- ocena stopnia zbilansowania mocy generowanej i mocy zapotrzebowanej w ramach wydzielonej wyspy,
- określenie możliwości regulacyjnych turbogeneratora bloku BC 50 w zakresie regulacji obrotów w warunkach pracy wydzielonej,
- zbadanie możliwości regulacyjnych napięcia turbogeneratora bloku BC 50 EC Karolin w celu zapewnienia odpowiednich poziomów napięcia w wydzielonym układzie wyspowym,
- potwierdzenie możliwości synchronizacji autonomicznie pracującego układu wyspowego z systemem elektroenergetycznym.

Obciążenie mocą cieplną w dniu eksperymentu zawierało się w przedziale 55 - 70 MW. Potrzeby systemu ciepłowniczego miasta Poznań pokrywał samodzielnie blok nr 3. Brak obciążenia bloku BC 50 mocą cieplną pozwala na pracę tylko z kotłem fluidalnym (BFB). Przewidywane obciążenie mocą elektryczną bloku BC 50 to około 10 MW. Blok przyłączony był typowo do systemu S1 rozdzielni 110kV GPZ Karolin. System S1 wydzielony został do pracy

wyspowej z linią 110 kV COŚ i transformatorem BT1 zasilającym sekcję A rozdzielni potrzeb ogólnych Elektrociepłowni 6 kV BA. Z sekcji A rozdzielni BA zasilane była między innymi rozdzielnia potrzeb własnych niepracującego bloku BC100, którego odbiory wytypowane zostały do przeprowadzenia zmian obciążenia na wyspie.

Czynności przygotowawcze do próby poprzedzone były szeregiem spotkań wszystkich zainteresowanych stron, tj. DALKIA Poznań ZEC S.A., DALKIA Poznań S.A., ENEA Operator Sp. z o.o., Polskie Sieci Elektroenergetyczne Zachód S.A., AQUANET S.A. W wyniku ostatecznych uzgodnień wszystkich podmiotów uczestniczących w eksperymencie zostało zawarte porozumienie o przeprowadzeniu eksperymentu w dniu 14 września 2013 i ustalony został jej szczegółowy program.

Zgodnie z ustaleniami w dniu eksperymentu wykonane zostały przełączenia w sieci 110 kV i układzie potrzeb własnych elektrociepłowni Karolin. Układ elektryczny po przełączeniach przed rozpoczęciem eksperymentu przedstawiono na rys. 3 (oznaczono kolorem czerwonym).

Blok BC 50 pracował z obciążeniem około 11 MW. Obciążenia istotne dla pracy wyspowej były następujące:

- obciążenie linii 110kV COŚ- 2,1 MW i 0,4 Mvar,
- obciążenie sekcji 1 rozdzielni 6kV BA (z BT1) – 5,5 MW i 4,5 Mvar,
- potrzeby własne bloku nr 1 (z 1BT) – 4,1 MW i 3,0 Mvar.

Przewidywane obciążenie w wydzielanej wyspie wynosiło zatem 11,7 MW i 7,9 Mvar

Wydzielenie układu wyspowego nastąpiło przez wyłączenie wyłącznika sprzęgła 110 kV rozdzielni 110kV. Ze względu na wahania obrotów turbozespołu w trakcie pracy wyspowej zmieniony został statyzm regulatora obrotów z 6 % do 12 % turbozespołu bloku BC 50.

Podczas pracy wyspowej obserwowano zmienność parametrów elektrycznych wyspy (moc, częstotliwość, napięcie) jakie wystąpiły przy zmianach obciążenia układu przez załączanie i wyłączenie odbiorów potrzeb własnych bloków BC 100 i BC 50.

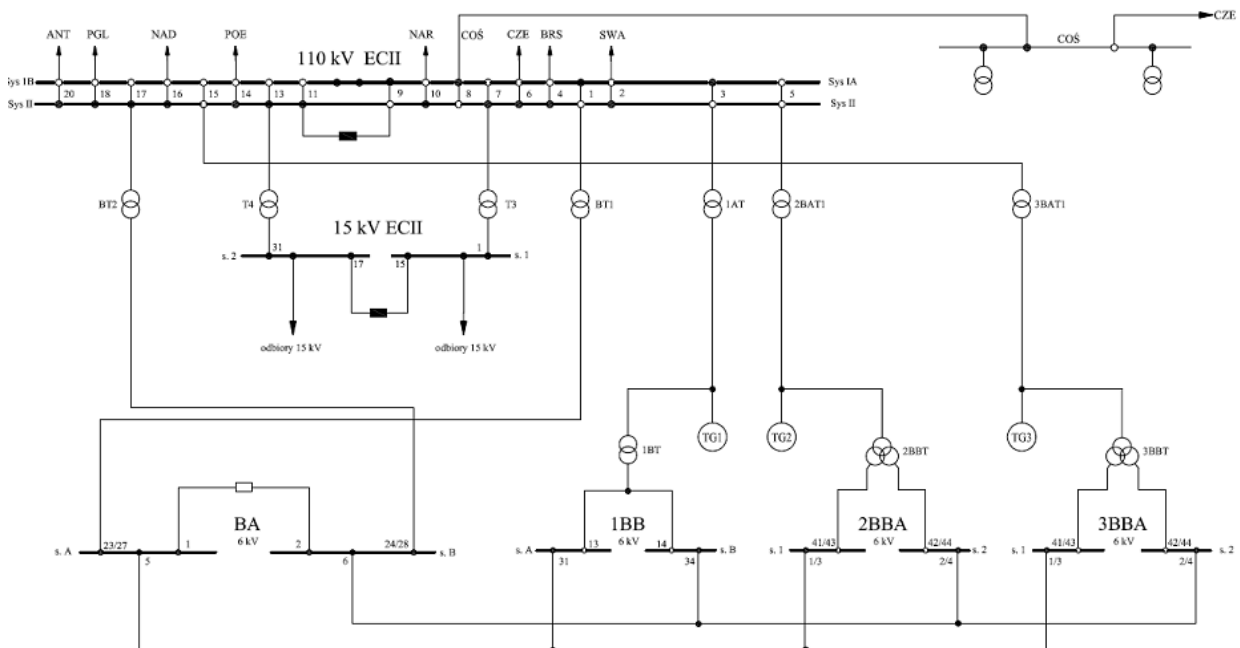
Czas pracy układu wyspowego trwał około 30min. Synchronizacja wyspy do systemu elektroenergetycznego odbyła się na wyłączniku sprzęgła poprzez układ synchronizatora bloku BC 50.

Czasowy harmonogram przebiegu eksperymentu przedstawiono w tabeli 2.

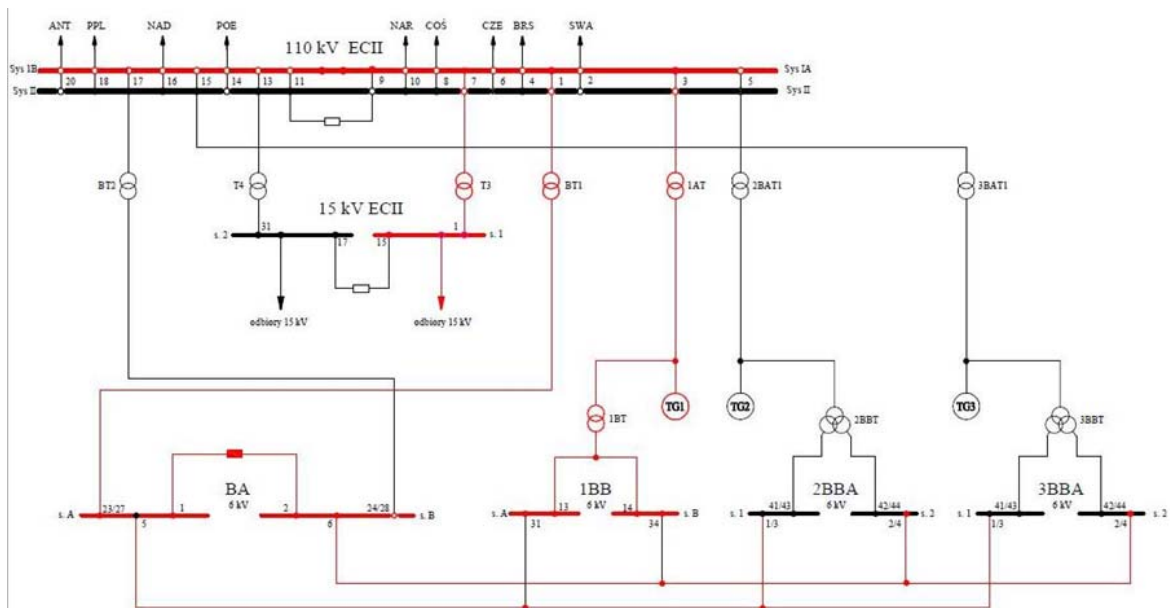
Tabela 2. Rzeczywisty harmonogram czasowy przebiegu eksperymentu w dn. 14.09.2013 r.

I.p	Godzina	Zrealizowane zadanie
1.	14:29:19	Przejście turbozespołu bloku nr 1 w tryb regulacji obrotów RO
2.	14:32:39	Wyłączenie sprzęgła – utworzenie wyspy obciążeniowej (12,1 MW i 8,1 Mvar)
3.	14:33:15	Korekta statyzmu z 6 % na 10 %
4.	14:33:17	Statyzm 10 %
5.	14:34:00	Korekta statyzmu z 10 % na 12 %
6.	14:34:10	Statyzm 12 %
7.	14:35:48	Wyłączenie pierwszego wentylatora młynowego bloku nr 2 (200 kW)
8.	14:36:40	Wyłączenie drugiego wentylatora młynowego bloku nr 2 (200 kW)
9.	14:38:12	Wyłączenie wentylatora powietrza pierwotnego bloku nr 2 (560 kW)
10.	14:43:09	Załączenie wentylatora powietrza bloku nr 2 (560 kW)
11.	14:44:57	Załączenie pierwszego wentylatora młynowego bloku nr 2 (200 kW)
12.	14:45:14	Załączenie drugiego wentylatora młynowego bloku nr 2 (200 kW)
13.	14:47:28	Wyłączenie pompy wody zasilającej 10LAC20 bloku nr 1
14.	14:57:20	Błędne wyłączenie regulacji obrotów RO
15.	14:57:38	Ponowne załączenie regulacji obrotów RO
16.	15:00:20	Synchronizacja wyspy z KSE – załączenie sprzęgła w rozdzielni 110 kV
17.	15:00:45	Przełączenie pracy automatyki turbozespołu nr 1 z regulacji obrotów na regulację mocy

Podczas eksperymentu wykonywane były, obok standardowo mierzonych wielkości w EC II Karolin, pomiary i rejestracje następujących wielkości przy wykorzystaniu rejestratorów cyfrowych zainstalowanych na czas eksperymentu: w rozdzielni 110 kV EC Karolin w torze wyprowadzenia mocy netto z bloku BC 50 oraz na transformatorze BT1 po stronie 110 kV. Pomiary w czasie eksperymentu były realizowane przy wykorzystaniu rejestratorów cyfrowych klasy A: PQ Box 100 i Unilyzer.



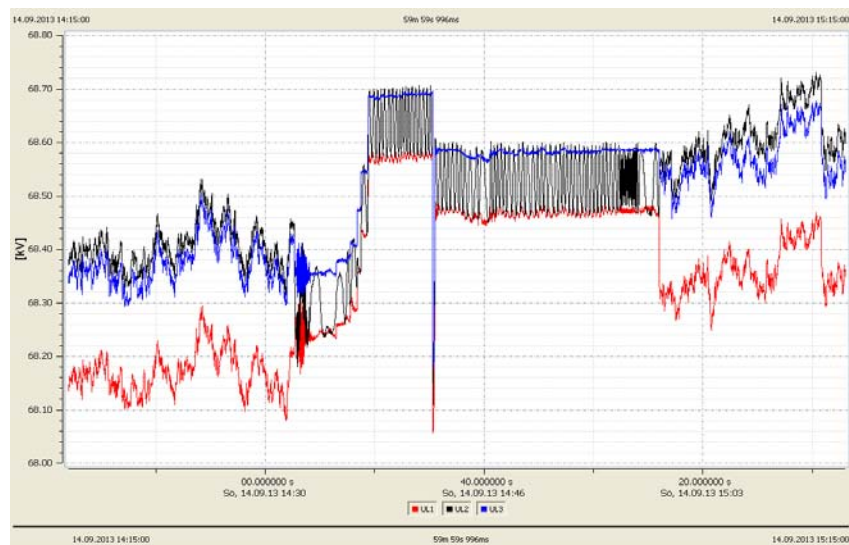
Rys. 2. Układ elektryczny EC II Karolin przed wydzieleniem układu wyspowego z blokiem BC 50



Rys. 3. Schemat wydzielanego układu wyspowego z blokiem BC 50 (oznaczony kolorem czerwonym) na terenie EC II Karolin



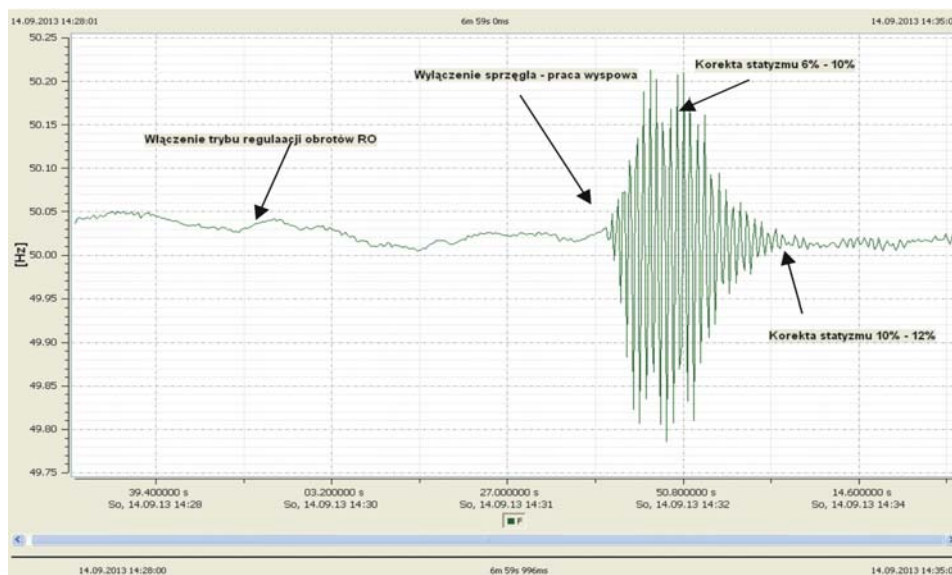
Rys.4. Zmiany częstotliwości w wydzielonym układzie wyspowym zarejestrowane w czasie trwania eksperymentu



Rys. 5. Napięcia fazowe zarejestrowane w torze wyprowadzenia mocy z bloku BC 50 (110 kV) w czasie trwania eksperymentu.



Rys. 6. Zarejestrowane podczas trwania eksperymentu wielkości charakteryzujące pracę układu ciepłego bloku BC 50



Rys. 7. Częstotliwość zarejestrowana w torze wyprowadzenia mocy z bloku BC 50 (110 kV) podczas wydzielania układu wyspowego

### Wybrane wyniki pomiarów uzyskane podczas eksperymentu

W trakcie eksperymentu wyróżnić można trzy charakterystyczne okresy :

- wydzielania układu wyspowego z blokiem BC 50,
- praca układu wyspowego ze zmianami obciążenia,
- synchronizacja układu wyspowego z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym (KSE).

Istotne z punktu widzenia wymagań regulacji częstotliwości (50Hz +/- 1 Hz) i regulacji napięcia z dokładnością  $U_n \pm 5\%$  w zakresie 0,8-1,1  $U_n$  generatora zawartych w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowych (IRiESP) są zmiany tych wielkości zarejestrowane w czasie trwania całego eksperymentu. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono odpowiednio wyniki pomiarów rejestrowanych w rozdzielni 110 kV:

Zmiany częstotliwości, które świadczą o własnościach układu regulacji obrotów turbozespołu, w czasie trwania całego fazy eksperymentu były niewielkie (rys. 4). Zakres zmian to 50,486 – 49,985 Hz, a większe zmiany wystąpiły tylko w okresie błędnego wyłączenia regulacji obrotów RO(P) tuż przed synchronizacją (50,486 Hz). Należy uznać, że zarówno regulacja częstotliwości (zmiany maksymalne około 1 %), jak również regulacja napięcia (zmiany również maksymalne około 1 %) w pełni spełniają wymogi IRiESP w odniesieniu do pracy wyspowej.

Wyniki przedstawione na rys. 6 pokazują, że zmianom obciążenia turbozespołu i związanym z tym zmianom położenia zaworów regulacyjnych przed częścią WP i zmianom przepływu pary z kotła do turbiny nie towarzyszą znaczne zmiany ciśnienia pary, a układ regulacji parametrów kotła skutecznie reguluje te parametry.

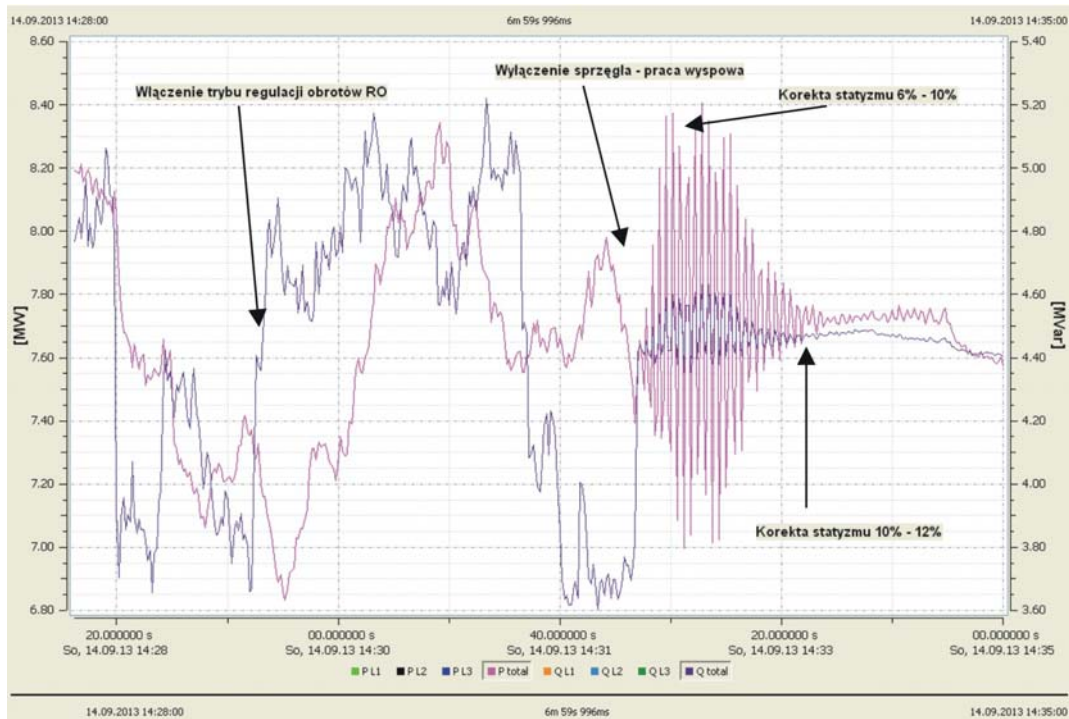
Moment przejścia do pracy wyspowej charakteryzowały oscylacje regulacji częstotliwości przy statyzmie 6%. Dwukrotna korekta statyzmu przez przedstawiciela firmy Emerson – z poziomu 6 % do 10 % i następnie do 12% zlikwidowała te oscylacje. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono te zjawiska.

Zmiany obciążenia, wywołane załączeniem lub wyłączeniem dużych odbiorów w EC II Karolin (rys. 9) powodowały odchylenia częstotliwości. Jednak układ regulacji obrotów szybko te zmiany opanowywał. Ilustruje to przebieg częstotliwości przedstawiony na rys.10.

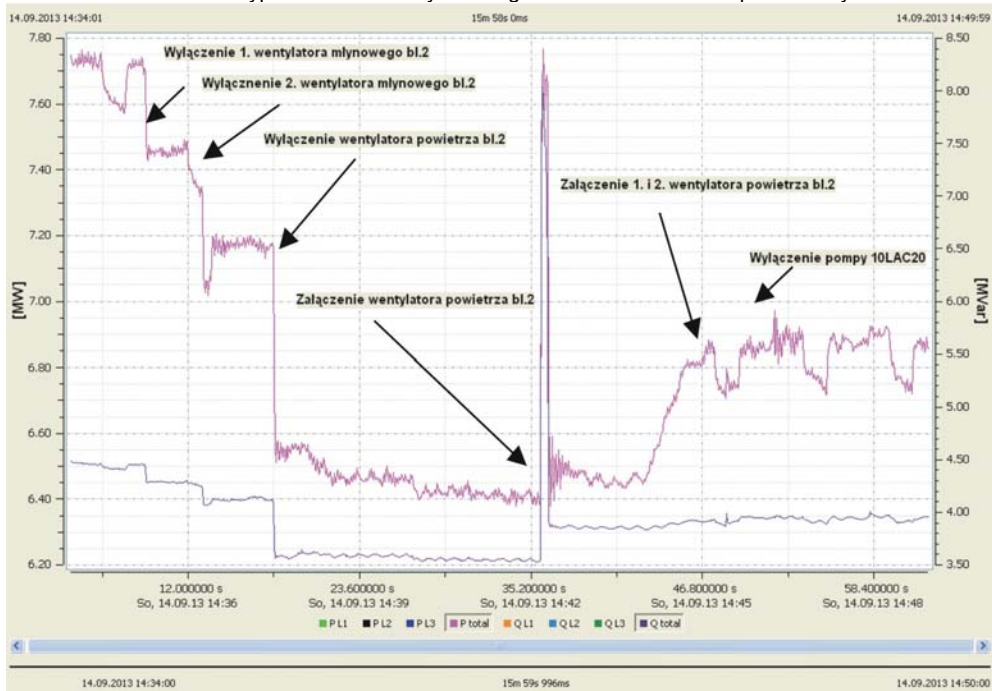
Największe zmiany częstotliwości i napięć wystąpiły podczas załączania największego z przełączanych odbiorów – wentylatora powietrza bloku BC 100, który

wprowadzał zmiany mocy w wyspie na poziomie około 0,5 MW. Zmiany częstotliwości, napięć i prądów zarejestrowane w trakcie uruchamiania wentylatora powietrza przedstawiono na rysunkach 11 i 12

Fazę synchronizacji wydzielonego układu wyspowego z wyspy z KSE ilustruje rysunek 13. Tuż przed synchronizacją – doszło do niezaplanowanego wyłączenia trybu regulacji obrotów RO(P) i przejście w tryb regulacji mocy jeszcze podczas pracy w układzie wydzielonym. Następujący po tym niekontrolowany wzrost prędkości obrotowej zatrzymany został przez ponowne załączenie regulacji obrotów i następnie powrót prędkości w okolicy 3000 obr/min.



Rys.8. Moc czynna i bierna netto w torze wyprowadzenia mocy z turbogeneratora bloku BC 50 podczas wydzielania układu wyspowego

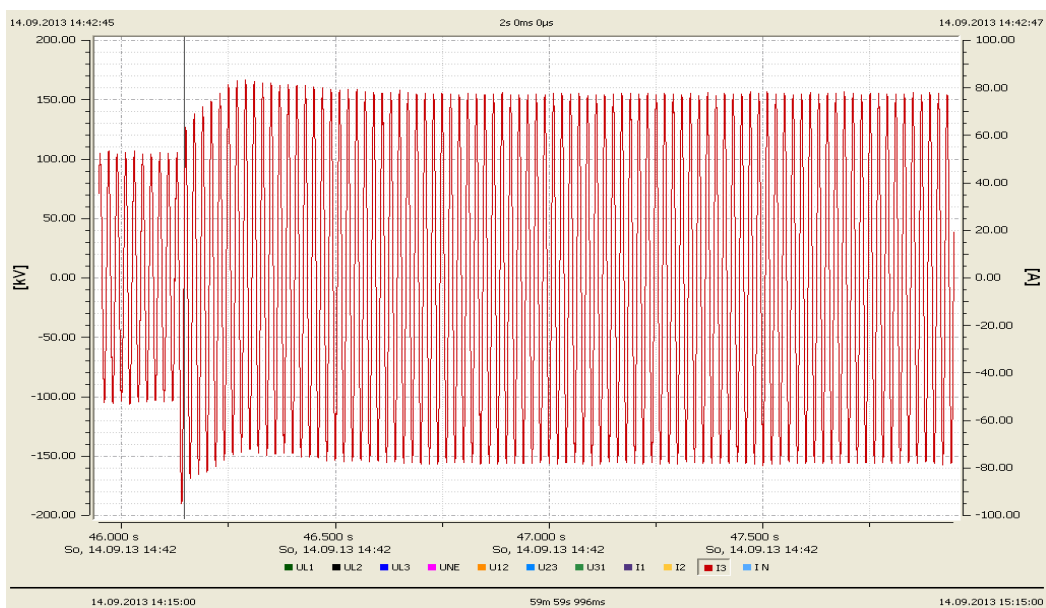


Rys. 9. Moc czynna i bierna netto w torze wyprowadzenia mocy z turbogeneratora bloku BC 50 podczas zmian obciążeniowych w wyspie

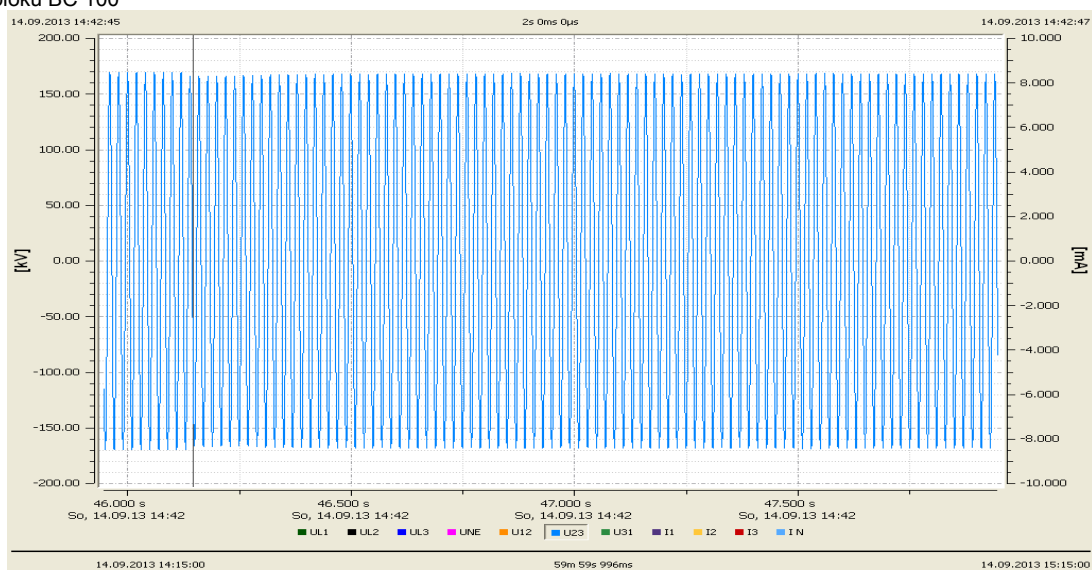




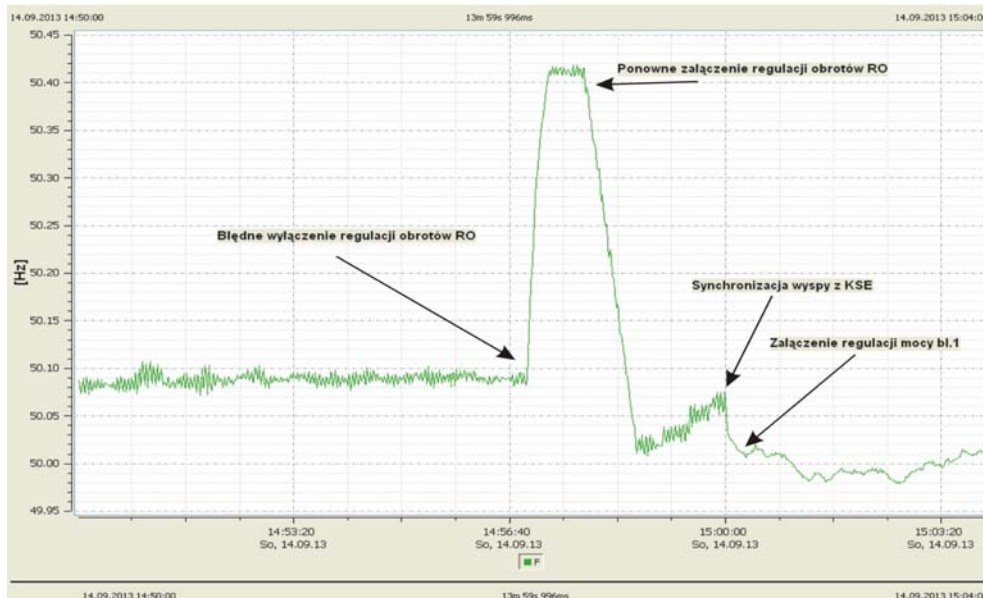
Rys. 10. Częstotliwość w torze wyprowadzenia mocy z turbogeneratora bloku BC 50 podczas zmian obciążeniowych w wyspie



Rys. 11. Wartości chwilowe prądu w torze wyprowadzenia mocy z bloku BC 50 (110 kV) zarejestrowany podczas załączenia wentylatora powietrza bloku BC 100



Rys. 12. Wartości chwilowe napięcia w torze wyprowadzenia mocy z turbogeneratora bloku BC 50 (110 kV) w czasie rozruchu wentylatora powietrza bloku nr 2 (500 kW)



Rys. 13. Częstotliwość w torze wyprowadzenia mocy z turbogeneratora bloku BC 50 podczas synchronizacji wydzielonego układu wyspowego z KSE

### Wnioski

Określone w IRIESP [5] wymagania techniczne w zakresie przystosowania jednostek wytwórczych do udziału w obronie i odbudowie zasilania KSE mają na celu doprowadzenie do sytuacji, w której źródła energii elektrycznej w warunkach awarii katastrofalnej będą skutecznie odbudowywać swoje zdolności wytwórcze zdecydowanie skracając czas restytucji całego systemu elektroenergetycznego. Przeprowadzona próba „ręcznego” przejścia do pracy wyspowej bloku BC 50 z odbiorami wewnętrznymi EC Karolin i odbiorcą zewnętrznym COŚ, pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przeprowadzona próba potwierdziła, że istnieje możliwość realizacji scenariusza wydzielenia wyspy obciążeniowej z blokiem BC 50.
2. Próba wykazała, że zarówno regulacja częstotliwości w wyspie, jak również regulacja napięcia realizowana jest poprawnie. Jednak pełną odpowiedź na prawidłową pracę regulatorów zgodnie z wymaganiami IRIESP może dać kolejny eksperyment, w którym zmiany obciążenia w układzie pracy wyspowej będą znacznie większe niż około 0,5MW.
3. Na podkreślenie zasługuje właściwa koordynacja układów regulacji kotła BFB z regulatorem obrotów turbozespołu.
4. Analizy wymaga ustawienie poziomu statyzmu regulatora obrotów przy pracy w układzie wyspowym.
5. Przeprowadzony eksperyment potwierdził, że ten sposób weryfikacji poprawności założeń w scenariuszach obrony zdolności wytwórczych elektrociepłowni pozwala na identyfikację barier ich realizacji i eliminację tych przeszkód.
6. Na podkreślenie zasługuje podjęcie wspólnych działań DALKIA ZEC Poznań SA, ENEA Operator Sp. z o.o, Polskie Sieci Elektroenergetyczne Zachód SA i AQUANET SA., w celu dążenia do poprawy bezpieczeństwa energetycznego aglomeracji poznańskiej.
7. Dalsze działania zmierzające do przygotowania układu automatycznego wydzielenia wyspy przy osiągnięciu krytycznych wartości częstotliwości i napięć w systemie elektroenergetycznym wymagają prowadzenia dalszych prac w tym zakresie. Proponuje się rozważenie

celowości kolejnego eksperymentu z powiększoną grupą odbiorców zewnętrznych przyłączonych do rozdzielni 15 kV i znacznie głębszymi zmianami obciążenia w autonomicznie pracującej wyspie z blokiem nr BC 50.

8. Wydzielenie układu wyspowego z odbiorcami przemysłowymi wymaga uzgodnień techniczno-technicznych z nimi oraz techniczno-ekonomicznej analizy ryzyk związanych z zachowaniem jakości i ciągłości dostaw energii elektrycznej do odbiorców.

### LITERATURA

- [1] Rychlik J., Kuczyński R., Regulacyjne Usługi Systemowe – środki techniczne obrony i odbudowy KSE, II Konferencja Naukowo-Techniczna „Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny”, Poznań, kwiecień 2007, Energetyka – zeszyt tematyczny 2007, nr X.
- [2] Dudzik J., Kuczyński R., Strategia obrony i odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, rola wytwórców w planach odbudowy, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Black-out a Krajowy System Elektroenergetyczny”, Poznań, październik 2008, Energetyka – zeszyt tematyczny 2008, nr XVII.
- [3] Pasiut G., Rychlik J., Kielak R., Weryfikacja zdolności jednostek wytwórczych do udziału w procesie obrony i odbudowy zasilania KSE, w świetle zapisów IRIESP, Energetyka – zeszyt tematyczny 2010, nr XX.
- [4] Grządzielski I., Sroka K., Pic J., Łacny A. Możliwości pracy wydzielonej bloków elektrociepłowni miejskiej w stanach rozległej awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego, ActaEnergetica, Materiały Konferencji APE2013, Jurata 2013.
- [5] Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Wersja 2.0, tekst jednolity obowiązujący od 1 stycznia 2012.

**Autorzy:** Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, dr. inż. Ireneusz Grządzielski, E-mail: [ireneusz.grzadzieski@put.poznan.pl](mailto:ireneusz.grzadzieski@put.poznan.pl); dr inż. Krzysztof Sroka, E-mail: [krzysztof.sroka@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.sroka@put.poznan.pl); Dalkia Poznań Zespół Elektrociepłowni S.A., ul. Gdyńska 12, 60-965 Poznań, mgr inż. Arkadiusz Łacny e-mail: [ALacny@dalkia.pl](mailto:ALacny@dalkia.pl)