

## Duża elektrociepłownia miejska w procesach obrony i restytucji krajowego systemu elektroenergetycznego

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki prac związanych z wydzieleniem układu wyspy obciążeniowej Elektrociepłowni Karolin w warunkach zagrożenia awarią systemową oraz przygotowania do eksperymentu systemowego polegającego na podaniu napięcia i mocy rozruchowej z Elektrowni Szczytowo-Pompowej Żydowo torem rozruchowym 110 i 220 kV do tej elektrociepłowni i dokonanie rozruchu bloku ciepłowniczego BK100.

**Abstract.** The article shows the results of work related with separation of the load island system of Elektrociepłownia Karolin in condition of alert state of system failure and preparation for the system experiment which consist on providing voltage and startup power from Elektrownia Szczytowo-Pompowa Żydowo with startup path 110 and 220kV to this CHP-plant and perform startup of heating unit BK100 (**Large urban CHP-plant in defense processes and restitution of polish power system**)

**Słowa kluczowe:** awaria katastrofalna, elektrociepłownia, restytucja, system elektroenergetyczny.

**Keywords:** black-out, CHP-plant, restitution, electric power system.

### Wstęp

Problematyka przygotowania dużych jednostek wytwórczych (zlokalizowanych w tzw. elektrowniach systemowych) do udziału w obronie i odbudowie systemu elektroenergetycznego była wielokrotnie poruszana szczególnie w kontekście specjalnych usług regulacyjnych jako standardowy wymóg dla nowych i modernizowanych jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD). Zagadnienia dotyczące źródeł lokalnych, przede wszystkim ze względu na skomplikowanie zagadnienia oraz fakt nie objęcia ich częścią wymagań Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP) nie były uwzględniane jako źródła czynnie uczestniczące w procesach obrony i odbudowy KSE.

W kontekście zachodzących obecnie w poszczególnych krajach zmian w strukturze zainstalowanych w systemie źródeł wytwórczych, w szczególności tendencja dynamicznego zwiększania się udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej i wypieranie energii ze źródeł konwencjonalnych, obowiązek przystosowania jednostek wytwórczych do regulacji pierwotnej został nałożony już na jednostki wytwórcze o mocy 50 MW i powyżej oraz wszystkie przyłączone do napięcia 110 kV i powyżej, niezależnie od ich technologii [1]. Ponadto w IRiESP wymagania techniczne w zakresie przystosowania jednostek wytwórczych do udziału w obronie i odbudowie zasilania KSE są obligatoryjne dla jednostek wytwórczych o mocy osiągalnej równej 50 MW lub wyższej, o ile OSP nie wyrazi zgody na odstępstwa od ich stosowania.

W ten sposób w grupie źródeł lokalnych, które mogą aktywnie uczestniczyć w realizacji scenariuszy obrony i odbudowy KSE znajdują się przede wszystkim duże elektrociepłownie z blokami ciepłowniczymi. Rola tych źródeł w niektórych przypadkach może zwiększyć się zarówno w obszarze bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego jako całości, jak również przez sprawniejsze przywracanie zasilania aglomeracji miejskich w przypadku totalnej awarii w systemie elektroenergetycznym.

Na elektrociepłowniach znajdujących się w obrębie aglomeracji miejsko-przemysłowych spoczywa główny ciężar zasilania lokalnych odbiorców sieci elektrycznej i sieci ciepłowniczej [2]. Nawet jeśli jednostki wytwórcze nie są zdadne do pełnienia funkcji rozruchowych jednostek samostartujących lub wirujących z przejściem podczas awarii katastrofalnej do pracy wydzielonej elektrociepłowni (PWE) po udanej obronie, to mają one, po uruchomieniu z

obcego źródła, duże znaczenie przy tworzeniu wysp obciążeniowych i pracę wyspową z czynną wówczas regulacją prędkości obrotowej RO(P) regulatorów turbin, po załączeniu ich jednostek wytwórczych do sieci zarówno w układzie jedno – jak i zazwyczaj wielomaszynowym.

Podjmując w elektrociepłowni właściwe działania mające na celu przede wszystkim ochronę układu technologicznego jednostek wytwórczych, można stworzyć również takie warunki, że odegrać może ona szczególną rolę w procesie przywracania zasilania energią elektryczną i ciepłem aglomeracji miejskiej w warunkach awarii katastrofalnej. W Poznaniu takie zadanie może realizować elektrociepłownia EC Karolin należąca do VEOLIA ENERGIA Poznań ZEC SA.

Elektrociepłownia EC 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: nr 1 – BC50, nr 2 – BC100 i nr 3 – BK100.

Pokrywanie obciążeń elektrycznych przez jednostki ciepłownicze w dużym stopniu jest zdeterminowane poziomem zapotrzebowania na ciepło. W szczególności dotyczy to bloków nr 1 i 2, pracujących w trybie przeciwpiętnym. Wyjątek stanowi blok nr 3, którego własności eksploatacyjne, wynikające z trybu upustowo-kondensacyjnego, pozwalają na niezależne wytwarzanie energii elektrycznej nawet przy zerowym zapotrzebowaniu na ciepło z tego bloku. Z tego względu blok nr 3 jest wykorzystywany jako jednostka interwencyjna w systemie elektroenergetycznym z tzw. generacją wymuszoną energii elektrycznej, zgodnie z aktualnymi potrzebami systemowymi. Jest to aktualnie jedyny w Polsce blok ciepłowniczy traktowany w KSE jako JWCD.

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

VEOLIA ENERGIA Poznań ZEC SA, jako operator systemu dystrybucyjnego (OSDn), posiada na swoim terenie rozdzielnię 15 kV z przemysłowymi odbiorcami dystrybucyjnymi. W ramach działalności operatorskiej w swojej sieci dystrybucyjnej, VEOLIA ENERGIA Poznań ZEC SA jest dystrybutorem energii elektrycznej dla odbiorców na poziomie 15 kV i jako OSDn realizuje swoje obowiązki

wobec PSE za pośrednictwem ENEA Operator, która jest OSDp – operatorem posiadającym bezpośrednie połączenia z siecią przesyłową.

Od kilku lat podejmuje się zadania związane z przygotowaniem EC Karolin do ewentualnej realizacji odpowiednich scenariuszy postępowania w zakresie obrony i odbudowy jej zdolności wytwórczych.

Pierwszym etapem w zakresie określenia roli i miejsca danej elektrociepłowni w planie obrony i odbudowy KSE jest szczegółowa analiza możliwości technicznych pracy jednostek wytwórczych przy parametrach pracy systemu znacznie odbiegających od wartości znamionowych. W szczególności analiza ta obejmuje:

- ocenę możliwości obrony zdolności wytwórczych EC polegającej na przejściu do pracy wydzielonej z uwzględnieniem istniejących uwarunkowań wewnętrznych,
- ocenę możliwości odbudowy zdolności wytwórczych EC w warunkach awarii katastrofalnej przez podanie napięcia i mocy rozruchowej z zewnątrz.

Prace związane z badaniami nad określeniem roli EC Karolin w procesie obrony i odbudowy KSE w warunkach awarii katastrofalnej rozpoczęto już w roku 1998 przeprowadzając eksperyment systemowy z udziałem tej elektrociepłowni, polegający na podaniu napięcia z autonomicznie pracującego bloku BC50 i uruchomienie bloku energetycznego o mocy 200 MW w Elektrowni Pątnów (Zespół Elektrowni PAK S.A.) [3].

Od tamtego czasu w EC Karolin podejmowane są kolejne działania mające na celu stworzenie warunków do aktywnego udziału tego źródła energii w restytucji KSE w warunkach awarii typu blackout.

Aktualnie prace w tym zakresie obejmują dwie grupy zagadnień: możliwości tworzenia układu wyspowego w oparciu o jeden z bloków ciepłowniczych oraz możliwości odbudowy zdolności wytwórczych jednostek elektrociepłowni przez podanie napięcia z zewnętrznego źródła rozruchowego.

### Koncepcja tworzenia układów wyspowych w oparciu o urządzenia wytwórcze EC Karolin

Idea szybkiego wydzielenia układów wyspowych o małych mocach może być, z punktu widzenia późniejszego procesu odbudowy KSE, bardzo ważnym elementem obrony. Rozwiązanie to ma uzasadnienie przede wszystkim z punktu widzenia poprawy bezpieczeństwa energetycznego dużych aglomeracji miejskich. Wydzielenie wielkomiejskich układów wyspowych może mieć ogromne znaczenie, 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 taka powinna zapewnić zasilania niewrażliwych dla elektrociepłowni urządzeń energetycznych gwarantujących ochronę jej układu technologicznego przed uszkodzeniami, ochronę systemu ciepłowniczego oraz stworzenie warunków aktywnego uczestnictwa elektrociepłowni w procesie odbudowy KSE.

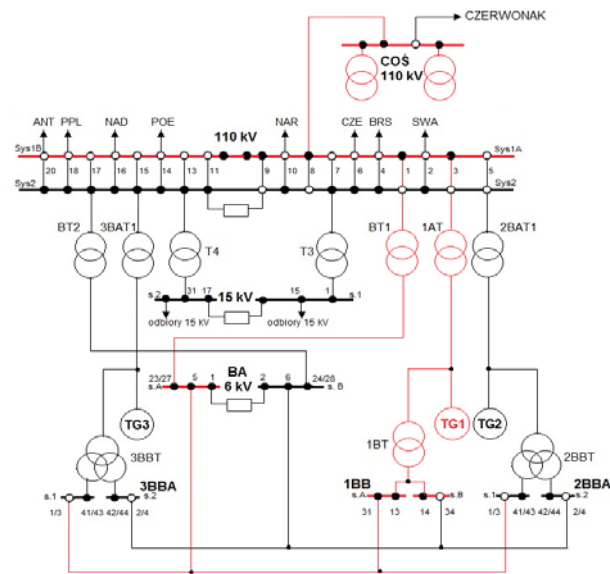
W EC Karolin podjęto działania w celu określenia możliwości wydzielenia układu wyspowego z blokiem ciepłowniczym BC50 w stanach rozległej awarii katastrofalnej KSE [4]. Bardzo istotnym etapem tych prac było przygotowanie i przeprowadzenie w połowie września 2013 r. pierwszego eksperymentu wydzielenia układu wyspowego z blokiem ciepłowniczym BC50 o mocy elektrycznej 50 MW [5]. Warunkiem koniecznym wykorzystania skutecznego wydzielenia układu wyspowego z blokiem BC50 będzie zainstalowanie odpowiedniego układu automatyki wydzielającej. Będzie to końcowy etap

podjętych działań w celu znacznej poprawy bezpieczeństwa energetycznego samej elektrociepłowni EC Karolin, jak i aglomeracji poznańskiej.

Do pracy w wydzielanym układzie wyspowym dedykowany został blok BC50, z powodu jego największego stopnia wykorzystania w ciągu roku. Blok wyposażony jest w dwa kotły parowe: biomasowy BFB-110 nr 1K1 oraz węglowy OP-140 nr 1K2, które współpracując z turbozespołem z turbiną upustowo-przeciwprężną, tworzą duoblok.

Aktualnie wydzielenie układu wyspowego możliwe jest wyłącznie przy wykorzystaniu kotła BFB-110 o znamionowej mocy elektrycznej bloku 19 MW, który charakteryzuje się najniższym minimum technicznym na poziomie ok. 14–15 MW. Stwarza to dogodne warunki utrzymania w ruchu kluczowych urządzeń potrzeb własnych elektrociepłowni bez znacznych nadwyżek generacji. Praca wyspowa z blokiem BC50 nie będzie zatem stanowiła drastycznej różnicy dla pracy w stanie normalnym ze względu na wielkość generowanej przez blok mocy. Ewentualny zrzut mocy będzie zatem przebiegał łagodnie, w przeciwieństwie do dwóch pozostałych bloków, posiadających stosunkowo wysokie minimum techniczne. Dodatkowo blok BC50 jest zdolny do samodzielnego pokrywania obciążeń cieplnych w okresie letnim.

Sytuacja wydzielenia układu wyspowego wymaga jak najdokładniejszego zbilansowania mocy w tym układzie, w celu ochrony urządzeń oraz infrastruktury w EC Karolin. Przyjęto, że prawidłowo wydzielony układ wyspowy powinien spełniać kryterium niezbilansowania w granicach do  $\pm 5$  MW. Schemat elektryczny dla zaproponowanego rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.



Rys.1. Uproszczony schemat elektryczny EC Karolin podczas pracy wyspowej z blokiem BC50 dla wariantu 1K1+1K2

### Próba systemowa wydzielenia wyspy obciążeniowej w EC Karolin

Próba systemowa wydzielenia wyspy obciążeniowej z blokiem ciepłowniczym BC50 miała miejsce dnia 14 września 2013. Celem testu było:

- potwierdzenie zdolności przejścia bloku BC50 do pracy wyspowej z urządzeniami potrzeb własnych oraz odbiorami przyłączonymi do linii 110 kV Centralna Oczyszczalnia Ścieków (COŚ),
- weryfikacja stopnia zbilansowania mocy generowanej mocą zapotrzebowaną wewnątrz zbilansowanej wyspy,

- ocena możliwości pracy regulatora turbogeneratora bloku BC50 w trybie regulacji obrotów,
- określenie zapewnienie odpowiedniego poziomu napięcia w tworzonej wyspie poprzez regulator napięcia turbozespołu bloku BC50,
- zbadanie możliwości synchronizacji wyspy obciążeniowej z systemem elektroenergetycznym.

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami, założono, że odbiorami pracującymi w układzie wyspowym z szacunkowym obciążeniem 11 MW będą:

- linia 110kV COŚ – 2,1 MW i 0,4 Mvar,
  - sekcja 1 rozdzielni 6 kV BA (z BT1) – 5,5 MW i 4,5 Mvar,
  - potrzeby własne bloku nr 1 (z 1BT) – 4,1 MW i 3,0 Mvar.
- Przebieg próby systemowej obejmował trzy główne etapy [6]:
- wydzielenie układu wyspowego z blokiem BC50,
  - praca wydzielonego układu wyspowego ze zmianami obciążenia,
  - synchronizacja wydzielonego układu wyspowego z KSE.

Czas pracy układu wyspowego wynosił około 30min. Schemat elektryczny utworzonego układu wyspowego był zgodny ze schematem przedstawionym na rysunku 1.

Zarejestrowane wyniki pomiarów częstotliwości oraz napięć fazowych pokazują poprawność funkcjonowania układów regulacji w odniesieniu do wymagań IRIESP [1].

Praca układu ze zmianami obciążenia wiązała się z fluktuacjami częstotliwości, które opanowywane były przez układ regulacji obrotów. Najistotniejszy wpływ na zmianę częstotliwości miało załączenie wentylatora powietrza bloku BC-100 o mocy 0,5 MW, co przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Częstotliwość zarejestrowana w torze wyprowadzenia mocy z bloku BC-50 (110 kV) podczas tworzenia układu wyspowego

Układ wyspowy został zsynchronizowany z KSE poprzez zamknięcie sprzęgła między systemami szyn rozdzielni 110 kV EC Karolin.

### Odbudowa zdolności wytwórczych EC Karolin w warunkach awarii katastrofalnej przez podanie napięcia i mocy rozruchowej z zewnątrz

Jeżeli w krajowym systemie elektroenergetycznym nastąpi rozwój awarii systemowej i dojdzie do zaniku napięcia w rozdzielni 110 kV, to przed przystąpieniem do odbudowy zdolności wytwórczych elektrociepłowni wystąpi następujący stan początkowy:

- brak zasilania potrzeb ogólnoelektrowniowych,
- wszystkie wyłączniki blokowe są w stanie otwartym.

Jednostki wytwórcze elektrociepłowni pracujące przed awarią systemową dużym prawdopodobieństwem nie zdołają utrzymać się w stabilnym stanie pracy na potrzeby własne (PPW). Zostaną one awaryjnie odstawione, a ich uruchomienie w takiej sytuacji możliwe jest tylko przez podanie napięcia i mocy rozruchowej z zewnątrz.

Dopuszczalny czas postoju elektrociepłowni w stanie beznapięciowym w znacznym stopniu zależy od warunków meteorologicznych. W warunkach zarówno letnich jak i zimowych czas ten wynosić może od 2 do 3 godzin. W przypadku EC Karolin czynnikiem korzystnym w tym zakresie jest fakt posiadania niezależnego źródła pary technologicznej w postaci parowego kotła opalanego lekkim olejem opałowym, co powoduje, że nie jest konieczne zapewnienie odpowiednich warunków pracy instalacji mazutowych, przez pozyskiwanie pary technologicznej z rozprężania kotła awaryjnie odstawionego bloku ciepłowniczego.

Odbudowa zdolności wytwórczych EC Karolin w oparciu o zasilanie zewnętrzne wymaga podania napięcia do rozdzielni 110 kV przygotowanym torem zasilania, po uprzednim otwarciu wyłączników w polach generatorowych i pozostałych polach liniowych. Najbardziej prawdopodobnym wariantem zasilania jest linia 110 kV Czerwonak.

Po podaniu napięcia na rozdzielnię 110 kV, do zasilania potrzeb ogólnych elektrociepłowni oraz potrzeb własnych uruchamianego bloku można wykorzystać transformatory rezerwowo-rozruchowe BT1 i BT2 oraz most szynowy łączący rozdzielnię BA z rozdzielniami blokowymi 1BB, 2BBA lub 3BBA. Możliwość takiego zasilania można przedstawić na rys. 1.

Przeprowadzenie rozruchu bloku BC 50, BC100 lub BK100 przy wykorzystaniu zasilania zewnętrznego wymaga dostarczenia mocy pokrywającej potrzeby energetyczne wynikające z harmonogramu rozruchu. Ogółem zapotrzebowanie mocy wynosi 9,2 MW (gdy warunki współpracy z miejską siecią ciepłowniczą wymagają uruchomienia pompy głównej sieciowej) lub 7,9 MW bez pompy głównej wody sieciowej.

### Planowana próba podania napięcia rozruchowego z Elektrowni Wodnej Żydowo do Elektrociepłowni Karolin

Planowana jest próba systemowa, której celem będzie potwierdzenie możliwości przeprowadzenia uruchomienia bloku ciepłowniczego BK100 w EC Karolin z wykorzystaniem napięcia i mocy rozruchowej podanej przez wydzielony tor linii 110 i 220 kV z samostartującej Elektrowni Szczytowo-Pompowej (ESP) Żydowo [7]. Termin próby wyznaczono na 22.05. 2016, jednak zbyt wysokie temperatury powietrza atmosferycznego w tym dniu uniemożliwiły realizację tego przedsięwzięcia. Kolejny termin zaplanowano we wrześniu.

W Elektrowni Żydowo po zaniku napięcia na potrzebach własnych ma nastąpić samorozruch elektrowni z wykorzystaniem agregatu prądotwórczego, skutkujący uruchomieniem jednego hydrozespołu i przełączeniem zasilania rozdzielni potrzeb własnych i ogólnych z agregatu na hydrozespół, a następnie uruchomieniem dwóch pozostałych hydrozespołów. Przewiduje się zatem pracę trzech maszyn w trybie regulacji prędkości obrotowej.

Podanie napięcia nastąpi na rozdzielnię 110 kV Elektrowni Żydowo, a następnie na wydzielony tor rozruchowy AT 110/220 kV, linii 220 kV, Żydowo-Piła Krzewina-Plewiska-Czerwonak oraz linię 110 kV Czerwonak – R-110 kV EC Karolin do Elektrociepłowni Karolin.

W Elektrociepłowni Karolin planuje się podanie napięcia z toru rozruchowego na potrzeby własne bloku, a następnie uruchomienie bloku ze stanu gorącego. Blokiem dedykowanym do próby systemowej jest blok BK-100, będący jednostką wytwórczą centralnie dysponowaną (JWCD).

W następnym etapie próby nastąpi synchronizacja układu zasilania bloku z torem rozruchowym, a w konsekwencji – utworzenie wielomaszynowego układu wydzielonego, obciążonego odbiorami potrzeb własnych.

Ostatecznie, po uzyskaniu pozytywnego wyniku eksperymentu systemowego planuje się przełączenie bloku BK-100 do pracy na potrzeby własne.

Uproszczony schemat toru rozruchowego z ESP Żydowo do bloku nr 3 EC Karolin przedstawiono na rys.3.

Harmonogram działań w EC II Karolin:

1. Przełączenia w EC Karolin w dniu poprzedzającym eksperyment
2. W dniu próby, po podaniu napięcia do rozdzielni 110 kV stacji Żydowo - odstawienie bloku BK-100
  - przełączenie potrzeb własnych na zasilanie rezerwowe,
  - całkowite odciążenie sekcji 1 rozdzielni 3BBA,
  - wyłączenie BT1.

Wyłączenie sprzęgła między systemem 1 i 2 (odłączniki zamknięte, wyłączenie otwarte) - OCZEKIWANIE NA NAPIĘCIE W LINII CZE 110 kV.

3. Po pojawieniu się napięcia w linii Czerwonak 110 kV
  - załączenie wyłącznika w polu CZE,
  - załączenie wyłącznika w polu BT1.

*Napięcie na rozdzielniach BA (sekcja A) i BH (sekcja A) oraz na moście rezerwowym 6 kV.*

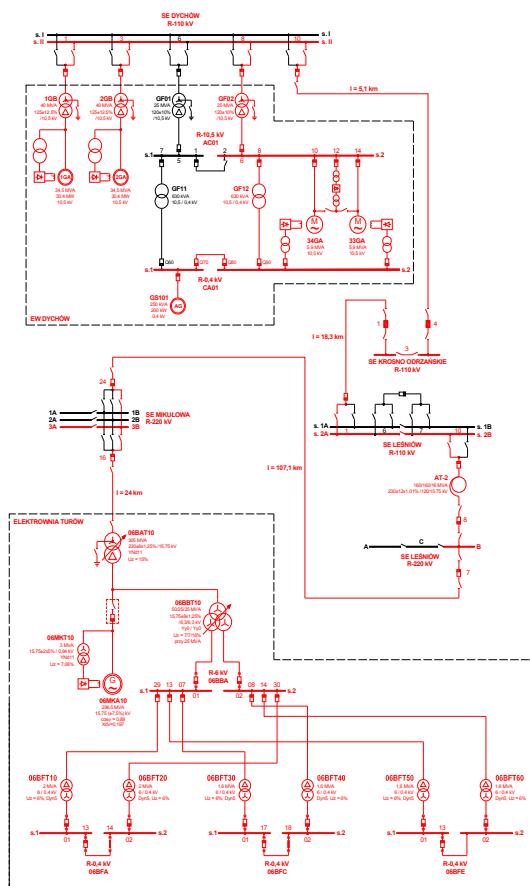
  - załączenie kolejno pomp wody chłodzącej i wentylatorów wody chłodzącej;
  - uruchomienie bloku BK-100 - kolejność załączania odbiorów 6 kV zgodnie z procedurą uruchamiania bloku,
  - dodatkowe dociążenie w układzie mogą stanowić: wentylator młynowy, dwa młyny węglowe, wentylator młynowy, pompa kondensatu, sprężarka .

4. Doprowadzenie parametrów kotła i turbiny do uzyskania 3000 obr/min
5. Synchronizacja uruchomionego bloku z torem rozruchowym
6. Praca układu przez 15 minut - Utrzymanie pracy równoległej w układzie 4-maszynowym z obciążeniem potrzebami własnymi i ogólnymi ESP iEC przez ok. 10 – 15 min (stabilizacja częstotliwości i rozkładu obciążenia)
7. Przejście bloku BK100 do pracy na potrzeby własne - zakończenie udziału w próbie bloku nr 3. W przypadku odstawienia bloku po przejściu do PPW przywrócone zostanie zasilanie s.1 3BBA z zasilania rezerwowego (KSE) i kontynuowanie odstawienia bloku.

### Wybrane wyniki badań symulacyjnych pracy toru rozruchowego z ESP Żydowo do Elektrociepłowni Karolin

Badania symulacyjne pracy toru rozruchowego wykonano za pomocą programu PSCAD v.4.12 (firmy Manitoba HVDC-Kanada). Program umożliwił szczegółowe badania zjawisk elektromagnetycznych i elektro-mechanicznych w systemie elektroenergetycznym. Jedną z zalet programu jest fakt, że sieć elektroenergetyczna modelowana jest w układzie trójfazowym. Modele zespołów wytwórczych opracowano na podstawie szczegółowych danych uzyskanych z ESP Żydowo. Dotyczyły one danych turbin i ich regulatorów oraz generatorów i statycznych układów wzbudzenia.

Przedstawione wyniki badań symulacyjnych dotyczą etapu tworzenia przedmiotowego toru rozruchowego (stan biegu jałowego toru). Istotne elementy tych badań to: utrzymanie odpowiednich poziomów napięcia na szynach stacji będących elementami toru, kompensacja mocy biernej generowanej przez linie 220 kV przez generatory ESP Żydowo, ocena możliwości regulacyjnych toru w celu uzyskania w rozdzielni 6 kV (3 BBA) EC Karolin napięcia na poziomie 6,3 kV.



Rys.3. Uproszczony schemat toru rozruchowego z ESP Żydowo do bloku nr 3 EC Karolin

Przyjęte sekwencje łączeniowe podczas podania napięcia do rozdzielni 3BBA 6 kV potrzeb własnych bloku nr 3 w EC Karolin zestawiono w tabeli 1. Odzwierciedlają one rzeczywiste sekwencje łączeniowe, które będą wykonywane podczas tworzenia toru w czasie próby systemowej. Przyjęte sekwencje łączeniowe wynikają z przeprowadzonych różnych badań symulacyjnych tworzenia toru z wykorzystaniem możliwych sposobów regulacji napięć. Ustalono na ich podstawie zasadność ustawienia przekładni autotransformatora w Żydowie na 12 zaczepie.

Kolejne sekwencje łączeniowe w modelu wykonywano zawsze po wytłumieniu występujących zjawisk elektromagnetycznych i elektromechanicznych.

Tabela 1. Przyjęte sekwencje łączeniowe podczas symulacji

Czas [s]	Załączany element
+1,2s	załączenie autotransformatora AT1 w stacji Żydowo
+1,4s	załączenie linii 220 kV ZYD-PKW
+1,8s	załączenie linii 220 kV PKW-PLE
+2,2s	załączenie linii 220 kV PLE-CZE
+2,6s	załączenie autotransformatora AT1 w stacji Czerwonak
+3,0s	załączenie linii 110 kV CZE-KAR
+3,4s	załączenie transformatora BT1 w Karolinie

Ostatecznie przyjęto, zgodnie z założeniami przeprowadzenia próby systemowej, że podczas podania napięcia do EC Karolin:

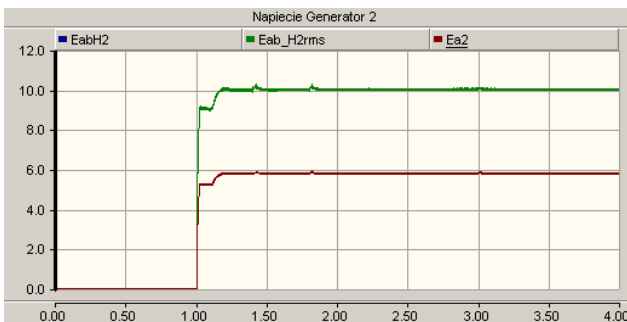
1. pracują równoległe trzy hydrozespoły przy znamionowym napięciu 10,0 kV w chwili  $t=1,2$  s; obciążenie mocą czynną i bierną obu generatorów jest jednakowe,
2. transformatory ustawione na zaczepach znamionowych, poza autotransformatorem w Żydowie, ten ustawiony na 12 zaczepie – przekładnia = 0,99  $\vartheta_n$ ,

3. brak obciążenia – stan jałowy,
4. transformator potrzeb BT1 w EC KAR na zaczeple 7 – znamionowym; BT1 o mocy 25 MVA ma przekładnię 120  $\pm 10\% \pm 6$  stop/6,3 kV, regulacja ręczna pod obciążeniem.

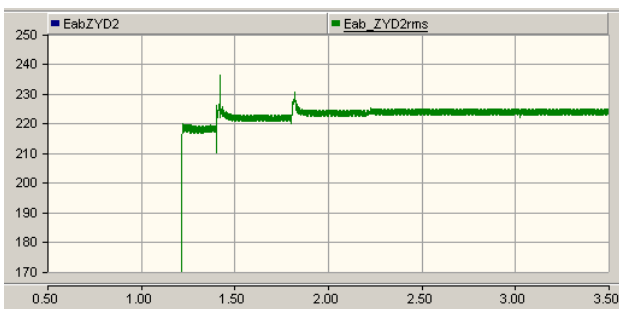
Na rysunkach 4 do 10 zamieszczono wybrane wyniki z badań symulacyjnych pracy toru rozruchowego z ESP Żydowo do EC Karolin podczas jego tworzenia bez regulacji napięć wzdłuż toru (praca toru rozruchowego na biegu jałowym). Wykorzystanie programu PSCAD v.4.12 umożliwia przeprowadzenie, w stosunkowo prosty a jednocześnie dokładny, sposób badań symulacyjnych podania napięcia ze źródła rozruchowego do elektrowni cieplnej. Zjawiska elektromagnetyczne i elektromechaniczne modelowane są w układzie trójfazowym. Umożliwia to obserwację zjawisk przejściowych np. przy załączaniu transformatorów, linii elektroenergetycznych na biegu jałowym, załączania urządzeń potrzeb własnych bloku itp. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przebiegi wartości chwilowych napięcia generatorowego HZ2 ESP Żydowo podczas procesu załączania poszczególnych elementów toru rozruchowego.

Z kolei na rysunku 5 pokazano przebiegi wartości napięć na szynach 220 kV stacji Żydowo podczas podawania napięcia z ESP Żydowo do EC Karolin, a na rysunku 6 napięć na szynach 220 kV stacji Piła-Krzewina. Poziom napięcia na szynach 220 kV stacji Piła-Krzewina jest ok. 230 kV. Niewielkie odchylenia napięcia przy załączaniu poszczególnych elementów toru rozruchowego świadczą o poprawnej pracy układów wzbudzenia obu generatorów ESP Żydowo.

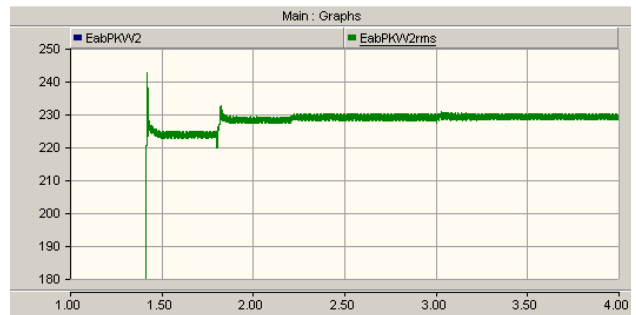
Na rysunku 6 przedstawiono wartości napięcia na szynach 220 kV stacji Piła-Krzewina a na rysunkach 7 i 8 napięcia w rozdzielni 220 kV odpowiednio stacji Plewiska i Czerwonak. i w rozdzielni 6 kV 3BBA potrzeb własnych uruchamianego bloku. Po ustaleniu napięcia generatorowego w ESP Żydowo na poziomie 10,0 kV zapewniono po stronie 6 kV rozdzielni 3BBA w EC Karolin napięcie 6,3 kV.



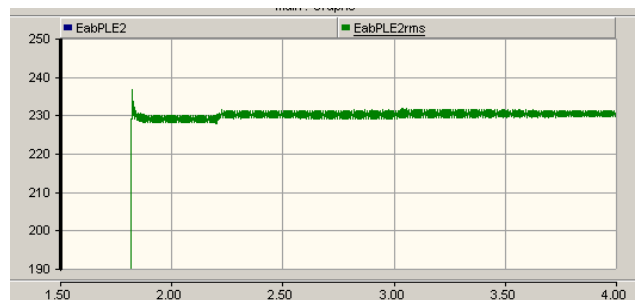
Rys.4. Napięcie skuteczne fazowe i międzyfazowe na zaciskach generatorów (dla trzech generatorów takie samo).



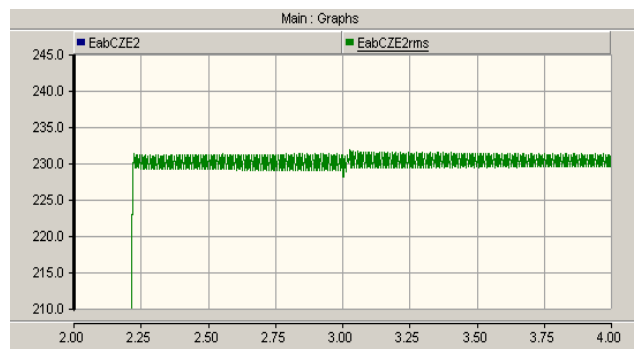
Rys.5. Napięcie międzyfazowe na szynach w Żydowie po stronie 220 kV



Rys.6. Napięcie skuteczne międzyfazowe na szynach 220 kV w stacji Piła-Krzewina



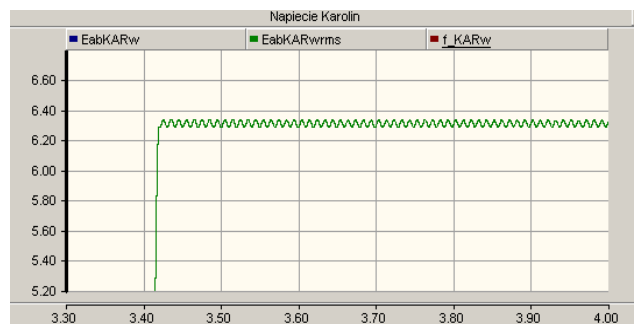
Rys.7. Napięcie skuteczne międzyfazowe na szynach 220 kV w stacji Plewiska



Rys.8. Napięcie skuteczne międzyfazowe na szynach 220 kV w stacji Czerwonak

Ustawienie przekładni autotransformatora AT1 w stacji Żydowo na zaczeple 12, przy pracy generatorów na napięciu 10,0 kV, pozwala na uzyskanie wartości napięcia na końcu toru rozruchowego na poziomie 6,3 kV. Napięcia w rozdzielni 6 kV 3BBA w EC Karolin w takich warunkach tworzenia toru rozruchowego przedstawiono na rysunku 9.

W tabeli 2 pokazano rozkład napięć wzdłuż toru rozruchowego

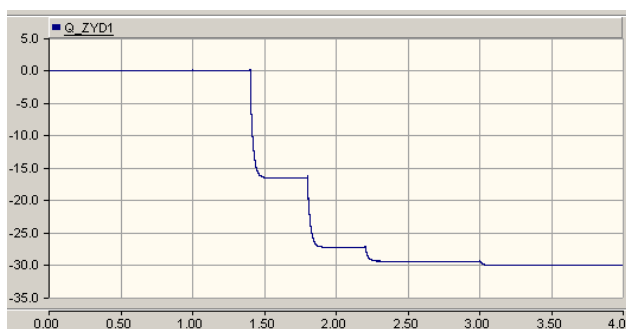


Rys.9. Napięcie skuteczne międzyfazowe na szynach 6 kV rozdzielni 3BBA w EC Karolin

Tabela 2. Rozkład napięć wzdłuż toru rozruchowego z EW Żydowo do ECII Karolin – bieg jałowy toru

Załączenie	EW Żydowo		SE Żydowo				SE PKW	SE PLE	SE Czerwonak				EC Karolin			
	$U_{HZ}$	$\Sigma Q_H$	$U_{R110k}$	$U_{R220k}$	Zacze p AT1	Przekład -nia AT1	$U_{R220k}$	$U_{R220k}$	$U_{R220k}$	$U_{R110k}$	Zacze p AT2	Przekładni a AT2	$U_{R110k}$	$U_{R6.3k}$	Zacze p BT1	Przekład -nia BT1
	kV	Mvar	kV	kV	-	$\vartheta/\vartheta_n$	kV	kV	kV	kV	-	$\vartheta/\vartheta_n$	kV	kV	-	$\vartheta/\vartheta_n$
Tworzenie toru przy zaniżonym napięciu.	AT1 w SE ŻYD	9,9	0	112,9	194,7	21	0,9	-	-	-	-	1,0	-	-	7	1,0
	Linia 220 kV ŻYD-PKW	9,9	-13,2	113,4	197,5	21	0,9	199,3	-	-	-	1,0	-	-	7	1,0
	Linia 220 kV PKW-PLE	9,9	-21,7	113,4	198,5	21	0,9	202,7	203,5	-	-	1,0	-	-	7	1,0
	Linia 220 kV PLE-CZE	9,9	-23,3	113,4	198,8	21	0,9	203,5	204,5	204,5	-	1,0	-	-	7	1,0
	AT2 w SE CZE	9,9	-23,3	113,4	198,8	21	0,9	203,4	204,5	204,5	106,7	1,0	-	-	7	1,0
	Linia 110 kV CZE-EC21	9,9	-23,8	113,3	198,8	21	0,9	203,6	204,6	204,6	106,8	1,0	106,8	-	7	1,0
	BT1 w EC21	9,9	-23,8	113,3	198,8	21	0,9	203,5	204,5	204,5	106,8	1,0	106,8	5,6	7	1,0
Regulacja generatorowa	10,5	-26,7	120,1	210,6	21	0,9	215,5	216,7	217,0	113,2	1,0	113,1	5,9	7	1,0	
Regulacja zaczeпами AT1_ZYD	10,5	-30,3	119,9	224,9	16	0,96	230,3	231,4	231,5	120,8	1,0	120,8	6,3	7	1,0	

Proces tworzenia toru rozruchowego powoduje wzrost mocy biernej pojemnościowej generowanej głównie przez linie 220 kV toru rozruchowego (rys.10). Rosną też nieco sumaryczne straty mocy czynnej w torze wskutek przepływu prądu ładowania linii. Symulacje wykazały, że obciążenie każdego z generatorów mocą bierną pojemnościową będzie na poziomie ok. 10 Mvar (sumaryczne na poziomie 30 Mvar).



Rys.10. Poziomy mocy czynnej i biernej na szynach generatorowych w ESP Żydowo podczas tworzenia toru rozruchowego

### Wnioski

1. Ochronę układu technologicznego elektrociepłowni, przez utrzymanie zasilania kluczowych dla jego bezpieczeństwa urządzeń, można zapewnić,

stwarzając warunki pracy na wydzieloną wyspę obciążeniową. Zainicjowanie pracy na wydzieloną wyspę obciążeniową (WVO), obejmującą odbiorców przyłączonych do rozdzielni 15 kV i potrzeby własne, zasilaną z generatora bloku nr 1 w momencie wystąpienia awarii katastrofalnej, nastąpić powinno w sposób automatyczny, przy osiągniętych wartościach krytycznych częstotliwości i/lub napięcia wcześniej uzgodnionych z operatorem KSE.

- Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że blok BC50, ze względu na zastosowane w nim rozwiązania techniczne oraz własności ruchowe, będzie pracował z możliwie maksymalnym czasem jego wykorzystania. Dlatego staje się jednostką szczególnie predysponowaną do aktywnego udziału w utrzymaniu zdolności wytwórczych EC Karolin w warunkach awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego.
- Tworzenie wydzielonej wyspy obciążeniowej w oparciu o odbiorców zewnętrznych, przyłączonych do rozdzielni 15 kV, i odbiory potrzeb własnych elektrociepłowni pozwoli na stosunkowo łatwe zbilansowanie potrzeb z możliwościami generacyjnymi bloku BC50 i uniknięcie trudnych awaryjnych zrzutów obciążenia.
- Przeprowadzona próba potwierdziła, że istnieje możliwość realizacji scenariusza wydzielenia wyspy obciążeniowej z blokiem nr 1 BC50. Próba wykazała, że zarówno regulacja częstotliwości w wyspie, jak również regulacja napięcia realizowana jest poprawnie.

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. Eksperyment systemowy podania mocy rozruchowej z ESP Żydowo do EC Karolin w istotny sposób zweryfikuje ten sposób odbudowy zdolności wytwórczych EC Karolin.
7. Z przedstawionych wyników badań symulacyjnych wynika, że podanie napięcia o właściwych parametrach do EC Karolin z ESP Żydowo powinno zakończyć się sukcesem. Możliwości regulacyjne napięcia wzdłuż toru są duże i uzyskanie prawidłowego napięcia po stronie 6 kV transformatora BT-1 w EC Karolin jest możliwe.

**Autorzy:** dr inż. Krzysztof Sroka, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [krzysztof.sroka@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.sroka@put.poznan.pl);  
 dr inż. Ireneusz Grządzielski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [ireneusz.grzadzieski@put.poznan.pl](mailto:ireneusz.grzadzieski@put.poznan.pl);  
 mgr inż. Adam Kurzyński, Energopomiar Elektryka, Gliwice, E-mail: [AdamKurzynski@energopomiar.elektryka.com](mailto:AdamKurzynski@energopomiar.elektryka.com)

#### LITERATURA

- [1] Instrukcja ruchu i eksploatacji sieci przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Wersja 2.0, tekst jednolity obowiązujący od 1 sierpnia 2014.
- [2] Skrzypek A.: Rola elektrociepłowni w planach obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego na przykładzie Warszawy i Zakładu Vattenfall Heat Poland, *Energetyka 2008 „Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny”*
- [3] K. Sroka, A. Kordus, I. Grządzielski, A. Grzybowski, K. Marszałkiewicz, J. Roszkiewicz, J. Stiller, A. Trzeciak: Próby doświadczalne, przeprowadzone w zespole elektrowni PAK, dla sprawdzenia możliwości odbudowy systemu elektroenergetycznego po awarii katastrofalnej. *Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej -Aktualne Problemy w Elektroenergetyce, APE'97*, Gdańsk-Jurata, czerwiec 1997r., t.II, ss.145-154.
- [4] Grządzielski I., Sroka K., Pic J., Łacny A.: Możliwości pracy wydzielonej bloków elektrociepłowni miejskiej w stanach rozległej awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego, *Acta Energetica*, 1/14 (13) s. 32–37.
- [5] Grządzielski I., Sroka K., Łacny A.: Praca wyspowa elektrociepłowni miejskiej w warunkach rozległej awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego. *Przegląd Elektrotechniczny* 2014, nr 3, s. 36-45.
- [6] Sroka K., Grządzielski I., Marszałkiewicz K., Łacny A.: Eksperyment systemowy wydzielenia wyspy obciążeniowej z blokiem ciepłowniczym BC-50 w Elektrociepłowni Karolin. *Rozdział w monografii: Blackout a krajowy system elektroenergetyczny / red. Andrzej Demenko, Józef Lorenc. - Poznań : Ośrodek Wydawnictw Naukowych. Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, 2014. - S. 55-70.*
- [7] Sroka K., Grządzielski I., Kurzyński A., Łacny A., Radsak D. Elektrociepłownia Karolin w procesach obrony i restytucji krajowego systemu elektroenergetycznego, *Rozdział w monografii: Blackout a krajowy system elektroenergetyczny / red. Andrzej Demenko, Józef Lorenc. – Poznań, Ośrodek Wydawnictw Naukowych. Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, 2016. - S. 255-268.*
- [8] 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.
- [9] Rychlak J., Kuczyński R., Sroka K., Grządzielski I.: Rola lokalnych źródeł współpracujących z siecią dystrybucyjną 110 kV w procesie obrony i odbudowy krajowego systemu elektroenergetycznego, *Archiwum Energetyki* Tom XXXIX, 2009/1