

Próba systemowa uruchomienia z Elektrowni Wodnej Włocławek bloku ciepłego w Elektrowni Pątnów

Streszczenie. W artykule przedstawiono przygotowania, przebieg oraz wyniki próby systemowej, w której do uruchomienia bloku ciepłego w elektrowni systemowej wykorzystana została elektrownia wodna. Próba w swoim zakresie obejmowała samostart jednostek wytwórczych ze stanu beznapięciowego, podanie napięcia na wydzielony tor liniowy, uruchomienie wytypowanej jednostki ciepłej, jej zsynchronizowanie i pracę na wyspie z elektrownią samostartującą oraz synchronizację układu wydzielonego z KSE w rozdzielni sieciowej.

Abstract. The article presents the preparations, course and results of the system test in which a hydroelectric power plant was used to start-up a thermal unit in a baseload power plant. The scope of the test included self-start of the selected generating units in de-energized state, applying their voltage to a separate, voltage-free start-up circuit, start-up of the selected thermal unit, its synchronization and operation in an island grid with the self-starting power plant and synchronization of the island grid with the NPS in a grid substation. **The preparations, course and results of the system test in which a hydroelectric power plant was used to start-up a thermal unit in a baseload power plant**

Słowa kluczowe: awaria katastrofalna, samostart elektrowni, odbudowa systemu elektroenergetycznego, praca wyspowa.

Keywords: catastrophic failures (blackout), the power plant self-start, restoration of the national power system, island operation.

Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat do katalogu standardowych działań organizowanych przez Operatora Systemu Przesyłowego (OSP), którego zadania realizuje PSE S.A., weszły organizowane cyklicznie próby systemowe odbudowy zasilania KSE na wypadek wystąpienia awarii katastrofalnej (blackout). W próbach tego typu uczestniczą elektrownie świadczące usługi samostartu, elektrownie ciepłe uczestniczące w procesie obrony i odbudowy KSE, operatorzy sieci dystrybucyjnych i sieci przesyłowej oraz niezależne firmy eksperckie, którym powierza się prace związane z przygotowaniem, nadzorem merytorycznym nad realizacją oraz udokumentowaniem przebiegu próby. Pomimo znacznych nakładów organizacyjnych i finansowych próby te stanowią dla wszystkich ich uczestników nieocenione źródło wiedzy praktycznej, dotyczącej istniejących procedur oraz możliwości technicznych i organizacyjnych odbudowy zasilania. Przykładem takich działań była przedstawiona w niniejszym artykule próba systemowa uruchomienia bloku nr 2 w Elektrowni Pątnów z Elektrowni Wodnej (EW) Włocławek. O ile w przypadku EW powyższe zadanie można uznać za standardowe ze względu na fakt regularnego uczestnictwa, czy to w próbach systemowych, czy też realizowanych zgodnie z wymaganiami zawartymi w [1] testach samostartu elektrowni ze stanu beznapięciowego, o tyle w przypadku bloku nr 2 (TG2) El. Pątnów, pomimo potwierdzonej odpowiednimi testami odbiorczymi gotowości do uczestnictwa w procesie odbudowy zasilania KSE, realizacja zakresu omawianej próby systemowej była wyzwaniem nowym, dodatkowo trudnym ze względu na fakt podjęcia decyzji o zaangażowaniu w nią praktycznie wszystkich układów i urządzeń niezbędnych dla pracy bloku.

Przygotowanie próby systemowej

Scenariusz każdej próby systemowej wiąże się z wypracowaniem kompromisu pomiędzy chęcią maksymalizacji zakresu próby i tym samym przyjęciem jak najbardziej realistycznego scenariusza testów, a jego minimalizacją ze względu na istniejące różnorodne ograniczenia zewnętrzne oraz szeroko pojęte bezpieczeństwo układów i urządzeń biorących udział w tychże testach. W przypadku niniejszego zadania możliwym stało się przyjęcie planu, który uznać należy za maksymalnie szeroki i tym samym zbliżony do rzeczywistego przebiegu działań zmierzających do

odbudowy systemu po wystąpieniu awarii katastrofalnej. Na tak obszerny zakres złożyło się podjęcie decyzji przez OSP o przeprowadzeniu na zakończenie próby systemowej synchronizacji obszaru wydzielonego z KSE w oparciu o zmodernizowane układy i urządzenia rozdzielni sieciowej 220 kV oraz decyzja El. Pątnów o udziale w próbie praktycznie wszystkich rozdzielni potrzeb własnych oraz R-6 kV potrzeb ogólnych instalacji odsiarczania spalin (IOS), której zasilanie jest niezbędne dla pracy bloku. W przypadku rozdzielni IOS kluczowym dla przeprowadzenia próby było uruchomienie zasilanych z niej dużych napędów 6 kV, natomiast rozdzielnie 0,4 kV zasilające małe napędy oraz układy pomocnicze zostały wyłączone z udziału w teście, ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa pracujących na potrzeby KSE pozostałych bloków elektrowni. W przypadku EW Włocławek przewidziano realizację samostartu elektrowni ze stanu beznapięciowego jednakże z uwzględnieniem konieczności zachowania ciągłości przepływu biologicznego rzeki Wisły. Plan ten na etapie przygotowania do próby przewidywał wydzielenie części elektrowni pracującej na potrzeby KSE i przepływ rzeki, a wraz z realizacją kolejnych punktów programu próby, prowadzenie przełączeń mających na celu uzyskanie docelowego dla potrzeb próby układu pracy elektrowni. Najważniejszą cechą powyższego scenariusza było utrzymanie standardowych działań związanych z samostartem elektrowni, przy jednoczesnym zachowaniu jak największego przepływu wody przez hydrozespoły (HZ). Na podstawie powyższych informacji ustalony został scenariusz próby systemowej, której planowany zakres obejmował:

1. W zakresie EW Włocławek:

- a. zanik napięcia na szynach rozdzielni potrzeb własnych elektrowni (z wyłączeniem części pracującej na KSE i przepływ rzeki Wisły),
- b. samostart hydrozespołu HZ4 (z wykorzystaniem agregatu prądotwórczego jako źródła rozruchowego) i przywrócenie z niego zasilania rozdzielni potrzeb własnych elektrowni,
- c. uruchomienie hydrozespołu HZ3 do pracy równoległej z KSE (dla zapewnienia przepływu biologicznego rzeki Wisły) przy zasilaniu jego potrzeb własnych z HZ4,
- d. odstawienie hydrozespołów HZ5 i HZ6 (do czasu uruchomienia HZ3 jednostki zapewniały przepływ rzeki) oraz wykonanie przełączeń w układach wyprowadzenia mocy i zasilania potrzeb własnych umożliwiających uczestnictwo hydrozespołów w próbie,

e. uruchomienie hydrozespołu HZ1 i podanie z niego napięcia na będący w stanie beznapięciowym system szyn przyelektrownianej R-110 kV,

f. uruchomienie i synchronizację z układem wydzielonym hydrozespołów HZ2, HZ5 i HZ6.

2. Podanie napięcia i mocy rozruchowej wydzielonym torem linii 110 i 220 kV do El. Pątnów.

3. W zakresie urządzeń El. Pątnów:

a. podanie napięcia z toru rozruchowego na transformatory blokowy oraz potrzeb własnych i potrzeb IOS oraz na rozdzielnie uczestniczące w próbach,

b. przeprowadzenie rozruchu niezbędnych dla pracy bloku urządzeń i układów potrzeb własnych bloku oraz IOS,

c. uruchomienie turboszespołu i jego synchronizację z torem rozruchowym – utworzenie 5-maszynowego układu wydzielonego obciążonego potrzebami TG2.

4. Utrzymanie w stabilnej pracy równoległej jednostek wytwórczych w elektrowni wodnej i cieplnej.

5. Połączenie z kontrolą synchronizmu układu wydzielonego z siecią KSE w R-220 kV Włocławek Azoty.

Po synchronizacji z KSE zaplanowane zostało zamknięcie układu uczestniczącego w próbie do pierścienia w rozdzielniach 220 kV i 110 kV oraz przywrócenie normalnych układów pracy na obiektach i jednostkach wytwórczych uczestniczących w próbie systemowej.

Dla tak określonego scenariusza działań przygotowana została analiza wykonalności próby oraz program jej realizacji [2,3]. Pierwszy z wymienionych dokumentów obejmował swoim zakresem m.in.:

- możliwości wydzielenia toru rozruchowego pomiędzy elektrowniami oraz przedstawienie zagrożeń związanych z koniecznością wyłączenia elementów sieci przesyłowej i dystrybucyjnej,
- symulację warunków napięciowych w torze rozruchowym oraz dynamicznych zmiany częstotliwości w układzie wydzielonym podczas rozruchu napędów oraz synchronizacji,
- obliczenia zwarciove i opis działania automatów EAZ w czasie próby wraz z uzgodnieniem ze służbami zabezpieczeniowymi OSD i OSP (w Bydgoszczy i Poznaniu) oraz elektrowni zmian ich nastaw,
- wytyczne dla pracy automatów sieciowych i elektrownianych.

Natomiast w szczegółowym programie próby, który po zatwierdzeniu przez wszystkich uczestników, stanowi podstawę jej realizacji, zawarte zostały wszystkie niezbędne do przeprowadzenia próby informacje i wytyczne, takie jak: zakres, układy i urządzenia uczestniczące, termin i harmonogram realizacji, a także wskazanie i opis punktów pomiarów wielkości elektrycznych i technologicznych. Jednakże główną i najważniejszą treść programu stanowią szczegółowe informacje mające bezpośredni wpływ na działania służb ruchowych i dyspozytorskich, do których zaliczyć należy:

1. określenie zakresu działania, struktury kierowania i odpowiedzialności służb ruchowych,
2. zdefiniowanie sposobu działania środków łączności pomiędzy centrami dyspozytorskimi,
3. opis prac przygotowawczych przed rozpoczęciem próby, prezentujący stany wyjściowe układów i urządzeń oraz wytyczne dla zabezpieczeń i automatów na wszystkich obiektach uczestniczących w próbie,
4. procedury realizacji próby, zawierające m.in. przebieg działań, wskazanie poleceńodawcy i wykonującego, przewidywane wartości wielkości elektrycznych istotnych z punktu widzenia realizacji próby,
5. czynności i scenariusze postępowania w przypadku nieplanowanego przerwania próby systemowej na

różnych etapach jej realizacji.

W związku ze złożonością procesu przygotowań oraz liczbą zaangażowanych służb ruchowych i dyspozytorskich poszczególnych podmiotów realizujących próbę (PSE S.A.; PSE S.A. ODM Bydgoszcz i Poznań; CDM Gdańsk Energa – Operator S.A.; Energa Wytwarzanie S.A. EW Włocławek; ZE PAK S.A. Elektrownia Pątnów), oprócz kontaktów indywidualnych pomiędzy stronami a firmą ekspercką przygotowującą próbę (ZPBE Energopomiar – Elektryka Sp. z o.o. z podwykonawcami Energopomiar Sp. z o.o. i PBiAT s.j.), istotnym środkiem wymiany informacji była seria spotkań, podczas których omówieniu podlegał m.in.: program próby, wybrane aspekty ww. analizy oraz dodatkowe zagrożenia dla realizacji próby wynikające z przyczyn technicznych, organizacyjnych oraz zewnętrznych np. meteorologicznych czy hydrologicznych. Na zakończenie całego cyklu przygotowań przeprowadzono, z udziałem służb dyspozytorskich, szczegółowe omówienie programu próby, w tym zasady przekazywania poleceń oraz wykonywania operacji łączeniowych z zachowaniem drogi służbowej. Równoległe do prowadzonych przygotowań teoretycznych zrealizowany został szereg uzupełniających testów obiektowych tj.:

- wewnętrzne próby samostartu EW Włocławek rozszerzone o podanie napięcia na wydzieloną linię i system szyn rozdzielni sieciowej oraz wykonanie synchronizacji układu wydzielonego z KSE [4],
- próby na bloku nr 2 w El. Pątnów,
- próby zestawienia łączności dyspozytorskiej.

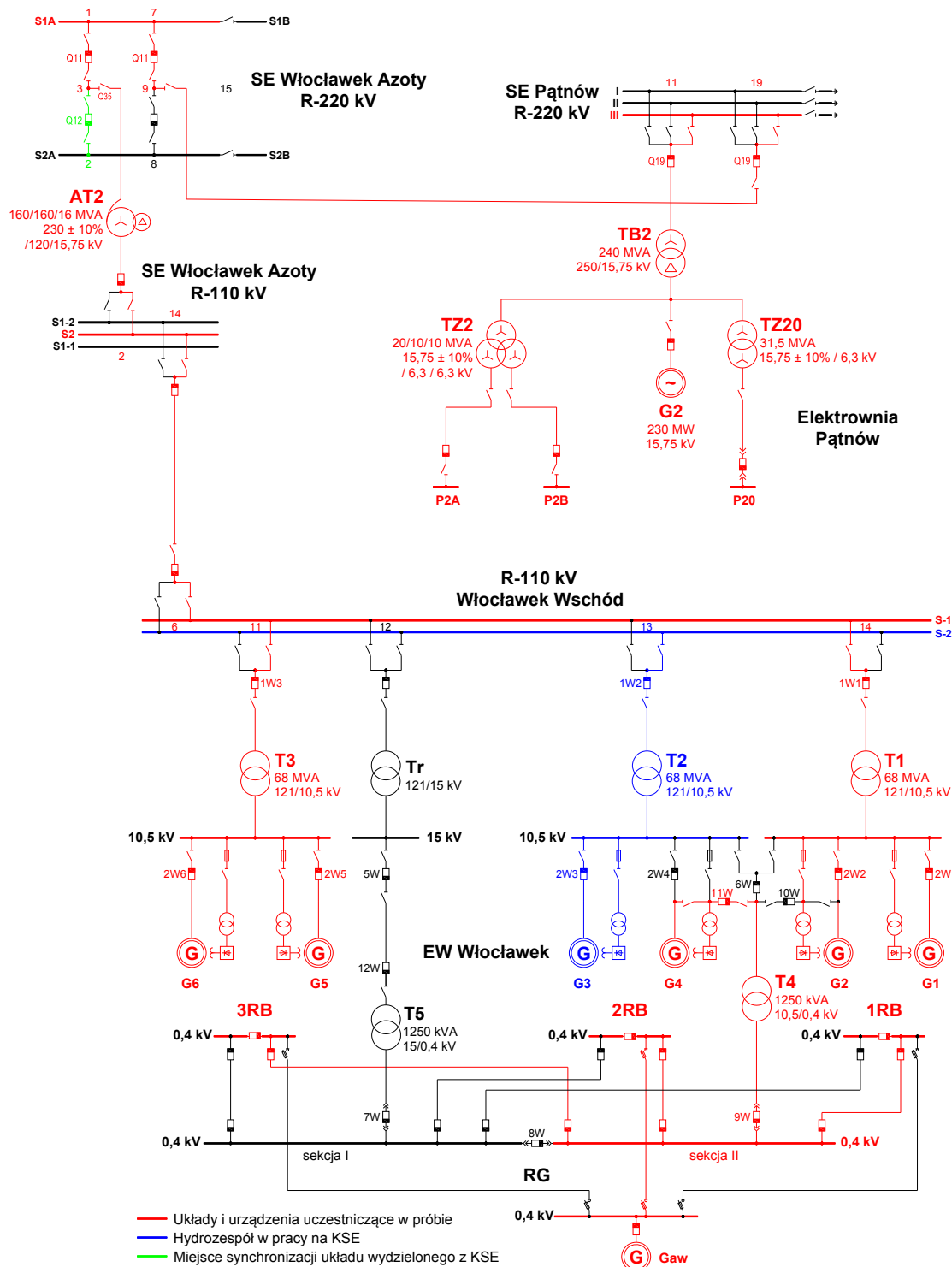
Struktura układu uczestniczącego w próbie systemowej

Przedstawiony na rysunku 1 układ wydzielony uczestniczący w próbie systemowej składał się z trzech kluczowych elementów [3]:

1. Źródła rozruchowego – EW Włocławek – gdzie w próbie uczestniczyły m.in.:
 - a. hydrozespoł HZ4 – wyznaczony do zasilania potrzeb ogólnych elektrowni i własnych hydrozespołów,
 - b. hydrozespoły HZ1 i HZ2 (duoblok nr 1) oraz HZ5 i HZ6 (duoblok nr 3) o mocach 26,7 MW (31,8 MVA) każdy, wyznaczone do podania napięcia i mocy rozruchowej do El. Pątnów,
 - c. dwa transformatory blokowe T1 i T3 121/10,5 kV duobloku nr 1 i 3 o mocach 68 MVA oraz dwie linie 110 kV wyprowadzenia mocy o dł. 2,5 km każda,
 - d. transformator potrzeb własnych ogólnych T4 10,5/0,4 kV o mocy 1250 kVA zasilający rozdzielnie potrzeb ogólnych elektrowni,
 - e. sekcja II rozdzielni RG-0,4 kV potrzeb ogólnych elektrowni oraz rozdzielnie 0,4 kV potrzeb własnych hydrozespołów 1RB, 2RB i 3RB,
 - f. agregat prądowtórcozy o mocy $P_n = 320$ kW (400 kVA).
2. Toru rozruchowego – gdzie w próbie uczestniczyły:
 - a. wydzielone systemy szyn R-110 kV stacji: Włocławek Wschód (WLW) i Włocławek Azoty (WLA) wraz z łączącą je linią o dł. 18,5 km,
 - b. autotransformator 230($\pm 10\%$)/120/15,75 kV AT2 o mocy 160/160/16 MVA zainstalowany w stacji WLA,
 - c. wydzielone systemy szyn R-220 kV stacji: Włocławek Azoty i Pątnów (PAT) wraz z łączącą je linią o dł. 75 km.
3. Uruchamianej jednostki wytwórczej – TG 2 w El. Pątnów – gdzie w próbie uczestniczyły m.in. następujące układy, urządzenia i instalacje technologiczne:
 - a. blok energetyczny nr 2 z generatorem o mocy 230 MW (270,6 MVA),
 - b. wyłącznik generatorowy,
 - c. transformator blokowy 250/15,75 kV 240 MVA TB2,
 - d. transformator potrzeb własnych 15,75($\pm 10\%$)/6,3/6,3 kV T22 o mocy 20/10/10 MVA,

- e. transformator IOS 15,75(±10%)/6,3 kV TZ20 o mocy 31,5 MVA,
 f. rozdzielnie 6 kV: potrzeb własnych bloku P2A i P2B

wraz z zasilanymi z nich urządzeniami i napędami pomocniczymi bloku (w tym 0,4 kV) oraz potrzeb IOS P20 wraz z zasilanymi z niej napędami.



Rys. 1. Uproszczony schemat toru rozruchowego z EW Włocławek do Elektrowni Pątnów

Przebieg próby systemowej

W czasie przeprowadzonej w dniu 23.09.2017 roku próby systemowej, zgodnie z przyjętą zasadą, koordynacja i kierowanie wszystkimi operacjami w układzie wydzielonym została powierzona ośrodkowi dyspozytorskiemu, na terenie działania którego znajduje się źródło rozruchowe, a więc ODM Bydgoszcz. Poszczególne działania w zakresie swojego obszaru oraz posiadanych uprawnień i obowiązków służbowych realizowane były również przez służby dyspozytorskie ODM Poznań, CDM Gdańsk, EW

Włocławek i El. Pątnów. Rola firmy eksperckiej, która przygotowała próbę, ograniczała się na tym etapie jedynie do nadzoru merytorycznego, doradztwa i dokumentowania jej przebiegu. Skrócony opis przebiegu próby (zgodny z [5]) przedstawiony został w poniższych punktach i tabelach.

Samostart EW Włocławek

Po zrealizowanej w 2012 roku ostatniej próbie systemowej z udziałem EW Włocławek, elektrownia rozpoczęła szeroko zakrojoną modernizację swoich

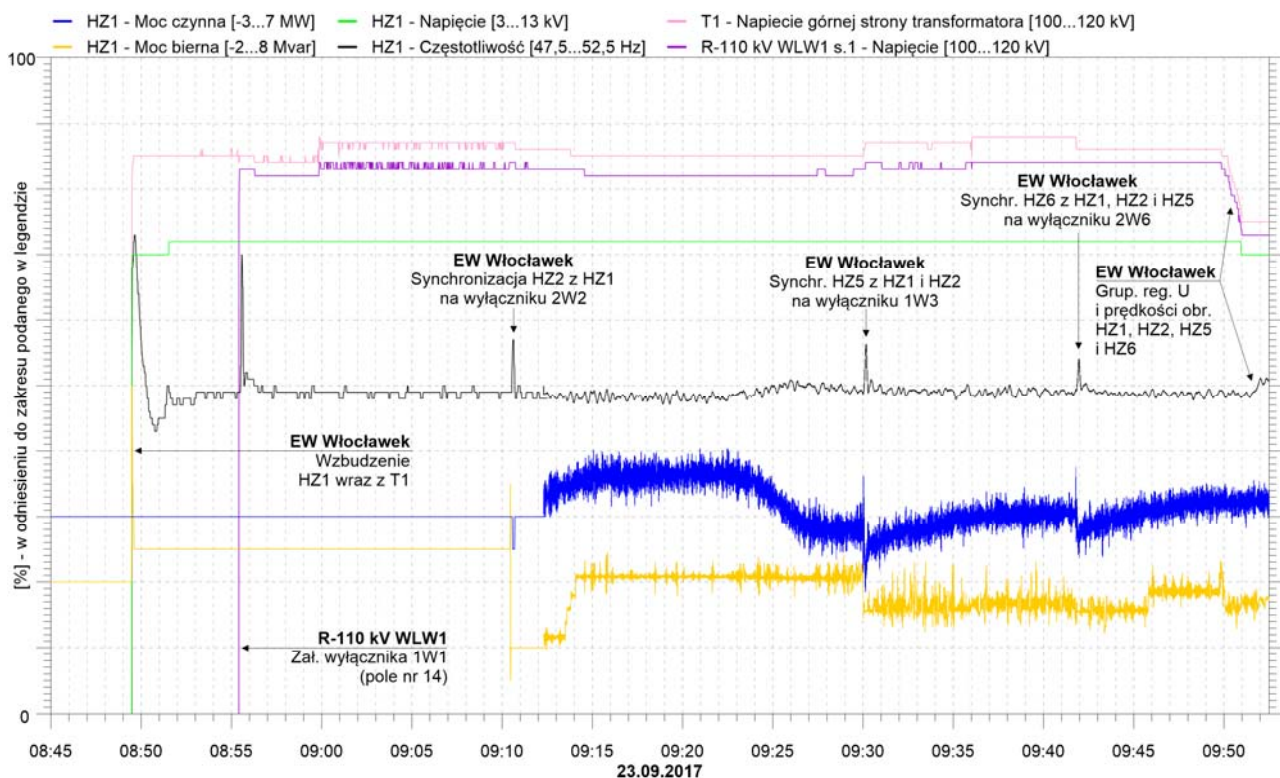
układów i urządzeń. Proces ten objął swoim zakresem m.in. wdrożenie nadrzędnego systemu wspomagania operatorskiego, wykonanie modernizacji EAZ, układów wzbudzenia i regulatorów napięcia oraz wymianę rozdzielni potrzeb ogólnych i własnych. Wprowadzane zmiany w układach elektrowni realizowane były zawsze przy założeniu zachowania podstawowych funkcjonalności źródła rozruchowego dla KSE. Równocześnie ze zmieniającymi się możliwościami technicznymi, dostosowane do nowych warunków były stosowane przez EW Włocławek procedury samostartu. Podczas przeprowadzonej próby systemowej, rozwiązania techniczne wprowadzone na EW Włocławek umożliwiły:

1. po zaniku napięcia – przeprowadzenie uruchomienia agregatu prądowłórczego i zasilenie z niego rozdzielni potrzeb własnych wybranego duobloku,
2. przy zasilaniu z agregatu – uruchomienie hydrozespołu HZ4 i podanie z niego napięcia na potrzeby ogólne i własne,
3. uruchomienie hydrozespołu HZ1 i podanie z niego napięcia na wydzielone szyny R-110 kV WLW (rys. 2),
4. uruchomienie kolejnych hydrozespołów i ich zsynchronizowanie z układem wydzielonym na wyłącznikach generatorowych lub blokowych,
5. utrzymanie w pracy równoległej czterech hydrozespołów zdolnych w układzie sieci elastycznej do regulacji częstotliwości (regulatory prędkości obrotowej hydrozespołów działające w trybie regulacji proporcjonalnej RO(P)) i napięcia (regulatory napięcia hydrozespołów działające w trybie automatycznej regulacji napięcia generatorów) (rys. 2),

6. osiągnięcie sumarycznego czasu uruchomienia wszystkich hydrozespołów równego ok. 1 godz. 50 min, gdzie czynności związane z utrzymaniem przepływu rzeki Wisły zajęły ok. 30 min. Wszystkie operacje łączeniowe na rozdzielniach elektrowni realizowane były przez standardową obsługę elektrowni z zachowaniem szczególnej ostrożności ze względu na obecność w układach elektrowni trzech niesynchronicznych napięć.

Tabela 1. Samostart EW Włocławek

Godzina	Zdarzenie
08:01	Zanik napięcia na potrzebach własnych i ogólnych EW Włocławek (symulacja blackout'u).
08:04 – 08:19	Uruchomienie hydrozespołu HZ4 (wykorzystanie jako źródła rozruchowego agregatu prądowłórczego) i przejście przez niego zasilania rozdzielni potrzeb własnych i ogólnych elektrowni.
08:27 – 08:43	Operacje związane z utrzymaniem biologicznego przepływu rzeki Wisły obejmujące: <ul style="list-style-type: none"> • uruchomienie z pełną mocą HZ3 do pracy w KSE, • odstawienie pracujących na KSE HZ5 i HZ6 oraz ich przygotowanie do udziału w próbie.
08:47 – 09:52	Utworzenie układu wydzielonego obejmujące: <ul style="list-style-type: none"> • uruchomienie HZ1 i podanie z niego napięcia na szyny przyelektrownianej R-110 kV. • uruchomienie i zsynchronizowanie z układem wydzielonym hydrozespołów HZ2, HZ5 i HZ6. • wykonanie regulacji napięcia i częstotliwości.



Rys. 2. Uruchomienie HZ1 i utworzenie układu czterech pracujących równolegle hydrozespołów

Budowa toru i podanie napięcia do EI. Pątnów

Zestawienie toru rozruchowego obejmujące podanie napięcia na linię 110 kV, autotransformator 220/110 kV, linię 220 kV oraz trzy systemy szyn zbiorczych rozdzielni 110 i 220 kV w dwóch stacjach zrealizowane zostało przez kierującego próbą, przy współpracy z właściwymi służbami dyspozytorskimi, w czasie 8 min. Realizacja tego etapu

prób, przedstawiona na rysunku 3, potwierdziła:

1. stabilną pracę równoległą hydrozespołów w sytuacji pracy z minimalnym obciążeniem mocą czynną i znacznym obciążeniem mocą bierną pojemnościową,
2. brak zaburzeń w pracy hydrozespołów podczas załączania takich elementów sieciowych jak autotransformator czy linia 220 kV,

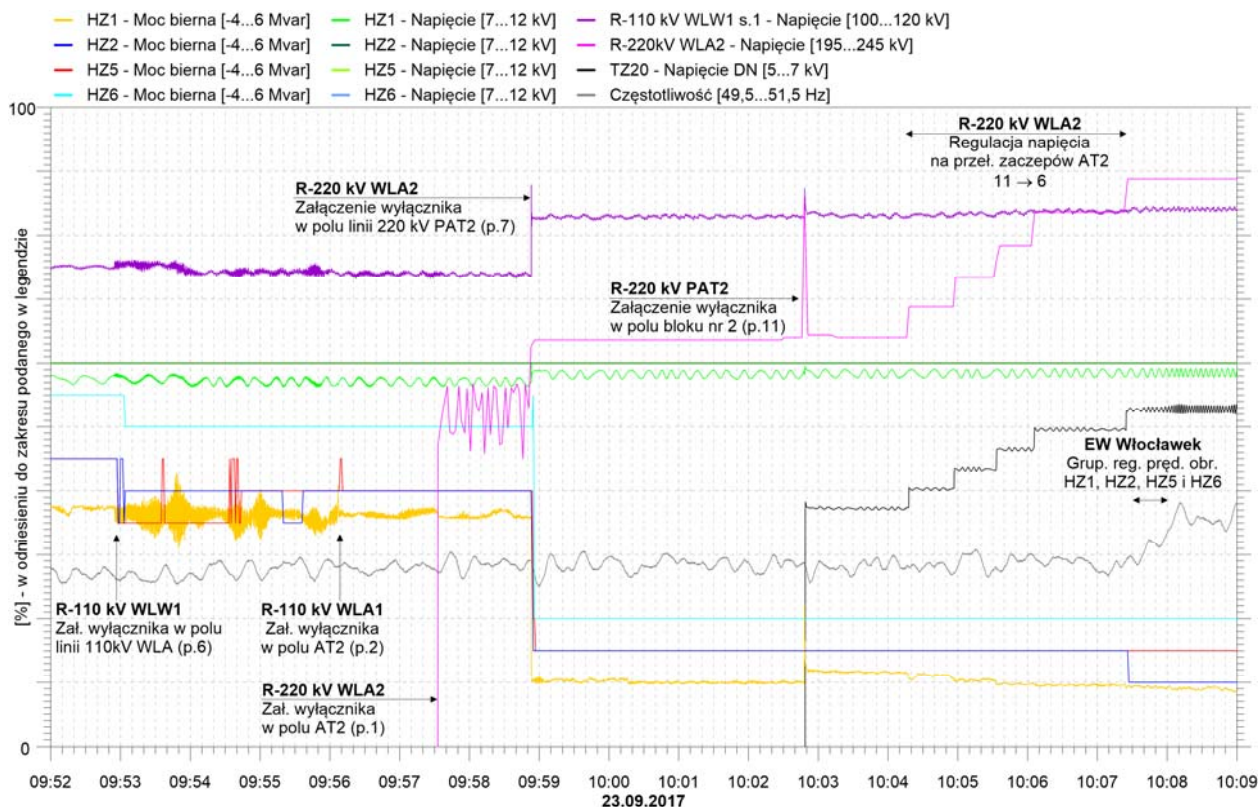
- poprawność wykonanych obliczeń symulacyjnych oraz wykonanego na ich podstawie doboru wartości napięć generatorów i przekładni autotransformatora, czego efektem był brak konieczności prowadzenia w układzie wydzielonym dodatkowej regulacji napięcia i zgodne z oczekiwaniami wartości napięć w węzłach oraz zmiany mocy biernej hydrozespołów i napięcia w sieci po załączeniu linii 220 kV,
- zdolność hydrozespołów do kompensacji mocy biernej pojemnościowej generowanej przez linie 110 i 220 kV wydzielonego toru rozruchowego,

Ostatnim elementem działań w ramach operacji prowadzonych na rozdzielniach sieciowych było załączenie wyłącznika blokowego 220 kV i podanie napięcia z EW Włocławek na układ wyprowadzenia mocy bloku nr 2 w tym transformatory: blokowy, potrzeb własnych i potrzeb IOS.

Przeprowadzona w następnym kroku regulacja napięcia na autotransformatorze i częstotliwości na hydrozespołach, stanowiła element przygotowań do kolejnego etapu próby tj. rozruchu napędów potrzeb ogólnych i własnych bloku nr 2.

Tabela 2. Budowa toru rozruchowego i podanie napięcia do EI. Pątnów

Godzina	Zdarzenie
09:52 – 10:00	Podanie napięcia na cały wydzielony ciąg liniowy.
10:02 – 10:09	Podanie napięcia na transformatory w EI. Pątnów. Wykonanie regulacji napięcia i częstotliwości w układzie wydzielonym dla potrzeb uruchomienia bloku cieplnego.



Rys. 3. Budowa toru rozruchowego

Uruchomienie instalacji IOS i bloku nr 2 w EI. Pątnów

Zgodnie z założeniami z etapu planowania, proces uruchomienia bloku nr 2 rozpoczął się ze stanu gorącego i prowadzony był zgodnie z obowiązującymi w Elektrowni Pątnów instrukcjami i procedurami ruchowymi. Ze względu na zasilanie z sieci elastycznej, standardowe działania obsługi bloku musiały być jednak prowadzone w ścisłym porozumieniu i koordynacji z kierującym próbą oraz EW Włocławek. Efektem tej współpracy było:

- Przygotowanie wymaganych dla rozruchu bloku parametrów zasilania tj.:
 - Ustalenie w układzie wydzielonym początkowej niewielkiej nadwyżki częstotliwości (~50,3 Hz), która łagodziła skutki rozruchów dużych napędów (rys. 4), a wraz z rosnącym ustalonym obciążeniem mocą czynną (rys. 5) ulegała obniżce do poziomu wymaganego do synchronizacji bloku z torem tj. ok. 50,05 Hz.
 - Utrzymanie na rozdzielniach potrzeb własnych i ogólnych EI. Pątnów napięcia o wartości jak w czasie normalnej eksploatacji, przy jednoczesnym

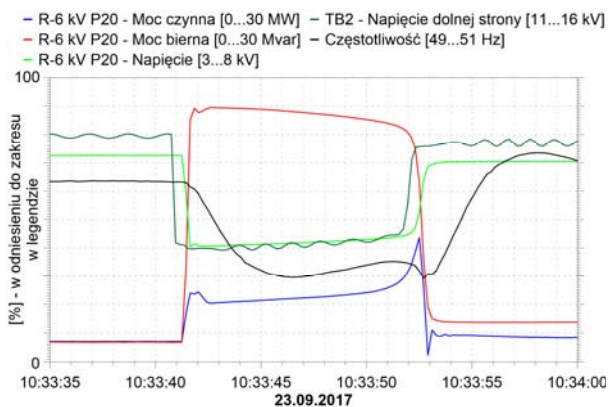
zachowaniu zdolności do okresowego podnoszenia napięcia przed rozruchami dużych napędów. W sytuacji rosnącego obciążenia, zachowanie zapasu regulacyjnego na transformatorach potrzeb własnych i ogólnych, zapewnione było poprzez wprowadzanie zmian poziomu napięcia w sieci 220 kV (realizowanych za pomocą przełącznika zaczeptów autotransformatora).

- Zapewnienie właściwego przepływu informacji pomiędzy uczestnikami próby, dzięki czemu posiadali oni wiedzę o aktualnej sytuacji ruchowej na poszczególnych obiektach w niej uczestniczących, co szczególnie w przypadku kierującego próbą było istotne dla zachowania pełnej kontroli nad jej przebiegiem.

Podczas całego procesu uruchomienia bloku w EI. Pątnów, kluczowym momentem było przeprowadzenie rozruchu największych napędów 6 kV tj. wentylatora spalin instalacji IOS (rys. 5) oraz pomp wody zasilającej, które zgodnie z oczekiwaniami wprowadziły maksymalne przejściowe zmiany napięcia ($\Delta U \approx 1,6$ kV) na R-6 kV oraz częstotliwości ($\Delta f \approx 0,68$ Hz) w układzie wydzielonym. Przy

minimalnych parametrach zasilania na poziomie ok. 4,98 kV i 49,55 Hz nie odnotowano żadnych zakłóceń w pracy uruchomionych układów i urządzeń elektrowni ciepłej, czy też zaburzeń w pracy hydrozespołów.

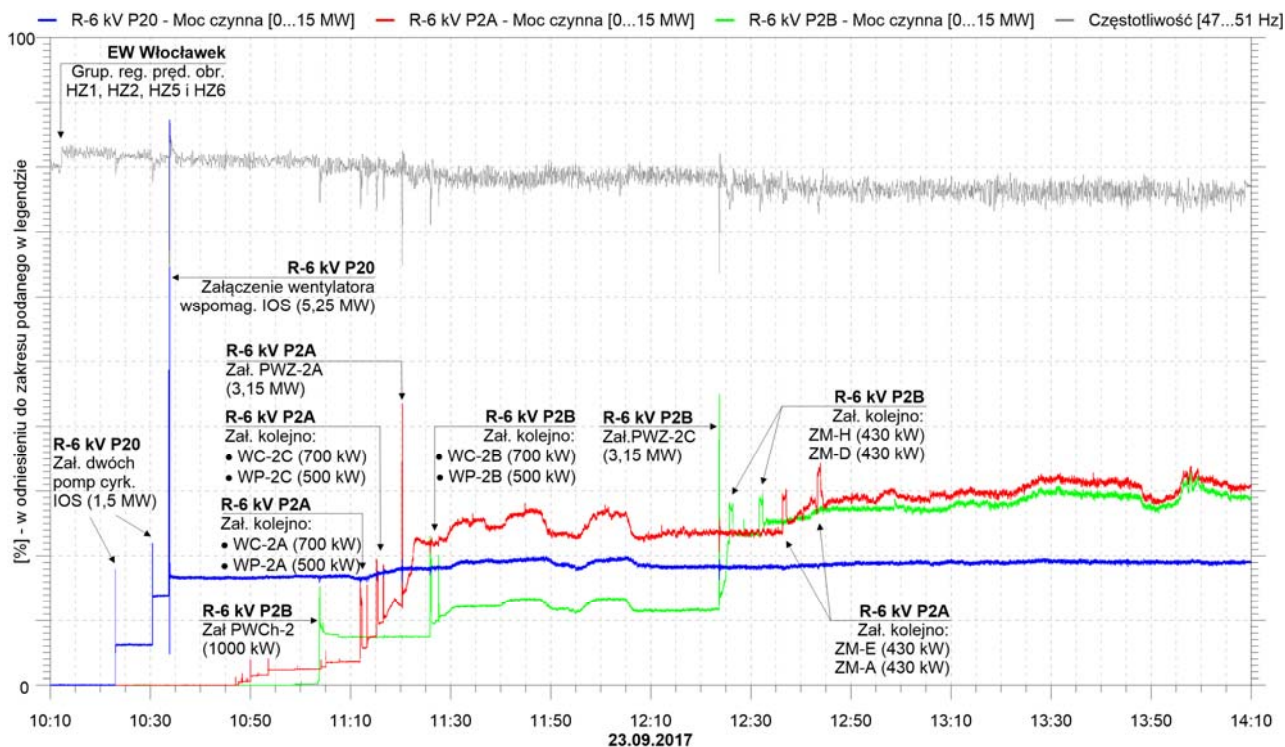
Proces uruchomienia bloku nr 2 obejmujący: przełączenie zasilania rozdzielni, uruchomienie wszystkich niezbędnych układów, instalacji i urządzeń pomocniczych, rozpalenie kotła, wygrzanie i nabór obrotów turbiny oraz wzbudzenie generatora i przygotowanie regulatora turbiny do synchronizacji z torem rozruchowym został przeprowadzony w czasie ok. 4 godzin. W czasie prowadzenia ww. działań na układach pomocniczych bloku odnotowane zostały dwa zakłócenia (przerwanie rozpalania kotła od poziomu wody w walczaku oraz wyłączenie pomp oleju opałowego i zgaśnięcie palników olejowych), których charakter był losowy i niezwiązany ze sposobem oraz parametrami zasilania potrzeb własnych. Ich wpływ na realizację próby, dzięki skutecznym działaniom obsługi bloku, był praktycznie niezauważalny.



Ryc. 4. Uruchomienie wentylatora wspomagającego IOS (5250 kW) Na tym etapie próby praca równoległa hydrozespołów w EW Włocławek była bardzo stabilna i nie wymagała ze strony operatorów wprowadzania żadnych korekt wartości zadanej prędkości obrotowej, czy też napięcia generatorów. Hydrozespoły obciążały się równomiernie mocą czynną i bierną, napięcia na zaciskach generatorów utrzymywane były na stałym poziomie, a prędkość obrotowa turbin przy zwiększającym się obciążeniu mocą czynną zmieniała się zgodnie ze statyczną charakterystyką regulacji prędkości obrotowej. Występujące w czasie rozruchów dużych napędów przejściowe zmiany częstotliwości i napięcia były automatycznie opanowywane przez układy regulacji prędkości obrotowej i napięcia hydrozespołów. Po zakończeniu rozruchu TG2 sumaryczne obciążenie potrzeb własnych i ogólnych w EI. Pątnów wynosiło ok. 11,8 MW i 10,6 Mvar, co przekładało się na obciążenia hydrozespołów na poziomie ok. 9 ... 13% ich mocy znamionowej.

Tabela 3. Uruchomienie bloku nr 2 w EI. Pątnów

Godzina	Zdarzenie
10:09 – 10:40	Podanie napięcia na rozdzielnię IOS i przeprowadzenie rozruchu wszystkich wymaganych napędów w tym wentylatora wspomagającego IOS (5250kW).
10:43 – 14:02	Podanie napięcia na rozdzielnie potrzeb własnych i przeprowadzenie rozruchu wszystkich wymaganych układów i napędów w tym pomp wody zasilającej (3150kW) – realizacja procesu rozpalania kotła, wygrzewania i nabór obrotów turbiny.
14:03 – 14:07	Wzbudzenie generatora i przygotowanie regulatora turbiny do synchronizacji bloku z torem rozruchowym. Zgłoszenie zakończenia procesu uruchomienia bloku.



Rys. 5. Uruchomienie bloku nr 2 w EI. Pątnów

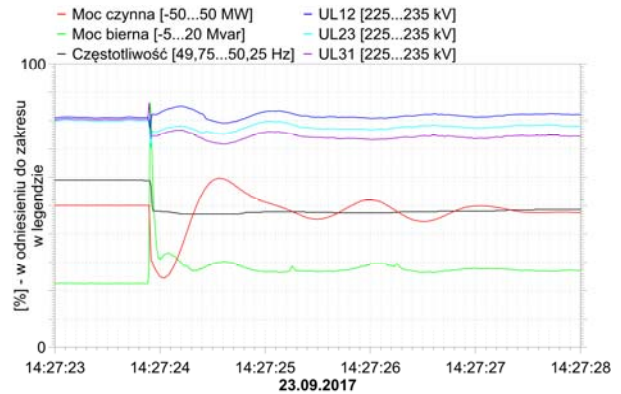
Synchronizacja bloku nr 2 z torem rozruchowym i układu wydzielonego z KSE

Kolejnym krokiem podczas realizacji próby był przedstawiony na rysunku 7 proces synchronizacji bloku nr

2 EI. Pątnów z torem rozruchowym i utworzenie wydzielonego układu pięciomaszynowego. Synchronizacja TG2 przeprowadzona została przez obsługę bloku w trybie automatycznym w czasie zaledwie kilku sekund od

pierwszej aktywacji synchronizatora. Po załączeniu wyłącznika generatorowego uaktywnił się w regulatorze turbiny turbogeneratora tryb regulacji prędkości obrotowej oraz rozpoczął się trwający ok. 5 minut okres stabilizacji rozkładu generacji tj. dociążania bloku nr 2 do poziomu ok. +2,5 MW, przy jednoczesnym odciążeniu hydrozespołów. Częstotliwość w układzie wydzielonym, po skokowym wzroście (w chwili po synchronizacji) do wartości równej ok. 50,1 Hz, oscylowała w granicach równych ok. $\pm 2...3$ mHz. Utrzymywana przez niecałe 20 minut praca równoległa pięciu jednostek wytwórczych, o łącznej mocy znamionowej rzędu 340 MW z obciążeniem wynoszącym ok. 12 MW, przy załączonych na każdej jednostce trybach regulacji prędkości obrotowej RO(P) i automatycznej regulacji napięcia generatorów, była bardzo stabilna. Ostatnim elementem próby systemowej była synchronizacja układu wydzielonego z KSE. Wybór miejsca synchronizacji, pole autotransformatora AT2 w R-220 kV Włocławek Azoty, podyktowany był wyposażeniem zmodernizowanych pól rozdzielni w synchronizatory. Ze względu na fakt, iż synchronizator sieciowy nie ma możliwości oddziaływania na wartości napięć i częstotliwości w łączonych systemach, przed jego aktywacją, w układzie wydzielonym i KSE przygotowane zostały, wynikające z jego nastaw, odpowiednie parametry częstotliwości (regulacja na hydrozespołach) oraz napięcia (regulacja na generatorze bloku nr 2 oraz w KSE na systemie, do którego miał być synchronizowany układ wydzielony). Przy bieżących nastawach synchronizatora regulacja częstotliwości na hydrozespołach prowadzona była w ten sposób, by autonomicznie działający synchronizator dokonał wyboru trybu synchronizacji obszarów niesynchronicznych. Synchronizacja obszarów niesynchronicznych przedstawiona na rysunku 6 została przeprowadzona przez kierującego próbą ze stanowiska dyspozytorskiego w ODM Bydgoszcz przy pierwszej aktywacji synchronizatora. Po załączeniu wyłącznika mocy nie odnotowano znaczących

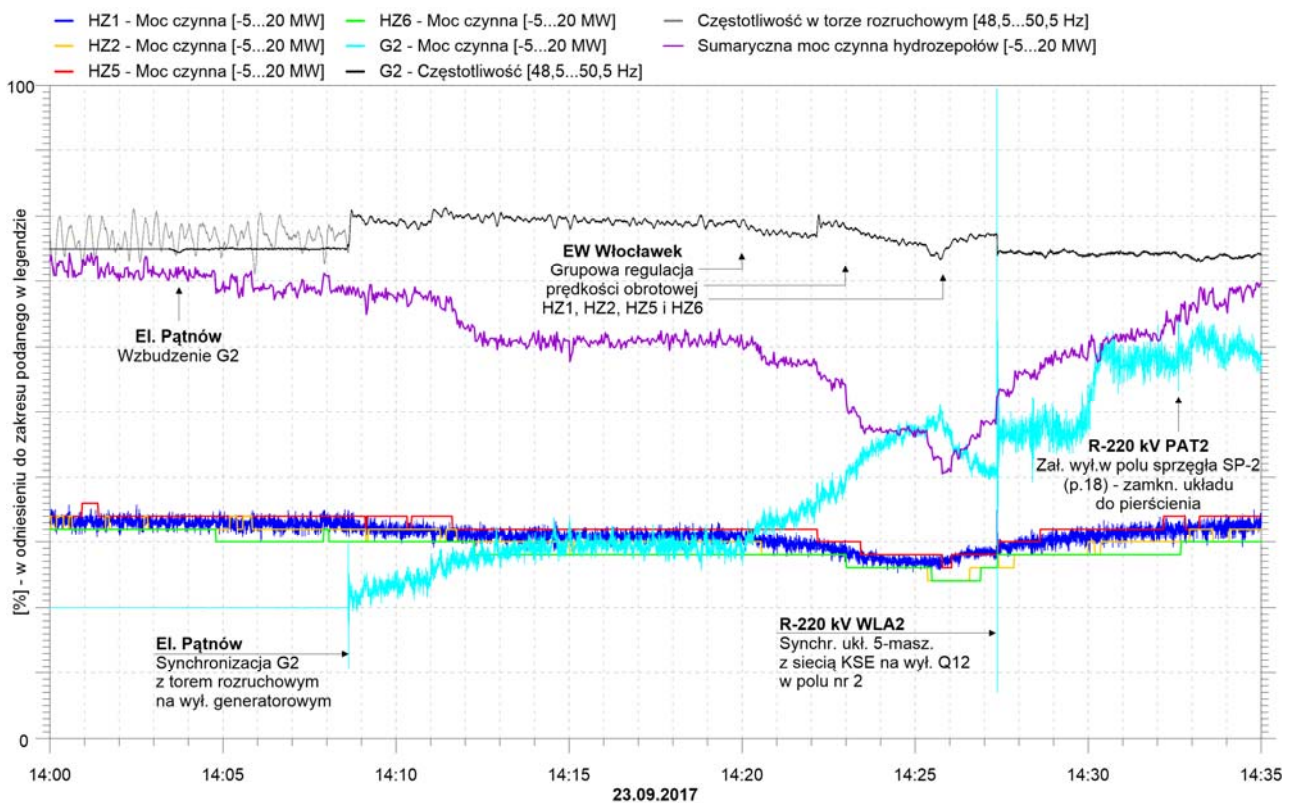
udarów prądu oraz zmian napięć i przepływów mocy biernej, a obciążenie turbozespołów, których regulatory turbin pozostały w trybie regulacji prędkości obrotowej RO(P), wzrosło proporcjonalnie do różnicy częstotliwości występującej przed synchronizacją. Przełożyło się to, po trwającej kilka minut stabilizacji generacji, na szacunkowy przepływ mocy z układu biorącego udział w próbie do KSE na poziomie ok. 7...8 MW.



Rys. 6. Synchronizacja układu wydzielonego z siecią KSE

Tabela 4. Proces synchronizacji bloku z torem rozruchowym i układu wydzielonego z siecią KSE

Godzina	Zdarzenie
14:08	Synchronizacja bloku nr 2 z torem rozruchowym. Stabilizacja obciążenia mocą czynną bloku nr 2.
– 14:26	Przygotowanie parametrów do synchronizacji z KSE. Potwierdzenie uzyskania zgody KDM na synchronizację układu wydzielonego z KSE.
14:27	Synchronizacja układu wydzielonego z KSE.
– 14:30	Stabilizacja przebiegów przejściowych. Zakończenie próby.



Rys. 7. Synchronizacje w układzie wydzielonym

Podsumowanie

Próby systemowe, pomimo znaczących wyzwań organizacyjnych, technicznych i ekonomicznych, stanowią bogate źródło doświadczeń dla wszystkich jej uczestników. Szczególnymi beneficjentami tego rodzaju prób są realizujące je służby ruchowe i eksploatacyjne, które pomimo wsparcia w postaci przygotowanych programów, analiz i wytycznych oraz doradztwa zaangażowanych w przygotowanie próby firm i specjalistów, muszą prowadzić swoje działania w warunkach odbiegających od normalnej eksploatacji.

Przeprowadzona z wynikiem pozytywnym w 2017 r. próba systemowa uruchomienia z EW Włocławek bloku ciepłego w El. Pątnów potwierdziła zdolność wszystkich jej uczestników do udziału w procesie odbudowy zasilania KSE. Zrealizowany scenariusz próby, oprócz standardowego zakresu: samostartu elektrowni wodnej, podania napięcia wydzielonym torem, uruchomienia bloku ciepłego oraz jego synchronizacji ze źródłem rozruchowym, zawierał również dodatkowe elementy takie jak: uruchomienie niezbędnej dla pracy bloku instalacji IOS oraz łączenie z kontrolą synchronizmu dwóch niesynchronicznych obszarów.

Na podstawie uzyskanych wyników, przebieg próby można podsumować w następujący sposób:

1. W EW Włocławek – sprawnie przeprowadzone uruchomienie ze stanu beznapięciowego, stabilna praca równoległa hydrozespołów, zdolność do podania napięcia i mocy rozruchowej na wydzielony ciąg liniowy z uruchomieniem wytypowanego bloku ciepłego, niezakłócona praca po synchronizacji z tym blokiem oraz możliwość prowadzenia regulacji częstotliwości i napięcia w układzie wydzielonym.
2. W El. Pątnów – sprawnie przeprowadzony rozruch bloku ze źródła samostartującego, synchronizacja z torem rozruchowym oraz zgodny z oczekiwaniami nabór mocy i stabilna praca równoległa w wydzielonym układzie 5-maszynowym z możliwością prowadzenia regulacji częstotliwości i napięcia.
3. Kierowanie próbami i operacje sieciowe – zestawienie toru rozruchowego zrealizowane w krótkim czasie, właściwe prowadzenie regulacji w układzie wydzielonym, ścisła współpraca z obsługą jednostek wytwórczych oraz pewnie przeprowadzona synchronizacja obszarów pracujących niesynchronicznie.
4. Dobre przygotowanie oraz profesjonalne i skuteczne działanie personelu uczestniczącego w próbie, na każdym jej etapie i wszystkich szczeblach (m.in. planowania pracy sieci, eksploatacji, dyspozytorskim i służb ruchowych).

Próba wykazała jednocześnie, że:

1. EW Włocławek ze względu na swoją lokalizację

i zdolności wytwórcze stanowi dla El. Pątnów dogodne źródło rozruchowe do wykorzystania w trakcie odbudowy zasilania KSE po awarii typu blackout.

2. Synchronizacja układu wydzielonego w oddalonej od elektrowni rozdzielni sieciowej potwierdziła możliwość bezpiecznego dla wyspy i KSE rozszerzania obszaru wypowogo.
3. Uzasadnione jest wyposażanie modernizowanych rozdzielni sieciowych w automatykę synchronizacyjną, która pozwala na wykonywanie łączeń obszarów niesynchronicznych.

Autorzy dziękują za współpracę w realizacji próby systemowej oraz pomoc w przygotowaniu niniejszego artykułu, pracownikom wszystkich zaangażowanych w pracę instytucji, a w szczególności Panom: Grzegorz Pasiut i Wojciech Durlak z Polskich Sieci Elektroenergetyczne S.A.; Zygmunt Suszka z ZE PAK S.A.; Wojciech Zasada z Energa Wytwarzanie S.A.; Ireneusz Grządzielski z PBIAT s.j. i Marek Komarzyniec z Energopomiar Sp. z o.o..

Autorzy: mgr inż. Marcin Kaczmarek, Energopomiar – Elektryka Sp. z o.o., ul. Świętokrzyska 2, 44-101 Gliwice, E-mail: marcin.kaczmarek@elektryka.com.pl; Adam Kurzyński, Energopomiar – Elektryka Sp. z o.o., ul. Świętokrzyska 2, 44-101 Gliwice, E-mail: adam.kurzynski@elektryka.com.pl; Marcin Surlej, Energopomiar – Elektryka Sp. z o.o., ul. Świętokrzyska 2, 44-101 Gliwice, E-mail: marcin.surlej@elektryka.com.pl; mgr inż. Michał Brzozowski, Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., ul. Warszawska 165, 05-520 Konstancin-Jeziorna, E-mail: michal.brzozowski@pse.pl;

LITERATURA

- [1] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci, PSE S.A. (2016)
- [2] Kaczmarek M., Komarzyniec M., Kurzyński A., Sprawozdanie z próby systemowej uruchomienia z EW Włocławek bloku w El. Pątnów. *Etap 1a – Analizy i symulacje. EE/ES8/17/17 Energopomiar-Elektryka – praca na zlecenie PSE S.A* (2017).
- [3] Kaczmarek M., Komarzyniec M., Kurzyński A., Program próby systemowej uruchomienia bloku w El. Pątnów z EW Włocławek. *Energopomiar-Elektryka – praca na zlecenie PSE S.A* (2017).
- [4] Kaczmarek M., Komarzyniec M., Sprawozdanie z pomiarów kontrolnych Elektrowni Wodnej we Włocławku w zakresie gotowości do samostartu z udziałem hydrozespołów nr 1, 2, 4, 5 i 6 na wypadek awarii blackout. *Etap I, 308/ZC/2017 Energopomiar* (2017)
- [5] Kaczmarek M., Komarzyniec M., Kurzyński A., Surlej M., Sprawozdanie z próby systemowej uruchomienia z EW Włocławek bloku w El. Pątnów. *Etap 1b – Cześć opisowa i graficzna. Energopomiar-Elektryka EE/ES8/18/17 – praca na zlecenie PSE S.A.* (2017)