

Elektrownia wodna Dychów jako źródło rozruchowe do odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych

Streszczenie. W planach obrony i odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego zakłada się, że podstawowym elementem planu odbudowy będzie restytucja bloków elektrowni ciepłych. W wyniku awarii katastrofalnej bloki elektrowni ciepłych powinny przejść do pracy na potrzeby własne albo zostają odstawione awaryjnie. W drugim przypadku istnieje konieczność ich uruchomienia ze zdalnego źródła samostartującego. W artykule przedstawiono aktualny stan w zakresie restytucji zdolności wytwórczych Elektrowni Turów i Elektrowni Dolna Odra ze źródła samostartującego - elektrowni wodnej Dychów.

Abstract. In the defense and restitution plans of the Polish Power System it is assumed that the basic element of a recovery plan will be restitution of thermal power plant units. As a result of the disastrous failure (blackout), the thermal power plant units should proceed to work on their own or are laid up in emergency. In the second case there is a need to run thermal power plant units from the blackstart source. This article presents the current status in terms of Elektrownia Turów and Elektrownia Dolna Odra production capacity restitution from blackstart source - hydroelectric power plant Dychow. (**Hydroelectric power plant Dychow as blackstart source to restoration of production capacity of thermal power stations**).

Słowa kluczowe: system elektroenergetyczny, awaria katastrofalna, restytucja elektrowni ciepłych, tory rozruchowe.

Keywords: electric power system, blackout, restitution of thermal power plant, start-up paths

Wstęp

W planach obrony i odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) zakłada się, że podstawowym działaniem, po wystąpieniu awarii katastrofalnej (ang. black'out), będzie restytucja zdolności wytwórczych bloków elektrowni ciepłych i elektrociepłowni. Wynika to z faktu, że w KSE ponad 90% mocy generowanej zainstalowanej jest w tego typu źródłach. Jednocześnie stan tych źródeł po awarii katastrofalnej będzie warunkował procedury dalszych działań związanych z odbudową KSE.

W wyniku awarii katastrofalnej ciepłe zespoły wytwórcze mogą znaleźć się w jednym z trzech stanów:

1. praca od jednego do kilku bloków, z wszystkich bloków pracujących przed wystąpieniem awarii, na potrzeby własne elektrowni (w efekcie praca wydzielona elektrowni - PWE),
2. wszystkie bloki nie pracują (automatyczne awaryjne odstawienie bloków), a do szybkiego uruchomienia kwalifikuje się pewna liczba bloków będących w stanie gorącym; konieczne jest uruchomienie minimum jednego bloku z zewnętrznego źródła rozruchowego,
3. utrzymanie się w pracy bloków na obszar wydzielony (praca wyspowa).

Możliwość przejścia bloków na potrzeby własne (stan 1) jest jednym z wymagań stawianych jednostkom wytwórczym przez IRIESP [1]. Należy jednak podkreślić, że dynamika zjawisk związanych z awarią katastrofalną może być tak duża i z reguły nietypowa, że procedura przejścia do stanu PPW ze stanu pracy normalnej nie zawsze będzie udana. Poza tym praca bloku w trybie PPW może trwać ograniczony czas i bloki muszą przejść do stanu pracy wydzielonej elektrowni (PWE) z zasilaniem potrzeb ogólnych elektrowni.

W przypadku stanu 2, po uruchomieniu pierwszego bloku z zewnętrznego źródła rozruchowego, po ustabilizowaniu pracy uruchomionego bloku i zasilaniu potrzeb ogólnych elektrowni z tej jednostki wytwórczej należy podjąć działania w celu uruchomienia kolejnych bloków będących w stanie gorącym.

Aktualnie, zgodnie ze strategią obrony przyjętą przez ENTSO-E, nie przewiduje się w stanie awaryjnym połączanego systemu europejskiego prewencyjnego automatycznego wydzielania pojedynczych jednostek wytwórczych do pracy wyspowej, fragmentów systemów, a także wydzielania systemów krajowych (stan 3). Wcześniej

samoczynne wydzielanie układów wyspowych, łącznie z wydzielaniem systemów krajowych, przewidywały plany obrony opracowywane dla UCTPE a następnie UCTE.

Powrót do idei szybkiego wydzielania układów wyspowych o małych mocach 20-30 MW zasilanych z ciepłowniczych bloków parowych w elektrociepłowniach miejskich 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. Jednak, ze względu na brak wyposażenia KSE w odpowiednie układy automatyki o określonych charakterystykach i nastawieniach oraz z uwagi na inne uwarunkowania techniczne, stan ten jest aktualnie niemożliwy, ale godny rozpatrzenia w kolejnych planach obrony i odbudowy KSE [2,3].

Podstawowymi źródłami rozruchowymi w KSE są aktualnie elektrownie wodne. W przyszłości mogą być też inne jednostki samostartujące, np. turbozespoły gazowe, agregaty dużej mocy z silnikami wysokoprężnymi itp. Elektrownie wodne charakteryzują się dużą elastycznością pracy i dobrą podatnością do szybkich uruchomień. Wyposażone są w urządzenia techniczne zapewniające ich samostart. W KSE istnieje kilka elektrowni wodnych wytypowanych jako źródła rozruchowe w procesie odbudowy. W większości przypadków źródła napięcia i mocy rozruchowej dla elektrowni ciepłych są od nich znacznie oddalone. Muszą w związku z tym spełniać nie tylko wymagania, jakie stawiają zespoły wytwórcze uruchamianej elektrowni, ale również powinny uwzględniać uwarunkowania związane z tworzeniem toru rozruchowego.

W artykule przedstawiono działania zmierzające do spełnienia i potwierdzenia roli elektrowni wodnej Dychów (EW Dychów), należącej do PGE Energia Odnawialna SA Oddziału ZEW w Dychowie jako zewnętrznego źródła rozruchowego w zachodniej części KSE [4-10].

Wymagania dotyczące źródeł rozruchowych i tworzenia torów rozruchowych

Samostartujące źródła rozruchowe

Obowiązująca IRIESP [1] wprowadza następujące rodzaje testów sprawdzających zdolność jednostek wytwórczych do obrony i odbudowy zasilania KSE: *testy odbiorowe oraz testy okresowe sprawdzające i próby*

systemowe. Celem przeprowadzanych testów odbiorowych jest sprawdzenie przystosowania jednostki wytwórczej do udziału w obronie i odbudowie, natomiast celem okresowych testów sprawdzających i prób systemowych jest potwierdzenie przystosowania elektrowni do udziału w obronie i odbudowie zasilania w KSE.

Pełny zakres testów sprawdzających i prób systemowych, dla elektrowni posiadających zdolność do samostartu jest następujący [1]:

- a. test samostartu elektrowni polegający na samouruchomieniu jej jednostek wytwórczych oraz podaniu napięcia na wybraną szynę miejscowej rozdzielni aż do ustabilizowania napięcia i częstotliwości w granicach dopuszczalnych odchyłeń – test jest wykonywany na polecenie OSP co najmniej dwa razy w roku;
- b. sprawdzenie zdolności do regulacji częstotliwości w sieci elastycznej polegające na samostarcie jednostki wytwórczej i jej pracy równoległej z innymi jednostkami wytwórczymi elektrowni świadczącej usługę samostartu, przy zapewnieniu minimalnego obciążenia tych jednostek (potrzeby własne i ogólne elektrowni, pompy, inne dostępne odbiory) – test jest wykonywany na polecenie OSP co najmniej raz w roku, łącznie z testem określonym w pkt a;
- c. próbę samostartu elektrowni polegającą na samouruchomieniu, jak w pkt a), losowo wybranych jednostek wytwórczych oraz podaniu napięcia na wydzieloną linię rozruchową do jednostki wytwórczej elektrowni aż do ustabilizowania napięcia na końcu tej linii w przyelektrownianej rozdzielni – test jest wykonywany na polecenie OSP raz na 3 lata;
- d. próbę samostartu elektrowni polegającą na samouruchomieniu losowo wybranych jednostek wytwórczych oraz podaniu napięcia i mocy rozruchowej na wydzieloną linię rozruchową do niesamostartującej elektrowni z uruchomieniem wytypowanej lub wytypowanych jednostek wytwórczych elektrowni głównej ze stanu gorącego i jej/ich zsynchronizowaniu i pracy na wyspie z elektrownią samostartującą – test jest wykonywany na polecenie OSP nie rzadziej niż co 5 lat.

Jednocześnie wymagania techniczne dla jednostek wytwórczych w zakresie zdolności do samostartu określone w/w IRIESP są następujące:

- jednostki wytwórcze powinny zachować zdolność do podania napięcia na wydzielony ciąg rozruchowy w ciągu 15 minut od wydania polecenia,
- jednostki wytwórcze powinny zachować zdolność do przeprowadzenia przynajmniej trzech kolejnych samostartów w ciągu 2 godzin,
- jednostki wytwórcze powinny posiadać odpowiednie zdolności wytwórcze wystarczające do uruchomienia innej elektrowni, przewidzianej do uruchomienia w planach odbudowy zasilania KSE.

Ponadto źródła rozruchowe muszą spełniać wymagania dla regulatorów turbin i regulatorów napięć jakie stawiane są jednostkom wytwórczym w zakresie zdolności do obrony i odbudowy zasilania KSE. W szczególności jednostki takie powinny być zdolne do pracy w trybie regulacji prędkości obrotowej, realizowanej przez proporcjonalny regulator prędkości obrotowej RO(P). Ponadto bardzo ważne jest ich przystosowanie do regulowania napięcia w szerokim przedziale zmian oraz do kompensowania mocy biernej w dopuszczalnym obszarze pracy jednostki wytwórczej, zarówno podczas podania napięcia i ładowania linii, jak i przesyłania przez nią mocy rozruchowej potrzebnej do uruchomienia jednostki wytwórczej innej elektrowni.

W obszarze zachodnim KSE rolę elektrowni rozruchowej pełni EW Dychów [4-10]. EW Dychów chcąc w sposób profesjonalny uczestniczyć w planach odbudowy systemu, doskonalili i przystosowują swoje instalacje technologiczne i urządzenia tak, aby spełniały wymagania umożliwiające świadczenie usługi samostartu. Dotychczas przeprowadzono następujące próby systemowe wykorzystujące jako źródło rozruchowe EW Dychów:

- udana próba systemowa podania napięcia i mocy rozruchowej z EW Dychów (przed modernizacją) do Elektrowni Dolna Odra (aktualnie PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. – Oddział Zespół Elektrowni Dolna Odra), torem rozruchowym 110/220 kV o długości ok. 205 km, przeprowadzony po raz pierwszy w 2002 r.,
- niedana próba systemowa podania napięcia i mocy rozruchowej do Elektrowni Turów (aktualnie PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. – Oddział Elektrownia Turów), po całkowitej modernizacji EW Dychów w 2007 r. (ze względu na nieprzystosowanie układów zabezpieczeń hydrozespołów do pracy wyspowej),
- w pełni udana próba systemowa podania napięcia i mocy rozruchowej do Elektrowni Turów [5] w lipcu 2008r., torem rozruchowym 110/220 kV o długości ok. 154 km.
- udana próba systemową podania napięcia i mocy rozruchowej do Elektrowni Dolna Odra [6,7] wykonana w lipcu 2011 r.
- udana próba systemowa podania napięcia i mocy rozruchowej z EW Dychów do Elektrowni Turów, zsynchronizowania uruchomionego bloku z zespołami wytwórczymi EW Dychów i pracy wyspowej z elektrownią samostartującą. Próbę zrealizowano w dn. 10.07.2016 r. wspólnie z Energopomiarem-Elektryka (w ramach umowy konsorcyjnej).

Aspekty techniczne wydzielania i tworzenia torów rozruchowych

Czas uruchomienia elektrowni cieplnej, której bloki zostały odstawione awaryjnie, jest ograniczony, z reguły od 1 do 1,5 h. Tak więc jako zasadę należy przyjąć ograniczenie do minimum czynności związanych z wydzielaniem i tworzeniem torów rozruchowych, zmianami nastaw zabezpieczeń na czas podania napięcia i mocy rozruchowej itp.

Tor rozruchowy musi być przygotowany tak, aby nie dopuścić do przerwania procesu uruchamiania bloku elektrowni cieplnej, którego powtórzenie może okazać się niemożliwe. Szczególne znaczenie mają następujące problemy [3]:

- możliwość utworzenia toru rozruchowego w czasie krótszym od czasu granicznego postoju bloków,
- obciążenie źródła mocą pojemnościową linii WN i NN pracujących na biegu jałowym w czasie podania napięcia do elektrowni; może dojść do wzrostu napięć w torze rozruchowym w stanie biegu jałowego,
- zapewnienie poziomu napięcia powyżej napięcia utyku największych odbiorów - silników pomp wody zasilającej,
- właściwa praca zabezpieczeń wydzielonej sieci w czasie podania napięcia i mocy rozruchowej do elektrowni cieplnej.

Tory rozruchowe wydzielane tylko w sieci 110 kV charakteryzują się generacją stosunkowo niewielkiej mocy biernej pojemnościowej przez linie 110 kV pracujące przez pewien czas tworzenia toru na biegu jałowym. Jest to moc rzędu 4-5 Mvar na 100 km linii. Podstawową wadą torów rozruchowych złożonych tylko z linii 110 kV jest duża ilość

GPZ-ów (stacji) wzdłuż toru. Bez niezbędnych inwestycji w systemy zdalnego sterowania mogą one nie zapewnić spełnienia warunków łączeniowych w czasie do 1 h. Poza tym wiele stacji ma nieraz różnych właścicieli, co może utrudniać wydzielanie i tworzenie toru rozruchowego.

Moce pojemnościowe generowane przez linie 220 kV na biegu jałowym o długościach do 100 km są rzędu 14÷16 Mvar. Z reguły elektrownie rozruchowe mogą pracować z takim obciążeniem. W praktyce źródłem rozruchowym jest więcej niż jeden hydrogenerator, co zapewnia możliwość kompensacji większej generowanej mocy pojemnościowej przez linie. Jednak w niektórych przypadkach będzie istniała jednak konieczność wykorzystania dławika lub pracy równoległej autotransformatorów 220/110 kV z rozstrojeniem przekładni. Istotną zaletą torów opartych o linie 220 kV jest ich dobra manewrowość związana z faktem, że stacje te pracują w zasadzie ze stałą obsługą lub są zdalnie sterowane z poziomów ODM. Do regulacji napięcia wzdłuż toru rozruchowego mogą być w prosty sposób wykorzystane możliwości regulacyjne autotransformatorów 220/110 kV. Do realizacji torów rozruchowych mogą być wykorzystane również linie 400 kV. Pojawiają się jednak wtedy znacznie większe moce bierne pojemnościowe do kompensacji.

Analiza pracy toru rozruchowego wymaga określenia harmonogramów rozruchu urządzeń potrzeb własnych bloków elektrowni ciepłych, z podaniem mocy zainstalowanych urządzeń niezbędnych do rozruchu bloku. Uwzględniając wyniki eksperymentów systemowych można określić:

- maksymalne chwilowe obciążenie, przy którym występuje zagrożenie obniżenia napięcia poniżej napięcia utyku silników; nastąpi w momencie rozruchu silników 6kV pomp wody zasilającej PZ o mocach 2-6 MW,
- standardowe krotności rozruchowe dla silników pomp wody zasilającej PZ oraz współczynniki obciążenia roboczego silników PZ po zakończeniu rozruchu.

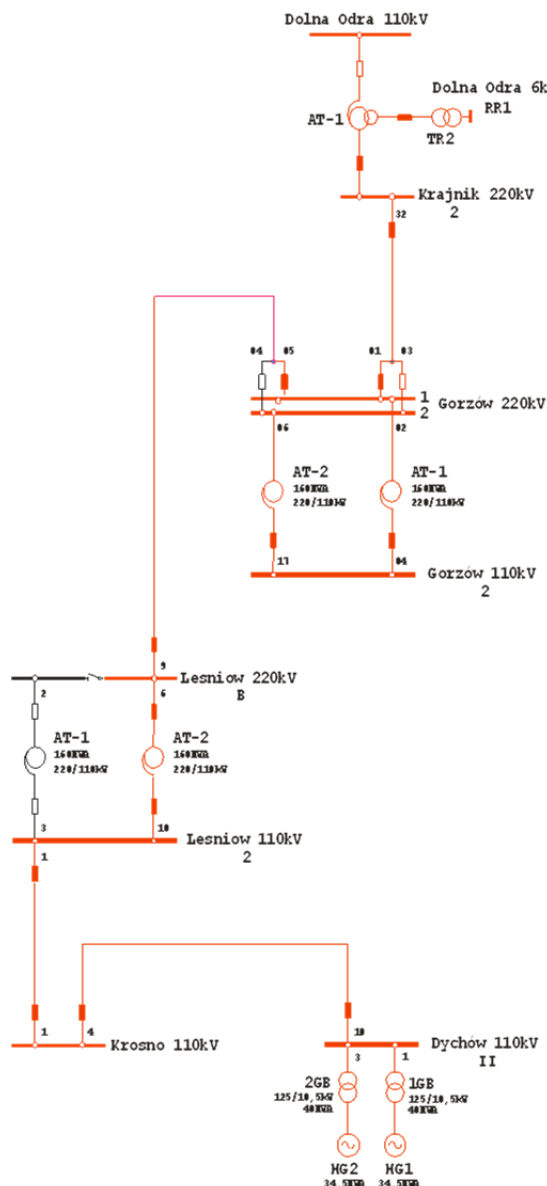
Na podstawie powyższych zasad dla każdej z elektrowni ciepłych można ocenić zmienność blokowych potrzeb rozruchowych z zaznaczonymi rozruchami silników pomp wody.

W zachodniej części KSE podstawową „osią rozruchową” jest ciąg liniowy 220 kV Mikułowa-Leśniów-Gorzów-Krajnik o długości ok. 300 km. Umożliwia on podanie napięcia i mocy rozruchowej z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra i Elektrowni Turów [7,8]. Na rysunku 1 i 2 pokazano uproszczone schematy torów rozruchowych wykorzystywanych w dotychczasowych eksperymentach systemowych : z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra (rys.1.) oraz z EW Dychów do Elektrowni Turów (rys.2). Oprócz linii 220 kV w skład torów rozruchowych wchodzi linie 110 kV. Są to linie Dychów – Krosno i Krośno- Leśniów o dł. ok. 23,5 km. Dotyczy to obu torów. W przypadku toru rozruchowego do Elektrowni Turów dodatkowo linia Mikułowa -Turów o dł. 22,6 km.

Podstawowa struktura toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra [8] jest następująca (rys. 1):

- źródło rozruchowe – hydrozespoły HG1 i HG2 EW Dychów; samostart EW Dychów następuje przy wykorzystaniu agregatu prądowłórczego o mocy 200kW,
- elementy sieciowe toru rozruchowego 110/220 kV:
 - 2 linie 110 kV o długości 23,4 km: Dychów – Krosno Odrzańskie, Krosno Odrzańskie – Leśniów,
 - 2 linie 220 kV o długości 182,2 km: Leśniów – Gorzów i Gorzów - Krajnik,
 - GPZ-y: Dychów (DYC) - rozdzielnia 110 kV system szyn II i Krosno Odrzańskie (KOD) - rozdzielnia 110kV,

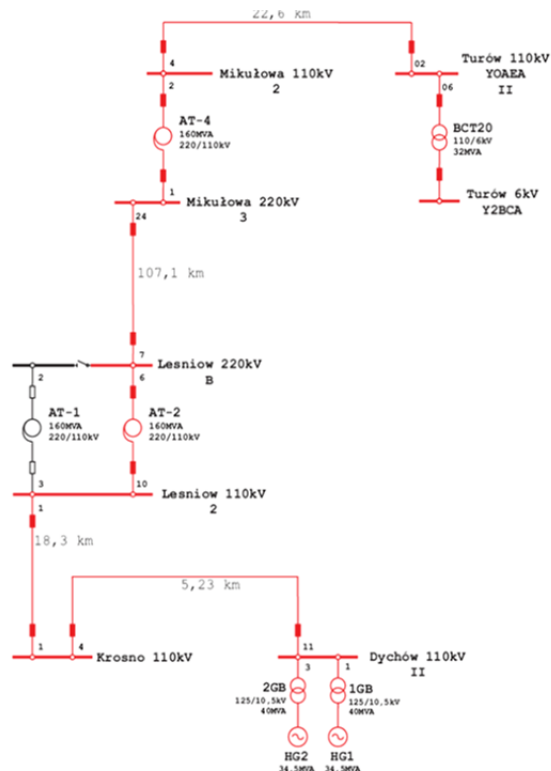
- Stacja Leśniów (LSN): rozdzielnia 110 kV- system szyn II, autotransformator AT-2 o mocy 160 MVA (element umożliwiający dodatkową regulację poziomu napięcia wzdłuż toru), rozdzielnia 220 kV- system szyn B,
- Stacja Gorzów (GOR): rozdzielnia 220 kV, system 1 i 2, autotransformatory AT-1 i AT-2 o mocy 160 MVA każdy (założono ewentualne wykorzystywanie do kompensacji mocy biernej pojemnościowej ciągu linii 220 kV poprzez równoległe połączenie i rozstrojenie przekładni), rozdzielnia 110 kV, system 2 (do połączenia równoległego AT-1 i AT-2 po stronie 110kV),
- Stacja Krajnik: rozdzielnia 220 kV, system szyn 2A i 2B,



Rys. EW Dychów do Elektrowni Dolna wydzielany i tworzony podczas dotychczasowych prób podania napięcia i mocy rozruchowej

- Stacja Elektrowni Dolna Odra (DOD): autotransformator AT-1 i transformator potrzeb ogólnych TR-2 15/6kV oraz rozdzielnia 6 kV RR1 (wariant podstawowy),
 - źródło uruchamiane – blok energetyczny nr 5 o mocy 222 MW elektrowni Dolna Odra pracujący na szynie 220kV
- Natomiast podstawowa struktura toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Turów [7] (rys. 2) składa się z elementów:

- źródło rozruchowe – hydrozespoły HG1 i HG2 EW Dychów; samostart EW Dychów, nastąpił przy wykorzystaniu agregatu prądowłórczego o mocy 200kW.
- elementy sieciowe toru rozruchowego 110/220 kV:
 - 3 linie 110 kV: linia Dychów – Krosno Odrzańskie, linia Krosno Odrzańskie – Leśniów, linia Mikułowa – Elektrownia Turów ; razem długość ok.46,8 km
 - linia 220 kV: linia Leśniów - Mikułowa ; razem długość ok. 107,1 km
 - GPZ-y - Dychów (DYC) - rozdzielnia 110 kV system szyn II, Krosno Odrzańskie (KOD) - rozdzielnia 110kV
 - Stacja Leśniów (LSN): rozdzielnia 110 kV system szyn II, autotransformator AT-2 o mocy 160 MVA (założono możliwość wykorzystania do regulacji poziomu napięcia wzdłuż toru), rozdzielnia 220 kV, system szyn B.
 - Stacja Mikułowa (MIK): rozdzielnia 220 kV, sekcje szyn 3A i 3B autotransformator AT-4 o mocy 160 MVA (założono możliwość wykorzystania do regulacji poziomu napięcia wzdłuż toru), rozdzielnia 110 kV, sekcja szyn 2
 - Stacja Turów (TUE) - YOAEA; rozdzielnia 110 kV, system szyn II; transformator rozruchowy BCT20.
- źródło uruchamiane – wybrany blok energetyczny 261MW (nr 4-6) Elektrowni Turów, pracujący na szyny rozdzielni 220 kV w stacji Mikułowa.



Rys.2. Uproszczony schemat toru rozruchowego 110 kV i 220 kV z EW Dychów do Elektrowni Turów wydzielony i utworzony podczas prób podania napięcia i mocy rozruchowej w 2007 i 2008 r..

Charakterystyka EW Dychów jako zewnętrznego źródła rozruchowego

Informacje podstawowe o EW Dychów

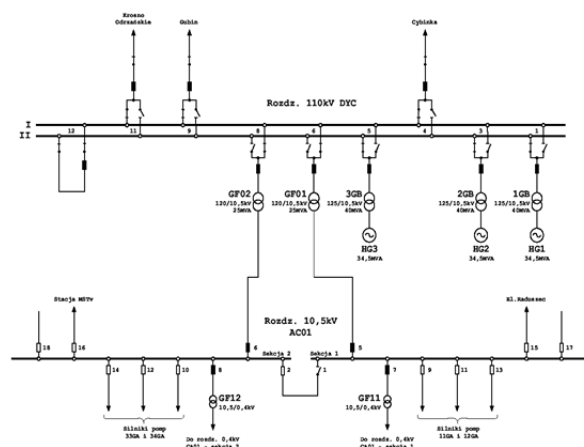
EW Dychów [5,6], usytuowana jest na rzece Bóbr, zasilana jest ze zbiornika o powierzchni 100 ha, mieszczącego w warstwie energetycznej 3 300 tys. m³ wody. Zmiana poziomu wody w górnym zbiorniku, pracującym z wyrównaniem dobowym, wynosi 3,3 m. Przepustowość kanału derywacyjnego kształtuje się na poziomie 100 m³/s, a wieloletni średnioroczny przepływ wody zasilającej zbiornik wynosi 40 m³/s (przepływ minimalny około 7 m³/s). W przypadku wystąpienia w KSE awarii katastrofalnej EW Dychów, pełniąc rolę elektrowni rozruchowej, może zapewnić dostawę mocy rozruchowej przez okres co najmniej 5 godzin przy średnim obciążeniu około 17 MW (przy „pustym” zbiorniku może zaistnieć potrzeba wykorzystania pojemności zbiornika Krzywianiec i częściowo kanału derywacyjnego).

W elektrowni zainstalowane są: 3 hydrozespoły z turbinami Kaplana o mocach 3 x 30,4 MW (mocy pozornej 3x34,5 MVA), oraz 4 zespoły pompowe o wydajności 16,2 m³/s z silnikami synchronicznymi o mocach 2 x 5,9 MW i 2 x 5,74 MW pracujące na napięciu 10,5kV.

Każdy generator synchroniczny pracuje w bloku z własnym transformatorem blokowym na szyny rozdzielni 110 kV GPZ Dychów (rys.3.). Rozdzielnia 110 kV połączona jest z siecią 110 kV ENEA Operator Sp. z o.o. trzema liniami w kierunku: Krosno Odrzańskie, Cybinka i Gubin.

Z rozdzielni R-110 kV zasilane są dwie sekcje rozdzielni 10,5 kV za pomocą transformatorów GF01 i GF02, każdy o mocy 25 MVA. Rozdzielnia 10,5 kV ma dwie sekcje szyn łączone przy pomocy sprzęgła (rys. 3.). Rozdzielnia jest 18 połowa. Z rozdzielni zasilane są: 2 silniki 5,9 MW pomp 33GA i 34GA, 2 silniki 5,74MW pomp 11GA i 12GA, linia elektrownia Raduszec, stacja MSTv, transformatory potrzeb własnych GF11 i GF12 10,5/0,4 kV.

Rozdzielnia potrzeb własnych 0,4 kV CA01 (dwusekcyjna) w normalnych warunkach eksploatacji zasilana jest poprzez transformatory GF11 (sekcja 1) i GF12 (sekcja 2) z rozdzielni 10,5 kV.



Rys.3. Schemat uproszczony GPZ Dychów; rozdzielnia 110 kV (R-1110) oraz rozdzielnia 10,5 kV – układ normalny pracy GPZ-u

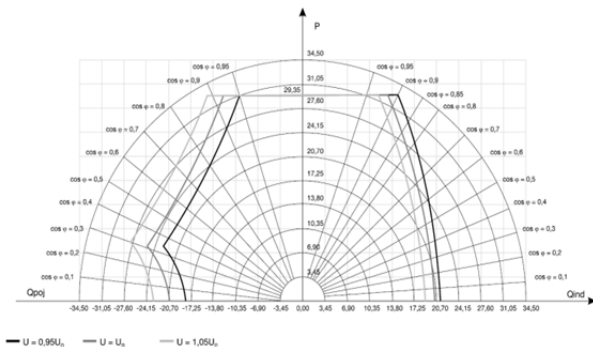
Możliwości pracy EW Dychów jako źródła rozruchowego

Samostart EW Dychów, po zaniku napięcia na szynach rozdzielni 110 kV, jest możliwy, ponieważ jest ona wyposażona w agregat prądowłórczy o mocy 200 kW, wystarczający do pokrycia następujących potrzeb własnych:

- zasilanie pomp olejowych układów regulacji hydrozespołów (po zaniku napięcia zamykają się aparaty kierownicze turbin),
- zasilanie sprężarek powietrza niskiego ciśnienia, dla wyhamowania odstawionych awaryjnie hydrozespołów i napowietrzania pomp przed ich rozruchem,

- zasilanie pozostałych instalacji technologicznych (pompy smarowania, chłodzenia, przecieków) oraz urządzeń sterowania zasilanych napięciem 230V AC.

Generatory jednostek wytwórczych EW Dychów wyposażone są w nowoczesne statyczne układy wzbudzenia. Regulatory napięcia typu PI pozwalają na automatyczną regulację napięcia w granicach od 0,9 do 1,1 U_n . Teoretycznie hydrogeneratory mogą pracować stabilnie w obszarze niedowzbudzenia (pobór mocy biernej) zgodnie ze wzorem $Q_{max} [Mvar] = 0,5 P [MW] - 22,5 [Mvar]$. Pomiary ruchowe przeprowadzone w EW Dychów wykazały możliwość pracy przy obciążeniu mocą czynną 10 MW i poborze mocy biernej do - 16 Mvar. Wskazuje na to aktualny wykres kołowy generatora hydrozespołu HG1 (rys. 4). Podobne możliwości mają hydrozespoły HG2 i HG3.



Rys.4. Wykres kołowy generatora hydrozespołu HG1

Jednostki wytwórcze EW Dychów wyposażone są także w nowoczesne cyfrowe układy regulacji prędkości obrotowej turbin. W regulatorach tych możliwa jest realizacja pięciu różnych pętli sterowania pracą turbiny. Dla celów pracy wyspowej wykorzystuje się pracę regulatora w pętli sterowania prędkością obrotową. Sterownik prędkości obrotowej jest regulatorem typu PIDP z parametrami sterowania, które mogą być zmienione w zależności od warunków pracy. Regulacja prędkości obrotowej i otwarcia aparatu kierowniczego jest zawsze aktywna, kiedy wyłącznik blokowy jest wyłączony. Przy zamkniętym wyłączniku blokowym i pracy w pętli regulacji prędkości obrotowej wartość zadana prędkości i otwarcie aparatu kierowniczego (zgodnie z wartością zadaną prędkości obrotowej) jest utrzymywane zgodnie z charakterystyką statyzmu.

Po przeanalizowaniu zdarzeń w EW Dychów, podczas nieudanej próby systemowej w 2007r., dokonane zostały zmiany w cyfrowych układach zabezpieczeń. Dokładna analiza układu zabezpieczeń bloku doprowadziła do decyzji o wyłączeniu i zmianie nastaw niektórych zabezpieczeń nie wpływając w istotny sposób na bezpieczeństwo pracy bloku w pracy wyspowej. Jako optymalne rozwiązanie wybrano utworzenie w systemie nadrzędnego sterowania dwóch banków nastaw:

- bank A - zestaw zabezpieczeń stosowany przy pracy na sieć sztywną,
- bank B - ograniczony, stosowany do pracy wyspowej w celu przygotowania hydrozespołu/hydrozespołów wytwórczych do udziału w black-startcie.

Zrealizowane w EW Dychów modyfikacje systemu zabezpieczeń i pozytywne wyniki prób wewnętrznych po tych zmianach pozwoliły na powtórne przeprowadzenie w 2008 r. udanej próby systemowej podania napięcia i mocy rozruchowej do Elektrowni Turów.

Próby systemowe uruchomienia z EW Dychów bloku energetycznego w Elektrowni Dolna Odra – dotychczasowe doświadczenia

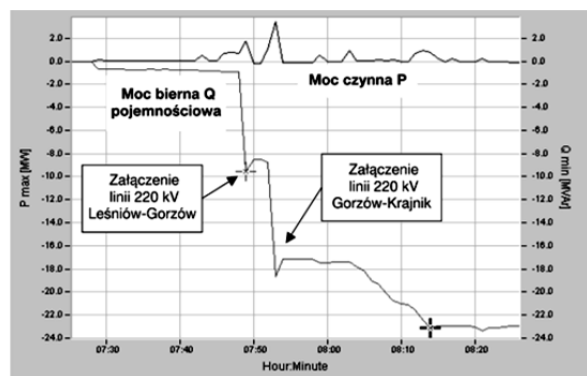
Wydzielenie toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra

W przeprowadzonych próbach systemowych działania operacyjne związane z wydzieleniem toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Dolna obejmowały szereg czynności łączeniowych umożliwiających wydzielenie z normalnej pracy elementów toru rozruchowego pokazanego na rysunku 1. Czas wydzielenia przedmiotowego toru rozruchowego (normalne warunki pracy KSE) wynosił ok.1h.

Tworzenie toru rozruchowego, podanie napięcia do Elektrowni Dolna Odra

Działania związane z tworzeniem toru rozruchowego i podaniem napięcia do Elektrowni Dolna Odra obejmują [8]:

- uruchomienie (samostart) hydrozespołu HG1 i następnie HG2 EW Dychów, ich synchronizacja, obniżenie napięcia na obu hydrozespołach do wartości 10 kV,
- zasilanie ciągiem liniowym 110kV wydzielonego systemu szyn 2 rozdzielni 110 kV stacji 220/110 kV Leśniów,
- załączenie obustronne autotransformatora AT-2 w stacji Leśniów,
- załączenie linii 220 kV Leśniów – Gorzów,
- załączenie linii 220 kV Gorzów – Krajnik,
- załączenie autotransformatora AT-1 w stacji Krajnik po stronie 220 kV oraz transformatora potrzeb ogólnych TR2 w stacji Dolna Odra,
- dokonanie regulacji napięcia wzdłuż toru rozruchowego zaczynając od regulacji napięcia generatorowego hydrozespołów HG1 i HG2 w EW Dychów do poziomu napięcia znamionowego 10,5 kV; następnie wykorzystując regulację przekładni autotransformatora AT-2 w stacji Leśniów i transformatora potrzeb ogólnych TR2 do osiągnięcia po stronie 6kV transformatora TR2 w stacji Dolna Odra napięcia na poziomie 6,3 kV,
- zasilanie wewnętrznego toru rozruchowego do zasilania potrzeb własnych bloku energetycznego nr 5 w Elektrowni Dolna Odra.



Rys.5. Zmiany mocy czynnej i biernej zarejestrowane w GPZ Dychów w linii 110 kV kierunku Krosno Odrzańskie w czasie tworzenia toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra.

Czas podania napięcia z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra wyniósł ok.1 h. Załączenie linii 220 kV Leśniów – Gorzów i następnie Gorzów – Krajnik spowodowało znaczny wzrost obciążenia hydrogeneratorów mocą bierną pojemnościową. Maksymalna jej wartość osiągnęła około

23 Mvar (rys.5), po regulacji napięcia wzdłuż toru do wartości umożliwiających utrzymanie w rozdzielni 6 kV RR1 w Elektrowni Dolna napięcia na poziomie 6,3 kV. Ten wzrost obciążenia hydrozespołów mocą pojemnościową nie spowodował jednak zakłóceń w ich pracy.

W wariacie rezerwowym pracy toru rozruchowego przyjęto ewentualną konieczność częściowej kompensacji mocy biernej pojemnościowej generowanej przez linie 220kV za pomocą rozstrojenia przekładni równoległe połączonych autotransformatorów AT1 i AT2 w stacji Gorzów (rys.1). Osiągnięty poziom mocy biernej pojemnościowej na poziomie 23 Mvar spowodował, że nie było konieczności zastosowania tego rozwiązania.

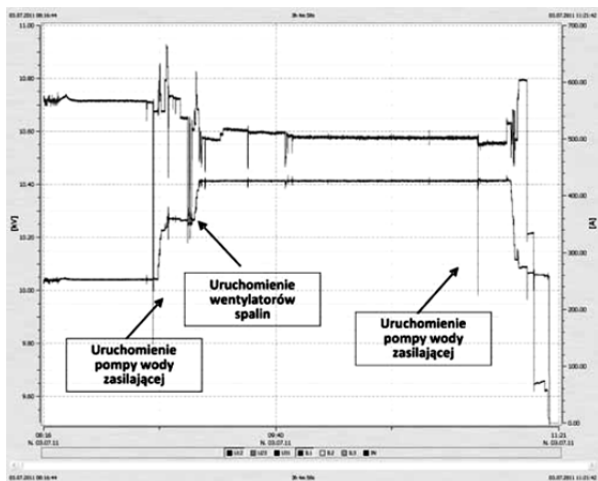
Podanie mocy rozruchowej do Elektrowni Dolna Odra

Działania związane z podaniem mocy rozruchowej z EW Dychów do Elektrowni Dolna Odra obejmują:

- zasilenie wewnętrznego toru rozruchowego wytypowanego bloku nr 5 o mocy 222 MW,
- przeprowadzenie pełnego rozruchu bloku nr 5 o mocy 222 MW zgodnie z czynnościami podanymi w tabeli 1.

Tabela 1. Czynności podczas uruchamiania bloku nr 5

Czynności	Moc [kW]
Uruchomienie pompy kondensatu	200
Uruchomienie pompy wody zasilającej	3150
Uruchomienie pompy wody chłodzącej	1250
Uruchomienie pompy olejowej rozruchowej	200
<i>Rozpoczęcie wytwarzania próżni w skraplaczu</i>	
Uruchomienie wentylatorów spalin	2 x 1200
Uruchomienie wentylatorów powietrza	2 x 550/300
<i>Rozpalenie kotła – palniki mazutowe</i>	
Uruchomienie wentylatora recyrkulacji spalin	315
Uruchomienie drugiej pompy kondensatu	220
Uruchomienie wentylatora młynowego	400
Uruchomienie młyna węglowego	200
Uruchomienie drugiego wentylatora młynowego	400
Uruchomienie drugiego młyna węglowego	200
<i>Po uzyskaniu odpowiednich parametrów pary uruchomienie turbiny (3000 obr/min)</i>	



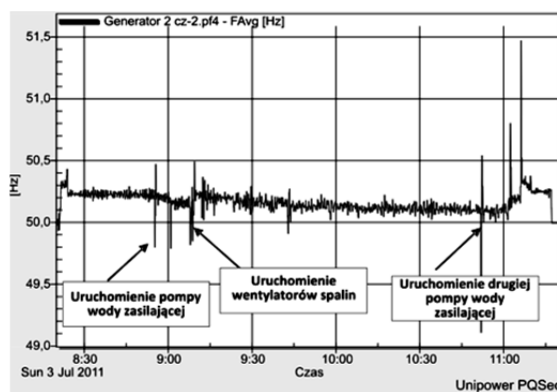
Rys.6. Zmiany napięcia generatorowego (wykres dolny) oraz prądu (wykres górny) hydrozespołu HG1 w EW Dychów w czasie uruchamiania urządzeń potrzeb własnych bloku energetycznego nr 5 w Elektrowni Dolna Odra

Całkowite zapotrzebowanie bloku w Elektrowni Dolna Odra na moc rozruchową wynosi 8,0 MW, a największy odbiór to pompa wody zasilającej o mocy 3,15 MW. Czas rozruchu po postoju godzinnym bloku wynosi ok. 2,0 h.

W trakcie uruchamiania bloku nr 5 w Elektrowni Dolna Odra, podczas załączania dużych napędów w grupie urządzeń potrzeb własnych, występowały charakterystyczne „przysiady” napięcia (rys.6). Zmianom tym towarzyszyły zmiany mocy czynnej i biernej. Zmiany napięcia były bez problemów zregulowane przez układy regulacji napięcia generatorów hydrozespołów HG1 i HG2.

Praca układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów

Zmiany częstotliwości, charakteryzujące poprawność pracy układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów, w pierwszej fazie eksperymentu były niewielkie. Natomiast zmiany obciążenia, wywołane np. załączaniem dużych odbiorów w Elektrowni Dolna Odra lub wyłączeniem rozdzielni blokowych potrzeb własnych w końcowej fazie eksperymentu, powodowały odchylenia częstotliwości od 49,2 Hz do 51,4 Hz. Jednak układy regulacji prędkości szybko te zmiany opanowywały. Ilustruje to przebieg częstotliwości przedstawiony na rysunku 7. Regulatory pracowały w regulacji obrotów RO(P) ze statyzmem 6%.



Rys.7. Zmiany częstotliwości zarejestrowane na zaciskach generatora HG2 w EW Dychów w czasie uruchamiania bloku energetycznego nr 5 w Elektrowni Dolna Odra

Podsumowanie dotychczasowych doświadczeń uruchamiania bloku energetycznego w Elektrowni Dolna Odra z samo startującego źródła - EW Dychów

1. Do uruchomienia bloku energetycznego w Elektrowni Dolna Odra, ze względu na znaczną moc pojemnościową ładowania dwóch linii 220 kV podczas tworzenia toru rozruchowego, potrzebna jest praca synchroniczna dwóch hydrozespołów w EW Dychów. Przeprowadzona próba systemowa potwierdziła, że takie możliwości EW Dychów posiada. EW Dychów może realizować ten rodzaj pracy po odpowiednim przystosowaniu nastaw zabezpieczeń i automatyki regulacyjnej do pracy wydzielonej.

2. W celu stworzenia warunków dla bezpiecznego tworzenia torów rozruchowych wymaga się zaniżenia napięcia synchronicznie pracujących hydrogeneratorów do ok. 9,5-10,0 kV. Automatyczne układy regulacji napięcia hydrogeneratorów EW Dychów umożliwiają ustawienie takiego poziomu napięcia.

3. W pracy wydzielonej z torami rozruchowymi maksymalna moc bierna pobierana przez pojedynczy hydrogenerator EW Dychów nie powinna być większa niż 16 Mvar (wykres kołowy ryc. 3). W przypadku toru rozruchowego do Elektrowni Dolna Odra warunek ten jest spełniony. Nie istnieje potrzeba wykorzystania dodatkowej kompensacji mocy biernej np. za pomocą rozstrojenia przekładni równoległe połączonych autotransformatorów AT1 i AT2 w stacji Gorzów (rys.1).

4. Uruchamianie urządzeń potrzeb własnych bloku nr 5 spowodowało maksymalne odchylenie częstotliwości 0,8 Hz; większe odchylenia częstotliwości odnotowano przy wyłączeniu rozdzielni blokowych potrzeb własnych w końcowej fazie eksperymentu. Wszystkie odchylenia były jednak szybko zregulowane przez układy regulacji prędkości obrotowej synchronicznie pracujących hydrogeneratorów.

Próby systemowe uruchomienia z EW Dychów bloku energetycznego w Elektrowni Turów – dotychczasowe doświadczenia, wstępne wyniki z tegorocznej próby systemowej

Wydzielenie toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Turów

Uproszczony opis działań związanych z wydzieleniem toru rozruchowego z EW Dychów do Elektrowni Turów (rys.2) obejmuje następujące czynności [7]:

- przygotowanie do pracy autonomicznej hydrozespołów HG1 i HG2 w EW Dychów,
- uwolnienie od napięcia szyn 110 kV w GPZ-ach i stacjach: Dychów – system II, Krosno Odrzańskie i Leśniów – system 2;
- wyłączenie obustronne autotransformatora AT-2 w stacji Leśniów i przygotowanie do załączenia na wydzielony system 2 szyn 110 kV stacji; ustawienia przełącznika zaczełów w położenie 11B (środkowe),
- odłączenie obustronne linii 220 kV Leśniów – Mikułowa,
- wyłączenie obustronne autotransformatora AT-4 w stacji Mikułowa, ustawienie przełącznika zaczełów w położenie 11B (środkowe),
- uwolnienie systemu II rozdzielni 110 kV w stacji Mikułowa,
- uwolnienie system II rozdzielni 110 kV YOAEA, przygotowanie wewnętrznego toru rozruchowego w elektrowni Turów,
- wykonanie zmiany w nastawach zabezpieczeń i pracy automatów.

Czas wydzielania przedmiotowego toru rozruchowego (normalne warunki pracy KSE) podczas próby systemowej w 2008 r wyniósł ok. 35 minut.

Tworzenie toru rozruchowego, podanie napięcia do Elektrowni Turów

Planowane działania związane z tworzeniem toru rozruchowego i podaniem napięcia do Elektrowni Turów będą obejmują (opis uproszczony na podstawie doświadczeń z 2008r.):

- uruchomienie kolejno hydrozespołów HG1 i HG2 w EW Dychów ich synchronizację i ustawienie napięcia generatorowego na możliwie niskim poziomie (rzędu 9,5-10,0 kV),
 - sekwencyjne podanie napięcia do stacji Leśniów, załączenie autotransformatora AT-2 220/110 kV w stacji Leśniów,
 - załączenie linii 220 kV Leśniów – Mikułowa (napięcie w stacji Mikułowa nie powinno przekraczać 220 kV), autotransformatora AT-4 220/110 kV w stacji Mikułowa, linii S306 110kV Mikułowa – Elektrownia Turów oraz transformatora rozruchowego BCT20,
 - regulację napięcia na szynach 6 kV potrzeb ogólnych elektrowni (rozdzielnia Y2BCA) na poziomie 6.3-6,4 kV.
- Podczas ostatniej próby systemowej czas podania napięcia z EW Dychów do Elektrowni Turów wyniósł ok.1 h.

Załączenie linii 220 kV Leśniów – Mikułowa spowodowało znaczny wzrost obciążenia hydrozespołów mocą bierną pojemnościową. Maksymalna jej wartość osiągnęła około 17 Mvar (rys. 8). Ten wzrost obciążenia

hydrozespołów mocą pojemnościową nie spowodował jednak zakłóceń w ich pracy.

Podanie mocy rozruchowej z EW Dychów do Elektrowni Turów

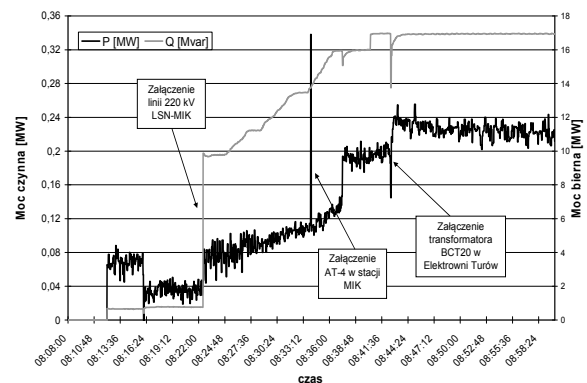
Działania związane z podaniem mocy rozruchowej z EW Dychów do Elektrowni Turów obejmują:

- zasilenie wewnętrznego toru rozruchowego wytypowanego bloku 261 MW (z bloków nr 4-6) w Elektrowni Turów,
- przeprowadzenie pełnego rozruchu wydzielonego bloku 261 MW w Elektrowni Turów.

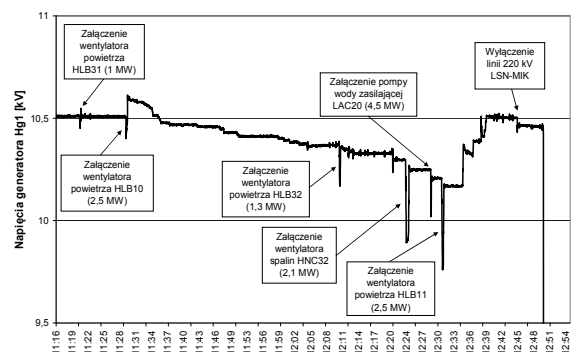
W trakcie uruchamiania bloku nr 4 w Elektrowni Turów, podczas załączania dużych napędów w grupie urządzeń potrzeb własnych, występowały charakterystyczne „przysiady” napięcia (Rys.9). Zmianom tym towarzyszyły zmiany mocy czynnej i biernej, przy czym załączaniu odbiorów o charakterze indukcyjnym towarzyszyło zmniejszenie obciążenia mocą bierną pojemnościową EW Dychów.

Praca układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów HG1 i HG2

Zmiany częstotliwości, które świadczą o własnościach pracy układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów, w pierwszej fazie eksperymentu były niewielkie. Natomiast zmiany obciążenia, wywołane załączaniem dużych odbiorów potrzeb własnych w Elektrowni Turów lub wyłączeniem rozdzielni blokowych potrzeb własnych w końcowej fazie eksperymentu



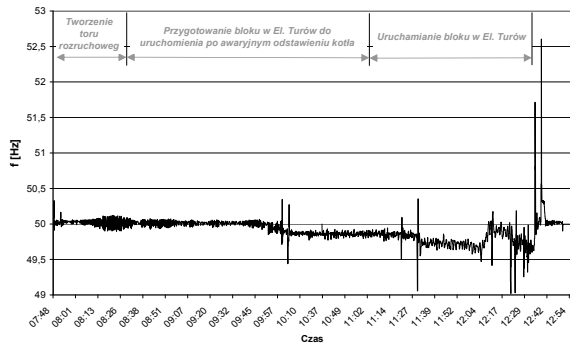
Rys.8. Moc czynna i bierna w linii 110 kV kierunku Krosno Odrzańskie w czasie tworzenia toru rozruchowego podczas próby systemowej w 2008 r.



Rys.9. Zmiany napięcia generatorowego hydrozespołu HG1 w EW Dychów w czasie uruchamiania bloku energetycznego w Elektrowni Turów podczas eksperymentu w 2008 r.

Praca układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów HG1 i HG2

Zmiany częstotliwości, które świadczą o własnościach pracy układów regulacji prędkości obrotowej hydrozespołów, w pierwszej fazie eksperymentu były niewielkie. Natomiast zmiany obciążenia, wywołane załączaniem dużych odbiorów potrzeb własnych w Elektrowni Turów lub wyłączeniem rozdzielni blokowych potrzeb własnych w końcowej fazie eksperymentu, powodowały znaczne odchylenia częstotliwości od 49 Hz do 52,5 Hz.



Rys. 10. Zmiany częstotliwości zarejestrowane w EW Dychów w trakcie próby systemowej w 2008 r.

Jednak układy regulacji prędkości szybko te zmiany opanowywały. Ilustruje to przebieg częstotliwości w czasie całego eksperymentu, przedstawiony na rys.10. Regulatory pracowały w regulacji obrotów RO(P) ze statyzmem 6%.

Uwagi z dotychczasowych doświadczeń uruchamiania z EW Dychów bloku energetycznego w Elektrowni Turów

1. Po nieudanym eksperymencie 2007 r. dokonano dokładnej analizy pracy zabezpieczeń generatorów przygotowując i wdrażając dwa banki zabezpieczeń – dla pracy normalnej hydrozespołów EW Dychów oraz dla pracy wydzielonej elektrowni (PWE). Przejście do nowego zbioru nastaw zabezpieczeń odbywa się automatycznie.

2. Zarówno do uruchomienia turbozespołu w Elektrowni Turów jak i w Elektrowni Dolna Odra potrzebna jest praca synchroniczna na biegu jałowym dwóch hydrozespołów w EW Dychów (ze względu na obciążenie generatorów mocą bierną pojemnościową linii – w przypadku podania napięcia do Elektrowni Turów na poziomie 17 Mvar). Maksymalna moc bierna pojemnościowa, którą można obciążyć jeden generator jest na poziomie 10-12 Mvar.

3. Pracę regulatorów prędkości obrotowej firmy Voith Siemens hydrozespołów w EW Dychów należy uznać za poprawną.

4. Przyjęte rozwiązanie łączności dyspozytorskiej w postaci telekonferencji w pełni sprawdziło się podczas eksperymentu. Tego typu zestawienia łączności mogą być z powodzeniem stosowane w przypadku zaistnienia stanu awarii systemowej w KSE.

Wyniki wstępne z tegorocznej próby systemowej z dn. 10.07.2016 r.

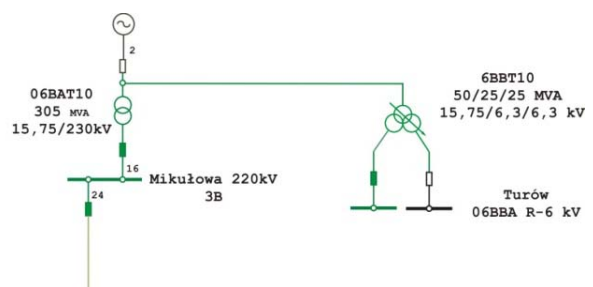
W przeprowadzonej w dn. 10.07.2016 r. próbie systemowej, wspólnie z Energopomiarem-Elektryka w Gliwicach wprowadzone zostały trzy istotne zmiany w strukturze toru rozruchowego pokazanego na rysunku 2 :

- napięcie i moc rozruchowa na potrzeby własne uruchamianego bloku nr 6 w Elektrowni Turów zostały podane ze stacji 220/110 kV Mikułowa bezpośrednio linią blokową 220 kV na transformator blokowy 06BAT10 i transformator potrzeb własnych 6BBT10 (rys. 11)

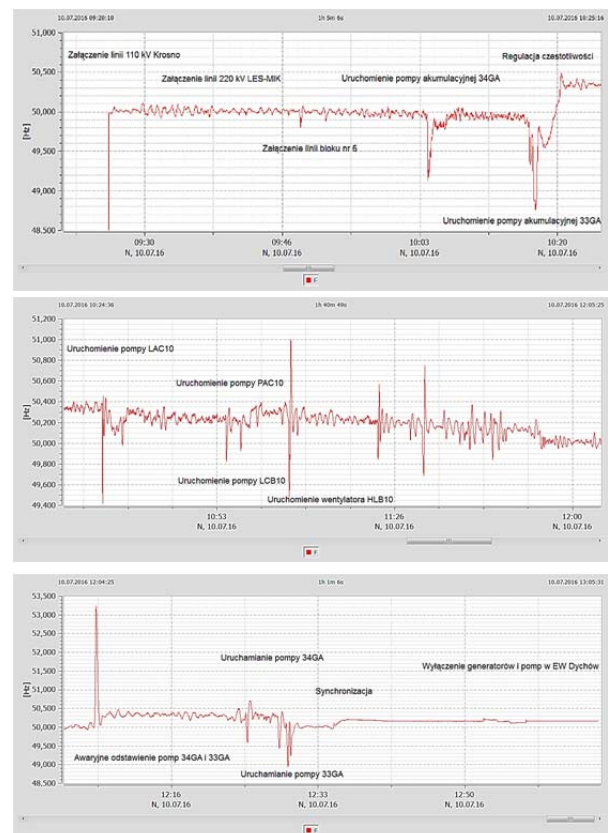
- po utworzeniu toru rozruchowego zostały uruchomione w EW Dychów dwie pompy 33GA i 34GA z silnikami synchronicznymi o mocy 5,9 MW każda,
- po uruchomieniu bloku nr 6 w Elektrowni Turów nastąpiła jego synchronizacja z dwoma hydrozespołami w EW Dychów. Utworzony układ wyspowy pracował przez ok. 10 min.

Przygotowaną próbę należy uznać za w pełni udaną, mimo kilku zjawisk negatywnych np. awaryjnego ostawienia pomp 33GA i 34 GA, które zostały opanowane. Na rys. 12 pokazano przebieg częstotliwości zarejestrowany podczas przeprowadzonej próby systemowej. Świadczy on o poprawnej pracy utworzonego układu sieciowego.

Szczegółowe wyniki przeprowadzonej próby systemowej, po ich dokładnym opracowaniu, zostaną przedstawione w kolejnych pracach.



Rys.11. Uproszczony schemat (końcowy fragment) toru rozruchowego 110 kV i 220 kV z EW Dychów do Elektrowni Turów wydzielony i utworzony podczas próby systemowej w dn. 10.07.2016 r.



Rys.12. Zmiany częstotliwości zarejestrowane w EW Dychów podczas próby systemowej w dn. 10.07.2016 r.(w trzecim fragmencie rysunku pokazany jest moment synchronizacji uruchomionego bloku nr 6 z dwoma hydrozespołami EW Dychów)

Wnioski

Przygotowania elektrowni do roli źródła rozruchowego są sprawdzane w testach i próbach systemowych. Dotychczasowe eksperymenty pokazują, że przeprowadzanie testów i prób systemowych pozwala ocenić rzeczywisty stan przygotowania elektrowni do pełnienia roli samostartującego źródła rozruchowego, zidentyfikować istniejące ograniczenia w realizacji takiej usługi systemowej i usunąć wszystkie przeszkody. Eksperymenty systemowe pozwalają potwierdzić poprawność założeń w scenariuszach zdalnej odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych.

Autorzy: dr inż. Ireneusz Grządzielski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: ireneusz.grzadzieski@put.poznan.pl;
dr inż. Krzysztof Sroka, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Krzysztof.sroka@put.poznan.pl

LITERATURA

- [1] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP)- Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci, v.2.0. z dn. 15 grudnia 2011 r. (tekst obowiązujący od 01 maja 2016 r.).
- [2] 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 PAN, 2016. - S. 255-268.*
- [3] 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 PAN, 2014. - S. 55-70.*
- [4] Grządzielski I., Sroka K.: Restytucja zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych w zachodniej części Krajowego Systemu Elektroenergetycznego w trakcie awarii katastrofalnej. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 86 NR 8/2010, ss.30-36, ISSN 0033-2097.
- [5] Sroka K., Grządzielski I., Marszałkiewicz M., Borodyńko J.: Zewnętrzne źródła rozruchowe dużych jednostek wytwórczych na przykładzie elektrowni wodnej Dychów. *ENERGETYKA*, (2008), zeszyt tematyczny nr XVII, ss.96-100.
- [6] Grządzielski I., Marszałkiewicz K., Sroka K., Borodyńko J.: Testy sprawdzające dla samostartującej elektrowni wodnej Dychów – instrukcje podania napięcia i mocy rozruchowej do elektrowni ciepłych. *ENERGETKA*, Zeszyt tematyczny XX, 2010, ss.93-100, ISSN 0013-7294.
- [7] Grządzielski I., Marszałkiewicz M., Sroka K., Roszkiewicz J i inni: Eksperyment systemowy podania napięcia i mocy rozruchowej z elektrowni Dychów do elektrowni Turów. *ENERGETYKA*, (2008) zeszyt tematyczny nr XVII, 92-95.
- [8] I. Grządzielski , K. Sroka, K. Marszałkiewicz: Samostart i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z elektrowni wodnej Dychów do elektrowni Dolna Odra – próba systemowa. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, nr 9, 2012 r., ss.16-21, ISSN 0033-2097.
- [9] I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, P. Paszkiewicz: Badania symulacyjne pracy toru rozruchowego z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra. *ENERGETYKA*, Zeszyt tematyczny XXIII, ss. 147-154, maj 2012, ISSN 0013-7294.
- [10] Grządzielski I., Sroka K., Radsak D., Borodyńko J.. Elektroenergia wodna Dychów jako źródło rozruchowe do odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych w zachodniej części Krajowego Systemu Elektroenergetycznego *Rozdział w monografii: Blackout a krajowy system elektroenergetyczny / red. Andrzej Demenko, Józef Lorenc /- Poznań, Ośrodek Wydawnictw Naukowych PAN, 2016. - S. 281-298.*