

Aspekty środowiskowo-ekonomiczne przyspieszonego rozruchu turbin parowych dużej mocy

Environmental and economic aspects of accelerated start-up of high-power steam turbines

W obecnych czasach wiadomym i oczywistym jest negatywny wpływ źródeł energii odnawialnej na pracę konwencjonalnych bloków energetycznych [1]. Powstało wiele artykułów i publikacji na temat wpływu OZE na pracę bloków konwencjonalnych. W celu zmniejszenia negatywnego wpływu źródeł odnawialnych powstał program „bloki 200+”.

Z punktu widzenia eksploatacji kocioł bloków parowych stwarza najwięcej problemów. Jest to część bloku odpowiedzialna za około 70% awarii. Ze względu na to, iż dynamika kotła jest znacznie mniejsza niżeli turbiny parowej, turbina musi dostosowywać się do wymagań kotła [2]. Jakkolwiek w przypadku sterowania z prowadzącą turbiną, to turbina narzuca warunki pracy na kocioł, tak w ogólnym rozrachunku – to kocioł jest najbardziej awaryjnym elementem bloku [2].

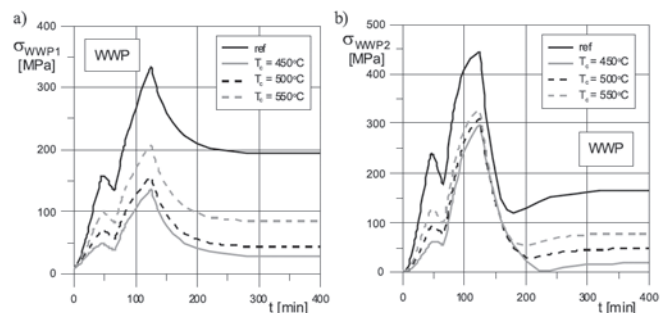
Z tego względu rozruch kotła przebiega dłużej aniżeli rozruch turbiny. Poczynione zostały analizy [3], które świadczą o możliwości skrócenia czasu rozruchu kotła przy zachowaniu naprężeń na bezpiecznym poziomie. Dzięki temu można było rozpocząć prace nad skróceniem czasu rozruchu turbiny. Prace takie zostały poczynione, a ich wyniki są zadowalające [3].

Upatrując nadziei na poprawę bezpieczeństwa energetycznego kraju w przyspieszonym rozruchu jednostek wytwórczych energii elektrycznej należy określić wpływ tego zabiegu na środowisko i ekonomię. Zakładając, że przyspieszony rozruch turbiny parowej z teoretycznego punktu widzenia jest możliwy [1, 3-5], można poczynić dywagację na kolejny temat, mianowicie korzyści z tego płynących.

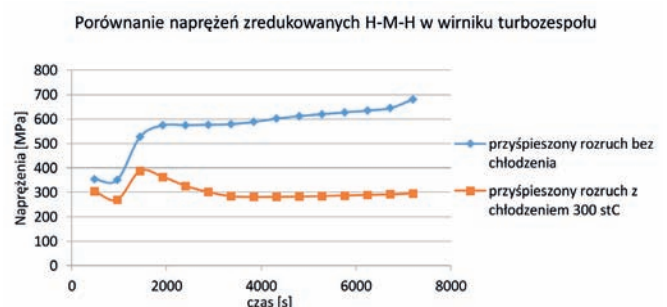
Technologie przyspieszonego rozruchu

W literaturze spotkać można wiele możliwości skrócenia czasu rozruchu. W. Kosman w dziele [4] proponuje zewnętrzny wtrysk pary chłodzącej podczas rozruchu turbiny. Wprowadzenie do turbiny strumienia dodatkowego pozwala na sterowanie w pewnym zakresie stanem cieplnym elementów maszyny [4]. Wprowadzenie medium o niższej wartości temperatury prowadzi do zmniejszenia wartości temperatury newralgicznych punktów turbiny podatnych na zmęczenie oraz pełzanie [1]. Technologią chłodzenia turbin stosuje firma *Siemens*, jednakże wykorzystuje ją w części SP turbiny [3]. Jakkolwiek w literaturze występuje

wiele możliwości przyspieszenia rozruchu turbiny [1-10], w niniejszym artykule autorzy skupili się na przyspieszonym rozruchu turbiny parowej za pomocą wtrysku pary chłodzącej. Rozważany sposób prowadzenia rozruchu prowadzi do zmniejszenia wartości naprężeń w newralgicznych miejscach konstrukcji turbiny, czego dowodzą analizy numeryczne przeprowadzone przez W. Kosmana [2, 4-5] oraz M. Bryka [1]. Wyniki analizy W. Kosmana uwidocznione są na rysunku 1, natomiast analizy M. Bryka na rysunku 2.



Rys. 1. Porównanie przebiegów naprężeń w wirniku dla rozruchu przyspieszonego w punktach WWP1 (a) i WWP2 (b) [2]



Rys. 2. Porównanie przebiegów naprężeń w wirniku dla rozruchu 3h z chłodzeniem [1]

Zmniejszenie wartości naprężeń podczas rozruchu przyspieszonego było najważniejszą rzeczą, na którą należało zwrócić uwagę przy rozpatrywaniu tego typu rozruchu. Ze względu na to, iż zmniejszenie wartości naprężeń podczas rozruchu nie

ma dużej siły przebicia w środowisku zwykłych podatników, należy przedstawić zagadnienie skrócenia rozruchu tak, aby ludzie dostrzegli korzyści z tego płynące.

Aspekty środowiskowo-ekonomiczne

Wiadomym jest, że najlepszym sposobem ukazania korzyści jest przedstawienie zysku pieniężnego oraz środowiskowego. Przyspieszenie rozruchu turbiny parowej prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa przez blok podczas rozruchu oraz szybsze oddawanie energii elektrycznej do sieci [1]. Obydwa aspekty związane są z oszczędnościami pieniędzy. Ze względu na to, że podczas rozruchu turbiny energia elektryczna nie jest oddawana do sieci, traktować można ten zabieg jako stratę. Skracając rozruch o godzinę ma się na myśli zmniejszenie straty paliwa o godzinę [1] oraz o godzinę szybsze oddawanie energii elektrycznej do sieci. Jakkolwiek jedna godzina wydaje się niezbyt długim czasem i można zadać pytanie czy jest się w stanie z tego cokolwiek zarobić, należy pamiętać, że kocioł pracujący w bloku z turbiną klasy 18k390 w Bełchatowie spala w znamionowych warunkach pracy, w zależności od wartości opałowej, od 460-560 ton węgla brunatnego na godzinę [11]. Dodatkowo w przypadku rozruchu i stanów nieustalonych, ilość spalanej węgla jest większa [1,2].

Szacunkowe oszczędności

Zakładając, że turbina odstawiana jest raz na dwa dni, czyli de facto raz na dwa dni prowadzony jest jej rozruch, można oszacować, że zmniejszenie czasu rozruchu o godzinę prowadzi w skali roku do oszczędności rzędu 83 720 - 10 120 ton węgla na rok. Dodatkowo zakładając cenę węgla brunatnego z Bełchatowa na poziomie 150 zł za tonę [12] otrzymuje się 12,6-15,3 mln zł oszczędności rocznie na samym paliwie. Przechodząc do zysków ze sprzedaży energii elektrycznej. Jedna godzina pracy bloku 18k390 z mocą 370 MW oznacza 370 MWh. Średnia cena energii elektrycznej za I kwartał 2018 roku wyniosła 174,95 zł/MWh [12]. Czyniąc prostą kalkulację uzyskuje się 11,8 mln zł zysku z przyspieszenia sprzedaży energii elektrycznej.

Kolejnym aspektem jest aspekt środowiskowy. Zmniejszenie ilości spalanej paliwa podczas rozruchu prowadzi do zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery oraz innych tlenków. Zakładając ilość generowanego CO₂ podczas spalania węgla w ciągu jednej godziny na 0,9 ton CO₂ [12], można zmniejszyć emisję CO₂ o 60 606 ton na rok. Zmniejszenie emisji powoduje korzyść środowiskową oraz ekonomiczną ze względu na opłatę za emisję CO₂ [14]. Dokonując prostych rachunków, z tytułu zmniejszenia emisji CO₂ można zaoszczędzić około 15,15 mln zł na rok.

Podsumowując, skrócenie czasu rozruchu należy postrzegać – oprócz zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju – jako korzyść materialną i środowiskową. Przy założeniach poczynionych w artykule można zyskać około 39,7-42,3 mln zł na rok wskutek zmniejszenia czasu rozruchu o godzinę. Przy założeniu rozruchu raz na 4 dni oszczędności plasują się na poziomie 19,9-212 mln zł na rok.

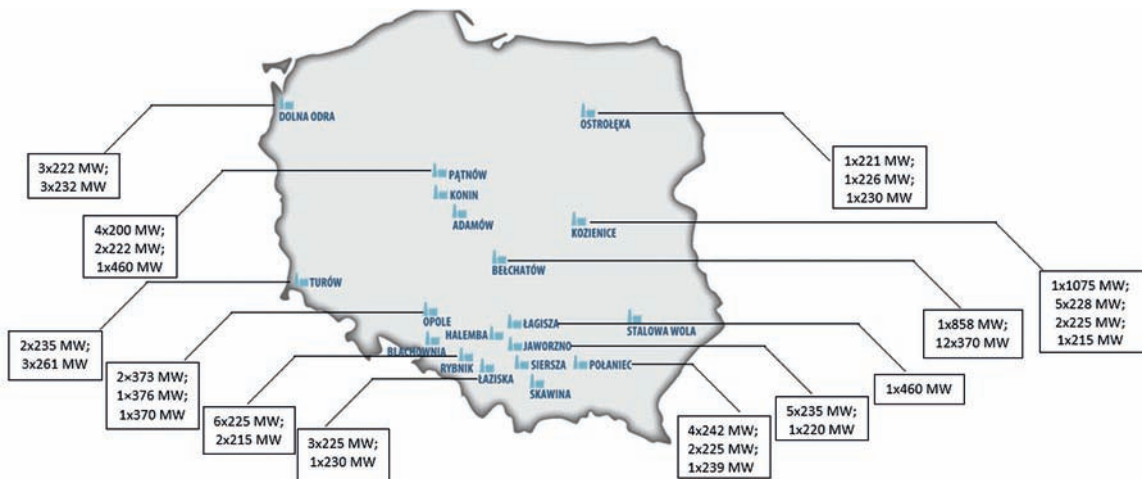
Potencjalni adresaci

Jak widać poczynione kalkulacje odnoszą się jedynie do jednego bloku energetycznego. Idea sterowania rozruchem za pomocą wewnętrznego chłodzenia parą może zostać wprowadzona na większości jednostek wytwórczych w Polsce. Jednostki, w których może być zastosowany przyspieszony rozruch za pomocą sterowania wtryskiem pary chłodzącej przedstawione zostały na rysunku 3. Są to jednostki, w których modernizacja mogłaby być ekonomicznie uzasadniona.

Podsumowanie

Sterowanie parą chłodzącą w zaproponowanym rozwiązaniu nie odnosi się jedynie do rozruchu turbiny. Rozwiązanie to może zostać zastosowane również w przyspieszeniu regulacji mocy bloku. Z racji tego, iż w trakcie najazdów bądź zjazdów mocy mamy do czynienia ze stanami nieustalonymi, podczas których spalana jest większa ilość paliwa, czas tych procesów można skrócić, co niesie za sobą korzyści ekologiczne i ekonomiczne.

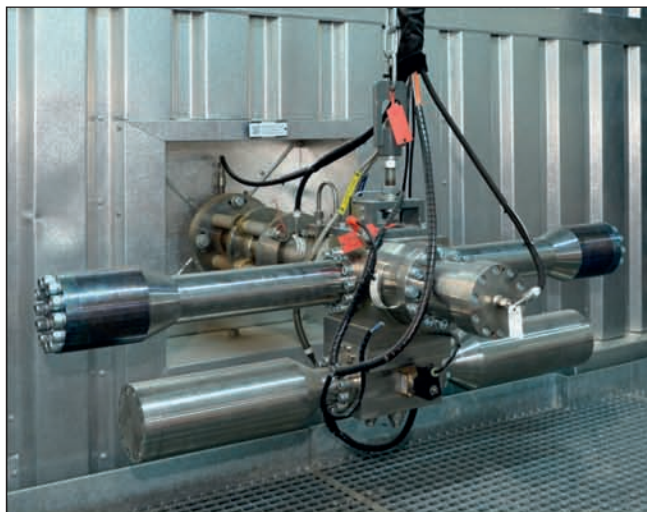
Rys. 3. Jednostki wytwórcze, w których można zastosować ideę przyspieszonego rozruchu



Należy nadmienić, że oszacowanie oszczędności wykonane zostało na poziomie akademickim. Jakkolwiek analiza dostarcza ogólnego pojęcia o możliwościach oszczędności, powinna zostać wykonana analiza specjalistyczna odnosząca się do konkretnego bloku oraz uwzględniająca charakterystyczne zmienne dla bloku. Dokładna analiza ekonomiczna jest w stanie bardziej przybliżyć możliwe do osiągnięcia zyski, jednakże wyniki szacunkowych obliczeń, zamieszczonych wobec postawionych w artykule założeń, są wiarygodne.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Bryk M., *Analiza problemów szybkich rozruchów i odstawień turbin dużej mocy*, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Gdańska, promotor prof. dr hab. J. Głuch, październik 2017.
- [2] Domachowski Z., *Regulacja automatyczna turbozespołów cieplnych*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [3] Kosman G., Rusin A., Taler J., Pawlik M., *Zagadnienia projektowania i eksploatacji kotłów i turbin do nadkrytycznych bloków węglowych*. „Archiwum Energetyki” 2013, tom XLIII, nr 1-2, s. 147-155.
- [4] Kosman W., *Analiza obciążeń cieplnych podczas rozruchu nadkrytycznych turbin parowych z chłodzeniem zewnętrznym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [5] Badur J., Bryk M., *Krajowe nadkrytyczne bloki węglowe: praca podstawowa czy elastyczna?* „Nowa Energia” 2018, 2(62).
- [6] Kosman G., Rusin A., Taler J., Pawlik M., *Zagadnienia projektowania i eksploatacji kotłów i turbin do nadkrytycznych bloków węglowych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [7] Kosman W.: *Optimization of start-up conditions to reduce thermal loads in cooled components of a supercritical steam turbine*. “Journal of Power Technologies” 2011, Vol. 91, p. 47-53.
- [8] Badur J., Kowalczyk T., Ziółkowski P., Ziółkowski P.J., Sławiński D., Bryk M., Stajnke M., *The problem of thermal unit elasticity under the conditions of dynamic RES Development*. “Acta Energetica” 2017, DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2017209.
- [9] Badur J., Sławiński D., Kornet S., Kowalczyk T., Bryk M., Ziółkowski P.J., Stajnke M., Ziółkowski P., *Pozaprojektowe ograniczenia mające na celu utrzymanie dyspozycyjności turbiny parowej dużej mocy*. „Energetyka” 2016, nr 11, s. 652-654.
- [10] Ziółkowski P., Badur J., Bzymek G., *Modelowanie węzła stopnia regulacyjnego turbin typu 360 MW*. „Energetyka” 2016, nr 11, s. 710-712.
- [11] Dane techniczne kotła – swpp system pge, Optymalizacja pracy bloku w zakresie niskich obciążeń, praca kotła na dwóch zespołach młynowych.
- [12] Cena sprzedaży węgla: <https://kwbelchatow.pgegiek.pl/Ofer-ta/Sprzedaz-węgla> (data dostępu 15.08.2018).
- [13] Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (nr 45/2018) w sprawie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w I kwartale 2018 roku.
- [14] Dołęga W., *Ekologia w wytwarzaniu*. „Energia Gigawat” 2016, nr 5.



Shock Pulse Generator – Generator Impulsów Uderzeniowych – do efektywnego czyszczenia kotłów online

- Znaczący wzrost wydajności kotła i mocy instalacji
- Wyjątkowo wysoki stopień usunięcia osadu żużlu i lotnego popiołu
- Zastosowanie od rusztu do ekonomizera
- Brak ścierania termicznego lub uszkodzeń orurowania kotła
- System modułowy i kompaktowy, sterowany numerycznie
- Redukcja kosztów inwestycji, użytkowania i montażu
- Sprawdzona technologia w ponad 450 instalacjach w więcej niż 20 krajach
- Zastosowanie: spalarnie śmieci, osadów ściekowych i niebezpiecznych, kotły na węgiel i biomasę, filtry, cementownie, generatory pary odzysku ciepła

Instalacja na biomasę, Silbitz, Niemcy, Pan A.Michaelis:
„Dzięki zastosowaniu Shock Pulse Generator mogliśmy obniżyć nasze koszty czyszczenia online o dwie trzecie!”

Spalarnia śmieci Zurych, Pan B.Dettwiller:
„Shock Pulse Generator pozwala nam na utrzymywanie produkcji ciepła dla sieci miejskiej z maksymalną wydajnością przez cały dzień”



www.explosionpower.ch