

SPOSÓB WYZNACZENIA I KONTROLI OPLACALNOŚCI KOGENERACYJNEJ PRACY BLOKÓW PAROWYCH ZE ŹRÓDŁAMI OZE

Janusz Badur, Paweł Ziółkowski, Daniel Sławiński

Słowa kluczowe: ekonomia prowadzenia bloków, kogeneracja, żywotność elementów rurociągu

Streszczenie. W artykule poruszono problem koegzystencji konwencjonalnych bloków parowych z silnie rozwijającą się energetyką odnawialną. Wskazano na zagrożenia, jakie wynikają z różnych specyfik pracy poszczególnych źródeł. Bloki pracujące w tzw. gorącej rezerwie szybciej się degradują, a ich naprawy muszą być częstsze. Na bazie przeglądu możliwych schematów zaproponowano własny sposób współpracy dużych bloków parowych ze źródłami OZE oraz metodę szacowania jej opłacalności. Szacowanie wykonano na przykładzie trójnika w rurociągu pary świeżej oraz osprzętu kotła. Na bazie posiadanej prehistorii załączeń przeprowadzono szacowanie utraty żywotności. Algorytm oparto na termodynamicznym parametrze opisującym wielkość energii dysypowanej w trakcie kolejnych cykli pracy wrażliwego elementu. Na bazie utraty żywotności przeprowadzono szacowanie opłacalności pracy bloku.

1. WSTĘP

W niedalekiej już przyszłości energetyka stanie przed nowymi wyzwaniami związanymi ze współpracą z odnawialnymi źródłami energii, jako ich zamiennik lub rezerwuarem mocy [16]. Istotną zaletą zielonego typu energii jest jej odnawialność, natomiast do zasadniczych wad należy zaliczyć dużą zależność od warunków klimatycznych. Ta duża zależność związana z nieprzewidywalnością klimatu wymaga zabezpieczenia zainstalowanych mocy w pewnego typu magazyny, lub zastępcze jednostki mocy. Jednym z takich rezerwuarów jest sposób opisany przez Klonowicza i innych [7]. Odnoszą się oni do zbudowania na dnie morza pewnego rodzaju naturalnych akumulatorów, bazujących na zbiornikach ze sprężonym powietrzem lub gazem obojętnym. Możliwa wielkość energii, jaka może w ten sposób być przechowana i dostępna w odpowiedniej chwili, jak podają autorzy, jest ściśle związana z głębokością akwenu. Z uwagi na niewielką głębokość Zatoki Gdańskiej, stosowność tego typu energii ograniczona jest do niewielkich mocy.

Inne podejście opisane jest w pracy Ziółkowskiego [16]. Opisana jest niej koncepcja niskoemisyjnych obiegów parowo-gazowych rozwijanych w kierunku czystych technologii gazowych. Obiegi te realizowane byłby jako układy dwuczynnikiowe realizujące w górnym zakresie temperatur obieg z turbiną gazową, a w dolnym – obieg parowy. Całość wpisywałaby się w schemat Inteligentnych Sieci Energetycznych rozwijanych w IMP PAN w Gdańsku.

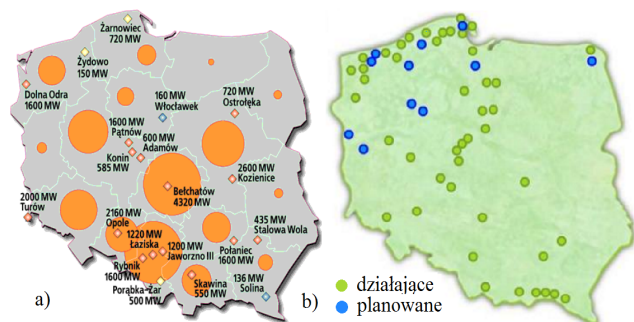
Podejście które zaproponowano w artykule odnosi się do wykorzystania konwencjonalnych bloków parowych utrzymywanych w tzw. gorącej rezerwie na wypadek nagłego wypadnięcia z sieci dużych farm

np. wiatrowych. Z racji wielkości zainstalowanej mocy w OZE, jak będzie to omówione szerzej, bloki te są jednostkami projektowanymi niegdyś do pracy w podstawie mocy. Z racji swojego wieku oraz potrzeby rynku, najczęściej przeznaczane są do kasacji po niedługim okresie pracy, jako zamienniki mocy ze źródłami OZE. Podejście zaprezentowane, jest próbą zarysowania sposobu szacowania opłacalności pracy tych bloków oraz poddaniu kontroli stopnia ich degradacji w trakcie pracy. Innymi słowy, jest to sposób rozpoczęcia eksploatacji ww. bloków w sposób pełnoprawny z innymi oraz umożliwiający im generowanie zysków.

2 ZARYS RYNKU ENERGII DLA NAJBLIŻSZYCH LAT

W obecnym czasie energetyka stanęła przed nowymi wyzwaniami związanymi ze współpracą z odnawialnymi źródłami energii. Istotnym czynnikiem utrudniającym koegzystencję mogą być odległości pomiędzy źródłami (Rys.1). Większość farm wiatrowych ulokowana jest w północnej części kraju, natomiast zdecydowana większość elektrowni znajduje się blisko źródeł paliw kopalnych, czyli w głównej mierze Śląska.

Receptą na ten stan może być szeroko rozumiana „prosumencka gospodarka wytwarzania energii” [5, 6]. Niewątpliwą zaletą takiego działania jest samowystarczalność i autonomiczność energetyczna lokalnych sieci skupionych w okolicy lokalnych źródeł. Ideą takiego podejścia jest założenie, że każde gospodarstwo (może te większe) będzie zarówno konsumentem, jak i producentem energii na własne potrzeby [6].

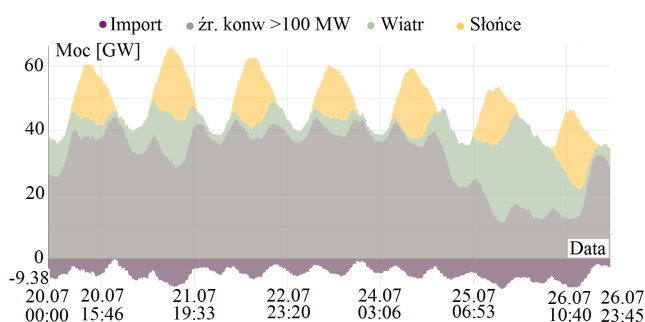


Rys. 1. Rozmieszczenie źródeł wytwarzania energii:

a) konwencjonalne, b) odnawialne – farmy wiatrowe.

Źródło Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej [9]

Podejście to, rozpowszechnione w szerokiej skali posiada wiele zalet, jak np. brak strat związanych z przesyłem pomiędzy źródłem, a odbiorcą finalnym. Duże rozpowszechnienie prosumenckiego wytwarzania energii eliminuje w części lub całkowicie huśtawki zapotrzebowania mocy spowodowane przez np. gospodarstwa domowe. Udział ich w całkowitym bilansie energetycznym kraju nie jest wysoki, natomiast powoduje występowanie szczytowych zapotrzebowań mocy lub ich spadków. Wyeliminowanie dolin i wzniesień na wykresach Rys.2 pozwala na pracę turbozespołom konwencjonalnym w tzw. podstawie mocy, bez drastycznych wahań ilości jej wytwarzania. Jest to, oczywiście podejście finalne. Do chwili wykrystalizowania się energetyki prosumenckiej potrzebne są działania przejściowe, które umożliwiłyby swobodny rozwój OZE z zachowaniem stabilności działania sieci energetycznych [12].



Rys. 2. Bilans energetyczny Niemiec odczytany w 30 tygodniu 2015 roku [15]

2.1. Różne scenariusze rozwoju

Podstawowym scenariuszem dla egzystencji odnawialnych źródeł energii, odnotowanym historycznie i chyba zupełnie pozbawionym racjonalności ekonomicznej było budowanie dla każdej n farmy OZE zdublowanej jednostki wytwarzającej energię w sposób konwencjonalny (najczęściej w postaci turbin gazowych). Zabieg ten miał zapewnić wypełnienie luki w KSE (Krajowe Sieci Energetyczne) powstałej w wyniku nieprzewidywalności warunków pogodowych.

Innym kierunkiem lobbowanym przez chyba zbyt dużych entuzjastów zielonej energii było podejście mówiące, że jeżeli zbudujemy dostatecznie dobrze rozbudowaną sieć przesyłową to pomimo, że w naszym regionie kraju aktualnie nie świeci słońce lub nie wieje wiatr, to gdzieś w Europie, w tym czasie takie sprzyjające warunki będą istnieć. Jak już wspomniałem, takie podejście wiąże się z bardzo dużymi inwestycjami w modernizację lub budowę nowych linii energetycznych [6].

Lepszym podejściem wydawałoby się jest budowa akumulatorów mocy, znajdujących się blisko źródeł energetycznych. Opis takich rozwiązań znaleźć można w pracy [14,7]. Magazynowanie energii umożliwiłoby gromadzenie jej w czasie gdy warunki pogodowe na to pozwalają i oddawanie do sieci w chwilach jej zapotrzebowania. Innym zastosowaniem akumulatorów, tym razem umiejscowionych w pobliżu bloków konwencjonalnych byłoby magazynowanie energii, wykorzystywanej w trakcie szybkich startów i odstawień turbozespołów parowych wraz z kotłem. Odpowiednie dogrzewanie, niwelowałoby gradienty temperatury powstające w trakcie rozruchów [13].

Kolejną drogą dla rozwoju turbozespołów parowych jest ich współdziałanie z OZE na zasadzie równoprawności udziału w wytwarzaniu energii. Podejście to, opisane zostało w pracy [12] i bliskie jest temu jakie przedstawione jest w pracach szkoły krakowskiej. W podejściu tym, krótsze czasy rozruchów i odstawień uzyskuje się poprzez zastosowanie dokładniejszej kontroli nad wyężeniem materiału, a nie jak w omawianym przykładzie poprzednio – akumulatorach mocy. W trakcie prowadzenia rozruchu dopuszcza się do niewielkiego uplastycznienia najbardziej wyężonych miejsc w turbinie otrzymując w zamian krótsze czasy rozruchu. Zmniejszenie czasu rozruchu dla bloku 380 MW wynosi około 40%, co przekłada się na całkowity czas startu maszyny ze stanu zimnego z 5 godzin do 3.5.

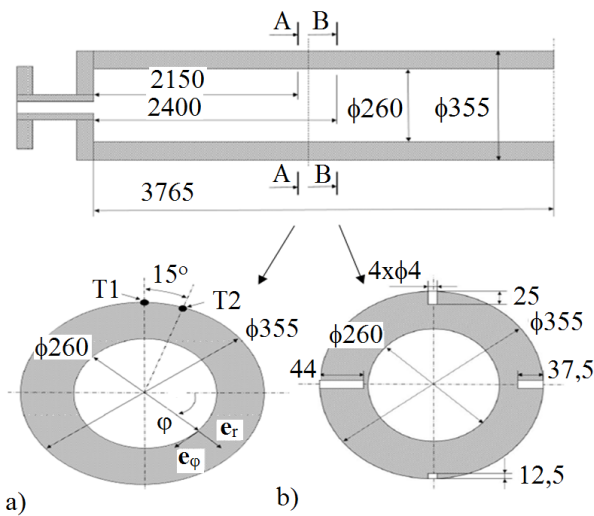
Zastosowanie sprężysto-plastycznej adaptacji odnosić może się zarówno do skrócenia czasu startu turbiny, jak również jej odstawienia [11]. O ile korzyści są wymierne to metoda ta pomimo, że dobrze opisana w literaturze i stosowana z powodzeniem od dziesiętków lat w innych gałęziach przemysłu [8, 10], wymaga od potencjalnego użytkownika dużo większego wkładu w monitorowanie stanu wyężenia konstrukcji, jak również od kadry inżynierskiej posługiwania się dużo bardziej skomplikowanym aparatem matematycznym. Podstawy modelu matematycznego oraz aplikacje na rzeczywistej geometrii przedstawiono w pracach [11, 12]. Ideą takiego podejścia jest zapewnienie szybszych startów i odstawień bloków energetycznych umożliwiających turbozespołom pa-

rowym projektowanym do pracy w trybie podstawowym pracę chwiejną w reżimie dzień-noc. Inną ważną zaletą takiego podejścia jest możliwość szacowania kosztów załączenia/ odstawienia bloku lub utrzymania go w gorącej rezerwie.

3. WALIDACJA MODELU

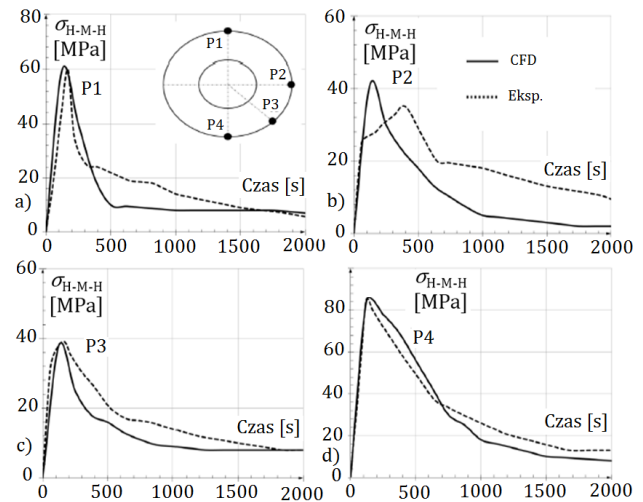
Walidację modelu numerycznego przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów, które uzyskano na stanowisku badawczym znajdującym się na Politechnice Krakowskiej Rys.3. na stanowisku tym, badano szybkość rozgrzewania oraz chłodzenia wycinka rurociągu doprowadzającego parę świeżą z kotła do turbozespołu.

W odległości zaznaczonej na rysunku jako przekrój A-A umieszczono termopary mierzące wielkość temperatury ścianki zewnętrznej. Pomiar wykonywany był czujnikami umieszczonymi co 15° . W dalszej kolejności, przekrój B-B, umieszczono termopary mierzące temperaturę po grubości ścianki elementu. Na podstawie tych pomiarów wyliczono wielkość naprężeń termicznych generowanych w trakcie rozruchów.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego z zaznaczeniem rozmieszczenia termopar: a) po obwodzie, b) promieniu [14]

Przykładowe wyniki dla ścianki zewnętrznej przedstawiono na Rys.4. Linia przerywaną zaznaczono wyniki symulacji numerycznej thermal-FSI, (thermal-Fluid Solid Interaction) natomiast ciągłą – wyniki eksperymentu [14].



Rys. 4. Przebiegi zredukowanych naprężeń cieplnych dla czterech charakterystycznych punktów na ścianie zewnętrznej [14]

3.1. Definicja termodynamicznego wskaźnika energii właściwej odkształcenia

Poniżej zaprezentowano poszczególne zależności jakie wykorzystane zostały w symulacji. W równaniu (1) pokazano podstawowy bilans masy, pędu i energii zapisany w postaci zachowawczej:

$$\partial_t \mathbf{u} + \text{div}[\mathbf{u} \otimes \mathbf{v} + \mathcal{F}^e - \mathcal{F}^v] = \mathcal{S} \quad (1)$$

Gdzie: $\mathbf{u}$ - oznacza trydent Pioli-Maxwella, $\mathbf{v}$ jest wektorem prędkości, $\mathcal{F}^e, \mathcal{F}^v$ - to strumienie kolejno: sprężysty oraz lepki. Wielkość $\mathcal{S}$ oznaczać będzie źródło.

Wielkość zmiennych zachowawczych dla płynu i ciała stałego zapisano w postaci:

$$\mathbf{u}_{CFD} = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho \mathbf{v} \\ \rho e \\ \rho k \\ \rho \varepsilon \end{Bmatrix}_{7 \times 1}, \quad \mathbf{u}_{CSD} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \rho \mathbf{u} \\ \rho e \\ \rho \alpha \\ \rho \mathbf{r} \\ \rho \boldsymbol{\varepsilon}^{pl} \end{Bmatrix}_{14 \times 1} \quad (2)$$

gdzie: CFD : ρ – gęstość, $\mathbf{v}$ – prędkość płynu, e – energia całkowita równa $e = \mathbf{u} + 1/2 \mathbf{v}^2$, k, ε – parametry modelu $k - \varepsilon$, oraz CSD : $\mathbf{u}$ – wektor przemieszczeń, α – tensor wzmocnienia kinematycznego, $\mathbf{r}$ – wzmocnienie izotropowe, $\boldsymbol{\varepsilon}^{pl}$ – tensor odkształceń plastycznych.

W dalszej kolejności zdefiniowano człon odpowiadający za opisanie ilości energii dysypowanej w trakcie każdego z cykli pracy. Wprowadzono parametr termodynamicznego potencjału w postaci [1, 11]:

$$\psi = \psi(\boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}^{pl}, \alpha, \mathbf{r}) \quad (3)$$

gdzie: $\alpha, \mathbf{r}$ są kolejno parametrami wzmocnienia kinematycznego i izotropowego materiału.

Korzystając z drugiego prawa termodynamiki oraz równania entropii podanego przez Clausiusa – Duhema, wielkość dysypowanej energii zdefiniować możemy w następującej postaci:

$$\dot{W}^{pl} = (\sigma - \partial_{\epsilon^{el}}\psi) \cdot \dot{\epsilon}^{el} + \sigma \cdot \dot{\epsilon}^{pl} - \partial_{\alpha}\psi \cdot \dot{\alpha} - \partial_r \cdot \dot{r} \geq 0, \quad (4)$$

Po wprowadzeniu następujących definicji:

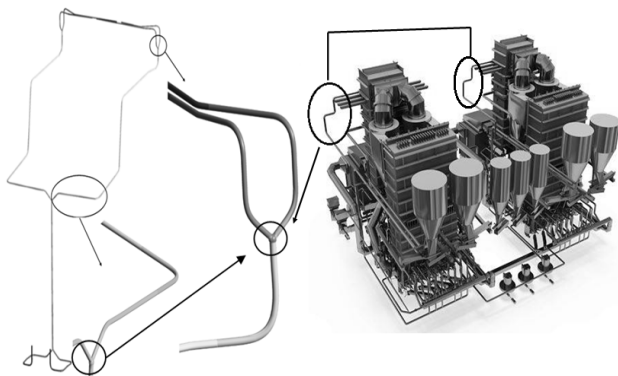
$$\sigma = \partial_{\epsilon^{el}}\psi = \partial_{(\epsilon - \epsilon^{pl})}\psi, \quad \mathbf{X} = \partial_{\alpha}\psi, \quad \dot{\mathbf{R}} = \partial_r\psi, \quad (5)$$

oraz wprowadzeniu do (3) otrzymamy w konsekwencji następującą definicję dysypowanej energii [11, 12]:

$$\dot{W}^{pl} = \sigma \cdot \dot{\epsilon}^{pl} - \mathbf{X} \cdot \dot{\alpha} - \mathbf{R} \cdot \dot{r} \geq 0. \quad (6)$$

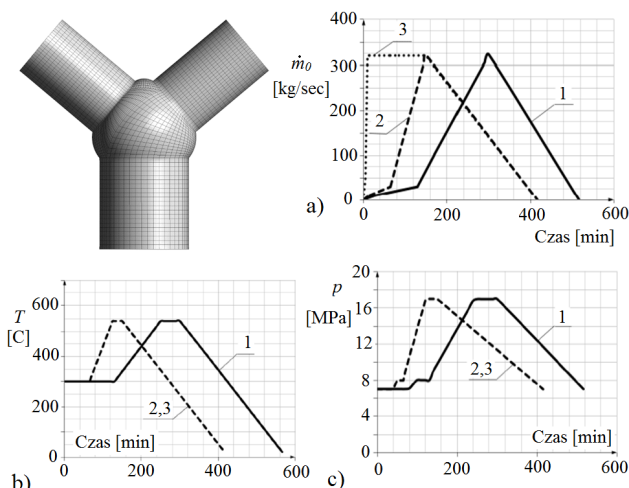
4. WYNIKI SYMULACJI

Na Rys.5 pokazano schemat poglądowy rurociągu doprowadzającego parę świeżą z kotła do turbiny dużej mocy. Na schemacie zaznaczono najbardziej wyęczone miejsca w rurociągu oraz adekwatne w okolicach kotła. Rysunek obok przedstawia zarys geometrii kotła fluidalnego dedykowanego pod turbosespół dużej mocy [2]. Trójniki oraz kolanka, z racji największego wyęczenia, a tym samym najszybszej degradacji wybrane zostały jako przedmioty niniejszej analizy.



Rys. 5. Schemat poglądowy rurociągu turbiny parowej oraz adekwatnych odcinków w okolicy kotła dużej mocy [2]

Element trójnika obciążono trzema procedurami obciążeń. Graficznie przedstawione to zostało na rysunku poniżej – Rys. 6. Zmiany podstawowych parametrów pary jak: strumień masowy, temperatura oraz ciśnienie podlegały zmianom według trzech rozpatrywanych schematów. Pierwszym był start i odstawienie turbosespołu zgodnie z Normami – oznaczenie 1. Rozruch ten trwał 5 godzin i prowadzony był ze stanu zimnego turbin. Czas jego trwania, eliminował go z możliwości kogeneracyjnej pracy ze źródłami OZE. To klasyczna procedura startu i odstawienia przewidziana w Normach dla dużego bloku pracującego w podstawie.



Rys. 6. Krzywe opisujące zmiany parametrów pary dla przykładowych startów turbosespołu oraz schemat geometrii analizowanego trójnika po dyskretyzacji siatką elementów skończonych

Dla takich schematów wymagane jest utrzymywanie bloku w gorącej rezerwie, pozwalającej zredukować start do 3 godzin, umożliwiającą wypełnienie luki w Krajowych Sieciach Energetycznych spowodowanych wypadnięciem farm OZE. Utrzymywanie bloku w gorącej rezerwie należy zaliczyć do kosztów pracy. Do tego należy doliczyć zwiększoną degradację najbardziej wyęczonego elementu, w tym przypadku trójnika, spowodowaną ciągłym przepływem pary. Degradacja wynikająca z przebywania elementu w tzw. gorącej rezerwie nie była uwzględniana.

Drugi schemat przedstawia start turbosespołu ze stanu zimnego po zastosowaniu adaptacji sprężysto-plastycznej, wspomnianej we wstępie [8, 10]. Dzięki zaadoptowaniu się materiału do sprężysto-plastycznej pracy możliwe było skrócenie czasu rozruchu do 3, 5 godzin. Wielkość ta, pozwala na bezpieczny start bloku ze stanu zimnego umożliwiając tym samym kogeneracyjną pracę ze źródłami OZE. Brak pozostawiania bloku w gorącej rezerwie, to brak dodatkowych kosztów związanych z paliwem oraz dodatkową degradacją.

Krótszy czas postawienia bloku, to wymierny zysk, który wynika z jego dłuższej pracy. Pomijając fakt, że niewystartowanie z blokiem w ciągu 3 godzin, eliminuje go jako zabezpieczenie mocy uzyskiwanej z farm OZE, to potencjalny zysk mocy wyniesie około 760 MWh.

W Tab.1 pokazano zestawienie potencjalnego zysku wynikającego ze skrócenia czasu rozruchu. Zestawienie podano dla przedziału mocy turbosespołów, jakie można spotkać w krajowym parku maszynowym. Zyski zostały wyliczone dla skrócenia czasu od 1 do 2,5 godzin. Zmniejszenie czasu o 2,5 godziny, skut-

kuje zyskiem 500 MWh dla bloku 200 MW. Przyjmując stawkę za 1 MWh proponowaną przez TGE na dzień 16.09.2016 otrzymujemy zysk wynoszący około 80 000 zł. Podobna wielkość uzyska się dla 1,5 godz. w przypadku bloku 380 MW.

Tabela 1
Potencjalne zyski w MWh wynikające ze skrócenia czasu rozruchu bloku parowego

CZAS [h]	BLOK [MW]				
	200	260	360	380	900
1	200	260	360	380	900
1,5	300	390	540	570	1350
2	400	520	720	760	1800
2,5	500	650	900	950	2250
# Cena IRDN proponowana na dzień 16.09.2016 przez Towarową Giełdę Energii wyniosła 159,9 zł/MWh [15]					

Zyski bloków nadkrytycznych wynikać mogą z zaoszczędzenia jedynie czasu rozruchu. Na dzień dzisiejszy nie przewiduje się pracy tych turbozespołów jako rezerwuaru mocy dla odnawialnych źródeł. Moc zainstalowana w sieci, jest jeszcze zbyt mała. Inaczej wygląda sytuacja na rynku energii w Niemczech – rys. 2. Tam, weekendowa różnica mocy zainstalowanej w OZE wynosić może Nawet 20 GW.

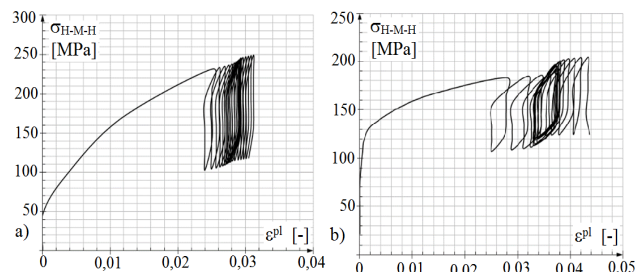
Tak dużego deficytu, nie wypełni się bez załączenia bloków podstawowych. Niemniej jednak, istnieją liczne prace naukowe podejmujące tematykę skrócenia rozruchów i odstawień w przypadku bloków nadkrytycznych wyposażonych w kotły fluidalne Taler [8].

Trzeci przypadek – oznaczenie cyfrą 3 na rys.6 – odpowiada przypadkowi skrajnemu, w którym zbyt szybki rozruch oraz brak należytej kontroli nad wyężeniem materiału spowodował nadmierne jego obciążenie, co w konsekwencji prowadziło do szybszego narastania degradacji elementu. Jak zostanie to zauważone w dalszej części punktu, systemy monitorujące, które zainstalowane są obecnie obserwują jedynie wielkość generowanych naprężeń cieplnych. Bez monitoringu właściwej energii odkształcenia, zjawiska tego nie można będzie wychwycić. Dobrze pokazuje to rys.7.

4.1. Wykorzystanie zjawiska shakedownu do zmniejszenia czasu prowadzenia startów i odstawień

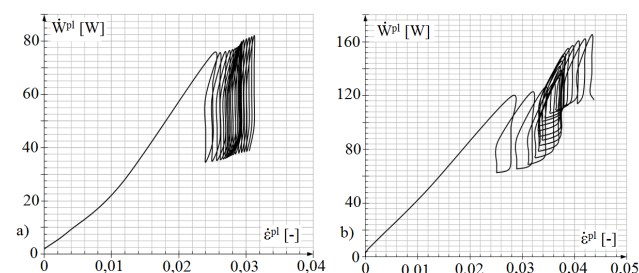
Pomimo, że bardzo silnie przeciążono trójkąt (strumień masowy osiągnął maksymalną wartość od początku rozruchu) doprowadzając do zbyt głębokiego uplastycznienia, pętle po prawej stronie wykresu nadal układają się równomiernie, a przyrosty są stałe o równej wartości. Znaczące kłopoty zwiastować mogą jedynie trzy pierwsze pętle, które przy krępej

geometrii trójkąta pozwalają się wychwycić. W przypadku bardziej wiotkich, a tym samym wrażliwszych na przeciążenia elementach, jakimi są np. łopatki 1 stopnia różnice pomiędzy bezpiecznym, a krytycznym startem mogą się rozmywać.



Rys. 7. Cykliczne pętle naprężenia – odkształcenie odczytane dla przypadku bezpiecznego a) w którym zaistniało zjawisko shakedownu, oraz przypadku b) w którym nastąpiło krytyczne przeciążenie elementów [12]

W przypadku zaproponowanego termodynamicznego parametru właściwej energii odkształcenia – rys.8 – pętle odczytane dla przypadku z adaptacją materiałową oraz krytyczne pozwalają się łatwo rozróżnić.



Rys. 8. Cykliczne pętle właściwej energii odkształcenia odczytanej dla przypadku a) w którym zaistniał shakedownu, oraz b) w którym krytycznie przeciążono analizowany element [13]

W przypadku startu krytycznego pętle wykazują wyraźne zachwianie stabilności i ponadnormatywny wzrost wartości energii dysypowanej. W przypadku, w którym rozruch był bezpieczny – rys. 8, a) – pętle układają się równomiernie. Widać zwiększoną lecz równomierną degradację energii odkształcenia.

Wykres ten, pozwala na bezpieczne szacowanie czasów szybkiego startu i odstawienia bloku energetycznego. W przypadku lewym, z uwagi na równomierną utratę żywotności, potencjalne czasy postawienia bloku mogą być nadal szybkie, a zatem konkurencyjne dla TGE (Towarowej Giełdy Energii).

Przypadek drugi – rys.8, b) – z racji dużej utraty swojej żywotności, blok ten nie powinien podejmować ryzykownych i szybkich startów. Dodać należy, że do takiego stanu, doprowadzono wykonując cykl 17 zbyt forsownych startów i odstawień. Aby uniknąć nagłej awarii wrażliwych elementów w rurociągach, należa-

łoby do planowego remontu prowadzić rozruchy bloku przy naprężeniach znacznie poniżej tych, jakie uzyskiwano dotychczas. Zabieg ten, umożliwiłby nadal generowanie przez blok przychodów, bez groźby nagłej awarii i znacznych kosztów remontu.

Z analizy wielu prac [11, 12, 14] wynika, że w przypadku pracy bloków parowych utrzymywanych w tzw. gorącej rezerwie i pracujących jako szczytowe lub jak w analizowanym rozwiązaniu, jako zamiennik dla źródeł OZE, bardzo często dochodzi w nich do awarii i nie przewidywanych remontów. Praca taka, stawia często pod dużym znakiem zapytania opłacalność posiadania takich bloków.

5. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule zwracano uwagę na potrzebę monitorowania stopnia wyłączenia oraz postępującej degradacji najbardziej wrażliwych elementów w blokach parowych. Zaproponowano autorskie podejście do szacowania czasu startu bloku oraz potencjalnych zysków i kosztów wynikających z tego.

Algorytm szacowania oparto na termodynamicznym parametrze opisującym energię właściwą odkształcenia. Wykorzystano w tym celu model zmodyfikowanego lepko-plastycznego materiału typu Chaboche-Lamaitre.

Podejście to, umożliwiło podjęcie się oceny stopnia opłacalności wykonywania szybkich startów dla bloków parowych mających za zadanie wypełnienie luki jaka powstaje w KSE (Krajowych Sieci Energetycznych) po wypadnięciu farm OZE. Sprawność działania źródeł OZE determinowana jest poprzez warunki klimatyczne. Przy dużych mocach zainstalowanych w odnawialne źródła energii, nagłe wypadnięcie np. farm wiatrowych musi zostać zastąpione przez moc generowaną z konwencjonalnych źródeł [4, 16].

Posiadając dokładne narzędzie do ekonomicznej oceny nagłego załączenia/odstawienia bloku opartego na zależności koszt-efekt potencjalny właściciel bloku, czyli Elektrownie są w stanie w sposób konkurencyjny egzystować na TGE (Towarowej Giełdzie Energii) produktem jakim jest kogeneracyjna praca bloków parowych z odnawialnymi źródłami OZE. Dotychczas, z racji dużej awaryjności takich bloków uważało się, że opłacalność ich pracy jest znikoma, skazując na nią bloki w dużej mierze idące do kasacji [11,12].

Mogąc w sposób przewidywalny dysponować żywotnością takich bloków oraz modyfikować ją w ramach zmieniających się warunków rynkowych, bloki dotychczas skazane na straty, mogą stać się pełnoprawnymi narzędziami przynoszącymi zyski dysponującym Grupom Energetycznym.

LITERATURA

- [1] Badur J.: *Duhem i Natanson – dwie mechaniki*. Biuletyn PTMiTS 2015, Warszawa 2016, str. 127-163.
- [2] General Electric Power/ <https://www.gepower.com/steam/products/boilers/circulating-fluidised-bed.html>
- [3] German Energy Transition/<https://www.energietransition.de>
- [4] Hyrzyński R., Karcz M., Lemański M., Nojek S.: *Współzmiennność generacji energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych w warunkach zbliżonych do polskich*. Acta Energetica 2013, nr. 4/17, s. 22-26.
- [5] Kiciński J., Żywica G.: *Steam Microturbines in Distributed Cogeneration*. Wyd. Springer, Gdańsk 2014, ISBN 978-3-319-12018-8 (eBook).
- [6] Kleiber M.: *Mądra Polska*. Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2015.
- [7] Klonowicz P., Witkowski Ł., Jędrzejewski Ł., Suchocki Ł., Surwiło J., Stepniak D.: *Wstępna analiza potencjału zasobników energii typu UWCAES w Zatoce Gdańskiej*. Rynek Energii 2016, nr. 3, str. 100-107.
- [8] Köning J.A.: *Shakedown of Elasto-Plastic Structures*. Wyd. PWN, Warszawa 1987.
- [9] Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej/<https://www.psew.pl>
- [10] Sawczuk A., Janas M., Köning J.A.: *Analiza plastyczna konstrukcji*. Wyd. PAN, Warszawa 1972.
- [11] Sławiński D., Badur J.: *A concept of Elasto-plastic material adaptation by the thermal-FSI simulation*, materiały konferencyjne PCM-CMM-2015 -3rd Polish Congress of mechanics & 21st Computer Methods in Mechanics. Gdańsk 8-11 września 2015.
- [12] Sławiński D.: *Rozruch maszyn energetycznych z uwzględnieniem sprężysto-plastycznej adaptacji konstrukcji*, Rozprawa Doktorska IMP PAN. Promotor prof. dr hab. inż. J. Badur. Gdańsk 2016.
- [13] Stępień J.: *Prognozowanie rocznej ilości i sezonowego rozkładu uszkodzeń elementów elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych*. Rynek Energii 2016, nr. 3, str. 21-25.

- [14] Taler J., Dzierwa P., Taler D., Harchut P.: *Optimisation of the boiler start-up taking into account thermal stresses*, 12th International Conference on Boiler Technology. Prace Naukowe IMiUE Pol. Śląskiej, Szczyrk 2014.
- [15] Towarowa Gielda Energii/ <https://www.tge.pl>
- [16] Ziółkowski P., Zakrzewski W., Sławiński D., Badur J.: *Czyste technologie gazowe – szansą dla Pomorza*. Rynek Energii 2013, nr. 1(1-4), str. 79-85.

MEANS OF DETERMINATION AND CONTROL OF ECONOMIC PROFITS FROM COGENERATION OF STEAM BLOCKS AND RES SOURCES

Key words: economy of lead blocks, cogeneration, life time of pipeline elements

Summary. In this paper we presented problems concerning cogeneration of conventional steam blocks with green energy sources. We indicated on treats, which have been resulted from specific work of conventional blocks and RES. These conventional blocks, showed faster failure and bigger reduction of life time. In the platforms of possible scheme, we have been presented authorial methods, how should cooperate steam blocks and RES sources. Next, we have been presented the method, how to calculate economic profits. For calculation, we use the tee from life steam of pipeline and infrastructure of boilers. On the base of prehistory start-up and shut-down, we have been performed deflation of life time these sensitive parts. Algorithm for calculation, we based on thermodynamically parameter, writing quantity of dissipation energy in another cycle of work. Based on the reduction of life time we conducted calculation of economic profit from work of a steam block.

Janusz Badur, prof. dr hab. inż., Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, twórca Zakładu Konwersji Energii tego instytutu. Od wielu lat zajmuje się numeryczną termomechaniką specjalizując się w modelowaniu przepływów podlegających mieszaniu, przemianom fazowym i reakcjom chemicznym w warunkach silnej turbulencji mechanicznej i cieplnej.

Adres: janusz.badur@imp.gda.pl

Daniel Sławiński, dr inż., Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, Zakład Konwersji Energii, specjalista w dziedzinie obliczeń numerycznych nieliniowej mechaniki ośrodków ciągłych, oraz termomechaniki zniszczenia. Adres: daniel.slawinski@imp.gda.pl.

Paweł Ziółkowski, mgr inż., Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, specjalista w Zakładzie Konwersji Energii.