

W zasadzie wilgotność „wtórna” jest wysysana na tych reżimach z kołem roboczym ostatniego stopnia z gardzieli i skraplacza i jest główną przyczyną erozji krawędzi wylotowych, a przy nadmiernej ilości może powodować rozwój erozji na krawędziach wlotowych (rys.6).

Podsumowanie

Przyczyną występowania tego rodzaju erozji jest grubo rozpylona wilgotność, której sprzyjają powrotne strumienie czynnika w warunkach pracy na małych przepływach i uruchomieniach i na biegu jałowym. Zużycie erozyjne wylotowych krawędzi obniża trwałość łopatek.

Przyczyną erozji w turbinach pracujących w pogorszonej próżni i pełnym zamknięciem diafragm jest praca z urządzeniami schładzającymi – wtryskami.

Jak już wspomniano źródłem tej wilgotności są różnego rodzaju zrzuty wody do skraplacza oraz kondensat podawany na schładzaniu części wylotowej, wilgotność pochodząca z końcowych uszczelnień i górnych rurek skraplacza, jak również praca skraplacza z włączonymi parowymi schładzaczami.

Pęknięcia krawędzi łopatek części NP zaczynają się na krawędzi wylotowej i mają charakter zmęczeniowy. Przyczyną może być pogorszona próżnia oraz ochłodzenie gardzieli, jak również amplituda drgań, a tym samym wielkość naprężeń wibracyjnych, które są wprost proporcjonalne do gęstości pary i jej objętościowego przepływu.

LITERATURA

- [1] Jakowicz, Woropajew, Chaimow: Tęplotowe zastożanie CND turbin K-800-240-5 na mało rozchodnych reżimach, *Elektroenergetyka Stacji* 2010, nr 5
- [2] Kuliczochin: O niekatoricjch przicinach erozji wychodnych kromok ..., *Tieptoenergetika* 1978, nr 5
- [3] Pollard D., Lord D.: An Evaluation of Low Pressure Steam turbine blade erosion, *J.Mech E* 1979, p. 413-419
- [4] Somm E.: A mens of estimating the erosion hazard in Low pressure steam turbine, *BBC* vol. 58 p. 458 – 472



Ewald Grzesiczek, Wojciech Murzynowski, Radosław Stanek
Pro Novum Sp. z o. o.

Wybrane problemy obliczeniowej analizy trwałości łopatek części niskoprężnych turbin

Selected issues concerning the computation analysis of the service life of the blading in lp turbine sections

Diagnostyka materiałowa, jak powszechnie wiadomo, służy do zdobywania wiedzy o stanie technicznym elementów urządzeń ciepłno-mechanicznych. Kompletna diagnostyka urządzeń powinna zawierać zarówno wiedzę pochodzącą z badań podczas postojów urządzeń jak i możliwą do zdobycia podczas ich pracy [1, 2]. Bardzo często interpretacja wyników badań wymaga wykonywania obliczeń stanu naprężeń m.in. po to, aby rzeczywiste lub potencjalne uszkodzenia kojarzyć z ewentualnym wpływem cech konstrukcyjnych. W artykule przedstawiono wybrane przykłady takiego postępowania w zastosowaniu do analizy pęknięć łopatek ostatnich stopni wirników części niskoprężnych turbin.

Model geometryczny jako podstawa obliczeń

Obliczenia polegające na analizie stanu naprężenia/odkształceń, które mają na celu zarówno sprawdzenie wielkości naprężeń w stosunku do poziomu uznanego przez konstruktora

za dopuszczalny (szczególnie w miejscach ich koncentracji), jak również w celu dalszego wykorzystania do analizy stopnia wyczerpania trwałości od zmęczenia i/lub pęczania oraz warunków propagacji pęknięć wg zasad i kryteriów mechaniki pęczania, wymagają dokładnego odwzorowania analizowanej konstrukcji [3]. Upraszczenie modelu geometrycznego do obliczeń numerycznych dopuszczalne jest dla obiektów o dużych gabarytach, dla których wyznacza się globalny rozkład naprężeń, np. kadłuby turbin. Jeżeli jednak w konstrukcji elementu analizuje się miejsca, które mogły ulec lub uległy uszkodzeniom, a przy tym wszystkim są stosunkowo niewielkich rozmiarów, wtedy całkowicie zasadnym staje się dążenie do jak najbardziej dokładnego odwzorowania geometrycznego takiego elementu. Takimi elementami są m.in. łopatki ostatnich stopni części niskoprężnych turbin, które są przedmiotem artykułu.

Stosunkowo prostym i oczywistym wydaje przygotowanie modelu geometrycznego 3D elementu do obliczeń w powszechnie używanych programach, jak np. AUTO CAD czy Pro/ENGINEER posiłkując się dokumentacją rysunkową. Należy jednak pamiętać,

że taki sposób przygotowania modelu może nie uwzględniać wszystkich szczegółów, a już na pewno pomija się szczegóły elementu (w skrajnych przypadkach błędy konstrukcji) mogące powstać na etapie jego wytwarzania. Sporym ograniczeniem takiej metody pozyskiwania modelu 3D jest obecnie coraz częściej to, że dla modernizowanych, a zwłaszcza nowych elementów urządzeń cała wiedza o konstrukcji i dokumentacja praktycznie dostępna jest tylko dla dostawcy. Aby uniknąć problemów jw. stosuje się metody przygotowania modelu geometrycznego na podstawie bezpośredniego odwzorowania rzeczywistego elementu poprzez zastosowanie:

- skanowania przestrzennego z użyciem sondy stykowej,
- przestrzennego skanowania laserowego,
- skanowania optycznego.

W przypadku skanowania łopatek części niskoprężnych turbin za pomocą dwóch pierwszych metod można natknąć się na ograniczenia związane z zakresem pomiarowym urządzeń skanujących w stosunku do gabarytów łopatek. W przypadku skanowania optycznego jak dotąd *Pro Novum* nie natknęło się na takie ograniczenia. Dodatkowo nasza wiedza wskazuje, że jest to chyba najdokładniejsza metoda odtworzeniowa geometrii łopatek, z której korzystają także światowi ich producenci. Uzyskane – za pomocą skanowania optycznego – modele geometryczne łopatek można także wykorzystać w celu:

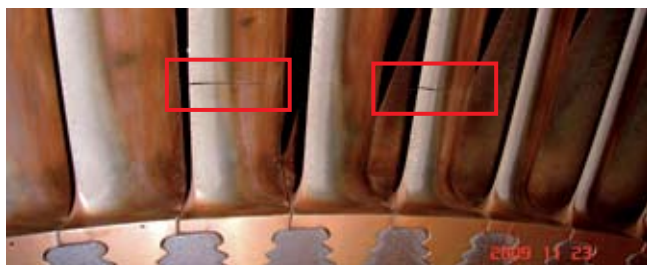
- porównania geometrii łopatki po eksploatacji z łopatką rezerwową w celu oceny odkształceń,
- pomiarów ubytków erozyjnych łopatek,
- śledzenia prędkości przyrostu ubytków erozyjnych,
- określenia różnic konstrukcyjnych łopatek w turbinach o podobnych mocach.

Niektóre przykłady opisane w wymienionych punktach zostaną zaprezentowane w dalszej części artykułu.

Obliczenia numeryczne łopatek części niskoprężnych turbin parowych

Przedmiot analizy

W ostatnim czasie stwierdzono, że m.in. uszkodzeniom ulegają łopatki części niskoprężnych turbin po stosunkowo krótkim czasie eksploatacji. Uszkodzenia te miały charakter pęknięć (rys. 1). Część uszkodzonych łopatek miało na tyle osłabiony przekrój, że uległo urwaniu, a urwane części spowodowały uszkodzenia wtórne, tzn. deformacje pozostałych łopatek (rys. 2) [4]. Należy wspomnieć jeszcze, że pęknięcia te pojawiły się na łopatkach, które posiadały stopki o konstrukcji jodełkowej, prostej.



Rys. 1. Pęknięcia łopatek części niskoprężnej turbiny

Na łopatkach podobnych turbin, które przepracowały znacznie więcej czasu, posiadających stopki kołkowane, takich uszkodzeń nie stwierdzono, dlatego w celu wyjaśnienia przyczyn uszkodzeń podjęto się także porównania tych dwóch typów łopatek (rys. 3).



Rys. 2. Urwane i zdeformowane łopatki części niskoprężnej turbiny



Rys. 3. Łopatki części niskoprężnych podobnych turbin:
a) ze stopką jodełkową prostą,
b) ze stopką kołkowaną

Aby wyjaśnić przyczynę powstałych uszkodzeń łopatek przeprowadzono szereg badań i pomiarów, jak:

- badania defektoskopowe,
- badania metalograficzne,
- badania składu chemicznego z określeniem gatunku materiału łopatek,
- badania wytrzymałościowe,
- pomiar udarności,
- stanowiskowy pomiar częstości drgań własnych łopatek (rys. 4).

Przygotowanie modeli geometrycznych 3D łopatek

Do przygotowania trójwymiarowych modeli geometrycznych łopatek użyto metody skanowania optycznego za pomocą skanera ATOS firmy GOM. W wyniku skanowania otrzymano tzw. chmury punktów geometrii, które następnie, wykorzystując odpowiednie oprogramowanie, przekształcono w obiekty bryłowe. Uzyskane modele zaprezentowano na rysunkach 5 i 6.

Jak wspomniano, takie przygotowanie geometrii łopatek umożliwia także porównanie ich konstrukcji. Wykorzystując odpowiednie oprogramowanie i przyjmując wzajemne miejsc bazowania łopatek można uzyskać obraz ich różnic konstrukcyjnych, a także wartości odchyłek. Na rysunku 7 zaprezentowano wynik porównania konstrukcji tych różnych łopatek – miejsce bazowania pióra łopatek.

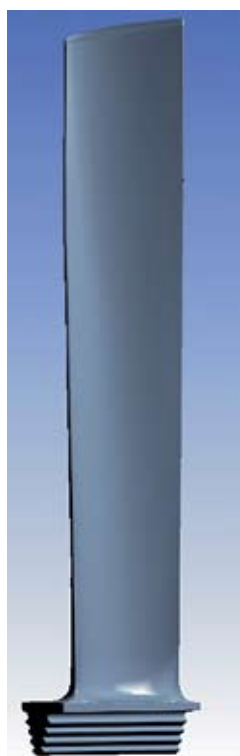
Z kolei na rysunku 8 przedstawiono podobny wynik analizy złożenia łopatek, ale tym razem wybrano płaską powierzchnię przy stopkach łopatek jako miejsce bazowania.

Mając na uwadze fakt, że analiza numeryczna miała objąć całe modele łopatek łącznie z oddziaływaniem wrębu na stopkę jodełkową i kołków na otwory łopatki ze stopką kołkową, należało przygotować także geometrię tarcz wirnikowych. Modele tarcz wirnikowych z zabudowanymi łopatkami ze stopkami jodełkowymi i kołkowymi zaprezentowano na rysunkach 9 i 10. Kolejnym krokiem, mającym na celu zredukowanie wielkości modelu obliczeniowego, było przygotowanie wycinków tarcz wirnikowych z pojedynczymi łopatkami (rys.11 i 12) [5].

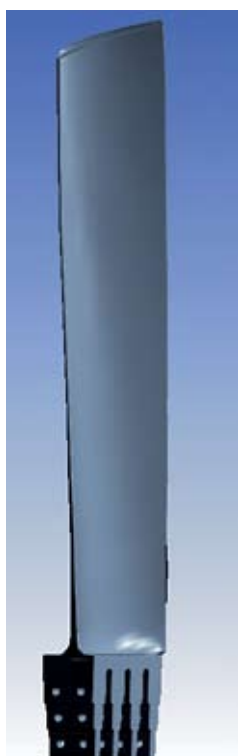


Rys. 4. Stanowiskowy pomiar częstotliwości drgań własnych łopatek

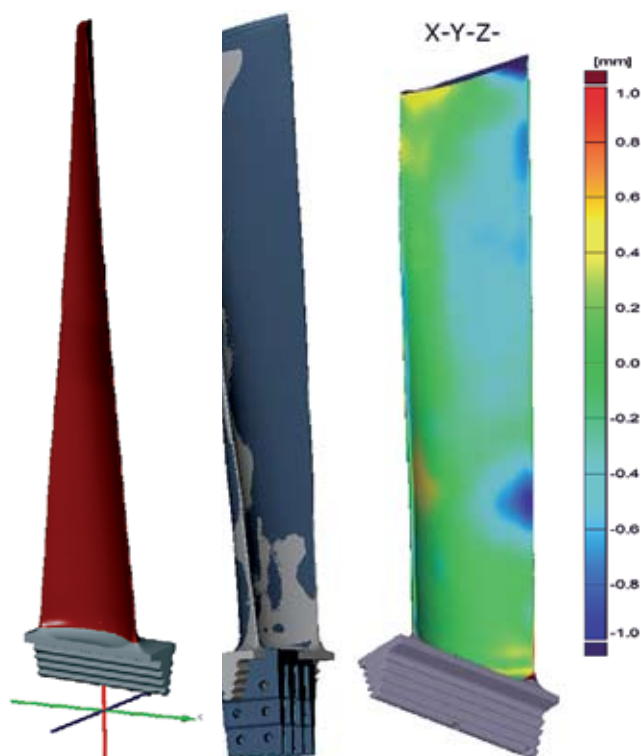
W celu uzupełnienia badań i pomiarów jw. przeprowadzono także obliczenia numeryczne naprężeń zredukowanych zarówno łopatek o stopkach jodełkowych prostych, jak i o stopkach kołkowanych.



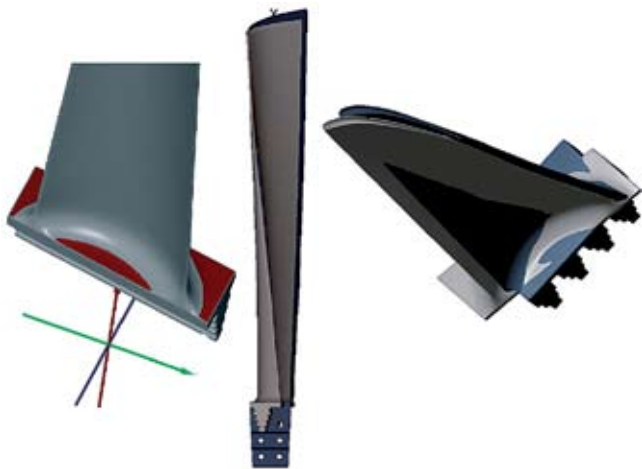
Rys. 5. Model łopatki ze stopką jodełkową prostą



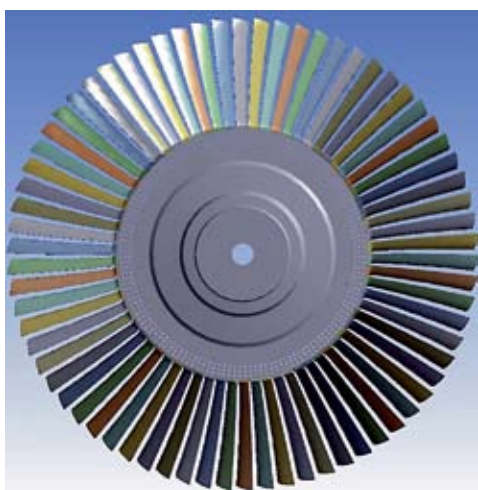
Rys. 6. Model łopatki ze stopką kołkową



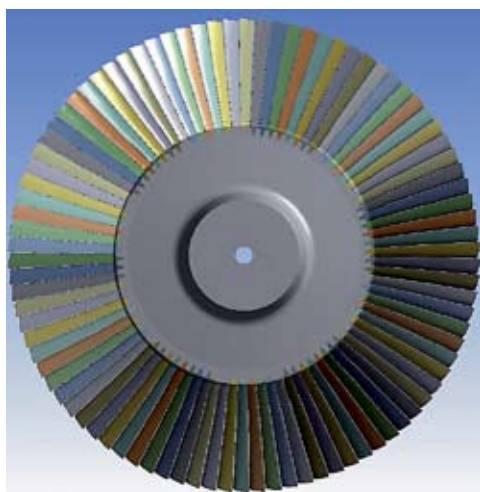
Rys. 7. Złożenie łopatki ze stopką jodełkową z łopatką ze stopką kołkową. Bazowanie – pióra łopatek. Mapa odchyłek



Rys. 8. Złożenie łopatki ze stopką jodełkową z łopatką ze stopką kołkowaną. Bazowanie – płaską powierzchnią przy stopkach



Rys 9. Model tarczy wirnikowej NP z zabudowanymi łopatkami ze stopkami kołkowymi (70 łopatek w wieńcu)



Rys. 10. Model tarczy wirnikowej NP z zabudowanymi łopatkami ze stopkami jodełkowymi (90 łopatek w wieńcu)



Rys. 11. Wycinek tarczy wirnikowej NP z łopatką ze stopką kołkowaną



Rys. 12. Wycinek tarczy wirnikowej NP z łopatką ze stopką jodełkową prostą

Obliczenia numeryczne łopatek

Porównawcze obliczenia przeprowadzono dla łopatek o dwóch różnych sposobach ich mocowania w tarczach wirnikowych, tj. dla łopatki o stopce kołkowanej i dla łopatki o stopce jodełkowej.

Stan naprężeń analizowano w obszarach połączeń obydwu typów łopatek z wrębami wirników przy ustalonej prędkości obrotowej 3000 obr/min. Zaprezentowane w dalszej części artykułu wyniki nie uwzględniają wpływu przepływającej pary.

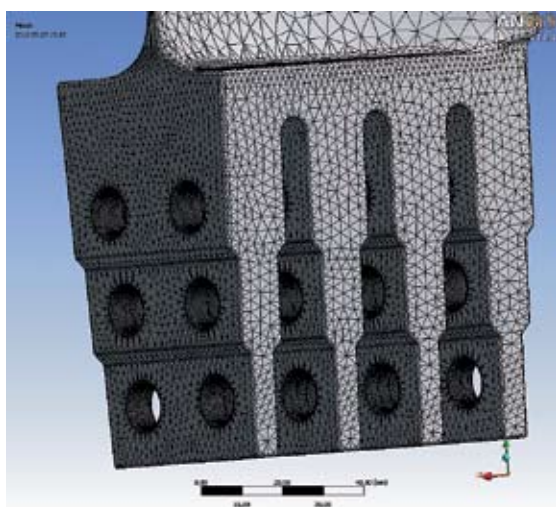
Na analizę obliczeniową, wg ogólnych założeń, jw. składały się następujące czynności:

- budowa możliwie najbardziej dokładnych modeli MES obydwu typów łopatek,
- zdefiniowanie warunków brzegowych dla modeli obliczeniowych,
- przypisanie danych materiałowych na podstawie przeprowadzonych badań własności materiału,

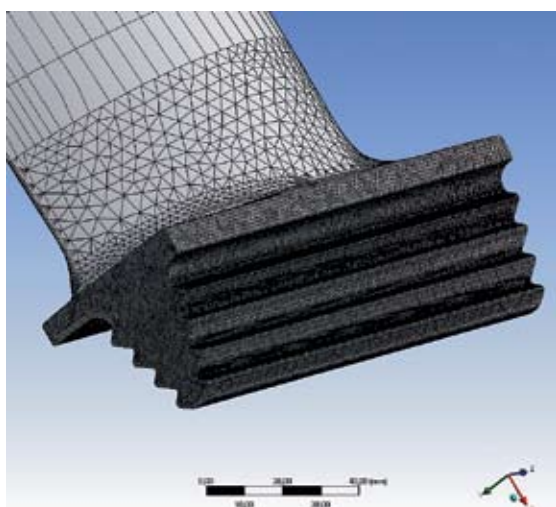
- analiza stanu naprężeń w stopce i piórze łopatki kołkowanej z otworami $\phi 11,1$ mm i wciśnięciem 0,01 mm,
 - analiza stanu naprężeń w połączeniu jodełkowym,
- Siatkę elementów skończonych dla obydwu rodzaju łopatek pokazano na rysunkach 13 i 14.

Powierzchnie możliwych interakcji podczas kontaktu w czasie pracy łopatek obydwu typów zdefiniowano jak na rysunkach 15 i 16.

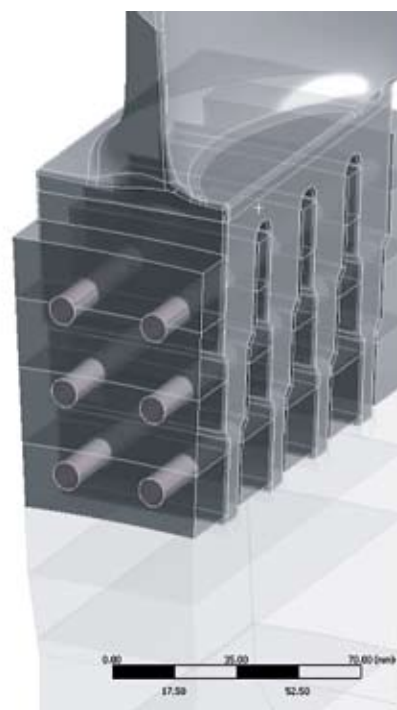
Analizę przeprowadzono z uwzględnieniem nieliniowego kontaktu, nieliniowości geometrycznych i dużych przemieszczeń. W ten sposób uzyskano możliwość zmiany położenia powierzchni kontaktowych i zarazem bliższe rzeczywistości wyniki niż byłoby to możliwe w przypadku analizy liniowej.



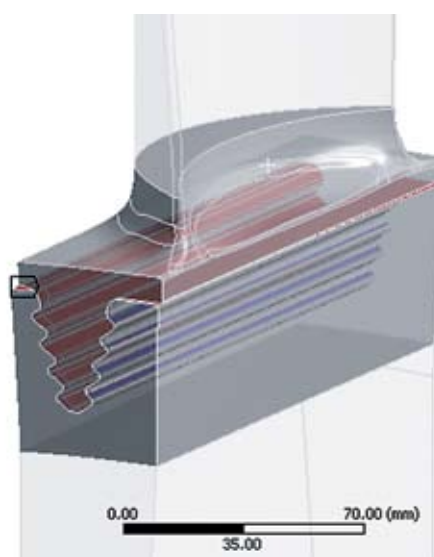
Rys. 13. Siatka elementów łopatki ze stopką kołkowaną



Rys. 14. Siatka elementów na łopatce ze stopką jodełkową prostą



Rys. 15. Powierzchnie kontaktu łopatki kołkowanej



Rys. 16. Powierzchnie kontaktu łopatki ze stopką jodełkową prostą

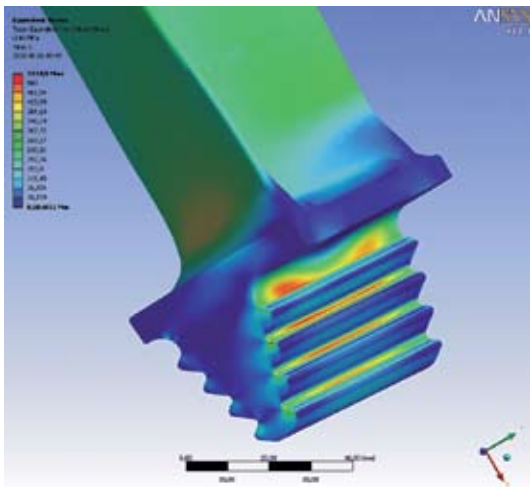
Omówienie wyników obliczeń naprężeń zredukowanych

Obliczenia naprężeń wykonano dla 3000 obr/min. Przy nadobrotach (3300 obr/min) zakłada się, że wartość naprężeń wzrasta proporcjonalnie o 20%. Zaprezentowane w artykule wyniki obliczeń nie uwzględniają wpływu przepływającej pary. W tej sytuacji wielkość siły odśrodkowej działającej na łopatkę była dominująca. Maksymalne naprężenia występują na stopkach obu łopatek. Na łopatkach ze stopką jodełkową występują rozległe obszary wysokich naprężeń w stopce.

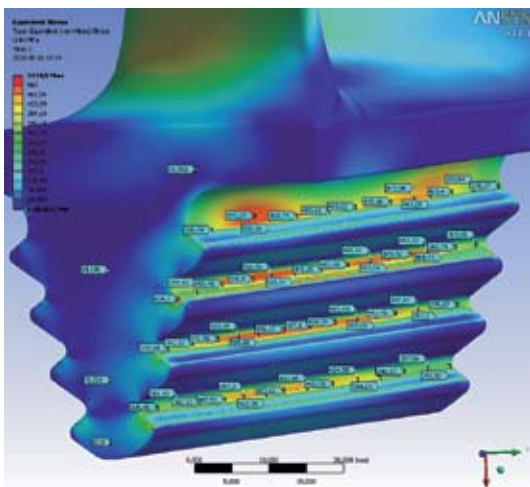
Stwierdzono, że w stopce łopatki jodełkowej od strony wypukłej naprężenia zredukowane są wyższe niż od strony wklęsłej. Na pierwszym karbie od strony wypukłej występują maksymalne naprężenia w stopce i osiągają wartość 560 MPa, z kolei naprężenia zredukowane w stopce od strony wklęsłej sięgają 530 MPa (rys. 17 – 21).

W stopce łopatki z mocowaniem na kołkach od strony wypukłej naprężenia zredukowane są wyższe niż od strony wklęsłej, jednak różnice wartości naprężeń nie są duże (rys. 22 – 25).

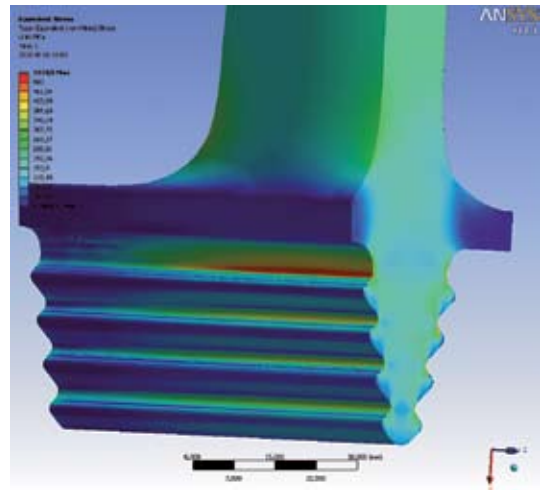
Maksymalne naprężenia od strony wypukłej tej łopatki nie przekraczają 200 MPa. Maksymalne naciski jednostkowe na kołkach są istotnie wyższe niż na stopkach jodełkowych.



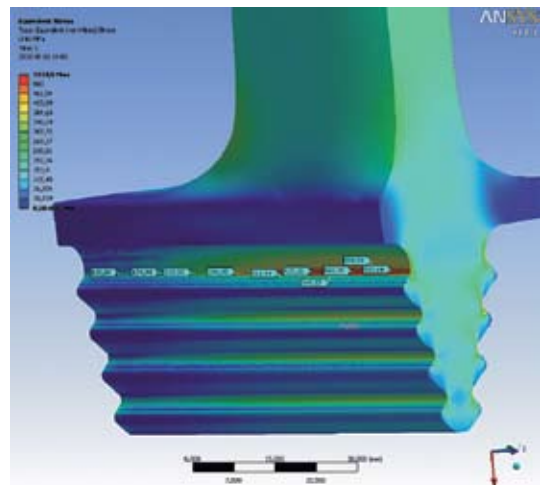
Rys. 17. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki – strona wklęsła



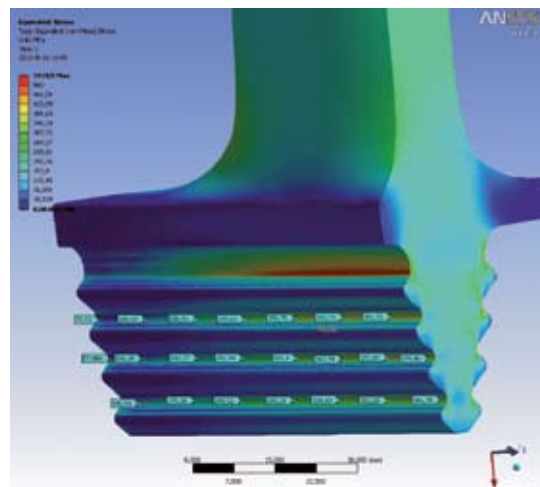
Rys. 18. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki – strona wklęsła



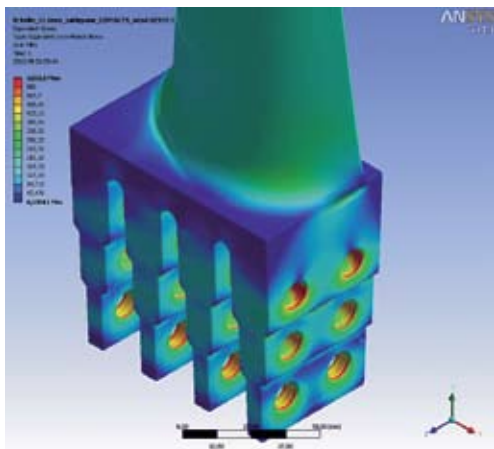
Rys. 19. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki – strona wypukła



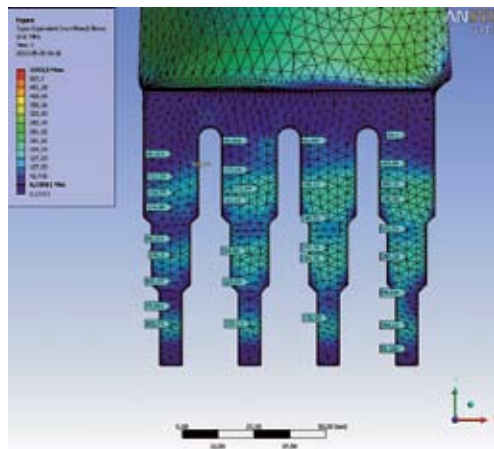
Rys. 20. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki – strona wypukła



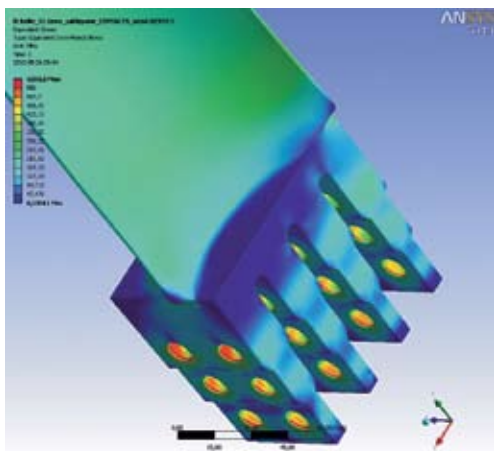
Rys. 21. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki – strona wypukła



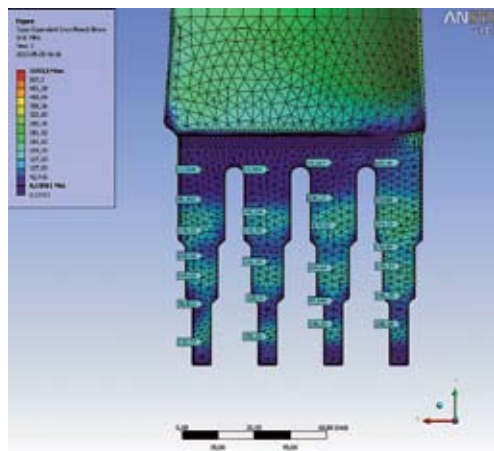
Rys. 22. Naprężenia zredukowane w stopce łopatkı kółkowej



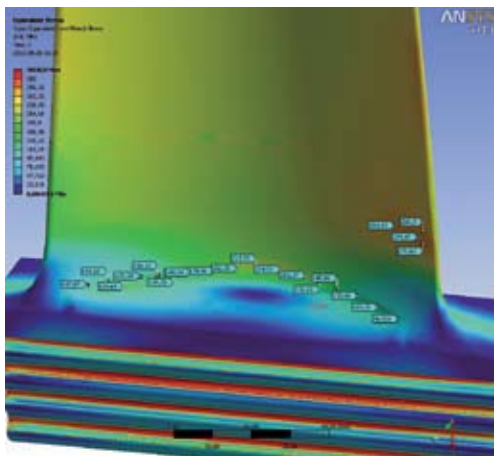
Rys. 23. Naprężenia zredukowane w stopce łopatkı kółkowej – strona wypukła



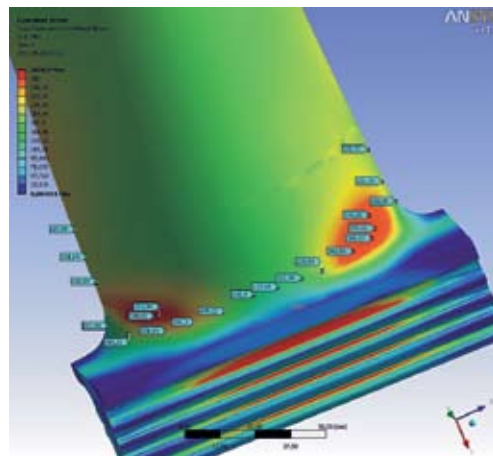
Rys. 24. Naprężenia zredukowane w stopce łopatkı kółkowej



Rys. 25. Naprężenia zredukowane w stopce łopatkı – strona wklęsła



Rys. 26. Naprężenia zredukowane. Przejście pióra łopatkı w stopkę po stronie wklęsłej – jodełka

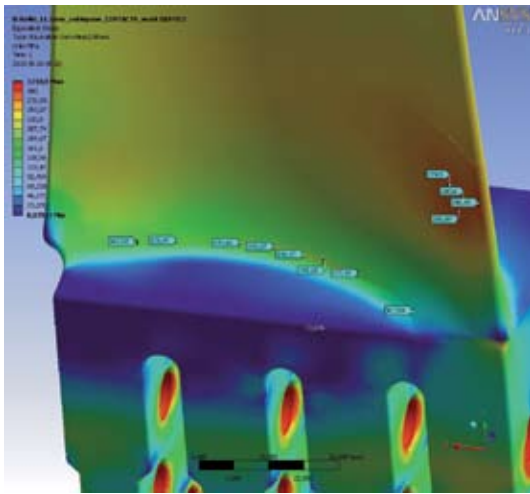


Rys. 27. Naprężenia zredukowane. Przejście pióra łopatkı w stopkę po stronie wypukłej – jodełka

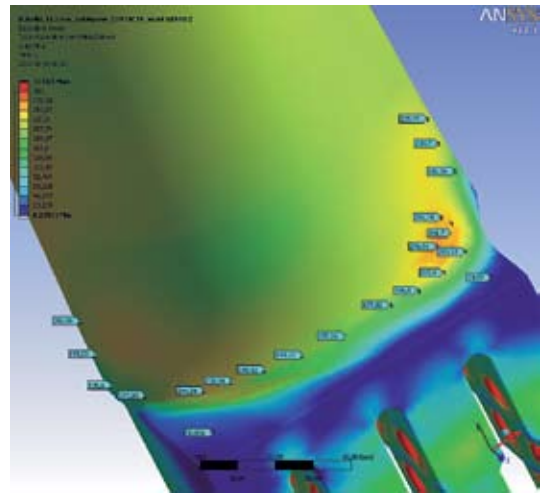
Analiza wykazała, że wyższe naprężenia występują w miejscu przejścia pióra łopatkı w stopkę na łopatkach ze stopką jodełkową. Naprężenia zredukowane w miejscu przejścia pióra łopatkı w stopkę na łopatkach ze stopką jodełkową od strony wypukłej są wyższe niż od strony wklęsłej i sięgają 390 MPa (rys. 26 i 27). Natomiast w miejscu przejścia pióra łopatkı w stopkę na łopatkach

mocowanej na kółkach naprężenia zredukowane od strony wklęsłej i wypukłej są zbliżone i w miejscach maksymalnym naprężeń plasują się w pobliżu 300 MPa (rys. 28 i 29).

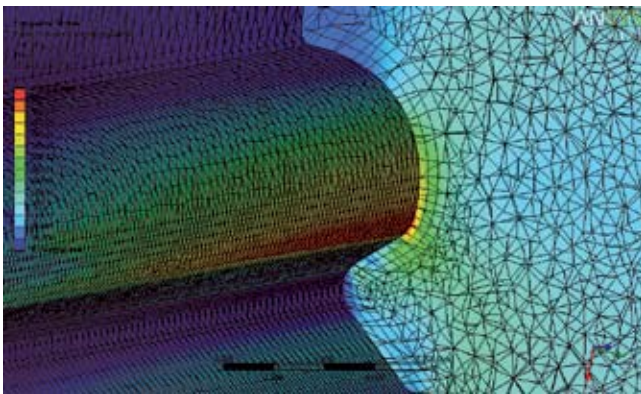
Wysokie naprężenia w stopkach łopatek jodełkowych występują w miejscu koncentracji naprężeń na stosunkowo niewielkiej głębokości (rys. 30 i 31).



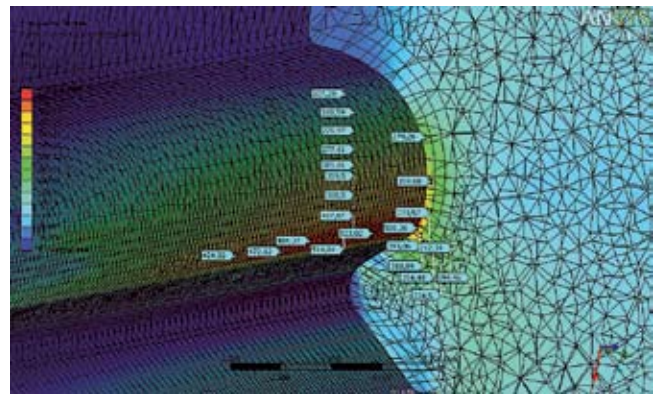
Rys. 28. Naprężenia zredukowane. Przejście pióra łopatki w stopkę po stronie wklęsłej – kołki



Rys. 29. Naprężenia zredukowane. Przejście pióra łopatki w stopkę po stronie wypukłej – kołki



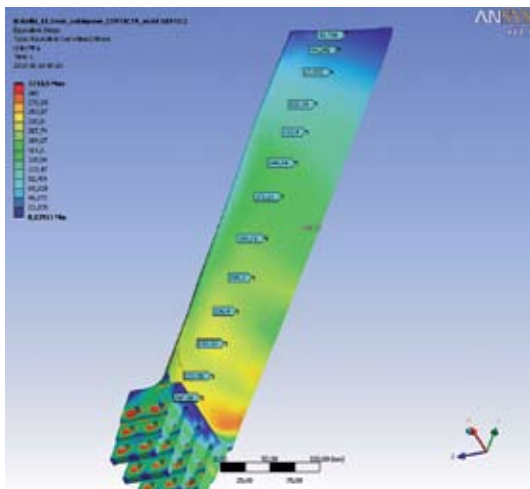
Rys. 30. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki jodełkowej



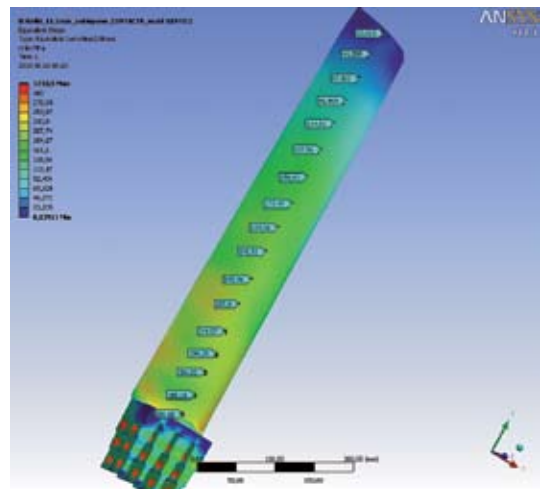
Rys. 31. Naprężenia zredukowane w stopce łopatki jodełkowej

Kolejnymi analizowanymi obszarami łopatek były ich pióra zarówno po stronie wypukłej jak i wklęsłej. Stwierdzono, że wartości naprężeń zredukowanych na piórach łopatki ze stopką mocowaną na kołkach są wyższe niż na łopatkach ze stopką jodełkową. Wartości naprężeń zredukowanych łopatek kołkowych

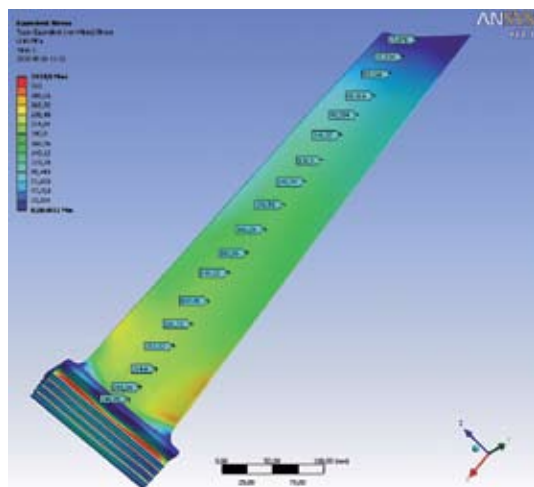
– od strony wklęsłej – osiągają wartości bliskie 250 MPa (rys. 32), a od strony wypukłej nie przekraczają 215 MPa (rys. 33). Dla łopatek ze stopką jodełkową naprężenia zredukowane na jej piórze wyniosły odpowiednio: 215 MPa – po stronie wklęsłej i 190 MPa – po stronie wypukłej (rys. 34 i 35) [5].



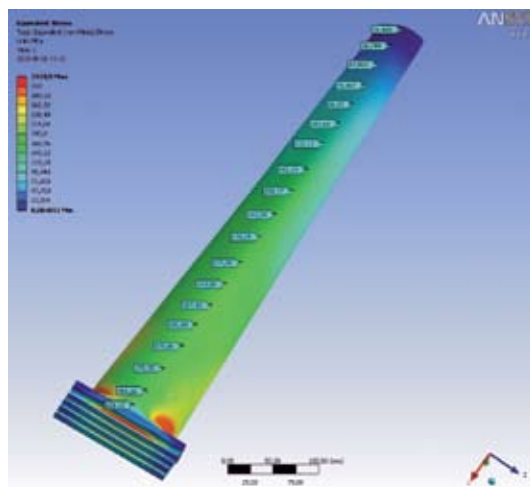
Rys. 32. Naprężenia zredukowane na piórze łopatki kołkowej – strona wklęsła



Rys. 33. Naprężenia zredukowane na piórze łopatki kołkowej – strona wypukła



Rys. 34. Naprężenia zredukowane na piórze łopatkii jodełkowej – strona wklęsła



Rys. 35. Naprężenia zredukowane na piórze łopatkii jodełkowej – strona wypukła.

Podsumowanie

Porównawcze obliczenia numeryczne wykonano dla łopatek części niskoprężnych turbin o różnej konstrukcji. Samo porównanie modeli geometrycznych łopatek wykazało, że o ile profile piór tych łopatek można uznać za niemal identyczne, o tyle długość pióra łopatkii ze stopką jodełkową jest o ok. 20 mm mniejsza

Tablica 1

Wartości naprężeń zredukowanych w charakterystycznych miejscach łopatek

Rodzaj łopatkii	Analizowany obszar	Strona łopatkii wartości naprężeń, MPa	
		wypukła	wklęsła
	stopka	560	530
	stopka	< 200	< 200
	przejście pióro – stopka	390	225
	przejście pióro – stopka	280	200
	pióro	190	215
	pióro	215	250

w stosunku do pióra łopatkii kołkowej. Mając na uwadze różnice konstrukcyjne, ale także to, że stwierdza się pękanie łopatek ze stopką jodełkową, a przy tym, że połączenie łopatek z tarczą wirnika na kołki uchodzi za niezawodne, zdecydowano się wykonać obliczenia, metodą elementów skończonych, stanu naprężeń w wybranych obszarach łopatek. Główne obszary analizy to same stopki łopatek, przejścia stopki łopatek w pióra i w końcu same wartości naprężeń na piórach – zarówno po stronach wklęsłych jak i wypukłych. Analiza wykazała, że większe wartości naprężeń „pojawiły się” w łopatce ze stopką jodełkową – poza jednym obszarem – pióro łopatkii. Na uwagę zasługuje jeszcze fakt, że w stopce łopatkii jodełkowej naprężenia zredukowane w dużej mierze koncentrują się w środkowej części „jodełki”, a nie wyłącznie na jej końcach. Syntetyczne wyniki naprężeń zredukowanych dla dwóch łopatek zaprezentowano w tablicy 1.

Naprężenia od przepływu pary nie były brane pod uwagę. Należy jednak zaznaczyć, że przy zbliżonej mocy ostatniej stopki części niskoprężnych turbin jednostkowe obciążenie łopatek mocowanych przy pomocy kołków jest wyższe z uwagi na ich mniejszą liczbę (70 w wieńcu – rys. 9) niż w przypadku łopatek ze stopkami jodełkowymi (90 łopatek w wieńcu – rys. 10), a mimo to pracują bezawaryjnie.

Wnioski

1. Przedmiotem analizy wytrzymałościowej było porównanie stanu naprężeń w dwóch różnych typach łopatek części niskoprężnych turbin, ze względu na fakt, że na łopatkach typu jodełkowego – w przeciwieństwie do łopatek kołkowych – stwierdza się pęknięcia po stosunkowo krótkim czasie eksploatacji.
2. Zakres obliczeń i analizy został dobrany w taki sposób, aby przy maksymalnej redukcji czasu i kosztów uzyskać istotne informacje dotyczące stanu naprężeń w miejscach pojawiających się pęknięć.
3. W nawiązaniu do punktu 2 analiza wykazała, że pojawiające się pęknięcia usytuowane są poza obszarami największych naprężeń w typowych warunkach eksploatacji, a poszukiwanie przyczyn (-y) uszkodzeń należy prowadzić w innych obszarach.

LITERATURA

- [1] Trzecznyński J.: Nowe – stare problemy diagnostyczne dtu-goeksploatowanych urządzeń energetycznych, *Pro Novum Sp. z o. o.*, VII Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe, Ustroń, październik 2005
- [2] Gawron P., Murzynowski W.: *LM System Pro* – systemowe podejście do wiedzy płynącej z diagnostyki eksploatacyjnej i remontowej, *Pro Novum Sp. z o. o.*, XIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń”, Szczyrk, maj 2010

- [3] Murzynowski W., Grzesiczek E.: Wpływ geometrii i modeli obliczeniowych MES na rezultaty analizy stanu naprężeń w obrzeżach tarcz wirnikowych, *Pro Novum Sp. z o. o.*, VIII Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe, Ustroń, październik 2006
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 03.2434/2010, niepublikowane
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 43.2475/2010, niepublikowane



Krzysztof Badyda, Janusz Lewandowski
Politechnika Warszawska

Perspektywy eksploatacji zasobów polskiej energetyki w uwarunkowaniach emisyjnych wynikających z regulacji unijnych

Prospective utilization of the polish power industry resources in the light of the eu emission regulations

Z zobowiązań międzynarodowych Polski wynikają ograniczenia w zakresie emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Obecne standardy emisji SO_2 , NO_x i pyłu są rezultatem wymagań sformułowanych w rozporządzeniu Ministra Środowiska uwzględniającym Dyrektywę LCP [1] oraz zapisy Traktatu o Przystąpieniu Polski do UE (ToP). Dodatkowo w Traktacie określone zostały pułapy krajowe emisji tych substancji ze źródeł podlegających Dyrektywie LCP.

Ograniczenia w zakresie emisji CO_2 są wynikiem działania protokołu z Kioto oraz europejskiego systemu handlu emisjami gazów cieplarnianych. W wyniku nowych regulacji, w tym tzw. pakietu energetyczno-klimatycznego, należy się liczyć z głębokim zaostreniem wymogów ekologicznych. Z zobowiązań podjętych przez Polskę wobec Unii Europejskiej wynika, że produkcja energii elektrycznej w roku 2010 w 7,5% pochodzić będzie ze źródeł odnawialnych. W projekcie pakietu klimatycznego ze stycznia 2007 zaproponowano, by w roku 2020 w Polsce 15% energii pierwotnej w ostatecznym zużyciu pochodziło ze źródeł odnawialnych (średnio w Unii 20%). Oba cele są przedmiotem wątpliwości, czy są realne i jakim kosztem zostałyby ewentualnie zrealizowane.

W skład wspomnianego pakietu wchodzi jako najważniejsze składniki:

- dyrektywa w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [8],
- dyrektywa regulująca nowe zasady działania wspólnotowego systemu handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych [9],
- dyrektywa w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla [10],
- decyzja zmierzająca do ograniczenia emisji gazów ze źródeł nie objętych systemem handlu emisjami [11].

Zakończone zostały prace nad nową dyrektywą o emisjach przemysłowych [2], która ma zastąpić Dyrektywę IPPC, a proponowane zapisy praktycznie wykluczają spalanie węgla w kotłach, które nie są wyposażone w instalacje odsiarczania, odazotowania i głębokiego odpylania spalin. Ich proponowane wprowadzenie już w 2016 roku stwarza perspektywę, w której w ciągu 8 lat głębokiej modernizacji lub wymianie będzie podlegał praktycznie każdy kocioł, w którym spalany jest węgiel.

W Polityce energetycznej państwa [3] zakłada się „wykorzystanie węgla jako głównego paliwa dla elektroenergetyki w celu zagwarantowania odpowiedniego stopnia bezpieczeństwa energetycznego kraju”. Kluczowym pytaniem pozostaje, czy jest to realne przy obecnych uwarunkowaniach związanych przede wszystkim z polityką energetyczną Unii Europejskiej, w której priorytetem jest znaczące ograniczenie emisji dwutlenku węgla. Poniżej przedstawiono wyniki wybranych analiz opartych na pracach prowadzonych z udziałem autorów, na przykład [3, 4].

Zapotrzebowanie i produkcja energii

W latach 1989 – 1992 następował spadek produkcji i zapotrzebowania energii elektrycznej w Polsce. Od roku 2003 widoczny był wzrost zarówno produkcji, jak i zapotrzebowania, przy eksporcie na poziomie 10 – 11 TWh. Wzrost zapotrzebowania krajowego w tym ostatnim okresie, z wyjątkiem roku 2005, wynosił około 3% rocznie. W roku 2007 produkcja utrzymała się na poziomie roku 2006, jednak eksport zmalał do poziomu 5 TWh. W roku 2008 produkcja została obniżona przy nieznacznym wzroście zapotrzebowania krajowego i praktycznej eliminacji eksportu (rys. 1).