

# energika

DWUMIĘSIĘCZNIK nr 2(93)/2024

ISSN 1899-0886

CENA – 20 Zł (W TYM 8% VAT)

## nowa Energia

### ENERGIA JEST KOBIETĄ

Od lat wskazuję na istotną rolę kobiet w branży energetycznej.

Mamy moc, mamy siłę sprawczą - stawiamy na innowacyjne rozwiązania podczas tworzenia **ZAWSZE** czystej energii.

Bierzemy aktywny udział w dyskusjach o transformacjach zachodzących w tym sektorze, posiadamy doświadczenie i gruntowną wiedzę.

Kreujemy nową jakość, która obala stereotypy.

**Jestem na to najlepszym przykładem.**

*Ewelina Krawczyk-Grunwald*



# SPIS TREŚCI:

- 4** Realia i trudności cleanup podczas wdrożeń liczników zdalnego odczytu  
Adam Olszewski, Piotr Wądołowski, Sekcja Inteligentnych Sieci - Smart Grids, Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji
- 8** Rynek (nie)mocy?  
Dr Krzysztof Fal, Wise Europa
- 12** O utrzymaniu ruchu - diagnostyce, remontach, modernizacjach - w Kazimierzu Dolnym  
Wydawnictwo „Nowa Energia”
- 18** SMR. Czyli jak mały jest mały reaktor?  
Prof. dr hab. inż. arch. Wacław Gudowski, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Royal Institute of Technology, Doradca Orlen Synthos Green Energy
- 22** Modelowanie MES elementów krytycznych bloków energetycznych w celu identyfikacji i bezpiecznego wykorzystania zapasów trwałości  
Dr inż. Jerzy Trzeszczyński, Mgr inż. Sławomir Rajca, Mgr inż. Wojciech Murzynowski, Mgr inż. Radosław Stanek, Dr inż. Marcin Hatłas, Pro Novum Sp. z o.o.
- 30** Szybkie elektrony (EB)  
Wojciech Głuszewski, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie
- 34** Piasek jako magazyn energii?  
Kinga Skrzek, Specjalista ds. Nowych Technologii, Platforma Przemysłu Przyszłości
- 40** Sieć Badawcza Łukasiewicz - GIT - umiejętnie łączy naukę z biznesem i tradycje z nowoczesnością  
Prof. dr hab. inż. Adam Zieliński, Dr inż. Hanna Purzyńska, Prof. dr hab. inż. Janusz Dobrzański, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Górnośląski Instytut Technologiczny
- 44** Modernizacja systemu ciepłowniczego Elektrociepłowni Ciechanów  
Dr inż. Małgorzata Niestępska, Prezes Zarządu, ELEKTROCIĘPŁOWNIA CIECHANÓW Sp. z o.o.
- 53** Ciepłownictwo kręci się wokół pieniądza... Czyli ABC narzędzi wspierających zarządzanie procesami finansowymi w branży ciepłowniczej  
Paulina Bartoszevska, Dyrektor Finansowy, Elbląskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o.

- 56** Veolia term zakończyła projekt dekarbonizacyjny Szafir  
Grupa Veolia
- 60** O termicznym przekształcaniu odpadów komunalnych w Olsztynie  
Wydawnictwo „Nowa Energia”
- 66** Instalacja odzysku ciepła ze spalin w Ekospalarni Kraków  
Jakub Bator, Członek Zarządu; Olga Górka, Główny Specjalista ds. Technicznych, Krakowski Holding Komunalny S.A. w Krakowie
- 70** ANALYTICS. Od pomiarów procesowych po ciągły pomiar dioksyn, furanów i węgla biogenego  
ANALYTICS Ltd Sp. z o.o.
- 72** Innowacyjne formy podnoszenia kompetencji w administracji publicznej. Platforma e-learningowa projektu CaPABLE  
Michał Ślusarczyk, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu
- 76** Osieroceni przez NABE. Co dalej z blokami węglowymi?  
Dr hab. inż. Stanisław Tokarski, Centrum Energetyki na Akademii Górniczo-Hutniczej / Główny Instytut Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy
- 80** Postaw na zrównoważony rozwój Twojej firmy. Oferta bezpłatnych kursów online PFR  
Zespół Sieć Firm Przyszłości PFR, Polski Fundusz Rozwoju S.A.
- 82** Kilka słów o inwentaryzacji emisji  
Tomasz Pawelec, Ekspert ds. Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego; Anna Fijas, Kierownik Projektów; Katarzyna Brawiak, Asystent Projektów; Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”

## Wydawca:

Nowa Energia - D. Kubek i M. Marchwiak s.c.

## Adres Redakcji:

ul. Wesola 23, 47-400 Racibórz  
Tel. (+48) 32 777 43 35-38  
www.nowa-energia.com.pl

## Redaktor naczelna:

Dorota Kubek, kom. (+48) 602 647 315  
dorota.kubek@nowa-energia.com.pl

## Prezes wydawnictwa:

Mariusz Marchwiak, kom. (+48) 509 433 476  
mariusz.marchwiak@nowa-energia.com.pl

## Redakcja:

tel. (+48) 32 666 00 10  
redakcja@nowa-energia.com.pl

## Dział organizacyjny:

Patrycja Kubicka  
Specjalista ds. Biurowych  
kom (+48) 577 311 211  
tel. (+48) 32 777 43 35  
biuro@nowa-energia.com.pl  
Karina Kwapik  
Specjalista ds. Organizacyjnych  
tel. (+48) 32 666 00 10  
redakcja@nowa-energia.com.pl

## Dział handlowy:

Renata Fischer  
Specjalista ds. Sprzedaży i Marketingu  
kom. (+48) 603 220 011  
tel. (+48) 32 777 43 36  
reklama@nowa-energia.com.pl  
Monika Jureczko  
Specjalista ds. Sprzedaży i Marketingu  
kom. (+48) +48) 730 223 440  
tel. (+48) 32 777 43 38  
marketing@nowa-energia.com.pl

## Obsługa informatyczna:

IT PASJA, www.itpasja.pl

## Redaktor Techniczny:

Maciej Rowiński  
tel. (+48) 32 777 43 36  
grafika@nowa-energia.com.pl

## Korekta:

Dorota Kubek

Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam.

Wykorzystywanie materiałów i publikowanie reklam opracowanych przez Wydawcę wyłącznie za zgodą Redakcji.

Artykułów niezamówionych Redakcja nie zwraca.



Projekt okładki:  
Energika

■ Dr inż. Jerzy Trzeszczyński, Mgr inż. Sławomir Rajca,  
Mgr inż. Wojciech Murzynowski, Mgr inż. Radosław Stanek,  
Dr inż. Marcin Hałas  
Pro Novum Sp. z o.o.



# Modelowanie MES elementów krytycznych bloków energetycznych w celu identyfikacji i bezpiecznego wykorzystania zapasów trwałości

**P** przedłużenie eksploatacji znacznej części bloków węglowych wydaje się nie do uniknięcia. Towarzyszyć temu jednak powinno przystosowanie ich do jeszcze bardziej niż dotąd regulacyjnego trybu pracy. Wraz ze wzrostem generacji z OZE, ich zdolność do elastycznej eksploatacji będzie najbardziej pożądaną ich cechą. Przystosowanie do takiej pracy należy rozpocząć od określenia ich aktualnego stanu technicznego, w tym zapasów trwałości elementów krytycznych, pamiętając jednak, że nie można ograniczyć oceny stanu technicznego i przydatności bloku do dalszej eksploatacji tylko do tych elementów oraz tylko do głównych urządzeń cieplno-mechanicznych. [1]

Trwałość wielu elementów krytycznych urządzeń cieplno-mechanicznych bloków energetycznych od wielu lat nie jest limitowana przez czas eksploatacji, lecz przez intensywność regulacyjnego trybu pracy oraz jakość eksploatacji i remontów. Wykorzystując dostępne metody badań i systemy diagnostyczne oraz metody obliczeniowe, w tym oparte na modelowaniu MES i kryteriach mechaniki pęknięcia, można z wystarczającą dla praktyki dokładnością określać zapasy trwałości elementów krytycznych, także wtedy, gdy ich praca może odbywać się w trybie warunkowym. [2]

Elementy krytyczne projektowane z wykorzystaniem obliczeń analitycznych stosowano dla elementów o sto-

sunkowo prostych przekrojach. Nie uwzględniali one jednak możliwego wpływu różnorodnych zmian termicznych na stan naprężeń i innych trudnych do policzenia, czy do przewidzenia w ówczesnych reżimach pracy mechanizmów niszczących. Przez to często projektujący w wynikach takich obliczeń uwzględniali wysokie współczynniki bezpieczeństwa (zwane czasami współczynnikami „niewiedzy”, czy „niepewności”) i nadatki materiałowe. To sprawiło, że elementy krytyczne bloków energetycznych zostały zaprojektowane praktycznie na nieograniczony czas pracy i cechują się dużym zapasem trwałości, który można przy obecnej wiedzy bezpiecznie wykorzystać. Elementy ta-

kie jak np. wirniki turbin, generatorów, czy walczaki pracują ok. 300 tys. godzin praktycznie bez objawów wyczerpania trwałości, a nieliczne uszkodzenia o charakterze zmęczeniowym są przy zachowaniu odpowiedniej wiedzy i doświadczenia łatwe do usunięcia, często bez potrzeby naprawy przez spawanie.

## Własności materiałowe, a stopień wyczerpania trwałości (SWT)

Nierzadko można spotkać się z określeniem „wyczerpanie trwałości materiału”, co jest określeniem błędnym. W przypadku materiału możemy mieć wyłącznie do czynienia z degradacją własności:

fizycznych, termicznych, mechanicznych, czy wytrzymałościowych. Dopiero w przypadku elementu o określonej geometrii i technologii wykonania, z materiału (materiałów) o określonych właściwościach jw., można mówić o stopniu wyczerpania trwałości (SWT) uwarunkowanego jego: cechami konstrukcyjnymi, wykonawstwem, montażem i zmiennymi warunkami pracy; w przypadku elementów krytycznych są nimi obciążenia mechaniczne (ciśnienie, obroty) i cieplne. Ogólnie rzecz ujmując SWT dotyczy elementu, a nie materiału, z którego został wykonany, a jego wartość zależna jest od jego konstrukcji (karby geometryczne i strukturalne) i zmiennych obciążeń cieplno- mechanicznych, a także od jakości montażu, remontu, czy modernizacji, które mogą być źródłem dodatkowych naprężeń nieprzewidzianych przez konstruktora. [2]

### Trwałość elementów krytycznych

Diagnostyka wykonywana w odpowiednim zakresie wykorzystująca zwłaszcza obliczenia i modelowanie numeryczne może pomóc w oszacowaniu zapasu trwałości elementów krytycznych z wystarczającą dla praktyki dokładnością. Pozwala w bezpieczny sposób nadzorować takie elementy, dla których trwałość została lokalnie wyczerpana z objawami uszkodzeń, których

naprawa jest niemożliwa do wykonania lub ich wymiana jest nieoptymalna [3, 4] z uwagi na zbliżający się koniec eksploatacji urządzenia/bloku. W zapasie trwałości elementu można wyróżnić i odpowiednio wykorzystać trzy fazy jego ubytku (rys. 1).

- Faza I - gdy badania i obliczenia SWT według obowiązujących norm wykazują rezerwę czasu do zainicjowania pęknięcia, a w materiale elementu nie ma zmian strukturalnych.
- Faza II - podczas, której istnieje możliwość całkowitego wyczerpania zapasu trwałości, rozumianego jako zainicjowanie pęknięcia identyfikowanego podczas badań NDT oraz obliczeń wskazujących wartość SWT = 1 (100%). Wyniki obliczeń SWT w Fazie II wskazują wyłącznie na lokalne wyczerpanie trwałości, co nie wyklucza dalszej eksploatacji elementu po wykonaniu naprawy (jeśli jednocześnie materiał w miejscu uszkodzenia zmęczeniowego nie wykazuje objawów pętzenia wykluczających naprawę przez spawanie).
- Faza III - gdy lokalny zapas trwałości został wyczerpany, a zidentyfikowane pęknięcia elementu są nienaprawialne (np. na powierzchni wewnętrznej komory, czy kolektora). W tej fazie element może być eksploatowany warunkowo w try-

bie odpowiednio zorganizowanego nadzoru diagnostycznego, jeśli analiza bezpieczeństwa elementu na to pozwala [5], co oznacza wykonanie obliczeń dotyczących możliwości rozwoju pęknięć według kryteriów mechaniki pęknięcia, z monitoringiem warunków pracy i okresowo wykonywanymi badaniami NDT.

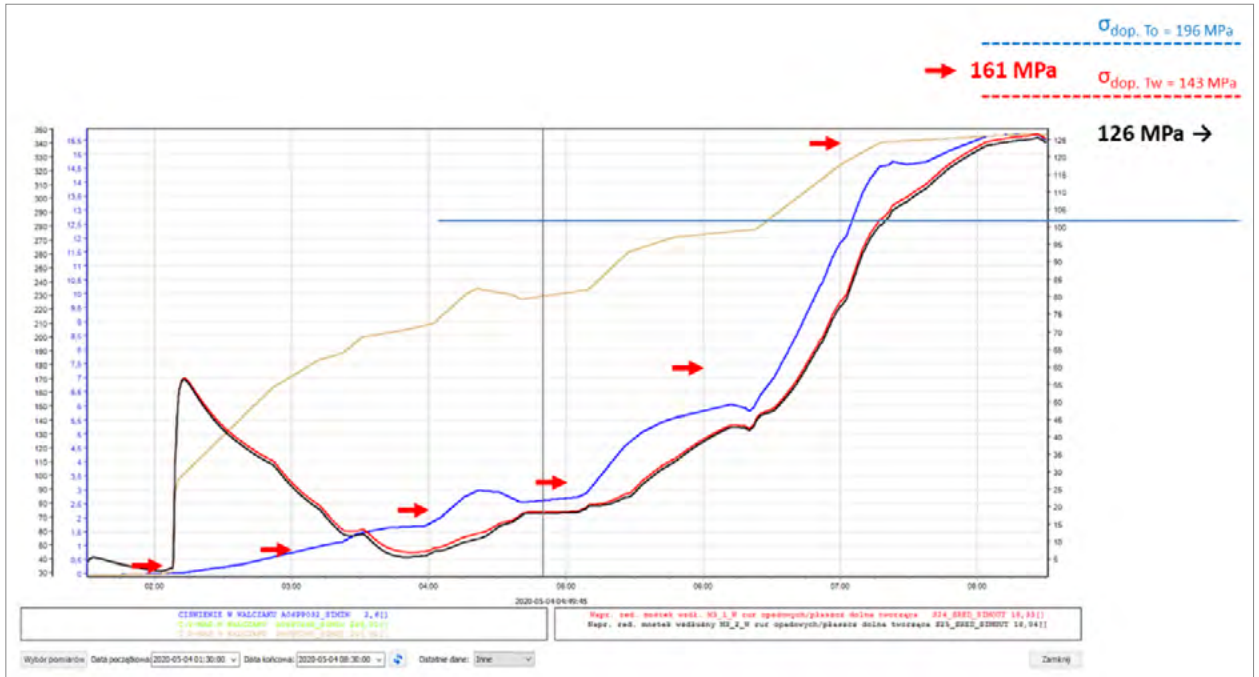
### Wykorzystanie obliczeń numerycznych w celu bezpiecznego wykorzystania zapasów trwałości

Podstawy MES zaczęły być formułowane w latach 40. XX w., natomiast jej zastosowanie zostało rozpowszechnione wraz ze wzrostem mocy obliczeniowych komputerów w latach 70. Obecnie zastosowanie modelowania MES w zakresie elementów krytycznych urządzeń energetycznych pozwala na uwzględnienie:

- rzeczywistych warunków ich pracy,
- cykli naprężeniowych pochodzących od zmian termicznych (rys. 2),
- całej konstrukcji elementu, np. układu króćców, otworów, rurociągów łączących, czy zamocowań,
- naprężeń dodatkowych nie przewidzianych przez konstruktora związanych np. z jakością montażu, remontu, czy modernizacji.



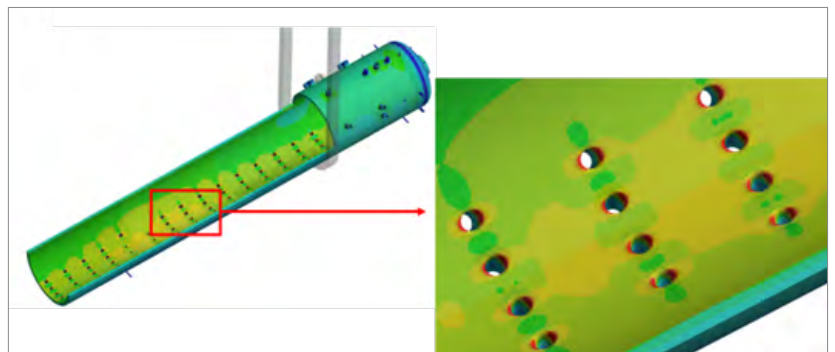
Rys. 1. Trzy fazy ubytku trwałości elementu krytycznego z uwzględnieniem kontroli propagacji pęknięć



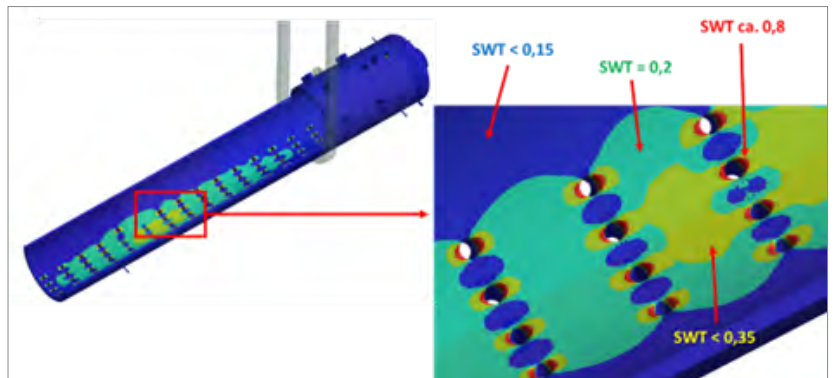
**Rys. 2.** Analiza cykli naprężeniowych pochodzących od zmian termicznych w elemencie krytycznym

Obliczenia numeryczne pozwalają ponadto:

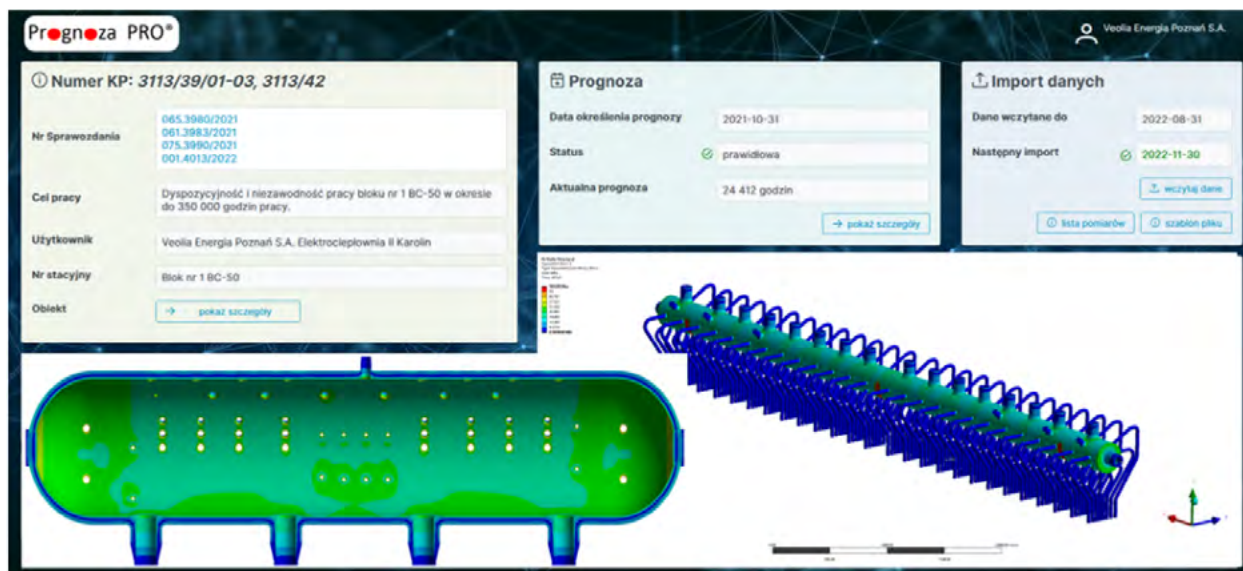
- dokładniej odwzorować stan termiczny i naprężeniowy w potencjalnych strefach uszkodzenia (PSU) elementu,
- zidentyfikować nowe, rzeczywiste strefy uszkodzeń konstrukcji (RSU),
- analizować obszary o zróżnicowanym zapasie trwałości w obrębie jednego elementu krytycznego (rys. 3 i 4),
- analizować stan naprężenia w czasie pełnych cykli pracy elementu, tj. uruchomienie - praca - odstawienie,
- na analizę wytrzymałościową w czasie zakłóceń w pracy, czy stanów awaryjnych elementów urządzeń,
- na ich automatyzację i szybkie dostosowanie do zmian w konstrukcji, czy warunków jej eksploatacji,
- symulować praktycznie dowolne warunki pracy elementu, zwłaszcza w celu prognozowania trwałości,
- analizować ubytek trwałości w czasie rzeczywistym.



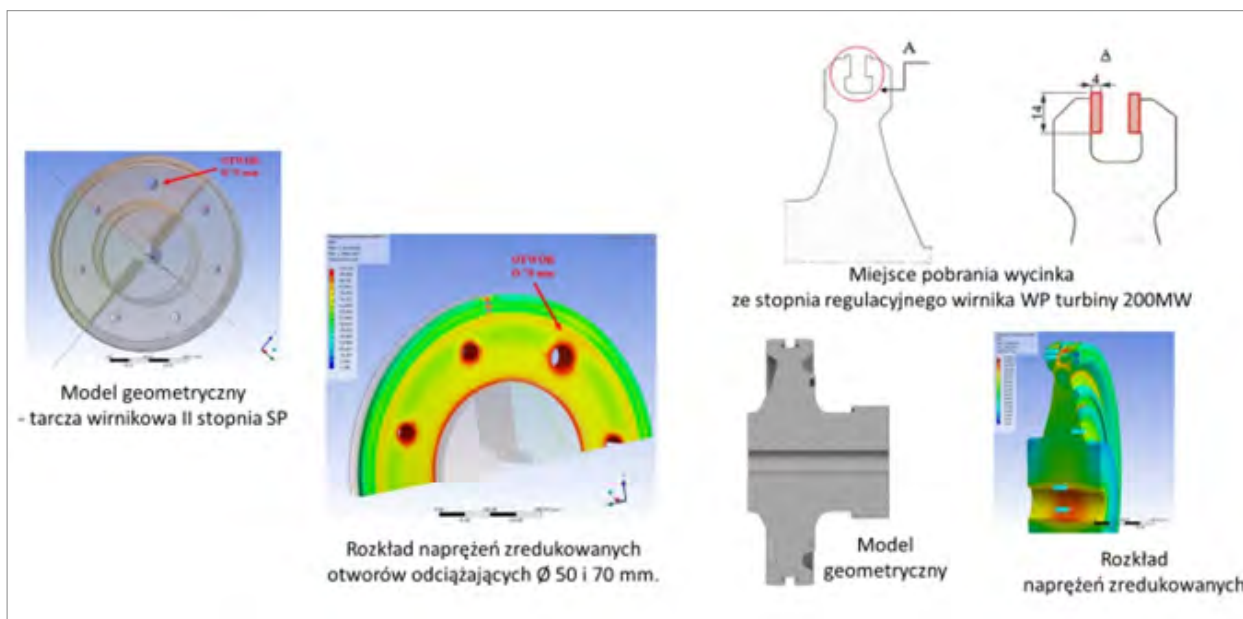
**Rys. 3.** Rozkład naprężeń zredukowanych w płaszczu walczyka



**Rys. 4.** Obszary o zróżnicowanym zapasie trwałości w ramach jednego elementu krytycznego



Rys. 5. Ocena stanu technicznego i prognoza trwałości - Progniza PRO®



Rys. 6. Wykorzystanie modelowania MES do wyboru lokalizacji i geometrii wycinków materiału do badań niszczących w potencjalnych strefach uszkodzeń (PSU) wirników turbin

Modelowanie MES wykorzystuje się do wyznaczenia naprężeń i przemieszczeń pochodzących od obciążeń mechanicznych (ciśnienie, grawitacja) i cieplnych (przepływ medium). Modele geometryczne elementów i ich detali przygotowuje się w oparciu o dokumentację techniczną elementów uzupełnioną o własne i/lub wykonane przez Pro No-

vum, pomiary rzeczywiste, np. metodą skaningu optycznego. Do obliczeń wykorzystywane są m. in. następujące dane i charakterystyki materiałowe:

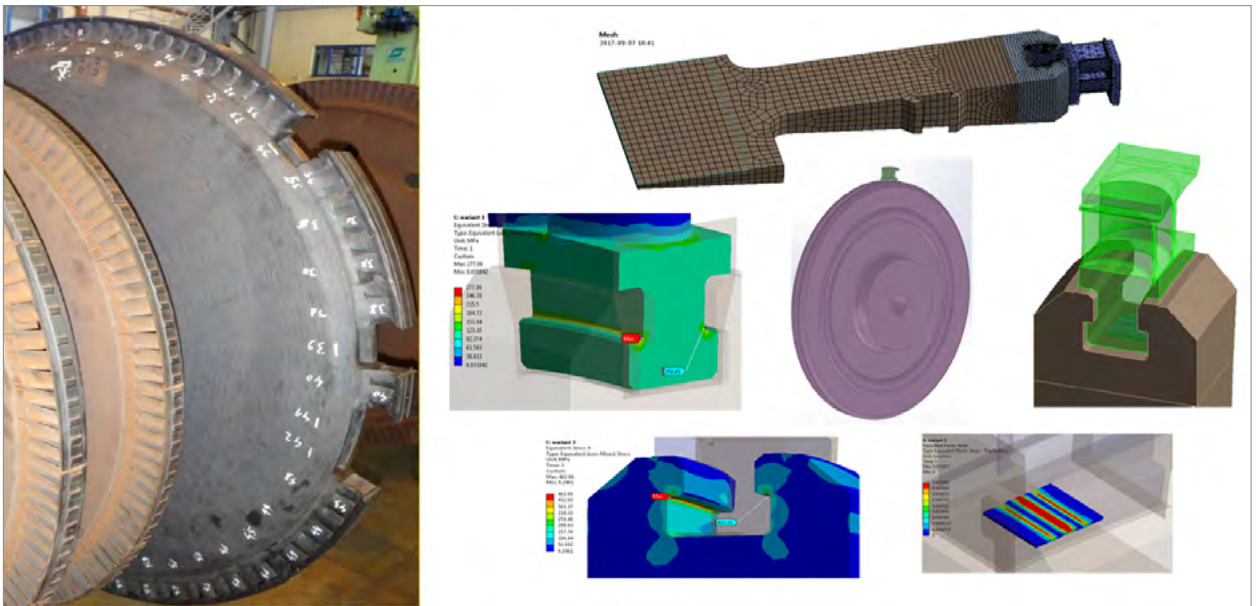
- Wyniki badań próbek pobieranych z elementów w sposób nie wymagający naprawy lub z ograniczoną naprawą,
- Wyniki badań niszczących ele-

mentów wycofanych z eksploatacji,

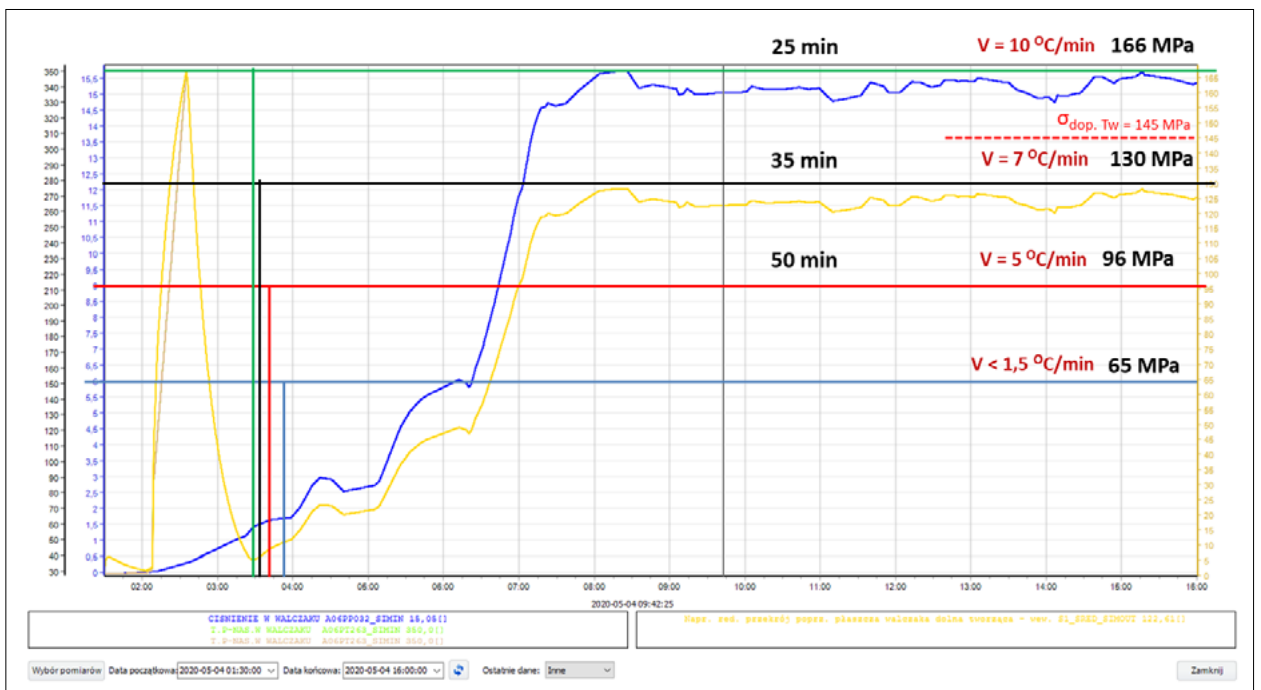
- SWT(Z) - Charakterystyki materiałowe określone w badaniach własnych,
- SWT(P) - Norma TRD, PN-75/H84024.

Obliczenia Metodą Elementów Skończonych (MES) wykorzystywane są w Pro Novum do:

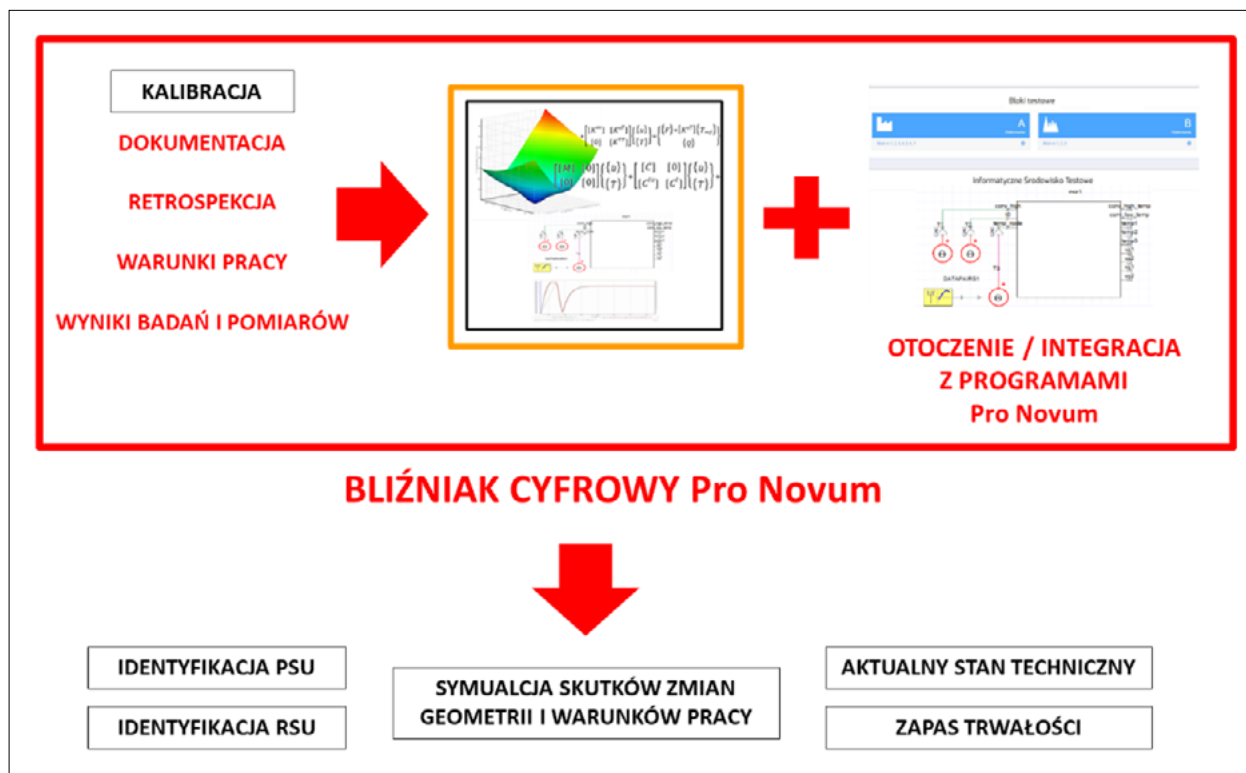
- Oceny stanu technicznego i prognozy trwałości elementów krytycznych (rys. 5),
- Wyboru lokalizacji i geometrii wycinków materiału do badań niszczących w miejscach maksymalnie zbliżonych do potencjalnych stref uszkodzeń (rys. 6),
- Wyjaśniania przyczyn i skutków awaryjnych uszkodzeń (rys. 7),
- Opracowywania technologii napraw,
- Opracowywania modernizacji,
- Monitorowania wpływu warunków eksploatacji na wyętnienie oraz stopień wyczerpania trwałości elementów krytycznych (rys. 8).



Rys. 7. Modelowanie MES w celu wyjaśnienia przyczyn i skutków awaryjnych uszkodzeń - Obliczenia dla topatek roboczych i wrębu tarczy wirnikowej przy trzech położeniach podkładek



Rys. 8. Wpływ warunków eksploatacji na wyętnienie elementów krytycznych - symulacja



Rys. 9. Parametryczny bliźniak cyfrowy elementów krytycznych Pro Novum - cechy i funkcje

Wykorzystując odpowiednio opisane wyżej możliwości obliczeń numerycznych można przygotować cyfrowe bliźniaki elementów krytycznych kotłów, turbin, generatorów i całych instalacji rurociągowych. Model numeryczny elementu krytycznego, po jego walidacji, może posłużyć do utworzenia modelu zredukowanego elementu - parametrycznego bliźniaka cyfrowego, który pozwala na znaczne zmniejszenie rozmiaru modelu numerycznego (zmniejszenie liczby stopni swobody - niewiadomych modelu), co przekłada się na znaczny wzrost prędkości wykonywanych obliczeń. Zredukowany model numeryczny pozwala na prowadzenie obliczeń w czasie rzeczywistym, umożliwiając ciągłe monitorowanie, m. in. naprężeń wynikających z aktualnego stanu obciążenia elementu.

Bliźniaki urządzeń energetycznych (ROM z ang. *Reduced Order Model*) implementuje się w odpowiednio do tego przygotowanym Systemie/środowisku informatycznym *Pro Novum*, które

umożliwia analizę stanu wyęźniowego elementów na podstawie rzeczywistych warunków pracy. Wyniki analizy naprężeniowej z cyfrowych bliźniaków stanowią parametry wejściowe do specjalistycznych procedur obliczeniowych [6-8]. Odpowiednio skalibrowane i zintegrowane bliźniaki cyfrowe elementów krytycznych (rys. 9) wykorzystuje się do:

- nadzoru nad ich stanem technicznym,
- nadzoru nad warunkową pracą elementów,
- poprawy elastyczności bloków 200 MW wg Metody Pro Novum, czyli w celu identyfikacji i nadzoru nad bezpiecznym wykorzystaniem ich zapasu trwałości oraz rezerw w systemie sterowania pracą bloku.

Na szczególną uwagę zasługuje tzw. parametryczny bliźniak cyfrowy Pro Novum (rys. 9) zintegrowany na platformie LE-Platform-DT PRO® z programami, które znacznie poprawiają jego funkcjo-

nalność czyniąc go szczególnie przydatnym zarówno do oceny stanu technicznego elementów krytycznych w tym do identyfikacji zapasów trwałości, jak również do nadzorowania ubytków trwałości podczas elastycznej eksploatacji bloków energetycznych.

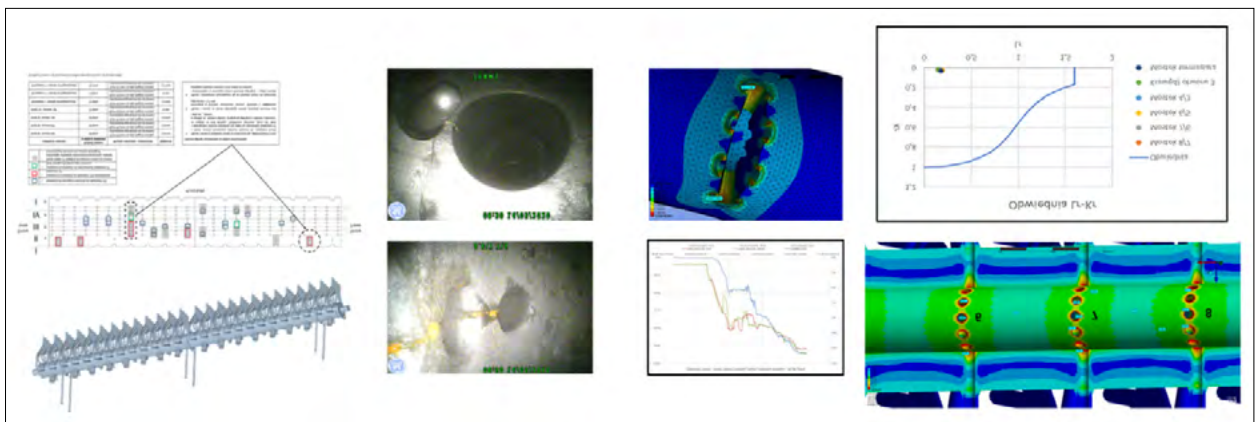
Dotychczas w Pro Novum przygotowano:

- 23 cyfrowe bliźniaki (w tym wybrane parametryczne) elementów krytycznych i GRP bloku 200 MW zrealizowane w ramach Programu Bloki 200+ w ENEA Elektrownia Połaniec S.A. (rys. 10).
- 14 cyfrowych bliźniaków wykonanych w ramach nadzorów diagnostycznych nad warunkową pracą komór przegrzewaczy pary i schładzaczy, poprzedzoną oceną bezpieczeństwa takich elementów z wykorzystaniem metod i kryteriów mechaniki pęknięcia (rys. 11) [3, 5].
- Parametryczny bliźniak cyfrowy in-





Rys. 10. Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków elementów krytycznych na potrzeby Metody Pro Novum poprawy elastyczności opracowanej w ramach Programu Bloki 200+



Rys. 11. Cyfrowe bliźniaki przygotowane na potrzeby nadzorów nad warunkową eksploatacją uszkodzonych elementów



Rys. 12. Parametryczny bliźniak instalacji rurociągowej z elementami samokalibracji

stacji rurociągowej zrealizowany w ramach Programu OPTI\_AI\_UNIT w TAURON Wytwarzanie S.A. Oddział Elektrownia Łągisza (rys. 12).

## Podsumowanie

Obliczenia numeryczne znane są i rozwijane od kilkudziesięciu lat. Rozwojowi podlegają także narzędzia do ich stosowania, a także zalecenia / rekomendacje autorów norm / przepisów do ich stosowania. Korzystanie z bliźniaków cyfrowych elementów krytycznych, a nawet urządzeń lub ich istotnych części ze zintegrowanymi z nimi programami rozszerzającymi ich funkcjonalność - stwarza warunki do kreowania wiedzy niezbędnej dla zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków energetycznych w nowych reżimach przedłużonej eksploatacji. Uwzględnia-

jąc ewidentne atuty takiego podejścia trudno zrozumieć tych, którzy takiego podejścia nie uznają.

Wykorzystując dostępne metody badań i systemy diagnostyczne oraz metody obliczeniowe, w tym oparte na modelowaniu MES i kryteriach mechaniki pęknięcia, można z wystarczającą dla praktyki dokładnością określać zapasy trwałości elementów krytycznych, także wtedy, gdy ich praca może odbywać się w trybie warunkowym.

Wyniki dotychczas wykonanych badań bloków klasy 200 MW wskazują, że ich eksploatację można kolejny raz przedłużyć oraz przystosować je do bardziej regulacyjnego niż dotąd trybu pracy, wykorzystując zidentyfikowane zapasy trwałości elementów długo eksploatowanych, a w niektórych przypadkach wymienić nadmiernie wyczerpane elementy lub je zrewitalizować.

Wypracowane przez Pro Novum rozwiązania w zakresie stosowania obliczeń MES i tworzenia cyfrowych bliźniaków elementów urządzeń energetycznych mogą być z powodzeniem stosowane podczas kwalifikowania bloków energetycznych do wydłużenia czasu pracy oraz nowych reżimów eksploatacji, szczególnie gdy ich elementy krytyczne w przeszłości zostały zaprojektowane w taki sposób, że posiadają wystarczające do tego celu zapasy trwałości - zapewniające bezpieczeństwo pracy.

Należy pamiętać, że stan techniczny elementów krytycznych decyduje o bezpieczeństwie eksploatacji, natomiast o dyspozycyjności, tak ważnej podczas pracy elastycznej, decyduje niezawodność większości pozostałych elementów i węzłów konstrukcyjnych bloku energetycznego. □

### Literatura:

1. Trzeszczyński J.: Projekt BLOKI 2025+. Założenia do strategii kontynuowania eksploatacji bloków klasy 200 MW (I). Aktualny stan implementacji Projektu. Biuletyn Pro Novum 2/2023. Energetyka 12/2023.
2. Trzeszczyński J., Murzynowski W. „Określanie i monitorowanie zapasów trwałości elementów krytycznych na potrzeby przedłużonej eksploatacji bloków energetycznych w nowych reżimach pracy”. Energetyka 2023, Biuletyn Pro Novum 1/2023.
3. Trzeszczyński J., Murzynowski W. „Nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją uszkodzonych schładzaczy do czasu ich wymiany lub naprawy”. Energetyka 2019, nr 7, Biuletyn Pro Novum 1/2019.
4. Wojciechowski R. M., Trzeszczyński J., Murzynowski W. „Przykład realizacji nadzoru diagnostycznego bloku BC50”. Energetyka 2022, nr 12, Biuletyn Pro Novum 3/2022.
5. BS 7910 - 2013+A1:2015; Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.
6. Hattas M., Murzynowski W., Trzeszczyński J. „Parametryczne bliźniaki cyfrowe źródłem informacji i wiedzy dla bezpiecznej eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych”. Energetyka 2022, nr 12, Biuletyn Pro Novum 3/2022.
7. Trzeszczyński J., Hattas M., Murzynowski W., Stanek R., Trzeszczyńska E.: Adaptation of coal-fired units for further operation in the transitional period of transformation of Polish energy sector. vgbe energy journal 12/2023.
8. Trzeszczyński J., Hattas M., Murzynowski W., Stanek R.: Using the remote diagnostic systems based on the virtual environment and digital twins to life assessment of power equipment. vgbe journal 3/2024.

# XXVI SYMPOZJUM

## Diagnostyka wspierająca elastyczną pracę elektrowni

9-11 października 2024 r.

Bystra, Polska



**pro•vum**<sup>®</sup>  
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES  
Centrum Badawczo - Rozwojowe  
— od 1987 r. —