

Prof. dr hab. inż. Janusz Badur, Zakład Konwersji Energii, IMP PAN, Gdańsk;
prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski, Katedra Wytrzymałości Materiałów, Politechnika Gdańska

Elektrownia Ostrołęka C

w budowie a „momentum-FSI”

Mimo przeszkód, trwa budowa elektrowni Ostrołęka C. O tym zapewniają nas Główni decydenci - Jarosław Małkowski, Prezes Elektrowni Ostrołęka, czy Sławomir Żygowski, Prezes GE Power, firmy odpowiedzialnej projekt, wykonanie i budowę. Możemy o tym dowiedzieć się w mediach społecznościowych. Ale te same media informują również, że 31 lipca 2019 r. Sąd Okręgowy w Poznaniu stwierdził nieważność uchwały Walnego Zebrania Akcjonariuszy spółki Enea, zezwalającej na budowę 1000 MW bloku węglowego elektrowni w Ostrołęce. Sąd uznał, że uchwała ma wady formalne dyskwalifikujące budowę. Czy oznacza to koniec tego wspaniałego projektu? Można się z dużym prawdopodobieństwem spodziewać, iż kolejnej instancji sądy UE utrzymają ten werdykt.

■ Budowa pierwszej elektrowni węglowej dostosowanej do źródeł OZE

Przypomnijmy fakty. Bój między Państwem Polskim, a niezłomnymi Zielonymi i Ekologami idzie o strategiczną dla energetyki zawodowej, pierwszą na świecie elektrownię węglową, wybudowaną w nowoczesnej technologii całkowicie elastycznej współpracy ze źródłami OZE. Tak innowacyjnej elektrowni nie ma jeszcze w Polsce, ani w Europie. W sensie rozwiązań technicznych jest ona lepsza niż bloki gazowo-parowe. Ale o tych faktach wie tylko wąska grupa specjalistów. Reszta kraju, za pomocą mediów, poznaje inne fakty. Brzmiały one nad wyraz przekonująco. To dlatego, że kłamstwa są równie logiczne jak prawda. Szczęśliwie, że energetycy są tą grupą społeczną, któ-

ra stąpa twardo i opiera się na rzeczywistości. Dla nas prawda to jest zgodność z rzeczywistością. Opieramy się bowiem na realizmie Arystotelesa, a nie na ideologii New Age [1].

Nasz artykuł dedykujemy pewnemu aspektowi rozwoju techniki związanemu z innowacyjnością budowy Ostrołęki C. Nazwaliśmy go w skrócie „momentum-FSI”. Rzecz w tym, że każde nowe rozwiązanie technologiczne - w tym przypadku supernadkrytyczny, w pełni elastyczny blok parowy o ekstremalnej mocy - pociąga za sobą nowy, nieznan dla nauki, obszar przyrody. Aby zafiksować sposób naszego rozumowania, skupimy się tylko na jednym przypadku, którym jest budowa konstrukcji chłodni kominowej, a z którą jest związana nowa dziedzina wiedzy zwana: „momentum-FSI”. Podajemy tu nazwę literaturową, nie spolszczoną, bowiem, nie istnieje - jak

dotychczas - nasz polski odpowiednik.

Momentum-FSI jest tą branżą wiedzy, u której podstaw leży strukturalne, wielopoziomowe patrzanie na rzeczywistość przyrodniczą, w którym nie izolujemy się wraz z naszą wiedzą w jednym najdrobniejszym elemencie konstrukcji, a patrzymy na jej działanie w sposób w miarę kompletny. „Momentum” jest miarą ilości ruchu, zaś FSI jest myślowym złożeniem konstrukcji w jeden pracujący obiekt, w którym oprócz ciała stałego występuje ciało płynne czynnika roboczego. Najczęściej jest to kontakt poprzez rozciągniętą powierzchnię, ale może to być kontakt poprzez powierzchnię geometrii ośrodka porowatego, czy nano-strukturę. Mówimy kolokwialnie, że płyn działa na konstrukcję, a konstrukcja - odwrotnie steruje ruchem płynu.

W naszym artykule skupimy się na

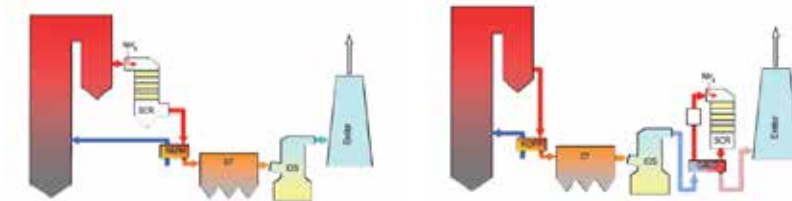
tych płynach (gazach), które płyną wewnątrz chłodni oraz na tych gazach, które opływają chłodnię z zewnątrz. Nie ukrywamy przed czytelnikiem, że chodzi tu o potężne wyzwania, o nowe strategiczne zadania statutowe, o budowanie narzędzi nowoczesnych i przyszłościowych. A w końcu, że chodzi tu o nadzieję, którą poprzedza nasz linearny czas.

■ Produkcja czystego powietrza i czystej wody

Oprócz bezpieczeństwa energetycznego, ważnego dla kraju i rejonu trójmorza, elektrownia Ostrołęka C ma zapewnić bezpieczeństwo dla środowiska. Dlatego od dłuższego czasu pytamy się: czy elektrownia Ostrołęka C będzie bezpieczna dla środowiska? Czy będzie całkowicie bezemisyjna? Pewien zewnętrzny objaw bezemisyjności elektrowni to brak kominów w jej widoku. Kiedyś budowano kominy na tyle wysokie, żeby „wypchnąć” brudne spaliny aż za granicę. Zgodnie z różą wiatrów tą zagranicą była Ukraina. Dzisiaj, spaliny są praktycznie równie czyste jak powietrze pobierane do kotłów, stąd nie ma powodu, abyśmy je wyrzucali daleko poza teren elektrowni. Co więcej, jest to tak czyste powietrze, że chcemy je zachować dla siebie. Wystarczy abyśmy je odprowadzili do chłodni kominowej. W przyszłości będziemy te spaliny doprowadzać systemem rur bezpośrednio do lasów z energetyczną biomasą.

Co więcej, jeśli zwiększoną ilość CO_2 (z ok. 0.0411 do około 1.95%), potraktować, jako naturalny pokarm dla okolicznych lasów, to patrząc na poziomy emisji pyłów, związków siarki, azotu i tlenku węgla, związku chloru, rtęci i węglowodorów aromatycznych, które co do wartości są mniejsze niż w centrum miasta, możemy śmiało powiedzieć, że elektrownia produkuje około 4.1 mln m^3 czystego, podgrzanego, powietrza na godzinę (ok. 11.400 ton na sekundę).

Dodatkową emisją, w ilości ok. 45 ton na godzinę, jest przedniej jakości para wodna. Jako mocny gaz cieplarniany,



Rys. 1. Dwie możliwe konfiguracje układów oczyszczania spalin. W pierwszej reaktor katalitycznego odazotowania spalin (SCR) znajduje się w gorącej części kotła, a w drugiej SCR znajduje się na końcu procesu oczyszczania i potrzebuje podniesienia temperatury spalin do 600°C. Układ oczyszczania składa się też z instalacji mokrego odsiarczania (IOS) oraz z instalacji elektrofiltrów (EF)

Wpływa ona na lokalne ocieplenie klimatu, korzystną wilgotność, a w dni słoneczne zbiera się nad elektrownią w postaci charakterystycznych chmur. Natomiast, emisje hałasu są pomijalne. Występują praktycznie w niektórych partiach kotła i są skutecznie izolowane.

W naszym kraju liderem w produkcji instalacji odsiarczania i odazotowania spalin jest RAFAKO. Inżynierowie i technolodzy RAFAKO proponują hybrydowe, wielostopniowe reaktory, które z bezpiecznym zapasem przekraczają wymagania BAT (ok. 20 mg/um^3 dla NO_x i 15 mg/um^3 dla SO_x , które są około 10 razy mniejsze niż poziom zanieczyszczeń w mieście). Trwają prace wdrożeniowe nad technologiami wychwyty rtęci i metali ciężkich. Można być pewnym, że z chwilą wejścia przepisów BAT w lipcu 2022 r. te wysrubowane poziomy zanieczyszczeń będą spełnione (około 1.2 $mg Hg/um^3$ [2]). Uwzględniając specyfikę spalnego węgla z kopalni Bogdanka, będziemy mogli powiedzieć, iż Ostrołęka C jest najczystsza elektrownią węglową na świecie.

■ Chłodnia kominowa wysokości 190 m

Po oczyszczeniu z zanieczyszczeń, całkowicie przyjazne środowisku i człowiekowi spaliny o temperaturze około 85°C odprowadzane są do wnętrza chłodni kominowej, gdzie łączą się z powietrzem chłodzącym wodę. Chłodnia kominowa w Ostrołęce C, budowana

przez firmę Dominion Deutschland, ma kształt hiperboloidy jednopowłokowej o wysokości 190 m i średnicy w talii około 87 m. Co do zasady działania jest to chłodnia atmosferyczna, przeznaczona do chłodzenia wody używanej w kondensatorze (skraplaczu) turbiny (strumień około 17.5 ton/s zimą do 28 ton/s latem). Czynnikiem chłodzącym jest powietrze atmosferyczne płynące w przeciwnym kierunku. Wzmocnienie chłodzenia następuje poprzez odparowanie części wody w wyniku różnicy między ciśnieniem nasycenia na powierzchni kropli i filmu wodnego na zraszaczach, a ciśnieniem pary wodnej w powietrzu. Na wskutek ogrzania powietrza w chłodni spalinami i zwiększonej zawartości pary wodnej, zwiększa się znacznie przepływ powietrza przez chłodnię, powodując lepsze wychłodzenie wody. Mówimy o zwiększonym ciągu naturalnym powietrza chłodzącego, który nie musi odbywać się kosztem dalszego podnoszenia wysokości chłodni. W przypadku Ostrołęka C wystarcza wysokość 190 m.

Projektowanie ciepło-przepływowe chłodni należy do najtrudniejszych. Trzeba zaprojektować wielkość zbiornika wody, wysokość zraszania oraz wielkość krążenia zwaną obciążeniem hydraulicznym (od 20 do 30 ton na sekundę). Głównym parametrem wynikowym jest obciążenie cieplne określające ilość energii cieplnej odebranej wodzie chłodzącej w jednostce czasu (winno być ok. 1000-1100 MW). Temperatura wody chłodzącej schłodzonej zmienia się od 20 do 35°C, tempe-

ratura wody chłodzącej podgrzanej jest średnio o 10-15°C wyższa. Temperatury te mierzy się termometrem wilgotnym.

Na zewnątrz chłodni mają miejsce przepływy powietrza atmosferycznego. W praktyce nic o nich pewnego nie wiemy. Normy budowlane na ten temat milczą [3]. Badania atmosfery i klimatu w Polsce ograniczają się de facto do badań średnic kropel w wysokich chmurach, nie dostarczając materiału ani do projektowania, ani do ekspertyz. Po raz kolejny wzywamy do utworzenia uczelni badawczej dedykowanej monitorowaniu zmian klimatu, prognozowaniu rozwoju energetyki, nowym bezemisyjnym technologiom.

■ Konstrukcja chłodni

Chłodnie zaliczane są do arcydzieł inżynierii ekstremalnej. W Polsce nie ma większych obiektów budowlanych. Zawsze były one i zawsze będą wyzwaniem dla inżynierów oraz projektantów i są dziełem sztuki konstruowania. Z uwagi na ogrom zjawisk, te żelbetowe kolosy zawsze wznoszono metodą prób i błędów. Mimo upływu czasu, nie mamy solidnej wiedzy o stanie i bezpieczeństwie tych konstrukcji. Zdobyliśmy jedynie kilka projektowych wzorów-wytrychów, opartych na uproszczonych modelach obliczeniowych pochodzących z lamusa mechaniki. Pierwotne wzory teorii bezmomentowej opracowane przez F. Nemety i C. Truesdella są tak idealistyczne, że nie pasują do żadnej rzeczywistości. Stąd pierwsze polskie konstrukcje, które powstały w latach 50. ub. w. nie mogły być bezpieczne. Dlatego cieszymy się, że co roku przybywa ilość wyburzanych obiektów, których eksploatacja dobiegła końca.

Jednak mówiąc o bezpieczeństwie, to historię budowy służących do chłodzenia wody w elektrowniach i elektrociepłowniach trzeba podzielić na dwa okresy: siemienne lata PRL oraz energetyczny boom inwestycyjny ostatnich lat. Najwięcej chłodni kominowych, o wysokości od 50 do 132 m, powsta-



Rys. 2. Wizualizacja chłodni kominowej planowanej w Elektrowni Ostrołęka C

to w latach 70. PRL-u, co było związane z rozwojem socjalistycznej energetyki i dopiero obecnie zastępowane są one obiektami nowymi związanymi z blokami nadkrytycznymi. Brak strategii państwa jest w tej dziedzinie widoczny jak kaktus na dłoni. Do największych, nowo wybudowanych chłodni zalicza się: 133 m chłodnię bloku 460 MW w Łagiszy, chłodnię 180 m bloku 858 MW w Bełchatowie, dwie 185 m chłodnie bloków 900 MW w Opolu. Te ostatnie cztery zostały wybudowane przez firmę Dominion Deutschland.

Być może dlatego, mając tak mocne referencje, Dominion Deutschland - spółka należąca do wywodzącej się z Hiszpanii grupy Dominion - została wybrana przez GE Power na wykonawcę 190 m chłodni kominowej w ramach budowy Elektrowni Ostrołęka C. Chłodziacz będzie miała 190 m wysokości oraz 123,5 m średnicy u podstawy. Prace na placu budowy ruszyły latem 2019 r. i będą ukończone w połowie 2022 r. (rys. 2).

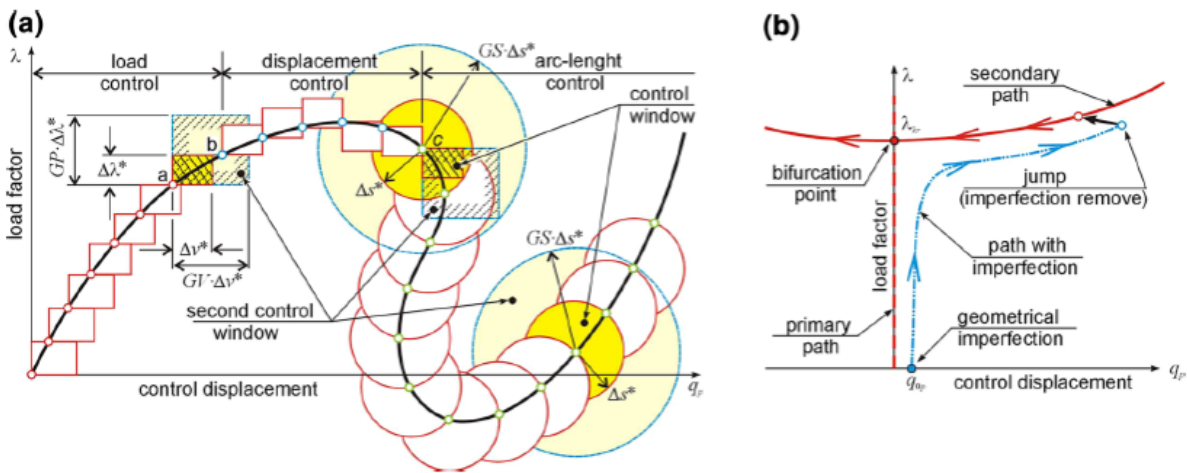
Jesteśmy więc świadkami budowy największego obiektu inżynierskiego naszego kraju. Szkoda, że nasz udział w tym historycznym wydarzeniu jest całkowicie pasywny.

■ Wyzwania nauki i technologii

Tę część artykułu kierujemy do tych energetyków, którzy są na tyle odważni,

iż, w kwestii nauki, przeciwstawiają się własnemu środowisku i bez pogardy patrzą na ludzi polskiej nauki. Obecna w krajowej energetyce pogarda dla nauki i jej tzw. osiągnięć, jest przeszkodą w przezwyciężeniu wyzwań technicznych. Większość decydentów woli święty spokój, który uzyskuje poprzez zakupienie przestarzałej, ale taniej technologii zachodniej. My dwaj, niżej podpisani, jako uczeni od lat służący społeczeństwu, z bólem stwierdzamy, iż nie istnieje w naszym kraju zamięszenie nauki z przemysłem.

Chłodziacz kominowy i jej narzędzia badawcze typu „momentum FSI” są przykładem wzorcowym naszych obaw i trosk. Oczywiście, osoby zatrudnione przez międzynarodowe koncerny potwierdzą, iż oprócz poziomu projektowego chłodni kominowej, gdzie projektuje się wstępnie płytę fundamentową, zbiornik wody, bezmomentowe wsparcia chłodni jej kotłowni dolny i górny, wykonuje się sprawdzające obliczenia CFD i CSD. Ze względu na dużą ilość danych i szczegółowość geometrii, mogło by się wydawać, że osiągamy większy poziom precyzji w wyznaczeniu miejsc krytycznych, miejsc najbardziej wyciężonych oraz określeniu współczynników bezpieczeństwa. Tak prawdopodobnie jest, co nie zwalnia nas od rzetelnej oceny naszych dokonań. Nie potrafimy uchwycić i zamodelować ponad 99% zjawisk, jakie się pojawiają. Potrafimy zaledwie postawić chłodziacz i cieszyć się, że nie przewraca



Rys. 3. Nowoczesne narzędzie badawcze, jakim jest procedura śledzenia i sterowania nieliniowymi zjawiskami typu punkty przeskoku lub rozwidlenia [4]

się ona pod wpływem promieni słońca, czy podmuchu trąby powietrznej.

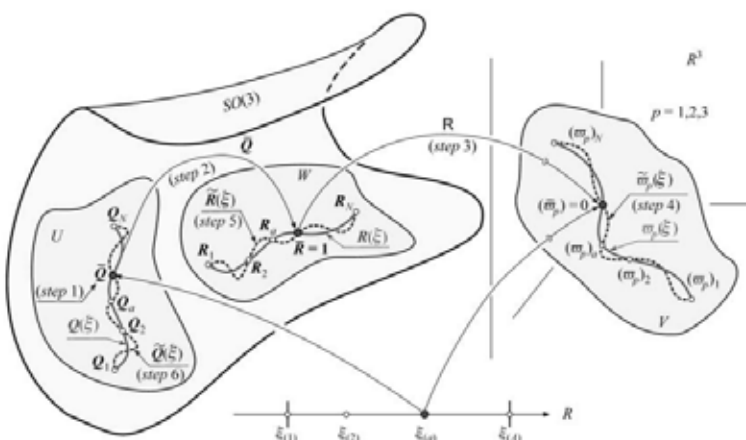
Przykładowo, nie jesteśmy w stanie opisać pierwszych godzin reakcji hydratacji betonu i kolejnych dni jego dojrzewania, gdy powstaje taka emergentna własność tego sztucznego kamienia jaką jest moduł Younga. Kolizja reakcji chemicznych, transportu ciepła, transportu wilgoci, sorpcji gazu, odparowania wewnętrznego i innych przemian fazowych w poszczególnych składnikach jest tak nieprzewidywalna, że zawodzą dotychczasowe modele FSI. Wraz z pojawieniem się wyężenia materiału i indukowanych naprężeń efektywnych pojawia się skurcz, wielko-

skalowe pęknięcie betonu i inne zjawiska nieliniowe. Wraz z nieliniowością pojawiają się niestabilności, niestateczności wewnętrzne i bifurkacje. Wtedy musimy sięgnąć po dedykowane rozwiązaniom nieliniowych równań procedury. Jedną z nich przedstawiamy na rysunku 3.

Chcemy tu powiedzieć, że narzędzia projektowe, są oparte na wiedzy z lat 50-60 ub. w. i mocno trącą myszka. Nie nadają się one do budowania narzędzi eksperckich, za pomocą których powinniśmy rozstrzygać o przebiegu zjawisk w całym okresie eksploatacji. Narzędzie, które nazywany „momentum FSI” ma potencjał, aby wykonywać zadania stawiane nam przez nowoczesne innowacyjne kon-

strukcje. Możemy go wypełniać własnymi domknięciami, własnymi modelami konstytutywnymi i strukturalnymi. Przykład pomysłu jak numerycznie sklejać płyty konstrukcji w oparciu o niekomutatywną algebrę grupy obrotów jest przedstawiany na rys 4. Dzięki takim pomysłom, nadążamy w rozwoju narzędzi badawczych z rozwojem nowoczesnych konstrukcji.

Z naszych wieloletnich doświadczeń ze współpracy z energetyką i gospodarką, wynika nowa koncepcja zażębenia nauki i praktyki. Jej podstawą jest spotkanie nauki i praktyki na nowych, ekstremalnie innowacyjnych i nierozpoznanych obiektach kreujących koła zamachowe naszej cywilizacji.



Rys. 4. Opis ruchu deformacyjnego powierzchni na bazie nieprzemiennej grupy obrotów SO (3) [4]

Literatura

[1] Janusz Badur, *Wieczysta Konwersja Energii*, wyd. IMP, Gdańsk, 2017.
 [2] Krzysztof Domagała, *Dostosowanie elektrowni do wymogów BAT*, XIV Konf. Elektrownie Ciepłe, Słok, 22-24 maja 2019.
 [3] Andrzej Flaga, *Inżynieria Wiatrowa*, Arkady, W-wa, 2015.
 [4] Jacek Chróścielewski, Rüdiger Schmidt, Victor A. Eremeyev, *Nonlinear finite element modelling of vibration control of plane rod-type structural members with integrated piezoelectric patches*, *Continuum Mech. Thermodyn.* (2019) 31:147-188.

foto. autora