

III Konferencja ZRE Katowice

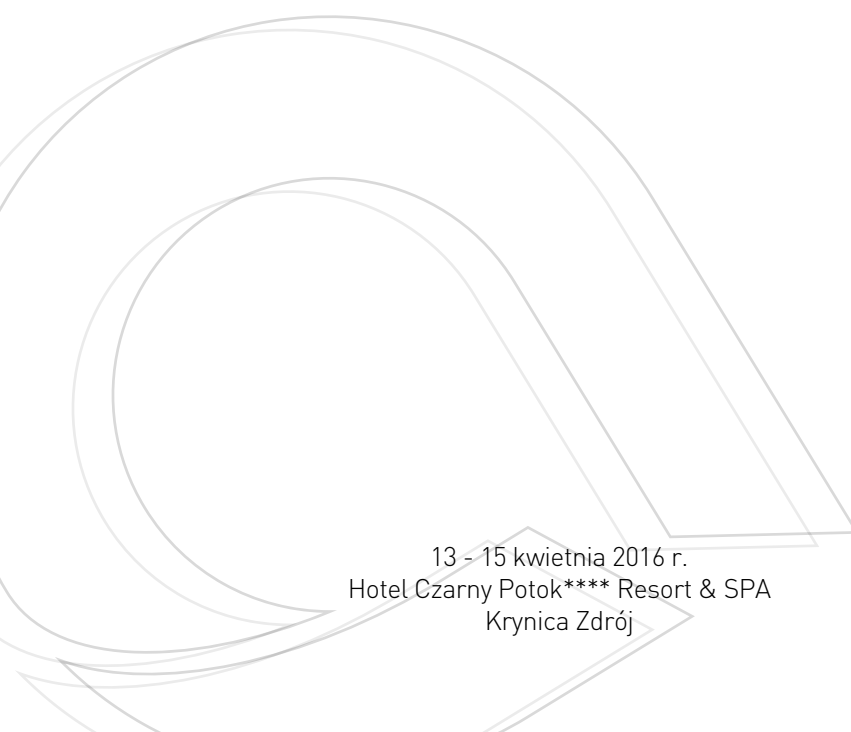
Polityka remontowa polskiej energetyki -
co dalej z remontami?

www.zre.com.pl



III Konferencja ZRE Katowice

Polityka remontowa polskiej energetyki -
co dalej z remontami?



13 - 15 kwietnia 2016 r.
Hotel Czarny Potok**** Resort & SPA
Krynica Zdrój

Sponsorzy III Konferencji ZRE Katowice

Sponsor strategiczny:



Sponsor główny:



Sponsorzy:



SPETECH



Wydawca:

ZRE Katowice S.A.

Korekta materiałów:

Barbara Głowoc
Joanna Piwowar-Ryba
Gabriela Suchomska
Piotr Gotębiowski

Skład / opracowanie graficzne / druk:

Agencja reklamy & drukarnia

Orko Group Marcin Łyczakowski

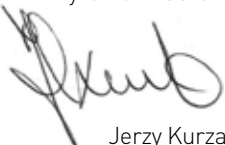
e-mail: orko@orko.pl / www.orko.pl / tel.: +48 693 161 943

Spis treści

„3...”	5
Projekty infrastrukturalne – realizacja i zagrożenia	39
Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki	56
Poprawa bezpieczeństwa eksploatacji turbin parowych 18K370 w aspekcie awarii węzła stopnia regulacyjnego części wysokoprężnych	73
Wpływ obciążeń od rurociągów na rozkład sił w łapach korpusu turbiny	103
Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych małych turbozespołów	115
Wykryte wady na zmodernizowanym wirniku NP turbiny typu 13K215	133
Montaż turbin - problemy, nowości i ciekawostki z budowy największego bloku energetycznego w Polsce - montaż turbozespołu bloku 11 dla Enea Wytwarzanie	141
Proces prefabrykacji rurociągów na podstawie modernizacji układu pary świeżej i wtórnie przegrzanej elektrowni Rybnik	158
Remont kapitalny kotła – planowanie i realizacja, problemy i wyzwania zamawiającego	171
Remont kapitalny kotła- planowanie i realizacja, problemy i wyzwania wykonawcy	178

„Dziękujemy Autorom referatów za wkład merytoryczny i pracę
nad przygotowaniem prezentacji.”

Prezes Zarządu
Dyrektor Naczelny

A stylized, handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jerzy Kurzak'.

Jerzy Kurzak



"3..."

Krzysztof Dembiński

ZRE Katowice SA

Wydział Projektowo-Technologiczny

„3” jak trzecia edycja Konferencji ZRE Katowice SA

„Polityka remontowa polskiej energetyki – co dalej z remontami?” to przewodni temat trzeciej edycji Konferencji ZRE Katowice SA odbywającej się w tym roku w Krynicy Zdrój. Krynica, jako gospodarz Forum Ekonomicznego, przyciągającego od wielu lat elity polityczne, gospodarcze i intelektualne nie tylko Europy, ale całego świata, tym razem przez trzy dni stanie się forum dyskusyjnym, na którym energetycy, remontowcy, przedstawiciele przemysłu i energetyki niemal każdego szczebla, wymienią poglądy i doświadczenia, a przede wszystkim spotkają się dla podtrzymania i wzmocnienia wzajemnego wsparcia oraz konsolidacji środowiska w okresie dużych zmian krajowej energetyki.

Zawirowania wokół producentów energii są w wyjątkowej fazie. Należy je traktować bardziej jako szansę niż zagrożenie dla rozwoju energetyki konwencjonalnej, traktowanej przez pewne środowiska jako *passé*, ale też będącej w odwrocie na własne życzenie, albo politycznie poprawnie ujmując, na życzenie polityków. Takie spotkania jak to w Krynicy są bardzo potrzebne, a ich duże zainteresowanie potwierdza tezę, że warto jednoczyć siły i wspólnie wypracować działania podtrzymujące, a nawet podnoszące, że energetyka konwencjonalna, mimo, iż będąca w spadkowym trendzie udziału w krajowym miksie energetycznym, jest istotnym udziałowcem, o którego warto dbać. Poprzez regularne remonty utrzymywać go na wysokim poziomie dyspozycyjności, a przy okazji poddawać instalacje modernizacji, których efekt w końcowym rozrachunku podnosi efektywność, niezawodność, a to przekłada się wprost na poprawę emisyjności odpadów do środowiska.

Efekty rozsądnej polityki remontowej, w połączeniu z modernizacją istniejącej infrastruktury, dostarczą argumentów, które odeprą zarzuty o przestarzałej infrastrukturze, o końcu życia projektowego instalacji, czy o ujemnym rachunku

zysków i strat w utrzymywaniu energetyki opartej na paliwach kopalnych.

„3” jak trzy żywioły

Wstęp rozważań, będzie próbą zmierzenia się z nadrzędną tezą, jaką wszystkie zainteresowane strony związane z energetyką powinny uznać – każda forma pozyskiwania i produkcji energii w naszym kraju jest obecnie niezbędna. W krajowej maszynie produkcyjnej, każda technologia, każde działanie poprawiające efektywność, zwiększające ilość wyprodukowanej energii do formy użytecznej, celem zagwarantowania bezpieczeństwa energetycznego, ma uzasadnienie [3].

Nie ma jednego panaceum na braki w produkcji. Każdą z dostępnych metod wytwarzania energii, charakteryzując problemy i wyzwania, które mają niestety swoją cenę, o czym nie należy zapominać. Za decyzjami inwestycyjnymi musi iść wielopłaszczyznowy kompromis. Czasami odnosi się wrażenie, że w pogoni za lepszym, zapomina się o najprostszych rozwiązaniach, a gonitwa zaczyna się przeradzać w pogoń za własnym ogonem.

Albert Einstein zastanawiając się kiedyś, przy którym ze znanych praw nauki jest największe prawdopodobieństwo, że zostanie obalone, rzekł: „Teoria robi tym większe wrażenie, im prostsze są jej założenia, im większej ilości rzeczy dotyczy oraz im szersze ma zastosowanie. Stąd wielkie wrażenie, jakie wywarła na mnie klasyczna termodynamika. To jedyna teoria fizyczna o uniwersalnej treści, co do której jestem przekonany, że w ramach swojej podstawowej koncepcji nigdy nie zostanie obalona”. Jak bardzo jest to aktualne w kontekście energetycznych zmian. Wraz z poszukiwaniem coraz to bardziej zaawansowanych technologii, wymyślnych form pozyskiwania energii, warto równolegle sięgnąć po rozwiązania, które mimo swej prostoty, są tak samo skuteczne i efektywne.

Cztery żywioły: Ziemia, Ogień, Woda i Wiatr. Powszechnie znane prawa fizyki i meteorologii pozwalają zredukować filozoficzne składniki świata do trzech. Wiatr jako ruch mas wywołany zmianą energii cieplnej na kinetyczną jest niczym innym, jak tylko następstwem nierównomiernego ogrzewania się powierzchni ziemi energią emitowaną z kierunku rozżarzonej, plazmowej gwiazdy centralnej, energią słoneczną, energią ognia. Można więc wyrugować, wiatr do słońca, a słońce do ognia - jako dopełnienie ziemi i wody.

Termodynamicznie, Ziemia funkcjonuje jako częściowo zamknięty układ, zależny od wszechświata, ale przede wszystkim zależny od Słońca, którego moc przy powierzchni Ziemi wynosi około $120 \times 10^{15} \text{ W}$. W relacji do systemu słonecznego jest układem półzamkniętym, tzn. przyjmuje energię pochodzącą od Słońca,

natomiast nie przyjmuje materii, z wyjątkiem okazjonalnych opadów meteorytów lub pyłu kosmicznego. Paliwa kopalne skrywane wewnątrz ziemi, jako materialnie ugruntowane formy energii, są dla zastosowań energochłonnych zasobem ograniczonym. Paliwa kopalne powstawały miliony lat temu, w wyniku anaerobowego rozkładu martwych organizmów. Na kolejne transformacje z istniejącej materii prawdopodobnie trzeba czekać kolejne miliony.[2]

Według organicznej teorii pochodzenia, ropa powstała z przeobrażenia szczątków roślin i zwierząt, które do swego rozwoju i wzrostu z pewnością potrzebowały energii słonecznej. Węgiel zarówno kamienny, jak i brunatny, jako skały osadowe pochodzenia roślinnego również dla stworzenia produktów, z których pochodzą, potrzebowały energii słonecznej. Słońce wywołuje na Ziemi fotosyntezę, która prowadzi do gromadzenia energii w biomasie, która jako masa węglowodorów, może być użyta na wiele sposobów jako źródło energii. W końcu energia fotowoltaiczna pozwala na bezpośrednią konwersję energii promieniowania światła na energię elektryczną.

Analiza pochodzenia form energii prowadzi do jednej konkluzji. Większość dostępnych form energii, jakie mamy do dyspozycji, są następstwem przetworzenia energii słonecznej. Tylko energia jądrowa, hydrologia i geotermia pochodząca z radioaktywnych rozpadów zachodzących w skorupie ziemskiej, wyłamują się spod tej konwencji.

Paliwa kopalne: węgiel, ropa gaz ziemny, uznawane są za elitarne surowce energetyczne, z powodu ograniczonego ich występowania i wybiórczej koncentracji. Można je znaleźć tylko w wybranych miejscach naszej planety. Zdobycie tych surowców wymagały najpierw znaczących inwestycji militarnych, a następnie nieustannych wysiłków geopolitycznych, w celu zapewnienia sobie nieprzerwanego dostępu do bogatych w złoża terenów [2].

Zamiarem Polski, na dzień dzisiejszy, jest dążenie do tzw. „zrównoważonego” profilu miksu energetycznego, tj. 15% energii jądrowej z niewielkim wzrostem udziału OZE w stosunku do stanu obecnego i bilansującą całość energetyką konwencjonalną. Jest to oczywiście jeden z trzech scenariuszy, jakie rząd rozpatruje, ale jak stwierdzono, najbardziej optymalny dla polskich realiów. Inną kwestią jest czy wystarczy czasu, aby ten mix wprowadzić i czy aby wraz ze zmianą rządzących, nie zmieniła się wizja na najbliższe lata.

Mix energetyczny naszego kraju musi, jak sama nazwa wskazuje, dążyć do profilu zrównoważonego. Zrównoważonego nie oznacza innowacyjnego. Zrównoważonego, czyli takiego, który uwzględniać będzie położenie i bogactwa geologiczne Polski, szerokość geograficzną, zamożność gospodarczą przekładającą się na możliwości inwestycyjne. Zrównoważonego, czyli rozsądnego. Odnosząc się do zarzutu fizyka Marcina Popkiewicza [2], że nasz kraj wlecze się w ogonie innowacji energetycznych, a władze hamują niezbędne

działania, wynikające w dużym stopniu z tego, że politycy forsują postulaty grup interesów powiązanych ze światem polityki - czy czasem w tej opinii nie dochodzi do wspomnianego skrótu, że innowacyjny to zrównoważony?

Polska energetyka powinna nadal opierać się na węglu, ze względu na dostępność tego surowca w kraju. Korzystanie z tego paliwa jest uzasadnione również względami społecznymi i gospodarczymi. Nowoczesna, niskoemisyjna energetyka konwencjonalna jest potrzebna dla Europy, gdyż może stanowić także dla innych krajów gwarancję bezpieczeństwa dostaw wobec dynamicznego rozwoju niestabilnych i trudnych w prognozowaniu źródeł odnawialnych.

Nie można sobie pozwolić na zaniechanie nowych inwestycji w energetyce konwencjonalnej, na zaniechania modernizacji istniejącej infrastruktury, w czasach, kiedy kierunek tych działań ma uzasadnienie jak nigdy dotąd, gdy produkcja energii elektrycznej z paliw kopalnych nie tylko uwzględnia ilość, ale przede wszystkim jakość przemian, wraz ze stopniem oddziaływania na środowisko. Niezrozumiałe stają się deklaracje komercyjnych instytucji finansowych o zaprzestaniu wsparcia w technologii spalania węgla. Zrozumiałą i akceptowalną jest trend do wzrostu udziału energetyki ze źródeł odnawialnych w energetyce krajowej. Zrozumiałą i akceptowalną jest globalna troska o losy planety i skalę emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Jednak nie ma zgody na nieprzemyślaną politykę energetyczną, nieuwzględniającą bogactw naturalnych regionu, położenia geograficznego i potencjału technologicznego rodzimego przemysłu. Uzależnienie Polski od węgla kamiennego jest jednym z największych w Europie.

Złe decyzje w tym kierunku spowodują spadek bezpieczeństwa energetycznego kraju i energetycznej niezależności, a pokrycie energetycznego zapotrzebowania będzie uzależnione od tego, kolokwializując, z której strony u sąsiadów wiatr zawieje, czy też od tego, czy nie jest pochmurnie.

Każda ze stron swego sporu ma mocne argumenty. W odwrocie są jednak ci, u których argument wpływu na środowisko jest osłabiony. Należy sobie zadać pytanie czy tego argumentu nie ma, czy tylko nie potrafią go wyeksponować? Technologie oparte o OZE, mimo swojej niestabilności i chimeryczności, mają swoje idealne zastosowanie w tzw. energetyce rozproszonej, opartej na systemie prosumenckiego użytkownika końcowego, i tylko nieliczne z nich nadają się do pracy jako tzw. źródło systemowe. Trudno się oprzeć wrażeniu, że nie chodzi tu o ekologię (choć jest to bardzo nośny argument), z którą walka społecznie jest prawie skazana na przegraną. Dalsze rozważanie podążać będzie w kierunku artykułu traktującego o wyższości świat Bożego Narodzenia nad Wielkanocą, bo do tego sprowadzała się czasami dyskusja między zwolennikami atomu, węgla i OZE. To już wykracza poza tematykę tego artykułu, każda z technologii ma swoje wady i zalety.

Trudność wykorzystania energii wiatru polega na tym, że pole prędkości wiatru nie jest jednolite, zmieniając się w czasie i przestrzeni. Szybkie zmiany prędkości wiatru powodują duże fluktuacje absorbowanej przez turbinę mocy, wywołując dodatkowe naprężania w konstrukcji samej turbiny. Zmienność wiatru oznacza, że dostawy energii wiatrowej nie można planować według potrzeb. Jeśli energia wiatrowa ma dostarczyć istotną ilość energii elektrycznej, to należy znaleźć sposób jej przechowywania. Jeszcze sporo w tej materii mamy do zrobienia.



Rys. 1. „Alternative Energy Revolution” - rys. Randall Munroe

Nie wszystkie modele produkcji z powodzeniem działające w innych krajach: Włoszech, Hiszpanii, Kanadzie czy Norwegii mają istotne znaczenie w realiach naszego kraju. Tak samo jak skazana na niepowodzenie jest przemysłowa uprawa szlachetnych szczepów winogron w naszym klimacie, podyktowana ilością i intensywnością promieni słonecznych docierających do naszego obszaru, jak utrzymanie plantacji pomarańczy pod Skierniewicami, czy dostęp do platform wiertniczych w obszarze naszej granicy państwowej, tak samo fotowoltaika jest egzotycznym uzupełnieniem naszej produkcji. Zgodnie z wcześniej postawioną tezą nadrzędną, zabraniającą negacji jakiegokolwiek formy produkcji energii, jak najbardziej należy popierać i ten rozwój, jednak z pewnymi zastrzeżeniami, co do jej znaczenia i miejsca w systemie. W pewnych konfiguracjach i okresach nie można jej odebrać palmy pierwszeństwa, ale w zastosowaniach bardziej lokalnych, prosumenckich i przy ściśle określonych warunkach.

Podnosząc z kolei kwestie krajowej energetyki atomowej, jako jednej z czystszych form, to większość chyba widzi fiasko tego przedsięwzięcia, które swoje korzenie ma już w latach 80-tych XX wieku. Obraz atomowej areny jest bardzo smutny. Mimo, iż energetyka atomowa byłaby idealnym stabilizatorem systemu energetycznego i jego źródłem wytwórczym przez wieki, to realia są

takie, że pozostaje tylko „gdybanie”. Tak więc, gdyby budowa elektrowni jądrowej w latach 80-tych doszła do skutku, byłibyśmy już mniej więcej w połowie żywotności tych bloków, bogatsi o wyszkolone kadry, doświadczenia i zaoszczędzone tony CO₂ do atmosfery. Z wielką wyrwą odżyła inicjatywa wskrzeszenia projektu atomowego w Polsce pod nazwą PGE EJ1, jednak i tu, bazując na doniesieniach prasowych, zaczynają się rozjeżdżać terminy. Wprawdzie resort gospodarki podtrzymuje dalej termin roku 2025 jako obowiązujący dla oddania inwestycji do eksploatacji, to słyszy się już o ewentualnych przesunięciach na rok 2027, na giełdzie dat pojawia się też rok 2029, a aktywiści Polskiego Greenpeace przekonują, iż dotarli do harmonogramu, w którym pojawia się rok 2031 jako przełomowy dla polskiej nieistniejącej energetyki jądrowej. Nawet jak już powstanie pierwszy blok, to kiedy powstanie drugi i kolejne? Ile będzie to kosztować budżet i czy damy radę? Trudno znaleźć isierkę nadziei, że inwestycja ta się powiedzie, że za 15 lat patrząc na wybudowaną i pracującą EJ1 powiemy sobie, że mamy to, o co nam chodziło, i to zaspokoi nasze ciągle rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną. Czy te kilka tysięcy MW czystej energii będzie odczuwalne w systemie energetycznym, i czy nie będzie tak, że naszą atomową dumę przestonią nam szpalery wiatraków? Czy stwierdzenie „nasza atomowa duma” nie jest jednak pejoratywne, bo technologia będzie z pewnością niepolska, znaczna część wykonawców inwestycji będzie niepolska, a już na pewno paliwo dostarczane będzie z importu. Czy to nas od czegoś uniezależni?. Prof. Jan Popczyk mówi wprost, że z różnych powodów nie ma miejsca dla współistnienia energetyki węglowej i jądrowej. [1]

Bez wątplenia zasoby energii odnawialnej są bezkresne. Jest tylko jeden problem. Słońce nie zawsze świeci, wiatr nie zawsze wieje, a czasem wieje nie wtedy, kiedy trzeba. Energia odnawialna zachowuje charakter okresowy w przeciwieństwie do paliw kopalnych, które choć stopniowo się wyczerpują i powodują zanieczyszczenia, są jednak źródłami stabilnymi i godnymi zaufania. Energia słońca i wiatru nie staną się jeszcze długo dominującą energią przyszłości. Bez rozwiązania problemu jej magazynowania trudno mówić o ich stabilnym charakterze. Wprawdzie pojawiają się próby ogarnięcia tego problemu, to nie znaleziono jeszcze racjonalnej technologii, która pozwoliłaby na dużą skalę przemysłową zaspokoić potrzeby. Gdy taką technologię uda się skutecznie zaimplikować w przemyśle, niczym Feniks z popiołów powstanie i domagać się będzie uznania wielkoskalowa energetyka konwencjonalna. Zniknie jej główna dotychczasowa niedogodność, tj. szeroki zakres zmian obciążenia, wymóg dużej elastyczności ruchowej, szybkie i jego gwałtowne przebiegi, tendencja do coraz głębszego nurkowania w minimum technologicznym, obniżenia żywotności poprzez wzrost startów i odstawień,

a wszystko podyktowane systemowym pierwszeństwem produkcji z OZE. W sytuacji doskonałej technologii magazynowania energii bloki konwencjonalne będą mogły również realizować przemiany w pobliżu swojego optymalnego punktu projektowego, z wszystkimi tego dobrodziejstwami, jak optymalne wskaźniki techniczno-ekonomiczne, które wprost przekładać się będą na sprawność, efektywność i redukcję ilości ubocznych produktów spalania (UPS).

„3” jak trzecie Millennium

Wchodząc w erę trzeciego tysiąclecia, przed 16 laty, mało kto chyba przewidywał, że zachodzące zmiany w każdej dziedzinie naszego życia nabiorą takich prędkości. Mówi się, że zmiany zachodzące na świecie postępują nie liniowo czy proporcjonalnie, nawet nie postępują w funkcji potęgowej [2] - pędzimy, przyspieszamy, rozwijamy się, a wraz z tym konsumujemy zgodnie ze wzrostem wykładniczym. Świat sprzed kilkudziesięciu, czy nawet kilkunastu lat wygląda zupełnie inaczej, niż teraźniejszy. Patrząc na samą sferę energetyki, inna jest podaż energii przy ciągle rosnącym popycie, zmieniają się priorytety, a osiągnięcie równowagi wydaje się niemożliwe. Zmiany wokół energetyki są zawrotne, mamy już coraz większy kłopot z prognozą na najbliższe kilka lat, czy w niektórych obszarach, z prognozą na najbliższy rok. Czy ogólnie pojęta energetyka oprze się naciskom zewsząd?

Szacując, w chwili obecnej, w każdej sekundzie ludzkość potrzebuje mocy około 15TW energii. Obecnie na świecie 80% energii uzyskujemy z paliw kopalnych, z czego z samej ropy 1/3, z węgla 1/4, z gazu 1/5. Pozostałe 20% to elektrownie jądrowe, hydroelektrownie, wiatr, słońce i odwierty geotermiczne. Z drugiej strony zasoby naturalne się kurczą, a z trzeciej jeszcze strony, spalanie paliw kopalnych, przede wszystkim węgla, w takich ilościach i z taką efektywnością jak do tej pory, destabilizują klimat. Mówi się, że w 2050 roku potrzebować będziemy o połowę więcej energii niż obecnie.

Zmienia się definicja naszych potrzeb. W domach zużywamy trzykrotnie więcej energii niż w latach 50-tych. Wpatrując się w przysłówiowych Amerykanów - gdybyśmy wszyscy żyli tak jak oni, ludzkość potrzebowałaby 5,4-krotności Ziemi, na której mieszkamy.

Wytworzenie energii kosztuje coraz więcej. Nie można mniej spalać w nieskończoność. Zmiana struktury wytwarzania energii, zwiększenie udziału odnawialnych źródeł jest nieuniknione i faktycznie powinno wzrosnąć.

Grupy powiązane z krajową energetyką, powinny tyle samo wysiłku włożyć w obronę i modernizację istniejącej infrastruktury energetyki konwencjonalnej, co w znajdowanie nowych technologii.

Zarzuty o „zabetonowanych układach lobbystycznych” energetyki konwencjonalnej, czyli węglowej, można „1 do 1” przerzucić na producentów wież wiatrowych czy ogniw fotowoltaicznych. Zapowiadana dekarbonizacja polskiej energetyki zaczyna odbywać się w sposób brutalny i nawet już się tego nie próbuje ukrywać.

Samo ograniczanie popytu na energię nie wystarcza. Jeśli podaż ma dotrzymać tempa rosnącemu popytowi, musimy znaleźć nowe źródła energii. Powinniśmy przyjrzeć się nowym formom energii odnawialnej. Czy można zwiększyć podaż bez pomocy paliw kopalnych? Elektrownie nuklearne dostarczają 9% światowej energii i można je zwiększyć do 15%, jednak to czyste źródło energii jest drogie i kontrowersyjne. Ujarmianie energii z fal zaspokoi 1/5 naszych potrzeb. Siłownie wodne dostarczyłyby 1/3 potrzebnej energii, gdyby postawić tamę na każdej rzece, niestety duże rzeki już zostały zagospodarowane. Odwierty geotermiczne mogą zaspokoić 150% naszych potrzeb. Wiatr jest jeszcze lepszy – wystarczyłby na 30-krotność populacji naszej ziemi. Energia słoneczna? Obecnie to promil w energetycznej podaży, a mogłaby zaspokoić potrzeby czterotysięcznej krotności ludzkości.

Fizyk Saul Griffith wyliczył, że do 2050 roku musimy wytwarzać o 70% więcej energii. Potrzeby mają być zaspokojone przez słońce, wiatr i elektrownie jądrowe.

Jednak, aby to wszystko osiągnąć, powinno się co sekundę budować 170m2 paneli słonecznych, jedną turbinę wiatrową co 3 min i jedną elektrownię jądrową co tydzień [11].

Paliwa kopalne będą nadal bardzo ważne. Powinniśmy polegać na ich kombinacji z odnawialnymi źródłami energii. W dobie deficytu energetycznego należy postępować zgodnie z powiedzeniem „Wszystkie ręce na pokład”.

Konkluzja tych futurystycznych wyliczeń jest jedna. Jeśli ujmijemy zagadnienie globalnie, jeśli chcemy ludzkości zapewnić dostatek energii elektrycznej, zapewnić jako taki poziom bezpieczeństwa energetycznego, jeśli nie chcemy mieć większych zaburzeń w dostawie energii do gospodarstw, nie można przy obecnym postępie technologicznym rezygnować z żadnej formy produkcji. Węgiel, atom, wiatr, słońce, hydrologia muszą istnieć równolegle. Należy budować elektrownie węglowe, gazowe, wietrzne, słoneczne, jądrowe, geotermiczne, wykorzystywać wszystko i dopiero wtedy jest szansa, że to zaspokoi rosnący popyt. Istnieje też możliwość, że pojawi się nowa technologia, która zrewolucjonizuje rynek, ale do zmian muszą przyłożyć się wszyscy, szukając wspólnych rozwiązań. Nie można zapominać też o tym, że ładnie brzmiąca „poprawa efektywności energetycznej” nie polega tylko na poprawie zużycia energii u odbiorców, ale na równi ta koncepcja musi i jest stosowana u dużych producentów. Wprawdzie

u tych pierwszych potencjał zmian jest ogromny to u drugich, czyli producentów zawodowych, też jeszcze da się kilka procent „wyrwać”.

„3” jak trzecia rewolucja przemysłowa

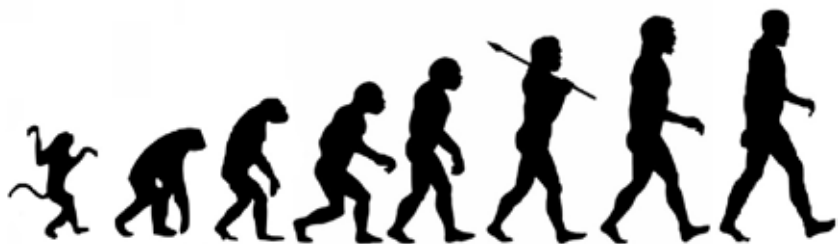
Pojęcie „trzeciej rewolucji przemysłowej” to termin propagowany przez amerykańskiego ekonomistę i politologa Jeremiego Rifkina [1]. Rewolucjoniści mają nadzieję, że do połowy tego wieku uda się wkroczyć w ekologiczną erę postwęglową, która zapobiegnie grożącej nam katastrofie klimatycznej. Rewolucja ta oparta jest o pięć głównych postulatów, których spełnienie jest możliwe tylko pod warunkiem funkcjonowania wzajemnych relacji między nimi:

- energetyka oparta głównie o odnawialne źródła energii,
- przekształcanie bazy budowlanej w mikroelektrownie,
- zastosowanie w każdym budynku technologii umożliwiających okresowe magazynowanie energii,
- wykorzystanie technologii internetowych do wymiany i pożytkowania nadwyżki energii,
- reorganizacja transportu na poczet pojazdów elektrycznych z możliwością kupna, a nawet sprzedaży energii elektrycznej z tych pojazdów do sieci.

Reżim energetyczny kształtuje samą naturę cywilizacji, jej zorganizowanie, dystrybucję towarów i żywności, wpływając na sposób sprawowanej władzy politycznej i występujących relacji społecznych. Środek ciężkości w kwestii kontroli nad produkcją energii zaczyna się przesuwac od dużych koncernów energetycznych, eksploatujących paliwa kopalne, w kierunku milionów drobnych producentów, generujących we własnych domach elektryczność ze źródeł odnawialnych i sprzedających nadwyżki na wspólnym rynku informatyczno-energetycznym. Rifkin prognozuje, że nowa epoka przyniesie ze sobą reorganizację stosunków energetycznych na każdym poziomie społeczeństwa. „Demokratyzacja energii” odbije się na zorganizowaniu życia. Rozpoczęła się era „rozproszonego kapitalizmu”.

Dyskusja na temat globalnych zmian gospodarczych i energetycznych jest bardzo ożywiona. Jeszcze ciekawiej się dzieje podczas licznych debat na temat przyszłości energetyki węglowej. Jesteśmy świadkami trzeciej rewolucji przemysłowej. Są głosy traktujące problem jeszcze dosadniej: jesteśmy w trakcie wojny węglowej. Rozsądnym stanowiskiem jest traktowanie problemu nie jak rewolucję, nie jak wojnę, ale jak naturalny proces ewolucyjny. Przez analogię do

świata przyrody, ewolucja jest procesem powolnym, zrównoważonym, poprzez rozciągłość w czasie pozwalającym dostosować się bezboleśnie do zmieniających się warunków, mimo wykładniczej prędkości rozwoju, ale przede wszystkim zmiany ewolucyjne pozwalają współistnieć (przynajmniej na jakiś czas) wszystkim formom danego „organizmu” stwarzając miejsce dla każdego. Późniejszą konsekwencją jest definitywne wypieranie jednych gatunków innymi, ale jest to wydłużony okres przejściowy. Cała sztuka polega na tym, aby dostosować się do zmieniających warunków, w tym przypadku, klimatycznych, gospodarczych politycznych i legislacyjnych. Jednak intensyfikacja działalności niektórych podmiotów, za wszelką cenę próbuje zachwiać zrównoważony proces „ewolucji energetycznej” i dąży do gwałtownych rewolucyjnych zmian. Nawet wyznawcy ewolucyjnej teorii Darwina (Rys.2), nie potwierdzają faktu, że człowiek z dnia na dzień spadł z drzewa, a w nocy odpadł mu ogon. Ten proces musiał trwać.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie jednej z teorii ewolucji [www.scientias.nl]

Z pewnością gwałtowne zmiany zachwiałyby ciągłość gatunkową, być może doprowadzając do zagłady i przerwania procesu rozwoju. I per analogiam do energetyki – gwałtowne zmiany w energetyce mogą doprowadzić do braku ciągłości w produkcji, żeby nie wymawiać tu głośno, obcojęzycznie brzmiącego zwrotu, najgorszego stanu dla energetyków zaczynającego się na literkę „b”. Zawieszając dalsze rozważania na później, pozostawiam czytelnika z doskonale pasującym cytatem Pierre’a Vergniaudem: „Rewolucja jak Saturn, pożera własne dzieci”. I żeby nie okazało się, że z powodu pochopnych decyzji cofniemy się do epoki przysłowiowego króla Ćwiczka.

„3” jak trzeci kwartał 2015 roku

W trzecim kwartale 2015, a dokładnie w sierpniu tegoż roku nastąpiło wydarzenie, którego wydźwięk będziemy jeszcze słyszeć przez kilka lat, o ile nie przebieje go bardziej gwałtowne i drastyczne zdarzenie. Ostatnie takie akcje działy się w latach 80-tych XX wieku.

Jak to najczęściej podczas katastrof bywa, na sytuację nałożyło się kilka niespodziewanych czynników. Z jednej strony długo utrzymywały się wysokie temperatury i wystąpiły ekstremalnie niskie poziomy wód w rzekach, głównie w dorzeczu Wisły. W związku z długo utrzymującą się falą upałów, nastąpiło gwałtowne podniesienie temperatury wód powierzchniowych, niezbędnych do chłodzenia niektórych bloków. Do tego nastąpiło wypadnięcie awaryjne ok. 3000MW w tym jednej dużej jednostki. To wszystko stworzyło wyjątkowy precedens. Czwartym czynnikiem destabilizującym sytuację w sieci było osiągnięcie rekordowych poziomów zapotrzebowania i poboru mocy wynikających z wzmożonego korzystania wszelkiego rodzaju klimatyzatorów, wentylatorów podczas rekordowych upałów. Po zebraniu się sztabu kryzysowego, krajowy operator systemu Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) sięgnął po narzędzie, które ma w takich sytuacjach do dyspozycji, czyli ograniczenia poboru mocy. 10 sierpnia w godzinach od 10:00 do 17:00 wprowadzono 20 najwyższy stopień zasilania ograniczający pobory dla odbiorców powyżej 300kW, co było oznaką wyczerpania się rezerw w elektrowniach. Wprawdzie PSE uspakajały, że są to standardowe działania stabilizujące i nie ma podstaw do obaw, to jednak odzwyczailiśmy się od takich sytuacji, mając dodatkowo świadomość, że kolejnych pięć stopni zasilania spowodowałoby kontrolowane rotacyjne wyłączenia energii.

Podniesienie z rezerwy kilku starych, o wątpliwej dyspozycyjności, bloków nie przyniosło poprawy i dopiero import energii ze Szwecji, z podsypką ze Słowacji i Czech pozwoliło na uspokojenie sytuacji. Warto w tym miejscu podkreślić, iż rekordowa cena za jedną MWh 10 sierpnia wynosiła średnio 393,36PLN/MWh przy dwugodzinym szczycie na poziomie 1450 i 1455,39PLN/MWh, przy przeciętnej cenie około 160-170PLN/MWh w innych okresach. Wolumen energii na giełdzie w dniu 10 sierpnia w najdroższym paśmie w godzinach 10:00-16:00, sprzedawany po cenie przekraczającej 750 zł/MWh i wyniósł 8,8 GWh. Szacuje się, że dodatkowe przychody firm energetycznych wyniosły w ciągu 6 godzin ponad 10 mln zł, tzw. windfall profits [10].

Czy w takich sytuacjach fotowoltaika byłaby jedynym ratunkiem? Na pewno nie. Nie byłibyśmy w stanie zaspokoić takiego wolumenu energii. Przestaniem tego artykułu jest wskazanie innego, wydaje się tańszego i bardziej stabilnego

sposobu zagwarantowania dodatkowych MW. Czy wystarczającego? Z pewnością też nie. Ale na tym polega zrównoważenie i dywersyfikacja produkcji, aby na dane zapotrzebowanie składało się kilka źródeł różnego pochodzenia.

Teoretycznie idealnym rozwiązaniem, sprzęgającym potrzebę i wyjątkowe możliwości utrzymania energetyki opartej na węglu, ze zwiększonym zapotrzebowaniem energii do napędu urządzeń klimatyzacyjnych i równocześnie z ograniczeniami wytwórczymi mocy elektrycznej, w systemie wynikającymi z sytuacji pogodowo-hydrologicznej, jest trójgeneracja.

„3” jak 3x20

Otoczenie prawne, polityczne i legislacyjne, co jakiś czas organizuje energetyce kierunki działań. Coraz trudniej jest się poruszać wśród serwowanych dokumentów i opracowań, coraz trudniej jest ogarnąć, czy wytuskać słuszną drogę rozwoju. Kiedy „dekarbonizatorzy” dostrzegą swoją zgubną strategię? Zaczynamy podejmować się wszelkich form produkcji energii, ale też podejmujemy się wszelkich starań, aby jak najmniej na tym ucierpiało środowisko, łącznie z deklaracją i, mam nadzieję idącym za tym, działaniem polegającym na bardziej intensywnym zalesianiu terenów. Pozostaje mieć nadzieję, że w krajowych nowopowstających dokumentach, znajdziemy argumenty, dla których zarzuty prof. Jana Popczyka stawiane w jego pytaniu „Dlaczego w sytuacji, która nie wymaga już politycznej wyobraźni, a tylko elementarnej wiedzy, Polska pozwala kolonizować swoją energetykę, przez globalne firmy „doradcze” (konsultingowe), nie tworzy natomiast własnych strategicznych kompetencji w tym obszarze?” będą bezpodstawne [12].

Z istotniejszych uregulowań to w 1996 wprowadzono Dyrektywę w sprawie Zintegrowanego Zapobiegania i Ograniczenia Zanieczyszczeń (IPPC). W 2004 przyjęto dokument „Polityka energetyczna Polski do 2025”, zawierająca pakiet działań mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego. W 2010 w życie weszła Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24.11.2010, zastępująca IPPC w sprawie emisji przemysłowych (IED), implementowana do polskiego systemu prawnego w drodze nowelizacji ustawy Prawo ochrony środowiska. Niemal w tym samym czasie Rada Europejska zatwierdziła i ogłosiła Komunikat „Europa 2020 - Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu”, proponując:

- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu z poziomami z 1990;
- zwiększenie do 20% udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii;
- dążenie do zwiększenia efektywności energetycznej o 20% (3x20%).

Opracowano projekt dokumentów referencyjnych BREF, w ramach których opracowuje się tzw. konkluzje BAT (najlepszych dostępnych technik) LCP BREF / BAT (dla dużych źródeł - moc w paliwie ≥ 50 MW). W 2014 Rada Europejska wydała pakiet na lata 2020-2030 przyjmując konkluzje ustanawiające ramy Pakietu na lata 2020-2030.

W 2015 wprowadzono Dyrektywę MCP, traktującą o ograniczeniach emisji ze średnich obiektów energetycznych (1-50 MW), obejmującą w sposób naturalny większość ciepłowni.

W 2014 NCBR wystosował zaproszenie do składania ofert na przygotowanie studium wykonalności programu sektorowego dla energetyki. Ujmuje on opis działań, prowadzących do rozwoju krajowego sektora elektroenergetycznego poprzez opracowanie nowych innowacyjnych proekologicznych technologii, produktów i usług w perspektywie do roku 2023. Dokument ten zakłada między innymi zwiększoną efektywność energetyczną sektora poprzez opracowanie nowych technologii, w obszarze kogeneracji i trigeneracji do wytwarzania ciepła i chłodu, w celu poprawy efektywności procesu produkcji energii elektrycznej.

Ważnym dokumentem jest również „Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko – perspektywa do 2020 roku”. Dokument ten jest jedną z dziewięciu tzw. dziedzinowych strategii zintegrowanych, które wprost wynikają z najważniejszego dokumentu strategicznego Polski – „Długookresowej Strategii Rozwoju Kraju. Polska 2030. Trzecia Fala Nowoczesności.” Jeszcze innym jest Polityka Energetyczna Polski (PEP), z horyzontem do roku 2030 i 2050, która bardziej jest deklaracją polityczną niż egzekwowalną strategią rozwoju.

Po incydencie z sierpnia 2015 roku, PSE SA jako Operator Systemu Przesyłowego (OSP), na podstawie (wynikającej z art. 11c Ustawy Prawo Energetyczne) analizy przyczyn i skutków powstałego zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej oraz efektywności podjętych działań, opracował wnioski i propozycje rozwiązań oraz określił środki mające na celu zapobiec w przyszłości wystąpieniu zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Godnym zauważenia są zalecenia utrzymania oraz rozwoju istniejących krajowych źródeł wytwórczych. Zarekomendowano ostatecznie opracowanie narodowego programu rozwoju nowych mocy do 2030 roku, który powinien dotyczyć zarówno źródeł o charakterze systemowym, dających podstawę bezpieczeństwa energetycznego, jak również źródeł rozproszonych, w tym odnawialnych, które są dopełnieniem bilansu mocy.

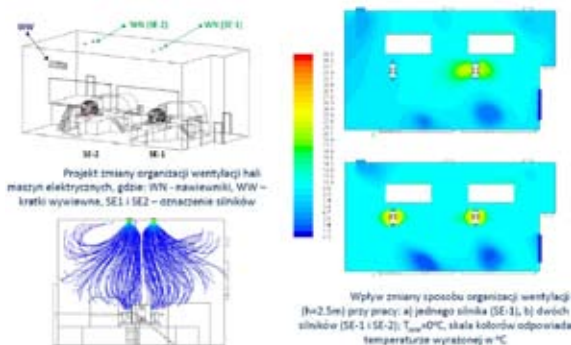
Ostatnim doniesieniem z 12 grudnia 2015 są ustalenia szczytu klimatycznego z Paryża (COP21). Blisko 200 krajów konwencji klimatycznej ONZ przyjęło globalne porozumienie na zasadach dobrowolności, które ma zatrzymać globalne ocieplenie na poziomie znacznie poniżej 2°C.

„3” jak trzy średnice

Fale upałów, jakie w okresie kanikuly przechodzą przez kraj, zmuszają nas do szukania miejsc chłodnych i klimatyzowanych. Obecne trendy w gospodarce przestrzennej dążą do centralizacji obiektów usługowych, handlowych, naukowych, rozrywkowych, użyteczności publicznej, w których w upalne dni oczekuje się wysokiego komfortu cieplnego.

O ile problemy zaopatrzenia w ciepło w takich obiektach są rozwiązane, o tyle technologie gwarantujące chłód latem są jeszcze do poprawy. W dni upalne, z niechęcią wraca się do nieklimatyzowanych mieszkań, szukając sposobów na chwilowe ostudzenie. Spotkać można nowatorskie pomysły, jak ogrzewany, a może nawet klimatyzowany przystanek komunikacji miejskiej w Rzeszowie.

Ciekawym zagadnieniem jest „komfort cieplny maszyn”, które to pojęcie próbuje wprowadzić prof. Zbigniew Plutecki. W ubiegłym roku, na jednej z konferencji poświęconej eksploatacji w energetyce, przedstawiał analizę wpływu mikroklimatu na czas życia maszyn energetycznych. Przecież nikogo nie dziwią klimatyzowane pomieszczenia serwerowni, czy pomieszczeń z innym sprzętem teleinformatycznym. Dlaczego nie poszukiwać optymalizacji mikroklimatu większych urządzeń, mającego wpływ na skuteczność i starzenie izolacji termicznej? Wnioski prof. Pluteckiego potwierdzają, że intensywny wpływ maszyn na zmianę warunków mikroklimatycznych pomieszczeń, w jakich pracują, powoduje spore zmiany w szybkości procesów starzenia, obserwując zmiany emisji WNZ nawet do 500% [21].



Rys. 3. Projektowanie komfortu cieplnego maszyn [21]

Podczas trwania II Konferencji ZRE zainicjowane zostało zagadnienie niskich temperatur w energetyce [8]. Ku zaskoczeniu, kwestie związane z różnymi postaciami lodu i osobliwymi postaciami kryształów zamrożonej wody, wzbudziły wśród zaproszonych gości zainteresowanie. Niskie temperatury i kryształy lodu od zawsze fascynowały. Już Johannes Kepler, niemiecki astronom, w roku 1611 w niewielkiej pracy naukowej pisanej językiem literackim zatytułowanym „Strenaseu de nive sexangula”, czyli „Noworoczny podarek albo o sześciokątnych płatkach śniegu”, opisał optymalne kształty wytworzone przez naturę na przykładzie sześcioramiennego płatka śniegu czy pojedynczej komórki w plastrze miodu. Układ heksagonalny, idealne wykorzystanie geometrii, sześć ramion, sześć boków. W jaki sposób natura tworzy ów idealny kształt? Czy jest sześciokątem od samego początku, czy powstaje z przecięcia trzech średnic? [9]

Coraz częściej się mówi, że elektrownie i elektrociepłownie zawodowe zmieniają swój profil działalności. Czy jest to wymóg przepisów czy zapotrzebowania rynku, czy też globalnych zmian i odejścia od technologii? Podmioty gospodarcze pod szyldem „ELEKROCIEPŁOWNIA” nie handlują już tylko energią elektryczną i ciepłem. Asortyment powiększa się o handel emisjami CO₂, a za chwilę dojdzie handel emisjami rtęcią, amoniakiem, fluorowodorem itd., czyli kwitnie handel zanieczyszczeniami. Obraca się na rynku certyfikatami, umorzeniami, świadectwami, gwarancjami pochodzenia itd. Towarem jest żużel, popiół. Co niektóre elektrownie należą do czołowych producentów gipsu. Polski przemysł energetyczny zaczyna wychodzić do odbiorcy z kolejnym produktem, niejako przeciwieństwem ciepła, chłodem, którego najtańszym i najmniej kłopotliwym nośnikiem jest wciąż woda, z uwagi na swoją niską temperaturę, zwana wodą lodową.

O wodzie i jej różnych formach można pisać w nieskończoność. Wnioski są niezmiennie – woda wciąż jest najtańszym i najlepszym pod względem fizycznym nośnikiem zimna.

W agregatach ziębniczych (chłodniczych), zwanych też wytwornicami wody lodowej czy chillerami, woda lodowa, o wymaganiach jakościowych porównywalnych do wody chłodzącej, osiąga najczęściej parametry na wlocie i wylocie do wytwornicy: 6/11 °C, 7/12 °C lub 10/15 °C, z uwagi na zakładany przyrost temperatury wody powracającej z obiegu rzędu T=5K.

Zagadnienia wprowadzenia nowych technologii w chłodnictwie, klimatyzacji i pompach ciepła obecnie nabierają szczególnego znaczenia. Pomimo tego, że techniki niskich temperatur dotyczą urządzeń technicznych o znacznie mniejszej skali niż obiegi energetyczne, to jednak obciążają one środowisko w stopniu porównywalnym. Dzieje się tak z dwóch powodów. Po pierwsze –

aktualnie pracuje wielka liczba urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych, przez co ich udział w obciążeniu środowiska naturalnego nie może być pominięty. Po drugie – stosowane dotąd czynniki posiadają potencjał tworzenia efektu cieplarnianego od kilku do nawet kilkudziesięciu tysięcy razy wyższy od dwutlenku węgla. Dodatkowo, obciążenie środowiska przez urządzenia chłodnicze i klimatyzacyjne wywołane jest również emisją dwutlenku węgla oraz innych zanieczyszczeń, powstających przy produkcji energii elektrycznej do napędu tychże urządzeń [19].

Chłód staje się obowiązkowym elementem wyposażenia budynków. Szczególnie obiekty energooszczędne, niskoenergetyczne i pasywne, ze względu na wysoką szczelność, wymagają zaawansowanych systemów kontroli klimatu wewnętrznego, w tym chłodzenia. Wzrost powierzchni klimatyzowanych widoczny jest w Polsce od początku lat 90-tych. Dziś wymóg klimatyzowania istnieje w praktycznie każdym obiekcie wielokubaturowym np. biurowym, handlowym czy użyteczności publicznej [15]. Kwestią otwartą jest wypracowanie kompromisu między resortem budownictwa a resortem energetyki w kontekście zasilania w energię (rozproszonego czy zcentralizowanego).

„3” jak trójgeneracja

Powyższy, wielowątkowy kontekst zachęca do rozwoju technologii, która przy ekspansji OZE, zasługuje na promocję jako kolejna deska ratunku dla energetyki konwencjonalnej.

Okazją do propagowania idei prostych rozwiązań jest konferencja poświęcona przyszłości energetyki, przyszłości remontów, sensu modernizacji, a taką z pewnością jest trzecia tegoroczna edycja Konferencji ZRE Katowice SA.

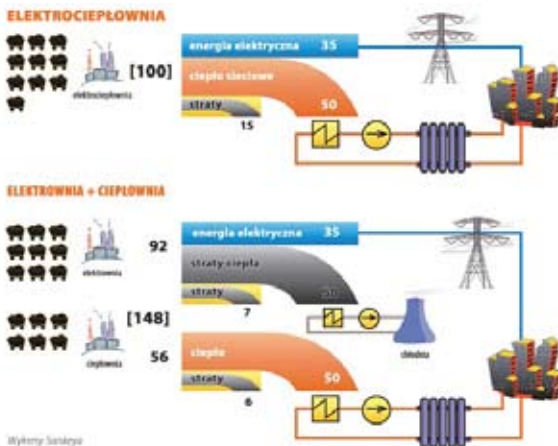
Głównym celem kojarzenia procesów cieplnych jest skrócenie łańcucha przemian termodynamicznych, czyli zmniejszenie strat egzergii, wywołanych nieodwracalnością przemian w poszczególnych ogniwach.

Trigeneracja (CHCP – Combined Heat, Cooling and Power) to nie tylko wytwarzanie energii elektrycznej oraz ciepłej. Dzięki dołączeniu do układów trójgeneracyjnych odpowiednio skonfigurowanych agregatów chłodniczych, możliwe jest również wytwarzanie chłodu. Technologie te są wykorzystywane do klimatyzacji (do 5°C) i głębokiego mrożenia (do -60°C). We właściwie zaprojektowanych układach wytwarzanie ciepła, energii elektrycznej i chłodu jest najbardziej efektywnym rozwiązaniem energetycznym dostępnym obecnie na świecie.

Skala, w jakiej rozwiną się układy skojarzonego wytwarzania ciepła i chłodu, jest trudna do określenia, gdyż ich rozwój jest ograniczony szeregiem uwarunkowań

techniczno- ekonomicznych. Jest oczywiste, że praca systemu ciepłowniczego w układzie trójgeneracji, związana jest z koniecznością dokonania pewnych modyfikacji parametrów nośnika ciepła (szczególnie w przypadku wodnych sieci ciepłowniczych), jak i warunków eksploatacji źródła. Modyfikacje te spowodują zmiany wartości wskaźników eksploatacyjnych systemu (współczynnika skojarzenia, strat przesyłania ciepła itd.). Należy jednak podkreślić, że mimo trudności eksploatacyjnych i barier ekonomicznych, w Europie i na świecie obserwuje się duży rozwój systemów trójgeneracyjnych, które, w przypadku ich zastosowania w aglomeracjach miejskich, nazywane są często „chłodzeniem centralnym” (District Cooling) [16].

Rozwój trójgeneracji jest kolejną, po gospodarce skojarzonej (kogeneracji), fazą rozwoju techniki wpisującej się w program poprawy efektywności energetycznej. Kogeneracja (CHP – Combined Heat and Power), jako proces wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w jednej instalacji, już od wielu lat uznana jest za jedno z efektywniejszych sposobów oszczędzania energii pierwotnej w paliwie, a tym samym redukcji CO₂, sięgającą kilkudziesięciu procent. Proces wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu jest procesem wysokosprawnym. Zgodnie z Dyrektywą 2004/8/WE, kogeneracja o wysokiej sprawności to taka, która przynosi powyżej 10% oszczędności energii, w porównaniu z produkcją rozdzieloną. Sprawność przemiany energii chemicznej paliwa w energię użyteczną jest na poziomie 85%, co przekłada się na wspomniane oszczędności paliwa pierwotnego do 48% (rys.4), a przy obecnych realiach gospodarczych, jako część rynku regulowanego, jest produkcją stosunkowo bezpieczną.

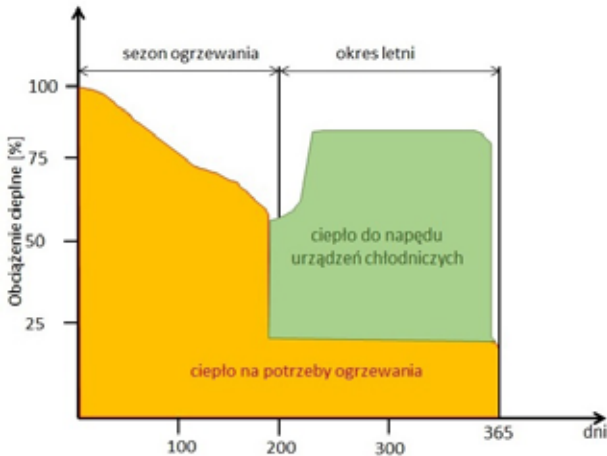


Rys. 4.
Wykres Sankeya produkcji rozdzielonej i skojarzonej [7]

W większości instalacjach ziębniczych stosuje się najprostszą, lecz nie najtańszą, formę obniżania temperatury powietrza poprzez zastosowanie sprężarek napędzanych silnikami elektrycznymi, które z uwagi na swoją specyfikę, są urządzeniami drogimi w eksploatacji, o niskiej sprawności przemiany energii cieplnej w elektryczną [jako źródła energii elektrycznej], wymagającymi stałej i wykwalifikowanej obsługi oraz dużego zużycia materiałów eksploatacyjnych. Stopień ich wykorzystania w Polskich warunkach klimatycznych jest stosunkowo niewielki i wynosi zaledwie 2000-3000 godzin w roku.

W okresie zimowym i okresach przejściowych potrzebne jest ciepło do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), a w okresie letnim ciepło do podgrzewania c.w.u. Czas trwania poboru ciepła na potrzeby ogrzewania, w warunkach klimatycznych Polski, wynosi około 4000-4500 godzin na rok, przy czym należy zaznaczyć, że czas wykorzystania maksymalnej mocy źródeł ciepła wynosi 2000-2100 godzin na rok. Przy uwzględnieniu zapotrzebowania na c.w.u., maksymalna wydajność mocy ciepłowniczej kształtuje się na poziomie 3500-3800 godzin na rok.

Jednym z efektywnych sposobów wyrównania obciążeń źródeł ciepła i zwiększenia wykorzystania zdolności przesyłowych sieci jest ich wykorzystanie do zasilania urządzeń chłodniczych, przeznaczonych do przygotowania wody lodowej na potrzeby klimatyzacji. Efekt dodatkowego obciążenia źródła ciepła w okresie letnim na potrzeby chłodzenia przedstawiono na Rys.5.



Rys. 5.
Typowy uporządkowany
wykres obciążeń cieplnych

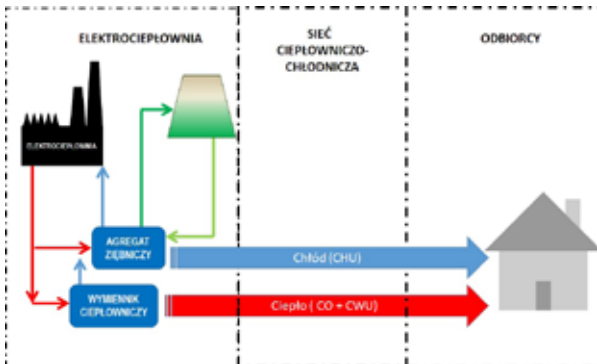
Z uwagi na tryb przesyłu energii, systemy kogeneracji/trigeneracji można podzielić na dwie grupy. Pierwsza to scentralizowany system zaopatrzenia w ciepło na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody. Przy tym rozwiązaniu, istnieje możliwość wykorzystania sezonowości występowania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania oraz chłód do klimatyzacji i wykorzystania systemu w okresie letnim do pokrycia potrzeb chłodniczych klimatyzacji. Jest to system podwójnego skojarzenia, polegający na skojarzonym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła/chłodu. W wariancie tym, ma się do czynienia z zasilaniem np. wariaków chłodziarek absorpcyjnych o dużej mocy. Nośnikiem ciepła grzejnego, może być niskoprężna para upustowa, para wylotowa z turbiny lub woda grzejna podgrzana do odpowiedniej temperatury, niekoniecznie tożsamej z temperaturą wody sieciowej. Podstawowe zalety produkcji chłodu (wody lodowej) w systemie zcentralizowanym, to:

- możliwość obniżenia nakładów inwestycyjnych na agregaty absorpcyjne i uzyskania wysokich wartości współczynnika wydajności chłodniczej COP, niewielkie (praktycznie pomijalne) straty przesyłu ciepła grzejnego,
- dostęp do czynnika o odpowiednio niskiej temperaturze (np. wody ruchowej w elektrociepłowni) do chłodzenia absorbera i skraplacza,
- możliwość zapewnienia fachowej eksploatacji instalacji przez wykwalifikowaną obsługę.

Natomiast wady:

- rozbiór dużych wydatków wody lodowej (sieci rozdzielczej),
- konieczność budowy kosztownej, odrębnej sieci do przesyłu nośnika chłodu i zużycie energii na jego pompowanie.

Znany jest pogląd, oparty na przesłankach natury ekonomicznej, że zcentralizowany system trójgeneracyjny wymaga dużej gęstości zapotrzebowania na chłód.

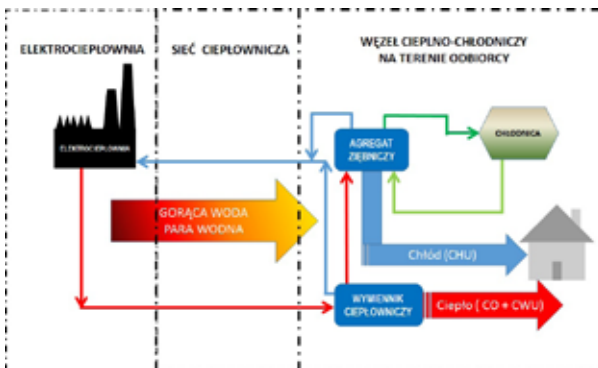


Rys. 6.
Węzeł ciepłno-chłodniczy
zlokalizowany u producenta
chłodu

Druga grupa to kogeneracja rozproszona BCHP (Buildings: Cooling, Heating and Power), która charakteryzuje się największą dynamiką rozwoju, umożliwiając wykorzystanie, w różnych konfiguracjach, zasilania. W przypadku tych systemów można mieć do czynienia z dwoma rozwiązaniami:

- wytwarzaniem ciepła sieciowego i energii elektrycznej w elektrociepłowni, produkcja wody lodowej w absorpcyjnych centralach chłodu (AAC) usytuowanych w odrębnych budynkach poza terenem elektrociepłowni, ale w miarę blisko odbiorców,
- wytwarzaniem ciepła sieciowego i energii elektrycznej w elektrociepłowni oraz produkcja wody lodowej bezpośrednio u odbiorcy chłodu, tj. w indywidualnej centrali chłodniczej.

Niezależnie od wariantu, agregaty chłodnicze zasilane są najczęściej wodą sieciową z rurociągów ciepłowniczych.



Rys. 7.
Węzeł cieplno-chłodniczy
zlokalizowany bezpośrednio
u odbiorcy chłodu

W celu stworzenia możliwości wykorzystania sieci ciepłowniczej do zasilania urządzeń chłodniczych należy często zmieniać parametry wody sieciowej w okresie letnim. W szczególności, aby zapewnić efektywną pracę układów absorpcyjnych, należy podwyższyć temperaturę wody sieciowej wypływającej ze źródeł ciepła. Takie działania nie dość, że powodują wyprowadzenie energii ze źródła w postaci ciepła, to jeszcze odbija się to na obniżonej produkcji energii elektrycznej w skojarzeniu. Manipulowanie temperaturami wlot/wylot ze źródła istotnie odbija się na mocy elektrycznej wytworzonej w skojarzeniu, zwiększeniu strat ciepła – szczególnie przy podwyższonej temperaturze powrotu. W dużych systemach ciepłowniczych, jest to kryterium mające duży wpływ na celowość dostarczania wody sieciowej o podwyższonej temperaturze (w okresie lata) do potencjalnych odbiorców zimna.

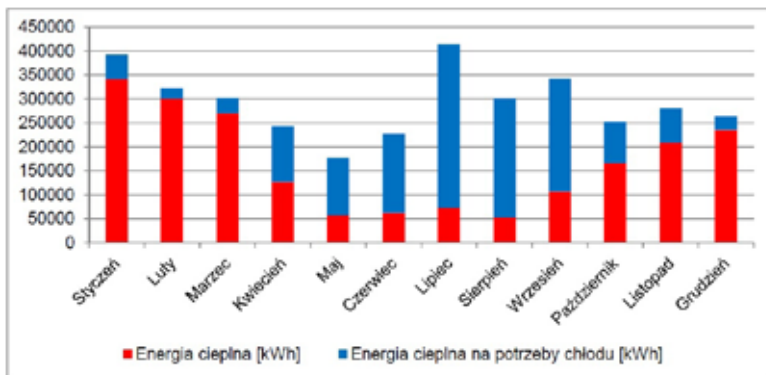
Uwzględniając zużycie energii pierwotnej do wytworzenia ciepła oraz wartość współczynnika wydajności chłodniczej (COP – Coefficient of Performance), przy poprawnie przeprowadzonej analizie, można zapewnić racjonalne wykorzystanie energii pierwotnej do produkcji zimna, niezależnie od temperatury ciepła sieciowego.

Atrakcyjnym w warunkach Polski pod względem technicznym i ekonomicznym jest zasilanie absorpcyjnych wytwornic wody lodowej zainstalowanych bezpośrednio u odbiorcy zimna, za pomocą istniejących sieci ciepłowniczych. Rozwiązanie to eliminuje konieczność budowy kosztownych sieci rozdzielczych wody lodowej o bardzo dużych średnicach, co wynika z małych spadków temperatury nośnika zimna i związanych z tym dużych przepływów czynnika. Jednak dotychczasowe parametry wody sieciowej w okresie letnim, w tradycyjnie eksploatowanych systemach ciepłowniczych, nie spełniają wymagań technologicznych, zapewniających optymalną eksploatację absorpcyjnych wytwornic wody lodowej. Dotyczy to zarówno temperatury wody sieciowej na zasileniu, jak i dobowych zmian strumienia masy wody sieciowej w okresie letnim, a także w okresach przejściowych.

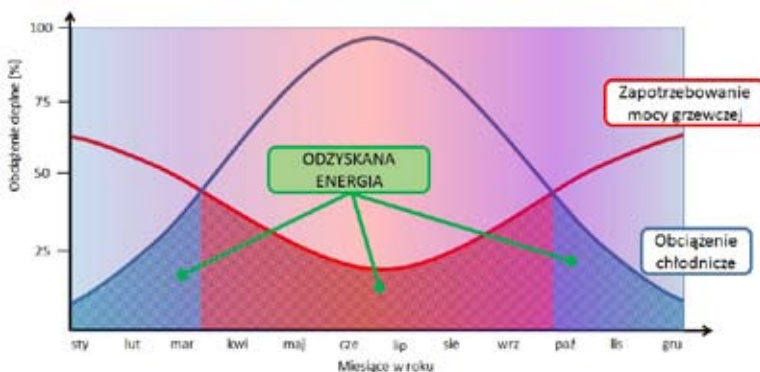
W przypadku zasilania absorpcyjnych urządzeń chłodniczych, podwyższenie temperatury wody sieciowej jest niezbędne, co jak już wspomniano, stanowi pewną barierę w rozpowszechnieniu skojarzonej gospodarki ciepłno-chłodniczej w miejskich systemach ciepłowniczych. Obecnie, w tradycyjnie eksploatowanych systemach ciepłowniczych, w okresie letnim nie są zapewnione parametry wody sieciowej wynikające z technologicznych potrzeb absorpcyjnych wytwornic wody lodowej (temperatura 70-75°C wynika z ograniczeń w podgrzewie c.w.u.). Podwyższenie temperatury wody powoduje zmniejszenie strumienia masy przepływającej wody. Dlatego, ze względu na stateczność hydrauliczną sieci, korzystne jest niezbyt duże podwyższenie temperatury wody sieciowej. W miarę wzrostu obciążenia systemu ciepłem dostarczanym na potrzeby chłodu, strumień wody ulega zwiększeniu, ze względu na stosunkowo niewielkie schłodzenie wody w wariakach chłodziarek absorpcyjnych [16].

Techniczne i ekonomiczne skutki podwyższenia temperatury wody sieciowej w systemach ciepłowniczych były przedmiotem wielu badań zarówno teoretycznych, jak i praktycznych. Na podstawie wyników tych badań stwierdzono, że nie ma szczególnych, technicznych ograniczeń w odniesieniu do stosowania trójgeneracji w polskich systemach ciepłowniczych.

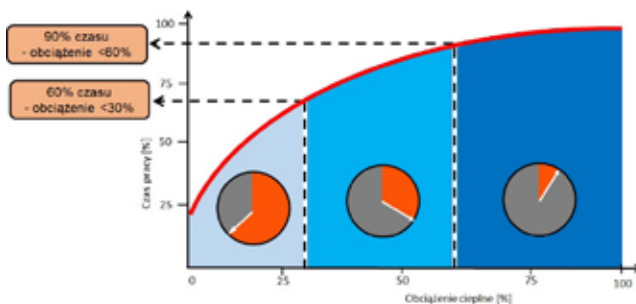
Zbyt wąski zakres prac modernizacyjnych sieci ciepłowniczej, może być przyczyną dużych strat ciepła i powiązanych z tym strat finansowych, szczególnie przy małym udziale mocy chłodniczej wytwarzanej za pomocą ciepła sieciowego.



Rys. 8. Przykładowe zapotrzebowanie ciepła na potrzeby CO CWU ICHU dla budynku biurowego [15]



Rys. 9. Przykładowy wykres zapotrzebowania na moc chłodniczą (kolor niebieski) i grzewczą (kolor czerwony) w ujęciu sezonowym [22]



Rys. 10. Wykres obrazujący czas trwania i występowania danego obciążenia cieplnego budynku (odzworuje on potrzebę dospawiania mocy chłodniczej źródła chłodu do potrzeb budynku) [22]

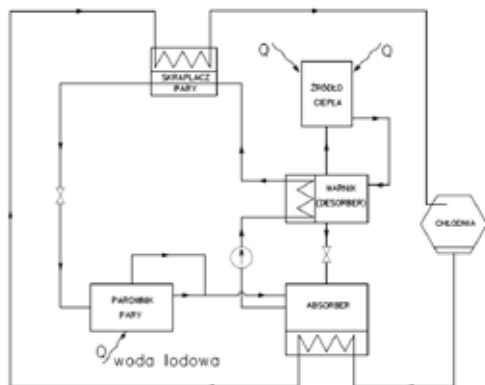
„3” jak trzy technologie

Typowy agregat wody lodowej zbudowany jest z klasycznego sprężarkowego (SAC) układu chłodniczego, cechującego się wysokim współczynnikiem COP oraz dodatkowo obiegu wody chłodzonej w parowniku. Realia i profil produkcji energii elektrycznej w naszym kraju jest powodem, dla którego nie będzie tu brany klasyczny układ lewobieżny, wykorzystujący sprężarkę napędzaną energią elektryczną. To rozwiązanie wymaga dostarczenia i zużycia znaczącej ilości energii elektrycznej, do czego potrzebna jest odpowiednia infrastruktura elektroenergetyczna, której dostępność w momencie występowania szczytów zapotrzebowania, z uwagi na specyfikę źródeł wytwarzania, jest ograniczona. Istotą poprawy efektywności energii elektrycznej na tym polu jest oszczędność energii elektrycznej, przy równoczesnej produkcji chłodu wykorzystywanego w urządzeniach klimatycznych z dodatkowym bonusem w postaci możliwości zwiększenia energii elektrycznej, poprzez wzrost zapotrzebowania na parę upustową lub zasilającą w turbinie parowej (bloki wyposażone w turbiny upustowo-przeciwprężne, upustowo-ciepłownicze), a tym samym wzrost przepływu pary, który umożliwia wzrost produkcji energii elektrycznej.

Alternatywnymi metodami produkcji chłodu, poprawiającymi efektywność cieplną bloku, są dwa systemy chłodnicze w grupie technologii sorpcyjnych oraz techniki strumienicowe.

Istotą działania systemów sorpcyjnych jest wykorzystanie, do uzyskania wydajności chłodniczej, zjawiska sorpcyjnego polegającego na odsysaniu pary z parownika chłodniczego w procesie absorpcyjnym, jeśli czynnikiem pochłaniającym jest faza ciekła, lub adsorpcyjnym, jeśli czynnikiem pochłaniającym jest faza stała. W odróżnieniu od metody sprężarkowej układy te potrzebują źródła ciepła, ciepła niskotemperaturowego poniżej 200°C, którym może być energia odpadowa, sieć ciepłownicza, obiegi niskotemperaturowe jak obieg Rankine’a pracujący z czynnikiem organicznym (ORC). W przypadku zastosowań technik sorpcyjnych węzeł cieplny dostarczający ciepło sieciowe staje się głównym źródłem energii budynku – centralnego ogrzewania (CO) oraz ciepłej wody użytkowej (CWU) zimą i CWU i chłodu użytkowego (CHU) latem - Rys. 8,9,10. Sorpcyjne agregaty chłodnicze posiadają także szereg zalet eksploatacyjnych, takich jak: możliwość wykorzystania ciepła o dostępnych w okresie letnim parametrach, dużą trwałość wynikającą z konstrukcji, niski poziom hałasu i wibracji oraz zastosowanie wody jako czynnika chłodniczego. Wspólną cechą wszystkich systemów sorpcyjnych jest silna zależność efektywności energetycznej (COP) od temperatur nasycenia w skraplaczu, parowniku absorberze i desorberze. Temperatury absorpcji

oraz desorpcji wpływają bezpośrednio na stopień odgazowania, czyli różnice stężeń roztworu na wylocie z absorbera oraz desorbera. Zależności te uzależnione są od zastosowanego czynnika roboczego (chłodniczego) oraz absorbentu, gdyż, przy pewnej różnicy temperatury desorpcji i absorpcji, stopień odgazowania zbliża się do zera, uniemożliwiając przeprowadzenie procesu.



Rys. 11.
Schemat ideowy
absorpcyjnego urządzenia
chłodniczego

Wśród systemów sorpcyjnych znaczne wydajności chłodnicze osiągają jedynie systemy absorpcyjne. Biorąc pod uwagę temperatury odpowiadające warunkom klimatyzacji, pod względem komfortu cieplnego lub użyteczności technologicznej, mogą być stosowane układy absorpcyjne bromolitowe z wodą jako czynnikiem chłodniczym oraz bromkiem litu jako absorbentem. Rozwiązania konstrukcyjne aparatów stanowiących elementy składowe agregatu są zdeterminowane warunkami pracy oraz właściwościami czynnika chłodniczego jakim jest woda. W typowym urządzeniu temperatura skraplania pary wodnej wynosi ok. $+45^{\circ}\text{C}$ a temperatura parowania nieco poniżej $+4^{\circ}\text{C}$. Ciśnienie bezwzględne w parowniku wynosi wówczas 0,8 kPa przy ciśnieniu w skraplaczu ok. 9 kPa. Różnica ciśnienia między skraplaczem a parownikiem wynosi zaledwie 8 kPa. Taka sama różnica panuje również między wężownikiem a absorberem. W dużych jednostkach chłodniczych tak mała różnica ciśnienia nie stanowi wystarczającej siły napędowej przepływu znacznej ilości roztworu, przez co musi być wspomagane dodatkową pompą.

Należy też zauważyć, że specyfika wody jako czynnika chłodniczego powoduje, że ciśnieniom w opisywanym agregacie bromolitowym odpowiadają bardzo duże objętości właściwe pary. Na przykład w parowniku o temp 4°C z 1 litra wody powstaje 140 000 litrów pary, a w skraplaczu z prawie 17 000 litrów pary powstaje zaledwie litr kropli. Rozwiązaniem jest podział na sekcje: wężownik-

skraplacz i parownik-absorber. W przypadku wahań temperatury nośnika ciepła, stabilna i efektywna praca agregatów bromolitowych jest zagrożona. Występuje niebezpieczeństwo wykrystalizowania się bromku litu, co jest najczęstszą przyczyną ich awarii. Agregat wyposaża się w system ciągłej kontroli stężenia bromku litu. W przypadku przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości stężenia absorbentu, układ sterujący ogranicza moc, utrzymując pracę zawsze w granicach dopuszczalnych stężenia roztworu.

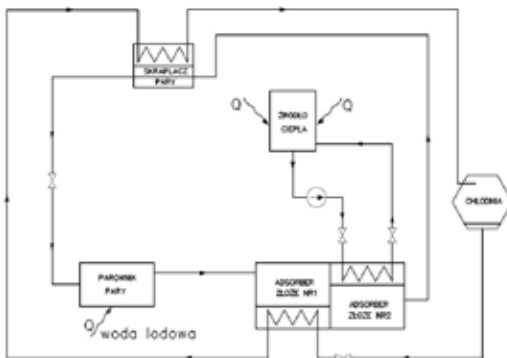
Pierwotnie dużą wadą w stosowaniu chłodziarek absorpcyjnych jest niewystarczająca przepustowość systemów ciepłowniczych. Większość istniejących systemów ciepłowniczych jako warunki obliczeniowe przyjmuje okres zimowy na parametry wody 150/70°C czy 120-125/55-60°C. Natomiast spadki temperatury nośnika ciepła (wody sieciowej) w wariach tradycyjnych, absorpcyjnych wytwornic wody lodowej na ogół nie przekraczały 5 do 10 K, co wymuszało znaczne przepływy wody przez te wymienniki. Zlikwidowano to, wprowadzając nowe rozwiązania technologii budowy i stosując dwustopniowe odgazowanie roztworu roboczego. Rozwiązanie umożliwiło większe schłodzenie nośnika ciepła, a tym samym zmniejszenie strumienia jej masy, co niestety zmniejsza efektywność energetyczną urządzenia.

Problem powstaje w sezonie letnim. Jest mało prawdopodobne, aby potencjalne projekty oparte o urządzenia absorpcyjne, nawet najnowszej generacji, mogły spełnić wymóg minimum opłacalności, przy próbach zastosowania gorącej wody sieciowej jako medium napędowego, bez zmiany jej parametrów. W okresie letnim charakteryzuje się ona temperaturą rzędu 66-72°C na wyjściu z elektrociepłowni, a w praktyce o około 8°C niższa na wejściu do odbiorcy. Krajowe sieci ciepłownicze nie stwarzają bowiem możliwości przejścia na parametry 90/55°C typowych np. dla krajów skandynawskich. Należy pamiętać, że systemy ciepłownicze, budowane w latach 1960-1980, były projektowane dla parametrów 150/90°C. Dopiero w drugiej połowie lat osiemdziesiątych parametry te zaczęto sukcesywnie obniżać do 125/65°C. Prowadzone eksperymenty podwyższania parametrów wyjściowych wody sieciowej w okresie letnim do wartości zbliżonych do „skandynawskich” wykazały wzrost strat ciepła w systemie z 17 do 37% [15,16], co stawia pod znakiem zapytania sens takiego rozwiązania [20]. Dlatego też, na szczególną uwagę zasługują adsorpcyjne agregaty chłodnicze, które w wersji trójzłożowej mogą wykorzystywać ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej (MSC), bez potrzeby podnoszenia jego parametrów w okresie letnim. Podniesienie temperatury ciepła dostarczonego do odbiorców generuje szereg problemów eksploatacyjnych: zmniejszenie strumienia ciepła, spadek sprawności produkcji energii elektrycznej dla systemów skojarzonych, wymóg zainstalowania konkretnej

mocy chłodniczej, niwelujący koszty podniesienia temperatury.

Agregaty adsorpcyjne (ADS), podobnie jak agregaty absorpcyjne wykorzystują ciepło do wytwarzania chłodu. Podstawowa różnica pomiędzy wymienionymi procesami sorpcji polega na tym, że w procesie adsorpcji wiązanie cząsteczek, atomów lub jonów następuje na powierzchni lub granicy faz fizycznych. Natomiast w procesie absorpcji następuje pochtanianie jednej substancji, zwanej absorbentem, przez całą objętość innej substancji zwanej absorbentem. W procesie adsorpcji stosuje się różne rodzaje układów adsorbent-adsorbat, co zasadniczo wpływa na pracę agregatów chłodniczych. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest wykorzystanie jako adsorbentu wody, natomiast jako adsorbentu silikażelu (żelu krzemionkowego). Zaletą stosowania takiego układu jest przede wszystkim to, że silikażel ma zdolność do adsorpcji dużych ilości wody w niskich temperaturach i do regeneracji w temperaturze poniżej 90°C, a ponadto jest trwały, nietoksyczny i niekorozyjny. Zaletą wody jako adsorbentu jest przede wszystkim stosunkowo wysokie ciepło parowania, nietoksyczność, stabilność termiczna oraz brak negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne [17].

Zastosowanie agregatów adsorpcyjnych w miejskich systemach ciepłowniczych daje możliwość pracy, pomimo niskiej temperatury zasilania. Nawet tak niska temperatura wody pozwala na zainicjowanie procesu adsorpcji i wytwarzanie chłodu wykorzystywanego na potrzeby klimatyzacji różnego typu obiektów w okresie letnim. Podstawową zaletą tej technologii jest wykorzystywanie proekologicznych czynników chłodniczych oraz zmniejszenie zużycia energii elektrycznej [17]. Na rysunku 12 przedstawiono schemat zintegrowanego agregatu adsorpcyjnego, zbudowanego z dwóch komór adsorpcyjnych (adsorberów), skraplacza, parownika oraz zaworu rozprężnego.



Rys. 12.
Zintegrowany schemat technologiczny dwukomorowej chodziarki adsorpcyjnej

Ze względu na różnice w budowie, układy absorpcyjne (ABS) wykorzystują jako czynnik roboczy roztwory soli (głównie bromku litu), a w adsorpcyjnych (ADS) ciała stałe - najczęściej różne rodzaje krzemionki.

ABS znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie dostępny parametr ciepła jest na poziomie już od 85°C, ADS już na poziomie od 65°C – Rys.13.



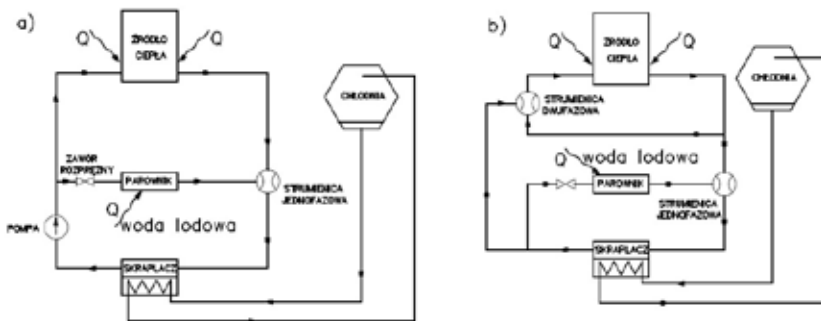
Rys. 13.
Podział technologii
sorpcyjnego wytwarzania
chłodu ze względu na
dostępny parametr [15]

Znaczne nadzieje i kierunki badań pokłada się w urządzeniach strumienicowych.

W urządzeniach tych strumienica odgrywa rolę analogiczną, jak sprężarka w klasycznych urządzeniach chłodniczych realizujących obieg Lindego. Strumienica jest zasilana parą napędową wytwarzaną w generatorze. Wymagania dotyczące parametrów pary napędowej w tego typu urządzeniach są bardzo niewielkie, toteż rolę źródła ciepła w generatorze pary może spełniać z powodzeniem kolektor słoneczny. W takim przypadku ujawnia się jedna z najbardziej istotnych zalet takiego rozwiązania, a mianowicie ciepło napędowe takiego urządzenia jest w dużej mierze skorelowane ze strumieniem ciepła, który należy odprowadzić z ochładzanego pomieszczenia, aby utrzymać w nim pożądaną temperaturę. Jest to jedna z podstawowych przesłanek powodujących znaczne zainteresowanie tego typu rozwiązaniem. Ponadto, zamiana sprężarki przez strumienicę parową znacznie ogranicza zapotrzebowanie na energię elektryczną, czyniąc urządzenie bardziej ekologicznym. W układzie tym energią napędową jest ciepło dostarczane do wytwornicy pary. Na wypływie z wytwornicy ciśnienie nasycenia jest zależne od temperatury czynnika grzewczego. Para napędowa kierowana jest do strumienicy, która zasysa parę z parownika przez zawór dławiący, a częściowo wraca przez pompę do

wytwornicy pary. Urządzenie strumienicowe jest zatem napędzane energią ciepłą i w odróżnieniu do systemów sorpcyjnych nie wymaga odprowadzenia ciepła absorpcji do otoczenia. Budowa jest zdecydowanie prostsza.

Technika strumienicowa może z powodzeniem znaleźć zastosowanie tam, gdzie jest możliwość zagospodarowania ciepła odpadowego. Użycie urządzeń absorpcyjnych ma wady wynikające z tego, że są to urządzenia dużej mocy o skomplikowanej budowie. Istnieją również ograniczenia związane z zapewnieniem temperatury górnego źródła ciepła na poziomie gwarantującym poprawną pracę urządzenia. Urządzenia strumienicowe nie mają tych ograniczeń. Pracują stabilnie w zakresie temperatur skraplania poniżej wartości 33-35°C, powyżej której maleje współczynnik zasysania strumienicy, co, po zmianach konstrukcyjnych samej strumienicy, można o kilka stopni przesunąć w górę. Układy strumienicowe są znacznie bardziej elastycznymi układami, jeśli chodzi o pożądaną moc chłodniczą lub dyspozycyjną - ciepło-napędową. Ponadto nie istnieją fizyczne ograniczenia, co do wymaganych temperatur. Są urządzeniami znacznie prostszymi o podobnej efektywności. Dodatkowym atutem jest możliwość poprawy efektywności strumienicy poprzez wykorzystanie ciepła przegrzania pary opuszczającej urządzenie. Przegrzanie to wykorzystuje się do podgrzewania cieczy dostarczanej do wytwornicy pary, ograniczając tym samym zapotrzebowanie na moc napędową. Jednocześnie zmniejszeniu ulega ciepło oddane w skraplaczu, co przekłada się na możliwość stosowania mniejszych wymienników, bądź większą elastyczność w zakresie temperatur medium chłodzącego skraplacz [13,14].



Rys. 14. Chłodnicze układy strumienicowe:
a) klasyczny z zastosowaniem pompy mechanicznej;
b) zmodyfikowany – z zastosowaniem pompy strumienicowej (obieg całkowicie napędzany energią ciepłą)

Kolejnym aspektem rozwoju układów strumienicowych są układy z wodą jako czynnikiem roboczym. Jak wspomniano wcześniej, istnieją pewne wady i ograniczenia układów absorpcyjnych. Dlatego możliwe jest zastosowanie w tym celu układu strumienicowego, napędzanego ciepłem niskotemperaturowym. Układ taki w elastyczny sposób będzie mógł pobierać parę do napędu układu produkcji wody lodowej, nie wpływając na poziom temperatury ciepła grzewczego. W układzie tym strumienica napędzana parą jest elementem wykorzystywanym do odsysania i obniżenia ciśnienia w parowniku. Proces odparowania (wrzenia) wody pod obniżonym ciśnieniem w parowniku pozwala uzyskać obniżenie temperatury wody w obiegu wody lodowej wykorzystywanej w układach klimatyzacyjnych. Efekt obniżenia temperatury wody przy niskich ciśnieniach może być analogicznie wykorzystany, jak w konwencjonalnym chłodnictwie do odbierania ciepła z miejsc, w których jest ono produkowane, ewentualnie, gdy potrzeby komfortu publicznego wymuszają zastosowanie klimatyzacji. Obieg cieplny elektrociepłowni parowej wykorzystywany jest z reguły do produkcji prądu elektrycznego oraz sezonowo do produkcji ciepłej wody obiegowej w celach grzewczych. Nowością w tym obiegu jest zastosowanie strumienicowego parowego obiegu wody lodowej. Należy jednakże podkreślić, że rozwiązanie to polega na napędzie układu parą niskoparametrową, nie zaś niskotemperaturowym ciepłem odpadowym. Jest to zatem rozwiązanie alternatywne w odniesieniu do istniejących rozwiązań, które jednocześnie stanowi układ w pełni poligeneracyjny, sprzężony integralnie z układem siłowni parowej (elektrociepłowni).[19]

0 „syndromie Kasi”, czyli podsumowanie

Naturalnym pytaniem jakie może się nasuwać jest: dlaczego kogeneracja/trigeneracja nie jest jeszcze tak popularna, jak inne rodzaje inwestycji energetycznych?

Istnieje wyraźna potrzeba wyjścia na przeciw trendom rozwoju gospodarki skojarzonej i rosnącemu zapotrzebowaniu na komfort cieplny w pomieszczeniach.

Perspektywicznym obszarem zastosowania równoczesnego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu są źródła małej i średniej mocy, charakteryzujące się krótkim czasem budowy, najszybszym okresem zwrotu, mniejszym ryzykiem inwestycyjnym przy równoczesnych korzyściach eksploatacyjnych, jak wysoka sprawność i mniejsze koszty w pracy skojarzonej. Warunki te wymuszają bar-

dzo staranne projektowanie, uwzględniające realne zapotrzebowanie na ciepło, pomimo, że przychody lub uniknięte koszty ze sprzedaży energii elektrycznej, czy uzyskanych świadectw pochodzenia są niewspółmiernie wyższe. Analiza struktury producentów energii, trendy w energetyce światowej i regulacje prawne wraz z zobowiązaniami członkowskimi nakazują przypuszczać, że era dużych jednostek konwencjonalnych powoli się kończy. Nawet umiarkowani optymiści wskazują, że duże bloki klasy Jaworzno 910, Opole, Kozienice są ostatnimi tego typu przedsięwzięciami mimo, iż Polska jest skazana na paliwa konwencjonalne przez najbliższe kilkadziesiąt lat. Szanse upatruje się w energetyce bardziej rozproszonej, nie mówiąc o energetyce prosumenckiej czy opartej o OZE w mikro skali, bo ten trend jest nieunikniony, ale również opartej na paliwach kopalnych, jednak o mocach wytwórczych małej i średniej wielkości. To właśnie te obiekty, które w sposób naturalny zlokalizowane będą blisko aglomeracji miejskich, stanowić będą idealne miejsce do wprowadzenia technologii trójgeneracyjnych z istniejącą już infrastrukturą ciepłowniczą. Nie można przy tym wykluczać dużych jednostek wytwórczych, choć trzeba mieć świadomość, że ewentualne zmiany technologiczne, większe szanse będą miały już na terenie odbiorcy, w węzłach ciepłno-chłodniczych.

W konkurencji małych mocy kogeneracja/trigenracja ma przewagę nad innymi rodzajami popularnych dziś inwestycji energetycznych:

- Elektrownie wiatrowe, gdyż nie jest uzależniona od warunków atmosferycznych (siły wiatru), nie wymaga długotrwałych pomiarów wiatru, a także długich, kosztownych i pracochłonnych badań środowiskowych. Nie budzi protestów społecznych z uwagi na wprowadzanie hałasu, czy infradźwięków. Nie wymaga zachowania niezmięnionej struktury zagospodarowania terenu.
- Biogazownie, gdyż nie jest uzależniona od dostępności dużych ilości odpowiedniego surowca wsadowego, spełniającego podwyższone wymagania środowiskowe. Nie rodzi niebezpieczeństwa pojawienia się nieprzyjemnych zapachów i wyziewów. Nie wymaga lokalizacji z dala od aglomeracji miejskich, gdzie trudno jest o odbiór ciepła użytkowego. Nie wymaga stosowania niesprawdzonych i eksperymentalnych technologii.
- Elektrownie wodne, gdyż nie wymaga szczególnej lokalizacji i nie musi spełniać rozbudowanych norm środowiskowych.
- Źródła geotermalne, gdyż nie wymaga bardzo kosztownych odwiertów obarczonych często ryzykiem niepowodzenia i koniecznością wspierania wytwarzania dodatkowymi źródłami szczytowymi.
- Systemy solarne, gdyż nie jest uzależniona od zmiennego nasłonecznienia, a w szczególności braku energii słonecznej w okresach największego zapotrzebowania na ciepło.

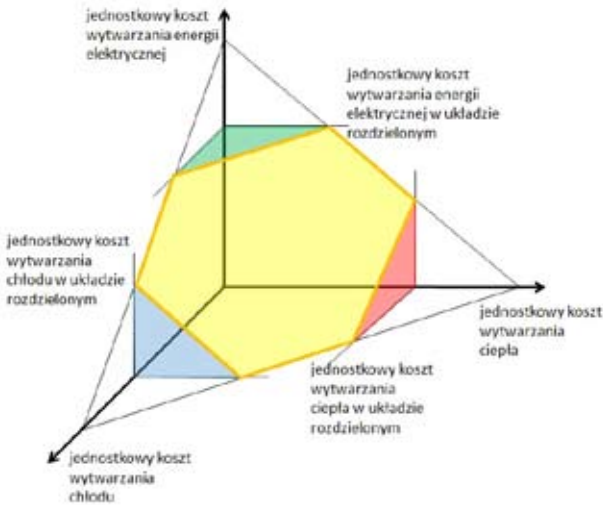
Dokonując uproszczonego rachunku zysku i strat należy odnotować, że trójtgeneracja:

- poprawia wskaźniki ekonomiczne przedsiębiorstw ciepłowniczych poprzez zwiększenie sprzedaży ciepła, poprawę efektywności jego wytwarzania i dystrybucji, co skutkuje poprawą bezpieczeństwa energetycznego kraju,
- wprowadza nową usługę energetyczną, jaką jest produkcja i dostarczanie chłodu, związaną z wartością dodaną jaką jest komfort, niezawodność, uniezależnienie od wykorzystywania szkodliwych czynników chłodniczych,
- zmniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu agregatów chłodniczych, umożliwiając wytworzenie dodatkowej ilości energii elektrycznej,
- pozwala prognozować, że krajowy system elektroenergetyczny w szczycie obciążenia letniego może zostać „odciążony” o 3000-4000 MW. Jest to moc, która powinna być brana pod uwagę w krajowym bilansie energetycznym, zwłaszcza wobec podnoszonych przez różne ośrodki poważnych wątpliwości, co do możliwości zainstalowania nowych bloków o mocy kilkunastu tysięcy MW do roku 2030, postulowanych w przyjętej przez rząd polityce energetycznej.

Jednak przed technologiami trigeneracyjnymi stoją wyzwania:

- pokonania barier początkowego okresu, w którym zyski ze sprzedaży chłodu nie kompensują znacznych nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych. W perspektywie długookresowej ten czynnik nie będzie miał istotnego znaczenia, gdyż zostanie zrekompensowany zwiększoną sprawnością wytwarzania i przesyłania ciepła.
- wykorzystania ciepła systemowego do wytwarzania chłodu. Podejmowane w ostatnim czasie próby przyniosły jak dotychczas znikome rezultaty. Powstało zaledwie kilka instalacji, w których ciepło zasila agregaty absorpcyjne, wytwarzające wodę lodową na potrzeby klimatyzacji.
- promocję nowej kategorii produktu energetycznego - chłodu. Produkt ten wymaga opracowania właściwej struktury administracyjnej, prawnej i finansowej.
- pokonanie bariery utrudniającej wdrożenie trójtgeneracji, wynikającej z braku metody rozdziału uzasadnionych kosztów rocznych na poszczególne nośniki energii wytwarzane w tej technologii bez subsydiowania skrośnego. Proponowany sposób określania kosztów granicznych w trójtgeneracji (energii elektrycznej, ciepła i chłodu) pokazano na Rys.15, w postaci niesprawiedliwego systemu wsparcia technologii kogeneracyjnych czy trigeneracyjnych. [16]
- porozumień między deweloperami/ inwestorami nowoczesnych osiedli

a podmiotami dostarczającymi energię ciepłą, spowodowanych częściowo wymogiem pasywnego charakteru nowoczesnego budownictwa.



Rys. 15.

Podział kosztów nośników energii w trójgeneracji
[Małko J., Wojciechowski H.: Poligeneracja. INSTAL 3/2004]

Na jednej z tegorocznych konferencji poświęconej ochronie środowiska w energetyce Prezes Veolia Energia Polska, Włodzimierz Kędziora, podczas debaty przytoczył anegdotę, która szybko zrobiła furorę - o syndromie Kasi. Wszystkim uczestnikom się to spodobało. Porównał kogenerację do „koleżanki swoich wnuków, Kasi” – bardzo dobrze ucząca się, o bardzo dobrym zachowaniu, o wielu z pewnością innych cennych walorach, tylko z jakiegoś powodu, nie wiedzieć czemu, nikt jej nie chce, nikt jej nie lubi i nie chce się z nią zadawać. Kontynuując wątek - mam dwie nowe wiadomości: pierwsza to taka, że Kasia ma młodszą siostrę Anię (trigenerację), jest jeszcze fajniejsza i potrafi jeszcze więcej, a druga wiadomość, co pewnie już widać: jej nie lubią jeszcze bardziej i zaprzyjaźnienie się z nią wymaga jeszcze większych wysiłków.



Rys. 16.

„Kasia” i „Ania” –
Kogeneracja i Trigeneracja

Czy kogeneracja ma szanse na dynamiczny rozwój? Czy w ślad za nią trigeneracja znajdzie szerszych odbiorców? Czy jest prawdą, że rynek dla kogeneracji ma zbyt mały potencjał, aby na poważnie go zagospodarować? Jeśli tak jest, to czy trigeneracja nie znajdzie dla siebie miejsca? Czy podczas kolejnego kryzysy zasilania nie będziemy żałować, że nie uwolniliśmy tych kilkuset, może kilku tysięcy megawatów?

Budowa układu trigeneracyjnego wymaga przeprowadzenia szeregu analiz i zabiegów formalnych, które na etapie początkowym mogą być szczególnie odstrasające. Technologie trigeneracyjne nie są możliwe do zastosowania na zasadzie „prosto z półki”. Wymagają rozważań i szczegółowej analizy kosztowej, gdyż ich rentowność nie zawsze ma uzasadnienie.

Zakłady Remontowe Energetyki Katowice SA jako firma realizująca zadania pod klucz, od koncepcji – projektu, poprzez prefabrykację, montaż i rozruch, może swą ofertą i wykorzystaniem potencjału, znacząco odciążyć inwestora w zaangażowaniu dodatkowych zasobów wiedzy, ludzi i czasu, aby zastosowanie trigeneracji było możliwe.

Bibliografia:

1. J.Rifkin, „Trzecia rewolucja przemysłowa. Jak lateralny model władzy inspiruje całe pokolenie i zmienia oblicze świata”, Wydawnictwo Sonia Draga Sp. z o.o., Katowice 2012
2. M.Popkiewicz, „Rewolucja energetyczna? Ale po co?”, Wydawnictwo Sonia Draga, Katowice 2015.
3. E.Boeker, R. van Grondelle „Fizyka środowiska”. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002
4. J.Popczyk, „Energetyka rozproszona od dominacji energetyki w gospodarce do zrównoważonego rozwoju, od paliw kopalnych do energii odnawialnej i efektywności energetycznej”, Polski Klub Ekologiczny Okręg Mazowiecki, Warszawa 2011
5. A.Wiszniewski, „Korzyści energetyczne, ekonomiczne i środowiskowe stosowania technologii kogeneracji i trigeneracji w rozproszonych źródłach energii”.
6. B.Karwat, E. Stańczyk, M.Mazurek „Wykorzystanie ciepła sieciowego do wytwarzania chłodu w procesie adsorpcji”, Chłodnictwo tom XLIX 2014r. nr5
7. M.Trela(red.), „Ciepło skojarzone. Komfort zimą i latem – trigeneracja”, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2005
8. K.Demiński „Meandry wykresu i-s – reminiscencje”, Energetyka nr 4/2015(750), Oficyna Wydawnicza Energia, COSiW SEP, Katowice 2015
9. J.Kepler, „Noworoczny podarek albo i sześciokątnych płatkach śniegu”, Wstęp Zdzisław Pogoda, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2014
10. Informacja prasowa, „Czy wyciągnięte zostaną właściwe wnioski z 20-go stopnia zasilania” Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO) Warszawa 24 sierpnia 2015
11. M.A.Sanjayan, „Energia przyszłości: Złoty Środek”, Discovery Science, styczeń 2016
12. J.Popczyk, w: „Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej – wybrane problemy i wyzwania”, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2012
13. D.Mikielewicz, J.Wajs, M.Lackowski, D.Butrymowicz, J.Karwacki, K.Śmierciew, K.Ziótkowski w: K.Wójs (red.) „Odzysk i zagospodarowanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego ze spaliny wylotowych”, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A. . Warszawa 2015
14. D.Butrymowicz, P.Baj, K.Śmierciew „Technika chłodnicza” Wydawnictwo Naukowe PWN S.A. . Warszawa 2014
15. M.Malicki, „Sprężarkowo czy adsorpcyjnie? Metody produkcji chłodu przy pomocy ciepła sieciowego”, Energetyka ciepła i zawodowa nr 5/2013
16. M.Rubik, „Produkcja chłodu w systemach ciepłowniczych – konieczność czy potrzeba biznesowa, Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, Wentylacja, WCT NOT Sigma, Warszawa
17. B.Karwat, E.Stańczyk, M.Mazurek „ Wykorzystanie ciepła sieciowego do wytwarzania chłodu w procesie adsorpcji”, Chłodnictwo tom XLIX 2014 nr 5
18. K.Śmierciew, D. Butrymowicz, J. Karwacki, T.Przybyliński „ Analiz współpracy strumieniowego układu chłodniczego z obiegiem ORC w warunkach trigeneracji” Chłodnictwo tom XLIX 2014 nr 9-10
19. D.Butrymowicz, K.Śmierciew „Technologia strumieniowa w chłodnictwie – nowe kierunki badawcze” Chłodnictwo tom XLVII 2012 nr 5
20. A.Schroeder, J.Łach, S.Poskrobko, „Przegląd tendencji w zakresie wytwarzania wody lodowej w systemie trigeneracji”, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiskavol.11 (2009)
21. Z.Plutecki „Wpływ mikroklimatu na czas życia maszyn w warunkach przemysłowej eksploatacji”, prelekcja podczas Konferencji „ Utrzymanie ruchu - zarządzanie efektywność, remonty”, Katowice 2015
22. B.Adamski „Nowoczesne agregaty wody lodowej w dobie certyfikacji energetycznej budynku”, Chłodnictwo & klimatyzacja”, nr 4/2010, Euro-Media Sp z o.o., Warszawa
23. K.Gutkowski, D.Butrymowicz „Chłodnictwo i klimatyzacja” Wydawnictwo WNT, Warszawa 2014



Projekty infrastrukturalne – realizacja i zagrożenia

Marcin Kost
ZRE Katowice SA

Wydział Zarządzania Projektami

We współczesnym biznesie większość przedsięwzięć realizowana jest w formie projektów. Ich tematyka jest szeroka i obejmuje całość działań biznesu: od tych z zakresu inwestycji w kapitał ludzki poprzez IT, aż po realizację dużych przedsięwzięć infrastrukturalnych. Do tych ostatnich zalicza się inwestycje w infrastrukturę energetyczną.

Projekty infrastrukturalne charakteryzują się dużym stopniem skomplikowania, wysokim budżetem, a czas ich trwania jest stosunkowo długi. Projekty w swojej definicji obejmują trzy aspekty, których równowaga zapewnia sukces ich realizacji. Są to: jakość, termin i koszty. Niektórzy autorzy dokładają do tego czwarty element jakim jest zakres. Jednak w przypadku projektów infrastrukturalnych zmiana zakresu wiąże się najczęściej z całkowitą zmianą projektu. Decyzja o niej podejmowana jest najczęściej na szczeblu ponad projektowym.

Powyższe aspekty podlegają największym zagrożeniom i każde zachwianie jednego z nich powoduje skutki w dwóch pozostałych. Na podstawie doświadczeń oraz literatury w niniejszym artykule przedstawione zostaną przykłady takich oddziaływań, jak i refleksja dotycząca ich przyczyn oraz ewentualne sposoby ich minimalizacji.

Przegląd literatury

Za historyczny początek projektowego podejścia do realizacji przedsięwzięć, mających określony zakres i cel, przyjmuje się amerykański projekt budowy bomby atomowej nazwany „Manhattan”. Stopień skomplikowania, konieczność koordynacji wielu ośrodków naukowych oraz współpracy cywili z wojskowymi wymusił stworzenie nowej organizacji i szczegółowego podziału zakresu

i celu. Były to prapoczątki współczesnych struktur podziału prac i celu. Niektóre narzędzia i metody zaimplementowane do zarządzania projektem znane były wcześniej, jak na przykład wykres Gantta, który został opracowany na przełomie XIX i XX wieku, jednak wtedy nie wyodrębniano jeszcze osobnych struktur w celu realizacji określonego przedsięwzięcia [1].

Początkowo to podejście zastrzeżone było dla projektów wojskowych, jakkolwiek bardzo szybko zaczęło przenikać do zastosowań cywilnych. To właśnie podczas realizacji projektów wojskowych powstało większość podstawowych narzędzi planowania, zarządzania i analizy projektowej, takich jak metoda ścieżki krytycznej, metoda PERT i inne [2].

Już w latach 50-tych pierwsze, bardzo duże przedsięwzięcia cywilne zaczęło realizować w formułach przypominających współczesne podejście projektowe. Jednak dopiero od lat 70-tych XX wieku koncepcja realizacji przedsięwzięć za pomocą projektów na dobre zadomowiła się w przedsięwzięciach cywilnych, poprzez przemysł kosmiczny i lotnictwo. Jedną z pierwszych gałęzi przemysłu, w której wykorzystano podejście projektowe do realizacji inwestycji, była energetyka, zwłaszcza energetyka jądrowa [ibid]. Obecnie podejście projektowe stosuje się do większości przedsięwzięć współczesnego biznesu od zarządzania kapitałem ludzkim, poprzez IT, aż do dużych projektów inwestycyjnych [3].

Metodologie zarządzania projektami – historia

Czym jest projekt? Jest to przedsięwzięcie ograniczone w czasie, ograniczone w budżecie mające określony zakres lub cel. Z założenia projekt jest przedsięwzięciem jednorazowym i unikalnym [4].

W ciągu siedmiu dekad historii zarządzania projektami wykształciły się tzw. metodologie zarządzania projektami, tj. zbiory standardowych zasad, narzędzi i dobrych praktyk, których wykorzystanie ułatwia skuteczne zarządzanie projektami.

Historycznie pierwszy raz stanowisko kierownika projektu (w projekcie cywilnym), a zatem i sformułowanie projekt zostało użyte w latach 1951-1953 i dotyczyło projektu rurociągu „Transmountain Oil Pipeline” w Kanadzie realizowanego przez firmę Bechtel [5]. Następnie w latach 50-tych w Australii firma Civil & Civic po raz pierwszy stworzyła ściśle współpracujący zespół projektowy realizujący projekty w formule będącej praprzodkiem dzisiejszej formuły EPC dla

kontraktów typu „projektuj i buduj”. Po raz pierwszy w rękach jednej firmy spoczywała odpowiedzialność za całość: od projektu do realizacji. Wcześniej, ale niekiedy także współcześnie, projekt tworzyli niezależni architekci, a każdy następny etap budowy musiał być koordynowany zewnętrznym, co wymagało zaangażowania wielu podmiotów. Civil & Civic po raz pierwszy zajęła się tym procesem od A do Z, czyli mówiąc współcześnie poprowadziła projekt [6]. Wtedy też pojawiły się pierwsze techniki planowania projektów, jakimi są stosowane do dziś:

- metoda ścieżki krytycznej (CPM – Critical Path Method) wynaleziona przez think tank firmy du Pont w zespole Kelleya i Walkera [7],
- metoda PERT (Project Evaluation Review Technique) [8] – niemniej znana wynaleziona przez zespół W. Fazara przy okazji projektu rakiet balistycznych Polaris,
- metoda PDM (Precedence Diagramming Method), zwana też metodą przedstawiania aktywności w węzle, opracowana w uniwersytecie Stanforda [9].

Kolejne lata przyniosły rozwój tych metod oraz ich uzupełnienie o inne aspekty, a w końcu doprowadziły do ukonstytuowania się pierwszych organizacji i związków zajmujących się zarządzaniem projektami, ich rozwojem, kształceniem kierowników projektów i certyfikowaniem. Były to IPMA – International Project Management Association w Europie oraz PMI – Project Management Institute w Stanach Zjednoczonych. Później dołączył do nich brytyjski Office of Government Commerce z metodologią PRINCE2.

W latach 70-tych XX w. nastąpił rozwój zastosowań metodologii zarządzania projektami do coraz większej ilości zastosowań, w tym do gwałtownie rozwijającego się w tamtym okresie przemysłu informatycznego, ale też wielkich projektów infrastrukturalnych. Wtedy także pojawiły się pierwsze koncepcje matrycowych organizacji i tzw. podwójnej podległości w organizacjach (projektowej i liniowej). W zakresie metodologii zaczęto tworzyć diagramy podziału prac WBS (Work Breakdown Structure) i podziały celów OBS (Object Breakdown Structure). Był to naturalny rozwój wcześniej wynalezionych metod i ich uszczegółowienie [10].

Lata 80-te i 90-te przyniosły gwałtowny rozwój zarządzania projektami. Wtedy wprowadzono jednolite systemy certyfikacji kierowników projektów, pojawiły się ustandaryzowane metodologie, a rozwój technik informatycznych spowodował powstanie coraz lepszych narzędzi wspomagających zarządzanie projektami. Do

zarządzania projektami zaczęły przenikać metody z innych dziedzin zarządzania jak np. zarządzanie cyklem życia produktu (projektu), czy też pogłębiona analiza otoczenia [11].

Na przełomie wieków zmieniło się podejście do zarządzania niektórymi projektami, zwłaszcza tymi z zakresu technik informatycznych. W 2001 wydano manifest AGILE, czyli zwinnego podejścia do zagadnień wytwarzania oprogramowania. Manifest postulował odejście od klasycznego sformalizowanego podejścia do programowania (projektów z zakresu technik informatycznych) na rzecz elastyczności, pogłębienia relacji z klientem i szybkiej reakcji na zmiany [12]. Manifest spowodował stworzenie nowych metodologii, kładących większy nacisk na elastyczność w projektach. Początkowo projekty wg tej metodologii (zwanej AGILE, ale też SCRUM, DSDM, FDD, etc.) dotyczyły prawie wyłącznie zakresu technik informatycznych. Obecnie zaś uważa się, że jest to w ogóle kierunek przyszłościowy w zarządzaniu projektowym, a zwłaszcza w zakresie badań i rozwoju [13].

Ryzyko w projekcie

Pojęcie ryzyka jest różnie definiowane, samo słowo wywodzi się z języka włoskiego *risicare*, co znaczy „odważyć się”. Współcześnie większość autorów definiuje ryzyko jako stan, w którym możliwości i szanse ich wystąpienia nie są znane, zaś samo ryzyko używane jest wtedy, gdy:

- rezultat, jaki będzie osiągnięty w przyszłości, nie jest znany, ale możliwe jest identyfikowanie przyszłych sytuacji,
- znane jest prawdopodobieństwo zrealizowania się poszczególnych możliwości w przyszłości. [14]

W literaturze można znaleźć wiele różnych klasyfikacji ryzyka. Najczęściej spotykany podział całkowitego ryzyka ze względu na czynniki kształtujące wyodrębnia:

- ryzyko systematyczne (zewnętrzne) – determinowane jest przez siły zewnętrzne i niepodlegające kontroli przedmiotu, który jest w jego zasięgu. Ryzyko to jest związane z siłami przyrody, a także z warunkami ekonomicznymi. Ten typ ryzyka nie może być wyeliminowany przez inwestora, a do jego źródeł zalicza się m.in. zmianę stopy procentowej, inflacji, przepisów podatkowych.

- ryzyko specyficzne (niesystematyczne, wewnętrzne) - obejmuje obszar działania danego podmiotu i może być przez ten właśnie podmiot kontrolowane (przyszłe zdarzenia, które można przynajmniej częściowo kontrolować). Do najważniejszych przyczyn tego ryzyka zalicza się: zarządzanie firmą, dostępność surowców, płynność.

Pod względem decyzji rozwojowych firmy wyróżnić możemy następującą klasyfikację:

- ryzyko firmy – wynika z błędnej oceny przez firmę inwestującą przyszłych warunków rynkowych (np. przyjęcie nierealnego poziomu rotacji należności w dniach wskutek błędnych kalkulacji).
- ryzyko właścicieli – wynika ono z braku zainteresowania właścicieli kierunkami rozwoju firmy i prowadzić może do zminimalizowania ryzyka działalności gospodarczej.
- ryzyko projektu – związane jest z warunkami realizacji projektu (np. techniczne warunki realizacji projektu – dane rozwiązanie techniczne sprawdzone w jednej firmie, nie sprawdza się w drugiej, gdzie jest większa skala produkcji) [14].

Podejmowanie ryzyka w projektach jest nieuniknione, jednak ważne jest, aby zarządzać w optymalny i systematyczny sposób. Identyfikacja, ocena i proaktywna kontrola powinna odbywać się w sposób aktywny i ciągły. W celu uczynienia zarządzania ryzykiem skutecznym, ryzyka muszą zostać zidentyfikowane, ocenione i kontrolowane. Zasada ta odnosi się do wszystkich aspektów projektu. Identyfikacja, ocena i kontrola powinny być zgodne ze strategią i procedurą zarządzania ryzykiem, włączając w to prowadzenie rejestru ryzyka [15].

Bardzo ważnym elementem analizy ryzyka projektu jest analiza wpływu interesariuszy, która powinna być wykonana w fazie wstępnej projektu lub nawet przed nim, a polega ona na analizie wpływu szeroko pojętego otoczenia na projekt. Analiza ma za zadanie wskazać, kto i jaki wpływ ma na projekt. Staje się kluczowa, gdy cel projektu może wzbudzić sprzeciw otoczenia, co często ma miejsce w przypadku projektów infrastrukturalnych [15].

Niewłaściwa estymacja ryzyka, zarówno jego niedoszacowanie, jak i przeszacowanie, bądź zaniedbanie któregoś z jej elementów, może spowodować groźne skutki w projekcie na poziomie kosztów i czasu trwania projektu – najczęstszy efekt złego szacunku ryzyka, w ekstremalnych przypadkach całkowite zawieszenie nawet w końcowej fazie projektu. Najlepszym tego przykładem jest wybudowana i nigdy nie uruchomiona

elektrownia jądrowa Zwentendorf w Austrii. Pomimo zakończenia budowy, nie została uruchomiona ze względu na sprzeciw społeczeństwa wyrażony w referendum w 1978 roku [16].



Rys. 1. Nieuruchomiona elektrownia jądrowa w Zwentendorf
źródło: www.businessgreen.com

Podstawową drogą w niektórych projektach infrastrukturalnych, w celu zmniejszenia poziomu ryzyka związanego z czasem i kosztami, jest wprowadzenie elastyczności projektu. W celu realizacji tej strategii w sposób skuteczny, niezbędna jest współpraca między zespołem klienta i projektu. W ten sam elastyczny sposób należy podejść do sekwencji pakietów prac lub nawet niektórych etapów. Kluczowym czynnikiem jest utrzymanie odpowiedniej jakości, kosztów i zachowanie czasu trwania projektu, pozostawiając jednak swobodę kształtowania projektu kierownikowi projektu, bądź poprzez aktywne włączenie się organu nadrzędnego (sponsora projektu, komitetu sterującego) [17].

Istnieje także inne teoretyczne podejście do oceny ryzyka zwane prognozowaniem klasy referencyjnej. Podejście to zostało opracowane w brytyjskim Departamencie Transportu i polega na unikaniu optymistycznej oceny ryzyka. Oparte jest na analizie statystycznej danych historycznych porównywalnych projektów i polega na tym, że po ocenie ryzyka dla danego projektu jest ono porównane do rzeczywistego ryzyka projektów historycznych i dodawany jest odpowiedni wskaźnik do obliczonego wcześniej ryzyka, ze względu na oczekiwane niedoszacowanie ryzyka w pierwszej kalkulacji. Ocena taka

powinna być wykonywana przez zewnętrznych niezależnych i profesjonalnych audytorów, którzy zazwyczaj nie są zainteresowani projektem, przez co nie mają tendencji do optymizmu - niedoszacowania ryzyka.

Niedoszacowanie ryzyka jest często spowodowane przez wewnętrzne czynniki obliczania ryzyka. Ryzyko obliczane wewnętrznie – przez zespół projektowy, który jest zainteresowany realizacją projektu, nawet za wszelką cenę – może zostać niedocenione lub też może dojść do zawyżenia potencjalnych zysków. Efekt ten nazywany jest złudzeniem [18].

Istnieją też inne potencjalne punkty niedoszacowania ryzyka, takie jak skłonność do przywiązywania się do pierwotnego planu i zamykania oczu na inne potencjalnie lepsze rozwiązania. Osoby biorące udział w nowym projekcie często opierają swoją wiedzę na wcześniejszych doświadczeniach, co samo w sobie nie jest zjawiskiem negatywnym, jednak przy szacowaniu ryzyka może spowodować bardzo negatywne konsekwencje – ludzie w tej sytuacji nie są w stanie myśleć nieszablonowo. Mają tendencję do trzymania się pierwotnych planów i znanych rozwiązań, często zaniebując lepsze opcje lub nie dokonując poprawek w istniejących planach. Ponadto istnieją problemy z kierownikami projektów, którzy nie są gotowi na zmiany lub unikają podejmowania osobistego ryzyka, nie wdrażając procedury zarządzania zmianą lub elastycznych rozwiązań. Może także istnieć konflikt wewnętrzny spowodowany przez sprzeczne interesy różnych grup zaangażowanych w projekt, które mogą mieć różne cele np. wydłużenie projektu, bądź zwiększenie jego kosztów. By temu zapobiec nie można doprowadzić do zaistnienia asymetrii informacji, które mogą odgrywać istotną rolę w niedoszacowaniu ryzyka. Ponadto eliminacja podobnych zjawisk powinna zostać zapewniona przez kontrolę i nadzór nad projektem.

Innym ważnym czynnikiem ryzyka, który jest rzadko brany pod uwagę, jest oszustwo jednej ze stron projektu. Zjawisko to należy zwalczyć poprzez wprowadzenie przejrzystości i jasnych zasad w projekcie, jak również poprzez osobę kontrolującą całość działalności projektu.

Następnym często pomijanym problemem przy szacowaniu ryzyka jest iluzja - wewnętrzne widzenie, które można przezwyciężyć poprzez dodanie do zespołu projektowego osób z zewnątrz, przynajmniej na etapie szacowania ryzyka projektowego, które posiadają wiedzę i doświadczenie w zakresie rezultatów planowanego projektu. Osoby takie powinny być ekspertami z ogromną wiedzą historyczną w odniesieniu do zadania [19].

W polskich realiach projektów infrastrukturalnych bardzo powszechnym zjawiskiem jest przerzucanie ryzyka z inwestora na głównego wykonawcę w nadmiernym zakresie, co przy dużym nacisku na cenę – najczęściej głównym kryterium zwycięstwa w przetargu – powoduje nadmierną

i niewspółmiernie dużą ekspozycję na ryzyko głównego wykonawcy, który z kolei stara się je przetransferować na podwykonawców. Skutki takiego działania były widoczne przy fali bankructw, opóźnień etc. występujących przy budowie autostrad w Polsce [20]. Sytuacji tej częściowo winne są przepisy prawa obowiązujące w Polsce.

Podsumowanie

Literatura doskonale opisuje teoretycznie zarządzanie projektem. Pokazuje część problemów, jakie występują podczas egzekucji projektu, które mogą wynikać z samego podejścia projektowego charakteryzowanego przez, przede wszystkim, określony czas i budżet.

Ewolucja metod zarządzania projektem pokazuje, że zmieniają się one w celu zwiększenia kontroli i ścisłego nadzoru nad przebiegiem projektu w celu zmniejszenia niepewności, a przez to zoptymalizowanie kosztów i czasu trwania projektu. Podobnie, jak coraz nowsze narzędzia wspomagające ten proces, zawężają przestrzeń niekontrolowaną projektu.

Jak pokazuje literatura, a potwierdza praktyka, analiza ryzyka projektowego powinna być istotnym elementem każdej fazy egzekucji projektu. Istnieje bardzo wiele zagadnień, które mają wpływ na przebieg projektu, a nie zawsze są brane pod uwagę, co prowadzi do negatywnych skutków w praktyce. Ciekawe podejście prezentuje w swych opracowaniach Bent Flyvbjerg. Zwraca on uwagę na aspekty socjologiczne zarządzania ryzykiem takie jak próba oszustwa, czy też skłonność ludzi do awersji przed nieznanym. Nie poprzestając na ukazaniu tych aspektów, wskazuje drogę, jak im zapobiegać.

Literatura przytoczona we wstępie teoretycznym zwraca uwagę, ale nie analizuje otoczenia projektu, na które zwróć uwagę w drugiej, bardziej praktycznej części artykułu. Nie skupiłem się również w tej części opracowania na aspekcie jakości w projekcie, co spowodowane jest tym, że w dużych projektach infrastrukturalnych najważniejsze decyzje jakościowe podejmowane są na szczeblu wyższym niż projekt i są narzucone w definicji zakresu projektu, a następnie przerzucane do zakresu poszczególnych pakietów prac. Największy wpływ na jakość projektu ma strategiczna decyzja o budżecie, która determinuje wybór wykonawców i dostawców. Decyzja ta również podejmowana jest na wyższym szczeblu niż projekt. Cel projektu powinien być zbalansowany tj. realizowalny w określonej jakości przy założonym czasie i budżecie (Rys.2), co powinno pokazać studium wykonalności poprzedzające decyzję o rozpoczęciu projektu.



Rys. 2.
Relacja cel, jakość, czas
i budżet

Istotnym czynnikiem ryzyka dla projektów infrastrukturalnych są uwarunkowania prawne. Niektóre podmioty podlegają szczególnym przepisom prawa jakim jest Prawo zamówień publicznych, ale też innym przepisom, jak prawo energetyczne, budowlane etc. Może to znacząco ograniczyć swobodę działania inwestora, narzucając procedury wyboru dostawców nie zawsze optymalne z punktu widzenia techniki bądź prowadzenia projektu. Wbrew intencjom ustawodawcy prawo, a zwłaszcza Prawo Zamówień Publicznych, poprzez narzucenie procedur wyboru dostawcy – co miało na celu eliminację zjawisk patologicznych – może prowadzić do poniesienia dodatkowych kosztów, choćby z tytułu zwiększenia wolumenu części zamiennych, w przypadku braku wskazania konkretnego dostawcy urządzenia bądź technologii. Prywatni inwestorzy, niepodlegający tym ograniczeniom, mają większą swobodę w kształtowaniu polityki wyboru dostawców [20].

Praktyka projektowa ¹

Tanie mięso psi jedzą

Stare porzekadło ludowe mówi: „Tanie mięso psi jedzą”. Niestety ono także jest bardzo częstą praktyką projektową. Autor spotkał się niejednokrotnie z podejściem absolutnego priorytetu ceny.

W roku 2008 autor z ramienia inwestora odpowiadał za uruchomienie elektrofiltru dla pieca szklarskiego oraz przez następny rok za jego eksploatację. Inwestor na początku projektu w ogóle nie planował instalacji elektrofiltru na

¹ Na podstawie doświadczeń autora w projektach infrastrukturalnych w przemyśle i energetyce. W tej części zostaną przedstawione podstawowe problemy, z jakimi autor się spotkał oraz subiektywna ocena zaistniałych faktów. Nie stanowi ona w żadnej mierze stanowiska firmy ZRE Katowice SA i jest wyłącznie osobistą opinią autora.

nowobudowanej linii produkcja szkła. Ze względu na stosowanie opalania gazem ziemnym nie jest on elementem bezwzględnie wymaganym technologicznie. Jednak decyzja środowiskowa wymogła zastosowanie elektrofiltru. Podstawowym kryterium, ze względu na budżet projektu, była cena. Wybór padł na pewną małą, nieznaną szerzej na rynku, włoską firmę, z którą wcześniej inwestor nie posiadał żadnych doświadczeń. Już w czasie budowy okazało się, że firma działa na zasadzie podzlecania niemal całego zakresu prac – praktyka jakże podobna do stosowanej przez niektóre z firm startujących w przetargach na głównego wykonawcę w projektach infrastrukturalnych – sama zaś dostarcza jedynie projekt technologiczny i bazowy elektrofiltru oraz nadzór na budowie. Proces uruchomienia nie przebiegał pomyślnie. Od początku występowały problemy z sygnalizacją ilości gipsu (produktu ubocznego powstającego w tego typu elektrofiltrze), oczyszczaniem elektrod oraz systemem podawania sorbentu (drobnokrystalicznego wapienia). Po okresie dwóch lat elektrofiltr nadawał się do remontu generalnego. Korozja wnętrza elektrofiltru, uszkodzenia elektrod, zużycie systemu oczyszczania elektrod spowodowały jego zatrzymanie do remontu. Za wyjątkiem układu elektrycznego został on całkowicie przebudowany (zbudowany praktycznie od podstaw) przez renomowanego dostawcę. Włoski producent nie poczuwał się do odpowiedzialności za swój produkt. Sprawa znalazła swój finał w sądzie, a inwestor poniósł podwójny koszt budowy elektrofiltru.

Czy to było do uniknięcia? Jak najbardziej. Gdyby na początku jedynym kryterium wyboru nie była cena, ale przede wszystkim doświadczenie w podobnych instalacjach i parametry techniczne, sytuacja wyglądałaby inaczej. Tym bardziej, że przebudowany przez renomowanego dostawcę elektrofiltr działa sprawnie i nie stwarza większych problemów technicznych.

Jakoś(ć) to będzie

Na tym samym wcześniej opisanym projekcie, innym elementem, który przysporzył bardzo wielu problemów, zarówno na etapie uruchomienia, jak i dalszej eksploatacji, było urządzenie zwane zasypnikiem. Jest to urządzenie podające surowce szklarskie bezpośrednio do pieca. Wybór dostawcy padł na jedną z chińskich firm, jednego z największych producentów tego typu urządzeń na rynek chiński, która wcześniej współpracowała z renomowanym niemieckim producentem takich urządzeń. Dodatkowo za wyborem tego właśnie urządzenia przemawiały pozytywne doświadczenia w innej hucie tego samego koncernu w Rumunii. Pomimo zastrzeżeń ze strony przedstawicieli produkcji, zdecydowano się na zakup tego urządzenia w Chinach, zastrzegając wiele

wymagań jakościowych, jednak nie precyzując ich w wystarczający, jak się okazało, sposób. Wstępny odbiór w Chinach odbył się w sposób pospieszny (ze względu na opóźnienie projektu) i nie skupiono się na szczegółach. Jednak po odbiorze tego urządzenia w Polsce okazało się, że sytuacja nie przedstawia się dobrze. Kluczowe elementy zasypnika jak szufla czy układ chłodzenia były zgodne z wymaganiami, jednak ogólna jakość wykonania, układ napędowy, czy jakość montażu pozostawiała wiele do życzenia. Dla przykładu: całe urządzenie było skręcone śrubami klasy 4.6(!), klasy praktycznie nie używanej w Europie do jakichkolwiek odpowiedzialnych urządzeń i niedopuszczalnej w tego rodzaju urządzeniach. Wszystkie śruby musiały zostać zastąpione przez odpowiednie klasy 8.8. W napędzie zastosowano sprzęgło kłowe, którego nie sposób przetączyć na ruchu, co jest niezbędne nie tylko w sytuacjach awaryjnych, ale także przy rutynowym okresowym przetaczaniu napędu. Potem, w czasie ruchu regulacyjnego, niemożność płynnego przetaczenia napędu spowodowała poważne zachwianie w produkcji. Ponadto barierki miały za małą wysokość i były wykonane z materiału niezapewniającego bezpieczeństwa w razie oparcia się. Dodatkowo osłona termiczna szuflki nie została wykonana z odpowiedniego materiału: nie zapewniał on wystarczającej odporności na korozję chemiczną występującą w kontakcie z oparami znośnego szkła.



Rys. 3.

Uszkodzona osłona termiczna szuflki zasypnika
po półrocznym okresie eksploatacji
źródło: zdjęcie własne autora

W efekcie wprowadzono poprawki, wymieniono wadliwe elementy, jednak wciąż urządzenie nie było w pełni zgodne z wymaganiami produkcji i było kłopotliwe w eksploatacji. Niestety, w wymaganiach jakościowych, jak się okazało, nie było ścisłych zapisów odnoszących się do powyższych punktów, więc producent w ogóle nie poczuwał się do odpowiedzialności, tym bardziej że spełniały one chińskie normy i wymagania chińskich producentów szkła. Zaoszczędzone pieniądze nie wystarczyły na wykonanie niezbędnych modernizacji i na pokrycie kosztów jego awarii. Jak się później okazało, zasypnik dostarczony do Rumuni przez tego samego producenta był dużo lepiej dostosowany do europejskich standardów. Powstał na licencji, do której chiński producent w międzyczasie utracił prawo i wprowadził do konstrukcji zmiany, do których został zobligowany, a których skutkiem było pogorszenie jakości i użyteczności wyrobu.



Rys. 4.

Wymienione śruby
łączące zasypnika
źródło: zdjęcie własne autora

Można uniknąć podobnej sytuacji poprzez bardzo ścisłą definicję każdego wymagania wobec urządzenia i niepozostawienie zbyt wielu punktów pod wymagania normatywne oraz ścisły odbiór u producenta. Nie można pozwolić na dowolną interpretację zapisów, np. jeśli powołujemy się na normy, należy konkretny zapis normy przytoczyć. Dodatkowo zawsze należy przeprowadzić drobiazgowy odbiór u producenta. Nawet pozytywne doświadczenia z przeszłości nie zwalniają osób odpowiedzialnych za jakość – zwłaszcza za jakość dostaw – z drobiazgowego sprawdzenia zgodności produktu z zamówieniem i takiego sformułowania zamówienia, aby producent nie miał zbyt dużego pola do własnej interpretacji i oszczędności.

Nie zmienia się koni w połowie rzeki

Zmiany obsady projektu zazwyczaj bardzo źle wpływają na projekt. Jeszcze gorszą sytuacją jest ta, gdy w ogóle nie udaje się zgromadzić ludzi o odpowiednich kompetencjach. W przypadku wystąpienia obu tych okoliczności jednocześnie problemy na projekcie są nieuniknione. Na jednym z realizowanych obecnie projektów, główną przeszkodą w prawidłowym przebiegu projektu jest ciągle zmieniający się personel zlecniodawcy, któremu nie zależało na sprawnym zakończeniu projektu. Było to wbrew ich osobistym interesom – przypadek opisany w literaturze [19]. Po zakończeniu negocjacji, podpisaniu kontraktu i przeprowadzeniu mobilizacji na budowie okazało się, że personel zlecniodawcy odpowiedzialny za przebieg projektu nie ma doświadczenia w zakresie projektu, ponadto nie ma także doświadczenia w projektach tej skali – budowy bloku energetycznego. Dla personelu projektu ważniejszą sprawą, z powodu której zorganizowano spotkanie wszystkich podwykonawców, było sprzątanie na budowie i jego podział, niż koordynacja budowy. Brak koordynacji powodował przestój dźwigów i innego ciężkiego sprzętu niezbędnego do wykonania prac związanych z posadowieniem turbiny i konieczne było ponoszenie dodatkowych kosztów z tym związanych. Niektórzy inspektorzy nadzoru sprawiali wrażenie jakby po raz pierwszy widzieli przedmiot kontraktu, a już na pewno nigdy nie brali udziału w montażu takowego. Było to zwłaszcza widoczne na turbinie parowej. Swoją brak wiedzy personel przykrywał najczęściej arogancją i przesadną, w negatywnym tego słowa znaczeniu, skrupulatnością. Na domiar złego, ciągle zmieniały się osoby odpowiedzialne za kontrolę i harmonogramowanie projektu, a z czasem również i z wyższych szczebli projektu, a nawet zarządu zlecniodawcy, tak, że do końca projektu na budowie pozostały zaledwie dwie osoby, które były na niej od początku. Dodatkowo, gdy nastąpiło widoczne opóźnienie i pojawiły się pierwsze efekty powyższych działań zespołu projektowego po stronie zlecniodawcy, wywiązał się konflikt wewnętrzny pomiędzy członkami konsorcjum, będącego głównym wykonawcą projektu. Rykoszetem tego konfliktu były dodatkowe opóźnienia, zbędne prace dodatkowe, niepotrzebne nadmierne koszty po stronie wykonawców. Ciągłe zmiany personalne bardzo utrudniały kontakt i opóźniały przekazywanie danych powodując dalsze opóźnienia.

Dodatkowym czynnikiem, pogorszającym przebieg projektu, było negatywne nastawienie zlecniodawcy do współpracy z podwykonawcami, którzy nie byli traktowani jak partnerzy. Często decyzje podjęte na budowie, pomimo zgodności z dokumentacją, były decyzjami nierozsądnymi, a wszelkie próby przekonania inspektorów do ich zmiany kończyły się fiaskiem. Końcowym efektem tych

wszystkich okoliczności jest około półroczne wydłużenie projektu. Bezspornym dowodem, na fatalne skutki powyżej przedstawionych działań po stronie zleceniodawcy, było zwiększenie wartości kontraktu o ok. 25% w postaci robót dodatkowych. Dopiero w końcowej fazie na projekcie pojawiła się osoba z praktycznym i dużym doświadczeniem w energetyce, pozytywnie nastawiona do współpracy z podwykonawcami i prace znacząco przyspieszyły i zakończyły się. Powyższa sytuacja była do uniknięcia, gdyby zleceniodawca zadbał od początku o zaangażowanie kompetentnego i doświadczonego personelu lub przynajmniej takiego, który zna swoje ograniczenia, potrafi dobrze współpracować z innymi i wysłuchać argumentów doświadczonego wykonawcy oraz ewentualnie odrzucać je z gruntowną argumentacją. Prawdopodobnie również koszty po jego stronie byłyby niższe, gdyż udałooby się uniknąć wielu niepotrzebnych czynności na budowie i części opóźnień.

Podsumowanie

Jak pokazuje praktyka, problemy i ryzyko realnych projektów nie zaczynają się i nie kończą na problemach i ryzykach przedstawionych w literaturze. Żaden model teoretyczny nie jest w stanie przewidzieć wszelkich problemów i ryzyka, jakie może wystąpić w projekcie.

Często kierownicy projektu nie mają wpływu na kryteria, którymi kieruje się inwestor w wyborze dostawców. Zazwyczaj punkt widzenia decydentów jest diametralnie inny od punktu widzenia techników, kierowników projektów, bądź późniejszych użytkowników celu projektu, gdyż jedni patrzą najczęściej na koszty poniesione doraźnie, a drudzy na długofalową eksploatację i wydatki z nią związane. Często koszty poniesione po zakończeniu projektu na dostosowanie efektów projektu do wymagań jego użytkowników wielokrotnie przekraczają doraźne oszczędności, a nierzadko nie jest to już możliwe.

Jednak i jedni i drudzy powinni mieć na uwadze, że im lepiej – co nie zawsze znaczy taniej – przeprowadzony projekt, tym bardziej pozytywne będą jego skutki dla jego interesariuszy. Problem ten jest do przezwyciężenia poprzez bardzo dobrą i możliwie jak najdokładniejszą definicję celu bądź zakresu projektu, poprzedzoną wnikliwą analizą interesariuszy, co zresztą jest podkreślane w literaturze [4].

Innym problemem, typowym dla obecnego czasu, wielu prowadzonych jednocześnie projektów w branży energetycznej jest dostępność wysokokwalifikowanej kadry technicznej: od inspektorów nadzoru, poprzez wyższy i średni dozór, aż po spawaczy. Powoduje to, że stanowiska na projektach obsadzone są przez ludzi o niższych od wymaganych kompetencjach i nieposiadających

wystarczającego doświadczenia w prowadzeniu powierzonego im zakresu, a nierzadko niedysponującymi odpowiednimi cechami charakterologicznymi do pracy zespołowej. Bardzo często dobór takich pracowników do zespołu projektowego, a zwłaszcza tych przeznaczonych do współpracy z podwykonawcami na projekcie, powoduje niepotrzebne napięcia i konflikty, w szczególności, gdy stosunki między stronami są napięte, a różnice w kompetencjach znaczne. Konfliktom takim można zapobiec poprzez odpowiedni dobór kadry, a jeśli jest możliwość, wymieszania osób doświadczonych z tymi niedoświadczonymi, bądź przynajmniej odpowiedni dobór charakterologiczny personelu projektu – odrzucenie osób konfliktowych, czy też o wybujałym ego, na rzecz takich, które chcą się uczyć i zdają sobie sprawę z własnych ograniczeń. Istotnym elementem jest także odpowiednie zmotywowanie kadry projektowej, aby nie starała się przeciągać projektu.

Wnioski

Zarządzanie projektami jest bardzo szeroką i wieloaspektową dyscypliną wiedzy, która pomimo stosunkowo krótkiej historii jest już dosyć dobrze opisana w literaturze. Ponieważ jest to dyscyplina przede wszystkim praktyczna i trudno spotkać dwa identyczne projekty wciąż jest miejsce na dalsze publikacje opisujące tę gałąź wiedzy.

Większości problemów projektowych nie da się uniknąć, jednak można się do nich przygotować, aby zmniejszyć ich skutki. Zarówno teoria, jak i praktyka podkreślają ważkość analizy ryzyka i niepodchodzenia do tej kwestii w sposób pobieżny. Taktyka taka może się zemścić, gdy w trakcie projektu pojawią się nieprzewidziane, ale jednak możliwe do przewidzenia a priori, okoliczności, które zagrażą jednemu z kluczowych aspektów projektu. Oszczędności na analizie ryzyka najczęściej powodują dodatkowe wydatki podczas realizacji projektu [14]. Innym bardzo ważnym czynnikiem, o którym można przeczytać w literaturze, jak i spotkać się w praktyce są kwestie związane z doborem właściwego personelu projektowego i to zarówno na etapie planowania i analizy, jak i na etapie wykonawczym [19]. Nawet najlepiej przygotowany projekt, z bardzo dobrze opracowanym zakresem, planem, harmonogramem nie zakończy się sukcesem, jeśli zostanie obsadzony przez niekompetentny, bądź niezgrany zespół projektowy, niemający wspólnego celu w postaci terminowego zakończenia projektu i odwrotnie. Nawet nie najlepiej przygotowany projekt ma szanse na sukces, jeśli zostanie obsadzony przez kompetentny, umotywowany i zgrany zespół.

Należy unikać jednostronnego patrzenia na cel projektu przez pryzmat tylko

jednego z aspektów: budżetu, jakości bądź czasu, nie biorąc pod uwagę dwóch pozostałych. Jakikolwiek brak równowagi między tymi aspektami powoduje zachwianie i duże ryzyko nieosiągnięcia celu [15]. Planując projekt, zwłaszcza budżet i zakres czasowy, opisując jego ramy pamiętajmy o równowadze pomiędzy czasem, budżetem i jakością. W rachunku końcowym złe zaplanowanie tych aspektów, może doprowadzić do przekroczenia ich wszystkich, czego można by uniknąć. Rozpoczęcie projektu powinna zawsze poprzedzić refleksja nad wykonalnością projektu w zadanych uwarunkowaniach oraz dogłębna analiza ryzyka i interesariuszy.

Bibliografia:

1. R. Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, New York: Simon & Schuster, 1995.
2. T. Sisk, *History of project management*, Berkely: Berkely University, 2003.
3. J. Heagney, *Fundamentals of Project Management*, 4 red., AMACOM, 2012.
4. Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 3 red., Newtown Square: PMI, 2004.
5. S. D. J. Bechtel, „Project Management - Yesterday, Today, and Tomorrow,” *PMNetwork*, tom III, nr 1, pp. 6-8, January 1989.
6. A. Stretton, „A Short History of Modern Project Management,” *PM World Today*, tom IX, nr X, 2007.
7. J. E. J. Kelley i M. R. Walker, „The Origins of CPM: A Personal History,” *PMNetwork*, tom III, nr 2, pp. 7-22, 1989.
8. W. Fazard, „The Origins of PERT,” *The Controller*, pp. 598-621, December 1962.
9. J. W. Fondahl, „Precedence Diagramming Methods: Origins and Early Development,” *Project Management Journal*, tom XVIII, nr 2, June, pp. 33-36, 1987.
10. J. R. Snyder, „Modern Project Management: How Did We Get Here - Where Do We Go?,” *Project Management Journal*, tom XVIII, nr 1, March, pp. 28-29, 1987.
11. R. W. J. Sievert, „A Review of Value Engineering as an Effective System for Planning Building Projects,” *Project Management Journal*, tom XXII, nr 1, March, pp. 31-38, 1991.
12. K. Beck, M. Beedle, A. van Bennekum, A. Cockburn, W. Cunningham, M. Fowler, J. Grenning, J. Highsmith, A. Hunt, R. Jeffries, J. Kern, B. Marick, R. C. Martin, S. Mellor, K. Schwaber, J. Sutherland i D. Thomas, „Manifest Agile,” 11-13 luty 2001. [Online]. Available: <http://agilemanifesto.org/iso/pl/>. [Data uzyskania dostępu: 30 12 2015].
13. A. Moran, *Managing Agile*, Springer, 2015.
14. W. Tarczyński i M. Mojsiewicz, *Zarządzanie ryzykiem. Podstawowe zagadnienia*, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2001.
15. Office of Government Commerce, *Managing Successful Projects with PRINCE2 2009*, London: Office of Government Commerce, 2009.
16. EVN AG & PRIMA VISTA Media & Consulting GmbH, „The Nuclear Power Plant Zwentendorf A unique location for television, film, and photography,” 2010. [Online]. Available: <http://www.nuclear-power-plant.net/index.php?lang=en>. [Data uzyskania dostępu: 14 01 2015].
17. N. Gil i B. S. Tether, „Project risk management and design flexibility: Analyzing a case and conditions of complementarity,” *Research Policy*, tom 40, pp. 411-428, 2011.
18. B. Flyvbjerg, „From Nobel Prize to Project management: Getting Risk Right,” *Project management Journal*, tom 37, nr 3, pp. 5-15, 2006.
19. B. Flyvbjerg, M. Garbuio i D. Lovallo, „Delusion and Deception in Large Infrastructure Projects: Two models for Explaining and Preventing Executive Disaster,” *California Management Review*, tom 51, nr 2, pp. 170-193, Winter 2009.
20. T. Elżbieciak, „Wielkie wyzwanie - inwestycje energetyczne w czasie i budżecie,” 09 11 2015. [Online]. Available: http://budownictwo.wnp.pl/wielkie-wyzwanie-inwestycje-energetyczne-w-czasie-i-budziecie,260901_1_0_5.html. [Data uzyskania dostępu: 19 01 2016].



Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki

Łukasz Kościelniak

Piotr Zięcina

ZRE Katowice SA

Laboratorium Badań Niszczących i Nieniszczących

Do zapewnienia jakości realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki niezbędny jest udział badań technicznych. Koncepcja działania Laboratorium Badań Nieniszczących i Niszczących rozwiązuje problemy związane z lokalizacją budowy oraz problemy natury technicznej. Realizacje coraz częściej wymagają udziału Mobilnej Pracowni Radiograficznej, badań radiograficznych przetopu w temperaturze 200°C, zastosowania specjalistycznych kolimatorów, precyzyjnej endoskopii i analizy składu chemicznego oraz zastosowania najnowszych rozwiązań z udziałem badań metodą TOFD i Phased Array. Dopętnieniem jest kompetentny, certyfikowany personel stosujący nowoczesne wyposażenie pomiarowo - badawcze.

Organizacja

Firma ZRE Katowice posiada Laboratorium Badań Niszczących i Nieniszczących z oddziałami w Katowicach, Jaworznie oraz Warszawie. Oferujemy swoim klientom szeroki zakres badań niszczących i nieniszczących w sektorze energetycznym, metalurgicznym i hutniczym. Laboratorium jest częścią Zintegrowanego Systemu Zarządzania wprowadzonego i certyfikowanego w ZRE Katowice.

Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki



Rys. 1. Certyfikaty ISO 9001/ISO14001/ISO18001

Ponadto posiada wdrożony i certyfikowany system zarządzania jakością w zakresie spełnienia wymagań normy PN-EN ISO/IEC 17025.



Rys. 2. Księga jakości/Świadectwo Uznania LBU-024/09-15/Procedury Badawcze

Potrafi również wykonywać badania według specyfikacji klienta, nietypowych norm i przepisów oraz wymagań ASME, DNV, AD2000, TRD, DVS i innych.



Rys. 3. PP/Lista kwalifikowanego personelu NDE wg ASME/Stempel S.

Nad bezpieczeństwem pracowników wykonujących zadania z promieniowaniem jonizującym czuwa Zakładowy Inspektor Ochrony Radiologicznej. Laboratorium ZRE Katowice posiada, zgodny z ustawą Prawo Atomowe, wdrożony program bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej oraz Zakładowy Plan Postępowania Awaryjnego.

Praca z promieniowaniem możliwa jest, dzięki zezwoleniom Państwowej Agencji Atomistyki w pracowni radiograficznej, jak również w terenie.



Rys. 4. Pozwolenia PAA.

Posiadane certyfikaty i kadra w postaci:

- 45 Specjalistów ds. NDT zgodnie z PN EN 9712 w metodach VT, PT, MT, RT, UT,
- 6 Specjalistów NDE zgodnie z SNTC-TC-1A: 2006 (w metodach PT, MT, RT, UT),
- 2 Inspektorów Ochrony Radiologicznej,
- 30 Specjalistów z Świadectwem Kwalifikacji E,
- 15 kierowców z uprawnieniami ADR;

oraz szeroki zakres działalności w zakresie badań nieniszczących:

- badania wizualne bezpośrednie i pośrednie przy użyciu wideoendoskopu o długości sondy 10 m i średnicy 8 mm,
- badania penetracyjne,
- badania magnetyczne proszkowe – badania wykonywane przy użyciu defektoskopów jarzmowych oraz defektoskopów prądowych dużej mocy (6000A),
- badania radiograficzne z zastosowaniem aparatów rentgenowskich i gamma graficznych,
- badania ultradźwiękowe spoin i materiałów,
- badanie ultradźwiękowe metodą TOFD i Phased Array,
- ultradźwiękowe pomiary grubości,
- pomiary twardości,
- pomiary owalizacji i pękania rurociągów,
- badania składu chemicznego metodą fluorescencji rentgenowskiej oraz spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem iskrowym;

i niszczących:

- Próby rozciągania,
- Statyczna próba zginania,
- Próba łamania,
- Próba udarowości,
- Pomiary twardości,
- Badania makrostruktury i mikrostruktury;

wraz z nowoczesnym zapleczem sprzętowym pozwala na spełnienie oczekiwań klienta podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki.



Rys. 5. Izotop SE 75 oraz lampa rentgenowska ERESCO



Rys. 6. Defektoskop Phased Array/TOFD oraz ultradźwiękowy



Rys. 7. Grubościomierze ultradźwiękowe oraz wideoendoskop



Rys. 7. Charpy'ego oraz maszyna wytrzymałościowa

Koncepcja działania w terenie

Potrzeba zwiększenia wydajności bloków energetycznych skutecznie napędza rozwój nowych materiałów konstrukcyjnych, technologii, jak również innowacji w badaniach niszczących i nieniszczących.

Kontrola jakości oparta na badaniach nieniszczących jest niezbędna na obiektach w nowoczesnym przemyśle, a przede wszystkim w wielkoseryjnej produkcji. Jest ona integralną częścią procesów wytwarzania. Korzystanie z badań nieniszczących i dokonywanie pomiarów umożliwia całościową ocenę jakości wytwarzanych obiektów oraz monitorowanie i oddziaływanie na procesy wytwarzania. W czasie procesów wytwarzania, poszczególne obiekty są badane, a na ich podstawie odpowiednio zaliczane do klas jakości. Badania nieniszczące nie powinny znacząco wpływać na przebieg procesów wytwarzania.

Badania nieniszczące prowadzone są przede wszystkim w celu:

- zapewnienia bezpieczeństwa ludziom (niezawodność konstrukcji i urządzeń w lotnictwie, energetyce, budownictwie, kosmonautyce, transporcie itp.),
- zapobiegania:
 - stratom ludzkim,
 - stratom materialnym,
 - katastrofom ekologicznym.

Wytwórca zawsze ma możliwość wybrać spośród wielu metod badawczych tę najskuteczniejszą, ale także najekonomiczniejszą dla zrealizowania swojego projektu. Należy jednak pamiętać o tym, że dobór odpowiedniej metody będzie

efektywny dopiero wówczas, gdy będą znane poszczególne ich cechy oraz skuteczność i zakres ich stosowania.

Aby sprostać realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki Laboratorium ZRE Katowice stawia na mobilność. Miejsca oddalone od oddziałów Laboratorium wyposażane są w tzw. Mobilne Laboratoria Polowe. Kontenery, które jednocześnie pełnią rolę laboratorium, biura oraz ciemni, wyposażone są w automatyczne wywoływarki błon, negatoskopy, pojemniki na bezpieczne przechowywanie izotopów oraz wszelkie niezbędne wyposażenie, pozwalające na kompleksowe wykonywanie badań.



Rys. 9. Mobilne Laboratorium Polowe

Laboratorium Badań Niszczących i Nieniszczących uzyskuje każdorazowo zezwolenia Państwowej Agencji Atomistyki, zgodnie z ustawą Prawo Atomowe, na przechowywanie źródeł Ir-192 i Se-75 na terenie inwestycji oraz posiada do tego odpowiednie, mobilne magazynki źródeł promieniotwórczych.

Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki



Rys. 10. Zezwolenia PAA na badania oraz przechowywanie izotopów na terenie GDF Suez - EL. Potaniec oraz Budowa Bloku Gazowo-Parowego we Włocławku dla ORLEN



Rys. 11. Mobilny Magazynek Źródeł Promieniotwórczych oraz magazynek w Oddziale Warszawa

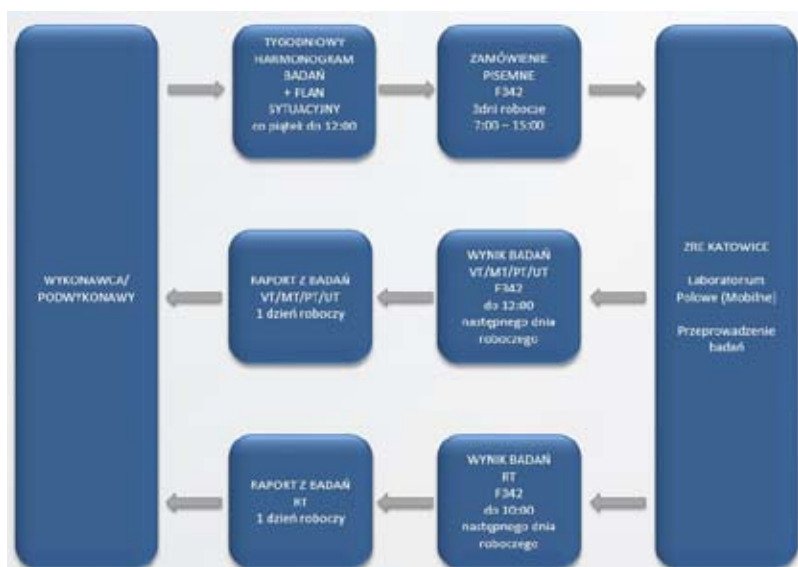
W celu zapewnienia jeszcze większej mobilności dysponujemy zapleczem w postaci samochodów z możliwością przewozu materiałów niebezpiecznych ADR, zapleczem kontenerowym czy też stanowiskami badań RT na terenie budowy.

Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki



Rys. 12. Transport ADR/stanowiska do badań RT na budowie

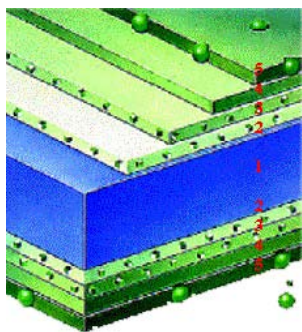
Nasze działania na obiektach klientów opierają się na koncepcji obiegu dokumentów przygotowanej przez Laboratorium ZRE Katowice i dostosowywanej do potrzeb i oczekiwań klienta.



Rys. 13. Procedura obiegu dokumentów

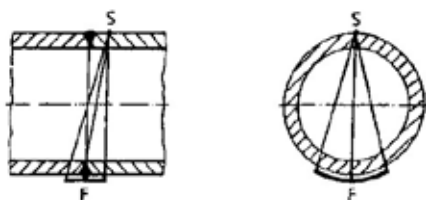
Zadania specjalne

Współczesne elementy bloków energetycznych, wytwarzane są ze stali przeznaczonych do prac w podwyższonych temperaturach. Dlatego też firma ZRE Katowice stanęła przed wyzwaniem wykonywania badań nieniszczących w wysokich temperaturach. Najwięcej problemów stwarzały badania radiograficzne przetopów na rurociągach pary świeżej. Aby przystąpić do badań na obiekcie, specjaliści z Laboratorium Badań Niszczących i Nieniszczących opracowali odpowiednią procedurę badawczą (Procedura B:0.0.2A) oraz techniczne rozwiązania, które pozwoliły w optymalny sposób wykonać badanie. W radiografii analogowej detektorem jest błona rentgenowska, która jest dwustronnie pokryta emulsją. Skutkuje to skróceniem czasu naświetlania o połowę. Błona rentgenowska jest zbudowana z 7 warstw. Czułą na promieniowanie elektromagnetyczne substancją jest bromek srebra, który jest rozmieszczony w postaci mikrokryształków w warstwie emulsji. Z uwagi na dużą wrażliwość na wysokie temperatury, najważniejsza podczas wykonywania badań była ochrona błony, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości obrazu na radiogramie. Udało się to dzięki zastosowaniu specjalistycznej przekładki izolacyjnej, opracowanej przez pracowników firmy ZRE Katowice.



Rys. 14. Budowa błony radiograficznej

Badania radiograficzne przetopu w podwyższonych temperaturach wykonane zostały metodą obwodową, wg normy PN-EN ISO 17636-1:2013.



Rys. 15. Technika badania RT na przetopie



Rys. 16. Gotowy przetop do badania RT

Przekładka termoizolacyjna miała za zadanie zabezpieczyć radiogram przed wysoką temperaturą. Została ona wykonana z włókna ceramiczno-szklanego, które nie wpływało negatywnie na jakość obrazu na radiogramie. Za pomocą sznurka (teksturyzowana przędza), przekładka była odpowiednio umiejscowiona na przetopie.

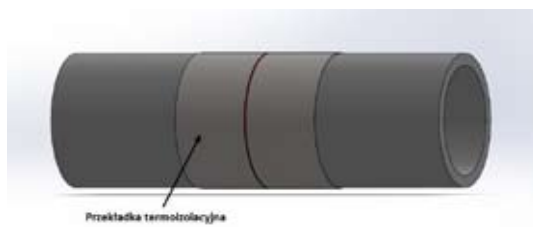


Rys. 17. Wyposażenie dodatkowe do badań RT w podwyższonych temperaturach – przekładka oraz sznurek termoizolacyjny

Najistotniejsze, podczas badania, jest centralne ustawienie źródła promieniowania na przetop tak, aby grubość prześwietlana była grubością przetopu a nie ścianki rurociągu, co dokładniej przedstawia schemat poniżej. Podczas badania wykorzystywane były aparaty gammagraficzne o jak największej aktywności po to, aby czas ekspozycji oraz narażenia radiogramu na wysoką temperaturę był jak najkrótszy.

Schemat przedstawiający wykonanie badania RT na przetopie:

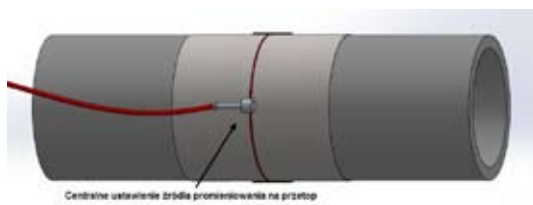
I - nałożenie przekładki termoizolacyjnej i dokładne odwzorowanie osi spiny za pomocą sznurka z teksturyzowanej przędzy.



II-założenie radiogramu na odpowiednim odcinku badanym



III- Centralne ustawienie kolimatora na przetop





Rys. 19. Przeprowadzenie badań radiograficznych na przetopie
(urządzenie gammamat SE-75)

Kolejnym stosowanym przez Laboratorium ZRE Katowice rozwiązaniem jest metoda TOFD, jako jeden z kierunków rozwoju nowoczesnych badań nieniszczących. W energetyce, jak również w innych dziedzinach przemysłu, jednym z najistotniejszych czynników jest niezawodność działania instalacji. Wiąże się to bezpośrednio z bezpieczeństwem, jak również kosztami ewentualnych przestojów i napraw.

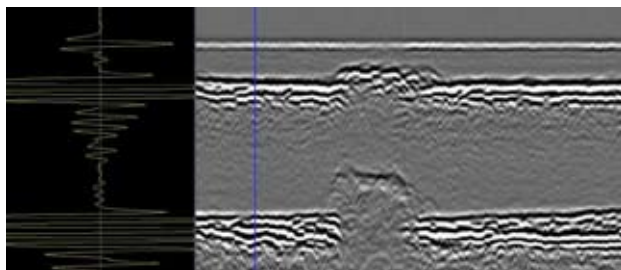
Dlatego, oprócz poszukiwania coraz to bardziej dokładnych i niezawodnych metod badań, równie ważnym czynnikiem jest redukcja kosztów. Metoda TOFD jest jedną z metod spełniających oba te kryteria jednocześnie. Pozwala na to wiarygodność metody, w połączeniu z wykwalifikowanym specjalistą oraz automatyzacją procesu.

Technika TOFD, czyli zj. angielskiego Time of Flight Diffraction, jest jedną z bardziej skutecznych technik nieniszczących, służących do wykrywania niezgodności w objętości materiału. Znajduje zastosowanie głównie w badaniu spoin. Pozwala na dokładne wymiarowanie oraz definiowanie rodzaju nieciągłości. Zapis danych umożliwia pełną dokumentację wyników oraz ich weryfikację w dowolnym czasie.



Rys. 20. Badania spoin podczas prefabrykacji przegrzewacza regeneracyjnego XW

Badanie polega na wykonaniu skanu wzdłuż spoiny wraz z zapisem zobrazowań typu A na długości spoiny, z założoną rozdzielczością. Następnie urządzenie zmienia te przebiegi na zobrazowanie typu D, ilustrujące przekrój podłużny spoiny. Takie zobrazowanie jest dostępne bezpośrednio podczas wykonywania skanu, jak również można je analizować w pamięci urządzenia w późniejszym czasie. Stanowi ono udokumentowany zapis z przebiegu badania.



Rys. 21.
Zobrazowanie
A-skan oraz D-skan

Zalety metody:

- wysoka wykrywalność wraz z niskim wskaźnikiem wskazań pozornych,
- możliwość dokładnego zwymiarowania wad,
- możliwość dokładnego określenia głębokości i wysokości wad,
- widok spoiny w przekroju podłużnym, prostopadłe do lica,
- możliwość badania spoin od 6 do 300 mm,
- duża szybkość badania,
- zestaw pomiarowy pozwalający na powtarzalność badań,
- zapis wyników umożliwiający późniejszą analizę wyników oraz pełną dokumentację.

Wysoka wykrywalność wad płaskich oraz możliwość ich dokładnego zlokalizowania, a w szczególności prosta wizualizacja wyników, wyróżniają technikę TOFD na tle innych metod badań nieniszczących.

W celu uzupełnienia ograniczeń metody TOFD Laboratorium ZRE Katowice stosuje zestawy do badań uzupełnione o głowice ultradźwiękowe oraz Phased Array, nazwane technikami PV100 i PV200. Szczególne zastosowanie wspomniane metody znajdują podczas badań konstrukcji wież do elektrowni wiatrowych.



Rys. 22. Zestaw do badań/Badania TOFD/PA wieży wiatrowej

Wieży wiatrowe są dużymi elementami konstrukcyjnymi wznoszonymi w celu otrzymania energii elektrycznej z wiatru. Sekcje wieżowe są zwykle budowane z walcowanych płaskich blach i spawane wzdłużnych spoin. Poszczególne sekcje są następnie spawane ze sobą spoiną obwodową. Części są na tyle małe, aby mogły być transportowane i połączone na montażu za pomocą kotłowni. Obwodowe spoiny są elementem krytycznym i muszą być dokładnie kontrolowane. Są zwykle spawane za pomocą automatycznego procesu spawania, w celu zapewnienia optymalnej jakości połączenia. Najczęstszymi nieciągłościami są braki przetopu, porowatości i inne ubytki. Kontrola konwencjonalna zwykle odbywa się za pomocą ręcznych badań ultradźwiękowych, często z obu wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni wieży.

Problematyczny jest długi czas potrzebny na zbadanie dużych długości spoin, zwłaszcza, gdy występują nieciągłości. Produkcja odbywa się w jednej linii z procesem badań. Dłuższy proces NDT może powodować opóźnienia. Konwencjonalne badanie ultradźwiękowe jest czasochłonne, silnie uzależnione od inspektora. Wadą jest brak trwałego zapisu danych. Prawdopodobieństwo wykrycia niezgodności, w dużej mierze, opiera się na położeniu wad,

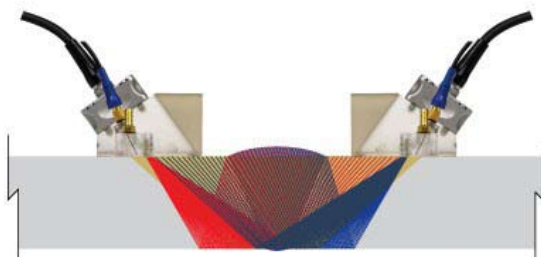
umiejętnościach operatorów i ich staranności.

Zastosowane zestawy przystosowane są do pełnego i szybkiego badania spoin obwodowych w jednym skanie, wraz z zapisem wszystkich danych dla celów dokumentacyjnych. Zarówno PV100 i PV200 są doskonałymi metodami, stosowanymi w zależności od potrzeb, w celu znalezienia wszystkich nieciągłości. Dostarczają dokładnych informacji o długości i wysokości wskazań. Wszystkie kanały mogą być wyświetlane jednocześnie. Typowe czasy badania są ograniczone z kilku godzin do kilku minut. Operator za pomocą półautomatycznego skanera wykonuje skan, podczas gdy sekcja wieży jest obracana. W tym samym czasie na obrotnicy trwa proces spawania następnych sekcji.

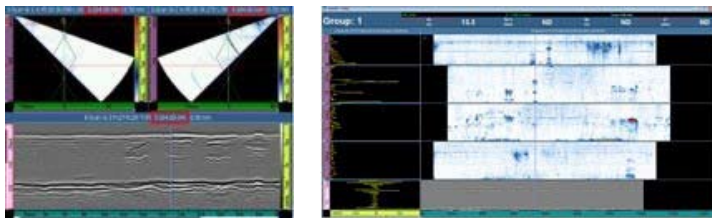
Technika PV100 i PV200, poprzez zastosowanie dodatkowych głowic ultradźwiękowych i Phased Array, pozwala, za pomocą pojedynczego skanu, uzupełnić ograniczenia metody TOFD. Umożliwia pełne pokrycie wiązką badanej spoiny oraz zastosowanie metody przy różnorodnym przygotowaniu złącza spawanego.



Rys. 23. Zestaw do badań PV100/Badania TOFD/UT



Rys. 24. Zestaw do badań PV200/Badania TOFD/Phase Array



Rys. 25. Zapis badań PV100/PV200

Podsumowanie

Koncepcja działania laboratorium podczas realizacji zadań związanych z remontem, modernizacją oraz budową polskiej energetyki jest tematem bardzo złożonym i skomplikowanym. Oczekiwania klienta odnoszą się do zapewnienia doskonałej jakości pracy, przy optymalnie niskich kosztach. Świadczenie usług na terenie całego kraju, 7 dni w tygodniu, 24h na dobę, przy zmieniających się z minuty na minutę uwarunkowaniach, wymaga ogromnego doświadczenia.

Sześćdziesięcioletnie doświadczenie, nabyta w tym czasie wiedza praktyczna, a także ciągłe jej poszerzanie sprawiają, że ZRE Katowice SA jest w stanie wykonać każde zlecenie. Służy pomocą swoim klientom w rozwiązywaniu problemów, bez względu na miejsce, czas i porę. Ciągłe doskonalenie personelu oraz pozyskiwanie nowoczesnego wyposażenia pomiarowo-badawczego gwarantują jakość usług na najwyższym poziomie. Z kolei mobilność i elastyczność pozwalają na zachowanie optymalnych kosztów badań.



Poprawa bezpieczeństwa eksploatacji turbin parowych 18K370 w aspekcie awarii wężła stopnia regulacyjnego części wysokoprężnych

Grzegorz Bzymek

PGE GiEK SA Oddział Elektrownia Opole

Janusz Badur

Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wyników analiz skutków awarii, jakim uległy dwa wkłady wewnętrzne części WP turbin typu 18K370 oraz prezentacja działań podjętych w celu poprawy bezpieczeństwa eksploatacji turbin w PGE GiEK SA Oddział Elektrownia Opole.

Dane techniczno – eksploatacyjne turbin w PGE GiEK SA Oddział Elektrownia Opole

Typ turbiny: kondensacyjna 18K370

Rodzaj turbiny: reakcyjna, osiowa, trzykadłubowa, z przegrzewem międzystopniowym, sześcioma nieregulowanymi upustami oraz regulacją ilościowo-jakościową.

Moc znamionowa: 373MW,

Moc maksymalna trwała: 383MW,

Parametry pary:

Para świeża przed częścią WP

- ciśnienie znamionowe - 17,65 MPa abs.
- temperatura znamionowa - 535°C

Para wylotowa z części WP

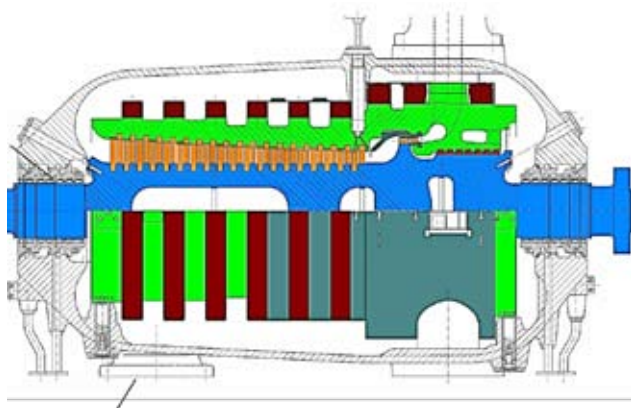
- ciśnienie - 4,48 MPa abs.
- temperatura - 334,5°C

Para wtórnie przegrzana przed częścią SP

- ciśnienie - 4,02 MPa abs.
- temperatura - 535°C

Kadłub WP – zamyka wysokociśnieniową przestrzeń parową turbiny. Zamocowane są w nim nieruchome łopatki kierownicze, dławnice wewnętrzne i zewnętrzne oraz króćce dolotowe i wylotowe pary. Zbudowany jest z dwóch powłok: wewnętrznej, której połówki połączone są pierścieniami skurczowymi oraz zewnętrznej, połączonej kotnierzowo przy pomocy śrub. W kadłubie wewnętrznym zabudowane są segmenty dyszowe koła regulacyjnego oraz 19 stopni łopatek kierowniczych. W płaszczyźnie podziału kadłuba zewnętrznego zamontowane są blachy kierujące, przystaniające część przestrzeni między kadłubem zewnętrznym a wewnętrznym tak, aby ok. 1/4 ilości pary wylotowej opływało obszar wlotowy. Kadłub spoczywa na łapach dolnej części, opartych na stojakach łożyskowych poprzez podparcie ślizgowe.

Łopatki stopnia regulacyjnego WP są drażone w tarczy wirnikowej, a pozostałych stopni – mocowane przy pomocy stopek.



Rys. 1. Przekrój osiowy części WP

Awaria I

Turbina bloku nr 3 została przekazana do eksploatacji 31 października 1996 roku

Wkład wewnętrzny WP, nr fabryczny 14, został zamontowany pierwotnie na bloku nr 2 i przepracował od pierwszej synchronizacji w 1994 roku do remontu kapitalnego bloku nr 2 w 2003 roku 50 295 godz. W trakcie remontu kapitalnego bloku

nr 2 został zdemonstrowany i przekazany do remontu fabrycznego do producenta. Wyremontowany zamontowano w 2004 w turbinie bloku nr 3. Od remontu kapitałnego bloku nr 3 do wystąpienia awarii w dniu 13 maja 2010 przepracował 39 865 godz. i miał 125 uruchomień. W sumie wkład przepracował 90 160 godz. z 385 uruchomieniami. W momencie awarii wirnik posiadał stopień regulacyjny ze spawanymi łopatkami.

Widok wybranych elementów uszkodzonego wkładu części WP turbiny:



Rys. 2.
Uszkodzony pierścień kierujący
kąta regulacyjnego

Rys. 3.
Uszkodzone łopatki
kąta regulacyjnego



Rys. 4.
Ubytek 3 łopatek
kąta regulacyjnego

Wirnik poddano badaniom:

- wizualnym,
- magnetyczno-proszkowym,
- materiałowym,
- pomiaru bicia,
- ultradźwiękowym metodą Phased Array.

Kadłub poddano badaniom:

- wizualnym,
- magnetyczno-proszkowym,
- penetracyjnym,
- materiałowym,
- owalizacji.

Łopatki poddano badaniom:

- magnetyczno – proszkowym.

Kadłub

Na podstawie badań wizualnych części górnej i dolnej kadłuba stwierdzono zaleganie nalotu eksploatacyjnego w postaci zendry. W dyszy w części dolnej zaobserwowano uszkodzenia mechaniczne 4 sztuk łopatek. W układzie przepływowym wykryto ubytki materiałowe pierwszych stopni łopatek kierowniczych. Na pozostałych stopniach stwierdzono liczne uszkodzenia mechaniczne. Na króćcach i otworach zdiagnozowano wżery oraz zendrę.

Badania magnetyczno-proszkowe wykazały w kadłubie liczne pęknięcia i skupiska pęknięć. W wyniku badań penetracyjnych stwierdzono wady zarówno w górnej, jak i dolnej części kadłuba.

Badania materiałowe nie wykazały zmian zmęczeniowo-pętlaniowych.

Wirnik

W wyniku oględzin stwierdzono wyrwane 3 łopatki w stopniu regulacyjnym. Ponadto zaobserwowano liczne uszkodzenia krawędzi łopatek od strony wlotu i wylotu. Na przejściach promieniowych łopatek zalegała zendra. Bandaż od strony zewnętrznej został przytarty. Na łopatkach kolejnych stopni zauważono liczne uszkodzenia mechaniczne oraz zaleganie zendry. Na podstawie badań magnetyczno-proszkowych stwierdzono na powierzchni bandaża stopnia regulacyjnego, uszkodzenia mechaniczne (wzdłużne) występujące na 100% obwodu oraz pęknięcia poprzeczne o długości 100mm i 120mm. Dodatkowo wykryto 9 wad bandaża zewnętrznego od strony łopatek. Badania materiałowe nie wykazały zmian pętlaniowych czy innych osłabień struktury.

Ocena wyników badań

Kadłub

Na podstawie badań wizualnych i defektoskopowych stwierdzono liczne pęknięcia w obu częściach kadłuba. W obszarze uszkodzonego zaczełu pierścienia kierującego nie zaobserwowano zmian zmęzeniowych. Zanotowano odkształcenia plastyczno-kruche, które potwierdzone zostały badaniami metalograficznymi o stanie materiału kadłuba.

Wirnik

Na podstawie badań wizualnych oraz defektoskopowych stwierdzono, że pęknięcia i zarysowania wału oraz łopatek (oprócz koła regulacyjnego) miały charakter wtórny i powstały w wyniku wyrwania 3 łopatek ze stopnia regulacyjnego i fragmentów pierścienia kierującego, który wyrwany został z zaczełów w kadłubie. Po przebadaniu wału pod kątem metalograficznym nie stwierdzono odstępstw od składu chemicznego oraz zmian zmęzeniowo-pęcznawych. Kolejne badania, wykonywane w trakcie roztopatkowania, ujawniły pęknięcia we wrębach od 1 do 5. Po wykonaniu legalizacji o 0,2 mm wskazania liniowe zanikły. Badania magnetyczno-proszkowe wrębów od 6 do 19 pokazały pęknięcia we wrębach 6 i 7, które nie zostały usunięte w procesie legalizacji. Wykonano badania Phased Array, określające głębokość wad. Następnie podjęto decyzję o wyfrezowaniu nieciągłości. Kolejne badania potwierdziły brak wskazań liniowych.

Pomimo szerokiego zakresu przeprowadzonych badań trudno jest stwierdzić, który element uległ zniszczeniu jako pierwszy. Przetomy fragmentów urwanych łopatek stopnia regulacyjnego mają charakter zmęzeniowy, co sugeruje, że pierwotną przyczyną awarii było pęknięcie łopatek na stopniu regulacyjnym i jego propagacja prowadząca do urwania wirującego elementu. Całość procesu przebiegała w czasie trudnym do określenia. Wskutek dostania się urwanej części łopatki pomiędzy koło regulacyjne a pierścień kierujący, nastąpiło uszkodzenie zaczełów tego pierścienia, który w konsekwencji uległ zniszczeniu.

Awaria II

Turbina bloku nr 2 została przekazana do eksploatacji 1 maja 1994 roku. Wkład wewnętrzny WP został pierwotnie zamontowany na bloku nr 1 i przepracował od pierwszej synchronizacji w 1993 roku do remontu kapitalnego bloku nr 1 w 2001 roku 46 271 godz. W trakcie remontu kapitalnego bloku nr 1 został zdemontowany i przekazany do remontu fabrycznego do Producenta. Wyremontowany wkład zamontowano, podczas remontu kapitalnego w 2003 roku w turbinie bloku nr 2. Od remontu kapitalnego bloku nr 2 do wystąpienia awarii w dniu 26 października 2010 przepracował 49 889 godz. W sumie uszkodzony wkład WP od chwili wyprodukowania do dnia zaistnienia awarii przepracował 96 160 godzin. W momencie awarii wirnik posiadał stopień regulacyjny z drażnionymi topatkami.

Widok wybranych elementów uszkodzonego wkładu części WP turbiny:



Rys. 5.
Uszkodzony pierścień kierujący
kąta regulacyjnego



Rys. 6.
„Stoczone” topatki
kąta regulacyjnego



Rys. 7.

Uszkodzony pierścień dyszowy

W zakresie oceny stanu wirnika i kadłuba wykonanej w fabryce producenta wykonano badania:

Wirnika:

- wizualne,
- metaloznawcze,
- magnetyczno-proszkowe,
- pomiar bicia,
- pomiar czopów łożyskowych;

Kadłuba:

- wizualne;

Łopatek

- wizualne.

W zakresie ekspertyzy IMP PAN w Gdańsku wykonano:

- analizę warunków eksploatacji turbiny pod kątem pracy stopnia regulacyjnego i możliwego ich wpływu na awarię,
- stacjonarne obliczenia przepływowe CFD całego stopnia regulacyjnego (zawory, dysze zasilające, pierwszy stopień) w warunkach pracy nominalnej i częściowego obciążenia oraz w wybranych punktach regulacji,
- niestacjonarne obliczenia przepływowe CFD komory stopnia regulacyjnego w wybranym najeździe mocy,
- obliczenia wytrzymałościowo-dynamiczne MES wieńca wirnikowego i pierścienia kierującego przy wymuszeniach w warunkach pracy nominalnej i częściowego obciążenia z uwzględnieniem wyników obliczeń CFD,
- ocenę konstrukcji i warunków pracy stopnia regulacyjnego pod kątem ich wpływu na zaistniałą awarię,
- analizę metaloznawczą elementów stopnia regulacyjnego, które uległy awarii,

- kompleksową analizę i ocenę wyników badań,
- sformułowanie wniosków dotyczących przyczyn awarii,
- sformułowanie zaleceń dotyczących eksploatacji turbiny i oceny żywotności.

Ocena wyników badań

Sformułowane w opracowaniu producenta

Na podstawie przeprowadzonych zabiegów obróbczych stwierdzono, że wał był wolny od wskazań o charakterze pęknięć.

Mikrostruktura wału nie ujawniała zmian zmęczeniowo-pętaniowych ani innych osłabień eksploatacyjnych. W miejscach wykonania zgładów materiał posiadał jednorodną drobnoziarnistą strukturę oraz twardość. Na podstawie wystawionych metryk nie zaobserwowano skrzywienia wału.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wał nadaje się do remontu, a po naprawie do dalszej eksploatacji. Zakres uszkodzeń otopatkowania wirnika spowodował konieczność wykonania 100% nowych łopatek wirnikowych. W trakcie wykonywania badań stwierdzono brak możliwości roztopatkowania stopni 4-8 wirnika. Roztopatkowanie było niezbędne do kontroli stanu wrębów łopatkowych w celu dopuszczenia wału do dalszej eksploatacji. Jedynym sposobem demontażu tych łopatek było ich wytoczenie. Stopnie 1-3 zostały zniszczone w trakcie awarii w sposób uniemożliwiający ich odtworzenie; uszkodzenia stopni 9-19 były również znaczne. Odzyskanie części łopatek wiązałoby się z czasochłonnym i kosztownym badaniem każdej z osobna. Ponadto z doświadczenia wiadomo było, że montaż większych pakietów nowych łopatek, w istniejącym wieńcu, jest praktycznie niemożliwy.

Stwierdzono, że naprawa zniszczonego zaczełu w kadłubie dla pierścienia kierującego nie gwarantuje bezpiecznej pracy turbiny. Zalecono wykonanie nowych odlewów kadłuba.

Sformułowane w opracowaniu IMP PAN w Gdańsku

Klasyczne narzędzia pomiarowe i klasyczne narzędzia obliczeniowe wskazały, iż nie wystąpił żaden ze znanych mechanizmów awarii.

Obliczenia symulacyjne pokazały, że takie klasyczne mechanizmy degradacji jak:

- cykliczne uplastycznianie,
- niskocykliczne zmęczenie termiczne,
- niskocykliczne zmęczenie pętaniowe,
- wysokocykliczne zmęczenie wywołane pulsacjami przepływu,

- nadmierne rezonansowe drgania wymuszone, nie występują w komorze kotła regulacyjnego.

Należało więc stawiać hipotezy, co do możliwych mechanizmów zniszczenia i szukać przyczyn drugorzędnych i niebezpośrednich. Przykładowo, jednym z hipotetycznych mechanizmów zniszczenia stopnia mogło być wprowadzenie do przestrzeni uszczelnienia niewielkiego elementu metalowego. Mogło to stać się za sprawą przyczyn ludzkich podczas postoju. Mógł to być również metalowy wiór czy skorodowany element kotła oderwany przez przypadkowe uderzenie młota (mniejszy niż przelot sit zaworów regulacyjnych).

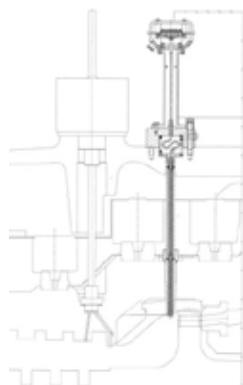
Taki metalowy element mógł podczas pracy nocnej (mniejszy strumień) przyjmować inną pozycję (zbierać drobiny nadtopionego metalu) niż podczas pracy dziennej (toczyć drobiny metalu), co przyczyniło się do jego powiększania i głębszego usadowienia w uszczelnieniu. Lokalne nagrzewanie powodowało zmniejszenie się szczeliny uszczelnienia, a to prowadziło do dalszego „nadtapiania” obu części bandaża i wyfrezowanej części pierścienia kierującego. Takie mikrodziałania nie były zauważane przez system pomiarowy (również nie można ich zasymulować numerycznie).

Gdyby w obrębie stopnia znajdował się termometr, to podwyższona temperatura pary (np. 6000C) od razu wskazałaby na występowanie wysokich temperatur nadtapiającego się metalu. Po nadtopieniu obie części zarówno stopień, jak i pierścień kierujący straciły dużo materiału i wytworzyła wolna przestrzeń dla dalszej deformacji górnej części pierścienia kierującego, która z racji siły grawitacji miała pewną przewagę nad dolną częścią i uderzała ją napędzana ruchem obrotowym stopnia. Po pewnym czasie, podczas zmian powodowanych regulacją, nadtopiony i zeskrawany pierścień kierujący pękł na trzy części i część środkowa - najluźniejsza – opadła i oparła się o wirnik, powodując jego osiowe przemieszczenie. Dopiero te przemieszczenie wirnika zostało zanotowane przez urządzenia pomiarowe. Potem następowało dalsze „utożenie” się środkowego kawałka pierścienia kierującego podczas regulacji nocno-dziennych, prowadząc do sporadycznych wskazań przesunięć wirnika. Podczas kolejnych „utożeń” pierścienia kierującego oderwał się duży jej element, który uderzył w łopatkę wirnikową pierwszego stopnia i wyrwał ją. Nastąpiła duża niewywaga wirnika i wtedy układ zabezpieczeń wyłączył turbinę. Ten moment uznaje się za czas nastąpienia właściwej awarii. Oczywiście, możliwe są do przemyślenia inne mechanizmy zniszczenia powodowane elementami drugo- lub trzeciorzędnymi, które przez przypadek stają się zarodkiem awarii.

Podany powyżej hipotetyczny mechanizm jest jednym z prawdopodobnych. W trakcie eksploatacji zdarzają się skomplikowane mechanizmy, koincydencja czynników, których wpływ na pracę urządzenia jest trudny do wcześniejszego rozpoznania.

Stopień wirnikowy koła regulacyjnego jest elementem pracującym w obszarze najwyższych ciśnień i temperatur. Pierwsza awaria, kiedy to uszkodzenia nastąpiło także na łopatkach wirnikowych koła regulacyjnego części WP, miała miejsce w innej elektrowni. Wynikiem analizy tej awarii była zmiana sposobu wykonania koła regulacyjnego na wykonany z odkuwki pierścień, w którym drażone są łopatki. Tak więc awaria, która nastąpiła na bloku nr 3 była drugą tego typu i na bloku nr 2 – trzecią. Samowolnie nasuwa się wątpliwość, czy nie mamy tu do czynienia z problemem w obszarze konstrukcji lub przepływu. Wykonanie analiz przepływowych przy pomocy metod numerycznych pozwalało na wyjaśnienie kwestii wpływu reżimu eksploatacyjnego na rozkład sił i temperatury w stopniu regulacyjnym turbiny.

W momencie zaistnienia awarii, konstrukcje koła, w przypadku wkładów turbin na blokach nr 3 i 2, były różne. W związku ze zniszczeniem całości wieńca wkładu z bloku nr 2, określenie przyczyn awarii było praktycznie niemożliwe. Jeżeli jednak ze względu na różnice konstrukcyjne kół wykluczy się ten element jako ognisko awarii, to wniosek będzie taki, że przyczyny i przebieg awarii były różne dla obydwu bloków. Pomimo to fakt zaistnienia dwóch, tak dużych awarii w jednym czasie na maszynach o stosunkowo krótkim czasie eksploatacji, w zestawieniu z wieloletnią eksploatacją bliźniaczych maszyn, każe szukać wspólnego mianownika dla tych zdarzeń. Może to być np. konstrukcja pierścienia kierującego lub reżim eksploatacyjny.



W oparciu o przeprowadzone badania wprowadzono szereg zmian. Uzupełniono system pomiarowy o nowy element mierzący temperaturę w obrębie koła regulacyjnego.

Rys. 8.

Pomiar temperatury w komorze koła regulacyjnego

Dokonano zmiany materiału pierścienia kierującego, aby odnowić „moralnie” pierścień kierujący i zwiększyć zapas bezpieczeństwa.

Elektrownia, uzupełniając system pomiarowy, wniosła poprawki do systemu diagnostycznego. Odbywa się to w systemie „podwójnej diagnostyki”: pierwszej klasycznej i drugiej, opartej o „referencjalny stan obliczeniowy” turbiny, przeznaczonej dla nadzoru inżynierskiego i wykonywanej w trybie „prognozowania remontów” i monitorowania zużycia i degradacji eksploatacyjnej.

W celu wykonania tej ostatniej oraz w celu poprawy bezpieczeństwa eksploatacyjnego oraz wyposażenia turbin w obliczeniowy model parametrów pracy stopnia regulacyjnego, zlecono do IMP PAN w Gdańsku wykonanie szeregu prac i symulacji numerycznych:

1. Przygotowanie geometrii i modeli obliczeniowych do analiz żywotności stopnia regulacyjnego
2. Wykonanie trójwymiarowej analizy przepływowej stopnia regulacyjnego z uwzględnieniem pełnej geometrii skrzynek dyszowych i wlotów w celu określenia parametrów pary za skrzynkami dyszowymi.
3. Wykonanie trójwymiarowej analizy przepływowej rozgrzewania się tarczy stopnia regulacyjnego z częścią wału na bazie warunków brzegowych wyliczonych w analizie wyżej.
4. Wykonanie analizy rozkładu naprężeń cieplnych występujących w tarczy stopnia regulacyjnego i części wału wirnika.
5. Określenie założeń do algorytmu zliczającego ubytek żywotności w stopniu regulacyjnym w poszczególnych etapach niestacjonarnej pracy turbiny.

Analizy wykonano dla następujących stanów przejściowych:

- stan ustalony turbiny,
- start turbiny ze stanu zimnego,
- start turbiny ze stanu ciepłego,
- start turbiny ze stanu gorącego,
- odciążenia turbozespołu z mocy,
- obciążenia turbozespołu mocą,
- odstawienia turbozespołu.

Narzędzia obliczeniowe dla obliczania wytrzymałości dynamiki pełzania i zmęczenia elementów turbiny

Poniżej przedstawiono narzędzia, jakimi Zakład Konwersji Energii IMP PAN w Gdańsku posługuje się w analizowaniu wymienionych w tytule zjawisk. Narzędzia te służą do trójwymiarowego modelowania zagadnień związanych z takimi elementami konstrukcyjnymi turbiny jak: kształtowanie łopatek wolnonośnych i zintegrowanych, zamocowanych w tarczy lub bezpośrednio w wale, drganiami własnymi oraz wymuszonymi, konstrukcji swobodnej lub wstępnie już napiętej, wysokotemperaturowego pękania elementów części WP, plastyczności ze zniszczeniem wywołanym gradientami temperatury w trakcie rozruchu i odstawień, zmęczeniu wysokocyklowym łopatek wolnonośnych etc. Na początku niniejszego rozdziału zostaną omówione bilanse używane do modelowania, równania konstytutywne opisujące poszczególne zjawiska. Zostanie podany sposób obliczania obciążeń pochodzących od obrotów wirnika i przepływu czynnika roboczego.

Równanie bilansów masy, pędu i energii

W ciele stałym, zupełnie tak samo jak w płynnym czynniku roboczym, obowiązują te same równania bilansów masy, pędu i energii oraz równania ewolucji, znane pod następującą postacią:

$$\partial_t U + \text{div}(\mathbf{F}^c + \mathbf{F}^e) = \text{div}(\mathbf{F}^v) + S$$

Jest to postać związana z opisem Eulera wygodnym dla modelowania przepływów płynów roboczych – w przypadku obliczania ruchu, deformacji i transportu energii w ciele stałym, którego wyjściowa geometria jest dobrze znana, numerycznie wygodnym sformułowaniem równań opisujących jest zastąpienie pochodnej lokalnej po czasie ∂_t pochodną materialną (lub substancjalną) działającą na dowolny wektor $\mathbf{c}$ w następujący sposób:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{c} = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{c} + \mathbf{v} \cdot \text{grad} \mathbf{c} = \dot{\mathbf{c}}$$

gdzie $\mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$ wektor prędkości ośrodka. Pochodną materialną d/dt oznaczamy, dla zwięzłości opisu, również kropką np.: $\dot{\mathbf{c}}$

Układ równań mający postać zachowawczą*¹ wyrażony poprzez pochodną materialną przyjmuje teraz następującą nie zachowawczą postać:

bilans masy:

$$\frac{d}{dt}\rho + \rho \operatorname{div} \mathbf{v} = 0$$

bilans pędu:

$$\frac{d}{dt}\rho \mathbf{v} + \rho \operatorname{div} \mathbf{T} + \rho \mathbf{b} = 0$$

bilans energii:

$$\frac{d}{dt}\rho U = \mathbf{T} \cdot \mathbf{D} + \operatorname{div} \mathbf{q} + \rho r = 0$$

Podobnie jak w ciele płynnym powyższe bilanse uzupełnione są algebraicznym bilansem momentu pędu wymagającym, aby tensor strumienia pędu był symetryczny:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}^T$$

Równanie to zwykle spełnia się poprzez określenie symetrycznych równań konstytutywnych na $\mathbf{T}$. Tensor ten nazywa się strumieniem pędu Cauchy'ego lub tensorem naprężeń.

Równania bilansu pędu i energii w wirującym układzie odniesienia

Podobnie jak opis zjawisk przepływowych w kanałach wirnika obracającego się z prędkością kątową 3000 obr/min, opis transportu pędu i energii w deformującym się wirującym wirniku wymaga korzystania z układu równań opisujących kontinuum w ruchomym nieinercyjnym układzie odniesienia. Będziemy tu korzystać z wyników pracy W. Pietraszkiewicza oraz skryptu J. Badura, gdzie wyprowadza się spójne sprzęgnięte z sobą postacie trójwymiarowe (3D) i zerowymiarowe (0D) równań bilansu pędu, energii².

Wynika z nich, że zasadniczą różnicą w postaci równań pędu i energii jest fakt, że prędkości i przyspieszenia układu niewirującego i wirującego związane są z sobą następującymi związkami:

$$\mathbf{v} = \mathbf{u} + \mathbf{w}$$

$$\mathbf{a} = \dot{\mathbf{w}} + \{2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{w} + \dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{x} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{x})\} = \mathbf{a}_w + \mathbf{b}_{\text{fic}}$$

¹ Postać zachowawcza bilansów pozwala w łatwy sposób zamienić rozbieżności (div) strumieni $\mathbf{F}^c, \mathbf{F}^e, \mathbf{F}^v$ na operację całki po brzegu

gdzie $\mathbf{u} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{x}$ jest liniową prędkością unoszenia punktu odległego od $\mathbf{x}$ od punktu zaczepienia znajdującego się zwykle na osi wirnika, $\boldsymbol{\omega}(t)$ jest prędkością kątową wirowania. Prędkość ta jest zmienna w trakcie pierwszego etapu startu turbiny i ostatniego etapu odstawienia turbiny. W pozostałych okresach jest niezależna od czasu. Kierunek wirowania jest stały i pokrywa się z kierunkiem aksjalnym głównego przepływu przez turbinę tzn. $\boldsymbol{\omega} = \omega \mathbf{e}_a$, a wektor sił fikcyjnego ciężenia, składający się z siły Coriolisa i siły przyspieszenia odśrodkowego ma postać :

$$\mathbf{b}_{\text{fic}} = 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{w} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{x}) = (\quad) \mathbf{e}_r + (\quad) \mathbf{e}_u ,$$

Przy założeniu, że rozwiązany jest ogólny stan prędkości, gdzie $\mathbf{e}_a, \mathbf{e}_u, \mathbf{e}_r$ baza wektora aksjalnego, unoszenia i merydialnego wirującego układu współrzędnych.

Bilans pędu ma, po podstawieniu, postać:

$$\rho \mathbf{a}_w = \text{div} \mathbf{T} + \rho(\mathbf{b} + \mathbf{b}_{\text{fic}}).$$

W postaci tej nie zmienia się człon określający rozbieżności strumienia pędu Cauchy'ego, bowiem jest on zapisany w sposób absolutnie niezależny od układu odniesienia.

Addytywna dekompozycja prędkości odkształcenia

Wpływ mikrostruktury na ruch (przepływ) czynnika modelowanego osiągnąć poprzez addytywne uzupełnienie strumienia pędu o odpowiednie wkłady pochodzące od mikrostruktury. Były to, przykładowo, turbulentny strumień Reynoldsa $\mathbf{R} = \mathbf{R}^T$, dyfuzyjny strumień pędu, czy transpiracyjny strumień pędu etc. W przypadku ciała stałego, posiadającego wstępną sprężystość, wpływ poszczególnych zjawisk na ruch sumuje się w sposób addytywny w postaci wydzielenia w całkowitym odkształceniu członów odpowiedzialnych za poszczególne zjawiska. Ten postulat zapisuje się matematycznie jako:

$$D_{ij} = \dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}_{ij}^{el} + \dot{\epsilon}_{ij}^{\theta} + \dot{\epsilon}_{ij}^{pl} + \dot{\epsilon}_{ij}^{cr} + \dot{\epsilon}_{ij}^{ph} + \dot{\epsilon}_{ij}^{ch} + \dot{\epsilon}_{ij}^{TP} + \dot{\epsilon}_{ij}^{PT} + \dots \quad i, j = x, y, z$$

² Dzięki temu pojęcie „rotalpii” nie pojawia się w modelowaniu OD niespodziewanie

³ Gdy w miejsce wektora $\mathbf{x}$ wprowadzić odległość r rozpatrywanego punktu od osi obrotu w płaszczyźnie prostopadłej do osi wirnika to $\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{x}) = \omega^2 r \text{grad}(r) = \omega^2 r \mathbf{e}_r$ odśrodkowej

gdzie indeksy górne oznaczają odpowiednio składniki:

$\dot{\varepsilon}_{ij}^E$ - prędkość odkształceń związanych z naprężeniami aktualnymi związkami Hooke'a

$\dot{\varepsilon}_{ij}^T = \beta(T - T_0)\delta_{ij}$ - prędkość sferycznych odkształceń termicznych

$\dot{\varepsilon}_{ij}^P = \frac{\lambda \sigma}{\sigma_{ij}}$ - prędkość nieściśliwych odkształceń plastycznych gdzie:
 λ - parametr płynięcia, Φ - funkcja plastyczności, to dewiator tensora naprężeń Cauchy'ego.

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{CP} = \dot{\varepsilon}^{CP} S_{ij}$ - prędkość odkształceń pełzania w izotropowym modelu Nortona,

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{Ch}$ - prędkość tensora odkształceń Baina wyrażonego przejściami fazowymi między austenitem, martenzytem, bainitem, perlitem,

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{ch} = \dot{\varepsilon}^{ch}(c_k, \nabla \varepsilon_k, s_k)$ - prędkość sferycznego odkształceń chemicznych wywołanych lokalnymi deformacjami produktów reakcji chemicznych,

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{TP}, \dot{\varepsilon}_{ij}^{PT}$ - prędkość tensora odkształceń plastycznych wywołanych przemianą fazową i odpowiednio prędkość tensora odkształceń przemiany fazowej indukowanej plastycznymi odkształceniami. Oba te odkształcenia opisują degradację stali stopowych w trakcie niezamierzonych cyklicznych przejść fazowych.

Addytywność zawarta w formule nie oznacza całkowitej addytywności poszczególnych zjawisk, które mogą być z sobą sprzęgnięte bezpośrednio na poziomie równań ewolucyjnych, a nie sprzęgnięte poprzez równania ruchu. Przykładowo, model Mroza dotyczący pełzania materiału wcześniej uplastycznionego, opisuje tego rodzaju sprzęgnięcia poprzez równania ewolucyjne. Innego rodzaju sprzęgnięcia na pozór równań ewolucyjnych, rozpatrywane były w pracach: Kucharskiego, doktoranta Zakładu Konwersji Energii.

Ewolucje odkształceń sprężystych

Stale i stopy wykorzystywane w energetyce wykazują liniowy izotropowy związek Hooke'a między odkształceniami i naprężeniami:

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl} \varepsilon_{kl} = 2\mu \varepsilon_{ij} + \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij},$$

gdzie stałe Lamé są związane z modułem Young'a i stałą Poissona w następujący sposób:

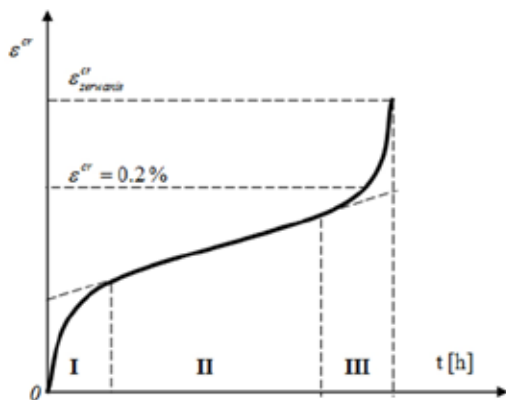
$$\lambda = \frac{\nu E}{1 + \nu}, \quad \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Pętlanie wysokotemperaturowe

Długotrwała eksploatacja w podwyższonych temperaturach żarowytrzymałych i żaroodpornych stali i staliw energetycznych (12 HMF, 10H2M, L21HMF), pracujących w zakresie odkształceń sprężystych i nawet stosunkowo niskich naprężeń, prowadzi do znacznych, trwałych odkształceń pętlania. Pojawienie się tych odkształceń jest skutkiem wysokotemperaturowej dyfuzji międzykrystalicznej po granicach ziaren prowadzącej do powstawania węglików (M_6C , M_2C , $M_{23}C_6$, M_7C_3) oraz segregacji fosforu [Stuckura]. W zależności od składu chemicznego i udziału Cr-Mo-V w miejsce atomu M może wchodzić chrom, mangan lub molibden. **Trzeba również pamiętać, że duża koncentracja węglików chromu jest „oknem” dla szybkiego rozwoju korozji naprężeniowej.**

Modelowanie pętlania wysokotemperaturowego opiera się na przedstawieniu odpowiedniej ewolucji odkształcenia pętlania $\dot{\epsilon}^{cr}_{ij}$ i towarzyszącego zniszczenia pętlania $\dot{D} = \dot{D}^{cr}$.

Pomierzone średnie odkształcenia pętlania $\dot{\epsilon}^{cr}$ w czasie dla większości staliw i stali żarowytrzymałych posiadają charakterystykę, w której można wyróżnić trzy fazy (Rys. 9).



Rys. 8. Etapy pętlania wysokotemperaturowego

Modelowane następującymi fenomenologicznymi równaniami ewolucji:

Faza III: $\dot{\varepsilon}^{cr} = K \left(\frac{\sigma}{1-D} \right)^{m(t)}$ (Kachanov-Robotnov)

Faza II: $\dot{\varepsilon}^{cr} = K(\sigma)^{E(t)}$ (Norton)

Faza I: $\dot{\varepsilon}^{cr} = K(\varepsilon^{cr})^{-n} (\bar{\sigma})^{m(t)}$ (Lemaitre)

Najważniejszą fazą jest faza druga opisywana modelem Nortona o dwóch stałych K i m . Model ten zezwala oszacować wielkość odkształcenia pełzania w trakcie ustalonej eksploatacji. W Zakładzie Konwersji Energii opracowano, zaimplementowano i wytestowano modele pełzania ustalonego (II faza) i pełzania ze zniszczeniem (III faza) (Bielecki, Kucharski, Wiśniewski).

- **Model NU**

Jest to model pełzania ustalonego izotropowego, nieściśliwego w którym prędkość pełzania jednoosiowego opisana jest formułą Nortona:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr} = \frac{3 \dot{\varepsilon}_{ij}^{cr} S_{ij}}{2 \sigma_{HMH}}, i, j = x, y, z$$

- **Model ORNL**

Jest to model anizotropowego pełzania nieustalonego:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr} = \frac{3}{2} \frac{\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr}}{\sigma_{HMH} (\bar{\varepsilon}_{ij} - \varepsilon_{ij}^{cr})}$$

gdzie parametr wzmocnienia

$$d = (Re_0 \cdot 2 - Re_{100000}) \left(\varepsilon_{eff}^{cr} - \frac{Re_{100000}}{E} \right)$$

$$\varepsilon_{eff}^{cr} = \varepsilon_{HMH}^{cr},$$

$\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr}$ - obliczane jest wg zależności Lemaitre opisującej Fazę I.

- **Model MKR**

Jest to model ze zniszczeniem typu Kachanova-Robotnova, który posiada taką samą formułę na $\dot{\varepsilon}_{ij}^{cr}$ jak model Nortona, natomiast zamiast prędkości jednoosiowego rozciągania (równanie opisujące Fazę III) posiada następujące równanie ewolucyjne:

$$\dot{\epsilon}^{cr} = K \left(\frac{\sigma_{HMH} (1 + \delta \dot{\epsilon}^{cr})}{1 - D} \right)^{m(T)}$$

- Model Gursona- Bieleckiego

Model plastyczności ze zniszczeniem Gursona został adoptowany przez Bieleckiego do zagadnień pełzania poprzez wprowadzenie porowatości (model ściśliwego pełzania):

$$\dot{\epsilon}_{ij}^{cr} = \frac{3}{2} \frac{\dot{\epsilon}^{cr}}{\sigma_{HMH}} S_{ij} + \frac{2}{3} \dot{\epsilon}^{sw} \delta_{ij}$$

w którym ewolucja objętościowych odkształceń pełzania opisana jest następująco :

$$\dot{\epsilon}^{sw} = \begin{cases} \frac{3}{2} \dot{\epsilon}^{cr} \cdot q \cdot D \cdot \sinh\left(\frac{3}{2} \frac{p}{\sigma_{HMH}}\right), & p > 0 \\ 0, & p \leq 0 \end{cases}$$

i zależy od trójosiowości stanu naprężenia, poprzez stosunek $\frac{p}{\sigma_{HMH}}$

$$p = \frac{1}{3} \sigma_{ii} = \frac{1}{3} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})$$

oraz od wielkości zniszczenia (porowatości wywołanej węglnikami) D oraz nowej stałej q oraz klasycznie wyznaczonych statych Nortona K i $m(T)$

W Zakładzie Konwersji Energii IMP PAN zaimplementowano również model Jonesa-Bagley'a (nieustalone pełzanie ze zniszczeniem) oraz model Stobryieva pełzania z funkcjami naprężeń zastępczych Stobryieva ($\sigma_{HMH} \rightarrow \sigma_{Stobryiev}$). Ostatnie dwa modele nadają się do symulacji numerycznej pełzania niskotemperaturowego.

Odształcenia termiczne

Termiczna część procesu deformacji związana jest z objętościową rozszerzalnością cieplną materiału i zależy od temperatury T :

$$\epsilon_{ij}^0 = \alpha^t (T - T_0) \delta_{ij}$$

gdzie: $\alpha^t(T)$ - to współczynnik rozszerzalności liniowej, który może się zmienić z temperaturą oraz $T_0 = 20^\circ\text{C}$ to temperatura odniesienia (montażu). Aby wyrazić prędkości zmiany odkształceń termicznych, należy zróżniczkować wyrażenie tak, aby otrzymać:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{\theta} = \hat{\alpha}^t(T, T_0) \dot{T} \delta_{ij},$$

gdzie funkcja $\hat{\alpha}^t(T, T_0)$ ma postać:

$$\hat{\alpha}^t = \frac{d\alpha(T)}{dT} (T - T_0) + \alpha^t(T).$$

Odształcenia produktami korozji

Odształcenia produktami korozji ε_{ij}^{ch} mają przyczynę chemiczną podobną do tej, która występowała w modelu pęcznienia Gursona-Bieleckiego. Różnica jest w tym, że odkształcenia objętościowe wywołane produktami pęcznienia (węglnikami) mogą pojawiać się tylko wtedy, gdy istnieje wcześniej stan pęcznienia wywołanego naprężeniami, natomiast produkty reakcji korozji (np. metan) mogą pojawiać się w początkowo swobodnym, nie obciążonym materiale i dopiero one (podobnie jak objętościowe odkształcenia termiczne) mogą wywoływać stan naprężeń. Stąd objętościowe odkształcenia pęcznienia dodano do całego tensora pęcznienia, zaś odkształcenia objętościowe ε_{ij}^{ch} występują osobno.

Wydzielenie ε_{ij}^{ch} , z równania opisującego prędkość odkształceń opisanego wcześniej, ma na celu opisanie korozji postojowej, podczas której nie tylko „pracują” równania „reakcji-dyfuzji”, ale również poprzez ε_{ij}^{ch} uruchamiane jest równanie pędu prowadzące do powstawania wstępnych naprężeń lub do dalszej redystrybucji naprężeń resztkowych. Ustalenie postaci równania ewolucji odkształceń chemicznych:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{ch} = \varphi(c_k, S^{ch}, \sigma, \varepsilon^{in}, D) \Xi_{ij}, \quad i, j = x, y, z$$

jest samym w sobie trudnym problemem badawczym, wymagającym skomplikowanej kalibracji statycznych oraz odpowiednich benchmarkowych eksperymentów. Wydaje się, że najbliższym sukcesu są próby opisu tym równaniem zjawisk kruchości wodorowej, które posiadają liczne eksperymenty i są dostępne dane literaturowe.

Ewolucja parametrem zniszczenia

Parametr zniszczenia D , występujący w modelach odkształceń niesprężystych pomyślany jest jako uzupełnienie opisu degradacji materiału w tych obszarach obciążeń, gdzie występują znaczne deformacje trwałe i znaczne rozbieżności z modelami „jednozjawiskowymi”⁴. Parametr zniszczenia i jego ewolucja sprzęga różne zjawiska, których dominacja w trakcie eksploatacji może się zmieniać, a nawet zanikać. Wielkość D występuje zarówno w modelu plastyczności ze zniszczeniem, modelach pełzania ze zniszczeniem, jak i modelu korozji naprężeniowej czy lepko-plastycznego zniszczenia.

W literaturze spotyka się szereg modeli opisujących ewolucję zniszczenia, natomiast w obszarze zainteresowania Zakładu Konwersji Energii IMP PAN leżą modele, które są najbardziej dostosowane do opisu zniszczenia występującego w turbinach parowych. Są to między innymi:

- zniszczenie typu Gursona (Bielecki)

$$\dot{D} = \dot{D}_n + \dot{D}_g = A \dot{\epsilon}^{pl} + (1 - D) \dot{\epsilon}_{kk}^{pe}, \quad D \geq D_{min},$$

gdzie $\dot{D}_n$ opisuje szybkość nukleacji tworzenia się „plastycznej porowatości”, zaś $\dot{D}_g$ opisuje szybkość wzrostu porowatości. Prędkości $\dot{\epsilon}^{pl}$ i $\dot{\epsilon}_{kk}^{pe}$ oznaczają prędkości odkształceń plastycznych. Współczynnik określony jest empirycznie, jako funkcja:

$$A = \frac{f_n}{S_n \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon^{pl} - \epsilon_n}{S_n} \right)^2 \right]$$

Model ten posiada 4 stałe: $D_{min}, f_n, S_n, \epsilon_n$

- zniszczenie Kachanova-Robotnova

Dostosowane jest ono do opisu zniszczenia w trzecim etapie pełzania i posiada postać:

$$\dot{D} = A \left[\frac{\sigma_{HMH} (1 + \epsilon^{cr})}{R_{\epsilon} (1 - D)} \right]^n$$

gdzie: A, n, R_{ϵ} to stałe modelu.

⁴ Ogólny termodynamicznie spójny model zniszczenia opracował ostatnio Stumpf i Hacke [2003].

- zniszczenie Bieleckiego

Opracowane ono zostało, jako adaptacja i rozszerzenie modelu Gursona do zagadnień pękania nieustalonego. Kalibrację i opis tego modelu znajdujemy w rozprawie doktorskiej Bieleckiego.

- zniszczenie Chaboche'a

Jest to zniszczenie do dużych prędkości deformacji i dużych energii kinetycznych z wykorzystaniem materiałów lepkoplastycznych:

$$\dot{D} = \left(\frac{D_y}{K_D} \right)^m \epsilon^{1/n}$$

gdzie K_D i m są statymi, natomiast naprężenia zastępcze D_y ma postać:

$$D_y = \frac{1}{2(1-D)^2} \left[\frac{2}{3}(1-\nu)\sigma_{HH}^2 + 3(1-2\nu)\sigma_{ii}^2 \right]$$

- niskocyklowe zniszczenie Duddy

Dostosowane jest ono do niskocyklicznych zniszczeń wywołanych gradientami termicznymi, korozją naprężeniową oraz zjawiskiem rattechingu i nierównomiernego plastycznego wzmocnienia. Za kryterium zniszczenia przyjęto osiągnięcie pewnego poziomu energii dysypowanej, narastającej w poszczególnych cyklach. Drugim ważnym kryterium, podstawowym dla określenia dalszej eksploatacji jest tempo narastania energii dysypowanej – szczególnym przypadkiem, korzystnym dla żywotności konstrukcji, jest wysycanie się krzywej wzrostu energii dysypowanej wskazujące na tzw. uogólniony shakedown, czyli ostateczne dostosowanie się konstrukcji do programu obciążeń chemiczno-mechaniczno-termicznych w cyklu „start - praca-odstawienie-postój”.

- zniszczenie dyfuzyjno-chemiczne Kucharskiego

Uniwersalny model opisu zniszczenia ujmujący wszystkie wyżej wymienione efekty oraz nowe efekty takie jak:

- wpływ środowiska poprzez udział stężeń domieszek,
- wpływ pH środowiska i obecności potencjałów elektrycznych,
- wpływ rodzaju obróbki powierzchni,
- wpływ rodzaju środowiska w trakcie korozji postojowej,
- wpływ produktów reakcji chemicznych towarzyszących korozji naprężeniowej.

Opracował go w swojej rozprawie doktorskiej R. Kucharski:

$$\dot{D} = \text{div} \mathbf{F}^D + \mathbf{S}^e$$

gdzie: $\mathbf{F}^D$ oznacza strumień składników wnikaających do wnętrza materiału, $\mathbf{S}^e$ oznacza źródło inicjacji zniszczenia w wyniku reakcji chemicznych zachodzących wewnątrz materiału.

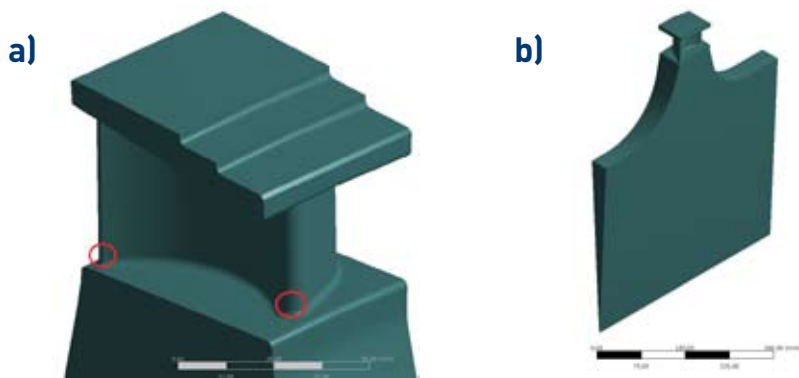
Model geometryczny

Na podstawie dokumentacji papierowej sporządzono modele 3D, na którym, po dyskretyzacji siatką elementów skończonych oraz objętości skończonych, wykonano numeryczne symulacje. Model geometrii wycinka wału w okolicy stopnia regulacyjnego pokazano na rysunku 11. Z uwagi na dużą symetrię geometryczną, a także osiowość zadawania warunków brzegowych dla analizy przepływowej, jak i mechanicznej, zdecydowano się przyjąć 1/64 geometrii, zadając w płaszczyźnie podziału warunki symetrii. Z uwagi, że zagadnienie miało charakter niestacjonarny, lecz liniowy, pozostające w obszarze prawa Hooke'a, zastosowano w analizie mechanicznej model solvera odpowiadający zagadnieniom termosprężystym. Zastosowane elementy posiadały 10 węzłów oraz kwadratowe funkcje kształtu. W każdym węźle rozwiązywane były trzy równania ruchu opisujące przemieszczenia w trzech kierunkach oraz równanie przewodzenia ciepła, posiadające temperaturę T , jako niewiadomą. Po wykonaniu obliczeń na siatce zgrubnej, zagęszczono elementy w miejscach występowania koncentracji naprężeń i powtarzano analizę. Siatkę zagęszczano do momentu, gdy wyniki nie zmieniały się więcej niż o 5%.



Rys. 10.

Widok ogólny wirnika stopnia regulacyjnego



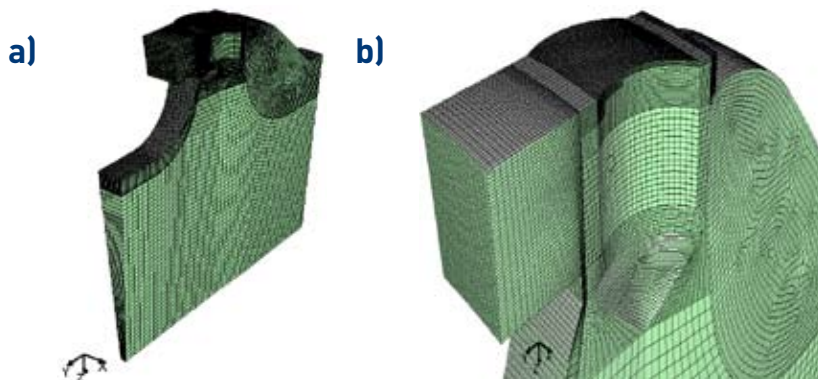
Rys. 11. Wycinek 1/64 stopnia regulacyjnego:
a) szczegół w okolicy łopatki z zaznaczeniem monitorowanych miejsc,
b) widok ogólny.

Na rysunku 12 pokazano model obliczeniowy dla symulacji numerycznej pary przepływającej przez wloty, skrzynki i palisadę wirnikową stopnia regulacyjnego.

Analiza miała na celu wyliczenie parametrów pary (ciśnienia, temperatury, strumieni masowych) za dyszami skrzynek zasilających. Wyniki tej analizy posłużyły jako warunki brzegowe dla symulacji rozgrzewania się wiatu wirnika w okolicy stopnia regulacyjnego w czasie 6 niestacjonarnych etapów pracy: rozruchów ze stanu: zimnego, ciepłego i gorącego, odciążenia i obciążenia mocą oraz odstawienia turbiny z pracy.



Rys. 12. Widok modelu obliczeniowego dla symulacji przepływowej, której celem było określenie parametrów pary za skrzynkami dyszowymi



Rys. 13. Widok modelu dyskretnego do obliczeń przepływowych wycinka 1/64 części wirnika stopnia regulacyjnego:
a) widok ogólny,
b) szczegół w okolicy łopatki

Na rysunku 13 pokazano model obliczeniowy, który posłużył do symulacji numerycznej rozgrzewania się wiatu w okolicy stopnia regulacyjnego, podczas niestacjonarnych etapów pracy turbiny. Obliczenia na siatce wykonane są metodą objętości skończonych. Naprężenia w wale policzone zostały przy pomocy metody elementów skończonych.

Dane materiałowe

Dla poprawnego przeprowadzenia obliczeń należało określić odpowiednie warunki brzegowe oraz zadać do solvera obliczeniowego odpowiednie dane materiałowe. Aby istniała możliwość rozwiązania równania różniczkowego przewodzenia ciepła w każdym węźle modelu, niezbędne było zdefiniowanie następujących danych: pojemność cieplna elementu c_p , przewodność termiczna λ oraz gęstość materiału przyjęta jako $7.76 \text{ E-9 tony/mm}^3$. Aby móc rozwiązać równanie pędu w węzłach, należało podać: współczynnik sprężystości podłużnej E , liczbę Poissona oraz rozszerzalność termiczną materiału α . Analizowana część rotora wykonana jest z dwóch materiałów, połączonych ze sobą spawaniem. Wirnik wraz z częścią tarczy wykonany jest ze stali o oznaczeniu ST461TS, natomiast sam wieniec łopatkowy wraz z integralnym bandażem i częścią u dołu, umożliwiającą przyspawanie - ze stali ST12T. Wartości materiałowe przyjęte do symulacji komputerowej pokazano na rys. 14.

Analizując numerycznie, przepływowo i naprężeniowo okolice stopnia regulacyjnego w turbinie 18K375, w czasie 6 niestacjonarnych etapów pracy można postawić następujące wnioski:

- wszystkie etapy pracy: start ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego, odciążenie i obciążenie turbozespołu oraz odstawienie prowadzone są w sposób, w którym naprężenia są dalekie od zbliżenia się do granicy plastyczności materiału;
- wzrost temperatury przebiega zgodnie z wytycznymi norm nie przekraczając kilku stopni na minutę;
- czasy prowadzenia odciążeń i obciążeń turbozespołu są 2 razy dłuższe od tych, które gwarantowałyby optymalny gradient temperatury i zapewniły bezpieczne wzrosty naprężeń;
- konstrukcja samego stopnia jest zoptymalizowana pod względem wymiany ciepła i powstających naprężeń cieplnych, co świadczy o ciągłej pracy inżynierów nad udoskonalaniem konstrukcji;
- konstrukcja stopnia jest zoptymalizowana pod względem wytrzymałościowym, o czym świadczy równomierny rozkład naprężeń od wirowania i brak miejscowych skoków naprężeń i lokalnych wysp;
- największe naprężenia cieplne wyliczono w czasie rozruchu ze stanu gorącego, co stanowi o dużym zakresie bezpieczeństwa, jaki stopień posiada i dużej uwadze, jaką się przykłada do bezpiecznego przejścia pomiędzy kolejnymi stanami pracy turbozespołu.

Podniesienie bezpieczeństwa ruchowego turbiny

Jedną z podstawowych informacji, dotyczących bezpieczeństwa ruchowego, jest precyzyjne ustalenie maksymalnie możliwych ciśnień i temperatur oraz analiza przyczyn ograniczania ciśnienia i temperatury w komorze stopnia regulacyjnego. Producent turbiny określił wartość ciśnienia dopuszczalnego w komorze stopnia regulacyjnego na 15 MPa. Powstaje pytanie, jak na bezpieczeństwo i żywotność stopnia wpływają przekroczenia ciśnienia i temperatury w komorze koła regulacyjnego.

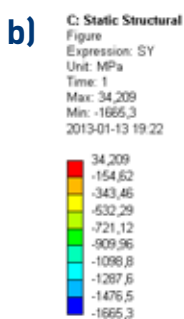
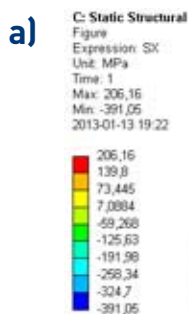
Zbyt wysoka temperatura pary świeżej może prowadzić do przekroczenia również dopuszczalnej temperatury pary w komorze stopnia regulacyjnego, naruszając tym samym bezpieczeństwo turbiny. Dlatego ten fakt staje się kluczowy w niniejszym opracowaniu - temperatura musi być precyzyjnie wyznaczana w odtworzeniowych obliczeniach przepływowych i wytrzymałościowych. Przekroczenie ciśnienia i zarazem temperatury w komorze stopnia regulacyjnego obniża bezpieczeństwo i pośrednio może przyczynić się do awarii układu topatkowego.

O ile ciśnienie w komorze stopnia regulacyjnego jest parametrem mierzonym „online”, o tyle temperatura pary jest nieznaną, ze względu na brak w korpusie turbiny odpowiednich gniazd na czujniki pomiarowe. Długotrwałe przekroczenie tej temperatury może powodować o wiele gorsze w skutkach zniszczenia stopnia regulacyjnego niż wspomniane przekroczenia ciśnienia. Wydaje się zatem być koniecznym pomiar tej temperatury, szczególnie w przypadku pracy turbiny w zmiennych warunkach obciążeń, gdyż jej kontrola i prawidłowy rozkład oraz czas stygnięcia i nagrzewania elementów składowych stopnia regulacyjnego i kadłuba zapewnia bezpieczną pracę turbozespołu.

Należy podkreślić, że pomimo przekroczenia niektórych parametrów pary świeżej w trakcie eksploatacji turbozespołu (rozruchy, odstawienia), krótkotrwały wzrost temperatury i ciśnienia pary nie prowadzi bezpośrednio do zniszczenia stopnia regulacyjnego. Aby precyzyjnie te fakty ustalić w niniejszej ekspertyzie przeprowadzono poniższe prace.

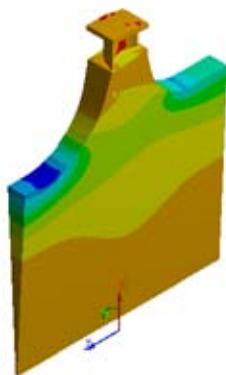
Studium regulacji poślizgowo-napętnieniowej

Polegało ono na kompletnym odtworzeniu kilku wybranych stanów ruchowych za pomocą narzędzi obliczeniowych 3D. Wykonano studium określające możliwości zwiększenia szybkości zmiany mocy (najazdy i zjazdy) w stosunku do danych referencyjnych, poprzez zastosowanie zmodyfikowanej regulacji poślizgowej oraz poprzez porównanie i dyskusję tych rozwiązań z aktualnie stosowanymi w Elektrowni. Sprawdzono i uzasadniono rodzaj stosowanej regulacji i potwierdzono jej bezpieczeństwo.



c)

C: Static Structural
Figure
Expression: S2
Unit: MPa
Time: 1
Max: 126,45
Min: -603,2
2013-01-13 19:22



Rys. 14.

Napężenia wyliczone dla czasu 480 s podczas symulacji startu ze stanu zimnego:

- a) promieniowe,
- b) obwodowe,
- c) osiowe

Opracowanie algorytmu obliczania temperatury pary w stopniu regulacyjnym WP

Algorytm zapewnia dokładne i niezawodne obliczanie ww. temperatury w oparciu o dostępne na turbinie pomiary, bez konieczności otwierania kadłuba.

Założenia do algorytmu zliczającego ubytek żywotności stopnia regulacyjnego

Opracowano niestacjonarne modele 3D pozwalające porównywać punkt krytyczny (łopatki wieńca wirnikowego) z pomiarami dokonywanymi w innych punktach, dość odległych od punktu krytycznego. Inaczej mówiąc, opracowane narzędzia dały wyniki pozwalające skorelować pomiary ciśnień i temperatur, mierzone na kadłubie ze stanem naprężeń mechanicznych i termicznych w wirującej łopatkach oraz dowolnym punkcie kadłuba i pierścienia kierującego. Uzyskane wyniki pozwoliły na opracowanie algorytmu zliczającego ubytek żywotności dla wzorcowych rozruchów zimnych, ciepłych i gorących oraz najazdów mocy – podobnie odstawienia i zjazdu. Algorytm zbudowano w oparciu o dotychczasową wiedzę mechaniki zniszczenia turbin. Wyznacza on stopień zniszczenia, przypadający na każdy stan niestacjonarny oraz na zniszczenie pełzaniem wysokotemperaturowym w pracy stacjonarnej.

Szczegółowe wnioski poszczególnych etapów

Studium regulacji napętnieniowo-poślizgowej

- aktualna regulacja najazdów i zjazdów mocy, w odniesieniu do regulacji referencyjnej ma największe znaczenie jedynie w odniesieniu do temperatur i ciśnień. Natomiast uzyskane wykresy mocy, sprawności, strat, strumieni masowych we wszystkich porównywanych przypadkach mają podobne wartości.
- aktualna regulacja w odniesieniu do regulacji referencyjnej, w ogólności, ma nieco mniejsze straty z uwagi na ograniczenie pracy w „zakresie mocy ujemnych”.
- aktualna regulacja w odniesieniu do regulacji referencyjnej ma mniejsze ciśnienia komory regulacyjnej i zasadniczo mniejsze gradienty temperatur w czynniku roboczym i powolniejszą ich zmianę w czasie.

Opracowanie algorytmu obliczania temperatury pary w stopniu regulacyjnym WP

Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają na wysnucie następujących wniosków szczegółowych:

- **w przypadku obliczeń zaworów odcinająco-regulacyjnych:**

Z racji dużej początkowej różnicy temperatur para-metal największe schłodzenie pary występuje podczas rozruchu zimnego, w początkowej jego fazie. Wpływ wymiany ciepła na drodze para – korpus zaworu na temperaturę wylotową z zaworu jest zauważalny przez około 70 min. od początku rozruchu (analogicznie dla rozruchu ciepłego jest 30 min., a dla rozruchu gorącego jedynie przez 15 min.). Po tym czasie następuje ustabilizowanie się temperatury pary wewnątrz komory zaworu odcinająco-regulacyjnego.

- **w przypadku obliczeń stopnia regulacyjnego:**

Spadek temperatury pary w stopniu regulacyjnym wskutek wymiany ciepła z kadłubem jest dużo mniejszy niż w przypadku zaworów. Wynika to z wcześniejszego schłodzenia pary przy przepływie przez zawory, w rezultacie czego początkowe różnice temperatur para-metal są dużo mniejsze niż w komorach. W praktycznych obliczeniach efekt schłodzenia w kadłubie można zaniedbać.

- **w przypadku algorytmu obliczania temperatury:**

Opracowany algorytm do obliczeń w trybie on-line temperatury pary w komorze stopnia regulacyjnego WP uwzględnia, zgodnie z założeniami, wszystkie najistotniejsze czynniki wpływające na tę temperaturę, jak wymiana ciepła z elementami układu dolotowego, dławienie na zaworach regulacyjnych, zmienną sprawność stopnia oraz stan rozrządu w trakcie rozruchu.

Procedury obliczeniowe charakteryzują się krótkimi czasami obliczeń i powinny zapewnić szybkie i niezawodne działanie algorytmu na sterowniku PLC.

Założenia do algorytmu zliczającego ubytek żywotności stopnia regulacyjnego

Analizując numerycznie, przepływowo i naprężeniowo okolice stopnia regulacyjnego w turbinie 18K370, w czasie 6 niestacjonarnych etapów pracy, można postawić następujące wnioski:

- wszystkie etapy pracy: start ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego, odciążenie i obciążenie turbozespołu oraz odstawienie prowadzone są w sposób, w którym naprężenia są dalekie od zbliżenia się do granicy plastyczności materiału,
- wzrost temperatury przebiega zgodnie z wytycznymi norm nie przekraczając kilku stopni na minutę,
- czasy prowadzenia odciążeń i obciążeń turbozespołu są ok. 2 razy dłuższe od tych, które gwarantowałyby optymalny gradient temperatury i zapewniały kontrolowane wzrosty naprężeń,
- konstrukcja samego stopnia jest zoptymalizowana pod względem wymiany ciepła i powstających naprężeń cieplnych.
- konstrukcja stopnia jest zoptymalizowana pod względem wytrzymałościowym, o czym świadczy równomierny rozkład naprężeń od wirowania i brak obszarów gwałtownych skoków naprężeń,
- największe naprężenia cieplne wyliczono w czasie rozruchu ze stanu gorącego, co stanowi o dużym zakresie bezpieczeństwa, jaki stopień posiada i dużej uwadze, jaką się przykłada do bezpiecznego przejścia pomiędzy kolejnymi stanami pracy turbozespołu.

Podsumowanie wyników i wniosków badań

W wyniku przeprowadzonych analiz i badań pokazano, że aktualny sposób prowadzenia regulacji przyczynia się, w porównaniu z regulacją referencyjną, do znacznego podwyższenia zapasów bezpieczeństwa wytrzymałościowo-żywnościowego, przy utrzymaniu parametrów przepływowych takich jak moc, sprawność i przelotność. Pokazano także, że temperatura komory regulacyjnej jest kluczowym parametrem związanym z bezpieczeństwem, stąd zasadnym jest jej monitoring on-line, na podstawie pomiarów w innych dostępnych punktach. Opracowano dedykowany algorytm obliczania temperatury. Dodatkowo, dzięki przebiegom temperatury, ciśnienia, naprężeń i odkształceń, opracowano algorytm zliczania żywotności w stopniu regulacyjnym w punktach wrażliwych dla bezpieczeństwa.



Wpływ obciążeń od rurociągów na rozkład sił w łapach korpusu turbiny

Piotr Mastela
ZRE Katowice SA

Wydział Projektowo-Technologiczny

Karol Trzebiński
ZRE Katowice SA

Wydział Armatury i Rurociągów

Podczas montażu lub remontu turbiny częstym wymaganiem producenta lub klienta jest zapewnienie, że rozkład sił w łapach turbiny jest równomierny. Należy potwierdzić, że sztywny korpus jest podparty w czterech punktach, a w szczególności, że rozbieżności w obciążeniach pomiędzy łapami prawej i lewej strony nie przekroczą 10-20% w zależności od wytycznych.

Ustalenie takiego położenia korpusu wymaga niezmienności po stronie geometrii stojaków wraz z ich kotwieniem, a także przyłączonych rurociągów. Te ostatnie, z racji specyfiki pracy, mogą zmieniać swój sposób oddziaływania na punkty przyłączeń do korpusu. Jak się okazuje, nawet mimo spełnienia warunków dopuszczalnych obciążeń na króćce korpusu, siły od rurociągów wpływają znacząco na rozkład sił w łapach korpusu, tym bardziej, im jest on lżejszy.

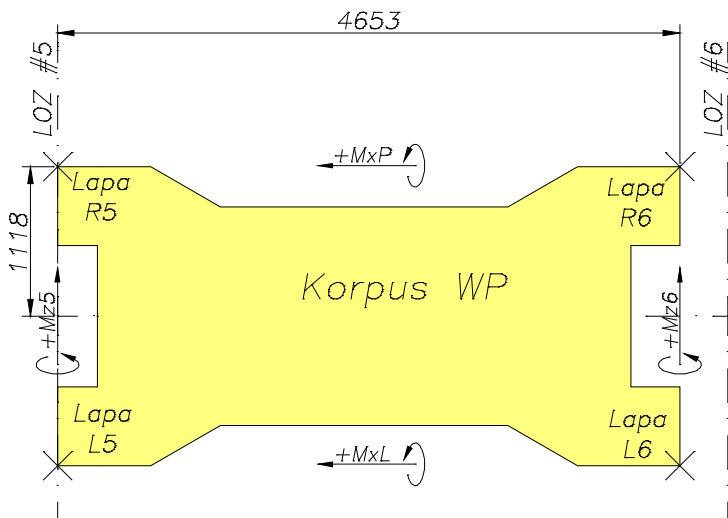
Niniejsza publikacja omawia obliczenia numeryczne wykonane dla łap nowej turbiny parowej o mocy 180MW oraz procedurę montażu głównych rurociągów parowych i rurociągów przyturbiniowych, instalowanych w 2015 roku w jednej z Polskich elektrowni.

Zakres obliczeń

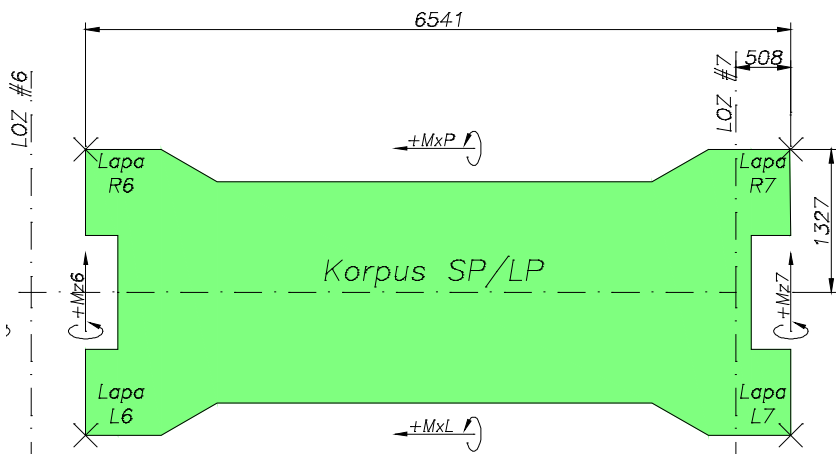
Rurociągi podłączone do turbiny wywierają obciążenia na króćce korpusu. Wypadkowe tych obciążeń przenoszą się na punkty podparcia korpusu-łapy, powodując redystrybucję obciążeń. Obliczenia, które wykonano, pokazały jaka jest odpowiedź łap na obciążenia króćcy.

Opis zagadnienia

Turbina składata się z części WP oraz SP/NP. Każda z części miała swój korpus ustawiony na czterech łapach, w układzie prostokątnym. Do każdej części podłączono 4 rurociągi parowe. Schemat statyczny korpusów pokazano na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Schemat statyczny części WP



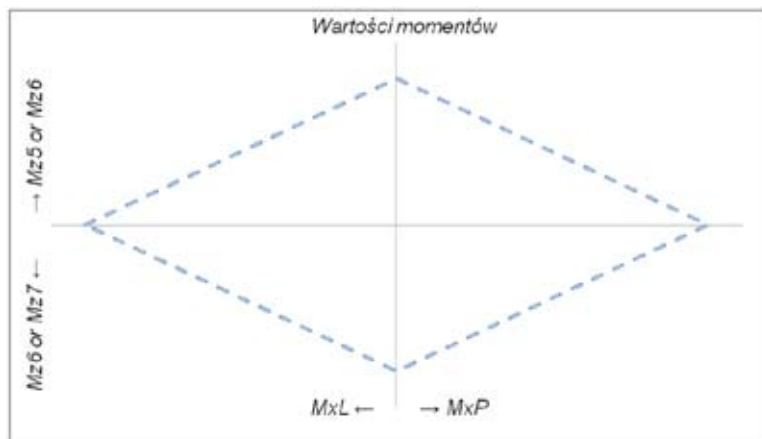
Rys. 2. Schemat statyczny części SP/LP

Limity obciążeń podane przez producenta turbiny dotyczyły nie tyle sił na łapach, co różnicy w tych siłach pomiędzy prawą a lewą stroną każdego korpusu. Ponieważ różnica sił, w połączeniu z rozstawem łap korpusu, generuje moment, można było jedną wartością momentu określić uogólnione dopuszczalne wartości. Podano je w tabeli poniżej.

Wartości [kNm]	WP		SP/LP	
	Montaż	Praca	Montaż	Praca
MxP, MxL	283	580	937	1549
Mz5	607	1241	-	-
Mz6	573	1172	4794	6979
Mz7	-	-	1383	2206

Tab. 1. Dopuszczalne momenty uogólnione

W każdym przypadku pracy turbiny będzie występował jeden moment unoszący tylko prawą lub lewą stronę korpusu MxP lub MxL oraz jeden moment unoszący tylko przód lub tył korpusu. Momenty te nałożą się i w układzie przestrzennym, dla każdego przypadku pracy, występują cztery kombinacje momentów odrywających. Ich obwiednię, sprowadzoną do płaszczyzny, pokazano na rys. 3 poniżej.



Dla tak sformułowanych warunków pracy należało zweryfikować, czy nie nastąpi przekroczenie dopuszczalnych momentów odrywających łapy.

Modelowanie i obliczenia

Dla każdego przypadków pracy turbiny określono komplet sił od rurociągów oddziałujących na króćce. Ich zestawienie pokazano w tabelach poniżej.

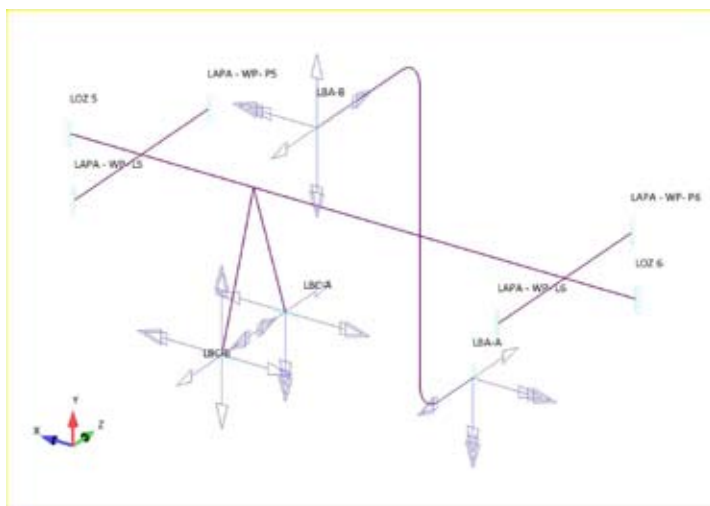
	LBA-A						LBA-B						LBC-A						LBC-B					
	Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Ciężar	0	1	0	1	0	0	0	-1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Stan 1	0	18	4	3	4	-4	2	2	9	-7	4	0	4	8	22	-28	23	3	-11	-5	-7	9	40	-7
Stan 8	0	17	4	2	4	-3	2	3	9	-7	4	0	2	5	12	-13	20	0	-9	-1	2	-2	43	-3
Zimny start	2	-2	-2	2	0	3	1	2	4	-4	0	0	1	2	4	-5	2	-5	2	-4	0	-2	-3	-9
Gorący start	1	20	1	9	4	-3	2	-4	2	-3	4	-1	5	9	26	-33	25	4	-12	-6	-11	14	40	-9
Dmuchanie	4	-5	-3	2	-3	7	2	6	6	-6	-1	0	1	1	4	-5	4	1	-3	-1	-7	10	8	-2
Stan 3	0	19	4	3	4	-4	2	2	8	-7	4	0	4	8	24	-30	24	4	-11	-5	-8	10	40	-7
Stan 5	0	18	4	3	4	-3	2	2	9	-7	3	0	5	8	25	-32	25	5	-12	-5	-9	12	41	-7
Uderzenie-max	-1	31	7	-5	5	-3	1	7	12	-11	4	1	-3	12	39	-51	30	15	-19	3	25	-37	43	4
Uderzenie-min	1	4	1	9	4	-5	3	0	7	-5	3	-1	12	3	6	-4	17	-6	-3	-11	-38	55	37	-20

Tab. 2. Siły od rurociągów oddziałujące na korpus WP

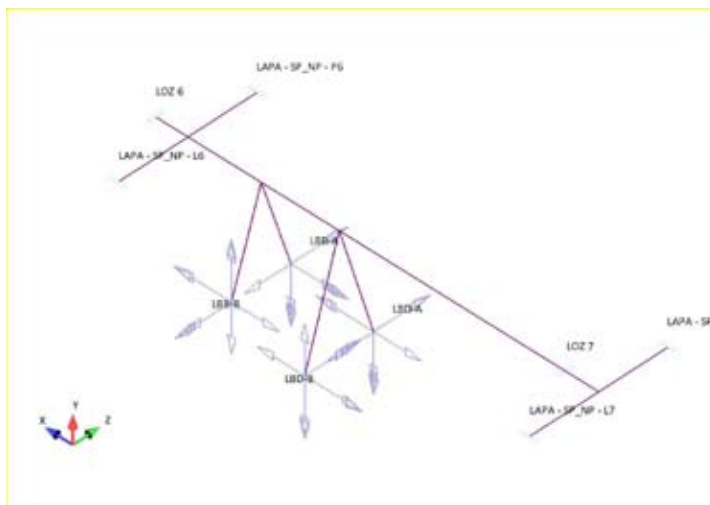
	LBB-A						LBB-B						LBD-A						LBD-B					
	Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]			Siły [kN]			Mom. [kNm]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Ciężar	0	0	1	-2	0	0	0	-3	2	-3	-2	1	0	-3	-1	1	0	0	0	3	1	0	0	0
Stan 1	8	8	-6	4	20	-11	3	10	7	9	-10	-4	-1	10	-7	10	0	-1	3	-14	17	-23	-2	2
Stan 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zimny start	1	2	1	-4	3	-7	4	1	8	-12	-21	-2	-1	-2	1	-2	0	-1	1	2	-1	2	-1	0
Gorący start	4	8	-2	-2	9	-14	4	8	17	-10	-14	-5	-4	10	-2	4	0	-4	6	-14	21	-16	-6	4
Dmuchanie	2	1	-1	0	2	-2	4	3	-9	15	-20	-4	-1	0	1	-1	0	-1	2	-1	1	-1	-1	0
Stan 3	0	8	10	-24	8	-14	3	10	8	7	-10	-4	-1	10	-7	10	0	-1	3	-14	17	-23	-2	2
Stan 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uderzenie-max	6	11	-1	-3	23	-7	1	15	24	-17	-8	-2	-1	10	-7	10	0	-1	3	-14	17	-23	-2	2
Uderzenie-min	11	5	-11	10	18	-14	5	7	-5	26	-12	-7	-1	10	-7	10	0	-1	3	-14	17	-23	-2	2
Stan 2	8	8	-6	4	20	-11	3	10	7	9	-10	-4	-1	11	-7	10	0	-1	3	-14	17	-23	-2	2

Tab. 3. Siły od rurociągów oddziałujące na korpus SP/NP

Wyznaczone wartości zaimplementowano do modeli obliczeniowych, w których zasymulowano zjawisko przenoszenia momentów. Widoki modeli pokazano na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Widok modelu korpusu WP



Rys. 5. Widok modelu korpusu SP/NP

Otrzymane wyniki przekonwertowano do wartości momentów uogólnionych wg założeń. Ich wartości pokazano w tab. 4 i 5.

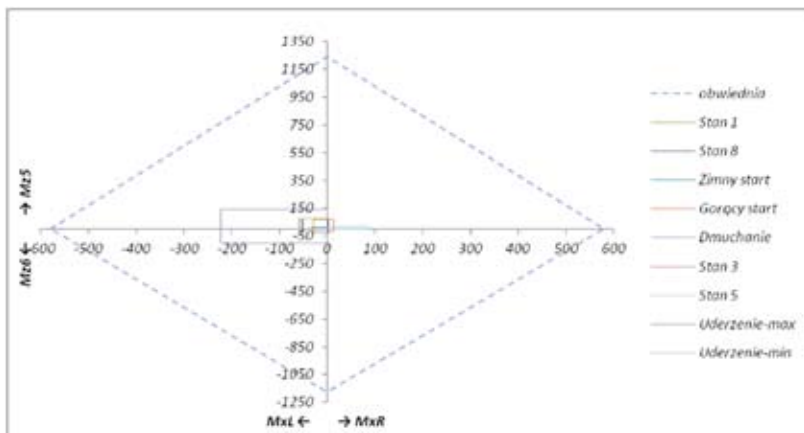
	kNm			
	MxR	MxL	Mz5	Mz6
Ciążar	0,00	0,56	0,00	0,00
Stan 1	0	0	78	31
Stan 8	50	2	75	34
Zimny start	33	0	10	0
Gorący start	29	14	69	20
Dmuchanie	28	0	1	0
Stan 3	56	0	78	32
Stan 5	59	0	77	32
Uderzenie-max	223	0	142	102
Uderzenie-min	0	87	17	0

Tab. 4. Momenty uogólnione oddziałujące na korpus WP

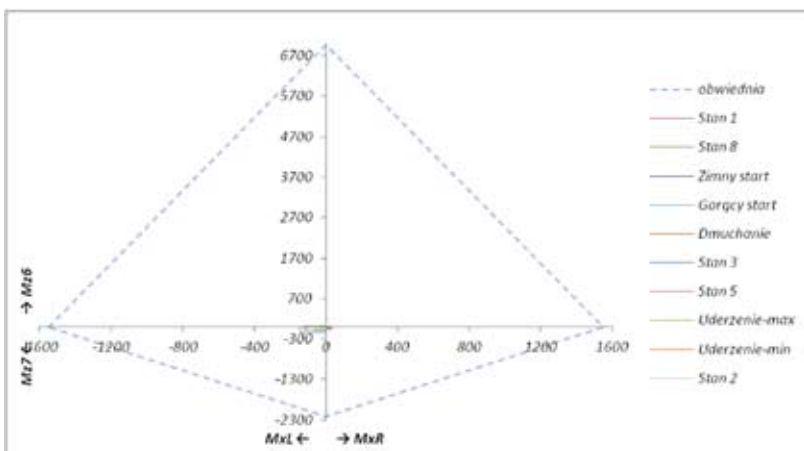
	kNm			
	MxR	MxL	Mz6	Mz7
Ciążar	0,00	1,78	0,00	0,00
Stan 1	0,00	56,72	6,98	90,17
Stan 8	0,00	35,35	4,55	12,45
Zimny start	0,00	107,90	14,42	70,46
Gorący start	34,01	0,00	0,73	19,82
Dmuchanie	0,00	73,68	34,64	86,73
Stan 3	0,00	96,06	28,93	139,63
Stan 5	86,49	0,00	10,60	66,80
Uderzenie-max	0,00	48,50	0,00	0,00
Uderzenie-min	2,02	0,00	0,00	0,00
Stan 2	0,00	26,69	0,00	0,00

Tab. 5. Momenty uogólnione oddziałujące na korpus SP/NP

Graficzną interpretację, z naniesieniem wyników na obwiednię wartości dopuszczalnych, przedstawiają rys. 6 i 7.



Rys. 6. Momenty unoszące łapy korpusu WP



Rys. 7. Momenty unoszące łapy korpusu SP/NP

Wnioski z obliczeń

Przeanalizowano wszystkie przypadki pracy układu i określono siły podnoszące łapy korpusów. Podsumowanie można wyrazić w kilku punktach:

- Maksymalne wartości sił podnoszących łapy nie przekraczają 100kN.
- Na wykresach można zaobserwować, że rzeczywiste siły skręcające korpus nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

- Mimo, iż siły działające na króćce korpusu nie powodują jego unoszenia, ich wartości są zauważalne w odniesieniu do dopuszczalnych.

Montaż rurociągów

W związku z wzajemną zależnością prac montażowych turbiny parowej i głównych rurociągów parowych BOP oraz rurociągów przy turbinowych, przyłączenie rurociągów do korpusu jest krytycznym punktem każdego harmonogramu projektu. Oczekuje się, że czas procesu instalacyjnego będzie jak najkrótszy. Często zdarza się, że zakres ten podzielony jest na podwykonawców z różnych firm. Może to powodować niepotrzebne opóźnienia związane z różnym terminem osiągnięcia danego etapu montażu, jakim jest przyłączenie rurociągów do korpusu turbiny.

Procedura NODE ZERO

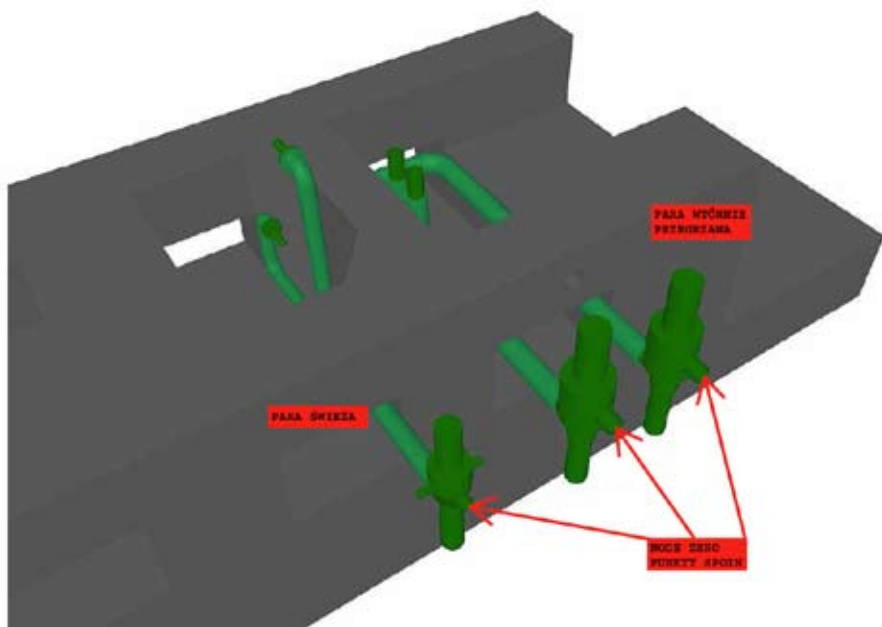
Generalny wykonawca opracował i wdrożył procedurę NODE ZERO, która miała na celu przyspieszenie prac instalacyjnych. Wiele rozwiązań na skrócenie procesu montażu zostało poddanych ocenie. Zarys tej procedury dowodzi, że podczas rzeczywistego montażu można osiągnąć oczekiwane cele, skracając czas procesu montażu. Celem tej procedury jest zapewnienie wystarczających wytycznych dla inżynierów i wykonawców instalacji, wprowadzając tę koncepcję z powodzeniem. Drugim, kluczowym założeniem procedury jest zminimalizowanie momentów oddziałujących na króćce korpusu turbiny parowej po przyłączeniu rurociągów. Pozwala to osiągnąć akceptowalny rozkład obciążeń na łapach korpusu.

Założenia

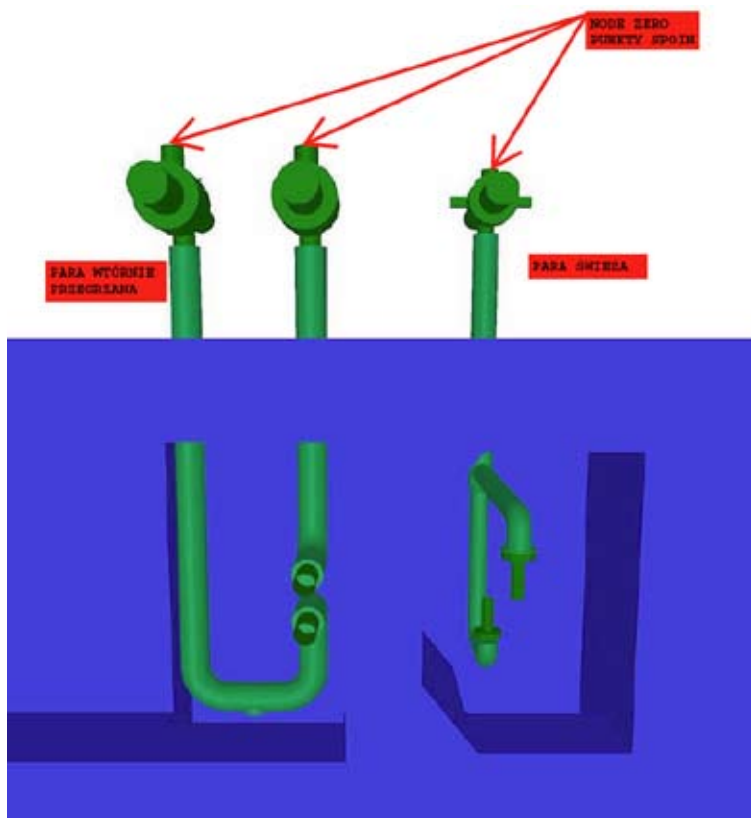
Głównym założeniem jest wprowadzenie segregacji głównych rurociągów parowych BOP i rurociągów przyturbinowych podczas montażu. Pojęcie tej procedury oparte jest na zdolności do wykonywania powiązanych czynności montażowych na budowie równolegle, nie narażając projektu na opóźnienia. W ramach obecnego procesu montażu, system składający się z turbiny parowej, rurociągów BOP i rurociągów przyturbinowych musi być kompletny. Elementy turbiny parowej muszą być w pełni zainstalowane, rurociągi pospawane, a ich zawieszania ustawione ze zwolnionymi sprężynami. Osiągnięcie takiego stanu jest wymagane przed rozpoczęciem prób ciśnieniowych, płukaniem chemicznym i parowym dmuchaniem rurociągów.

Realizacja

Koncepcja doboru punktów NODE ZERO musi spełniać założone kryteria dla poszczególnych rurociągów. Dla rurociągów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej zostały one dobrane w miejscu połączenia rurociągów BOP i zaworów szybkozamykających - rys. 8 i 9.

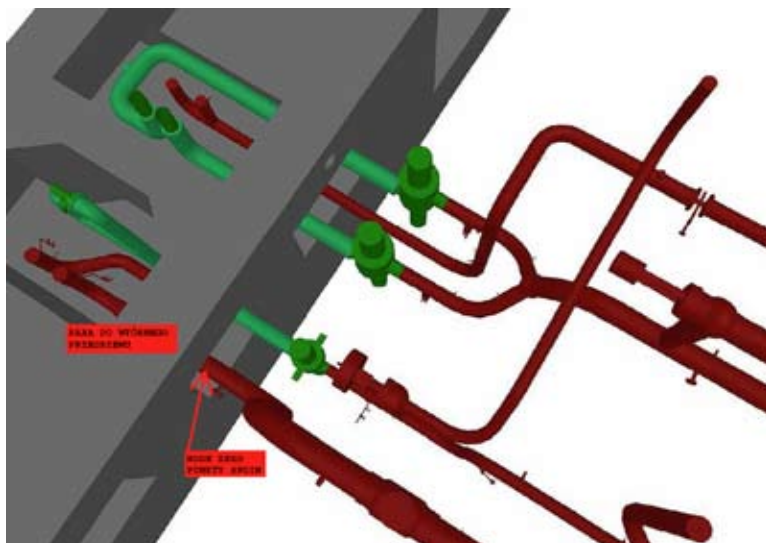


Rys. 8. Punkty przyłączeń NODE ZERO dla rurociągów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej

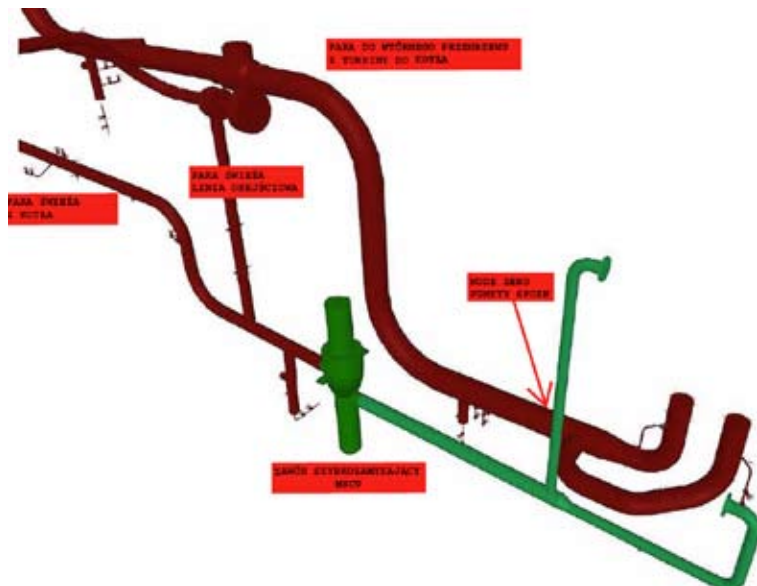


Rys. 9. Punkty przyłączeń NODE ZERO dla rurociągów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej

Zawory szybkozamykające stanowią naturalną linię podziału na rurociągi BOP i rurociągi przyturbinowe. Ze względu na ich brak, na rurociągach pary do wtórnego przegrzewu i pary niskoprężnej, punkty NODE ZERO wyznaczono w analogicznych punktach - rys. 10 i 11.



Rys. 10. Punkt przyłączenia NODE ZERO dla rurociągu pary do wtórnego przegrzewu



Rys. 11. Punkt przyłączenia NODE ZERO dla rurociągu pary niskoprężnej

Podsumowanie

Warunki obciążeń dla procedury NODE ZERO zakładają zminimalizowanie sił i momentów powstałych na skutek przenoszonej przez rurociągi masy własnej wraz z izolacją. Dzięki zastosowaniu stałych podpór w strategicznych punktach rurociągów, te warunki powinny być spełnione. W uproszczeniu, rurociąg przecięty w punkcie NODE ZERO nie powinien znacząco zmienić swojego położenia.





Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych małych turbozespołów

Zbigniew Stachurski
ZRE Katowice SA

Oddział Regulacji i Sterowania Turbin Parowych

Do około 2005 roku większość turbogeneratorów w elektrowniach zawodowych podlegała modernizacji. Nie tylko zmieniano układ przepływowy podwyższając sprawność cieplną, ale również modernizowano układ sterowania wprowadzając układ regulacji elektrohydrauliczny (EHR) z regulatorem cyfrowym. Taki sposób sterowania pozwala na pracę turbozespołu z nieczułością $\epsilon = 0,1$ (oznacza to, że przy biegu jałowym $n=3000$ obr/min, $\Delta n = 3$ obr/min). Zastosowanie regulatora cyfrowego umożliwia wybranie trybu regulacji (np. mocy, ciśnienia pary dolotowej) w sposób bezuderzeniowy, dzięki funkcji naśladowania wszystkich wielkości regulowanych, wprowadza dodatkowe elektroniczne zabezpieczenia. Modernizując układ regulacji i zabezpieczeń turbozespołu usuwa się większość wypracowanych elementów mechanicznych i hydraulicznych, co w przyszłości zmniejsza koszty remontowe.

W tym czasie w małych siłowniach przyzakładowych wykonywano tylko remonty układów regulacji. W zasadzie do bieżącego roku nie wiele turbozespołów małych siłowni zostało zmodernizowanych. Dalsze wykonywanie tylko remontów elementów układów regulacji nie ma większego sensu, bo rosnące wymagania, pewność ruchu i oczekiwana 2-letnia gwarancja jest nie do spełnienia.

ZRE Katowice od początku swojej działalności rozwijały się w zakresie remontów i później modernizacji układów regulacji i zabezpieczeń, stawiając na wiedzę ludzi i sprzęt. Utworzony Oddział Regulacji i Sterowania Turbin Parowych (TRS), działający w ramach Wydziału Turbin i Generatorów, zajmuje się kompleksowo remontami, modernizacją, serwisem, diagnostyką i rozwiązywaniem zgłoszonych problemów w instalacjach olejowych i sterujących

turbozespołów parowych. Obecnie skupia się mocno na modernizacjach turbozespołów w małych siłowniach. Przykładem może być przeprowadzona modernizacja turbiny PB8/4 w EC Jelenia Góra (Rys. 1-3).



Rys. 1. Turbina PB8/4 przed modernizacją



Rys. 2. Turbina PB8/4 po modernizacji



Rys. 3. Turbina PB8/4 po modernizacji

W końcu roku 2015 rozpoczęto modernizację układu regulacji turbiny Siemens 55 MW w TAMEH Polska. W połowie stycznia 2016 turbozespół został oddany do eksploatacji (Rys. 4-6).



Rys. 4. Turbina Siemens 55 MW przed modernizacją



Rys. 5.
Turbina Siemens 55 MW
przed modernizacją

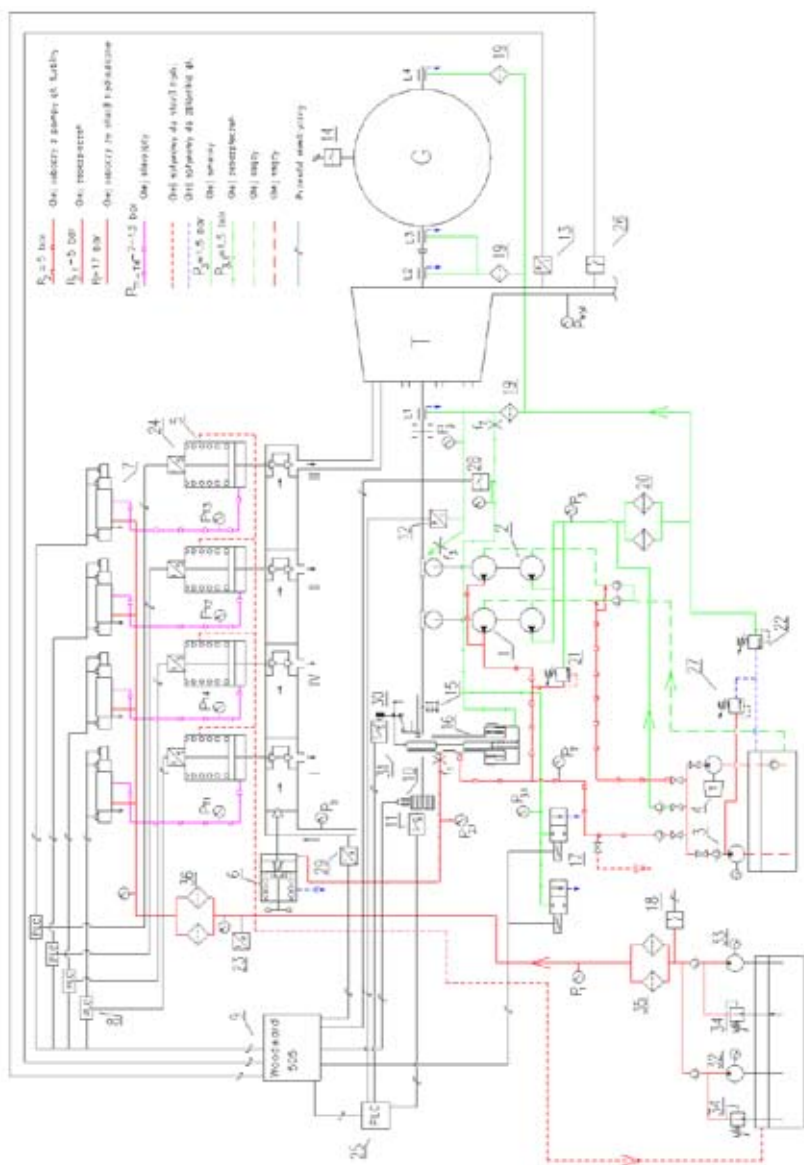


Rys. 6.
Turbina Siemens 55 MW
po modernizacji

Do każdej modernizacji podchodzi się indywidualnie. Projekt opiera się o sprawdzone urządzenia (regulator cyfrowy, przetworniki EH typu, CPC,TM-25 LP firmy WOODWARD, przetwornik Voith, zawór proporcjonalny Vickers , karta analogowa typu EEA-PAM, sterowniki typu ES-10, APB, czujniki położenia balluff, przetworniki Aplisens, przekaźniki Honeywell) i jest optymalizowany kosztowo na każdym etapie modernizacji.

MODERNIZACJA UKŁADU REGULACJI TURBOGENERATORA PB 8/4 EC JELENIA GÓRA

Modernizacja układu regulacji turbogenerатора PB 8/4 polegała na zamianie regulacji mechaniczno-hydraulicznej na regulację elektrohydrauliczną.



Rys. 7. Schemat układu regulacji i zabezpieczeń turbiny PB8/4 EC Jelenia Góra (po modernizacji)

Podstawowe dane turbozespołu:

-	Dane turbiny	
	Moc znamionowa	8 MW
	Parametry pary świeżej	30÷37 bar/400÷435°C/78 t/h
	Parametry pary upustowej	2÷3 bar
	Prędkość obrotowa	nr = 3000 obr/min
-	Dane generatora	
	Typ	SKODOWY ZAVODY 4H5469/2
	Moc znamionowa	8 MW
	Napięcie, natężenie	6300 V, 917A
	Prędkość obrotowa	3000 obr/min
	cos φ	0,8

Układ zasilania olejem

Olej roboczy $P_1=17$ bar dostarczany jest do układu regulacji przez jedną z pomp (32 lub 33 – Rys. 7) ze stacji hydraulicznej. Odpowiednie ciśnienie oleju roboczego zapewniają zawory przelewowe (34). Czystość oleju zapewniają filtry (35, 36). Przy spadku ciśnienia oleju roboczego $P_1<14$ bar przełącznik (18) załączy pompę rezerwową.

Olej roboczy $P_2=5$ bar do suwaka zabezpieczeń (16) i serwowatoru zaworu szybkozamykającego (6) dostarczają pompy główne zębate (1), napędzane wałem turbiny. Odpowiednie ciśnienie oleju roboczego P_2 zapewnia zawór redukcyjny (21). Olej do układu smarowania $P_3=1,5$ bar dostarczany jest przez główne pompy zębate (2) napędzane wałem turbiny. Odpowiednie ciśnienie oleju smarowania zapewnia zawór przelewowy (22). Jeżeli ciśnienie obniży się poniżej dopuszczalnego, to automatycznie załączy się pompa rozruchowa (3). Stałe ciśnienie oleju zapewnia zawór przelewowy (27). Dla zapewnienia odpowiedniej czystości oleju zastosowano filtry przy łożyskach (19). Właściwą temperaturę oleju na doływie do łożysk zespołu zapewnia chłodnica (20).

Układ regulacji turbiny

Jego zadaniem jest:

- utrzymanie stałej zadanej prędkości obrotowej podczas biegu jałowego oraz zadanej mocy po zsynchronizowaniu generatora z siecią ogólnokrajową;
- utrzymanie stałego zadanego ciśnienia pary wylotowej, moc turbiny jest przy tym wielkością wypadkową. W/w wielkości są utrzymywane na stałym poziomie w granicach proporcjonalności elektronicznego regulatora 505.

Praca turbiny na biegu jałowym i pod obciążeniem bez załączonej regulacji ciśnienia pary wylotowej

Przy wzroście prędkości obrotowej turbiny czujniki magnetyczne (10 - Rys. 7) przesyłają impuls elektryczny do elektronicznego regulatora „Woodword” 505 [9], zainstalowanego w szafie przy turbinie. Regulator 505 następnie przesyła przetworzony impuls elektryczny do sterowników PLC [8], które za pośrednictwem zaworów proporcjonalnych [7] sterują serwomotorami zaworów regulacyjnych [5]. Serwomotory przymkną się nie dopuszczając do nadmiernego wzrostu prędkości obrotowej turbiny. Każdy serwomotor posiada sprzężenie zwrotne [24] i jest indywidualnie sterowany z oddzielnego sterownika PLC [8] i zaworu proporcjonalnego [7]. Gdy prędkość obrotowa maleje, działanie regulacji jest odwrotne.

Żądaną prędkość obrotową na biegu jałowym ustala się za pomocą elektronicznego regulatora 505. Po synchronizacji, prędkość obrotowa turbiny wynikająca z częstotliwości prądu, utrzymuje się na stałym poziomie, a regulatorem 505 ustala się żądaną wartość mocy.

Praca turbiny pod obciążeniem i załączonej regulacji ciśnienia pary wylotowej

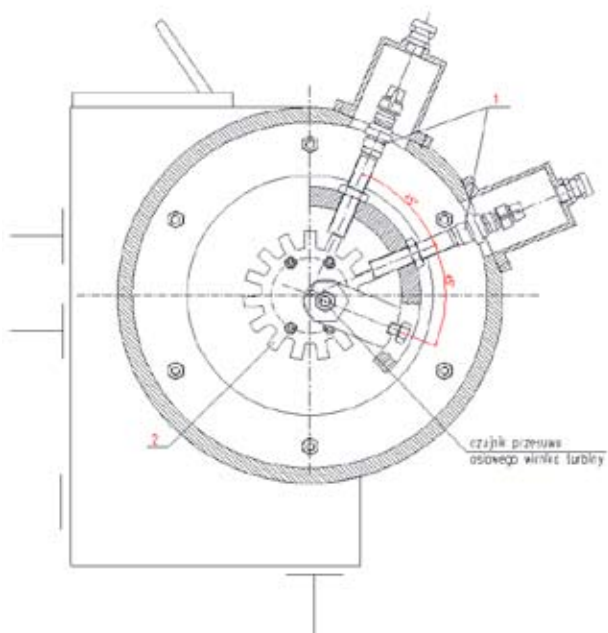
Po synchronizacji należy obciążyć turbinę do takiej mocy, aby uzyskać żądane ciśnienie pary wylotowej PWYL . Wtedy za pomocą elektronicznego regulatora 505 łączy się jej regulację. Proces regulacji przebiega w sposób następujący: przy wzroście ciśnienia pary wylotowej przetwornik ciśnienia [13] przesyła impuls elektryczny do regulatora 505, który za pośrednictwem sterowników [8] i zaworów proporcjonalnych [7] przymyka zawory regulacyjne (jak w poprzednim opisie), nie dopuszczając do nadmiernego wzrostu ciśnienia pary wylotowej. Jednocześnie nastąpi obniżenie mocy (moc regulacji ciśnienia pary wylotowej jest wielkością wypadkową). Gdy ciśnienie obniży się, działanie regulacji jest odwrotne. Żądane ciśnienie ustala się za pomocą elektronicznego regulatora 505.

Elementy nowe i zmodernizowane

- Czujniki magnetyczne prędkości obrotowej (10 – Rys. 7)

Czujniki [1] przekazują wielkość prędkości obrotowej wirnika turbiny do regulatora elektronicznego 505, są zamontowane nad kotłem zębatym [2] w przednim koźle turbiny. Czujnik magnetyczny wytwarza sygnał napięciowy gdy koto zębate z materiału magnetycznego obraca się przed jego czołem przy zachowaniu odpowiedniej szczeliny $s=0,7\pm0,9$ mm.

- Regulator elektroniczny 505 [9 – Rys. 7]



Rys. 8.

Czujniki prędkości obrotowej, czujnik przesuwu osiowego wirnika turbiny

- **Regulator elektroniczny 505 (9 – Rys. 7)**

Regulator służy do przetwarzania impulsów elektrycznych wejściowych:

- prędkości obrotowej turbiny (n),
- ciśnienia pary wylotowej (P_{wyl}),
- ciśnienia oleju smarowania (P_3),
- przesuwu dźwigni suwaka zabezpieczeń (30),
- przesuwu wirnika turbiny (11),

na impulsy wyjściowe:

- sterujące sterownikami PLC (8),
- sterujące zaworami elektromagnetycznymi (21).

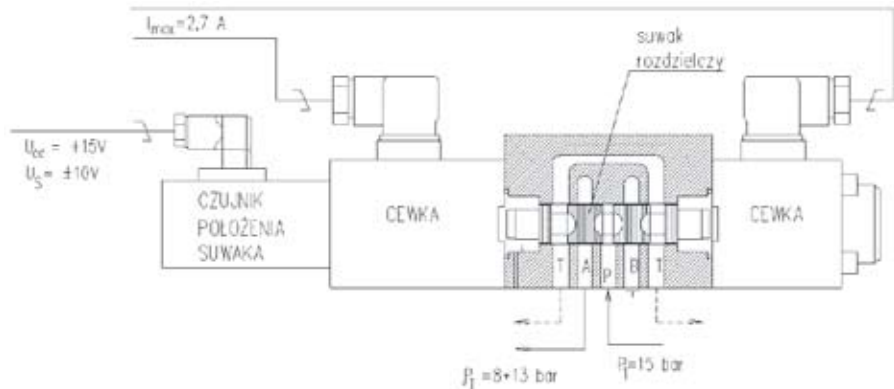
Regulator służy także do zadawania prędkości obrotowej oraz mocy lub ciśnienia pary wylotowej z turbiny. Moc jest wtedy wielkością wypadkową.

- **Sterownik PLC (8 – Rys. 7)**

Zadaniem sterownika jest przetwarzanie impulsu elektrycznego (4-20mA) z regulatora 505 na impuls do zaworów proporcjonalnych (7).

- **Zawór proporcjonalny „Vickers” (7 – Rys. 7)**

Zadaniem zaworu proporcjonalnego jest przetwarzanie impulsu elektrycznego na ciśnienie oleju sterującego $P_T=8-13\text{bar}$. Zawór jest zasilany olejem roboczym $P_1=17\text{ bar}$. Cewki sterują suwakiem rozdzielczym, który dostarcza olej P_T do serwowatora zaworu regulacyjnego.

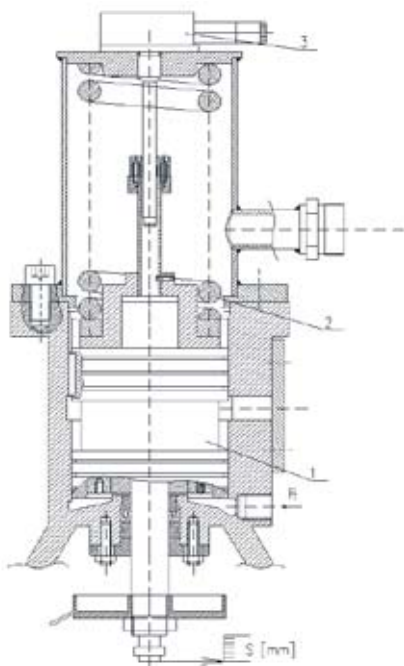


Rys. 9. Zawór proporcjonalny Vickers

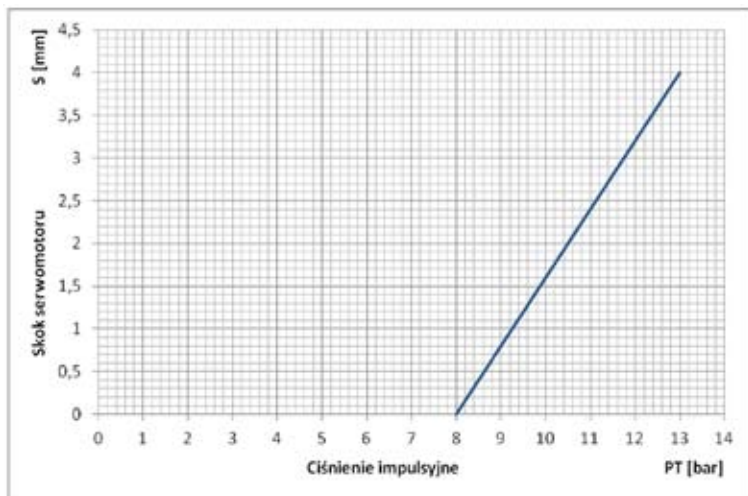
- **Zmodernizowany serwowator zaworu regulacyjnego (5 – Rys. 7)**

Przy wzroście ciśnienia oleju sterującego $P_T=8-13\text{bar}$ z zaworu proporcjonalnego do serwowatora, tłok (1) przesuwają się do góry, pokonując opór sprężyny (2) i otwiera zawór regulacyjny. Jednocześnie przetwornik położenia Balluff (3) przekazuje wielkość położenia tłoka do sterownika PLC (schemat poz. 8) (sprężenie zwrotne) co zapobiega dalszemu otwieraniu serwowatora. Przy spadku ciśnienia oleju sterującego P_T działanie serwowatora jest odwrotne.

Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych małych turbozespołów



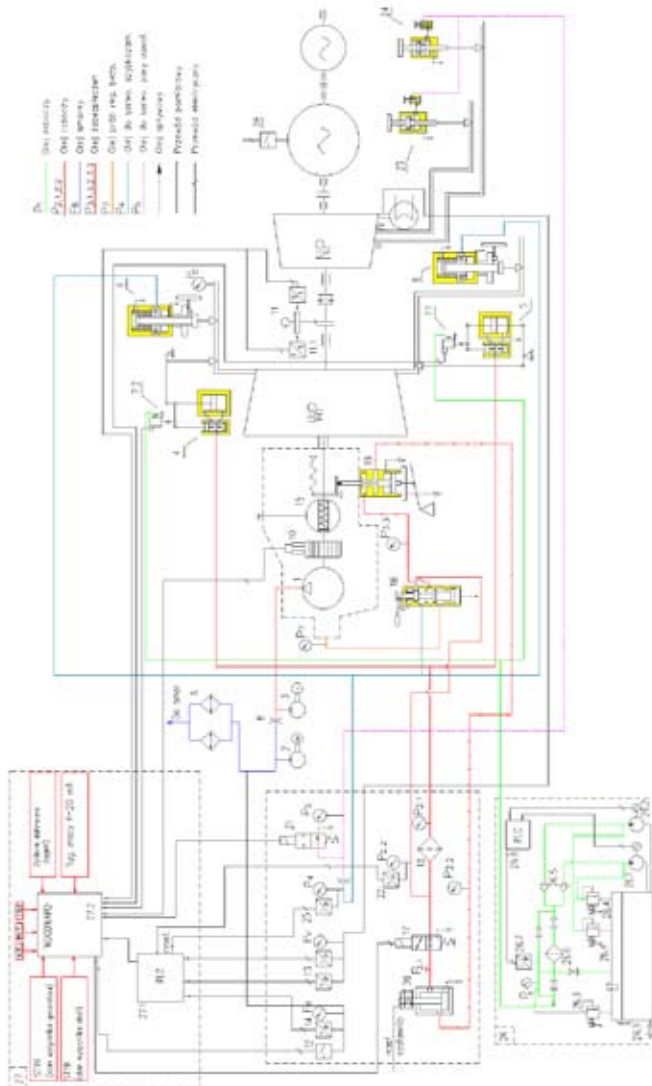
Rys. 10.
Zmodernizowany serwomotor
zaworów regulacyjnych



Rys. 11. Charakterystyka serwowatora zaworu regulacyjnego

Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych matych turbozespołów

MODERNIZACJA UKŁADU REGULACJI TURBOGENERATORA SIEMENS 55 MW TAMEH ZW BLACHOWNIA



Rys. 12. Schemat układu regulacji i zabezpieczeń turbiny Siemens 55 MW TAMEH ZW Blachownia (po modernizacji)

Podstawowe dane turbozespołu:

- Dane turbiny	
Moc znamionowa	50/55 MW
Parametry pary świeżej	96/111bar, 510/520°C
Parametry pary upustowej III, IV	4bar/190°C, 1,5 bar/120°C
Prędkość obrotowa	nr = 3000 obr/min
- Dane generatora	
Moc znamionowa	63/69 MW
Napięcie, natężenie	10500 V, 3470/3800A
Prędkość obrotowa	3000 obr/min
$\cos \varphi$	0,8

Układ zasilania olejem

Olej roboczy $P_{2,1} = 7$ bar do układu regulacji i smarowania turbiny dostarcza pompa główna wirnikowa (1 – Rys. 12) napędzana wałem turbiny. Odpowiednie ciśnienie oleju smarowania $P_o = 1,2$ bar zapewnia kryza (8) przez którą olej jest dostarczany do łożysk turbozespołu. Podczas uruchomienia i odstawienia turbiny olej dostarczany jest przez pompę rozruchową (3). Jeżeli ciśnienie oleju roboczego obniży się poniżej dopuszczalnego podczas pracy turbiny, to automatycznie załączy się pompa rozruchowa (3). Dla zapewnienia odpowiedniej czystości oleju do zabezpieczeń układu regulacji zastosowano filtr szczelinowy (18). Przy spadku ciśnienia oleju smarowania $P_o < 0,6$ bar, załącza się automatycznie pompa pomocnicza (2) na prąd stały. Właściwą temperaturę oleju na doływie do łożysk zespołu zapewniają chłodnice (9).

Stacja hydrauliczna przetworników elektrohydraulicznych TM25LP

Olej roboczy $P_1 = 15$ bar dostarczany jest do przetworników elektrohydraulicznych TN25LP (7.1, 7.2) sterujących serwomotorami zaworów regulacyjnych (4, 5 – Rys. 12) przez jedną z pomp (26.1 lub 26.2) ze stacji hydraulicznej (26). Odpowiednie ciśnienie oleju roboczego zapewnia zawór przelewowy (26.3). Czystość oleju zapewnia filtr 25µm (26.6). Przy spadku ciśnienia oleju roboczego $P_1 < 12$ bar przekąznik (26.7) za pośrednictwem sterownika PLC (26.8) załączy pompę rezerwową. Zawory bezpieczeństwa (26.4) zabezpieczają pompy zębate przed ich uszkodzeniem.

Układ regulacji turbiny

Jego zadaniem jest utrzymanie stałej zadanej prędkości obrotowej podczas biegu jałowego oraz zadanej mocy po zsynchronizowaniu generatora z siecią ogólnokrajową.

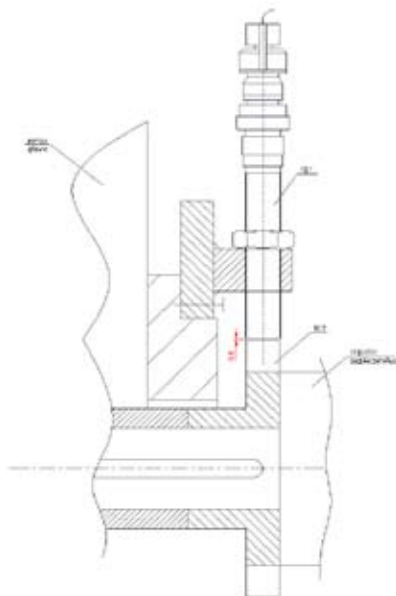
Praca turbiny na biegu jałowym i pod obciążeniem

Przy wzroście prędkości obrotowej turbiny czujniki magnetyczne (10 – Rys. 12) przesyłają impuls elektryczny do regulatora cyfrowego Woodward 505 (27.2) (zainstalowanego w szafie przy turbinie). Regulator przesyła przetworzony impuls elektryczny do przetworników TM 25LP (7.1, 7.2), które za pośrednictwem serwomotorów [4, 5] przynikają zawory regulacyjne, nie dopuszczając tym samym do nadmiernego wzrostu prędkości obrotowej turbiny. Gdy prędkość obrotowa maleje działanie regulacji jest odwrotne. Żadaną prędkość obrotową na biegu jałowym ustala się za pomocą regulatora 505. Po synchronizacji, prędkość obrotowa turbiny, wynikająca z częstotliwości prądu, utrzymuje się na stałym poziomie, a regulatorem 505 ustala się żadaną wartość mocy.

Elementy nowe i zmodernizowane

- Blok magnetycznych czujników prędkości obrotowej (10 – Rys. 12)

Czujniki (2) przekazują wielkość prędkości obrotowej wirnika turbiny do regulatora cyfrowego 505. Są zamontowane nad kołem zębatym (1), w przednim koźle turbiny. Czujnik magnetyczny wytwarza sygnał napięciowy gdy koło zębate z materiału magnetycznego obraca się przed jego czołem, przy zachowaniu odpowiedniej szczeliny $s = 0,7 \div 0,9$ mm.



Rys. 13.
Blok magnetycznych
czujników prędkości
obrotowej

- **Regulator cyfrowy 505 Woodward (27.2 – Rys. 12)**

Podstawowe funkcje

Regulator służy do przetwarzania impulsów elektrycznych wejściowych:

- prędkości obrotowej turbiny (n),
- ciśnienia pary w kondensatorze (P_K),
- ciśnienia oleju roboczego ($P_{2.2}$),
- ciśnienia oleju smarowania (P_o),
- ciśnienia oleju zabezpieczeń (reset) (P_4),
- bezpiecznika przesuwu wirnika turbiny (11),

na impulsy wyjściowe:

- sterujące przetwornikami TM25LP (7.1, 7.2),
- sterujące zaworami elektromagnetycznymi (17, 21).

Regulator służy także do zadawania prędkości obrotowej oraz mocy turbiny.

- **Sterownik PLC (27.1 – Rys. 12)**

Zadaniem jest przetwarzanie impulsu elektrycznego (4-20mA) z przekaźników i przetworników do regulatora 505.

- **Zawór elektromagnetyczny trójdrożny (17 – Rys. 12)**

Zadaniem zaworu jest odcięcie oleju roboczego P2.2 od oleju zabezpieczeń $P_{3.1}$. Następuje zamknięcie serwowatorów zaworów szybkozamykających (6) i zaworów pary upustowej (23, 24) w przypadku zadziałania któregośkolwiek z zabezpieczeń turbozespołu.

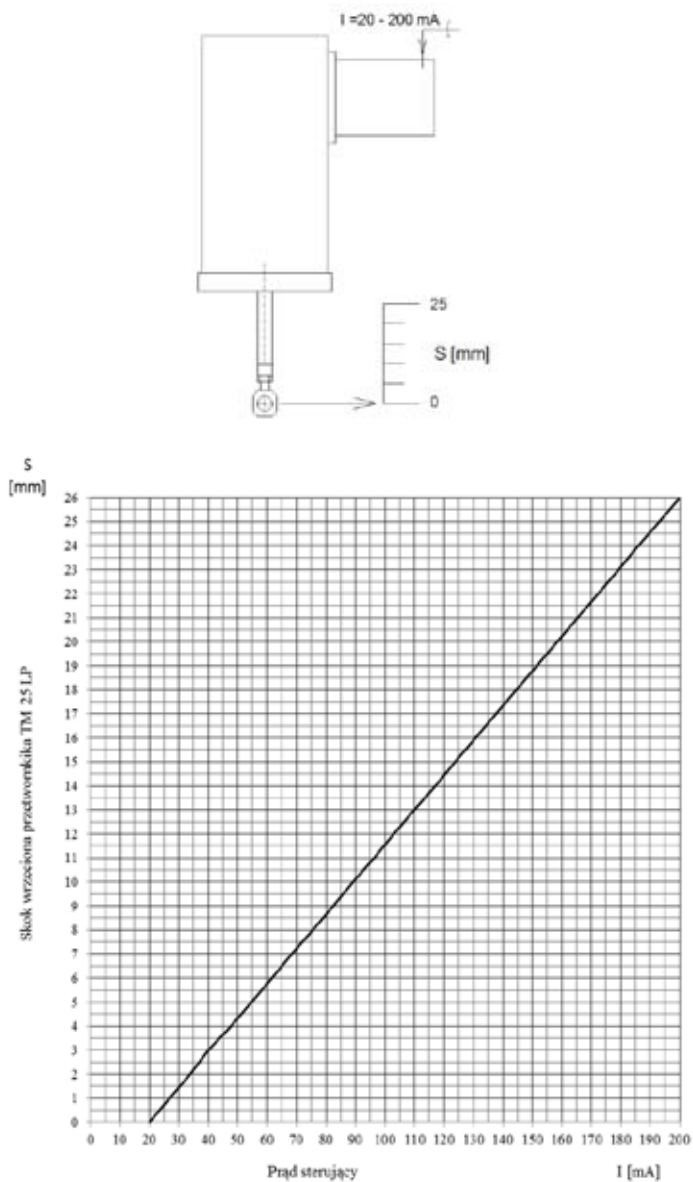
- **Zawór elektromagnetyczny dwudrożny (21 – Rys. 12)**

Zadaniem zaworu jest umożliwienie otwarcia serwowatorów zaworów pary upustowej (23, 24) po obciążeniu turbiny.

- **Przetwornik elektrohydrauliczny TM25LP (7.1, 7.2 – Rys. 12)**

Zadaniem przetwornika (Rys.6.) jest przetwarzanie impulsu elektrycznego $I=20-200\text{mA}$ na skok tłoczyska $s=0-25\text{mm}$ (Rys.14.). Przetworniki są zasilane olejem roboczym $P_1=15\text{ bar}$ ze stacji hydraulicznej (26).

Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych małych turbozespołów

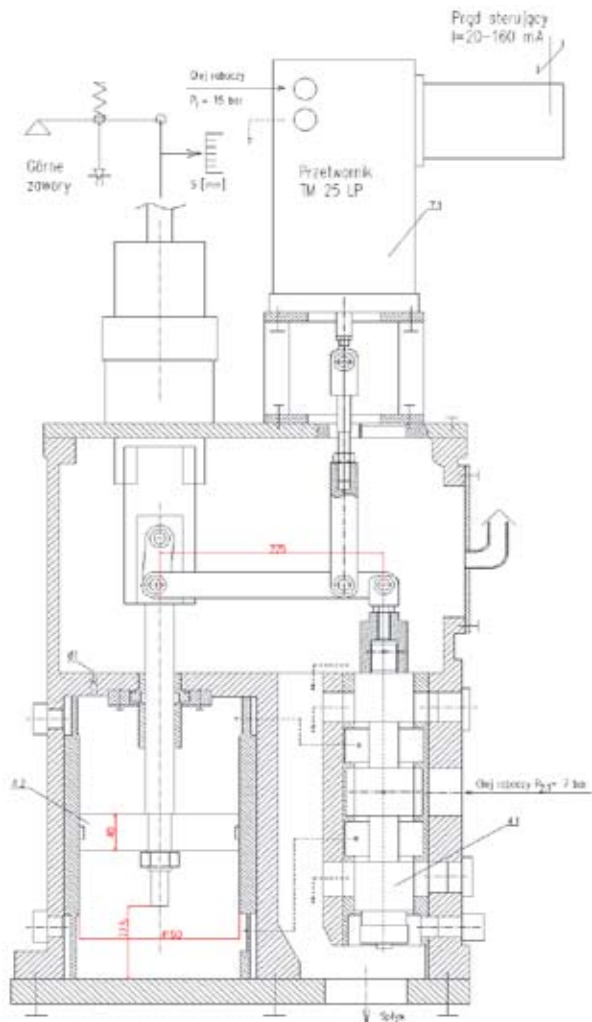


Rys. 14. Przetwornik elektrohydrauliczny TM 25 LP

- Serwomotory zaworów regulacyjnych (4, 5 – Rys. 12)

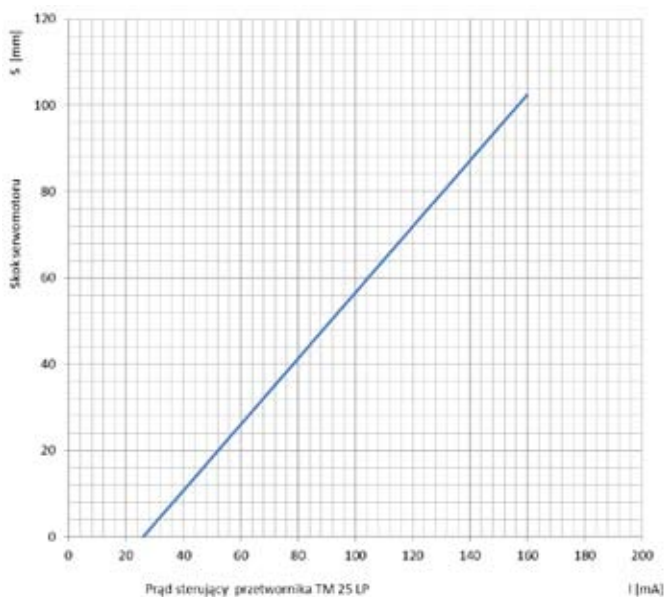
Zadaniem serwomotorów jest sterowanie zaworami regulacyjnymi górnymi i dolnymi turbiny.

Przy wzroście prądu sterującego ($I=20-160\text{mA}$) do przetwornika (1) jego tłoczysko przemieszcza się wraz suwakiem rozdzielczym (2), przez który płynie olej pod tłok serwomotoru (3). Serwomotor przesuwa się do góry i otwiera zawory regulacyjne.



Rys. 15.
Serwomotor
zaworów
regulacyjnych

Modernizacja układów regulacji, zabezpieczeń i smarowania jako niezbędna konieczność dla eksploatowanych małych turbozespołów



Rys. 16.
Charakterystyka przetwornika elektrohydraulicznego TM 25 LP



Rys. 17.
Turbina Siemens 55 MW po modernizacji-
Zasilanie przetworników TM-25 LP



Rys. 18.
Turbina Siemens 55 MW po modernizacji-
Stacja hydrauliczna



Rys. 20.

Turbina Siemens 55 MW po modernizacji-
Stół zabezpieczeń

Rys. 19.

Turbina Siemens 55 MW po modernizacji-
Szafa regulatora cyfrowego

Układy elektrohydraulicznej regulacji (EHR) turbin parowych wprowadzano do elektrowni zawodowych od ok. 1990 roku i zostały praktycznie w całości zrealizowane. Pozostały do modernizacji turbiny przemysłowe w hutach, kopalniach, cukrowniach itp. Wydział Turbin i Generatorów zmodernizował do tej pory kilkanaście układów regulacji w elektrowniach zawodowych i przemysłowych. Praktyka pokazała, że jest to prawidłowy kierunek: zmodernizowane turbogeneratory pracują poprawnie, z mniejszą strefą nieczułości. Koszt modernizacji nie przekracza kosztu związanego z montażem fabrycznych oryginalnych elementów regulacji.



Wykryte wady na zmodernizowanym wirniku NP turbiny typu 13K215

Piotr Mastela
ZRE Katowice SA

Wydział Projektowo-Technologiczny

Grzegorz Lasota
ZRE Katowice SA

Wydział Turbin i Generatorów

Badania kontrolne wirnika

W trakcie wykonywania prac, związanych z remontem kapitalnym turbozespołu TG-1 w TAURON Wytwarzanie S.A. Oddział Elektrownia Jaworzno III od lutego do lipca 2015, przeprowadzono badania nieniszczące wirnika części niskoprężnej turbozespołu, w celu określenia jego stanu technicznego.

Stan techniczny wymagał skontrolowania, czy badany wirnik posiada:

- wady o charakterze pęknięć eksploatacyjnych,
- trwałe zniekształcenia o niedopuszczalnej wielkości,
- korozyjno-erozyjne ubytki grubości o niedopuszczalnej wielkości,
- ubytki materiału (po usuniętych pęknięciach) o niedopuszczalnych rozmiarach.

Zakres badań wirnika NP obejmował:

- badania wizualne VT:
 - tarcz wirnikowych stopni 1L, 2L, 3L, 4L, 1P, 2P, 3P, 4P,
 - łopatek wirnika wszystkich stopni,
 - przejścia tarczy w wał,
 - stopki łopatek (po rozłatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P),
 - wręby wirnika (po rozłatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P),
 - karby geometryczne wirnika;

- badania magnetyczno-proszkowe MT - 100% dostępnej powierzchni:
 - tarcz wirnikowych stopni 1L, 2L, 3L, 4L, 1P, 2P, 3P, 4P,
 - łopatek wirnika wszystkich stopni,
 - przejścia tarczy w wał,
 - stopki łopatki (po rozłópatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P),
 - wręby wirnika (po rozłópatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P),
 - karby geometryczne wirnika;
- badania ultradźwiękowe UT:
 - stopki łopatki (po rozłópatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P),
 - wręby wirnika (po rozłópatkowaniu stopni 3L, 4L, 3P, 4P).



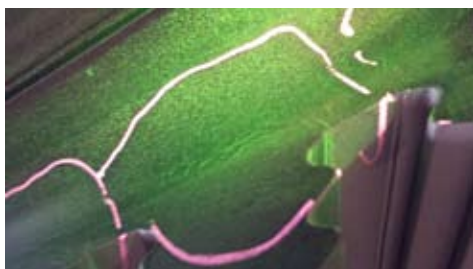
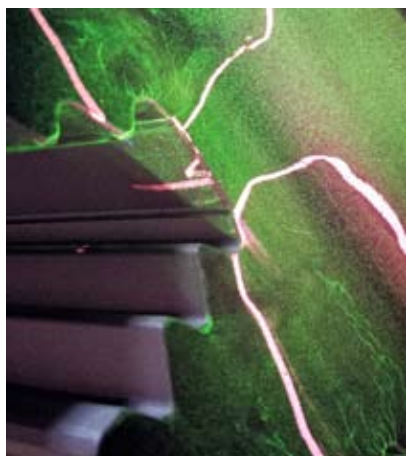
Rys. 1. Rozłópatkowanie stopnia 3

Badany wirnik od ostatniego remontu kapitalnego, który odbył się w 2006, przepracował ok 55 000 godzin. Natomiast od czasu przeprowadzonej modernizacji części niskoprężnej (wymiana wirnika na wirnik reakcyjny), wirnik NP przepracował ok. 100 000 godzin.



Rys. 2. Przygotowanie wirnika do badań

Podczas przeprowadzonych badań defektoskopowych na wirniku NP, w obrębie obu 3 stopni, stwierdzono występowanie pęknięć wrębów wirnika (rys.3).



Rys. 3.
Obszar pęknięć wrębu stopnia 3

Zastosowane badania ultradźwiękowe określiły głębokość pęknięć wykrytych we wrębach łopatkowych trzeciego stopnia w granicach $2 \div 7\text{mm}$.

Wnioski z badań

Wszystkie pęknięcia były zlokalizowane od strony wlotowej stopni i miały zarysy promieniowe (wzdłuż zarysu wrębów) oraz obwodowe (łącznie dna wrębów) rys.3. Dodatkowo pęknięcia te były podobne na wszystkich wrębach w obu stopniach, co pozwalało przypuszczać, że może to być szersze zjawisko.

W celu przybliżenia wartości sił, które oddziałują na wirnik w trakcie jego pracy, dokonano prostych obliczeń.

Podczas pracy wirnika z prędkością obrotową 3000 obr/min wszystkie jego elementy są poddane oddziaływaniom mechanicznym od siły odśrodkowej. Wartość siły łatwo wyliczyć z wzoru:

$$F = 98,1mr \text{ [kN]}$$

lub

$$F = 10mr \text{ [t]}$$

gdzie:

F - siła odśrodkowa [kN, t],

m - masa wirująca [kg],

r - odległość środka ciężkości wirującej masy od osi wirowania [m].

Podstawiając wartości ze znanych wirników turbin parowych, łatwo dojść do wniosku, że siły wyrwujące łopatki wirnikowe z wrębu wynoszą od kilkunastu kN do 2000 kN (200 ton) dla największych łopatek. Siły te nie pozostają bez odzewu ze strony wrębów na wale. Pojawiają się tam bowiem naprężenia, które w znacznym stopniu wyczerpują nośność materiału.

Można na bazie wyliczonych sił dokonać obliczeń maksymalnych naprężeń występujących we wrębie stosując np. Metodę Elementów Skończonych. Proste modelowanie jednak może prowadzić do błędnych wyników.

Literatura podaje, że wielkość naprężeń w tego typu wrębach zależy w istotny sposób od wielu czynników. Zależne one są od kształtu wrębu, kąta pochylenia ząbienia, podziałki zębów oraz temperatury pracy. Według A. Lewina tylko rozbieżności w obliczeniu naprężeń wynikające z podziałki zębów mogą wynosić do 40% ich wartości, a różnice wynikające z pochylenia zębów następują 30%.

Niewątpliwie jest jednak, że naprężenia materiału we wrębach są bardzo wysokie i być może bliskie granicznej wytrzymałości dla tego materiału.

Pęknięcia, które wystąpiły na tym wirniku, są jak dotychczas jedynymi, które wystąpiły na zmodernizowanych wirnikach NP turbin typu 13K 215, można więc założyć, że jeśli materiały pozostałych tego typu wirników są identyczne i dochowano wymaganej dokładności wykonania, to przyczynę pęknięć należy poszukiwać w procesach eksploatacyjnych, gdyż uszkodzenia mogły powstać w wyniku dużej różnicy temperatur między łopatką a wirnikiem.

Należy dodatkowo pamiętać, że wirnik okresowo poddaje się wyższym obrotom do około 3300 obr./min. Powoduje to w tym momencie dodatkowy chwilowy, aczkolwiek znaczny, wzrost siły - a co za tym idzie - wzrost naprężeń we wrębach. Wydaje się wskazane, aby dokonywać kontroli defektoskopowej tych wrębów przynajmniej w trakcie remontów kapitalnych, czyli według obecnych standardów co 6 lat.

Możliwości naprawy wirnika

Istnieją dwie metody naprawy pęknięć na wirnikach. Jedną z metod jest usunięcie pęknięć poprzez ich frezowanie do zaniku. Jednakże stosowanie tej metody jest ograniczone tylko do pewnej głębokości, w zależności od umiejscowienia pęknięć. Teoretycznie powyższą metodę naprawy można stosować do głębokości 4 mm (rys.4). W przedstawianym przypadku badania ultradźwiękowe wykazały pęknięcia do głębokości 7 mm.



Rys. 4. Naprawa wad poprzez szlifowanie miejscowe

Drugą metodą naprawy jest usunięcie części tarczy wirnikowej wraz z wrębami i ponowną odbudowę tarczy metodą napawania. Zaletą tej metody jest wyższa wytrzymałość naprawy niż materiału rodzimego wirnika, ponieważ napawina mimo, że jest z tego samego materiału co wirnik, posiada lepsze właściwości wytrzymałościowe (nawet dwukrotnie).

Usunięcie tarczy poprzez stoczenie polega na zebraniu warstwy do głębokości najbardziej korzystnej, a potwierdzonej obliczeniami wytrzymałościowymi strefy przejściowej napoina – wirnika.

W przedstawionym przykładzie należało wykonać stoczenie tarczy wirnika do powierzchni uszczelnień międzystopniowych. Odtworzenie tarczy uzyskujemy poprzez napawanie metodą łuku krytego, według technologii opracowanej w ZRE Katowice SA. Metoda odtworzeniowa tarczy wirnika wraz z wrębem łopatkowym jest stosowana od kilku lat. Przykładem zastosowania powyższej metody było usunięcie wszystkich tarcz wirnikowych i ich odtworzenie wraz z zaopatkowaniem wirnika (rys.5 i 6).



Rys. 5.
Proces odtwarzania
tarcz wirnikowych



Rys. 6.
Proces napawania
tarcz wirnikowych

Firma ZRE Katowice SA po stwierdzeniu i zlokalizowaniu powstałych wad, niezgodności na wirniku NP zaproponowała klientowi rozwiązanie dotyczące adaptacji rezerwowego wirnika do turbozespołu. Głównym czynnikiem wpływającymi na podane wyżej rozwiązanie zaistniałej sytuacji były ograniczenia czasowe tj. uruchomienie bloku i przekazanie do eksploatacji. W związku z tym przystąpiono do oceny stanu technicznego wirnika rezerwowego przekazanego przez klienta (rys.7).



Rys. 7. Rezerwowo wirnik NP

Wirnik charakteryzował się głównie brakiem zaopatkowanego stopnia 4 (str. L i P), a stopień trzeci nie posiadał integralnego bandaża – łopatki wolnostojące. Po ocenie stanu technicznego rezerwowego wirnika stwierdzono możliwość dopuszczenia do dalszej eksploatacji. Przystąpiono do prac związanych z uzupełnieniem stopnia czwartego (str. L i P) łopatkami z wirnika docelowego. Natomiast łopatki stopnia trzeciego pozostały bez zmian, co wymusiło modernizację obejmującą kierownicę stopnia trzeciego (rys.8). Modernizacja polegała na montażu pierścienia uszczelnienia nadbandażowego (rys.9).



Rys. 8. Uszczelnienie nadbandażowe stopnia 3 przed modernizacją



Rys. 9. Modernizacja uszczelnienia nadbandażowego stopnia 3

Tak przeprowadzona adaptacja rezerwowego wirnika umożliwiła dotrzymanie terminów uruchomienia bloku energetycznego, jak również dalszą eksploatację turbozespołu.



Montaż turbin - problemy, nowości i ciekawostki z budowy największego bloku energetycznego w Polsce - montaż turbozespołu bloku 11 dla Enea Wytwarzanie

Robert Czub
ZRE Katowice SA

Wydział Zarządzania Projektami

Trochę historii

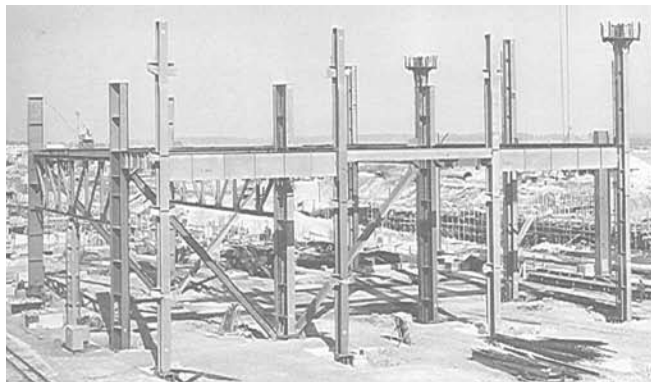
Listopad 1966 roku. Ówczesne Władze Państwowe wydają zezwolenie na budowę Elektrowni Kozienice. Jest to pierwsza tak duża elektrownia, opalana węglem kamiennym, zlokalizowana poza Śląskiem i Małopolską. Po przeprowadzeniu szeregu prac przygotowawczych, takich jak karczowanie lasu, usunięcie wszelkich niewybuchów z okresu II wojny światowej oraz niwelacji terenu 18 lipca 1968 roku dokonano oficjalnego otwarcia budowy Elektrowni Kozienice.



Rys. 1.

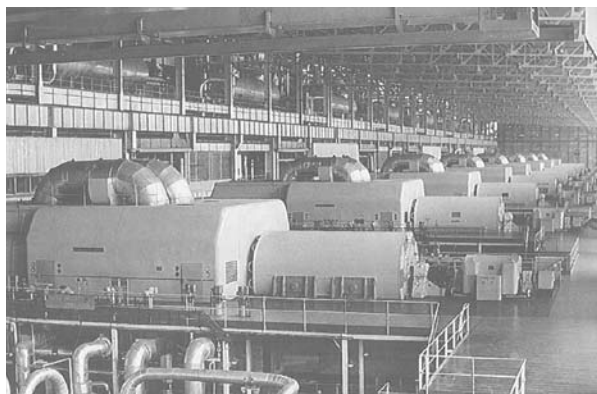
Karczowanie i usuwanie niewybuchów pod budowę Elektrowni Kozienice

Prace przy budowie Elektrowni Kozienice były podzielone trzyetapowo. W ramach pierwszego etapu w roku 1968 planowano budowę sześciu bloków po 200 MW każdy. Prace przy budowie bloków trwały niemal równoległe. Pierwsze uruchomienie bloku nr 1 odbyło się 2 września 1972 roku, a pierwsza synchronizacja z siecią odbyła się 18 października 1972.



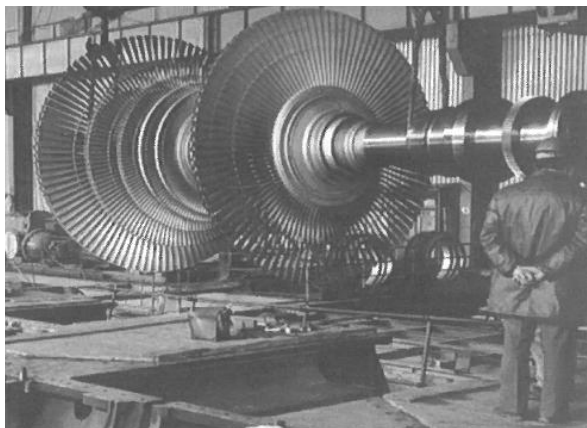
Rys. 2. Pierwsza konstrukcja stalowa pierwszego bloku 200MW

Blok nr 2 został zsynchronizowany z siecią 11 marca 1973 roku, a zaledwie 3 miesiące później, bo 22 czerwca 1973 roku turbina osiągnęła moc 150MW. W roku 1973 oddano także do eksploatacji blok nr 4. Bloki 5 oraz 6 zostały oddane do użytkowania w roku 1974. W cieniu trwających prac montażowych, już w maju 1971 roku, podjęto decyzję o rozbudowie elektrowni o kolejne 2 bloki 200MW każdy. Bloki te także zostały uruchomione w 1974 roku.



Rys. 3.
Rok 1975. Gotowe bloki
8 x 200MW

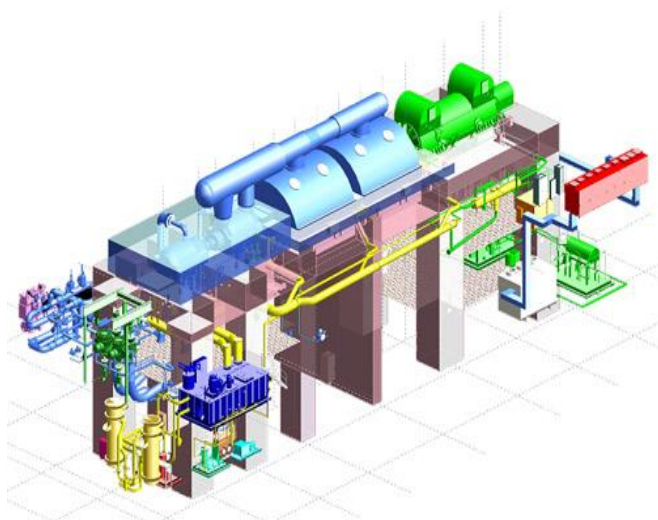
Jednak na tym nie zakończono rozbudowy kozienickiej elektrowni. Maj 1973 roku to kolejna decyzja o budowie dwóch prototypowych bloków nr 9 i 10 po 500MW każdy, których montaż zakończył się w 1979 roku.



Rys. 4.
Prace montażowe
przy bloku 500MW

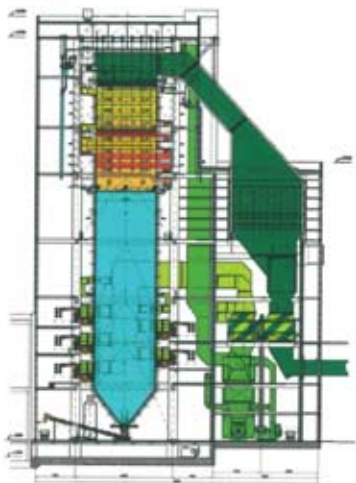
Trochę faktów

Nowy blok budowany w Kozienicach jest wyposażony we wszystkie niezbędne instalacje, systemy i obiekty pozablokowe, by w pełni być samodzielną jednostką, niezależną od istniejącej już elektrowni. Projekt zakłada, że ukończona inwestycja pozwoli obniżyć koszty eksploatacji, przy jednocześniej wyższej dyspozycyjności (powyżej 92%). Wyższy będzie również wskaźnik wykorzystania mocy, niższa awaryjność bloku. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań i technologii oczyszczania spalin pozwoli budowanej nowej jednostce energetycznej spełnić restrykcyjne normy europejskie, dotyczące emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Turbina montowana w Elektrowni Kozienice jest turbiną akcyjną, z jednym przegrzewem międzystopniowym. Jest to jednostka czterokadłubowa z dwoma częściami niskoprężnymi. Temperatura pary pierwotnej sięga 600°C, a jej ciśnienie przekracza 242 bary. Moc wyjściowa turbiny na zaciskach generatora to 1075MW. Całkowita długość turbiny bez generatora to 39 m, natomiast, jeżeli doliczymy generator i urządzenie szczotkowe, całkowita długość turbozespołu osiąga 54 m. Dla lepszego obrazu wielkości tej inwestycji, jak również wielkości turbiny, część niskoprężną można porównać do powierzchni niewielkiego domu jednorodzinnego, gdyż jej powierzchnia to ponad 114 m².



Rys. 5.
Model turbozespołu
1075WM bloku nr 11
Elektrowni Kozienice

Jednakże turbina to niejedeny obiekt powstający podczas realizacji inwestycji. Warto także wspomnieć o kotle. Kocioł produkcji MHPS-EDE jest kotłem na parametry nadkrytyczne, typu wieżowego, opalanego węglem kamiennym. Nominalna wydajność kotła to prawie 3000t/h, a moc cieplna przekracza 2200MW_t. Producent zapewnia, że budowany kocioł charakteryzował się będzie bardzo wysoką wydajnością sięgającą prawie 95%.



Kocioł o wysokości 93 m nie jest jednak najwyższym obiektem powstającego bloku energetycznego. Nad całością budowy dominuje 185-metrowa chłodnia kominowa, która oprócz odprowadzenia ciepła z wody chłodzącej, jest także emiterym spalin.

Rys. 6.
Przekrój kotła bloku 11

Nie tylko turbina

Zakres prac realizowanych przez ZRE Katowice na Budowie Bloku 11 w Elektrowni Kozienice obejmuje także montaż kondensatorów wraz z wymiennikami niskoprężnymi. Oprócz prac montażowych i spawalniczych przy instalacji kondensatora ZRE Katowice realizowało także transport poziomy i pionowy tych elementów wraz z wymiennikami, czyli ich posadowienie na fundamencie. Do tego celu Wydział Technologiczny opracował metodę montażu oraz zaprojektował i wykonał niezbędną do realizacji tego zadania konstrukcję wsporczą.

Pierwszym etapem prac był montaż sprężyn wsporczych kondensatorów. Następnie zamontowano konstrukcję wsporczą, na której wymienniki niskoprężne oraz kondensatory zostały przesunięte z miejsca montażu na fundament.



Rys. 7. Tymczasowa konstrukcja wsporcza do transportu poziomego kondensatora

Montaż rozpoczęto od zamontowania zestawów sprężyn i konstrukcji wsporczej. Następnym etapem było posadowienie na niej wymienników niskoprężnych i przetransportowanie na poziom +9m. Tam elementy czekały na docelowy już montaż na fundamencie. Wymienniki zostaną wepchnięte do wnętrza kondensatorów po ich posadowieniu na fundamencie. Po zakończeniu tej operacji przystąpiono do montażu elementów kondensatorów.



Rys. 8. Wymiennik w trakcie montażu na poziomie +9m

Kondensatory dotarły na budowę w sześciu elementach. Prace montażowe polegały na posadowieniu elementów na tymczasowej konstrukcji wsporczej, ich ustawieniu, dopasowaniu, a następnie przygotowaniu do zespolenia. Po zakończeniu tych prac i po pozytywnym odbiorze przez zleceniodawcę i inżyniera kontraktu, przystąpiono do prac spawalniczych. Warto tutaj podkreślić, że proces spawania był procesem bardzo czasochłonnym ze względu na zastosowaną technologię. Wszystkie spoiny wewnątrz kondensatora, ze względu na zastosowane materiały - rurki z tytanu o grubości ścianki do 0,7mm, musiały być wykonane metodą 141 (TIG). Łączna długość spoin wykonanych na tym etapie prac to ponad 2000 mb.



Rys. 9. Kondensator w trakcie montażu

Po zakończeniu prac montażowych i spawalniczych elementów kondensatorów, przystąpiono do drugiego etapu robót, czyli transportu poziomego i pionowego. Transport ten został wykonany przy użyciu sprzętu własnego firmy ZRE Katowice. Do transportu poziomego zastosowano układ „push - pull” składający się ze ślizgów poruszających się po teflonowych podkładkach, napędzanych siłownikami. Po przesunięciu nad fundament, cały kondensator, ważący ponad 380 ton, został podwieszony na zamontowanej wcześniej na poziomie +17 m konstrukcji wsporczej.



Rys. 10. Siłownik do przepychania oraz konstrukcja wsporcza do podniesienia kondensatora

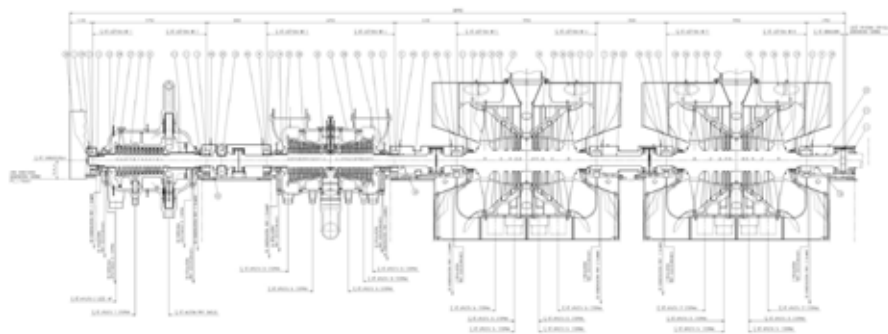
Podniesiony kondensator, do którego wykorzystano zestaw 8 siłowników, o łącznym udźwigu 480 ton, uwolnił konstrukcję wsporczą, po której był transportowany. Po zdemontowaniu konstrukcji rozpoczęto opuszczanie kondensatora. Cały proces transportu poziomego i pionowego, wymagający precyzji i czasu, po kilku godzinach zakończył się sukcesem. Kondensator spoczął na miejscu docelowym.

Posadowienie kondensatorów na fundamencie to jednak nie koniec prac przy ich montażu. Po zdemontowaniu całego osprzętu do transportu poziomego i pionowego, przystąpiono do montażu szybu parowego wraz z połączeniem kondensatora z częścią niskoprężną turbiny. Warto także wspomnieć, że zasada wykonywania spoin wewnątrz kondensatorów metodą 141 również obowiązywała. Kolejne 2500 metrów spoiny, ponad 250 sztuk różnej długości rur i profili stalowych, służących jako wzmocnienie konstrukcji kondensatora, to obraz nakładu pracy potrzebnego do wykonania ich montażu. Całość zakresu realizowanego przez ZRE Katowice przy montażu kondensatorów zamyka kompleksowa instalacja komór dolotowych, wylotowych wraz z komorą nawrotną wody chłodzącej.



Rys. 11. Widok nawrotnej komory wodnej kondensatora

Wisienka na torcie – Turbina 1075MW



Rys. 12. Przekrój poprzeczny turbiny 1075MW bloku 11

Turbina parowa montowana w Elektrowni Kozienice jest największą i najnowocześniejszą tego typu jednostką w Polsce. Jest to jednostka czterokadłubowa, z dwoma częściami NP. Długość samej turbiny to 39 m natomiast z generatorem długość całego turbozespołu to 54 m.

Wszystkie części składowe, ze względu na masę i gabaryty, zostały dostarczone oddzielnie, a w przypadku części niskoprężnej, zewnętrzny korpus dolny i górny

został podzielony łącznie na 8 elementów. Elementy turbozespołu po dotarciu statkiem z Japonii do portu w Gdyni zostały przetransportowane na budowę w większości transportem samochodowym. Jednakże wszystkie wirniki, a przede wszystkim stojan generatora dotarł do Kozienic kolejją.



Rys. 13. Stojan na budowie w Kozienicach

Transport stojana wymagał użycia specjalistycznego „wagonu” do jego transportu. Nie była to jednak zwykła platforma. Stojan został podwieszony na dwóch końcach przez specjalne pokrywy transportowe i podczas transportu wisiał przez cały czas podróży zaledwie kilka centymetrów nad główką szyny. Stojan dotarł na budowę w Kozienicach po siedmiu dniach podróży, gdzie, po kilku dniach prac przygotowawczych, został posadowiony na fundamencie przy użyciu specjalistycznego sprzętu. Przyjazd stojana, jak również jego posadowienie na fundamencie, był dość ważnym etapem montażu. Tym wydarzeniom towarzyszyło duże zainteresowanie wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego. Wjazd stojana na maszynownię wymagał wielu ustaleń i przygotowań zarówno po stronie inwestora, jak i generalnego wykonawcy. By stojan ze swoimi gabarytami mógł wjechać bezpiecznie na maszynownię nowego bloku, pracująca elektrownia musiała odstawić jeden z bloków oraz zdementować częściowo osprzęt transformatora znajdującego się w pobliżu torowiska. Cała operacja została zaplanowana i wykonana w terminie

dogodnym dla wszystkich stron, które były w to przedsięwzięcie zaangażowane, by zminimalizować czas przestoju technologicznego celowo odstawionego bloku elektrowni.



Rys. 14. Montaż stojana generatora na fundamencie przy użyciu specjalistycznego sprzętu

Po posadowieniu na fundamencie i zdementowaniu osprzętu pomocniczego do montażu generatora przystąpiono do prac montażowych pozostałych jego elementów. W pierwszej kolejności zamontowano i scalono komory chłodnic wodorowych do stojana. Po zakończeniu tej fazy prac i odbiorze czystości wewnątrz komory dokonano instalacji chłodnic. Kolejnym etapem tego procesu było zamontowanie końcówek wyprowadzenia mocy wraz z ich obudową, a następnie montaż wirnika generatora. W tym celu przygotowano pokrywy generatora, których przyleganie do stojana, jak również szczelność obu połówek pokrywy, zostały sprawdzone metodą tuszowania. Zamontowano także wszystkie niezbędne przed montażem wirnika elementy wewnątrz stojana. Po wykonaniu wszystkich niezbędnych prac montażowych i pomiarowych oraz po przeprowadzeniu odbioru stojana przez inżyniera kontraktu wydano zgodę na montaż wirnika.



Rys. 15. Montaż wirnika generatora

Na obecną chwilę generator czeka na wstępne centrowanie z turbiną. Dopiero po tym etapie producent dopuszcza wykonanie końcowych prac montażowych. W celu wykonania tego zadania wszystkie wysiłki skupione są na pracach przy turbinie parowej. Aktualny etap montażu to ustawianie zamkniętych korpusów wewnętrznych i zewnętrznych wszystkich części turbiny, bez wirników i tarcz kierowniczych. Jednak by nastąpił ten etap zaawansowania montażu, spora ilość prac została wykonana znacznie wcześniej.

Po przekazaniu fundamentów turbozespołu i wykonaniu szczegółowych pomiarów geodezyjnych, stanowiących bazę do dalszej realizacji projektu, rozpoczęto prace montażowe elementów wsporczych płyt stojaków żożyskowych. W kolejnej fazie zamontowano korpusy zewnętrznych części niskoprężnych. Po wykonaniu tych prac ZRE Katowice przystąpiło do montażu stojaków żożyskowych, jak również zewnętrznych korpusów części niskoprężnych. Korpusy te, jak już wcześniej wspomniano zostały dostarczone w elementach, po cztery na górną i dolną część. Elementy korpusu zostały tymczasowo zamontowane na fundamencie. Rozpoczęto ustawianie podziału poprzez regulację płyt wsporczych korpusu. Po zakończeniu tego zadania elementy po kolei zostały zdemontowane, a po nałożeniu środka uszczelniającego, ponownie zamontowane oraz dodatkowo skręcone pomiędzy sobą.



Rys. 16. Montaż elementów dolnego korpusu zewnętrznego części niskoprężnej

Następny etap prac to centrowanie zarówno stojaków łożyskowych, jak i części niskoprężnych do struny fortepianowej. Po zakończeniu ustawiania stojaków łożyskowych oraz korpusów zewnętrznych części niskoprężnej rozpoczęto montaż korpusów wewnętrznych. Korpusy zaworów średnio i wysokoprężnych, ze względów technologicznych, należało zamontować przed korpusami zewnętrznymi części wysoko i średnioprężnej. W następnej fazie wykonano szereg drobnych prac towarzyszących. Ponownie wykonano pomiary całego układu wraz z niezbędnymi korektami położenia. Kolejnym etapem był montaż dolnych korpusów wewnętrznych oraz obejm części średnio i wysokoprężnej oraz ponowne pomiary do struny fortepianowej, z wprowadzeniem odpowiednich korekt położenia. Po odbiorach ustawienia dolnej części korpusów całej turbiny przystąpiono do montażu górnych korpusów części wewnętrznych. Po wykonaniu pomiarów szczeliny na podziale przed i po skręceniu, przystąpiono do prac montażowych korpusów zewnętrznych.



Rys. 17.
Część niskoprężna
turbiny przed montażem
korpusów zewnętrznych

Kolejnym etapem prac będzie demontaż górnych połówek korpusów zewnętrznych i wewnętrznych, a następnie rozpoczęcie montażu wszystkich tarcz kierowniczych układu przepływowego. Elementy te wcześniej przetransportowano z magazynu na maszynownię i przygotowano do montażu.

Wirnik NP - transport bez łopatek i co dalej?

Wirniki części niskoprężnej zostały wytworzone w Zakładach MHPS w Hitachi City. Czas potrzebny na wykonanie takiego wirnika to 12 miesięcy, a waga każdego z nich to około 103 000 kg. Prace przy jego wyprodukowaniu rozpoczęto w maju 2014 roku i w maju 2015 roku dokonano komisijnego odwirowania wirnika, w obecności przedstawicieli przyszłego właściciela obiektu.

Ze względów logistycznych po odwirowaniu dwa ostatnie stopnie łopatek, po wcześniejszym oznaczeniu ich lokalizacji na wirniku, zostały zdemontowane i spakowane do skrzyń. Same wirniki, po odpowiednim zabezpieczeniu antykorozyjnym, znalazły się na odpowiednio przygotowanych podporach transportowych. Przetransportowane zostały do portu i załadowane na statek. Sam transport wirników, jak i innych elementów turbozespołu, trwał 3 miesiące. We wrześniu 2015 szczęśliwie dotarł do portu w Gdyni. Wirniki, po dokonaniu wszystkich formalności celnych, zostały załadowane na platformę kolejową i wysłane 12 września 2015 roku do Kozienic, gdzie dotarły po siedmiu dniach podróży.



Rys. 18. Rozładunek wirników części niskoprężnej

Po rozładunku wirników przeszliśmy z fazy transportu do fazy montażowej. Prace rozpoczęto od demontażu wszelkiego rodzaju oston transportowych oraz usunięcia zabezpieczenia antykorozyjnego. Następny etap to przeładunek na wcześniej przygotowane stanowisko do montażu łopatek zdemontowanych w fabryce Hitachi.



Rys. 19. Przygotowanie wirnika do łopatkowania

Montaż łopatek został wykonany przez pracowników Mitsubishi Hitachi Power Systems, których specjalnie w tym celu delegowano do Polski.

Na obecną chwilę załopatkowane wirniki części niskoprężnej czekają na montaż. Wirnik po montażu w korpusie zostanie także odwirowany i ewentualnie doważony w trakcie ruchu próbnego.

Warto także wspomnieć o samych gabarytach i materiałach użytych do wykonania zdemontowanych ostatnich stopni wirnika części niskoprężnej. Stopnie te, ze względów technicznych zostały wykonane w całości z tytanu, natomiast długość pojedynczej łopatki wynosi aż 60 cali (1500 mm).



Rys. 20. Załopatkowany wirnik gotowy do montażu w korpusie

Rozpoczęcie montażu w stylu japońskim

25 września 2015 MHPS zorganizowało uroczystość oficjalnego rozpoczęcia montażu turbozespołu. Zaproszono szereg dystyngowanych gości. W uroczystości uczestniczyli przedstawiciele inwestora Enea Wytwarzanie, jako przyszli użytkownicy obiektu, przedstawiciele Konsorcjum Firm MHPS oraz Polimex Mostostal, jak również przedstawiciele głównych firm podwykonawczych.

Uroczystość zorganizowano na maszynowni. Rozpoczęto od oficjalnego powitania gości oraz wygłoszenia oficjalnych przemówień zarówno ze stron Konsorcjum, jak również Enea Wytwarzanie.

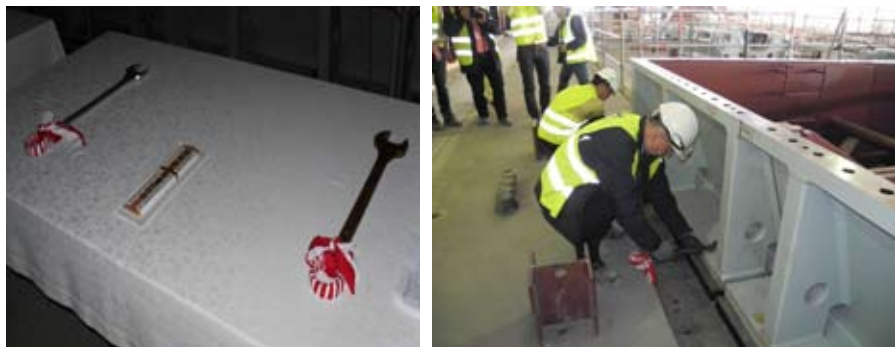


Rys. 21. Oficjalne rozpoczęcie montażu turbozespołu

Po wszystkich wystąpieniach nastąpiło odprawienie rytuałów zgodnie z tradycją japońską.

Pierwszym etapem ceremonii było polanie świętą wodą soli umieszczonej na specjalnych miseczkach, które rozmieszczono po czterech narożnikach turbozespołu. Zaszczyt polewania soli przypadł kierownikowi montażu firmy MHPS oraz kierownikowi projektu ZRE Katowice. Zgodnie z tradycją japońską, rytuał ten odpędza złe duchy i moce z rejonu maszynowni. Nie bez znaczenia miała także kolejność polewania miseczek soli. Zgodnie z tradycją polewać należy zgodnie z kierunkiem obrotu wskazówek zegara. Kierunek ten symbolizuje zacieśnianie współpracy pomiędzy MHPS oraz ZRE Katowice.

Kolejnym etapem celebrowania oficjalnego rozpoczęcia montażu było dokręcenie złotym i srebrnym kluczem śrub fundamentowych na korpusie części niskoprężnej. Uroczystego dokręcenia pierwszych śrub kotwiących dokonał dyrektor ds. budowy bloku Enea Wytwarzanie oraz zastępca dyrektora generalnego Mitsubishi Hitachi Power Systems.



Rys. 22. Uroczyste dokręcenie pierwszych śrub fundamentowych części niskoprężnej

Ostatnim etapem uroczystości było wykonanie przez wszystkich gości ukłonów i kłaśnięć w dłonie w odpowiednim układzie w kierunku turbozespołu. Ceremoniał ten, zgodnie z kulturą japońską ma gwarantować długą i bezawaryjną pracę całego turbozespołu.

Bibliografia

1. Jaworski E, Kozienice. Wędrowka przez stulecia, Elektrownia „Kozienice” S.A., Kozienice 2002



Proces prefabrykacji rurociągów na podstawie modernizacji układu pary świeżej i wtórnie przegrzanej elektrowni Rybnik

Adrian Lniak
ZRE Katowice SA

Wydział Prefabrykacji Rurociągów

Duża część z pracujących obecnie bloków energetycznych elektrowni węglowych w Polsce została wybudowana w latach 60 i 70 ubiegłego wieku. Ich ciągła eksploatacja prowadząca do zużycia materiałów zastosowanych do budowy układu rurociągów, stawia przed nami konieczność ich modernizacji. W roku 2013 ponad 90% polskich bloków energetycznych przekroczyło swój zakładany, obliczeniowy czas pracy. Początkowo został on przyjęty jako 150 tys. godzin, a następnie poprzez modernizację bez wymiany rurociągów, na podstawie przeprowadzonych na nich badań diagnostycznych wydłużono okres ich eksploatacji do 250 tys. godzin. Czas eksploatacji rurociągów wynika przede wszystkim z czasowej wytrzymałości na pękanie i parametrów oraz współczynników bezpieczeństwa [1].

Wymiana rurociągów w istniejących obiektach stawia przed producentem elementów prefabrykowanych inne wyzwania niż budowa nowego bloku. W przypadku remontów bardzo duże znaczenie ma adaptacja produktu do warunków istniejących na obiekcie, między innymi gabarytów uzależnionych od dostępnych przestrzeni transportowych oraz ich masy w zależności od dopuszczalnego udźwigu na konstrukcjach budynku.

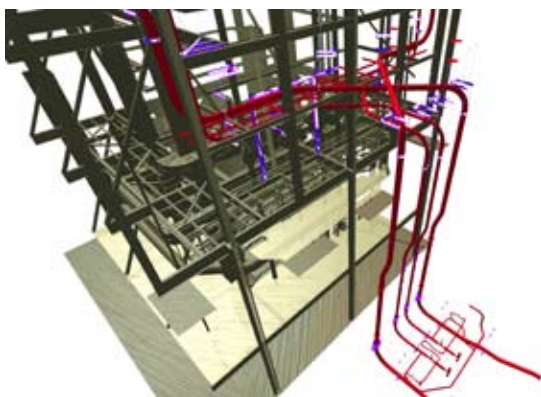
Niniejszy referat zawiera opis procesu wytwarzania elementów rurociągowych począwszy od projektu po dostawę elementów na budowę z wykorzystaniem nowoczesnych maszyn do gięcia rur i obróbki cieplnej, w oparciu o modernizację systemów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej bloków 4 i 6 elektrowni Rybnik wykonanego na zlecenie EDF Polska. Zlecenie wykonane zostało kompleksowo przez ZRE Katowice, co pozwala przedstawić wnioski płynące z kooperacji projektowo-produkcyjno-montażowej.

Kotły nr 3 oraz 4 są kotłami parowymi OP650-012, opalanymi pyłem węgla kamiennego. Są to kotły opromieniowane, jednowalczakowe, z naturalnym obiegiem wody, 5-stopniowym przegrzewaczem pary świeżej, 2-stopniowym przegrzewaczem pary wtórnej, podciśnieniowe, dwuciągowe, wiszące na ruszcie nośnym.

Kocioł K4 został oddany do użytku w 1974 roku i jego dotychczasowy czas pracy to ok. 236 tys. godzin. Od tego czasu uruchamiany był 995 razy. Ostatni remont średni wykonany został 14.02.2011. Kocioł K6 został oddany do użytku w 1976 roku, jego dotychczasowy czas pracy to ok. 233 tys. godzin. Od tego czasu uruchamiany był 971 razy. Ostatni remont średni wykonany został 02.06.2012 (stan na 31.08.2014). Celem remontu było podwyższenie bezpieczeństwa oraz eksploatacja rurociągów do 350 tys. godzin. Temperatura robocza układu pary świeżej wynosi 540°C , a ciśnienie robocze to 13,6 MPa. Rurociąg pary wtórnie przegrzanej pracuje przy parametrach 540°C i ciśnieniu 2,58 MPa.

Projekt

Projekt modernizacji rurociągów dla bloków 4 i 6 elektrowni Rybnik został wykonany przez Wydział Projektowo-Technologiczny ZRE Katowice. Jako podstawa opracowania przyjęte zostały Warunki Urzędu Dozoru Technicznego dla rurociągów ciśnieniowych. Zakożeniami wejściowymi klienta było odtworzenie układów rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej, bez zmian materiałowych w stosunku do stanu istniejącego.



Rys. 1.
Model konstrukcji kotła oraz układów rurociągów
pary świeżej i wtórnie przegrzanej

Na podstawie otrzymanych danych wejściowych oraz pomiarów wykonanych na obiekcie stworzono model 3D rurociągów (rys. 1). Na podstawie obliczeń trasy rurociągów opracowany został projekt wykonawczy zawierający karty obliczeniowe, rysunki izometryczne zestawieniowe, rysunki izometryczne szczegółowe oraz rysunki kształtek rurociągowych.

Głównym wyzwaniem podczas modernizacji istniejących obiektów jest dostosowanie prefabrykowanych elementów do jak najprostszego montażu na obiekcie. W tym celu, w porozumieniu z montażem, projekt analizowany jest przez dział technologiczny Wydziału Prefabrykacji Rurociągów, w kontekście możliwości technicznych wykonania i możliwości montażowych.

W przypadku bloków elektrowni Rybnik, jak i większości istniejących bloków energetycznych, konieczne było dopasowanie gabarytów elementów prefabrykowanych do możliwości transportowych na obiekcie. Założeniem, przy omawianym projekcie, był maksymalny udźwig na istniejących konstrukcjach, nieprzekraczający 1,5 tony. Pozwalało to na wykonanie elementów o długościach ok. 5 metrów dla rurociągów pary świeżej oraz 6 metrów dla rurociągów pary wtórnie przegrzanej. Wszystkie odstępstwa od rysunków wykonawczych zostały skonsultowane z projektantami i naniesione na dokumentację powykonawczą red correx, a następnie na dokumentację wykonawczą przez Wydział Projektowo-Technologiczny.

Rurociągi

Zastosowane materiały

Rurociągi pary świeżej wykonane zostały z materiału 14MoV6-3, który jest odpowiednikiem, według euro normy, używanego wcześniej materiału 13HMF według polskiej normy.

Materiał 13HMF został zastosowany do budowy wysokoprężnych układów parowych bloków energetycznych w latach 60 XX wieku. Jego zastosowanie pozwoliło na zwiększenie parametrów pary, a tym samym zwiększenie sprawności kotłów energetycznych stosowanych w energetyce konwencjonalnej. Stal charakteryzuje się wyższą wytrzymałością czasową na pękanie niż stosowana wówczas stal 10H2M (10CrMo9-10) [2].

Obecnie praktycznie całkowicie odchodzi się od stosowania materiału 14MoV6-3 na rzecz wysokostopowego gatunku X10CrMoVNb9-1. Stal w tym gatunku posiada wyższe parametry pracy od stali 14MoV6-3. Własności mechaniczne omawianych materiałów przedstawiono w tabeli 1.

Gatunek	Rm [MPa]	R0,2 [MPa]	A [%]	KV [J]	HV10 [kg/mm2]
10CrMo9-10	410-630	Min. 265	Min. 22	Min. 27	140-190
14MoV6-3	460-610	Min. 310	Min. 20	Min. 27	143-190
X10CrMoVNb9-1	630-830	Min. 450	Min. 19	Min. 27	200-260

Tab.1. Własności mechaniczne wybranych stali stosowanych do budowy rurociągów parowych w energetyce [3]

Z powodu niskiego zapotrzebowania na świecie, a w konsekwencji odchodzenia zagranicznych hut od produkcji rur z materiału 14MoV6-3, pierwszym wyzwaniem projektu było zamówienie materiału spełniającego wymagania klienta, o długościach umożliwiających produkcję elementów o najkorzystniejszych wymiarach i najefektywniejszym zastosowaniu podczas prefabrykacji. Wymiana małego tonażu rurociągów, wykonanych ze stali 14MoV6-3, powoduje również znaczny wzrost kosztu zakupu materiału, spowodowany minimalnymi ilościami wsadowymi surówki w hutach.

System pary świeżej wykonany został z rur o średnicach:

- 323,9x40 mm – główna średnica układu wykonana jako dwie symetryczne linie połączone ze sobą czwórnikiem kuto-spawanym,
- 159x20 mm – rurociągi w obrębie GZP,
- 133x17,5 mm – rurociągi w obrębie GZP.

System pary wtórnie przegrzanej wykonany został z omawianego wcześniej materiału 10CrMo9-10. Rura główna, zastosowana na systemie o średnicy 508x20 mm analogicznie do systemu pary świeżej, posiada dwie symetryczne linie połączone czwórnikiem kuto-spawanym.

Gięcie łuków metodą na zimno

Kształtowanie łuków rurowych metodą na zimno zostało wykonane na maszynie do gięcia CNC 220HD (rys. 2). Możliwości technologiczne maszyny pozwalają na gięcie rur o średnicach od $\varnothing 60,3$ do $\varnothing 219,1$ mm i grubościach ścianek do 25 mm dla rur do OD [OD – outside diameter] 168,3 mm i ścianek 12,5 dla rur OD 219,1 mm. Maksymalny kąt gięcia wynosi 180 stopni. Promienie gięcia uzależnione są od średnicy rury i wynoszą zazwyczaj jej trzy- lub pięciokrotność.

W przypadku omawianego projektu gięciu na zimno podlegała średnica $\varnothing 133 \times 17,5$ mm. Promień kształtowanych łuków wynosił 400 mm. Wykonane zostało 11 elementów rurowych, zawierających łącznie 17 łuków giętych. Dzięki zastosowaniu gięcia na zimno elementów wielołukowych (rys. 3) oraz braku konieczności wykonywania obróbki cieplnej, możliwe jest najkorzystniejsze wykorzystanie czasu procesu produkcji i montażu.



Rys. 2. Maszyna CNC 220HD do gięcia łuków metodą na zimno



Rys. 3. Elementy wykonane z rury $\varnothing 133 \times 17,5$ metodą gięcia na zimno

Gięcie indukcyjne łuków

Gięcie łuków rurowych o średnicach $\varnothing 159 \times 20$ mm, $\varnothing 323,9 \times 40$ mm oraz $\varnothing 508 \times 20$ mm wykonano zostało na maszynie do gięcia indukcyjnego Cojafex PB1200R (rys. 4). Możliwości techniczne maszyny pozwalają na gięcie rur o średnicach od 139,7 do 1220 mm i grubościach ścianek do ok. 100 mm. Minimalny promień gięcia wynosi 400 mm, maksymalny 6400 mm. Maksymalny kąt gięcia wynosi 180 stopni i jest on uzależniony od promienia gięcia (powyżej 1750 mm).



Rys. 4. Maszyna do gięcia indukcyjnego łuków rurowych



Rys. 5. Łuki Ø323,9x40 wykonane metodą gięcia indukcyjnego

Obróbka cieplna łuków giętych indukcyjnie

Łuki wykonane metodą gięcia indukcyjnego podlegają w dalszej fazie procesu produkcyjnego obróbce cieplnej. Do obróbki cieplnej na Wydziale Prefabrykacji Rurociągów ZRE Katowice używany jest piec CHE typ 11-0081101 [rys. 6] o maksymalnych gabarytach wsadu 10000x5000x2000mm. Piec posiada grzałki elektryczne, pozwalające na obróbkę w temperaturze do 1200 stopni Celsjusza. Do rejestracji pomiaru temperatury służy 12 kanałów termopar. Piec posiada dwa trzony, co pozwala na zminimalizowanie czasu wymiany wsadu między obróbkami do kilku minut potrzebnych na przejazd korpusu pieca na drugi trzon. Dzięki umiejscowieniu tuż obok pieca basenu, możliwe jest szybkie studzenie elementów w wodzie, oleju, itp. Zdjęcie [Rys. 7] przedstawia przygotowane do obróbki łuki wykonane metodą gięcia indukcyjnego o średnicy Ø508x20 mm wykonywane w ramach projektu modernizacji rurociągów w Rybniku.



Rys. 6. Piec do obróbki cieplnej elementów



Rys. 7. Łuki gięte $\varnothing 508 \times 20$ mm przygotowane do obróbki cieplnej

Czyszczenie strumieniowo-ścierne i obróbka mechaniczna elementów rurociągowych

Elementy poddane obróbce cieplnej posiadają zarówno na wewnętrznej, jak i zewnętrznej stronie zendrę, którą należy usunąć w procesie czyszczenia strumieniowo-ściernego. Wykonywane jest ono w komorze śrutowniczej (rys. 8), gdzie standardowo powierzchnia czyszczona jest do klasy czystości SA 2 ½ według normy ISO 8501-1, umożliwiającej malowanie.



Rys. 8. Łuk Ø323,9x40 mm po czyszczeniu strumieniowo-ściernym w komorze śrutowniczej

Wyśrutowane elementy trafiają następnie na stół pomiarowy, na którym sprawdzane są między innymi: zgodności wymiarowe z rysunkiem (kął gięcia, owalizacja, odcinki proste) oraz twardość. Na elemencie przeprowadzane są badania nieniszczące, takie jak MT oraz UT.

Po weryfikacji poprawności wykonania elementy zostają dopuszczone do dalszych etapów prefabrykacji. W przypadku elementów projektu Rybnik była nim obróbka mechaniczna końców rur. Kalibracja rur wykonana została zgodnie z zaleceniami KER według typu ukosowania U.

Kształtki

Drugim typem elementów, wytwarzanych dla projektu modernizacji rurociągów elektrowni Rybnik, były kształtki rurociągowy. Wykonane zostały z odkuwek z materiału 14MoV6-3 dla układu pary świeżej oraz z gatunku 11CrMo9-10 dla systemu pary wtórnie przegrzanej. W porozumieniu z Wydziałem Montażu spawanie kształtek do rurociągów zostało w projekcie całkowicie przeniesione na montaż. Miało to na celu udostępnienie możliwości dostosowania długości elementów rurowych do ewentualnych zmian, powstałych podczas montażu.

Wśród wykonywanych kształtek elementami nietypowymi były czwórniki pary świeżej i wtórnie przegrzanej. Kształtki te wykonane zostały z tulei kutyh. Środek czwórników stanowiły kule toczne, do których dospawane zostały tuleje skalibrowane pod możliwość montażu doczołowego do rur $\varnothing 323,9 \times 40$ mm i $\varnothing 508 \times 20$ mm (rys 9, 10, 11).



Rys. 9.
Elementy składowe czwórnika
 $4 \times \varnothing 508 \times 20$ mm



Rys. 10.
Czwórnik $4 \times \varnothing 323,9 \times 40$ mm –
przygotowanie do spawania



Rys. 11. Gotowy czwórnik 4x $\varnothing 508 \times 20$ mm systemu pary wtórnie przegrzanej

Drugim, obok czwórników, elementem kształtowym spawanym były trójniki redukcyjne (rys. 12), montowane na systemie pary świeżej. Wykonane zostały z tulei kutej w gatunku 14MoV6-3. Podstawa trójnika posiada końce skalibrowane do montażu na rurociągu $\varnothing 323,9 \times 40$ mm, króciec jest zaś odejściem do podłączenia rurociągu o średnicy $159 \times 17,5$, znajdującego się w obrębie GZP. Trójniki wyposażone są dodatkowo w króciec odwadniający $\varnothing 38$.



Rys. 12. Trójnik redukcyjny pary świeżej (323,9x40/159x17,5)

Oprócz kształtek spawanych wykonane zostały elementy toczone. Były to między innymi elementy redukcyjne i trójniki wytwarzane z kęsów prostopadłościennych (rys. 13).



Rys. 13.
Element redukcyjny

Pozostałymi elementami wytwarzanymi w ramach zlecenia wymiany rurociągów w elektrowni Rybnik były:

- króćce do zaworów bezpieczeństwa,
- króćce odwodnień,
- króćce i tuleje do pomiaru temperatury,
- króćce i tuleje do pomiaru ciśnienia,
- zwężki symetryczne,
- czopy do pomiaru pękania,
- repery geodezyjne,
- klocki oporowe pod montaż zamocowań.

Malowanie, pakowanie i wysyłka

Wszystkie elementy, zgodnie z wymaganiami klienta, pokryte zostały farbą podkładową. Końcówki przygotowane do spawania zabezpieczone zostały środkiem antykorozyjnym umożliwiającym spawanie. Standardową procedurą wysyłkową, stosowaną na Wydziale Prefabrykacji Rurociągów, jest zabezpieczenie elementów pokrywami z tworzyw sztucznych mającymi na celu uniemożliwienie szkodliwego działania czynników zewnętrznych na wewnętrzną część elementu.

Podsumowanie

Zlecenie wymiany rurociągów pary świeżej oraz wtórnie przegrzanej elektrowni Rybnik realizowane było pod klucz przez ZRE Katowice. Pozwoliło to na koordynowanie działań projektowych, prefabrykacyjnych oraz montażowych. Pierwszym usprawnieniem procesu było dostosowanie projektu do warunków istniejących na budowie, w oparciu o wymagania klienta. W skutek ustaleń przeniesiony został proces spawania kształtek, króćców i elementów oporowych w całości na obiekt. Miało to na celu wyeliminowanie konieczności przeróbek istniejących linii, o których przed demontażem izolacji rurociągów wiedza była niewystarczająca.

Kolejnym problemem, rozwiązywanym w trakcie trwania zlecenia, był proces zamawiania materiałów do wykonania rurociągów. Z powodu opisywanego w referacie - wąskiego rynku dla materiałów 14MoV6-3 - konieczna była weryfikacja niektórych z linii odwodnienia i w porozumieniu z klientem zmiana materiału na X10CrMoVNB9-1. Dzięki odpowiedniemu projektowi czwórników, udało się wykonać je z tulei kutech, zamiast pełnego materiału. Ten zabieg pozwolił na zdecydowane oszczędności w zakresie materiału oraz znaczne skrócenie czasu obróbki skrawaniem.

Kooperacja między Wydziałem Prefabrykacji Rurociągów i Wydziałem Remontów Kotłów pozwoliła na opracowanie najkorzystniejszego harmonogramu dostaw, co pozwoliło przyspieszyć prace montażowe.

W referacie opisany został również problem gabarytów i masy produkowanych elementów. Aby ułatwić proces transportowy na bloku energetycznym, podjęto decyzję o modyfikacji poszczególnych elementów rurowych. Zredukowano masy poszczególnych elementów do 2 ton i długości 5-6 metrów. Pozwoliło to uniknąć konieczności cięcia długich elementów na budowie, wykonywania dodatkowych obróbek końcówek do spawania oraz samego spawania.

Dzięki możliwości szybkiej weryfikacji bieżących problemów, wprowadzanie rozwiązań usprawniających procesy produkcyjno-montażowe odbywało się na bieżąco, nie powodując konieczności wstrzymywania prac produkcyjnych czy montażowych. Efektem końcowym wspólnej pracy projektowo-produkcyjno-montażowej jest wykonanie zlecenia zgodnie z harmonogramem, przy zachowaniu najwyższej jakości i zwiększeniu efektywności przeprowadzanych prac.

Bibliografia

1. Zieliński A., Dobrzański J., Ocena stanu i przydatności do dalszej pracy materiału rurociągów parowych eksploatowanych powyżej obliczeniowego czasu pracy, Prace IMŻ 3 (2013).
2. Zeman M., Ocena skłonności stali 13hmf po długotrwałej eksploatacji do pękania eksploatacyjnego, Stal 77.8: 186.
3. Norma EN10216-2:2014





Remont kapitalny kotła – planowanie i realizacja, problemy i wyzwania zamawiającego

Sławomir Dziadula
TAURON Wytwarzanie SA
Departament Zarządzania Majątkiem Produkcyjnym

Problematyka zrealizowania remontu kotła obejmuje wiele różnych aspektów. Z innymi trudnościami spotyka się zamawiający i z innymi wykonawca. Zdarzają się również elementy wspólne, które zamawiający i wykonawca muszą wspólnie rozwiązać. Aby w miarę uporządkować poruszane zagadnienie, należy je podzielić na następujące podstawowe procesy:

1. **PLANOWANIE** - w którym można rozróżnić analizę danych diagnostycznych, analizę informacji o remontowanym obiekcie w zakresie jego usterkowości, wstępne szacowanie wartości zakresu prac.
2. **WYBÓR WYKONAWCY** - gdzie przygotowuje się warunki uczestnictwa w postępowaniu, opisuje szczegółowo przedmiot zamówienia, bada rynek i szacuje jego wartość, dokonuje wyboru rodzaju procedury zakupowej, w konsekwencji wybiera się wykonawcę.
3. **REALIZACJA** - czyli fizyczne wykonanie zleconego zakresu prac przez wybranego wykonawcę.

Procesy te generują, w zależności od wielkości organizacji, większe lub mniejsze problemy przy ich realizacji.

Planowanie

Proces ten powinien się opierać na diagnostyce oraz szczegółowej wiedzy o stanie technicznym kotła. Diagnostyka części ciśnieniowej kotła jest najczęściej dobrze rozwinięta i dostarcza dużo informacji o jej stanie. Jednak są miejsca, gdzie diagnostyka zagląda rzadko i wiedza na temat tych obszarów jest słaba. Są to najczęściej obszary trudno dostępne, o małej awaryjności. Tu trzeba zadać pytanie, jak szczegółowo badać te obszary, gdyż badania wygenerują bardzo duże koszty pośrednie jak: rusztowania, usuwanie ogromnych zależyn pyłu itp. Kolejnym problemem jest czas, w którym dokonuje się procesu planowania. Najczęściej jest to okres przypadający od 1 do 1,5 roku przed planowanym remontem, a dla energetyki okres ten nie jest bez znaczenia. Tym bardziej, gdy obecnie pracujące bloki energetyczne na węgiel kamienny są traktowane jako uzupełnienie produkcji energii elektrycznej. Większość tych bloków była projektowana jako jednostki podstawowe, a obecna ilość wyłączeń i uruchomień znacząco wytywa na ich stan techniczny. Dlatego też bardzo często, w skutek tych działań, planowany zakres remontu nie pokrywa się z rzeczywistymi potrzebami stwierdzonymi po wejściu na obiekt. Tu pojawiają się tzw. prace dodatkowe, które czasami budzą kontrowersje i pytania typu: czy nie można było tego zaplanować? Z tym aspektem zawsze pojawia się kolejny problem: ilość przyznanego budżetu na remont, który może okazać się niewystarczający. W TW przyjęto założenie, że remonty kapitalne powinny być wykonane w pełnym zakresie i budżet jest przyznany do zakresu, a nie odwrotnie. Tu powstaje pewien precedens: specjaliści mimo to uważają, że środków jest za mało, a z realizacji projektu np. remontu kapitalnego kotła pozostają niewykorzystane fundusze. Oczywiście nie jest tak za każdym razem, ale też nie są to odosobnione przypadki. Dlatego też należy sobie uświadomić, że planowanie było, jest i będzie obarczone pewnym błędem. Należy jednak określić poziom dopuszczalnego błędu, który jest akceptowany przez wszystkie poziomy decyzyjne. Pozwoli to na uniknięcie czasem trudnych dyskusji i pozwoli specjalistom technicznym pracować w mniejszym stresie.

Wybór wykonawcy

Obecnie ten obszar nastrocza chyba najwięcej problemów zamawiającemu. Remont kapitalny kotła to najczęściej zamówienie powyżej 418 tys. euro, czyli udzielenie zamówienia należy dokonać zgodnie z ustawą Prawo Zamówień Publicznych. Są to przepisy skomplikowane, trudne do realizacji z powodu swojego znacznego sformalizowania. Pojawiają się problemy, jak spełnić wymogi

ustawy, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej jakości zamawianych usług. Ten aspekt szczególnie rozumieją ci, którzy musieli się zmierzyć z tym problemem przygotowując SIWZ na skomplikowane zakresy, a na pewno takim zakresem jest remont kapitalny kotła wraz z urządzeniami pomocniczymi. Problem to wymogi stawiane wykonawcy, opisane w taki sposób, aby firma wchodząca na robotę miała odpowiednio wysokie doświadczenie / kwalifikacje, a przy tym nie faworyzować tych, którzy są lepiej znani i cenieni za jakość świadczonych usług. Doświadczenie wykazuje, że jest to niezmiernie trudne, tym bardziej, iż przy obecnej sytuacji na rynku pracy, firmy, chcąc się utrzymać, walczą o możliwość wzięcia udziału w postępowaniu i nieraz kwestionują wymogi zamawiającego, stawiając zarzut, że są nieadekwatne do zakresu, jaki jest do wykonania. Zamawiający, nie chcąc się narazić na odwołania, łagodzi swoje wymagania. Bardzo często życie weryfikuje te "nieuzasadnione wymagania" i okazuje się, że jednak były adekwatne, a wykonawca ma problemy z realizacją zadania, co w konsekwencji kończy się karami dla niego, na które nie chce się zgodzić, z powodu zbyt dużej kary do winy.

W procesie planowania, jak i w procesie zlecenia usługi, ważnym elementem jest szacowanie wartości zamówienia. Po pierwsze określa to budżet, jaki jest niezbędny na realizację zakresu prac. Po drugie określa rodzaj procedury, którą należy zastosować, aby wyłonić wykonawcę. Dla prac powtarzalnych, o stosunkowo niedużej wartości, ceny za usługę są w miarę stałe. Natomiast ceny za usługi o dużej wartości, realizowane okresowo, np. remont kapitalny kotła, mogą się wahać nawet do kilkudziesięciu procent. Zależy to od sytuacji na rynku zleceń, od koniunktury czy też pojawienia się kolejnego wykonawcy. Największe problemy pojawiają się w momencie niedoszacowania wartości zamówienia. Natychmiast pojawiają się pytania: jaka metodyka szacowania została przyjęta? Na podstawie czego osoba szacująca przyjęła wartości? Czy nie można było to zrobić lepiej? Oczywiście szacować należy starannie, ale dalej to jest tylko szacunek i nie powinien stać się z automatu elementem krytycznym i powodem do negatywnej oceny osoby szacującej.

Kolejny problem to opis przedmiotu zamówienia. Dla remontu kapitalnego kotła jest to znana ilość czynności, które trzeba uwzględnić, aby wykonawca mógł podać jednoznaczną cenę. Tu znowu pojawia się problem, kiedy i w jakiej kolejności będzie remontowane. Jedne firmy nie mają żadnych problemów z interpretacją zakresu i potrafią go wycenić. Natomiast firmy, które uważają, że przedmiot zamówienia jest w ich zasięgu i składają ofertę za mniejszą cenę (nie do końca będąc świadomi tego, co trzeba zrobić), mają problem z realizacją zadania za uzgodnioną cenę. Szukają wówczas wszelkich niedomówień,

interpretując je na swoją korzyść, oczekując dodatkowego wynagrodzenia, co stanowi bardzo duży problem dla zamawiającego.

Nie bez znaczenia są kryteria oceny oferty. Problemem jest określenie wagi poszczególnego kryterium. Przykładem może być np. gwarancja. Na ile ją wycenić? Ile wynosi próg jej opłacalności? Przecież wiemy, że gwarancja kosztuje. Dlatego nie można jej też windować w nieskończoność. Obecnie oczekiwany czas ważności gwarancji bardziej określa się za pomocą subiektywnych ocen niż jednoznacznej metody niebudzącej kontrowersji. Jak widać stawianie kolejnych kryteriów (nawet obecnie niekwestionowanych przez wykonawców) mogą spowodować niepotrzebny wzrost kosztów, które wykonawcy muszą uwzględnić w swojej ofercie. Natomiast z drugiej strony cena jako jedyne kryterium, często wypacza oczekiwania zamawiającego, co w konsekwencji powoduje wybór wykonawcy, z którego zamawiający jest niezadowolony, a on pozostaje w „grze” jako przyszły potencjalny wykonawca. Oczywiście można mu nie wystawić pozytywnych referencji, ale bardzo często pozyska je w inny sposób.

I tu możemy przejść do kolejnego problemu, czyli podpierania się referencjami jednego wykonawcy przez drugiego. Często wykonawcy używają sobie nawzajem referencji, nawet dając oświadczenie, że w przypadku wygrania danego postępowania przez tego wykonawcę wesprze go wiedzą i doświadczeniem. A z tym już jest różnie. Nieraz wsparcie to polega na tym, że wspierający pojawi się raz czy dwa na remoncie i na tym kończy się jego czynny udział w realizacji zamówienia. Wykonawca pozostaje z problemem próbując go rozwiązać samodzielnie z różnym skutkiem. Najczęściej się to przejawia częstymi wizytami wykonawcy w okresie gwarancji, co jest kosztowne dla samego wykonawcy, a irytujące dla zamawiającego. Przecież optymalnym rozwiązaniem dla zamawiającego jest wykonanie zleconego zakresu prac i braku potrzeby przyjazdu wykonawcy do usuwania usterek gwarancyjnych. Tym bardziej, że np. odstawienie kotła jest kosztowne i uciążliwe dla zamawiającego. Brak produkcji to znacząca utrata dochodu, którego zamawiający nigdy nie odzyska. I tak np. awaryjny postój kotła, a co za tym idzie bloku energetycznego, to straty idące w setki tysięcy złotych. Natomiast wykonawcy nie godzą się na zawarcie w umowie rekompensaty za korzyści utracone, co jest zrozumiałe, bo doprowadziłoby to do w niejednym przypadku do szybkiej utraty płynności finansowej wykonawcy, a może i nawet do jego upadłości. Najprawdopodobniej zamawiający nie znalazłby takiego wykonawcy, który przyjąłby kary za utracone korzyści, a jeśli by nawet takowy się znalazł, remont kotła kosztowałby dziesiątki milionów złotych, to zaś stawiałoby pod znakiem zapytania opłacalność remontowania tego urządzenia,

a nawet można postawić tezę, że byłoby kompletnie nieopłacalne.

Realizacja

Po wyborze wykonawcy rozpoczyna się proces fizycznej REALIZACJI zadania na obiekcie, który też niesie ze sobą często wiele kłopotów. Szczególnie było to widoczne podczas remontów bloków 200 MW w Elektrowni Jaworzno III i Elektrowni Łaziska. Zaplanowany zakres wymian powierzchni grzewalnych, palników (dotyczy Jaworzno III) i innych komponentów kotła, był największy w historii tych elektrowni. Przedsięwzięcie było olbrzymie. Ilość montowanych elementów i ilość wykonawców do skoordynowania była znacząca.

Przykładowe zdjęcia z realizacji remontu kotła OP 650 w TW SA Elektrowni Jaworzno III.



Rys. 1. Widok komory paleniskowej z widocznymi nowymi elementami parownika podczas remontu kapitalnego kotła



Rys. 2. Wymiana zimnego leja kotła OP 650 podczas remontu kapitalnego kotła

Projekt należało skoordynować tak w zakresie terminowej realizacji, jak i w zakresie bezpieczeństwa pracy. Zasady koordynacji określa artykuł 206 Kodeksu Pracy, który nakłada obowiązek na zamawiającego powołania tzw. koordynatora BHP, który ma zapewnić taką organizację prac, aby poszczególne brygady nie stanowiły dla siebie nawzajem zagrożenia. Podczas modernizacji bloków 200MW w Elektrowni Jaworzno III koordynację zlecono firmie zewnętrznej, której postawiono dwa podstawowe wymogi:

- wykonanie modernizacji kotła w wyznaczonym czasie;
- żadnego wypadku z powodu złej koordynacji.

Pomysł ten sprawdził się w 100%. Wszystkie remonty wykonano w wyznaczonym terminie oraz nie odnotowano żadnego wypadku przy pracy.

Z całą pewnością jest to ważny sukces i choć w efekcie remont wykonano terminowo i bez wypadku, nie obyło się bez problemów. Największą złą sprawą były porządki w miejscu pracy. Notoryczne podrzucanie nawzajem śmieci i innych odpadów. Praktycznie nie było dnia, aby ten problem nie musiał być podnoszony przez służby zamawiającego i koordynatorów. Na krótką chwilę pomagało odsunięcie wykonawców od prac, ale nie udało się uzyskać ciągłego efektu.



Rys. 3 i 4. Przykłady problemów z gromadzeniem i usuwaniem odpadów podczas remontu kotła

Po analizie tego zagadnienia nasuwał się jeden wniosek: im więcej podwykonawców, którzy mają kolejnych podwykonawców, tym większy problem z przestrzeganiem BHP i porządków. I to kolejny problem, czyli pojawianie się na remoncie całego łańcuszka podwykonawców, często firm o małej kulturze pracy, ale za to tanich. Żadnym pocieszeniem dla zamawiającego jest to, że podwykonawca pracuje na wizerunek generalnego wykonawcy, bo problemy dotyczą zamawiającego, któremu najbardziej zależy na zakończeniu remontu w terminie, natomiast niekoniecznie kolejnemu podwykonawcy. Takich przykładów z realizacji remontów kotłów OP650 można by było przytoczyć co najmniej kilka. Są to jednak problemy bardziej natury organizacyjnej niż technicznej, które również się zdarzają. Jednym z nich jest konieczność wykonania prac dodatkowych. Należy tu nadmienić, że nie są problemem te prace, których sposób wykonania jest oczywisty i łatwy do zdiagnozowania. Raczej chodzi o nietypowe uszkodzenia, które wymagają uzgodnienia technologii naprawy, postępując się najczęściej doradztwem zewnętrznym. Każda taka sytuacja skutkuje dodatkowymi kosztami, jak i przedłużeniem remontu. To w konsekwencji wymaga aneksowania zawartych umów z wykonawcą, co jest pracochłonne i uciążliwe dla zamawiającego.

Podsumowując: remont kapitalny kotła czy też bloku energetycznego to proces nietatwy, generujący różnego rodzaju problemy. Ich skuteczność rozwiązywania i unikania zależy od doświadczenia kadry i pracowników, często szeroko rozumianej kultury technicznej wykonawcy i zamawiającego. Nie bez znaczenia jest też prawo, które często jest skomplikowane i trudne do realizacji.



Remont kapitalny kotła - planowanie i realizacja, problemy i wyzwania wykonawcy

Marcin Morawski

ZRE Katowice SA

Wydział Remontów Kotłów

Efektywna realizacja remontu kapitalnego zależy od odpowiedniego zaplanowania realizacji. Podstawą do planowania jest określenie wyzwań oraz problemów, które można napotkać. Część problemów i wyzwań można określić już na etapie analizy SIWZ i pierwszych spotkań, wizji u zamawiającego. Rzetelność wyceny zależy od odpowiedniej analizy zapytania i określenia wytycznych dotyczących realizacji.

Kolejne etapy planowania mają miejsce podczas realizacji i bieżących kontaktów z klientem. Wiele problemów i wyzwań takich jak koordynacyjne, projektowe oraz technologiczne objawia się już bezpośrednio podczas samego przeprowadzania zadania. Bieżący nadzór nad pracami remontowymi i zaangażowanie całego zespołu pracowników to ważny element mający wpływ na realizację i planowanie.

ZRE Katowice SA posiada pracowników z wieloletnim stażem i doświadczeniem. Firma stawia za jeden z ważniejszych celów odpowiednie zaangażowanie całej kadry w prowadzone prace remontowe, modernizacyjne i inwestycje. Młodzi pracownicy są wspierani wiedzą przez tych z doświadczeniem, dzięki czemu ich wiedza z każdym przepracowanym dniem rośnie. Doświadczona kadra pozwala na sprawne wykrywanie i planowanie rozwiązań dla problemów występujących podczas realizacji. Każda firma powinna dbać o przekazywanie wiedzy młodszemu pokoleniu pracowników. Kluczowy i naturalny tryb rozwoju każdej firmy pracującej w energetyce powinien się opierać na odpowiednim szkoleniu pracowników młodych, którzy w naturalnym czasie zastąpią przechodzących na emeryturę. Taka polityka jest podstawą do planowania przyszłościowego rozwoju firmy i taką politykę realizuje firma ZRE Katowice SA.

Planowanie na etapie wyceny

Podział zakresu na poszczególne wydziały

Zapytania ofertowe otrzymane przez potencjonalnego wykonawcę trafiają do odpowiednich jednostek wykonawczych. Po otrzymaniu zapytania ZRE Katowice, zgodnie z polityką jakości, uruchamia przegląd zapytania ofertowego, który prowadzi do podjęcia decyzji dotyczącej przygotowania wyceny.

Na przekazanie oferty do wyceny wpływa wiele czynników, takich jak możliwości kadrowe, terminowe, a także wymagania referencyjne. Po zaopiniowaniu zapytania i przyjęciu go do wyceny, uruchamiany jest przegląd zapytania pod względem wymagań ofertowych, formalnych, technicznych i prawnych. Na rys. 1 jest widoczna przykładowa karta przeglądu zapytania ofertowego.

134

PRZEGLĄD ZAPYTANIA OFERTOWEGO / UMOWY ¹⁾					
Nr rejestracyjny umowy / oferty		Data wystawienia			
Nr umowy / oferty		Prowadzący przegląd		(data i nazwisko)	
Klient					
Pracownik umowy / oferty					
Dokumentacja wymagana z załącznikiem					
Program przeglądu					
Jedn. organ. ²⁾	Wymagane data rok. przeglądu ³⁾	Ostatnie dokonany przegląd (miej. nazwisko)	Potwierdzenie zakończenia przeglądu		
EC			Zat. P-012 (data/rok)	data	podpis
EGK					
NO					
DJ					
NR					
001.5 Specj. ds. Serwisu i Usług					
001.5 Specj. ds. serwisu					
ZUKK					
Dyspozycja dla Prowadzącego przegląd					
(data i podpis Kierownika / Inicjatora Zapytania)					
Opinia Kierownika		Opinia pracownika (data) rok			
		(data i podpis Kierownika)			
Dotyczy		Serwisant umowy			
		(data i podpis IT / Inicjatora Zapytania)		(data i podpis IT / Inicjatora Zapytania)	

¹⁾ wypełnia Prowadzący ²⁾ - niepotrzebnie skreślać
Formularz jest przeznaczony do każdej jednostki realizującej przegląd - 1 egz. przysyła się Prowadzącemu przegląd

Formularz P-012-4 strona 1 z 1 data wydania 01.08.2012

Rys. 1. Przegląd zapytania/umowy

W przeglądzie tym uczestniczą osoby z poszczególnych jednostek organizacyjnych, mających na celu kompleksową analizę treści SIWZ. Na tym etapie występuje już planowanie realizacji, które będzie dalej szerzej opisane.

Wymagania klienta

Na etapie przygotowania wyceny wykonawca przeprowadza analizę pod względem wymagań ofertowych klienta. Zapytania ofertowe na remonty bloków wpływają do ZRE Katowice z różnych firm, które mają odmienne wymagania dotyczące prac remontowych. Dodatkowo wymagania te różnią się w odniesieniu do każdego obiektu i zmieniają się przy poszczególnych realizacjach. Wiąże się to z analizą tych wymagań za każdym razem na nowo, nawet gdy mamy do czynienia z tym samym obiektem, ponieważ nawet drobne zmiany mogą mieć wielkie znaczenia dla kosztów realizacji. Główne wymagania klienta, które należy uwzględnić przy planowaniu to m.in:

- **Wymagania BHP** - na różnych obiektach wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy są podobne, ponieważ są określone za pomocą odrębnych przepisów. Mimo to, można napotkać pewne różnice, które w końcowym rachunku mają znaczący wpływ finansowy. Wymogi BHP mają znaczący wpływ na koszt utrzymania prac. Dlatego tak ważne jest zaplanowanie i określenie wszelkich zagrożeń, z którymi można się spotkać podczas realizacji zadania. Rzetelne planowanie w aspekcie BHP pozwala na bezpieczną pracę i na zmniejszenie kosztów.
- **Terminy** - w czasie planowania realizacji kluczowym elementem jest określenie czasu realizacji zadania. Ogólne terminy podane w SIWZ są zazwyczaj zamknięte w ramach, które nie zawsze przekładają się na faktyczny czas prac. W treści mogą być podane dodatkowe wymagania dotyczące terminów, które mogą mieć znaczący wpływ na czas przeprowadzania prac. Przykłady takich wymagań zostaną podane w problematyce wyceny.
- **Technologia** - zamawiający wymaga od klienta, aby wykonał przedmiot umowy zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, które należy wykorzystać tak, aby realizacja przebiegała sprawnie i bezpiecznie. Ważnym elementem planowania jest określenie etapów i sposobu montażu remontowanych elementów. Analiza powinna być prowadzona przez wykwalifikowany zespół, który na etapie wyceny, podczas oględzin urządzeń określi

technologię prac, uwzględniając różnice w budowie podobnych urządzeń. Na tym etapie planowania muszą zostać określone:

- drogi transportowe,
- miejsca i sposoby montażu rusztowań,
- masy elementów i ich podział montażowy,
- konstrukcja montażowa
- wszelkie inne wymagania zależne od zakresu.

Kompleksowo zaplanowana i przygotowana technologia remontu powinna zostać przedstawiona zamawiającemu do weryfikacji. Planowanie montażu to jeden z najważniejszych etapów przygotowania do realizacji.

- **Zabezpieczenia** - określenie wymaganego zabezpieczenia pozostałych urządzeń i miejsc pracy podczas remontu. Często zamawiający posiada dodatkowe życzenia dotyczące zabezpieczenia, przygotowania miejsc prac i dróg transportowych. Są to wymagania, które nie zawsze są zawarte bezpośrednio w SIWZ, ale należy je wytapać podczas jego analizy.

Zaplecze socjalne, narzędziownia

Przy planowaniu remontu ważne jest również określenie możliwości socjalnych. Pierwszą rzeczą, nad jaką trzeba się zastanowić, jest liczba planowanych pracowników, jaką należy utrzymać na budowie. Zdarza się również, że na remontowanym obiekcie zamawiający posiada już swoje brygady serwisowe, co niezwykle ułatwia przygotowanie zaplecza. Niestety ostatnio odchodzi się od utrzymania grup serwisowych na rzecz doraźnego kontaktu z firmami zaprzyjaźnionymi. Taka sytuacja może się w przyszłości odbić na możliwościach reakcji i szybkości usunięcia awarii, co w konsekwencji wcale nie musi się przyczynić do oszczędności.

Tworzenie zaplecza na obiektach nowych i w miejscach, w których takiego zaplecza nie można uzyskać od zamawiającego, wymaga dokładnej analizy możliwości. Przede wszystkim należy przeanalizować zapytanie ofertowe. Często w SIWZ jest informacja o możliwościach organizacji zaplecza, narzędziowni i pola ołkadczego. Gdy tych informacji nie ma, należy je uzyskać od zamawiającego.

Dostawy

Określenie zakresu dostaw jest kolejnym ważnym etapem w planowaniu remontu. Często zapisy SIWZ wskazują wprost zakres dostaw i ele-

mentów przekazywanych przez zamawiającego. Na etapie analizy należy się zastanowić, jakie są możliwości prefabrykacji elementów we własnym zakresie, a które z nich należy zlecić na zewnątrz. ZRE Katowice posiada hale produkcyjne w Jaworznie, gdzie prefabrykuje konstrukcje, wykonuje gięcia rurociągów oraz wykonuje i prowadzi obróbkę mechaniczną urządzeń i części. Nasze możliwości powiększyły się ostatnio o wykonywanie elementów ciśnieniowych, takich jak panele szczelne, węzownice przegrzewaczy i podgrzewaczy, odgięcia palnikowe i dysze OFA. Doświadczona firma powinna być w stanie samodzielnie wykonać elementy ciśnieniowe na bieżące remonty bloków energetycznych. Na rys. 2, 3 i 4 widoczne są przykłady elementów ciśnieniowych wykonanych przez ZRE Katowice.



Rys. 2.

Pojedyncze rury gięte na dysze
OFA kotła w Rybniku



Rys. 3.

Opletwowane panele narożne
palników pytowych EC Kraków



Rys. 4. Podgrzewacz spalin dla czeskiego inwestora

Gdy istnieje potrzeba zwrócenia się do producenta lub firm obcych o wykonanie części remontowych, podstawą jest odpowiednio wcześnie wystanie zapytań o oferty cenowe i terminowe.

Usługi obce

Kompleksowy zakres realizacji remontów kapitalnych często wymusza skorzystanie z usług podwykonawcy. Ma to miejsce zazwyczaj wtedy, gdy prace określone w SIWZ nie są bezpośrednio związane z usługami świadczonymi przez wykonawcę, bądź zakres ich jest bardzo rozległy.

W przypadku, gdy wykonanie prac samodzielnie jest utrudnione lub niemożliwe, należy się posługiwać podwykonawcami. Często zakres remontu jest tak rozległy, że skorzystanie z podwykonawcy jest wymagane, a nawet wskazane przez zamawiającego. Z podwykonawcą należy się odpowiednio wcześniej skontaktować, celem określenia zakresu prac do wykonania i zadania w jego imieniu pytań. Często prace podwykonawcy mają duży wpływ na rozpoczęcie i zakończenie prac przez głównego wykonawcę. W związku z tym, należy kierować się ostrożnością w doborze firmy świadczącej usługi podwykonawcy i założyć, że nie zawsze najważniejsza przy jego wyborze jest cena, ale należy zwracać uwagę również na jakość świadczonych usług.

Problematyka wyceny

Terminy

Omawiając problematykę należy poruszyć najbardziej uciążliwe aspekty remontu, które utrudniają zarówno przygotowanie oferty, jak i planowanie. Pod pojęciem terminów kryje się zarówno czas przygotowania oferty jak i szczegółowe wymagania klienta dotyczące terminów realizacji. Problematykę związaną z terminami prac można podzielić na trzy podstawowe rodzaje:

- **Termin przygotowania oferty** - zaliczamy tutaj przede wszystkim krótkie terminy na przygotowanie oferty. Zdarza się, że zamawiający potrzebuje wyceny na tyle szybko, że nie skłania się do przedłużenia terminu złożenia, co może sprawić trudności wykonawcy. Krótkie terminy mogą się bezpośrednio przyczynić do odstąpienia od złożenia oferty, bądź złożenia oferty, która jest wyceniona jedynie na podstawie pewnych założeń. Taka wycena jest przygotowana na podstawie doświadczenia wykonawcy i jest obciążona pewnym ryzykiem.
- **Terminy wykonania zadania** - pod tym pojęciem kryje się czas wykonania prac. Zdarza się, że prace muszą być wykonane w bardzo krótkim czasie, co może się wiązać z pracą na różne zmiany. Krótkie terminy wynikają przede wszystkim z możliwości postojowych bloków energetycznych, które są w ostatnich czasach mocno wysrubowane. Planowanie zatrudnienia i określenie czasu, jaki jest potrzebny na wykonanie zadania, to jedna z najważniejszych części planowania. Często wykonawca musi się zmierzyć z pracami, które wymagają dużego nakładu pracy przy dwóch lub trzech wydłużonych zmianach. Trzeba wziąć pod uwagę, że wysrubowane terminy wykonania prac (coraz częściej wymagane przez zamawiającego) nie zawsze przyczyniają się do oszczędności. Coraz krótsze terminy przyczyniają do pogorszenia jakości wykonania i mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo prac. Ważne jest, aby zachować zdrowy rozsądek przy ustalaniu terminów, ponieważ remont prowadzony w zbyt krótkim czasie może rzeczywiście przyczynić się do przypadków niebezpiecznych i powstania opóźnień. Oczywiście zamawiający może argumentować, że nie każdy wykonawca da radę wykonać remont w wymaganym czasie i jeśli nie chce składać oferty, to nie jest do tego przymuszony. Niedokładne określenie możliwości terminowych wykonania remontów jest zjawiskiem negatywnie wpływającym na rynek, bezpieczeństwo i jakość realizowanych prac.

- **Terminy kluczowe** - podczas analizy terminów przeprowadzania prac należy szczególną uwagę zwrócić na terminy kluczowe. Realny czas przeprowadzenia remontu często różni się od deklarowanego. Wiąże się to z tym, że terminy oddania bloku przez zamawiającego do remontu, próba szczelności i rozruchy urządzeń mają znaczący wpływ na czas prowadzenia prac. Termin oddania bloku do remontu często nie wiąże się z terminami rozpoczęcia na nim prac. Przez oddanie bloku do remontu często należy rozumieć jego odstawienie, gdzie później blok jest studzony, czyszczony i dopiero wtedy, gdy jest on odpowiednio przygotowany do prac, można do nich przystąpić. Sytuacja ta powoduje kilkudniowe opóźnienie które nie zawsze jest określone w SIWZ i należy taką ewentualność zaplanować. Podobna sytuacja występuje przy zakończeniu prac. Konieczność przeprowadzenia próby wodnej, przed faktycznym uruchomieniem, wiąże się z wcześniejszym zakończeniem prac i przerwaniem ich w zakresie strefy zagrożenia. Zamawiający często wlicza również w czas remontowy wszystkie próby i uruchomienia bloku i nie informuje o tym w zapytaniu ofertowym. Wszystkie kluczowe dla odstawienia i uruchomienia bloku czynności skracają czas wykonania remontu od 3-4 dni do nawet tygodnia. Przy planowaniu czasu prac ważny jest kontakt z zamawiającymi i określenie dokładnych terminów wykonania wszelkich niezapisanych w SIWZ czynności.

Dokumentacja wykonawcza

Kompleksowe wykonanie remontu zazwyczaj wiąże się z dostawami części zamiennych. Niektóre części zamienne są zapewnione przez zamawiającego, część należy zakupić u producenta, natomiast resztą zazwyczaj obarcza się wykonawcę. Problemy zaczynają się w momencie gdy zamawiający nie posiada dokumentacji wykonawczej na wymagane elementy lub posiada dokumentację częściową. Wtedy należy dokładnie przeanalizować budowę elementu i w miarę możliwości, z pomocą zamawiającego, określić możliwości jego wykonania. Dużym ułatwieniem jest wizja lokalna, na której można określić (przynajmniej wstępnie), z jakim elementem należy się zmierzyć. Niestety zazwyczaj założenie kosztu wykonania elementu leży głównie po stronie doświadczenia zamawiającego. Często zdarza się, że element można przygotować dopiero po jego demontażu. Wiąże się to z jego wykonaniem podczas remontu, więc należy odpowiednio wcześniej zaplanować jego prefabrykację, aby była ona możliwie jak najkrótsza.

ZRE Katowice jako firma, która ma wieloletnie doświadczenie w energetyce,

potrafi wycenić, sprefabrykować i kompleksowo wymienić praktycznie każdy element niezbędny do przeprowadzenia remontu bloku pod klucz, nawet gdy zamawiający nie posiada dokumentacji technicznej wyrobu.

Koszty pośrednie

Kosztami pośrednimi można nazwać wszystkie koszty, które obciążają wykonawcę i nie znajdują się w tabeli cenowej, a można je wywnioskować z zapisów SIWZ. Do kosztów pośrednich można zaliczyć:

- **Koszty utrzymania budowy** - są to koszty utrzymania zaplecza socjalnego, paliwa do pojazdów, a także media i materiały biurowe.
- **Sprzęt specjalistyczny** - po przeanalizowaniu technologii może się okazać, że do prac remontowych niezbędne będzie wykorzystanie sprzętu specjalistycznego, takiego jak wózek widłowy, dźwigi, specjalistyczne podnośniki. Sprzęt ten zazwyczaj jest wynajmowany od firm zewnętrznych.
- **Koszty magazynowania** - w większości przypadków zagospodarowanie odpadów i zdemontowanych urządzeń jest w gestii wykonawcy. Trzeba mieć na uwadze, że szczegółowe wymagania mogą się różnić u każdego zamawiającego. Szczególną uwagę należy zwrócić na wymagania dotyczące miejsca magazynowania i warunków usunięcia odpadów, bądź urządzeń. Przygotowanie i transport odpadów może wygenerować duże koszty i zwiększyć obsadę remontową.
- **Koszty materiałów spawalniczych** - koszt materiałów spawalniczych jest zależny od ilości spawania i rodzaju spawanego materiału. Koszty drutu bądź elektrody do rzadko spotykanych stali energetycznych może być nawet 10-krotnie wyższy niż do stali standardowych (P235, 16Mo3).

Wszystkie koszty pośrednie należy oszacować na etapie przygotowania oferty, ponieważ zależnie od technologii, materiałów i warunków na budowie koszty te mogą się diametralnie różnić.

Zakresy dostaw

Podczas remontów kapitalnych zdarza się, że dużą częścią końcowej kwoty oferty są dostawy. Wszystkie dostawy muszą być odpowiednio wcześniej

zaplanowane. Miejsce do magazynowania podczas remontu ma zazwyczaj ograniczoną powierzchnię, więc istotne jest, aby przygotować harmonogram dostaw dopasowany do prac remontowych. Ilości dostaw dla remontów kapitalnych mogą czasem przekroczyć 300 Mg, więc harmonogram musi pozwalać na bieżące magazynowanie i wykorzystywanie materiałów na budowie.

Duża ilość dostaw ma wpływ na odpowiednio wcześniejsze rozpoczęcie prac przygotowujących do realizacji. Spore ilości urządzeń do prefabrykacji wymagają nakładu czasu, finansów i pracy. Prefabrykacja podgrzewacza wody o wadze 200 Mg może trwać nawet 5 miesięcy. Przykład ten uświadamia jak wcześniej przed rozpoczęciem właściwego remontu, należy rozpocząć prowadzenie prac przygotowawczych.

Przygotowanie do realizacji

Zapoznanie się z obiektem

Na etapie przygotowań można napotkać wiele wyzwań związanych z organizacją budowy. Szczegółowe rozpoznanie warunków na budowie to jedno z ważniejszych wyzwań, z którym należy się zmierzyć. Ważne jest, aby zamawiający dokładnie przedstawił wszelkie niezbędne do realizacji informacje dotyczące:

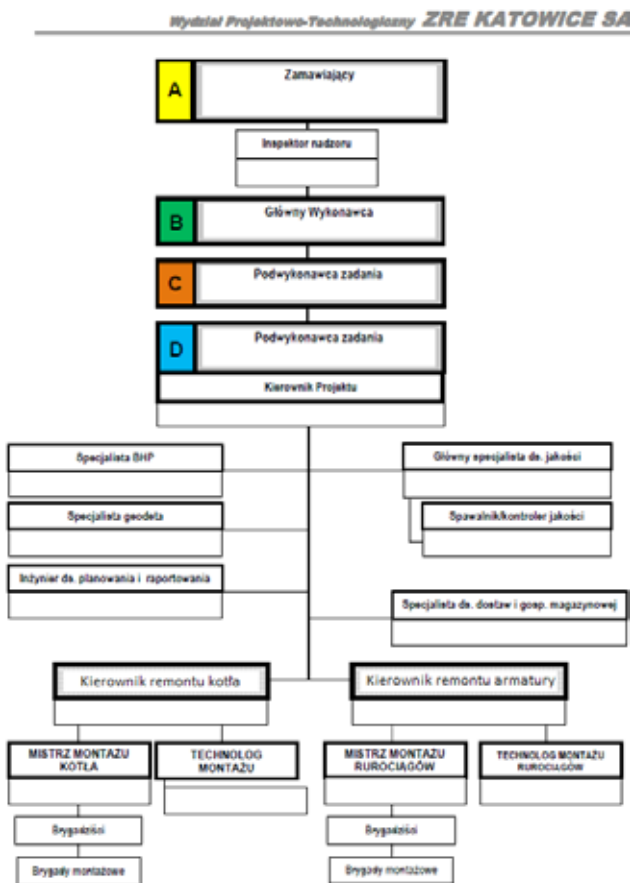
- zaplecza,
- dróg komunikacyjnych,
- mediów,
- poleceń pisemnych na prace,
- pól odkładczych,
- złomu i odpadów,
- polityki wwozu i wywozu,
- przepustek.

Wszystkie te informacje powinien potrafić przekazać dalej kierownik realizujący zadanie. To przede wszystkim on odpowiada za organizację i przygotowanie budowy, realizację zadania oraz kontakt z klientem.

Kolejnym etapem poznawania obiektu powinno być zapoznanie z nim najważniejszych pracowników odpowiedzialnych za przygotowanie budowy, czyli narzędziowca i mistrza, bądź mistrzów, zależnie od ilości zmian, na których

będziemy prowadzić realizację. Muszą oni posiadać praktycznie te same informacje co kierownik, ponieważ będą oni również pod nieobecność przełożonego prowadzić nadzór nad innymi pracownikami.

Przed rozpoczęciem zadania zamawiający organizuje również spotkanie wprowadzające, na którym znajdują się wszyscy uczestniczący w realizacji zadania. Na tym spotkaniu wykonawca przedstawia osoby, które z jego strony będą się zajmowały realizacją tematu, czyli przedstawia schemat organizacyjny. Na rys. 5 jest widoczny przykładowy schemat organizacyjny uwzględniający zamawiającego i wykonawcę.



Rys. 5. Schemat organizacyjny

Przedstawienie schematu jest o tyle ważne, że w remont jest zaangażowanych wiele osób z różnych działów zamawiającego, a schemat pozwala zapoznać się z nimi i umożliwia późniejszy kontakt.

POR, Technologia

Często spotykanym wymogiem, który należy spełnić przed rozpoczęciem realizacji, jest wykonanie POR-u, czyli Projektu Organizacji Robót. POR jest to projekt, w którym znajdują się wszystkie wytyczne dotyczące organizacji budowy i warunków technicznych, niezbędnych do jej przeprowadzenia. POR powinien uwzględniać ogólne założenia projektowe przeprowadzenia zadania i powinny się w nim znajdować takie elementy jak:

- podstawa opracowania,
- zobowiązania prawne i kontraktowe,
- wstępne warunki realizacji zadania,
- schemat organizacyjny,
- harmonogram realizacji,
- plan zagospodarowania placu remontowego,
- wymagania BHP,
- wykaz numerów kontaktowych.

Plan Organizacji Robót powinien być przygotowywany przez projektanta w porozumieniu z kierownikiem remontów. Projektant jest zatem kolejną osobą, która musi znać warunki realizacji zadania i najważniejsze zapisy umowne dotyczące prac. W POR należy zawrzeć również wszelkie informacje kluczowe, które kierownik otrzymał od zamawiającego. Aby POR był kompletny istotne jest uczestnictwo kierownika remontu w przygotowaniu takiego planu. POR jest przedstawiany zamawiającymi do wglądu i akceptacji, a często zdarza się, że rozpoczęcie prac zależy od jego akceptacji. Na rys. 6 widoczna jest przykładowa strona główna z POR-u przekazywanego zamawiającemu. POR jest jednym z ważniejszych dokumentów, jakie należy przekazać na początkowym etapie przygotowań do realizacji.

ZRE KATOWICE SA
 WYDZIAŁ PROJEKTOWO - TECHNOLOGICZNY
 e-mail: zre@zre.com.pl; adres: www.zre.com.pl
 adres: 40-619 Katowice, ul. Gen. Ż.W. Janusza 12, telefon: 032/7898 224, fax: 032/7898 233

Zamawiający	
--------------------	--

DOKUMENTACJA			
TEMAT OPRACOWANIA:			
PROJEKT ORGANIZACJI ROBÓT			
OBIEKT:			
NR OPRACOWANIA:		NR UMOWY:	
NR KKS:			
NR KLIENTA:			



	Nazwisko	Podpis
Projektujący:		
Sprawdzający:		
Kierujący projektem:		
Kierownik jednostki projektowej:		

KATOWICE	
-----------------	--

Dokument i jego zawartość, w szczególności tekst i rysunki, stanowią wyłączną własność ZRE Katowice S.A. i podlegają ochronie w rozumieniu własności intelektualnej. Wykonywanie, udostępnianie, powielanie, publiczne wykorzystywanie całości lub części dokumentu wymaga uprzedniej, wyraźnej pisemnej zgody właściciela. Unless otherwise stated explicitly, all information contained within this document is protected by ZRE Katowice S.A. copyrights and intellectual property law and may not be used, copied, distributed or modified without ZRE Katowice S.A. written consent.

Rys. 6. Projekt organizacji robót

Na etapie wyceny kierownik oraz projektant tworzą wstępne założenia projektowe które podczas przygotowania do remontu muszą zostać przetworzone na technologię montażu. Technologia montażu jest kolejnym ważnym dokumentem który należy przygotować przed rozpoczęciem prac. Na remontach kapitalnych powinien znajdować się technolog, który jest odpowiedzialny za przygotowanie dokumentacji projektowej oraz uczestniczy w rozwiązaniu wszelkich problemów wynikłych ze zmian projektowych i technologicznych.

Szkolenia

Każdy pracownik wykonujący prace w miejscach, które są określone jako prace niebezpieczne (opisane przepisami Prawa Energetycznego) musi posiadać odpowiednie uprawnienia i przejść odpowiednie szkolenia. Przed rozpoczęciem realizacji kierownik musi sprawdzić, czy pracownicy posiadają wszelkie wymagane przez przepisy prawa i zamawiającego dokumenty. Dopiero na podstawie tych dokumentów zamawiający może wystawić przepustkę wstępu na teren obiektu.

Przed rozpoczęciem realizacji kierownik musi zostać przeszkolony w zakresie występujących zagrożeń dla bezpieczeństwa i zdrowia w miejscu wykonywania prac, jak również zostaje zapoznany z uregulowaniami wewnętrznymi obowiązującymi na terenie jednostki organizacyjnej zamawiającego, dotyczącymi bezpieczeństwa i higieny pracy oraz bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Następnie zamawiający przeprowadza szkolenie swoich pracowników, po ich pojawieniu się na budowie, a pracownicy potwierdzają fakt zapoznania się z zagrożeniami i przepisami BHP zamawiającego wpisem w Dzienniku BHP.

Zaplecze

Organizacja zaplecza na remontowanych obiektach może być problematyczna. Przede wszystkim należy się zastanowić nad możliwością urządzenia narzędziowni. Często niezbędne jest wykorzystanie kontenerów narzędziowych. Przygotowanie zakresu narzędzi na remont leży zarówno w gestii kierownika, jak i narzędziowca. Istotne jest, aby odpowiednio zaplanować jaki sprzęt i narzędzia będą potrzebne przy kampanii remontowej, ponieważ każde kolejne transporty narzędzi mogą generować koszty. Dla celów magazynowych zamawiający wskazuje wykonawcy również pole odkładcze.

Na remoncie, jak również przy każdym realizowanym zadaniu, należy zagwarantować pracownikom zaplecze socjalne. Często istnieje możliwość skorzystania z zaplecza zamawiającego. Gdy takiej możliwości nie ma, należy się zastanowić nad stworzeniem z kontenerów miejsca, w którym znajdą się szatnia, natryski, stołówka oraz biura budowy. Stworzenie takiego „miasteczka” wiąże się z kosztami najmu lub zakupu kontenerów socjalnych, więc należy wcześniej przewidzieć taką ewentualność. Rys. 7 przedstawia takie przykładowe miasteczko kontenerowe. Na parterze znajdują się biura z aneksem kuchennym i stołówką, a na piętrze szatnie i natryski.



Rys. 7. Kontenery sanitarne i biurowe

Podczas przygotowań należy również mieć na uwadze, że kontenery muszą być zasilane w media oraz posiadać dostęp do kanalizacji. Lokalizacja miasteczka musi umożliwić dostęp do ww., ale trzeba pamiętać, że zazwyczaj kontenery zajmują sporą powierzchnię, co może zawęzić liczbę miejsc, gdzie możemy je umieścić. Jak najbardziej korzystne miejsce na terenie wskazuje zazwyczaj zamawiający, ale czasem kwestia dostępu do mediów stwarza potrzebę wykonania instalacji zasilających i odprowadzających. Wszystkie te problemy generują sporo nakładów czasu i środków, więc należy pamiętać, by organizację zaplecza budowy planować i rozpocząć wystarczająco wcześniej, aby nie generowało to opóźnień w realizacji.

Realizacja prac

Koordinacja

Po przygotowaniu zaplecza należy rozpocząć realizację prac. Prace w energetyce prowadzone są na polecenia pisemne, przy czym często zdarza się, że zamawiający wyznacza osobę zwaną koordynatorem prac. Koordynować prace może zarówno osoba od jednego z podwykonawców (zazwyczaj głównego), która została do tego wyznaczona i uprawniona, jak i pracownik zamawiającego, a czasami zewnętrzna firma wybrana w formie przetargu publicznego. Gdy prace na kotle prowadzi jedna firma, to kierownik prowadzi koordynację pomiędzy swoimi brygadami remontowymi.

Koordinacja jest potrzebna wszędzie tam, gdzie może dojść do sytuacji niebezpiecznych czy utrudnień w pracach pomiędzy firmami, które realizują w pobliżu siebie prace remontowe.

Nadzór BHP

Bezpieczeństwo i Higiena Pracy na realizowanym kontrakcie powinna być zawsze na pierwszym miejscu. Nie chodzi tu tylko o zachowanie wewnętrznych przepisów zamawiającego, ale o pewność, że każdy pracownik po skończeniu pracy wróci do domu cały i zdrowy. Zapewnienie bezpieczeństwa na budowie leży przede wszystkim w gestii wykonawcy. Po przeszkoleniu przez zamawiającego, wszyscy pracownicy wykonawcy powinni zostać poinformowani o zagrożeniach, z jakimi mogą się spotkać, jak im zapobiec oraz postępować w razie ich wystąpienia. Dodatkowym środkiem informującym o zagrożeniach występujących na kotle są polecenia pisemne. Na każdym poleceniu pisemnym powinien się znajdować szczegółowy spis zagrożeń i środków, dzięki którym można im zapobiegać. Każdy poleceniodawca zezwalając na prace upewnia się, czy prowadzący prace się z nimi zapoznał i zrozumiał, dzięki czemu może je przekazać reszcie brygady.

Podczas samej realizacji ważne jest, aby stale kontrolować stan BHP na obiekcie. Przy dużej ilości obowiązków, jakie nakłada na kierownika prowadzenie remontu, nie zawsze ma on możliwość stałego nadzoru nad pracami bezpośrednio na kotle. Dla celów stałego nadzoru należy powołać zespół inspektorów BHP, którzy będą współpracować ze służbami wykonawcy.

Odpowiednia analiza zagrożeń i właściwe zabezpieczenie pozwalają zapobiegać wszelkim sytuacjom niebezpiecznym, nim one wystąpią. Aby było to możliwe istotne jest, aby każdy pracownik posiadał świadomość zagrożeń, jakie mogą wystąpić podczas wykonywanych prac. Na utrzymanie bezpieczeństwa i świadomości pracowników przekładają się nie tylko coroczne okresowe szkolenia BHP, niezbędne do pracy. Należy organizować również praktyczne szkolenia dla nadzoru oraz innych pracowników, którzy z zagrożeniami mają styczność. Współpraca nadzoru, inspekcji BHP oraz samych pracowników pozwala na bezpieczną i sprawną pracę, dzięki czemu można zrealizować powierzone zadanie bez przypadków niebezpiecznych, zagrażających zdrowiu i życiu.

Nadzór nad pracami remontowymi

Realizacja zadania wymaga stałego kontaktu z brygadami remontowymi, współpracownikami i klientem. W toku prac pojawia się wiele problemów, których nie udało się wcześniej zaplanować. Stały kontakt z brygadami remontowymi pozwala na odpowiednio wczesną analizę problemów wynikłych z realizacji. Często, aby rozwiązać problem, należy go przeanalizować z współpracownikami oraz zamawiającym. W każdym przypadku podjęcie kluczowej decyzji dotyczącej realizacji zadania należy do kierownika.

Kierownik ma za zadanie nie tylko rozwiązywanie wszelkich problemów związanych ze sprawami technicznymi, ale także logistycznymi, socjalnymi i bezpieczeństwa. Wszelkie informacje powinny zatem trafiać do niego jak najszybciej, aby realizacja przebiegała bez opóźnień. Przy realizacjach tematów o dużym zakresie, gdzie wymagany jest stały kontakt pracowników z kierownikiem odpowiedzialnym za realizację zadania, powoływany jest jego zastępca. Zasadniczo jest to również osoba prowadząca realizację na innych obiektach, posiadająca doświadczenie techniczne i praktyczne. Odciąża ona kierownika odpowiedzialnego za remont od pewnych decyzji.

Sukces realizacji zależy od doświadczonego personelu, który prowadzi stały i kompleksowy nadzór nad powierzonymi pracami. Zespół ten powinien zapewniać szybkie i sprawne rozwiązywanie wszelkich nieprzewidzianych zdarzeń, które mogłyby zagrozić realizacji powierzonego zadania.

Kontakt z klientem

Odpowiedni poziom realizacji jest zależny od utrzymywania stałego kontaktu z zamawiającym, na co przekłada się bieżące raportowanie postępów, problemów i konsultowanie ich rozwiązań. Ze strony zamawiającego osobą kontaktową jest w większości przypadków pracownik zajmujący się nadzorem nad eksploatacją kotła. Dobry kontakt z zamawiającym pomaga kierownikowi w organizacji zadania zgodnie z wymaganiami klienta.

Narady remontowe to kolejny istotny element utrzymywania stałego kontaktu z zamawiającym. Terminy takich narad określa zamawiający zależnie od postępu prac. Narady przebiegają w trybie, który umożliwia raportowanie oraz zadawanie pytań zarówno przez zamawiającego, jak i wykonawcę. Spotkania te pozwalają poruszyć podstawowe zagadnienia i problemy wynikłe podczas realizacji zadania. Istotne jest, aby wykonawca na naradzie

przedstawił bieżące utrudnienia i postępy prac w odniesieniu do harmonogramu. Narady pozwalają również na usprawnienie koordynacji poprzez wzajemne informowanie się o postępach i planowanych pracach wszystkich firm uczestniczących w realizacji remontu.

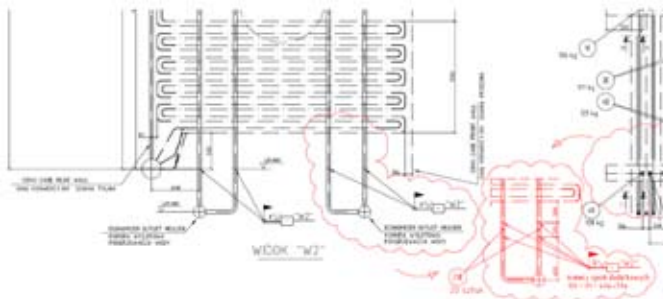
Kontakt z klientem jest jednym z ważniejszych elementów podczas realizacji prac remontowych. Sprawna komunikacja między zamawiającym i wykonawcą pozwala na szybszą analizę i bieżące planowanie realizacji, co przyczynia się do efektywniejszego prowadzenia prac remontowych.

Problemy i wyzwania podczas realizacji

Zmiany projektowe

Podczas realizacji można napotkać wiele problemów, których na etapie planowania nie można było przewidzieć. Jednymi z najczęstszych problemów występujących podczas realizacji są zmiany i problemy projektowe. Wiąże się one głównie z brakami, wcześniejszymi zmianami w dokumentacji kotła lub bezpośrednio z samego błędu ludzkiego. Błędy w dokumentacji projektowej mogą mieć znaczący wpływ na czas realizacji zadania. Dlatego istotne, aby na bieżąco wykrywać i wprowadzać działania naprawcze dla błędów projektowych.

Potrzeba wprowadzenia zmian projektowych często wiąże się nie tylko z błędami odnalezionymi w dokumentacji. Do przyczyn zmian w technologii oraz zakresie prac można również zaliczyć stan obiektu oraz błędy wykonawstwa. Wszelkie zmiany w dokumentacji powinny zostać odpowiednio wyszczególnione. Na zdjęciu 8 widoczna jest zmiana projektowa wynikająca z błędu w wykonaniu elementu przegrzewacza. Zbyt krótka długość rury wieszakowej wymusiła na wykonawcy potrzebę wykonania wstawek.



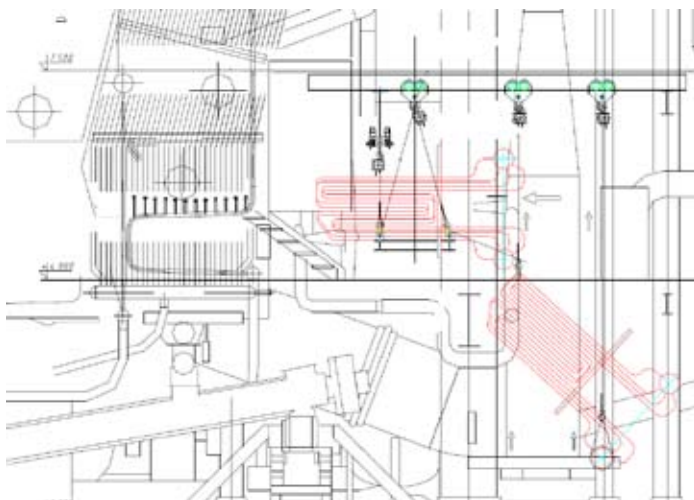
Rys. 8.
Poprawki projektowe

Zdarza się, że wykonawca dla rozwiązania problemu projektowego musi skorzystać z zarówno wiedzy swojej, jak i zamawiającego. Każda zmiana projektowa powinna zostać przeanalizowana pod względem możliwości jej realizacji zgodnie z terminami.

Modyfikacje urządzeń

Po demontażu urządzeń zdarza się, że należy polepszyć ich właściwości użytkowe, rozszerzyć możliwości, bądź poprawić wadliwą pracę.

Demontaże niezbędne dla utworzenia drogi transportowej są często bardziej pracochłonne, niż sam proces montażu urządzenia. Dla utworzenia okna transportowego dla elementów wielkogabarytowych, niezbędne jest usunięcie wszelkich kolidujących urządzeń. Przykładem takich montaży jest wymiana przegrzewaczy INTREX zainstalowanych na kotłach firmy Foster Wheeler, która była realizowana na EC Katowice oraz na Elektrowni Jaworzno II. Na rys. 9 widoczny jest schemat ukazujący drogę transportu przegrzewacza do komory INTREX, natomiast rys. 10 ukazuje już sam przegrzewacz podczas transportu pionowego. Aby umożliwić transport pionowy tak dużego elementu w obrębie kotła, gdzie występuje mnóstwo instalacji i urządzeń, należało praktycznie każdy element znajdujący się na jego drodze usunąć i odtworzyć, łącznie z kolidującymi podestami.



Rys. 9. Schemat transportowy przegrzewacza INTREX



Rys. 10. Transport przegrzewacza INTREX na miejsce docelowe El. Jaworzno II

Technologia montażu zawierała listę urządzeń i elementów, które należało usunąć, aby zamontować przegrzewacz. Wszelkie urządzenia i instalacje musiały zostać po zakończeniu montażu odtworzone do stanu pierwotnego. Właśnie przy procesie odtwarzania pojawiła się potrzeba, aby niektóre z nich zmodyfikować lub wymienić na inne, zgodnie ze wskazaniem zamawiającego bądź obchodowych.

Prace remontowe to również okres, podczas którego jest wykonywana diagnostyka urządzeń i powierzchni ogrzewalnych kotła, która nie mogła zostać wykonana przy ruchu lub w czasie krótkiego postoju. Po oględzinach określone są zalecenia dotyczące dalszego użytkowania, a w niektórych przypadkach wykonawca wymaga przedstawienia rozwiązań polepszających właściwości użytkowe.

Pełny zakres modyfikacji urządzeń zazwyczaj nie może zostać określony na podstawie zapytania ofertowego. Wpływ na to, które urządzenia należy zmodyfikować, wymienić na inne, bądź całkowicie usunąć ma głównie zamawiający. Zdarza się, że dopiero po demontażu okazuje się, że element jest uszkodzony, bądź nie pracuje z wymaganą efektywnością. Dopiero wtedy bierze się pod uwagę jego wymianę lub naprawę. Jednym z głównych wyzwań,

z jakimi można się spotkać podczas prowadzenia remontu, jest analiza sytuacji na budowie pod kątem prac dodatkowych, których nie można było określić na etapie zapytania ofertowego.

Problemy koordynacyjne

Koordynacja pozwala na pracę wielu wykonawców na jednym remontowanym obiekcie. Zazwyczaj realizuje się ją poprzez kontrolę poleceń pisemnych i określenie kolizji. Często podczas remontów koordynatorem jest główny wykonawca. W razie sytuacji, gdy miejsca prac nakładają się na siebie, koordynator ma za zadanie tak ułożyć prace obu firm, żeby sytuacje niebezpieczne nie występowały, a prace postępowały zgodnie z harmonogramem i bez opóźnień. Jeśli koordynator uzna, że prace jednej z firm nie mogą być prowadzone w zakresie, jakim jest to przez nią planowane, odmawia otwarcia polecenia i kontaktuje się z kierownikiem wykonawcy. Obowiązki koordynatora powinny obejmować nie tylko bieżącą kontrolę poleceń i kontakt z podwykonawcami. Koordynator powinien brać czynny udział w nadzorze nad pracami na kotle, co pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa realizowanych prac.

Każdy wykonawca, odpowiedzialny za wykonanie prac, powinien pozostawać w stałym kontakcie z zamawiającym i koordynatorem. Dzięki temu może on poukładać terminy rozpoczęcia poszczególnych prac w taki sposób, aby nie występowały kolizje. Czynny udział w koordynowaniu prac leży zatem nie tylko bezpośrednio po stronie koordynatora, ale również po stronie wszystkich wykonawców prowadzących prace na remontowanym obiekcie.

Wymagania klienta

Podczas planowania i samej realizacji należy mieć na uwadze dodatkowe wymagania klienta. Wykonawca prowadząc prace na terenie zamawiającego powinien mieć świadomość, że zamawiający często pragnie ustalić dodatkowe wytyczne, które mogły nie znaleźć się w zapisach SIWS. Wymagania te zazwyczaj mają bezpośredni wpływ na terminy realizacji, technologię prac oraz na zakres wymiany.

Zmiana warunków uruchomienia bloku może się wiązać ze zmianą terminów realizacji poszczególnych zadań, bądź terminów kluczowych. Gdy zamawiający pragnie skrócić termin prac, wykonawca ma za zadanie przeprowadzenie analizy

i wykazanie możliwości przyspieszenia prac.

Istnieją przypadki, w których na kluczowe terminy realizacji ma wpływ również koordynacja. Gdy prac nie można ułożyć tak, aby umożliwić ich bezpieczne wykonanie, należy szczegółowo przemyśleć możliwości ustawienia prac w sposób umożliwiający zmniejszenie opóźnień. Przypadki, w których wykonawca nie może kontynuować swoich prac, to wyzwanie zarówno dla wykonawcy, jak i zamawiającego. Mogą one generować zarówno dodatkowe koszty, jak i opóźnienia, ale odpowiednio wcześniejsze wychwycenie problemu i próba rozwiązania go z pomocą obu stron może sprawić, że będą one jak najniższe.

Przedstawione przykłady dowodzą, że nawet najbardziej skrupulatnie zaplanowana realizacja może napotkać na utrudnienia, które pojawiają dopiero w momencie samego prowadzenia prac. Zdarza się, że zamawiający świadomie podejmuje ryzyko i akceptuje wzrost kosztów. Czasem ilość prac, które należy wykonać na obiekcie (w tym dodatkowych) powoduje, że termin realizacji jest zagrożony niezależnie od zamawiającego i wykonawcy. W takich przypadkach należy pamiętać, że to zarówno zamawiającemu, jak i wykonawcy, zależy na jak najbardziej sprawnym przeprowadzeniu zadania. Istotne jest, aby zrozumieć, że wzajemne kontakty, koordynacja i współpraca obydwu stron pozwala na stawienie czoła wszystkim wyzwaniom, które mogą się pojawić podczas realizacji.

Prace dodatkowe

Prowadzenie prac na kotle często wiąże się z wykonaniem pewnych prac dodatkowych. Zarówno zamawiający i wykonawca są w pewnym stopniu do tego przygotowani, a w SIWZ są zapisy, które wspominają o takiej możliwości. Potrzeba wykonania każdej pracy dodatkowej prowadzi do analizy możliwości jej przeprowadzenia. Gdy prace dodatkowe mają niewielki zakres i nie wpływają na czas realizacji można mówić o pracach, które można było przewidzieć i wykonać bez większych problemów. Prawdziwe wyzwanie dla wykonawcy i zamawiającego pojawia się, gdy prace dodatkowe mają zakres na tyle rozległy, że należy liczyć się z groźbą przedłużenia terminu zakończenia prac. Na prace dodatkowe mają wpływ głównie trzy zasadnicze warunki które należy spełnić:

- **Zapobieganie** – występuje, gdy jest mowa o pracach, które mają za zadanie uniknięcie przyszłych uszkodzeń. Prace takie mają na celu

przede wszystkim ochronę elementów przed zużyciem. Systematyczna diagnostyka prowadzona na postojach remontowych ujawnia, że pewne elementy części ciśnieniowej są dużo bardziej narażone na zużycie. Najlepszym sposobem na ograniczenie kosztów, wynikających z awarii, jest zastosowanie odpowiednich rozwiązań, które ochronią eksploatowane elementy. Wykonawca musi się liczyć z tym, że zamawiający wystąpi do niego o propozycje przedstawienia rozwiązania. Głównym problemem dzisiejszych kotłów są problemy z korozją wysokotemperaturową oraz erozją. Kotle fluidalne mają duże problemy z erozją. Zawirowania powstałe w komorze paleniskowej to jedno z najszybciej niszczących elementów kotła czynników. Zapobiegać im można poprzez wykonanie napoin ochronnych, tworzenie powłok ochronnych, bądź montowanie elementów regulujących strumień spalin i złoża. Na rys. 11 widoczne są uszkodzenia rur powstałe w skutek erozji po uszkodzeniu obmurza. ZRE Katowice realizowało naprawę tych elementów poprzez napawanie.



Rys. 11.
Naprawa rur ekranowych
kotła fluidalnego

Zwiększenie zakresu, na skutek niezbędnych do przeprowadzenia zabezpieczeń, może przyczynić się przesunięcia terminów zakończenia prac. W związku z tym należy szczegółowo przeanalizować możliwości przeprowadzenia działań zaradczych. Czasem, gdy nie ma możliwości wykonania ich podczas bieżącej realizacji, należy odłożyć je do kolejnego postępu remontowego.

- **Usprawnianie** - gdy urządzenie jest trudne w eksploatacji, bądź często się psuje, może zaistnieć potrzeba jego usprawnienia. Niektóre urządzenia w toku pracy nie sprawdzają się pod względem jakości wykonania i wytrzymałości. Potrzeba modyfikacji ujawnia się często dopiero po zdemontowaniu urządzenia, kiedy można je dokładnie obejrzeć i skontrolować jego pracę. Podczas postępu remontowego zamawiający, po jego oględzinach, zastanawia się nad poprawą jego pracy, by uniknąć częstych napraw. Usprawnienia elementów zazwyczaj nie wiążą się z dużymi nakładami pracy i czasu. Oczywiście są wyjątki, więc ważne jest, aby określić możliwości terminowej modyfikacji elementów zaproponowanych przez zamawiającego.
- **Naprawa** - na prace dodatkowe przekładają się również przypadki napraw nieprzewidzianych w SIWZ, wynikłych po oględzinach i diagnostyce obiektu. ZRE Katowice boryka się często z przypadkami zużytych elementów części ciśnieniowej kotła, które na etapie planowania remontu nie były brane pod uwagę. Dopiero po diagnostyce i zbadaniu ich stanu okazuje się, że elementy są już tak zniszczone, że ich naprawa jest niezbędna podczas aktualnego postępu remontowego. Niestety zazwyczaj wiąże się to ze znacznym poszerzeniem zakresu prac. Nieprzewidziane naprawy są zawsze dużym wyzwaniem dla wykonawcy, który dąży do przeprowadzenia remontu w czasie, który określił pierwotnie zamawiający.

Wszystkie prace dodatkowe z którymi można się spotkać podczas realizacji wymagają analizy i planowania zarówno po stronie zamawiającego, jak i wykonawcy. Wyzwania, jakie przed wykonawcą stawiają prace dodatkowe, to m.in.:

- określenie możliwych terminów wykonania,
- możliwości zwiększenia nakładu czynnika ludzkiego,
- technologia naprawy,
- problemy koordynacyjne.

Prace dodatkowe niezależnie od zakresu zawsze prowadzą do dodatkowego obciążenia. Tylko wykonawca, który posiada odpowiednie doświadczenie i potencjał remontowy, może się mierzyć z każdym zakresem prac. Taką firmą z pewnością jest firma ZRE Katowice SA, które niejednokrotnie współpracowały z klientem w trudnych chwilach, kiedy prace dodatkowe wykraczały poza terminy zaplanowane na postój bloku.

Wnioski

Remont kapitalny kotła to bez wątpienia przedsięwzięcie które wymaga dużego nakładu pracy zarówno ze strony wykonawcy, jak i zamawiającego. Z planowaniem mamy do czynienia na każdym etapie prowadzenia prac, od momentu wpłynięcia zapytania ofertowego do oddania bloku wykonawcy. Przez cały ten okres analiza i planowanie dotyczy praktycznie każdej pracy, którą należy wykonać. Planowanie zatem jest kluczowym elementem prowadzenia prac, nie tylko podczas remontu kapitalnego, ale również dla każdego innego zadania przyjętego do realizacji. Istotne jest, aby przekładać swoje wysiłki na odpowiednio wczesne i poprawne planowanie, co ma znaczący wpływ na efektywność prac i poprawę jakości realizowanych usług.

Jednym z kluczowych problemów, na jakie można się napotkać podczas przygotowania do remontu, jest ogólnie spotykany trend zamawiającego na umieszczaniu w SIWZ wyśrubowanych terminów przeprowadzenia prac. Ma to głównie podłoże finansowe. Naciski na skracanie terminów mogą się przyczynić do pogorszenia jakości realizowanych usług oraz zmniejszenia uwagi na bezpieczeństwo i higienę pracy podczas realizacji.

Każdy problem, który pojawia się w trakcie realizacji jest dla wykonawcy wyzwaniem. Do najważniejszych utrudnień zaliczamy takie, które bezpośrednio wpływają na czas realizacji zadania. Powstanie problemu wiąże się z analizą przypadku i znalezieniem sposobu na jego rozwiązanie. Główne problemy występujące przy realizacji prac dotyczą zmian projektowych, prac dodatkowych, koordynacji oraz dodatkowych wymagań stawianych przez zamawiającego. Do każdego problemu należy podejść kompleksowo, ponieważ tylko takie działanie pozwoli na sprawne jego usunięcie. W kompleksowej analizie rozwiązania problemu musi brać całą sztab wykonawcy odpowiedzialny za realizację - od kierownika po pracownika fizycznego. Równie istotne jest odpowiednie prowadzenie dialogu z zamawiającym i dopasowanie rozwiązania problemu do jego uwag

i wymagań. Sukces zależy przede wszystkim od wiedzy i doświadczenia osób zaangażowanych w rozwiązanie napotkanych trudności, dlatego tak ważne jest, aby osoby prowadzące realizację zadania posiadały wiedzę i doświadczenie zdobywane przez lata pracy przy remontowanych obiektach.

ZRE Katowice SA, jako firma z 60-letnim doświadczeniem w remontach w energetyce, potrafi zrealizować usługę kompleksowo przy zachowaniu wysokiej jakości realizowanych prac. Pracownicy ZRE Katowice, po przeprowadzeniu szczegółowej analizy, są w stanie przeprowadzić remont kapitalny nawet bez posiadania dokumentacji wykonawczej. Takie możliwości można osiągnąć wykorzystując doświadczenie zdobywane przez szereg lat pracy przy realizacji dużych i mniejszych zadań dla największych koncernów energetycznych. Ta wiedza, odpowiednia analiza wyzwań i wysoka jakość świadczonych usług pozwalają ZRE Katowice na ciągły rozwój i realizację skomplikowanych zadań nie tylko w całej Polsce, ale również w Europie i na świecie.

Sponsor strategiczny:



Sponsor główny:



Sponsorzy:



CEZ CHORZÓW



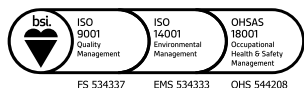
SPETECH



- outsourcing gospodarki smarowniczej i utrzymania ruchu w przemyśle,
- czyszczenie hydrodynamiczne i płukanie układów olejowych,
- usuwanie zanieczyszczeń przemysłowych technologiami hydrodynamicznymi, chemicznymi i eksplozyjnymi,
- odkurzanie przemysłowe w strefach zagrożonych wybuchem,
- analiza i monitoring stanu środków smarnych,
- dystrybucja środków smarnych dla przemysłu.



Nasze certyfikaty i wyróżnienia:



Industrie Service
WHG
nr 101117201



Przedsiębiorca należy do systemu Zrównoważonego Punktu Innowacyjnego przez Rozsądek i wspiera rozwój członków sektoryjnej ogółu w Polsce



Usługa wyróżniona
Złotym Godłem 2012
w kategorii Oil Services

Ecol Sp. z o.o. ul. Podmiejska 71 A PL 44-207 Rybnik
fax: +48 32 739 18 29 e-mail: ecol@ecol.com.pl

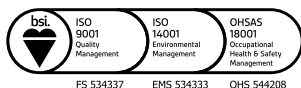
tel.: +48 32 739 18 30
www.ecol.com.pl



- lubrication service & maintenance for industry,
- hydrodynamic cleaning & flushing of oil systems,
- removing of industrial deposits by hydrodynamic, chemical & explosive technology,
- industrial vacuum cleaning in areas of explosion risk,
- oil analysis & monitoring,
- lubricants distribution for industry.



Our certificates and awards:



Industrie Service
WHG
nr 101117/01



Przetwarzanie należy do systemu
Zielonego Punktu
Innowacyjnego przez
Rakopól i wspiera
rozwoj, przy
selektywnej odpadoz
w Polsce



Society of Tribologists
and
Lubrication Engineers



Usługa wyróżniona
Złotym Godłem G 2012
w kategorii Oil Services

Ecol Sp. z o.o. ul. Podmiejska 71 A PL 44-207 Rybnik
fax: +48 32 739 18 29 e-mail: ecol@ecol.com.pl

tel.: +48 32 739 18 30
www.ecol.com.pl

TurboLab

DIAGNOSTYKA TURBIN

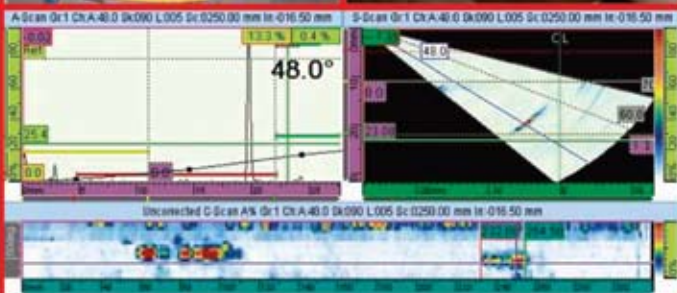
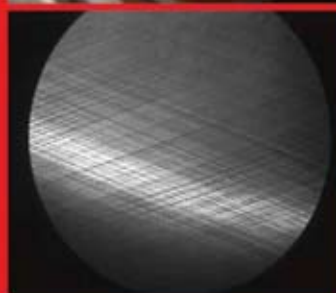
Dysponujemy specjalnie zaprojektowanymi i wykonanymi stanowiskami badawczymi i pomiarowymi do badań:

- wizualnych,
- prądowirowych,
- ultradźwiękowych,
- magnetycznych.

Oferujemy specjalistyczne badania:

- Wirników turbin:
 - badania wrębów łopatkowych,
 - badania elementów nasadzanych,
 - badania otworów centralnych.
- Wirników generatorów:
 - badania otworów centralnych.
- Tarcz kierowniczych:
 - badania wytrzymałościowe, pomiar strzałki ugięcia,
 - pomiary trwałej deformacji.

Wykonujemy prace przygotowawcze towarzyszące badaniom
Honujemy otwory centralne wirników turbin i generatorów
Przy interpretacji wyników korzystamy ze wsparcia ekspertów
dysponujących wiedzą i doświadczeniem





p LAT
GRUPA CEZ W POLSCE

CEZ CHORZÓW

CEZ CHORZÓW to elektrociepłownia należąca do Grupy CEZ – jednego z największych koncernów energetycznych w Europie. To jedna z najnowocześniejszych jednostek produkcyjnych w Polsce. CEZ CHORZÓW zasila w ciepło aglomerację śląską.

www.cezpolska.pl



CEZ GROUP



USZCZELNIENIA STATYCZNE

Produkcja uszczelnień przemysłowych m.in. do połączeń kołnierzych.

Uszczelki miękkie:

- Włókno- elastomerowe
- Elastomerowe
- Grafitowe
- Teflonowe
- Mikowe

Uszczelki metalowe:

- Spiralne
- Wielokrawędziowe
- Metalowe z podparciem
- Metaloplastyczne
- Profilowane



USZCZELNIENIA DYNAMICZNE

Produkcja uszczelnień do pomp i armatury przemysłowej.

- Dostępny szeroki zakres materiałów na wszelkiego rodzaju media i parametry.



TECHNOLOGIE KOMPOZYTOWE

Naprawy technologiami kompozytowymi maszyn, urządzeń i budowli.

- Odbudowa i regeneracja powierzchni metalowych i betonowych
- Zabezpieczenia chemooodporne, antykorozyjne i przeciwzużyciowe
- Wymalowania higieniczne
- Osadzanie maszyn i urządzeń przemysłowych



KOMPENSATORY

Projektowanie, produkcja a także montaż kompensatorów:

- Tkaninowych
- Metalowych
- Gumowych



USŁUGI

- Cięcie wodą
- Cięcie laserem
- Obróbka skrawaniem



SPETECH®



Oferujemy:

**USZCZELNIENIA SPOCZYNKOWE,
USZCZELNIENIA POMP I ARMATURY,
KOMPENSATORY,
PROGRAM OBLICZENIOWY EUROPARTNER®,
POMIARY, OBLICZENIA, SZKOLENIA,
AKCESORIA, MATERIAŁY POMOCNICZE.**

Brak przestojów, minimalizowanie ryzyka awarii, bezpieczeństwo oraz ochrona środowiska to najistotniejsze zadania utrzymania ruchu. W celu zapewnienia pożądanego niezawodności pracy maszyn i urządzeń, oferujemy Skuteczne Systemy Szczelności – kompleksowy program, w ramach którego gwarantujemy pomoc w doborze właściwego uszczelnienia, obliczenia połączeń kołnierzo-śrubowych, szkolenia oraz nadzór montażowo-eksploatacyjny dla użytkownika końcowego.



SPETECH sp. z o.o.
43-382 Bielsko-Biała
ul. Szyprów 17, POLAND
tel. +48 33 818 41 33
fax +48 33 818 46 79
spetech@spetech.com.pl
www.spetech.com.pl



Generali Polska jest częścią Grupy Generali, jednej z największych grup finansowo-ubezpieczeniowych, która od ponad 185 lat jest synonimem bezpieczeństwa i innowacyjności, zaspokajając zróżnicowane i wciąż zmieniające się potrzeby milionów Klientów na całym świecie.

W Polsce Grupa Generali obecna jest od 1999 r. Stale buduje swoją siłę stawiając na zdywersyfikowany model biznesowy oparty na trzech kluczowych obszarach: ochronie majątku i życia Klientów indywidualnych, zarządzaniu oszczędnościami emerytalnymi oraz ubezpieczeniach korporacyjnych.



W ramach ubezpieczeń korporacyjnych Generali skupia się na ubezpieczaniu ryzyk przemysłowych, w tym podmiotów działających w branży energetycznej, chemicznej, metalurgicznej, elektromaszynowej. Ubezpiecza także Klientów z przemysłu spożywczego, drzewno-papierniczego i meblarskiego. Generali udziela ochrony ubezpieczeniowej swoim Klientom podczas realizowania przez nich dużych projektów infrastrukturalnych, takich jak budowy autostrad, tuneli czy terminali paliwowych. Ubezpieczamy także średnie przedsiębiorstwa, nieruchomości komercyjne w tym biura, magazyny i centra handlowe, obiekty użyteczności publicznej oraz wielorodzinne budynki mieszkalne.

Dzięki międzynarodowej strukturze organizacyjnej, a także stałemu unowocześnianiu oferty, Grupa Generali potrafi szybko reagować na zmiany zachodzące na rynku oraz dostarczać produkty i usługi spełniające coraz to nowe potrzeby i oczekiwania Klientów. Istotą naszej strategii operacyjnej jest tworzenie zindywidualizowanych rozwiązań ubezpieczeniowych z zakresu:

- ☒ ubezpieczenia mienia i utraty zysku
- ☒ ubezpieczeń odpowiedzialności cywilnej
- ☒ ryzyk technicznych
- ☒ ryzyk finansowych (w tym gwarancji)
- ☒ ubezpieczeń transportowych i lotniczych

JESTEŚMY JEDNYM Z WODĄCYCH UBEZPIECZYCIELI NA ŚWIECIE

ponad
60 krajów

72 mln
Klientów

78,000
pracowników

TOP 50
największych firm
na świecie*



więcej / niż standard

AXA TUIR S.A.

Grupa AXA jest światowym liderem w ubezpieczeniach i zarządzaniu aktywami. Zatrudnia 161 tys. pracowników, którzy świadczą usługi dla 103 mln klientów w 59 krajach. W 2015 roku AXA zanotowała przychody o wartości 99 mld euro, a wynik finansowy z działalności podstawowej wyniósł 5,6 mld euro. Marka AXA siódmy raz z rzędu została uznana w 2015 roku w rankingu Interbrand za najbardziej wartościową markę ubezpieczeniową świata wartą 9,3 mld USD. W 2014 roku przyznano jej tytuł Best Green Brand, czyli najbardziej świadomiej ekologicznie marki na świecie. W obu rankingach AXA plasuje się obecnie wśród 50 najlepszych marek na świecie. Siła i stabilność finansowa AXA potwierdzone są przez światowe agencje ratingowe w ich ratingach:

Agencja	Rating	Outlook	Data ratingu
Standard & Poor's	A+	Positive	10/29/2015
Moody's	Aa3	Stable	07/09/2015
Fitch	AA-	Stable	10/06/2015

Źródło: <http://www.axa.com/en/investor/aboutaxa/detail5/#tabc126510165102371>

W Polsce AXA oferuje ubezpieczenia na życie, oszczędnościowe, wypadkowe, komunikacyjne, turystyczne, majątkowe, emerytalne oraz usługi zarządzania aktywami niemal 2,6 mln klientom oraz ubezpieczenia majątkowe dla firm, w tym międzynarodowych korporacji. AXA jest 8. ubezpieczycielem w Polsce z 3,7% udziałem rynkowym w 2014 roku. W segmencie życiowym (jako AXA Życie) osiągnęła 8. pozycję, a jej udziały rynkowe podwoiły się w ciągu ostatnich 5 lat do 4,1% obecnie. W segmencie majątkowym (jako AXA TUIR, AXA Direct i AXA Ubezpieczenia) zajmuje 8. pozycję z 3,2% udziałem rynkowym. AXA OFE jest 5. funduszem pod względem aktywów w zarządzaniu, a w 2014 był najlepszym OFE na rynku pod względem stopy zwrotu. AXA TFI w 2014 roku było 11. wśród nie-bankowych towarzystw funduszy inwestycyjnych, na 31 grudnia 2014 roku zarządzało aktywami o wartości 1,7 mld zł.

Oferta ubezpieczeń korporacyjnych AXA TUIR SA oparta jest na rozwiązaniach dostosowanych do potrzeb firm i obejmuje ubezpieczenia majątkowe (mienia i techniczne), odpowiedzialności cywilnej, transportowe, komunikacyjne, gwarancje ubezpieczeniowe i ubezpieczenia turystyczne. Wspieramy naszych klientów doradzając im w zakresie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie i oferujemy im rozwiązania ubezpieczeniowe, które wzmocnią bezpieczeństwo finansowe w obliczu tych ryzyk. Zadanie to wykonuje zespół doświadczonych specjalistów zajmujących się oceną i zarządzaniem ryzykiem oraz likwidacją szkód. Korzystamy również z wiedzy zagranicznych spółek Grupy AXA, z którymi na co dzień współpracujemy w poszukiwaniu innowacyjnych rozwiązań ubezpieczeniowych dla firm.

W kwietniu 2014 spółka przeprowadziła testy stresu w oparciu o dane na koniec 2013 roku i wszystkie przeszła z jednoznacznie pozytywnym wynikiem: w najdotkliwszym scenariuszu pokrycie marginesu wypłacalności nie spada poniżej 162%, a pokrycie rezerw aktywami poniżej 107%. W 2014 roku spółka znacząco podniosła kapitały (podstawowy oraz zapasowy) zwiększając je aż o 20% (o 30 mln zł), co przesunęło AXA w górę tabeli spółek o najlepszych współczynnikach kapitałowych. AXA TUIR jest jednym z najbardziej dynamicznych towarzystw majątkowych w Polsce z 18% przyrostem składki brutto w 2014 roku. Priorytetem AXA TUIR jest dochodowość portfela ubezpieczeniowego. AXA TUIR zakończyła rok 2014 zyskiem netto w wysokości 4,5 mln zł. W 2014 roku wypłaciła odszkodowania z tytułu ubezpieczeń majątkowych i osobowych o wartości 92 mln zł.

Notatki

**ZRE Katowice**

Gen. Jankęgo 13
40-615 Katowice, Poland
phone: +48 32 78 98 201
fax: +48 32 78 98 352

Commercial Department

phone: +48 32 78 98 221
fax: +48 32 78 98 375
e-mail: zredh@zre.com.pl

Production Center

Martyniaków 7
43-603 Jaworzno, Poland
phone: +48 32 31 73 700
fax: +48 32 31 73 746
e-mail: zrezu@zre.com.pl

Central Division

Łącznicza 29
02-982 Warszawa, Poland
phone: +48 22 122 03 01
fax: +48 22 122 03 00
e-mail: zrezcl@zre.com.pl

ZRE Katowice

ul. Gen. Jankęgo 13
40-615 Katowice
tel.: +48 32 78 98 201
fax: +48 32 78 98 352

Pion Handlowy

tel.: +48 32 78 98 221
fax: +48 32 78 98 375
e-mail: zredh@zre.com.pl

Centrum Produkcyjne

ul. Martyniaków 7
43-603 Jaworzno
tel.: +48 32 31 73 700
fax: +48 32 31 73 746
e-mail: zrezu@zre.com.pl

Zakład Centrum

ul. Łącznicza 29
02-982 Warszawa
tel.: +48 22 122 03 01
fax: +48 22 122 03 00
e-mail: zrezcl@zre.com.pl