DWUMIESIĘCZNIK 2(50)/2016
ISSN 1899-0886
CENA – 15 ZŁ (W TYM 8% VAT)

Jubileuszowy 50 NUMER

nowa Energia

ELEKTROENERGETYKA ■ ODBIORCY ■ RYNEK ENERGII ■ GAZU ■ PALIWA DLA ENERGETYKI ■ CIEPŁOWNICTWO ■ TECHNOLOGIE

Ecol

Usługi remontowe. Analizy olejowe.
Outsourcing gospodarki smarowniczej
i utrzymania ruchu w przemyśle.

ponad 200 specjalistów, 8 oddziałów, 25 lat doświadczenia.
Profesjonalizm. Bezpieczeństwo.

Ecol Sp. z o.o. ul. Podmiejska 71 A PL 44-207 Rybnik tel.: +48 32 739 18 30
fax: +48 32 739 18 29 e-mail: ecol@ecol.com.pl www.ecol.com.pl

pro novum

Wieloletnie doświadczenia kojarzymy z innowacyjnymi technologiami

Podążamy za potrzebami energetyki, identyfikujemy i rozwiązujemy jej problemy

nr LB-003/09 nr LB-179/09

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum" Sp. z o.o.
ul. Wróbli 38, 40-534 Katowice, tel.: 32 251 87 39, fax: 32 251 36 19, e-mail: pronovum@pronovum.pl
www.pronovum.pl

Spis **TREŚCI**

3 System Dynamicznego Zarządzania Przesyłem
Rada Konsorcjum projektu „System Dynamicznego Zarządzania Przesyłem"

6 Zamówienia publiczne na tle wyzwań sektora energetycznego w Polsce
Maciej Łysakowski, adwokat, Wierzbicki Adwokaci i Radcowie Prawni Sp. k.

11 Spalarnie odpadów komunalnych - perspektywa roku 2020
dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński, prof. ndzw. PŁ, mgr inż. Olga Namiecińska, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

21 System wsparcia dla wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w wysokosprawnej kogeneracji
Anna Kochan, radca prawny, Kancelaria Adwokatów i Radców Prawnych Dziedzic Kowalski Kornasiewicz i Partnerzy

25 Budowa nowych mocy w kogeneracji w Zakładzie Wytwarzania Tychy
Wojciech Barut, dyrektor Zakładu Wytwarzania Tychy, Błażej Łyp, główny specjalista - koordynator, TAURON Ciepło sp. z o.o.

28 Monitoring stanu technicznego zespołów maszynowych w przemyśle i energetyce - doświadczenia własne
prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska

42 Modernizacje części przepływowych WP i NP bloków „200 MW" w ENEA Wytwarzanie
Michał Wójcik, specjalista ds. turbin, Wydział Realizacji Projektów i Serwisu, ENEA Wytwarzanie Sp. z o.o.

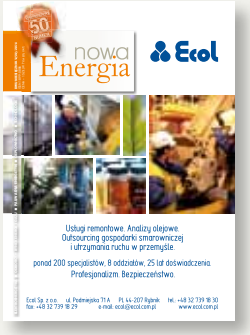
47 Układy czyszczenia rurek skraplacza i wymienników ciepła - innowacyjność instalacji Taprogge
GRC

50 Oferujemy innowacyjne usługi dla energetyki konwencjonalnej Podążamy za jej potrzebami - identyfikujemy i rozwiązujemy jej problemy
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum" sp. z o.o.

54 Forum Energetyków GRE 2016

Wydawca:
Nowa Energia - D. Kubek i M. Marchwiak s.c.
Adres Redakcji:
ul. Wesoła 23, 47-400 Racibórz
Tel. (+48) 32 777 43 35-37
Fax (+48) 32 777 43 38
redakcja@nowa-energia.com.pl
www.nowa-energia.com.pl
Redaktor naczelna:
Dorota Kubek, kom. (+48) 602 647 315
dorota.kubek@nowa-energia.com.pl
Prezes wydawnictwa:
Mariusz Marchwiak, kom. (+48) 509 433 476
mariusz.marchwiak@nowa-energia.com.pl
Biuro:
Renata Fischer
tel. (+48) 32 777 43 35
biuro@nowa-energia.com.pl
Dział handlowy:
Joanna Janik
Specjalista ds. Sprzedaży i Marketingu
kom. (+48) 603 220 011
tel. (+48) 32 777 43 36
reklama@nowa-energia.com.pl
Menadżer produktu:
Ewelina Kalinowska
tel. (+48) 32 777 43 37
marketing@nowa-energia.com.pl
Redakcja techniczna:
grafika@nowa-energia.com.pl
Obsługa informatyczna:
IT PASJA, www.itpasja.pl
Korekta:
Ewa Koczwara
Druk:
LCL Dystrybucja Sp. z o.o., www.lcl.com.pl

Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów.
Redakcja nie odpowiada za treść reklam.
Wykorzystywanie materiałów i publikowanie reklam opracowanych przez Wydawcę wyłącznie za zgodą Redakcji.
Artykułów niezamówionych Redakcja nie zwraca.



Projekt okładki:
Ecol Sp. z o.o.

POLECAMY:

ZAMÓWIENIA PUBLICZNE NA TLE WYZWAŃ SEKTORA ENERGETYCZNEGO W POLSCE
Maciej Łysakowski, adwokat, Wierzbicki Adwokaci i Radcowie Prawni Sp. k.
Str. 6 ELEKTROENERGETYKA

SPALARNIE ODPADÓW KOMUNALNYCH - PERSPEKTYWA ROKU 2020
dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński, prof. ndzw. PŁ, mgr inż. Olga Namiecińska, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka
Str. 11 PALIWA DLA ENERGETYKI

BUDOWA NOWYCH MOCY W KOGENERACJI W ZAKŁADZIE WYTWARZANIA TYCHY
Wojciech Barut, dyrektor Zakładu Wytwarzania Tychy, Błażej Łyp, główny specjalista - koordynator, TAURON Ciepło sp. z o.o.
Str. 25 CIEPŁOWNICTWO

MONITORING STANU TECHNICZNEGO ZESPOŁÓW MASZYNOWYCH W PRZEMYŚLE I ENERGETYCE - DOŚWIADCZENIA WŁASNE
prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska
Str. 28 TECHNOLOGIE

Rada Konsorcjum projektu „System Dynamicznego Zarządzania Przesyłem"

System Dynamicznego Zarządzania Przesyłem

SDZP
SYSTEM DYNAMICZNEGO ZARZĄDZANIA PRZESYŁEM

Inicjatywę tę podjęto w ramach programu GEKON - Generator Koncepcji Ekologicznych. Projekt jest współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Decyzją dyrektora Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Kurzydłowskiego, projekt otrzymał dofinansowanie w wysokości wnioskowanej kwoty. Całkowity budżet projektu to ok. 10 000 000 zł.

Cele projektu

Celem przedsięwzięcia jest stworzenie funkcjonalnego systemu dynamicznego zarządzania zdolnościami przesyłowymi linii energetycznych wysokich i najwyższych napięć. System umożliwi zwiększenie przepustowości sieci, wzrost bezpieczeństwa i jakości dostaw energii elektrycznej, rozwój niskoemisyjnej energetyki rozproszonej (OZE, CHP, źródła prosumenckie) oraz idei smart grid. System bazuje na aktualnych pomiarach parametrów elektrotermicznych i pogodowych oraz na danych z istniejących systemów IT, stosowanych u operatorów sieci WN i NN.

Konsorcjum naukowe realizujące projekt składa się (oprócz lidera - firmy Procesy Inwestycyjne) z wiodących ośrodków naukowych: Politechnik Krakowskiej, Lubelskiej, Warszawskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH), Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM UW) i Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN). Ponadto zadania związane z opracowaniem oprogramowania SDZP wykonuje firma Globema, specjalizująca się w tworzeniu systemów zarządzania zasobami przestrzennymi przedsiębiorstw sieciowych. Rada Techniczna Projektu składa się z przedstawicieli spółek energetycznych: Polskie Sieci Elektroenergetyczne, PGE Dystrybucja oraz Tauron Dystrybucja. Realizacja fazy Badawczo-Rozwojowej Projektu przewidziana jest na lata 2014-2016. Po zakończeniu tej fazy nastąpi komercyjne wdrożenie systemu.

Zadania realizowane przez partnerów projektu

Globema zajmuje się obsługą informatyczną projektu SDZP. Jej celem jest opracowanie systemu informatycznego, przeznaczonego dla operatora sieci przesyłowej lub dystrybucyjnej wysokich i najwyższych napięć, który informowałby dyspozytora o zagrożeniach na liniach energetycznych, związanych z przeciążeniami prądowymi lub mechanicznymi. Firma ma zadanie zapewnić niezawodną platformę do przechowywania i udostępniania danych pomiarowych, które spływają z dwóch źródeł. Podstawowym źródłem są rejestratory parametrów technicznych linii oraz aktualnej pogody, rozmieszczone wzdłuż linii. Drugim źródłem są prognozy pogody z ICM UW, które pozwolą na prognozowanie parametrów pracy linii. Te dane są gromadzone i udostępniane w czasie rzeczywistym, początkowo w celach badawczych pozostałym członkom konsorcjum, a docelowo użytkownikowi systemu.

Ponadto Globema realizuje prace informatyczne polegające na implementacji modeli obliczeniowych dla przęseł i linii sieci elektroenergetycznej, które zo-

staną wykorzystane w aplikacji użytkowej dyspozytora. Modele te pochodzą od jednostek naukowo-badawczych AGH, Politechniki Warszawskiej, Politechniki Krakowskiej i Politechniki Lubelskiej, uczestniczących w projekcie.

ICM UW operacyjnie wyznacza prognozy meteorologiczne z dwóch modeli prognostycznych: Unified Model (UM) brytyjskiej służby meteorologicznej Met Office i Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS) należącego do Naval Research Laboratory. Model COAMPS, daje wyniki dwa razy dziennie z rozdzielczością przestrzenną 13 km, model UM cztery razy dziennie z rozdzielczością przestrzenną 4 km. Najistotniejsze parametry z punktu widzenia niniejszego Projektu to deszcz, śnieg, opad konwekcyjny, ciśnienie, siła i kierunek wiatru oraz nasłonecznienie. Są one wykorzystywane przez Partnerów Projektu do optymalnego zarządzania przesyłaną energią przy uwzględnieniu prognozy chwilowych parametrów pracy linii energetycznych (m.in. maksymalnej obciążalności sieci) dla różnych obszarów. ICM UW zapewnia zarówno operacyjne udostępnianie danych bieżących, jak również dysponuje bazą danych archiwalnych.

W ramach pracy nad projektem SDZP na AGH przetestowano szereg koncepcji pomiarowych dotyczących wizyjnych pomiarów statycznego ugięcia przewodu elektroenergetycznego, przeprowadzanych za pomocą aparatów cyfrowych oraz kamer. Z szeregu przeanalizowanych oraz przetestowanych w warunkach laboratoryjnych scenariuszy pomiarowych wybrano jeden, cechujący się największym potencjałem aplikacyjnym: wykorzystanie aparatu o osi optycznej umieszczonej prostopadle do płaszczyzny ugięcia przewodu. Aparat powinien być wyposażony w teleobiektyw. Opracowano model numeryczny systemu wizyjnego bazujący na modelu kamery otworkowej. Na podstawie parametrów technicznych aparatu oraz kamery wyznaczono rozdzielczości pomiarowe w zależności od wielkości obiektu i pola widzenia. Wybrano metodę kalibracji systemu wizyjnego adekwatną do danego scenariusza i urządzenia pomiarowego. Pomiar wizyjny posłużył do weryfikacji pomiarów wykonywanych za pomocą czujników FBG. Wykazano, iż obie metody mają potencjał aplikacyjny w dziedzinie monitorowania stanu napowietrznych przewodów elektroenergetycznych. W dalszym okresie trwania projektu zaplanowane są również pomiary dynamiczne drgań przewodu przeprowadzane za pomocą stereowizyjnego zestawu szybkich kamer oraz pomiar statyczny i dynamiczny, przeprowadzane na rzeczywistej linii elektroenergetycznej. Ponadto w ramach zadań opracowano model obciążalności prądowej przewodów napowietrznych linii elektroenergetycznych w zmiennych warunkach środowiskowych. Oparty jest on na bilansie cieplnym przewodu. Obciążalność prądowa napowietrznych linii elektroenergetycznych jest zależna od aktualnie panujących na danym terenie warunków środowiskowych, do których należy zaliczyć przede wszystkim temperaturę otoczenia, prędkość i kierunek wiatru oraz występowanie radiacji słonecznej. Należy podkreślić, że warunki te mogą podlegać bardzo zmiennej w czasie i przestrzeni modyfikacji. Moc wydzielona w przewodzie w wyniku prądu płynącego przez przewód, zależy od kwadratu wartości prądu oraz rezystancji przewodu. W przypadku prądu przemiennego konieczne jest uwzględnienie zjawisk wynikających z oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego, takich jak efekt naskórkowości. W natomiast przypadku przewodów z rdzeniem ferromagnetycznym - straty w rdzeniu (prądy wirowe, histereza) oraz zmianę gęstości prądu w poszczególnych warstwach przewodu w wyniku oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego (efekt transformatorowy). W opracowanym modelu przyjęto 23 parametry (między innymi dotyczące szczegółowej budowy przewodów) oraz 9 zmiennych.

Jedną z cech tworzonego systemu zarządzania zdolnościami przesyłowymi sieci energetycznych ma być możliwość szacowania ryzyka wynikającego z niepewności co do warunków pogodowych podawanych w krótko- i długoterminowych prognozach pogody. W szczególności znajomość przewidywanych wartości takich parametrów jak temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru ma zasadniczy wpływ przy podejmowaniu decyzji dotyczących dopuszczalnej wartości natężenia prądu w przewodzie, które nie spowoduje awarii polegającej na przekroczeniu temperatury krytycznej przewodu (zwykle 80°C) lub przekroczeniu maksymalnego dopuszczalnego zwisu przewodu w danym przęśle. Ze względu na niepewność prognoz pogodowych, jak i niemożność ścisłego określenia wartości niektórych parametrów środowiskowych mających wpływ na temperaturę przewodu, takich jak: albedo podłoża, absorpcyjność i emisyjność przewodu, zdecydowano się wykorzystać do analizy podejście probabilistyczne, w którym wyżej wymienione parametry przyjmuje się w postaci zmiennych losowych, a wartość dopuszczalnego natężenia prądu w przewodzie określa się przy określonym prawdopodobieństwie awarii, czyli prawdopodobieństwie przekroczenia dopuszczalnej temperatury lub zwisu przewodu w danym przęśle. Zadanie to realizuje Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk.

Zespół pracowników naukowych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej zajmuje się opracowaniem modeli obliczeniowych linii energetycznych WN i NN. Modele te są oparte na mechanicznej teorii zagadnienia, pozwalając jednocześnie na efektywne wykorzystanie danych pomiarowych, zarówno okresowych (pomiary geodezyjne i fotogrametryczne służące kalibracji modeli), jak i typu on-line (np. temperatura, kąty nachylenia i obrotu kabli). Te ostatnie mogą pochodzić zarówno z bezpośrednich pomiarów, jak też z prognoz meteorologicznych. Przygotowane modele są przeznaczone do opracowania informacji np. czy aktualny poziom transmisji energii elektrycznej jest bezpieczny lub na ile można go jeszcze zwiększyć. Takie informacje można otrzymać zarówno dla chwili bie-

żącej, jak i dla prognoz. Można również śledzić wiarygodność takich prognoz.

Obecny poziom rozwoju tych modeli pozwala na pełną analizę rzeczywistych linii przesyłowych, pod warunkiem kalibracji tych modeli, czyli wyznaczenia początkowych wartości ich niektórych parametrów. Będzie ona praktycznie możliwa dopiero po dokonaniu geodezyjnych pomiarów przemieszczeń wybranych punktów kabli. Dla uzyskania pożądanych efektów końcowych rozważano wiele równoważnych modeli obliczeniowych opartych na rozmaitych sformułowaniach matematycznych i metodach analizy (metoda elementów skończonych, bezsiatkowa metoda różnic skończonych) oraz dwóch niezależnych i wzajemnie kontrolujących się programów komputerowych. W ramach opracowanych algorytmów fizycznie uzasadnionej aproksymacji jest możliwa m.in. jednoczesna analiza zagadnienia zarówno od strony teoretycznej, jak i eksperymentalnej w wyniku, której możliwe jest otrzymanie optymalnego rozwiązania (linia zwisu kabla). Przeprowadzono liczne testy, osiągając pełną zgodność otrzymanych rezultatów numerycznych. □

Publikacja powstała w ramach kampanii informacyjno-edukacyjnej projektu pt. „Dynamiczne zarządzanie zdolnościami przesyłowymi sieci elektroenergetycznych przy wykorzystaniu innowacyjnych technik pomiarowych", dofinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach konkursu GEKON.

reklama

Maintenance

7. Międzynarodowe Targi Utrzymania Ruchu, Planowania i Optymalizacji Produkcji
5-6 października 2016, Kraków

- Konserwacja maszyn i urządzeń
- Automatyka, robotyka, diagnostyka
- Mechanika i narzędzia
- Pneumatyka i hydraulika
- Elektryka i elektronika
- Logistyka produkcji
- Kontrola jakości i monitorowanie
- Serwisowanie infrastruktury okołoprodukcyjnej
- Outsourcing Utrzymania Ruchu

Kontakt:
Karol Miernikiewicz
e-mail: miernikiewicz@targi.krakow.pl
mobile: +48 507 044 183

Organizator:
Targi w Krakowie
www.targi.krakow.pl

Miejsce:
EXPO KRAKOW
www.expo.krakow.pl

www.mtc.krakow.pl

Maciej Łysakowski, adwokat, Wierzbicki Adwokaci i Radcowie Prawni Sp. k.

Zamówienia publiczne na tle wyzwań sektora energetycznego w Polsce

Jedną z fundamentalnych zasad postępowania w sprawie udzielenia zamówienia publicznego jest wymóg zachowania zasad uczciwej konkurencji i równego traktowania wykonawców - wynikający z art. 7 PZP ustawy z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych (Dz. U. 2013, poz. 907 ze zm., dalej jako „PZP"). W tym kontekście, w odniesieniu do zamówień publicznych sektora energetycznego, pojawia się kwestia zasad traktowania w zamówieniach publicznych ofert składanych przez podmioty z państw, niebędących stronami Porozumienia w sprawie zamówień rządowych z dnia 15 kwietnia 1994 r. (dalej jako „GPA"), które to porozumienie wyznacza pewne standardy równego traktowania w zamówieniach publicznych oraz ma gwarantować swobodny dostęp przedsiębiorców z państw-sygnatariuszy do rynku zamówień publicznych.

Fot. pixabay.com

Problem ten jest przy tym istotny z uwagi na zbieg dwóch czynników. Z jednej strony mamy do czynienia z deklarowanym (i obserwowanym, również w sektorze energetycznym) powrotem chińskich gigantów do walki o rynek europejskich zamówień publicznych. W Polsce, po spektakularnym niewywiązaniu się z kontraktu przez konsorcjum COVEC, wykonawcy z Państwa Środka traktowani są z dużą nieufnością - chociażby ze względu na fakt, że wyegzekwowanie kar umownych z aktywów na terenie Chin leży raczej w sferze teorii niż praktyki dostępnej dla zamawiających z sektora publicznego. W sektorze energetyki dochodzi również czynnik skutków ewentualnego niewywiązania się z kontraktu - znaczące przedłużenie się inwestycji w nowe źródła energii, czy infrastrukturę przesyłową - jest zdecydowanie niepożądane wobec prognozowanych problemów z dostawami energii - czego przykład mieliśmy już latem 2015 r. Z drugiej strony, należy również uwzględnić skalę wyzwań inwestycyjnych - a więc również środków do rozdysponowania w polskim sektorze energetycznym w nadchodzących latach.

Niezależnie przy tym od oceny, czy

działania zamawiających zmierzające do ograniczenia możliwości udziału w postępowaniu o udzielenie zamówienia publicznego dla wykonawców z dalekiego wschodu, uznamy za uzasadnione czy też nie, należy pamiętać, iż zamawiający ci zobligowani są do stosowania przepisów PZP - w tym do zapewnienia warunków uczciwej konkurencji. Jak się okazuje, również dla wykonawców z Państw, które niekoniecznie deklarują wzajemność.

Na tle wieloletniego stosowania art. 7 doszło do wykształcenia jednolitej praktyki orzeczniczej oraz dorobku doktryny, w których podkreśla się potrzebę zagwarantowania możliwie szerokiego dostępu do rynku zamówień publicznych - a co za tym idzie, konieczność ścisłej interpretacji przepisów, wprowadzających ograniczenia w możliwości ubiegania się o udzielenie zamówienia publicznego. Co istotne, również w dyrektywach europejskich - zarówno w warstwie legislacyjnej, jak i w uzasadnieniach - regulujących zamówienia publiczne, podkreśla się konieczność zagwarantowania szerokiego dostępu do rynku zamówień publicznych. Ma to zarówno umożliwić przedsiębiorcom dostęp do rynku, ale również - poprzez zaostrzenie konkurencji - dać zamawiającemu większe możliwości wyboru.

W komentarzu do art. 7 PZP „Prawo zamówień publicznych. Komentarz" (red. J. Pieróg, Warszawa 2015 r.) wskazano między innymi:

„Postanowieniami w zakresie warunków udziału w postępowaniu zamawiający może spowodować wyeliminowanie wykonawców mogących złożyć ofertę, ale niespełniających wymagań podmiotowych. Tego typu działanie jest dopuszczalne, ale ograniczeniem swobody zamawiającego jest właśnie zasada uczciwej konkurencji. Ma ona zapobiegać stawianiu nadmiernych i nieuzasadnionych wymogów, które utrudniałyby dostęp do zamówienia i tym samym ograniczały albo eliminowały konkurencyjność postępowania. Wprawdzie z Prawa zamówień publicznych zniknął znajdujący się wcześniej zapis zakazujący zamawiającemu określania warunków udziału w postępowaniu w sposób, który mógłby utrudniać uczciwą konkurencję (dawny art. 22 ust. 2), ale w to miejsce wprowadzono zapisy pozytywne, które określają, jak należy opisać warunki udziału w postępowaniu i sposób ich oceny (art. 22 ust. 4 i 5)."

„Zasada równego traktowania, oznaczająca m.in. zakaz nieuzasadnionego preferowania niektórych ofert, doznaje pewnego ograniczenia w zamówieniach sektorowych. Artykuł 138c ust. 1 pkt 4 i ust. 2 przewidują tzw. preferencje wspólnotowe dla ofert proponujących towary pochodzące z państw członkowskich Unii Europejskiej lub państw, z którymi Unia zawarła umowy o równym traktowaniu przedsiębiorców. Nie są to preferencje podmiotowe, w związku z czym każdy, kto zaproponuje preferowane towary, będzie traktowany na równi z innymi wykonawcami oferującymi takie towary."

Spośród orzecznictwa Krajowej Izby Odwoławczej warto przytoczyć wyrok z 20.06.2013 r. (KIO 1314/13):

„Prawie nigdy nie jest możliwe opisanie przedmiotu zamówienia, który w ten czy inny sposób nie uniemożliwia części wykonawców w ogóle złożenia oferty, a niektórych stawia w uprzywilejowanej pozycji. Warunkiem nienaruszania konkurencji jest w takim przypadku brak uniemożliwiania z góry niektórym podmiotom udziału w postępowaniu bez uzasadnienia w obiektywnych potrzebach i interesach zamawiającego oraz brak sytuacji, w której uprzywilejowanie danych wykonawców osiągnie rozmiary faktycznie przekreślające jakąkolwiek konkurencję."

Na tym tle trudno sobie wyobrazić, aby wykluczenie oferentów mających siedziby w określonych rejonach geograficznych wyłącznie ze względu na pochodzenie, bez zagłębiania się w indywidualną sytuację każdego z nich, mogło być w przekonujący sposób uzasadnione obiektywnymi potrzebami i interesami zamawiającego. W szczególności próby wykazywania

takich potrzeb i interesów w postaci gwarancji należytego wykonania zamówienia będą trudne do obrony. Po pierwsze, zamawiający ma inne narzędzia w tym celu (wymogi dotyczące doświadczenia, zabezpieczenie należytego wykonania umowy). Po drugie, samo pochodzenie wykonawcy niczego nie gwarantuje: oponenci takiego rozwiązania bez problemu będą w stanie wykazać (przy odpowiednim doborze porównywanych wykonawców i realizowanych kontraktów), że wykonawcy z Chin mogą być bardziej rzetelni i doświadczeni niż rodzimi gracze.

Należy również pamiętać, że próba wykluczenia z udziału w postępowaniu wykonawców, mających siedzibę w określonych państwach, niezależnie od przyjętego mechanizmu, stanowiłaby w istocie kryterium podmiotowe udziału w postępowaniu - w związku z czym należy uwzględnić dorobek doktryny i orzecznictwa w tym zakresie, w szczególności w odniesieniu do art. 22 PZP.

W komentarzu wskazano między innymi:

„Warunki udziału w postępowaniu, czyli tzw. warunki podmiotowe, powinny być związane z przedmiotem zamówienia. Powinny też być proporcjonalne do przedmiotu zamówienia, czyli tak naprawdę do jego zakresu lub wartości. Tego rodzaju przepis po nowelizacji z 5.11.2009 r. znalazł się w ustawie, ale wcześniej tego rodzaju zasadę wypracowało orzecznictwo i doktryna. Określając warunki udziału w postępowaniu, należy więc brać pod uwagę nie interesy zamawiającego, lecz rodzaj zamówienia, jego przedmiot, zakres i wartość, sposób wykonania i sposób płatności przewidziany w projekcie umowy.

Proporcjonalność warunków do przedmiotu zamówienia oznacza ich wartościową lub terminową adekwatność do zamawianego przedmiotu. Jak stwierdziła KIO w wyr. z 9.04.2013 r. (KIO 720/13, Legalis), warunek proporcjonalny to taki, który bezpośrednio nawiązuje do zdolności wykonawcy do wykonania całego zlecanego zakresu zamówienia. W innym wyroku KIO określiła, że zasada proporcjonalności oznacza, iż opisane przez zamawiającego warunki udziału w postępowaniu muszą być uzasadnione wartością zamówienia, charakterystyką, zakresem, stopniem złożoności lub warunkami realizacji zamówienia (wyr. z 14.12.2012 r., KIO 2636/12, Legalis). Nie należy więc żądać doświadczenia w realizacji zamówień o wartości znacząco przewyższającej wartość zamówienia. Nie należy też oczekiwać doświadczenia w realizacji umów długoterminowych, jeżeli przedmiot zamówienia nie ma takiego charakteru. Natomiast zaniżenie warunku udziału w postępowaniu nie ogranicza dostępu do zamówień, a wprost przeciwnie, umożliwia szerszą konkurencję, stąd też sytuacja taka nie może być kwalifikowana jako naruszenie przepisów Prawa zamówień publicznych (tak KIO w wyr. z 12.04.2013 r., KIO 738/13, Legalis)."

> „(..) w odniesieniu do zamówień publicznych sektora energetycznego, pojawia się kwestia zasad traktowania w zamówieniach publicznych ofert składanych przez podmioty z państw, niebędących stronami Porozumienia w sprawie zamówień rządowych z dnia 15 kwietnia 1994 r. (…)

Co istotne, art. 22 PZP daje podstawy do formułowania warunków udziału w postępowaniu jedynie w zakresie wskazanym w tym przepisie, dotyczących zagadnień wskazanych w ustawie. Teoretycznie jest to furtka do takiego skonstruowania warunków, aby znacząco utrudnić wybranym kategoriom wykonawców możliwość ubiegania się o udzielenie zamówienia. Takie ograniczenie musi być jednakże zgodne z zasadą zachowania uczciwej konkurencji, oraz z zasadą proporcjonalności.

W zakresie określonym w art. 22 ust. 1 pkt 2 PZP zamawiający określają konkretne warunki w zakresie wiedzy i doświadczenia, odnoszące się do przedmiotu zamówienia. Należy zauważyć, iż żądanie wykazania się określonym doświadczeniem jest chyba najczęściej stawianym wymogiem w postępowaniach o zamówienie publiczne.

Ustawa nie reguluje, a orzecznictwo wręcz nie pozwala na ograniczanie warunku wiedzy i doświadczenia zdobyciem go w realizacjach na rzecz konkretnych zamawiających. Co więcej, w doktrynie przyjmuje się, że nie jest ponadto dozwolone ograniczanie tego warunku także pod względem terytorialnym, np. tylko w Polsce (tak Jerzy Pieróg, Komentarz do Ustawy Prawo zamówień publicznych, 2015 r. wyrok Krajowej Izby Odwoławczej z 25.08.2014 r., sygn. akt: KIO 1639/14).

Powyższe stanowisko, w zakresie braku możliwości wprowadzenia do treści SIWZ wymogu posiadania przez wykonawcę doświadczenia jedynie na określonym obszarze geograficznym, potwierdziła również Krajowa Izba Odwoławcza w uchwale z 20.03.2012 r., sygn. akt: KIO/KD 29/12. Zgodnie z wykładnią przepisów zaprezentowaną w Uchwale, KIO uznała, że nie jest dopuszczalne ograniczanie obszaru geograficznego, gdzie uzyskane zostało doświadczenie, w celu zagwarantowania spełniania przez przedmiot zamówienia konkretnych parametrów.

W komentowanej uchwale Krajowej Izby Odwoławczej potwierdzono, że wymóg posiadania wiedzy i doświadczenia sformułowany w sposób ograniczający możliwość wykazania się przez wykonawcę określonym doświadczeniem prowadzi do naruszenia zasady

uczciwej konkurencji i równego traktowania wykonawców.

W dalszej kolejności wskazać należy, iż warunkiem udziału w postępowaniu może być również dysponowanie odpowiednim potencjałem kadrowym rozumianym jako dysponowanie osobami posiadającymi odpowiednie wykształcenie i kwalifikacje zawodowe. Przez odpowiednie kwalifikacje należy rozumieć zarówno niezbędne uprawnienia do dokonywania danych czynności, jak i posiadanie odpowiedniej wiedzy i doświadczenia osób wykonujących określone czynności.

Odnosząc się do wymogu odpowiedniego doświadczenia osób, za pomocą których wykonawca będzie realizował zamówienie, w doktrynie wskazuje się, że PZP nie ogranicza doświadczenia niezbędnego do wykonywania zamówień wyłącznie do doświadczeń nabytych w pracach na rzecz sektora publicznego (szerzej - na rzecz zamawiających) lub na określonym terenie - Polski czy Europy. Istotą posiadania doświadczenia jest wykazanie się wykonywaniem określonych czynności, a nie ich wykonywanie dla określonego odbiorcy lub w określonym miejscu (W. Dzierżanowski, *Komentarz do Prawa zamówień publicznych*. wyd. VI, LEX 2014).

W kontekście wskazanych uwag i orzecznictwa pragniemy zauważyć, że arbitralne wyłączenie wykonawcom z danego kraju (jak np. z Chińskiej Republiki Ludowej) możliwości ubiegania się o udzielenie zamówienia publicznego, najprawdopodobniej zostałoby uznane za rozwiązanie nieproporcjonalne.

Na marginesie należy jedynie zwrócić uwagę, iż spełnienie warunku dysponowania określonym potencjałem kadrowym nie musi oznaczać pozostawania wykonawcy w stosunku pracy z osobami za pomocą których wykonawca wykona zamówienie.

Wymóg w zakresie dysponowania odpowiednim potencjałem kadrowym następuje przez wykazanie dysponowania osobami, np. na podstawie stosunku prawnego wynikającego z zawartych umów cywilnoprawnych, Określenie „dysponować", użyte w art. 22 ust. 1 pkt 3 PZP nie posiada legalnej definicji, jednak wydaje się, że należy je definiować jako realną możliwość zaangażowania poszczególnych osób w realizację zamówienia. Z uwagi na powyższe, w praktyce często zdarza się, że zagraniczny wykonawca wykonuje zamówienie za pomocą podmiotów znajdujących się (mających miejsce zamieszkania) w miejscu wykonania przedmiotu zamówienia.

> „(…) wymóg posiadania wiedzy i doświadczenia sformułowany w sposób ograniczający możliwość wykazania się przez wykonawcę określonym doświadczeniem prowadzi do naruszenia zasady uczciwej konkurencji i równego traktowania wykonawców

Powyższe uwagi odnoszą się do aktualnego stanu prawnego. Należy bowiem pamiętać, że w parlamencie procedowany jest projekt daleko idącej nowelizacji PZP. Jak wynika z dotychczas opublikowanych druków sejmowych, zmianie ma ulec katalog okoliczności, do których mogą się odnosić warunki udziału w postępowaniu - przy czym zamawiający może całkowicie zrezygnować z takich warunków. Ich znaczenie może z kolei zostać przesunięte na etap oceny ofert, gdzie przedmiotem oceny mogą być organizacja, kwalifikacje i doświadczenie osób wyznaczonych do realizacji zamówienia. Jest to odejście od obowiązującej dotychczas zasady, przestrzeganej również na gruncie orzecznictwa Krajowej Izby Odwoławczej, w myśl której kwestie podmiotowe dotyczące wykonawcy nie mogą mieć wpływu na ocenę oferty: oceniany ma być produkt/usługa, nie zaś podmiot który będzie realizował zamówienie - co miało prowadzić do większej obiektywności zamawiających.

Nie wiadomo jak będzie wyglądała praktyka stosowania nowych rozwiązań. Można oczekiwać, że zamawiający będą podchodzili do tej kwestii z pewną rezerwą, bowiem zastosowanie kryteriów pozacenowych wymaga od nich ustalenia zasad oceny tych kryteriów, które muszą być obiektywnie usprawiedliwione. Zwłaszcza kryteria kosztu i walorów podmiotowych wykonawcy mogą być dla zamawiających problemem, z uwagi na całkowity brak orzecznictwa Krajowej Izby Odwoławczej w tym zakresie. Z drugiej jednak strony, w chwili obecnej przewagę wykonawców z Chin stanowi przede wszystkim niższa cena - którą uzasadniają on z reguły możliwością samodzielnego finansowania inwestycji, bez ponoszenia kosztów takiego finansowania. Według projektowanych reguł, kryterium ceny ma mieć wagę maksymalnie 40%. Nie jest wykluczone, że odpowiednie sformułowanie pozacenowych kryteriów oceny ofert nie doprowadzi do sytuacji, w której przewaga finansowa wykonawców z dalekiego wschodu, zostanie zredukowana.

Na tym tle pojawia się pytanie o istniejące preferencje dla państw członkowskich Unii Europejskiej oraz sygnatariuszy GPA. Należy uznać, że jedyne preferencje, które można stosować to te, które wprost przewidziane są w PZP - wprowadzanie nowych rozwiązań, które faktycznie dyskryminowałyby wykonawców z państw, które nie przystąpiły do GPA, następowałoby bez podstawy prawnej i jako sprzeczne z art. 7 PZP, najprawdopodobniej zostałoby zakwestionowane przez Krajową Izbę Odwoławczą.

Preferencje dla państw - stron GPA na gruncie PZP są przy tym na-

der skromne i przejawiają się w dwóch narzędziach, jakie ustawodawca udostępnił zmawiającym sektorowym.

Zgodnie z art. 138c pkt 4 PZP, zamawiający może zastrzec w SIWZ - ale jedynie w przypadku zamówienia na dostawy - że udział towarów pochodzących z państw Unii Europejskiej lub innych stron GPA powinien przekraczać 50% - pod rygorem odrzucenia oferty. Przy tym odnośnie kwestii „pochodzenia" towarów warto przytoczyć wyrok Krajowej Izby Odwoławczej z dnia 8.05.2012 r. (KIO 823/12):

„Skoro odwołujący wprost oświadczył, że montaż najważniejszych komponentów, z których powstanie produkt będzie miał miejsce w Chinach, to oznacza, że ostatnia istotna, ekonomicznie uzasadniona obróbka lub przetworzenie, które powoduje wytworzenie nowego produktu lub stanowiło istotny etap wytwarzania w przedsiębiorstwie przystosowanym do tego celu będzie miała miejsce w Chinach. Zatem miejscem pochodzenia są Chiny. Izba podziela także stanowisko, iż czynność montażu, instalacji uruchomienia w Polsce nie może zostać uznana za czynność decydującą o pochodzeniu rękawów, gdy z technicznego punktu widzenia nie stanowi ona decydującego stadium produkcji. (...) Zgodnie z art. 23 ust. 1 Rozporządzenia Rady (EWG) nr 2913/92 z 12.10.1992 r. ustanawiającego Wspólnotowy Kodeks Celny (dalej zwane Rozporządzenie Rady), towarami pochodzącymi z danego kraju są towary całkowicie uzyskane w tym kraju. Natomiast towar, w którego produkcję zaangażowany jest więcej niż jeden kraj, jest uznawany za pochodzący z kraju, w którym został poddany ostatniej istotnej, ekonomicznie uzasadnionej obróbce lub przetworzeniu, które spowodowało wytworzenie nowego produktu lub stanowiło istotny etap wytwarzania w przedsiębiorstwie przystosowanym do tego celu (art. 24 Rozporządzenie Rady). Stosownie do art. 25 Rozporządzenia Rady, przetworzenie lub obróbka, co do których zostało ustalone lub stwierdzone fakty potwierdzają przypuszczenie, że ich jedynym celem było obejście przepisów stosowanych we Wspólnocie wobec towarów z określonych państw, nie mogą być w żadnym przypadku uznane za nadające, w rozumieniu art. 24, towarom otrzymanym w ten sposób pochodzenie kraju, w którym zostały one przetworzone".

Dodatkowo należy wspomnieć o preferencji wynikającej z art. 138c ust. 2 PZP:

„Jeżeli nie można wybrać oferty najkorzystniejszej ze względu na to, że złożono dwie lub więcej ofert o takiej samej cenie lub przedstawiających taki sam bilans ceny i innych kryteriów oceny ofert, a w specyfikacji istotnych warunków zamówienia nie przewidziano odrzucenia oferty zgodnie z ust. 1 pkt 4, zamawiający wybiera ofertę, która nie mogłaby zostać odrzucona na podstawie ust. 1 pkt 4. Ceny przedstawione w ofertach są takie same, jeżeli różnica między ceną najkorzystniejszej oferty a cenami innych ofert, które nie mogłyby zostać odrzucone na podstawie ust. 1 pkt 4, nie przekracza 3%".

Powyższy przepis reguluje mechanizm, w myśl którego, jeżeli:

I. zamawiający nie przewidział limitu pochodzenia towarów (co już ogranicza zastosowanie tego mechanizmu wyłącznie do dostaw),
II. różnica między najkorzystniejszymi ofertami nie przekracza 3%,
III. jedna z najkorzystniejszych ofert dotyczy dostawy produktów wytworzonych w ponad 50% poza państwami - stronami GPA,

wówczas Zamawiający wybiera ofertę złożoną przez wykonawcę z państwa sygnatariusza GPA, nawet jeżeli jest ona ofertą sklasyfikowaną niżej w rankingu (oczywiście w granicach wskazanej 3% różnicy).

Preferencja związana z GPA, o której mowa w art. 138c ust. 2 PZP jest obligatoryjna - jednakże stosuje się ją wyłącznie w postępowaniach na dostawy.

Podsumowując, w zakresie sektora energetycznego, w kontekście zamówień publicznych na wykonanie robót budowlanych nie ma obecnie skutecznych narzędzi, które pozwoliłyby ograniczyć krąg potencjalnych wykonawców wyłącznie do przedsiębiorców z państw członkowskich Unii Europejskiej oraz sygnatariuszy GPA. Dopiero ewentualna zmiana PZP i przesunięcie takich kwestii jak doświadczenie, potencjał organizacyjny, itp. na etap oceny ofert, może dać zamawiającym pewne pole do stosowania preferencji - przy czym należy i w tym zakresie zachować ostrożność.

Niezależnie od powyższych rozważań, cały czas pozostaje aktualne pytanie, czy wykonawców z Chin należy się obawiać? Wszak mamy przykłady inwestycji zrealizowanych przez tamtejszych przedsiębiorców na terenie Europy bez problemów, jak również mamy przykłady polskich wykonawców, cieszących się renomą, których upadłość w trakcie realizacji zamówienia publicznego doprowadziła do niemniejszych problemów, niż było to w przypadku COVEC. □

dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński, prof. ndzw. PŁ, mgr inż. Olga Namiecińska,
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka

Spalarnie odpadów komunalnych - perspektywa roku 2020

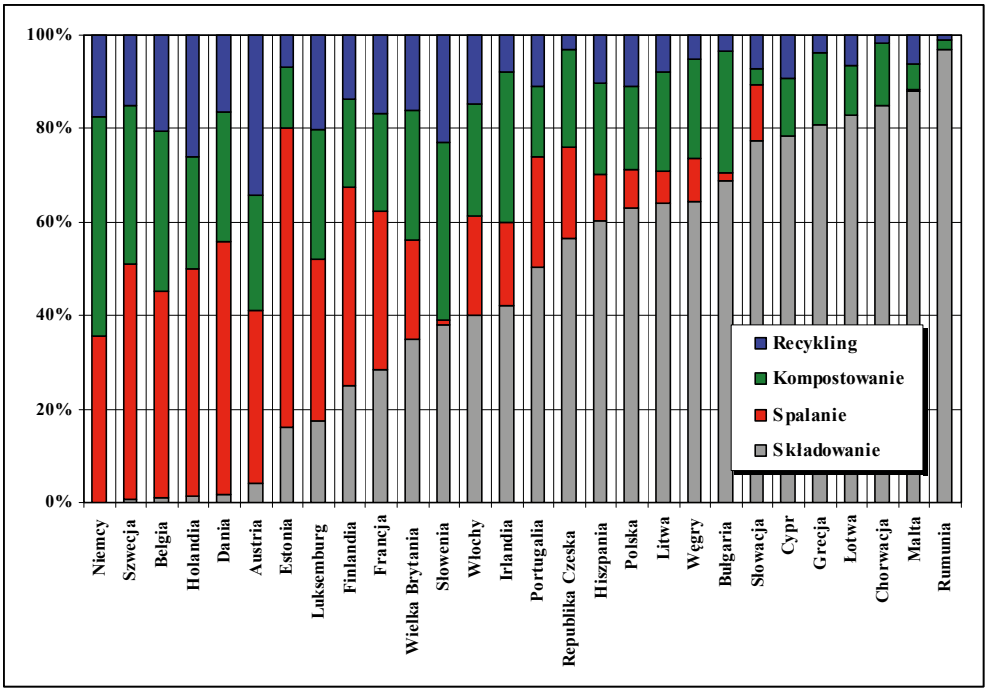
Odpady towarzyszą ludzkości od początków rozwoju cywilizacji. Na wszystkich etapach tego rozwoju sposób gospodarowania odpadami był wysoce niedostateczny w stosunku do skali wytwarzanych odpadów oraz do narastającej ich nagromadzonej ilości. Podejmowane próby rozwiązani problemu, czy to w starożytności, czy w wiekach średnich były zazwyczaj tylko półśrodkami sprowadzającymi się do gromadzenia odpadów i innych nieczystości poza murami miast, z dala od siedzib ludzkich. Rewolucja przemysłowa zapoczątkowała etap gwałtownego nasilenia problemów i zagrożeń związanych z niedostatecznym rozwojem gospodarki odpadami.

Procesy intensywnego rozwoju przemysłu i przyśpieszający wzrost demograficzny generowały zwielokrotnione strumienie odpadów, które w sposób znaczący przyczyniły się do znacznego pogorszenia sytuacji ekologicznej i sanitarnej, w szczególności w gwałtownie rozwijających się miastach. Najsilniejsze procesy degradacyjne występowały w rejonach zurbanizowanych i uprzemysłowionych, gdyż ich rozwój był żywiołowy i następował w warunkach głębokiego niedorozwoju infrastruktury komunalnej i ochronnej oraz bardzo niskiego poziomu świadomości ekologicznej. Największy i najbardziej zauważalny problem stanowiły zawsze i stanowią dziś odpady komunalne. Wśród licznych, znanych metod ich zagospodarowania od lat 60. ub. w. coraz większego znaczenia nabierają metody termiczne. Obecnie w wielu krajach Unii Europejskiej stanowią one pod względem tonażu ok. 30-60% stosowanych metod, jednak w wielu krajach, a szczególnie w Polsce budzą, one wiele obaw i kontrowersji, stając się polem otwartego konfliktu pomiędzy władzami samorządowymi a grupami mieszkańców. Choć według danych ankietowych przeprowadzonych w ostatnich latach liczba zdecydowanych przeciwników spalania odpadów zazwyczaj nie przekracza 15-20% badanej społeczności, to tworzą oni zazwyczaj bardzo agresywne i głośne grupy protestujących, w wyniku czego władze samorządowe często rezygnują z tej metody zagospodarowania odpadów komunalnych.

W chwili obecnej (początek 2016 r.) w Polsce funkcjonuje już 5 spalarni odpadów komunalnych - uruchomiony w 2001 r. ZUSOK w Warszawie (wydajność jedynie ok. 40 000 Mg/a) oraz kolejne 4 nowozbudowane instalacje (Bydgoszcz - 180 000 Mg/a, Białystok - 120 000 Mg/a, Konin - 96 000 Mg/a oraz Kraków - 220 000 Mg/a), a dwie kolejne (Poznań - 210 000 Mg/a i Szczecin - 150 000 Mg/a), które powinny ruszyć przed końcem obecnego roku. Uruchomienie tych instalacji pozwoli na termiczne przekształcenie ok. 1 mln Mg odpadów komunalnych rocznie, co nieco przybliży nas do bardziej rozwiniętych krajów UE, w których spalanych jest od 20% (Wielka Brytania, Włochy, Portugalia), aż do ponad 50% (Dania, Szwecja).

Dane dotyczące sposobu zagospodarowania odpadów komunalnych w krajach UE w 2013 r. przedstawiono na rys. 1. Dla Polski przyjęto, że spalanych jest ok. 8% odpadów (ok. 0,4% ZUSOK i reszta - frakcja nadsitowa, tzw. pre-RDF z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów spalona w cementowniach).

Aktualny stan gospodarki odpadami komunalnymi w krajach Unii Europejskiej, Polsce oraz innych krajach europejskich obrazują tab. 1 i 2. Pokazano w nich zmiany w ilości powstających



Rys. 1. Sposób postępowania z odpadami komunalnymi w krajach UE (oprac. własne wg EUROSTATU za 2013 r.)

odpadów komunalnych oraz w sposobie ich zagospodarowania wg danych za 1995, 2000, 2005, 2010 oraz 2013 r.

Pierwszą rzeczą rzucająca się w oczy jest istotny wzrost ilości odpadów komunalnych (w przeliczeniu na jednego mieszkańca) w większości krajów. W niektórych z nich jest on nawet blisko 50% (Dania, Malta), co świadczy o tym, że jednej z podstawowych zasad strategii gospodarowania odpadami komunalnymi - minimalizacji wytwarzanych odpadów nie udało się osiągnąć.

Druga obserwacja - to względna stabilizacja ilości wytwarzanych odpadów w najbogatszych krajach UE (Belgia, Francja, Holandia, Niemcy, Szwecja, Wielka Brytania, Włochy), co świadczy o tym, że istnieje pewne maksimum charakterystyczne dla danego kraju, będące pewnym „poziomem nasycenia".

Systematyczny rozwój gospodarczy oraz postępujący wzrost dobrobytu skutkuje wzrostem konsumpcji i tym samym wzrostem ilości powstających odpadów komunalnych. W literaturze często publikowany jest wykres pokazujący zależność ilości powstających odpadów komunalnych (w przeliczeniu na jednego mieszkańca) od wielkości dochodu narodowego przypadające na jednego mieszkańca. Obrazuje to rys. 2 sporządzony na podstawie danych Eurostatu za 2013 r.

Polska, wspólnie z Rumunią, Łotwą, Słowacją, Estonią oraz Republiką Czeską lokuje się poniżej linii trendu z jednym z najniższych wskaźników ilości wytwarzanych odpadów komunalnych w przeliczeniu na jednego mieszkańca - według danych za 2014 r. jest to nawet tylko 268 kg na jednego mieszkańca rocznie.

Czy jest możliwe abyśmy tak dokładnie wypełniali swoje obowiązki w zakresie unikania powstawania odpadów, zgodnie z obowiązującą wg dyrektywy 2008/98/WE hierarchią postępowania w gospodarce odpadami i byli w tym zakresie prymusem w Unii Europejskiej? Wydaje się, że problem niestety tkwi gdzie indziej i jest bezpośrednio związany z dwoma zjawiskami - powstawaniem nielegalnych wysypisk odpadów oraz spalaniem odpadów w piecach domowych. Oba problemy miała rozwiązać tzw. rewolucja śmieciowa (nowelizacja ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach) - niestety nie rozwiązała. Przed nowelizacją wspomnianej ustawy naturalnym zachowaniem lokatorów, właścicieli nieruchomości była minimalizacja ilości odpadów komunalnych przekazywanych firmom wywozowym. W ten sposób znacząco malała opłata za wywóz odpadów, a nieodebrane odpady lądowały na nielegalnych wysypiskach - najczęściej w lesie. W nowym systemie gdy lokator, czy właściciel nieruchomości jest obciążony tzw. podatkiem śmieciowym niezależnym od ilości wytwarzanych i oddawanych odpadów nie ma on żadnej motywacji do pozbywania się poza systemem wytworzonych odpadów. Natomiast firma wywożąca odpady swoje wynagrodzenie powinna otrzymywać w zależności od ilości odpadów dostarczonych do wskazanej przez gminę Regionalnej Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK-u). W takim systemie firmie odbierającej odpady opłacałoby się nawet usunąć wszelkie odpady znalezione w lesie, by zwiększyć swoje dochody.

Tab. 1. Zmiany w ilości powstających odpadów komunalnych w krajach Unii Europejskiej w latach 1995-2013 (oprac. własne wg EUROSTATU)

Lp.	Państwo	1995	2000	2005	2010	2013	zmiana 2013/1995
1.	Austria	437	580	575	562	578	32,27
2.	Belgia	455	476	483	456	439	-3,52
3.	Bułgaria	694	612	588	554	432	-37,75
4.	Chorwacja	-	262	336	379	404	-
5.	Cypr	595	628	688	696	624	4,87
6.	Dania	521	610	662	673	747	43,38
7.	Estonia	371	453	433	305	293	-21,02
8.	Finlandia	413	502	478	470	493	19,37
9.	Francja	475	514	530	533	530	11,58
10.	Grecja	-	407	437	531	510	-
11.	Hiszpania	510	658	588	510	449	-11,96
12.	Holandia	539	598	599	571	526	-2,41
13.	Irlandia	512	599	731	624	586	14,45
14.	Litwa	426	365	387	404	433	1,64
15.	Luksemburg	587	466	672	679	653	11,24
16.	Łotwa	264	271	320	324	312	18,18
17.	Malta	395	546	623	601	570	44,30
18.	Niemcy	623	642	565	602	617	-0,96
19.	Polska	285	320	379	316	297	4,21
20.	Portugalia	352	457	452	516	440	25,00
21.	Republika Czeska	302	335	289	318	307	1,66
22.	Rumunia	342	355	383	324	272	-20,47
23.	Słowacja	295	254	273	319	304	3,05
24.	Słowenia	596	513	494	490	414	-30,54
25.	Szwecja	386	428	477	439	453	17,36
26.	Węgry	460	446	461	403	378	-17,83
27.	Wielka Brytania	498	577	581	509	482	-3,21
28.	Włochy	454	509	546	547	491	8,15

Niestety nowelizacja ustawy pozwoliła na dwa działania, które w całkowity sposób wypaczają jej założenia. Są to możliwość przeprowadzenia wspólnego przetargu na odbiór i unieszkodliwienie odpadów, co uniemożliwia gminie kontrolę strumienia odpadów trafiającego do RIPOK-u oraz możliwość ryczałtowego rozliczania firmy odbierającej odpady od mieszkańców, proporcjonalnie do ich ilości. W obu przypadkach zmniejszenie strumienia odpadów trafiających do RIPOK-u w oczywisty sposób zwiększa zysk firmy. Efekt - rosnąca liczba nielegalnych składowisk. Drugim ważnym czynnikiem zmniejszającym ilość odpadów komunalnych w oficjalnej ewidencji to nielegalne spalanie w piecach domowych. Jeżeli zużyte opakowania wielomateriałowe lub z tworzyw sztucznych, makulatura, karton, itp. mają wartość opałową wyższą lub porównywalną z węglem kamiennym - to naturalną pokusą jest spalenie ich we własnym piecu zamiast węgla, którego 1 Mg kosztuje - dziś 600-800 zł.

Można oszacować, że uszczelnienie systemu gospodarki odpadami komunalnymi i zlikwidowanie istniejących luk powinno zwiększyć ilość wytwarzanych odpadów komunalnych w Polsce o ok. 30%, tj. do poziomu ok. 14-15 mln Mg rocznie. Taką właśnie ilość odpadów komunalnych powinno się brać do analizy przy planowaniu systemu gospodarki odpadami na lata 2016-2025.

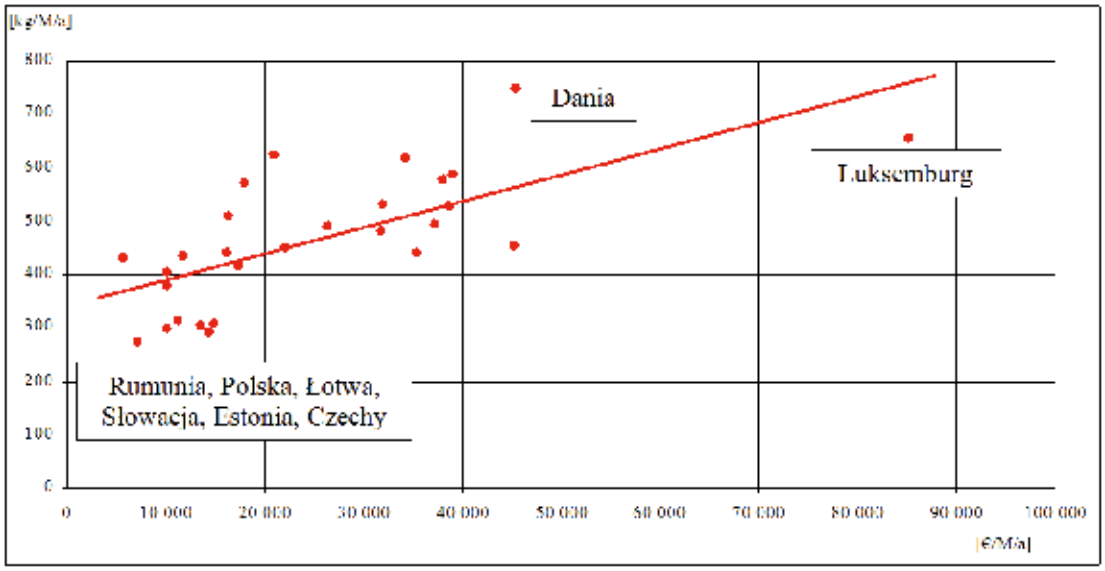
Z danych przedstawionych na rys. 2 wynika jednoznacznie, że wzrost dochodu narodowego, wzrost poziomu życia mieszkańców powoduje nieuchronny wzrost ilości wytwarzanych odpadów. Analizując dane statystyczne dotyczące Polski, widać pewien paradoks, który zobrazowano na rys. 3. Pomimo znaczącego wzrostu dochodu narodowego ilość odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce nie ulega praktycznie żadnej zmianie. To jest ewenement na skalą światową. Przyczyny takiego stanu rzeczy zostały opisane powyżej. Wydaje się, że rzeczywiste „uszczelnienie" systemu powinno ten problem rozwiązać.

Musimy także pamiętać, że Polska znajduje się na etapie systematycznie rosnącej konsumpcji indywidualnej (choć nieco spowolnionej w ostatnich latach przez sytuację ekonomiczną). Obserwując zmiany w zakresie gospodarki odpadami, jakie zachodziły w Europie w latach 80. i 90. należy oczekiwać, że w miarę wzrostu dochodu narodowego i poziomu życia systematycznie będzie rosła ilość powstających odpadów komunalnych.

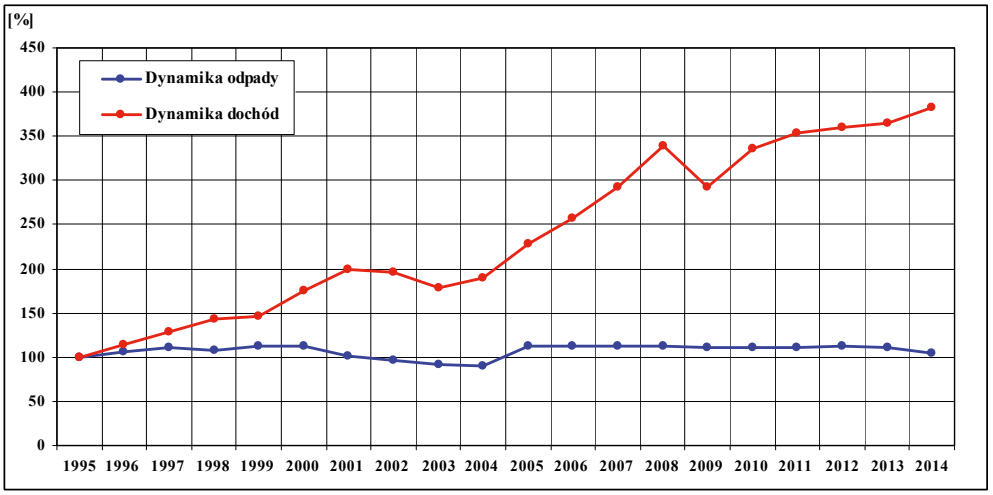
nr 2(50)/2016

Tab. 2. Zmiany w sposobie gospodarowania odpadami komunalnymi [w %] w krajach Unii Europejskiej w latach 1995-2013 (oprac. własne wg EUROSTATU)

Lp.	Państwo	Składowanie					Kompostowanie					Recykling					Spalanie				
		1995	2000	2005	2010	2013	1995	2000	2005	2010	2013	1995	2000	2005	2010	2013	1995	2000	2005	2010	2013
1.	Austria	46,9	33,8	11,3	3,2	4,0	27,0	39,1	33,4	32,4	33,2	23,6	24,3	24,9	27,0	24,6	12,4	11,2	27,7	34,9	34,9
2.	Belgia	43,5	19,1	11,4	1,8	0,9	7,9	22,3	23,2	21,5	20,7	11,2	25,4	30,4	36,4	34,4	35,4	33,2	37,3	40,6	44,4
3.	Bułgaria	76,5	65,4	69,9	74,2	69,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	15,5	18,2	24,5	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
4.	Chorwacja	-	-	-	94,5	82,2	-	-	-	0,8	1,7	-	-	-	3,2	13,4	-	0,0	0,0	0,0	0,0
5.	Cypr	100,2	97,0	96,4	84,9	78,7	0,0	0,0	0,0	4,6	9,1	0,0	3,0	3,6	10,6	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6.	Dania	18,4	10,8	5,7	3,4	1,6	10,9	16,1	18,0	19,3	16,6	14,4	15,4	16,5	22,9	27,7	56,2	57,5	59,8	54,2	54,2
7.	Estonia	99,2	94,9	63,0	65,9	13,7	0,5	0,2	1,8	7,9	5,1	0,0	2,0	20,8	10,2	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6
8.	Finlandia	64,6	60,8	59,0	45,1	25,2	7,5	7,6	7,5	13,2	13,6	25,9	26,1	25,9	19,6	19,1	-	10,4	9,0	22,1	42,4
9.	Francja	44,8	41,4	34,3	31,1	28,3	9,1	11,7	13,6	17,1	16,8	8,8	13,0	16,0	17,8	20,8	37,5	32,9	36,0	34,0	34,0
10.	Grecja	-	91,4	88,6	82,9	80,8	-	0,7	0,7	2,4	3,7	-	8,1	11,2	14,7	15,5	-	0,0	0,0	0,0	0,0
11.	Hiszpania	60,4	51,2	49,0	62,4	60,1	0,0	11,7	17,0	11,6	10,2	7,1	6,7	14,3	17,6	19,6	4,7	5,5	7,5	8,6	9,8
12.	Holandia	29,1	9,5	1,7	1,6	1,5	24,1	24,2	24,9	24,3	26,0	15,6	19,9	21,9	24,9	24,0	25,6	31,8	33,7	49,2	48,7
13.	Irlandia	77,1	91,8	60,3	52,6	38,1	-	0,7	1,6	3,7	5,8	6,6	11,2	29,5	32,1	30,7	0,0	0,0	0,0	3,8	15,9
14.	Litwa	100,0	94,5	91,2	86,1	62,4	0,0	0,0	0,8	1,5	7,4	0,0	0,0	1,0	11,1	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2
15.	Luksemburg	27,1	29,4	19,2	17,8	17,5	7,0	20,0	18,0	19,6	20,1	13,1	30,3	25,6	27,0	27,9	52,8	60,5	37,2	35,6	34,6
16.	Łotwa	69,7	93,0	78,4	90,7	83,0	0,0	0,0	0,3	0,6	6,4	0,0	0,0	3,8	8,6	10,6	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
17.	Malta	86,3	90,1	91,0	90,7	81,4	13,4	9,3	7,2	0,0	5,1	0,0	0,4	1,8	5,3	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
18.	Niemcy	42,9	26,0	8,5	0,5	0,2	13,2	14,3	16,5	16,8	17,5	26,3	38,2	44,4	45,7	47,0	17,7	21,5	30,4	37,0	35,3
19.	Polska	97,9	97,8	59,6	61,7	52,9	1,8	1,9	2,1	6,6	10,8	0,0	0,0	2,6	14,9	13,1	0,0	0,0	0,3	0,3	6,7
20.	Portugalia	90,1	68,5	62,6	62,0	50,5	8,5	7,2	6,6	7,4	13,0	1,1	3,3	8,6	11,4	15,2	0,0	21,0	22,3	19,4	23,6
21.	Republika Czeska	100,0	84,5	65,4	64,8	56,4	0,0	0,3	0,7	2,2	2,9	0,0	0,6	5,5	13,5	21,2	-	9,3	12,8	14,8	19,5
22.	Rumunia	74,3	83,1	78,6	76,2	78,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,8	1,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23.	Słowacja	56,9	77,2	78,0	77,1	70,1	1,4	1,2	1,5	5,3	7,2	1,4	1,6	0,7	3,8	3,3	9,5	15,4	12,5	10,7	10,5
24.	Słowenia	76,5	78,4	66,6	55,5	26,3	0,3	1,4	1,6	2,2	4,8	1,8	4,7	17,0	20,0	37,9	0,0	0,0	0,2	1,0	0,5
25.	Szwecja	35,2	22,7	4,8	0,9	0,7	6,2	9,6	10,5	13,7	15,2	20,2	28,7	34,2	34,4	33,8	38,3	38,3	50,3	51,0	50,3
26.	Węgry	73,3	82,1	83,1	70,5	64,6	0,4	0,4	0,9	3,7	5,0	1,3	1,3	8,7	15,9	21,4	7,0	7,6	6,5	10,2	9,0
27.	Wielka Brytania	82,9	81,1	64,4	46,0	34,2	-	2,8	8,6	14,9	16,0	7,0	8,3	18,1	25,3	27,6	29,1	7,3	8,4	13,0	21,2
28.	Włochy	93,0	75,6	54,0	46,3	36,9	1,3	4,3	7,0	12,2	14,7	3,5	10,0	11,7	18,8	24,8	5,3	7,7	12,1	16,8	20,2



Rys. 2. Zależność ilości powstających odpadów komunalnych w funkcji zamożności społeczeństwa (dochodu narodowego w przeliczeniu na mieszkańca) - dane za 2013 r. dla EU-28 (oprac. własne wg EUROSTATU)

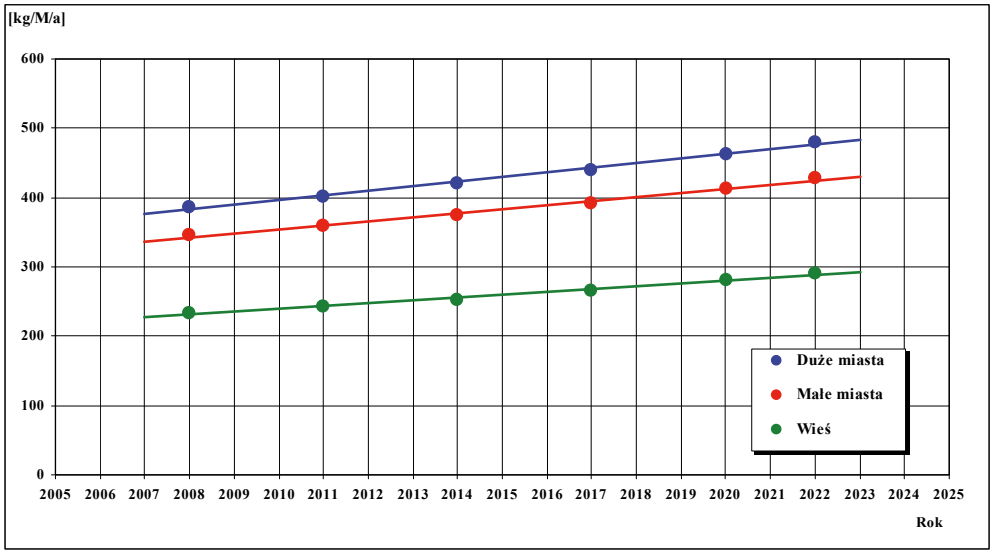


Rys. 3. Dynamika wzrostu dochodu narodowego w przeliczeniu na mieszkańca oraz dynamika wzrostu ilości odpadów komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca rocznie; 1995 r. = 100% (oprac. własne wg danych Eurostatu)

Można oszacować, że przy planowanym wzroście gospodarczym rzędu ok. 2-3% rocznie, w perspektywie 10 lat ilość stałych odpadów komunalnych rosnąć będzie również o ok. 2-3% rocznie. Tym samym można oczekiwać minimum 30-40% wzrostu ilości powstających odpadów komunalnych w okresie 10-letnim. Oznacza to, że powinnyśmy w perspektywie 10-letniej przewidywać, że średni wskaźnik powstawania odpadów komunalnych wyniesie ok. 400-450 kg/M/r., a więc na poziomie średniej UE.

Taką zresztą dynamikę wzrostu ilości odpadów komunalnych przyjęto w prognozie sporządzonej przez Szpadta na zlecenie Ministerstwa Środowiska w 2010 r. - rys. 4.

Jak więc powinna wyglądać nasza gospodarka odpadami komunalnymi? Wydaje się, że przede wszystkim powinna opierać się na selektywnej zbiórce odpadów. Selektywnie zebrane, czyste odpady doskonale nadają się do recyklingu. Dotyczy to zwłaszcza tektury i papieru, szkła, tworzyw sztucznych i metali. Te same frakcje odpadów wydzielone w sortowni ze strumienia odpadów zmieszanych najczęściej mają już ograniczone możliwości wykorzystania. Tak więc nie łudźmy się, poprzez rozwój sieci sortowni nie uda nam się uzyskać założonych celów w zakresie odzysku i recyklingu niektórych frakcji odpadów. Przeanalizujmy więc fakty dotyczące polskiej gospodarki odpadami komunalnymi i spróbujmy sobie odpowiedzieć, czy zmierzamy we właściwym kierunku



Rys. 4. Prognozowany wzrost ilości odpadów komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca rocznie na lata 2010-2022 (oprac. własne wg Szpadta)

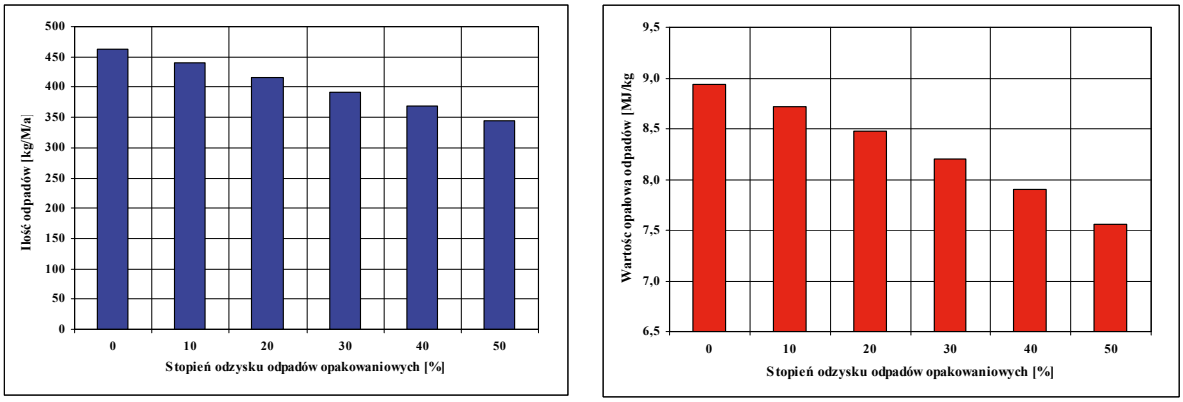
oraz czy jest on zgodny z polityką UE w tym zakresie.

Jak już wspomniano ruszyły już pierwsze cztery nowoczesne spalarnie odpadów komunalnych. Będą one spalać rocznie około 1 mln Mg zmieszanych odpadów komunalnych. Czy to wystarczy dla pokrycia potrzeb krajowych? Według oficjalnych danych produkujemy rocznie w Polsce około 10-12 mln Mg odpadów komunalnych. W przeliczeniu na jednego mieszkańca jest to ok. 300 kg rocznie (dane za 2013 r.), co jest jednym z najniższych wskaźników w Unii Europejskiej. Jest to ok. 100 kg na mieszkańca mniej niż wynika to z linii trendu zależności ilości odpadów komunalnych w przeliczeniu na jednego mieszkańca rocznie od dochodu narodowego w przeliczeniu na mieszkańca (rys. 2).

Planując system gospodarki odpadami komunalnymi na najbliższe lata (a właśnie trwa aktualizacja Krajowego Planu Gospodarki Odpadami), należy również wziąć pod uwagę polskie zobowiązania wobec UE w zakresie gospodarki odpadami. Za najważniejsze należy tu uznać wymóg recyklingu oraz przygotowania do ponownego użycia aż 50% odpadów opakowaniowych. Można obliczyć, że przy dzisiejszym średnim składzie morfologicznym odpadów komunalnych spowoduje to ok. 25% spadek ilości zmieszanych odpadów komunalnych i ok. 15% spadek ich średniej wartości opałowej (do poziomu ok. 7,5 MJ/kg). Jednocześnie wydaje się niemożliwe osiągnięcie tego celu bez intensyfikacji selektywnej zbiórki odpadów, bo będzie to całkowicie nierealne do osiągnięcia tylko przy pomocy sortowni i instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Wyniki obliczeń wpływu stopnia odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych na ilość odpadów komunalnych przeznaczonych do dalszego zagospodarowania oraz ich średnią wartość opałową (dla prognozowanego wg Szpadta na 2020 r. składu morfologicznego odpadów komunalnych z wielkich miast) przedstawiono na rys. 5.

Według aktualnych danych (za 2014 r.) instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych (MBP) jest w Polsce 124 o łącznej wydajności ok. 8,8 mln Mg w części mechanicznej oraz 3,2 mln Mg w części biologicznej. W planach jest zwiększenie ich ilości do 2020 r. o kolejne 68 instalacji o łącznej wydajności prawie 4,3 mln Mg w części mechanicznej i 2,0 mln Mg w części biologicznej. Oznacza to, że w 2020 r. powinniśmy dysponować łączną mocą przerobową instalacji MBP ok. 13 mln Mg, a więc więcej niż wytwarzamy dzisiaj odpadów komunalnych (przynajmniej wg oficjalnych danych). Przy wspomnianej 50% redukcji ilości odpadów opakowaniowych (zrealizowanej głównie w wyniku selektywnej zbiórki) daje to w skali kraju strumień ok. 11 mln Mg zmieszanych odpadów komunalnych, a to oznacza około 2 mln Mg nadwyżki mocy przerobowych instalacji MBP. Jeżeli od tych 11 mln Mg odpadów komunalnych odejmiemy ok. 1 mln Mg skierowany do 7 spalarni zmieszanych odpadów komunalnych pozostaje nam do dyspozycji ok. 10 mln Mg odpadów. Oznacza to że nadwyżka mocy przerobowych instalacji MBP sięgnie już 3 mln Mg.

Z danych eksploatacyjnych funkcjonujących w Polsce instalacji MBP wynika, że tzw. frakcja nadsitowa zwana często pre-RDF (nieczyszczona - kod 19 12 12) lub RDF (po oczyszczeniu i standaryzacji - kod 19 12 10) stanowi ok. 30-40% początkowej masy odpadów wprowadzanej do instalacji. Jak łatwo wyliczyć oznacza to, że do dyspozycji możemy mieć ok. 3-4 mln Mg frakcji kalorycznej wydzielonej z odpadów komunalnych (przyjmijmy, że spełniającej określone wymagania jakościowe - czyli



Rys. 5. Wpływ stopnia odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych na ilość odpadów komunalnych przeznaczonych do dalszego zagospodarowania oraz ich średnią wartość opałową (oszac. własne)

inaczej RDF). Według danych z funkcjonujących instalacji RDF ma wartość opałową w granicach 13-18 MJ/kg, w zależności od wilgotności.

Duże nadzieje z zagospodarowaniem RDF-u pokładano w przemyśle cementowym, który od lat stosuje paliwa tzw. alternatywne wytworzone z odpadów. Kiedy 15 lat temu nasze cementownie rozpoczynały współspalanie paliw alternatywnych w ilościach ok. 5% masy podawanego paliwa (węgla) wymagały od dostawców wartości opałowej nie niższej niż 12 MJ/kg. Dziś średni stopień zastąpienia paliw kopalnych paliwami alternatywnymi wynosi ponad 50%, a w niektórych cementowniach ponad 80%. Nie są one zainteresowane paliwem alternatywnym o wartości opałowej mniejszej niż 20-22 MJ/kg, gdyż zastosowanie mniej kalorycznych paliw grozi nie osiągnięciem wymaganej technologią temperatury wypału klinkieru wynoszącej ponad 1 450°C. Takiego paliwa wszystkie polskie cementownie mogą przyjąć maksimum 1,5 mln Mg. Aby do wytworzenia paliwa alternatywnego dla cementowni wykorzystać RDF wytworzony w instalacjach MBP konieczne jest jego „wzbogacenie" tworzywami sztucznymi lub gumą. Uwzględniając wartość opałową tworzyw sztucznych (maksymalnie ok. 42 MJ/kg) i gumy (maksymalnie 29 MJ/kg), do produkcji paliwa dla cementowni można wykorzystać maksymalnie ok. 1,0-1,2 mln Mg RDF.

Można więc przyjąć, że „do dyspozycji" pozostanie w kraju ok. 2-3 mln Mg frakcji palnej wydzielonej z odpadów komunalnych w instalacjach MBP - czyli RDF-u. W chwili obecnej brak jest możliwości zagospodarowanie tego paliwa, gdyż jest ona w dalszym ciągu odpadem i w świetle dotychczasowego stanowiska Komisji Europejskiej szanse na utratę przez RDF statusu odpadów są znikome. Istnieje teoretyczna możliwość eksportu ok. 1 mln Mg RDF do Niemiec, gdyż tyle mniej więcej wynosi tam nadwyżka mocy przerobowych 35 istniejących spalarni RDF (łączna wydajność ok. 5,0 mln Mg).

Czy tego chcemy, czy nie - nasza gospodarka odpadami komunalnymi oparta została o instalacje MBP, z których będziemy mieli rocznie do zagospodarowania ok. 2-3 mln Mg RDF-u. Powstaje więc zasadnicze pytanie: co z nim możemy zrobić? Odpowiedź jest stosunkowo prosta: RDF jest odpadem, którego w żadnym przypadku nie wolno składować (zabrania tego między innymi Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu), a więc trzeba będzie go spalić. Energetyka i ciepłownictwo wykazują bardzo umiarkowane zainteresowanie RDF-em, gdyż jego spalanie lub współspalanie wiązać się będzie ze znacznymi kosztami dostosowania instalacji do wymogów formalno-prawnych spalania, bądź współspalania opadów (a także ze względu na obawę korozji). Taniej i lepiej będzie więc wybudować specjalne instalacje do spalania RDF, najlepiej włączone w system ciepłowniczy miasta. Takie działania już dziś się rozpoczęły. Poniżej przykłady.

Olsztyn początkowo planował budowę instalacji termicznego przekształcania odpadów na ok. 100 000 Mg na rok. Znajdował się nawet na liście indykatywnej projektów w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko" (POIŚ). Kilka lat temu władze miasta podjęły decyzję o rezygnacji z budowy spalarni odpadów i wybudowania w to miejsce instalacji MBP o wydajności ok. 135 000 Mg/r. Kiedy przyszło do zatwierdzania dofinansowania projektu z UE, powstał problem, co zrobić z 50 000 Mg RDF-u rocznie. Wobec zmian w systemie zaopatrzenia miasta w ciepło podjęta została decyzja o budowie instalacji do spalania RDF o wydajności ok. 50 000 Mg. Obecnie zdecydowano, że przyjmie ona RDF jeszcze z innych instalacji MBP na terenie województwa i jej wydajność wyniesie ok. 100 000 Mg na rok.

Gdańsk planował wybudowanie dużej instalacji termicznego przekształcania odpadów na ok. 250 000 Mg na rok. Znajdował się na liście indykatywnej projektów w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko" (POIŚ). W 2010 r. nie udało się jednak znaleźć lokalizacji dla realizacji tego projektu. W tym okresie na terenie województwa zbudowano 6 nowych instalacji MBP

i powstał problem zagospodarowania ok. 140 000 Mg/r. RDF. Zdecydowano więc o budowie instalacji spalania RDF w rejonie składowiska odpadów i zakładu przetwarzania odpadów Szadółki o wydajności ok. 150 000 Mg/r.

Zakłady Chemiczne „Synthos" w Dworach planują budowę spalarni RDF pochodzącego z instalacji MBP zlokalizowanych w regionie zachodnim (Oświęcim, Bolesław, Kraków) oraz osadów z oczyszczalni ścieków. Planowana wydajność spalarni to 160 000 Mg/r. Zgodnie z założeniami ma ona dostarczać energię cieplną i elektryczną zakładom chemicznym „Synthos" na potrzeby procesów technologicznych.

W Krośnie istnieje instalacja do mechanicznego przetwarzania odpadów o wydajności ok. 37 000 Mg/r. (w części mechanicznej). Operatorem jest Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej i planuje ono budowę spalarni RDF o wydajności ok. 30 000 Mg/r., która przyjmować będzie frakcje nadsitową z własnej instalacji MBP oraz RDF z innych instalacji w regionie (np. z Jasła).

Plany budowy instalacji spalania RDF nie kolidują z planami budowy instalacji spalających zmieszane odpady komunalne. Mocno zaawansowany jest projekt budowy spalarni zmieszanych odpadów komunalnych dla regionu i miasta Rzeszowa o wydajności ok. 100 000 Mg/r. Inwestorem ma być PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna, operator miejskiego systemu ciepłowniczego w Rzeszowie. Rozpoczęły się również prace nad projektem budowy nowej spalarni odpadów komunalnych dla Warszawy. Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Miasta planuje budowę instalacji o wydajności ok. 265 000 Mg/r. (zmieszane odpady komunalne). Razem z istniejącym ZUSOK-iem (wydajność 40 000 Mg/r.) da to możliwość spalenia sumarycznie ok. 305 000 Mg odpadów rocznie. W sytuacji gdy w Warszawie rocznie powstaje ponad 800 000 Mg odpadów wydajność tych dwóch instalacji jest z pewnością za mała.

Wydaje się, że istnieje jeszcze szansa (i rzeczywista potrzeba!) wybudowania dwóch spalarni zmieszanych odpadów komunalnych - w Łodzi i Wrocławiu o wydajności po ok. 200 000 Mg/r. każda. W najbliższym otoczeniu tych miast (w promieniu 40 km) jak na razie nie ma instalacji MBP, stąd powinny być one przystosowane do spalania zmieszanych odpadów komunalnych, a nie RDF -u. Jest również gotowa analiza potrzeb budowy instalacji dla regionu środkowo-pomorskiego - w Koszalinie o wydajności ok. 95 000 Mg/r. Wracając do bilansu - można oszacować, że pozostanie jeszcze maksymalnie ok. 1,5-2,0 mln Mg/r. RDF-u do wykorzystania i to jest rzeczywista skala potrzeb w zakresie budowy kolejnych instalacji termicznego przekształcania odpadów. Przy czym powinny być one zaprojektowane do spalania RDF-u.

Przedstawiony powyżej w sposób opisowy bilans strumieni masy w systemie gospodarki odpadami da się zestawić w sposób syntetyczny w postaci rysunku (rys. 7) obrazującego przewidywany system gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce w 2020 r.

Uwarunkowania gospodarki odpadami komunalnymi zmieniają się jednak ciągle. Sporządzone dziś bilanse mogą okazać się za chwile nieaktualne. W dniu 2 grudnia 2015 r. Komisja Europejska przedstawiła drugą, poprawioną wersję pakietu pod nazwą „Circular Economy" (gospodarka o obiegu zamkniętym), który zakłada znaczące zmniejszenie unieszkodliwiania odpadów (w tym przede wszystkim składowania) na rzecz przygotowania do powtórnego użycia (inaczej odzysku materiałowego) i recyklingu (odzysku surowcowego i biologicznego).

Termiczne przekształcanie odpadów (odzysk energetyczny) ma w tym pakiecie stanowić uzupełnienie systemu, a nie może być podstawową metodą postępowania z odpadami. Pakiet „Circular Economy" zakłada objęcie recyklingiem (surowcowym i biologicznym) 65% odpadów komunalnych, 75% odpadów opakowaniowych oraz ograniczenie ilości wszystkich składowanych odpadów do maksymalnie 10% do 2030 r. Wydaje się to realne, choć wymagać będzie wielu działań legislacyjnych, organizacyjnych i edukacyjnych.

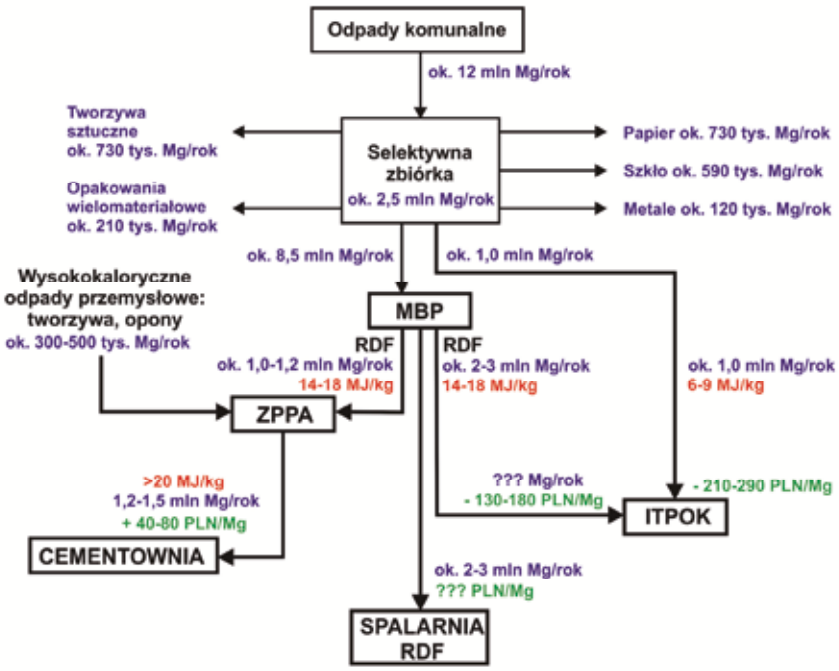
Przykład w tym zakresie powinniśmy wziąć z Niemiec (64% recyklingu surowcowego i biologicznego, dane EUROSTAT za 2013 r.), Słowenii (62%), Austrii (59%), Belgii (55%), czy Holandii (50%). W Polsce ten udział wynosi ok. 29%, jest więc jeszcze bardzo dużo do zrobienia. Tym bardziej, że tak wysokich wskaźników recyklingu (w szczególności materiałowego i surowcowego) nie uda się uzyskać przy wykorzystaniu tylko instalacji MBP - te surowce muszą być zbierane w sposób selektywny. Przyczyna tego stanu rzeczy jest prosta. Wydzielone w instalacji MBP odpady niestety są tylko teoretycznie przydatne do recyklingu ze względu na zawilgocenie i zanieczyszczenia. Można obliczyć, że wdrożenie pakietu „Circular Economy" w Polsce spowoduje zmniejszenie ilości odpadów kierowanych do istniejących instalacji MBP o ok. 35-38%, zaś średnia wartość opałowa zmieszanych odpadów komunalnych spadnie do ok. 6,5 MJ/kg, chyba że struktura i skład morfologiczny wytwarzanych w Polsce odpadów komunalnych (w gospodarstwach domowych, przed selektywna zbiórką, recyklingiem, itp.) ulegnie zmianie, w kierunku zbliżonym do bardziej rozwiniętych (i bogatszych) krajów UE. W aktualnym stanie rzeczy - przy obecnie średnim składzie morfologicznym naszych odpadów komunalnych uzyskanie 65% recyklingu (materiałowego, surowcowego i biologicznego) odpadów komunalnych możliwe jest tylko przy założeniu ok. 75% recyklingu odpadów opakowaniowych i przy kompostowaniu ok. 85% odpadów biorozkładalnych (kuchennych, ogrodowych, zielonych, itp.) zawartych w strumieniu odpadów komunalnych.

Propozycja pakietu „Circular Economy" została przywitana z mieszanymi uczuciami. Organizacje „zielonych" od razu stwierdziły, że w nowym systemie nie będzie miejsca dla spalarni odpadów. Nie jest to prawda, gdyż nowy pakiet nie wprowadza zakazu spalania. Dokładna analiza propozycji Komisji Eu-

ropejskiej pozwala zauważać najważniejszą myśl przewodnią - minimalizacja składowania odpadów, maksymalne ich wykorzystanie. Przewidziane w dyrektywie o odpadach z 2008 r., a także konsekwentnie w polskiej ustawie o odpadach (z 2013 r.) procedury uznania za produkt uboczny oraz utraty statusu odpadów (end-of-waste) powinny ułatwić recykling wielu odpadów. Jednak zarówno specjaliści, jak i Komisja Europejska potwierdzają konieczność określenia jednoznacznych i odpowiednio rygorystycznych przepisów dotyczących wymagań jakościowych produktów ubocznych, produktów z recyklingu, czy produktów z odpadów.

Warto tu jednocześnie zauważyć, że proces termicznego przekształcania odpadów może być również traktowany jako proces recyklingu surowcowego. Już obecnie z żużli i popiołów odzyskuje się niemałe ilości metali (w Niemczech ok. 40%), a sam żużel jest w wielu krajach wykorzystywany gospodarczo. Zastosowanie takich rozwiązań zarówno prawnych, jak i technologicznych w Polsce powinno zbliżyć nas do możliwości spełnienia wymagań pakietu „Circular Economy". Biorąc pod uwagę, że po rzeczywistym uszczelnieniu systemu zbiórki odpadów komunalnych i przekazywania ich do RIPOK-ów ich ilość powinna w Polsce wzrosnąć i zgodnie z trendem dalej systematycznie powoli rosnąć (ok. 1-2% rocznie) w miarę wzrostu poziomu życia (i dochodu narodowego w przeliczeniu na jednego mieszkańca), a także powinna rosnąc ich wartość opałowa na skutek zmian składu morfologicznego, można założyć, że aktualnie realizowane inwestycje w gospodarce odpadami nie będą inwestycjami „na wyrost" i ich skala będzie adekwatna do potrzeb również w 2020, 2025, a także 2030 r.

Nie ulega obecnie wątpliwości, że spalanie odpadów stanowi ważny, istotny i wręcz nieodzowny element systemu gospodarki odpadami komunalnymi. Doświadczenia większości krajów Europy, w szczególności krajów Unii Europejskiej wskazują na to jednoznacznie. Ale musimy pamiętać, że spalanie



Rys. 7. Bilans strumieni masy odpadów dla prognozowanego systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce w 2020 r. (oprac. własne)

nie może zdominować całego modelu gospodarki odpadami, gdyż zgodnie z obowiązującą hierarchią celów pierwszeństwo mają: przygotowanie do ponownego użycia i recykling. Jak opisano to na wstępie i w jednym z rozdziałów, realizacja tych celów powinna odbywać się przede wszystkim w oparciu o selektywna zbiórkę odpadów. Wykorzystywanie do tego celu sortowni jest nieporozumieniem. Wydzielone ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych frakcje (np. papier, szkło, czy tworzywa sztuczne) są przeważnie silnie zanieczyszczone i wilgotne, stąd nie są już tak dobrym surowcem do ponownego użycia i recyklingu jak zebrane selektywnie, czyste i suche.

Pozostały po selektywnej zbiórce strumień odpadów kierowany jest obecnie w Polsce do dwóch rodzajów instalacji: mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP) lub bezpośrednio do termicznego przekształcania. Wariant MBP wymaga uzupełnienia o instalację do termicznego przekształcania frakcji paliwowej (kalorycznej) - RDF-u, co powoduje, że według danych z innych krajów (np. Niemiec) jest on o ok. 10% droższy od wariantu bezpośredniego spalenia w spalarni odpadów komunalnych. Obecnie, w większości krajów UE, średnia cena spalenia odpadów komunalnych w spalarni wynosi od 60 do 120 Euro za 1 Mg (w zależności od kraju i wydajności spalarni). W przypadku już funkcjonujących 4 polskich spalarni odpadów (Kraków, Bydgoszcz, Białystok, Konin) jest to ok. 200-300 zł za 1 Mg. Niestety, w Polsce w gospodarce odpadami komunalnymi jak na razie dominuje model pierwszy (z instalacjami MBP), których moc przerobowa przekracza już 8 mln Mg/r., przy mocy przerobowej 4 funkcjonujących (i budujących się jeszcze dwóch, w Szczecinie i Poznaniu) spalarni odpadów komunalnych wynoszącej ok. 1 mln Mg/r. Koszty budowy tych spalarni wyniosły ok. 2 000-4 000 zł za 1 Mg wydajności rocznej, a więc analogicznie do średniej europejskiej (800 Euro za 1 Mg wydajności rocznej).

Korzystając z dobrego wzorca pozostałych krajów UE, w których spalanie odpadów funkcjonuje od dawna, wybraliśmy w Polsce jako metodę termicznego

przekształcania odpadów komunalnych - sprawdzoną i najbardziej rozpowszechnioną technologię spalania na ruszcie. Opisane w literaturze losy „nowych technologii" - pirolizy, zgazowania, czy plazmy potwierdzają w pełni słuszność tego wyboru. Nie ulega wątpliwości, że w przypadku dużych spalarni zmieszanych odpadów komunalnych jest to rozwiązanie zdecydowanie najlepsze, optymalne. Zazwyczaj mówi się tu o granicy 100 000 Mg/r. (12 Mg/h), jako granicy opłacalności klasycznych dla spalarni rusztowych.

W wielu krajowych opracowaniach przyjmuje się jednak, że mniejsze niż 100 000 Mg/r. instalacje są nieopłacalne i że instalacji o wydajnościach np. ok. 50 000 Mg/r. nikt już od dawna w Europie nie buduje. Nie jest to do końca prawda. Analizując istniejący stan spalarni w Europie (dane za 2010 r.), wg raportów ISWA oraz Instytutu Fraunhofera można zauważyć, że w latach 2000-2010 oddano do użytku co najmniej 25 instalacji o wydajności mniejszej niż 120 000 Mg/r.

Nie oznacza to jednak, że w przypadku decentralizacji systemu gospodarki odpadami komunalnymi oraz wdrażania koncepcji energetyki rozproszonej nie ma miejsca dla innych technologii. Być może właśnie jest to właściwa skala dla instalacji pirolizy, czy zgazowania odpadów komunalnych, choć wydaje się, że bardziej bezpiecznym byłoby mówienie tu o termicznym przekształcaniu nie zmieszanych odpadów komunalnych, ale paliwa wytworzonego z odpadów komunalnych - RDF-u. Jak pokazano to wcześniej, już obecnie mamy do zagospodarowania w Polsce ok. 2 mln Mg RDF-u rocznie. Może tu jest miejsce dla „nowych technologii"? Warunek jest jednak jeden - muszą być to technologie sprawdzone, funkcjonujące więcej niż 5 lat w skali technicznej, posiadające referencje o co najmniej takiej samej wydajności, w jakiej skali chcemy budować u nas instalacje. Z uwagi na finansowanie takich inwestycji z funduszy publicznych (często z wykorzystaniem pożyczek z NFOŚiGW lub funduszy unijnych), nie ma tu miejsca na żadne eksperymenty, gdyż nieosiągnięcie efektu ekologicznego (trwałej, bezawaryjnej pracy instalacji) grozi inwestorowi (najczęściej gminie) koniecznością zwrotu uzyskanych dotacji, czy pożyczek - bez rozwiązania problemu gospodarki odpadami komunalnymi na swoim terenie.

Oczywiste jest również powszechne oczekiwanie, że wprowadzenie do eksploatacji instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych nie zwiększy w sposób istotny opłat za wywóz odpadów ponoszonych przez mieszkańców. Wydaje się, że utrzymanie ich na poziomie kilku zł od mieszkańca na miesiąc (jak to jest aktualnie w niektórych gminach w Polsce) jest nierealne. W świetle licznych opracowań na ten temat można przyjąć, że realna opłata za odbiór odpadów komunalnych z gospodarstw domowych jest w granicach 15-20 zł od mieszkańca miesięcznie. Musimy tu jednak pamiętać, że w świetle licznych raportów firm konsultingowych (głównie amerykańskich i kanadyjskich sporządzanych na zlecenie tamtejszych samorządów), realne koszty inwestycyjne i eksploatacyjne „nowych technologii" wcale nie są niższe niż koszty tradycyjnych spalarni rusztowych. Poza wszelką konkurencją są tu instalacje plazmowe, dla których koszty inwestycyjne i eksploatacyjne szacuje się, że są o ok. 60-100% wyższe od kosztów instalacji rusztowych.

Od spalania odpadów komunalnych wydaje się, że nie ma ucieczki. Jest to technologia powszechnie stosowane zarówno w Europie, jak i na całym świecie. Wprowadzenie idei gospodarki o obiegu zamkniętym („Circular Economy") również nie eliminuje spalania odpadów jako metody ich zagospodarowywania, szczególnie w przypadku pozyskiwania surowców (metali) z odpadów wtórnych. Doświadczenia eksploatacyjne potwierdzają, że najbezpieczniejszą, najbardziej niezawodną i najmniej oddziaływująca na środowisko jest klasyczna technologia rusztowa. Oddziaływanie na środowisko takich instalacji jest znacznie mniejsze od innych, w tym również instalacji energetycznych, czy ciepłowniczych. I ten fakt powinien wreszcie dotrzeć do powszechnej świadomości społecznej.

Podsumowując, wydaje się że zarówno konieczność spełnienia wymogów recyklingowych 2020 r., jak i założeń pakietu „Circular Economy" w 2030 r. nie powinna mieć wpływu na plany inwestycyjne w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi (nie powinna ich zatrzymać). Nie ulega wątpliwości, że nie ma już potrzeby budowania kolejnych instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów (MBP) po 2020 r., zaś plany na lata 2015-2020 powinny zostać okrojone. Z bilansu odpadów oraz przewidywanych kierunków ich przetwarzania wynika, że powinniśmy zbudować jeszcze maksymalnie 3-4 instalacje spalania zmieszanych odpadów komunalnych (łączna wydajność ok. 500-600 tys. Mg/r.) oraz ok. 8-12 instalacji spalania paliwa wytworzonego z odpadów (RDF) o łącznej wydajności 1,0-1,5 mln Mg/r. Przy czym wskazane jest, aby w każdym województwie istniała przynajmniej jedna instalacji spalania RDF. W żadnym jednak przypadku nie powinniśmy rezygnować ze spalania odpadów, gdyż przykłady płynące z innych krajów UE wskazują, że spalarnie są istotnym i nieodzownym elementem systemu gospodarki odpadami, choć jednocześnie w każdym przypadku wskazane jest dokonanie rzetelnej analizy potrzeb (lokalizacja, wydajność). □

Anna Kochan, radca prawny, Kancelaria Adwokatów i Radców Prawnych Dziedzic Kowalski Kornasiewicz i Partnerzy

System wsparcia
dla wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w wysokosprawnej kogeneracji

Fot. NE

Przewidziany w Polsce system wsparcia kogeneracji powstał jako implementacja dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, uchwalonej w celu osiągnięcia głównego celu unijnego jakim jest zwiększenie jej efektywności energetycznej o 20% do 2020 r. Został on ukształtowany wielopłaszczyznowo w tym sensie, że rodzaj wsparcia zależy zarówno od mocy źródła, jak i rodzajów wykorzystywanych paliw.

Jednocześnie samo wsparcie zostało skierowane do odpowiedniej technologii wytwarzania, pozwalającej na oszczędność energii pierwotnej (w odniesieniu do układów rozdzielnych), wykorzystywanej w celu pozyskania w jednym procesie technologicznym zarówno energii elektrycznej, jak i ciepła. Świadectwa pochodzenia, oprócz przychodów z sprzedaży fizycznej energii elektrycznej, są dodatkowym źródłem przychodu ze sprzedaży praw majątkowych wynikających z tego świadectw.

Definicje legalne

Przystępując do analizy sysytemu wsparcia dla energii elektrycznej wytworzonej w wysokosprawnej kogeneracji, należy na wstępie wyjaśnić kilka podstawowych pojęć dotyczących przedmioto-

wego zagadnienia. Kogeneracja to równoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej lub mechanicznej w trakcie tego samego procesu technologicznego (art. 3 pkt 33 Prawa energetycznego).

Wysokosprawna kogeneracja to wytwarzanie energii elektrycznej lub mechanicznej i ciepła użytkowego w kogeneracji, które zapewnia oszczędność energii pierwotnej zużywanej w:

- jednostce kogeneracji w wysokości nie mniejszej niż 10% w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego lub
- jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej poniżej 1 MW w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego. (at. 3 pkt 38 Prawa energetycznego).

Ciepło użytkowe w kogeneracji to ciepło wytwarzane w kogeneracji, służące zaspokojeniu niezbędnego zapotrzebowania na ciepło lub chłód, które gdyby nie było wytworzone w kogeneracji, zostałoby pozyskane z innych źródeł (art. 3 pkt 34 Prawa energetycznego).

System wsparcia

Funkcjonujący w Polsce model wsparcia producentów wytwarzających energię elektryczną w wysokosprawnej kogeneracji, oparty na publicznoprawnym obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia prezesowi URE świadectwa jej pochodzenia, został wprowadzony po raz pierwszy do prawa krajowego ustawą z dnia 12 stycznia 2007 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne, ustawy - Prawo ochrony środowiska oraz ustawy o systemie oceny zgodności (Dz. U.2007.21.124) począwszy od dnia 1 lipca 2007 r. Zadedykowany został on dla źródeł (jednostek kogeneracji) opalanych paliwami gazowymi lub węglem. System ten - jako czasowy - wygasł z końcem 2012 r. i dopiero po roku trwania luki prawnej w tym zakresie, ustawą z dnia 14 marca 2014 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw (Dz. U.2014.490), która weszła w życie 30 kwietnia 2014 r. ustawodawca zdecydował się na jego przywrócenie z terminem do końca 2018 r.

Jednocześnie ustawą z dnia 8 stycznia 2010 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne oraz niektóryh innych ustaw (Dz. U.2010.21.104) rozszerzono system wsparcia dla wysokosprawnego wytwarzania energii elektrycznej w skojarzeniu z ciepłem w jednostkach kogeneracji opalanych metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych w czynnych, likwidowanych lub zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego lub gazem uzyskiwanym z przetwarzania biomasy w rozumieniu art. 2 ust. 1 pkt 2 ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych - od 11 marca 2010 r.

Świadectwa pochodzenia, obowiązek i ogólna procedura ich uzyskania i przedstawienia do umorzenia

Zbywalne świadectwa pochodzenia z wysokosprawnej kogeneracji (certyfikaty), będące potwierdzeniem wytworzenia energii elektrycznej w koncesjonowanym źródle pracującym w skojarzeniu i wynikające z nich prawa majątkowe, stanowią podstawę państwowego systemu promocji dla tego typu sposobu pozyskiwania energii. Świadectwa te są wydawane przez prezesa URE na wniosek przedsiębiorstwa energetycznego, zajmującego się wytwarzaniem energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji, złożony za pośrednictwem operatora system elektroenergetycznego, na którego obszarze działania znajduje się jednostka kogeneracji określona we wniosku oraz oddzielenie dla energii elektrycznej wytworzonej w instalacjach kogeneracyjnych na gaz (certyfikat żółty), węgiel (certyfikat czerwony), metan ze złóż węgla i biogaz (certyfikat fioletowy). Wniosek jak powyżej, wytwórca sporządza na podstawie danych dotyczących wytworzenia energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji, obejmującego jeden lub więcej następujących po sobie miesięcy kalendarzowych danego roku kalendarzowego oraz planowanej w tym roku średniorocznej sprawności przemiany energii chemicznej paliwa w energię elektryczną lub mechaniczną i ciepło użytkowe w kogeneracji i przedkłada operatorowi systemu elektroenergetycznego w terminie do czternastego dnia następnego miesiąca po zakończeniu okresu wytworzenia energii elektrycznej objętej tym wnioskiem. Następnie operator systemu elektroenergetycznego, do którego on wpłynął, przekazuje go prezesowi URE wraz z potwierdzeniem danych dotyczących ilości energii elektrycznej określonych na podstawie wskazań urządzeń pomiarowo-rozliczeniowych.

Faktyczna pomoc publiczna, będąca instrumentem wsparcia skojarzonego sposobu wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w wysokosprawnych instalacjach kogeneracyjnych, sprowadza się w tym przypadku do przymusowego zakupu świadectw pochodzenia, co oznacza fizyczną sprzedaż energii elektrycznej z tego źródła przez jej producenta.

Obowiązkiem uzyskania świadectw objęci zostali - stosownie do art. 9a ust. 2 Prawa energetycznego odbiorca przemysłowy, przedsiębiorstwo energetyczne wykonujące działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania energii elektrycznej lub obrotu tą energią i sprzedające tę energię odbiorcom końcowym niebędących odbiorcami przemysłowymi, odbiorca końcowy inny niż odbiorca przemysłowy oraz towarowy dom maklerski lub dom maklerski, o których mowa w art. 2 pkt 8 i 9 ustawy z dnia 26 października 2000 r. o giełdach towarowych, w odniesieniu do transakcji zawieranych na zlecenie odbiorców końcowych, innych niż odbiorcy przemysłowi, na giełdzie towarowej lub na rynku organizowanym przez podmiot prowadzący na terytorium RP rynek regulowany.

Jeśli podmioty objęte ustawowym obowiązkiem uzyskania świadectw pochodzenia z wysokosprawnej kogeneracji i przedstawienia ich do umorzenia nie wywiążą się z niego, wówczas muszą uiścić opłatę zastępczą w terminie do dnia 30 czerwca każdego roku za poprzedni rok kalendarzowy, której wysokości, określa prezes URE. Opłata stanowi przychód Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Przewidziany w art. 9 a ust. 11 Prawa energetycznego zakres obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia z wysokosprawnej kogeneracji lub uiszczenia opłaty zastępczej, określa minimalny udział ilościowy sumy energii elektrycznej wynikającej z uzyskanych i umorzonych świadectw lub z uiszczonej opłaty zastępczej i został ukształtowany:

1. dla jednostki wysokosprawnej kogeneracji opalanej paliwami gazowymi lub o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej źródła poniżej 1 MW, na poziomie:
   a) 6,0% w 2016 r.,
   b) 7,0% w 2017 r.,
   c) 8,0% w 2018 r.;
2. dla jednostki wysokosprawnej kogeneracji opalanej metanem ze złóż węgla lub biogazem, na poziomie:
   a) 1,5% w 2016 r.,
   b) 1,8% w 2017 r.,
   c) 2,3% w 2018 r.;
3. dla jednostki wysokosprawnej kogeneracji zużywającej węgiel, na poziomie 23,2% w każdym roku, począwszy od 2014 r. do 2018 r.

Kolory wysokosprawnej kogeneracji

System wsparcia w postaci tzw. żółtych certyfikatów jest skierowany do podmiotów wytwarzających energię elektryczną w wysokosprawnej kogeneracji w instalacjach opalanych paliwami gazowymi (niezależnie od mocy zainstalowanej) lub o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej źródła poniżej 1 MW.

Z systemu wsparcia w postaci fioletowych certyfikatów mogą skorzystać - po pierwsze, podmioty wykorzystujące metan pozyskiwany z kopalń i po drugie, podmioty wykorzystujące gaz z biomasy. Jednocześnie ustawodawca na potrzeby określenia rodzaju surowców, z jakich można pozyskiwać tego rodzaju biogaz, odwołał się do definicji zawartej w ustawie o biokomponenetach i biopaliwach. Zgodnie z tą ostatnią ustawą, przez biomasę należy rozumieć stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, a w szczególności surowce rolnicze. Natomiast surowce rolnicze to rośliny uprawiane na użytkach rolnych lub na części tych użytków, przeznaczone do wytwarzania biokomponentów, a w zakresie sytemu wsparcia kogeneracji - biogazu z biomasy. Tym samym każdy rodzaj biogazu może korzystać z systemu wsparcia w postaci fioletowych certyfikatów.

Źródła wytwórcze o łącznej mocy zainstalowanej powyżej 1 MW lub opalane paliwami innymi niż paliwa gazowe, metan z kopalń lub biogaz z biomasy mogą korzystać z systemu wsparcia w postaci tzw. czerwonych certyfikatów. Każda jednostka wytwórcza, która wytwarza energię elektryczną w wysokosprawnej kogeneracji ma zatem zapewnioną możliwość korzystania z sytemu wsparcia. Jeżeli bowiem nie kwalifikuje się ona do systemu wsparcia w postaci żółtych lub fioletowych certyfikatów, to zawsze może skorzystać ze wsparcia w postaci czerwonych certyfikatów.

> Prawa majątkowe stanowią towar giełdowy i mogą być zbywane na TGE S.A. na specjalnie do tego zorganizowanym RPM, który pozwala wytwórcom energii z kogeneracji korzystanie sprzedać swoje prawa majątkowe, a przedsiębiorstwom energetycznym zobowiązanym do zakupu tych praw, wywiązać się z nałożonego na nich obowiązku

Rejestr Świadectw Pochodzenia (RŚP) i Rejestr Praw Majątkowych (RPM)

Rejestr Świadectw Pochodzenia jest integralnym elementem systemu wsparcia wytwórców energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji i prowadzony jest przez Towarową Giełdę Energii S.A. (TGE S.A.) Do jego głównych zadań należy m.in. rejestracja świadectw pochodzenia oraz wynikających z nich praw majątkowych, identyfikacja podmiotów, którym one przysługują. Obecnie w centralnym rejestrze ewidencjonowane są trzy rodzaje praw majątkowych do świadectw pochodzenia potwierdzających wyprodukowanie energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji:

1. PMGM - dla jednostek kogeneracji opalanej paliwami gazowymi lub o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej do 1 MW,
2. PMMET - dla jednostek kogeneracji opalanej metanem ze złóż węgla i biogazem,
3. PMEC - dla innych jednostek kogeneracji.

Prawa majątkowe wynikają bezpośrednio ze świadectw pochodzenia i powstają z chwilą zapisania danego rodzaju świadectw na koncie ewidencyjnym wytwórcy w RŚP i przysługują podmiotowi będącemu posiadaczem tego konta. Ilość praw majątkowych odpowiada ilości energii wykazanej w danym świadectwie pochodzenia, przy czym jedno prawo majątkowe odpowiada 1 KWh energii elektrycznej. Prawa majątkowe stanowią towar giełdowy i mogą być zbywane na TGE S.A. na specjalnie do tego zorganizowanym RPM, który pozwala wytwórcom energii z kogeneracji korzystanie sprzedać swoje prawa majątkowe, a przedsiębiorstwom energetycznym zobowiązanym do zakupu

tych praw, wywiązać się z nałożonego na nich obowiązku.

Efekt zachęty jako pomoc publiczna na instalację wysokosprawnej kogeneracji

Na mocy Wytycznych Komisji Europejskiej w sprawie pomocy państwa na ochronę środowiska oraz cele związane z energetyką w latach 2014-2020 nr 2014/C/200/01, ustanawiających dalsze cele dotyczące zmiany klimatu i zrównoważonego rozwoju w zakresie energii poprzez ograniczenie o 20% emisji gazów cieplarnianych w UE w stosunku do poziomów z 1990 r., zwiększenie do 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu energii o UE, poprawa efektywności energetycznej w UE o 20% w stosunku do poziomów z 1990 r., państwa członkowskie zostały zobowiązane od dnia 1 lipca 2014 r. do wprowadzenia oraz stosowania formularza wniosku o pomoc. Obowiązek złożenia tego wniosku ciąży na każdym przedsiębiorstwie planującym inwestycję w jednostkę wysokosprawnej kogeneracji po dniu 1 lipca 2014 r. i jeszcze przed rozpoczęciem prac i musi zawierać: nazwę wnioskodawcy, wielkość przedsiębiorstwa, opis projektu, lokalizację, datę rozpoczęcia i zakończenia inwestycji, kwotę pomocy niezbędną do realizacji projektu i koszty kwalifikowane. W formularzu wniosku beneficjent ma opisać sytuację, która wydarzyłaby się, gdyby nie przyznano mu pomocy dla projektu (pkt 51 Wytycznych). Po otrzymaniu formularza wniosku, organ przyznający pomoc weryfikuje wiarygodność scenariusza alternatywnego i potwierdza, że pomoc stwarza wymagany efekt zachęty (pkt 52 Wytycznych). Efekt zachęty został uruchomiony jako pomoc kogeneracji energii cieplnej i energii elektrycznej na potrzeby inwestycji oraz modernizacji źródeł ich pozyskiwania. Przewidywany efekt zachęty w formie finansowego wsparcia państwa w uruchomienie instalacji wysokosprawnej kogeneracji wystąpi wtedy, kiedy pomoc skłoni beneficjenta do zmiany zachowania w sposób podnoszący poziom ochrony środowiska lub poprawiający funkcjonowanie bezpiecznego, zapewniającego przystępne ceny i zrównoważonego rynku energii, której to zmiany nie podjęłoby się bez takiej pomocy. Jednocześnie pomoc nie może służyć subsydiowaniu kosztów działalności, które przedsiębiorstwo i tak by poniosło i nie może rekompensować normalnego ryzyka biznesowego związanego z działalnością gospodarczą.

Analizy finansowej w zakresie projektowanej inwestycji w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji (jako spełnienie ww. wytycznych dotyczących przyznania pomocy publicznej) dokonuje prezes URE w ramach postępowań administracyjnych w przedmiocie udzielenia promesy koncesji lub promesy zmiany koncesji, dotyczącej warunków funkcjonowania infrastruktury służącej do wytwarzania energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji.

Inne obowiązujące instrumenty prawne wspierające rozwój wysokosprawnej kogeneracji w Polsce

Zgodnie z art. 9c ust. 6 Prawa energetycznego, operator systemu elektroenergetycznego, w obszarze swojego działania, jest obowiązany zapewnić wszystkim podmiotom pierwszeństwo w świadczeniu usług przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej wytworzonej w wysokosprawnej kogeneracji, z zachowaniem niezawodności i bezpieczeństwa krajowego systemu elektroenergetycznego.

Natomiast, w myśl ust. 7 tegoż artykułu, operator systemu elektroenergetycznego, w obszarze swojego działania, jest obowiązany do odbioru energii elektrycznej wytworzonej w wysokosprawnej kogeneracji w źródłach znajdujących się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej przyłączonych bezpośrednio do sieci tego operatora.

Wnioski

Na chwilę obecną brak jest nie tylko przepisów dotyczących wsparcia wysokosprawnej kogeneracji po 2018 r., ale również całościowo projektujących docelowy system na dłuższą perspektywę niż kilka lat, pozwalający na podjęcie decyzji inwestycyjnej w te źródła pozyskiwania energii w pewnym otoczeniu prawnym, a więc pozwalającym - jeszcze przed rozpoczęciem inwestycji - na oszacowanie jej opłacalności (jakiego typu i rzędu przychody i rekompensaty z tytułu sprzedaży certyfikatów wspierających kogenerację zostaną uzyskane przez przedsiębiorcę). Resort Energetyki nie przesądził jeszcze, czy wsparcie dla wysokosprawnej kogeneracji, które wygaśnie w 2018 r., będzie kontynuowane, a jeśli tak to w jakiej formie. O planach w tym obszarze Minister Energii poinformował w odpowiedzi na złożoną interpelację poselską. Zapowiedział podjęcie prac nad nowym systemem wsparcia kogeneracji opartym o aukcje o kształcie podobnym do tego jaki już funkcjonuje w przypadku OZE i uwzględniającym Wytyczne Komisji Europejskiej w sprawie pomocy publicznej (2014/C/200/01).

Zwłoka ustawodawcy w poszukiwaniu skutecznych metod zachęcających przedsiębiorstwa do inwestowania w skojarzony proces jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła ukierunkowany na zaoszczędzenie pierwotnego paliwa nie rokuje pozytywnie na przyszłość odnośnie przymnożenia i utrzymania już istniejących jednostek kogeneracyjnych. Przedstawiciele branży podkreślają, że okres wsparcia dla wysokosprawnej kogeneracji powinien być wystarczająco długi, aby zagwarantować zwrot z inwestycji, tj. powinien obejmować okres 10-15 lat. Skutek braku interwencji państwa w rozwój i rozpowszechnianie wysokosprawnej kogeneracji przejawia się w zmniejszeniu efektywności przetwarzania energii pierwotnej, zwiększeniem emisji zanieczyszczeń do atmosfery, a dla odbiorcy w gospodarstwie domowym wyższymi rachunki za energię elektryczną i ciepło. □

Wojciech Barut, dyrektor Zakładu Wytwarzania Tychy, **Błażej Łyp**, główny specjalista - koordynator, TAURON Ciepło sp. z o.o.

Budowa nowych mocy w kogeneracji w Zakładzie Wytwarzania Tychy

W Zakładzie Wytwarzania Tychy TAURON Ciepło finiszuje budowa energetycznego bloku ciepłowniczego BC-50 o mocy elektrycznej netto 58,3 MW_e i znamionowej mocy cieplnej 86 MWt. Blok BC-50 jest realizowany w ramach drugiego etapu projektu budowy nowych mocy w tyskim zakładzie i umożliwiać będzie produkcję ciepła w skojarzeniu z energią elektryczną w wysokosprawnej kogeneracji, spełniając przy tym wymagane prawnie normy emisyjne. Zakład Wytwarzania Tychy jest głównym producentem ciepła dla mieszkańców Tychów oraz firm działających w Tyskiej Podstrefie Katowickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej i zapewnia stabilne dostawy ciepła do systemu ciepłowniczego miasta.

Fot. autora

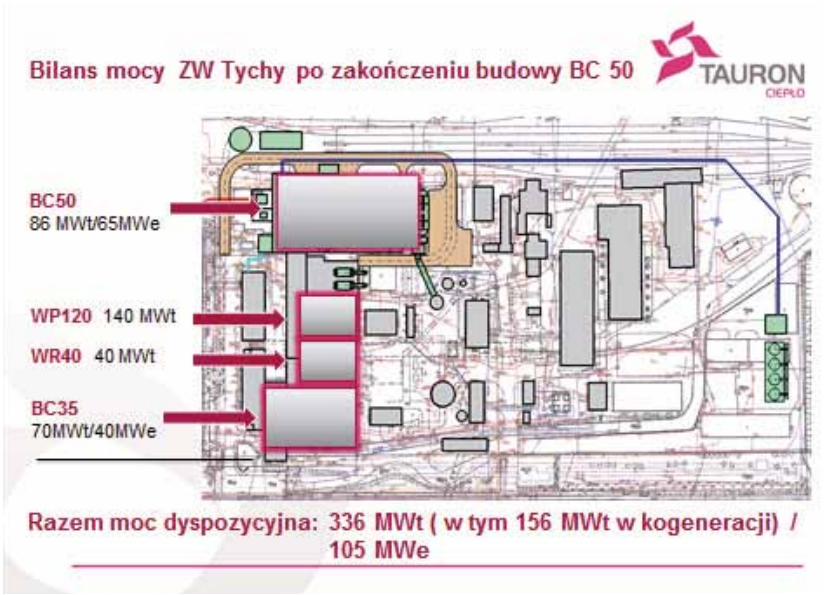
Pierwszy etap projektu realizowany w latach 2008-2012 obejmował następujące zadania:

- przebudowa kotła fluidalnego bloku BC-35 wraz z budową instalacji podawania biomasy,
- budowa kotła WR-40 o osiągalnej mocy cieplnej 40 MWt, który będzie pełnił rolę jednostki szczytowej.

Drugi etap obejmuje budowę nowego bloku energetycznego ciepłowniczego BC-50 wraz z gospodarkami towarzyszącymi.

Zgodnie z zakładanym harmonogramem przekazanie bloku BC-50 do eksploatacji planowane jest na koniec pierwszego półrocza 2016 r. W styczniu wykonano pierwszą synchronizację jednostki z krajowym systemem elektroenergetycznym, jak również pierwszy raz wyprodukowano ciepło, które zostało dostarczone do systemu ciepłowniczego miasta Tychy.

Rys. 1. Wizualizacja inwestycji



Rys. 2. Bilans mocy ZW Tychy po zakończeniu budowy BC 50

Ogólna charakterystyka podstawowych urządzeń wytwórczych ZW Tychy

Przewidywane zapotrzebowanie szczytowe wynosi 230 MWt ciepła + 5 MWt na potrzeby własne

W pierwszej kolejności zostanie ono pokryte blokiem 2BC50, następnie blokiem 1BC35, następnie kotłem WR40 i szczytowo kotłem WP120.

Uruchamiany właśnie blok 2BC50 w warunkach będzie umożliwiał osiągnięcie mocy 86 MWt przy 50 MWe brutto. Blok 1BC35 wyposażony jest w kocioł fluidalny o mocy w paliwie 105 MWt, zasilany w całości biomasą. Turbina produkcji firmy Skoda osiąga 37 MWe w kondesacji oraz 31 MWe przy mocy cieplnej 65 MWt.

Kocioł wodny WR40 w wydaniu ZW Tychy stanowi pełnowartościowe źródło ciepła. Potrafi realizować żądania naszych klientów w trybie pełnej automatyki, dodatkowo wyposażony jest w energooszczędny układ płynnych zabezpieczeń w wersji unikalnej w skali kraju. I oczywiście jest wyposażony w komplet urządzeń ochrony środowiska. Kocioł wodny WP120, to klasyczny kocioł pyłowy, z paleniskiem węglowym z powodzeniem realizuje zadania zapewnienia rezerwowej mocy cieplnej, a jego szczególną zaletą jest szybki czas uruchamiania.

W trakcie modernizacji zakładu wymieniono także wszystkie pompy sieciowe. Zakończono eksploatację pomp 35W50 (posiadały zbyt dużą wysokość podnoszenia w stosunku do potrzeb), a uruchomiono znacznie lepiej dopasowane pompy dwustrumieniowe. Zastosowano pompy dwóch producentów: w jednym wypadku są to pompy POWEN WAFAPOMP, a w drugim KSB. Wszystkie pompy sieciowe wyposażono w napędy zmienno-obrotowe.

Charakterystyka nowobudowanego BC50

BC-50 jest blokiem energetycznym ciepłowniczo-kondensacyjnym o mocy

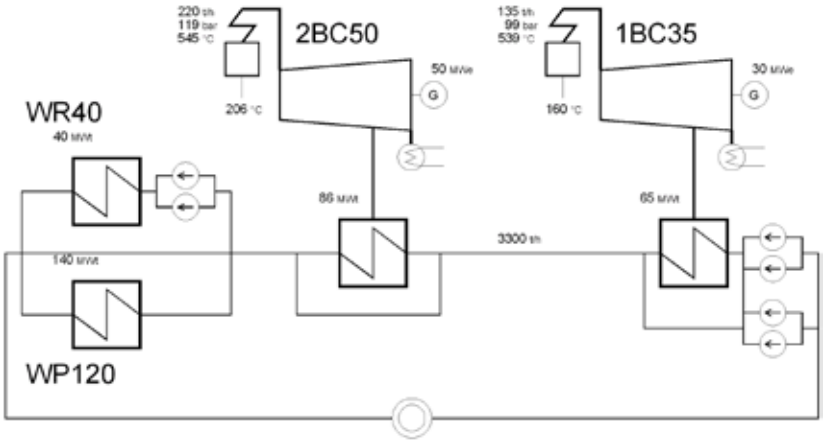
max. 66 MWe w pracy czysto kondensacyjnej, obejmującym kocioł parowy CFB produkcji Amec Foster Wheeler z paleniskiem cyrkulacyjnym fluidalnym, z niskoemisyjną komorą spalania, opalany węglem kamiennym, z naturalną cyrkulacją wody w parowniku (kocioł walczakowy), wytwarzający parę o parametrach podkrytycznych oraz turbozespół produkcji Doosan Skoda Power z turbiną parową jednowałową, jednokadłubową akcyjną sprzęgniętą z generatorem wytwarzającym energię elektryczną chłodzonym powietrzem podłączonym poprzez transformator z polem 110 kV .

Para świeża o parametrach 122 bar(a) oraz 547°C jest kierowana do turbiny parowej. Alternatywnie może być prowadzona przez stację obejściową o wydajności 60% WMT kotła, a także do stacji pomocniczej lub/i ciepłowniczej redukującej ciśnienie i temperaturę do parametrów wymaganych w instalacjach za stacjami. W szczycie ciepłowniczym blok może dostarczać do sieci 86 MWt, produkując jednocześnie w skojarzeniu 50 MWe. Nowy blok przeznaczony jest zatem głównie do skojarzonej produkcji ciepła oraz energii elektrycznej. Z racji tego, że do produkcji pary zastosowano kocioł fluidalny, zapewniona jest niska emisja szkodliwych substancji, takich jak tlenki siarki i związki azotów. Szkodliwe emisje są ponadto ograniczane poprzez zastosowanie elektrofiltru, wtrysk mocznika oraz dozowanie mączki kamienia wapiennego.

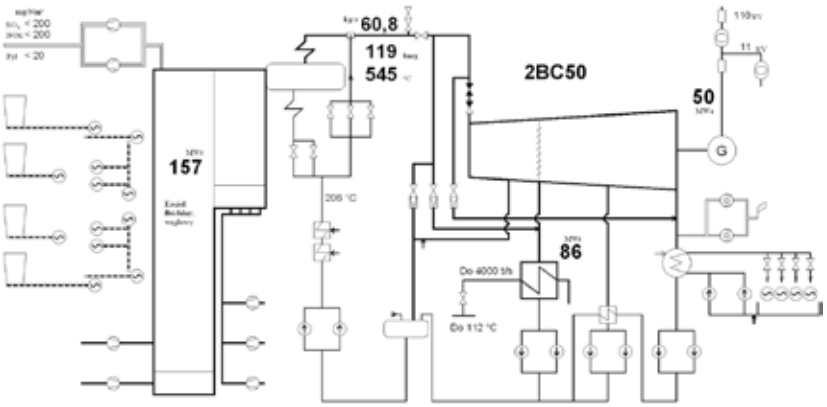
Blok zaprojektowano do pracy przy obciążeniu elektrycznym wynikającym z aktualnego zapotrzebowania na ciepło, jednakże dzięki elastyczności jaką nadaje mu człon kondensacyjny w pewnym zakresie może być regulowany od zapotrzebowania na energię elektryczną. Blok może zasilać wydzieloną wyspę odbiorców, w ekstremalnym przypadku, pokrywając tylko potrzeby własne.

Parametry znamionowe bloku BC50:

Moc elektryczna max. brutto **66 MWe**
Moc cieplna max. (62/112°C) **86 MWt**
Moc elektryczna brutto przy max obciążeniu ciepłowniczym **50 MWe**
Ciśnienie pary świeżej (na wlocie do turbiny) **120 bar(a)**
Przepływ pary świeżej (na wlocie do turbiny) **60.8 kg/s**
Temperatura pary świeżej (na wlocie do turbiny) **545°C**
Ciśnienie w skraplaczu (próżnia) **62.6 mbar**
Temperatura wody zasilającej (na wlocie do kotła) **206°C**
Ciśnienie wody zasilającej (na wlocie do kotła) **136.6 bar(a)**
Temperatura wody chłodzącej na wlocie do skraplacza **22.5°C**
Przepływ wody chłodzącej przez skraplacz **6740 t/h**
Temperatura spalin na wlocie do elektrofiltra **137°C**
Temperatura powietrza (termometr suchy) **19°C**
Wilgotność względna **70%**



Rys. 3. Schemat ideowy ZW Tychy



Rys. 4. Schemat ideowy 2BC50

Napięcie generatora **10,5 kV**
Częstotliwość generatora **50 Hz**

Spodziewane korzyści z prowadzonego projektu

1. Zwiększenie niezawodności produkcji oraz większa elastyczność na zmiany rynkowe.
2. Dostosowanie źródła jakim jest elektrociepłownia do nowych standardów emisyjnych.
3. Zwiększone wykorzystanie potencjału produkcji ciepła w kogeneracji.
4. Odbudowa mocy wytwórczych wg nowych technologii.
5. Dywersyfikacja źródeł wykorzystywanego paliwa podstawowego (węgiel, biomasa).

□

prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska

Monitoring stanu technicznego zespołów maszynowych w przemyśle i energetyce - doświadczenia własne

Bezpieczeństwo eksploatacji, dyspozycyjność oraz trwałość i niezawodność maszyn i urządzeń wykorzystywanych w procesie produkcyjnym ma decydujący wpływ na kondycję ekonomiczną przedsiębiorstwa [4÷6, 8, 17, 18]. Znaczne straty produkcyjne mogą być skutkiem nieprzewidzianych awarii maszyn i urządzeń, a w konsekwencji postoju maszyn. Do tego dochodzą często bardzo kosztowne naprawy.

Konieczne jest dysponowanie informacjami na bieżąco o zmianach stanu dynamicznego maszyn, o stopniu zaawansowania ich zużycia, rodzaju i poziomie uszkodzeń, po to aby zapobiec nieprzewidzianym awariom i w miarę możliwości wcześniej podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze. Prowadzenie eksploatacji maszyn w oparciu o ich obserwację przez obsługę jest niewystarczające. Diagnostyka maszyn oraz monitorowanie parametrów ich pracy pozwala uniknąć awarii, właściwie zaplanować okresy przeglądów i remontów oraz znacznie wydłużyć czas eksploatacji maszyn. Organizacyjna i finansowa atrakcyjność diagnostyki zespołów maszynowych oraz ciągły postęp w elektronice i dostępność do niej, zachęcają do intensywnego stosowania diagnostyki maszyn [8, 17, 18].

Eksploatacja maszyn w przemyśle

W ujęciu ogólnym zespoły maszynowe można eksploatować na różne sposoby:

1. Eksploatacja do wystąpienia awarii.
2. Eksploatacja planowo-zapobiegawcza.
3. Eksploatacja zależna od stanu maszyn.
4. Eksploatacja będąca połączeniem planowo-zapobiegawczej i zależnej od stanu maszyn.

W metodzie eksploatacji maszyn zależnej od ich stanu technicznego, każdy zespół maszynowy traktowany jest w sposób indywidualny. Czas remontów nie jest z góry sztywno zaplanowany, tylko uwarunkowany stanem technicznym zespołu maszynowego. Remont przeprowadzamy tylko wtedy, gdy jest on konieczny. Wcześniej systematycznie wykonuje się pomiary diagnostyczne, określa się stan techniczny zespołu maszynowego, indywidualnie. Dzięki pomiarom diagnostycznym można stwierdzić początek pojawienia się uszkodzenia, a następnie obserwować jego rozwój, określać trend zmian (rys.1). Ocenę aktywności drganiowej zespołu maszynowego można wykonać w oparciu o stosowne obowiązujące normy lub w oparciu o sprawdzone i zalecane kryteria [8, 17, 18]. Wyniki pomiarów drgań można ekstrapolować w celu przewidzenia terminu koniecznego zatrzymania zespołu maszynowego. Analizując wyniki pomiarów, obok określenia terminu koniecznego zatrzymania ze względu na stan techniczny, można określić zakres remontu, przewidzieć i zaplanować z wyprzedzeniem czasowym stronę techniczną oraz ekonomiczną remontu. Spośród nowoczesnych metod badań diagnostycznych maszyn należy wyróżnić bardzo efektywne badania, opierające się na wykorzystaniu informacji zawartych w sygnałach towarzyszących normalnej pracy maszyn. Sygnałami tymi są między innymi sygnały wibroakustyczne, które towarzyszą każdemu procesowi wytwórczemu i eksploatacyjnemu [4÷6]. Informują one o procesach dynamicznych zachodzących w maszynach w zakresie drgań strukturalnych i zjawisk akustycznych, których zakres częstotliwości leży w granicach od ułamka Hz do kilkudziesięciu MHz. Dzięki pomiarom diagnostycznym można stwierdzić początek pojawienia

się uszkodzenia, a następnie obserwować jego rozwój, określać trend zmian. Eksploatacja zespołów maszynowych zależna od ich stanu technicznego jest strategią prowadzenia eksploatacji maszyn technicznie i ekonomicznie najkorzystniejszą, coraz częściej stosowaną w krajowych zakładach przemysłowych i w energetyce. W gospodarce krajów zachodnich jest strategią dominującą. Strategia ta obok korzyści ekonomicznych wymusza stały postęp techniczny zwłaszcza w obszarze podnoszenia poziomu wiedzy przez kadrę techniczną. Nieuchronne są przy tym koszty na organizację i utrzymanie na dobrym poziomie służb diagnostycznych [4÷6, 8, 17, 18]. Korzyści ekonomiczne z prowadzenia diagnostyki technicznej w danym zakładzie, jak dowodzi praktyka przemysłowa [18], wyraźnie przewyższają koszty jej stosowania. Autor stwierdza, że w krajowych zakładach przemysłowych przed przejściem z eksploatacji planowo-zapobiegawczej do eksploatacji zależnej od stanu maszyn bardzo często stosuje się formę pośrednią będącą połączeniem elementów wymienionych wyżej rodzajów eksploatacji. Jest to eksploatacja będąca połączeniem planowo-zapobiegawczej i zależnej od stanu maszyn.

Aby zmniejszyć awaryjność zespołów maszynowych w przedsiębiorstwach w zakresie stanów dynamicznych, ustalono warunki konieczne, jakie należy bezwzględnie przestrzegać dla zapewnienia należytego utrzymania ruchu zespołów maszynowych. Są to [8, 17, 18]:

- Udział zespołu diagnostycznego w odbiorach nowych maszyn.
- Silniki bezwzględnie przed oddaniem do eksploatacji należy sprawdzać w Stacji Prób i Pomiarów z właściwym wyposażeniem badawczym (fundament do badań, stanowisko, aparatura) tak pod względem elektrycznym, jak i dynamicznym oraz termicznym.
- Prawidłowy dobór silnika do wymagań napędzanego urządzenia oraz możliwości zasilania.
- Prawidłowy dobór łożysk w napędzie i w maszynie napędzanej.
- Prawidłowy dobór sprzęgła.
- Właściwie zaprojektowana i wykonana konstrukcja wsporcza, fundament z elementami do mocowania silnika i maszyny napędzanej, dbałość o ich stan techniczny.
- Napędy prawidłowo ustawione na konstrukcji wsporczej, fundamencie.
- Wszystkie maszyny ustawiane z uwzględnieniem poprawek cieplnych.
- Wszystkie wirniki wyważone z uwzględnieniem niewywagi cieplnej.
- Prawidłowe wyważanie wirnika zespołu: silnik + sprzęgło + maszyna napędzana.
- Stosowanie właściwej techniki smarowania łożysk w zespole maszyn.
- Dbałość o dobry stan izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych.
- Stosowanie pomiaru temperatury tam, gdzie jest to konieczne.
- Przestrzeganie zasad montażu i demontażu łożysk - podgrzewanie indukcyjne.
- Przeprowadzanie remontów tylko wtedy, gdy stan techniczny maszyny wskazuje na jego konieczność. Nie powinno się ingerować w sprawnie działającą maszynę. Zalecana jest strategia utrzymania maszyn polegająca na eksploatacji zależnej od ich stanu technicznego.

Powyższe uwarunkowania mają jednakową wagę.

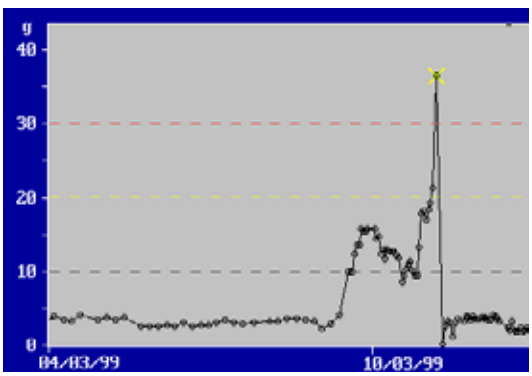
Systemy pomiarów diagnostycznych w zakresie stanów dynamicznych zespołów maszynowych

W zakładach przemysłowych najbardziej rozpowszechniony jest system okresowych pomiarów diagnostycznych zespołów maszynowych off-line i on-line prowadzonych cyklicznie wg harmonogramu, który obejmuje [8, 17, 18]:

- Pomiary drgań węzłów łożyskowych i całego zespołu maszynowego.
- Pomiary temperatury w węzłach łożyskowych.
- Ocenę stanu smarowania łożysk.

Pomiary wykonują najczęściej specjaliści z wydziałów diagnostyki lub innych wydziałów utrzymania ruchu. W ocenie własnej najlepszymi metodami diagnozowania łożysk tocznych w warunkach krajowych są:

- Metoda detekcji obwiedni, w tym metoda zmodyfikowana [17, 18].
- Metoda SPM pod warunkiem specjalnego przygotowania punktu pomiarowego [17, 18].



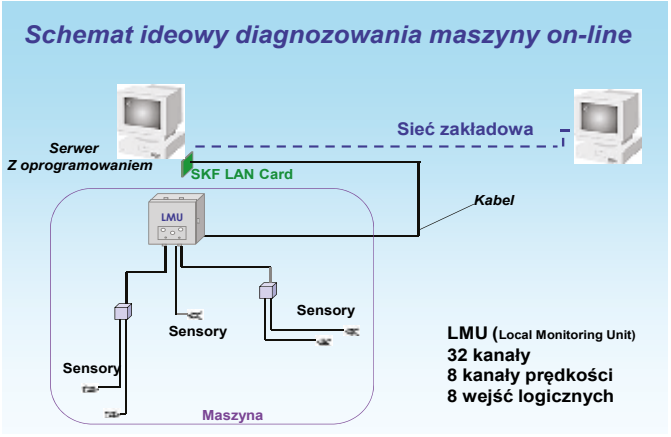
Rys. 1. Wyniki pomiarów przyspieszenia drgań w monitoringu łożyska 6326 w przykładowym silniku idea diagnostyki drganiowej stanu technicznego łożyska tocznego w silniku [17, 18]

W krajach o bardzo wysokiej kulturze technicznej metody wymienione wyżej są uzupełniane metodami wysokoczęstotliwościowymi - SE, SEE, HFD, EA [17, 18]. W urządzeniach przemysłowych wyprodukowanych przez firmy amerykańskie można spotkać wyposażenie węzłów łożyskowych w czujniki drgań do metody REBAM. Wszystkie wymienione metody mogą być z dobrym skutkiem wykorzystane pod warunkiem właściwego przygotowania punktów pomiarowych. Zasady wykonywania pomiarów diagnostycznych oraz stosowne kryteria oceny stanu technicznego łożysk tocznych w oparciu o wymienione metody autor przedstawił w monografii [18]. Stosowanie tych metod wymaga posiadania sprzętu pomiarowego typu analizator drgań wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem. Sprawdzenie stanu technicznego łożysk tocznych polega na porównaniu bieżących pomiarów z pewnym poziomem odniesienia oraz poziomem granicznym określanym, jako maksymalny dopuszczalny. Niestety w wielu krajowych zakładach przemysłowych, zwłaszcza w tych mniejszych, pomiary diagnostyczne łożysk tocznych sprowadzają się do oceny łożysk w oparciu o ogólne wytyczne norm drganiowych dla maszyn (pomiary prędkości drgań do 2 kHz). Postępowanie takie uniemożliwia racjonalną eksploatację maszyn, nie daje możliwości wczesnego wykrycia anomalii w pracy maszyn.

Monitoring stanu technicznego zespołów maszynowych w zakresie stanów dynamicznych

Zespoły maszynowe szczególnie ważne zwłaszcza w napędach krytycznych coraz częściej objęte są monitoringiem drganiowym. Wyróżnić można: układy monitoringu zabezpieczającego, układy monitoringu predykcyjnego oraz układy łączące te obydwie cechy. W ocenie własnej - na szczególną uwagę wśród systemów monitorujących stan maszyn wirujących - zasługują systemy firm; Brüel & Kjaer, SKF, BENTLY NEVADA i SPM [4÷6, 15, 17, 18, 19]. Są to systemy najbardziej rozpowszechnione w Europie. Również w kraju cieszą się dużym uznaniem. Na uwagę w ocenie autora zasługują również urządzenia monitorujące krajowej firmy SENSOR i TECHNICAD [17, 18, 19]. Ideę diagnozowania maszyn on-line na przykładzie aparatury firmy SKF przedstawiono na rys. 2.

Systemami monitoringu szczególnie przydatnymi do diagnostyki łożysk ślizgowych są układy pomiarowe wykorzystujące pomiary drgań względnych. Wymienić tu można układy krajowej firmy TECHNICAD [19] i amerykańskiej firmy BENTLY NEVADA [18]. Systemy te są szczególnie popularne w krajowych elektrowniach w monitorowaniu stanu turbozespołów. W ocenie autora najintensywniej rozwijane są systemy monitoringu obejmujące swym zasięgiem jeden zespół maszynowy, jeden napęd. Obok wymienionych już pomiarów drgań całego napędu, pomiarów temperatur w ważnych punktach napędu w tym w węzłach łożyskowych, pomiarów prądu, systemy mają możliwość monitorowania stanu technicznego łożysk tocznych z wykorzystaniem metody SPM lub metody detekcji obwiedni. Przykładem niech będzie najpopularniejszy obecnie w kraju system diagnozowania i monitoringu firmy SKF, wykorzystujący oprogramowanie PRISM, Machine Analyst, przy współudziale analizatorów typu Microlog oraz urządzeń Multilog (rys. 3).

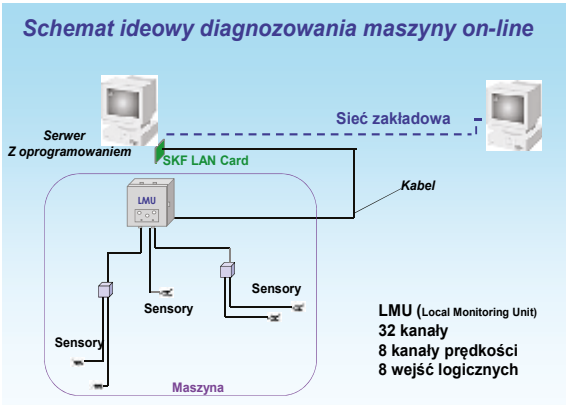


Rys. 2. Idea diagnozowania maszyn on-line na przykładzie aparatury firmy SKF [15]

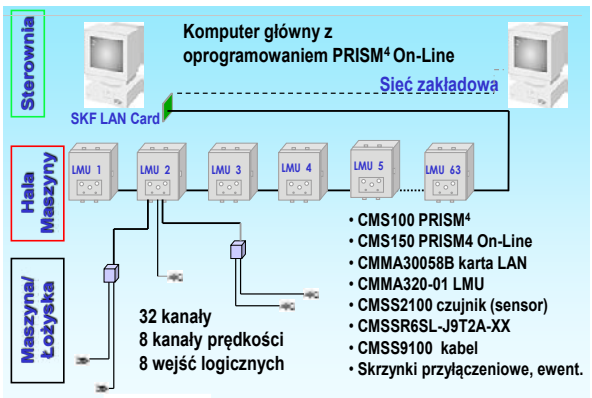
Rys. 3. System monitoringu Multilog firmy SKF [15]

Na rys. 4.przedstawiono ideę diagnozowania maszyn on-line na przykładzie jednej maszyny, a na rys. 5. na przykładzie wielu maszyn wg SKF w danym zakładzie przemysłowym [15]. Architekturę systemu diagnozowania maszyn on-line wg SKF graficznie przedstawiono na rys. 6.

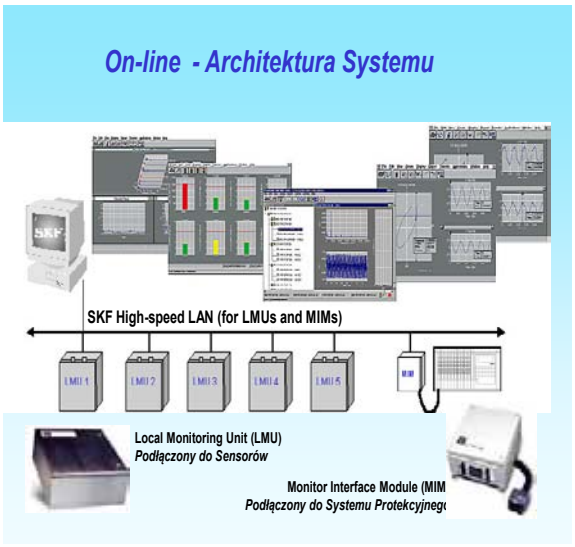
W przemyśle zachodnim i krajowym coraz częściej można spotkać urządzenie do monitoringu ciągłego wyprodukowane przez firmę SKF MasCon48 współpracujące z oprogramowaniem @ptitude Observer. MasCon48 jest jednostką pomiarową umieszczoną w szczelnej obudowie (IP66) służącą do monitoringu ciągłego maszyn pracujących w trudnych warunkach przemysłowych. System jest wyposażony w 32 wejścia analogowe lub wibracyjne lub w kombinację 24 wejść analogowych i 8 wibracyjnych. Dzięki specjalnym przełącznikom każde z wejść można odpowiednio skonfigurować, w zależności od mierzonego sygnału (przemieszczenie, prędkość, przyspieszenie, itp.). Za pomocą 16 kanałów cyfrowych może być mierzona prędkość. Urządzenie pozwala na jednoczesny pomiar wszystkich kanałów do częstotliwości 2 kHz, zaś pomiary z dwóch kanałów do częstotliwości 40 kHz. Maksymalna rozdzielczość to 6400 linii. Dla każdego z punktów pomiarowych można indywidualnie zaprogramować wartości ostrzegawcze i alarmowe zależne od wartości, prędkości obrotowej lub obciążenia. System może pracować w sieci LAN z innymi urządzeniami jak: komputery, drukarki, czy serwery. Urządzenie jest wyposażone w system samodiagnozy, którego zadaniem jest kontrolowanie kabli, czujników, systemów elektronicznych oraz wykrywanie ich uszkodzeń, zwarć oraz zakłóceń sygnału. Wykrycie usterki powoduje wyzwolenie specjalnego alarmu lub restart systemu [15]. Program @ptitude Observer może także współpracować z urządzeniami przenośnymi, np. z analizatorem PerCon. Przenośny analizator PerCon pozwala na równoczesny pomiar drgań w trzech kierunkach.



Rys. 4. Idea diagnozowania maszyn on-line na przykładzie jednej maszyny w danym zakładzie przemysłowym wg SKF [15]



Rys. 5. Idea diagnozowania maszyn on-line na przykładzie wielu maszyn w danym zakładzie przemysłowym wg SKF [15]



Rys. 6. Architektura systemu diagnozowania maszyn on-line wg SKF [15]

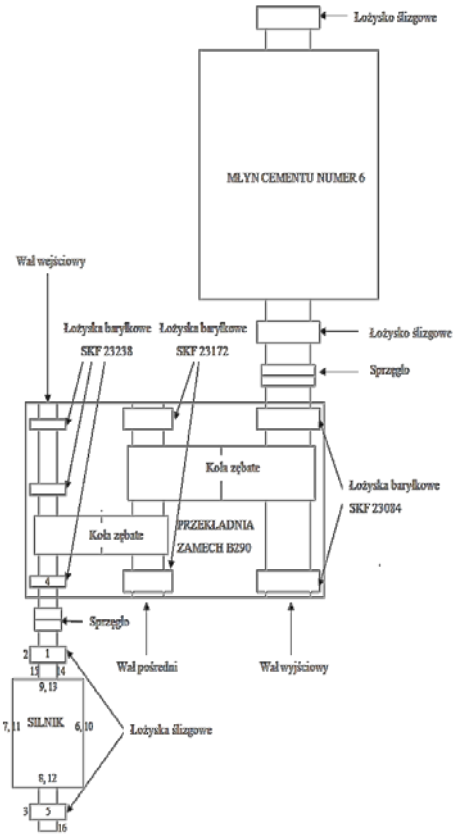
Wyniki pomiarów są zapisywane w pamięci wewnętrznej urządzenia. Wyniki są ukazywane w postaci widma częstotliwościowego na ekranie urządzenia. Pomiar może być wykonywany w zakresie częstotliwości od 0÷10 Hz do 0÷10 kHz, przy rozdzielczości od 400 do 6400 linii. Urządzenie pozwala na pomiar detekcji obwiedni oraz badanie rozbiegów i wybiegów maszyny. Zaletami tego systemu są trwałość, niezawodność oraz łatwość obsługi. Dzięki urządzeniu można przeprowadzać wyważanie jedno lub dwupłaszczyznowe. Dzięki opcji analizy prądowej silnika można wykonać pomiar oraz analizę pracy silników i generatorów, która pozwala na wczesne wykrycie uszkodzeń tych urządzeń [18]. Innym urządzeniem służącym do monitoringu maszyn w przemyśle, z którym autor ma do czynienia na co dzień w zaprzyjaźnionej cementowni jest SKF Multilog On-line System IMx-S. Jest to wysokiej klasy stacjonarny analizator służący do diagnostyki ciągłej (on-line), wyposażony w 16 wejść analogowych i 8 cyfrowych z możliwością jednoczesnego pomiaru wszystkich kanałów do częstotliwości 40 kHz. 4 kanały cyfrowe służą do pomiaru wszystkimi standardowymi impulsatorami, zaś kolejne 4 z impulsatorami sygnału prostokątnego w zakresie wyzwalania 12÷24 V. Analizator posiada również indywidualne zasilanie 24 V, maksymalnie 40 mA/kanał. Każdy z kanałów posiada trzy zaciski przyłączeniowe: P - zasilanie, A - sygnał oraz B - masa. Ponadto każdy z kanałów analogowych został wyposażony w 6 przełączników miniaturowych (DIP), które są ustawiane w zależności od badanego sygnału z czujnika [15]. Na rys. 7 przedstawiono schemat napędu jednego z młynów cementu, na którym zainstalowano wspomniany system.

Do wyboru są: akcelerometr ICP (z wewnętrzną elektroniką, zasilaną z urządzenia), sygnał napięciowy, sygnał prądowy (4÷20 mA), B - czujnik (wyjście 4÷20 mA), sonda wiroprądowa (-24 V) oraz dzielnik napięcia. Kanały cyfrowe posiadają zaś po 4 przełączniki miniaturowe (DIP), dzięki którym możemy mierzyć sygnał z impulsatora dwużyłowego (tacho) (24 V z zasilaniem wewnętrznym), impulsatora trzyżyłowego (tacho) NPN (24 V z zasilaniem wewnętrznym), impulsatora trzyżyłowego (tacho) PNP (24 V z zasilaniem wewnętrznym), impuls 12-24 V (zasilanie zewnętrzne) oraz impuls TTL (zasilanie zewnętrzne) [4, 5]. System monitoringu SKF Multilog On-line System IMx-S (rys.8) daje możliwość pomiaru i analizy dowolnego sygnału diagnostycznego towarzyszącego pracy maszyn, dostępnego tak w postaci analogowej, jak i cyfrowej.

Współcześnie system diagnostyki maszyn w danym, dobrze i nowocześnie zarządzanym zakładzie przemysłowym, jest systemem zintegrowanym. Obejmuje system pomiarów prowadzonych aparaturą przenośną, przy pomocy prostych mierników (obchodowy), przenośnych analizatorów - zbieraczy danych (wykwalifikowany personel) oraz system pomiarów on-line, monitoring, wykorzystujący aparaturę stacjonarną. W postaci graficznej uproszczonej przedstawiono to na rys. 9. System ten może być rozbudowany o bezprzewodowy przekaz sygnałów. Ilustruje to rys. 10.

Obok wymienionych już pomiarów drgań całego napędu, pomiarów temperatur w ważnych punktach napędu w tym w węzłach łożyskowych, pomiarów prądu, systemy mają możliwość monitorowania stanu technicznego łożysk tocznych z wykorzystaniem metody SPM lub metody detekcji obwiedni.

Na rys. 11 przedstawiono przykładowe wyniki monitoringu stanu łożyska baryłkowego 22244 w przykładowym silniku. Jest to trend składowej łożyskowej BPFI (uszkodzenie bieżni wewnętrznej), sygnał przyspieszenia drgań, detekcja obwiedni, BPFI=89,51 Hz, filtr f=0,03 Hz, monitoring firmy SKF, Multilog. W okresie 52000 godzin pracy łożyska, na rys. 11 pokazano trend BPFI za ostatnie 4300 godzin pracy. Jest to bardzo ciekawy wykres. Charakter zmian wartości składowej BPFI od 0,69 m/s^2 do 21,8



Rys. 7. Schemat napędu młyna cementu oraz rozmieszczenie czujników na diagnozowanych elementach napędu odpowiednio: 1-5 - akcelerometry CMSS-2200, 6-9 - czujniki do pomiaru temperatury Pt-100, 10-13 - czujniki wilgotności HIH-4000, 14, 15 - czujniki wiroprądowe Technicad MDS10/MDT10, 16 - znacznik fazy Technicad MDS10/MDT10 [18]

m/s^2 (wzrost o 30 dB) można aproksymować 5 liniami prostymi i przewidzieć czas koniecznej wymiany łożyska (np. wykorzystując kryterium autora). Na charakterystyce nie ma obszaru typu wzrost wykładniczy. W ocenie autora taki liniowy charakter zmian wartości mierzonych ma miejsce bardzo często, znacznie częściej niż zmiany o charakterze wykładniczym. Jest to widoczne dopiero wtedy, gdy pomiary wykonuje się odpowiednio często właśnie w ostatniej „fazie życia" maszyn. Określenie granic stanów eksploatacyjnych maszyn, w ocenie autora, powinno być wykonane indywidualnie dla każdej maszyny. Prze-

a) wygląd zewnętrzny b) widok od środka

Rys. 8. System monitoringu SKF Multilog on-line, System IMx-S [15]

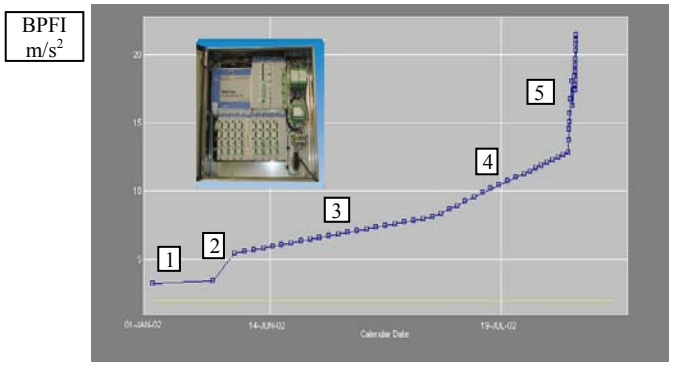
Rys. 9. Uproszczony schemat ideowy zintegrowanego system diagnostyki w danym zakładzie przemysłowym wg SKF [15]

Rys. 10. Uproszczony schemat ideowy zintegrowanego system diagnostyki w danym zakładzie przemysłowym rozbudowany o bezprzewodowy przekaz sygnałów wg SKF [15]

widywanie przyszłej zmiany stanu maszyn na podstawie dostępnych symptomów diagnostycznych określane jako prognozowanie stanu, jest elementem tego procesu. Zasadą prognozowania jest możliwość obliczenia następnych wartości elementu szeregu czasowego (symptomy diagnostyczne) na podstawie znajomości wartości elementów szeregu z przedziału czasu dostępnego, wykorzystując pewne formalne zależności lub zbiór tych zależności. Niezbędne jest dysponowanie modelem trendu symptomu. Teoretycznie model może być dowolnie skomplikowany. W przemysłowych systemach monitoringu silników w oparciu o pomiary drgań, uwzględniając realia pomiaru, walory aparatury, wyniki wcześniejszych badań eksperymentalnych, prawie w 100% (ocena autora) przyjmuje się, że procesy zużywania się maszyn przebiegają jednostajnie. Przyjmuje się, że trend symptomu jest prostą funkcją rosnącą monotonicznie np. liniowo (najczęściej) lub eksponencjalnie. Przykładem niech będzie najpopularniejszy obecnie w kraju system diagnozowania i monitoringu firmy SKF, wykorzystujący oprogramowanie PRISM, Machine Analyst, przy współudziale analizatorów typu Microlog oraz urządzeń Multilog. Autor uważa, że w ogromnej większości przypadków dla prostych zespołów maszynowych, zwłaszcza wolno-obrotowych (prędkości do 1000 obr./min) można stosować układy monitoringu, w których pomiar dla poszczególnych kanałów odbywa się na zasadzie multipleksowania (pomiar po kolei dla każdego kanału z osobna). W złożonych układach napędowych, zwłaszcza w szybkoobrotowych, pomiar w poszczególnych kanałach powinien odbywać się równocześnie.

Monitoring stanu technicznego izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych

Wyniki badań stanu izolacji uzwojeń silników decydują o dopuszczeniu silnika do eksploatacji, warunkują



Rys. 11. Trend składowej BPFI dla łożyska 22244 w przykładowym silniku [17, 18]

jego bezpieczną eksploatację [1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18]. Badania izolacji uzwojeń silników prowadzone w oparciu o wykorzystanie najnowszej aparatury diagnostycznej w ocenie własnej należą do najtrudniejszych, najdłużej trwających i najbardziej kosztownych. Badania stanu izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych i możliwości wczesnego ostrzegania o jego ewentualnym pogarszaniu się mają duże znaczenie praktyczne dla prawidłowej eksploatacji maszyn. Wiąże się to z dużymi kosztami przezwajania stojanów silników WN. Stosowane obecnie układy izolacyjne, są bardzo dobrej jakości, odporne na zawilgocenie, szkodliwe wpływy atmosferyczne. Posiadają również dobrą wytrzymałość mechaniczną, dobrze znoszą drgania, na które mogą być narażone połączenia czołowe uzwojeń. Coraz większe rozpowszechnianie się układów przekształtnikowych do zasilania maszyn, stosowanie szybkich wyłączników, jak również częste rozruchy silników przy bezpośrednim załączeniu na napięcie znamionowe powodują, że izolacja uzwojeń może być naprężana zarówno dielektrycznie, jak i mechanicznie, przy czym wywołane nimi uszkodzenia mogą mieć charakter zmęczeniowy. W ostatnim 60-leciu, w krajach najbardziej uprzemysłowionych daje się zauważyć tendencję do wykorzystywania coraz częściej sygnału wyładowań niezupełnych - wnz, (*ang. Partial Discharges - PD*) [1, 2, 3, 7, 9, 10, 17, 18] towarzyszących pracy maszyn elektrycznych do oceny stanu izolacji ich uzwojeń. PD są odpowiedzialne za :

- Wyładowania w żłobach
- Rozwarstwienie
- Szczeliny
- Luzy uzwojenia
- Wyładowania na czołach uzwojenia.

Termiczne, mechaniczne, elektryczne i chemiczne czynniki prowadzą do starzenia się izolacji uzwojeń. Intensywność starzenia i efekty takiego starzenia mogą być oceniane przez monitorowanie PD. Starzenie prowadzi do pogorszenia się właściwości elektrycznych, a nawet może być przyczyną uszkodzenia uzwojenia. Początkowo do pomiarów sygnałów PD używano oscyloskopów. Technika ta wymagała bardzo dużego doświadczenia. Najtrudniejszym zagadnieniem przy pomiarach wnz maszyn elektrycznych jest wpływ zakłóceń na wyniki pomiaru. Zakłócenia mogą pochodzić z różnych źródeł (sprzężenia galwaniczne, elektromagnetyczne, charakter zasilania) [1, 2, 3, 7, 9, 10, 17, 18]. Wpływ zakłóceń jest szczególnie istotny, gdy pomiary odbywają się w warunkach przemysłowych, gdzie źródeł zakłóceń jest bardzo wiele, a poziom zakłóceń jest duży.

Pomiary wnz maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowych, a więc w warunkach o wysokim poziomie zakłóceń wymagają opracowania metod pomiaru pozwalających na oddzielenie sygnałów wnz od zakłóceń i szumów. Zagadnienie metod eliminacji zakłóceń przy pomiarach wnz jest przedstawione w literaturze [1, 2, 3, 7, 9, 10, 17, 18]. Metody ograniczenia wpływu zakłóceń na wyniki pomiarów wnz weryfikowano praktycznie. Do najczęściej stosowanych metod ograniczenia wpływu zakłóceń w pomiarach wnz należą [1, 2, 3, 7, 9, 10, 17, 18]:

- Właściwe kształtowanie środowiska pomiarowego.
- Pomiary w układzie mostkowym.
- Wstępna analogowa filtracja sygnału mierzonego.
- Dyskryminacja poziomu i biegunowości impulsów.
- Selekcja impulsów metodą okna czasowego.
- Eliminacja zakłóceń metodą okna czasowego.
- Zastosowanie techniki określania kierunku propagacji sygnału.
- Cyfrowe przetwarzanie sygnałów.

Badania diagnostyczne stanu izolacji on-line maszyn elektrycznych wprowadzono w latach 50. ub. w. [17, 18]. Były to badania wnz generatorów. Pierwsza metoda polegała na pomiarze wnz w przewodzie łączącym punkt neutralny uzwojenia stojana generatora z ziemią. Do pomiarów wykorzystano przekładniki prądowe wysokiej częstotliwości HFCT (High Frequency Current Transformer) różnych rodzajów w tym RFCT (Radio Frequency Current Transformer) [17, 18]. Metoda okazała się być mało czuła. W latach późniejszych do pomiarów zaczęto używać kondensatorów sprzęgających przyłączanych do zacisków generatorów. Wykorzystywano mierniki zakłóceń radioelektrycznych oraz oscyloskopy. Wizualizacja sekwencji impulsów wnz obserwowana dla cyklu napięcia probierczego była przedstawiona na liniowym wykresie podstawy czasu lub na elipsie. Poważnym problemem dla wiarygodności pomiarów wnz generatorów okazał się wpływ zakłóceń. W ocenie autora prawdziwym przełomem w poprawie użyteczności i wiarygodności badań on-line przy wykorzystaniu pomiarów wnz było: opracowanie w połowie lat 70. ub. w. w Ontario-Hydro, w Kanadzie dla po-

trzeb diagnozowania hydro-generatorów metody i aparatury nazwanej PDA (Patrial Discharge Analyzer) [1]. W 1986 FES International (Adwel) stał się pierwszym komercyjnym dostawcą systemu PDA (rys. 12÷18). Metoda polega na pomiarze wnz w układzie różnicowym, w którym eliminowane są zakłócenia. Czujnikami są kondensatory pomiarowe bezwyładowaniowe PD (80, 500 lub 1000pF).

W ocenie autora należy tu wymienić przede wszystkim rozwiązania techniczne pionierów: firmy Adwel, Catler-Hammer, Iris. Początkowo przedmiotem zainteresowania tych firm były generatory i hydrogeneratory, a dopiero później silniki WN dużej mocy. Autor stwierdza, że aparatura do diagnostyki stanu izolacji silników elektrycznych on-line jest w zakładach przemysłowych w krajach zachodnich instalowana. Liczba zainstalowanych systemów systematycznie się zwiększa i szacowana jest na tysiące. W kraju znanych jest autorowi już kilkadziesiąt przypadków zainstalowania przez właścicieli zakładów systemów do oceny stanu izolacji on-line silników na stałe w napędach, o krytycznym znaczeniu dla procesu produkcji.

Zasady montażu czujników pojemnościowych są ściśle określone [1] rys. 12÷14. Metoda ta jest stosowana z powodzeniem w pomiarach wnz maszyn elektrycznych do chwili obecnej.

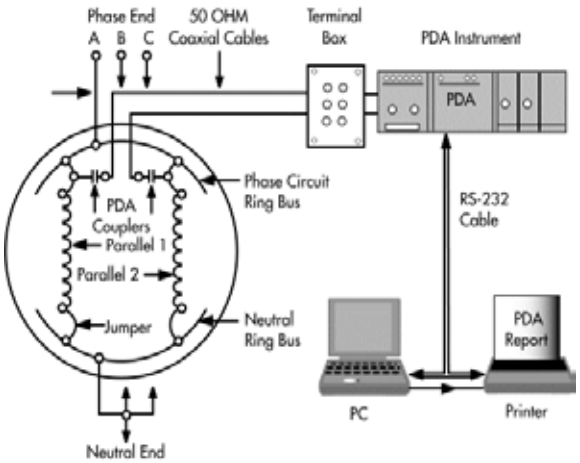
Mobilne analizatory wnz

W ostatnim czasie do dyspozycji diagnostów stanu izolacji uzwojeń firmy produkujące aparaturę diagnostyczną oddają wielokanałowe, przenośne analizatory przeznaczone do rejestracji i analizy wyładowań niezupełnych w układach izolacyjnych maszyn wysokiego napięcia. W ocenie autora jest to „nowa jakość" w diagnostyce izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych. Przykładem takiego urządzenia jest przenośny analizator R2200 rosyjskiej firmy Dimrus [7] (rys. 19). Autor dysponuje tym analizatorem. Wyróżniającą cechą analizatora jest wbudowany system ekspercki o nazwie PD-Expert.

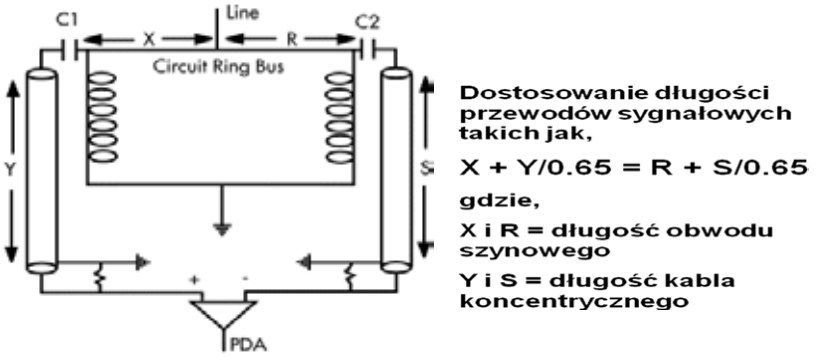
Umożliwia on na podstawie bazy defektów, udostępnionej dzięki producentowi i wzbogacanej na bieżąco przez użytkownika, określanie przyczyny powstania uszkodzenia [7]. Urządzenie to można wykorzystywać w dwóch trybach pracy, podczas pomiarów okresowych oraz jako tymczasowy stacjonarny monitoring badanego obiektu. Badanie impulsów wnz w analizatorze odbywa się w oparciu o algorytmy diagnostyczne. Ich realizacja przebiega w czasie rzeczywistym. Podstawowe algorytmy to [7]:

- Analiza własności częstotliwościowych rejestrowanych impulsów wnz.
- Analiza kształtu impulsów.
- Porównanie synchroniczne wartości amplitud pomiędzy głównym kanałem rejestrującym a innymi kanałami.
- Analiza opóźnień pomiędzy impulsami wchodzącymi w kanale analizowanym w stosunku do impulsów rejestrowanych w pozostałych wybranych kanałach.
- Porównywanie biegunowości impulsów pomiędzy sąsiednimi kanałami pomiarowymi.

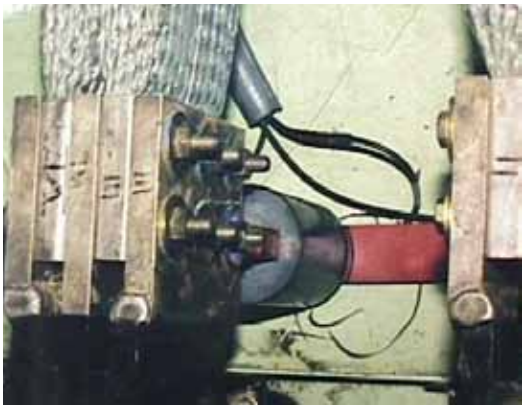
Na wejściu każdego kanału znajduje się filtr, który ma za zadanie wyodrębnienie sygnałów z obszaru od 0,5 do 10 MHz, co odpowiada zakresowi pomiarowemu wnz [7]. Użytkownik wybiera ilość kanałów pierwotnych oraz ich funkcje. Na podstawie automatycznych algorytmów i filtrów ustawionych przez użytkownika dokonywana jest



Rys. 12. Standardowa instalacja różnicowa PDA [1]

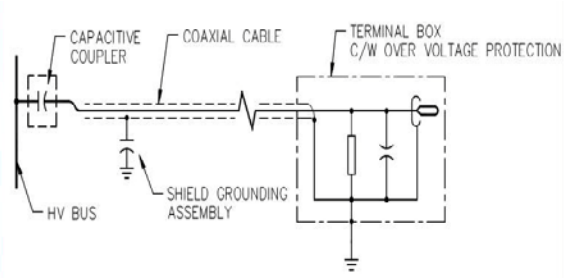


Rys. 13. Wytyczne montażu czujników [1]



Rys. 14. Przykładowy montaż czujników pojemnościowych w silniku [1]

Rys. 15. Czujniki pojemnościowe do pomiarów wnz [1]



Rys. 16. Układ do pomiarów wnz dla jednej fazy silnika [1]

Rys. 17. Aparatura stacjonarna PDA [1]

selekcja. Prowadzi to do określenia czy dany impuls powstał w wyniku wnz, czy jest spowodowany szumami. Impulsy zarejestrowane podczas pomiarów analizatorem R2200 zapisywane są w jego pamięci. Na ich podstawie po zakończeniu pomiaru, na ekranie analizatora można uzyskać informacje takie, jak pokazano na rys. 20 [7]. Pod 1 znajdują się dane opisujące ilość zarejestrowanych impulsów dodatnich i ujemnych oraz obliczona moc wyładowań (PDI). Pole 2 to czasowo - częstościowy rozkład impulsów w skrócie TFM (*ang. - Times Frequency Map*). Osie współrzędnych tego pola: na oś Y - czas trwania każdego impulsu, oś X - częstotliwość impulsów. Kolorami przedstawiona została ilość impulsów o tych samych parametrach. Pole nr 3 przedstawia rozkład mocy (PDI) w zależności od kąta fazowego. Pod 4 znajduje się amplitudowo-fazowo-częstotliwościowy rozkład impulsów. Oś odciętych to okres napięcia sieci, natomiast na osi rzędnych umieszczone są wartości amplitudy rejestrowanych impulów. Tłem wykresu na rys. 10. jest umowna sinusoida sieci zasilającej, dzięki której można przypisać moment powstania impulsu wnz [7].

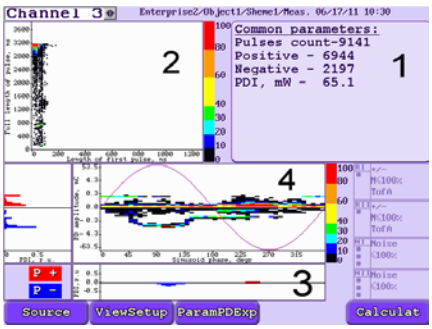
Własne rozwiązania i konstrukcje

W zespole autora od 2000 r. trwają prace nad opracowaniem metodyki pomiarów wnz, nad własnymi rozwiązaniami czujników do pomiarów wnz, nad konstrukcją sond pomiarowych oraz aparatury pomiarowej w tym nad opracowaniem analizatorów mobilnych wnz. W ciągu 16 lat intensywnych badań opracowano m. in.:

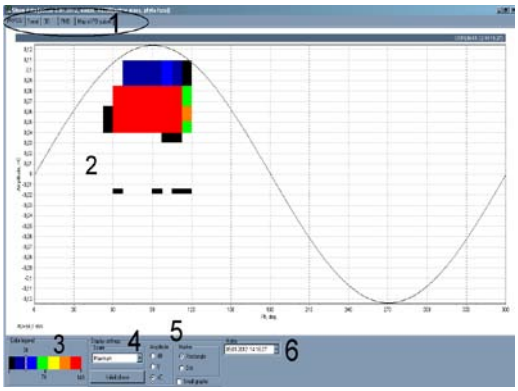
1. Metodykę pomiarów wnz silników w warunkach ich przemysłowej eksploatacji, umożliwiających wykrycie uszkodzeń izolacji uzwojeń. Opracowano i wykonano zespoły antenowe. Czujniki do pomiaru temperatury w silnikach typu termorezystory RTD, np. Pt100 wyposażone w zespoły antenowe własnej konstrukcji stają się anteną, służącą do

Rys. 18. Aparatura przenośna PDA [1]

Rys. 19. Widok zewnętrzny przenośnego analizatora R2200



Rys. 20. Obraz rozkładu wnz - zrzut ekranu z analizatora R2200 [7]



Rys. 21. Rozkłady fazowo-rozdzielcze zmierzonych impulsów wnz [7]

pomiarów wnz w zakresie 1÷200 MHz. W zespoły antenowe można wyposażyć dowolne RTD znajdujące się w silniku, jak również zamontować według potrzeb dodatkowe RTD w przestrzeniach czół uzwojeń silników i wyposażyć je we wspomniane zespoły antenowe [17, 18].

2. Opracowano i wykonano bardzo prosty oraz tani czujnik wnz typu antena. Antenę tworzy; długi przewód (L>>d, L - długość, d - średnica przewodu) poprowadzony wokół czół uzwojeń silnika. Jest to najprostsza antena odbiorcza w MHz-owym zakresie częstotliwości, dobrana eksperymentalnie, wyposażona we wspomniany już zespół antenowy własnej konstrukcji [17, 18].

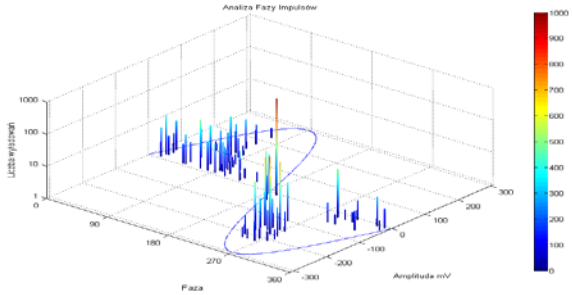
3. W ramach realizacji projektu badawczego własnego Nr N N 510536639. Czujniki do pomiarów off-line i on-line wyładowań niezupełnych w silnikach elektrycznych oraz system kalibracji torów pomiarowych, autor wraz z zespołem współpracowników podjął temat konstrukcji krajowych czujników do pomiarów wnz. Wojciech Kandora w ramach realizacji pracy doktorskiej [13] zaprojektował i wykonał m. in. kondensatory produkcji własnej do pomiaru wnz WN silników elektrycznych (rys. 22). Do głównych zalet tego typu kondensatorów należą: małe gabaryty, niski współczynnik strat dielektrycznych tgdΔ<1%, duża wytrzymałość elektryczna. Czujniki zostały przystosowane do współpracy z systemem monitoringu wnz on-line i nie wymagają budowy impedancji sprzęgającej.

4. Z dostępnych komponentów elektronicznych zbudowano przenośny zestaw aparaturowy do pomiarów i analizy wnz w silnikach elektrycznych - rys. 23 [17, 18]. Zestaw aparaturowy może współpracować z dowolnymi czujnikami wnz typu: kondensatory sprzęgające, termorezystory RTD, czujniki RFCT, cewki Rogowskiego zarówno sztywne, jak i elastyczne. Ma możliwość pomiarów temperatury uzwojeń, prądu, wilgotności względnej. System ochrony przed niekorzystnym wpływem

a) b)

Rys. 22. Kondensatory do pomiaru wnz a) produkcji własnej b) produkcji amerykańskiej

Rys. 23. Przenośny zestaw aparaturowy do pomiarów i analizy wnz w silnikach elektrycznych produkcji własnej [17, 18]



Rys. 24. Przykładowe wyniki pomiarów wnz otrzymane na wielokanałowym mobilnym analizatorze wnz produkcji własnej

Rys. 25 System InsulGard firmy CUTLER-HAMMER do monitoringu stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych

zakłóceń zewnętrznych jest podobny jak w analizatorze PDA. Pomiar wnz odbywa się w zakresie od 1÷200 MHz. Synchronizacja pracy zestawu aparaturowego może odbywać się napięciem dostępnym w miejscu pomiarów silnika. Zbudowany zestaw umożliwia również wykonanie pomiarów wnz silników typu off-line.

5. Opracowano technikę kalibracji toru pomiarowego przy pomiarach wnz silników elektrycznych w warunkach przemysłowych [17, 18].

6. Opracowano konstrukcje przenośnych sond do pomiarów wnz w WN maszynach elektrycznych [17, 18].

7. Trwają prace nad konstrukcją własnego wielokanałowego mobilnego analizatora wnz. Kolejna wersja poddawana jest próbom przemysłowym. Poniżej przedstawiono rys. 24 z przykładowymi wynikami pomiarów.

Przykład monitoringu stanu izolacji w przemyśle

Na rys. 25 przedstawiono napęd krytyczny o mocy 7 MW w jednym z zakładów branży samochodowej z zainstalowanym systemem Insul-Gard firmy CUTLER-HAMMER do monitoringu stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych. W uproszczeniu schemat blokowy układu InsulGard firmy CUTLER-HAMMER do monitoringu ciągłego przedstawiono na rys. 26. Rys. 27 i 28 przedstawia skrzynkę zewnętrzną oraz skrzynkę wyprowadzeń termorezystorów układu InsulGard firmy CUTLER-HAMMER do monitoringu stanu izolacji uzwojeń. Czujnikami wnz są: 3 kondensatory sprzęgające bezindukcyjne, bezwyładowaniowe w opcji 500 pF, 6 termorezystorów RTD, 3 cewki Rogowskiego, czujniki HFCT, RFCT, SSC. Prąd silnika jest mierzony cewką Rogowskiego, równocześnie mierzona jest temperatura uzwojeń silnika oraz wilgotność względna. Pomiary mogą być wykonywane w zasadzie w dowolnej opcji czasowej, poczynając od okresu co 5 sekund. Wielkościami

mierzonymi są: n, q, j, Qm, PDI, NQN+, NQN- [17, 18]. Oprogramowanie umożliwia wizualizację wyników w opcji: wartości maksymalne, uśrednione, minutowe, godzinowe, dobowe, tygodniowe, za różne czasookresy pracy, w jednostkach bezwzględnych i względnych. Istnieje możliwość liczenia współczynników korelacji. Podstawową jednostką dla Qm są mV i V.

Jeżeli tory pomiarowe są wcześniej wykalibrowane (przypadek bardzo rzadki), wtedy Qm można wyrażać w jednostkach ładunku. Ograniczenie wpływu zakłóceń jest podobne jak we wspomnianym systemie PDA. Istnieje możliwość dodatkowego wykorzystania kanału szumowego, co umożliwia ustawienia wartości progowych poziomu sygnału uznanego za użyteczny. Urządzenie posiada możliwość podania na układ przekaźnikowo-stycznikowy informacji o przekroczeniu progów alarmowych dla Qm, PDI i trendu. Progi alarmowe ustawia z poziomu komputera ekipa instalująca urządzenie. W trakcie eksploatacji silnika istnieje możliwość zmiany poziomów progów, jeżeli posiada się odpowiednie uprawnienia.

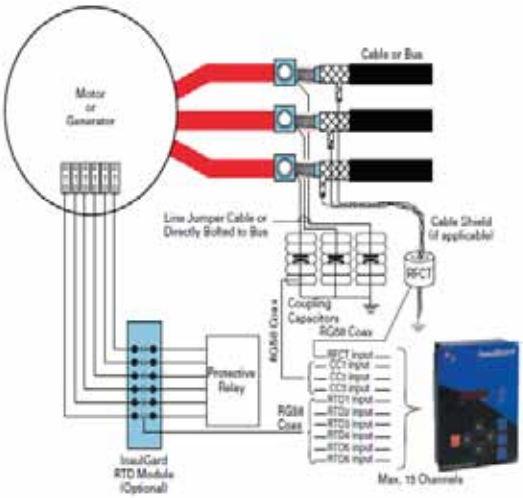
Rys. 29 przedstawia przykładowe rozkłady fazowo-rozdzielcze pomiarów wnz dla napędu krytycznego, natomiast rys. 30 ilustruje wykresy trendu PPS na poszczególnych kanałach dla uśredniania miesięcznego. Z pomiarów wykonanych w czasie 6 lat wynikają następujące najważniejsze wnioski:

- Przy obserwowanym ciągłym wzroście aktywności wnz pojawia się anomalia polegająca na gwałtownym obniżeniu się aktywności i nie jest to spowodowane warunkami pracy. W ocenie firmy CUTLER-HAMMER taka sytuacja jest alarmowa i wymaga natychmiastowego wyjaśnienia. Należy dokonać przeglądu silnika i aparatury monitorującej stan izolacji, zwłaszcza sprawdzić czujniki wnz (rys. 30, 31).
- Częstotliwość impulsów wnz w funkcji amplitudy wyładowań odniesiona do impulsów o polaryzacji dodatniej i ujemnej z uwzględnieniem zmian obciążenia świadczy o luźnych uzwojeniach silnika (rys. 32).
- Wobec takich wniosków diagnostycznych kierownictwo firmy zaplanowało przerwę produkcyjną oraz okres przeglądów i remontów.
- Przegląd silnika potwierdził luźne uzwojenia.

Na rys. 31 przedstawiono krzywą życia układu izolacyjnego dla przykładowej maszyny elektrycznej według firmy CUTLER-HAMMER [9].

Uwagi końcowe w obszarze stanów dynamicznych maszyn

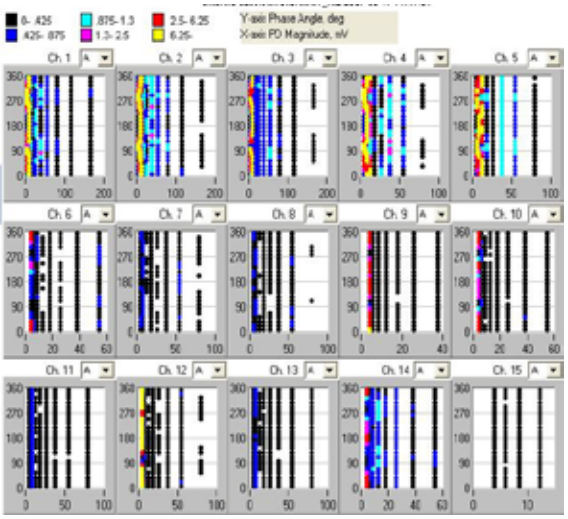
Jedną z możliwych dróg obniżenia kosztów działalności w przemyśle i energetyce, jest objęcie całego parku maszynowego kompleksowym programem zabezpieczenia, diagnostyki i zarządzania maszynami (systemem nadzoru maszyn). System monitorowania i zabezpieczeń realizuje funkcję ochrony maszyn przed uszkodzeniami lub katastrofalnymi zniszczeniami w sytuacjach pogorszenia się jej stanu dynamicznego. System taki w połączeniu z odpowiednimi torami pomiarowymi, pozwala zrealizować pełny nadzór zespołów maszynowych. Informacja o



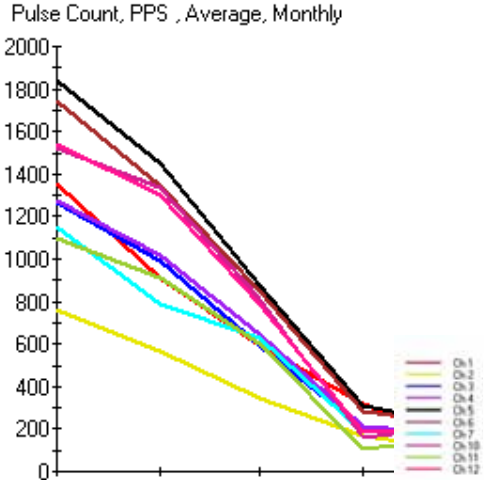
Rys. 26. Uproszczony schemat blokowy układu InsulGard firmy CUTLER-HAMMER do monitoringu ciągłego stanu izolacji uzwojeń [9]

Rys. 27. Skrzynka zewnętrzna układu InsulGard do pomiarów wnz firmy CUTLER-HAMMER [9]

Rys. 28. Skrzynka wyprowadzeń termorezystorów RTD układu InsulGard do pomiarów wnz firmy CUTLER-HAMMER [9]



Rys. 29. Przykładowe rozkłady fazowo-rozdzielcze pomiarów wnz dla napędu krytycznego z rys. 25



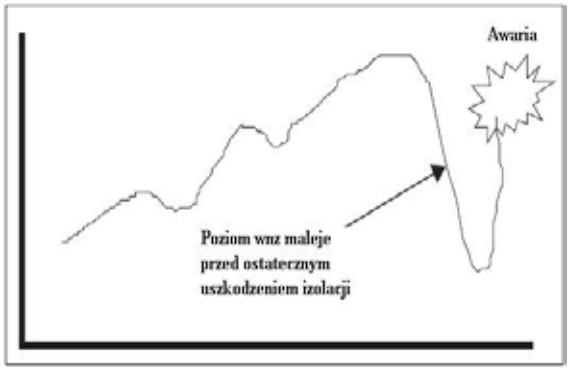
Rys. 30. Wykresy trendu PPS na poszczególnych kanałach dla uśredniania miesięcznego

szybkości zmian stanu technicznego pozwala określić przewidywany czas niezbędny do dokonania naprawy maszyny, w wielu sytuacjach zakres takiej naprawy, a zatem w konsekwencji czas potrzebny na realizację zaplanowanych prac. Można powiedzieć, że właściwa gospodarka remontowa prowadzi do całkiem nowego pojęcia związanego z eksploatacją posiadanego parku maszynowego - zarządzania maszynami. Zarządzanie maszynami umożliwia obniżenie kosztów produkcji, umożliwia wybór do eksploatacji maszyn o najlepszym stanie technicznym, planowania zarówno zakresów, jak i kosztów remontów. Osiągnięcie tych celów jest możliwe, gdy systemy nadzoru maszyn zostaną uzupełnione systemami akwizycji danych diagnostycznych, ich archiwizacji i wizualizacji, systemami przetwarzania tych danych i ich analizy oraz systemami dostarczającymi informację o stanie maszyn.

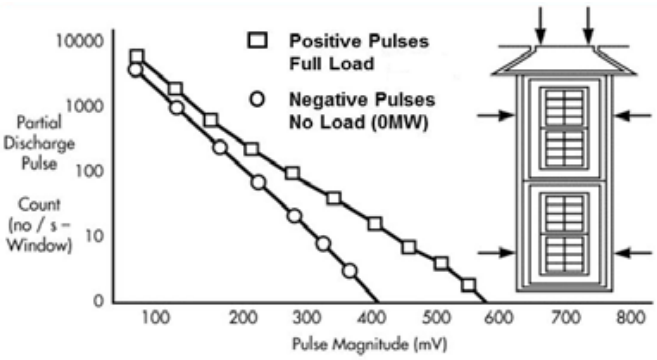
Uwagi końcowe w obszarze stanu izolacji maszyn elektrycznych

Pracy maszyn elektrycznych towarzyszą wyładowania niezupełne. Charakter wnz jest bardzo złożony. W miarę upływu czasu eksploatacji maszyn, obserwuje się zmianę intensywności wnz przy charakterystycznych rozkładach fazowo-rozdzielczych. Diagnostykę można prowadzić w oparciu o wszystkie dostępne czujniki wnz. W trakcie badań własnych autor z zespołem opracował własne konstrukcje czujników i przyrządów, służące do pomiarów wnz w maszynach elektrycznych. Proponowane własne rozwiązania w warunkach przemysłowych sprawdziły się. Wyniki pomiarów wnz silników zależą od: stanu ich izolacji, obciążenia silnika, temperatury uzwojeń, wilgotności, poziomu zakłóceń zewnętrznych oraz od charakterystyki czujników wnz i aparatury analizującej wnz.

□



Rys. 31. Krzywa życia układu izolacyjnego dla przykładowej maszyny elektrycznej według firmy CUTLER-HAMMER [9]



Rys. 32. Częstotliwość impulsów wnz w funkcji amplitudy wyładowań dla przykładowej maszyny elektrycznej z luźnym uzwojeniem [1]

Literatura:

[1] ADWEL: PD monitoring. Nota Aplikacyjna 2003.

[2] Bertenshaw D., Sasic M.: On-line Partial Discharge Monitoring on MV motors-Casestudies on Improved Sensitivity Couplers. Nota Aplikacyjna firmy ADWEL International Canada, 2002.

[3] Blokhintsev, M. Golovkov, A. Golubev, C. Kane: Field Experiences on the Measurement of Partial Discharges on Rotating Equipment, IEEE PES'98, February 1-5, Tampa. Instrukcja systemu monitorującego wnz InsulGard firmy Cutler-Hammer 2007.

[4] Brüel & Kjær: Machine Condition Monitoring. Application notes BR 0267-13.

[5] Brüel & Kjær: Systematic Machine Condition Monitoring. Application notes BO 0299-11.

[6] Brüel & Kjær: Machine Condition Monitoring using Vibration Analysis. Application notes BO 0247-11.

[7] DIMRUS: Analizator R2200, nota aplikacyjna, dokumentacja 2011.

[8] Dwojak J., Szymaniec S.: Diagnostyka eksploatacyjna zespołów maszynowych w energetyce. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt nr 344.

[9] Firma Cutler-Hammer: Instrukcja systemu monitorującego wnz InsulGard firmy Cutler-Hammer 2007.

[10] Golubev A, Paoletti G.: Partial Discharge Theory and Technologies related to Medium Voltage Electrical Equipment. 2000 IEEE. Reprinted, with permission, from Paper 99-25 presented at the IAS 34th Annual Meeting, Oct 3-7, '99, Phoenix, AZ.

[11] Glinka T.: Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle. Wyd. BOBRME, Katowice 1998.

[12] Gulski E.: Diagnozowanie wyładowań niezupełnych w urządzeniach wysokiego napięcia w eksploatacji. Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa 2003.

[13] Kandora W.: Diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole, 2012.

[14] Sasic M.: Partial discharge measurement on rotating machines. 9th National Congress of Electric Rotating Machinery September 29 to October 2, 1999, Veracruz, Mexico.

[15] SKF.: Integrated Condition Monitoring 2014.

[16] Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: Electrical insulation for rotating machines. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA, 2004.

[17] Szymaniec S.: Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji. Studia i Monografie z.193. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2006.

[18] Szymaniec S.: Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt 333.

[19] TECHNICAD; TNC 2010 aparatura do nadzoru maszyn wirnikowych. Nota Aplikacyjna, Gliwice 2000.

Michał Wójcik, specjalista ds. turbin, Wydział Realizacji Projektów i Serwisu, ENEA Wytwarzanie Sp. z o.o.

Modernizacje części przepływowych WP i NP bloków „200 MW" w ENEA Wytwarzanie

Turbozespoły bloków „200 MW" są najliczniejszą grupą urządzeń, jakie zainstalowano w polskich elektrowniach konwencjonalnych. Duża ilość pracujących maszyn i wymiana doświadczeń z ich użytkowania sprawiła, że inżynierowie często podejmowali próby usprawnienia tych jednostek wytwórczych. Przez szereg lat wprowadzano w nich różne zmiany konstrukcyjne w celu zwiększenia efektywności wytwarzania energii i wydłużenia żywotności poszczególnych elementów. Zabiegi te sprawiły, że pomimo upływu lat - od prawie pół wieku są one nadal podstawowymi jednostkami w polskiej energetyce.

W ENEA Wytwarzanie Sp. z o.o. (dawnej Elektrownia Kozienice) zainstalowane jest 8 turbozespołów „200 MW". Zostały one oddane do użytku w latach 1972-1975. Były to turbiny 13K215 dostarczone przez firmę Zamech. Jest to trójkadłubowa, jednowałowa maszyna kondensacyjna z międzystopniowym przegrzewem pary. Posiada siedem nieregulowanych upustów zasilających wymienniki regeneracyjne. Oryginalnie turbina ta składała się z trzech zasadniczych części:

- akcyjnej wysokoprężnej WP zawierającej 12 stopni,
- akcyjnej średnioprężnej SP zawierającej 11 stopni,
- dwuprzepływowej akcyjnej niskoprężnej NP zawierającej 2x4 stopnie.

Nominalne parametry pary wlotowej dla turbiny 13K215 wynoszą: 12,75 MPa, 535^{0}C i 650 t/h. Maszyna ta charakteryzuje się sprawnościami wewnętrznymi części WP, SP i NP turbiny kształtującymi się odpowiednio na poziomie: 81%, 89% i 73%.

Modernizacje części przepływowych NP

Elementy turbin 13K215 eksploatowanych w Kozienicach były projektowane do pracy przez około 100 000 godzin. Ograniczenie to wynikało głównie z dostępnych metod obliczeniowych i braku doświadczeń z tego typu maszynami w dłuższym okresie eksploatacji. Dbałość o poprawne prowadzenie pracy turbiny przez obsługę ruchową, regularne remonty kapitalne i oceny żywotnościowe sprawiły, że urządzenia te bezpiecznie przekroczyły projektowy czas eksploatacji. Wraz z rozwojem techniki i zachodzącymi zmianami gospodarczymi w latach 90. pojawiły się w Polsce nowe propozycje poprawy sprawności turbin. Efektem tego było

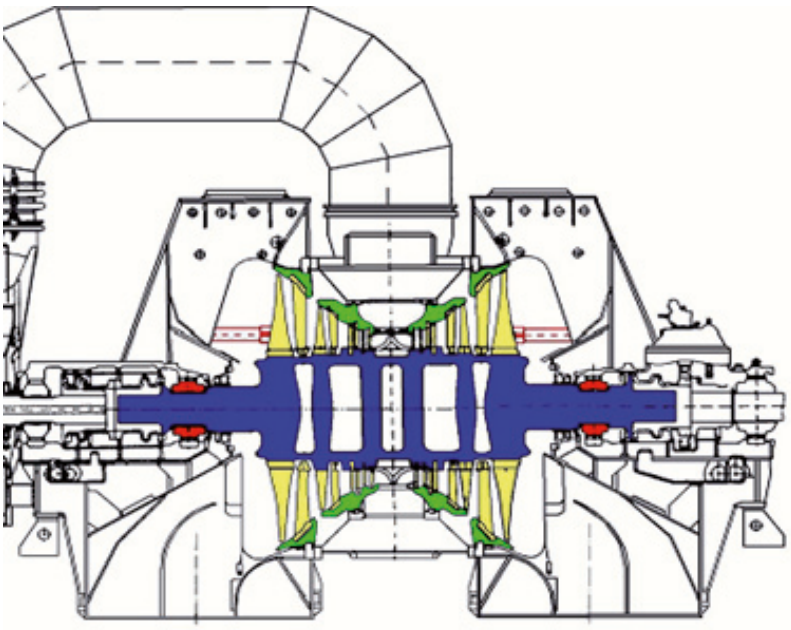
przeprowadzenie w Kozienicach modernizacji części przepływowych NP. Warunki jakie postawiono potencjalnemu Wykonawcy to:

- zmniejszenie jednostkowego zużycia ciepła,
- zwiększenie mocy,
- zapewnienie wysokiego stanu dynamicznego turbiny,
- przedłużenie żywotności,
- wydłużenie okresu międzyremontowego.

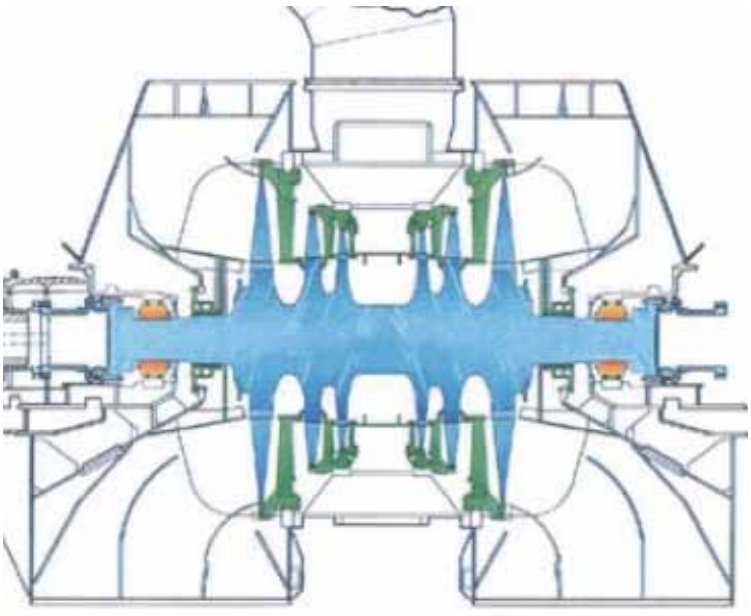
Ówcześnie na rynku polskim dostępne były dwie propozycje modernizacji. Ich autorami były firmy ABB Zamech i Westinghouse. Spośród tych ofert, na pierwszym z bloków modernizację przeprowadziła firma ABB Zamech. Propozycja ta uwzględniała następujące zmiany konstrukcyjne:

- wymiana części przepływowej na reakcyjną,
- zabudowa dyfuzora wylotowego,
- nowy wirnik spawany z 4 elementów,
- wymiana łożysk 4, 5 i wzmocnienie pokryw łożyskowych 4, 5,
- przystosowanie istniejącego korpusu zew. NP do zabudowy nowej części przepływowej.

W trakcie prac prowadzonych podczas modernizacji stara akcyjna część przepływowa NP o niskiej sprawności, posiadająca stopień Baumana została zastąpiona nowym wysokosprawnym układem reakcyjnym. Dzięki zastosowaniu nowych materiałów elementy zyskały zwiększoną wytrzymałość. Łopatki pierwszych dwóch stopni zostały wykonane w konstrukcji całofrezowanej z bandażami i skręceniem wstępnym. Łopatki ostatni dwóch stopni zaprojektowano jako wolnonośne. W porównaniu z poprzednim rozwiązaniem nie posiadają one drutów tłumiących. Łopaty ostatniego stopnia ND41-a zostały dodatkowo zabezpieczone przed erozją poprzez hartowanie i kulowanie, co pozwoliło w efekcie zrezygnować ze stosowania stellitów wykorzystywanych wcześniej. Dostarczono także nowe obejmy, które zamontowano w istniejącej części kadłuba zew. NP. W modernizacji zastąpiono stary pełno kuty wirnik nowym spawanym z 4 elementów. Zaprojektowano także nowe lżejsze łożyska nr 4 i 5 i nowe uszczelnienia dławicowe. Kolejnym aspektem wpływającym na poprawę sprawności była zabudowa nowego dyfuzora wylotowego. Dodatkowo cały korpus zew. NP został usztywniony poprzez zamocowanie w nim prętów wzmacniających.



Rys. 1. Zmodernizowana część przepływowa NP w wersji ABB Zamech [1]



Rys. 2. Modernizacja części przepływowej w wykonaniu Westinghouse [1]

Na kolejnym z modernizowanych bloków została zaadaptowana propozycja firmy Westinghouse. W tym przypadku w reakcyjnej części przepływo-

wej zastosowano 2 razy po 3 stopnie. Pierwszy wieniec wykonano w wersji pełno frezowanej wraz z bandażem. Łopatki stopnia drugiego i trzeciego wykonano jako wolnostojące. W konstrukcji łopat ostatniego stopnia wykorzystano zamek pośredni (inter-lock) i bandaż (Z-lock). W celu uniknięcia erozji na ostatnich stopniach zastosowano stelity z wkładkami z inconelu. Pozwoliło to na usztywnienie łopatki i zmniejszenie jej drgań. W odróżnieniu od propozycji ABB Zamech w tym przypadku zastosowano pełno kuty wirnik. Z uwagi na mniejszą ilość stopni stał się lżejszy od alternatywnej propozycji konkurencji. Wykonano nowe łożyska nr 4, 5 (zastosowano w nich posadowienie kuliste) i uszczelnienia dławicowe. Podobnie jak w poprzedniej modernizacji na korpusie zew. NP wykonano dodatkowe wzmocnienia pozwalające usztywnić konstrukcje i nowy dyfuzor wylotowy zmniejszający stratę wylotową.

Docelowo w latach 1995-2004 wykonano 8 modernizacji. Jedną z nich przeprowadzono w wersji Westinghouse, natomiast pozostałe wykonał ABB Zamech. Przy okazji tych prac zabudowano także instalację do schładzania wylotu pary z części NP i zastosowano hydrauliczne śruby sprzęgłowe na połączeniu z wirnikiem generatora. W konsekwencji dzięki przeprowadzonym modernizacjom uzyskano nową turbinę typu 13K225 o mocy 225 MW. Uzyskano sprawność części NP na poziomie 83% i zmniejszenie jednostkowego zużycia ciepła o około 400 kJ/kWh. Kolejnym aspektem wykonanych działań było przedłużenie żywotności części przepływowej o kolejne 100 000 godz. i wydłużenie cyklów remontowych z 4 do 8 lat. Dzięki temu możliwe było przekroczenie 200 000 godz. pracy turbozespołu.

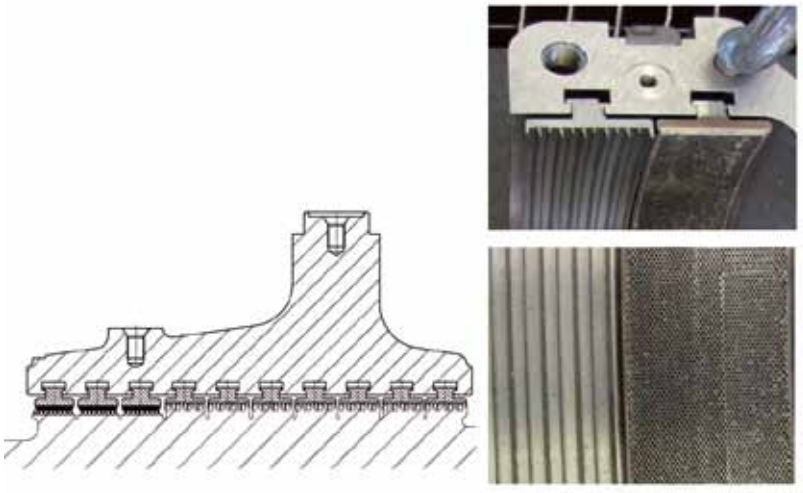
Modernizacje części przepływowych WP

Wraz ze zbliżaniem się do założonego okresu żywotności turbozespołów 13K225 pojawiły się pomysły na działania pozwalające na dalszą bezpieczną eksploatacje tych urządzeń. W tym celu konieczna była jednak szeroka ingerencja w różne elementy turbozespołu poprzez wykonanie niezbędnych modernizacji i napraw odtworzeniowych. Działania te objęły:

- wymiany układów łopatkowych (zalecenie producenta),
- rewitalizację komór korpusów i komór zaworowych WP i SP,
- wymiany odtworzeniowe na regeneracji XN i XW, regulacji oraz pozostałych układach Turbozespołu.

W polskich elektrowniach przeprowadzano w ramach ww. działań różny zakres wymiany układów przepływowych. W Kozienicach zdecydowano

Rys. 3. Ostatni stopień części NP: A) przed modernizacją (13K215) B) po modernizacji w wersji Westinghouse C) po modernizacji w wersji ABB Zamech (ND41-a)

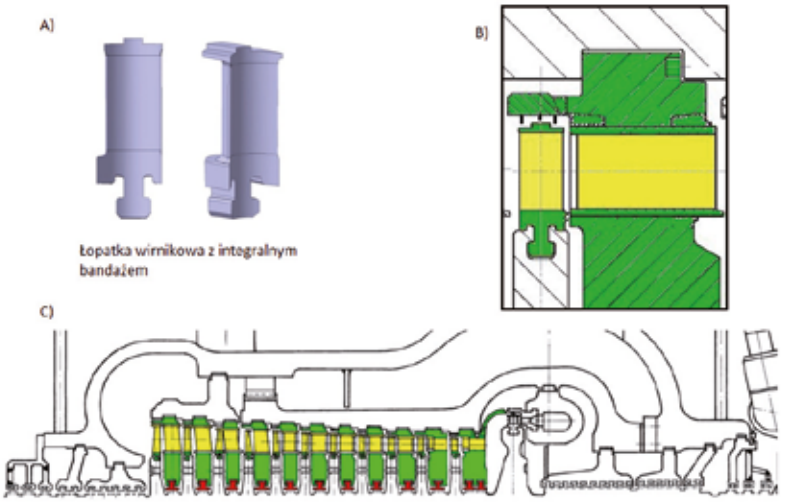


Rys. 4. Nowe wykonanie wew. dławicy wlotowej z segmentami typu „plaster miodu"

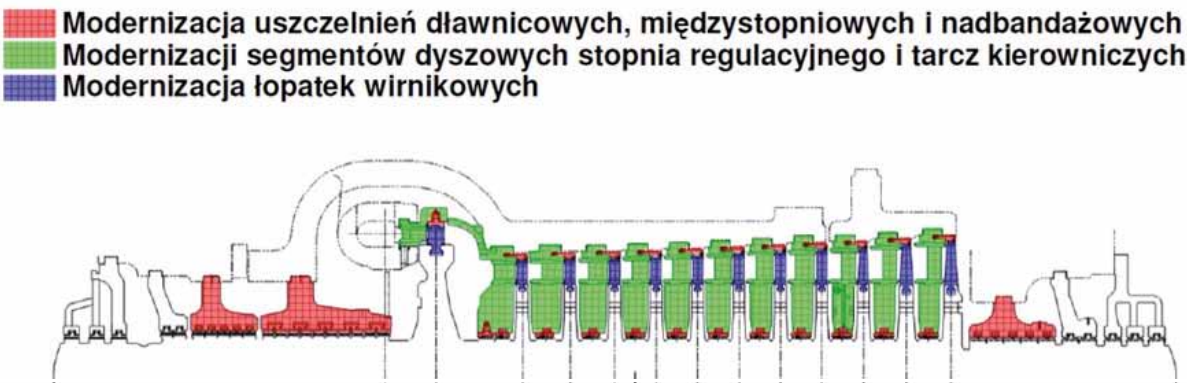
się na przeprowadzenie modernizacji części przepływowej WP. Dla potencjalnych Wykonawców postawiono następujące warunki:

- zwiększenie mocy z części WP o co najmniej 3 MW,
- obniżenie jednostkowego zużycia ciepła z części WP o co najmniej 100 kJ/kWh, (zwiększenie sprawności części WP do co najmniej 85%),
- wydłużenie żywotności głównych elementów turbiny o około 100 000 godz.

Podobnie jak w przypadku modernizacji części przepływowych NP, w ENEA Wytwarzanie zostały wykonane dwie wersje modernizacji. Pierwszą przeprowadziła firma Alstom Power. W swoim rozwiązaniu wykonali nowe łopatki wirnikowe wraz z integralnym



Rys. 5. Modernizacja w wersji Alstom
A) nowa łopatka wirnikowa z integralnym bandażem b) szczegół konstrukcji nowego uszczelnienia nadbandażowego C) przekrój osiowy części WP [1]



Rys. 6. Przekrój osiowy części WP wraz z zakresem modernizacji w wykonaniu TurboCare [1]

bandażem (rys. 4) i tarcze kierownicze. Zastąpiły one stare łopatki z nitowanym bandażem. Ilość stopni pozostała niezmienna. Podobnie jak przed modernizacją wykonawca zastosował technologię akcyjną. Zmodernizowano także segmenty dyszowe stopnia regulacyjnego. Wykonano nowe labiryntowe uszczelnienia nadbandażowe (dodatkowo dołożono jedną blaszkę) i międzystopniowe. W celu poprawy sprawności na pierwszych trzech segmentach wewnętrznej dławicy od strony wlotu pary zastosowano uszczelnienia typu „plaster miodu" (rys. 5). Na pozostałych segmentach wykonano naprawy odtworzeniowe. W związku ze zwiększeniem ciśnienia w komorze koła regulacyjnego po modernizacji do 103 bar konieczna była wymiana 7 szpilek korpusu wew. WP na nowe z lepszego materiału. Rozwiązanie to zaimplementowano na dwóch blokach.

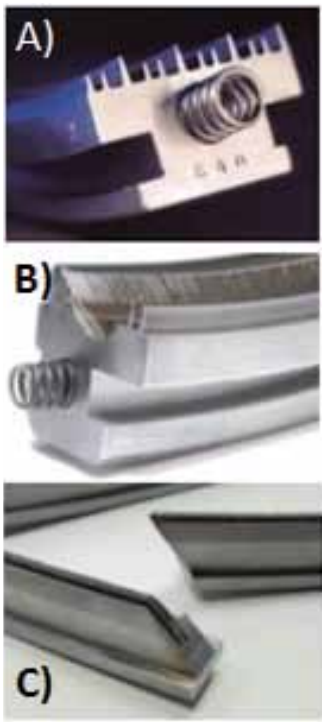
Drugim rozwiązaniem jakie zostało wykorzystane w Kozienicach była propozycja firmy TurboCare. W swym rozwiązaniu Wykonawca zastosował niezmienioną ilość stopni. Dostarczono nowe zmodernizowane łopatki wirnikowe, tarcze kierownicze i segmenty dyszowe stopnia regulacyjnego. Zastosowane profile łopatkowe są skręcone i były projektowane w technologii 3D. Podobnie jak w rozwiązaniu oryginalnym łopatki wirnikowe posiadają stopki w kształcie litery T. W celu zwiększenia sprawności części WP zastosowano także nowe rozwiązania mające za zadanie zmniejszyć przecieki. Wykonano 3 nowe dławice (rys. 6). Zastosowano w nich cofające się pierścienie uszczelniające (rys. 8A). Wykorzystanie sprę-

Rys. 7. Przykład profilu łopatkowego WP zastosowanego w modernizacji TurboCare [1]

żyn na obwodzie pozwala zwiększyć luz podczas pracy w okresach uruchomień i odstawień, gdzie może dochodzić do przytarć. Po zamknięciu segment uszczelnienia pracuje z normalnym (zmniejszonym) luzem. Jako uszczelnienia międzystopniowe wykorzystano cofające się segmenty, w których zamontowano szczotki (rys. 8B). Tego typu rozwiązanie ma za zadanie po zamknięciu uszczelnienia zapewnić tzw. zerowy luz. Efektem tego jest wysoka sprawności część WP turbiny. Szczotki wykorzystano także w uszczelnieniach nadbandażowych (rys. 8C).

W obydwu wersjach modernizacji wykorzystano stary wirnik, co wymagało jego kompleksowej diagnostyki. Przeprowadzone działania pozwoliły na uzyskanie wysokiej sprawności części WP przekraczającej 85%, zmniejszeniu jednostkowego ciepła w granicach 100-150 kJ/kWh i uzyskaniu dodatkowych 3 MW mocy. Dzięki przeprowadzeniu rewitalizacji i napraw odtworzeniowych turbozespoły bloków „200 MW" będą mogły bezpiecznie przekroczyć granicę 300 000 godz. Wraz z wykonywaniem ww. modernizacji części WP rozpoczęto także wymianę na nowe łopatek ostatniego stopnia NP typu ND-41a. □

[1] Materiały z prezentacji od Wykonawców modernizacji



Rys. 8 A) odsuwane labiryntowe uszczelnienie dławicowe, B) odsuwane szczotkowe uszczelnienie międzystopniowe, C) nadbandażowe uszczelnienie szczotkowe [1]

ZAMÓW
PRENUMERATĘ
NA ROK 2016
Magazyn „Nowa Energia"
to specjalistyczne czasopismo
dedykowane branży energetycznej

Cena egzemplarza 15 PLN

www.nowa-energia.com.pl

GRC

Układy czyszczenia rurek skraplacza i wymienników ciepła - innowacyjność instalacji Taprogge

Firma GRC to od ponad 10 lat czołowy polski dostawca urządzeń i rozwiązań dla przemysłu, głównie energetyki. Specjalizujemy się w dostarczaniu systemów transportu pneumatycznego przeróbki i składowania popiołów oraz innych materiałów. Współpracujemy z szeregiem zagranicznych i krajowych producentów w zakresie filtracji procesowej i przemysłowej dla cieczy i gazów oraz dostaw pomp, wentylatorów, kruszarek, sprężarek, armatury przemysłowej, czy kompozytowych systemów naprawczych. Jesteśmy przedstawicielem niemieckiego producenta i twórcy systemów Taprogge do stałego czyszczenia rur chłodzących w wymiennikach ciepła i kondensatorach.

Technologia została opatentowana po raz pierwszy w 1952, a w Polsce w 1976. Mimo tego czasu ciągle jest udoskonalana tak, aby poszerzyć zakres zastosowania.

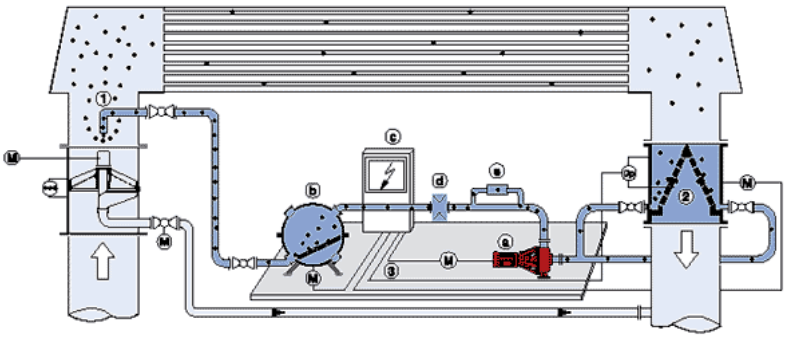
Jest ona odpowiedzią na tzw. zjawisko microfouling, czyli niepożądane odkładanie się substancji rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych (zabrudzenia, ciała stałe, wodorosty, itp.) na powierzchni wewnętrznej rur chłodzących. Metoda Taprogge to system stałej cyrkulacji elastycznych kulek gumowo-gąbczastych, których średnica jest nieco większa niż średnica rur chłodzących oraz zainstalowana w układzie urządzenia sitowego, którego zadaniem jest stałe wyłapywanie i wyprowadzanie na zewnątrz osadzających się ciał stałych - zatykających i obniżających ciśnienie w obiegu wody chłodzącej.

Cała instalacja Taprogge, w module bazowym, składa sie z trzech części:

- wprowadzenia kulek gumowo-gąbczastych do obiegu,
- układu sit,
- agregatu cyrkulacji kulek wraz ze sterowaniem.

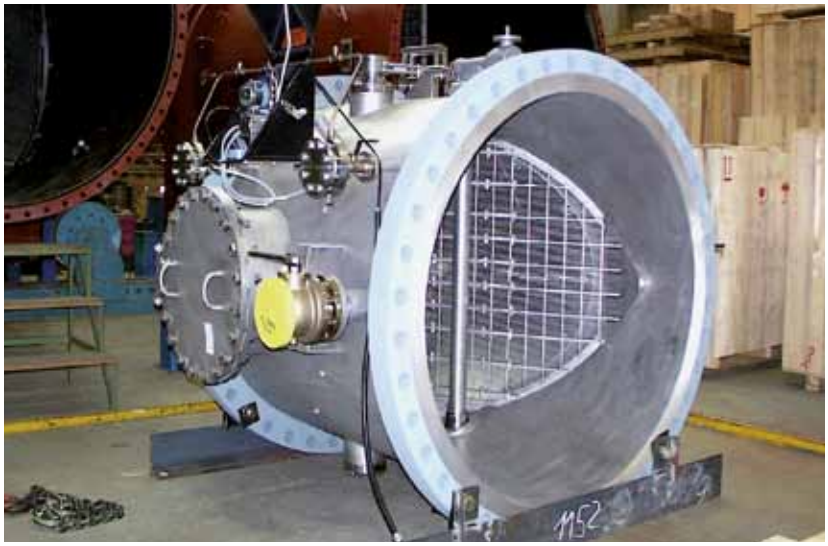
Innowacyjność instalacji polega głównie na oddzieleniu ciał stałych różnej grubości i wielkości (również o strukturze włóknistej) z urządzenia sitowego na bieżąco, strumieniem przepływającej w ciągłym obiegu cieczy, przy minimalnej stracie ciśnienia i jednocześnie prostej konstrukcji urządzenia sitowego.

Rdzeniem instalacji jest wspomniane wcześniej urządzenie sitowe, które



Rys. 1. Instalacja Taprogge, tryb czyszczenia

Rys. 2. Układ sit, typ E1, średnica DN 150-DN 750. Sito eliptyczne



Rys. 3. Typ D2 Średnica DN 800 i większa. 2 sita półeliptyczne w formie daszku

służy do wyłapywania ciał stałych ze strumienia cieczy przepływającej przez rurki obiegu wody chłodzącej. Sito zabudowane jest z kadłuba separatora z wbudowanym koszem sitowym, do którego wpływa z zewnątrz strumień wody wraz z zabrudzeniami. Separator do oddzielania ciał stałych umiejscowiony jest w przewodzie rurowym ze stożkowym koszem sitowym, który zainstalowany w przewodzie rurowym biegnącym prosto, skierowany jest wierzchołkiem przeciw kierunkowi strumienia cieczy.

Przy takiej konstrukcji, ciała stałe są wyłapywane i przechodzą ukośnie po ścianie sita do kanału, na dnie sita stożkowego. Dodatkowy strumień okrężny wyłapuje i porywa ciała stałe, które wyprowadzane są przez króciec na zewnątrz kanału.

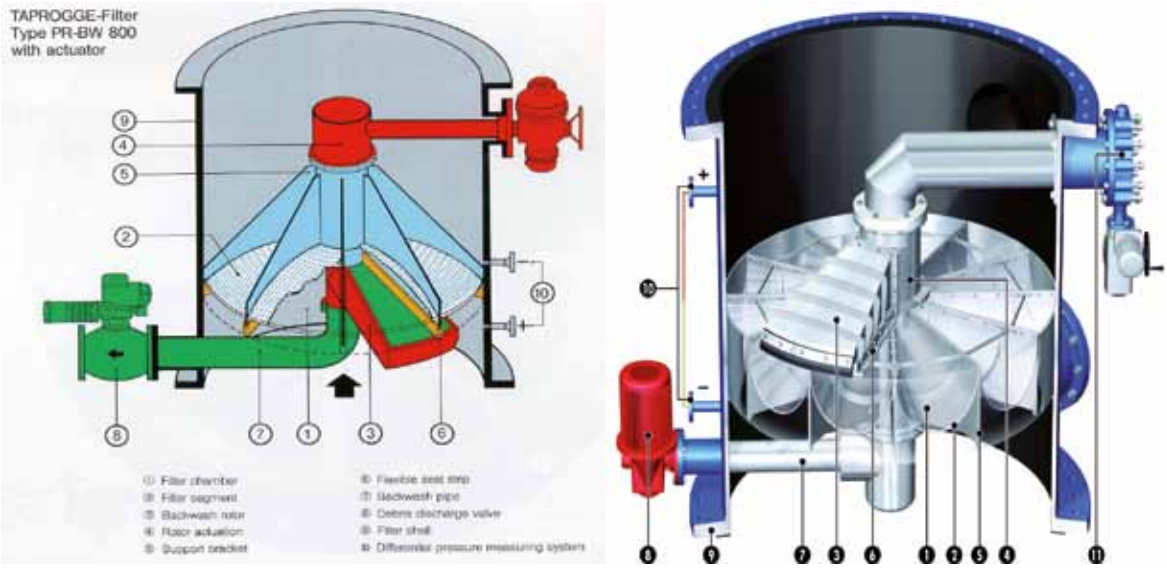
Ale co jeśli ciałami stałymi są ciała włókniste, jak wodorosty, resztki folii, liście, trawy, itp.? W standardowych układach czyszczenia takie substancje pozostają na powierzchni sita, osadzając się, a pod wpływem ich przyrostu - sito ulega zatkaniu. Można oczywiście próbować usunąć owe zanieczyszczenia za pomocą zainstalowanych łopatek. Jednak jest to skuteczne tylko w przypadku górnej części powierzchni stożka. System łopatek nie zda egzaminu w przypadku małych zanieczyszczeń. Kolejnym minusem systemu łopatek jest fakt, iż przy czystej powierzchni powiększają się straty ciśnienia separatora, a przy mocno zabrudzonej powierzchni są mniej skuteczne na skutek słabnącego strumienia cieczy. Czyszczenie staje się zatem możliwe dopiero po zamknięciu zasuwy przed separatorem i nadaniu ruchu wirowego wodzie pozostałej w separatorze w celu oddzielenia i wypłukania zabrudzeń z sita oraz wyprowadzenie ich na zewnątrz przez otwarcie zasuwy. W systemach oczyszczania Taprogge uzyskano możliwość ciągłego oczyszczania urządzenia sitowego strumieniem wody poprzez zaprojektowanie odpowiedniej konstrukcji sita z kadłubem w obrębie kosza sitowego z zainstalowanym bocznym krućcem wlotowym dla zanieczyszczonej wody. W krućcu zainstalowane jest przynajmniej jedno przestawne urządzenie kierownicze, służące do stycznego odchylania strumienia zanieczyszczonej wody wpływającego poprzecznie do kosza sitowego. Styczne odchylanie strumienia wody powoduje zmianę jej kierunku.

Cała zatem koncepcja opiera się na twierdzeniu i obserwacji, że pod wpływem zmiany parametrów, kierunku, czy turbulencji strumienia wody, gromadzące się zabrudzenia w różnej postaci, strukturze i wielkości odrywają się na bieżąco. Ponad to, w systemie można sterować przepływem strumienia wody tak, aby napływała ona na powierzchnię sita mniej lub bardziej stycznie, co spowoduje turbulencje. Efektem jest nieosadzanie się ciał stałych na powierzchni sita i ich przepływ w kierunku dna sita, skąd mogą być odprowadzane z kadłuba separatora do otworu wylotowego.

Instalacja jest też elastyczna w swoim zastosowaniu - pracą sit można sterować. Sita wykonane są w konstrukcji niespawanej, dla uniknięcia dodatkowo korozji szczelinowej - konstrukcja jest skręcona śrubami.

I tak, w okresach występowania mniejszych zanieczyszczeń, możliwe jest całkowite otwarcie klap sita, aby uniknąć niepotrzebnych strat ciśnienia. Układ może pracować również interwałowo.

Największą niewątpliwie innowacyjnością urządzenia sitowego jest sposób jego konstrukcji, zapobiegający odkładaniu się, często wysuszaniu i zatykaniu sita przez substancje - w tym włókniste.



Rys. 4. Schemat sita

Zainstalowano już ponad 10 000 urządzeń Taprogge w ponad 100 krajach świata, w obiegach wody chłodzącej elektrowni, instalacjach odsalania wody morskiej, czy innych zakładach przemysłowych. Układ czyszczenia rurek Taprogge funkcjonuje też od lat w wielu polskich elektrowniach i jest instalowany w nowych blokach energetycznych.

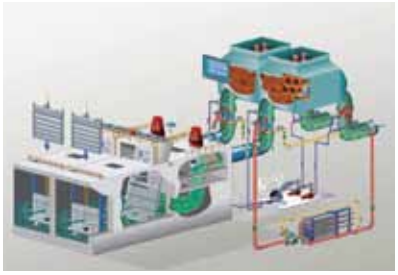
Jakie korzyści wynikają z zamontowania instalacji Taprogge?

- instalacja trwale zachowuje transport ciepła w wymienniku i kondensatorach,
- obniżenie pierwotnych kosztów energii lub zwiększenie mocy turbin (zjawisko microfouling - czyli osadzania się zabrudzeń może zwiększyć zużycie ciepła przez turbozespół nawet w granicach od 1 do 2%),
- redukcja emisji SO_2, NOx, CO_2 - odciążenie środowiska w wysokości równej ilości zaoszczędzonego paliwa,
- wydłużenie trwałości aparatury techniki cieplnej,
- znaczne obniżenie procesu korozji w wymiennikach ciepła,
- zapobieganie nieprzewidzianym przestojom, wynikającym z nieszczelności i zatykania się rur chłodzących,
- krótki okres amortyzacji instalacji, wynoszący od 0,5 do 2 lat, dzięki zyskom mocy cieplnej.

Nasze doświadczenie to efekt globalnej skali zastosowań w ponad 10 000 przypadkach. To doświadczenie pozwala na udoskonalanie układu i testowanie go w coraz nowych warunkach. Stały nadzór serwisowy i techniczny jest niezwykle istotny i daje obopólne korzyści.

Zapraszamy do kontaktu i odwiedzenia naszej strony poświęconej rozwiązaniom Taprogge www.kulki-gabczaste.pl oraz innym produktom przemysłowym na stronie www.grcpoland.com.

□



Rys. 5. Taprogge w elektrowniach z chłodzeniem przepływowym

Rys. 6. Taprogge w zastosowaniach przemysłowych

CIEKAWOSTKA

Zwiększenie ciśnienia w kondensatorze o 10 mbar spowodowane przez zjawisko osadzania się zabrudzeń i ciał stałych, prowadzi do starty wydajności elektrycznej nawet o 0,7% do 1,8%.

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum" sp. z o.o.

OFERUJEMY INNOWACYJNE USŁUGI DLA ENERGETYKI KONWENCJONALNEJ PODĄŻAMY ZA JEJ POTRZEBAMI - IDENTYFIKUJEMY I ROZWIĄZUJEMY JEJ PROBLEMY

Od wiedzy o stanie technicznym urządzenia i prognozy jego eksploatacji tylko krok do oferowania innowacyjnych rozwiązań technicznych uwzględniających wymogi ekonomii i ekologii oraz wykorzystujących najnowsze technologie informatyczne. W tym kierunku konsekwentnie podążamy od prawie 30 lat. Stosujemy zarówno klasyczne, sprawdzone zasady diagnostyki, jak również nieustannie poszukujemy nowych rozwiązań. W ramach wewnętrznych projektów badawczo-rozwojowych zespoły badawcze złożone ze specjalistów Pro Novum opracowują innowacyjne rozwiązania problemów naszych Klientów.

Konsekwentnie udowadniamy że diagnostyka jest narzędziem zdobywania wiedzy o stanie technicznym urządzeń, a nie tylko sposobem na gromadzenie kolejnych informacji. Umiejętne wykorzystywanie takiej wiedzy jest też ekonomicznie opłacalne, o czym staramy się przekonywać naszych Klientów. Utrzymanie techniczne urządzeń kosztuje bowiem najmniej wtedy, gdy jest oparte na poprawnie funkcjonujących systemach diagnostycznych. Takie systemy i eksperckie wsparcie oferujemy od kilku lat.

Co roku staramy się przedstawiać naszym Klientom propozycje nowych usług mając na uwadze przede wszystkim realne i przewidywane potrzeby polskich elektrowni oraz najlepsze doświadczenia zagraniczne.

Dużą wagę przywiązujemy do ciągłego podnoszenia umiejętności naszych pracowników i dbałości o wysoką jakość świadczonych usług oraz doskonalenie metod diagnostycznych i analitycznych.

W 2007 r. po raz kolejny zmieniliśmy siedzibę. Nowy budynek Pro Novum został zaprojektowany specjalnie dla nas, co zapewnia mu maksymalną funkcjonalność.

Laboratorium Badań Materiałowych i Laboratorium Badań Chemicznych zostały wyposażone w najnowocześniejszą aparaturę do wszystkich rodzajów badań i pomiarów diagnostycznych. Mobilne insta-

lacje do chemicznego czyszczenia oraz pasywacji wykonane według naszego projektu pozwalają na wykonywanie zaawansowanych usług chemicznych w dowolnej lokalizacji. Pracę ekspertów wspomagają natomiast sieciowe systemy informatyczne oraz najwyższej klasy programy inżynierskie m.in. do obliczeń konstrukcji metodą elementów skończonych (MES).

Wysoką jakość świadczonych przez nas usług potwierdzają uzyskane certyfikaty jakości i zarządzania środowiskowego ISO 9001:2008, 14001:2004, 18001:2004 wydane przez TÜV Rheinland oraz 17025:2005 (dla obu Laboratoriów) nadane przez UDT. Pracownicy techniczni mają wszystkie wymagane przepisami uprawnienia: Świadectwa kwalifikacyjne do zajmowania się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci kat. D i E oraz świadectwa kwalifikacyjne do badań wg normy EN473, a także certyfikaty w zakresie poszczególnych rodzajów badań.

Uzyskaliśmy również:

- Decyzję Urzędu Dozoru Technicznego uprawniająca do wykonywania napraw w zakresie chemicznego czyszczenia i trawienia urządzeń podlegających dozorowi technicznemu,
- Uzgodnienie i zatwierdzenie w Urzędzie Dozoru Technicznego „Instrukcji badań i pomiarów diagnostycznych oraz oceny stanu technicznego rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych w elektrowniach i elektrociepłowniach",

- Rekomendację Stowarzyszenia Elektryków Polskich,
- Status Centrum Badawczo-Rozwojowego przyznany decyzją Ministra Gospodarki.

Naszym Klientom oferujemy następujące usługi:

- badania i oceny stanu technicznego wraz z prognozą trwałości (oceną żywotności),
- systemy diagnostyczne ze wsparciem eksperckim,
- ekspertyzy poawaryjne,
- nadzór i serwis diagnostyczny z możliwością realizacji w zdalnym trybie,
- technologie napraw i rewitalizacji zwłaszcza staliwnych elementów turbin i walczaków kotłów,
- optymalizacje warunków eksploatacji, zwłaszcza ze względu na trwałość urządzeń,
- modernizacje rurociągów parowych i wodnych,
- zarządzanie wiedzą o stanie technicznym urządzeń cieplno-mechanicznych elektrowni,
- usługi w zakresie chemii energetycznej:
  - chemiczne czyszczenie kotłów,
  - konserwacje urządzeń energetycznych,
  - dobór i optymalizację reżimów chemicznych,
  - analizy chemiczne wód i ścieków.

Wiedzę z badań diagnostycznych wykorzystujemy jako źródło zaawansowanych technicznie aplikacji, przede wszystkim dla wydłużania czasu pracy urządzeń i redukcji nakładów na ich utrzymanie. W tym celu opracowaliśmy wytyczne diagnozowania, specjalistyczne metody badań, technologie napraw i rewitalizacji oraz oprogramowanie wspierające nadzór diagnostyczny.

Oferujemy innowacyjne rozwiązania dla energetyki:

- wydłużanie czasu pracy i żywotności urządzeń,
- rewitalizację staliwnych elementów turbin,
- pasywację rurek mosiężnych wymienników ciepła,
- modernizacje rurociągów parowych i wodnych,
- chemiczne oczyszczanie kotłów walczakowych roztworami związków kompleksujących,

- platformę informatyczną LM System PRO+® oferującą m.in.:
  - zdalną diagnostykę,
  - analizę awaryjności,
  - ocenę ryzyka,
  - zarządzanie wiedzą o stanie technicznym urządzeń cieplno-mechanicznych elektrowni.

System, jak również jego poszczególne aplikacje mogą być implementowane w infrastrukturze IT elektrowni i grup elektrowni lub zostać udostępnione w formie usług z serwerów Pro Novum.

Platforma informatyczna LM System PRO+® jest najbardziej zaawansowaną technicznie aplikacją wiedzy z diagnostyki, jaką mamy w ofercie. Integruje i przetwarza ona wybrane wyniki badań, parametry pracy (cieplno-mechaniczne i chemiczne) oraz informacje remontowe w sposób pozwalający na generowanie wiedzy o aktualnym stanie technicznym diagnozowanego urządzenia.

Pakietem funkcjonalnym tej platformy informatycznej, w którym zaimplementowano algorytmy zdalnej diagnostyki udostępniające w trybie on-line wiedzę o aktualnym stanie technicznym urządzenia jest LM Serwis PRO®. System zapewnia wysoką jakość diagnozowania przy niskich kosztach oraz udostępnianie wiedzy w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Dotychczas zrealizowane wdrożenia w elektrowniach i elektrociepłowniach potwierdzają jego przydatność. Aktualnie testowana jest przydatność LM Serwis PRO® jako systemu inżynierskiego wspierającego pracę Wydziałów Inżynierii (Centrów Usług Wspólnych) grup energetycznych.

3 lata temu, we współpracy ze specjalistami wszystkich grup energetycznych w Polsce oraz Urzędem Dozoru Technicznego opracowaliśmy „Wytyczne przedłużania eksploatacji elementów krytycznych urządzeń cieplno-mechanicznych bloków 200 MW". Aktualnie dostosowujemy ten dokument do potrzeb użytkowników bloków 100 MW i 360 MW. Uwzględnimy także elastyczną pracę bloków oraz problematykę chemii energetycznej. Nasze „Wytyczne.." zostały wykorzystane, w różnym stopniu, podczas modernizacji ponad dwudziestu bloków 200 MW. Zakładamy, że będą towarzyszyć dalszej eksploatacji tych bloków pomagając zachować ich wysoką dyspozycyjność, także w warunkach pracy podszczytowej i szczytowej, ważnej dla stabilizacji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum" sp. z o.o.
ul. Wróbli 38,
40-534 Katowice
tel. 32 251 87 39
fax 32 251 36 19
e-mail: pronovum@pronovum.pl
www.pronovum.pl

VEOLIA

Odnawiamy zasoby świata

Czysta energia dla biznesu

Odpady

Woda

Energia

OFERTA

www.veolia.pl

FORUM ENERGETYKÓW

GRE 2016

GOSPODARUJEMY RACJONALNIE ENERGIĄ

27-29 czerwca 2016 r. - Szczyrk

XV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna

Państw i Regionów Przygranicznych

pod patronatem

Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego - wicepremiera **Jarosława Gowina**

oraz

Ministra Energii **Krzysztofa Tchórzewskiego**

Patronaty Honorowe i Naukowe

Ministerstwo Energii

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Komitet Problemów Energetyki PAN

Organizatorzy i Współorganizatorzy

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Uniwersytet Techniczny w Ostrawie

Uniwersytet Techniczny w Odessie

Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych

Katedra Zarządzania Energetyką

Wydawnictwo „Nowa Energia"

ZADANIE BADAWCZE Nr 1

LIDER KONSORCJUM

PARTENERZY PRZEMYSŁOWI

PARTENERZY NAUKOWI

ZADANIE BADAWCZE Nr 2

LIDER KONSORCJUM

PARTENERZY PRZEMYSŁOWI

PARTENERZY NAUKOWI

ZADANIE BADAWCZE Nr 3

LIDER KONSORCJUM

PARTENERZY PRZEMYSŁOWI

PARTENERZY NAUKOWI

ZADANIE BADAWCZE Nr 4

LIDER KONSORCJUM

PARTNER PRZEMYSŁOWY

Komitet Honorowy Forum Energetyków GRE 2016

- Prof. dr hab. inż. Piotr Wach - Senator RP
- Mgr inż. Antoni Duda - Poseł na Sejm RP
- Prof. dr hab. inż. Krzysztof J. Kurzydłowski - b. dyrektor NCBR Warszawa
- Prof. dr hab. inż. Marek Tukiendorf - Rektor Politechniki Opolskiej

Komitet Problemów Energetyki przy Prezydium PAN:

- Badyda Krzysztof, prof. dr hab. inż. - Instytut Techniki Cieplnej, Politechnika Warszawska
- Chmielewski Andrzej, prof. dr hab. inż. - Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa
- Chmielniak Tadeusz, prof. dr hab. inż., czł. koresp. PAN - Politechnika Śląska, Gliwice (przewodniczący)
- Chwieduk Dorota, dr hab. inż. - Politechnika Warszawska, przewodnicząca Europejskiego Stowarzyszenia Energetyki Słonecznej (IEES-Europe)
- Dubiński Józef, prof. dr hab. inż., czł. koresp. PAN - Główny Instytut Górnictwa
- Faber Antoni, prof. dr hab. - Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy
- Fiedor Bogusław, prof. dr hab. - Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław
- Kabza Zdzisław, prof. dr hab. inż. - Politechnika Opolska
- Kamrat Waldemar, prof. dr hab. inż. - Politechnika Gdańska, Gdańsk
- Kiciński Jan, prof. dr hab. inż., czł. koresp. PAN - Instytut Maszyn Przepływowych PAN
- Kolenda Zygmunt, prof. dr hab. inż. - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- Kotowicz Janusz, prof. dr hab. inż. - Politechnika Śląska, Gliwice (sekretarz)
- Kruk Jerzy, prof. dr hab. - Uniwersytet Jagielloński, Kraków
- Lampart Piotr, dr hab. inż. - Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
- Lewandowski Janusz, prof. dr hab. inż. - Politechnika Warszawska
- Lubera Dariusz, b. prezes zarządu TAURON Polska Energia S.A.
- Majchrzak Henryk, dr inż. - przewodniczący Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej
- Marecki Jacek, prof. dr hab. inż., czł. rzecz. PAN - Politechnika Gdańska
- Mikielewicz Jarosław, prof. dr hab. inż., czł. rzecz. PAN - Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
- Mikielewicz Dariusz, prof. dr hab. inż. - Politechnika Gdańska
- Mokrzycki Eugeniusz, prof. dr hab. inż. - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
- Nagy Stanisław, prof. dr hab. inż. - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- Ney Roman, prof. dr hab. inż., czł. rzecz. PAN - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
- Nowak Wojciech, prof. dr hab. inż. - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- Paska Józef, prof. dr hab. inż. - Politechnika Warszawska
- Pawlik Maciej, prof. dr hab. inż. - Politechnika Łódzka
- Popczyk Jan, prof. dr hab. inż. - Politechnika Śląska, Gliwice
- Siemek Jakub, prof. dr hab. inż., czł. koresp. PAN - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- Składzień Jan, prof. dr hab. inż. - Politechnika Śląska, Gliwice
- Stachel Aleksander, prof. dr hab. inż. - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin
- Stępień Jan, Czesław, prof. dr hab. inż. - Politechnika Świętokrzyska
- Szablewski Andrzej, prof. dr hab. - Instytut Nauk Ekonomicznych PAN
- Ściążko Marek, dr hab. inż. - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- Taler Jan, prof. dr hab. inż. - Politechnika Krakowska
- Tokarski Stanisław, dr inż. - prezes zarządu Towarzystwa Gospodarczego Polskie Elektrownie, Warszawa
- Wańkowicz Jacek, prof. dr hab. inż. - Instytut Energetyki, Warszawa

- Woszczyk Marek - prezes zarządu PGE Polska Grupa Energetyczna SA
- Wójs Kazimierz, prof. dr hab. inż. - Politechnika Wrocławska
- Zaporowski Bolesław, dr hab. inż. - Politechnika Poznańska
- Ziębik Andrzej, prof. dr hab. inż. - Politechnika Śląska, Gliwice

Komitet Naukowy Forum Energetyków GRE 2016

- prof. Zdzisław Kabza - przewodniczący, Politechnika Opolska
- prof., czł. kor. PAN Tadeusz Chmielniak - przewodniczący Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium PAN, Politechnika Śląska
- prof. Pavel Santarius - Uniwersytet Techniczny w Ostrawie
- prof. Pavel Kolat - Uniwersytet Techniczny w Ostrawie
- prof. Frantisek Janicek - Uniwersytet Techniczny w Bratysławie
- prof. Ivan Imriš - Uniwersytet Techniczny w Koszycach
- prof. Michal Kolcun - Uniwersytet Techniczny w Koszycach
- prof., czł. UAN Anton Mazurenko - Uniwersytet Techniczny w Odessie
- prof., czł. UAN Ałła Denisowa - Uniwersytet Techniczny w Odessie
- prof. L. A. Kiesova - Uniwersytet Techniczny w Kijowie
- prof. E. P. Pistun - Lwowska Politechnika
- prof. A. E. Zariankin - Moskiewski Instytut Energetyczny
- prof. Gerhard Bartodziej - Politechnika Opolska
- prof. Maciej Chorowski - Politechnika Wrocławska
- prof. Ludwik Cwynar - Instytut Energetyki, Warszawa
- prof. Jacek Wańkowicz - Instytut Energetyki, Warszawa
- prof. Stanisław Drobniak - Politechnika Częstochowska
- prof. Zbigniew Gnutek - Politechnika Wrocławska
- prof. Wojciech Nowak - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
- prof. Maciej Pawlik - Politechnika Łódzka
- prof. Marek Pronobis - Politechnika Śląska
- prof. Andrzej Rusin - Politechnika Śląska
- prof. Józef Suchy - Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków
- prof. Sławomir Szymaniec - wiceprzewodniczący, Politechnika Opolska
- prof. nzw. Waldemar Skomudek - Politechnika Opolska
- prof. Jan Taler - Politechnika Krakowska
- prof. Janusz Terpiłowski - Wojskowa Akademia Techniczna
- prof. nzw. Sławomir Zator - wiceprzewodniczący, Politechnika Opolska

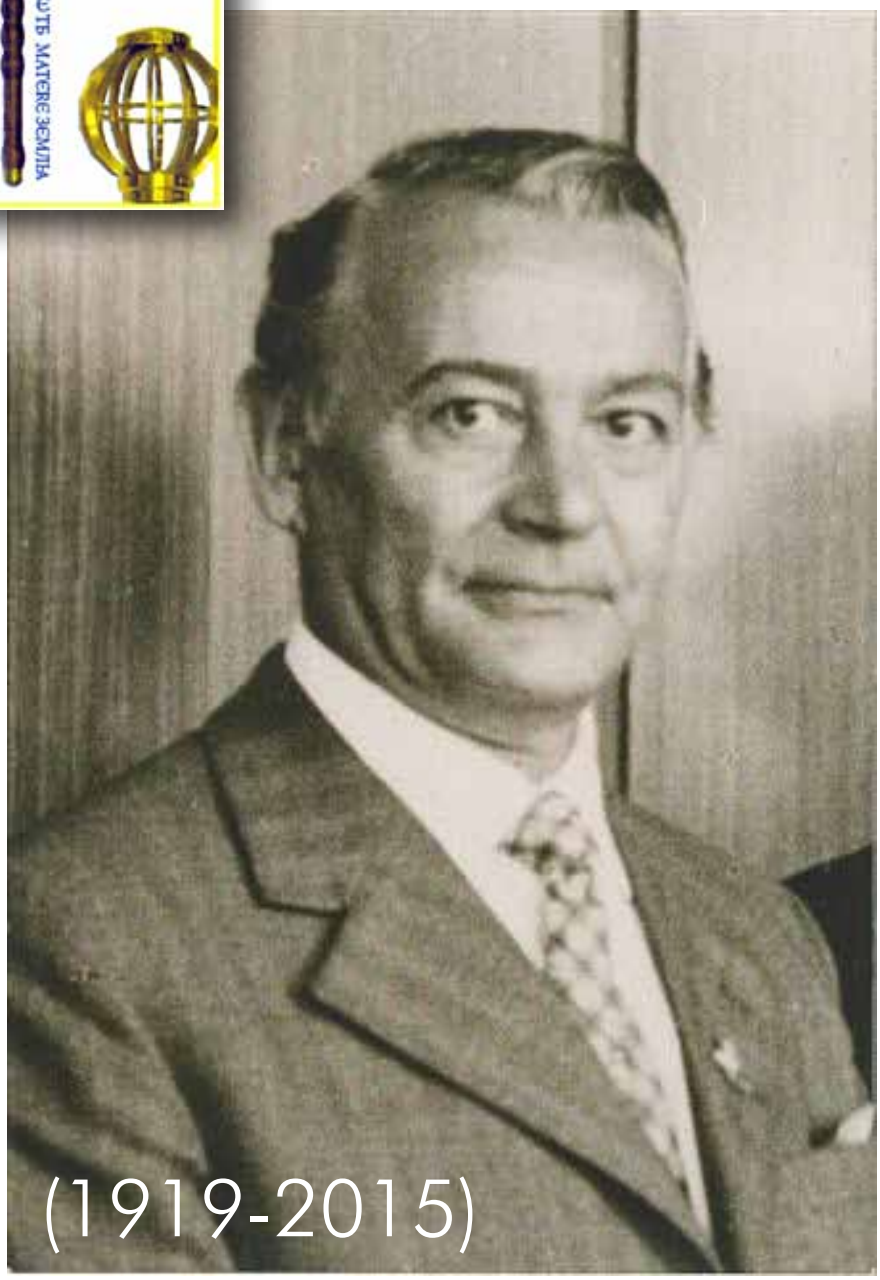
Komitet Sterujący z NCBR

strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych

„Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”:

- prof. dr hab. inż. Tomasz Dobski - Politechnika Poznańska
- dr inż. Wojciech Jaworski - Instytut Ochrony Środowiska - PIB
- prof. dr hab. inż. Zdzisław Kabza - Politechnika Opolska
- mgr Maciej Kiełmiński - Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego
- dr Igor Mitroczuk - Ministerstwo Środowiska
- prof. dr hab. Krzysztof Szamałek - Uniwersytet Warszawski
- prof. dr hab. inż. Janusz Terpiłowski - Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
- prof. dr hab. inż. Krzysztof Warmuziński - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze
- mgr inż. Grzegorz Wiśniewski - Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa
- mgr Elżbieta Wróblewska - Ministerstwo Energii

Bolesław Bartoszek współtwórca Forum Energetyków GRE



Wybitny znawca systemów elektroenergetycznych, strateg i przywódca polskich energetyków, twórca współczesnego kształtu polskiej energetyki. Konsekwentny realizator procesu rozwojowego kompleksowego systemu elektroenergetycznego Rzeczpospolitej Polskiej po 1945 r.

Lwowianin. Wyrastał w niepowtarzalnym, patriotycznym klimacie, wyjątkowym nastroju tego miasta. Ułan, obrońca Warszawy w 1939 r., żołnierz Polski Podziemnej. Wykształcony w głównym nurcie nauki o elektryczności i procesach termodynamicznych, absolwent Politechnik Lwowskiej, Śląskiej i Krakowskiej.

Doskonały inżynier doświadczony w operacyjnym kierowaniu ruchem i działalnością remontową elektrowni zawodowych (Lwów, Chorzów, Łaziska, Miechowice, Jaworzno II) pracujący na najtrudniejszych odcinkach w szczególnych fazach ich budowy, rozruchu i eksploatacji.

Naczelny inżynier i dyrektor naczelny w Południowym Okręgu Energetycznym, a następnie wieloletni dyrektor naczelny Zjednoczenia Energetyki i podsekretarz stanu w Ministerstwie Górnictwa i Energetyki.

Energetyka Polska zawdzięcza mu wszystkie elektrownie cieplne o blokach od 50 MW w Miechowicach i Jaworznie II, których budowa rozpoczynała się w warunkach powojennych, poprzez te wyposażone w kolejne serie bloków: 100, 125, 200, 360 MW w okresie gospodarki centralnie zarządzanej, aż po stworzenie warunków dla wprowadzenia wielkich

bloków nadkrytycznych. Równolegle prowadził intensywny rozwój wielkich sieci przesyłowych, aż do napięcia 750 kV z perspektywą międzynarodowej wymiany energii elektrycznej.

Przemysł energetyczny rozwijał kompleksowo wraz z zapleczem naukowo-badawczym (branżowe Instytuty Energetyki i Automatyki Systemów Elektroenergetycznych, Energopomiar, kilka Biur projektów Elektroenergetycznych), szeroką współpracą z uczelniami technicznymi, a także potencjałem remontowym (Zakłady Remontowe Energetyki, Remak, Zakłady Naprawy Maszyn Elektrycznych) i zapleczem własnego wykonawstwa inwestycyjnego w zakładach sieciowych.

Struktura organizacyjna energetyki poddana została głębokiej modernizacji poprzez umocnienie jej funkcjonalnego charakteru, jako istotnego narzędzia optymalizującego zarządzanie kompleksowe systemem elektroenergetycznym w zakresie operacyjnym, aż po realizację celów strategicznych obejmujących problematykę rozwoju i bezpieczeństwo energetyczne kraju.

W nieustannie doskonalonej technologii wytwarzania wykorzystywano wyłącznie krajowe źródła paliwa i energii pierwotnej, osiągając systematyczny wzrost sprawności, dyspozycyjności urządzeń i redukcję kosztu dostarczanej energii dla odbiorców. W polityce energetycznej istotną wagę przywiązywano do zagadnień ochrony środowiska i zagospodarowywania odpadów produkcyjnych. Dla Bolesława Bartoszka niezwykle istotnym działaniem było formowanie kadry kierowniczej przedsiębiorstw i zakładów w oparciu o kryteria wysokich kwalifikacji, kompetencji zawodowych i talentów organizatorskich.

Był przywódcą utalentowanym, przez ogromną pracowitość i dostępność dla każdego pracownika, częste wizytacje przedsiębiorstw, pryncypialność i obiektywność ocen, umiejętność wyznaczania celów i trafność rozstrzygnięć. Był osobą znaną ogółowi, otaczaną szacunkiem i cieszącą się poważnym autorytetem osobistym.

Przez wiele lat po zakończeniu działalności służył energetykom swoim doświadczeniem uczestnicząc aktywnie w życiu publicznym, w szczególności rozwijając swoje wcześniejsze zainteresowania dotyczące warunków pracy załóg energetycznych i problematyką odnawialnych źródeł energii i ochroną środowiska.

Bolesław Bartoszek dobrze zasłużył się Rzeczypospolitej Polskiej.

Zdzisław Kabza,
Józef Pękala

prof. Jacek Malko - wieloletni członek Komitetu Naukowego Forum Energetyków GRE

Jacek Malko, absolwent Politechniki Wrocławskiej, znakomity energetyk.

Twórca szkoły naukowej kompleksowe badania systemów energetycznych.

Urodził się we Lwowie. Żył i działał w okresie, o którym sam napisze w tekście pt.: O zaletach życia w ciekawych czasach „Czasem łapię się na tym, że wszystko wydaje się oczywistą kontynuacją, a skalę przemian uzmysławiają dopiero drobne epizody... Dość patosu...".

Ojciec Jacka był prawnikiem i oficerem rezerwy. W 1939 r. został powołany do wojska i ostatecznie zamordowany w Starobielsku w kwietniu 1940 r. W tym samym czasie matkę z Jackiem wywieziono do Kazachstanu do pracy w sowchozie.

Pod koniec 1945 r. repatriowano ich szczęśliwie do Wrocławia. Tu w pionierskich warunkach życia, wśród gruzów zniszczonego przez wojnę miasta, Jacek Malko rozpoczyna naukę. Zdaje maturę w liceum ogólnokształcącym i rozpoczyna w 1954 r. studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej. Niezwykle zdolny, szybko uzyskuje w opinii kolegów pozycję najlepszego studenta na roku, która znajduje potwierdzenie w Jego nadzwyczajnej otwartości na potrzeby bliźniego, chęci udzielania pomocy i umiejętności lapidarnego pojmowania i jasnego objaśniania najtrudniejszych zawiłości elektrotechnicznej wiedzy.

Studiowaliśmy razem, w tym samym okresie; dziś piszący te słowa nie mogą nie oddać honoru Uczelni, która nas razem ukształtowała w duchu polskiej tradycji akademickiej, ucząc przede wszystkim kultury równolegle do specjalistycznych dziedzin naukowych i pozwalając spierać się z autorytetami w poszukiwaniu prawdy, samodzielnie myśleć i dokonywać wyborów. Kulturę tą i wspomniane wartości przekazywali swoją powagą i przykładem osobistym nasi nauczyciele. Jacek Malko był uczniem wybitnych uczonych: profesorów Kazimierza Idaszewskiego, Jana Kożuchowskiego, Jana Trojaka, Andrzeja Kordeckiego.

Studia ukończył w 1959 r. i jako magister inżynier elektryk wybrał pracę zawodową w fabryce maszyn elektrycznych Dolmel na stanowisku konstruktora, aby poznać praktykę działalności inżyniera w przemyśle. Po dwóch latach przeszedł do pracy w Instytucie Energetyki Politechniki Wrocławskiej (przekształconym w Instytut Automatyki Systemów Energetycznych podległy Ministerstwu Energetyki i Energii Atomowej), kontynuując swoje projektowe zainteresowania na stanowisku starszego inżyniera. Był to okres w polskiej energetyce szczególnie interesujący. Trwał proces konsolidacji systemów energetycznych

w jeden organizm. Tworzono centralnie sterowany i optymalnie regulowany system elektroenergetyczny z wszystkich jego elementów: elektrowni, sieci przesyłowej i odbiorców. Instytut pod kierownictwem prof. Jana Kożuchowskiego pełnił wiodącą rolę. Tworzono układy automatycznej regulacji częstotliwości i mocy pozwalające sterować mocą wszystkich elektrowni kraju w sposób zapewniający wszystkie aspekty równowagi systemowej i jednocześnie optymalizujący chwilowy koszt dostarczania energii odbiorcom w sposób uwzględniający indywidualne charakterystyki sprawności poszczególnych bloków. Zadanie to zostało pomyślnie zrealizowane, a dla Jacka Malko stanowiło początek Jego działalności naukowej, którą podejmuje z pasją i całkowitym oddaniem. Jacek uzyskał doktorat w 1965 r., a w 1979 r. habilitację. Ze stopniem naukowym doktora rozpoczął pracę w Katedrze Systemów Energetycznych jako starszy asystent, aby przez kolejne stanowiska kariery akademickiej adiunkta, docenta, profesora nadzwyczajnego osiągnąć w 1995 r. tytuł profesorski, a stanowisko profesora zwyczajnego dwa lata później.

Pracuje na stanowisku kierownika Zakładu Elektrowni i Gospodarki Energetycznej w Instytucie Energetyki Politechniki Wrocławskiej, zajmuje się cały czas problematyką złożonych systemów energetycznych wielkiej mocy i obszaru o skomplikowanych właściwościach strukturalnych źródeł energii i sieci.

Obdarzony rzadko spotykanym talentem analitycznym i umiejętnością przewidywania, z niezwykłą trafnością doprowadza swoje prace badawcze do syntezy o istotnym praktycznym znaczeniu dla zarządzania polską energetyką i programowania jej procesów rozwojowych.

Dużo pisze. Opublikował ponad 450 artykułów i referatów, 5 monografii naukowych i 3 podręczniki akademickie.

Dydaktyką zajmuje się nieprzerwanie przez 50 lat. Jego wykłady przykuwają uwagę, cieszą się uznaniem młodzieży dzięki właściwej Mu przystępności i umiejętności nawiązania kontaktu ze słuchaczami.

Uczestniczy z wielkim zaangażowaniem w działalności dydaktycznej, jest promotorem i recenzentem rozpraw doktorskich i habilitacyjnych, projektów naukowo-badawczych i książek.

Równocześnie pracuje w wielu instytucjach i organizacjach w Komitecie Badań Naukowych, Komitecie Problemów Energetyki Polskiej Akademii Nauk, Zespole Parlamentarnym Energetyki, Stowarzyszeniu Elektryków Polskich, w Polskich Komitetach CIGRE i Światowej Radzie Energetycznej, a także zagranicznych: w amerykańskich IEEE i IAEE oraz wielu innych.

Organizuje, kieruje i aktywnie uczestniczy w dziesiątkach konferencji naukowych i naukowo-technicznych, opracowuje referaty, formułuje końcowe wnioski. Cały swój dorobek naukowy i działalność na polach dydaktycznym i wystąpieniach publicznych podporządkowuje potrzebie użyteczności, starając się służyć swoją ogromną wiedzą specjalistyczną energetykom w taki sposób, aby otrzymując wiadomości o najwyższej klasie dorobku współczesności, mogli kształtować nasz polski system energetyczny i jego strategię rozwojową w kategoriach najwyższego stopnia bezpieczeństwa energetycznego kraju. Rozumiał światowe trendy rozwojowe branży, służył praktykom oceną ryzyka w perspektywie wieloletniej i wielopłaszczyznowej współpracy europejskiej.

Każdy sukces polskiej energetyki uważał za własny; cieszył się z każdego nowego źródła energii i z każdego nowego kilometra sieci.

Pomimo tak intensywnej działalności naukowej wiele czasu poświęcał rodzinie, był dostępny dla przyjaciół, uprawiał trudne hobby: nurkowanie morskie.

Dane Mu było żyć w ciekawych czasach, szedł trudną drogą, a swoje posłannictwo akademickie realizował z oddaniem i niezwykłą skromnością. W zgodzie z odziedziczoną po Ojcach tradycją, za przykładem swoich nauczycieli i misją Uczelni.

Nie, nie czynił tego dla honorów i poklasku, a służąc. Służąc najlepiej jak potrafił Ojczyźnie. „Dość patosu…".

Prof. dr hab. inż. Jacek Malko zmarł w lipcu 2015 r.

Żyje w pamięci swoich kolegów, współpracowników i studentów.

Zdzisław Kabza,
Józef Pękala

Gerard Lipiński, koordynator Programu strategicznego „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii", Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Zakończenie realizacji zadań badawczych strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii"

W 2015 r. zakończono trwającą od ponad pięciu lat realizację zadań badawczych strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii". Celem programu było: „Opracowanie rozwiązań technologicznych, których wdrożenie przyczyni się do zmniejszenia negatywnego wpływu sektora energetyki na środowisko. Rozwiązania te ułatwią ograniczenie emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz osiągnięcie celów UE określonych w Strategii 3x20 (poprawa efektywności energetycznej o 20%, zwiększenie udziału energii odnawialnej do 20% i redukcja emisji CO_2 o 20% w łącznym bilansie UE do 2020 r., w odniesieniu do 1990 r.)"[1].

Przegląd zrealizowanych w programie strategicznym zadań badawczych

Jako pierwsze już w kwietniu 2015 r., zakończone zostało zadanie badawcze nr 2 dotyczące technologii spalania tlenowego (oksyspalania) węgla, zrealizowane przez konsorcjum naukowo-przemysłowe pod przewodnictwem Politechniki Częstochowskiej. Było ono kierowane przez prof. dra hab. inż. Wojciecha Nowaka, obecnego dyrektora Centrum Energetyki AGH. Konsorcjum tworzyły także Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Instytut Energetyki, TAURON Wytwarzanie S.A., PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. (Elektrownia Turów) oraz Foster-Wheeler Polska Sp. z o.o. Wśród najciekawszych efektów programu warto zauważyć:

- badania pilotowej instalacji wychwytu CO_2 współpracującej z nowoczesnym blokiem energetycznym o mocy 460 MWe w Elektrowni „Łagisza" (rys. 1),
- wykonane studium wykonalności modernizacji klasycznego bloku klasy 200 MW z wykorzystaniem technologii oksyspalania,
- badania akceptowalności społecznej wychwytu i geologicznego składowania CO_2 (CCS).

Projekt ten był dedykowany głównie do obniżenia emisji CO_2 do powietrza, natomiast kwestie efektywności przemian energetycznych i udziału energii ze źródeł odnawialnych stanowiły jedynie margines prac badawczych.

Jako jedyne zadanie przeszło ono pozytywnie proces opiniowania merytorycznego raportu końcowego przed dniem napisania niniejszego artykułu, pozostałe zadania tego programu są w trakcie podobnych procesów.

Następnie w pierwszych dniach listopada została zakończona realizacja zadania badawczego nr 3, dotyczącego wytwarzania paliw z węgla kamiennego i brunatnego (zgazowania), którego liderem była Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, a kierownikiem - prof. nzw. dr hab. Andrzej Strugała. Konsorcjum wykonawców tworzyli także Politechnika Śląska, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Główny Instytut Górnictwa - PIB, Grupa Azoty oraz KGHM Polska Miedź, 3 spółki Grupy TAURON.

Rys. 1. Instalacja pilotowa wychwytu CO_2 na tle chłodni kominowej bloku 460 MW w Elektrowni „Łagisza" w Będzinie

W przypadku tego projektu najciekawszym efektem prac było przeprowadzenie eksperymentalnego zgazowania węgla w czynnej kopalni KWK „Wieczorek" w Katowicach (rys. 2). Eksperyment trwał nieprzerwanie przez ok. 60 dni. Oczywiście przed rozpoczęciem zgazowania zostały wydane niezbędne zezwolenia, w tym Wyższego Urzędu Górniczego. Profesjonalne przygotowanie procesu zgazowania zapewniło bezpieczeństwo personelu kopalni i innych zaangażowanych podmiotów, jak i okolicznej ludności. Monitorowano również zagrożenie środowiska. Eksperyment potwierdził możliwość bezpiecznego zgazowania w czynnej kopalni węgla kamiennego.

Demonstracyjne zgazowanie podziemne węgla może być przedmiotem kolejnego, odrębnego projektu badawczego w celu zweryfikowania wyników obliczeń wykonanych w zadaniu badawczym nr 3. Taki projekt mógłby być połączony z wytwarzaniem energii w źródle o mocy nawet ok. 20 MW. Poważnym wyzwaniem będą w takim przypadku niebezpieczne związki chemiczne powstające w procesach zgazowania (np. fenole, tlenek węgla).

Rys. 2. Fragment części naziemnej instalacji PZW - podziemnego zgazowania węgla (po lewej), pochodnia spalająca gaz procesowy ze zgazowania podziemnego na tle szybu KWK „Wieczorek" w Katowicach (po prawej)

Interesujące wyniki dała analiza wykorzystania procesów termicznego przekształcania węgla dla celów chemicznych, w szczególności do wytwarzania metanolu.

W projekcie priorytetem było ograniczenie emisji CO_2, wzrost niezależności energetycznej Polski z naciskiem na efektywne wytwarzanie paliw z węgla.

Z końcem listopada zakończono realizację zadania badawczego nr 1, którego głównym celem było zwiększenie sprawności wytwarzania energii w klasycznych blokach energetycznych zasilanych paliwami stałymi (węglem i biomasą toryfikowaną). Liderem była Politechnika Śląska, a kierował prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak. W konsorcjum znaleźli się także Politechnika Łódzka, Politechnika Wrocławska, Politechnika Krakowska, Politechnika Częstochowska AGH, IChPW, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 2 spółki grupy TAURON oraz RAFAKO S.A. Ostatnia z wymienionych firm jest zaangażowana w budowę kilku nowych bloków energetycznych, co pozwala na wykorzystanie wiedzy zdobytej w programie przy tych budowach, spełniając warunek wdrożenia wyników badań.

Projekt w największej części prac dotyczył wzrostu efektywności przemian energetycznych, pozostałe cele programu były realizowane bezpośrednio w czasie badań współspalania węgla z biomasą oraz badania nad technologiami CCS, w zakresie komplementarnym do badań w 2 zadaniu badawczym.

W projekcie zbadano wiele możliwości zmian w klasycznym bloku węglowym, których zastosowanie pozwoli zbliżyć się do „magicznej" granicy 50% sprawności dla wytwarzania energii elektrycznej. Dodatkowo znakomite efekty uzyskano w oczyszczaniu spalin z substancji szkodliwych, takich jak: pyły, tlenki siarki, tlenki azotu i rtęć (wraz z jej związkami). W przypadku trzech pierwszych - osiągnięcie wymagań ustanowionych w dyrektywie o emisjach przemysłowych (nr 2010/75/UE) nie stanowi najmniejszego problemu technicznego, chociaż wiąże się z koniecznością poniesienia kosztów. Natomiast dotychczasowe dane nt. emisji rtęci z krajowych elektrowni wskazują na konieczność zmniejszenia ilości emitowanej rtęci i jej związków dla ochrony zdrowia ludności, jak i ochrony środowiska naturalnego. W Polsce elektrownie węglowe są największym przemysłowym źródłem emisji rtęci i jej związków do powietrza (rys. 3). W 2013 r. wyemitowały blisko 80% spośród 3.324,8 kg rtęci zgłoszonej do europejskiego raportu EPRTR.

Wdrożenie wyników badań programu w zakresie ograniczenia emisji rtęci i jej związków będzie miało pozytywny wpływ na zdrowie ludności i odbierze najistotniejszy argument przeciwnikom energetyki węglowej. Można zauważyć, że kwestie emisji rtęci, traktowane do niedawna marginalnie, zostały dostrzeżone w pracach nad konkluzjami BAT (Best Available Techniques) dla dużych źródeł spalania, które powinny być przyjęte na podstawie wspomnianej dyrektywy o emisjach przemysłowych.

Bardzo ważnym wynikiem jest wykazanie wyjątkowo wysokiej opłacalności wykorzystania CO_2 do wspomagania wydobycia ropy naftowej spod dna morskiego.

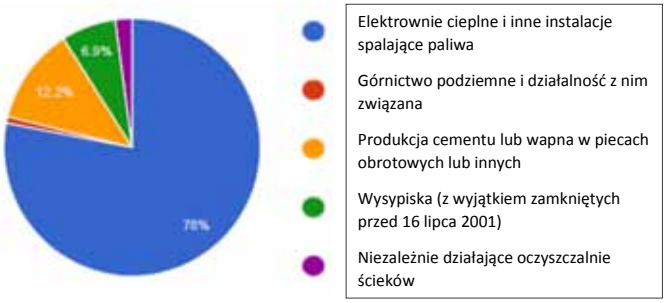
Ponadto w zadaniu badawczym nr 1 znalazł się element dotyczący badań współspalania biomasy toryfikowanej z węglem. Badania te dały pozytywne rezultaty, wskazując na zasadność wykorzystania toryfikacji współspalanej biomasy.

Również z końcem listopada zakończyła się realizacja zadania badawczego nr 4 przez konsorcjum Instytutu Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk im. Roberta Szewalskiego i ENERGA S.A., kierowane przez prof. dra hab. inż. Jana Kicińskiego. Projekt obejmował prace związane z badaniami technologii energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów. Prace tego konsorcjum byłyby niemożliwe bez wsparcia podwykonawców, w tym Politechniki Śląskiej, Politechniki Gdańskiej, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Instytutu Energetyki, Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i kilku innych instytucji. W ramach projektu przebadano technologie energetycznego wykorzystania biomasy, w tym niektóre rozwiązania dostępne na rynku. Spośród badanych własnych rozwiązań można zwrócić uwagę na badania mikroturbiny oraz strumienicowego układu wytwarzania chłodu. Interesująca też jest sama koncepcja realizacji projektu tworzona od strony dystrybucji i odbioru energii elektrycznej, do której dopasowywano mikroźródła. Taka koncepcja może być wykorzystywana w związku z zarządzaniem od strony popytu (*Demand Side Management* - DSM) oraz rozwojem tzw. sieci inteligentnych (Smart Grids).

Bardzo interesujące były wyniki badań wykorzystania ciepła ze źródeł o relatywnie niskiej temperaturze z zastosowaniem organicznych obiegów Rankine'a (ORC). Badania takie w komplementarnym zakresie wykonano w zadaniach badawczych nr 1 oraz nr 4.

Najważniejsze elementy zarządzania programem strategicznym wykorzystywane przez NCBR

NCBR, realizując swe zadanie ustawowe w zakresie strategicznych programów badań naukowych i prac rozwojowych, zarządzał w latach 2010-2015 realizacją ww. programu, przeznaczając na



Rys. 3. Emisja rtęci (Hg) i jej związków do powietrza w 2013 r., pochodząca z największych źródeł przemysłowych w Polsce (źródło EPRTR)[2]

dofinansowanie blisko 300 mln zł. Przedsiębiorcy dołożyli do projektów w tym czasie ponad 60 mln zł, obejmujące znaczący wkład finansowy i rzeczowy.

Podstawą oceny realizacji prac były analizy raportów okresowych i końcowych. Raporty okresowe były oceniane merytorycznie przez Koordynatora Programu, a następnie przez Komitet Sterujący Programu. Umożliwiało to spójność i ciągłość logiczną, a także ułatwiało wprowadzanie optymalnych zmian w zadaniach badawczych. Podczas oceny raportów końcowych procedura Centrum przewidywała zastąpienie oceny Koordynatora oceną niezależnego eksperta.

Bardzo istotnym elementem wsparcia prawidłowej realizacji programu, szczególnie w końcowej jego fazie, były wizytacje przedstawicieli NCBR (Członków Komitetu Sterującego i Koordynatora Programu) w obiektach zbudowanych, zmodernizowanych oraz wykorzystywanych podczas realizacji poszczególnych zadań (instalacjach pilotowych, demonstracyjnych, laboratoriach, itp.). Stanowiły one forum wymiany doświadczeń, wskazując na dalsze kierunki badań.

Jednocześnie podczas wizyt wykonawcy przedstawili podsumowania i osiągnięte wyniki, co było istotnym elementem do oceny faktycznego stanu zawansowania realizacji projektów.

Szczegółowe informacje o wizytach dostępne są na stronie internetowej NCBR.

Centrum przeprowadziło kontrole w zadaniach badawczych 1, 2 i 4, w latach 2012-2015 oraz ewaluację śródokresową midterm zakończoną w 2013 r.

W latach 2012 i 2014 na cyklicznej imprezie Forum Energetyków odbywały się sesje dotyczące programu, zapewniano także patronat i informacje (artykuły) przedstawiciela Centrum.

Ważnym elementem było „katalizowanie" promocji wyników programu na forum międzynarodowym. Program był prezentowany podczas realizacji projektów w Tokio, Sarajewie, Wiedniu, Ankarze oraz Stambule. Na zakończenie jego wyniki zostały przedstawione w Paryżu podczas konferencji klimatycznej COP 21 w grudniu 2015 r.

Zainteresowanie wynikami programu wyraził między innymi wysoki rangą przedstawiciel Zjednoczonych Emiratów Arabskich dr Rashid bin Fahad - Minister Środowiska i Wody, odwiedzając we wrześniu 2015 r. Instytut Energetyki w Warszawie.

Efekty prac programu na bieżąco obserwowali wchodzący w skład powołanego w NCBR Komitetu Sterującego programu przedstawiciele Ministerstw: Gospodarki, Środowiska oraz Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W działania upowszechniające wyniki dotychczas włączyły się bardzo aktywnie MG i MŚ, a w grudniu 2015 r. swe zainteresowanie wyraziło nowopowstałe Ministerstwo Energetyki.

Wnioski z realizacji programu strategicznego „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii", Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Wszystkie cele programu zostały zrealizowane, o czym świadczą zarówno opracowane, konkretne rozwiązania technologiczne, jak i osiągnięcie planowanych wartości docelowych wskaźników rezultatu w zakończonych projektach.

Wyniki programu mogą być (i częściowo już są) wykorzystywane do zwiększenia efektywności wytwarzania energii, wzrostu udziału energii ze źródeł odnawialnych oraz zmniejszenia emisji CO_2 do atmosfery. Dodatkowym efektem jest wykorzystywanie efektów prac do zmniejszenia emisji do powietrza szkodliwych substancji, takich jak: pyły, tlenki siarki i tlenki azotu, a w przyszłości także rtęć.

Rozwiązania technologiczne opracowane w programie dają podstawy do wytwarzania energii z węgla kamiennego, brunatnego, jak i z biomasy w sposób zapewniający mniejszą emisję zanieczyszczeń do powietrza. Szczególnie ważne są osiągnięcia w zakresie zmniejszania emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki. Działania te mogą być wykorzystane zarówno przy modernizacji elektrowni już istniejących (tzw. refurbishment), jak i budowie nowych bloków energetycznych. Potencjalne zastosowanie tych rozwiązań jest zarówno w Polsce, jak i innych krajach Europy Środkowej, Południowej i Wschodniej oraz Azji. W związku z powyższym wyniki programu doskonale wpisują się w kierunki rozwoju polityki energetycznej Polski.

W Polsce południowej funkcjonuje zespół uczelni, instytutów i przedsiębiorstw o bardzo mocnej pozycji w skali co najmniej europejskiej, zajmujących się czystymi technologiami węglowymi.

Podczas prac programu powstał szereg rozwiązań i produktów innowacyjnych, w ramach raportów końcowych z ZB-1, ZB-2 i ZB-3 dostarczono do NCBR potężne katalogi produktów będących efektami zrealizowanych projektów.

W wyniku realizacji programu w latach 2014 i 2015 rozwinęła się znacząco współpraca pomiędzy wykonawcami poszczególnych zadań w ramach Programu (uczelnianych i przemysłowych zespołów badawczych), w szczególności można było to zaobserwować w komplementarnych zadaniach badawczych nr 1 i nr 2. Współpracy takiej nie można było formalnie narzucić, a mimo to udało ją się wypracować, przez co program funkcjonował jako całość, a nie jako cztery odrębne projekty.

Wzajemne zaufanie partnerów przemysłowych i naukowych budowane podczas realizacji zadań badawczych, w tym realizowanych na instalacjach przemysłowych (przede wszystkim w KWK „Wieczorek", Elektrowni „Łagisza" i Elektrowni „Łaziska") skutkowało realizacją coraz bardziej zaawansowanych badań. W związku z tym np. w zadaniu badawczym 3 znacząco zwiększono wkłady rzeczowe partnerów przemysłowych.

□

1) http://www.ncbr.gov.pl/programy-strategiczne/zaawansowane-technologie-pozyskiwania-energii/
2) Dane Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska http://prtr.ec.europa.eu/#/pollutantreleases

prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Tadeusz Chmielniak, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, Tadeusz.Chmielniak@polsl.pl

Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin

Podstawowym celem całego programu strategicznego „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii" jest wspomaganie realizacji w Polsce strategii nowej polityki energetycznej Unii Europejskiej, której głównymi celami są: zwiększenie efektywności technologii generacji energii, zredukowanie emisji CO_2 z technologii energetycznych oraz zwiększenie udziału energii odnawialnej w wytwarzaniu paliw i energii.

Wyodrębniono w nim 4 zadania, z których pierwsze: opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin, miało na celu:

- opracowanie i weryfikację nowych koncepcji wzrostu sprawności obiegu siłowni kondensacyjnych (w tym o najwyższych ultra-nadkrytycznych parametrach pary),
- opracowanie i sprawdzenie w skali pilotowej procesów wychwytu CO_2 ze spalin,
- znalezienie rozwiązań technologicznych dla redukcji strat sprawności spowodowanych usuwaniem CO_2 ze spalin.

Harmonogram realizacyjny obejmował 34 etapy (30 sformułowano na początku programu, 4 wyodrębniono w aneksie przedłużającym projekt dla dokończenia szczególnie intersujących badań, głównie eksperymentalnych).

W realizacji projektu uczestniczyły zespoły badawcze z następujących instytucji naukowych i przemysłowych: Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska, Politechnika Częstochowska, Politechnika Krakowska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Południowy Koncern Energetyczny S.A. (Tauron Wytwarzanie), Fabryka Kotłów Rafako SA, EUROL Innovative Technology Solutions Sp. z o.o. Skupiają one wybitnych badaczy w zakresie technologii, maszyn i urządzeń energetycznych, termodynamiki, chemii węgla, procesów spalania, inżynierii procesowej, inżynierii materiałowej, metod i systemów pomiarowych, analiz numerycznych i eksperymentalnych w zakresie wytrzymałości materiałów i trwałości konstrukcji oraz dynamiki systemów elektroenergetycznych.

Złożoność badanych technologii i procesów wymagało zastosowania w szerokim zakresie metod eksperymentalnych, analitycznych i numerycznych. W badaniach eksperymentalnych główną uwagę poświęcono realizacji pełnego cyklu badawczego, obejmującego na ogół podstawowe badania laboratoryjne procesów, badań eksperymentalnych w większej skali (ułamkowo-technicznej) i w skali pilotowej. Dobrym przykładem są tu badania separacji CO_2 ze spalin oraz nowych koncepcji odsiarczania spalin. Rozwiązanie części zadań wymagało przygotowania i przeprowadzenia badań na obiektach rzeczywistych (instalacjach pracujących bloków), co jest zawsze dużym wyzwaniem w projektach naukowych. Jednym z celów projektu było opracowanie modeli złożonych procesów i technologii energetycznych i przeprowadzenie z ich wykorzystaniem szerokich analiz parametrycznych i optymalizacyjnych. Główne założenia, cele i strukturę Programu przedstawiono w wielu artykułach, w tym w opracowaniach (Chmielniak, Łukowicz 2012, Chmielniak, 2014, Chmielniak, 2015). W niniejszym artykule skupiono uwagę na głównych wynikach projektu.

Krótka charakterystyka wyników

Cel 1. Opracowanie i weryfikacja nowych koncepcji wzrostu sprawności obiegu siłowni kondensacyjnych (w tym o najwyższych ultra-nadkrytycznych parametrach pary)

Wzrost sprawności musi być rozpatrywany nie tylko jako źródło poprawy efektywności techniczno-ekonomicznej istniejących i nowych bloków, ale także jako naturalny sposób ograniczenia emisji szkodliwych substancji, w tym CO_2. Z tego powodu zagadnienie to obok poprawy dyspozycyjności i elastyczności cieplnej - jest bardzo istotne dla dalszego upowszechnienia węglowych bloków kondensacyjnych i elektrociepłowni rozpatrywanych zarówno bez, jak i z instalacjami CCS.

Rozpatrywane w projekcie koncepcje wzrostu sprawności były sprawdzane dla bloku referencyjnego (sprawność brutto ok. 50%), dla którego wyspę kotłową opracowało Rafako, a zarys analizy konstrukcyjnej turbiny i układu chłodzenia - Politechnika Śląska.

Podstawowe parametry ekologiczne:

- Emisja CO_2 poniżej 660 g/kWh
- SCR - emisja NO_x - 100 mg/mn^3, przy CCS - 30 mg/mn^3,

- IOS - emisja SO_2 - 100 mg/mn^3 przy CCS - 25 mg/mn^3 ,
- Stężenie pyłu za elektrofiltrem - 30 mg/mn^3 przy CCS - 10 mg/mn^3,
- Stężenie pyłu za IOS - 10 mg/mn^3 przy CCS - 5 mg/mn^3,
- Stężenie CO <100 mg/mn^3.

W trakcie realizacji projektu pojawiły się nowe możliwości wytwarzania elementów kotłowych z materiałów HR6W oraz Alloy 617mod. Stwierdzono, że umożliwia to podniesienie temperatury pary świeżej i wtórnie przegrzanej o 20°C (w stosunku do wartości przyjętych pierwotnie), czyli do wartości:

- temperatura pary pierwotnej 673/670°C,
- temperatura pary wtórnej przy WMT 692/690°C.

Stanowi to istotny postęp w stosunku do aktualnie budowanych bloków na parametry nadkrytyczne (para świeża/para wtórna 600 (610)/610 (620)°C).

Istotnym obszarem badań, gwarantujących uzyskanie postępu w konstrukcji kotłów i turbin nowej generacji były badania materiałowe. Dotyczyły one różnych klas materiałów, zarówno kotłowych, jak i turbinowych. Badania pozwoliły na istotne rozszerzenie bazy danych o własnościach mechanicznych materiałów, w tym własnościach niezbędnych do określania stanów wytrzymałościowych modułów konstrukcyjnych w różnych stadiach eksploatacji (w tym w procesach uruchomień). Ich znaczenie ma wagę międzynarodową. Stanowią one ważny etap rozwoju polskich konstrukcji maszyn i urządzeń energetycznych. Ważnym obszarem badań było także poszukiwanie nowych technik i metod diagnostycznych. Główny cel prowadzonych badań to opracowanie systemu nieniszczącej oceny stanu materiału elementów maszyn energetycznych. Skupiono się na metodach opartych na zmianach poziomu namagnesowania elementów, zmianach efektu Barkhausena oraz metodzie badań tłoczenia małych próbek (small punch test SPT). Założono, iż wzajemne uzupełnianie się tych metod pozwoli na wystarczająco dokładne dla praktyki przemysłowej określenie rozkładu naprężeń i deformacji oraz stopnia zużycia elementów.

W badaniach różnych rozwiązań służących doskonaleniu struktury obiegu rozważano wiele wariantów wykorzystania ciepła odpadowego ze spalin: do podgrzania czynnika w układzie regeneracji turbiny, jako źródło ciepła w obiegu ORC oraz do suszenia węgla brunatnego podawanego do kotła, a także koncepcję przegrzewu wewnętrznego. Prowadzono analizy numeryczne i badania eksperymentalne, w tym na obiektach rzeczywistych (Blok w Elektrowni Bełchatów). Istotnym obszarem poszukiwania dodatkowych efektów sprawnościowych jest analiza procesów wymiany ciepła w skraplaczu i jego współpraca z chłodnią kominową. W Projekcie poświęcono temu zagadnieniu wiele uwagi, wskazując na efekt rzędu 1-1.4

W polityce ograniczenia emisji CO_2 w procesie generacji elektryczności z paliw kopalnych ważną rolę może spełnić nowa generacja węglowych bloków kondensacyjnych pracujących z istotnie nadkrytycznymi parametrami pary. W projekcie przeprowadzono rozległe studia i analizy dotyczące bloku 50+ o parametrach pary 35MPa/700ºC/720ºC. Ich wprowadzenie do eksploatacji umożliwiłoby ograniczenie emisji CO_2 do poziomu 650 g/kWh, co miałoby ważne konsekwencje i znaczenie dla budowy instalacji separacji tego gazu.

Cel 2. Opracowanie i sprawdzenie w skali pilotowej procesów wychwytu CO_2 ze spalin

Opracowano i wykonano mobilną instalację demonstracyjną wychwytu CO_2 (200 nm^3/h). Przeprowadzono rozległe badania pilotowe procesu usuwania CO_2 ze spalin kotła węglowego z wykorzystaniem tej instalacji w Elektrowni Łaziska i Elektrowni Jaworzno dla różnych klas sorbentów. Przeprowadzono około 30 kampanii badawczych. Łączny czas pracy instalacji przekracza 1600 h, a ilość wychwyconego CO_2 60 000 kg. Ważnym zadaniem było także poszukiwanie nowych mniej energochłonnych i bardziej stabilnych sorbentów. Wynikiem na skalę istotnych osiągnięć w tym zakresie jest uzyskanie rozpuszczalnika o energochłonności mniejszej niż 3 MW/ kg;s.

Uzyskane wyniki obok walorów poznawczych mają istotne znaczenie dla przygotowania założeń procesowych budowy instalacji wychwytu CO_2 ze spalin w skali demonstracyjnej, dla spełnienia warunków capture ready dla przygotowywanych i będących w budowie bloków węglowych oraz dla przygotowania nowych klas bloków (50+), a także dla przygotowania kadr przemysłowych i naukowych koniecznych do wprowadzenia do eksploatacji instalacji wychwytu i transportu CO_2. W badaniach uczestniczyły instytucje przemysłowe (Tauron PKE S.A., Tauron Polska Energia S.A, Rafako SA).

W mniejszej skali badano metody separacji membranowej, adsorpcyjnej i akustycznej. Wyniki zaowocowały opracowaniem w tym zakresie kilku patentów.

Z problematyką separacji CO_2 ściśle łączą się przeprowadzone w projekcie badania zmniejszenia emisji tlenków siarki i azotu. W projekcie sprawdzano dwie podstawowe nowe koncepcje usuwania związków siarki ze spalin i redukcji tlenków azotu w spalinach. Pierwsza z nich dotyczyła określenia efektywności procesu odsiarczania przez dodawanie kwasu cytrynowego. Metoda ta była sprawdzona na dwóch obiektach rzeczywistych (bloki 200 MW) przez Tauron Wytwarzanie S.A. W drugim wypadku zrealizowano program badań, który wykazał możliwość obniżeniu stężenia zanieczyszczeń: NO_x, SO_2, pyłu i rtęci w spalinach do planowanego poziomu dla 6% O_2 w spalinach: $NO_x \leqslant 30$ mg/mu^3, $SO_2 \leqslant 30$ mg/mu^3, pył $\leqslant 5$ mg/mu^3, rtęć $\leqslant 0{,}5$ mg/mu^3. Badania wykonano w pilotowej instalacji WAWO-2 podłączonej do kanału spalin kotła OP-430, z którego pobierano do badań strumień o objętości spalin 200 mu^3/h.

Cel 3. Integracja instalacji wychwytu z obiegiem cieplnym siłowni (grupa tematyczna VI).

W projekcie przyjęto, że projektowana siłownia zostanie zintegrowaniu z instalacją separacji CO_2 metodą absorpcji chemicznej. Sorbentem stosowanym w tej instalacji będą aminy o różnej wartości energochłonności. Rozważano również zastosowanie amoniaku. Absorpcja chemiczna wymaga doprowadzenia znacznych ilości ciepła potrzebnego do

regeneracji sorbentu. Użycie aminy o energochłonności 3,5 MJ/kgCO_2 powoduje, że około 32% ciepła dostarczonego do czynnika obiegowego w kotle musi zostać skierowane do instalacji separacji dla bloku opalanego węglem kamiennym. W przypadku węgla brunatnego udział ten wynosi 39%.

Rozpatrywano szereg opcji integracji instalacji CCS z obiegiem cieplnym. W szczególności badano różne koncepcje poboru pary do regeneracji rozpuszczalnika. Analiza parametryczna dla różnych stanów eksploatacyjnych była prowadzona głównie w kontekście siłowni capture ready. Badania uzupełniono studiami technologicznymi i topologicznymi.

Wyniki mają podstawowe znaczenie dla obniżenia energochłonności procesu separacji CO_2 i modernizacji polskiej energetyki przy zastosowaniu tych instalacji do istniejących i nowych bloków.

Uwagi końcowe

Zagadnienia rozpatrywane w zadaniu 1 projektu mają znaczenie dla rozwoju węglowych technologii energetycznych zarówno w krótkiej, średniej, jak i długiej perspektywie czasowej. W okresie krótko- i średnioterminowym uzyskane wyniki powinny umożliwić wzrost sprawności, niezawodności i elastyczności cieplnej bloków dużej mocy (co ma istotne znaczenie dla szerszego wprowadzenia źródeł odnawialnych do systemu energetycznego) przy jednoczesnym spełnieniu wymogów ochrony środowiska, a w długoterminowym radykalne ograniczenie emisji dwutlenku węgla w siłowniach węglowych. W tym ostatnim przypadku ważne znaczenie będą miały wyniki uzyskane w projekcie mobilnych instalacji pilotowych usuwania CO_2 oraz opracowane koncepcje technologiczne i konstrukcyjne dotyczące elektrowni capture ready. Szczegółowe wyniki badan ujęto w następujących monografiach:

1. Odzysk i zagospodarowanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego ze spalin wylotowych. Red. Wójs. K. PWN Warszawa 2015,
2. Maszyny i urządzenia energetyczne węglowych bloków na wysokie parametry pary. Red.: Chmielniak T., Rusin A.. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
3. Wybrane aspekty eksploatacji i diagnostyki bloków energetycznych nowych generacji. Red. RUSIN. A. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
4. Rusin A., Wojaczek A.: Wspomaganie planowania gospodarki remontowej oparte na analizie niezawodności i ryzyka technicznego. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
5. Modelowanie i optymalizacja bloków węglowych z wychwytem CO_2. Red. Chmielniak T., Łukowicz H.. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
6. M. Roskosz; Wykorzystanie własnego magnetycznego pola rozproszenia w diagnostyce elementów ferromagnetycznych Gliwice 2015,
7. T.Chmielniak, S. Lepszy, D. Czaja: Instalacje turbiny gazowej w energetyce. I przemyśle. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
8. Witkowski, A. Rusin, M. Majkut, S. Rulik, K. Stolecka: Advances in Carbon Dioxide Compression and Pipe Line Transportation Processes. Springer 2015,
9. Absorpcyjne usuwanie ditlenku węgla ze spalin kotłowych. Red. M.Ściążko, L. Więcław Solny. Wyd. ICHPW Zabrze 2015,
10. A. Hernas, J. Dobrzański, J. Pasternak, S. Fudali (Red. HERNAS A.): Charakterystyki nowej generacji materiałów dla energetyki. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
11. J. Kotowicz, Ł. Bartela, A. Skorek-Osikowska: Analizy bloku kogeneracyjnego na parametry nadkrytyczne zintegrowanego z instalacją separacji CO_2. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2014,
12. J. Kotowicz, K. Janusz-Szymańska, G. Wiciak: Technologie wychwytu dwutlenku węgla ze spalin dla nadkrytycznego bloku węglowego. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015,
13. L. Remiorz: Badania numeryczne i eksperymentalne akustycznej separacji CO_2. Wyd. Pol. Śląskiej Gliwice 2015 oraz w merytorycznych raportach szczegółowych z realizacji poszczególnych etapów.

Literatura

Chmielniak T., Łukowicz H.: Wysokosprawne „zero-emisyjne" bloki węglowe zintegrowane z wychwytem CO_2 ze spalin. Polityka Energetyczna, Tom 15 (zeszyt 3) 2012.

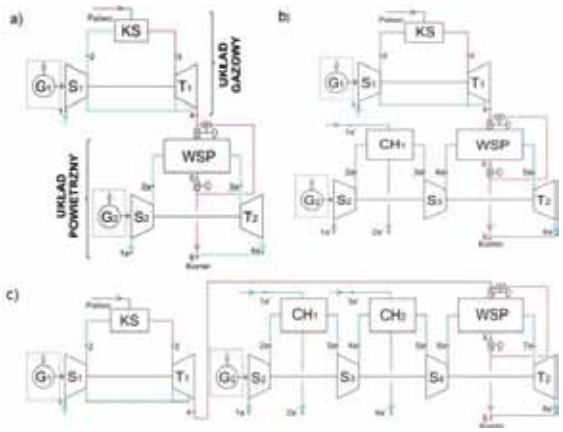
Chmielniak T.: Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin. Zadanie 1 Projektu Strategicznego Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii. Nowa Energia 1(37)2014.

Chmielniak T.: Opracowanie technologii dla wysoko sprawnych „zero-emisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin. Koncepcja i główne wyniki badań. Polityka Energetyczna - Energy Policy Journal 2015² Tom 18 ² Zeszyt 3 ² 75-86.

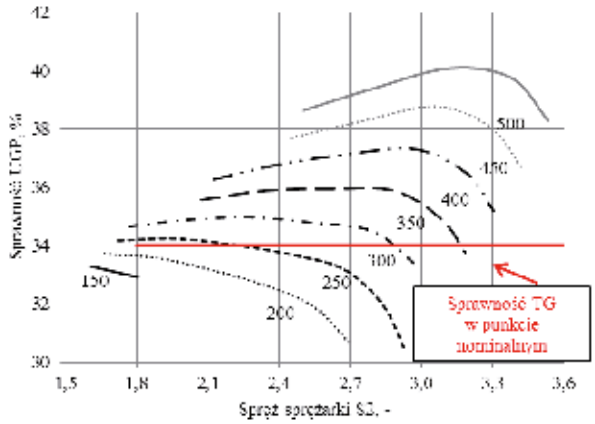
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Tadeusz Chmielniak, dr inż. Sebastian Lepszy,
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, sebastian.lepszy@polsl.pl

Analizy techniczno-ekonomiczne układów gazowo-powietrznych

Wykorzystanie energii słońca i wiatru może w przyszłości spowodować wzrost zapotrzebowania na instalacje będące w stanie szybko reagować na zmiany obciążenia w sieci elektroenergetycznej. Motywacją przeprowadzonych w projekcie badań i analiz układów gazowo-powietrznych było poszukiwanie układów o charakterystyce podobnej do zespołu turbiny gazowej w zakresie szybkości zmian obciążenia i jednocześnie charakteryzujących się większymi wartościami sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Układy gazowo-powietrzne wykorzystujące w swej strukturze jednostkę turbiny gazowej oraz człon powietrzny mogą być racjonalnym rozwiązaniem konkurującym z układami gazowo-parowymi w zakresie małych i średnich mocy. Uzyskane wyniki mogą być przydatne w przedwstępnych analizach układów energetycznych w szczególności zorientowanych na pracę przy zmiennym obciążeniu.



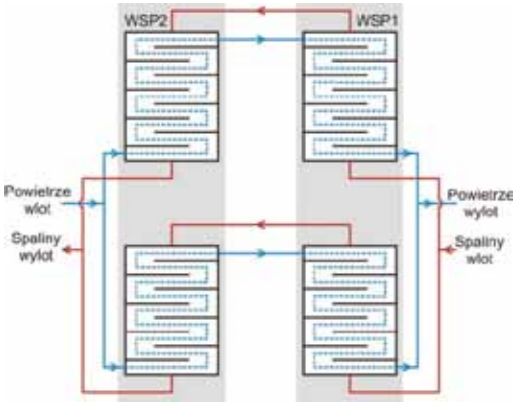
Rys. 1. Schematy blokowe analizowanych układów gazowo-powietrznych (a - układ bez chłodzenia międzystopniowego; b - układ z jedną chłodnicą międzystopniową, c - układ z dwoma chłodnicami międzystopniowymi)



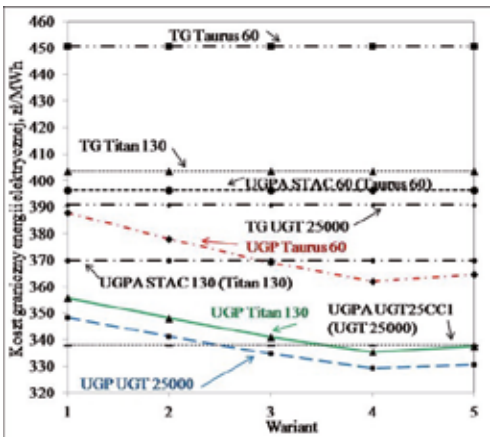
Rys. 2. Sprawność układu gazowo-powietrznego w funkcji sprężu sprężarki i temperatury podgrzanego powietrza dla układu z dwoma chłodnicami międzystopniowymi powietrza

Przeprowadzone badania i analizy

Przeprowadzone badania i analizy miały na celu określenie potencjału zastosowań układów gazowo-powietrznych. Szczegółowe rezultaty obejmowały: wstępne porównanie charakterystyk układów o różnej strukturze (rys. 1), szczegółowe charakterystyki energetyczne wybranych układów (obieg z członem ciepłowniczym, praca układu przy zmiennym obciążeni - rys. 2), opisy konstrukcji wymienników ciepła (rys. 3), wstępne analizy ekonomiczne (porównanie z układami gazowo-parowymi - rys. 4).



Rys. 3. Schemat przepływu powietrza i spalin w wymienniku



Rys. 3. Schemat przepływu powietrza i spalin w wymienniku

dr inż. Daniel Węcel, dr inż. Włodzimierz Ogulewicz, prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz
daniel.wecel@polsl.pl

Wykorzystanie technologii wodorowych do magazynowania energii z OZE

Streszczenie: W artykule zaprezentowano aspekty związane z wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznych przyłączanych do sieci elektroenergetycznej oraz możliwości magazynowania wytwarzanej energii w celu zbilansowania produkcji energii elektrycznej i potrzeb odbiorcy. Jako sposób magazynowania energii przyjęto produkcję wodoru w elektrolizerach wody bezpośrednio przyłączonych do baterii ogniw fotowoltaicznych. Założono, że wodór będzie przechowywany w niskociśnieniowych zbiornikach wykorzystujących technologię wodorków metali, a energia elektryczna będzie produkowana w ogniwach paliwowych w zależności od zapotrzebowania. Przedstawiono wybrane zagadnienia i wyniki badań związane z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych do zasilania generatorów wodoru. Przeanalizowano warianty połączeń modułów fotowoltaicznych z elektrolizerami i określono możliwą sprawność całego procesu magazynowania energii.

dr hab. inż. prof. nzw. Marek Ściążko, dr inż. Lucyna Więcław-Solny, mgr inż. Adam Tatarczuk, mgr inż. Aleksander Krótki, mgr inż. Janusz Tchórz[1], mgr inż. Janusz Zdeb[1]
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Tauron Wytwarzanie[1], tatarczuk@ichpw.pl, msc@agh.edu.pl

Absorpcja chemiczna jako najbardziej obiecująca metoda obniżenia emisji CO_2 z krajowych bloków węglowych

W latach 2013-2015 zespół badawczy IChPW-TAURON przeprowadził w skali pilotowej badania procesu usuwania CO_2 ze spalin pochodzących z pracujących bloków energetycznych opalanych węglem, odpowiednio w Elektrowni Łaziska (2013 i 2015) oraz w Elektrowni Jaworzno II (2014), należących do Tauron Wytwarzanie S.A.

Przeprowadzono kilkadziesiąt kampanii badawczych o łącznej długości ponad 2000 godz., dowodząc skuteczności tej technologii w różnych warunkach i wariantach technologicznych, osiągając sprawności procesu wychwytu sięgającą 90%. Dzięki zastosowaniu zaawansowanej modyfikacji procesowych udało się potwierdzić eksperymentalnie możliwość obniżenia energochłonności procesu o około 15% w stosunku do rozwiązania klasycznego. Zastosowanie absorbentu wytypowanego na etapie badań laboratoryjnych, pozwoliło na dalsze obniżenie zużycia energii w procesie. W konsekwencji, po dobraniu optymalnych warunków pracy dla nowego roztworu, uzyskano eksperymentalnie wartość wskaźnika zużycia energii na poziomie 3,16 MJ/kg CO_2, co jest wynikiem porównywalnym do oferowanych komercyjnie technologii usuwania CO_2. Instalacja zostanie wykorzystana także do testowania metod zagospodarowania wychwyconego CO_2 w skali pilotowej.

Przeprowadzone badania stanowią nieodzowny punkt odniesienia w procesie skalowania instalacji wychwytu CO_2, dlatego też wykorzystano je w trakcie opracowywania założeń dla przemysłowych instalacji demonstracyjnych wychwytu CO_2 ze spalin o wydajności odpowiadającej mocy bloku 250 MWe. Instalacje takie mają stanowić wg KE narzędzie w walce z emisją CO_2 z procesów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła opartych na paliwach kopalnych.

Pozyskana wiedza stanowi ważny element w rozwoju rozwiązań niskoemisyjnych bloków węglowych wyposażonych w instalacje usuwania CO_2 ze spalin. Informacje dotyczące rozwiązań technicznych aparatów, wymagań materiałowych dla tego typu instalacji, wielkości strumieni mediów energetycznych pozwalają na uwzględnienie ich w nowoprojektowanych blokach energetycznych, zmniejszając ryzyko technologiczne i ekonomiczne procesu inwestycyjnego.

prof. Andrzej Rusin[1], prof. Tadeusz Chmielniak[1], prof. Janusz Dobrzański[2], dr hab. Grzegorz Nowak[1],
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych[1], Instytut Metalurgii Żelaza[2], Politechnika Śląska, andrzej.rusin@polsl.pl

Badania nowych materiałów i optymalizacja konstrukcji turbin

Rozwój technologii wysokosprawnych bloków energetycznych pracujących z czynnikiem o nadkrytycznych parametrach pary wymusza postęp w konstrukcji elementów kotłów i turbin, w tym w szczególności postęp w opracowywaniu nowych materiałów odpornych na wysokotemperaturowe procesy zużycia. Wśród materiałów proponowanych na wirniki nowych generacji turbin są stale o zawartości 9-12% chromu, takie jak: stal 9Cr-1,5Mo-1Co-0,3V-NbBN z dodatkami Co, Mo i V oraz mikrododatkami Nb, B i N oraz stal X12CrMoWVNbN10-1-1 zawierającą dodatki W, Mo, V oraz mikrododatki Nb i N. Stale te powinny zapewnić odpowiednią spawalność, wysokie własności wytrzymałościowe w wysokich temperaturach, odpowiednią plastyczność, a także wysoką odporność na pełzanie i żaroodporność w temperaturach 620°C i wyższych. Badania podstawowych własności wytrzymałościowych, a także przyspieszone próby pełzania tych stali przeprowadzono na próbkach wyciętych z fragmentów odkuwek przeznaczonych na wirniki. Granica plastyczności stali 9Cr-1,5Mo-1Co-0,3V-NbBN zmienia się od wartości 691 MPa w temperaturze otoczenia do wartości 350 MPa w temperaturze 650°C, a dla stali X12CrMoWVNbN10-1-1 od 782 MPa do 364 MPa. Badano wpływ anizotropii na własności stali wirnikowych. Stwierdzono istnienie kilkuprocentowego rozrzutu własności wytrzymałościowych, ale przy małej korelacji tych własności z kierunkami wyciętych próbek. Badano także wpływ dodatkowej obróbki cieplnej na własności tych stali. Stwierdzono, że zabieg ten poprawia ich udarność. Przyspieszone próby pełzania prowadzone w podwyższonych temperaturach pozwoliły ustalić minimalne szybkości pełzania oraz dopuszczalne poziomy naprężeń dla zadanego oczekiwanego czasu eksploatacji wirników. W ramach badań dotyczących optymalizacji konstrukcji nowych generacji turbin przeprowadzono optymalizację kształtu wybranych węzłów konstrukcyjnych wirników takich jak np.: wręby łopatkowe, krzywizny komór wewnętrznych. Uzyskane rozwiązania zapewniają znaczący spadek poziomu naprężeń w wirnikach, a tym samym zwiększają jego trwałość. Obniżenie poziomu naprężeń w elementach w nieustalonych fazach pracy turbiny można również uzyskać poprzez optymalizację sposobów nagrzewania. Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie optymalnych charakterystyk rozruchowych turbin. Zaproponowano również algorytmy monitorowania w trybie online stanu naprężeń w głównych elementach turbiny.

prof. dr hab. inż. Andrzej Witkowski, dr inż. Mirosław Majkut, Politechnika Śląska, andrzej.witkowski@polsl.pl

Proces sprężania i transportu CO_2 wychwyconego ze spalin Instalacji Demonstracyjnej DCCP-250 MW w Elektrowni „Łaziska" do sztolni w Niepołomicach

Przeprowadzono kompleksowe ujęcie problemu transportu dużych ilości CO_2 wychwyconego ze spalin Instalacji Demonstracyjnej DCCP-250 MW z Elektrowni Łaziska do miejsca składowania w sztolni w Niepołomicach uwzględniające:

- dobór ekonomicznego procesu sprężania CO_2 do stanu nadającego się do transportu rurociągowego,
- dobór optymalnych parametrów transportu rurociągowego,
- określenie maksymalnych długości odcinków rurociągu, po przebyciu których niezbędne jest zainstalowanie stacji dmuchaw lub pomp uzupełniających straty ciśnienia na drodze transportu,
- warunki wtrysku do odpowiednich formacji geologicznych przewidzianych do składowania,
- analizę kosztów inwestycyjnych, eksploatacyjnych oraz konserwacji sprężarek i pomp.

Przeanalizowano dwie wersje procesów sprężania: w pierwszej wersji dobrano ośmiostopniową promieniową sprężarkę przekładniową z ośmioma chłodnicami międzystopniowymi pracującą przy następujących parametrach: p_1=1.7 bar, t_1=40°C, m=47.4 kg/s, p_2=140 bar, t_2=400°C. Moc wewnętrzna sprężarki, N_i=16563.9 kW.

W drugiej wersji zaproponowano sześciostopniową promieniową sprężarkę przekładniową współpracującą z pompą z pompowaniem nadkrytycznym. W tej wersji procesu sprężania zapotrzebowanie mocy wynosi N_i=15767.6 kW i jest o około 5% mniejsze od zapotrzebowania mocy w wersji pierwszej, natomiast koszt sprężania jest mniejszy o około 12.3%. Oba procesy sprężania o ciśnieniu końcowym 140 bar zapewniają ciśnienie CO_2 powyżej 9 MPa determinujące stan „gęsty" czynnika w każdym odcinku rurociągu.

Przewidziano transport rurociągiem bez izolacji o średnicy wewnętrznej 0.25 m, zapewniającej zalecaną prędkość transportowanego czynnika na całej długości mieszczącą się w granicach 1-2 m/s.

prof. Andrzej Rusin, dr hab. Maciej Roskosz, dr inż. Michał Bieniek, mgr Krzysztof Fryczowski, dr Adam Wojaczek
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, andrzej.rusin@polsl.pl

Nowe techniki i metody diagnostyki materiałowej maszyn energetycznych

Głównym celem badań było opracowanie systemu nieniszczącej oceny stanu materiału elementów maszyn energetycznych. Rozwijano metody oparte na zmianach poziomu namagnesowania elementów, zmianach efektów Barkhausena oraz metodę badań tłoczenia mikropróbek SPT. Określono możliwości wykorzystania własnego magnetycznego pola rozproszenia (WMPR), jako sygnału diagnostycznego niosącego informacje o stanie mikrostruktury, wytężeniu i zużyciu elementu. Na podstawie analizy WMPR możliwa jest identyfikacja stref koncentracji naprężeń oraz ocena stopnia tej koncentracji. Analizowano możliwości ilościowego określania poziomu naprężeń własnych w elementach ze stali ferromagnetycznych, a także identyfikacji obszarów odkształconych plastycznie o najwyższym poziomie zużycia zmęczeniowego. Wykazano istnienie ilościowych relacji pomiędzy naprężeniami czynnymi a wielkościami opisującymi szum Barkhausena, a także zastosowanie polowego efektu Barkhausena do oceny stanu zaawansowania procesów pełzania. Wykazano, że sygnałem diagnostycznym mogą być maksymalne amplitudy składowych widma FFT, pola koercji Hc i energii szumu Barkhausena. Zauważone korelacje szumu Barkhausena i twardości materiału mogą być wykorzystane w zagadnieniach odwrotnych badań nieniszczących do wyznaczania własności mechanicznych na podstawie pomiaru wielkości magnetycznych. Badania metodą SPT polegają na próbie tłoczenia mikropróbki za pomocą trzpienia z zakończeniem kulistym. Niewielkie ilości materiału pobiera się z powierzchni badanego elementu za pomocą specjalistycznych głowic. Z pobranego materiału wykonuje się mikropróbki o średnicy 8 mm i grubości 1 mm. Za pomocą tej metody możliwe jest wyznaczenie podstawowych własności wytrzymałościowych, takich jak moduł Younge'a E, granica plastyczności Re i granica wytrzymałości na rozciąganie Rm, a także wyznaczenie temperatury przejścia plastyczno-kruchego. Można zatem oszacować zmiany stopnia kruchości i odporności na pękanie stali spowodowane warunkami eksploatacyjnymi. Powyższe metody wykorzystano do badań elementów turbin, w szczególności wirników. Za pomocą badań WMPR zidentyfikowano obszary o najwyższym poziomie zużycia. Wykorzystując badanie efektów Barkhausena oraz badanie mikropróbek pobranych z wlotowych i wylotowych obszarów wirnika, oszacowano poziom degradacji stali wirnikowej spowodowany dotychczasową eksploatacją turbiny.

prof. Andrzej Rusin, dr Katarzyna Stolecka, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, andrzej.rusin@polsl.pl; katarzyna.stolecka@polsl.pl

Zagrożenia związane z emisją substancji szkodliwych w technologiach wychwytu CO_2

Wprowadzone przez Unię Europejską przepisy dotyczące obniżenia emisji CO_2 w nowoprojektowanych oraz aktualnie budowanych elektrowniach opalanych paliwami kopalnymi wymusiły rozwinięcie badań technologii wychwytu i składowania tego gazu. Obecnie wyróżnić możemy trzy podstawowe technologie CCS oparte na: wychwycie CO_2 po i przed procesem spalania oraz metody polegające na spalaniu w atmosferze tlenu. Wykorzystują one procesy absorpcji, adsorpcji, metody kriogenicznych lub membranowe. Istotnym problemem staje się bezpieczeństwo stosowania tych technologii. Transport rurociągowy wychwyconego CO_2 do miejsc przetworzenia lub składowania tworzy bowiem potencjalne ryzyko dla ludzi związane z awarią i niekontrolowanym uwolnieniem się tego gazu do atmosfery. Powstała wówczas chmura o podwyższonym stężeniu CO_2 oddziałuje negatywnie na zdrowie człowieka. Przy stężeniu >2% działa lekko narkotycznie i podnosi ciśnienie krwi oraz puls. W zakresie stężeń od 3÷5% powoduje zawroty i bóle głowy, przyśpiesza akcję serca. Przy stężeniach około 10% dochodzi dodatkowo do utraty przytomności, a przy dłuższej ekspozycji CO_2 może spowodować śmierć. W badaniach szacowano strefy niebezpieczne wokół rurociągów transportujących CO_2. Przykładowo dla rurociągu o średnicy d=0.5 m transportującego gaz pod ci-

śnieniem p=15 MPa strefa o stężeniu niebezpiecznym dla życia ludzi wynosi ok. 100 m. Potencjalnym zagrożeniem dla ludzi związanym z absorpcyjną metodą wychwytu CO_2 w elektrowniach jest emisja używanych w procesie amin. W świetle słonecznym aminy uwolnione w postaci ciekłej lub gazowej ulegają reakcji z utleniaczami atmosferycznymi obejmującymi utlenione związki azotu (fotooksydacja). W efekcie tworzą się nowe związki takie jak: nitrozoaminy, nitraminy, itp. Niektóre z tych związków są toksyczne i rakotwórcze, nawet przy bardzo niskim poziomie stężenia. Ostatnie badania wskazują, że fotooksydacja amin w atmosferze może tworzyć związki o koncentracjach groźnych zarówno dla ludzi, jak i otoczenia. Emisje amin po procesie spalania w instalacji CO_2 różnią się w zależności od wielkości i warunków pracy instalacji, rodzaju wykorzystanej aminy, itd. W badaniach szacowano strefy zagrożenia wokół miejsca emisji do atmosfery tego rodzaju związków. Stwierdzono, że zasadniczy wpływ na wielkość obszaru niebezpiecznego ma wysokości źródła emisji tych związków.

dr hab. inż. Henryk Łukowicz, prof. nzw. w Pol. Śl., Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, henryk.lukowicz@polsl.pl

Integracja bloków energetycznych z instalacją wychwytu CO_2 metodą absorpcji chemicznej

Na podstawie bardzo gruntownej analizy istniejących, będących w budowie i planowanych struktur bloków ultra-nadkrytycznych, w wyniku obliczeń optymalizacyjnych dokonano wyboru schematu obiegu na parametry 30MPa/650°C/670°C o mocy 900 MW, który osiągnął sprawność brutto 50,1% dla bloku opalanego węglem kamiennym i 47,5% dla bloku opalanego węglem brunatnym. Ma on spełniać wymagania capture ready. Przedstawiono integrację tego bloku z instalacją wychwytu CO_2 metodą absorpcji chemicznej. Separacja z wykorzystaniem tej metody jest procesem wysoko energochłonnym. Dla jej przeprowadzenia konieczne jest znalezienie odpowiedniego źródła ciepła. Dobudowa zewnętrznych źródeł ciepła do zasilania instalacji separacji CO_2 nie jest wskazana zarówno ze względu na skalę tej instalacji, jak i wzrost kosztów wytwarzania energii elektrycznej. Pobór pary do instalacji separacji z układu cieplnego turbiny powoduje duże zmiany parametrów pary w turbinie i konieczność jej przebudowy. Przedstawiono różne sposoby dostosowania turbiny dla nowych warunków pracy (zabudowa organu dławiącego na przelotni SP-NP turbiny, dobudowa stopni w części SP turbiny, instalacja dodatkowej turbiny przeciwprężnej). Szczegółowo przeanalizowano warunki pracy tak zmodernizowanej turbiny i jej układu regeneracji dla absorbentów o różnej energochłonności. Analizę przeprowadzono dla zakresu obciążenia od nominalnego do minimum technicznego. Badania te pozwoliły na opracowanie metodyki doboru turbin dla siłowni kondensacyjnych capture ready oraz ocenę zmian w układzie cieplnym bloku po dobudowaniu instalacji wychwytu. Pobór pary do instalacji separacji CO_2 zmniejsza obciążenie cieplne skraplacza. Pojawiają się jednak dodatkowe strumienie ciepła odpadowego, które należy odprowadzić do otocznia. Największą pozycję stanowi ciepło odpadowe z instalacji separacji CO_2. Znaczny strumień ciepła należy odprowadzić również z procesu sprężania CO_2 do ciśnienia niezbędnego do jego transportu. Analizowano wykorzystanie istniejącego układu chłodzenia do odprowadzenia tych strumieni ciepła. Przedstawiono również analizę ekonomiczną bloków węglowych capture ready oraz po ich integracji z instalacją wychwytu CO_2, pozwalającą na ocenę opłacalności inwestycji oraz wskazanie warunków dla których inwestycja stałaby się opłacalna. Wynikające z tych badań informacje są istotne dla inwestorów i projektantów.

prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz, dr inż. Łukasz Bartela, mgr inż. Klaudia Dubiel, Politechnika Śląska, lukasz.bartela@polsl.pl

Integracja bloku energetycznego z systemem magazynowania energii

W referacie zaprezentowane zostaną rezultaty analiz systemu magazynowania energii, jaki pracuje na rzecz węglowego bloku energetycznego. Celem takiej integracji jest wyrównywanie obciążeń bloku oraz zmniejszenie liczby jego wymuszonych odstawień. Pośrednio magazynowanie energii korzystnie wpływa również na system elektroenergetyczny, w którym sys-

tem magazynowania pełnić może dodatkową rolę regulacyjną. Zaproponowany system magazynowania energii wykorzystuje proces elektrolizy wody i zasilany jest energią elektryczną, produkowaną w ramach bloku węglowego w okresach występowania nocnych dolin zapotrzebowania. Dzięki temu w okresach tych istnieje zasadność utrzymywania zwiększonego obciążenia bloku. Konsekwencją tego może być wzrost sprawności wytwarzania energii elektrycznej oraz ograniczenie liczby weekendowych wyłączeń bloków, które obecnie są wynikiem dyspozycji operatora systemu elektroenergetycznego. Produkowany wodór gromadzony jest w zbiornikach i wykorzystywany w okresie szczytowego zapotrzebowania na energię w ramach instalacji ogniw paliwowych. Produkowana energia elektryczna trafia do systemu elektroenergetycznego. Z ekonomicznego punktu widzenia korzystnym aspektem działania systemu zgodnie z przyjętym harmonogramem są różnice cen energii elektrycznej występujące pomiędzy okresami dolin zapotrzebowania oraz okresami zapotrzebowania szczytowego. W artykule przedstawiono wyniki analiz ekonomicznych dla inwestycji w zaproponowany system magazynowania energii. Przeprowadzono analizy wpływu zmian wielkości kształtujących otoczenie ekonomiczne inwestycji na wybrane wskaźniki efektywności ekonomicznej

Robert Demel, Witold Rożnowski, RAFAKO S.A., robert.demel@rafako.com.pl, witold.roznowski@rafako.com.pl

Osiągnięcia RAFAKO S.A. dla których bazą był projekt strategiczny „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii"

W ramach strategicznego projektu badawczego pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" firma RAFAKO S.A. wraz z czołowymi ośrodkami naukowymi w Polsce na zlecenie Narodowego Centrum Badan i Rozwoju uczestniczyła w realizacji zadania badawczego nr 1 pt.: „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero emisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin".

Kilkuletnia współpraca w istotny sposób pomogła RAFAKO S.A. w zaprojektowaniu kotła o niespotykanych dotąd w światowej energetyce parametrach pary, temperaturze wyższej o ponad 70°C i ciśnieniu pary pierwotnej wyższym o ok. 1 MPa w stosunku do parametrów przyjmowanych w obecnie projektowanych kotłach. Zaprojektowany kocioł umożliwia osiągnięcie wysokiej sprawności bloku, pozwalając jednocześnie na maksymalnie szybki zwrot kosztów inwestycyjnych.

W ramach działań projektowych RAFAKO S.A. dobrało najnowsze dostępne materiały hutnicze posiadające certyfikaty dopuszczenia, na podstawie wstępnych badań i obliczeń wytrzymałościowych oraz dokonało analizy dostępności wybranych materiałów do odpowiednio zwymiarowanych elementów. Oznacza to, iż każdy z zastosowanych w projekcie materiałów jest dostępny u producenta stali w takich wymiarach, jakie uwzględniono w obliczeniach wytrzymałościowych. Dla elementów krytycznych kotła pracujących w najwyższych temperaturach (ostatnie stopnie przegrzewaczy pary pierwotnej SH4 i wtórnie przegrzanej RH2) wykonano wiele procedur optymalizacyjnych. W projekcie kotła RAFAKO S.A. zastosowało najnowocześniejsze technologie:

- Kocioł przepływowy o parametrach ultra super nadkrytycznych i sylwetce wieżowej został zaprojektowany do osiągnięcia możliwie wysokich sprawności bloku energetycznego, również przy pracy na parametrach poślizgowych i niskich obciążeniach. Praca kotła będzie zoptymalizowana dla średniorocznych warunków klimatycznych i założonego profilu obciążenia bloku energetycznego.
- Skonstruowano odpowiednie palniki strumieniowe niskoemisyjne zabudowane w układzie tangencjonalnym z możliwością ich uchyłu, w celu zminimalizowania wpływu zmiany paliwa na uzyskiwanie najlepszych osiągów.
- Przewidziano UOCS (układ odzysku ciepła ze spalin), który będzie służył poprawie średniorocznej sprawności bloku i obniży ilość ciepła traconego w spalinach. Ciepło z chłodnicy spalin przekazywane jest do powietrza i kondensatu niskoprężnego NP oraz wody zasilającej (poprzez wymiennik regeneracji WP zabudowany na baypassie LUVO). Zastosowanie technologii pozwala na zwiększenie mocy bloku do 1000 MW przy zachowaniu wydajności kotła 228 t/h i ciśnieniu 30,3 MPa.
- W projekcie kotła i otoczenia przewidziano katalityczny system redukcji tlenków azotu umożliwiający dotrzymanie emisji $NO_x \leqslant 30 mg/m^3n$.

Unikatowym rozwiązaniem w projekcie kotła jest opracowanie procedury projektowania elementów grubościennych, takich jak np. trójnik widlasty typu „Y". Rozwiązanie, które zostało opracowane przez projektantów RAFAKO S.A. może stanowić rozwinięcie, jak i uzupełnienie normy EN 13480. Procedura umożliwia

wyznaczenie podstawowych cech geometrycznych elementu grubościennego z zastosowaniem programów graficznych CAD, ma charakter uniwersalny i umożliwia zastosowanie do projektowania dowolnych elementów grubościennych. Metoda pozwala na optymalizację projektowanego elementu, przyjmując kryterium minimum masy przy zachowaniu wytrzymałości elementu zgodnie z obowiązującymi przepisami normatywnymi, co jest szczególnie istotne w przypadku drogich nowoczesnych materiałów przeznaczonych do budowy bloków na wysokie parametry pary.

W trakcie realizacji projektu konieczne było modelowanie zjawisk fizycznych zachodzących w elementach poddanych działaniu wysokich parametrów ciśnienia i temperatury. W związku z brakiem uwarunkowań normatywnych zawartych w dyrektywie ciśnieniowej, konieczne było skorzystanie z obliczeń wykonanych za pomocą metod numerycznych takich jak: metoda elementów skończonych (FEM) dla wyznaczania naprężeń oraz obliczeniowa mechanika płynów (CFD) dla określania parametrów termicznych - obciążeń cieplnych ścian szczelnych kotła. Wyniki uzyskane z analiz numerycznych wykonanych przy użyciu pakietu ANSYS przedstawione zostały w formie graficznej, tabelarycznej oraz w postaci wykresów.

RAFAKO S.A. dzięki realizacji projektu uzyskało wiele certyfikatów dla kwalifikowanych technologii spawania, obejmujących, takie stale jak np.: HR6W, Sanicro 25, Alloy617mod. Nadal prowadzone są badania nad nowymi materiałami hutniczymi, ale także nad zastosowaniem istniejących stali - tak by mogły zostać wykorzystane do projektowania nowoczesnych kotłów energetycznych. Na chwilę obecną nowoczesne materiały są zbyt drogie, aby można było zaakceptować aspekt ekonomiczny w projektowaniu nowych bloków. Jednakże w perspektywie czasu zainteresowanie tymi materiałami powinno znacznie wzrosnąć, a to przeniesie się na ich komercyjne wykorzystanie w energetyce.

Mając na uwadze rynki pozaeuropejskie, RAFAKO S.A. przeprowadziło także weryfikację doboru materiałów i ich wymiarów wg najnowszych standardów „ASME". Projekt wg ASME zawiera obliczenia maksymalnej temperatury ścianki metalu elementów ciśnieniowych kotła w oparciu o wytyczne normy „ASME Boiler&Pressure Vessel Code - Rules for Construcion of Power Boilers, Edition 2015". Głównym założeniem było zaprojektowanie elementów ciśnieniowych na 100 tys. godzin pracy. Obliczenia wykazały, że przyjęte parametry pary dla projektowanego kotła mogą być spełnione. Ważnym zagadnieniem wynikającym z porównania przepisów europejskich oraz ASME jest fakt większej prostoty obliczeń wg. ASME, co ułatwia proces projektowania. Kolejnym bardzo istotnym zagadnieniem wynikającym z cyklu porównań przepisów ASME i EN jest fakt dużych rozbieżności pomiędzy odpowiednikami niektórych materiałów stosowanych do produkcji rurociągów wysokoprężnych na nadkrytyczne parametry.

Na podstawie programów stworzonych przez projektantów RAFAKO S.A. wykonano również obliczenia bilansowe dotyczące parametrów spalin za absorberem mokrego odsiarczania spalin, które posłużyły do opracowania założeń do instalacji DEMO separacji CO_2.

Na podstawie obliczeń wytrzymałościowych oraz cieplnych, a także po analizie dostępnych materiałów hutniczych wykonano model 3D kotła. Dodatkowo wykonano również model 2D aranżacji powierzchni wymiany ciepła

Doświadczenia związane z realizacją projektu są bardzo pomocne w trakcie realizacji projektów komercyjnych, m.in. projektu Jaworzno 910 MW. Wykorzystywane są przebadane materiały, technologie spawania, jak również procedury obliczeniowe wykraczające poza procedury określone w normach.

prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak, Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Maszyn Cieplnych i Przepływowych, wnowak@agh.edu.pl

Technologia spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2 - Projekt Strategiczny NCBR

Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych to jedno z czterech Zadań Badawczych zrealizowanych w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii", współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR).

Nadrzędnym celem pięcioletniego projektu (2010-2015) było osiągnięcie technicznej gotowości do demonstracji w skali przemysłowej bloku energetycznego z kotłem realizującym spalanie tlenowe, zintegrowanego z układem sekwestracji CO_2.

Do realizacji powyższego celu powołane zostało Konsorcjum, w skład którego wchodziły: trzy wyższe uczelnie techniczne: Politechnika Częstochowska (Koordynator), Politechnika Śląska oraz Politechnika Wrocławska; dwa instytuty naukowo-badawcze: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytut Energetyki; a także cztery instytucje przemysłowe: Tauron Wytwarzanie SA Elektrownia Łagisza, PGE GiEK SA Elektrownia Turów, Foster Wheeler Energia Polska oraz Eurol ITS.

Przed tak zawiązanym Konsorcjum postawiono następujące zadania:

- Rekomendacja jednej z trzech technologii spalania węgla, tj. spalanie w kotle pyłowym (PC), spalanie w kotle atmosferycznym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (CFB), spalanie w reaktorze ciśnieniowym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (PCFB), do skojarzenia z technologią tlenową.
- Ocena możliwości modernizacji obecnego systemu energetycznego poprzez adaptację eksploatowanych lub wyeksploatowanych jednostek do spalania tlenowego.
- Wskazanie kierunków rozwoju czystych technologii węglowych w Polsce.
- Struktura projektu (rys. 1) wynika po części z organizacji układu kotłowego realizującego spalanie tlenowe. Zaplanowane w Projekcie prace zmierzające do osiągnięcia wyznaczonego celu podzielono na 7 części - Tematów Badawczych, odpowiadających za:
- Wykonanie badań podstawowych w małej skali laboratoryjnej (Temat Badawczy nr 1),
- Wykonanie badań procesowych w pełnej skali laboratoryjnej (Temat Badawczy nr 2),
- Wykonanie badań technologicznych w skali pilotowej (Temat Badawczy nr 3),
- Przeprowadzenie badań i analiz w zakresie produkcji tlenu (Temat Badawczy nr 4),
- Przeprowadzenie badań i analiz w zakresie doczyszczania CO_2 (Temat Badawczy nr 5),
- Integracja środowiskowa wyników uzyskanych w Tematach Badawczych 1-5 (Temat Badawczy nr 6),
- Opracowanie studium wykonalności obiektu demonstracyjnego bloku energetycznego z kotłem węglowym realizującym spalanie tlenowe (Temat Badawczy nr 7).

Na podstawie badań przeprowadzonych w małej skali laboratoryjnej w ramach Tematu Badawczego nr 1 zbudowano bank podstawowej wiedzy z zakresu tlenowego spalania węgla.

Szeroko zakrojone badania podstawowe, w tym: analiza zapłonu i formowania się płomienia oraz postępującej fragmentacji ziaren węgla, badania procesów związanych z transformacją substancji mineralnej paliwa, a także analiza kinetyki i mechanizmu spalania w atmosferze tlenu i CO_2, umożliwiły zebranie bogatego materiału naukowo-badawczego, który posłużył pozostałym Partnerom Konsorcjum w realizacji równolegle zaplanowanych działań, polegających między innymi na kalibracji modeli matematycznych pisanych pierwotnie z myślą o klasycznym spalaniu w powietrzu.

Temat Badawczy nr 2 ukierunkowany był na badania procesowe w pełnej ska-

Rys. 1. Struktura Zadania Badawczego nr 2

li laboratoryjnej i stanowił swego rodzaju rozszerzenie prac prowadzonych w Temacie Badawczym nr 1. W tej części Projektu uwaga Partnerów Konsorcjum skupiła się na: rozpoznaniu mechanizmu wiązania siarki w warunkach wysokich stężeń CO_2, analizie w zakresie emisji rtęci, ustaleniu strategii dotyczącej recyrkulacji spalin do kotła oraz na korozji powierzchni ogrzewalnych kotła. Warto zaznaczyć, że ostatnie z wymienionych badań przeprowadzono na rzeczywistym kotle energetycznym dużej mocy. Ponadto w ramach niniejszego Tematu Badawczego opracowana została konstrukcja przedpaleniska cyklonowego (rys. 2). Instalacja ta umożliwia prowadzenie badań spalania, zgazowania, pirolizy oraz współspalania paliw stałych w warunkach silnego zawirowania paliwa i utleniacza w różnych i kontrolowanych w szerokim zakresie atmosferach zawierających, np. N_2, O_2, CO, CO_2, itp. Podzielona na dwie części komora paleniskowa przedpaleniska cyklonowego umożliwia niezależne prowadzenie procesu suszenia i odgazowania paliw oraz spalania pozostałości koksowej.

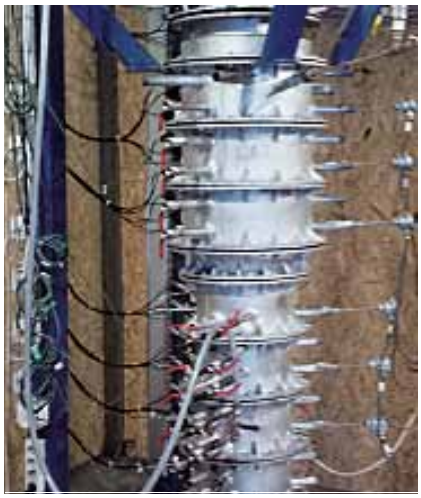
Rezultaty prac zrealizowanych w ramach drugiego Tematu Badawczego posłużyły jako wytyczne do budowy i rozruchu trzech instalacji pilotowych, stanowiących podstawowe narzędzia przy opracowywaniu koncepcji kotłów realizujących spalanie tlenowe w pełnej skali technicznej.

Badania technologiczne prowadzone w skali pilotowej w Temacie Badawczym nr 3, przeprowadzono na wspomnianych powyżej wytworzonych w projekcie trzech unikatowych instalacjach (rys. 3):

- instalacji z paleniskiem atmosferycznym z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (CFB) o mocy 0,1 MWt,
- instalacji z reaktorem ciśnieniowym w cyrkulacyjną warstwą fluidalną (PCFB) o mocy 0,2 MWt,
- instalacji z palnikiem pyłowym (PC) o mocy 0,5 MWt.

Jednostki zlokalizowane odpowiednio w Politechnice Częstochowskiej - Instytucie Zaawansowanych Technologii Energetycznych, Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu oraz Instytucie Energetyki w Warszawie, umożliwiły demonstrację technologii spalania tlenowego w układach z paleniskiem PC, CFB oraz PCFB. Intensywne badania nad procesem tlenowego spalania węgla w układach fluidalnym i pyłowym pozwoliły na wskazanie optymalnych wartości parametrów procesowych, tj.: udział tlenu w mieszance O_2/CO_2, który dla układów OXY-CFB powinien wynosić min. 30% obj., a namiar tlenu zawierać się powinien w przedziale 5-15%, czy stopień recyrkulacji spalin, który w przypadku technologii OXY-PC powinien wynosić ok. 74% dla pyłów węglowych drobnomielonych oraz ok. 68% przy spalaniu grubszych frakcji paliwa.

Kolejny z realizowanych Tematów Badawczych poświęcony został w całości technologiom pozyskiwania tlenu. W ramach Projektu przebadane i przeanalizowane zostały trzy opcje technologiczne: kriogeniczna, adsorpcyjna oraz membranowa. Najszerzej dyskutowana była metoda kriogeniczna, którą analizowano pod kątem integracji z obiektem dużej mocy realizującym spalanie tlenowe. Na podstawie doświadczeń zdobytych podczas realizacji Tematu Badawczego nr 4 powstała pierwsza w Polsce mobilna instalacja do separacji tlenu metodą VPSA (rys. 4A-B), która pozwala na uzyskanie produktu (tlenu) o czystości przekraczającej 95%



Rys. 2. Przedpalenisko cyklonowe - PCz

obj. Na uwagę zasługuje również uznawana za technologie przyszłości - separacja membranowa (rys. 4C). Membrany formowane z materiału perowskitowego wytwarzano w oddziale Instytutu Energetyki Cerel w Boguchwale.

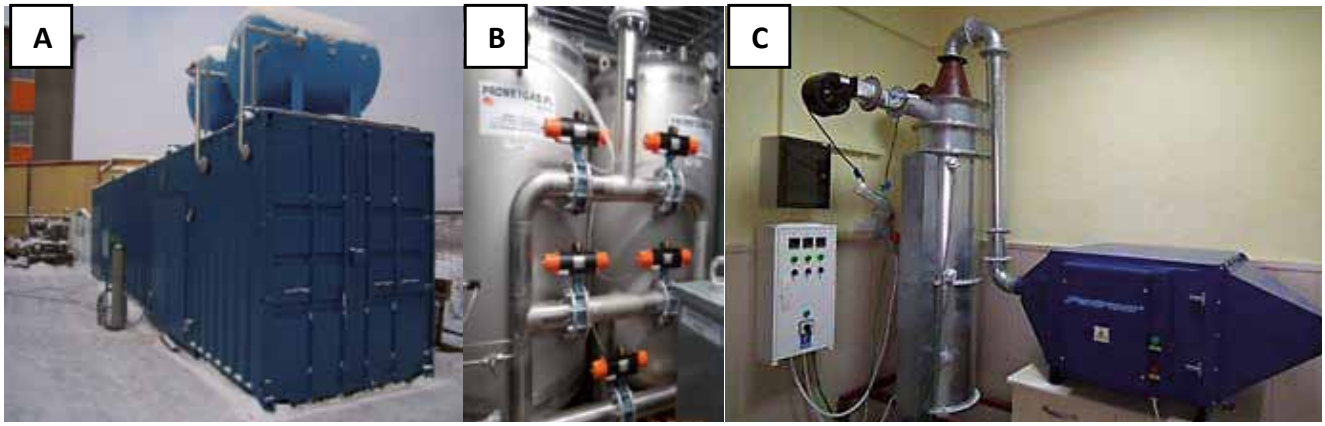
Temat Badawczy nr 5 poświęcono technologiom wychwytywania CO_2 ze spalin z zastosowaniem stałych sorbentów. Największym osiągnięciem piątego Tematu Badawczego jest budowa i uruchomienie mobilnej kontenerowej instalacji

Instalacja pilotowa z kotłem CFB o mocy 0,1 MW - PCz

Instalacja pilotowa z kotłem PCFB o mocy 0,2 MW - ICHPW

Instalacja pilotowa z kotłem PC o mocy 0,5 MW - IE

Rys. 3. Instalacje pilotowe umożliwiające demonstrację technologii spalania tlenowego w układach z paleniskiem PC, CFB i PCFB



Rys. 4. A-B) Mobilna instalacja do separacji tlenu metodą VPSA - Eurol, C) Instalacja do produkcji membran formowanych z materiału perowskitowego - IE

Rys. 5. A-B) Mobilna kontenerowa instalacja separacji CO_2 metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej (VPSA) - Tauron, C) Fotobioreaktor do hodowli mikroglonów

separacji CO_2 wykorzystującej adsorpcję zmiennociśnieniową (VPSA) (rys. 5A-B). Instalacja VPSA, po integracji z kotłem CFB na parametry nadkrytyczne o mocy 460MWe pracującym w Tauron Wytwarzanie Elektrowni Łagisza, przeszła pozytywnie testy technologiczne na rzeczywistych spalinach, pozwalając uzyskać czystość CO_2 wydzielonego z gazów spalinowych na poziomie 90% obj. W celu doczyszczania pozyskiwanego CO_2 wykorzystano metodę biotechnologiczną poprzez wykorzystanie mikroglonów (rys. 5C).

W ramach szóstego Tematu Badawczego zintegrowane zostały wyniki prac zrealizowanych w obszarach badawczych 1-5. Na podstawie danych eksperymentalnych dokonano walidacji modeli numerycznych, odpowiadających pełnej gamie procesów dyskutowanych w ramach Projektu. W zakresie prac przewidzianych do realizacji w Temacie Badawczym nr 6 znalazły się również analizy systemowe, ekonomiczne oraz ocena ryzyka związanego z budową i późniejszą eksploatacją bloku energetycznego z kotłem węglowym realizującym spalanie tlenowe.

Ostatni etap - Temat Badawczy nr 7 - Studium wykonalności obiektu demonstracyjnego to zwieńczenie całości prac prowadzonych w ramach Projektu. Wirtualizację zaprojektowanego układu, osadzono w realnym otoczeniu elektrowni Dolna Odra.

Podsumowując, w efekcie realizacji Zadania Badawczego nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych" powstały trzy jednostki pilotowe umożliwiające demonstrację technologii spalania tlenowego w układach z paleniskiem PC, CFB i PCFB oraz dwie jednostki mobilne do wykorzystania „on-site" do celów produkcji tlenu z powietrza oraz separacji CO_2 z gazów spalinowych.

Doświadczenia zdobyte w całym okresie realizacji projektu pokazują, że zarówno w przypadku technologii PC, jak i CFB możliwa jest implementacja technologii spalania tlenowego bez znaczącej ingerencji w budowę kotła. Jednak, aby technologia ta stała się ekonomicznie opłacana, należy szukać możliwości zagospodarowania CO_2, najlepiej w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów energetycznych przewidzianych w planie derogacji. □

Wojciech Nowak

TECHNOLOGIA SPALANIA TLENOWEGO DLA KOTŁÓW PYŁOWYCH I FLUIDALNYCH ZINTEGROWANYCH Z WYCHWYTEM CO_2 – PROJEKT STRATEGICZNY NCBR

Politechnika Częstochowska · Koordynator Projektu

CEL PROJEKTU

Osiągnięcie technicznej gotowości do demonstracji w skali przemysłowej bloku energetycznego z kotłem realizującym spalanie tlenowe zintegrowanego z układem sekwestracji CO_2

Cele szczegółowe

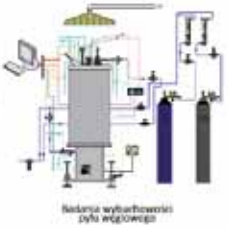
- Rekomendacja jednej z trzech technologii spalania węgla (**PC, CFB, PCFB**) do skojarzenia z technologią tlenową.
- **Ocena możliwości modernizacji** obecnego systemu energetycznego poprzez adaptację eksploatowanych/wyeksploatowanych jednostek do spalania tlenowego.
- Wskazanie kierunków rozwoju czystych technologii węglowych w naszym kraju.

BADANIA PODSTAWOWE - mała skala laboratoryjna

Reaktor przepływowy

Piec opadowy

Badania zapłonu chmury pyłu węglowego



Badania wybuchowości pyłu węglowego

BADANIA PROCESOWE - pełna skala laboratoryjna

Dwustopniowe badania materiałów konstrukcyjnych kotłów energetycznych - korozja

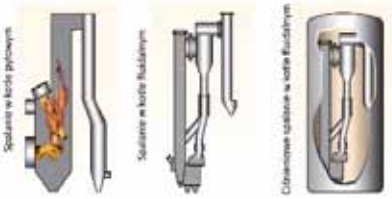
Lokalizacja sond pomiarowych przewidziana na etapie projektu kotła

Porty pomiarowe widok na zewnętrzny kotła

Porty pomiarowe widok z wnętrza kotła

BADANIA TECHNOLOGICZNE - skala pilotowa

Opcje technologiczne



PRODUKCJA TLENU

Technologia adsorpcji zmiennociśnieniowej (PSA) tlenu atmosferycznego na złożu zeolitowym

Generator tlenu

Sprężarka tlenu

Dyfuzja - Membrana

Metoda membranowa

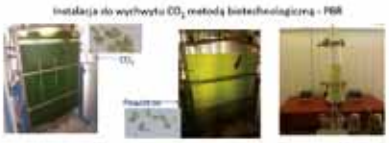
Stanowisko atmosferyczne do badań membran tlenowych

Metoda separacji tlenu VPSA-O_2

Przewoźna instalacja separacji tlenu VPSA-O_2

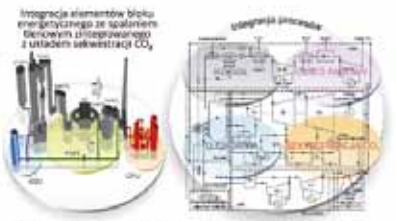
DOCZYSZCZANIE CO_2

Instalacja do wychwytu CO_2 metodą biotechnologiczną - PBR

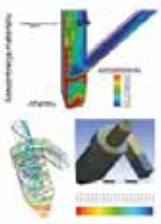


INTEGRACJA ŚRODOWISKOWA

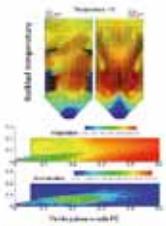
Integracja elementów bloku energetycznego ze spalaniem tlenowym zintegrowanego z układem sekwestracji CO_2



Symulacje numeryczne układów z kotłem CFB



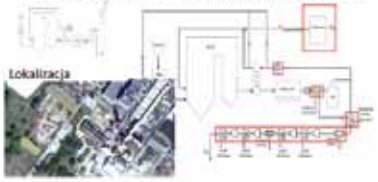
Symulacje numeryczne układów z kotłem PC



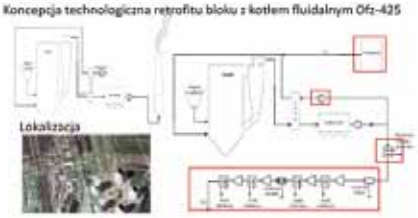
WSTĘPNE STUDIUM WYKONALNOŚCI OBIEKTU DEMONSTRACYJNEGO OXY-FUEL

Studium przypadku Elektrownia Turów

Koncepcja technologiczna retrofitu bloku z kotłem OP650



Koncepcja technologiczna retrofitu bloku z kotłem fluidalnym Ofz-425



PODSUMOWANIE

Na bazie doświadczeń zdobytych w całym okresie realizacji projektu rekomenduje się

- modernizację bloków energetycznych klasy 200 MWe pracujących w technologii PC oraz bloków z kotłami CFB klasy 150 MWe ,
- technologię PCFB do dalszych badań w większej skali,
- układy „Flexi Ready", oferujące możliwość spalania zarówno powietrznego, jak i tlenowego, pozostające w gotowości na zmianę konkurentury na CO_2,
- rozwiązania technologiczne do doczyszczania CO_2, w celu jego dalszego wykorzystania przy wydobyciu surowców naturalnych, w tym rozwiązania dedykowane Elektrowni Dolna Odra,
- technologię biotechnologicznego wspomagania wychwytu CO_2 z wykorzystaniem alg,
- wykorzystanie membran ceramicznych w konstrukcji innowacyjnych kotłów opalanych gazem,
- narzędzia optymalizacyjne do kompleksowej analizy bloków energetycznych,
- program obliczeniowy OSA, udostępniony publicznie na platformie obliczeniowej,
- wykorzystanie raportu społecznego do uzyskania akceptacji społecznej dla technologii CCS,
- otwarcie nowego obszaru „Waste-to-Energy" w Programie Sektorowym, w którym kluczowym wyzwaniem byłoby spalanie tlenowe.

Przeprowadzona symulacja numeryczna oparta na danych eksperymentalnych dostarczonych z instalacji pilotowych pokazują, że zarówno technologia PC, jak i CFB umożliwiają praktyczne bezpośrednie skojarzenie z technologią spalania tlenowego bez znaczącej ingerencji w budowę kotła.

Praca naukowa dofinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii". Zadanie Badawcze nr 3: „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2". Umowa nr SP/E/2/66420/10.

mgr inż. Sylwia Jankowska[1], dr hab. inż. Tomasz Czakiert[1], prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak[2],
Politechnika Częstochowska[1], Akademia Górniczo-Hutnicza[2], wnowak@agh.edu.pl

Wpływ koncentracji materiału warstwy fluidalnej na proces oxy-spalania węgla w atmosferycznym palenisku cwf

W artykule zaprezentowane zostaną wyniki badań konwersji węgla elementarnego, siarki palnej oraz azotu paliwowego w procesie oxy-spalania węgla kamiennego. Testy przeprowadzono na instalacji pilotażowej atmosferycznego paleniska z cyrkulacyjną warstwą fluidalną (CWF) o mocy 0,1 MWt. Analizowanym parametrem procesowym była ilość materiału warstwy fluidalnej wyrażona przez spadek ciśnienia (P) w komorze paleniskowej. Zmiana parametru rzutowała na rozkład koncentracji ziaren materiału warstwy fluidalnej oraz na rozkład temperatur w konturze komory paleniskowej.

Rezultaty badań pozwoliły przeanalizować mechanizmy tworzenia i destrukcji poszczególnych związków w atmosferze symulującej recyrkulację spalin (mieszanka O_2/CO_2), od węgla elementarnego, siarki palnej oraz azotu paliwowego do CO_2, CO, C_xH_y, SO_2, SO_3, H_2S, NO, NO_2, N_2O, NH_3 oraz HCN. Pomiar składu gazów spalinowych dokonany wzdłuż wysokości komory paleniskowej pozwolił prześledzić przebieg konwersji danego składnika, od momentu odgazowania paliwa do chwili, w której odprowadzany jest on do atmosfery.

Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono w oparciu o wyznaczone wartości wskaźników opisujących stopień konwersji (CR), odpowiednio C, S i N. Ponadto wartości kolejnych wskaźników CR wyrażono w jednostkach mg/MJ.

Wyniki prezentowane w artykule są kontynuacją badań w całości zrealizowanych w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" w Zadaniu Badawczym nr 2: „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2", współfinansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

dr hab. inż. Tomasz Czakiert, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, tczakiert@is.pcz.czest.pl

Instalacja pilotowa „oxy-fuel cfb" o mocy 0,1 MW_t

W ramach realizacji Zadania Badawczego nr 2 Programu Strategicznego w Instytucie Zaawansowanych Technologii Energetycznych Politechniki Częstochowskiej powstała instalacja pilotowa „Oxy-Fuel CFB" umożliwiająca badania w zakresie szeroko pojętego spalania oraz współspalania paliw stałych w warunkach cyrkulacyjnej warstwy fluidalnej zarówno w atmosferze powietrza, jak i w atmosferach wzbogaconych tlenem. Jednostka ta jest doskonałym narzędziem do m.in. badania emisji gazów, odsiarczania spalin, narastania i jakości osadów, jakości popiołów, wpływu dodatków i ulepszaczy do paliw i in. Głównym elementem instalacji jest komora paleniskowa o wymiarach: H=5m i fi=0,1m, połączona z układem nawrotu, składającym się z cyklonu, rury opadowej i syfonu. Konstrukcja instalacji umożliwia ciągłe podawanie paliwa oraz stopniowanie gazu, jak również sondowanie składu spalin (także wewnątrz komory paleniskowej) oraz pobór materiałów sypkich (popiołu dennego i lotnego, materiału cyrkulującego).

dr inż. Tomasz Golec, Instytut Energetyki, tomasz.golec@ien.com.pl

Instalacja pilotowa „oxy-fuel pc" o mocy 0,5 MW_t

Zlokalizowana w Zakładzie Procesów Cieplnych Instytutu Energetyki w Warszawie instalacja pilotowa „Oxy-Fuel PC" umożliwia badania w zakresie spalania oraz współspalania pyłów paliw stałych w warunkach atmosfery powietrza, jak i w ściśle kontrolowanych atmosferach $O_2/CO_2/H_2O/NO/SO_2$. Proponowane rozwiązanie może służyć m.in. badaniom emisji gazów, odazotowania i odsiarczania spalin, narastania oraz jakości osadów, jakości popiołów, wpływu dodatków i ulepszaczy do paliw. Badania prowadzone są pod kątem opracowywania nowych, wysokosprawnych i ekologicznych technologii spalania w komorach kotłów pyłowych. Głównym elementem instalacji jest cylindryczna komora paleniskowa o wymiarach o długości 2,5 m i średnicy 0,7 m z dobudowanym traktem spalinowym o długości 15 m zapewniającym uzyskanie porównywalnych czasów przebywania jak w instalacji przemysłowej. Trakt spalinowy umożliwia badania m.in.: wpływu dozowania reagentów redukujących NO np. mocznik, metyloamina i in. wg metody SNCR, a także wpływu różnych materiałów i konstrukcji wkładów katalitycznych wg metody SCR.

dr hab. inż. Marek Ściążko, prof. AGH, Akademia Górniczo Hutnicza, msc@agh.edu.pl

Instalacja pilotowa „oxy-fuel pcfb" o mocy 0,2 MW_t

Znajdująca się w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, instalacja doświadczalna do prowadzenia prac badawczych i rozwojowych nad oxy-spalaniem ciśnieniowym paliw stałych umożliwia prowadzenie procesu spalania w cyrkulującym złożu w zakresie ciśnień od atmosferycznego do 1,0MPa z ciągłym podawaniem paliwa w ilości do 25 kg/h. Na dowolną kompozycję stężeń poszczególnych składników ($CO_2/O_2/N_2$) w strumieniu utleniacza pierwotnego i wtórnego pozwala podłączenie instalacji do zbiorników gazów technicznych oraz powietrza. Instalacja stwarza możliwości m.in. badania w zakresie mechanizmów tworzenia się NO_x oraz redukcji SO_x poprzez ocenę wpływu katalizatorów i dodatków w procesach prowadzonych pod ciśnieniem. Jednostka OXY-FUEL PCFB połączona jest z instalacją do usuwania CO_2 w reaktorze absorpcyjnym. Instalacja sprzężona jest do ciągłego monitoringu składu spalin. Ponadto istnieje dodatkowa możliwość monitoringu składu spalin poprzez przenośny wieloparametrowy analizator GASMET, umożliwiający równoczesny pomiar do 50 związków chemicznych w tym stężeń substancji łatwo rozpuszczalnych w wodzie, tj. NH_3, HF, czy HCl, a także H_2O i węglowodorów.

dr inż. Marek Grabowy, Instytut Energetyki, Oddział Ceramiki CEREL, cerel@cerel.pl

Membrany do separacji tlenu z zastosowaniem materiałów perowskitowych

W ramach Zadania Badawczego nr 2 Programu Strategicznego w Oddziale Instytutu Energetyki Cerel w Boguchwale opracowana została kompletna technologia otrzymywania gęstych membran tlenowych od procesu wytwarzania proszków, poprzez proces formowania różnych kształtów membran na procesie wypalania kończąc.

Tlenki o strukturze perowskitu i mieszanym przewodnictwie jonowo-elektronowym z powodzeniem są wykorzystywane do wytwarzania gęstych membran separujących czysty tlen z powietrza. Wynika to z właściwości transportowych tych materiałów oraz ich stabilności w środowiskach o różnej zawartości tlenu.

Wykonywanie gęstych membran tlenowych obejmuje syntezę proszku perowskitowego, formowanie membrany oraz spiekanie. Proces wytwarzania perowskitu determinuje wielkość ziaren proszku i z tego powodu w istotnym stopniu wpływa na mikrostrukturę membrany. W ramach niniejszego projektu opracowano syntezę proszków materiałów perowskitowych La0,6Sr0,4Fe0,8C 0,2O3-(LSCF), Ba0,5Sr0,5Co0,8Fe0,2O3-(BSCF) i La_2,0Ni0,9Co0,1O4+(LNC) metodą reakcji w fazie stałej. Wykorzystano do tego celu tlenki: La_2O_3, Co_2O_3, Fe_2O_3, NiO i węglany: $BaCO_3$, $SrCO_3$. Aktywacja mechaniczna prekursorów odbywała się w środowisku alkoholu etylowego w młynku typu atrytor (własnej konstrukcji) przez 2 godz. Otrzymaną zawiesinę suszono w temperaturze 70°C, a uzyskany proszek kalcynowano w piecu elektrycznym przez 5 godz. w temperaturze 850°C (LSCF), 950°C (BSCF) i 1150°C (LNC).

dr inż. Robert Zarzycki, prof. dr hab. inż. Zbigniew Bis, dr hab. inż. Rafał Kobyłecki, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Energii, zarzycki@is.pcz.czest.pl

Nowoczesne paleniska cyklonowe dla zwiększenia elastyczności kotłów pyłowych

Rosnący udział odnawialnych źródeł energii w Krajowym Systemie Energetycznym wymusza zwiększenie elastyczności bloków węglowych w elektrowniach zawodowych. Oprócz obniżenia minimum technicznego, kotły w nowych blokach muszą cechować się zwiększoną szybkością zmian obciążenia. Dotychczasowe minimum techniczne, wynoszące około 40%

było osiągane praktycznie bez użycia palników rozpałkowych. Docelowe obniżenie do poziomu 15% musiałoby się wiązać z koniecznością użycia tych palników, korzystających z drogich paliw ciekłych lub gazowych - co nie tylko pogarsza ekonomikę produkcji, lecz także zwiększa emisję zanieczyszczeń.

W artykule przedstawiono propozycję konstrukcji paleniska cyklonowego nowego typu, które umożliwia spalanie różnych paliw (w tym biomasy) w atmosferze wzbogaconej tlenem, co daje w efekcie nie tylko ograniczenie emisji gazów, lecz także odprowadzenie popiołów w postaci stopionego żużla. Zastosowanie w kotle oprócz podstawowych palników pyłowych, dodatkowych palników w postaci palenisk cyklonowych, ułatwia utrzymanie stabilnej pracy kotła przy niskich obciążeniach i pracę z wyłączonymi palnikami głównymi. W takich warunkach utrzymanie gorącej rezerwy może być połączone z procesem witryfikacji popiołów co przyczyni się do osiągnięcia łatwiejszego gospodarczego ich wykorzystania.

W pracy przedstawiono koncepcję takiego paleniska cyklonowego, wybrane wyniki modelowania numerycznego procesu spalania oraz zgazowania, a także wyniki uzyskane podczas realizacji badań eksperymentalnych na modelowym stanowisku znajdującym się w Katedrze Inżynierii Energii Politechniki Częstochowskiej. Proponowane palenisko cyklonowe może współpracować zarówno z tradycyjnym kotłem pyłowym, jak również z kotłem realizującym technologię OXY.

dr inż. Jerzy Kwiatkowski, EUROL Innovative Technology Solutions Sp. z o.o., j.kwiatkowski@eurolits.pl

Mobilna instalacja do separacji tlenu metodą vpsa

Na potrzeby technologii tlenowego spalania węgla, w ramach realizacji Zadania badawczego nr 2, powstało stanowisko badawcze w skali pilotowej do produkcji tlenu metodą VPSA. Jednostkę VPSA-O2 zbudowano w izolowanym kontenerze wentylowanym. Układ składa się z dwóch adsorberów wypełnionych zeolitowym sitem molekularnym i aktywnym Al_2O_3. Powietrze pobierane jest z otoczenia poprzez czerpnię z filtrem, a następnie sprężane w dmuchawie do ciśnienia 150÷180 kPa abs. Dalej, sprężone powietrze jest chłodzone w chłodnicy, zasilanej wodą z obiegu agregatu chłodniczego do temperatury 25÷30°C. Kondensat wody oddzielany jest w separatorze. Powietrze przepływa do buforów, gdzie jest przejściowo magazynowane. Tak przygotowane powietrze jest rozdzielane na tlen o czystości 95±0,5% obj.O_2 oraz azot. Bezobsługowy proces VPSA-O2 realizowany jest przy pomocy stacji zaworowej zawierającej zawory sterowane odcinające oraz sterownika programowalnego, który realizuje recepty procesu VPSA-O2.

mgr inż. Janusz Tchórz, TAURON Wytwarzanie S.A. (Oddział Elektrownia Łagisza), janusz.tchorz@tauron-wytwarzanie.pl

Mobilna zmiennociśnieniowa instalacja pilotowa do badań wychwytu CO_2 ze spalin

Zlokalizowana na terenie Elektrowni Łagisza mobilna instalacja pilotowa przeznaczona jest do badań procesu separacji CO_2 z rzeczywistych gazów spalinowych metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej z podwójnym płukaniem złoża składnikiem lekkim i ciężkim - DR-VPSA (*z ang. Dual-Reflux Vacuum-Pressure Swing Adsorption*). Instalacja składa się z dwóch kontenerów: kontenera technologicznego z częścią procesową oraz kontenera nadzoru ze sterowaniem, pomiarami i częścią socjalną. Podłączenie instalacji z kanałem spalinowym odbywa się poprzez dwa kolektory: doprowadzający spaliny surowe oraz odprowadzający gaz po procesie separacji z instalacji (do kanału spalin). Do instalacji doprowadzana jest energia elektryczna, woda oraz spaliny, zaś odprowadzane są produkty rozdziału gazu oraz kondensat. Instalacja zbudowana jest z czterech sekcji: schładzania i odzysku ciepła, odsiarczania i usuwania NO_x, osuszania spalin oraz sekcji separacji CO_2 DR-VPSA. W związku z tym, iż w każdym z 4 adsorberów instalacji może być realizowany inny etap cyklu, instalacja może pracować w sposób ciągły.

prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski, dr inż. Paweł Dorosz, dr inż. Aleksandra Piotrowska
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

Chłodziarka Joule'a-Thomsona przystosowana do skraplania gazów

Kriogeniczna rektyfikacja powietrza jest aktualnie jedyną technologia umożliwiającą przemysłową produkcję tlenu i azotu, charakteryzujących się wysoką czystością. Jednakże w przypadku odbiorców zużywających stosunkowo niewielkie ilości gazów (od kilku do kilkunastu kilogramów na dobę) zarówno sama technologia kriogeniczna, jak i częsty transport niewielkich ilości skroplonego gazu są wysoce nieekonomiczne. Z tego względu, w ostatnich latach zaobserwowano wyraźny wzrost zainteresowania autonomicznymi systemami separacji i skraplania gazów opartymi na sprzęgnięciu technologii separacji powietrza (membranowej bądź adsorpcji zmiennociśnieniowej PSA) z chłodziarkami kriogenicznymi. W ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" Zadanie Badawcze nr 2: „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2", przeanalizowano, zaprojektowano i przetestowano chłodziarkę Joule'a-Thomsona (J-T), przeznaczoną do pracy w autonomicznym systemie produkcji ciekłych gazów w niewielkich ilościach. Jako czynnik roboczy chłodziarki J-T zastosowano mieszaninę azotu i węglowodoru, która pozwala na wytwarzanie około 100 W mocy chłodniczej w przedziale temperatur 90-120 K. Mieszaniny robocze umożliwiają także obniżenie ciśnienia roboczego systemu do poziomu osiągalnego przez komercyjnie dostępne kompresory chłodnicze, co z kolei znacząco obniża koszt inwestycyjny urządzenia. Chłodziarka wymaga zasilania jedynie energią elektryczną i pozwala na skraplanie azotu, tlenu, argonu i metanu w ilościach do kilkudziesięciu litrów na dobę.

dr inż. Tomasz Banaszkiewicz, prof. Maciej Chorowski, dr inż. Wojciech Gizicki
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

Adsorpcyjny generator tlenu o niskiej energochłonności

W ramach realizacji Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" - Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2" zaprojektowano, zbudowano i przetestowano adsorpcyjny generator tlenu typu PSA. Urządzenie separuje tlen z powietrza z nominalną wydajnością 0,6 m^3 tlenu o ciśnieniu 1 bar na godz., przy czystości 95% oraz pod ciśnieniem maksymalnym 6 bar(g). Podstawowym elementem instalacji jest generator tlenu, składający się z pary kolumn adsorpcyjnych (Oxymat 010) wypełnionych zeolitem 5A. Oprócz kolumn adsorpcyjnych w skład instalacji wchodzą: kompresor powietrza, osuszacz wraz z zespołem filtrów, zbiornik buforowy oczyszczonego powietrza (pojemność 320 l) oraz zbiornik tlenu (pojemność 90 l). Wykonano szereg pomiarów i uzyskano charakterystyki pracy generatora w zależności od różnych warunków pracy, takich jak wydajność oraz ciśnienie produktu. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano zmniejszenie energochłonności separacji tlenu do poziomu nieco poniżej 2 000 kWh/t tlenu, co stanowi spadek o około 20% w stosunku do początkowej wartości. Stwierdzono, że ograniczając zużycie energii przez urządzenia peryferyjne, takie jak osuszacz powietrza, który w dużych instalacjach adsorpcyjnych może być regenerowany przy wykorzystaniu ciepła odzyskanego z chłodzenia kompresorów, możliwe jest obniżenie jednostkowej energochłonności instalacji adsorpcyjnych do około 500 kWh/tonę tlenu przy czystości wynoszącej 95%. Generator może być wykorzystywany w warunkach laboratoryjnych lub poligonowych.

prof. Maciej Chorowski, dr inż. Wojciech Gizicki, dr inż. Tomasz Banaszkiewicz
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

System skraplania tlenu przystosowany do współpracy z generatorem adsorpcyjnym

W ramach realizacji Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii" - Zadanie Badawcze nr 2 „Opracowanie technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2", zaprojektowano, zbudowano i przetestowano system skraplania tlenu przystosowany do współpracy z adsorpcyjnym generatorem tlenu PSA o wydajności 0,6 m^3 tlenu na godz. w warunkach normalnych. Podstawowym elementem skraplarki tlenu jest chłodziarka Gifforda-McMahona. Chłodziarka została zintegrowana z ciśnieniowym zbiornikiem kriogenicznym o pojemności 70 dm^3. Skraplarka tlenu jest dostosowana do pracy z adsorpcyjnym generatorem tlenu pod względem wydajności separacji tlenu, jego ciśnienia wynoszącego do 6 bar oraz czystości tlenu na poziomie 95%. W zależności od ciśnienia, maksymalna masa zmagazynowanego tlenu wynosi od 70 do 80 kg. Tlen może być pobierany ze zbiornika w postaci ciekłej lub gazowej z wydajnością wynoszącą do 9 m^3/h w warunkach normalnych. Instalacja cechuje się zwartą budową, niewielkimi rozmiarami i możliwością łatwego demontażu, przewiezienia i montażu u docelowego klienta. Opracowany system może służyć do zaopatrywania w ciekły tlen instalacji laboratoryjnych lub urządzeń medycznych.

dr hab. inż. Andrzej Strugała, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, strugala@agh.edu.pl,
dr inż. Grzegorz Czerski, Akademia Górniczo-Hutnicza, gczerski@agh.edu.pl

Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej - rezultaty Projektu NCBR

Cele i zadania Projektu

W listopadzie 2015 r. Konsorcjum Naukowo-Przemysłowe „Zgazowanie węgla" zakończyło realizację Zadania Badawczego nr 3 „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej". Projekt ten stanowił jedno z czterech zadań Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W skład Konsorcjum, którego liderem była Akademia Górniczo-Hutnicza wchodziły: Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, Politechnika Śląska w Gliwicach, Grupa Azoty SA, Katowicki Holding Węglowy SA, KGHM Polska Miedź SA, Tauron Polska Energia SA, Tauron Wytwarzanie SA i Tauron Wydobycie SA.

Głównym celem Projektu było opracowanie optymalnych konfiguracji oraz wytycznych procesowych i projektowych układów zgazowania węgla, stanowiących podstawę do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych, a w szczególności:

- opracowanie i weryfikację w skali pilotowej procesu ciśnieniowego zgazowania węgla,
- opracowanie i weryfikację w skali pilotowej procesu podziemnego zgazowania węgla,
- opracowanie i sprawdzenie w skali pilotowej procesów oczyszczania i konwersji gazu w powiązaniu z systemem usuwania CO_2.

Cele te osiągnięto poprzez realizację następujących zadań:

- opracowanie i weryfikację w skali pilotowej (z wynikiem pozytywnym) technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem CO_2 jako czynnika zgazowującego,
- opracowanie dokumentacji procesowej instalacji demonstracyjnej ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem CO_2 jako czynnika zgazowującego,
- opracowanie i weryfikację w skali pilotowej (z wynikiem pozytywnym) technologii podziemnego zgazowania węgla kamiennego metodą szybową,
- opracowanie dokumentacji procesowej instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla kamiennego metodą szybową,
- kompleksową ocenę efektywności ekologicznej, technicznej i ekonomicznej rozwijanych oraz komercyjnych technologii zgazowania węgla,
- opracowanie strategii rozwoju technologii zgazowania węgla w Polsce.

Syntetyczny opis rezultatów Projektu

Ocena krajowej bazy węglowej dla potrzeb zgazowania węgla

Punktem wyjścia dla identyfikacji bazy surowcowej dla naziemnego zgazowania węgla były kryteria technologiczne opracowane na podstawie wieloletnich doświadczeń w zakresie oceny przydatności węgli do tego procesu. W oparciu o kompleksowe dane geologiczne krajowych zasobów węgli kamiennych i brunatnych wytypowano złoża i poszczególne ich pokłady wraz z ich rankingiem pod względem przydatności dla potrzeb naziemnego zgazowania. Należy wspomnieć, iż dane geologiczne dot. krajowych zasobów węgla zazwyczaj nie zawierają informacji dot. zawartości chloru, który to parametr może determinować przydatność węgla do zgazowania. Uwzględniając powyższy fakt, krajowe zasoby węgla kamiennego dla zgazowania naziemnego kształtują się następująco:

- zasoby operatywne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym określono na 515 mln ton, a przy pominięciu kryterium zawartości chloru na 1 mld ton,
- w przypadku Lubelskiego Zagłębia Węglowego praktycznie całość zasobów kwalifikuje się do zgazowania,
- zasobów Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego nie można uznać jako przydatnych dla zgazowania.

W przypadku krajowych zasobów węgla brunatnego przeprowadzona analiza wykazała, że prawie w całości nadają się one do zgazowania w instalacjach naziemnych. Uwzględniając strategię rozwoju górnictwa węgla brunatnego i energetyki opartej na tym paliwie, potencjalne zasoby węgla brunatnego dla zgazowania w instalacjach naziemnych określono na 8 mld ton. Należy jednak zaznaczyć, iż złoża zagospodarowane nie mogą być przeznaczone do zgazowania ze względu na powiązanie kopalń z elektrowniami. Zgazowanie węgla brunatnego wymagać więc będzie udostępnienia jego nowych złóż.

Podstawą dla identyfikacji bazy zasobowej dla podziemnego zgazowania węgla (PZW) oprócz wspomnianych wcześniej kryteriów technologicznych były także kryteria geologiczne, hydrologiczne oraz istniejąca ponad rozpatrywanymi pokładami infrastruktura powierzchniowa. W przypadku węgla kamiennego na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego zasoby przydatne do PZW metodą otworową znajdujące się w złożach niezagospodarowanych są na poziomie 11,5 mln ton. W złożach zagospodarowanych do głębokości 1000 m w kopalniach czynnych znajduje się ok. 636 mln ton węgla, który może potencjalnie zostać zgazowany metodą szybową. W przypadku Lubelskiego Zagłębia Węglowego zasoby w złożach niezagospodaro-

wanych, stanowiące potencjalną bazę dla PZW, wynoszą ok. 579 mln ton. W przypadku Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego wykluczono możliwość lokalizacji tam instalacji PZW.

Interesującą bazę surowcową dla PZW mogą stanowić zasoby węgla kamiennego znajdujące się na głębokości poniżej 1000 m w kopalniach przewidywanych do likwidacji. Ta część zasobów nie może być już eksploatowana tradycyjnymi metodami górniczymi i dlatego zaproponowana została nowa, tzw. hybrydowa technologia eksploatacji, pokładów węglowych. W przypadku identyfikacji bazy zasobowej dla podziemnego zgazowania węgla brunatnego napotkano na istotne utrudnienie, jakim jest całkowity brak doświadczeń w zakresie zgazowania „in situ" węgli o podobnych do krajowych właściwościach. Specyfiką naszych „miękkich" węgli brunatnych jest bowiem duże zawodnienie złóż. Z tego względu potencjalne zasoby węgla brunatnego, określone na poziomie 5 mld ton, należy traktować jako wartość szacunkową.

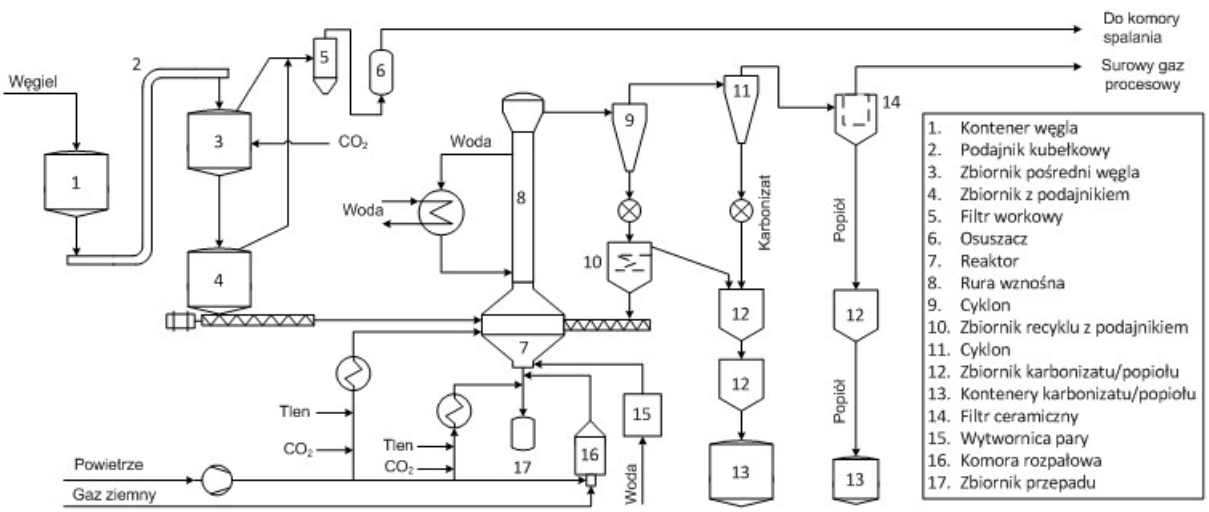
Rozwiązania z zakresu oczyszczania i konwersji gazu ze zgazowania węgla

Do najważniejszych efektów w tym zakresie zaliczyć należy:

- założenia procesowe technologii wysokotemperaturowego usuwania siarkowodoru i amoniaku z gazu procesowego przy użyciu regenerowalnych sorbentów monolitycznych wraz z propozycją 2 nowych adsorbentów oraz wytycznymi procesu ich wytwarzania,
- założenia procesowe dla technologii usuwania CO_2 przy wykorzystaniu adsorbentów z węgli aktywnych,
- założenia procesowe dla technologii usuwania CO_2 z wykorzystaniem absorbentów synergicznych nowej generacji,
- wytyczne procesowe i projektowe układu doświadczalnego do usuwania CO_2 w chemicznej pętli wapniowej wraz z wytycznymi doboru sorbentów wapniowych,
- wytyczne technologii separacji wodoru i CO_2 z gazu procesowego na drodze chemicznej pętli,
- założenia konstrukcyjne reaktora i wytyczne procesowe technologii usuwania zanieczyszczeń smołowych z surowych gazów procesowych wraz z założeniami technologii wytwarzania aktywnego, selektywnego i trwałego katalizatora formowanego dla tego procesu.

Weryfikacja w skali pilotowej technologii zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem ditlenku węgla jako czynnika zgazowującego

Istotą opracowanej koncepcji technologii zgazowania węgla jest wykorzystanie części powstającego w tym procesie CO_2 jako składnika mieszaniny zgazowującej. W porównaniu z klasycznymi technologiami, umożliwia to obniżenie wskaźników jednostkowego zużycia węgla i tlenu, a równocześnie gwarantuje niższą ilość powstającego w tym procesie CO_2. Ze względu na specyficzne wymagania reakcji Boudouarda proces nie może jednak być prowadzony w reaktorze dyspersyjnym tylko w reaktorze fluidalnym (niższa temperatura procesu), a co z tym się wiąże pojawia się produkt uboczny, jakim jest nieprzereagowany w gazyfikatorze karbonizat węglowy. Z uwagi na ogólną sprawność technologii musi on być wykorzystany energetycznie. W tym celu przewidziano układ oksyspalania tego karbonizatu. Obliczenia termodynamiczne, jak i wyniki wstępnych badań laboratoryjnych, wykazały przewagę proponowanej technologii nad stosowanymi dotychczas w skali przemysłowej rozwiązaniami. Celem przeprowadzonych badań było potwierdzenie zalet zaproponowanej technologii w skali pilotowej zarówno dla węgla kamiennego, jak i brunatnego.



Rys. 1. Schemat instalacji pilotowej ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym w Centrum Czystych Technologii Węglowych IChPW Zabrze

A B

Rys. 2. Pilotowe instalacje zgazowania węgla w cyrkulacyjnym złożu fluidalnym w CCTW IChPW
A - instalacja bezciśnieniowa, B - instalacja ciśnieniowa

Obiektem badań był węgiel brunatny z KWB Bełchatów oraz węgle kamienne z KWK Janina oraz KWK Wieczorek. Proces zgazowania prowadzono w zakresie temperatur: 855÷1000°C i ciśnień do 6,2 bara. W trakcie badań pilotowych przeprowadzono 67 testów bilansowych, zużyto około 175 t węgla i wytworzono 0,1 mln Nm^3 gazu procesowego. Czas pracy reaktorów pilotowych w trakcie testów wyniósł 800 godz.

Uzyskane wyniki wykazały możliwość efektywnej realizacji procesu zgazowania i potwierdziły rezultaty wcześniejszych badań laboratoryjnych oraz obliczeń procesowych. Wyprodukowany gaz posiadał skład spełniający wymagania dla gazu syntezowego stosowanego w przemyśle chemicznym, a także spełniający wymagania dla gazu stosowanego w układach energetycznych IGCC. Zastosowanie CO_2 w procesie zgazowania spowodowało wzrost wydajności gazu syntezowego o 30% (dla węgli kamiennych) i 40% (dla węgli brunatnych). Potwierdzono obniżenie jednostkowego zużycia węgla oraz tlenu (produkcja tlenu stanowi główny element kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych) przy równoczesnej poprawie efektywności procesu. Ponadto wykazano, że dodatek CO_2 do mieszaniny zgazowującej stabilizuje pracę reaktora zgazowania.

Uzupełnieniem tej tematyki jest koncepcja elektrociepłowni zintegrowanej ze zgazowaniem węgla w reaktorze z recyrkulacją CO_2. Produkowany w reaktorze CFB gaz jest ochładzany i oczyszczany, a następnie kierowany do turbiny gazowej, w której jest realizowany proces spalania tlenowego. W celu zwiększenia sprawności układu powstały w procesie karbonizat wykorzystuje się jako paliwo do kotła fluidalnego. Istotnym elementem tej technologii jest produkcja ciepła dla miejskiego systemu ciepłowniczego, przy maksymalnym wykorzystaniu ciepła odpadowego pokrywającego zapotrzebowanie podstawowe. Układ charakteryzuje się korzystnymi wskaźnikami energetycznymi przy uwzględnieniu pełnego wychwytu CO_2. Ponadto opracowano koncepcję układu produkcji metanolu zintegrowanego z fluidalnym reaktorem zgazowania węgla przy zastosowaniu CO_2 jako składnika mieszaniny zgazowującej.

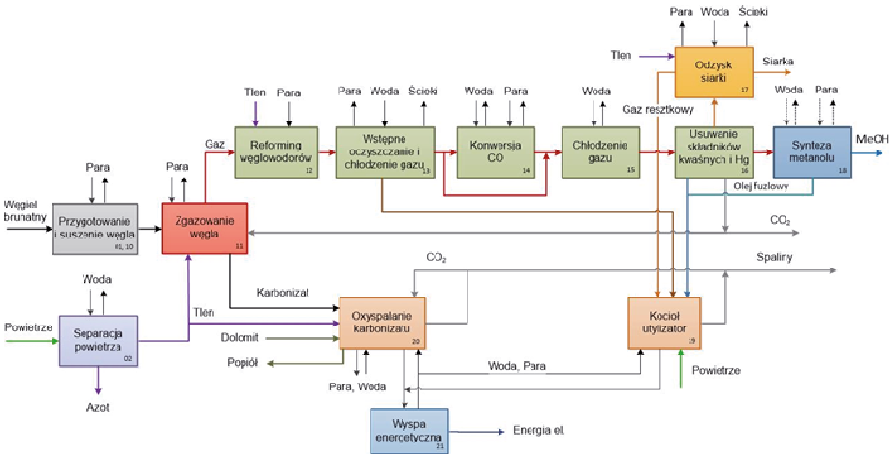
Dokumentacja procesowa instalacji demonstracyjnej ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB z wykorzystaniem CO_2 jako czynnika zgazowującego

W oparciu o wyniki przeprowadzonych testów zgazowania w instalacji pilotowej oraz analiz różnych układów - zarówno energetycznego, jak i chemicznego wykorzystania wyprodukowanego gazu, opracowano projekt procesowy oraz wykonano wstępne studium wykonalności instalacji demonstracyjnej zgazowania węgla brunatnego w ciśnieniowym reaktorze CFB z użyciem CO_2, jako składnika mieszaniny zgazowującej. Instalacja obejmuje wszystkie węzły technologiczne, niezbędne do przygotowania wytwarzanego gazu dla potrzeb produkcji metanolu, a także energetycznego wykorzystania powstającego w tym procesie karbonizatu. Instalacja demonstracyjna przewidziana została dla wydajności 62,5 t węgla surowego na godz., co pozwoli uzyskać ok. 60 ton/h surowego gazu. Taka ilość gazu, po jego wcześniejszym oczyszczeniu i konwersji, umożliwi produkcję ok. 16 ton/h metanolu. Dodatkowo w procesie powstaje energia elektryczna (ok. 20 MW). Ogólny schemat projektowanej instalacji demonstracyjnej pokazano na rys. 3.

Wyniki wstępnej oceny wykonanej w ramach studium wykonalności instalacji demonstracyjnej wykazały akceptowalny poziom opłacalności tego przedsięwzięcia.

Weryfikacja w skali pilotowej technologii podziemnego zgazowania węgla kamiennego

W lecie 2014 r. przeprowadzono trwającą blisko 2 miesiące pilotową próbę podziemnego zgazowania węgla kamiennego metodą szybową z wykorzystaniem elementów istniejącej infrastruktury podziemnej kopalni. Georeaktor pilotowy usytuowany został w KWK Wieczorek w pokładzie 501 znajdującym się na głębokości ok. 460 m o miąższości sięgającej 5 m. Lokalizacja georeaktora została wytypowana w oparciu o przeprowadzone kompleksowe analizy hydrogeologiczne oraz ocenę systemów wentylacyjnych kopalni. Instalacja została wybudowana wspólnymi siłami Głównego Instytutu Górnictwa i KHW SA. Głównym elementem



Rys. 3. Schemat ogólny zaprojektowanej przez IChPW instalacji demonstracyjnej ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze CFB

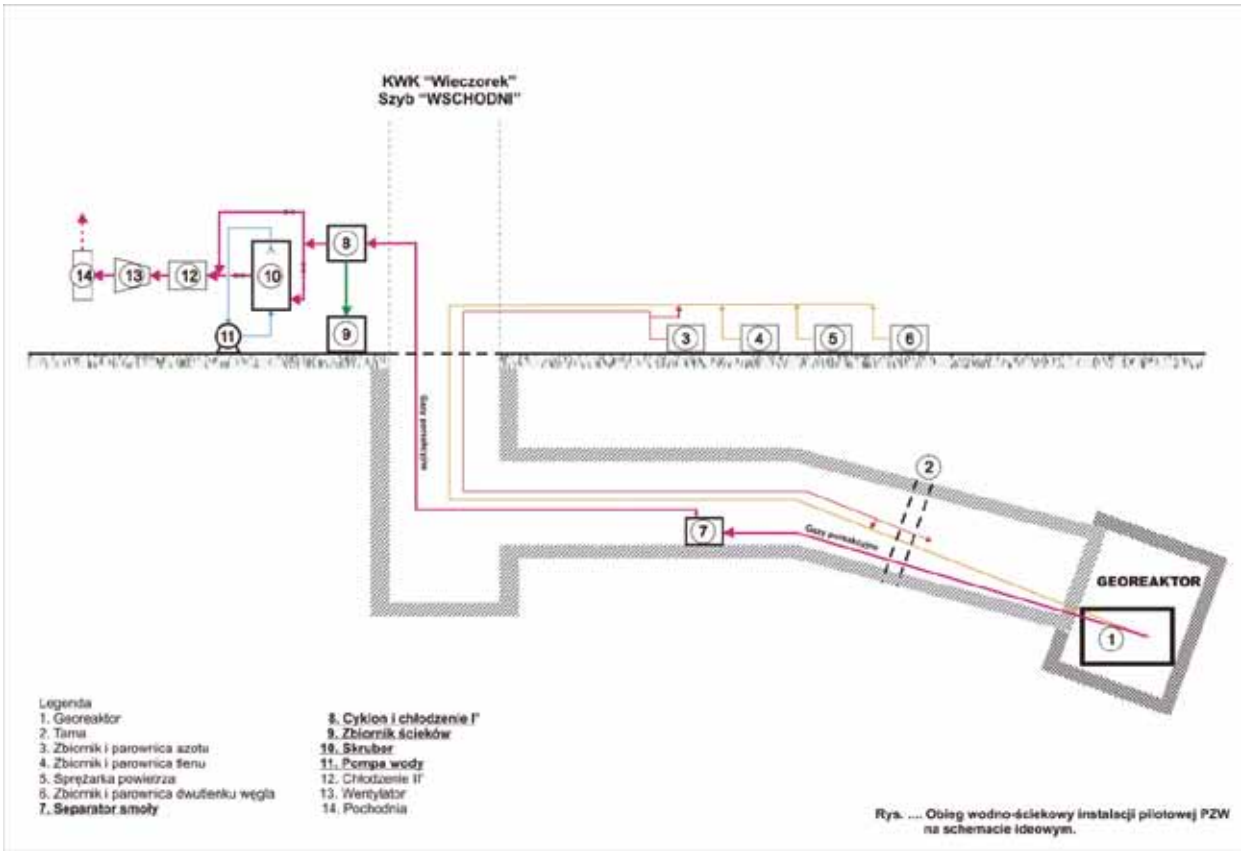
podziemnej części instalacji pilotowej był georeaktor utworzony przez dwa odwierty o średnicach 200 i 300 mm w kształcie litery V. Do otworu o średnicy 200 mm podłączony był rurociąg zasilający w media gazowe (powietrze, tlen, azot) biegnący z powierzchni szybem oraz siecią wyrobisk. Otworem o średnicy 300 mm odbierany był powstający gaz, który następnie poprzez separatory smoły i kondensatu wyprowadzano na powierzchnię.

W skład naziemnej części instalacji pilotowej wchodziły: układ przygotowania i podawania gazów (sprężarka powietrza, zbiorniki i parownice ciekłego tlenu i azotu) oraz układ chłodzenia i oczyszczania produktów gazowych (chłodnice powietrzne i wodne, cyklon, adsorbery H_2S, odsmalacz odśrodkowy, wentylator odciągowy) oraz pochodnia, w której gaz był spalany.

W ramach eksperymentu zgazowano około 250 ton węgla i wytworzono około 1 000 000 m^3 gazu o średniej wartości opałowej 3,55 MJ/m^3. Średnia zawartość tlenu w gazie wynosiła 0,17% obj., co świadczy o prawidłowym przebiegu procesu oraz szczelności instalacji. Gaz spalany był w pochodni. W planowanej instalacji demonstracyjnej przewiduje się już jego wykorzystanie, np. do zasilania kotła pracującego w układzie z turbiną parową.

Po zakończeniu próby pilotowej i wychłodzeniu georeaktora udostępniono powstałą kawernę i rejon do niej przylegający dla badań mających na celu m.in. określenie jej wytrzymałości mechanicznej oraz ocenę oddziaływania procesu PZW na środowisko.

Do głównych efektów przeprowadzonej próby pilotowej należy zaliczyć przeprowadzenie procesu w sposób stabilny i zgodny z wcześniejszymi założeniami, co świadczy o w pełni kontrolowanym przebiegu i sterowalności tego procesu. Pomiary składu atmosfery wykonane w sąsiadujących z georeaktorem wyrobiskach oraz w otworach kontrolnych nie wykazały migracji CO, ani innych gazów pożarowych.



Rys. 4. Schemat pilotowej instalacji GIG do podziemnego zgazowania węgla w KWK Wieczorek

Opracowanie dokumentacji procesowej instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla kamiennego metodą szybową

W oparciu o wyniki przeprowadzonej próby pilotowej PZW, analizy układów energetycznego wykorzystania węgla z tego procesu, a także identyfikacji bazy węglowej opracowano projekt procesowy oraz wstępne studium wykonalności instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla kamiennego metodą szybową. Dla tego celu wytypowano pokład 334/2 w należącej do KHW S.A. kopalni Mysłowice Staszic - Rejon Boże Dary. Produkowany gaz może być spalany w kotle dwupaliwowym o mocy ok. 20 MW w jednym z lokalnych przedsiębiorstw zajmujących się produkcją tektury (wariant 1) lub w kotłowni gazowej zasilanej gazem ziemnym i gazem ze zgazowania, obsługującej planowane do budowy osiedle (wariant 2). Wyniki przeprowadzonej wstępnej oceny efektywności obu wariantów tego przedsięwzięcia wykazały akceptowalną efektywność dla drugiego z wariantów, tj. produkcji ciepła na potrzeby odbiorców indywidualnych (układ o łącznej mocy cieplnej 20,5 MWTh, w tym 12 MWTh w gazie z PZW).

Kompleksowa ocena efektywności ekologicznej, techniczno-technologicznej i ekonomicznej technologii zgazowania węgla

Podstawą dla oceny efektywności technologii zgazowania węgla była przygotowana baza danych dla komercyjnych oraz rozwijanych technologii. Obejmuje ona:

- komplet danych procesowych i ekonomicznych dla poszczególnych procesów i operacji jednostkowych na- i podziemnego zgazowania węgla, jak też procesów zintegrowanych,
- zestaw kart technologicznych opisujących poszczególne węzły technologiczne oraz operacje jednostkowe występujące w procesach zgazowania i procesach zintegrowanych,

Rys. 5. Fragment części naziemnej pilotowej instalacji GIG do podziemnego zgazowania węgla w KWK Wieczorek

- mapę rozwiązań technologicznych uwzględniającą optymalną dla krajowych warunków listę rankingową procesów zgazowania węgla dla potrzeb energetyki i chemii.

Wyznaczono też wskaźniki obciążeń środowiskowych, efektywności kosztowej uwzględniające koszty łańcucha technologicznego w całym cyklu życia oraz wskaźnik ekoefektywności integrujący wskaźniki efektywności ekologicznej oraz kosztowej dla technologii na- i podziemnego zgazowania węgla. Określono także wpływ kosztów udostępnienia złóż i pozyskania węgla na efektywność zgazowania.

W oparciu o powyższe dane opracowano wspólne dla całego Projektu: metodykę oceny efektywności ekonomicznej, miary i standardy oraz procedury tej oceny, pozwalające na porównanie rozwijanych technologii zgazowania węgla z technologiami komercyjnymi. Umożliwiło to dokonanie kompleksowej oceny efektywności tych technologii przy uwzględnieniu makro - i mikroekonomicznych uwarunkowań oraz ustalenie kryteriów wyboru optymalnej strategii rozwoju tych technologii w Polsce.

Szczegółowe informacje dot. bazy danych procesów zgazowania węgla oraz wyników oceny ich efektywności zamieszczone zostały m.in. w monografiach [1, 2, 3 i 4].

Wyniki tej części prac projektowych wykorzystano dla opracowania długoterminowej koncepcji strategii rozwoju technologii zgazowania węgla w Polsce z uwzględnieniem trzech obszarów aktywności: obszaru regulacyjnego, obszaru badawczo-regulacyjnego oraz obszaru komercyjnego.

Opracowanie strategii rozwoju technologii zgazowania węgla w Polsce

Opracowanie strategii rozwoju zgazowania węgla w Polsce oparto na wynikach wspomnianej wcześniej oceny efektywności zarówno komercyjnych, jak też rozwijanych technologii oraz wynikach analizy strategii rozwoju górnictwa węgla kamiennego i brunatnego w Polsce.

W przypadku technologii naziemnego zgazowania węgla jako najbardziej perspektywiczne kierunki jej rozwoju w Polsce wskazano: układ poligeneracyjny produkcji metanolu i energii oraz kogeneracyjny układ IGCC. Interesującym kierunkiem jest też substytucja gazu ziemnego w procesie produkcji nawozów sztucznych.

W przypadku technologii naziemnego zgazowania węgla wskazano dwa główne kierunki działań mających na celu wdrożenie tej technologii w Polsce:

- w perspektywie 2020 r.: implementacja jednej z dostępnych technologii komercyjnych,
- w perspektywie 2030 r.: implementacja zweryfikowanej w ramach Projektu w skali pilotowej technologii (wdrożenie komercyjne tej technologii wymaga jednak realizacji etapu pośredniego, tj. budowy i eksploatacji instalacji demonstracyjnej co wymaga ok. 10 lat).

W przypadku podziemnego zgazowania węgla strategia rozwoju tej technologii

w Polsce w wersji opracowanej i sprawdzonej w skali pilotowej zakłada jej ukierunkowanie w pierwszej kolejności na wykorzystanie tzw. zasobów resztkowych kopalń, które ze względów technicznych lub ekonomicznych nie zostały wyeksploatowane tradycyjnymi metodami górniczymi. W dalszej kolejności opracowana technologia może być wykorzystana w przewidzianych do likwidacji kopalniach dla eksploatacji pokładów węgla na głębokościach pow. 1 km (zasoby nie nadające się do wydobycia tradycyjnymi metodami).

Uwzględniając konieczność realizacji etapu pośredniego, tj. budowę i eksploatację instalacji demonstracyjnej PZW, pierwsze wdrożenie tej technologii może nastąpić najwcześniej w perspektywie 10÷15 lat. Ponadto należy podkreślić, iż w przypadku PZW z uwagi na specyfikę tego procesu brak jest rozwiązań technologicznych gotowych do komercyjnego wdrożenia w Polsce.

Pozostałe rezultaty realizacji Projektu

Do innych istotnych rezultatów Projektu zaliczyć należy ponadto:

- opracowanie technologii przygotowania węgla do procesu zgazowania w reaktorze CFB obejmującej takie elementy jak: separator do odkamieniania i wzbogacania węgla na sucho, układ przygotowania paliwa zapewniający optymalne jego uziarnienie i parametry jakościowe. Zdefiniowano rozwiązania techniczne instalacji dla przygotowania zarówno węgla kamiennego, jak i brunatnego. Szczegółowe rezultaty zawarte zostały w 3 monografiach [4, 5 i 6],
- opracowanie wytycznych procesowych technologii usuwania rtęci z węgla na drodze pirolizy niskotemperaturowej przed procesem zgazowania,
- opracowanie koncepcji utylizacji ubocznych produktów zgazowania węgla jako składników: zaczynów popiołowo-cementowych i spoiw, zapraw i betonów popiołowych oraz podsadzki zawiesinowej w podziemnych kopalniach,
- opracowanie modeli oddziaływania procesów przebiegających w georeaktorze na otaczające środowisko,
- opracowanie modeli układów energetycznego wykorzystania gazu z podziemnego zgazowania węgla,
- opracowanie modelu numerycznego procesu zgazowania węgla w reaktorze CFB,
- opracowanie modeli układów wykorzystujących gaz z ciśnieniowego reaktora CFB.

Do wymiernych efektów Projektu zaliczyć należy także:

- 5 nowych lub istotnie zmodernizowanych instalacji pilotowych,
- 12 rozwiązań techniczno-technologicznych z zakresu zgazowania węgla oraz 6 rozwiązań tego typu z zakresu oczyszczania i konwersji gazu ze zgazowania węgla w powiązaniu z usuwaniem ditlenku węgla,
- 13 zgłoszeń patentowych,
- 3 zakończone z wynikiem pozytywnym przewody habilitacyjne,
- 11 obronionych prac i 7 otwartych przewodów doktorskich,
- 83 obronione prace magisterskie i inżynierskie,
- 10 wydanych i 4 przygotowane do wydania monografie naukowe z zakresu zgazowania węgla oraz 3 rozdziały w innych monografiach,
- 45 publikacji w czasopismach z listy A oraz 139 publikacji w czasopismach z listy B MNiSW,
- 139 prezentacji przedstawionych na 88 krajowych i zagranicznych konferencjach naukowo-technicznych,
- 6 ekspertyz i opinii z zakresu technologii PZW.

Szczegółowe informacje na temat Projektu i jego wyników można znaleźć na stronie: www.zgazowaniewegla.agh.edu.pl.

Udział partnerów przemysłowych w realizacji Projektu

W realizacji Projektu aktywnie uczestniczyli partnerzy przemysłowi. I tak Katowicki Holding Węglowy SA sfinansował cały szereg prac związanych z przygotowaniem pilotowej instalacji PZW, tj. udostępnienie wyrobisk i urządzeń w miejscu budowy georeaktora pilotowego w KWK Wieczorek.

Grupa Azoty SA pokryła koszty modyfikacji stanowiska testowego - reaktora z tlenkową pętlą chemiczną oraz kosztów jego obsługi. Dostarczyła także „know-how" z zakresu strategii sektorowej rozwoju przemysłu chemicznego w Polsce oraz danych niezbędnych do realizacji Projektu, dotyczących zapotrzebowania na gaz ziemny i ropę naftową oraz struktury ich wykorzystania przez branżę chemiczną, charakterystyki wiodących w świecie technologii wytwarzania gazu syntezowego na bazie gazu ziemnego, jak też kosztów wytwarzania gazu syntezowego do produkcji amoniaku i metanolu na bazie gazu ziemnego.

Wkładem wniesionym przez KGHM Polska Miedź SA była wstępna analiza złóż legnickich w aspekcie zastosowania metody zgazowania podziemnego w ich zagospodarowaniu, określenie uwarunkowań środowiskowych i formalnoprawnych podziemnego zgazowania złóż węgli brunatnych oraz wymagane kryteria wynikające z procesów zachodzących w gazogeneratorze i skałach otaczających.

Tauron Polska Energia SA sfinansował opracowanie pt. „Analiza i ocena możliwości odbudowy mocy w wybranym obiekcie Grupy Tauron, na bazie zgazowania węgla przy wykorzystaniu rozwijanej technologii zgazowania węgla w atmosferze CO_2 oraz komercyjnych technologii zgazowania w reaktorach dyspersyjnych".

Tauron Wytwarzanie SA sfinansował wykonanie Studium Wykonalności Bloku działającego w oparciu o układ gazowo-parowy zintegrowany ze zgazowaniem węgla IGCC *(Integrated Gasification Combined Cycle)* w wariancie z i bez instalacji CCS *(Carbon Capture and Storage)*.

Tauron Wydobycie SA dostarczył węgiel do prób pilotowych zgazowania węgla w reaktorze CFB oraz świadczył usługi konsultacyjne dla IChPW w zakresie przygotowania węgla do zgazowania.

Podsumowanie

Wszystkie zapisane w Umowie Projektowej NCBR cele zostały zrealizowane, a zadeklarowane rezultaty osiągnięte. Z pozytywnym rezultatem zweryfikowane zostały

obie rozwijane w ramach Projektu technologie zgazowania węgla. Na obecnym etapie rozwoju tych technologii ich wdrożenie w skali przemysłowej wymaga jednak weryfikacji w skali demonstracyjnej. Wyniki uzyskane w skali demonstracyjnej dostarczą pełnych i wiarygodnych danych niezbędnych dla oceny efektywności technicznej, ekologicznej i ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych związanych z budową komercyjnych instalacji na- i podziemnego zgazowania węgla. Dla tych celów w ramach Projektu opracowano projekty procesowe i wykonano wstępne studia wykonalności instalacji demonstracyjnych.

Literatura:

1. *Praca zbiorowa pod redakcją S. Porady i A. Strugały: Procesy i operacje w technologiach zgazowania węgla; Wydawnictwo: Druk -24h.com.pl, Kraków, 2015.*
2. *Praca zbiorowa pod redakcją S. Porady i A. Strugały: Baza danych procesów i operacji w technologiach zgazowania węgla; Wydawnictwo: Druk-24h.com.pl, Kraków 2015 r.*
3. *Praca zbiorowa pod redakcją K. Kwaśniewskiego i M. Kopacza: Zgazowanie węgla, uwarunkowania, efektywność i perspektywy rozwoju:, Wydawnictwo AGH Kraków, 2015.*
4. *T. Chmielniak, J. Bigda, A. Sobolewski, M. Ściążko: Technologie oczyszczania i uzdatniania gazu ze zgazowania naziemnego węgla kamiennego. Wydawnictwo IChPW, Zabrze 2015.*
5. *T. Dzik, T. Gawenda, A. Krawczykowska, D. Krawczykowski, J. Marciniak-Kowalska: Opracowanie i weryfikacja w skali pilotowej technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO_2 jako czynnika zgazowującego - Część I: Przygotowanie węgli do zgazowania naziemnego w gazogeneratorze fluidalnym, z wykorzystaniem procesów mechanicznych inżynierii mineralnej - badania wstępne; Wydawnictwo Grafpol, Wrocław 2014.*
6. *T. Gawenda, D. Krawczykowski, J. Marciniak-Kowalska: Opracowanie i weryfikacja w skali pilotowej technologii ciśnieniowego zgazowania węgla w reaktorze cyrkulującym złożem fluidalnym przy wykorzystaniu CO_2 jako czynnika zgazowującego - Część II: Rozdrabnianie, klasyfikacja granulometryczna i wzbogacanie węgli do zgazowania naziemnego w gazogeneratorze fluidalnym; Wydawnictwo Grafpol, Wrocław 2014.*
7. *T. Gawenda, D. Krawczykowski, J. Marciniak-Kowalska: Elaboration and veryfication in pilot scale of pressure technology of coal gasification in reactor with circulating fluidized bed by means of CO_2 as gasifying factor - Vol. III: Investigation of coal preparation process to terrestrial gasification in fluidized bed gas generator with application of mechanical processes of mineral engineering; Wydawnictwo Grafpol, Wrocław 2014.*

dr inż. Aleksander Sobolewski, dr inż. Tomasz Chmielniak, dr hab. inż. Marek Ściążko,
mgr inż. Grzegorz Tomaszewicz, mgr inż. Piotr Babiński, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, asobolewski@ichpw.pl

Zgazowanie węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy zastosowaniu CO_2 jako czynnika zgazowującego w skali pilotowej - doświadczenia projektu strategicznego

Atrakcyjność technologii zgazowania paliw wynika z szeregu zalet, do których należą wysoka efektywność procesu, możliwość wielokierunkowego wykorzystania gazu zarówno do produkcji energii, jak również w syntezie chemicznej oraz relatywnie niski negatywny wpływ na środowisko naturalne. Zaprezentowane zostaną wyniki badań nad zgazowaniem węgla kamiennego i brunatnego uzyskanych podczas realizacji Zadania Badawczego nr 3 „Zgazowanie węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej" Strategicznego Programu Badań.

Badania były prowadzone w skali pilotowej w ciśnieniowym reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym z wykorzystaniem CO_2 jako czynnika zgazowującego. Podczas kampanii badawczych, zbadano wpływ dodatku CO_2, temperatury i ciśnienia na skład generowanego gazu syntezowego. Zastosowanie CO_2 jako czynnika zgazowującego przyczynia się do wzrostu stężenia CO. Ponadto możliwe jest zastąpienie pierwiastka węgla z paliwa pierwiastkiem C z CO_2.Wykazano również pozytywny wpływ ciśnienia na ilość wytwarzanego CO w zakresie 2-4 bar.

Zaprezentowany zostanie również projekt technologiczny instalacji produkcji metanolu zintegrowanej z ww. układem zgazowania węgla w skali demonstracyjnej (40 ton/h zgazowywanego węgla), co pozwala na produkcję ok. 120 000 ton/r. metanolu.

Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość zgazowania węgla z wykorzystaniem CO_2 jako czynnika zgazowującego w instalacji pilotowej, która została zaprojektowana i zbudowana w IChPW, a także potwierdzają słuszność rozwiązania technologicznego ciśnieniowego zgazowania węgla w cyrkulującym złożu fluidalnym.

mgr inż. Jerzy Świądrowski, dr inż. Piotr Mocek, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, mgr inż. Eugeniusz Jędrysik
Główny Instytut Górnictwa, j.swiadrowski@gig.katowice.pl

Koncepcja demonstracyjnej instalacji podziemnego zgazowania węgla na przykładzie jednej z kopalni GZW

W publikacji przedstawiono koncepcję układu technologicznego wraz z przykładowymi wynikami obliczeń opłacalności przedsięwzięcia, polegającego na budowie instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla w jednej z kopalń GZW. Podziemne zgazowanie węgla zaliczane jest do czystych technologii węglowych, a jedna z metod eksploatacji węgla tym sposobem - metoda szybowa, może znajdować zastosowanie dla pokładów resztkowych w likwidowanych kopalniach, zwiększając w ten sposób stopień wykorzystania zasobów węgla. Budowa instalacji demonstracyjnej wytwarzającej gaz dla zastosowania w energetyce w układach o średniej mocy winna stanowić element pośredni pomiędzy instalacją pilotową w której badania przeprowadzono w 2014 r. a instalacją komercyjną.

prof. dr hab. inż. Jan Kiciński, czł. koresp. PAN, Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, kic@imp.gda.pl

Zintegrowane technologie wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych

Tytuł niniejszego artykułu dokładnie odpowiada tytułowi Programu Strategicznego Zadanie 4 (Z4 PS). Projekt ten zakończył się w listopadzie 2015 r., a wyniki uzyskane podczas realizacji tego Zadania przedstawione zostały w syntetycznej formie podczas Ogólnopolskiej Konferencji Podsumowującej, która odbyła się 23 listopada 2015 r. w Europejskim Centrum Solidarności w Gdańsku.

Zadanie Z4 PS realizowało konsorcjum naukowo-przemysłowe, które pod względem organizacyjnym stanowiło dwuczłonową strukturę IMP - Grupa Kapitałowa ENERGA wraz z szeregiem umów o współpracy zawartych pomiędzy IMP i Współwykonawcami z różnych uczelni i ośrodków.

To rzadki w naszym kraju przykład tak dużego bezpośredniego zaangażowania się przemysłu w współpracę z nauką (wkład finansowy GK ENERGA bezpośrednio w budżet projektu wynosił bowiem ponad 36% dofinansowania NCBIR). Zadanie Z4 PS zgodnie ze swymi założeniami powinno się przyczynić do rozwoju szeroko rozumianej ekoenergetyki, w tym także do rozwoju energetyki prosumenckiej lub inaczej obywatelskiej w naszym kraju. Energetyka obywatelska to piękna wizja, w której obywatel (lub społeczność samorządowa) jest podmiotem, a nie przedmiotem rynku energii, a ponadto ma swego wirtualnego doradcę w sieciach inteligentnych i w technologiach przetwarzania danych w cyfrowej „chmurze". W ramach projektu wybudowane zostały dwie nowoczesne instalacje kogeneracyjne w gminach Żychlin i Szepietowo, które mogą być przykładem dla budowy kolejnych Autonomicznych Regionów Energetycznych ARE (lub też inaczej Gminnych Centrów Energetycznych), dedykowanych dla gminnych ośrodków samorządowych wykorzystujących lokalne zasoby Odnawialnych Źródeł Energii. ARE to duża szansa cywilizacyjna dla polskiej wsi.

Zaproponowane w zadaniu Z4 PS innowacyjne technologie (np.: siłownie kogeneracyjne małej mocy, magazyny energii, materiały dla ogniw pV) mogą też być wykorzystane dla budownictwa plus-energetycznego, poprawiając tym samym efektywność energetyczną budynków i zmniejszając emisyjność naszych osiedli.

Instalacje pilotażowe. Oferta dla przemysłu

Głównym zadaniem projektu było wybudowanie 12 pilotażowych instalacji o różnej skali i przeznaczeniu. W niniejszym artykule wymienimy zaledwie kilka mających znaczny potencjał wdrożeniowy i innowacyjny, stąd też mogą one być traktowane jako oferta dla przemysłu. Na stronie internetowej www.imp.gda.pl/PS4/Konferencja_Prezentacja_Wynikow/ dostępna jest prezentacja Kierownika Projektu podsumowująca całość prac Z4 PS.

Pilotażowy Układ Kogeneracyjny (PUK) Żychlin

Instalacja ta wybudowana i uruchomiona została na terenie gminy Żychlin w miejsce starej kotłowni i jest odzwierciedleniem idei budowy nowoczesnych układów kogeneracyjnych wykorzystujących lokalne zasoby OZE, a więc budowy Autonomicznych Regionów Energetycznych ARE. Instalacja ta rozwiązuje problem, jaki spotyka ok. 300 podobnych gminnych ciepłowni w kraju, a mianowicie - co zrobić z nadmiarem ciepła latem.

Rys. 1 i 2 Moduł ORC instalacji w Żychlinie - kocioł biomasowy 1.2 MWc i turbogenerator ORC 250 kWe

Rys. 3 i 4 Mikrobiogazownia „ENERGA 20/PG" w PODR Lubań. Kontenerowa instalacja oraz system absorberów SFR

Zaproponowana tu została budowa wielomodułowa, z tym, że jeden moduł ORC (kocioł biomasowy + turbina ORC) ma moc dopasowaną do potrzeb letnich i pracuje na pełnej wydajności cały rok, produkując dodatkowo prąd, a więc pracując w układzie kogeneracyjnym. Pozostałe moduły (gazowy, węglowy) będą dołączane w zależności od potrzeb energetycznych gminy.

Instalacja ORC w Żychlinie - innowacyjność

- Wejście instalacji na rynek w segment mocy dedykowany dla ARE (kilkaset kW energii elektrycznej, kilka MW energii cieplnej). Tego rodzaju przedział mocy nie jest obecnie oferowany.
- Elektrofiltr instalacji kotłowej małej mocy 1.8 MWc - jedyny w Europie elektrofiltr tak małej mocy.
- Magazyn ciepła buforujący dobowe zmiany temperatury wpięty w system siłowni kogeneracyjnej.

Mikrobiogazownie pilotażowe fermentacyjne o mocy 10-20 kWe. Instalacja Lubań

W miejscowości Lubań zaprojektowano, zbudowano i przebadano układ mikrobiogazowni z układem kogeneracji „Energa 20/PG" o mocy 10 kWe/30 kWc oraz układ wzbogacania biogazu z systemem absorpcyjnym typu SFR (z wirującą cieczą) o mocy przerobowej 200 m^3 biogazu.

Instalacja ta wykorzystuje bioodpady dla produkcji energii i paliw odnawialnych, co może stanowić dodatkowe źródło dochodów dla posiadaczy małych i średnich gospodarstw rolnych (<50 ha). W przypadku odpadów mocno uwodnionych skoncentrowano się na technologiach fermentacji metanowej i etanolowej. Wiele uwagi poświęcono rozwojowi małych (10 kWe) mikrobiogazowni rolniczych. Uzasadnieniem dla podjęcia tych prac jest rozdrobnienie polskiego rolnictwa, w tym fakt istnienia ponad 100 000 gospodarstw rolnych o wielkości 20-50 ha, które potencjalnie mogłyby być zainteresowane nabyciem tego typu instalacji.

Zgazowarki pirolityczne. Instalacje zgazowania IMP oraz UWM

W Laboratorium IMP PAN oraz na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie powstały dwie instalacje zgazowania trudnych do utylizacji substancji takich jak: pozostałości poubojowe z firmy Indykpol, pomiot kurzy, suszone osady ściekowe, jak i zrębki drewniane.

W IMP PAN powstał układ kogeneracyjny ze zgazowarką o mocy w syngazie 180 kWc i małej mocy elektrycznej (10 kWe) z automatycznym ciągłym podawaniem paliwa oraz czynnika zgazowującego. System umożliwia zgazowanie parą i wzbogaconym w tlen powietrzem. Konstrukcja modułowa umożliwia skalowanie do 1 MWc. Obecnie na rynku brak jest podobnych urządzeń odpowiadających potrzebom ok. 100 000 gospodarstw do 50 ha oraz małych przedsiębiorstw z branży drzewnej w Polsce.

Innowacyjność instalacji: układ małej mocy z automatycznym ciągłym podawaniem paliwa oraz czynnika zgazowującego, system umożliwiający zgazowanie parą i powietrzem wzbogaconym tlenem, konstrukcja modułowa umożliwiająca skalowanie do 1 MWt, brak w ofercie komercyjnej instalacja odpowiada potrzebom gospodarstw do 50 ha.

Rys. 5 i 6 Układy kogeneracji ze zgazowarkami, po lewej: układ CHP 10 kWe ze zgazowarką o mocy cieplnej 180 kWc w IMP PAN, po prawej: układ CHP 40 kWe/100 kWc w UWM Olsztyn

dr hab. inż. Adam Cenian, prof. IMP PAN, dr inż. Robert Aranowski, Politechnika Gdańska,
cenian@imp.gda.pl, robert.aranowski@pg.gda.pl

Mikrobiogazownia

W zakresie technologii produkcji wzbogacania i wykorzystania biogazu zbudowano układ mikrobiogazowni z układem kogeneracji Energa 20/PG o mocy 10 kWe/30 kWc oraz układ wzbogacania biogazu z systemem absorpcyjnym typu SFR (z wirującą cieczą) o mocy przerobowej 200 m^3 biogazu. Instalacja zlokalizowana na terenie PODR Lubań wykorzystuje bioodpady dla produkcji energii i paliw odnawialnych, co może stanowić dodatkowe źródło dochodów dla posiadaczy małych i średnich gospodarstw rolnych (<50 ha). Instalacja wyposażona jest w system kontroli i zdalnego monitoringu procesu, co umożliwia kontrolę procesu z każdego miejsca w kraju. Wyprodukowany biogaz może być wykorzystany jako paliwo w układzie kogeneracyjnym, bądź wtłoczone do sieci gazowej po uprzednim oczyszczeniu. Układ pozwala na oczyszczanie 200 m^3 biogazu do czystości 96% biometanu.

prof. dr hab. inż. Janusz Gołaszewski, UWM Centrum Badań Energii Odnawialnej, **Marek Laskowski,** ENERGA SA,
janusz.golaszewski@uwm.edu.pl, marek.laskowski@energa.pl

Biorafineria bioetanolu II generacji

Wielokrotnie próbowano zdefiniować pojęcie biorafinerii, czego następstwem było powstanie wielu niepełnych lub różniących się od siebie definicji. Po wyłonieniu z nich najistotniejszych elementów, stworzono kompleksową definicję. Według niej biorafineria to zintegrowany „bioprzemysł", w którym stosuje się różnorodne technologie w celu uzyskania produktów, takich jak substancje chemiczne, biopaliwa, biomateriały oraz tym samym ciepło i energię, a wszystko odbywa się w kontekście zrównoważonego rozwoju opartego na trzech filarach, jakimi są środowisko, gospodarka i społeczeństwo.

W ramach prac badawczo-rozwojowych, zainicjowanych w Zadaniu Badawczym nr 4 Programu Strategicznego NCBiR, w miejscowości Bałdy powstał pierwszy polski układ produkcji bioetanolu z lignocelulozy. W tej instalacji do produkcji bioetanolu wykorzystywane są tzw. hodowlane rośliny energetyczne, takie jak wierzba. Instalacja zbudowana jest z czterech modułów, obejmujących następujące etapy technologiczne: obróbkę wstępną surowca i hydrolizę enzymatyczną, fermentację oraz destylację powstałego produktu z potencjałem wydajności około 12 l/h. W proponowanym rozwiązaniu dla przeprowadzenia obróbki wstępnej wykorzystuje się stężony kwas ortofosforowy, co pozwala na łatwiejsze zagospodarowanie powstających w procesie pozostałości, które można wykorzystać np. jako nawóz wzbogacony w związki fosforu. Innowacyjnym podejściem jest także zastosowanie środków powierzchniowo czynnych w procesie obróbki wstępnej biomasy.

Biorafineria lignocelulozowa. Instalacja Bałdy

W miejscowości Bałdy zaprojektowana i wybudowana została instalacja do wytwarzania bioetanolu II generacji z masy lignocelulozowej (bez udziału substratów konsumpcyjnych) o wydajności 12 l/h. Surowcem wykorzystywanym w biorafinerii jest biomasa lignocelulozowa gatunków roślin takich jak wierzba, pochodząca z upraw dedykowanych, m.in. prowadzonych na gruntach marginalnych. Wytworzona instalacja pozwala na zagospodarowanie pozostałości poprocesowych oraz dalsze jej przetwarzanie do produktów energetycznych.

Zoptymalizowano procesy hydrolizy enzymatycznej i fermentacji, dokonano doboru optymalnych parametrów procesu, odpowiednich preparatów enzymatycznych, jak i szczepów drożdży dopasowanych do wykorzystywanego surowca. Technologia jest przyjazna środowisku i pozwala na energetyczne zagospodarowanie frakcji odpadowych (biogaz/piroliza/zgazowanie), powstających podczas procesu produkcji etanolu.

Innowacyjność instalacji: pierwszy polski układ produkcji bioetanolu z lignocelulozy (polski spirytus z drewna), hydroliza z wykorzystaniem kwasu fosforowego i hydrolizy enzymatycznej.

Biorafineria w Bałdach. Pierwsza polska biorafineria do produkcji bioetanolu (spirytusu) z lignocelulozy.

Uwagi końcowe

Zadanie Z4 PS Projektu Strategicznego zaowocowało powstaniem kilkunastu zintegrowanych instalacji pilotażowych i stanowisk badawczych do wytwarzania paliw i energii z biomasy i odpadów biodegradowalnych, w tym układów ko- i poligeneracyjnch ORC, zgazowarek, mikrobiogazowni, układów wzbogacania biogazu i syngazu, instalacji do wytwarzania bioetanolu z masy lignocelulozowej oraz układów CHP na ogniwach paliwowych. Rezultaty badań umożliwią wprowadzenie na rynek wielu nowych technologii, w tym dopasowanych do potrzeb, a trudno- lub niedostępnych na rynku modułów ORC

(m.in. w zakresie 30-150 kWe) konkurencyjnych cenowo i wyprodukowanych w kraju.

Warto jednak zauważyć, że komercjalizacja opracowanych instalacji i technologii jest uzależniona m.in. od polityki energetycznej państwa w zakresie systemu wsparcia dla OZE. Brak takiego wsparcia oraz stabilnej i długofalowej polityki uniemożliwi dalszy rozwój technologii oraz komercjalizację na szerszą skalę. Szeroko rozumiana ekoenergetyka, technologie plus-energetyczne dla budownictwa, czy ochrona środowiska muszą kosztować i kosztują w każdym kraju na świecie, który zdecyduje się takie technologie wdrażać.

Marek Laskowski, ENERGA SA, marek.laskowski@energa.pl

PUK Żychlin

Jednym z celów projektu była budowa Autonomicznych Regionów Energetycznych ARE (lub też inaczej Gminnych Centrów Energetycznych) dedykowanych dla gminnych ośrodków samorządowych - modernizacja Ciepłowni do układu skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej CHP. Powstał pilotażowy układ kogeneracyjny, który znajduje się na terenie gminy Żychlin, w miejsce starej kotłowni. Układ ten jest złożony z modułów:

- z kotła biomasowego, układu ORC i zbiornika buforowego, ten moduł ma moc dopasowaną do potrzeb letnich i pracuje na pełnej wydajności przez cały rok,
- pozostałe moduły: gazowy i węglowy mają być dołączane w zależności od potrzeb energetycznych zasilanego regionu.

Układ kogeneracyjny w Żychlinie stosuje wiele innowacyjnych rozwiązań: innowacyjny ruszt schodkowy z napędem hydraulicznym chłodzony powietrzem z bardzo dobrym odprowadzaniem popiołu, komora adiabatyczna umieszczona powyżej komory spalania, kocioł z górnym wlotem spalin i wiele innych. Ruszt ma zastosowany innowacyjny system przesuwny Carros (kule zamiast łożysk poruszają rusztem), dzięki czemu ruszt nie potrzebuje konserwacji. Ruszt ma wysoką zawartości Cr, dającą wytrzymałość w wysokich temperaturach oraz stop Ni Mo, co daje wytrzymałość na uderzenia i naprężenia mechaniczne. Komora adiabatyczna, której zadaniem jest, dzięki odpowiedniej wielkości i konstrukcji (zasada 3T), obniżenie poziomu emisji CO. Pionowa konstrukcja i umieszczenie jej nad komorą spalania pozwala również na opadanie cząstek niedopalonych bezpośrednio na ruszt i w ten sposób zapobiega się powstawaniu osadu z popiołu. Kocioł ma górny wlot spalin, co nie powoduje konieczności stosowania osłony betonowej w górnej części kotła, która musi być okresowo usuwana i naprawiana. Kocioł zaprojektowany z wlotem spalin w górnej części ma dodatkowe zalety. Kanał łączący, znajdujący się przed kotłem, wyposażony jest w pneumatyczną klapę bezpieczeństwa, która odcina dopływ spalin do kotła.

dr hab. inż. Dariusz Kardaś, prof. IMP PAN, dk@imp.gda.pl

Instalacja zgazowania

W ramach Z4 PS zbudowano układ kogeneracyjny ze zgazowarką o mocy cieplnej 180 kWc i małej mocy elektrycznej (10 kWe) z automatycznym ciągłym podawaniem paliwa oraz czynnika zgazowującego. System umożliwia zgazowanie parą i wzbogaconym w tlen powietrzem. Konstrukcja modułowa umożliwia skalowanie do 1 MWc. Obecnie na rynku brak jest podobnych urządzeń odpowiadających potrzebom ok. 100 000 gospodarstw do 50 ha oraz małych przedsiębiorstw z branży drzewnej w Polsce. Istnieje możliwość zgazowania trudnych do utylizacji substancji, takich jak: pozostałości poubojowe z firmy Indykpol, pomiot kurzy, suszone osady ściekowe, jak i zrębki.

dr inż. Robert Aranowski, Politechnika Gdańska, **Marek Laskowski,** ENERGA SA,
robert.aranowski@pg.gda.pl,marek.laskowski@energa.pl

SFR *(ang. Spinning Fluids Reactor)*

Jest to bardzo innowacyjna instalacja, która została zrealizowana w ramach Z4 PS i służy do oczyszczania biogazu. Separacja gazów odbywa się metodą absorpcyjną i może wykorzystywać zarówno absorpcję chemiczną, jak i fizyczną. Zastosowano rozwiązanie oparte o wysoce efektywny system kontaktowania fazy ciekłej (absorbentu) z fazą gazową (biogaz) zwany reaktorem z wirującymi płynami. Zastosowane rozwiązanie umożliwia umieszczenie układu oczyszczania biogazu w systemie kontenerowym i jest szczególnie użyteczne w sytuacji, gdy dostępne jest ciepło odpadowe, co często ma miejsce w układach kogeneracyjnych zasilanych biogazem. Zastosowane rozwiązanie odznacza się znacznie mniejszymi rozmiarami i koniecznością sprężania biogazu do znacznie niższych ciśnień. Cechy te umożliwiają umieszczenie instalacji w systemach kontenerowych o niewielkich gabarytach w porównaniu do kolumn absorpcyjnych o porównywalnej wydajności.

Układ absorpcyjny został oparty o nowo zaprojektowany system modułowy reaktora SFR, umożliwiający instalację wielu głowic w jednym stopniu absorpcji.

dr inż. Jakub Kupecki, dr inż. Michał Stępień, dr. inż. Tomasz Golec
Zakład Procesów Cieplnych, Instytut Energetyki, jakub.kupecki@ien.com.pl

Wysokosprawna mikro-kogeneracja w układach opartych na stałotlenkowych ogniwach paliwowych (SOFC) na przykładzie pierwszej polskiej instalacji o mocy elektrycznej 2 kW

Rozdział przedstawia wybrane zagadnienia związane z opracowaniem pierwszej polskiej instalacji mikro-kogeneracyjnej z ogniwami stałotlenkowymi (SOFC - *z ang. solid oxide fuel cell*). Instalacja prototypowa będąca obecnie w fazie badań eksploatacyjnych stanowi interesujący przykład rozwiązań z zakresu wysokosprawnej energetyki rozproszonej, która może bazować na lokalnie dostępnych zasobach paliw, w tym biogazie pochodzenia rolniczego. Omawiany układ energetyczny powstał w ramach Zadania badawczego nr 4 Programu Badań Strategicznych „Zaawansowane Technologie Pozyskiwania Energii" finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju z współfinansowaniem firmy ENERGA S.A.

W rozdziale omówione zostały założenia techniczne instalacji, określone na podstawie prac obliczeniowych służących do opracowania założeń koncepcyjnych oraz założeń projektowych prezentowanego układu mikro-kogeneracyjnego. Przedstawione zostały wyniki badań eksploatacyjnych, z zaznaczeniem możliwości pokrycia zapotrzebowania odbiorców końcowych. Opracowanie uzupełnia analiza rynku krajowego pod kątem przygotowania do komercjalizacji opracowanej instalacji o elektrycznej mocy znamionowej 2 kW i mocy cieplnej około 2 kW.

dr inż. Dariusz Talarowski, dr inż. Krzysztof Remiszewski, dr inż. Tomasz Golec, Instytut Energetyki w Warszawie
dariusz.talarowski@ien.com.pl, krzysztof.remiszewski@ien.com.pl, Tomasz.golec@ien.com.pl

Technologia zgazowania biomasy dla efektywnej generacji energii elektrycznej w małej skali

Artykuł prezentuje efekty prac zrealizowanych w Instytucie Energetyki (IEn) nad rozwojem koncepcji reaktora zgazowania biomasy, produkującego gaz o wyższej czystości niż w znanych technologiach.

W IEn opracowano układu reaktora Kajot. Efektywność opracowanego reaktora w stosunku do konwencjonalnych i znanych z zastosowań w małej skali reaktorów wykazana została w testach porównawczych w skali 10-20 kW i 100-150 kW w paliwie.

Opis procesu: w reaktorach Kajot proces zgazowania biomasy prowadzony jest w oddzielonych strefach pirolizy, spalania części lotnych i zgazowania karbonizatu w stałym złożu. Inna organizacja procesu sprawia, że gazy produkowane w opracowanych reaktorach cechują się wyższą czystością i jakością od gazów wytwarzanych w konwencjonalnych reaktorach jednostopniowych ze stałym złożem. Gaz z procesu Kajot może zatem po prostym procesie oczyszczania być paliwem do produkcji ciepła i energii elektrycznej w znanych układach CHP w sprzężeniu z ogniwami paliwowymi typu SOFC i silnikami spalinowymi.

Układ reaktora Kajot o mocy 10-20 kW w paliwie zasilany biomasą w postaci zrębków drzewnych produkuje gaz w ilości ok. 10 kg/godz. Moc strumienia gazowego wynosi 16.7 kW. Instalacja może być zintegrowana z układem krótkiego stosu ogniw paliwowych o mocy 2.5-5 kWe lub zespołem generatora na bazie silnika spalinowego.

Układ reaktora Kajot wraz z linią oczyszczania gazu o mocy 100-150 kW w paliwie (zrębki drzewne) wytwarza gaz o jakości spełniającej wymagania dla paliwa do silnika spalinowego. Przydatność oczyszczonego gazu do zasilania silnika spalinowego została potwierdzona testami, w których układ zgazowania Kajot został sprzężony z agregatem prądotwórczym składającym się z silnika spalinowego pracującego w obiegu Otto o pojemności skokowej 2000 cm^3 i prądnicy asynchronicznej o mocy 30 kW.

W obu aplikacjach układu reaktora Kajot wyeliminowano problem odpadów wymagających utylizacji.

W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań zaprojektowano układ reaktora Kajot wraz z linią oczyszczania gazu o mocy w paliwie 800 kW, przeznaczony do zasilania układu CHP z silnikiem spalinowym o mocy elektrycznej 200 kWe.

Układ reaktora Kajot posiada istotne zalety w stosunku do znanych układów zgazowania biomasy w małej skali. Są nimi wysoka czystość produkowanego gazu, proste linie oczyszczania gazu przeznaczonego do aplikacji w ogniwach paliwowych i silnikach spalinowych, brak odpadów.

prof. dr hab. inż. Mariusz J. Stolarski, prof. dr hab. inż. Stefan Szczukowski, prof. dr hab. inż. Józef Tworkowski, dr inż. Michał Krzyżaniak,
Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

Wpływ technologii zbioru wierzby na jakość biomasy jako surowca energetycznego i możliwości jej przechowywania

Zbiór roślin wierzby z plantacji polowych zakładanych w systemach SRWC oraz Eko-Salix przeprowadza się po zakończeniu wegetacji, gdy z pędów opadną liście. W praktyce przypada to od ok. połowy listopada i trwa praktycznie do końca marca, czyli do rozpoczęcia przez rośliny nowego okresu wegetacji. Wierzbę na cele energetyczne można pozyskiwać jednoetapowo lub dwuetapowo.

Jednoetapowy zbiór roślin w postaci zrębków może być przeprowadzony przy użyciu silosokombajnów współpracujących z ciągnikami lub przy użyciu sieczkarni samobieżnych ze zmodyfikowanym aparatem tnącym (hederem). Przy użyciu tych maszyn następuje ścinanie pędów, rozdrabnianie ich na zrębki i załadunek na przyczepy do przewozu biomasy. Wilgotność zrębków wierzby pozyskanych z trzyletnich pędów po zbiorze jednoetapowym wynosiła średnio 50,66%. Natomiast wartość opałowa biomasy wynosiła średnio 8,38 MJ kg-1. Wartości tych cech były istotnie zróżnicowane pomiędzy badanymi odmianami. Zrębki wierzby pozyskane z plantacji jednoetapowo powinny być jak najszybciej wykorzystane na cele energetyczne.

Całe pędy wierzby można zbierać przy użyciu specjalnie do tego celu skonstruowanych maszyn współpracujących z ciągnikami lub samobieżnych. Rośliny wierzby mogą również być potencjalnie sprasowane analogicznie, jak słoma do postaci bel lub wcześniej skoszone pędy mogą być sprasowane do postaci balotów. Pozyskane pędy mogą być składowane przez długi okres czasu, a po naturalnym ich podsuszeniu można je rozdrabniać rębarkami na zrębki. Dwuetapowy sposób pozyskania i przygotowania biomasy wierzby umożliwia systematyczną, sukcesywną dostawę zrębków do odbiorcy końcowego, wtedy kiedy to paliwo jest potrzebne. W badaniach wykazano, że wraz z wydłużaniem okresu przechowywania bel, jakość biomasy wierzby jako surowca energetycznego zwiększała się. Biomasa wierzby w belach systematycznie traciła wilgotność z 53,60% w styczniu do 17,48% we wrześniu. Natomiast wartość opałowa w tym okresie wzrosła z 7,75 MJ kg-1 do 15,65 MJ kg-1.

Eksploatacja i diagnostyka maszyn i urządzeń energetycznych

Nadesłane materiały pozwoliły na opracowanie dwóch monografii opublikowanych przez oficynę wydawniczą Politechniki Opolskiej.
- Badania i diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich
Diagnostyka procesów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wybranych urządzeń energetycznych

dr inż. Arsiry Vasily, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, prof. dr hab. inż. Alla Denisova, dr inż. Spinov Vladislav,
Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

IMPROVEMENT OF EQUIPMENT TECHNOLOGY AT THE BASE OF FLOW STRUCTURE DIAGNOSTICS FOR THE ENERGY-SAVING

Energooszczędna technologia doskonalenia urządzeń na podstawie diagnostyki struktury przepływów

Modern equipment, operation of which is linked to movement of liquids and gases (pumps, turbines, boilers, heat exchangers, cleaning systems, pipelines, collector, turns, etc.) has a low efficiency. Substantial energy losses in power systems are connected with overcome hydraulic resistance. These problems are linked by imperfect (sometimes even primitive) geometry of flow parts, which are often made, based on simplicity of technologies. Difficulties of liquids and gases movement process improvement is linked to the fact that water, oil, air, gases are optically transparent, so their structure during moving is difficult for study. A new highly informative method of Flow Structure Visual Diagnostic (FSVD) showed a high degree of flow structure organization in the form of amperage lines in a cross-section, and in the form of discrete - coherent structures and dissipative vortices in longitudinal section. The „flow structure" is a new model, which replaces the old „turbulence" model, where the „averaged parameters" of chaos was an obstacle in energy saving problems solving.

Visual diagnostics gives us the opportunity to develop a new energy-saving technology, which allows to improve existing equipment, or to design the new one. More than 20 projects have already completed using energy-saving design technology FSVD. In these projects it was solved the problems of equipment productivity increasing, cleaning quality improving, noise or vibration reduction. Besides in all projects it was provided a significant reduction of energy consumption for own needs.

Keywords: efficiency, hydraulic resistance, diagnostic of flow structure, improve equipment, productivity increasing, noise or vibration, reduction of energy consumption for own needs.

Solving problems experience in flow parts improving showed that today to analyze the efficiency it's uses only the effectiveness measure of the basic elements - pumps or fans, and the hydraulic resistance meanings in the equipment flow parts. To analyze of the flow structure improving results it was developed the effectiveness measure of equipment in general and its individual elements, and it was developed the system effectiveness measure for hydraulic and aerodynamic systems [1, 2, 3].

The areas of flow separation from the channels walls, identified by a „FSVD", have the particular importance for energy saving. The separation zones are the cause of high resistance and hence pressure losses, which lead to unduly high costs of energy for energy systems own needs. The analysis of the instant velocity values field in the longitudinal and cross-sections allows to design the geometry of the hydraulic and aerodynamic equipment channels with minimal hydraulic resistance. So the flow structure improving in flow turn by 90 allows reduce the hydraulic resistance value is more than 4 times.

Visual diagnostics gives us the opportunity to develop a new energy-saving technology, which allows to improve existing equipment, or to design the new one (technology design based of flow structure - FSTD). More than 20 projects have already completed using energy-saving design technology FSTD [4]. In these projects it was solved the problems of equipment productivity increasing, cleaning quality improving, noise or vibration reduction. Besides in all projects it was provided a significant reduction of energy consumption for own needs.

Gas turbine «Westinghouse 25MW» modernization at TPS Bruch (Colorado, USA) in 1997 gave the opportunity to reduce the pressure losses in „the compressor inlet pipe" by 59%, which allowed to increase the air flow consumption for turbine by more than 19% [5]. Visual diagnostics of gas turbines components, for example, „inlet pipe» GE-5 (General Electric, USA) and the „outlet pipe" of gas turbine TTM («ALSTHOM», France), showed large reserve of gas turbines efficiency increasing by flowing parts improving of minor elements air and gas paths.

The centrifugal compressor DA210 modernization (company „H. Cegielski-Poznan", Poland) in 2002 gave the opportunity to reduce the noise at its work. Test results on the „HCP" stand showed noise reduction during the DA-210 compressor operation from 96 to 82 dB, besides the air blowing efficiency was increased by more than 3% [6, 7].

Two boilers KVGM-58 blow paths equipment improving (Ilichevsk, Ukraine) allowed to increase the heat output of the boiler 3 from 36.2 to 51.93 MW and the heat output of the boiler 4 from 37.8 to 48.28 MW. Besides energy costs for blow fan operation was reduced by more than 40%.

Electric filters inlet parts reconstruction (power unit 4 HPS Krivoy Rog, Ukraine) allowed to reduce the amount of harmful emissions from the flue gases by more than 70%. Electricity consumption reducing for the smoke exhausts working after the reconstruction provided payback period of project as two years.

The new method of flow structure visual diagnostics can detect previously unknown information about the laws of motion of liquids and gases. The „flow structure" new model replaces the old „turbulence" model, where the „averaged parameters" chaos was an obstacle in energy saving problems solving. Design technology using flow structure visual diagnostics gives the opportunity to develop of new energy equipment with high efficiency [8].

REFERENCES

[1] Pat. WO 95/18419. Eur. G06G 7/57, F15D 1/02. Method of restricted space formation for working media motion. / Maisotsenko V.S., Arsiry V.A., Publ. 06.07.1995.

[2] PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same // Maisotsenko V. S., Arsiri V. A., Publ. 22.09.1998.

[3] Arsiri V.A. (2001) Technologia FST - Optymalizacja wydajności tradycyjnych urządzeń i instalacji. Rynek Instalacyjny, N3, p. 94 -97.

[4] Arsiry V.A. (2001) FST - technologia projektowania części przepływowych Zastosowanie praktyczne // Rynek Instalacyjny N5, p. 58-60.

[5] Mazurenko A.S., Arsiry V.A. (2005) Improving the efficiency of turbine installations by improving the flow parts of pipes // Bulletin NTU «ChPI». N6 . P. 39-43.

[6] Janusz Walczak, (1999) Radial compressors and blowers theory, tests and optimization of compressor stage. Publishing house of the Poznan society for the advancement of the arts and sciences. Poznań, Polen, 195.

[7] Arsiry V.A. (2001) Modernizacja przepływowych części urządzeń // Rynek Instalacyjny N6, P. 79-82.

[8] Trzeciak W., Zozulinski S. DA-253 One-Stage Radiaj Blowers - Design and Work Characteristics. Pabl Lodz Polytechnick., 1995, P. 341-348.

prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

TWO-STAGE HEAT PUMP INSTALLATIONS' POWER EFFICIENCY FOR HEAT SUPPLY SYSTEMS

Energooszczędność instalacji z dwustopniową pompą ciepła dla systemów zaopatrzenia w ciepło

Abstract: The problem of energy saving becomes one of the most important in power engineering. It is caused by exhaustion of world reserves in hydrocarbon fuel, such as gas, oil and coal representing sources of traditional heat supply. Conventional sources have essential shortcomings: low power, ecological and economic efficiencies, that can be eliminated by using alternative methods of power supply, like the considered one: low-temperature natural heat of ground waters of on the basis of heat pump installations application. The heat supply system considered provides an effective use of two stages heat pump installation operating as heat source at ground waters during the lowest ambient temperature period. Proposed is a calculation method of heat pump installations on the basis of groundwater energy. Calculated are the values of electric energy consumption by the compressors' drive, and the heat supply system transformation coefficient μ for a low-potential source of heat from ground waters allowing to estimate high efficiency of two stages heat pump installations.

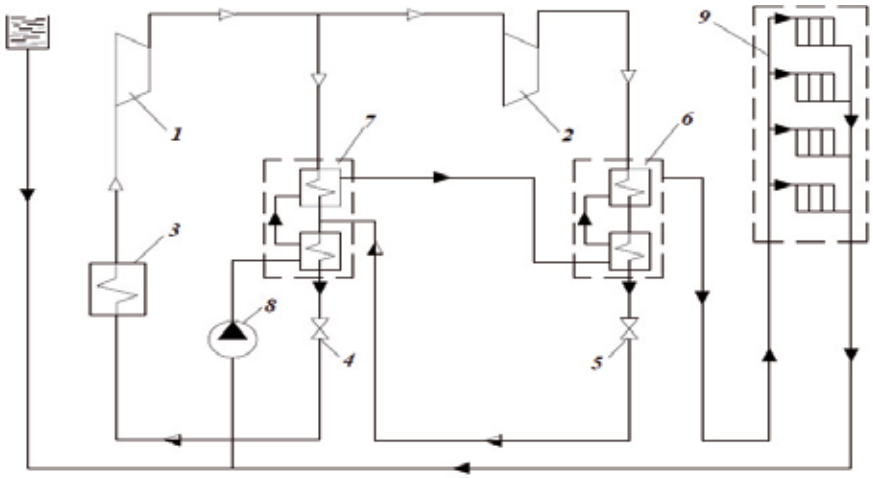


Fig. 1. Two stages HPI principal diagram

Keywords: heating loading, freon, two stages heat pump installation, low-potential source of heat, energy efficiency

During periods of highest temperature gap between the low potential heat source and the heating systems' heat carrier (especially in the sever climatic regions) to cover the full heating load, the two-stage heat pump installations (HPI) are used (Fig. 1) [1, 2].

In order to analyze the considered two-stages HPI energy efficiency the method [3, 4], implemented with the auxiliary of the Cool Pack program is used (Fig. 2) [5]. A comparative analysis of the considered two-stages HPI energy efficiency schemes using environmentally friendly refrigerant R152a for heating systems, with low-potential heat source represented by ground water [6], for a full coverage of the heat load on the heating system when the outdoor temperature t0=–18° is carried out.

Results of numerical simulation for HPI heating systems in the temperature chart 95...50°C with a temperature of cutting 80°C by using ground water with temperatures 4...12°C shows that the less is temperatures drop between the low-potential heat source and the coolant being supplied to the heating circuit, the higher is HPI efficiency. It was determined that more efficient is the heating system based onto low-potential groundwater heat source using the two-stage HPI, rather than a system based onto single-stage HPI that is demonstrated with average productivity increase of 19%, as evidenced by the heat transformation coefficient μ.

The two stages HPI can almost 1.3 times reduce the average energy consumption, that represent their indisputable advantage when compared to single stage installations. This is of high actuality for the climatic conditions, when necessary is to completely cover the heating load, particularly at ambient temperature below –18°C. Results of numerical simulation shows that improving efficiency of HPI is possible by using underfloor heating instead traditional sectional radiators. This result is achieved through lower temperature coolant supplied to the intrahouse system, thereby reducing the power consumption by the compressor drive for compression of refrigerant to the condensing pressure. This is because the underfloor heating system cowers the whole surface of the floor, and thus, the heat transfer occurs from the larger surface at relatively less than low temperature. In addition, to maintain the required evaporator capacity must be rational distribution and the amount of intake boreholes. For example, using less than three deep wells compared with one deep borehole can be reduced energy consumption by 1.7 times, resulting in faster payback HPI.

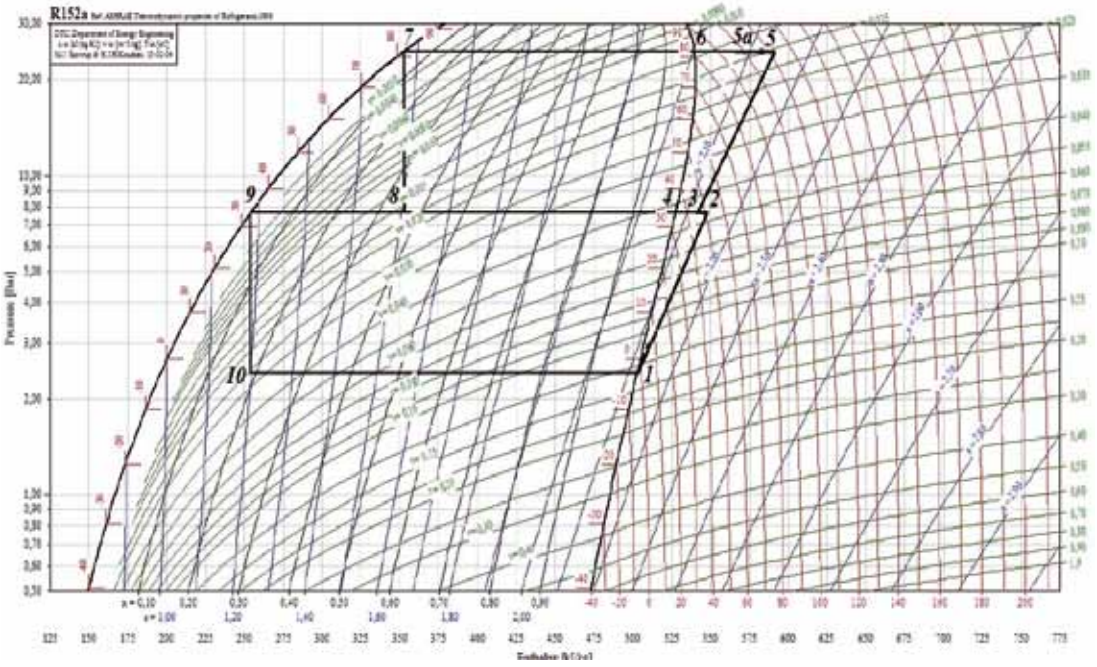


Fig. 2. Cycle of two-stage HPI operating with ground water for heating system at t0=–18°C

REFERENCES

[1] Denysova, A. E, Mazurenko, A.S. (2006) Integrated alternate system of thermal consumption Proc. Proc. of 15th Int. Conference World sustainable energy days, Wels, Austria, 1 275.

[2] Denysova A.E., Mazurenko, A.S. (2008) Heat pump unit for heat and water supply at base of renewable energy. Proc. of International conference Energy efficiency of Odessa and ifs future. Odessa, 21 February 1 265.

[3] Denysova, A.E., Bodnar, I.A., Buhkalo, S.I. (2014). The use of ozone-safe in heat pump plants with use of heat of ground waters. Integrated Technologies and Energy Saving, 2, 71-76.

[4] Denysova, A.E., Bodnar, I.A., Buhkalo, S.I. (2014). Analysis of power efficiency of ground-water heat pumps. Bulletin of National Technical University "KhPI": Innovation researches in students' scientific work, 16, 36-44.

[5] Sultanguzin, I.A. and Potapova, A.A. (2012). High-temperature high power heat pumps for a heat supply. Industrial Kazakhstan, 6, 41-44.

8. Innovation Factory IPU (n.d.). CoolPack. Retrieved from http://en.i-pu.dk/Indhold/refrigeration-andenergy-technology/coolpack.aspx

[6] Badescu, V. (2007). Economic aspects of using ground thermal energy for passive house heating. Renewable Energy, 32(6), 895-903.

prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

COMPLEX HEAT PUMP INSTALLATION OF HEAT AND POTABLE WATER SUPPLY PREVENTING DAMAGING OF THE BUILDINGS FROM HIGH LEVEL OF SUBSOIL WATER

Kompleksowa instalacja z pompą ciepła dla wytwarzania energii cieplnej i dostarczania wody pitnej zabezpieczająca budynki od wysokiego poziomu wód gruntowych

Abstract: A new revolutionary approach to the decision of energy and water saving task that provides rational accommodation of subsoil water boreholes supporting the required charge of water for heat pump evaporator with simultaneously high intensity of heat exchange process is designed. The results reported are based on a theoretical model used to simulate the heating system operation in Odessa (Ukraine). The method of calculation which allows to determinate the necessary depth, quantity of boreholes, charge and temperature of subsoil water and capacity of installation is worked out. The economic feasibility of complex installation for removal of subsoil water from houses and supply of pure water and heat supply at the base of heat pump based on subsoil water thermal energy utilization is offered. On medium- and long-time operation a subsoil water-source heat pump configuration proves to be the best economical solution. As compared to the traditional configuration of heat pump, it has the advantage of a much lower investment cost.

Keywords: subsoil waters, potable water, heat pump, sustainable energy

The problem of energy saving becomes one of the most important in power engineering [1]. We offer new revolutionary approach to the decision of this task that provides rational accommodation of subsoil water boreholes supporting the required flow rate of water for thermal needs of heat pump evaporator with high intensity of heat exchange process simultaneously [2]. The circuit of heat pump installation with integrated purposes (preventing flooding of buildings during a high water period of time, heat and potable water supply) at base of subsoil water includes a borehole circuit and water purification circuit. Heat pump installation (HPI) of potable water and heat supply at base of subsoil water has a special module for water purification [3].

Installation of potable water and heat supply (Fig. 1) at base of heat pump 3 includes the evaporator 5, compressor 6, condenser 7 and throttle gate 8. Evaporator 5 is placed in the circuit of circulation of subsoil water incoming from borehole 1 via pump 2. Condenser is placed in the circuit of circulation of heat consumer 10. The system of water purification 4 includes subsoil water tank 11, incoming through evaporator 5, water

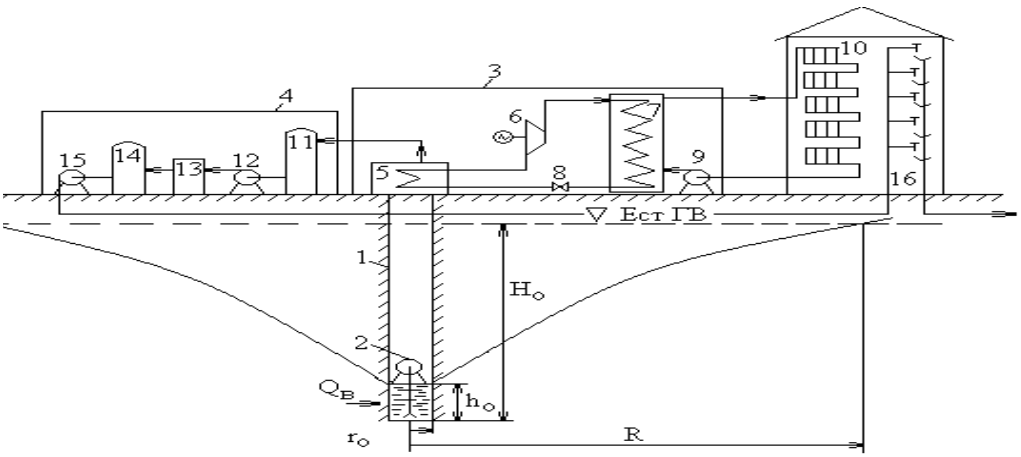


Fig. 1. Installation of potable water and heat supply at base of subsoil waters: 1- borehole; 2. 9, 12, 15 - pumps; 3 - HPI; 4 - module of water purification; 5 - evaporator; 6 - compressor; 7 - condenser; 8 - throttle gate; 10 - heat consumer; 11 - subsoil water tank; 13 - tank for water purification; 14 - tank for potable water; 16 - consumer

pump 12, module of purification with tanks 13, 14 and pump 15 for potable water supply of consumers 16. Installation of potable water and heat supply (Fig. 1) at base of HPI 3 includes the evaporator 5, compressor 6, condenser 7 and throttle gate 8. Evaporator 5 is placed in the contour of subsoil waters circulation with the pump 2. Condenser is placed in the contour of circulation of heat consumer 10. The system of water purification 4 includes subsoil waters tank 11, incoming through evaporator 5, pump 12, module of purification with tanks 13, 14 and pump 15 for potable water supply of consumers 16.

Increasing the efficiency of water use derived from boreholes ensured by the by installing the water treatment module before the evaporator of the heat pump. This is prevented the formation of deposits at the heat exchange surface of the evaporator and thus increases the service life of the installation. As a result of use of the proposed scheme for heating and water supply the service life of the evaporator (the most expensive element of HPI), increases several times (from 1 to 10 years) [4]. This decision also maintains a high coefficient of heat transfer in the heat exchanger and decreases the cost of the system during the period of operation. The use of purified water additionally increases the economic efficiency of the system about 2 times. Results of numerical simulation [5, 6] shows that removal of subsoil waters from the surface of the ground with its subsequent use for potable water and heat supply reduces negative influence of subsoil waters circulating near to surface of the ground [7].

Especially during autumn-winter period in the regions with high level of subsoil water a danger of flooding of the buildings becomes real and deficiency of energy for heating rises simultaneously. Heat pump installation with integrated purposes - water and heat supply - can compensate escalating annually deficiency of potable water for numerous regions having problems with water deficit and allows solving the problem of substitution of traditional fuels.

Social effect of implementation of heat pump installation with integrated modes of work - preventing flooding of buildings during a high water period.

The results of numerical simulations show technical and economic expediency of application of HPI for integrated purposes. The general economy while 10 years equals 1.26 106 USD (including water provision - 0.45 106 USD, heating 0.81 106 USD) [3]. The amount of specific investments into heat pump systems is largely determined by the applied technology and quantity of heat and water derived from the utilization of subsoil water. In general, the specific costs decrease with an increase in integrated capacity of system.

REFERENCES

[1] Bosma, J. (1993) Heat pumps for energy efficiency and environmental progress (Amsterdam: Elsevier science publishers) p 596.

[2] Denysova, A.E., Bodnar, I.A., Buhkalo, S.I. (2014). The use of ozone-safe in heat pump plants with use of heat of ground waters. Integrated Technologies and Energy Saving, 2, 71-76.

[3] Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Installation of potable water supply and heat supply at base of subsoil water. Proceedings WREC XIV, University Politehnica of Bucharest, Romania, June 8-12, 2015.

[4] Kays W. M., London, L. (1984) Compact heat exchangers, New York (McGrow-Hill) p 157.

[5] Denysova, A.E., Mazurenko, A.S. (2008) Heat pump unit for heat and water supply at base of renewable energy. Proc. of International Conference Energy efficiency of Odessa and ifs future. Odessa, 21 February 1 265.

[6] Denysova A.E., Mazurenko, A.S., Kaminski A.V. (2006) Use of subsoil water for heat and water supply J. Environmental technology and resource saving 4 3-8.

[7] Denysova A.E., Mazurenko A.S. (2006) Installation of Potable Water Supply and Heat Supply on base of Subsoil Waters for sustainable technologies Proc. World sustainable energy days, Wels, Austria, 1 119-121.

prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko,
Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

EXERGY PARAMETERS OF BIOGAS POWER PLANT

Egzergetyczne parametry biogazowej instalacji energetycznej

Abstract: The comparison of different cycle parameters of various biogas units (i.e. a combustion turbine unit, a combined cycle gas turbine unit with gas discharges into the boiler and a combined cycle gas turbine with a high-temperature vapor generator and a reheating stage) was made, and the comparison of their exergy characteristics was carried out. The results of exergy analysis had demonstrated that the cycle of biogas CCGT (combined cycle gas turbine) with a reheating stage and using a high-pressure steam generator is the most effective, that can be explained by the fact that the thermal energy proportions of combustion products, accounting for the steam cycle and the gas cycle are approximately equal, comparing to conventional combined cycle gas turbine units.

Keywords: exergy characteristics, biogas unit, combined cycle gas turbine, high-temperature steam generator, reheat of steam.

Advantages of biogas power plants (BPP) which are an alternative to traditional power plant, they have not received wide distribution yet [1].

First of all, this can be explained by the fact that in the case of using the natural gas, the costs of maintaining facilities are minimal, while the use of biogas involves difficulties with poorly predictable expenses for collection, transportation, storage and preparation of raw materials [2]. In such way substitution of traditional fuels by biogas is economically viable in areas that are located near objects of agricultural production where there are developed infrastructure of collecting and preparing biomass for BPP [3].

Secondly, the expedience of using an alternative fuel is determined by thermal efficiency of power installation.

One of the ways of increasing the thermal efficiency of biogas technologies is the use of combined-cycle power plants (CCPP) [4].

For analyzing the effectiveness of various thermal schemes of biogas CCPP can be used the exergy method [5] that is a universal method for evaluating the rational use of energy. An exergy analysis identifies the causes of thermo-dynamic inefficiencies and enhances understanding of energy conversion processes in BPP.

The results of numerical simulation of an exergy parameters of various schemes of BPP show that: gas turbine efficiency equal 21%; CCPP with the gas discharge to the steam generator - 37%; CCPP with the high-temperature steam generator and intermediate super heater -47% (Fig. 1).

Exergy analysis shows that that biogas CCPP with the high-temperature steam generator and intermediate super heater is the most effective because proportions of thermal energy of combustion products, accounting for the steam cycle and for the gas cycle are approximately equal, comparing to conventional combined cycle gas turbine units. In the traditional combined cycle plant it's possible to increase efficiency due to high potential gases at the outlet of the gas turbine flowing to the steam generator with further it's feeding to the steam turbine. However, proportions of the thermal energy of combustion products for steam cycle are about 3 times less than for gas cycle [6].

Thermal scheme of biogas CCPP with the high-temperatu-

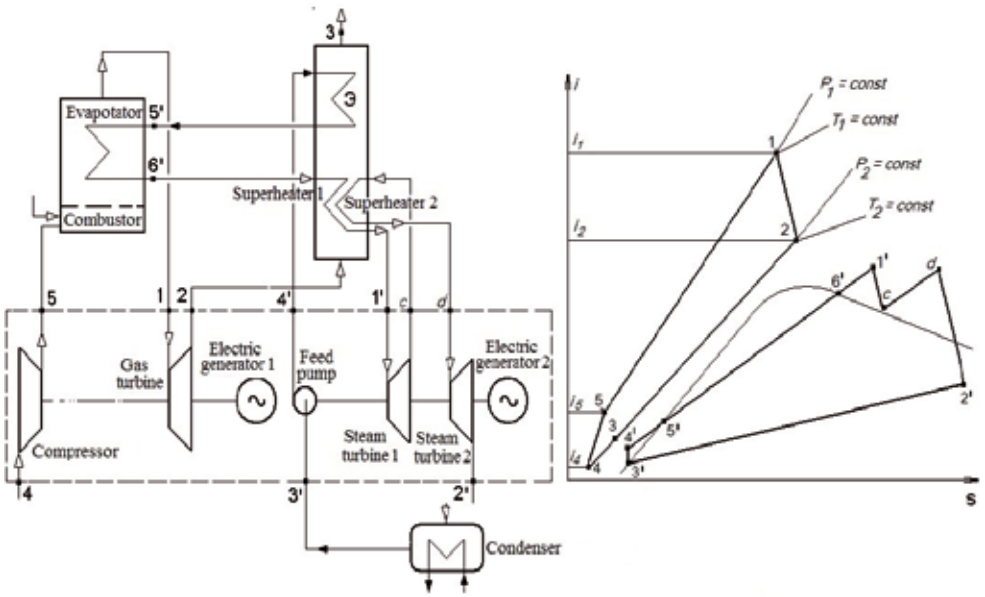


Fig. 1. Scheme and the cycle of biogas CCPP with the high-temperature steam generator and the intermediate super heater

re steam generator and intermediate super heater enables to correct this deficiency due to high-temperature steam generator, which realizes the same amount of thermal energy of combustion products, as steam generator at the outlet of the gas turbine. Therefore, the proportion of the thermal energy of the combustion products consumed by steam cycle is doubled [7].

As a result of redistribution of thermal energy of the combustion products between the gas cycle and the steam cycle in favor of the steam cycle, as more efficient, the efficiency of combined cycle power plant increases in comparison with conventional scheme by 6% [8].

Results of numerical simulation shows that at optimal parameters of working fluid efficiency of biogas installation with the high-temperature steam generator and intermediate super heater increases by 10% comparing to conventional combined cycle gas turbine units [6].

REFERENCES

[1] Kogevnikov, N.N. (2004) Economic and energy management for enterprises. Academy, 432 p.

[2] Rentezelas A., Tatsiopoulos I., Tolis A. (2008). An optimization model for multi-biomass trigeneration energy supply. Biomass & Bioenergy, 33(2), P. 223-233.

[3] Alla Denysova, N.M Hieu (2014). Mathematical modeling of processes in biogas unit. Nova Energia (2-3), P. 65-67.

[4] Mazurenko, A. S., Denysova, A. E., N.M. Hieu (2013). Economic efficiency of combined-cycle plants at biofuel. Power engineering, economics, technique, ecology (1), P.15-19.

[5] Brodianski V.M. (1973).Exergic method of thermodynamic analysis. Moskow, Energy, 296 p.

[6] Denysova, A.E., N.M. Hieu. (2014) Analysis of exergy parameters of biogas power plant. Problems of regional energetic. Thermal energy (2), P.86-92.

[7] Denysova, A.E, N.M Hieu (2013). Exergy parameters of biogas power plants. Works of Odessa National Polytechnic University (41). - N 2. -P. 151-156.

[8] Denysova, A.E., N.M. Hieu. (2013). Prospects of use of the biogas plants. Proc. Ukrainian scientific-practical Internet-conference "Scientific discussion: theory, practice, innovation", P.123-128.

dr inż. Petr Krejčí, prof. Pavel Santarius, dr. inż Richard Velička,
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, VSB - Technical University of Ostrava,
Ostrava, Czech Republic, petr.krejci@vsb.cz

LONG-TERM MONITORING OF POWER QUALITY PARAMETERS

Długoterminowe monitorowanie parametrów jakości energii elektrycznej

In the power company CEZ (in the Northern Moravia region) the monitoring of selected PQ parameters is being done in cooperation with research laboratories of the FEECS VSB - Technical University of Ostrava.

The measuring was done in a complex way within the HV, MV and LV distribution, the program of complex voltage quality evaluation was done in 59 LV distribution transformer stations. The monitoring was organized in half-year cycles, thus the whole program lasted for 3 years. There were realized five cycles of monitoring.

From the measured values we can conclude:

a) Long-term monitoring of the selected voltage quality parameters proceeded during the years 1997 to 2012, During the monitoring only selected measured data were evaluated in all phases and on all voltage levels - selected voltage harmonics (3, 5, 7, 9, 11), flicker, unbalance
b) As for harmonics, the results are relatively positive, the values of individual harmonic components are significantly below the values of compatible levels, the 5th harmonic was the most considerable, on all voltage levels. An extreme value was only at one point in the LV network, where it exceed 3rd harmonic in 1999 (10.7%) and in 2002 (12.6%) and 9th harmonic 2002 (2.1%). Probable reason for this was resonance in the LV network.
c) As for unbalance, the changes are also quite small. The small exceeding was only at the three points in the MV network.
d) As for flicker, the situation was worse. The exceeding of compatibility level was on the many measuring points and on all voltage levels.
e) The trends of changes of the selected voltage quality parameters during the years 1997 to 2012 did not show any extreme swings or not long-term increasing of selected voltage quality parameter.

In the last monitoring cycle (2010-2012) were measured and evaluated the 15th and 21st voltage harmonics in the LV distribution network. Compatibility level 0,5% was not exceeded at any measurement point.

In 2014 we started the long term monitoring of flicker in the

feeding points in which a problem with compatibility limit violation of flicker was detected. From the present results of flicker monitoring it is possible to say that in some feeding points the values of Plt were more than 1. The biggest value was 1.9.

REFERENCES

EN 50160 Ed.3:2010 „Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks"

P. Krejci, P. Santarius, R. Hajovsky, R. Velicka, R. Cumpelik, "PQ Monitoring in Selected Networks of Czech Republic", Przeglad Elektrotechniczny, vol. 88, issue 7b, 2012, p. 183-185.

prof. dr hab. inż. Yevhen Pistun, dr hab. inż. Roman Fedoryshyn,
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, epistun@eoe.com.ua

EFFECT OF IMPULSE MODE OF FLOW ON THE ACCURACY OF NATURAL GAS METERING

Wpływ impulsowego trybu przepływu na dokładność pomiaru strumienia gazu ziemnego

Impulse mode of natural gas flow may take place at boiler houses when the switch on and switch off regime of boilers leads to discrete flowing of gas in the pipe. The effect of impulse mode of flow on the accuracy of natural gas metering is especially considerable in winter conditions when the outside air temperature (as well as gas flow temperature) is different from the air temperature inside the boiler house. Today most gas meters are equipped with a gas temperature transducer, gas pressure transducer and a microprocessor calculator of gas volume reduced to standard conditions. When the boiler is switched off, the gas flowrate is equal to zero and the gas temperature inside the pipe is approximately equal to the temperature of air inside the boiler house. After the boiler switches on, the gas flowrate increases abruptly and its temperature changes quickly due to

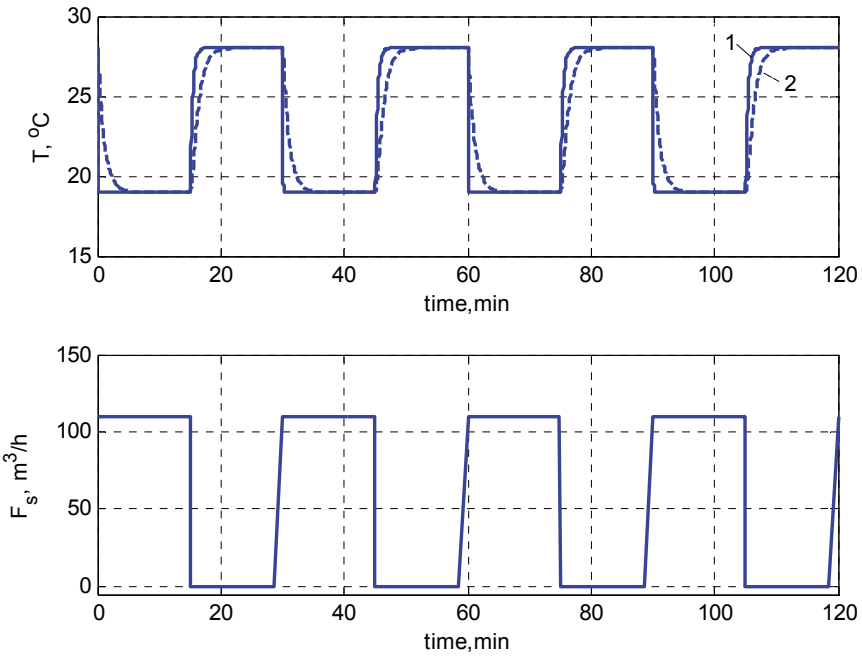


Fig. 1. Variation of gas flowrate (Fs) and temperature (T) in impulse mode of flow: 1 - actual temperature of gas; 2 - output signal of gas temperature transducer

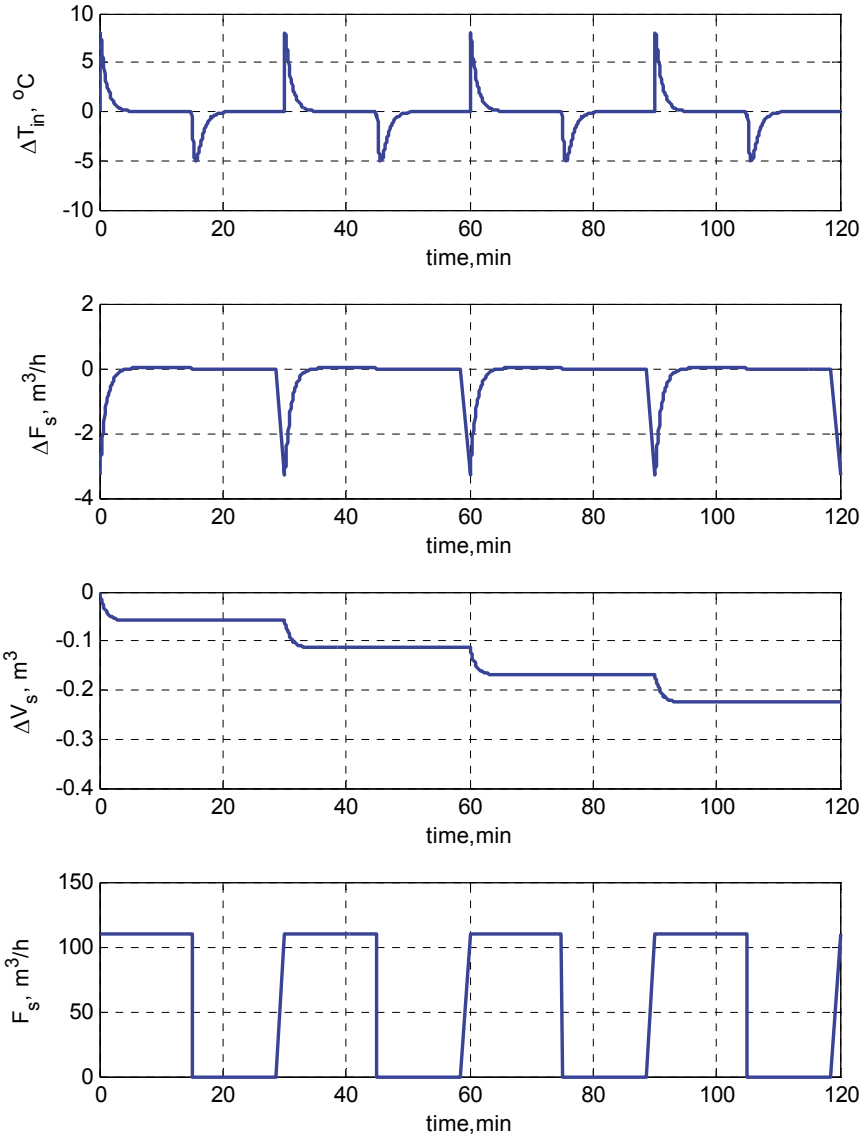


Fig. 2. Variation of the errors of gas temperature (ΔTin), flowrate (ΔFs) and volume (ΔVs) measurement.

the fact that gas enters the boiler house from outside with a lower temperature. During the beginning of the gas flow there will be a significant error of gas temperature measurement which is caused by inertia of the thermometer. This error of temperature measurement leads to subsequent errors of gas flowrate and volume measurement. After the boiler switches off, the gas flowrate becomes equal to zero and its temperature changes slowly and approaches the temperature of air inside the boiler house. Again there is error of gas temperature measurement which is caused by inertia of the thermometer. However, this error now does not lead to the errors of gas flowrate and volume measurement because the gas flowrate is equal to zero and the microprocessor calculator is stopped.

The errors of gas temperature, flowrate and volume measurement were simulated by us for an acting natural gas meter with an impulse mode of gas flow. Based on the simulation results it was defined that there may be a negative systematic error of gas volume measurement equal to 6 m3 per day for a gas meter with a flowrate of 110 m3/h (duration of flow impulses and pauses was taken equal to 10 min).

The error of gas volume measurement caused by the impulse mode of gas flow may be positive or negative which depends on whether the temperature of gas is higher or lower than that of the ambient air. The value of this error depends on such factors as temperature difference between the gas flow and the ambient air, inertia of the temperature transducer and frequency of the boiler switching on and off.

To avoid the systematic error of gas volume measurement caused by the impulse mode of gas flow it is recommended to apply temperature transducers with low inertia, to install the gas meters in conditions when there is no temperature difference between the gas flow and ambient air (or when this temperature difference is minimal) and to adjust continuous gas flow in the pipe if it possible from the technological point of view.

Revealing and elimination of the systematic errors of gas volume measurement is an important step towards reduction of gas unbalances in gas distributing networks.

dr inż. Sławomir Wiśniewski, mgr inż. Gabriela Sołtysik, prof. dr hab. inż. Władysław Nowak,
Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, slawomir.wisniewski@zut.edu.pl

Ocena efektywności pracy trójobiegowego układu ORC zasilanego parą wodną

Aktualne problemy środowiskowe związane z sektorem energetycznym są bodźcem do poszukiwania coraz sprawniejszych układów, w których zachodzi konwersja energii chemicznej paliwa (np. węgla) na energię elektryczną. Jednym ze sposobów pozwalających na zwiększenie efektywności energetycznej tych układów jest wykorzystywanie odpadowych nośników energii do produkcji dodatkowej energii elektrycznej (zwłaszcza energii nisko - i średniotemperaturowej). Odzysk energii odpadowej przyczynia się nie tylko do wzrostu sprawności tych układów, ale również do zmniejszenia obciążeń środowiskowych związanych z emisją zanieczyszczeń, takich jak emisja CO_2. Produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem nisko - i średniotemperaturowych źródeł energii możliwa jest dzięki zastosowaniu układów ORC, w których realizowany jest obieg Clausiusa-Rankine'a z niskowrzącym, organicznym czynnikiem roboczym.

Z tego względu rozważania przedstawione w niniejszym artykule dotyczą instalacji obejmującej trójobiegową siłownię ORC, w której produkowana jest energia elektryczna oraz technologiczne odbiorniki ciepła. Zarówno siłownia ORC, jak i odbiorniki technologiczne zasilane są parą wodną (parą nasyconą suchą), która wytwarzana jest w kotle parowym lub pochodzi z dowolnego innego źródła. Siłownia organiczna ORC składa się z trzech obiegów Clausiusa-Rankine'a sprzężonych cieplnie za pomocą wymienników typu skraplacz-parowacz. Każdy z obiegów posiada również podgrzewacz, turbogenerator oraz pompę obiegową, a w skład obiegu trzeciego wchodzi dodatkowo skraplacz. Pierwszy obieg siłowni ORC zasilany jest parą wodną oraz skroplinami z wymiennika technologicznego. Poza parą wodną do układu ORC doprowadzane są dodatkowe strumienie energii w postaci strumieni wody. Dodatkowe strumienie wody dostarczane są do podgrzewaczy obiegu drugiego i trzeciego z uwagi na to, że wymagane masowe strumienie skroplin przepływających przez podgrzewacze obiegów siłowni ORC nie są sobie równe (w każdym następnym podgrzewaczu wymagany jest większy strumień nośnika ciepła).

W artykule przedstawiony zostanie dokładny opis i schemat układu, jak również przedstawione zostaną założenia i wyniki obliczeń cieplno-przepływowych dla wybranych czynników organicznych. Efektywność pracy analizowanego układu oceniona została na podstawie uzyskiwanej mocy elektrycznej oraz sprawności.

dr inż. Tomasz Kujawa, prof. dr hab. inż. Władysław Nowak,
Katedra Techniki Cieplnej, ZUT w Szczecinie, tomasz.kujawa@zut.edu.pl

Zakres zastosowań siłowni ORC w elektrowni i elektrociepłowni zasilanych wodą o niskiej i średniej temperaturze

W ramach pracy przedstawione zostaną schematy zastosowanych rozwiązań siłowni, opis ich działania i algorytm obliczeń. W tym ostatnim przypadku wykorzystany zostanie cykl przemian termodynamicznych obiegu Clausiusa-Rankine'a przedstawionych w układzie współrzędnych T-s, które odzwierciedlają kolejne przemiany zachodzące w poszczególnych urządzeniach siłowni z uwzględnieniem sposobu określania wielkości jednostkowych, charakteryzujących ich pracę.

Przedstawione zostaną równania bilansu energii parowacza i podgrzewacza, które m.in. będą podstawą do określenia współczynnika ϕ, który spełnia istotną rolę przy ustalaniu zakresu zastosowań jednoobiegowej podkrytycznej siłowni w elektrowni/elektrociepłowni.

Współczynnik ϕ zdefiniowano jako stosunek strumienia masowego wody $\dot{m}_{s1}$ przepływającego przez przeciwprądowy wymiennik ciepła, w którym podgrzewana jest ciecz czynnika roboczego w granicach temperatur skraplania i parowania, do strumienia masowego wody $\dot{m}_s$ opuszczającego parowacz zgodnie z zależnością $\phi = \dot{m}_{s1}/\dot{m}_s$.

Przyjęto, że znany jest strumień masowy wody $\dot{m}_s$ o znanej temperaturze T_{s1}, który podgrzewany jest w wymienniku ciepła, stanowiącym górne źródło ciepła.

Wykonane zostaną także obliczenia siłowni z zastosowaniem dwóch z trzech czynników roboczych (np. R227ea, RC318 i R236fa) dla różnych temperatur parowania z uwzględnieniem temperatur bliskopodkrytycznych dla wybranych temperatur wody zasilającej. Na tej podstawie sporządzone zostaną wykresy $\phi = f(T_{par})$ ilustrujące zakresy zastosowań jednoobiegowej siłowni w elektrowni/elektrociepłowni. Analiza powyższych wykresów będzie podstawą do sformułowania wniosków końcowych.

dr inż. Radomir Kaczmarek, Katedra Techniki Cieplnej,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, rkaczmarek@zut.edu.pl

Wykorzystanie spalin z turbiny gazowej do produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem układu ORC

W pracy rozważono wykorzystanie spalin powstałych podczas pracy turbiny gazowej do zasilenia układu ORC. Sprawność układów prostych turbiny gazowej jest stosunkowo niewielka i nie przekracza 40%. W celu osiągnięcia większych sprawności stosowane są układy rozbudowane, wykorzystujące regenerację ciepła lub układy kombinowane gazowo-parowe składające się z turbiny gazowej, pracującej zwykle w układzie otwartym, oraz turbiny parowej. W przypadku turbin gazowych o niskiej mocy, temperatura spalin wylotowych może być jednak zbyt niska by osiągnąć zadowalające rezultaty, stosując klasyczny układ parowy. W takim przypadku celowe mogłoby być wykorzystanie układów ORC wykorzystujących do swojego działania źródła energii o dużo niższej entalpii.

W referacie przedstawione zostaną obliczenia dla układów z różnymi czynnikami obiegowymi i wpływ ich zastosowania na efektywność pracy układu gazowo-parowego.

mgr inż. Roksana Mazurek, mazurek@zut.edu.pl, **dr hab. inż. Aleksandra Borsukiewicz-Gozdur**, borsukiewicz@zut.edu.pl,
Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Analiza porównawcza efektywności pracy siłowni parowych pracujących z mokrym oraz suchym czynnikiem roboczym, zasilanych źródłem energii o charakterze zamkniętym

Czynnikiem roboczym może być każda substancja ciekła lub gazowa, którą można zastosować w odpowiednim zakresie temperatur. Woda to najczęściej stosowany czynnik roboczy w klasycznych elektrowniach cieplnych, cechujący się małym zakresem ciśnień roboczych w obszarze temperatur do 120˚C, dlatego jest stosowana głównie w wysokotemperaturowych źródłach ciepła na prąd elektryczny. Zamiast wody w obiegach termodynamicznych siłowni parowych mogą być również zastosowane inne substancje, które w porównaniu do wody przynoszą korzyści termodynamiczne szczególnie w odniesieniu do nisko- i średniotemperaturowych źródeł energii. Substancje te cechują się bowiem większym zakresem ciśnień roboczych w zakresie temperatur pracy do 120˚C. Takimi substancjami są płyny organiczne, różniące się między sobą kształtem linii nasycenia oraz położeniem punktu krytycznego. Z uwagi na kształt linii nasycenia, czynniki te podzielono na trzy rodzaje: suche, mokre i izentropowe. W dostępnej literaturze tematu najczęściej jako medium robocze w obiegach prawobieżnych siłowni parowych są rozpatrywane suche czynniki robocze, natomiast mokre bardzo rzadko z uwagi na konieczność przegrzewania ich pary przed skierowaniem do turbiny. W niniejszym referacie przedstawiono analizę porównawczą efektywności pracy siłowni pracujących z mokrymi, a wyniki analizy odniesiono do układów pracujących z suchymi czynnikami roboczymi. Rozpatrywane siłownie pracują według obiegu porównawczego Clausiusa-Rankine'a i są zasilane odpadowym nośnikiem energii krążącym w obiegu zamkniętym. Analizę porównawczą pracy siłowni wykonano na podstawie wyników obliczeń cieplno-przepływowych uzyskanych dla pięciu czynników mokrych: acetonu, amoniaku, eteru dimetylowego, etanolu i metanolu oraz dla pięciu płynów tak zwanych suchych: R245fa, R236ea, butenu, izobutanu, eteru dietylowego. Celem obliczeń było uzyskanie wartości mocy i sprawności cieplnej obiegu dla temperatury odpadowego nośnika energii równej Ten=120,180˚C. Podstawą wykonania wykresów oraz sformułowania wniosków końcowych były wyniki obliczeń zestawione w odpowiednich tabelach. Obliczenia zostały wykonane w programie EES *(Engineering Equation Solver)*.

mgr inż. Michał Bańkowski, michal.bankowski@zut.edu.pl, **dr hab. inż. Aleksandra Borsukiewicz-Gozdur,** borsukiewicz@zut.edu.pl,
Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Analiza wpływu składu mieszaniny roboczej na właściwości i parametry termodynamiczne substancji pod kątem stosowania ich jako płynów roboczych w układach organicznych siłowni parowych (ORC)

W referacie zostanie przedstawiony przegląd substancji chemicznych dwuskładnikowych dostępnych w bazie danych płynów roboczych Refprop 9.1. Przegląd ten ma na celu pokazanie, jak skład mieszaniny wpływa na jej podstawowe właściwości termodynamiczne takie jak: temperatura krytyczna, ciśnienie krytyczne, normalna temperatura wrzenia, zakres ciśnień roboczych, entalpie parowania, kształt krzywych nasycenia i inne właściwości istotne pod względem zastosowania ich w układach siłowni parowych typu ORC (*z ang. Organic Rankine Cycle*). Szczególna uwaga zostanie skierowana na analizę wpływu składu mieszaniny na wielkość tzw. poślizgu temperaturowego, czyli zmianę temperatury płynu w trakcie izobarycznie przeprowadzanych przemian fazowych: skraplania i odparowania czynnika roboczego. Analiza substancji obejmie także kwestie prawne oraz wpływ substancji na środowisko naturalne. Dodatkowo poruszone zostaną kwestie doboru czynnika roboczego, określenie właściwości pożądanych lub właściwości, których należy unikać w zależności od parametrów pracy źródła zasilającego siłownie ORC. W referacie zostanie przedstawiony przegląd literatury w tym zakresie - właściwości pożądanych i niepożądanych czynników roboczych do zastosowań w ORC, mający na celu ułatwienie wyboru „idealnego" czynnika do zastosowań w niskotemperaturowych obiegach termodynamicznych.

dr inż. Agnieszka Celińska, Zakład Procesów Cieplnych, Instytut Energetyki Instytut Badawczy,
agnieszka.celinska@ien.com.pl

Koncepcja spalania paliw stałych w tlenkowej pętli chemicznej

Spalanie w tlenkowej pętli chemicznej *(Chemical Looping Combustion - CLC)* jest procesem spalania paliw stałych, który charakteryzuje się brakiem bezpośredniego kontaktu paliwa z powietrzem. Nową i unikalną cechą spalania w pętli tlenkowej jest to, że tlen do spalania paliwa jest dostarczany za pomocą stałych nośników tlenu. Typowy system CLC składa się z dwóch połączonych ze sobą reaktorów, w pierwszym reaktorze zachodzi proces utleniania nośnika tlenu, w drugim reaktorze następuje wydzielenie tlenu z utlenionego nośnika, który następnie jest zużywany w procesie spalania paliwa.

Instytut Energetyki jest koordynatorem projektu NewLoop finansowanego z Funduszy Norweskich. Głównym celem projektu jest opracowanie nowej technologii spalania paliw stałych, przystosowanej do technologii składowania CO_2, która wykorzystywać będzie koncepcję spalania paliwa w tlenkowej pętli chemicznej. Rezultatem projektu będzie specjalnie zaprojektowane stanowisko badawcze, w którym używane będą wyselekcjonowane i wyprodukowane w ramach projektu, nośniki tlenu o zwiększonej wydajności chemicznej. Projekt ma na celu stworzenie technologii konkurencyjnej do już istniejących, charakteryzującej się mniejszą szkodliwością dla środowiska.

dr inż. Mirosław Kabaciński, prof. dr hab. inż. Janusz Pospolita, Politechnika Opolska,
mgr inż. Janusz Polak, Zakłady Remontowe Energetyki w Katowicach, j.pospolita@po.opole.pl

Zastosowanie modelowania matematycznego i symulacji cyfrowej w pomiarach strumieni płynów w kanałach o dużych przekrojach

Pomiary strumieni płynów są jednymi z najistotniejszych pomiarów w eksploatacji i diagnostyce maszyn i urządzeń energetycznych. Jednocześnie ich realizacja napotyka na szereg trudności. Pierwszą z nich jest fakt, że niejednokrotnie mierzy się strumienie rzędu dziesiątek czy setek tysięcy metrów sześciennych na godzinę powietrza, spalin, czy innych gazów w kanałach o relatywnie dużych przekrojach. Po drugie zwartość instalacji kotłowych powoduje, że najczęściej brak jest odpowiednio długich prostych odcinków kanałów umożliwiających stosowanie przepływomierzy zgodnie z wymogami metrologicznymi. Innym problemem może być wysoka temperatura czynnika, a także zapylenie gazu, co eliminuje wiele potencjalnych możliwości pomiarowych. Alternatywą dla powszechnie stosowanych wówczas zwężek Venturiego czy zwężek progowych są przepływomierze z rurkami uśredniającymi ciśnienie dynamiczne. Ich bezsporną zaletą jest praktycznie niestwarzanie dodatkowych oporów przepływów, względnie łatwy montaż i demontaż, a także możliwość czyszczenia (przedmuchiwania) układów pomiarowych przy pracującej instalacji.

Złożoność układów przepływowych i ich często nietypowa geometria jest problematyczna co do lokalizacji tego typu przepływomierzy. Jedną z możliwości rozwiązania tego zagadnienia jest symulacja cyfrowa przepływu w analizowanym układzie i dobór miejsca lokalizacji przepływomierza na podstawie analizy modelowanego pola prędkości czynnika.

W pracy przedstawiono wybrane przykłady rozwiązania tego typu problemów metrologicznych. Przykłady te dotyczą pomiarów strumieni gazu wielkopiecowego oraz pomiarów strumieni powietrza do młynów węglowych.

dr inż. Henryk Majchrzak,
przewodniczący Rady Zarządzającej Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej, henryk.majchrzak13@gmail.com

Zarządzanie projektowe w innowacyjnych podmiotach działających na konkurencyjnych rynkach

Od wielu lat skuteczna realizacja projektów stała się kluczowa dla większości podmiotów, niezależnie od ich wielkości oraz sektora w którym działają. Zarządzanie projektowe staje się coraz ważniejsze dla realizacji strategii przedsiębiorstw oraz osiągania ich celów biznesowych. Dla osiągnięcia tak zdefiniowanego celu kluczowymi stają się efektywność oraz skuteczność realizacji każdego pojedynczego projektu.

Jest to efekt złożoności rynku i rosnącej konkurencji, co jest w szczególności istotne w sektorze energii. Od podmiotów sektora energii ich akcjonariusze oczekują spełniania rosnących wymagań w zakresie sprawnego zarządzania projektami, programami i portfelami projektów. Jest to ważne nie tylko z powodów wynikających z bezpieczeństwa dostaw energii, ale również dla zapewnienia konkurencyjności sektora energii i jego funkcjonowania według zasad zrównoważonego rozwoju.

W niniejszym artykule autor, który osiągnął wymagany poziom kompetencji, aby móc posługiwać się stopniem certyfikowanego dyrektora International Project Management Association (IPMA) - poziom A, nadawanego przez organ certyfikujący IPMA Polska, przedstawił wnioski w obszarze zarządzania projektowego, wypracowane między innymi na bazie doświadczeń menedżerskich zdobytych w czasie wielu lat pracy w sektorze energii. IPMA jest światową organizacją non-profit, zrzeszającą 57 stowarzyszeń członkowskich z całego świata, zatem zagadnienia opisane w artykule mają charakter uniwersalny, mogą więc być wykorzystane w każdym podmiocie. Artykuł prezentuje model uniwersalny właściwy dla organizacji zarządzanej projektowo. Opisuje również najważniejsze zagadnienia wpływające na powodzenie zarządzania projektowego, takie między innymi jak: rola i struktura biura zrządzania projektowego, model komunikacji, system motywacyjny i szkoleń, zapewnienie jakości, model zarządzania ryzykiem, bariery i sposoby ich pokonywania.

Odrębną uwagę poświęcono roli przywództwa w procesie wdrażania tzw. filozofii organizacji zorientowanej projektowo. Opisano jak powinno się integrować konieczne procesy, strukturę organizacji i jej kulturę z interesariuszami wewnętrznymi i zewnętrznymi.

dr inż. Dariusz Kasprzak, dr inż. Andrzej Mrowiec, Wydział Politechniczny, PWSZ w Kaliszu, mrowiec@pwsz.kalisz.pl

Sprawdzenie możliwości pomiaru kryzą mimośrodową strumienia medium dla małych liczb Reynoldsa

Energetyka w naszym kraju w przeważającym stopniu oparta jest na węglu, jako surowcu energetycznym. Z pozytywnym efektem od połowy ubiegłego wieku, podejmowano badania i próby spalania koloidalnych zawiesin pyłu węglowego w oleju napędowym lub opałowym. Ze względów ekonomicznych podjęto badania oraz próby wykorzystania, jako paliwa w energetyce ciepłowniczej, koloidalnych zawiesin wodno-węglowych CWL *(Coal-Water Liquid)*. Spalanie tego paliwa pozwala na obniżenie zawartości NO_x i SO_x bez konieczności inwestowania w drogie układy odsiarczania i odpylania, co jest dużym atutem ekologicznym i ekonomicznym. Wymagane, ze względów technologicznych, układy pomiaru strumienia dostarczanego paliwa, powinny być tanie w eksploatacji i niezawodne, i odporne na zanieczyszczenia. Warunki te mogą spełnić kryzy mimośrodowe lub segmentowe. W artykule przedstawiono zbudowane stanowisko doświadczalno-pomiarowe, pozwalające na przeprowadzenie przepływowych badań wstępnych, kryz mimośrodowych z punktowym odbiorem ciśnienia różnicowego, przy małych liczbach Reynoldsa. Wyniki wykonanych pomiarów charakterystyk przepływowych, jak i symulacji numerycznych przedstawiono w postaci tabel i wykresów. Wyznaczono również, dla wybranej kryzy mimośrodowej, współczynnik przepływu C w funkcji liczby Reynoldsa. Przedstawione w artykule analizy wyników badań dotyczą przepływu wody. Planuje się wykonywane dalszych badań i pomiarów na oleju hydraulicznym jako medium.

prof. Zdzisław Kabza, dr inż. L. J. Kwiatkowski, prof. Wojciech Nowak,
Centrum Energetyki AGH, z.kabza@po.opole.pl, j.kwiatkowski@eurolits.pl

Diagnostyka współrzędnościowa systemów kompensacyjnych kotłów

Diagnostyka współrzędnościowa jest innowacyjnym obszarem wiedzy przekraczającym dotychczasowe granice poznania systemów metrologii przemysłowej. Zaawansowana diagnostyka w systemach energetycznych i przemysłowych rozwija się intensywnie dzięki nowym obszarom wiedzy z informatyki i multisensoryki. Wielkogabarytowe urządzenia i budowle energetyczne wymagają wyspecjalizowanych i zintegrowanych systemów diagnostycznych, w których wykorzystuje się wybrane metody stosowane w metrologii geodezyjnej wzbogaconej o nowoczesne systemy inteligentne.

W Katedrze Elektrowni i Systemów Pomiarowych Politechniki Opolskiej opracowano technologię globalnego monitorowania trybu przygotowania i realizacji inwestycji, która dzięki systematycznemu rozwojowi diagnostyki współrzędnościowej została wykorzystana w strategicznym programie „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii".

W referacie zilustrowano wybrane techniki akwizycji migrującej topologii w procesach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Przedstawiono wyniki analizy obejmującej rozruch i odstawianie urządzeń kotłowych energetyki zawodowej. Zaprezentowano także przykłady spójnej pracy z zasobem wektorowym projektu oraz chmurami punktów danych inwentaryzacyjnych z wykorzystaniem nowej generacji pakietów CAD.

mgr inż. Rafał Gasz, Politechnika Opolska, r.gasz@po.opole.pl

Wykorzystanie systemu wizyjnego do wstępnej półautomatycznej diagnostyki na potrzeby energetyki

Prowadzenie diagnostyki jest podstawą prawidłowego funkcjonowania instalacji elektroenergetycznych. Obecnie prowadzona jest nie tylko diagnostyka mająca na celu wykrycie awarii lub uszkodzeń, ale także prowadzi się ją prewencyjnie w celu przewidzenia potencjalnych miejsc i czasu wystąpienia sytuacji prowadzących do awarii. Wprowadzenie zautomatyzowanego sposobu wykrywania uszkodzeń w elementach linii elektroenergetycznych jest ważnym zadaniem. Podstawionym problemem jest wybór odpowiednich narzędzi oraz metod do wykonywania analizy diagnostycznej. Kluczowym byłoby stworzenie uniwersalnego narzędzia, możliwego do wykorzystania w różnych obszarach. Proponuje się wykorzystanie metod przetwarzania

obrazów 2D połączonych z fotogrametrią i modelowaniem 3D do analizy na potrzeby diagnostyki elementów systemów energetycznych. Identyfikacja elementów na podstawie obrazów z wykorzystaniem zaproponowanej metody może stanowić skuteczne narzędzie do szybkiego wstępnego wykrywania uszkodzeń, odkształceń lub przesunięć elementów takich jak np. kotły energetyczne czy przewody lub konstrukcje wsporcze. Pomimo tego, że fotogrametria jest znana i stosowana od wielu lat, to ich głównym obszarem wykorzystania pozostaje nadal geodezja i kartografia. Proponuje się zastosowanie nowej metody do okresowego monitorowania lub doraźnej analizy linii elektroenergetycznych. Przy pomocy zaproponowanej metody poprawy efektów rekonstrukcji modelu, istnieje możliwość otrzymania poprawnego modelu, a na jego podstawie dalsza ocena stanu poszczególnych elementów obiektów linii elektroenergetycznej. Do analizy wymagana jest każdorazowo seria zdjęć z różnych punktów, co wynika z tego, że na pojedynczym ujęciu nie widać wszystkich elementów. Opracowana metoda daje poprawne rezultaty, dalszy jej rozwój ma na celu zautomatyzowanie całego procesu. Na obecnym etapie rozwoju metody widać jej potencjał innowacyjny oraz wielość zastosowań diagnostycznych na potrzeby utrzymania sieci w jak najlepszym stanie technicznym. Metoda ma potencjał wdrożeniowy także w innych obszarach niż energetyka.

dr hab. inż. Sławomir Zator, prof. PO, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki,
dr inż. Paweł Michalski, mgr inż. Jakub Osuchowski, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska

Analiza elementów przęsła elektroenergetycznego na podstawie danych ALS

Obecnie coraz częściej wykorzystuje się skanery laserowe do diagnostyki oraz inwentaryzacji obiektów. Aktualnie w ramach rządowego programu Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK) przed nadzwyczajnymi zagrożeniami większość Polski została skatalogowana w oparciu o dane z ALS *(Airborne Laser Scanning)*. ISOK jest realizowany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Dane ze skanerów służą jako źródło dokładnego modelu terenu wraz z jego pokryciem. W razie klęsk żywiołowych pozwoli on przewidywać straty i może przyczynić się do ich ograniczania bądź zapobiegania ich powstawaniu. Również w energetyce wykonuje się skanowanie z platform latających w celu wykonania inwentaryzacji linii elektroenergetycznych. Przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji jest konieczne wówczas, gdy operator sieci energetycznej nie posiada aktualnej paszportyzacji linii sporządzonej z dokładnością wystarczającą do zaprojektowania nowych elementów sieci lub modernizacji sieci już istniejącej. W praktyce większość linii będzie wymagała dodatkowej, szczegółowej inwentaryzacji. W tym celu stosuje się technologie skaningowe, które nie wymagają kosztownych wyłączeń sieci. Dane klasyfikowane mogą być wg kilku podstawowych klas, którymi w przypadku linii elektroenergetycznych mogą być powierzchnia gruntu, konstrukcje wsporcze, przewody robocze, przewody odgromowe, zabudowania oraz elementy szaty roślinnej (w obszarze pasa szerokości ok. 30 m w obrębie toru linii elektroenergetycznej). Analizując je, można uzyskać takie informacje jak ukształtowanie terenu w obszarze linii, odchylenia słupów czy np. wysokość zwisów przewodu. Dostarczane mogą być niezbędne informacje na temat geometrii elementów sieci oraz ich ewentualnych uszkodzeń.

W artykule przedstawiono możliwości przetwarzania i analizowania danych pod kątem uzyskania informacji na temat parametrów przęsła elektroenergetycznego. Analizę wykonano w oparciu o oprogramowanie PLS-CADD, służące do analizy linii energetycznych. Zwykle pierwszym etapem jest wydzielenie punktów posadowienia słupa, które nie są bezpośrednio określone. Można je wyznaczyć na podstawie centroida utworzonego na bazie punktów podstawy, ale utrudnia to roślinność (wg klasyfikacji danych niska wegetacja w zakresie 0-0.4 m). Często lepszym rozwiązaniem jest wyznaczenie osi konstrukcji wsporczej, a następnie wyznaczenie punktu jej przecięcia z siatką trójkątów reprezentujących klasę grunt. W oparciu o wyznaczone punkty posadowienia słupów można określić płaszczyznę przekroju przęseł, w oparciu o nią w niemal automatycznie wyznacza się ukształtowanie terenu bezpośrednio pod linią. Dysponując geometryczną reprezentacją przewodów, można określić ich odległość od otaczających obiektów, w tym budynków uregulowane w normach PN-75-E-05100-1:1998, PN-EN-50341-1, PN-EN-50423-1. Jest ona uzależniona m.in. od napięcia linii oraz od pochylenia płaszczyzny dachów. Nie dysponując danymi 3D projektant bardzo często staje przed dylematem, jakie kryterium przyjąć w razie braku informacji na temat pochylenia dachu. Dysponując danym ze skanerów, taką informację można pozyskać z klasy punktów dachy. Podejście takie pokazuje przewagę systemów skaningowych w porównaniu do metod klasycznych zarówno pod względem czasu wykonania pomiaru, jak i ilości danych uzyskanych na temat otoczenia linii.

dr hab. inż. Sławomir Zator[1], dr inż. Paweł Michalski[2], mgr inż. Jakub Osuchowski[2], Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki[1], Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki[2], Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, s.zator@po.opole.pl

Analiza elementów przęsła elektroenergetycznego na podstawie danych LIDAR

Zagadnienia dotyczące diagnostyki, rekonstrukcji oraz inwentaryzacji obiektów z wykorzystaniem metod skaningu laserowego oraz różnego rodzaju diagnostyki współrzędnościowej są aktualnie bardzo popularne. Dlatego też nie dziwi fakt, iż skanery laserowe można wykorzystać do pomiaru geometrii praktycznie każdego obiektu niezależnie od wymiaru. W wyniku skaningu laserowego uzyskujemy dane w formacie chmury punktów.

Aktualnie, w ramach rządowego programu Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK) przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, większość Polski została skatalogowana na podstawie danych z systemu ALS. System ISOK jest realizowany przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK). Dane Lidar (Light Detection and Ranging) służą tu jako źródło bardzo dokładnego modelu terenu wraz z pokryciem, który w razie klęsk żywiołowych ma pozwolić przewidywać straty, ale przede wszystkim im zapobiegać. Przeloty pod kątem inwentaryzacji wykonuje się bardzo często również dla linii elektroenergetycznych. Przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji jest konieczne wówczas, gdy operator sieci energetycznej nie posiada aktualnej paszportyzacji linii sporządzonej z dokładnością wystarczającą do zaprojektowania nowych elementów sieci lub modernizacji sieci już istniejącej. W praktyce większość linii będzie wymagała dodatkowej, szczegółowej inwentaryzacji. W tym celu stosuje się technologie skaningowe, które nie wymagają kosztownych wyłączeń sieci. Dane LIDAR są sklasyfikowane wg kilku podstawowych klas. W przypadku linii elektroenergetycznych można wyróżnić m.in. takie klasy punktów jak: powierzchnia gruntu, konstrukcje wsporcze, przewody robocze, przewody odgromowe, zabudowania oraz elementy szaty roślinnej w obszarze pasa szerokości ok. 30 m w obrębie toru linii elektroenergetycznej. Operator uzyskuje więc wszystkie niezbędne informacje na temat geometrii elementów sieci oraz ewentualnych uszkodzeń. Dane LIDAR wymagają specyficznego podejścia w ich przetwarzaniu. Analizując dane LIDAR, można uzyskać takie informacje jak ukształtowanie terenu w obszarze linii, odchylenia słupów, wysokość zwisów przewodu. Lidar pozwala również wyznaczyć odległości przewodów roboczych od zabudowań, które powinny spełniać wymogi normatywne określone w polskich zaleceniach oraz europejskich normach. W artykule przedstawiono możliwości przetwarzania i analizowania danych pod kątem uzyskania informacji na temat parametrów przęsła elektroenergetycznego. Analizę wykonano, wykorzystując oprogramowanie PLS-CADD, służące do analizy linii energetycznych.

dr hab. inż. Sławomir Zator[1], dr inż. Paweł Michalski[2], mgr inż. Mirosław Lasar[2], Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej[1], Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej[2], Politechnika Opolska, s.zator@po.opole.pl

Niepewności pomiaru strat ciepła instalacji energetycznych i urządzeń przemysłowych

Straty zawsze towarzyszą wytwarzaniu i przesyłowi energii, w szczególności ciepła. Są one ograniczane osłonami termicznymi, w których główną rolę odgrywa izolacja termiczna. Zwiększenie jej grubości prowadzi do zmniejszenia strat, co jednocześnie pozwala na obniżenie temperatury medium na początku instalacji. Grubość izolacji może wynikać z ograniczeń technicznych bądź wymagań bezpieczeństwa. Coraz częściej wyznaczana jest optymalna grubość izolacji jako ekonomicznie uzasadniona. Trudność w jej poprawnym ustaleniu wynika głównie z powodu konieczności przyjęcia wskaźników ekonomicznych, w tym prognoz zmian cen energii lub kosztów jej wytwarzania na potrzeby procesu technologicznego. Często istnieje także potrzeba oszacowania strat ciepła z już istniejącej instalacji, często o złym technicznym stanie izolacji, np. w celu sporządzenia audytu energetycznego. Aby tego dokonać można posłużyć się np. termografią.

Straty ciepła w rzadkich przypadkach można określić bezpośrednio poprzez pomiar, częściej określa się je na etapie projektu - obliczeniowo. Wyniki, zarówno pomiarów, jak i obliczeń strat, związane są z parametrami transportowanego medium, osłon termicznych oraz otoczenia zewnętrznego Można też dokonać oszacowania strat przez pomiar pośredni.

W artykule skoncentrowano się na problematyce związanej z oszacowaniem niepewności wyznaczania strat ciepła różnymi metodami. Zwrócono uwagę na potrzebę uzyskania jak najdokładniejszych pomiarów temperatur tak, aby zarówno diagnoza jakościowa, jak i ilościowa, służąca oszacowaniu strat związanych z akumulowaniem lub transportem ciepła, była jak najdokładniejsza.

Pomiar rzeczywistych strat ciepła z instalacji jest zadaniem trudnym, nawet wtedy, gdy dysponuje się specjalistycznym sprzętem pomiarowym. Najlepsze efekty uzyskać można poprzez bezpośredni pomiar strat z użyciem licznika ciepła. Niepewność pomiaru całkowitych strat energii, ze względu na mierzone małe różnice temperatur, może osiągać wartości 4-10%.

Obecnie najdokładniejsze wyniki pomiaru strat ciepła uzyskać można posługując się czujnikami mierzącymi strumień ciepła, korzystając z prawa Fouriera. Niepewność pomiaru strumienia energii osiąga wartości 1-2%. Niestety pomiar ten jest wykonywany lokalnie i nie można uzyskanego wyniku ekstrapolować na większy fragment badanej instalacji czy urządzenia.

Pomiary termowizyjne są obecnie powszechnie wykorzystywanym narzędziem diagnostycznym. Pozwalają one dokonać pomiaru rozkładu temperatury na powierzchni w celu uzyskania informacji jakościowej lub ilościowej. Aby pomiar temperatury z użyciem kamery termowizyjnej był użyteczny, musi być on wykonany w warunkach minimalizujących powstanie dodatkowych błędów pomiaru temperatury. Jeśli nie podejmie się dodatkowych przedsięwzięć (pomiarów, na podstawie których można opisać konwekcyjną i radiacyjną wymianę ciepła), to uzyskanie niepewności wyniku na poziomie poniżej 20-30% jest często niemożliwe. Wykazano, że należy liczyć się z sytuacją, w której oszacowanie strat ciepła różnymi metodami prowadzić będzie do znacznie różniących się wyników.

Prowadzić to może do istotnych trudności w oszacowaniu ekonomicznych efektów podjętych działań termomodernizacyjnych. Nierzadko poprzestaje się tylko na obliczeniowych metodach obliczania strat energii, opierając się na pomiarowym wyznaczeniu parametrów materiałów izolacyjnych.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Analiza awaryjności maszyn w krajowych elektrowniach

Obecnie w krajowej elektroenergetyce poza Głównym Urzędem Statystycznym praktycznie nie funkcjonują dobrowolne, centralne systemy gromadzenia i przetwarzania danych technicznych i ekonomicznych. Wyjątkiem w tym zakresie jest utrzymywany w Agencji Rynku Energii S.A. system gromadzenia i przetwarzania danych o awaryjności bloków energetycznych o mocach 120÷858 MW. System ten obejmuje 108 bloków energetycznych (do niedawna 113) o łącznej mocy stanowiącej ok. 2/3 zdolności wytwórczej krajowego systemu elektroenergetycznego. Z analizy statystyki awaryjności krajowych bloków energetycznych wynika, że następuje systematyczna poprawa wskaźników niezawodności jednostek wytwórczych w elektrowniach. Najniższą awaryjność FOR odnotowano dla bloku o mocy 858 MW na węgiel brunatny, najwyższą dla bloków o mocy 200÷299 MW MW na węgiel brunatny. Najwyższą dyspozycyjność AF osiągnęły blok o mocy 858 MW, zaś najniższą odnotowano dla bloków o mocy 200÷299 MW na węgiel brunatny. Krajowe bloki energetyczne, za wyjątkiem bloków o mocy zainstalowanej 500 MW, mają dyspozycyjność AF, zbliżoną do zachodnich i czasami niższą awaryjność FOR i FOF, wyższy wskaźnik remontów planowych SOF, co potwierdza znaczenie właściwej diagnostyki technicznej i optymalizacji remontów dla ograniczenia czasu postoju bloku energetycznego. Podano wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne bloków energetycznych w latach 2011-2013. Dla przykładowej krajowej elektrowni, mającej 8 bloków po 200 MW przeanalizowano awaryjność, dyspozycyjność, czasy awarii i remontów zespołów maszynowych od 1973 do 2000 r. Analizowany okres ruchu elektrowni - 28 lat, charakteryzuje się wdrażaniem diagnostyki zespołów maszynowych w utrzymaniu ruchu maszyn i stopniowym odchodzeniem od prowadzenia remontów zapobiegawczych warunkowanych czasem na rzecz remontów warunkowanych stanem maszyny. Przedstawiono wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności poszczególnych bloków w latach 1973-2000. Podano czasy pracy i postojów.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Awaryjność maszyn potrzeb własnych

Globalna ilość awarii silników potrzeb własnych WN maleje, a liczba awarii elektrycznych jest zdecydowanie mniejsza od liczby awarii mechanicznych. Autorzy uważają, że w większości krajowych zakładów przemysłowych jest podobnie. Analizując szczegółowo przyczyny awarii i nieoczekiwanych, nieplanowanych postojów napędów z silnikami indukcyjnymi klatkowymi WN, w oparciu o własne doświadczenia i obserwacje, ustalono następującą listę przyczyn awarii:

- Stan łożysk.
- Izolacja uzwojeń silników.
- Niewywaga, nieosiowość i luzy związane z ruchem wirnika.
- Rezonanse.
- Niesymetria szczeliny pomiędzy stojanem a wirnikiem.
- Uzwojenie klatkowe wirnika.
- Stan konstrukcji wsporczych, fundamentów i mocowania.

Listę podano w kolejności, od przyczyn najczęściej wystę-

pujących do tych, które występują najrzadziej. W ostatnich latach stan konstrukcji wsporczych, fundamentów i mocowania relatywnie stają się przyczyną wyraźnie wzrastającą.

Według dwóch niezależnych amerykańskich źródeł IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) i EPRI (Electric Power Research Institute), łożyska toczne należą do najczęstszych, poważnych przyczyn awarii silników indukcyjnych. Podano zestawienia uszkodzeń silników indukcyjnych.

W postaci liczbowej statystykę organizacji EPRI na populacji 7500 maszyn przedstawiono w tab. Statystykę przedstawioną w tabeli autorzy traktują jako uogólnioną, aktualną statystykę uszkodzeń maszyn elektrycznych świata zachodniego.

Tab. Statystyka uszkodzeń maszyn elektrycznych

Przyczyna awarii	Procentowy udział, [%]
Łożyska	41
Stojan	37
Wirnik	10
Osprzęt, wyposażenie dodatkowe i inne	12

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Materiały izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących

Mika to podstawowy materiał w układach izolacyjnych maszyn WN. Stosuje się ją jako izolację elektryczną i cieplną. Posiada strukturę warstwową, łupie się na cienkie i elastyczne płatki. Rozróżnia się wiele odmian tego materiału, natomiast największe znaczenie przemysłowe mają dwa gatunki miki - mika magnezowa (flogopit) oraz mika potasowa (muskowit). Kolejną grupę materiałów izolacyjnych stanowią żywice. Obecnie ze względu na parametry elektryczne oraz klasę ciepłoodporności w wysokonapięciowych układach izolacyjnych wykorzystywane są wyłącznie żywice syntetyczne. Żywice syntetyczne to produkty modyfikacji żywic naturalnych i celulozy lub materiały uzyskane podczas polimeryzacji różnych związków organicznych. Żywice te są podstawą produkcji tworzyw organicznych. Używane jako lepiszcza wyrobów mikowych oraz laminatów, a także jako komponenty w technologii próżniowego nasycania uzwojeń maszyn elektrycznych. Roztwory żywic, asfaltów oraz olejów stanowią lakiery elektroizolacyjne. Lakiery służą do izolowania przewodów nawojowych, nasycania układu izolacyjnego oraz jako lepiszcze przy wytwarzaniu tworzyw warstwowych. Kolejną grupę stanowią folie elektroizolacyjne. Materiały te wytwarzane są głównie z żywic termoplastycznych w postaci taśm i arkuszy jedno - i wielowarstwowych. Stosuje się je celem lokalnego zwiększenia wytrzymałości elektrycznej układu izolacyjnego oraz jako izolację zwojową.

Obecnie nowoczesne układy izolacyjne uzwojeń stojanów WN maszyn wykonywane są w dwóch podstawowych technologiach, których wspólną cechą jest baza surowcowa, czyli taśma mikowa na podkładzie z włókna szklanego.
Technologiami tymi są:

VPI *(z ang. Vacum Pressure Impregnation)*, cewki wykonane w tej technologii izolowane są porowatą taśmą mikową o małej zawartości lepiszcza (4,5¸10%). Proces utwardzenia odbywa się po kontakcie żywicy klejącej z żywicą impregnującą w procesie ciśnieniowej impregnacji, po którym następuje próżniowe suszenie cewki. W technologii VPI poszczególne pręty mogą zastać poddane nasycaniu lub też cały stojan po uzwojeniu zostaje impregnowany żywicą.

RR *(z ang. Resin Rich)*, technologia ta została wdrożona w latach 90. w zakładzie remontowym Energoserwis S.A. Lubliniec (potem TurboCare Poland S.A, obecnie EthosEnergy Poland S.A). W tej technologii jako materiał elektroizolacyjny stosowana jest taśma mikowa z dużą zawartością lepiszcza. Taśma mikowa nanoszona jest mechanicznie na wstępnie utwardzony i przygotowany pręt. Utwardzenie izolacji następuje w procesie termo-utwardzenia podczas prasowania izolacji. Na pręt nakładane są następnie taśmy wykończeniowe, po czym następuje hartowanie całości w piecu. Ze względu na właściwości konstrukcyjne układu izolacyjnego można wyróżnić następujące rodzaje izolacji: izolację mieszaną (tulejową) - inna w części żłobkowej niż w części czołowej uzwojenia, izolację ciągłą - jednolitą wzdłuż całego uzwojenia.

Dla przybliżenia technologii RESIN RICH przedstawiono i opatrzono komentarzem przykłady wykonania tej izolacji w warunkach krajowych.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Problemy związane z eksploatacją układów izolacyjnych turbogeneratorów oraz silników wysokonapięciowych

Układy elektroizolacyjne maszyn pracują w ekstremalnie trudnych warunkach wieloczynnikowych narażeń: pola elektrycznego, pola temperaturowego, sił mechanicznych oraz czynników środowiskowych. Dodatkowe czynniki mające bezpośredni wpływ na proces degradacji izolacji to: liczba godzin pracy, liczba rozruchów, stany nieustalone, w tym stany zwarciowe, praca asynchroniczna generatora. W wyniku kombinacji wyżej wymienionych czynników może nastąpić gwałtowny proces starzenia się i degradacji układu elektroizolacyjnego maszyny. Aktywacja procesów degradacji oznacza inicjowanie przemian w strukturze materiałów, przy czym są to: przemiany fizyczne występujące na poziomie nanomolekularnym, przemiany chemiczne, np. utlenianie, polimeryzacja, depolimeryzacja.

Wyróżnić należy następujące narażenia układów izolacyjnych turbogeneratorów oraz silników wysokonapięciowych: narażenia elektryczne, narażenia termiczne, narażenia mechaniczne, narażenia termomechaniczne, narażenia klimatyczne i środowiskowe, narażenia chemiczne, narażenia wywołane promieniowaniem Narażenia termomechaniczne są jednymi z najpoważniejszych narażeń układu izolacyjnego w maszynach elektrycznych. Prowadzą one do pęknięć, rozwarstwień i innych deformacji w układzie izolacyjnym, pogarszających jego własności elektryczne i mechaniczne. Narażenia termomechaniczne układu izolacyjnego są szczególnie istotne w dużych maszynach elektrycznych w szczególności w generatorach. Z powodu różnych współczynników rozszerzalności cieplnej aCu miedzi uzwojenia i aFe rdzenia żelaza, różnych temperatur miedzi i żelaza, różnic w cieplnych stałych czasowych TCu miedzi i TFe żelaza, dochodzi do przesunięć uzwojeń w żłobkach. Ruchy te są nazywane dylatacyjnymi i mają inny charakter w stojanie i inny w wirniku.

Układy izolacyjne maszyn elektrycznych w rozwiązaniach najlepszych mają bardzo niewielkie trwałe odkształcenia w warunkach pracy przewidzianych dla danego typu izolacji. Miarą tego może być wielkość trwałych odkształceń izolacji na czołach uzwojenia, a także stopień osłabienia izolacji na wyjściu ze żłobka. Z metrologicznego punktu widzenia miarą stopnia degradacji może być poziom wyładowań niezupełnych mierzony w czasie eksploatacji maszyn Dla maszyn elektrycznych eksploatowanych w warunkach przemysłowych występuje oddziaływania zespołu kilku narażeń, które wpływają na procesy starzeniowe i degradację stanu izolacji. Degradacja ma charakter starzenia wieloczynnikowego. W praktyce starzenie izolacji jest złożonym procesem, a wystąpienie uszkodzenia w postaci awarii układu izolacyjnego jest spowodowane efektem oddziaływanie kilku czynników, nawet w przypadku, gdy jeden z czynników narażeń jest czynnikiem dominującym. Czas życia izolacji jest funkcją sumy poszczególnych narażeń jednak istotne są interakcje pomiędzy poszczególnymi grupami narażeń. Praktycznym podejściem do oceny stopnia wieloczynnikowej degradacji izolacji jest diagnostyka oparta na obowiązujących normach oraz wiedzy eksperckiej.

Analiza narażeń układu izolacyjnego w maszynach elektrycznych upoważnia do wniosków, że konstruktorzy - projektanci maszyn muszą zaprojektować uzwojenie po wcześniejszej wnikliwej analizie sił elektrodynamicznych działających na uzwojenia, w szczególności w strefie czół.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Układy izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących

Układ izolacyjny - jest to struktura przestrzennie złożona z materiałów nośnych, izolacyjnych i przewodzących zapewniających odpowiednią wytrzymałość elektryczną i funkcjonalność urządzenia. Izolacja uzwojeń w maszynach elektrycznych - zwana często „złem koniecznym", jest elementem wymagającym zwiększenia gabarytów maszyny lub zmniejszenia jej mocy przy zachowaniu dotychczasowych wymiarów. Izolacja utrudnia odprowadzanie ciepła z maszyny, nie jest elementem konstrukcyjnym ani częścią obwodu magnetycznego, nie bierze udziału bezpośrednio w wytworzeniu momentu. Dobre wykonanie układu elektroizolacyjnego w maszynach elektrycznych jest jednym z trudniejszych zadań konstrukcyjnych i technologicznych. Współczesne znaczenie pojęcia układ elektroizolacyjny odnosi się nie tylko do użytych w maszynie materiałów elektroizolacyjnych, ale obejmuje również konstrukcję uzwojenia, klinowanie w żłobkach rdzenia stojana oraz mocowanie części czołowej. Układ elektroizolacyjny powinien być tak wykonany, aby na elementach tworzących ich konstrukcję, poza uzwojeniami, nie występowało napięcie elektryczne i aby nie płynął przez nie prąd, za wyjątkiem prądów indukowanych przez rozproszone strumienie

magnetyczne lub przez strumień magnetyczny wzdłużny. Układ izolacyjny maszyny elektrycznej dobierany jest w zależności od wymagań technicznych, jakie ta maszyna powinna spełniać, możliwości technologicznych i wykonawczych producenta lub zakładu remontowego, własności i charakterystyk materiałów elektroizolacyjnych, jakich w czasie produkcji maszyny lub jej remontu konstruktor i technolog zamierzają użyć oraz od cen tych materiałów. Jeżeli ma to być maszyna wykonana w technologii naprawialnej, wówczas świadomie decydujemy się na izolację RESIN RICH. Maszyna wykonana w technologii VPI jest w zasadzie nienaprawialna. Napięcie zasilania maszyny elektrycznej określa wymagania dielektryczne wobec izolacji, kolejnym z wymagań technicznych jest przewidywany przyrost temperatury uzwojeń. Głównie one wpływają na dobór klasy izolacji. Dla zapewnienia większej trwałości maszyny elektrycznej dość często stosuje się materiały elektroizolacyjne zapewniające wyższą klasę izolacji niż to wynika z przewidywanych przyrostów temperatury. Maszyny elektryczne produkowane są na coraz to większe moce, a co z tym idzie budowane są na coraz to wyższe napięcia. Obecnie produkuje się generatory na napięcia sięgające 30000 V oraz silniki sięgające napięć 20000 V. Izolacja w maszynach wysokonapięciowych pracuje w znacznie trudniejszych warunkach niż w maszynach niskonapięciowych głównie z powodu działania silnego pola elektrycznego na izolację oraz przemieszczeń izolacji pod wpływem wydłużeń cieplnych uzwojeń o znaczącej długości. Budowa maszyn na tak wysokie napięcia stojana wymusza stosowanie dodatkowych zabiegów technologicznych, mających na celu ograniczenie lokalnych naprężeń elektrycznych poprzez stosowanie m.in. wewnętrznej oraz zewnętrznej ochrony przeciwjarzeniowej. Obecny stan techniki wymaga wzmożonych prac nad doskonaleniem maszyn elektrycznych. Powstają nowe, coraz to lepsze materiały elektroizolacyjne lub też istniejące układy są tak modyfikowane, aby sprostać nowym standardom wykonania. Wykonanie stojana z poprawnie zaprojektowaną i wykonaną ochroną przeciwjarzeniową, umożliwia uzyskanie wysokiego napięcia zapłonu wyładowań niezupełnych oraz małą intensywność wnz. Wdrażanie nowych technologii wykonania układu izolacyjnego stanowi złożone zagadnienie z pogranicza nauki i techniki. Niejednokrotnie naukowe podejście do analizy określonego układu izolacyjnego jest trudne i wówczas podstawowe znaczenie ma tutaj doświadczenie zdobyte podczas produkcji, badań oraz remontów układów izolacyjnych maszyn.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków energetycznych

Szczególne znaczenie dla pracy systemu elektroenergetycznego kraju ma niezawodność dużych bloków energetycznych ⩾120 MW. Dlatego Agencja Rynku Energii SA prowadzi ocenę awaryjności i dyspozycyjności bloków energetycznych dużej mocy. Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne umożliwiają dokonanie stosownej oceny. Obliczenia wykonuje się za odpowiedni okres pracy dla bloków energetycznych, o mocach jednostkowych, co najmniej 120 MW, w elektrowniach cieplnych i dla dużych bloków ciepłowniczych. Dla każdego bloku oraz dla grupy bloków obliczane są następujące parametry: czas ruchu, czas postoju w rezerwie, czas postoju w remoncie kapitalnym, średnim, bieżącym, awaryjnym, liczba odstawień do rezerwy, do remontu kapitalnego, średniego, bieżącego, awaryjnego. Następnie wyliczane są wskaźniki: remontów planowych, dyspozycyjności, awaryjności, stopnia wykorzystania mocy zainstalowanej, stopnia użytkowania mocy osiągalnej, udziału czasu awarii w czasie kalendarzowym, wykorzystania czasu kalendarzowego oraz średniego czas ruchu.

W pierwszej kolejności obliczane są następujące wielkości:

- Tp - czas pracy bloku lub grupy bloków w rozpatrywanym okresie.
- Tr - czas postojów bloku lub grupy bloków w rezerwie w rozpatrywanym okresie.
- Tkp - czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie kapitalnym.
- Ts - czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie średnim.
- Tb - czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie bieżącym.
- Ta - czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie awaryjnym.
- Tk - czas okresu, za który wykonywane są obliczenia.
- Lr - liczba postojów w rezerwie.
- Lkp - liczba postojów w remoncie kapitalnym.
- Ls - liczba postojów w remoncie średnim.
- Lb - liczba postojów w remoncie bieżącym.
- La - liczba postojów w remoncie awaryjnym.
- Lw - liczba wszystkich postojów.

- An - wyprodukowana energia elektryczna,
- Pz - moc zainstalowana,
- Pos - moc osiągalna.

Obliczane są następujące wskaźniki:

- Wskaźnik dyspozycyjności AF.
- Udział czasu awarii w czasie kalendarzowym FOF.
- Wskaźnik awaryjności FOR.
- Wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej GCF.
- Wskaźnik użytkowania mocy osiągalnej GOF.
- Wskaźnik remontów planowych SOF.
- Wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego SF.
- Średni czas ruchu (obliczeniowy) ART.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Wymogi stawiane materiałom izolacyjnym

Wysokonapięciowe uzwojenia muszą spełniać szereg kryteriów jakościowych, aby pracować niezawodnie przez wiele lat. Optymalnie zaprojektowany oraz niezawodny układ izolacyjny musi być odporny na działanie bardzo silnego pola elektrycznego, podwyższonej temperatury, narażeń mechanicznych, termomechanicznych i czynników zewnętrznych. Materiały elektroizolacyjne, które wchodzą w skład układu izolacyjnego muszą posiadać szereg właściwości fizyko-chemicznych, z których najważniejsze to:

1. Duża wytrzymałość dielektryczna.
2. Mała stratność dielektryczna.
3. Duża rezystancja objętościowa i powierzchniowa.
4. Odporność na wyładowania niezupełne (wnz).
5. Duża wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie.
6. Duża wytrzymałość na ścieranie.
7. Stosunkowo duża elastyczność.
8. Duża przewodność cieplna.
9. Odporność na działanie temperatur w szerokim zakresie, np. -30°C¸+155°C lub więcej (klasa H), stabilność termiczna struktury materiałów przy cyklicznych zmianach temperatury w określonych warunkach pracy maszyny.
10. Liniowa rozszerzalność cieplna komponentów, możliwie najbardziej zbliżona do siebie oraz bliska rozszerzalności materiałów przewodowych.
11. Struktura warstwowa materiałów mająca zminimalizowaną zawartość szczelin gazowych.
12. Niehigroskopijność.
13. Odporność na działanie środków chemicznych.
14. Łatwa obróbka mechaniczna.
15. Stałość parametrów w czasie.
16. Przystępna cena.

Idealnego materiału izolacyjnego, który spełniałby wszystkie wymagania nie ma, technolodzy kojarzą różne komponenty, aby uzyskać rozwiązania najlepsze. Badania w tym zakresie prowadzone są w licznych ośrodkach naukowych.

dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec,
Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

Monografia „Badania i diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich"

Prawie wszystkie działania człowieka są ściśle związane ze zużyciem energii. Energia elektryczna i ciepło to produkty codziennego użytku. Energia elektryczna jest specyficznym produktem. Nie dysponujemy technologią jej magazynowania w technicznie istotnych ilościach przy akceptowalnych ekonomicznie kosztach. Oznacza to że, dla danej chwili czasu konieczne jest wyprodukowanie energii elektrycznej w ilości pełnego zapotrzebowania. Skutkuje to koniecznością ciągłych dostaw energii elektrycznej, a co za tym idzie ciągłego utrzymywania zdolności wytwórczych w stopniu pełnego pokrycia bieżących potrzeb.

Szacuje się, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w kraju wzrastać będzie w okresie do 2025 r. w średniorocznym

tempie zbliżonym do 3%, przy oczekiwanym średnim tempie wzrostu PKB (Produktu Krajowego Brutto) na poziomie ok. 5%. Obecnie średnie roczne zużycie energii elektrycznej w przeliczeniu na mieszkańca w kraju wynosi 3724,8 kWh. Raport przygotowany przez Agencję Rynku Energii prognozuje, że globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie w 2030 r. do 167,6 TWh, wobec 119,4 TWh w 2010 r.

Obserwowane zmiany zużycia energii elektrycznej przez poszczególne sektory gospodarcze w tym spadki (transport), wyraźne wzrosty (przemysł i gospodarstwa domowe), nakładają się na niestety stabilne zużycie energii elektrycznej w sektorze energetycznym, czyli wytwórczym. Fakt stabilnego zużycia energii elektrycznej w sektorze energetycznym nie napawa optymizmem, świadczy o swoistej stagnacji koncepcyjnej, organizacyjnej, technicznej i ekonomicznej.

Unia Europejska na szczycie w październiku 2014 r. przyjęła dwa strategiczne cele w zakresie polityki klimatycznej:

- 40% redukcję emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. w stosunku do 1990 r.,
- 27% udział energii z OZE w globalnym zużyciu energii w UE do 2030 r.

Cele te nie są w wielu krajach UE realizowane, w szczególności w naszym kraju. Upoważnia to do stwierdzenia, że polską energetykę czekają w najbliższym czasie rewolucyjne zmiany.

Autorzy monografii od wielu lat zajmują się badaniami i diagnostyką maszyn elektrycznych, w szczególności w krajowej energetyce. W książce przedstawiono doświadczenia autorów w badaniach i diagnostyce off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w najczęściej spotykanej w kraju technologii izolacji uzwojeń - Resin-Rich. Doświadczenia obejmują zarówno generatory (turbogeneratory), jak i silniki indukcyjne klatkowe a więc podstawowe maszyny elektryczne wysokonapięciowe (WN) w krajowych elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach. Technologia Resin-Rich jest „technologią naprawialną" to znaczy uzwojenie maszyny elektrycznej której uzwojenie jest wykonane w tej technologii można z technicznego punktu widzenia naprawić. Przeciwieństwem jest izolacja uzwojeń wykonana technologią próżniowo-ciśnieniową VPI. Uzwojenie wykonane w tej technologii do remontu w zasadzie się nie nadaje. W monografii przedstawiono m.in. technologię diagnostyki w oparciu o pomiar wyładowań niezupełnych (wnz) izolacji uzwojeń na przykładzie zakładu produkującego i remontującego maszyny elektryczne dla potrzeb energetyki. Przedstawiono podstawowe, klasyczne metody diagnozowania off-line stanu izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych stosowanych przez autorów w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach zawodowych opalanych węglem kamiennym i brunatnym, a więc w podstawowych przedsiębiorstw energetycznych w kraju.

dr inż. Wojciech Radziewicz,
Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, w.radziewicz@po.opole.pl

Oprogramowanie na potrzeby małej energetyki wiatrowej

W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie inwestorów stanowią małe instalacje odnawialnych źródeł energii, w tym także mikro i małe elektrownie wiatrowe. Według Ustawy o odnawialnych źródłach energii małą instalację odnawialnego źródła energii definiuje się jako nieprzekraczającą 200 kW łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej.

Należy zauważyć, że mała energetyka wiatrowa ma szansę intensywnego rozwoju w Polsce w oparciu o rynek prosumencki: autointegracji w przedsiębiorstwach, w gospodarstwach rolnych, a nawet we wspólnotach mieszkaniowych i urzędach. Dlatego wybór lokalizacji dla instalacji małej turbiny wiatrowej jest najczęściej zdeterminowany usytuowaniem przedsiębiorstwa prosumenckiego. Według raportu przygotowanego przez World Wind Energy Association zapotrzebowanie na energię elektryczną europejskiej rodziny powinna pokryć turbina o mocy 4 kW.

Instytut Energetyki Odnawialnej w swoim raporcie zidentyfikował w 2011 r. w Polsce 142 firmy działające w sektorze małej energetyki wiatrowej. Są to najczęściej firmy rodzinne zajmujące się produkcją lub dystrybucją i montażem małych turbin wiatrowych. Rozwiązania konstrukcyjne małych turbin wiatrowych mają często innowacyjny i nowoczesny charakter. Wymienić można mikroturbiny z dyfuzorem, w kształcie kuli, o pionowej osi obrotu, wieloramienne, czy nawet o kształtach bionicznych.

Jednym z najistotniejszych barier rozwoju małej energetyki wiatrowej jest opłacalność tych inwestycji. Wybór właściwego rozwiązania konstrukcyjnego, dostosowanego do wymagań zapotrzebowania energetycznego w odniesieniu do aktualnych uwarunkowań sprzedaży nadwyżki produkcji, a także lokalizacja inwestycji wymagają drobiazgowej analizy ekonomicznej w oparciu o dedykowany system informatyczny.

Autor jest współtwórcą laboratoryjnego systemu informatycznego dla małej energetyki wiatrowej. System ten zawiera bazę rozwiązań konstrukcyjnych turbin wiatrowych małej mocy wraz z porównywarką wybranych parametrów. Oprogramowa-

nie to zawiera także moduł filtracji, analizy i wizualizacji danych pomiarowych, a także moduł analizy ryzyka umożliwiający wyznaczenie dynamicznego wskaźnika efektywności ekonomicznej (NPV) dla wybranego rozwiązania konstrukcyjnego w odniesieniu do przebiegu prędkości wiatru w wybranej lokalizacji. Narzędzie to może być pomocne zarówno dla inwestorów, jak i producentów turbin wiatrowych małej mocy.

Katarzyna Grzejszczak[1], **dr inż. Karol Lewandowski**[2]
Enspirion Sp. z o.o.[1], katarzyna.grzejszczak@enspirion.pl, ENERGA SA[2], karol.lewandowski@energa.pl

Inteligentne Specjalizacje Pomorza

Inteligentne Specjalizacje Pomorza (ISP) z założenia są obszarami, które na terenie Województwa Pomorskiego (WP) wyróżniają się na tle innych dziedzin gospodarki dużą zdolnością do dynamicznego rozwoju i ekspansji na rynki zagraniczne oraz opierają się na wykorzystaniu unikalnych zasobów naturalnych regionów, połączeniu różnych branż i zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Inteligentne specjalizacje mają na celu doprowadzić do powstania nowych rynków aktywności gospodarczej, modernizacji oraz podniesienia atrakcyjności gospodarczej i konkurencyjności regionu. Głównym celem specjalizacji jest budowanie i wzmocnienie konkurencyjności podmiotów gospodarczych, koncentrujących się na kreowaniu nowych produktów i usług bazujących na wynikach prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych, z uwzględnieniem wzrostu efektywności dystrybucji, wytwarzania, przetwarzania i zużycia energii, wydobycia surowców i przetwórstwa paliw oraz zmniejszania oddziaływania na środowisko naturalne.

dr inż. Adam Olszewski, dr inż. Sławomir Noske, ENERGA-OPERATOR SA, slawomir.noske@energa.pl

Projekt UPGRID - pierwszy projekt programu HORIZON 2020

Celem projektu jest opracowanie i demonstracja innowacyjnego rozwiązania (system sieci niskiego napięcia, funkcje, usługi i narzędzia) dla zaawansowanego sposobu prowadzenia ruchu sieci i eksploatacji sieci SN/nn w środowisku Smart Grid, poprawiając własności tej sieci z punktu widzenia generacji rozproszonej, systemu zarządzania dystrybucją *(Advanced Distribution Management ADM)*, wsparcia dla odbiorcy i stworzenia możliwości dla działalności biznesowej. Projekt polega na zbudowaniu 4 instalacji pilotażowych w Portugalii, Polsce, Hiszpanii i Szwecji w zakresie: monitorowanie i sterowanie w sieci Smart Grid, zaawansowane zarządzanie siecią, integracja źródeł rozproszonych w systemie ADM wraz z zaangażowaniem odbiorców do uczestnictwa oszczędności kosztów energii. W projekcie zaproponowano również prace zmierzające do maksymalizacji społeczno-ekonomicznego oddziaływania wyników projektu, szczególnie w zakresie aspektów rynkowych, możliwości biznesowych oraz społecznej świadomości korzyści ze Smart Gridu.

mgr inż. Michał Krawiec, mgr inż. Sławomir Szymocha, Politechnika Opolska,
m.krawiec@po.opole.pl, slawomir.szymocha@doktorant.po.edu.pl

Pomiar geometrii przęsła linii elektroenergetycznej metodą wizyjną w warunkach laboratoryjnych

W artykule przedstawiono wyniki pomiaru parametrów geometrii przęsła linii elektroenergetycznej metodą wizyjną. Układ został poddany testom w warunkach laboratoryjnych. Cechą podstawową metody jest możliwość zdalnego pomiaru położenia przewodów linii elektroenergetycznych przy użyciu kamery cyfrowej, co w efekcie pozwala na dynamiczne zwiększenie ob-

ciążalności prądowej linii. Układ działa w sposób bezinwazyjny i bezobsługowy. Wykonuje pomiary w sposób ciągły z możliwością konfiguracji dla różnych typów napowietrznych linii elektroenergetycznych.

Przedstawiona metoda wykorzystuje algorytmy komputerowego przetwarzania obrazu. Systemy rozpoznawania obrazu zyskują w ostatnim czasie coraz większe znaczenie. Są z powodzeniem wykorzystywane w wielu dziedzinach życia. Przy zastosowaniu algorytmów przetwarzania obrazu można pozyskać informacje, których w normalnych warunkach nie jest w stanie zarejestrować wzrok człowieka. W medycynie rozpoznawanie obrazu jest wykorzystywane do analizy zdjęć rentgenowskich. W metalurgii znajduje zastosowanie w przeróbce materiałów. Również przy nadzorowaniu procesów przemysłowych są wykorzystywane kamery oraz systemy rozpoznawania obrazu.

Możliwości rozpoznawania obrazu są istotne ze względu na szeroki zakres ich zastosowań. Automatyczny monitoring obiektów może zostać zastosowany praktycznie w każdej gałęzi przemysłu. Koszty zakupu kamery cyfrowej są w obecnych czasach relatywnie niskie, więc jej zastosowanie może znacząco obniżyć koszty produkcji.

mgr inż. Sławomir Szymocha, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, slawomir.szymocha@doktorant.po.edu.pl

Systemy regulacji nasłonecznienia „SMART WINDOW"

Autor opracował propozycję autonomicznego systemu regulacji nasłonecznienia szklarni współpracującego z układem sterowania obiektem uprawy roślin w celu eliminacji konwencjonalnego systemu cieniującego opartego na kurtynach wykonanych z tworzyw sztucznych. Rozwiązania konwencjonalne cechują się znaczną zawodnością z względu na złożoność układów mechanicznych. W opracowanej propozycji układ regulacji nasłonecznienia zasilany był odnawialnym źródłem energii (panel PV). Jako linię zapasową wykorzystano sieć tradycyjną niskiego napięcia. Regulacja nasłonecznienia odbywa się dzięki zmiennej przepuszczalności foli PDLC *(z ang. Polymer dispersed liquid crystals)*. Całość procesu była regulowana sterownikiem PLC. Charakterystyka przepuszczalności foli PDLC nie jest w pełni liniowa z racji tego autor zastosował czujnik nasłonecznienia służący do dostosowywania napięcia względem przepuszczalności świetlnej. Po optymalizacji kolejny pomiar oraz regulacja jeśli byłaby konieczna odbywała się z interwalem 10 min. Celem przetestowania możliwości sterowania oraz parametrów szkła z folią PDLC został odwzorowany kompletny układ sterowania obiektem szklarniowym. Funkcjonalności związane ze zraszaniem, przewietrzaniem, wentylacją kontrolą klimatu również zostały zastosowane przez autora.

Układ był testowany w warunkach laboratoryjnych w okresie jednego miesiąca. Jako automatyczny zadajnik sygnałów wejściowych posłużył sterownik PLC. Skoncentrowano się na testowaniu możliwości sterowania przepuszczalności świetlnej za pomocą sterownika. W kolejnym artykule przedstawione zostaną wyniki testów opracowanego systemu.

PROGRAM KONFERENCJI GRE 2016

27 czerwca 2016 r. (poniedziałek)

8:00 -10:00 Rejestracja uczestników, kawa powitalna
10:00-10:30 **OTWARCIE FORUM**
10:30-13:00 **SESJA PLENARNA**
10:30-10:45 Lipiński G., koordynator programu strategicznego z NCBR
Informacja na temat realizacji i zakończenia strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych
Zaawansowane technologie pozyskiwania energii
10:45-11:15 Chmielniak T., Lider zadania badawczego nr 1 Prezentacja uzyskanych efektów ZB1 PS
11:15-11:45 Nowak W., Lider zadania badawczego nr 2 Prezentacja uzyskanych efektów ZB2 PS
11:45-12:15 **PRZERWA NA KAWĘ**
12:15-12:45 Strugała A., Lider zadania badawczego nr 3 Prezentacja uzyskanych efektów ZB3 PS
12:45-13:15 Kiciński J., Lider zadania badawczego nr 4 Prezentacja uzyskanych efektów ZB4 PS
13:15-14:00 **OBIAD W RESTAURACJI HOTELOWEJ**
14:00-17:00 **FORUM DYSKUSYJNE** z udziałem przedstawicieli ministerstw i partnerów przemysłowych
Skomudek W., moderator
17:00-17:30 **PRZERWA NA KAWĘ**
17:30-19:30 **SESJA PLAKATOWA**
Prezentacja wystaw i warsztaty w holu wystawienniczym
20:00-24:00 **UROCZYSTA KOLACJA W RESTAURACJ I HOTELOWEJ**

28 czerwca 2016 (wtorek)

8:00-9:00 **ŚNIADANIE W RESTAURACJI HOTELOWEJ**
Po śniadaniu przewidziane są dwie równoległe SESJE PROBLEMOWE.

Pierwsza sesja dotyczyć będzie problematyki zrealizowanego programu strategicznego Zaawansowane technologie pozyskiwania energii (Sala E)

9:00-10:30 Wybrane referaty z zadania badawczego nr 1 autorstwa:
- Chmielniak T., Lepszy S.
- Węcel D., Ogulewicz W., Kotowicz J.
- Ścieżko M., Solna L., Tatarczuk A., Krótki A., Tchórz J., Zdeb J.
- Rusin A., Chmielniak T., Dobrzański J., Nowak G.
- Witkowski A., Majkut M.
- Rusin A., Rozkosz M., Bieniek M., Ryczowski K., Wojaczek A.
- Rusin A., Stolecka K.
- Łukowicz H.
- Kotowicz J., Bartela Ł., Dubiel K.

Tematy referatów podane zostały w wydrukowanych streszczeniach

10:30-12:00 Wybrane referaty z zadania badawczego nr 2 autorstwa:
- Jankowska S., Czakiert T., Nowak W.
- Czakiert T.
- Golec T.
- Ścieżko M.
- Grabowy M.
- Zarzycki R., Bis Z., Kobyłecki R.
- Chorowski M., Dorosz P., Piotrowska A.
- Banaszkiewicz T., Chorowski M., Guzicki W.
- Chorowski M., Guzicki W., Banaszkiewicz T.

12:00-12:30 Wybrane referaty z zadania badawczego nr 3 autorstwa:
- Sobolewski A., Chmielniak T., Ścieżko M., Tomaszewicz G., Bobiński P.
- Świądrowski J., Mocek P., Stańczyk K., Jędrysik E.

12:30-13:40 Wybrane referaty z zadania badawczego nr 4 autorstwa:
- Cenian A., Aranowski R.
- Gołaszewski J., Laskowski M.
- Laskowski M.
- Kordas D.
- Aranowski R., Laskowski M.
- Kupecki J., Stępień M., Golec T.
- Talarowski D., Remiszewski K., Golec T.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M.

14:00-14:45 **OBIAD W RESTAURACJI HOTELOWEJ**

15:00-16:30 **SESJA PLAKATOWA**

Zaprasza się wszystkich uczestników konferencji do przygotowania w formie elektronicznej plakatów, które będą wydrukowane w wielkoformatowym arkuszu przez Wydawnictwo „Nowa Energia". Termin wysyłki tekstu elektronicznego upływa 30 kwietnia 2016 r. Wydrukowane plakaty będą prezentowane przez okres dwóch lat na konferencjach organizowanych przez „Nową Energię".

Druga sesja problemowa Eksploatacja i diagnostyka maszyn i urządzeń energetycznych (SALA E)

16:30-18:30 Sekcja tematyczna: Racjonalne wytwarzanie i użytkowanie energii
Referaty autorstwa:
- Mazurenko A., Denisova A., Spinov V.
- Denisova A., Mazurenko A.
- Denisova A., Mazurenko A.
- Denisova A., Mazurenko A.
- Wiśniewski S., Sołtysik G., Nowak W.
- Kujawa T., Nowak W.
- Kaczmarek R.
- Mazurek R., Gozdor A
- Bańkowski M., Gozdor A.
- Celińska A.

SALA F

9:00-10:20 Sekcja tematyczna Zarządzanie projektowe oraz pomiary strumieni ciepła i masy
Referaty autorstwa :
- Majchrzak H.
- Pistun Y., Fedoryshyn R.
- Kabaciński M., Pospolita J., Polak J.
- Zator S., Michalski P., Lasar M.
- Kasprzak D., Mrowiec A.
- Radziewicz W.

10:20-11:15 Sekcja tematyczna: Diagnostyka współrzędnościowa
Referaty autorstwa:
- Kabza Z., Kwiatkowski L.J., Nowak W.
- Gasz R.
- Zator S., Michalski P., Osuchowski J.
- Zator S., Michalski P., Osuchowski J.
- Zator S., Michalski P., Lasar M.

11:15-11:45 **PRZERWA KAWOWA**

11:45-14:00 Sekcja tematyczna: Diagnostyka maszyn i sieci elektrycznych
Referaty autorstwa:
- Krejci P., Santarius P., Velicka R.
- Olszewski A., Noske S.
- Kandora W., Szymaniec S. - Tandem uczelniano-przemysłowy, który opracował nastepujące referaty:
- Analiza awaryjności maszyn w krajowych elektrowniach

- Awaryjność maszyn potrzeb własnych
- Materiały izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących
- Problemy związane z eksploatacją układów izolacyjnych turbogeneratorów oraz silników wysokonapięciowych
- Układy izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących
- Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków energetycznych
- Wymogi stawiane materiałom izolacyjnym
- Badania i diagnostyka off-line izolacji maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich
- Grzeszczak K., Lewandowski K.: Inteligentne specjalizacje Pomorza
- Szymocha S.: System regulacji nasłonecznienia „SMART WINDOW"
- Krawiec M.., Szymocha S.: Pomiar geometrii przęsła linii elektroenergetycznej metodą wizyjną w warunkach laboratoryjnych

14:00-14:45 **OBIAD W RESTAURACJI HOTELOWEJ**

15:00-16:30 **SESJA PLAKATOWA**

Ciąg dalszy dyskusji dotyczącej wdrożeń innowacyjnych rozwiązań oraz ukierunkowania prac badawczo-rozwojowych dla sektora energetycznego

16:30-18:30 Możliwość uczestniczenia w sekcji tematycznej Racjonalne wytwarzanie i użytkowanie energii (SALA E) lub w konwersatorium na temat kierunku rozwoju eksploatacji oraz diagnostyki maszyn energetycznych ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki remontowej (SALA F)

19:00-22:00 **KOLACJA INTEGRACYJNA W RESTAURACJI HOTELOWEJ**

29 czerwca 2016 (środa)

7:00-8:15 ŚNIADANIE W RESTAURACJI HOTELOWEJ

8:30-12:00 Wycieczka techniczna

12:00-13:00 Dyskusja panelowa, podsumowanie i zakończenie konferencji

13:00-14:00 OBIAD W RESTAURACJI HOTELOWEJ

PATRONAT MEDIALNY

Nad Forum Energetyków GRE 2016 patronat objęły następujące czasopisma:

- **Archiwum Energetyki** kwartalnik PAN - red. Tadeusz. Chmielniak
- **Acta Energetica** kwartalnik naukowy energetyki - sekr. red. Jakub Skonieczny, z-ca red. Rafał Hyżyński
- **Energetyka** - miesięcznik naukowo-techniczny SEP- z-ca red., sekr. red. Iwona Gajda

Przewodniczący sesji problemowych mogą wstępnie zaproponować autorowi referatu rozważenie opracowania artykułu do publikacji w jednym z wyżej wymienionych czasopism. Podstawowym warunkiem publikacji jest spełnienie wymagań redakcyjnych poszczególnych czasopism. O obszarach tematycznych oraz terminach przyjęcia do druku publikacji można porozmawiać z obecnymi na GRE redaktorami, członkami Rad Naukowych oraz sekretarzami redakcji. Zachęcamy do publikacji artykułów w renomowanych i „punktowanych" czasopismach.

Konferencja Naukowo-Techniczna TURBINY CIEPLNE

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej oraz Komitet Problemów Energetyki przy Prezydium PAN organizuje konferencję naukowo-techniczną TURBINY CIEPLNE.

Konferencja rozpocznie się 22 czerwca 2016 r. sesją naukową poświęconą 50. pracy naukowej i 75. urodzin prof. zw. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Tadeusza Chmielniaka multi dr h.c. pod patronatem JM Rektora Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Karbowiaka. Uroczystość jubileuszowa odbędzie się w Centrum Nowych Technologii Politechniki Śląskiej przy ul. Konarskiego 22 w Gliwicach.

W dniach 23 i 24 czerwca 2016 r. obrady konferencji naukowo-technicznej TURBINY CIEPLNE odbędą się w Szczyrku w hotelu ELBRUS.

SPIS TREŚCI - GRE 2016

58 Bolesław Bartoszek współtwórca Forum Energetyków GRE

60 prof. Jacek Malko - wieloletni członek Komitetu Naukowego Forum Energetyków GRE

62 Zakończenie realizacji zadań badawczych strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”
Gerard Lipiński, koordynator Programu strategicznego „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

65 Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO_2 ze spalin
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Tadeusz Chmielniak, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, Tadeusz.Chmielniak@polsl.pl

68 Analizy techniczno-ekonomiczne układów gazowo-powietrznych
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Tadeusz Chmielniak, dr inż. Sebastian Lepszy,
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, sebastian.lepszy@polsl.pl

69 Wykorzystanie technologii wodorowych do magazynowania energii z OZE
dr inż. Daniel Węcel, dr inż. Włodzimierz Ogulewicz, prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz, daniel.wecel@polsl.pl

69 Absorpcja chemiczna jako najbardziej obiecująca metoda obniżenia emisji CO_2 z krajowych bloków węglowych
dr hab. inż. prof. nzw. Marek Ściążko, dr inż. Lucyna Więcław-Solny, mgr inż. Adam Tatarczuk, mgr inż. Aleksander Krótki, mgr inż. Janusz Tchórz[1],
mgr inż. Janusz Zdeb[1], Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Tauron Wytwarzanie[1], tatarczuk@ichpw.pl, msc@agh.edu.pl

70 Badania nowych materiałów i optymalizacja konstrukcji turbin
prof. Andrzej Rusin[1], prof. Tadeusz Chmielniak[1], prof. Janusz Dobrzański[2], dr hab. Grzegorz Nowak[1],
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych[1], Instytut Metalurgii Żelaza[2], Politechnika Śląska, andrzej.rusin@polsl.pl

70 Proces sprężania i transportu CO_2 wychwyconego ze spalin Instalacji Demonstracyjnej DCCP-250 MW w Elektrowni „Łaziska” do sztolni w Niepołomicach
prof. dr hab. inż. Andrzej Witkowski, dr inż. Mirosław Majkut, Politechnika Śląska, andrzej.witkowski@polsl.pl

71 Nowe techniki i metody diagnostyki materiałowej maszyn energetycznych
prof. Andrzej Rusin, dr hab. Maciej Roskosz, dr inż. Michał Bieniek, mgr Krzysztof Fryczowski, dr Adam Wojaczek,
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska, andrzej.rusin@polsl.pl

71 Zagrożenia związane z emisją substancji szkodliwych w technologiach wychwytu CO_2
prof. Andrzej Rusin, dr Katarzyna Stolecka, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska,
andrzej.rusin@polsl.pl; katarzyna.stolecka@polsl.pl

72 Integracja bloków energetycznych z instalacją wychwytu CO_2 metodą absorpcji chemicznej
dr hab. inż. Henryk Łukowicz, prof. nzw. w Pol. Śl., Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych,
Politechnika Śląska, henryk.lukowicz@polsl.pl

72 Integracja bloku energetycznego z systemem magazynowania energii
prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz, dr inż. Łukasz Bartela, mgr inż. Klaudia Dubiel, Politechnika Śląska, lukasz.bartela@polsl.pl

73 Osiągnięcia RAFAKO S.A. dla których bazą był projekt strategiczny „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”
Robert Demel, Witold Rożnowski, RAFAKO S.A., robert.demel@rafako.com.pl, witold.roznowski@rafako.com.pl

75 Technologia spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO_2 - Projekt Strategiczny NCBR
prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Maszyn Cieplnych i Przepływowych,
wnowak@agh.edu.pl

79 Wpływ koncentracji materiału warstwy fluidalnej na proces oxy-spalania węgla w atmosferycznym palenisku cwf
mgr inż. Sylwia Jankowska[1], dr hab. inż. Tomasz Czakiert[1], prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak[2], Politechnika Częstochowska[1],
Akademia Górniczo-Hutnicza[2], wnowak@agh.edu.pl

79 Instalacja pilotowa „oxy-fuel cfb" o mocy 0,1 MWt
dr hab. inż. Tomasz Czakiert, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, tczakiert@is.pcz.czest.pl

79 Instalacja pilotowa „oxy-fuel pc" o mocy 0,5 MWt
dr inż. Tomasz Golec, Instytut Energetyki, tomasz.golec@ien.com.pl

80 Instalacja pilotowa „oxy-fuel pcfb" o mocy 0,2 MWt
dr hab. inż. Marek Ściążko, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, msc@agh.edu.pl

80 Membrany do separacji tlenu z zastosowaniem materiałów perowskitowych
dr inż. Marek Grabowy, Instytut Energetyki, Oddział Ceramiki CEREL, cerel@cerel.pl

80 Nowoczesne paleniska cyklonowe dla zwiększenia elastyczności kotłów pyłowych
dr inż. Robert Zarzycki, prof. dr hab. inż. Zbigniew Bis,
dr hab. inż. Rafał Kobyłecki, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Energii, zarzycki@is.pcz.czest.pl

81 Mobilna instalacja do separacji tlenu metodą vpsa
dr inż. Jerzy Kwiatkowski, EUROL Innovative Technology Solutions Sp. z o.o., j.kwiatkowski@eurolits.pl

81 Mobilna zmiennociśnieniowa instalacja pilotowa do badań wychwytu CO_2 ze spalin
mgr inż. Janusz Tchórz, Tauron Wytwarzanie S.A. (Oddział Elektrownia Łagisza), janusz.tchorz@tauron-wytwarzanie.pl

82 Chłodziarka Joule'a-Thomsona przystosowana do skraplania gazów
prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski, dr inż. Paweł Dorosz,
dr inż. Aleksandra Piotrowska, Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

82 Adsorpcyjny generator tlenu o niskiej energochłonności
dr inż. Tomasz Banaszkiewicz, prof. Maciej Chorowski, dr inż. Wojciech Gizicki,
Katedra Inżynierii Kriogenicznej, Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

83 System skraplania tlenu przystosowany do współpracy z generatorem adsorpcyjnym
prof. Maciej Chorowski, dr inż. Wojciech Gizicki, dr inż. Tomasz Banaszkiewicz, Katedra Inżynierii Kriogenicznej,
Lotniczej i Procesowej, Politechnika Wrocławska, maciej.chorowski@pwr.edu.pl

84 Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej - rezultaty Projektu NCBR
dr hab. inż. Andrzej Strugała, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, strugala@agh.edu.pl,
dr inż. Grzegorz Czerski, Akademia Górniczo-Hutnicza, gczerski@agh.edu.pl

91 Zgazowanie węgla w reaktorze z cyrkulującym złożem fluidalnym przy zastosowaniu CO_2 jako czynnika zgazowującego w skali pilotowej - doświadczenia projektu strategicznego
dr inż. Aleksander Sobolewski, dr inż. Tomasz Chmielniak, dr hab. inż. Marek Ściążko, mgr inż. Grzegorz Tomaszewicz, mgr inż. Piotr Babiński,
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, asobolewski@ichpw.pl

91 Koncepcja demonstracyjnej instalacji podziemnego zgazowania węgla na przykładzie jednej z kopalni GZW
mgr inż. Jerzy Świądrowski, dr inż. Piotr Mocek, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, mgr inż. Eugeniusz Jędrysik,
Główny Instytut Górnictwa, j.swiadrowski@gig.katowice.pl

92 Zintegrowane technologie wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych
prof. dr hab. inż. Jan Kiciński, czł. koresp. PAN, Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, kic@imp.gda.pl

94 Mikrobiogazownia
dr hab. inż. Adam Cenian, prof. IMP PAN, dr inż. Robert Aranowski, Politechnika Gdańska, cenian@imp.gda.pl, robert.aranowski@pg.gda.pl

94 Biorafineria bioetanolu II generacji
prof. dr hab. inż. Janusz Gołaszewski, UWM Centrum Badań Energii Odnawialnej, Marek Laskowski, ENERGA SA,
janusz.golaszewski@uwm.edu.pl, marek.laskowski@energa.pl

95 PUK Żychlin
Marek Laskowski, ENERGA SA, marek.laskowski@energa.pl

95 Instalacja zgazowania
dr hab. inż. Dariusz Kardaś, prof. IMP PAN, dk@imp.gda.pl

96 SFR (ang. Spinning Fluids Reactor)
dr inż. Robert Aranowski, Politechnika Gdańska, Marek Laskowski, ENERGA SA, robert.aranowski@pg.gda.pl,marek.laskowski@energa.pl

96 Wysokosprawna mikro-kogeneracja w układach opartych na stałotlenkowych ogniwach paliwowych (SOFC) na przykładzie pierwszej polskiej instalacji o mocy elektrycznej 2 kW
dr inż. Jakub Kupecki, dr inż. Michał Stępień, dr. inż. Tomasz Golec, Zakład Procesów Cieplnych, Instytut Energetyki, jakub.kupecki@ien.com.pl

96 Technologia zgazowania biomasy dla efektywnej generacji energii elektrycznej w małej skali
dr inż. Dariusz Talarowski, dr inż. Krzysztof Remiszewski, dr inż. Tomasz Golec, Instytut Energetyki w Warszawie, dariusz.talarowski@ien.com.pl, krzysztof.remiszewski@ien.com.pl,Tomasz.golec@ien.com.pl

97 Wpływ technologii zbioru wierzby na jakość biomasy jako surowca energetycznego i możliwości jej przechowywania
prof. dr hab. inż. Mariusz J. Stolarski, prof. dr hab. inż. Stefan Szczukowski, prof. dr hab. inż. Józef Tworkowski, dr inż. Michał Krzyżaniak, Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

98 IMPROVEMENT OF EQUIPMENT TECHNOLOGY AT THE BASE OF FLOW STRUCTURE DIAGNOSTICS FOR THE ENERGY-SAVING
Energooszczędna technologia doskonalenia urządzeń na podstawie diagnostyki struktury przepływów
dr inż. Arsiry Vasily, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, prof. dr hab. inż. Alla Denisova, dr inż. Spinov Vladislav, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

99 TWO-STAGE HEAT PUMP INSTALLATIONS' POWER EFFICIENCY FOR HEAT SUPPLY SYSTEMS
Energooszczędność instalacji z dwustopniową pompą ciepła dla systemów zaopatrzenia w ciepło
prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

101 COMPLEX HEAT PUMP INSTALLATION OF HEAT AND POTABLE WATER SUPPLY PREVENTING DAMAGING OF THE BUILDINGS FROM HIGH LEVEL OF SUBSOIL WATER
Kompleksowa instalacja z pompą ciepła dla wytwarzania energii cieplnej i dostarczania wody pitnej zabezpieczająca budynki od wysokiego poziomu wód gruntowych
prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

103 EXERGY PARAMETERS OF BIOGAS POWER PLANT
Egzergetyczne parametry biogazowej instalacji energetycznej
prof. dr hab. inż. Alla Denysova, prof. dr hab. inż. Anton Mazurenko, Odessa National Polytechnic University, alladenysova@gmail.com

104 LONG-TERM MONITORING OF POWER QUALITY PARAMETERS
Długoterminowe monitorowanie parametrów jakości energii elektrycznej
dr inż. Petr Krejčí, prof. Pavel Santarius, dr. inż Richard Velička, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, VSB - Technical University of Ostrava, Ostrava, Czech Republic, petr.krejci@vsb.cz

105 EFFECT OF IMPULSE MODE OF FLOW ON THE ACCURACY OF NATURAL GAS METERING
Wpływ impulsowego trybu przepływu na dokładność pomiaru strumienia gazu ziemnego
prof. dr hab. inż. Yevhen Pistun, dr hab. inż. Roman Fedoryshyn, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, epistun@eoe.com.ua

107 Ocena efektywności pracy trójobiegowego układu ORC zasilanego parą wodną
dr inż. Sławomir Wiśniewski, mgr inż. Gabriela Sołtysik, prof. dr hab. inż. Władysław Nowak, Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, slawomir.wisniewski@zut.edu.pl

107 Zakres zastosowań siłowni ORC w elektrowni i elektrociepłowni zasilanych wodą o niskiej i średniej temperaturze
dr inż. Tomasz Kujawa, prof. dr hab. inż. Władysław Nowak, Katedra Techniki Cieplnej, ZUT w Szczecinie, tomasz.kujawa@zut.edu.pl

108 Wykorzystanie spalin z turbiny gazowej do produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem układu ORC
dr inż. Radomir Kaczmarek, Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, rkaczmarek@zut.edu.pl

108 Analiza porównawcza efektywności pracy siłowni parowych pracujących z mokrym oraz suchym czynnikiem roboczym, zasilanych źródłem energii o charakterze zamkniętym
mgr inż. Roksana Mazurek, mazurek@zut.edu.pl, dr hab. inż. Aleksandra Borsukiewicz-Gozdur, borsukiewicz@zut.edu.pl, Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

109 Analiza wpływu składu mieszaniny roboczej na właściwości i parametry termodynamiczne substancji pod kątem stosowania ich jako płynów roboczych w układach organicznych siłowni parowych (ORC)
mgr inż. Michał Bańkowski, michal.bankowski@zut.edu.pl, dr hab. inż. Aleksandra Borsukiewicz-Gozdur, borsukiewicz@zut.edu.pl, Katedra Techniki Cieplnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

109 Koncepcja spalania paliw stałych w tlenkowej pętli chemicznej
dr inż. Agnieszka Celińska, Zakład Procesów Cieplnych, Instytut Energetyki Instytut Badawczy, agnieszka.celinska@ien.com.pl

110 Zastosowanie modelowania matematycznego i symulacji cyfrowej w pomiarach strumieni płynów w kanałach o dużych przekrojach
dr inż. Mirosław Kabaciński, prof. dr hab. inż. Janusz Pospolita, Politechnika Opolska, mgr inż. Janusz Polak, Zakłady Remontowe Energetyki w Katowicach, j.pospolita@po.opole.pl

110 Zarządzanie projektowe w innowacyjnych podmiotach działających na konkurencyjnych rynkach
dr inż. Henryk Majchrzak, przewodniczący Rady Zarządzającej Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetycznej, henryk.majchrzak13@gmail.com

111 Sprawdzenie możliwości pomiaru kryzą mimośrodową strumienia medium dla małych liczb Reynoldsa
dr inż. Dariusz Kasprzak, dr inż. Andrzej Mrowiec, Wydział Politechniczny, PWSZ w Kaliszu, mrowiec@pwsz.kalisz.pl

111 Diagnostyka współrzędnościowa systemów kompensacyjnych kotłów
prof. Zdzisław Kabza, dr inż. L. J. Kwiatkowski, prof. Wojciech Nowak, Centrum Energetyki AGH, z.kabza@po.opole.pl, j.kwiatkowski@eurolits.pl

111 Wykorzystanie systemu wizyjnego do wstępnej półautomatycznej diagnostyki na potrzeby energetyki
mgr inż. Rafał Gasz, Politechnika Opolska, r.gasz@po.opole.pl

112 Analiza elementów przęsła elektroenergetycznego na podstawie danych ALS
dr hab. inż. Sławomir Zator, prof. PO, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, dr inż. Paweł Michalski, mgr inż. Jakub Osuchowski, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska

113 Analiza elementów przęsła elektroenergetycznego na podstawie danych LIDAR
dr hab. inż. Sławomir Zator[1], dr inż. Paweł Michalski[2], mgr inż. Jakub Osuchowski[2], Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki[1], Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki[2], Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, s.zator@po.opole.pl

113 Niepewności pomiaru strat ciepła instalacji energetycznych i urządzeń przemysłowych
dr hab. inż. Sławomir Zator[1], dr inż. Paweł Michalski[2], mgr inż. Mirosław Lasar[2], Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej[1], Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej[2], Politechnika Opolska, s.zator@po.opole.pl

114 Analiza awaryjności maszyn w krajowych elektrowniach
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

114 Awaryjność maszyn potrzeb własnych
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

115 Materiały izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

116 Problemy związane z eksploatacją układów izolacyjnych turbogeneratorów oraz silników wysokonapięciowych
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

116 Układy izolacyjne wysokonapięciowych maszyn wirujących
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

117 Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków energetycznych
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

118 Wymogi stawiane materiałom izolacyjnym
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

118 Monografia „Badania i diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich”
dr inż. Wojciech Kandora, prof. Sławomir Szymaniec, Politechnika Opolska, s.szymaniec@po.opole.pl

119 Oprogramowanie na potrzeby małej energetyki wiatrowej
dr inż. Wojciech Radziewicz, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, w.radziewicz@po.opole.pl

120 Inteligentne Specjalizacje Pomorza
Katarzyna Grzejszczak[1], dr inż. Karol Lewandowski[2], Enspirion Sp. z o.o.[1], katarzyna.grzejszczak@enspirion.pl, ENERGA SA[2], karol.lewandowski@energa.pl

120 Projekt UPGRID - pierwszy projekt programu HORIZON 2020
dr inż. Adam Olszewski, dr inż. Sławomir Noske, ENERGA-OPERATOR SA, slawomir.noske@energa.pl

120 Pomiar geometrii przęsła linii elektroenergetycznej metodą wizyjną w warunkach laboratoryjnych
mgr inż. Michał Krawiec, mgr inż. Sławomir Szymocha, Politechnika Opolska, m.krawiec@po.opole.pl, slawomir.szymocha@doktorant.po.edu.pl

121 Systemy regulacji nasłonecznienia „SMART WINDOW”
mgr inż. Sławomir Szymocha, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych, Politechnika Opolska, slawomir.szymocha@doktorant.po.edu.pl

122 Program Konferencji GRE 2016

GRC

Nowoczesne technologie dla przemysłu

DOSTAWY | USŁUGI | SERWIS

Oferta

System ciągłego czyszczenia rur kondensatora wymienników ciepła Taprogge
Kulki gąbczaste, filtry

Filtry i elementy filtracyjne
Osuszacze, filtry przemysłowe, filtry do sterylnego powietrza, filtry procesowe do gazów, pary i cieczy, elementy filtracyjne i części zamienne

Transport pneumatyczny
Systemy transportu (pneumatycznego, hydraulicznego i mechanicznego), przeróbki i składowania popiołów oraz żużla i wtrysku suchego sorbentu, systemy rozładunku silosów

Kruszarki, sprężarki powietrza
Komponenty do młynów młotkowych i peleciarek
Wentylatory i pompy przemysłowe
Armatura, uszczelnienia, kompozytowe systemy naprawcze

GRC, ul. Kwiska 170
54-210 Wrocław

Tel: +48 509-226-802
biuro@grcpoland.com

www.grcpoland.com
www.produkty-przemyslowe.pl

Cantoni®
GROUP

SILNIKI ELEKTRYCZNE O MOCACH
OD 0,04KW DO 5000KW

SZEROKI ASORTYMENT SILNIKÓW
SPECJALNYCH
DLA ENERGETYKI
ORAZ SILNIKÓW
ENERGOOSZCZĘDNYCH

BESEL
CELMA indukta
EMIT
ELFA

WWW.CANTONIGROUP.COM