

Michał PALIŃSKI, Władysław KRYŁŁOWICZ  
Politechnika Łódzka  
Instytut Maszyn Przepływowych  
michal.palinski@p.lodz.pl  
wladyslaw.kryllowicz@p.lodz.pl

## ZAGADNIENIA EKSPLOATACJI ORAZ MODERNIZACJI SPRĘŻAREK GAZU SODOWEGO

*Streszczenie:* W artykule opisano podstawy technologii produkcji sody w aspekcie sprężania gazu sodowego. Omówiono typowe instalacje do sprężania „suchego” i „mokrego” oraz ważniejsze problemy eksploatacyjne obu typów stosowanych maszyn sprężających. Przedstawiono przykład modernizacji sprężarki gazu sodowego.

*Słowa kluczowe:* gaz sodowy, sprężarki, modernizacja.

## MAINTENANCE AND MODERNIZATION OF SODIUM GAS COMPRESSORS

*Abstract:* The article describes the basics of soda production in terms of gas compression solution. Discusses typical installations for compression "dry" and "wet" and major operational problems of both types of machines used in compression. An example of the modernization of gas compressor solution.

*Keywords:* sodium gas, compressors, modernization.

### 1. WSTĘP

Sprężarki przepływowe stosowane w instalacjach chemicznych nazywane są zazwyczaj sprężarkami procesowymi (ang. „Process Compressors”, por. Luedtke [5]). W Polsce zdecydowaną większość z nich stanowią sprężarki promieniowe.

Podstawowe wymagania stawiane sprężarkom procesowym:

- zdolność sprężania określonej ilości czynnika roboczego (niejednokrotnie o różnym składzie) dla zmiennych parametrów instalacji,
- wystarczająca żywotność (określona przez przyjęte progi międzyremontowe),
- możliwe niskie jednostkowe zużycie energii.

Oceniając warunki pracy sprężarek procesowych, należy zwrócić szczególną uwagę na przemysł sodowy będący polską specjalnością (udział naszego kraju w europejskiej produkcji sody wynosi wg danych jedyne polskiego producenta sody Grupy Ciech 15% a światowej ok. 4%) [12].

Doświadczenia eksploatacyjne [2] wykazały, że sprężarki gazu sodowego pracują w wyjątkowo trudnych warunkach eksploatacyjnych, ze względu na procesy korozji i erozji wywołane przez czynnik roboczy.

Niniejszy artykuł dotyczy podstawowych zagadnień eksploatacyjnych promieniowych sprężarek gazu sodowego oraz możliwości ich modernizacji.

## **2. TECHNOLOGIE PRODUKCJI SODY**

### **2.1. Ogólne informacje**

Węglan sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – jest nieorganicznym związkem chemicznym, solą kwasu węglowego i sodu. W temperaturze pokojowej jest białą, higroskopijną substancją, topi się w temperaturze  $852^\circ\text{C}$  i bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie.

W przyrodzie związek ten występuje również w stanie naturalnym tzw. jeziorach sodowych oraz w popiele roślin morskich.

Węglan sodu stosuje się głównie do wyrobu szkła oraz papieru, wykorzystywany jest również w produkcji mydła i środków piorących oraz do zmiękczenia wody. Ponadto węglan sodu wykorzystywany jest w garbarstwie, papiernictwie i w syntezach chemicznych.

Surowcami niezbędnymi do produkcji sody są:

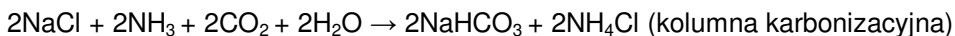
- $\text{CaCO}_3$  (kamień wapienny),
- $\text{NaCl}$  (sól kuchenna),
- $\text{NH}_3$  (amoniak),
- $\text{H}_2\text{O}$  (woda),
- paliwa (węgiel, koks, ropa itp.).

Kamień wapienny i sól kuchenna są materiałami występującymi naturalnie w przyrodzie, fabryki sody powstają głównie w bezpośrednim sąsiedztwie dużego skupiska tych minerałów. Woda, amoniak i paliwa używane są do prowadzenia procesu chłodzenia oraz do pieców wapiennych i pieców do kalcynowania.

Produktem ubocznym jest zawiesina  $\text{CaCl}_2$  (chlorek wapnia) oraz budowane przy fabrykach osadniki sodowe służące do sedymentacyjnego składowania odpadów zwane „białymi morzami” [11]. Osadniki te stanowią poważny problem ekologiczny nie będący przedmiotem tej publikacji.

### **2.2. Otrzymywanie sody metodą Solvaya**

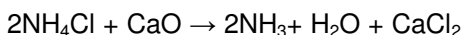
Otrzymywanie węglanu sodu metodą Solvaya (rys. 1) rozpoczyna się od przygotowania solanki, a następnie nasycenie jej amoniakiem (solanka amoniakalna), równolegle w piecu wapiennym wypala się kamień wapienny i otrzymanymi z niego gazami z dwutlenkiem węgla wysyca się solankę amoniakalną.



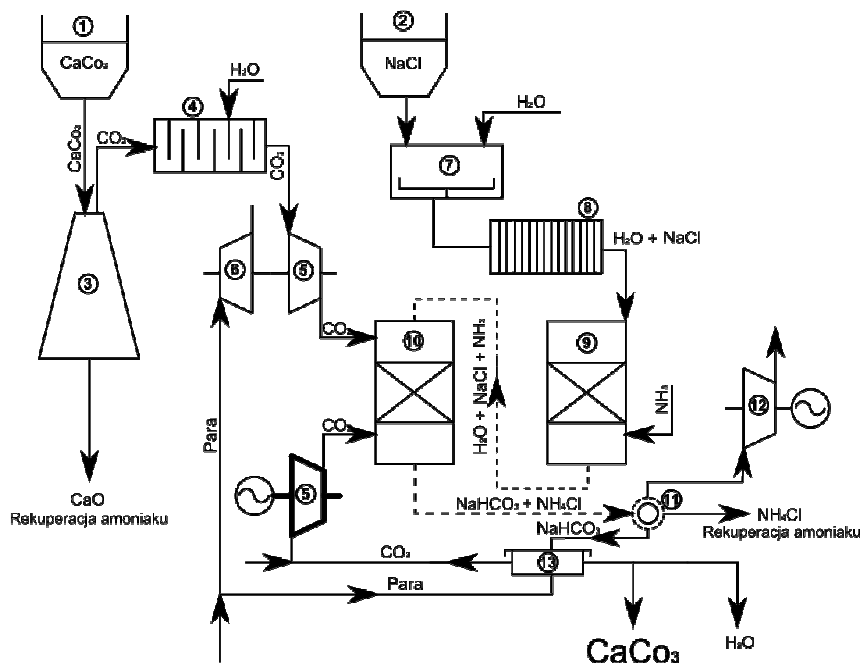
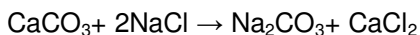
Z kolumny karbonizacyjnej wypływa zawiesina kryształów  $\text{NaHCO}_3$ , które oddziela się w filtrach i poddaje się termicznemu rozkładowi (kalcynowanie) w piecu kalcynującym.



Rekuperacja amoniaku odbywa się poprzez ogrzewanie odfiltrowanej wcześniej zawiesiny wypływającej z kolumny karbonizacyjnej i wapna z pieca wapiennego.



Sumaryczna reakcja otrzymywania węgla sodu metodą Solvaya:



Rys. 1. Proces produkcji sody

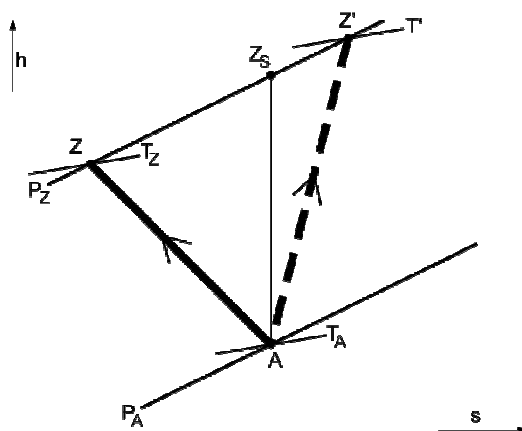
Fig. 1. The process of soda production

1 – silos na kamień wapienny, 2 – silos na sól, 3 – piec wapienny, 4 – urządzenie do przemywania gazu, 5 – sprężarka dwutlenku węgla, 6 – turbina parowa, 7 – zbiornik od przygotowania roztworu, 8 – prasa filtracyjna, 9 – absorber, 10 – kolumna opadowa (karbonizacyjna), 11 – filtr obrotowy, 12 – ssawa, 13 – piec kalcynujący

### 3. SPRĘŻANIE METODĄ SUCHĄ I METODĄ MOKRĄ W PROCESIE PRODUKCJI SODY

#### 3.1. Wprowadzenie

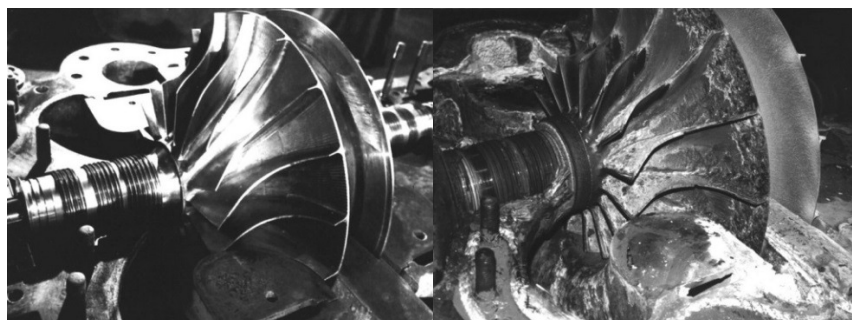
Rola sprężarek w procesie produkcji sody to przetłaczanie  $\text{CO}_2$  z pieców wapiennych i kalcynujących do kolumny karbonizacyjnej. Stosuje się tam zarówno sprężarki realizujące swoje zadania w sprężaniu suchym jak i mokrym. Występują między nimi zasadnicze różnice konstrukcyjne które widać na rysunku 2, na którym przedstawiono przykładowy przebieg sprężania w maszynie chłodzonej poprzez wtrysk wody (linia ciągła) i maszynie niechłodzonej (linia przerywana). Z uwagi na wtrysk wody przebieg linii sprężania jest inny od zazwyczaj spotykanych i przebiega wg politropy  $n < \kappa$ .



Rys. 2. Przebieg sprężania z chłodzeniem (mokre) i bez chłodzenia (suche)

Fig. 2. Compression with cooling (wet) and without cooling (dry)

Maszyny pracujące w procesie sprężania metodą suchą narażone są na bardzo szybkie spadki wydajności wynikające z narastania osadów w tunelu przepływowym, na łopatkach wirników i kierownic, przez co po kilku tygodniach ciągłej pracy muszą być otwierane i czyszczone (rys. 3). Taka sytuacja implikuje potrzebę bezwarunkowego posiadania rezerwowych sprężarek celem zapewnienia ciągłości produkcji. Problem narostów w sprężarkach można rozwiązać poprzez zastosowanie maszyny pracujących w procesie „mokrym” mających zainstalowane urządzenia przemywające. Maszyny te mają na ogół 3 do 6 stopni, i z racji wtrysku wody nie wymagają chłodziw międzystopniowych.

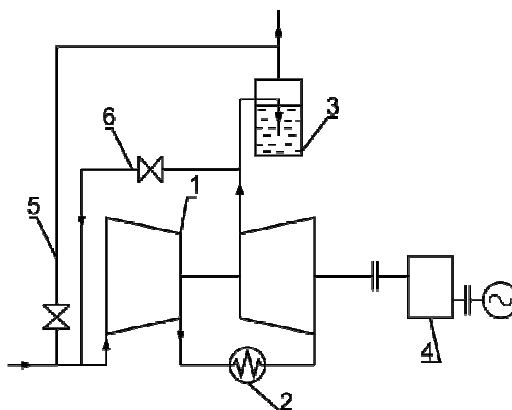


Rys. 3. Sprężarka z czystymi kanałami przepływowymi i sprężarka po 1400 godzin pracy (z prawej) wg [5]

Fig. 3. Compressor with pure flow channels and the compressor after 1400 hours of work (right) by [5]

### 3.2. Schemat instalacji do sprężania suchego

Na rysunku 4 pokazana jest przykładowa instalacja pracująca w procesie produkcji sody, widać na niej charakterystyczne dla tego typu procesów urządzenie przemywające (3). Sprężarka składa się z dwóch stopni pracujących w układzie back to back (1) rozdzielonych chłodnicą międzystopniową (2). Maszyna napędzana jest silnikiem elektrycznym poprzez multiplikator obrotów (4). Instalacja wyposażona jest w zimną instalację obejściową z zaworem przeciwpompazowym (5) i gorącą instalację obejściową służącą do podgrzewania gazów na wlocie do I stopnia sprężarki (6). Układ gorącego obejścia pozwala utrzymać względnie stałą temperaturę gazów na wlocie do I stopnia, która zmniejsza zjawisko narostu pyłów w kanale przepływowym.



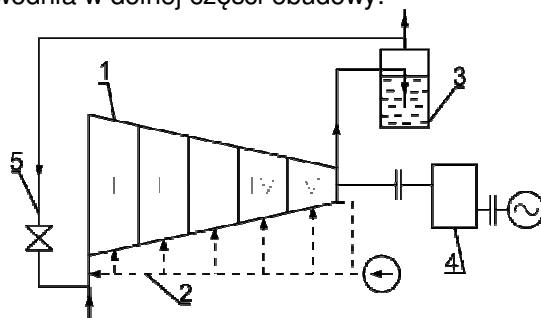
Rys. 4. Schemat instalacji do sprężania suchego

Fig. 4. Diagram of „dry” compression

- 1 – sprężarka, 2 – chłodnica, 3 – chłodnica końcowa (typu mokrego), 4 – multiplikator,  
5 – zawór przeciwpompazowy, 6 – rurociąg obejściowy

### 3.3. Schemat instalacji do sprężania mokrego

Na rysunku 5 pokazany jest schemat instalacji pracującej przy procesie produkcji sody, pod pozycją (3) widać charakterystyczne dla tego typu procesów urządzenie przemywające. Sprężarka (1) to pięciostopniowa jedno wałowa maszyna, analogicznie jak w pkt 3.2 napędzana jest silnikiem elektrycznym poprzez multiplikator obrotów (4). Instalacja wyposażona jest w instalację obejściową z zaworem przeciwpompazowym (5). Odmiennym od poprzedniej aplikacji elementem jest instalacja do wtrysku wody (2). Woda jest wtryskiwana na ssaniu, wlocie, na wlocie każdego koła wirnikowego oraz w uszczelnienia labiryntowe opływane przez gaz. Zawory regulacyjne i przyrządy pomiarowe umożliwiają właściwe nastawienie ilości wody dla poszczególnych dysz. Odwodnienie odbywa się poprzez kieszenie w ścianach kanałów kierunkowych oraz poprzez odwodnia w dolnej części obudowy.



Rys. 5. Schemat instalacji do sprężania mokrego  
Fig. 5. Diagram of „wet” compression

- 1 – sprężarka, 2 – instalacja do wtrysku wody, 3 – chłodnica końcowa (typu mokrego),  
4 – multiplikator, 5 – zawór przeciwpompazowy

### 3.4. Porównanie efektywności sprężania „suchego” i „mokrego”

Porównując efektywność pracy sprężarek „suchych” i „mokrych” na podstawie [4] nasuwa się wniosek, że korzystniej wypadają maszyny pracujące w procesie „suchym”. Sprężarki „mokre” uzyskują niższą wydajność najprawdopodobniej przez turbulencje spowodowane przez duże krople wstrzykiwanej wody. Powyższy wniosek należy jednak wzbogacić o fakt, że sprężarki „suche” pracujące w procesach produkcji sody wymagają gruntownego czyszczenia co około 2 miesiące, a mimo wszystko na długo przed tym ich wydajność znacząco spada. Biorąc powyższe pod uwagę sprawność w czasie procesu „mokrego” jest nieznacznie wyższa. Ponadto należy wziąć pod uwagę, że proces „suchy” wymaga podgrzewania gazu na wlocie (gorąca instalacja obejściowa – ang. hot by-pass) celem zmniejszenia i tak intensywnego procesu „zarastania” kanału przepływowego maszyny. Innym negatywnym efektem przemawiającym na niekorzyść sprężarek „suchych” jest znaczenie wyższe

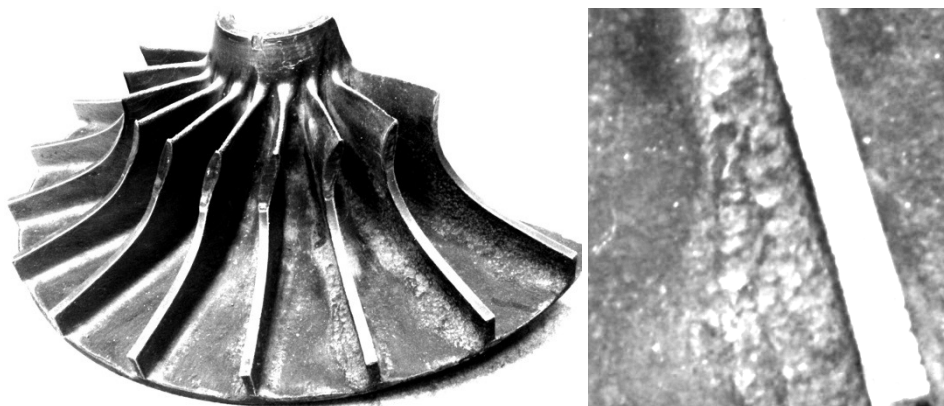
temperatura gazu na wylocie, co wymusza stosowanie większych chłodziń końcowych.

Sprężarki „mokre” mimo swoich zalet w dłuższej perspektywie pracy pozwalają niestety zaobserwować, że mimo zastosowania najlepszych materiałów krople wody w połączeniu z wysoce korozyjnym środowiskiem doprowadzi nawet najdoskonalszą konstrukcję do uszkodzenia.

#### 4. PRZYKŁAD MODERNIZACJI SPRĘŻARKI GAZU SODOWEGO

W Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej od początku lat osiemdziesiątych podjęto prace nad modernizacją układu przepływowego sprężarek gazu sodowego. Obecnie prace takie są prowadzone w firmie Turboservice Sp. z o.o. we współpracy z IMP PŁ.

Jednym z przykładów modernizacji sprężarki gazu sodowego jest realizacja firmy Turboservice sp. z o.o. dla Janikowskich Zakładów Sodowych (obecnie należące do Grupy CIECH) polegająca na wykonaniu nowego wirnika.

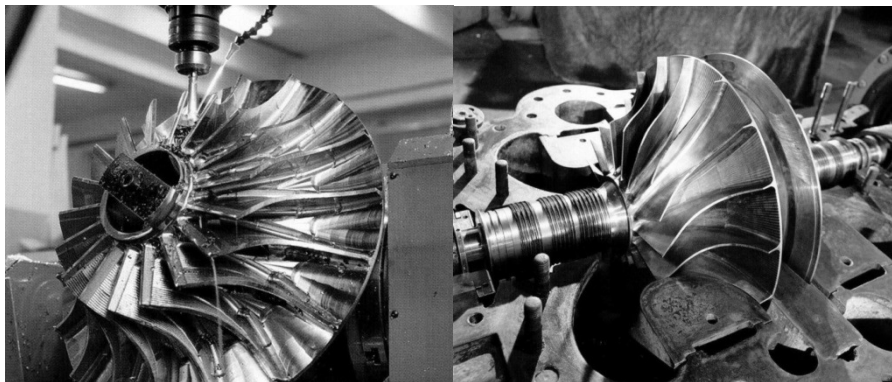


Rys. 6. Typowe uszkodzenie koła wirnikowego – erozja (zbliżenie z prawej) wg [9]

Fig. 6. Typical damage to the impeller – erosion (right) by [9]

Prace rozpoczęto od ruchu testowego dzięki któremu określono gwarantowany punkt pracy, kolejnym etapem było wykonanie dokumentacji w oparciu o pomiary geometrii nie wymagające demontażu wirnika i tulei. Po wykonaniu dokumentacji konstrukcja została sprawdzona metodami elementów skończonych pod względem wytrzymałościowym oraz sprawdzono częstotliwości krytyczne. Kolejnym krokiem jest dobranie właściwego materiału, z którego wykonane są elementy maszyny mające bezpośrednią styczność ze sprężanym medium. Przemysł chemiczny wymaga stosowania sprężarek w różnych procesach technologicznych w tym przy sprężaniu gazów o właściwościach silnie korozyjnych i sprzyjających erozji. Na rysunku 6 pokazano typowe uszkodzenie koła wirnikowego, jakim jest erozja. Modernizacja układu przepływowego sprężarki polega nie tylko na zmianie geometrii kanałów i kół, ale również na takim dobraniu materiałów z których jest ona wykonana, aby były

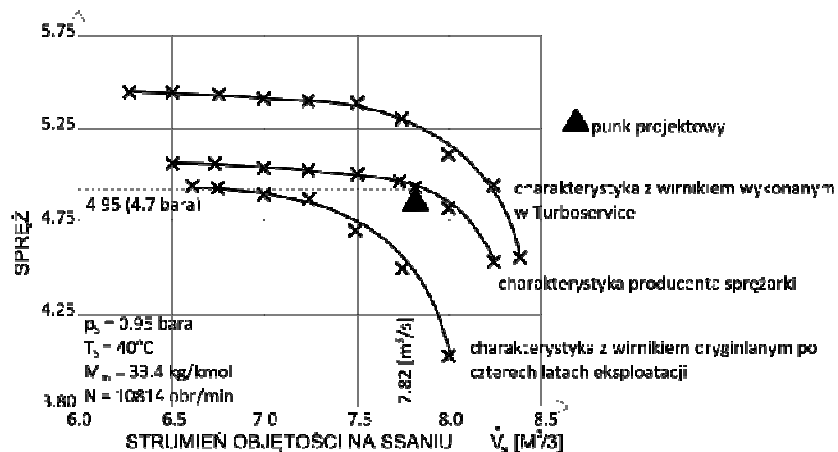
jak najbardziej odporne na środowisko w którym pracują. W tym przypadku zastosowano stal odporną na erozję i korozję naprężeniową.



Rys. 7. Frezowanie wirnika z łopatkami osiowo-promieniowymi na frezarce o 5 stopniach swobody (z lewej) oraz nowy wirnik w korpusie

Fig. 7. Milling rotor blades axial-radial at five-milling machine (left) and the new rotor in the body

Na rysunku 7 pokazano proces frezowania wirnika z łopatkami osiowo-promieniowymi na frezarce o 5 stopniach swobody oraz nowy wirnik, wykonany przez Turboservice Sp. z o.o., umieszczony w korpusie. Geometrię koła i łopatek dostosowano do istniejącego korpusu sprężarki celem poprawy parametrów pracy. Po wykonaniu i zamontowaniu nowego wirnika, przeprowadzono ruch testowy sprężarki z którego wyniknęła nowa charakterystyka znacznie przewyższająca nie tylko gwarantowany punkt pracy, ale również parametry przepływu i ciśnienia podawane przez producenta sprężarki (rys. 8).



Rys. 8. Charakterystyka modernizacji sprężarki dokonanej przez Turboservice Sp. z o.o.

Fig. 8. Characteristics of the compressor modernization made by Turboservice Sp. z o.o.



## 5. WNIOSKI

Chociaż produkcja sody jest polską „specjalnością”, to w kraju nigdy nie produkowano sprężarek gazu sodowego. Natomiast obecnie (2013) potrafimy już przeprowadzać, w oparciu o własne technologie, kompleksowe modernizacje tych maszyn. Wiodącą firmą w tej dziedzinie jest Turboservice Sp. z o.o., współpracująca od wielu lat z Instytutem Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.

Zagadnienia sprężania „mokrego” (*wet compression*) poświęcono ostatnio wiele uwagi (patrz White A.J. i Meacock A.J. [8] i inni). Jednak wszystkie te prace dotyczą sprężarek turbin gazowych (sprężarki typu osiowego), a ich celem jest przede wszystkim obniżenie zużycia energii a nie utrzymania kanałów przepływowych w czystości. Podobne zagadnienia dotyczy pracy Dobrokhotov V.D., Klubniskin A.K., Oksengorn V.S. [7], dotyczy ona jednak sprężarki promieniowej.

Analizując zamieszczone w punkcie 3.4 porównanie efektywności sprężania „mokrego” stosowanego do sprężania gazu sodowego, widzimy że, idąc tą drogą, można uzyskać bardzo dobre wyniki eksploatacyjne. Jednak aplikacje sprężania „mokrego” wymaga jeszcze wielu badań, ponieważ fundamentalna publikacja Sali [2] jest oparta na doświadczeniach i nie ujmuje współczesnych metod obliczeniowych oraz eksperymentalnych.

## LITERATURA

- [1] Kryłowicz W., 2004, Analiza termodynamiczno-przepływowa sprężarki gazu sodowego SULZER typ r35-5, praca niepublikowana IMP PŁ, nr 1517.
- [2] Sala S., 1979, Turbokompressoren mit Waschvorrichtung für Sodawerke. A Sulzer Paper, No. d/0551.14.
- [3] Kryłowicz W., 1990, A Series of Vacuum Blowers for Polish Paper Industry, Ciepłe Maszyny Przepływowe.
- [4] Kryłowicz W., 1991, Metoda obliczeń wielostopniowej ssawy promieniowej i jej weryfikacja eksperymentalna (dysertacja doktorska), Instytut Maszyn Przepływowych, Politechnika Łódzka.
- [5] Kryłowicz W., Klonowicz W., Matyjewski M., Kaszak A., 2007, Wet & Dry Compression Of Soda Gas: Comparison Of The Industrial Turbocompressor Performances, Papers in PDF format, The 7th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics (ETC 7).
- [6] Lüdtke K.H., 2004, Process Centrifugal Compressors, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] Dobrokhotov V.D., Klubniskin A.K., Oksengorn V.S., 1983, Effectiveness of Evaporative Watercooling in K-905 Centrifugal Air Compressors. Khimicheskoye i Neftyanoe Mashinostroenie, No. 12, ss. 25-27.

- [8] White A.J., Meacock A.J., 2004, An Evaluation of the Effects of Water Injection on Compressor Performance, ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 126, ss. 749-754.
- [9] Kryłłowicz W., 2013, Teoria i praktyka modernizacji sprężarek Promieniowych, Monografie Politechniki Łódzkiej.
- [10] Materiały promocyjne Turbservice Sp. z o.o.
- [11] Sroczyński W., 2008, Perspektywa zagospodarowania tzw. „Białych Mórz” na terenach po byłych Krakowskich Zakładach Sodowych „Solvay”, Zarządzanie Krajobrazem Kulturowym, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego Nr 10, Sosnowiec.
- [12] Grupa Ciech S.A.,  
[http://www.ciechgroup.com/PL/Produkty/Biuro\\_sprzedazy\\_SODA/Strony/default.aspx](http://www.ciechgroup.com/PL/Produkty/Biuro_sprzedazy_SODA/Strony/default.aspx)