

Mateusz Rataj, Zdzisław Gebhardt

*Instytut Nafty i Gazu, Kraków*

## Możliwości uzyskiwania ekologicznej energii na stacjach redukcyjnych gazu

W artykule przedstawiono aktualne możliwości zastosowania na stacjach redukcyjnych zespołów turbinowych lub silnikowych do obniżania ciśnienia, z jednoczesnym wykorzystaniem energii gazu do produkcji ekologicznej energii elektrycznej. Podano charakterystyki dostępnych na rynku urządzeń do przetwarzania energii sprężonego gazu.

### The getting possibility of ecological energy on gas station

The paper presents possibility of use the turbine and engine as equipment for decrease of pressure on the gas station with simultaneous production of the ecological electric energy. Presented are technical characteristics of the appliances for converting of pressure gas energy.

### Wstęp

Konieczność ograniczenia emisji zanieczyszczeń, takich jak tlenki siarki, azotu czy ditlenku węgla, jest w naszych czasach jednym z głównych tematów energetyki. Takie źródła czystej energii jak promieniowanie słoneczne, czy energia wiatrowa, są źródłami energii niezależnymi od człowieka i nie jesteśmy w stanie ich kontrolować. Kolejnym minusem tego typu źródeł energii jest ich lokalizacja; nie wszędzie tam, gdzie byłyby potrzebne, istnieje możliwość ich wykorzystania – co powoduje podniesienie kosztów ich eksploatacji, związanych z przesyłem energii. Dlatego też należy poszukiwać źródeł czystej energii możliwych do kontrolowania w większym stopniu oraz znajdujących się blisko istniejących miejsc ich użytkowania. Takie możliwości daje wykorzystanie energii zawartej w gazie ziemnym dławionym na stacjach redukcyjnych, które to stacje znajdują się blisko dużych aglomeracji, które byłyby w stanie zużytkować energię wytworzoną na stacji redukcyjnej.

Na stacjach redukcyjnych gazu ziemnego mamy do czynienia z redukcją ciśnienia gazu, którą na dzień dzisiejszy w większości przypadków wykonuje się za pomocą tradycyjnych reduktorów gazu. Energia zawarta w gazie pod wysokim ciśnieniem w tej metodzie jest tracona, a co więcej – najczęściej przed zdławieniem

do gazu musi być jeszcze dostarczona dodatkowa energia, w celu jego podgrzania. Korzystne byłoby takie przeprowadzenie dławienia gazu, aby chociaż część energii zawartej w gazie udało się odzyskać. Jednym z możliwych rozwiązań w celu odzysku energii jest zastosowanie rozprężarek tłokowych lub turbin ekspansyjnych, sprężonych z generatorem prądu. Przy zastosowaniu tego typu urządzeń nie tylko dojdzie do zredukowania ciśnienia gazu, ale możliwe będzie również odebranie części energii zawartej w gazie (w postaci energii elektrycznej) na potrzeby własnej stacji, a jej nadmiar może zostać sprzedany do krajowego systemu elektroenergetycznego. O potencjale tego źródła energii może świadczyć ilość gazu dostarczona odbiorcom w roku 2007: było to odpowiednio 12 953 mln m<sup>3</sup> gazu ziemnego wysokometanowego, o średniej wartości opałowej 36 MJ/m<sup>3</sup>, oraz 3494 mln m<sup>3</sup> gazu zaazotowanego (26 MJ/m<sup>3</sup>) [10].

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej wymogło na naszym kraju posiadanie zapasów gazu. W tym celu rozbudowywany jest zespół podziemnych magazynów gazu, gdzie przed wprowadzeniem gazu do sieci przesyłowej również mamy do czynienia z redukcją ciśnienia gazu ziemnego, którego energię także można wykorzystać.

### Możliwości odzysku energii sprężonego gazu

Przed wprowadzeniem gazu do sieci dystrybucyjnej należy zredukować jego ciśnienie do poziomu

0,35 MPa. Procesowi temu towarzyszy efekt Joule-Thomsona, czyli spadek temperatury gazu ziemnego,

dlatego przed dokonaniem redukcji gaz musi zostać podgrzany do temperatury 60-80°C [2] i jest to uzależnione od przepustowości stacji redukcyjnej oraz od stopnia redukcji gazu. Takie podniesienie temperatury gazu powoduje, iż temperatura zredukowanego strumienia gazu wynosi powyżej 2-5°C, co zabezpiecza przed powstawaniem hydratów i wytrącaniem się wilgoci. Kolejnym ważnym parametrem, który należy brać pod uwagę, jest stosunek ciśnienia gazu dolotowego i wylotowego. W przypadku gdy wynosi on poniżej 4, wskazanym jest zastosowanie jednostopniowego systemu redukcji gazu; w przypadku gdy stosunek ten jest w przedziale od 4 do 14 stosuje się dwustopniowy system redukcji gazu, a dla stosunku ciśnień powyżej 14 wskazanym jest zastosowanie trójstopniowego systemu redukcji. Przy każdym stopniu redukcji stosunek ciśnień powinien być taki sam, gdyż dzięki temu temperatura wylotowa po każdym stopniu również będzie taka sama [2].

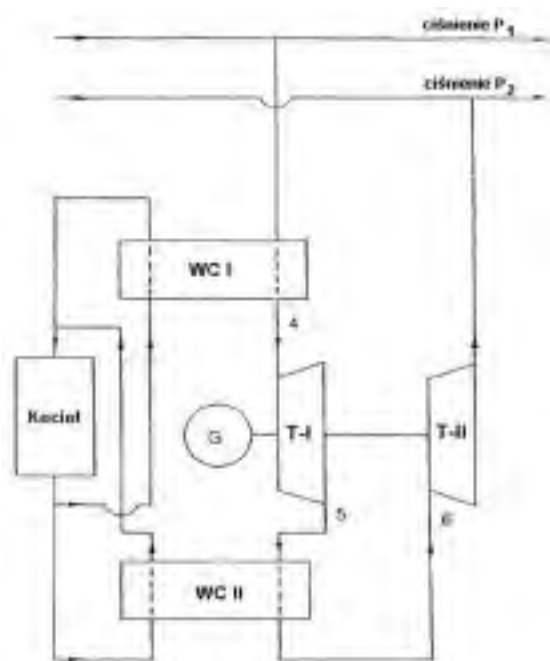
W przypadku zdecydowania się na redukcję ciśnienia gazu i wytwarzanie energii elektrycznej, mamy do wyboru dwa typy urządzeń: rozprężarki tłokowe oraz turbiny ekspansyjne. Turbina rozprężająca może pra-

cować w bardzo szerokim zakresie 35-150% nominalnego natężenia przepływu. Podobnym zakresem pracy charakteryzują się tłokowe urządzenia rozprężające, lecz posiadają one wyższe sprawności. Związane jest to z tym, iż rozprężarki turbinowe, ze względu na to iż pracują przy wysokich prędkościach obrotowych, potrzebują zastosowania przekładni mechanicznej w celu napędzania generatora. Mimo niższej sprawności turbina rozprężająca posiada cechy, które decydują o jej przewadze nad rozprężarką tłokową: sposób konserwacji, poziom hałasu oraz koszty zakupu.

Oprócz sprawności urządzenia redukującego ciśnienie, na ilość produkowanej energii ma wpływ natężenie przepływu gazu przez urządzenie redukujące; im większy przepływ, tym szybszy zwrot poniesionych kosztów inwestycyjnych, a teoretycznie minimalny przepływ gazu, przy którym zasadnym będzie zastosowanie turbiny do rozprężania gazu, wynosi 20 000 Nm<sup>3</sup>/h. Nie oznacza to, że zastosowanie turbin rozprężnych na stacjach redukcyjnych o niższej przepustowości jest całkowicie nieopłacalne, lecz czas zwrotu kosztów inwestycyjnych się wydłuży, co związane jest przede wszystkim z wysokimi cenami turbin.

### Przykłady instalacji

Przykładowy schemat instalacji redukcji ciśnienia gazu, z odzyskiem jego energii potencjalnej, został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat instalacji rozprężania gazu

Przedstawiony układ jest układem dwustopniowym, z międzystopniowym podgrzewaniem gazu. Oprócz przedstawionego ciągu redukcyjnego, wykorzystującego turbiny rozprężne, na stacji redukcyjnej montuje się również (równolegle) drugi układ – spełniający funkcję rezerwową i zapewniający niezawodność systemu redukcji ciśnienia oraz działania stacji. Ciąg rezerwowy wykorzystuje tradycyjny sposób redukcji ciśnienia gazu poprzez dławienie na zaworze, bez odzysku energii potencjalnej gazu.

Ze względu na zmienność warunków poboru gazu (dobowe i roczne wahania ilości pobieranego surowca) oraz wahania ciśnienia, ciąg redukcyjny z zastosowaniem turbin rozprężnych wymaga zastosowania sterowników mikroprocesorowych i ciągłego wyliczania zapotrzebowania ilości ciepła niezbędnego do utrzymania zadanej temperatury gazu na wyjściu z układu. Na zespół danych, niezbędnych w tym celu, składają się takie parametry jak:

- strumień objętościowy gazu,
- ciśnienie wejściowe i wyjściowe,
- skład gazu,
- temperatura gazu na wejściu do stacji redukcyjnej.

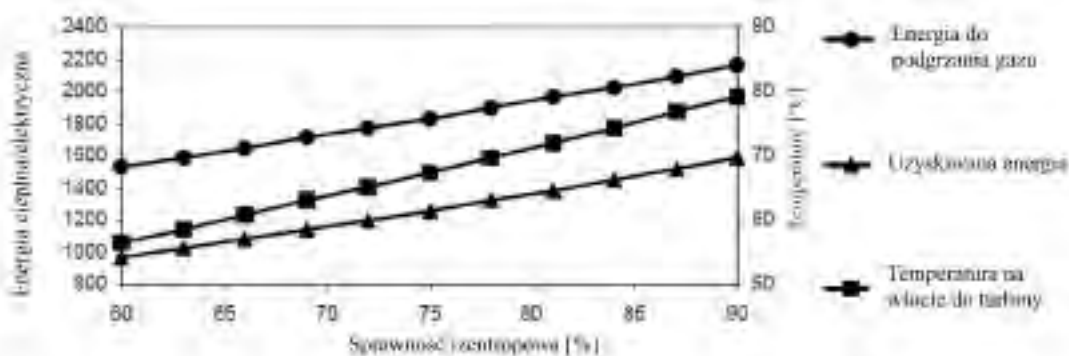
Jaroslav Poživil [3] przeprowadził symulacje zastosowania turbiny ekspansyjnej na stacji redukcyjnej Velké Němčice. W symulacjach wykorzystał rzeczywiste parametry panujące na stacji, to znaczy ciśnienie wejścia na poziomie 5,5 MPa, zredukowane do wartości 1,8 MPa oraz strumień objętości gazu wynoszący 60 000 Nm<sup>3</sup>/h. Gazem zredukowanym na tej stacji jest gaz ziemny pochodzący z dostaw rosyjskich (96% CH<sub>4</sub>, 0,6% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 0,2% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, 3,1% N<sub>2</sub> i 0,1% CO<sub>2</sub>). Jako dane wejściowe przy tej analizie zostały również wykorzystane takie dane jak: sprawność turbiny (80%), sprawność generatora (95%), sprawność konwertera częstotliwości (97%) oraz straty ciepłe (80%). Wyniki zostały przedstawione w tabelicy 1. W kolumnie oznaczonej numerem 1 przedstawiono wyniki symulacji dla wartości standardowych, w kolumnie 2 i 3 przedstawiony wpływ zmian ciśnienia wejściowego,

a w kolumnach 4 i 5 – wpływ zmiany ciśnienia wyjściowego. W dwóch ostatnich kolumnach (6 i 7) został zobrazowany wpływ zmiany temperatury gazu opuszczającego turbinę. Na wykresie przedstawiono zmiany sprawności izentropowej układu, który został poddany analizie przez Poživila. Wzrostowi temperatury gazu (rysunek 2) na wejściu do turbiny odpowiada wzrost sprawności izentropowej turbiny. Jak widać po zaprezentowanych wartościach, zmiany ciśnienia wejściowego oraz wyjściowego nie mają większego wpływu na sprawność układu pozyskiwania energii, lecz wpływają na ilość uzyskanej energii.

W Kanadzie [7] posunięto się do jeszcze bardziej efektywnego wykorzystania energii zawartej w przesyłanym gazie; oprócz zastosowania turbiny ekspansyjnej w celu redukcji ciśnienia gazu, zastąpiono tam tradycyjny kocioł (służący do produkcji ciepła, niezbędnego

Tablica 1. Wyniki analizy Jaroslava Poživila

Dane wejściowe								
Parametry gazu na wejściu								
Nr		1	2	3	4	5	6	7
Strumień gazu	[Nm <sup>3</sup> /h]	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Temperatura	[°C]	3	3	3	3	3	3	3
Ciśnienie	[MPa]	5,5	6,3	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Parametry gazu na wyjściu								
Temperatura	[°C]	3	3	3	3	3	-7	13
Ciśnienie	[MPa]	1,8	1,8	1,8	1,4	2,3	1,8	1,8
Wyniki								
Temperatura na wejściu do turbiny	[°C]	71,3	80,2	58,3	86,1	56,7	60,2	82,3
Energia potrzebna do podgrzania	[kW]	1939	2242	1525	2356	1530	1617	2261
Energia wytworzona	[kW]	1367	1547	1107	1719	1036	1309	1424
Energia całkowita	[kW]	1661	1962	1374	2149	1295	1505	1651
Sprawność cieplna	[%]	70,5	69,0	72,6	73,0	67,7	81,0	63,0
Sprawność cieplna po odjęciu efektu J.-T.	[%]	98,3	98,3	98,4	98,3	98,4	98,4	98,4



Rys. 2. Zmiany sprawności izentropowej układu

do podgrzania gazu przed redukcją) ogniwo paliwowe. Ogniwo paliwowe wykorzystuje gaz ziemny do produkcji energii elektrycznej, a ubocznym produktem tego procesu jest ciepło, które wykorzystuje się do podgrzewania gazu przed redukcją. Zespół ekspander-ogniwo paliwowe działa ze sprawnością powyżej 60%. Poprzez zastosowanie ogniwa paliwowego została również ograniczona ilość gazów cieplarnianych, które powstawały na stacji w tradycyjnym systemie podgrzewania gazu za pomocą kotła.

Zainteresowanie instalacją turbin ekspansyjnych na stacjach gazowych wyraża również firma Blue-ng Limited [8]; chce ona na dwóch z ośmiu wytypowanych przez siebie stacjach redukcyjnych, należących do National Grid Gas plc, zamontować turbiny, w celu pozyskania energii elektrycznej, która zostanie sprzedana do lokalnej sieci energetycznej. W celu podgrzewania gazu firma Blue-ng Limited, podobnie jak ma to mieć miejsce w przypadku projektu kanadyjskiego, chce zrezygnować z tradycyjnego systemu (polegającego na spalaniu części gazu) i zastosować kotły na biomase, które są bardziej ekologiczne niż tradycyjne kotły gazowe.

Istnieje również możliwość zastosowania turbin ekspansyjnych przy podziemnych magazynach gazu [4], gdzie w okresach podwyższonego poboru przy opróżnianiu magazynu dochodzi do redukcji ciśnienia gazu. W przypadku podziemnych magazynów gazu przy stosowaniu odzysku energii problemem jest okre-

sowość pracy układu rozprężającego. Układ taki będzie pracował przez około 1/3 roku, co może niekorzystnie wpłynąć na bilans ekonomiczny całego przedsięwzięcia. W zaprezentowanym przykładzie założono, że pobór ciepła do podgrzewania gazu powinien odbywać się z układu siłowni, co pozwoli wyeliminować instalację kotłów gazowych oraz ograniczy zużycie paliwa. Autorzy zaproponowali dwa rozwiązania:

- zastosowanie turbiny upustowo-kondensacyjnej,
- zastosowanie wymienników ciepła: spaliny-woda oraz woda-gaz.

Przeprowadzone pod kątem ekonomicznym obliczenia wykazują, że zamontowanie turboekspandera wpływa pozytywnie na bilans ekonomiczny tylko w wtedy, gdy nakłady inwestycyjne na układ rozprężania będą mniejsze niż 237 \$/kW dla pierwszego rozwiązania i mniejsze od 303 \$/kW dla rozwiązania z wykorzystaniem wymienników spaliny-woda i woda-gaz.

Problem z uzyskaniem tak niskiego nakładu inwestycyjnego dla układu z turbiną upustowo-kondensacyjną związany jest z tym, iż turbina taka jest urządzeniem droższym od standardowej turbiny kondensacyjnej, a parowa nagrzewnica gazu jest urządzeniem nietypowym i co za tym idzie drożym. W przypadku drugiego rozwiązania pojawia się inny problem – potrzeba instalowania wymiennika ciepła spaliny-woda, o bardzo dużej powierzchni wymiany ciepła, ze względu na niską temperaturę spalin.

### Dostępność urządzeń

Coraz więcej firm na rynku posiada w swojej ofercie turbiny rozprężne przygotowane do zainstalowania na stacjach redukcyjnych gazu ziemnego. Firmy te posiadają również w swojej ofercie ciągi redukcyjne, w których oferowane turbiny mogą zostać zamontowane w miejsce tradycyjnego systemu dławienia ciśnienia gazu.

Jedną z takich firm jest GASCONTROL Sp. z o.o. [6]. W swojej ofercie posiada ona turbinę (rysunek 3), w której zachodzi przemiana bliska izentropowej.

Turbinę tę można zamontować w jednym z dwóch ciągów redukcyjnych I stopnia, oferowanych przez firmę. Ciąg redukcyjny z turbiną jest zabezpieczony tak jak w klasycznym systemie; za pomocą dwóch zaworów bezpieczeństwa, umieszczonymi przed reduktorem i pobierającymi impuls ciśnienia z za turbiny – co zapewnia wyłączenie turbiny. Zawory bezpieczeństwa reagują także na podwyższone obroty turbiny, zapewniając



Rys. 3. Turbina firmy GASCONTROL Sp. z o.o.

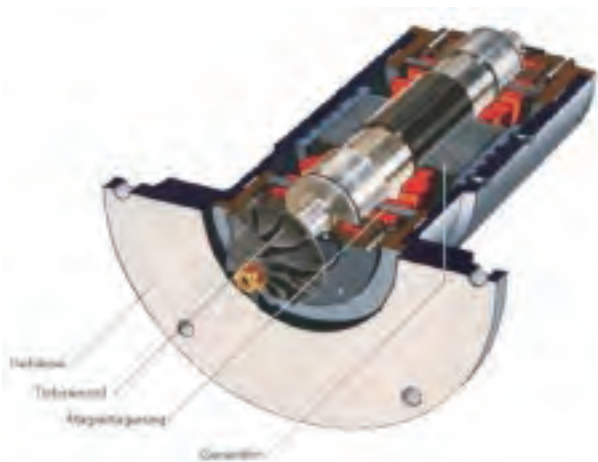
między innymi ochronę przepięciową, a w przypadku przekroczenia wartości nastawionych zamykają ciąg redukcyjny. Za turbiną na końcu ciągu umieszczony jest zawór gazu. Parametry techniczne przedstawiają się następująco:

- ciśnienie robocze dolotowe: 1,5-2,3 MPa,
- ciśnienie u wylotu z turbiny: 0,3-1,0 MPa,
- maksymalna moc na zaciskach generatora: 11-15 kW,

- napięcie znamionowe: 400 V,
- częstotliwość znamionowa: 50 Hz,
- obroty wału wolnobieżnego: 3000 1/min.

Również firma RMG GROUP [9] posiada w swojej ofercie turbiny ekspansyjne przystosowane do odzysku energii potencjalnej gazu ziemnego (rysunek 4). Parametry techniczne tych urządzeń przedstawiają się w następujący sposób:

- maksymalna przepustowość: 10 000-30 000 Nm<sup>3</sup>/h,
- ciśnienie wejścia: 4-7 MPa,
- sprawność: ~96%,
- moc: 160-550 kW.



Rys. 4. Turbina firmy RMG GROUP

Ekspandery gazu Spilling'a (rysunek 5) [5] są to rozprężarki tłokowe o następujących parametrach technicznych:

- moc elektryczna: 60-3000 kW,
- ciśnienie dolotowe: 0,6-6 MPa,
- ciśnienie wylotowe: 0,005-2,5 MPa,
- przepływ gazu: 3000-100 000 Nm<sup>3</sup>/h.

Ekspander ten jest przystosowany do pracy bez smarowania olejem tłoków i cylindrów (co zapobiega przedostawaniu się oleju do gazu) oraz posiada płaską charakterystykę, zapewniającą dużą elastyczność pracy. Rozprężarka posiada szereg zabezpieczeń, zapewniających jej bezpieczne użytkowanie.



Rys. 5. Ekspander gazu Spilling'a

## Podsumowanie

Duży potencjał zawarty w energii potencjalnej gazu oraz proekologiczne kierunki rozwoju energetyki powodują coraz większe zainteresowanie stosowaniem redukcji ciśnienia do produkcji energii elektrycznej. Taki kierunek rozwoju umożliwi powiększenie zysków lub przynajmniej redukcję kosztów związanych z eksploatacją stacji gazowej, poprzez brak potrzeby dostarczania energii elektrycznej z sieci. Stacje redukcyjne mogą w pełni stać się jednostkami niezależnymi, które zaspokajają swoje potrzeby energetyczne, a nawet mogą oddawać część energii do sieci. W dobie całkowitej automatyzacji stacji redukcyjnej, energia elektryczna jest potrzebna nie tylko do oświetlenia stacji, lecz również w celu jej prawidłowego funkcjonowania, czyli zapewnienia wymiany informacji pomiędzy stacją

(gdzie w coraz większej ilości przypadków brak jest stałego nadzoru osobowego), a ośrodkiem dyspozytorskim, skąd zdalnie odbywa się całe sterowanie, czasami znacznie oddalonym od stacji. Dlatego też jednym z najważniejszych kryteriów, które zdecydują o rozpowszechnieniu się opisanego powyżej odzysku energii ze sprężonego gazu, będzie niezawodność pracy układów ekspansyjnych. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że układy turbinowe mogą pracować elastycznie i nie wymagają bezpośredniego nadzoru, a więc nadają się do pracy sterowanej zdalnie. Innym problemem, który trzeba rozwiązać indywidualnie dla każdego punktu redukcyjnego, jest dobór optymalnego strumienia przepływającego gazu, kierowanego do redukcji przez turbinę lub silnik.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

## Literatura

- [1] Kubski P.: *Zastosowanie turbiny odzyskowej w stacji redukcyjno-pomiarowej gazu ziemnego*. Ciepłownictwo, ogrzewnictwo, wentylacja nr 12, s. 5-9, 2004.
- [2] Lubiniecka I.: *Analiza techniczno-ekonomiczna układu do redukcji ciśnienia gazu z możliwością produkcji energii elektrycznej*.
- [3] Poživil J.: *Use of Expansion Turbines in Natural Gas Pressure Reduction Stations*. Acta Montanistica Slovaca nr 3, s. 258-260, 2004.
- [4] Skorek J., Kalina J., Bartnik R., Wronkowski H., Matkowski A., Musiał P.: *Techniczne i ekonomiczne aspekty stosowania turbin gazowych i turboekspanderów w układach technologicznych podziemnych magazynów gazu*.
- [5] [www.enesko.pl](http://www.enesko.pl)
- [6] [www.gascontrol.cz](http://www.gascontrol.cz)
- [7] [www.nrcan.gc.ca](http://www.nrcan.gc.ca)
- [8] [www.ofgem.gov.uk](http://www.ofgem.gov.uk)
- [9] [www.rmg.de](http://www.rmg.de)
- [10] [www.rynekgazu.pl](http://www.rynekgazu.pl)



Mgr inż. Mateusz RATAJ – jest pracownikiem Zakładu Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu, zatrudnionym na stanowisku stażysty. Absolwent Wydziału Paliw i Energii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.



Dr inż. Zdzisław GEBHARDT – kierownik Zakładu Użytkowania Paliw Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Od dwudziestu lat zajmuje się w Instytucie problemami związanymi z jakością, bezpieczeństwem i efektywnością energetyczną urządzeń spalających paliwa.

• Oferta •



## DZIAŁ INFORMACJI NAUKOWO-TECHNICZNEJ

Kierownik: Wojciech Łyko

31-503 Kraków, ul. Lubicz 25 A tel.: +48 012 421 00 33

- Dział Informacji INIG prowadzi głównie działalność wydawniczą (miesięcznik „Nafta-Gaz”, „Biuletyn INIG”, „Prace INIG” oraz rocznik: „Raport Polskiej Nafty i Gazu”). Wszystkie te wydawnictwa zarejestrowane są w Międzynarodowym Systemie Informacji o Wydawnictwach Ciągłych i oznaczone symbolem ISSN, co nadaje właściwą rangę zamieszczonym w nich publikacjom.
- Dział Informacji prowadzi także działalność informacyjną i wydawniczą z zakresu branży – dokumentując, w odniesieniu do Instytutu, „Badania Naukowe – SYNABA” (sprawozdania z prac naukowo-badawczych, rozwojowych, rozpraw doktorskich i habilitacyjnych oraz ekspertyz naukowych wykonywanych przez jednostki naukowe i badawczo-rozwojowe).



INSTYTUT NAFTY I GAZU  
ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków  
tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85  
[www.inig.pl](http://www.inig.pl) [office@inig.pl](mailto:office@inig.pl)