

Czy LNG powstało w Polsce? LNG was invented in Poland?

Grzegorz Rosłonek^{1*}

¹ Orlen S.A., ul. Kasprzaka 25, 01-224 Warszawa, Polska

* Kontakt / Correspondence: grzegorz.roslonek@pgnig.pl

Streszczenie:

W artykule przedstawiono historię myśli inżynierskiej w Polsce dotyczącej skraplania podstawowych gazów oraz skraplania gazu ziemnego. Zaprezentowano wybitnych polskich naukowców i inżynierów, którzy wnieśli wkład w uzyskiwanie gazów ziemnych i dali podstawy do światowej kriogeniki. Postawiono tezę, że skroplony gaz ziemny LNG mógł być po raz pierwszy uzyskany na początku XX w. na terenach polskich. Przedstawiono zarys rozwoju LNG po II Wojnie Światowej na świecie i w Polsce.

Słowa kluczowe: gazy skroplone, LNG, historia gazownictwa, pomiary LNG

Abstract:

This article presents the history of engineering thought in Poland concerning the liquefaction of basic gases and the liquefaction of natural gas. It presents outstanding Polish scientists and engineers who contributed to the production of natural gases and laid the foundations for global cryogenics. It proposes that liquefied natural gas (LNG) may have been first produced in Poland in the early 20th century. It also outlines the development of LNG after World War II, both globally and in Poland.

Keywords: liquefied gases, LNG, history of gas industry, LNG measurements

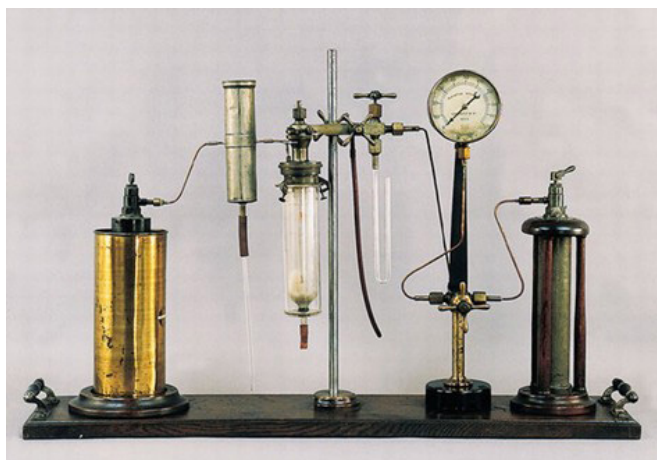
1. Zgrany Duet

Historia skroplonego gazu ziemnego LNG (ang.: Liquefied Natural Gas), choć już ponad stuletnia, to jednak nie jest tak długa jak historia gazów skroplonych w ogóle. Nie mogło być mowy o LNG jako takim, gdyby wcześniej nie opanowano technik dających możliwość dokonywania skropleń gazów. Samo LNG jest szczególnym gazem skroplonym, ponieważ jest paliwem i surowcem. Zanim jednak doszło do skroplenia mieszaniny gazu ziemnego to najpierw nauka musiała sobie poradzić ze skropleniem gazów czystych. Już na tym etapie odnajdujemy ważny wątek polski, tzn. prace duetu polskich profesorów Uniwersytetu Jagiellońskiego: Karola Olszewskiego (1846-1915) i Zygmunta Wróblewskiego (1845-1888). Dokonali oni pionierskiego i wielkiego jak na ówczesne czasy osiągnięcia, czyli pierwszego w świecie skroplenia tlenu (5 kwietnia 1883) i kilka dni później skroplenia azotu (13 kwietnia 1883). Potem także innych gazów. Co ciekawe, jeszcze w tym samym miesiącu kwietniu 1883 r. świat się o tym dowiedział poprzez notatkę opublikowaną wspólnie przez naszych uczonych we francuskim czasopiśmie Comptes Rendus [1]. Portrety uczonych pokazano na rys. 1, wykorzystywaną przez nich aparaturę na rys. 2 i 3.

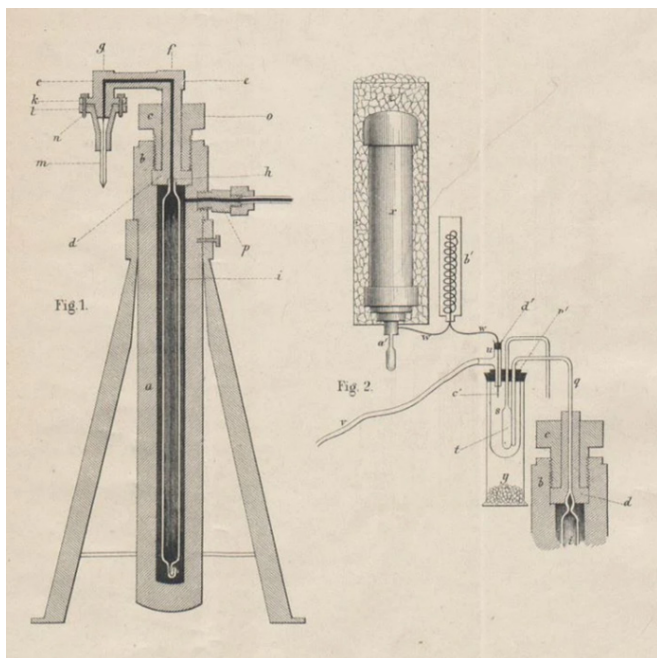


Rys. 1. Zygmunt Wróblewski i Karol Olszewski, Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna

Fig. 1. Zygmunt Wróblewski and Karol Olszewski, Source: Wikimedia Commons, public domain, author unknown



Rys. 2. Aparat do skraplania tlenu i azotu, 1883 (Encyklopedia PWN)
Fig. 2. Apparatus for liquefying oxygen and nitrogen, 1883 (PWN Encyklopedia)



Rys. 3. Aparatura prof. Zygmunta Wróblewskiego do eksperymentów ze skropleniem powietrza (Biblioteka Jagiellońska)

Fig. 2. Prof. Zygmunt Wróblewski's apparatus for experiments with air liquefaction (Jagiellonian Library)

Co prawda, po tym osiągnięciu drogi obydwu uczonych rozeszły się, ale pracując razem stanowili Zgrany Duet. Nazywani są „Ojcami światowej kriogeniki” oraz „Ojcami metody kaskadowej” wykorzystywanej do dziś w przemysłowych procesach skraplania czystych gazów i ich mieszanin, w tym do uzyskiwania LNG.

Motorem napędowym w metodzie kaskadowej jest zjawisko znane dziś jako efekt Joule’a-Thomsona. Zjawisko odkryte już w 1852 r. a opublikowane rok później [3]. Zjawisko Joule’a-Thomsona można opisać matematycznie wzorem (1), który określa tzw. współczynnik Joule’a-Thomsona (μ_T):

$$\mu_T = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_H \quad (1)$$

gdzie:

- μ_T – współczynnik Joule’a-Thomsona,
- $\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_H$ – pochodna cząstkowa oznaczająca zmianę temperatury (gazu, mieszaniny gazów) ze zmianą ciśnienia, przy stałej entalpii (H), czyli bez wymiany ciepła z otoczeniem.

Współczynnik Joule’a-Thomsona jest wielkością charakterystyczną dla danego rodzaju gazu. Gdy gaz rzeczywisty przepływa przez zawór lub jakikolwiek dławik bez dopływu i odpływu ciepła, czyli gdy proces jest całkowicie adiabatyczny, to jego temperatura ulega zmianie. W większości przypadków ulega ochłodzeniu i wtedy współczynnik Joule’a-Thomsona przyjmuje wartości dodatnie. Jeżeli uda się doprowadzić gaz do bardzo niskiej temperatury, czyli temperatury skraplania, to gaz oczywiście skrapla się. Warto też wspomnieć, że są też takie gazy, które przy przepływie z dławieniem zachowują się nietypowo i ulegają ogrzaniu. Takimi gazami są: wodór, hel, neon.

Wracając do Duetu Wróblewski-Olszewski, to po udanych eksperymentach dotyczących skropleniu tlenu i azotu Zygmunt Wróblewski uległ bardzo poważnemu wypadkowi w swoim laboratorium. Doznał poważnych obrażeń podczas wybuchu i zmarł przedwcześnie w wieku zaledwie 43 lat. Karol Olszewski cieszył się długim i bardzo owocnym życiem zawodowym. Warto dodać, że był m.in. twórcą pierwszego w Polsce zdjęcia rentgenowskiego i tym samym konstruktorem pierwszego w kraju aparatu rentgenowskiego. Bardzo istotny jest natomiast fakt, że był dwukrotnie rozważany jako polski kandydat do Nagrody Nobla z dziedziny fizyki (1904, 1913) [3, 4].

Postaci obydwu polskich uczonych – Zygmunta Wróblewskiego i Karola Olszewskiego – przede wszystkim ich osiągnięć naukowych – są godne przypominania w dedykowanych artykułach i monografiach.

2. Kreatywny przedsiębiorca

Kolejnym wielkim nazwiskiem w historii rozwoju LNG był Carl von Linde (1842–1934), znany najbardziej jako założyciel koncernu Linde AG (w 1902 r.). Oprócz tego, że był kreatywnym przedsiębiorcą, to był także dobrze znanym i cenionym naukowcem. Od 1868 r. był związany z Uniwersytetem Technicznym w Monachium, gdzie w 1872 r. otrzymał tytuł „Profesora Inżynierii Mechanicznej”. Jego ważny wkład w rozwój LNG polegał na tym, że był twórcą pierwszej przemysłowej instalacji do skraplania gazów (1895). Wynalazek swój opatentował, najpierw na Wyspach Brytyjskich [5], a potem także w Szwajcarii [6]. Patenty te były ukierunkowane na pozyskiwanie ciekłego tlenu i azotu z powietrza, ale niewątpliwie przyczyniły się do rozwoju przemysłu kriogenicznego, w tym także LNG. Można więc twierdzić, że Carl von Linde nie wpłynął bezpośrednio na rynek LNG, ale jego wpływ pośredni jest wyjątkowo istotny i wyraźny.

3. Cudowny kolejny polski duet, a nawet trio

Następne lata to już polski czas i okres aktywności Wielkiej Polskiej Trójki. Początkowo był to duet. Około roku 1910 Władysław Szaynok, polski inżynier i przedsiębiorca o rodzinnych korzeniach węgierskich, poznał się z Marianem Wieleżyńskim,

polskim chemikiem i również przedsiębiorcą o korzeniach ormiańskich po stronie matki. Zarówno Szaynok jak i Wieleżyński, po wielu perturbacjach społeczno-politycznych, na początku XX w. związali się z przemysłem wydobywczym w ówczesnej Galicji. Obydwaj zwrócili uwagę na gaz ziemny, który towarzyszył wydobyciu ropy naftowej, ale był traktowany jako niebezpieczny produkt uboczny lub raczej odpadowy. Początkowo brak było pomysłów na wykorzystanie gazu ziemnego, który był niebezpieczny i powodował liczne wypadki z uwagi na swoją palność i wybuchowość. W tamtych czasach gaz ziemny był po prostu spalany w pochodniach.



Rys. 4. Polski Duet Gazowniczy: Władysław Szaynok (1876-1928) i Marian Wieleżyński (1879-1945), Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna

Fig. 4. Polish gas duo: Władysław Szaynok (1876-1928) i Marian Wieleżyński (1879-1945), Source: Wikimedia Commons, public domain, author unknown

Początkowo sam Marian Wieleżyński, a potem już razem z Władysławem Szaynokiem, prowadzili prace nad skraplaniem gazoliny w celu poprawy bezpieczeństwa transportu wydobytej ropy naftowej od miejsc wydobycia do miejsc jej przeróbki. Większym wyzwaniem było wykroplenie gazu ziemnego, do którego potrzebne były dużo „mocniejsze” kompresory. Idea zagospodarowania gazu ziemnego polegała wówczas na jego transporcie gazociągowym w fazie gazowej. Założona przez Mariana Wieleżyńskiego firma „Zakład Gazu Ziemnego Marian Wieleżyński Sp. z o.o.”, której współnikiem od 1911 r. był również Władysław Szaynok, wybudowała pierwszy w świecie gazociąg o długości 700 m łączący Kopalnię „Klaudiusz” z zakładem przetwórczym w Borysławiu. Skroplenie gazu ziemnego mogło zapewnić transport tego cennego paliwa na dłuższe odległości systemami innymi niż rurociągowo, ale cały czas była potrzeba posiadania bardzo silnych kompresorów. W roku 1912 austriacka firma Erdgass sprowadziła takie kompresory na potrzebę poprawy bezpieczeństwa pracy rafinerii w Drohobyczu i do obsługi dłuższego już, czternastokilometrowego gazociągu z Tusnowic do rafinerii w Drohobyczu wybudowanego również przy współudziale firmy „Zakład Gazu Ziemnego Marian Wieleżyński Sp. z o.o.”, jeszcze przed końcem 1912 r. Pojawia się pytanie, czy Marian Wieleżyński i Władysław Szaynok mieli możliwość wykorzystania tych kompresorów na potrzebę skroplenia gazu ziemnego do formy dzisiejszego LNG? Czy udało im się uzyskać LNG jeszcze w Polsce? Biorąc pod uwagę tzw. logikę faktów, to najprawdopodobniej TAK.

Pomimo, że nie istnieją powszechnie dostępne dokumenty o charakterze naukowo-technicznym dotyczące prac nad skraplaniem składników gazu ziemnego przez Wieleżyńskiego i Szaynoka na początku XX w. w Polsce (jak patenty, publikacje,

schematy czy opisy techniczne), to wydarzenia te są szczegółowo opisane w książce napisanej przez potomka Mariana Wieleżyńskiego – L. Wieleżyńskiego „Wspólna praca wspólny plon. Życie i dzieło mądrego człowieka” [7]. Książka ta wydana po raz pierwszy w 1934 r. dokumentuje życie prywatne i zawodowe Mariana Wieleżyńskiego oraz tych, którzy z nim współpracowali.

Pytanie czy LNG po raz pierwszy uzyskano w Polsce jest bardzo zasadne z uwagi na ciąg zdarzeń, jaki nastąpił zaraz po tych wydarzeniach w Polsce, ale jeszcze w roku 1912. Wzorcowo przeprowadzone budowy obydwu gazociągów spowodowały, że amerykańscy dostawcy kompresorów od razu zaprosili obydwu Polaków do Stanów Zjednoczonych, gdzie mieli okazję zapoznać się z zasadami funkcjonowania przemysłu gazowo-rafineryjnego w USA. Podróż rozpoczęła się już w roku 1913 [7, 8]. Ponieważ powodem podróży były te silne kompresory i możliwości stabilizacji frakcji węglowodorowych poprzez frakcjonowanie kaskadowe, dlatego z całą pewnością prowadząc badania przemysłowe w USA uzyskali tam LNG.

Jak wspomina L. Wieleżyński w swojej książce „Wspólna praca wspólny plon. Życie i dzieło mądrego człowieka” [7], obydwaj Polacy mieli wysokie uznanie w USA. Nie tylko ze względu na swoją wiedzę inżynierską, ale także ze względu, że obydwaj byli poliglotami, co w Ameryce zostało bardzo docenione. Jako Polacy na co dzień używali języka polskiego. Ponieważ pochodzili z Galicji, która była pod zaborem austriackim to płynnie mówili po niemiecku, ale posługiwali się także płynnie językiem francuskim i oczywiście angielskim. Doświadczenia amerykańskie były cenne, ale pobyt był krótki, ponieważ zdobytą nową wiedzę należało wykorzystać w Galicji, czyli w ówczesnej Polsce.

Po powrocie z USA ten Cudowny Duet przemianował się w Trio. Dołączył do nich kolejny utalentowany polski chemik – Ignacy Mościcki, późniejszy Prezydent RP (1926-1939). Zanim został wybrany na Prezydenta kraju to miał swoje ogromne zasługi naukowe, wynalazcze, także biznesowe. Wniósł ogromny wkład w rozwój polskiej chemii i przemysłu gazu ziemnego w Polsce. Dzięki niemu gaz ziemny zaczął być powszechnie stosowany w latach 30-tych w Polsce jako surowiec chemiczny – początkowo w Zakładach Azotowych w Tarnowie, zwanych później zakładami w Mościcach. Ta postać zasługuje na oddzielny dedykowany artykuł.

4. Etap komercjalizacji LNG

Za początkowy etap komercyjnego wytwarzania i wykorzystania LNG należy uznać instalację firmy East Ohio Gas Company uruchomioną w Cleveland w stanie Ohio w roku 1941. Wyprodukowane tam LNG służyło do magazynowania w celu późniejszego wykorzystania gazu po regazyfikacji na potrzeby zasilania sieci gazowej w okresach zwiększonego zapotrzebowania, czyli zimą. Po raz pierwszy w świecie wykorzystano fakt kompresji objętości gazu ziemnego po skropleniu co dało specyficzne możliwości jego magazynowania. Niestety, w instalacji tej w roku 1944 doszło do wybuchu, w wyniku którego zginęło ponad 100 osób. Po tym wypadku znacznie poprawiono standardy operacyjne dotyczące gazu skroplonego LNG.

Po II Wojnie Światowej świat znowu stanął na rozdrożu energetycznym. W Europie zniszczonej wojną i podzielonej politycznie brakowało tradycyjnych źródeł energii, czyli ropy i węgla. Faktycznie, na świecie dokonano dużych odkryć źródeł gazu ziem-

nego – w USA, Afryce Północnej, później na Bliskim Wschodzie, ale wówczas brak było długich międzynarodowych gazociągów. Wtedy zrodziła się idea skraplania LNG, aby można go było przewieźć statkiem i ponownie regazyfikować. Polski to jednak w okresie powojennym nie dotyczyło.

Absolutnym prekursorem wśród statków transportowych dla LNG był gazowiec Methan Pionier (Rys. 5). Był to gazowiec przebudowany ze statku transportowego wybudowanego w 1945 r. i początkowo nazwany Marline Hitch. Ostatecznie przebudowany w 1958 r. i ze zmienioną nazwą jako właśnie Methan Pionier odbył swój pierwszy rejs jako gazowiec w 1959. Operował między USA a Wielką Brytanią jako testowy projekt eksportu LNG z USA do Europy. Operował z Lake Charles w Luizjana, gdzie istniała mała instalacja do skraplania wybudowana przez Constock International Methane Ltd., do Convey Island w Wielkiej Brytanii (pierwszy w świecie terminal odbiorowy). Swój żywot gazowca ostatecznie zakończył w 1972 r. pod nazwą Aristotle. W okresie eksploatacji tego statku, od wybudowania do złomowania aż pięciokrotnie zmieniał nazwę [9].



Rys. 5. Pierwszy w świecie gazowiec Methan Pionier [9]
Fig. 5. The world's first gas carrier, the Methane Pionier [9]

Brytyjczycy byli pierwsi w Europie, którzy wdrożyli LNG do praktyki przemysłowej. Po sukcesach gazowca Methan Pionier uruchomiono komercyjny projekt importu LNG z Algierii do Wielkiej Brytanii. W Arzew w Algierii uruchomiono instalację CAMEL (Compagnie Aleienne de Methane Liquide) i od października 1964 r. regularnie transportowano LNG również do Convey Island. Wykorzystywano do tego celu początkowo gazowce Methane Princess i Methane Progress, każdy o pojemności 27000 m³.

Kolejny duży krok w światowym rozwoju LNG dokonała Japonia. Kraj ten mając bardzo ograniczone własne zasoby surowcowe szybko dostrzegł potencjał LNG. W roku 1969 rozpoczęto pierwszy azjatycki import LNG z terminala Kenai na Alasce USA do Japonii. Wkrótce potem Japonia stała się największym importerem LNG na świecie i tak jest do dziś.

W latach 70-tych nastąpił okres rosnących cen ropy naftowej i pierwszego kryzysu naftowego (1973). Zaczęto szukać alternatywnych źródeł energii a LNG był jednym z nich. Wtedy odnotowano rozwój terminali LNG w Hiszpanii, Francji, Korei Południowej. Algieria była wówczas głównym eksporterem LNG do Europy a Indonezja i Królestwo Brunei do Azji. W tym okresie LNG zaczyna łączyć kontynenty i powstaje światowa sieć gazu.

Lata 80-te to dekada nowych terminali LNG w USA, Japonii, Francji i Włoszech. W Katarze planuje się eksploatację bardzo dużego złoża North Field, które w przyszłości stanie się centrum

LNG świata. Pierwszy katarski megaprojekt LNG będzie uruchomiony w latach 90-tych. W tym czasie do grona eksporterów LNG dołączają też Trynidad i Tobago, Malezja i Australia. Po rewolucji łupkowej w USA w latach 2010-20 także USA stają się eksporterem LNG.

Dziś LNG to ponad 40% światowego handlu gazem do ponad 50 krajów. Światowa flota LNG to ponad 700 statków transportowych różnych typów i wielkości, w tym około 60 terminali pływających (FSRU i FSU) [10].

W Polsce zainteresowanie środowisk przemysłowych problematyką LNG jest znacznie dłuższe niż można byłoby to sobie wyobrazić. Oznacza to, że jest dłuższe niż od momentu podjęcia decyzji o budowie terminala morskiego do odbioru i regazyfikacji LNG w Świnoujściu. Już w latach 70-tych XX w. w instalacji odazotowania gazu ziemnego w Odolanowie PGNiG, w której odzyskiwano hel, LNG powstaje jako cenny produkt uboczny. W latach 1997-1998 LNG jest nawet eksportowany do Skandynawii jako paliwo do napędu pierwszych bałtyckich promów napędzanych za pomocą LNG [11]. Od lat siedemdziesiątych XX w. dla krajów skandynawskich Polska jest producentem LNG. Z uwagi na bliskość geograficzną polski przemysł gazowniczy był oczywistym celem współpracy firm skandynawskich, głównie szwedzkich, w pozyskiwaniu LNG. Chociaż nie były to ilości bardzo duże, to był to już tzw. obszar LNG średniej skali.

W roku 2001 uruchomiono w Polsce pierwszą stację regazyfikacji LNG, co było początkiem rozwoju LNG małej skali. W 2009 uruchomiono drugą instalację odazotowania gazów ziemnych w Grodzisku Wielkopolskim (PGNiG SA), gdzie LNG było również cennym produktem ubocznym. Z rozwojem obszaru LNG małej skali rozwijano także nowe techniki pomiaru ilości LNG z wykorzystaniem kriogenicznych przepływomierzy masowych Coriolisa – projekty SMOK rozwijane w Polskim Górnictwie Naftowym i Gazownictwie SA (obecnie ORLEN S.A.) w latach 2016–2020 [12, 13]. Projekty SMOK w połączeniu z wcześniejszymi projektami oceny jakości paliw gazowych [14, 15, 16] dały znaczący wkład w rozwój LNG małej skali zarówno w Polsce jak i w skali europejskiej.

W roku 2015 uruchomiono Terminal LNG w Świnoujściu (Gaz-System S.A.) i od tego momentu rozpoczął się w Polsce etap rozwoju LNG dużej skali.

5. Podsumowanie

Analiza rozwoju technologii skraplania gazu ziemnego w Polsce wskazuje, że LNG stopniowo ewoluowało z rozwiązania o charakterze marginalnym i lokalnym na ziemiach polskich na początku XX w. w istotny element światowego systemu energetycznego. Ostrożna analiza źródeł historyczno-technicznych sugeruje, że podstawowe zjawiska fizyczne związane ze skraplaniem i kondensacją gazów węglowodorowych mogły być rozpoznane na ziemiach polskich znacznie wcześniej niż wynikałoby to z oficjalnej chronologii rozwoju LNG. Początkowe zastosowania ograniczone do instalacji małoskalowych powiązanych z krajowym wydobyciem gazu, stanowiły podstawę do budowy kompetencji technologicznych i organizacyjnych w zakresie skraplania magazynowania oraz dystrybucji LNG na świecie.

Z perspektywy inżynierskiej historii LNG wynika, że rozwój technologii energetycznych nie jest wyłącznie funkcją dostępności surowców, lecz także rezultatem ciągłości myśli technicznej,

zdolności do eksperymentowania oraz transferu wiedzy pomiędzy epokami.

6. Bibliografia

- [1] Wróblewski Z., Olszewski K. (1883). Adnotacja o przełomowym odkryciu. *Comptes Rendus*, 96, s.1140.
- [2] Joule J.P., Thomson W. (1853). On the thermal effects of fluids in motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 143, 357-365 <https://doi.org/10.1098/rstl.1853.0014>
- [3] Wróblewski, A. K. (2012). *Fizyka w Polsce wczoraj, dziś i jutro*.
- [4] Crawford, E., Heilbron, J. L., & Ulrich, R. (1987). *The Nobel population 1901–1937*
- [5] von Linde, C. (1896). Process and apparatus for liquefying gases or gaseous mixtures, and for producing cold, more particularly applicable for separating oxygen from atmospheric air. German Patent# GB189512528
- [6] von Linde, C. (1895). Gasverflüssigungs-maschine (Machine for the Liquefaction of Gas). CH Patent, 10704.
- [7] Wieleżyński. L. (1934). Wspólna praca wspólny plon. Życie i dzieło mądrego człowieka, Towarzystwo naukowe KUL.
- [8] Kozia, J. (2010). Gazolina – pierwsza polska spółka pracownicza. Liga Polityczna. Dostęp online: <https://www.rp-gospodarna.pl/gazolina.pdf>
- [9] Noble P. G., (2009), A Short History of LNG Shipping: 1959–2009. *Society of Naval Architects and Marine Engineers*.
- [10] International Gas Union. (2024). *LNG2024-02*. Dostęp online: <https://www.igu.org/advocacy/graphics-data/lng2024-02>
- [11] Jaskólski T. (2015). Dyrektor PGNiG SA w Odolanowie. Komunikat prywatny.
- [12] Rosłonek G., Bogucki A., Urbanowicz A., Kowalczyk S. (2019). Możliwości zastosowania przepływomierzy masowych typu Coriolis do pomiarów rozliczeniowych w obszarze LNG małej skali oraz innych cieczy kriogenicznych. *Nafta-Gaz*, 75 (10), 633-639. <https://doi.org/10.18668/NG.2019.10.05>
- [13] Rosłonek G. (2024). Cztery dekady rozwoju i zastosowania przepływomierzy Coriolisa jako urządzeń pomiarowych w gazownictwie. Możliwości zastosowania przepływomierzy masowych Coriolisa do pomiarów LNG. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 1(98), 2-8. <https://doi.org/10.15199/17.2024.1.1>
- [14] Rosłonek G. (2005). Pomiary temperatury punktów rosy w gazach ziemnych. Część I. Przegląd metod do pomiaru temperatur punktów rosy wody. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 7-8, 15-18.
- [15] Rosłonek G., Bojewski J., Sobczak M. (2005). Metoda poprawy precyzji analiz chromatograficznych gazów ziemnych poprzez kontrolowany sposób wprowadzania próbki na analizator w warunkach „barostatycznych”, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 4, 7-9.
- [16] Rosłonek G., Sobczak M., Bojewski J. (2005). Nadzór metrologiczny nad laboratoryjnymi chromatografami gazowymi do kontroli jakości gazu ziemnego. *Analityka: nauka i praktyka*, 2, 27-33.