



Wodór a podziemne magazynowanie energii w strukturach solnych

Hydrogen and underground energy storage in the salt structures

Maciej KALISKI, Andrzej SIKORA

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, al. A. Mickiewicza 30; 30-059 Kraków; andrzej.sikora@wnaft.agh.edu.pl

Najpowszechniej występujący pierwiastek we Wszechświecie to wodór. W postaci wolnej występuje w gwiazdach i obłokach międzygwiazdowych, a w postaci związanej wchodzi w skład wielu związków nieorganicznych (np. wody, kwasów, zasad, wodorotlenków) oraz związków organicznych (węglowodory i ich pochodne).

Wodór atomowy jest nietrwały i szybko łączy się z drugim atomem wodoru, tworząc cząsteczkę H_2 , czyli wodór cząsteczkowy (molekularny). Powstaje on w wyniku dysocjacji wodoru cząsteczkowego w wysokiej temperaturze i jest znacznie bardziej aktywny chemicznie niż wodór molekularny.

Wodór występuje obficie na całej Ziemi - w postaci cząsteczkowej występuje w atmosferze – przy powierzchni w ilościach śladowych, natomiast w wysokich, bardzo rozrzedzonych warstwach jest składnikiem dominującym, jednak niemal wyłącznie w postaci związków chemicznych takich jak węglowodory (paliwa kopalne) i woda (jedno z najsilniejszych wiązań chemicznych).

Duża część (ok. 40 %) obecnej światowej produkcji wodoru pochodzi z procesów, w których jest on produktem ubocznym (np. elektroliza bądź rafinacja ropy naftowej). Dziś na świecie oprócz produkcji energii głównym kierunkiem wykorzystania gazu wysokometanowego jest właśnie produkcja wodoru. Wśród paliw, wodór jest najczystszy nośnikiem energii (np. do zasilania ogniw wodorowych). Znajduje on również zastosowanie jako surowiec w syntezach chemicznych (składnik gazu syntezowego). W Polsce największe wytwórnie wodoru znajdują się w zakładach azotowych i w rafineriach w Płocku i Gdańsku¹ (wodór znajduje zastosowanie w procesach hydrokrakingu, w odsiarczaniu ropy naftowej).

¹ Wybudowana za ok. 85 mln € instalacja przeznaczona jest do wytwarzania wodoru niezbędnego m.in. w procesach technologicz-

Podziemne magazyny węglowodorów, w tym gazu ziemnego w wysadach solnych, stają się powoli europejskim standardem. Od szeregu lat mamy sprawnie działające i regularnie wykorzystywane magazyny gazu, ziemnego, ropy i paliw w kawernach solnych – KPMG Mogilno, czy PMRiP Góra, a także budowany magazyn Kosakowo. Bogata literatura przedmiotu (np. Kaliski i in., 2010; Kunstman i in., 2009), wskazuje, że Polska, ze swoimi zasobami solnymi i doświadczeniami inżynierskimi w wykorzystywaniu wysadów i złóż soli jest w czołówce światowej użytkowników tego typu technologii. W Polsce nie ma ciągle niestety doświadczeń z magazynowania wodoru. A w UE magazyny węglowodorów w złożach soli posiadają tylko Wielka Brytania, Francja (także magazyny wodoru), Niemcy², Dania, Portugalia i Polska (Gillhaus, 2008). W Stanach Zjednoczonych pierwszy magazyn wodoru wybudowała firma ConocoPhillips (Clemens Terminal - Texas, USA, zob. ryc. 6.), zaś firma Air Liquide w rejonie Zatoki Meksykańskiej za pomocą gazociągu o długości 720 km dostarcza

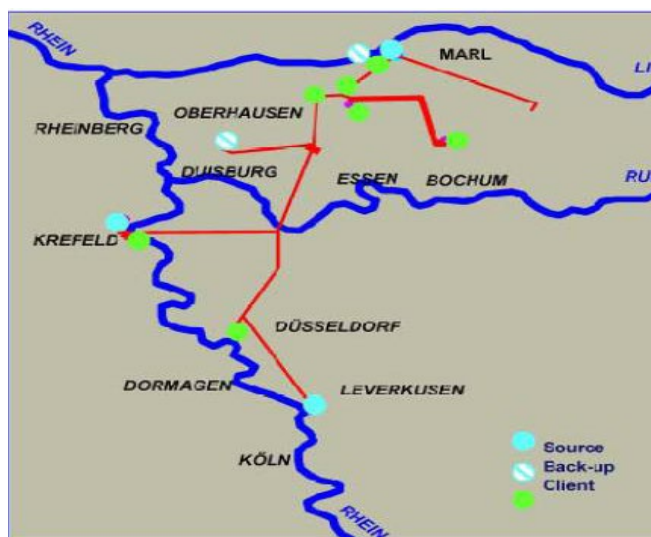
nych w instalacji hydroodsierczania oleju napędowego (HDS) oraz instalacji hydrokrakingu (MHC). Ta nowa instalacja ma ok. 3,5 razy większą zdolność produkcyjną, niż podobna instalacja, obecnie eksploatowana w rafinerii i umożliwi produkcję 7 ton gazu wodorowego na godzinę, o prawie stuprocentowej czystości. Wsadem do instalacji HGU może być LPG, benzyna lekka lub gaz ziemny. Produkcja wodoru oparta jest na technologii katalitycznego reformingu węglowodorów z parą wodną, w temperaturze ponad 850°C, oraz wydzieleniu wodoru z tak powstałego gazu syntezowego przy użyciu technologii PSA (ang. Pressure Swing Adsorption). Istotną rolę pełni sekcja konwekcyjna (WHRS), która pozwala odzyskać ciepło spalin opuszczających piec-reformer m.in. do produkcji pary wodnej (wg http://www.lotos.pl/322/p,174,n,2968/grupa_kapitalowa/centrum_prasowe/aktualnosci/wytownia_wodoru_juz_gotowa)

² Niemcy posiadają obecnie 22 magazyny w kawernach solnych (łącznie 172 kawerny) o łącznej pojemności roboczej 7612 mln Nm³ i możliwości poboru do 275 mln Nm³/d gazu ziemnego.

wodór kilkunastu odbiorcom. Ma też własne kawerny solne do magazynowania wodoru dla celów chemicznych.

Do maja 2004 r. prowadzone były prace, zlecone w październiku 2002 r. przez Komisję Europejską w ramach Grupy Wysokiego Szczebla dla Wodoru i Ogniwi Paliwowych (the High Level Group on Hydrogen and Fuel Cells [HLG]). Zadaniem było przedyskutowanie strategiczne i uzyskanie europejskiego konsensusu dla wykorzystania wodoru jako nośnika energii – program HyNet.³ Prace badawcze w dziedzinie przesyłania i składowania wodoru także do celów energetycznych prowadzone są obecnie w Niemczech.

Łączna długość gazociągów wodorowych w Europie to ok. 1500 km. To bardzo efektywna droga transportu energii – straty na przesył wodoru są co najmniej dwukrotnie niższe niż te jakie mamy na przesył energii sieciami przesyłowymi. Gazociągi są budowane ze specjalnej stali (wodór wypiera węgiel) o średnicy 25-30 cm co pozwala na tłoczenie wodoru pod ciśnieniem 10-20 bar. Najstarsza w Europie sieć wodorowa znajduje się w Zagłębiu Ruhry, gdzie pięćdziesięcioletni gazociąg o długości 210 km łączy 18 dostawców i odbiorców bez jakiegokolwiek awarii (ryc. 1). Najdłuższa 400 km sieć łączy zakłady we Francji i Belgii.



Ryc. 1. System gazociągów wodorowych w Zagłębiu Ruhry (wg Air Liquide www.airliquide.com 2005)

Fig. 1. Hydrogen pipeline system in the Rhine-Ruhr area (after Air Liquide, www.airliquide.com 2005)

Kawerny wodorowe w złożach soli istnieją w USA i UK, nie są jednak obecnie wykorzystywane do magazynowania energii – przewidziane jest to jednak na dużą skalę w najbliższej przyszłości.

Kluczowym zagadnieniem stojącym przed badaczami jest wykorzystanie technologii kawernowych do magazy-

nowania wodoru jako energii i wykonanie kawern solnych, spełniających wymogi bezpieczeństwa odnośnie szczelności i stabilności. Dziś wiemy, że powinny być one lokalizowane w rejonach umożliwiających zagospodarowanie solanki z ługowania i odbiór energii do sieci wysokich napięć. Instalacje magazynowe wodoru winny być ulokowane w pobliżu potencjalnych miejsc jego wykorzystania.

Jak wstępnie się szacuje (Kunzman i in., 2002) „koszt inwestycyjny wykonania kawern magazynowych wodoru, czy sprężonego powietrza jest częścią kosztów budowy całego magazynu energii. Część podziemna dla magazynów na gaz ziemny (otwory wiertnicze z wyposażeniem, ługowanie kawern, głowice) stanowi zwykle ok. 40% całości nakładów na magazyn gazu. 60% kosztów stanowią instalacje naziemne – kompresory, układy chłodzenia, filtry, urządzenia pomiarowe itd. Koszty całościowe magazynów gazu na świecie, w zależności od warunków geologicznych, cen lokalnych oraz wielkości i ilości kawern wynoszą w przeliczeniu od 1 mld zł do 3 mld zł (w Polsce trochę taniej niż zagranicą). Przyjmuje się do szacunkowych obliczeń ok. 2 zł kosztów inwestycyjnych na 1Nm³ gazu w nominalnej pojemności kawerny gazowej. Dla magazynów energii w postaci wodoru koszt ten będzie wyraźnie większy z uwagi na dodatkowy koszt specjalnych materiałów i mniejsze rozmiary poszczególnych kawern, nie biorąc nawet pod uwagę dodatkowych kosztów elektrolizerów i generatorów.”

Przyszłość magazynowania okresowych nadwyżek energii elektrycznej może leżeć w podziemnych kawernach wyługowanych (wyflukanych) w złożach soli, w których można magazynować sprężone powietrze lub wodór. W przypadku uzupełniania niedoborów szczytowych dobowych przewiduje się zastosowanie kawern na sprężone powietrze, natomiast do magazynowania sezonowego dużych ilości energii bardziej perspektywiczne są kawerny na wodór. To dałoby znacznie większą gęstość zmagazynowania energii niż układy szczytowo-pompowe, bez negatywnego wpływu na środowisko.

Kawerny solne, podobne do magazynujących gaz ziemny, po odpowiednim zaprojektowaniu, mogą zostać wybudowane dla wodoru, w tej formie magazynując nadwyżki energii. To oznacza, że wyżej definiowany projekt zakładałby możliwość budowy tradycyjnych kawern w układzie pionowym jak również kawern soczewkowych, potencjalnie korzystniejszej w złożach o niewielkiej miąższości.

Musimy mieć na uwadze, że:

- budowa kawern jest uwarunkowana możliwością wykorzystania solanki;
- kawerny (struktury geologiczne) muszą spełniać wymogi szczelności i stabilności;
- magazyny powinny być lokalizowane w pobliżu potencjalnych miejsc wykorzystania wodoru.

Można mówić o pewnej praktyce – doświadczeniu z instalacji Teesside w Anglii czy młodszej w Clemens Terminal Chevron Phillips (Texas, USA), gdzie znajduje się 100 ka-

³ www.hyways.info; Towards a European Hydrogen Energy Roadmap Preface to HyWays – the European Hydrogen Energy Roadmap Integrated Project Executive Report 12 May 2004

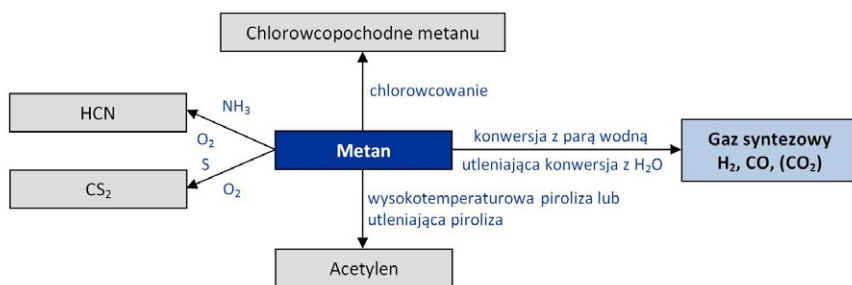
wern o pojemności 1000 stóp sześciennych. (ryc. 6.)

Typowy wymiar pojemności kawerny to 500 000 m³ z ciśnieniem w zakresach od 60 barów do 180 barów, co koresponduje z pracującą pojemnością roboczą ok. 4200 T gazu. Doświadczenie amerykańskie pokazuje, że straty energetyczne są niższe niż 0.1 % p. a. (Kepplinger i in., 2011).

W realnej perspektywie kilkunastu lat, powstanie podziemnych kawern magazynujących nadwyżkową energię elektryczną w postaci wodoru dałoby następujące efekty ekologiczne:

- zmagazynowanie nadwyżek energii i jej późniejszy odzysk w sposób ekologiczny – bez dodatkowej emisji,
- bezpieczeństwo ekologiczne podziemnych magazynów energii, podobne jak istniejących podziemnych magazynów gazu, ropy i paliw,
- efektywność magazynowania podziemnego znacznie wyższa i proekologiczna w porównaniu z układami elektrowni wodnych szczytowo-pompowych,
- lepsze technicznie i ekonomicznie wykorzystanie okresowych nadwyżek mocy elektrowni i elektrociepłowni i związany z tym realny spadek emisji CO₂,
- prostsze włączenie w system energetyczny dużych farm wiatrowych i solarnych, ograniczenie potencjalnych problemów z dużym udziałem OZE (Odnawialne Źródła Energii) w bilansie energetycznym kraju,
- ograniczenie spalania konwencjonalnych paliw kopalnych,
- wodór jest najczystszy nośnikiem energii,
- umożliwienie rozwoju ogniw paliwowych (wodór) w motoryzacji, spadek emisji spalin,
- możliwość utylizacji CO₂ poprzez wykorzystanie wodoru i CO₂ do produkcji metanu.

W Polsce (Kaliski i in., 2009), zgodnie z prawem, każdy producent energii musi uzyskiwać określoną jej część z OZE - ta energia jest droższa od pochodzącej z konwencjonalnych źródeł, co poświadcza się odpowiednimi dokumentami, tzw. zielonymi certyfikatami. W przypadku, gdy nie ma takich certyfikatów, producent płaci tzw. opłatę zastępczą, która trafia do Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska. Istnienie tej opłaty zastępczej powoduje, że producenci energii elektrycznej są niejako zmuszani do inwestowania w elektrownie wiatrowe i w solarne. Plany inwestycyjne polskich firm energetycznych w tym zakresie na najbliższe lata to łącznie kilkanaście mld zł. Wszystkie grupy energetyczne będą miały rosnące problemy z nieregularnymi źródłami energii.



Ryc. 3. Główne kierunki wykorzystania metanu z gazu syntezowego (wg Taniewski, 1997)

Fig. 3. The main directions of the use of methane from synthesis gas (after Taniewski, 1997)

Oznacza to tylko, że grupy energetyczne powinny być zainteresowane spieniężeniem nadwyżkowej energii w postaci wodoru wykorzystywanego w procesach chemicznych lub magazynowaniem w kawernach solnych.

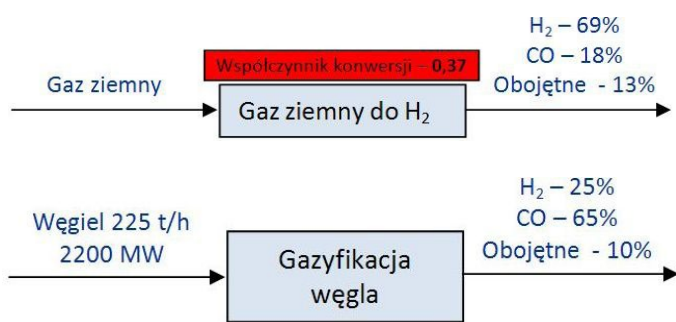
Ponadto magazynowanie dużych ilości wodoru umożliwi optymalizację procesów rafineryjnych, do których potrzebny jest wodór dostępny powszechnie w stanie wolnym w przestrzeni międzygwiazdowej, ale głównie w postaci związków wody i metanu na Ziemi. Woda – źródło życia – metan źródło energii. Dziś jednak metan (CH₄) największą rolę odgrywa w produkcji nawozów sztucznych, która obecnie oparta jest głównie na jego wykorzystaniu (w Polsce praktycznie 100% produkcji amoniaku i nawozów azotowych bazuje na wykorzystaniu wodoru uzyskanego z gazu syntezowego, otrzymywanego z gazu ziemnego suchego). Produkcja amoniaku i nawozów azotowych z gazu ziemnego charakteryzuje się pewnymi zaletami, a mianowicie: mniejszym zużyciem energii (niższymi kosztami wytwarzania), niższymi nakładami inwestycyjnymi oraz bardziej ekologicznymi procesami przetwórstwa gazu ziemnego.

GAZ ZIEMNY JAKO SUROWIEC W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM

Gaz ziemny w przemyśle chemicznym w ok. 90% przypadków wykorzystywany jest w charakterze surowca do otrzymywania wodoru. Możliwe jest także pozyskiwanie wodoru z innych surowców energetycznych (np.: węgla). Ze względu na relację wodoru do węgla gaz ziemny jest jednak najkorzystniejszym i najbardziej efektywnym surowcem (ryc. 2).

W chemicznym wykorzystaniu gazu ziemnego należy oddzielnie wyróżnić:

- syntezy oparte na gazie suchym (praktycznie na metanie),
- syntezy oparte na wyższych alkanach wydzielanych z gazów mokrych (gaz płynny, gazolina),
- wykorzystanie niektórych domieszek gazów ziemnych (produkcja siarki, wydzielanie helu).



Ryc. 2. Otrzymywanie wodoru w zależności od surowca.
Fig. 2. Production of hydrogen depending on the raw material.

SYNTEZY OPARTE NA GAZIE SUCHYM

Metan przetwarzany jest zarówno do gotowych produktów chemicznych (CS₂, HCN, chlorowcopochodnych), jak i do ważnych surowców wtórnych (półproduktów) wykorzystywanych do dalszych syntez chemicznych (gaz syntezowy, acetylen) (ryc. 3).

Zdecydowanie najistotniejszym procesem jest przeróbka metanu do gazu syntezowego, jednego z najważniejszych surowców wtórnych. Przy zastosowaniu metody katalitycznej konwersji gazu ziemnego z przegrzaną parą wodną otrzymuje się surowy gaz syntezowy (mieszaninę tlenku węgla, cząsteczkowego wodoru i dwutlenku węgla), który jest:

- źródłem wodoru stosowanego np. w procesach uszlachetniania i oczyszczania ropy naftowej,
- kluczowym półproduktem w różnych syntezach organicznych, między innymi kwasu octowego, paliw silnikowych a przede wszystkim metanolu,
- półproduktem w przemyśle azotowym do produkcji amoniaku, a następnie nawozów azotowych (gaz ziemny - gaz syntezowy - amoniak - nawozy azotowe).

W przypadku przemysłowej produkcji wodoru, najczęściej wykorzystuje się reakcję gazu ziemnego z parą wodną (reforming parowy) w celu otrzymania gazu syntezowego. Obecnie stosowane technologie pozwalają na budowę instalacji produkujących od 5 tysięcy m³ do 150 tysięcy m³ wodoru na godzinę (od 40 000 m³ do 1,2 mld m³ rocznie – np. obecnie wybudowana przez Air Liquide wytwórnia wodoru, także częściowo dla rafinerii w Rotterdamie, ma zdolność produkcji 130 tys. m³/h, a koszt inwestycji to ok. 160 milionów Euro).

Ponadto istnieje także kilka możliwych technologii produkcji:

- reforming (lekkie węglowodory),
- częściowe utlenienie (ciężkie węglowodory),
- elektroliza (woda),
- proces czerni Kvaerner’a,
- fermentacja biomasy,
- metoda biologiczna.

Poniżej krótko opisano dwie z wymienionych technologii:

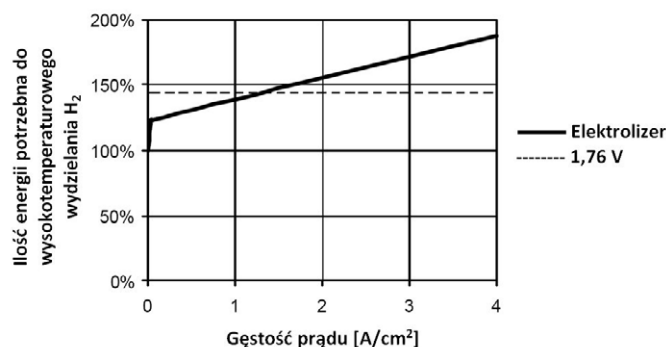
1) Reforming lekkich węglowodorów (np. metanolu, metanu, gazu ziemnego) do wodoru jest obecnie najbardziej efektywną ekonomicznie formą pozyskiwania wodoru cząsteczkowego. Reforming parą wodną ma dwa etapy, pierwszym jest katalityczna konwersja paliwa (np. w interesującym nas przypadku metanu) w wysokiej temperaturze:



Następnie zachodzi reakcja tlenku węgla z wodą (tzw. zwiększanie stosunku H/C dokonywane za pomocą WGS (*Water-Gas-Shift Reaction*):



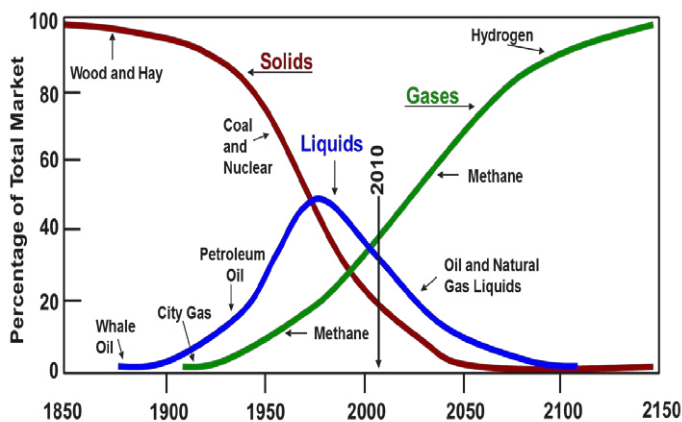
2) Proces elektrolizy wody jest w istocie odwróconym ogniwem paliwowym. Poprzez elektrolizę wody produkuje się obecnie ok. 2-3% światowej produkcji wodoru. Ilość energii potrzebnej do wytworzenia wodoru z wody (ze względu na trwałość wiązania H-O) jest znaczna (ryc. 4).



Ryc. 4. Ilość energii potrzebna do elektrolizy wody w porównaniu z wysokotemperaturowym wydzieleniem wodoru (wg Bosel & Eliasson, 2003)

Fig. 4. The amount of energy needed for electrolysis of water compared to a high temperature hydrogen extraction (after Bosel & Eliasson, 2003)

Problem magazynowania energii elektrycznej jest jeszcze generalnie nie rozwiązany, a nasza planeta jest całkowicie uzależniona od tzw. odnawialnych źródeł energii w tym paliw kopalnych (każde o innym okresie odnowienia). Jedynymi funkcjonującymi sprawnie magazynami są wodne elektrownie szczytowo-pompowe, dające jednak mniejszą gęstość magazynowania energii oraz niekorzystnie wpływające na środowisko. „... W tym stuleciu ujarzmimy potęgę gwiazd, źródło energii bogów. Na krótką metę oznacza to wprowadzenie ery energii słoneczno-wodorowej, która zastąpi paliwa kopalne, a w dłuższej perspektywie czasowej – opanowanie syntezy jądrowej, a nawet energii słonecznej z przestrzeni kosmicznej...” (Kaku, 2010 w: Kaliski & Sikora, 2013) (ryc. 5.)



Ryc. 5. Wiek energii gazów (wg Hafner, 2002)

Fig. 5. The age of energy gases (by Hafner, 2002)

Zanim jednak to nastąpi zastanówmy się nad wodorem jako nośnikiem energii ze źródeł, które już ujarzmiłszy jako ludzkość i jego magazynowaniem. Polskie Wybrzeże Bałtyku, w tym także tzw. „Bałtycki offshore”, to istniejące i budujące się farmy wiatrowe i solarne, to możliwość budowania magazynów wodoru w kawernach solnych. Wyobraźmy sobie na chwilę projekt, który łączy:

- produkcję wodoru na drodze elektrolizy przy wykorzystaniu nadmiarowej mocy elektrowni wiatrowych i solarnych do jego produkcji,
- optymalizację zapotrzebowania na wodór w procesach chemicznych także poprzez jego magazynowanie w kawernach solnych,
- magazynowanie wodoru powstałego w procesach technologicznych zakładów rafineryjno-petrochemicznych oraz ewentualnie na drodze elektrolizy z energii nadwyżkowej uzyskiwanej w elektrowniach niekonwencjonalnych i OZE.

Przyszłość magazynowania okresowych nadwyżek energii elektrycznej może leżeć w podziemnych kawernach wyługowanych (wypłukanych) w złożach soli, w których można magazynować sprężone powietrze lub wodór.



Ryc. 6 / Fig. 6. Clemens Terminal Chevron Phillips (Texas, USA) (wg/by www.jaif.or.jp/ja/wnu_si_intro/document/2009/c_forsberg_hydrogen_july09.pdf)

W przypadku uzupełniania niedoborów szczytowych dobowych dzisiaj przewiduje się zastosowanie kawern na sprężone powietrze, tzw. systemy CAES, natomiast do magazynowania sezonowego dużych ilości energii bardziej perspektywiczne są kawerny na wodór. To dałoby znacznie większą gęstość zmagazynowania energii niż układy szczytowo-pompe, bez negatywnego wpływu na środowisko.

Kawerny w skałach solnych, podobne do magazynujących gaz ziemny, po odpowiednim zaprojektowaniu, mogą zostać wybudowane dla wodoru, w tej formie magazynując nadwyżki energii. To oznacza, że wyżej definiowany projekt zakładałby możliwości budowy tradycyjnych kawern w układzie pionowym jak również kawern soczewkowych, potencjalnie korzystniejszych w złożach o niewielkiej miąższości. Bardzo ciekawe opracowanie tematu samego magazynowania wodoru i jego mieszanin wraz wstępnym modelem podaje M. Panfilow (Panfilow i in., 2006).

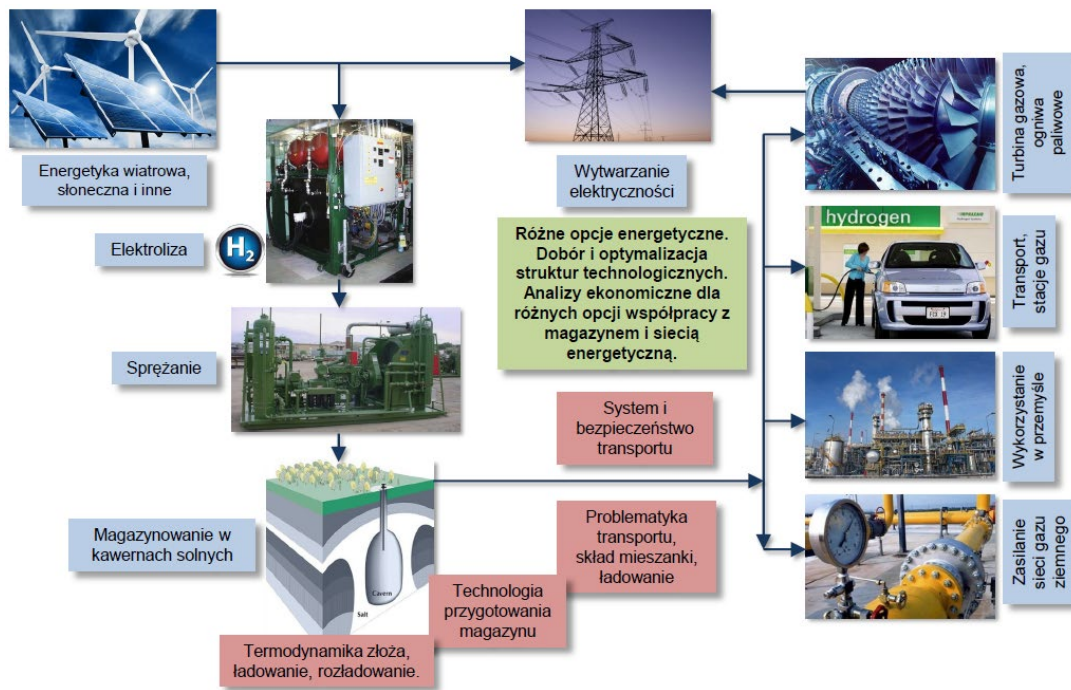
Czy w związku z tym jesteśmy sobie w stanie wyobrazić projekt łączący: (a) potrzeby przemysłu w tym: petrochemii, energetyki, logistyki (magazynowej – z kawernami u utworach solnych na czele - rurociągowej i tej kołowej), ale także (b) potrzeby energetyczne przeciętnego obywatela zatroskanego o środowisko, który do swojego samochodu, do swojej instalacji energetycznej będzie ładował wodór zamiast „węgla”-wodorów? Ta myśl, którą próbuje przenieść na kartę papieru poniższy schemat (ryc. 7), jest ideą przewodnią zespołu naukowo-badawczego, który pod przewodnictwem jednej z największych firm polskiego przemysłu występuje do NCBiR z wnioskiem o sfinansowanie prac badawczo-wdrożeniowych (Konsorcjum HESTOR).

Autorzy zdają sobie sprawę, że temat nie jest łatwy, ale wierzą także, że to wodór będzie paliwem przyszłości przełomu XXI i XXII. Dlatego to dziś należy nakreślać naszym zstępnym, nowym pokoleniom te kierunki energetycznego rozwoju, które pozwolą ludzkości stać się Energetycznym Społeczeństwem Galaktycznym.

SUMMARY

The most abundant and common element in the Universe is hydrogen. Hydrogen is a prevailing chemical element throughout the Earth. It is present in molecule form in the atmosphere, in minimum quantities – traces, close to the Earth surface. Dominant component of the high layers of the atmosphere where is rare, diluted. 40% of the current world production comes from the process in which the hydrogen is a by-product of electrolysis, heavy chemistry (synthesis gas) or the refining of crude oil.

Hydrogen is the cleanest source-carrier of energy. Major hydrogen markets are ammonia fertilizer production and conversion of heavy oil and coal into liquid fuels. There are few production methods but primary we can focus on steam reforming of fossil fuels – where in two steps process:



Ryc. 7. Pozyskiwanie i wykorzystywanie wodoru w zależności od odbiorcy
 Fig. 7. Production and utilization of hydrogen depending on the end user

- $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$
- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$

Fossil fuels are burnt to provide the heat to drive the chemical process (let's consider the role of the nuclear energy as well).

Energy required to make hydrogen is dependent upon the feedstock. Natural gas – reduction of hydrogen in chemical way (the lowest energy input to make hydrogen); coal – hydrogen deficit; water (H₂O – oxidized hydrogen)

There are many underground gas storages systems among the European Union countries. Especially salt caverns dedicated for hydrocarbon's storage are widely described in the literature (e. g. Kaliski et al., 2010; Kunstman et al., 2009). There is still, unfortunately, no experience with hydrogen storage in Poland. And the EU hydrocarbons salt caverns have only the UK, France (including hydrogen storage), Germany, Denmark, Portugal and Poland (Gillhaus, 2008).

Dedicated programme for hydrogen storage was implemented in the EU in 2002 called "Towards a European Hydrogen Energy Roadmap Preface to HyWays – the European Hydrogen Energy Roadmap Integrated Project" (more information can be found on www.HyNet.info). There is a new research programme in the field of transmission and storage of the hydrogen for energy purposes currently held in Germany.

The total length of the hydrogen gas in Europe is about 1500 km. But still, there is no experience with hydrogen storage as an energy source for energy sector. The best carrier of energy.

A key issue facing researchers is the use of technology of hydrogen for storage of energy and construction of salt cav-

erns which will meet safety requirements regarding tightness and stability. One should consider that:

- construction of the caverns is determined by the ability of the use of the brine;
- caverns (geological structures) must comply with the integrity and stability;
- such energy warehouses should be located close to the potential end user of hydrogen and electricity network (infrastructure is a key).

The next several years perspective shows that, the emergence of underground cavern storage of any surplus energy in the form of hydrogen would have the following environmental benefits:

- a) storage of surplus of such energy and its subsequent recovery in an environmentally cleaner process - without the additional emission's issues,
- b) ecological safety of underground storage of energy, similar to the existing underground gas storage facilities, oil and fuel,
- c) underground storage efficiency and eco-friendly much higher when compared to systems hydroelectric pumped storage,
- d) better technically and economically feasible - to use periodic overcapacity power plants and the related real decrease in CO₂ emissions,
- e) easier integration in the energy system of large wind and solar energy farms, reducing potential problems with a large share of RES in the energy balance of the country,

- f) *limitation of conventional combustion of fossil fuel,*
 g) *hydrogen is the cleanest source of energy,*
 h) *enable the development of fuel cell (hydrogen) in the automotive industry, the decrease of emissions,*
 i) *to dispose of CO₂ by the use of hydrogen and CO₂ to eventually methane production in upstream projects.*

Let's imagine for a moment a project that combines:

- *hydrogen production by electrolysis using excess wind power and solar energy to produce it;*
- *optimize the demand for hydrogen in chemical processes also by its storage in salt caverns;*
- *hydrogen storage processes resulting in refinery and petrochemical plants and possibly by electrolysis of surplus energy generated in non-conventional and renewable power.*

The future of interim storage of surplus energy may lie in underground caverns leached (leached) in salt deposits, which can be stored as compressed air (Compressed Air Energy System) or hydrogen.

We are aware and we are positive that the subject is not easy, but we also believe that this fuel of the future - hydrogen – is going to turn of the centuries: XXI and XXII. That is why today we need to outline our descendants. New generations of these lines of energy development that will allow Humanity to become a Galactic Energy Society.

LITERATURA / REFERENCES

- BOSEL U. & ELIASSON B. 2003 - Energy and the Hydrogen Economy.
- GILLHAUS A. 2008 - Natural gas storage in salt cavern in Europe - Present status, developments and future trends. [In:] SMRI Technical Conference Papers, Spring 2007, Basel: 69–88.
- HAFNER R. 2002 - International Journal of Hydrogen Energy, 27 (2002): 1-9.
- KALISKI M., JANUSZ P. & SZURLEJ A. 2010 - Podziemne magazyny gazu jako element krajowego systemu gazowego — Underground gas storage as an element national gas system – Nafta Gaz/Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, Instytut Technologii Nafty, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, 66 (5): 325–332. ISSN 0867-8871.
- KALISKI M., SIEMEK J., SIKORA A., STAŚKO D., JANUSZ P. & SZURLEJ A. 2009 - Wykorzystanie gazu ziemnego do wytwarzania energii elektrycznej w Polsce i UE – szanse i bariery. Rynek Energii, 4 (83): 1–6. (The use of natural gas for electricity generation in Poland and the EU - opportunities and barriers. Energy Market no 4 (83): 1-6.
- KALISKI M. & SIKORA A. 2013 - Futurystyczna bajka czy nowy energetyczny świat? - Energetyka Ciepła i Zawodowa 3/2013 (542) Cz. I.: 18–22; 4/2013 (543) Cz. II.: 43-46.
- KAKU M. 2010 - Wizje, czyli jak nauka zmieni świat w XXI wieku. Visions - How Science Will Revolutionize the 21st Century 2000. Prószyński i S-ka. ISBN: 83-7255-049-2.
- KEPPLINGER J., CROTOGINO F. & DONADEI S. 2011 - Present Trends in Compressed Air Energy and Hydrogen Storage in Germany. KBB Underground Technologies GmbH, Hannover, Germany Manfred Wohlers. IVG Caverns GmbH, Eitzel, Germany SMRI Fall 2011 Technical Conference 3–4 October 2011.
- PANFILOV M., GRAVIER G. & FILLACIER S. 2006 – Underground storage of H₂ and H₂-CO₂-CH₄ mixtures. Materiały konferencyjne Europejskiej Konferencji Matematycznej w Wydobyciu Ropy Naftowej (ECMOR) Amsterdam, Holandia 4-6 września 2006 r., York, United Kingdom SOLUTION MINING RESEARCH INSTITUTE www.solutionmining.org
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K. & URBAŃCZYK K. 2002 — Zarys otworowego ługownictwa solnego — Aktualne kierunki rozwoju. Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków. (2007 wyd. angielskie zmienione — Solution mining in salt deposits. Recent development trends)
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K. & URBAŃCZYK K. 2009 - Geologiczne i górnictwo aspekty budowy magazynowych kavern solnych Przegląd Geologiczny, 57 (9).
- TANIEWSKI M. 1997 - Technologia Chemiczna – Surowce. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- STRONY INTERNETOWE:
www.airLiquide.com,
www.hyways.info,
www.jaif.or.jp/ja/wnu_si_intro/document/2009/c_forsberg_hydrogen_july09.pdf