

Transformacja Europy z Ery Ognia do Ekonomii Wodoru. Przyszłość ogniwiw paliwowych spalających metanol. Czy Polska wykorzysta szansę?

Autorzy: Wiesław Ciechanowicz, Stefan Szczukowski - Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi”

(„Energetyka” – kwiecień 2009)

Warunkiem istnienia jakiegokolwiek cywilizacji jest energia. Bezpośrednim źródłem energii kolejnych cywilizacji - agrarnej i przemysłowej, był ogień. Ogień jako bezpośrednie źródło energii manifestującej się w postaci ciepła.

Pierwszym ogniwiem w procesie spalania węgla lub węglowodorów są siły wiązań elektronów w atomach tych paliw. Manifestują się one poprzez zasadę, że masa jest równoważna energii, w postaci energii wiązań elektronów. Energia ta w reakcji chemicznej spalania wydzielą się w postaci ciepła. Ciepło, wykorzystywane w maszynach parowych, silnikach wewnętrznego spalania oraz w elektrowniach wytwarzających prąd elektryczny, przyczyniło się do rozwoju mijającej ery ciepła, określanej także mianem ery ognia.

Generator wytwarzający elektrony, tworzące prąd elektryczny, jest ostatnim ogniwiem w procesie wytwarzania prądu elektrycznego, przemieniającym ciepło w energię kinetyczną turbiny napędzającej generator.

Celem cywilizacji zrównoważonej przyszłości ma być czynienie wzrostu ekonomicznego świata, stosując energię inną aniżeli pochodzącą z procesu spalania. Najprościej byłoby brać bezpośrednio z atomów elektrony i tworzyć prąd. To czynią generatory energii określane mianem ogniwiw paliwowych. „Czerpią” one bezpośrednio elektrony z atomów wodoru, tworząc w ten sposób prąd elektryczny. Wykorzystują najprostszyszy pierwiastek, jakim jest atom wodoru, zbudowany z jednego elektronu jako ładunku ujemnego i jednego protonu jako ładunku dodatniego, w którym z tego względu brak jest sił wiązań elektronów.

Bezpośrednim paliwiem we wszelkiego typu ogniwiwach paliwowych jest wodór. Stąd powstał termin *Ekonomia Wodoru*. Określa on gospodarkę, w której końcowi użytkownicy energii wykorzystują prąd elektryczny powstały w wyniku bezpośredniego rozkładu wodoru na elektrony i protony.

Magazynowanie i transport wodoru wymaga uprzedniego sprężania do określonego ciśnienia lub sprowadzania do postaci ciekłej. Są to procesy bardzo energochłonne. Oznacza to, że użytkowanie wodoru w postaci gazowej lub ciekłej czyniłoby ogniwa paliwowe mało efektywne ze względu na uniwersalność zastosowania.

Możliwość magazynowania paliwa w postaci ciekłej jest ważną zaletą metanolu w relacji do wodoru w zastosowaniu do jakiegokolwiek urządzeń energetycznych. Może on jako jedyny węglowodór ulegać rozkładowi na anodzie ogniwa paliwowego w temperaturze pokojowej na wodór i dwutlenek węgla. Ze względu na łatwość transportu metanolu ogniwa paliwowe zasilane bezpośrednio metanolem mogą czynić ogniwa bezpośrednio zasilane metanolem generatorami energii bezprzewodowymi.

Stanowiłoby to kolejny przełom w rozwoju technologicznym źródeł energii, pod warunkiem, że produkcja metanolu, będąc neutralną wobec środowiska naturalnego, spełniałaby określone

uwarunkowania ekonomiczne.

Nie oznacza to jednak, że cywilizacja wodoru jest już dostępna. Jest na horyzoncie.

Odpowiedź na pytanie, jak daleki jest ten horyzont, będzie zależała od tego, jak szybko będziemy czynić stacjonarne i przenośne ogniwa paliwowe przyjaznymi środowisku naturalnemu i ekonomicznie akceptowalnymi.

Jeśli zrozumiemy, że transformacja do ekonomii wodoru jest możliwa, to w konsekwencji wykorzystywanie przełomu technologicznego w skali globalnej mogłoby zapewniać Polsce:

- bezpieczeństwo energetyczne,
- szansę rozwoju,
- uczestnictwo w transformacji cywilizacji do *Ekonomii Wodoru*.

Prekursorami w transformacji gospodarki do *Ekonomii Wodoru* są USA, Kanada i Japonia. Chiny i Indie zapoczątkowują rozwój ogniów paliwowych bezpośrednio zasilanych metanolem jako generatorów energii w przenośnych komputerach osobistych i telefonach komórkowych. Powstaje pytanie, w jakim stopniu Europa oraz wybrane państwa wchodzące w jej skład uczestniczą w wyżej wymienionej transformacji, co omawia się poniżej.

Europejska Platforma Wodoru i Ogniów Paliwowych [1,2,3]

Zgodnie z postanowieniami Komisji Europejskiej w dniu 10 września 2003 roku, „Europejska Platforma Wodoru i Ogniów Paliwowych” ma uczestniczyć w transformacji Europy do zrównoważonej ekonomii wodoru.

Platformą zarządza Doradcza Rada Platformy ustanowiona przez Komisję Europejską. Zaaprobowana ona w dniu 19 stycznia 2007 roku Program Platformy realizacji wyżej wymienionej transformacji.

W dniu 26 lutego 2008 roku został ustanowiony naukowy projekt Platformy pod nazwą HyWays - Hydrogen Energy in Europe. Program ten zakłada redukcję ropy poprzez sektor transportu o 40% w 2050 roku w relacji do 2008 roku.

Głównym celem działalności Europejskiej Platformy Wodoru i Ogniów Paliwowych jest wspomaganie i przyspieszanie rozwoju europejskich systemów energii wykorzystujących technologie wodoru i ogniów paliwowych ekonomicznie akceptowalnych w zastosowaniu w transporcie oraz w stacjonarnych i przenośnych generatorach energii.

Platforma poprzez koordynację wspomaga narodowe, regionalne i lokalne programy badawczo-rozwojowe oraz inicjuje w tych programach aktywny udział przemysłu, towarzystw naukowych, użytkowników oraz społeczeństwa.

Ma wspomagać kooperację na przyszłych rynkach ogniów paliwowych i wodoru zarówno w skali Unii Europejskiej jak i w skali globalnej.

Ma przyczyniać się do rozwoju infrastruktury energetycznej, obejmującej między innymi testowanie oraz serwis systemów ogniów paliwowych.

45 europejskich przedsiębiorstw i firm utworzyło stowarzyszenie międzynarodowe nie

przynoszące zysku jako publiczno--prywatne europejskie partnerstwo dla rozwoju ogniw paliwowych i wodoru pod nazwą Joint Technology Initiative (Wspólna Technologiczna Inicjatywa).

Projekt HyWays ma być realizowany poprzez przemysł, instytucje badawcze i agencje rządowe dziesięciu krajów Unii Europejskiej. Opracowano mapę drogową w celu analizowania wpływu realizacji programu transformacji do *Ekonomii Wodoru* na ekonomię, społeczeństwo i środowisko w ramach Europy w dużej skali w krótkim i długim terminie. Analizowano także co należałoby zrobić, aby realizować wyżej wymieniony plan.

Ocenia się, że w latach 2025 - 2035 po drogach Europy będzie krążyć około 16 mln samochodów zasilanych wodorem.

Przedstawiony program oferuje Europie pozycję bycia prekursorem w zastosowaniu wodoru i technologii ogniw paliwowych w sektorze transportu, a więc w tworzeniu alternatywy dla ropy.

Począwszy od lutego 2006 do września 2007 roku zorganizowano 16 konferencji lub warsztatów o tematyce dotyczącej rozwoju produkcji wodoru, ogniw paliwowych, silników wewnętrznego spalania zasilanych wodorem, ceramicznych ogniw paliwowych zintegrowanych z procesem gazyfikacji biomasy, infrastruktury transportu samochodowego wykorzystującego polimerowe ogniwa paliwowe zasilane bezpośrednio wodorem. Odbyły się one w następujących miastach: Włochy - Rzym, Mantova, Montecatini Terme, Turyn; Austria - Seggau Castle; Belgia - Bruksela - dwukrotnie; Czechy - Praga; Hiszpania - San Sebastian; Niemcy - Monachium, Frankfurt, Berlin, Hamburg - dwukrotnie, Ottoburn; W. Brytania - Londyn.

Transformacja do *Ekonomii Wodoru* będzie pobudzać ekonomiczny rozwój, tworzyć miliony miejsc pracy, przyczyniać się do integracji Europy, zapewniać zrównoważony rozwój, a następnie bezpieczeństwo energetyczne.

Dziś wodór jako nośnik energii i technologia ogniw paliwowych wkraczają na komercyjną arenę. W dużej skali wykorzystywanie tej technologii będzie prawdopodobnie miało większy wpływ na globalną ekonomię niż jakiegokolwiek inne odkrycie technologiczne w przewidywalnej przyszłości.

Wodór może być produkowany z węgla, ale będzie to przyczyniać się do dramatycznego wzrostu emisji dwutlenku węgla. Energia jądrowa także może być wykorzystywana, ale będzie drastycznie wzrastała ilość niebezpiecznych odpadów radioaktywnych, jak Neptun, Ameryk i Kiur oraz pluton 240, który w wyniku rozkładu radioaktywnego przemieni się w pluton zbrojeniowy 239. W konsekwencji będzie narastało zagrożenie bezpieczeństwa w dobie terroryzmu, czyniąc znaczny wzrost kosztów energii, który będzie ponosił użytkownik [3].

Wykorzystując odnawialne źródła energii wiele milionów ludzi może stać się nie tylko konsumentami energii, ale także producentami, co będzie przyczyniać się do eliminacji systemów przesyłu energii.

Przemysł Europy posiada podstawy naukowe, technologiczne i finansowe, aby dokonywać transformacji do *Ekonomii Wodoru* oraz być liderem w kierowaniu świata do nowej

ekonomicznej ery.

Udziałowi Europy w tej transformacji i w trzeciej rewolucji przemysłowej należy nadać szczególny priorytet w przechodzeniu do następnego etapu integracji europejskiej.

Uczestnictwo w tworzeniu przestrzeni dla nowej ery energii stanowiłoby wielki wkład Unii Europejskiej dla świata na progu nadchodzącej globalnej ery zrównoważonej przyszłości.

Ustanawiając przodującą pozycję na światowym rynku technologii wodorowych, Europa, według Komisji Europejskiej, jest w stanie stworzyć w skali światowej nowe ekonomiczne uwarunkowania rozwoju. Ale, jak wynika z przeprowadzonej analizy, nie nastąpi to automatycznie.

W pierwszym etapie będzie należało pokonać wiele barier, poczynając od barier natury ekonomicznej i technologicznej do barier natury instytucjonalnej. W związku z tym przeciwdziałania tym barierom należy podejmować tak szybko, jak jest to możliwe [1,2,3].

W dniu 14 października 2008 roku Unia Europejska i europejski przemysł ogłosili, że ogniwa paliwowe i wodór stają się strategicznymi technologiami przyszłości Unii Europejskiej. Komisja Europejska, Przemysł Europejski oraz Wspólna Technologiczna Inicjatywa zrzeszająca 45 europejskich przedsiębiorstw i firm, wspólnie zainwestują prawie 1 bilion euro w ciągu sześciu lat w program badawczy technologii ogniw paliwowych i wodoru. Celem jest rozwój rynku technologii przyszłości przed 2020 rokiem [4].

Technologia ogniw paliwowych bezpośrednio zasilanych metanolem, *DMFC*, jest uważana przez większość przodujących towarzystw za najważniejszą technologię w nadchodzącym czasie w skali świata [5]. Datę komercjalizacji tych ogniw przyspieszają prace nad ulepszaniem ich jakości, w tym jednostkowej gęstości mocy oraz obniżania kosztów produkcji [5].

Unia Europejska przeznaczyła na badania i rozwój w 2008 roku 731 mln USD (470 mln euro), w celu przyspieszenia komercjalizacji w okresie 2010-2020 [6]. W realizacji tego programu także uczestniczą *Daimler AG* i *Royal Dutch Shell PLC*.

Zgodnie z informacją przekazaną przez *Direct Methanol Fuel Cell Corp.* firma *Caltech DMFC* udostępniła patent na ogniwa paliwowe bezpośrednio zasilane metanolem, *DMFC*, następującym państwom - głównym producentom samochodów w Europie: Niemcy, Wielka Brytania, Francja, Włochy, Hiszpania, Holandia i Szwecja oraz w Azji: Japonii i Korei [7].

Metanol jako „paliwo” w generatorach energii środków transportu systemu motoryzacyjnego świata ma być tym czynnikiem, który przyczyniając się do tego, aby ropa pozostała w ziemi, tak jak wyraził się wiceprezydent jednego z przodujących światowych producentów samochodów, ma eliminować wpływ cen ropy na możliwość wywołania kryzysu w skali gospodarki świata.

W ramach Unii Europejskiej zostało utworzone w 2007 roku konsorcjum, obejmujące dziewięć europejskich firm, realizujące program rozwoju ceramicznych ogniw paliwowych SOFC dużej mocy, obejmującej jednostki o mocy od 20-50 kW, 250 kW do 1 MW. Na realizację tego przedsięwzięcia Unia Europejska przeznaczyła 5,8 mln euro [8]. Uczestnikami Konsorcjum są: *I/TT Technical Research Centre of Finland* jako jednostka koordynująca

pracę Konsorcjum; *Wartsila Corporation; Roll-Royce; Fuel Cell Systems Ltd; Topeoe Fuel Cell A/S; Forschungszentrum Julich GmbH; Dipartimento di Ingegneria Chimica e di Processo „G.B. Bonino”; Universita di Genova; BOSAL RESEARCH nv; Verteco Oy; Inmatec Technologies GmbH.*

Unia Europejska przeznaczyła także 1 mln euro na projekt rozwoju ceramicznych ogniw paliwowych SOFC zasilanych metanolem, mających stanowić napęd statków żeglugi morskiej. Projekt ten jest realizowany przez Konsorcjum koordynowane przez fińską korporację *Wartsila*, w skład którego, obok *Wartsila*, wchodzi: *Lloyd's Register, Wallenius Marine, Uniwersytet Genua* oraz *Det Norske Veritas AS* [9].

Została utworzona Europejska Fundacja Wiedzy. Działalność Fundacji zapoczątkowały Warsztaty Badawcze we wrześniu 2007 roku dotyczące biofilmów. Przez biofilmy rozumie się kolonie mikroorganizmów, w których żyją mikroby jako bakterie. Mają mieć podstawowe znaczenie w tworzeniu mikrobiologicznych ogniw paliwowych, w których mikroorganizmy „czerpią” elektrony bezpośrednio z atomów wodoru, zawartych w molekułach związków organicznych, stanowiących ścieki komunalne jako ciekłe odpady [10].

Sięganie po bakterie, jako czynniki dokonujące konwersji odpowiednich substancji materialnych zawartych w ściekach do elektryczności, zapoczątkowali naukowcy w USA. Pierwsze wyniki publikowano począwszy od 2003 roku. Głównym inicjatorem tych badań był i jest prof. Bruce Logan z Pennsylvania State University, USA.

Rząd Wielkiej Brytanii ocenił, że ogniwa paliwowe, jako skojarzone generatory produkcji energii elektrycznej i ciepła, potencjalnie mogą zaspakajać 1/3 zapotrzebowania kraju na energię elektryczną w sektorze komunalno-bytowym. Spełniałyby równocześnie wyzwania wobec środowiska zastępując „boilery parowe”. Utworzono Konsorcjum obejmujące 13 uniwersytetów przodujących w Wielkiej Brytanii oraz 12 partnerów przemysłowych, w tym *British Gas*. Podejmuje się ono realizacji programu, mającego na celu opanowywanie technologii wodorowych, zakładając, że w 2011 roku przekazane zostaną na rynek odpowiednie wodorowe generatory energii mające mieć zastosowanie w pojedynczych gospodarstwach komunalnych. Jednym z zadań Konsorcjum jest edukacja publiczności, mediów, potencjalnych użytkowników oraz przemysłu o długoterminowych korzyściach wynikających z transformacji cywilizacji z *Ery Ognia* do *Ekonomii Wodoru* [11].

Powyższą informację, która ukazała się w styczniu 2009 roku, poprzedziły informacje zawarte w kolejnych numerach czasopisma *Fuel Celi Industry Report* o wykorzystywaniu zjawiska fotosyntezy w produkcji wodoru [12-16]. Prace te prowadzi się w USA w: Arizona State University, Pennsylvania State University, Brookhaven National Laboratory, Argonne National Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Institute for Molecular Science, Japonia.

Istotną zaletą konwersji światła słonecznego bezpośrednio do wodoru jest to, że wodór stanowi sposób magazynowania energii słonecznej, wykorzystywanej w postaci światła.

Nie można tego dokonać w przypadku wykorzystywania energii słońca w postaci ciepła lub elektryczności. Ma to także szczególne znaczenie wobec faktu, że magazynowanie światła słonecznego do wodoru czyni światło słoneczne źródłem wodoru jako nośnika energii globalnie dostępnego w każdym miejscu na kuli ziemskiej w czasie dnia i nocy.

James Barber, profesor biochemii w Imperial College, Londyn, lider w badaniach nad opanowaniem sztucznej fotosyntezy, określił odkrycie zespołu w Massachusetts Institute of Technology jako „ogromny skok w generacji czystej, pozbawionej emisji dwutlenku węgla, energii na wielką skalę” [16].

Według niego ważność sztucznej fotosyntezy nie może być przesadzona, ponieważ otwiera ona drzwi przed rozwojem nowych technologii wytwarzania energii w ten sposób redukując naszą zależność od paliw kopalnych, równocześnie przeciwdziałając zmianom klimatu w skali globalnej.

Według informacji podanych przez Massachusetts Institute of Technology, a zawartych w [16] z września 2008:

- celem programu realizowanego w MIT pod nazwą „Solar Revolution Project” jest rozwój sztucznej fotosyntezy na wielką skalę,
- w ciągu 10 lat właściciele domów będą mogli zasilać wodorem polimerowe ogniwa paliwowe wytwarzające elektryczność, których koszty inwestycyjne mają być 100-krotnie niższe w porównaniu z kosztami inwestycyjnymi elektrowni węglowych oraz 150 razy niższe w porównaniu z kosztami inwestycyjnymi elektrowni jądrowych,
- światło słoneczne, będące największym źródłem energii w skali świata, może potencjalnie przyczynić się do rozwiązania problemów energii nadchodzącej *Ery Wodoru*,
- centralne systemy dystrybucji energii elektrycznej staną się przeszłością.

Wspólnota Wodorowa na terenach zurbanizowanych w Danii [17]

Wspólnota Wodorowa na terenach zurbanizowanych w Danii, określana mianem H2PIA, według inicjatorów budowy Wspólnoty, nie jest kapryśnym snem przyszłości - jest realistyczną koniecznością.

Światowy popyt na energię ciągle wzrasta. W 2023 roku ludność świata zwiększy się w relacji do 2006 roku o 24%, liczba samochodów krążących po naszej planecie o 50%. Tendencje te oznaczają, że światowa produkcja ropy i gazu będzie musiała wzrosnąć o 66%, aby zaspokoić żądany popyt. Wielkimi poszkodowanymi będzie środowisko, nasze otoczenie i klimat. W końcu my sami będziemy wielkimi poszkodowanymi. Tak widzą i formułują Duńczycy konieczność budowy Wspólnoty Wodorowej.

Konsumpcja energii przez społeczność będzie musiała być zawsze uwarunkowana bilansem potrzeb i kosztu ich zaspokojenia. Pomijając, jak będą kształtować się ceny ropy, przyszłość uzależniana od węgla, ropy i gazu będzie prowadzić do wzrostu konsumpcji energii. Alternatywą osiągalną dla społeczności w obecnym czasie nie jest zwiększanie podaży paliw kopalnych, aby pokrywać wzrastające zapotrzebowanie na energię, jako że w konsekwencji wzrost konsumpcji i ograniczoność pozyskiwania paliw kopalnych będzie niezwłocznie napędzać wzrost cen ropy.

Mając powyższe na uwadze, istotą tworzenia Wspólnoty Wodorowej H2PIA jest dążenie do samowystarczalności energetycznej, czystej energii oraz do konstruktywnego partnerstwa społeczności i prywatnego sektora. Ma działać dla zachowania i pomnażania dobra społeczności w sposób, który bilansowałby potrzeby energetyczne z kosztami zmian środowiska i klimatu, będącymi konsekwencją spełniania potrzeb energetycznych społeczności. Podstawowym kluczem wspólnoty wodorowej jest to, aby społeczność

miejsca sama produkowała energię na własne potrzeby. Tak powinna funkcjonować Wspólnota Wodorowa.

Grupa pięciu przedsiębiorstw: *H₂ Logic*, *Danish Broadcasting Corp.*, *How2Live*, *Metopos*, *Hydrogen Innovation and Research Center- HIRC* zamierza zbudować futurystyczne osiedla, w których głównym źródłem energii ma być wodór. Tereny zurbanizowane zasilane wodorem, widziane w horyzoncie 2025 roku jako technologiczne utopie, zamierza się uczynić realnymi w krótszym terminie.

How2Live i *Metopos* są stosunkowo małymi firmami projektowo-architektonicznymi. *Hydrogen Innovation and Research Center* obejmuje około 40 towarzystw oraz agencji, podczas gdy firma *Danish Broadcasting* jest najstarszym i największym elektronicznym przedsiębiorstwem medialnym.

H₂ Logic ma być dostawcą technologii wodorowych i ogniw paliwowych. Ma zaopatrywać w wodór osiągalne komercyjnie samochody ciężarowe oraz małe samochody dostawcze napędzane polimerowymi ogniwami paliwowymi. *H₂ Logic* zostało utworzone w 2003 roku w mieście Herning w zachodniej części Danii. Zadaniem firmy, obok ustanawiania „biznesu wodorowego”, jest rozwój technologii, takich jak:

- nisko- i wysokotemperaturowe polimerowe ogniwa paliwowe zasilane wodorem,
- bezpośrednio zasilane metanolem ogniwa paliwowe,
- systemy magazynowania wodoru i stacji zasilania w wodór,
- magazynowania wodoru wykorzystując do tego celu wodorki metali.

Utworzono sieć międzynarodową realizacji wspólnoty wodorowej H2PIA, w której uczestniczą członkowie:

- Europejskiej Grupy Przemysłowej JTI oraz Europejskiej Platformy Wodoru i Ogniw Paliwowych,
- Stowarzyszenia Wodorowego w Zjednoczonym Królestwie,
- Szkockiego Stowarzyszenia Wodorowych Ogniw Paliwowych,
- Skandynawskiego Partnerstwa Wodorowej Autostrady, Duńskiego przedsiębiorstwa *Hydrogen Link*,
- Duńskiego Stowarzyszenia Wodorowego oraz Duńskiego Partnerstwa Wodorowego i Ogniw Paliwowych.

Partnerzy współpracujący to: *Ballard Power Systems*, *Statoil*, *Norsk Hydro*, *Volvo*, *Think Technology*, *Danfoss*, *Dantherm Air Handling* oraz wielu innych.

Określana mianem H2PIA wspólnota miejska z odpowiednią infrastrukturą ma zasilac w energię: mieszkania, przedsiębiorstwa, pojazdy napędzane ogniwami paliwowymi. Ocenia się, że w każdym osiedlu będzie przynajmniej 200 domostw oraz 100 pojazdów zasilanych wodorem.

Wspólnota wodorowa ma stanowić wizję rozwoju miast budowaną przy wyznawaniu filozoficznych wartości wolności, stosujących czystą energię oraz innowacje technologiczne. Wizją rozwoju jest stwarzanie szansy, aby poszczególni mieszkańcy wspólnoty mogliby sami wytwarzać i magazynować wodór z odnawialnych źródeł energii.

Wykorzystując najkorzystniejsze rozwiązania architektury Danii, wspólnotę urbanistyczną H2PIA mają tworzyć:

- centrum produkcji, magazynowania i dystrybucji wodoru, w którym ma być lokalizowany centralny zakład wytwarzania energii elektrycznej i ciepła wykorzystując ogniwa paliwowe, obejmując także stacje zasilania w wodór;
- miejskie centrum publicznych spotkań, biznesu, rekreacji i handlu; obszar ten ma tworzyć „syntezę pracy, beztrudnego czasu i zabawy” w kontekście wiary w przyszłość;
- komunalna rezydencja dla wszystkich obywateli, bez względu na wiek, szczególnie dla młodzieży w „nadchodzącym czasie” tworzonym przez H2PIA;
- rezydencje rodzinne „nieprzywiązane” do wspólnego energetycznego systemu, ale mające szansę niezależnej produkcji i magazynowania wodoru jako źródła energii zasilającej gospodarstwa domowe jak i pojazdy samochodowe;
- rezydencje rodzinne lokalizowane w niedużej odległości od centrum miasta, mające kontakt z naturą, zapewniającą „zrównoważoną egzystencję w pobliżu sieci handlowych”; rezydencje te byłyby częściowo podłączone do wspólnej sieci energetycznej, mając możliwość przesyłu nadmiaru energii własnej produkcji do wspólnej sieci.

Wodór ma być głównie produkowany z biogazu, biomasy oraz przy wykorzystywaniu energii wiatrów poprzez proces elektrolizy. W Høstebro znajduje się największy w skali świata zakład produkcji biogazu. W Ringkøbing w produkcji wodoru będzie wykorzystywać się energię kinetyczną wiatrów w procesie elektrolizy wody. Obydwa zakłady mają stanowić część projektowanej autostrady wodorowej jako „zielonego” korytarza na południe Europy poprzez Norwegię, Szwecję, Danię i Niemcy.

Wspólnoty Wodorowe w Islandii [18,19]

W Islandii 70% energii pochodzi z gorących źródeł geotermicznych wykorzystywanych począwszy od 1999 roku. Pozostały procent zapotrzebowania na energię wytwarzało się przy wykorzystywaniu importowanej ropy i węgla.

Obecnie Islandia tworzy front badawczy i plany rozwoju, aby stać się jednym z prekursorów *Ekonomii Wodoru*. Wodór ma stanowić paliwo w prywatnych samochodach, kutrach rybackich i w publicznym transporcie. Uczyni to Islandię kraj samowystarczalny energetycznie w świecie, który będzie użytkował w 100% źródła energii odnawialnej.

99% energii elektrycznej pozyskuje się przy udziale źródeł odnawialnych, w tym 81% z energii kinetycznej rzek i pozostałą część przy udziale energii geotermicznej. Energia użytkowana w postaci ciepła pochodzi w 89% ze źródeł geotermicznych.

Islandia jest krajem, który charakteryzuje się bardzo małą emisją dwutlenku węgla przypadającą na mieszkańca, o 63% mniej w porównaniu z USA.

Pierwszy projekt prowadzący Islandię do wodorowej społeczności, jako demonstracyjny projekt ECTOS (Ecological City TranspOrt System), został zrealizowany w latach 2001 - 2005 i dotyczył transportu miejskiego wykorzystującego trzy autobusy i jedną stację wodorową. W realizacji tego projektu uczestniczyły firmy: *Daimler Chrysler*, dostarczając autobusy napędzane ogniwami paliwowymi, i *Shell* wytwarzający stacje wodorowe. Komisja Europejska w ramach piątego projektu sponsorowała projekt ECTOS. Wodór produkowano drogą elektrolizy wody wykorzystując islandzkie źródła energii odnawialnej.

Wprowadzanie autobusów o napędzie wodorowym do komunikacji miejskiej kontynuowano uczestnicząc począwszy od stycznia 2006 roku w międzynarodowym projekcie HyFLEET: CUTE, obejmującym 10 krajów Europy, Chiny i Australię. Był on sponsorowany przez Komisję Europejską w ramach szóstego projektu i został zakończony w styczniu 2007 roku. Islandia zaczęła uczestniczyć w innych projektach związanych z transformacją cywilizacji do *Ekonomii Wodoru*. Jednym z nich jest projekt EURO-HYDRO, obejmujący zagadnienia transportu nośników wodoru do Europy. Rozważa się transport nośnika w postaci gazu poprzez rurociąg podmorski, przez transport żeglugi morskiej lub przesył prądu elektrycznego wytwarzanego w Islandii poprzez podmorski kabel.

Inny projekt, określony mianem H-ship i rozpoczęty w lutym 2004 roku, w którym ma uczestniczyć Islandia, to budowa morskich statków rybackich o napędzie wykorzystującym jako paliwo wodór. Budowa statków rybackich jest jednym z głównych gałęzi przemysłu Islandii. H-ship projekt jest traktowany jako priorytetowy, mający za zadanie uczynić Islandię pierwszym krajem eliminującym z żeglugi morskiej paliwa kopalne. Sponsorem tej inicjatywy jest Rząd Islandii oraz prywatne organizacje, takie jak World Renewable Energy Congress.

Autostrada wodorowa w Norwegii oraz autostrada „zielony” korytarz poprzez Norwegię, Szwecję, Danię i Niemcy [20,21]

Norwegia jest krajem, w którym roczne wydobycie ropy w przeliczeniu na mieszkańca jest największe w skali świata. Pomimo to Norwegia uruchamia w 2009 roku pierwszą w Europie autostradę wodorową. Czyni po to, aby zostać prekursorem rozwoju ludzkości w transformacji z *Ery Ognia* do *Ery Wodoru*, jaka następuje milowymi krokami.

W Norwegii prawie 100% energii elektrycznej dostarczają elektrownie wodne, wykorzystujące energię kinetyczną wodospadów. A więc niewymagające budowy zbiorników wodnych. W konsekwencji produkcja energii elektrycznej staje się tania. Może ona być wykorzystywana w produkcji wodoru, spełniającej równocześnie określone uwarunkowania ekonomiczne oraz neutralności wobec efektu cieplarnianego.

Norwegia jest inicjatorem budowy autostrady wodorowej w Norwegii, jak również autostrady „zielony” korytarz poprzez Norwegię, Szwecję, Danię i Niemcy. Autostrada ma być zasilana w wodór, wykorzystując odnawialne źródła energii, takie jak energia kinetyczna wiatrów oraz jako pierwotne nośniki energii: biopaliwa, metanol i gaz naturalny.

Projekty te mają być finansowane z funduszy Unii Europejskiej oraz z norweskich i szwedzkich funduszy w ramach skandynawskiej kooperacji, określanej jako „Scandinavian Hydrogen Highway Partnership” - Skandynawskie Partnerstwo Autostrady Wodorowej. Obejmuje ono trzy narodowe wodorowe infrastruktury, w Norwegii - *HyNor*, w Szwecji - *Hyfuture*, w Danii - *Hydrogen Link*. Dostawcą pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi ma być firma amerykańska *Quantum*. Otwarcie pierwszej stacji wodorowej nastąpiło w Danii w 2008 roku.

W pierwszej fazie projektu, począwszy od marca do października 2006 roku, analizowano możliwość budowy w Jutlandii wielu stacji zasilania pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi w wodór. Analizowano także, w jaki sposób mogłyby one być połączone z siecią stacji wodorowych w Norwegii, Szwecji i Północnych Niemczech. W rezultacie tej analizy powstała możliwość lokalizacji ośmiu stacji wodorowych jako demonstracyjnych na

Półwyspie Jutlandzkim. Zamierza się zbudować 10-15 stacji wodorowych do 2010 roku. Została zapoczątkowana współpraca ponad 100 towarzystw i organizacji zlokalizowanych w Danii i krajach sąsiednich.

Autostrada wodorowa - *Hydrogen Link* - obecnie staje się „platformą” badań i rozwoju wodoru oraz technologii ogni w paliwowych, mających mieć zastosowanie w transporcie. Celem jest budowa duńskiej nowoczesnej infrastruktury stacji wodorowych oraz szerokie wykorzystywanie pojazdów napędzanych ogniwami paliwowymi, będącymi prekursorami rozwoju transportu nadchodzącej cywilizacji, w której kapitałem staje się wiedza, a jednym z wyzwań cywilizacji zachowanie środowiska dla kolejnych generacji ludności świata.

Tworzy się tak zwane potrójne konstelacje zespołów obejmujących badania i rozwój technologii wodorowych, w ramach których „władza administracyjna”, kompanie i uniwersytety mają współpracować rozwiązując wyzwanie rynku, jakim jest wprowadzenie wodoru do transportu.

Działalność badawczo-rozwojową prowadzi się w ramach projektów narodowych i międzynarodowych zarówno w aspekcie technologicznym i teoretycznym. Prace badawcze koncentrują się głównie na wybranych stacjach wodorowych określanych mianem H2 HUB, zlokalizowanych w Danii.

Oczekuje się, że koszt budowy demonstracyjnej stacji wodorowej będzie wynosił 5 mln USD. Koszty budowy pięciu stacji wodorowych, w sumie wynoszące 25 mln USD, mają być pokryte z funduszy Unii Europejskiej, budżetu państwowego, regionalnego oraz przez lokalne kompanie.

Planowany rozwój paliw i generatorów energii XXI wieku we Francji [22]

Obecnie 70% wytwarzanej energii elektrycznej pochodzi z elektrowni jądrowych. Mimo to, począwszy od 2005 roku we Francji zastosowano ulgi podatkowe dla firm i ośrodków badawczych zajmujących się rozwojem technologii ogni w paliwowych oraz wodorową strategią rozwoju kraju. Firmy zajmujące się technologiami ogni w paliwowych mają szansę uzyskać z budżetu państwa w kolejnym dziesięcioleciu 242 miliony USD.

W uzupełnieniu tych przedsięwzięć, rząd Francji wszczął nową inicjatywę współzawodnictwa we wprowadzaniu innowacji, począwszy od motoryzacji do biotechnologii, przeznaczając na ten cel 2 miliardy USD.

Fundusze przeznaczane na rozwój ogni w paliwowych w porównaniu z poprzednim okresem wzrosły czterokrotnie. Przedsiębiorstwa francuskiego przemysłu, obecnie zajmujące się zagadnieniami ogni w paliwowych i wodoru, to: *Air Liquide*, *Axane*, *Helion*, *Gaz de France*, *Electricite de France*, producenci samochodów, jak *Peugeot*, *Citroen*, *Renault* i *Irisbus*, producenci zbiorników magazynujących wodór: *Ullit* i *Composites Aquitaine* oraz *Total* - czwarty w skali świata producent paliw ciekłych i gazowych.

Począwszy od 2006 roku priorytetowymi dziedzinami badań są:

- produkcja masowa wodoru poprzez wykorzystywanie wysokotemperaturowej elektrolizy, biomasy oraz sekwestracja dwutlenku węgla,
- ogniwa paliwowe jako środek napędu w pojazdach, szczególnie polimerowe ogniwa paliwowe PEMFC, oraz ceramiczne ogniwa paliwowe SOFC.

Francuskie Stowarzyszenie Biotechnologii podpisało porozumienie ze Stowarzyszeniem Chroniącym Myśl Techniczną, USA (VirginiaTech Intellectual Properties Inc.) dotyczące opracowania technologii konwersji biomasy do bioetanolu i biowodoru. Celem jest powiększenie sprawności hydrolizy oraz optymalizacja kosztów produkcji enzymów. Ostatecznym celem ma być rozwój na skalę komercyjną bioetanolu i biowodoru wykorzystywanych w ogniwach paliwowych, stanowiących generatory elektryczności [23]. Są to działania w kierunku transformacji Francji do *Ekonomii Wodoru*.

Wspólnoty Wodorowe na terenie Polski [24, 25]

Pracownicy Instytutu Badań Systemowych PAN uznali, na podstawie informacji zawartych w publikacjach Amerykańskiego Instytutu Metanolu, utworzonego w 1989 roku, że pojawia się szansa wyrównywania luki ekonomicznej i socjalnej pomiędzy wsią i miastem. Zostało to przedstawione na wspólnym posiedzeniu Rady Naukowej IBS PAN i IV Wydziału PAN w 1996 roku.

Tę szansę ma tworzyć metanol jako nośnik wodoru, stanowiący strategiczne paliwo XXI wieku. Przy wzrastających cenach ropy produkcja metanolu z biomasy, jako alternatywy dla ropy, mogłaby być neutralna wobec efektu cieplarnianego.

Zauważyli szansę rozwoju wsi polskiej ówcześni przedstawiciele Stowarzyszenia Powiatów i Gmin Nadbużańskich. Nawiązano kontakt z Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim, gdzie zainicjowano i prowadzi się prace obejmujące uprawę biomasy energetycznej w Polsce.

Utworzono Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi”. Zorganizowano w 2001 roku w Polsce Międzynarodowe Warsztaty Szkoleniowo-Naukowe, na których jako pierwszych w skali świata tematyką omawianą były: biomasa, metanol i ogniwa paliwowe.

Oprócz uczestników krajowych w Warsztatach uczestniczyli przedstawiciele:

- USA: w osobach dyrektora Instytutu Technologii XXI wieku i dyrektora do spraw rozwoju technologii strategicznych w Gas Technology Institute,
- Australii: twórcy projektu uprawy biomasy w Australii na obszarze 30 mln ha,
- Austrii, Włoch, Holandii, Szwecji oraz Międzynarodowego Instytutu Stosowanej Analizy Systemowej,
- Koncernu *Daimler Chrysler* jako potencjalnego odbiorcy metanolu.

Koncern *Daimler Chrysler* wyraził chęć uczestniczenia we wspólnym przedsięwzięciu z możliwością finansowania.

Powstała propozycja ze strony Australii podjęcia się wspólnej produkcji metanolu za 25-30 lat w ilości 400-500 mln ton/rok, mając na uwadze możliwość uzyskania 200 mld AUD w ciągu 50 lat na rozwój tej produkcji.

Według prof. Babu, dyrektora Gas Technology Institute, po zidentyfikowaniu źródeł finansowania Gas Technology Institute byłby usankcjonowany wejściem organizacyjnym do Konsorcjum. Wyraził także zdanie, że ambasador USA, zabierający głos podczas Warsztatów, mógłby być pomocny w poszukiwaniu źródeł finansowania z odpowiednich agencji Stanów Zjednoczonych.

Jedynym warunkiem Koncernu *Daimler Chrysler*, Australii i Gas Technology Institute uczestnictwa we wspólnej realizacji wyżej wymienionych przedsięwzięć było uzyskanie poparcia politycznego tych przedsięwzięć ze strony polskiego rządu.

W korespondencji Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi” z dnia 15 lipca 2002 poinformowano ówczesnego premiera o istniejącej szansie budowy, przy udziale Polski, sieci partnerskich powiązań produkcji i dystrybucji metanolu, strategicznego paliwa XXI wieku. Nie uzyskano odpowiedzi na wyżej wymienione pismo.

Konsorcjum zorganizowało kolejne Warsztaty Szkoleniowo--Naukowe w latach 2002, 2003 i 2006.

W kwietniu 2004 roku ukazał się Raport Końcowy przygotowany dla Rządu USA przez Uniwersytet we Florydzie, w którym zawarto między innymi następującą konkluzję:
Gdyby rozwiązano zagadnienie neutralności produkcji metanolu wobec środowiska, metanol z węgla kopalnego charakteryzowałby się relatywnie stabilną ceną i przyczyniałby się do niezależności USA przez wiele dziesiątków lat.

Takie rozwiązanie, obejmujące produkcję metanolu z biomasy, węgla przy udziale neutronów o wysokich energiach, którego produkcja i użytkowanie są neutralne wobec efektu cieplarnianego, jest treścią patentu Konsorcjum z dnia 4 lutego 2004 roku.

Proponowany w patencie „Sposób wytwarzania metanolu” może stanowić podstawę dla budowy globalnego systemu energii XXI wieku. W najkorzystniejszym scenariuszu rozwoju koszt produkcji metanolu ocenia się na 22 USD/baryłkę.

W kolejnych latach, począwszy od 2002 roku do 2006, w pismach do odpowiednich instytucji rządowych, w tym do urzędujących premierów, informowaliśmy o szansach rozwoju Polski, jakie powstają w związku z transformacją cywilizacji do *Ekonomii Wodoru*. Brak było odpowiedzi.

W październiku 2007 ukazała się monografia pt. *Paliwa i generatory energii Wspólnot Wodorowych*. W monografii tej przedstawiono Mapę Drogową tworzenia Wspólnot Wodorowych na terenie Polski. Obejmuje ona harmonogram wprowadzania innowacyjnych technologii paliw i energii. Są one postrzegane przede wszystkim z punktu widzenia tworzenia produktu, między innymi jako nośnika wodoru w globalnym systemie energii, oraz wykorzystywania technologii generatorów XXI wieku, co przyczyniałoby się do:

- likwidacji wzrastającego zadłużenia kraju,
- zmniejszania luki ekonomicznej i cywilizacyjnej pomiędzy wsią a miastem,
- uniezależniania kraju od importu ropy, a więc zapewniałoby bezpieczeństwo energetyczne,
- redukcji szkodliwej emisji,
- tworzenia tysięcy nowych miejsc pracy, w tym dla osób wysokokwalifikowanych na obszarach wiejskich.

Pierwszym powodem budowy Wspólnoty Wodorowej na terenach Polski jest perspektywa wzrostu Produktu Krajowego Brutto, dla około 2 milionów osób zatrudnionych w przedsięwzięciu uprawy biomasy i produkcji metanolu, przypadającego na jednego zatrudnionego do poziomu, jaki wynosił w 2005 roku na jednego mieszkańca w USA.

Drugim powodem budowy Wspólnoty Wodorowej jest perspektywa możliwości zaistnienia na przyszłym globalnym rynku metanolu jako paliwa XXI wieku. Wpływy do budżetu Państwa, jako 1/3 wartości sprzedaży, równoważnej obecnym wydatkom budżetu Państwa, stwarzałyby szansę likwidacji w stosunkowo krótkim okresie wydatków związanych z obsługą długu publicznego.

Trzecim powodem budowy Wspólnoty Wodorowej jest to, aby Polska nie pozostawała w tyle, gdy następuje rozwój technologii wodorowej nadchodzącej cywilizacji, w której kapitałem staje się wiedza, a jednym z wyzwań cywilizacji jest zachowanie środowiska dla kolejnych generacji ludności świata.

Przedstawiane uwarunkowania rozwoju zawarte w programie Konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi” stają się nie tylko uwarunkowaniami rozwoju wsi, ale także zagłębi węglowych, przemysłu zlokalizowanego na terenach zurbanizowanych i na obszarach wiejskich, a więc stwarza to rozwój Wspólnot Wodorowych w Polsce.

Dlatego ważne jest ciągle uświadamianie, że żyjemy w epoce narodzin nowej cywilizacji, której instytucje jeszcze się nie uformowały. Podstawą umiejętności polityków i czynnych politycznie obywateli, którzy chcą postępować sensownie, jest więc dziś zdolność do oddzielenia tych propozycji, które mają na celu utrzymanie przy życiu systemu odchodzącego ery cywilizacji przemysłowej, od tych, które mają ułatwić narodziny nowej cywilizacji informatyczno-wodorowej.

Trzeba pamiętać, że era cywilizacji informatyczno-wodorowej będzie wyznaczać życie przyszłych pokoleń. A więc musimy nauczyć się rozpoznawać, a także tworzyć innowacyjność gospodarki wspomnianej ery cywilizacji, bo to będzie wyznaczać standard życia naszych wnuków.

Uwagi końcowe

Ogniwa paliwowe bezpośrednio zasilane metanolem, stosowane jako generatory energii w przenośnych urządzeniach elektronicznych, mogą zastępować baterie w osobistych przenośnych komputerach i telefonach przenośnych. Uzupełniając zbiorniki metanolem zapewniałoby się możliwość ciągłego ich użytkowania.

Firmy *MTI Micro Fuel Cells*, *Samsung* i *Toshiba* zapowiedziały uruchomienie komercyjnej produkcji ogniów paliwowych bezpośrednio zasilanych metanolem w 2009 roku. Ocenia się, że rynek tych ogniów może być wart w 2010 roku nawet 2 mld USD [9,10].

Firmy takie jak: *Ballard*, *MTI Micro Fuel Cells*, *BASF* podpisały wieloletnie porozumienia, w myśl których ma się rozwijać w Japonii, Chinach i Indiach produkcję ogniów paliwowych zasilanych metanolem tworząc rynek bezprzewodowej telekomunikacji, obejmującej przenośne osobiste komputery i przenośne telefony.

Przenośne osobiste komputery mają stanowić nie tylko maszynę do pisania, radio, kino, ale przede wszystkim służyć jako narzędzie pracy stwarzając możliwość połączenia poprzez Internet w każdej chwili i każdym miejscu pobytu na kuli ziemskiej z wszystkimi instytucjami w skali świata.

Obecnie przenośne komputery osobiste, internet, technologie bezprzewodowych generatorów

energii stworzyły system informatyczny, łączący z prędkością światła ponad miliard ludności na kuli ziemskiej.

Pojawia się rynek metanolu, jako nośnika wodoru tych ogniw, którego produkcja i użytkowanie charakteryzowałyby się zerową emisją dwutlenku węgla.

Przypomnijmy, była szansa budowy sieci partnerskich powiązań produkcji i dystrybucji metanolu z udziałem Polski. Przeszkodą w wykorzystaniu tej szansy było brak poparcia politycznego ze strony ówczesnego rządu. Straciliśmy 6 lat. Ale polski patent produkcji metanolu z biomasy, węgla przy udziale mionowo-katalitycznej syntezy jądrowej jest nadal bardzo aktualny.

Nie będzie możliwa budowa gospodarki państwa nowoczesnego, gdy około 38% obywateli kraju stanowi ludność rolnicza, która znajduje utrzymanie na ponad 2 milionach małoobszarowych gospodarstw rolniczych.

Gdyby przyjąć, że w wyniku restrukturyzacji liczba osób aktywnie zatrudnionych w rolnictwie, wynoszących około 10% ludności kraju, miałyby wynosić docelowo 3% ogółu ludności kraju (jak w przypadku Hiszpanii, charakteryzującej się największą liczbą zatrudnionych w rolnictwie w byłych krajach UE-15), wówczas powstałby problem znalezienia pracy na obszarach wiejskich dla około 5 milionów osób, uwzględniając 2 miliony obecnie zarejestrowanych i ukrytych bezrobotnych.

Proponowany rozwój obszarów wiejskich poprzez produkcję metanolu może okazać się jedynym, który nie wymagając restrukturyzacji gospodarstw rolnych, nie tylko wprowadzi na te obszary zatrudnienie dla tak wielkiej liczby bezrobotnych, ale poprzez zrównoważony rozwój będzie czynić gospodarkę państwa nowoczesną, powiększając znacznie udział produktów gospodarki opartej na wiedzy, ponad 1- 2% obecnie wynoszący.

Może stanowić wizję rozwoju kraju, prowadzącą w perspektywie nie tylko do samowystarczalności energetycznej, ale również mogącą przyczynić się do wypracowania odpowiedniego kapitału dla likwidacji ciągle narastającego zadłużenia kraju.

LITERATURA

[1] The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, www.HFPeurope.org.

[2] Project News from Platform Operations, March 18.2008, www.hfpeurope.org/hfp/project-news.

[3] Rifin J.: The Next Phase of European Integration: Will The European Union Lead the Way to the Hydrogen Era and a Third Industrial Revolution?

[4] https://www.htpeurope.org/http/gsa08_press

[5] *Fuel Celi Industry Report*, May 2006, Vol. 7 No.5

[6] *Fuel Cell Industry Report*, October 2006, Vol. 7 No.10

- [7] Fuel Cell Industrial Report, November 2008, Vol. 9 No 11
- [8] Fuel Cell Industrial Report, March 2007, Vol. 8 No 3
- [9] *Fuel Cell Industry Report*, June 2008, Vol. 9 No.6
- [10] *Fuel Cell Industry Report*, July 2008, Vol. 9 No.7
- [11] *Fuel Cell Industry Report*, January 2009, Vol. 10 No.1
- [12] *Fuel Cell Industry Report*, March 2008, V 9 No 3
- [13] *Fuel Cell Industry Report*, April 2008, V 9 No 4
- [14] *Fuel Cell Industry Report*, May 2008, V 9 No 5
- [15] *Fuel Cell Industry Report*, July 2008, V 9 No 7
- [16] *Fuel Cell Industry Report*, September 2008, Vol 9, No 9
- [17] *Fuel Cell Industry Report*, May 2006, Vol. 7 No.5
- [18] Presentation to the International Partnership for the Hydrogen Economy, Icelandic Ministry of Industry and Commerce & Mini-stry for Foreign Affairs, January 2005 accessed 2005-05-14
- [19] Icelandic New Energy - Promoting Hydrogen in Iceland, Iceland New Energy, accessed 21-05-07
- [20] *Fuel Celi Industry Report*, October 2006, Vol. 7 No.10
- [21] www.hydrogenlink.net
- [22] *Fuel Celi Industry Report*, May 2006, Vol. 7 No.5
- [23] *Fuel Cell Industry Report*, August 2008, Vol. 9 No.8
- [24] Ciechanowicz W., Szczukowski S.: Paliwa i Generatory Energii Wspólnot Wodorowych, Oficyna Wydawnicza WIT, Warszawa 2007
- [25] Ciechanowicz W., Szczukowski S.: Wspólnoty Wodorowe - Przyszłość Cywilizacji, Oficyna Wydawnicza WIT, Warszawa 2009