

ELEKTROWNIE CAES

AUTOR: ŁUKASZ DZIERŻANOWSKI

Politechnika Opolska - Wydział Elektrotechniki, Automatyki I Informatyki, Instytut
Elektrowni I Systemów Pomiarowych
email: l.dzierzanowski@po.opole.pl , tel. 606483493

(“Energia Elektryczna” – nr 2-3/2011)

1. WPROWADZENIE

Skala wzrostu mocy elektrowni wiatrowych stworzyła w wielu krajach konieczność poszukiwania nowych rozwiązań technicznych umożliwiających utrzymywanie stabilnej pracy systemu elektroenergetycznego. Losowy charakter produkcji elektrowni wiatrowych, znaczna zmienność generowanej mocy, powodują wzrost zainteresowania technologiami magazynowania (akumulowania) energii.

Obok elektrowni szczytowo-pompowych umożliwiających magazynowanie energii potencjalnej wody rozwija się intensywnie technologia akumulacji energii w sprężonym powietrzu. CAES – *Compressed Air Energy Storage*, osiągnęła dojrzałość technologiczną. Również w polskich warunkach istnieje pilna potrzeba opracowania studium możliwości budowy elektrowni CAES. Aktywne włączenie się Wdo prac prowadzonych w Unii Europejskiej w tym obszarze staje się pilną koniecznością.

2. CZTERY ROZWIĄZANIA CAES

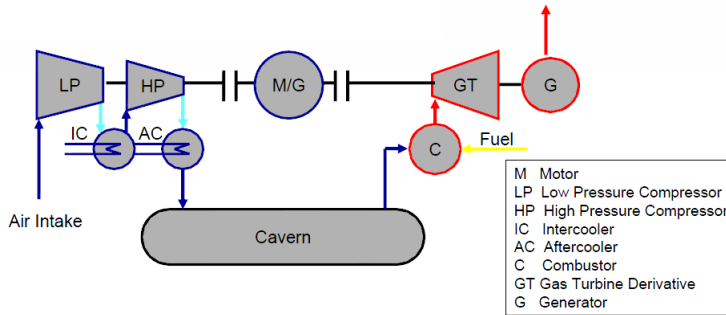
Proces przetwarzania energii mechanicznej na energię potencjalną sprężonego powietrza oraz odwrotny proces uzyskiwania energii mechanicznej przebiegają wg. znanych praw termodynamiki.

W prostym „zwykłym” procesie sprężania powietrza, powstaje ciepło, które jest tracone. Łączna sprawność procesu sprężania i rozprężania odniesiona do energii elektrycznej osiąga wartość ok. 40%. Wykorzystanie gazu ziemnego do podgrzewania powietrza podawanego na turbinę umożliwia regulację mocy wytwarzanej i zwiększenie mocy elektrowni (Rys.1.a.)

Wykorzystanie ciepła odpadowego spalin poprzez zastosowanie rekuperatora, umożliwia osiągnięcie sprawności elektrowni przekraczających 50%. (Rys.1.b)

Magazynowanie ciepła odpadowego powstającego przy sprężaniu powietrza, a następnie jego wykorzystanie do podgrzania powietrza podawanego na turbinę, sprawia, że przemiany termodynamiczne są zbliżone do adiabatycznych, a sama technologia nazywany jest AA-CAES¹. Możliwe jest osiągnięcie sprawności elektrowni przekraczających 60% bez zużywania gazu ziemnego lub oleju opałowego. Rys.1.c.

¹ *Advanced-adiabatic* – (ang. zaawansowany adiabatyczny)



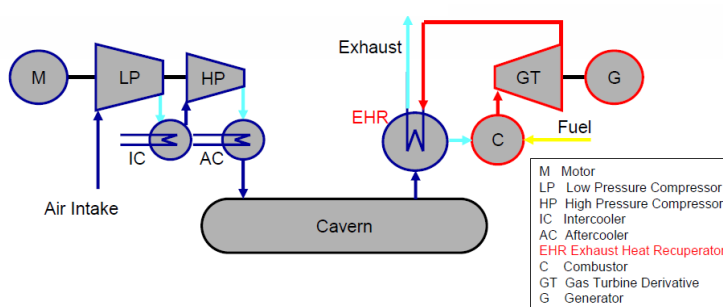
Huntorf

$\eta=42\%$

wejście:
0,83kWh_{el}
1,56kWh_{gaz}

wyjście:
1kWh_{el}

a)



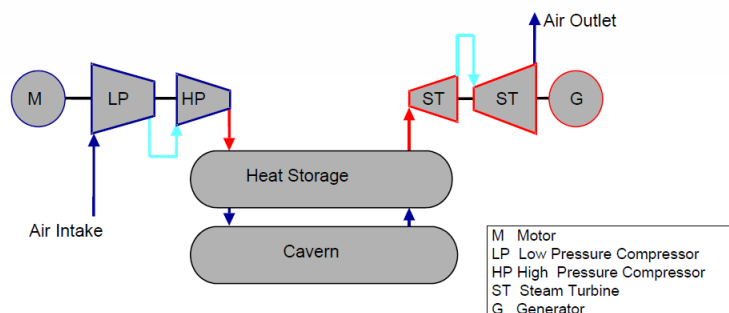
McIntosh

$\eta=54\%$

wejście:
0,69kWh_{el}
1,17kWh_{gaz}

wyjście:
1kWh_e

b)



**AA-CAES
(projekt)**

$\eta=70\%$

wejście:
1,42kWh_{el}

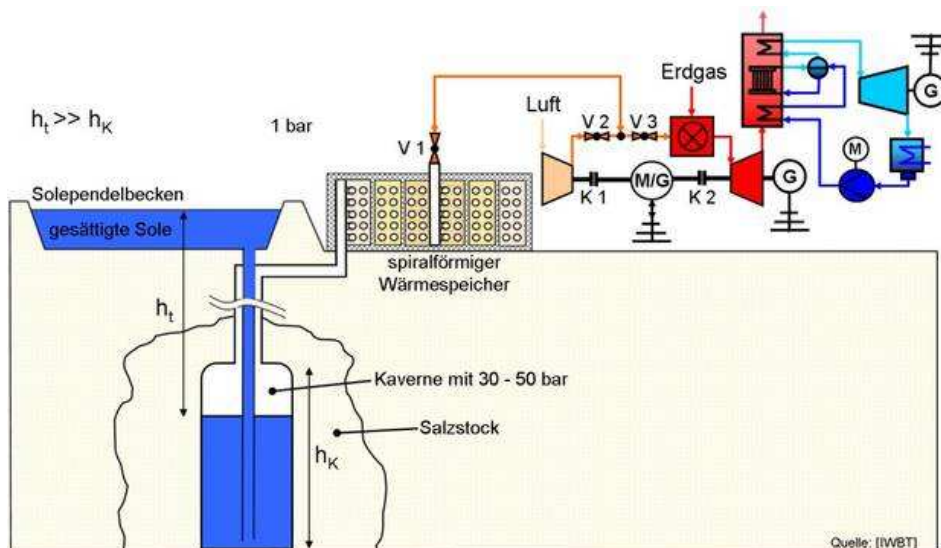
wyjście:
1kWh_e

c)

Rys.1. Różne typy elektrowni CAES [10,14]

- a) zwykły
- b) z rekuperatorem
- c) z magazynem ciepła

Zapewnienie stałego ciśnienia powietrza w zbiorniku podziemnym, np. poprzez ciśnienie hydrostatyczne wody, umożliwiłyby podniesienie sprawności elektrowni do poziomu przekraczającego 70% w wyniku zastosowania obiegu termodynamicznego izobarycznie odizolowanego.



Rys.2. Schemat układu izobarycznego w elektrowni CAES [18]

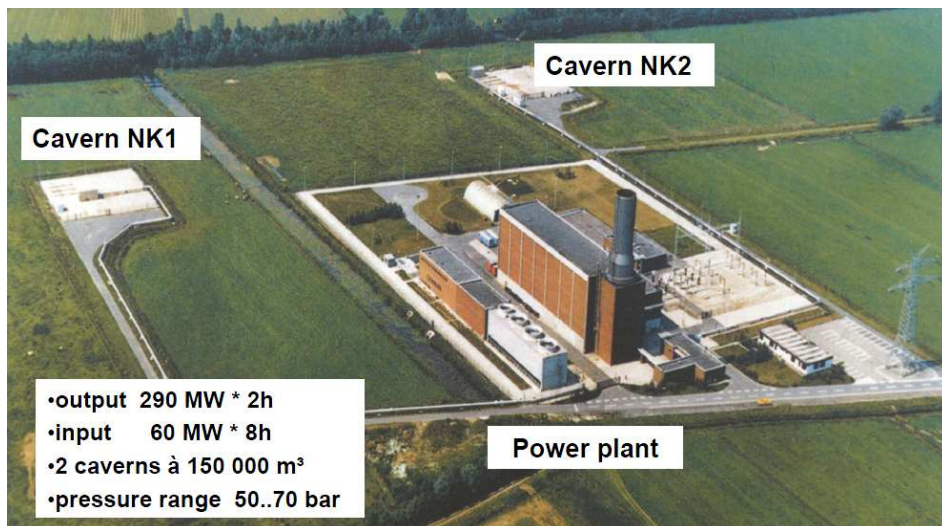
Inny podział może wynikać ze względu na rodzaj magazynu sprężonego powietrza, na który mogą zostać wykorzystane kawerny solne oraz twory geologiczne w piaskowcu, wapieniu i innych skałach.

3. ISTNIEJĄCE ELEKTROWNIE CAES

W chwili obecnej, na świecie pracują jedynie dwie elektrownie wykorzystujące magazynowanie sprężonego powietrza: Huntorf w Niemczech i McIntosh w USA. W latach 90-tych, przez kilka lat we Włoszech pracowała również elektrownia Sesta, o charakterze doświadczalno-rozwojowym [1].

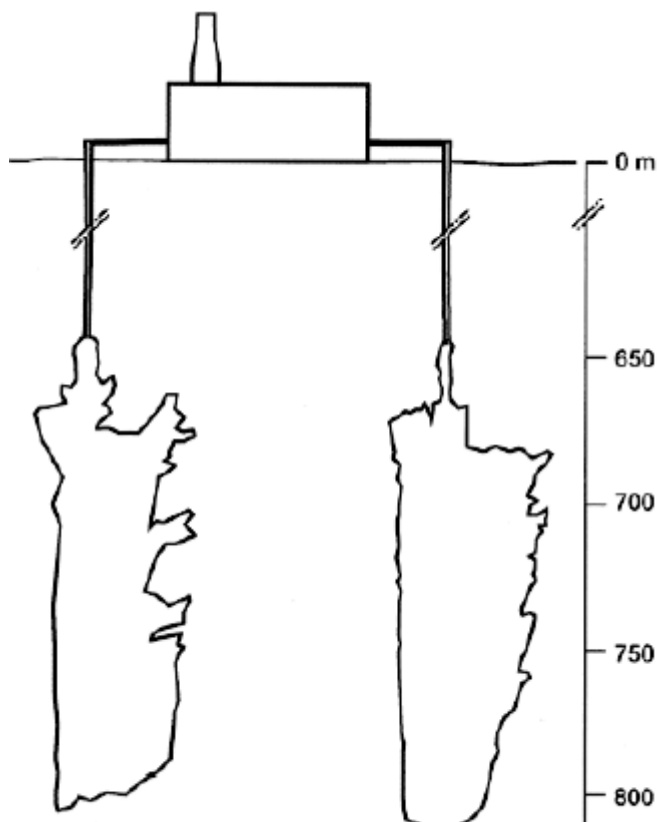
3.1. HUNTORF

W 1978 roku, w okolicach Bremen, w Niemczech ABB zbudowało pierwszą elektrownię typu CAES o mocy 290MW, której zadaniem było zapewnienie black-start'u pobliskiej elektrowni jądrowej oraz dostarczenie taniej mocy szczytowej. Ze względu na swoje pierwotne przeznaczenie, elektrownia została zaprojektowana tak, by oddawać energię przez dwie godziny. W późniejszym czasie dokonano modyfikacji zwiększających ten czas do trzech godzin, co wynikało z rozwoju energetyki wiatrowej w północnych Niemczech [2,3].



Rys. 2. Widok elektrowni Huntorf [6]

Część podziemna elektrowni składa się z dwóch kavern solnych o łącznej objętości ok. 310m³, dla których zakres ciśnienia roboczego mieści się w przedziale 50-70 bar. [4] W elektrowni Huntorf celowo zrezygnowano z rekuperatorów, pomimo, że podniosłoby to sprawność) w celu zminimalizowania czasu rozruchu systemu. [5] Niezawodność elektrowni na przestrzeni 30-letniego czasu pracy wyniosła ok. 99%.



Rys.3. Huntorf: kawerny i elektrowni w tej samej skali [2]

3.2. MCINTOSH

Pomimo sporego zainteresowania technologią CAES wynikającą między innymi z wysokich cen gazu i ropy na początku lat 80-tych [3], kolejna elektrownia powstała dopiero w 1991 roku. Elektrownia o mocy 110MW została zbudowana na terenach kopalni soli w południowo-zachodniej Alabamie w USA.

Powietrze jest sprężane w pojedynczej kawernie o objętości 560 tys. m³ do ciśnienia roboczego na poziomie 45-74bar. Pełna moc może być utrzymywana przez ponad 26 godzin. Rozwiązania technologiczne (parametry pracy, ciśnienia, temperatury itp.), znacznym stopniu wykorzystują doświadczenia elektrowni Huntorf [3], jednakże zastosowano rekuperator ciepła, który umożliwił redukcję zużycia paliwa o ok. 22% oraz komorę spalania na dwa rodzaje paliwa – gaz ziemny i olej opałowy [3, 7].

W początkowej fazie pracy elektrownia była kilkakrotnie wyłączana w związku z istotnymi zmianami dotyczącymi konstrukcyjnymi, które ostatecznie umożliwiły osiągnięcie w późniejszym czasie 99,5% niezawodności [3,8].



Rys. 4. Elektrownia McIntosh [9]

3.3. PORÓWNANIE ELEKTROWNI HUNTORF I MCINTOSH

Dane techniczne obu elektrowni zostały przedstawione w tab. 1.

Tab.1. Porównanie elektrowni Huntorf i McIntosh [3,4,10]

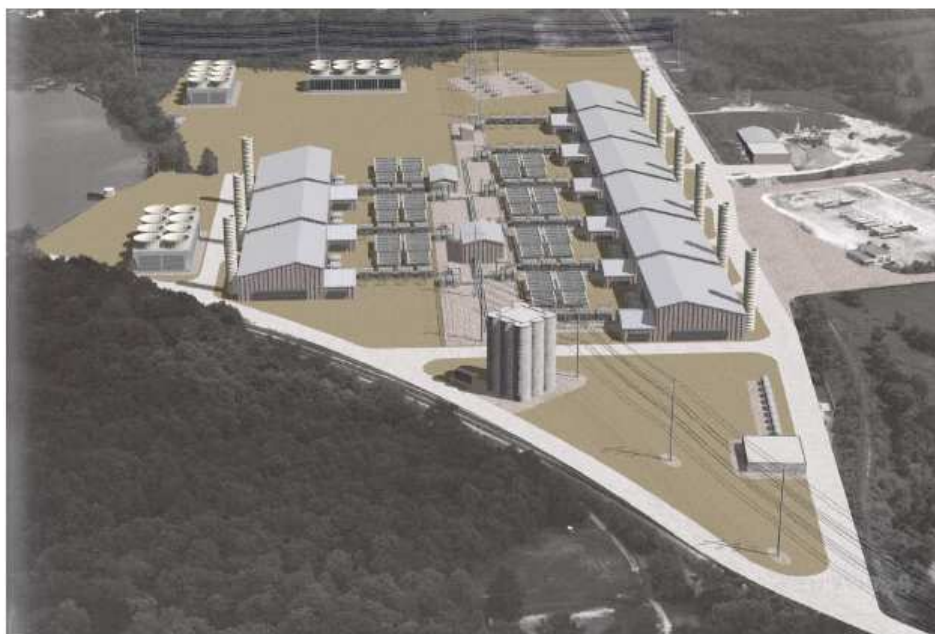
Lokalizacja	Huntorf, Niemcy	McIntosh, USA
Rok uruchomienia	1978	1991
Magazyn spręż. pow. (kawerny solne)	objętość 2x 150 000m ³	538 000 m ³
	głębokość: 600-800m	450-750m
Moc	290MW przez 2h	110MW przez 26h
Sprawność energetyczna	42%	54%
Zapotrzebowanie dla wytworzenia 1kWh _{el}	0,83 kWh _{el} 1,56 kWh _{gaz}	0,69 kWh _{el} 1,17 kWh _{gaz}
Ciśnienia robocze	50-70 bar	45-76 bar
Niezawodność	99%	99,5%
Uwagi	Pierwsza elektrownia CAES	Pierwsza elektrownia CAES z rekuperatorem

4. PROJEKTOWANE ELEKTROWNIE CAES

W ostatniej dekadzie rosło coraz wyraźniej zainteresowanie technologią CAES, w samych Stanach Zjednoczonych w chwili obecnej w fazie projektowej lub wdrożeniowej znajduje się ok. 10 elektrowni, w Europie od 2003 prowadzone są szeroko zakrojone badania nad technologiami pozwalającymi osiągać sprawności na poziomie 70%. Poniżej przedstawiono najważniejsze projekty.

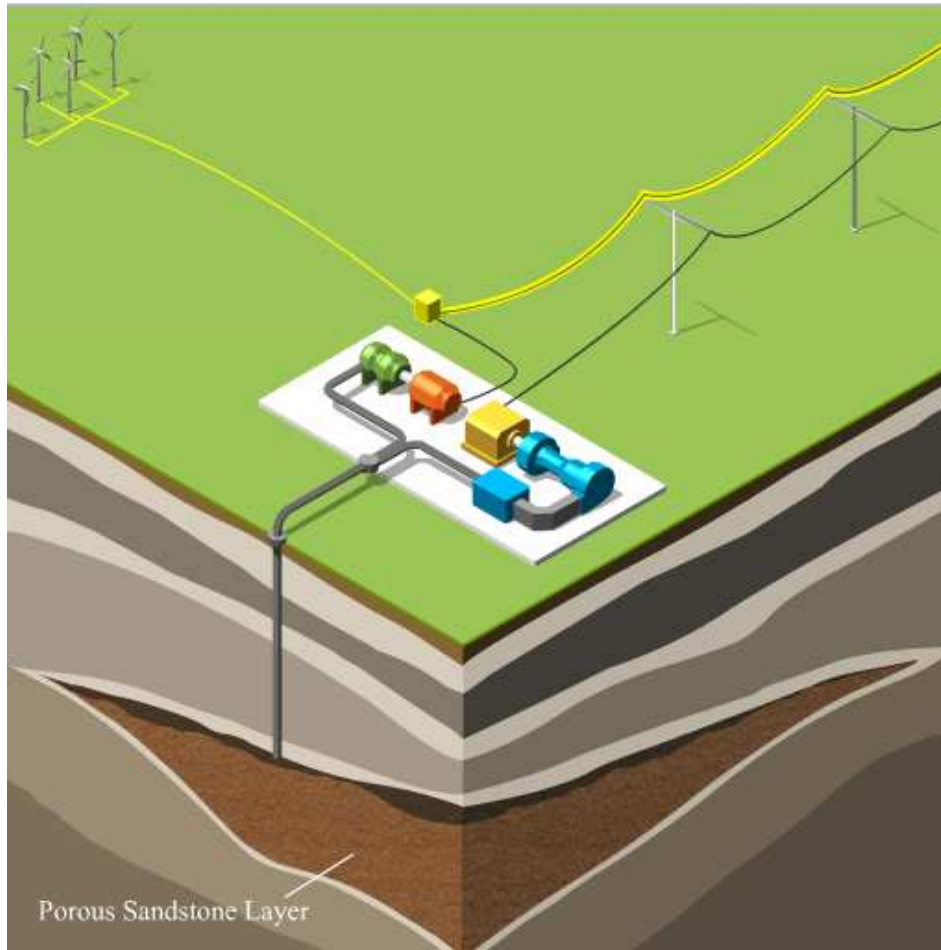
4.1. NORTON

Elektrownia Norton powstaje w USA w stanie Ohio na terenach byłej kopalni wapenia, której zasoby umożliwiają utworzenie magazynów sprężonego powietrza o łącznej objętości ponad 9,5 mln m³. Moc elektrowni miałyby wynosić 800MW, z możliwością rozbudowy do 2700MW. [3,5].

**Rys.5.** Plan elektrowni Norton [3]

4.2. IOWA STORED ENERGY PARK

Elektrownia Iowa Stored Energy Park to zlokalizowana w pobliżu Des Moines, USA, realizacja mająca zostać sfinalizowana w 2011 roku, obejmująca zespół elektrowni CAES o mocy 268MW sprzężonej z farmą wiatrową o mocy 75-100MW. Jako magazyn sprężonego powietrza wykorzystano znajdującą się na głębokości ok. 1km antyklinę² w formacji piaskowca w odległości 150-300km od farmy. [3,12,13]



Rys. 6. Iowa Stored Energy Park [12]

4.3. TEXAS

Trzy czynniki sprawiają, że na terenie Teksasu, USA rozważane są kolejne wdrożenia technologii CAES:

- a) szybko rozwijająca się energetyka wiatrowa,
- b) występowanie kawern solnych, podobnych do tych, które wykorzystano w Huntorf i McIntosh,

² Antyklina, siodło - geologicznie wypukła część fałdu, której wewnątrz zbudowane jest ze skał starszych, na zewnątrz zaś występują skały coraz młodsze. [11]

- c) wąskie gardła w architekturze systemie elektroenergetycznym tego regionu ograniczające dalszy rozwój energetyki wiatrowej.

W chwili obecnej trwają prace nad projektem 540MW elektrowni w Matagorda County (w oparciu o rozwiązanie McIntosh) wraz z prowadzonymi badaniami nad wpływem CAES na zmniejszenie ograniczeń przesyłu energii elektrycznej na obszarze Teksasu, Oklahomy i Nowego Meksyku [3].

4.4. PROJEKT AA-CAES

Potencjalną lokalizacją pierwszej na świecie elektrowni AA-CAES jest region Dolnej Saksonii w Niemczech. Obecnie budowana przez koncern EnBW elektrownia CAES będzie początkowo wykonana w konwencjonalnej technologii, jednak ma posłużyć jako obiekt badawczy w unijnym projekcie „AA-CAES” - zmierzający do opracowania technologii magazynowania energii w sprężonym powietrzu z wykorzystaniem przemian adiabatycznych. W projekt zaangażowane jest zaangażowane w sumie ponad 20 instytutów badawczych i podmiotów gospodarczych, m.in. koncerny: Alstom, E-on, RWE, Züblin AG, Man Turbo, Saint Gobain. W drugiej fazie budowy mają powstać magazyny ciepła umożliwiające bardziej uzyskanie większej sprawności energetycznej.

W chwili w wersji demonstracyjnej gotowe są już wszystkie komponenty systemu AA-CAES, jednak sam system wymaga dalszych prac. Przypuszcza się, że zostaną one ukończone w roku 2012 na skalę demonstracyjną, przemysłowe wdrożenie będzie możliwe prawdopodobnie w 2015 roku. [4,14-17].

5. PODSUMOWANIE

Planowany rozwój elektrowni wiatrowych w Polsce stwarza konieczność podjęcia prac nad magazynowaniem energii.

Elektrownie zawierające CAES osiągnęły dojrzałość techniczną, a ich budowa w Polsce jest możliwa.

Wszystkie elementy składające się z CAES są znane i stosowane w Polsce w przemyśle, a potencjał naukowy i projektowy umożliwia aktywne włączenie się w prace nad tą technologią.

Włączenie polskiego potencjału do prac nad CAES prowadzonych w ramach UE staje się pilną koniecznością.

LITERATURA

- [1] Greenblatt J., Succar S., Denkenberger D., Williams R., Socolow R., *Baseload wind energy: modeling the competition between gas turbines and compressed air energy storage for supplemental generation*. Energy Policy 35, 2007
- [2] CROTOGINO F., MOHMEYER K.U., SCHARF R., *Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful Operation*, Spring 2001 Meeting, Orlando, USA
- [3] SUCCAR S., WILLIAMS R.H., *Compressed Air Energy Storage: Theory, Resources, And Applications For Wind Power*, Princeton Princeton Environmental Institute, Princeton University, 2008
- [4] *Drukluftspeicher-Kraftwerke*, BINE Informationsdienst ProjektInfo 05/07, 2007
- [5] VAN DER LINDEN S., *Review Of CAES Systems Development And Current Innovations That Could Bring Commercialization To Fruition*, Electrical Energy Storage Applications & Technology (EESAT) Conference, San Francisco, Energy Storage Association, 2007.
- [6] CROTOGINO F., *Compressed Air Storage*, Materiały Międzynarodowej Konferencji "Energieautonomie durch Speicherung Erneuerbarer Energien", 30-31.10.2006
- [7] EPRI-DOE, *Handbook of Energy Storage for Transmission and Distribution Applications*, EPRI, DOE, Palo Alto, Washington, DC 2003.
- [8] DAVIS L. SCHAINKER R., *Compressed Air Energy Storage (CAES): Alabama Electric Cooperative McIntosh Plant –Overview and Operational History*, Electricity Storage Association Meeting 2006: Energy Storage in Action Knoxville, Tenn.: Energy Storage Association, 2006.
- [9] DUBOSE H., PowerSouth Energy Cooperation
- [10] *Prospects for Large-Scale Energy Storage in Decarbonised Power Grids*, Working Paper, International Energy Agency, 2009
- [11] ODRZYWOLSKA-BIENKOWA E., *Biostratygrafia osadów młodszego paleogenu z otworu wiertniczego Nowa Wieś (peryklina Żar)*, Kwartalnik Geologiczny, T.34 1990, nr 1, s.167-168
- [12] THE IOWA STORED ENENERGY PARK, <http://www.isepa.com> 01.04.2010
- [13] DALLAS CENTER, Iowa, <http://www.dallascenter.com/dallascenter-coming-iowastoredenergypark.php> 01.04.2010
- [14] Zunft S., *Diabate und Adiabate Druckluftspeicherkraftwerke*, dena-EnergieForum „Druckluftspeicherkraftwerke”, Berlin, 2005
- [15] EUROPEAN WORKSHOP ON ENERGY STORAGE, *Energy Storage: needs and opportunities for dedicated actions at European level*, The Information System of the European Strategic Energy Technology Plan, SETIS, 2010
- [16] ITASSE S., *EnBW realisiert Druckluftspeicherkraftwerk mit 70% Wirkungsgrad*, MaschinenMarkt, das Energie Portal, 13.04.2007
- [17] FINKENRATH M., PAZZI S., D'ERCOLE M., MARQUARDT R., MOSER P., KLAFKI M. ZUNFT S., *Status and Technical Challenges of Advanced Compressed Air Energy Storage (CAES) Technology*, 2009 International Workshop on Environment and Alternative Energy, Monachium 2009.
- [18] Technische Universität Braunschweig, Institut für Wärme- und Brennstofftechnik <http://www.wbt.ing.tu-bs.de/> 01.04.2010