

MAGAZYNOWANIE ENERGII CIEPLNEJ

Opracował
XXXXXXXXXXXX
wydz. mechaniczny zaoczny
sem. VI

Gdańsk 9.11.2002 r.

Spis treści

Wstęp.....	3
Rozdział 1. Techniki i sposoby magazynowania	4
Rozdział 2. Podziemne magazynowanie energii cieplnej	5
2.1. Historia	5
2.2. Materiały.....	6
2.3. Podziemny akumulator energii cieplnej metodą iniekcyjną.....	7
2.4. Wykorzystanie magazynowania ciepła w gruncie metodą iniekcyjną.....	8
2.5. Magazynowanie energii cieplnej poprzez ogrzanie gruntu	9
2.6. Magazyny skalne	13
Rozdział 3. Magazynowanie energii cieplnej w zbiornikach wodnych	14
Rozdział 4. Wykorzystanie ciepła przemian fazowych.....	15
Rozdział 5. Wykorzystanie reakcji chemicznych.....	15
Rozdział 6. Wodór.....	16
6.1. Uzyskiwanie wodoru	16
6.2. Wady i zalety wodoru.....	17
6.3. Magazynowanie wodoru.....	17
Podsumowanie.....	18
Spis tabel	19
Spis rysunków	19
Spis zdjęć.....	19
Bibliografia.....	20

Wstęp

Terminem energia odnawialna określa się energie pozyskiwaną ze źródeł niewyczerpalnych, w odróżnieniu od paliw kopalnych. Pierwotnym źródłem wszystkich rodzajów energii jest promieniowanie słońca. Jego energia może być przetwarzana bezpośrednio w ciepło w kolektorach wodnych i powietrznych oraz w prąd w ogniach fotowoltanicznych. Może też być wykorzystywana pośrednio jako energia wiatru, wody i energia biomasy, czyli energia wbudowana w substancje organiczne. W niektórych krajach do odnawialnych źródeł energii zalicza się także ciepło ziemi i torf. Korzystanie z energii słońca wody i wiatru nie powoduje żadnych zanieczyszczeń środowiska a także jest praktycznie niewyczerpalna. Właśnie z tego powodu planuje się wzrost jej udziału w Polsce do 14% w ogólnym bilansie energetycznym do roku 2020¹.

Największe kłopoty przy praktycznym wykorzystaniu energii słonecznej powoduje zmienna w czasie intensywność promieniowania. Produkcja energii w siłowniach wiatrowych uzależniona jest od zmiennej prędkości wiatru.

W obu wypadkach występuje więc niezgodność w czasie pomiędzy zapotrzebowaniem na energię a możliwościami jej pozyskiwania. Jest ona widoczna zarówno w krótkich okresach (doba, tydzień), jak i w dłuższych (miesiąc, rok). Wzajemne dopasowanie źródła energii o losowo zmiennej wydajności do odbiornika losowo zmieniającego swoje zapotrzebowanie na energię - to właściwie problem magazynowania energii. Energię ze źródeł niekonwencjonalnych magazynuje się m.in. za pomocą: wykorzystania ciepła właściwego, ciepła przemian fazowych, ciepła przemian chemicznych i fotochemicznych itp. Zostaną one pokrótce omówione.

¹ Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2020 przyjęty w dniu 22 lutego 2000r. przez Radę Ministrów

Rozdział 1. Techniki i sposoby magazynowania

Czas magazynowania energii uzależniony jest głównie od zapotrzebowania oraz od sposobu jej pozyskiwania. Rozróżnia się magazynowanie krótko i długo terminowe.

Magazynowanie energii o charakterze krótkoterminowym jest powszechnie stosowane. Przykładem mogą być domowe bojlerki na ciepłą wodę. Magazynowanie krótkoterminowe umożliwia stosowanie systemów o mniejszej maksymalnej mocy zainstalowanej. Jednocześnie dzięki możliwości magazynowania energii, można korzystać z tańszej energii, np. w taryfie nocnej.

Stosowanie długoterminowego magazynowania ciepła, a szczególnie sezonowego, (które jest najdłużej trwającą formą magazynowania), jest obecnie znacznie mniej popularne. Powodem tej sytuacji nie jest mały potencjał techniczny ciepła, nadającego się do długoterminowej akumulacji, a wręcz odwrotnie w okresie lata istnieją duże nadwyżki niewykorzystanego ciepła, a w zimie chłodu. Rzeczywiste wykorzystanie i zmagazynowanie tych nad wyżyk jest ograniczone z reguły czynnikami ekonomicznymi, a w mniejszym stopniu trudnościami technicznymi². Okres ostatnich kilkunastu lat, to okres rozwoju różnorodnych form magazynowania energii. Okazało się, że rozwój poszczególnych technik magazynowania zależy przede wszystkim od lokalnych warunków.

Tabela 1. Ocena możliwości stosowania magazynów energii³

Sposób magazynowania energii	Ekonomiczne uzasadniona pojemność układu [GJ]			Okres magazynowania			
	0÷36	36÷360	> 360	godziny	Dzień	miesiąc	sezonowo (pory roku)
Koła zamachowe	1		0	1	1		0
Elektrownie pompowe	0	1	1	0	1	1	1
Sprężone powietrze		1	1	1	1		0
Układy elektromagnetyczne	1	1		1	1	0	0
Elektrochemiczne (ogniwa drugiego rodzaju)	1	1	0	1	1	1	0
Produkcja wodoru	0	1	1	1	1	1	1
Odwracalne reakcje chemiczne		1	1	0	1	1	1
Przemiany fazowe	1	1	0	1	1		0
Ogrzewanie wody	1	1	1	1	1	1	1
Złoża naturalne (grunt, skały, woda)	1	1	1	1	1	1	1
Złoża sztuczne	1	1	0	1	1		0

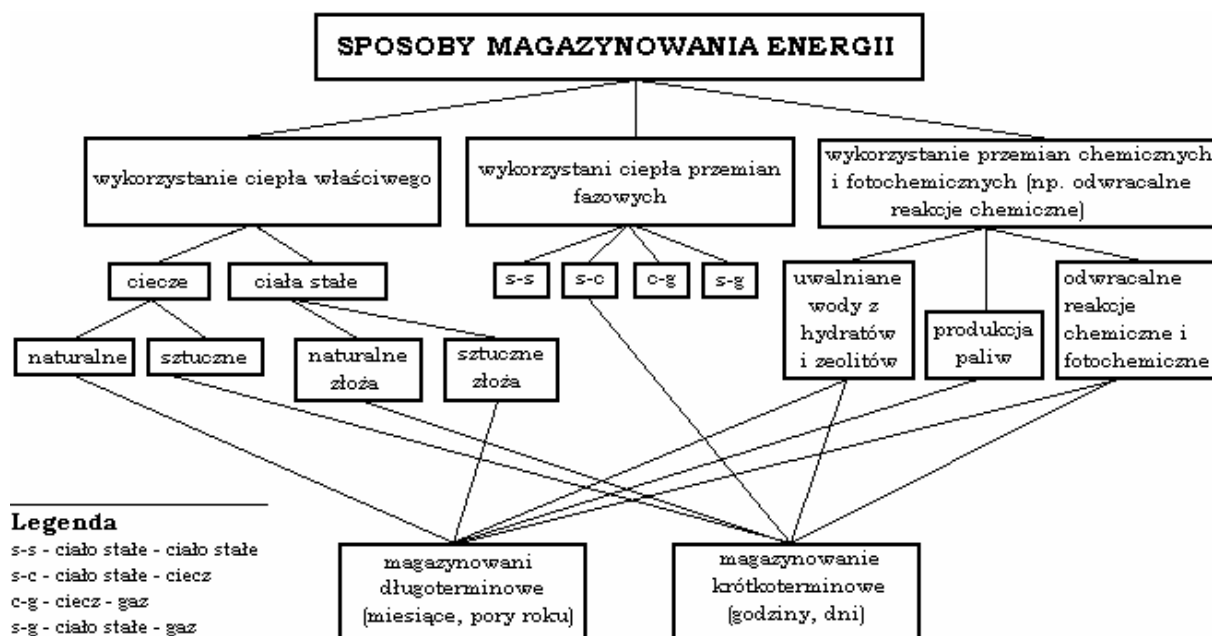
1 – tak, 0 - nie

² D. Chwieduk, Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 1/1998 s. 30

³ R. Domański, Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990, s. 182

Tylko część ww. reakcji przechowuje energię cieplną w czystej postaci. Pozostałe (takie jak np. produkcja wodoru) przechowują energię cieplną po pewnej „obróbce”.

Najprostszy podział sposobów magazynowania energii cieplnej przedstawiono na poniższym schemacie⁴.



Rysunek 1. Schematyczny podział sposobów magazynowania energii cieplnej i możliwości realizacji różnych typów magazynów.

Rozdział 2. Podziemne magazynowanie energii cieplnej

2.1. Historia

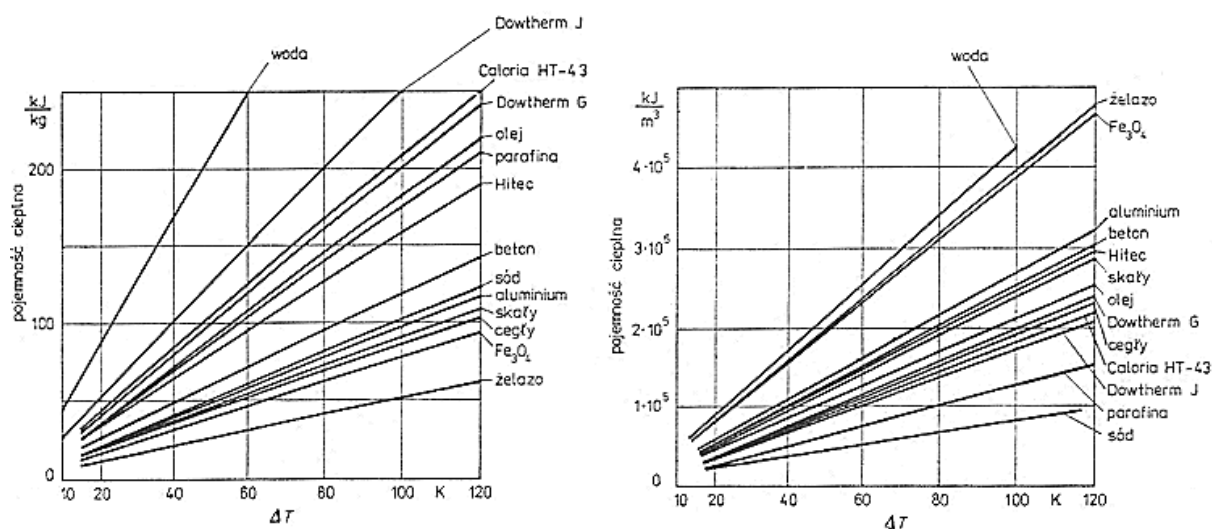
Początek był niemal przypadkowy. W 1963 r. w Chinach przeprowadzono kilka eksperymentów ze sztucznym zasilaniem warstwy wodonośnej, aby zapobiec nadmiernemu obniżaniu się zwierciadła wód podziemnych. Zimą pompowano wodę do istniejących studni i czerpano ją w lecie, w okresie największego zapotrzebowania. Przy okazji mierzono temperaturę wody dostarczanej do studni i wypompowywanej w lecie. Okazało się, że

⁴ R. Domański, Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990, s. 43

podczas kilkumiesięcznego magazynowania w gruncie, temperatura wody niewiele się zmieniła. Czerpana w lecie woda była zimna i nadawała się do klimatyzacji. Wykonano więc kolejne doświadczenia z magazynowaniem zimnej wody. W 1965 r. w Szanghaju w 127 zakładach przemysłowych wprowadzono zimną wodę do gruntu, a w sezonie letnim to samo uczyniono z ciepłą wodą. Pomyślne wyniki pierwszych eksperymentów sprawiły, że obecnie w Chinach ta technologia stosowana jest na dużą skalę. Według publikowanych danych, tylko w Szanghaju w 1980 r. wprowadzono do warstwy wodonośnej około 15 mln m³ wody zimnej i około 5 mln m³ wody gorącej.

2.2. Materiały

W układach magazynujących ciepło stosuje się różne materiały magazynujące. Właściwy ich dobór umożliwiłby znaczne zmniejszenie wielkości magazynu, gdyż różna jest pojemność cieplna materiałów. Ma to istotny wpływ zwłaszcza przy długoterminowym magazynowaniu w złożach naturalnych. Na poniższych wykresach przedstawiono pojemność cieplną wybranych typowych materiałów w funkcji przyrostu temperatury⁵.

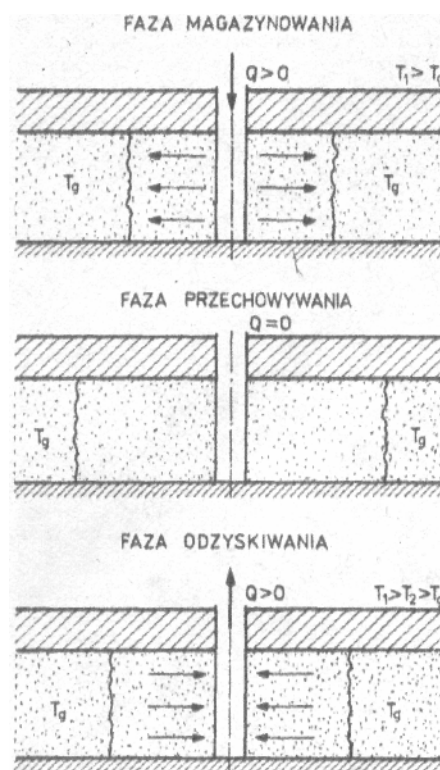


Rysunek 2. Pojemność cieplna wybranych materiałów (cieczy i ciał stałych)

⁵ R. Domański, Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990, s. 45

2.3. Podziemny akumulator energii cieplnej metodą iniekcijną

Jest to zwykła studnia, do której wtłacza się pod ciśnieniem wodę podgrzaną, a po pewnym czasie wypompowuje się ją i wykorzystuje do ogrzewania. Na rysunku obok przedstawiono schematycznie cykl roboczy akumulatora. W cyklu pracy można wyróżnić umownie trzy fazy: magazynowanie (iniekcja gorącej wody), przechowywanie i odzyskiwanie energii (czerpanie gorącej wody). W pierwszej fazie gorąca woda przenika do warstwy wodonośnej wokół studni, wypierając wodę zimną. W fazie przechowywania wody podziemne pozostają w spoczynku, natomiast w ostatniej fazie pompuje się gorącą wodę z warstwy wodonośnej. We wszystkich trzech fazach występują straty ciepła. Energia przenika do warstw położonych niżej, w stronę powierzchni terenu oraz w kierunku poziomym. Gorąca woda miesza się z zimną, wypełniającą pory gruntu, w wyniku zjawiska dyspersji hydrodynamicznej.



Straty energii można ograniczyć dobierając odpowiednio parametry procesu magazynowania (temperatura wody iniekowanej, wydatek iniekcji i pompowania, czas trwania iniekcji i pompowania itp.) i wymiary akumulatora. Warstwa wodonośna powinna być przykryta z góry warstwą gruntu nieprzepuszczalną dla wody np. gliną. Zapobiega to mieszanemu się wód podgrzanych z chłodniejszymi wodami opadowymi.

Tabela 2 Dane z pierwszego cyklu eksperymentów magazynowania energii cieplnej⁶

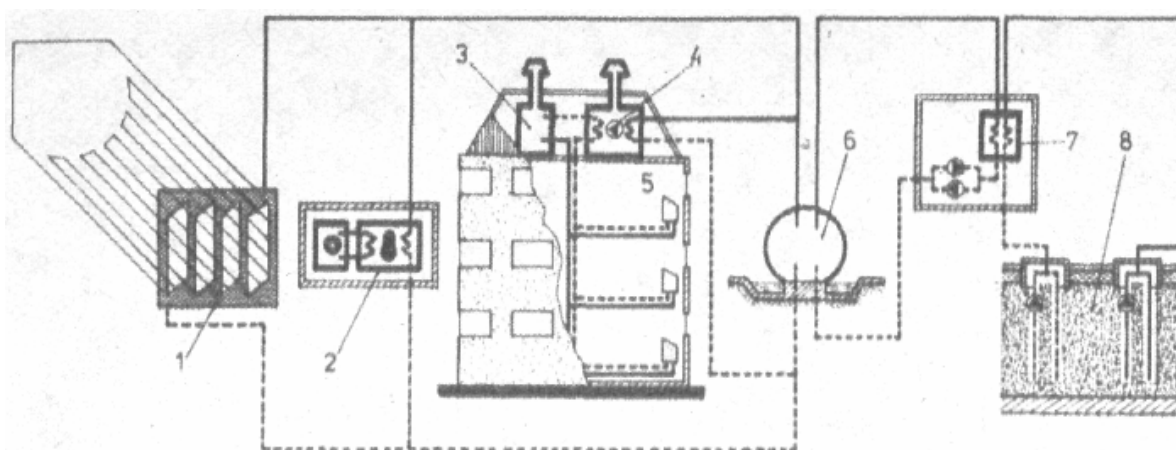
Miejsce eksperymentu (rok)	Temperatura wody gruntowej	Temperatura wody iniekowanej	Objętość wody iniekowanej	Okres iniekcji	Określenie przechowywania	Objętość wody wypompowanej	Współczynnik odzysku
	°C	°C	m ³	dość	dni	m ³	%
Uniwersytet Neuchatel, Szwajcaria (1974)	11	61	494	9	122	16370	40
Bonnaut, Francja (1976-1977)	12	40	1400	20	122	3000	30
Campugat Exp, Gard, Francja (1977-1978)	14	33,5	20200	88	42	17000	20
Uniwersytet Autum, Stany Zjednoczone (1976)	20	36,4	7688	17	44	14260	68
Uniwersytet Auburn, Stany Zjednoczone (1978-1979)	20	55	57784	80	51	55348	66
Yamagata Basin, Japonia (1977-1978)	16	23,7	8843	64	96	9930	40

⁶ Andrzej Wita, Ciepło z pod ziemi, Horyzonty Techniki, 1987 nr 7, s. 6

2.4. Wykorzystanie magazynowania ciepła w gruncie metodą iniekcijną

Jeden z ciekawszych systemów zaprojektowano do ogrzewania 180 budynków w miejscowości Bethel na Alasce. Źródłem energii dla systemu jest układ chłodzenia silników Diesla miejscowej elektrowni o mocy 10,5 MW. Warstwa wodonośna, w której odbywa się magazynowanie, znajduje się pod strefą wiecznej zmarzliny, na głębokości ok. 150 m. W projekcie przewidziano odwiercenie czterech studni pracujących po dwie w tzw. dubletach (rys. 3). W fazie magazynowania woda pobierana jest z pierwszej studni (zimnej), ogrzewana na powierzchni i iniekowana do drugiej studni (gorącej). W fazie odzysku energii następuje odwrócenie kierunku przepływu wody, Ciepła woda czerpana jest ze studni gorącej i po odebraniu z niej energii w systemie wymienników, woda już schłodzona iniekowana jest do studni zimnej. Temperatura iniekowanej wody w Bethel będzie wynosiła 85°C. Na uwagę zasługuje zagospodarowanie energii odpadowej, która byłaby bezpowrotnie stracona. Wstępna analiza ekonomiczna wykazała, że dzięki zastosowaniu podziemnego magazynowania i wykorzystaniu energii odpadowej, całkowity koszt ogrzewania budynków obniży się do 1/3.

Inny bardzo interesujący projekt zrealizowano w miejscowości Bunnik w Holandii. Do systemu ogrzewania budynków biurowych o powierzchni użytkowej ok. 9000 m², włączono sezonowy podziemny akumulator energii cieplnej, pracujący jako dublet, oraz kulisty zbiornik wyrównawczy, służący do magazynowania krótkoterminowego. Roczne zapotrzebowanie na energię całego zespołu budynków wynosi 660 MWh, Uzupełniającymi źródłami energii dla systemu są kolektory słoneczne umieszczone na dachach trzech budynków oraz instalacja klimatyzacyjna ośrodka komputerowego. Łączna powierzchnia kolektorów wynosi 450 m². Są one w stanie podgrzać przepływającą przez nie wodę do temperatury 25°C i dostarczyć w ciągu roku 285 MWh energii cieplnej, z klimatyzacji uzyskuje się rocznie ok. 95 MWh energii cieplnej. Całość została zmagazynowana w warstwie wodonośnej w ilości 15 tyś. m³ wody w temperaturze 30°C.



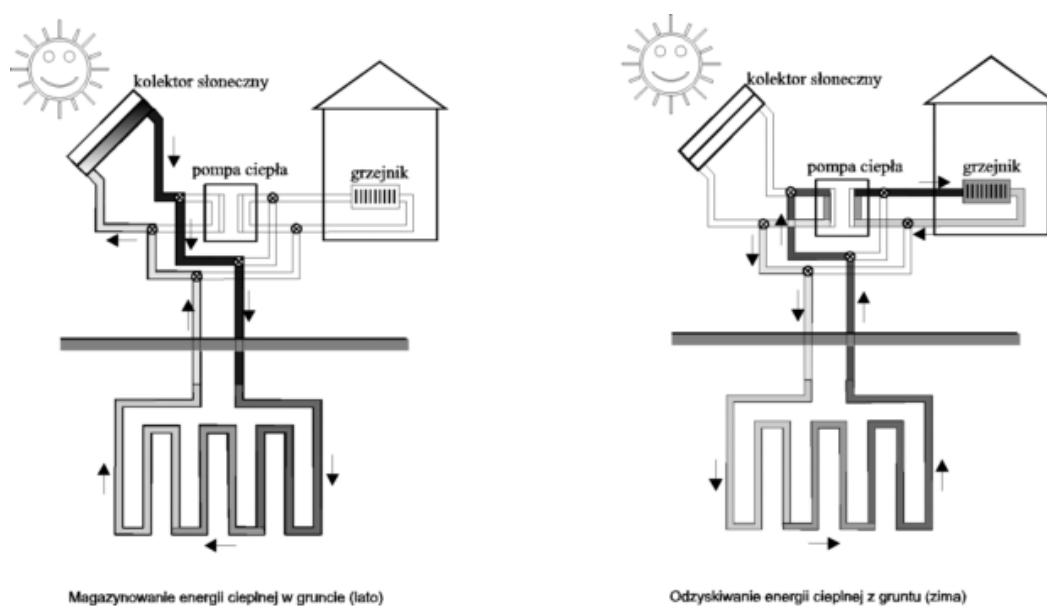
Rysunek 3. Schemat systemu ogrzewania osiedla Bunnik

Opis

- 1 – kolektory słoneczne
- 2 – odzyskiwanie ciepła z ośrodka komputerowego
- 3 – bojler
- 4 – pompa ciepła
- 5 – odbiornik ciepła
- 6 – zbiornik krótkoterminowy
- 7 – wymiennik ciepła
- 8 – dubletowy zbiornik energii cieplnej długoterminowej

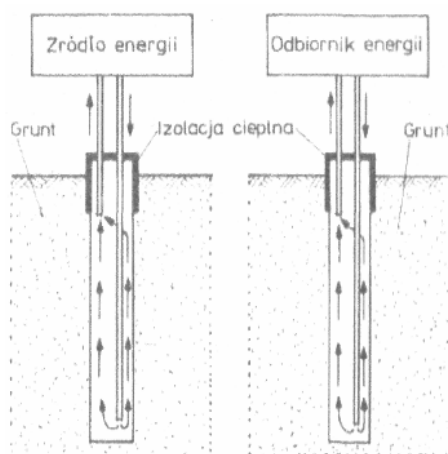
2.5. Magazynowanie energii cieplnej poprzez ogrzanie gruntu

Akumulator energii działający według zasady iniekcja - pompowanie ma jedną podstawową wadę — nie wszędzie można go zastosować. Co zrobić, gdy zamiast warstwy wodonośnej jest grunt słabo przepuszczalny dla wody, np. glina lub lita skała? Próbuje się wtedy ogrzewać grunt za pomocą umieszczonych w nim wymienników.

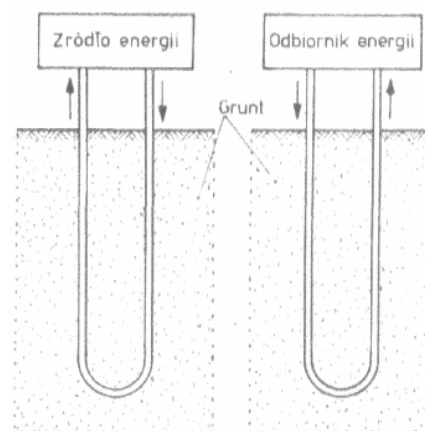


Rysunek 4. Schemat magazynowania i odzyskiwania ciepła z gruntu

Na poniższych rysunkach przedstawiono dwa typy pionowych wymienników: koncentryczny i w kształcie litery „U”.



Rysunek 5. Schemat działania pionowego koncentrycznego wymiennika ciepła



Rysunek 6. Schemat działania wymiennika typu "U"

Gorąca woda przepływając przez wymiennik ogrzewa otaczający go grunt równocześnie oziębiając się. W fazie odzysku do wymiennika tłoczy się zimną wodę, która podgrzewa się odbierając ciepło z otoczenia. Pojedynczy wymiennik jest mało efektywny, ale akumulator składający się z kilkuset gęsto upakowanych wymienników może osiągnąć współczynnik odzysku energii w cyklu rocznym równy 70 - 80%. Najbardziej znany eksperymentalny system wykorzystujący pionowe wymienniki zbudowany został w Groningen w Holandii, Zbudowano tam osiedle 100 domków z sezonowym magazynowaniem energii słonecznej, Każdy z domków ma zainstalowane na dachu kolektory słoneczne o powierzchni 25 m². Osiedle zostało zbudowane na gruncie piaszczystym z przewarstwieniami torfu i gliny, co zdecydowało o zastosowaniu akumulatora z pionowymi wymiennikami. Energia cieplna uzyskana z kolektorów przekazywana jest do centralnie położonego akumulatora w postaci walca o średnicy 33 m i głębokości 20 m. Wewnątrz umieszczono kilkaset wymienników w kształcie litery „U”, wykonanych z rur polibutanowych o wewnętrznej średnicy 16 mm, a zewnętrznej 20 mm, Aby zmniejszyć straty energii w kierunku powierzchni terenu, ułożono nad akumulatorem warstwę pianki szklanej grubości 0,1 m, a nad nią warstwę gliny grubości 0,4 m, która zapobiega przenikaniu wód opadowych. Badania potwierdzają prognozowaną sprawność magazynowania (ok. 75%).

W Polsce również przeprowadzane są eksperymenty z magazynowaniem energii w gruncie. W ramach projektu wykonano prototypową instalację grzewczą dla budynku laboratoryjnego Stacji Badawczej Zakładu Geotechniki IMGW w Borowej Górze koło Serocka. Instalacja składa się z kolektorów słonecznych, gruntowego akumulatora energii, pompy ciepła i grzejników. W chwili obecnej instalacja ta służy do ogrzewania połowy budynku laboratoryjnego a w przyszłości przewiduje się jej rozszerzenie na pozostałą część budynku. Instalacja jest monitorowana za pomocą systemu komputerowego oraz wykonywane są codzienne odczyty z ciepłomierzy klasycznych.

Akumulator gruntowy. Składa się z czterech sekcji każda po 12 wymienników pionowych o średnicy 2" i długości 21 m ($21\text{m} \times 12 = 252\text{ m}$ dla każdej sekcji). Wymienniki rozmieszczono w regularnej siarce kwadratowej o boku 4 m. Łączna długość wymienników (48 sztuk) wynosi 1008 m zaś objętość akumulatora (gruntu) około 16500 m^3 . Połączenia hydrauliczne wymienników wykonano za pomocą rur preizolowanych. Kolektory słoneczne. W systemie zastosowano 22 kolektory słoneczne o powierzchni łącznej $62,92\text{ m}^2$ (22 sztuki po $2,86\text{ m}^2$ powierzchni aktywnej każdy). Rozmieszczono je w dwóch rzędach jak na zdjęciu.

Budynek laboratoryjny. Parterowy, wolnostojący niepodpiwniczony. Powierzchnia całkowita 340 m^2 , powierzchnia ścian zewnętrznych 252 m^2 .

System grzewczy. Przed uruchomieniem instalacji prototypowej budynek ogrzewany był za pomocą kotłowni z piecem gazowym o mocy nominalnej 28 kW, zainstalowane były tradycyjne grzejniki żeliwne a woda w centralnym ogrzewaniu rozprowadzana była rurami stalowymi. W trakcie realizacji projektu w połowie budynku wykonano instalację CO z zastosowaniem nowoczesnych grzejników konwektorowych i przewodów miedzianych. Poprawiono także warunki cieplne budynku zmniejszając o około 25 % powierzchnię okien⁷.

⁷ Określenie efektywności ekologicznego systemu ogrzewania wykorzystującego magazynowanie energii cieplnej w gruncie; Projekt badawczy wykonany w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministerstwa Środowiska; <http://www.otkz.pol.pl>



Zdjęcie 1 Połączenia hydrauliczne wymienników



Zdjęcie 2 Widok powierzchni akumulatora po zakończeniu prac ziemnych

2.6. Magazyny skalne

Magazyny skalne, definiuje się jako duże masy skał podziemnych z wydrążonymi w nich otworami, z reguły pionowymi lub czasem nachylonymi pod kątem, w których cyrkuluje czynnik transportujący ciepło. Najbardziej rozpowszechnioną formą magazynów skalnych są systemy otworów pionowych. Mogą one być dwóch typów:

1. systemy otwarte,
2. systemy zamknięte.

Systemy otwarte z koncentryczną wewnętrzną rurą są względnie prostym rozwiązaniem. W wydrążony otwór w skale wprowadza się do środka plastikową rurę, do której od góry wpompowywany jest czynnik roboczy. Część otworu między rurą a ścianami otworu skalnego stanowi zewnętrzny koncentryczny kanał, którym do góry przepływa wypompowywany czynnik roboczy. Podstawową zaletą systemu otwartego jest bezpośredni kontakt czynnika transportującego ciepło ze skalną ścianą wydrążonego otworu, co stwarza bardzo dobre warunki do bezpośredniej wymiany ciepła między dwoma ośrodkami, skałą i czynnikiem roboczym.

Niestety często warunki geohydrologiczne i geochemiczne nie pozwalają na stosowanie systemów otwartych. Wtedy najczęściej stosowaną alternatywną formą wymiennika ciepła

jest system zamknięty w postaci jednego, lub ewentualnie większej liczby plastikowych elementów rurowych o kształcie U-rury wprowadzanych w wydrążone otwory. Wymiana ciepła między czynnikiem transportującym ciepło a skalnym czynnikiem magazynującym odbywa się przez plastikowy materiał ścianki rury, a także przez ośrodek wypełniający pozostałą przestrzeń otworu, którym przeważnie jest woda.

Taka forma systemu może być zawsze stosowana w czynniku skalnym, ale warunki wymiany ciepła są gorsze niż w systemie otwartym.

Głębokość usytuowania wydrążonych w skale otworów wynosi przeważnie od 40 do 150 m, a ich średnica jest w granicach $0,10 \div 0,15$ m. Odległość między poszczególnymi otworami powinna wynosić 4 metry⁸.

Rozdział 3. Magazynowanie energii cieplnej w zbiornikach⁹

Zbiorniki magazynujące energię cieplną mogą być wodne i gazowe. Zbiorniki wodne można podzielić na naziemne i podziemne.

Przykładem magazynowania energii cieplnej w zbiorniku wodnym podziemnym jest naturalny zbiornik skalny o pojemności $V = 100\ 000\ \text{m}^3$ (średnica 75 m, wysokość 30 m), znajdujący się w Lyckebo (Szwecja). Wodę w tym zbiorniku ogrzewają w lecie do temperatury $40 \div 90^\circ\text{C}$ kolektory słoneczne o pow. $4300\ \text{m}^2$. W zimie zgromadzona energia dostarczana jest do 550 domów. W instalacji oprócz kolektorów słonecznych i wymienników ciepła znajdują się dodatkowo pompy ciepła.

Przykład zbiornika naziemnego to zbiornik o pojemności $30\ 000\ \text{m}^3$ w Uppsali (Szwecja), czy $3000\ \text{m}^3$ w Harlev (Dania). Układ kolektorów o powierzchni kilku tysięcy metrów kwadratowych wypełnionych wodą z dodatkiem substancji niezamarzającej może być jednocześnie magazynem ciepła (System Ry Varnevarck - $3000\ \text{m}^2$ zasilający 1300 domów). W polskich warunkach klimatycznych, w zbiorniku o pojemności $50 \div 60\ \text{l/m}^2$ powierzchni kolektora, można w ciągu 6 miesięcy letnich zgromadzić tyle ciepła, że wystarczy ono na pokrycie ok. 90% całkowitego zapotrzebowania na ciepłą wodę.

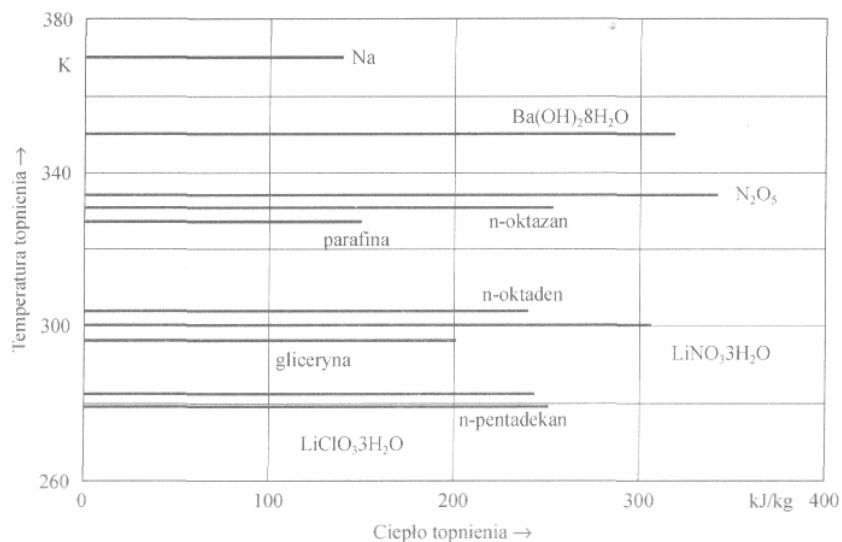
Podziemne zbiorniki gazowe są trudne w realizacji, gdyż muszą być zlokalizowane w warstwach, które nie przepuszczają gazu, lub nie wchodzi z nim w reakcję.

⁸ D. Chwieduk, Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 1998 nr 1, s. 33-34

⁹ Rozdział oparto na podstawie: W. M. Lewandowski, Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Warszawa, WNT 2002r.

Rozdział 4. Wykorzystanie ciepła przemian fazowych

Przemiany fazowe takie jak: topnienie - krzepnięcie, krystalizacja - rozpuszczanie, sublimacja - desublimacja, parowanie - skraplanie, wrzenie - kondensacja oraz zmiany struktur krystalicznych przebiegają z pobraniem lub oddaniem ciepła. W metodach magazynowania ciepła wykorzystuje się wiele związków lub pierwiastków, a właściwy dobór zależy od ich: toksyczności, palności, ceny, temperatury przemiany i trwałości. Ciepła topnienia i temperatury topnienia niektórych z nich zestawiono w postaci wykresów.



Rysunek 7. Ciepła topnienia związków niskotemperaturowych

Zaletami układów korzystających z ciepła topnienia jest ich duża pojemność cieplna odniesiona do jednostki masy, niemal stała temperatura w jakiej oddają i pobierają ciepło, a także możliwość doboru temperatury przemiany do warunków pracy źródła.

Istotnym problemem tego sposobu magazynowania energii cieplnej jest uzyskanie stabilności właściwości cieplnych w kolejnych cyklach ładowania i rozładowania, wiele materiałów ulega bowiem dekompozycji lub segregacji, a ich pojemność może maleć nawet do 40% pojemności początkowej po kilkudziesięciu cyklach. W materiałach mogą występować przegrzania i przechłodzenia. Wymaga to praktycznie wykonania prawie dla każdego materiału badań eksperymentalnych i w wielu przypadkach poszukiwania dodatków stabilizujących.¹⁰

Rozdział 5. Wykorzystanie reakcji chemicznych

Podczas przebiegu reakcji chemicznych może wydzielać się ciepło (reakcje egzotermiczne) lub też do ich przebiegu konieczne jest doprowadzenie ciepła (reakcje endotermiczne). W

¹⁰ R. Domański, Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990, s. 48

przypadku, gdy są to reakcje odwracalne, mogą być one wykorzystane do magazynowania ciepła. Zmiany entalpii podczas reakcji są większe niż podczas przemian fazowych, stąd i większe możliwości magazynowania ciepła. Przykładowe reakcje, które można wykorzystać do magazynowania energii cieplnej zebrano w poniższej tabeli.

Tabela 3 Reakcje odwracalne stosowane do magazynowania ciepła

Reakcja	Standardowa zmiana entalpii ΔH^0 , kJ/mol	Standardowa temperatura T, K
$\text{CaCO}_3(\text{s}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$	178,3	1110
$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	274,4	960
$2\text{SO}_3(\text{g}) = 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	198,94	1040
$2\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{g}) = 2\text{BaO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	77,3	1029
$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	109,9	752
$\text{NH}_4\text{HSO}_4(\text{c}) = \text{NH}_3(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	336,9	740
$\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{g}) = \text{C}_6\text{H}_6(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$	206,2	568
$\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) = \text{MgO}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	81,2	531
$2\text{NH}_3(\text{g}) = \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$	92,2	466

Należy stwierdzić, że reakcje odwracalne stwarzają duże możliwości magazynowania energii cieplnej i mogą być stosowane w układach odbierających ciepło z procesów przemysłowych, reaktorów jądrowych, a także energię uzyskiwaną w układach kolektorów słonecznych. Brak jest jednak obecnie odpowiedzi, czy układy te znajdą szerokie zastosowanie ze względu na wysokie koszty i ich złożoność. Zasadnicze obawy budzi powtarzalność cykli łączenia i rozpadu danych związków i wielu autorów wyraża pogląd, że ten sposób magazynowania energii jest korzystny dla magazynowania długoterminowego i przesyłania energii na dalsze odległości¹¹.

Rozdział 6. Wodór¹²

6.1. Uzyskiwanie wodoru

Wodór przez wielu naukowców uchodzi za paliwo przyszłości, które będzie wykorzystywane do napędu pojazdów, czy jako paliwo do ogrzewania mieszkań. Będziemy je mogli uzyskiwać poprzez:

¹¹ R. Domański, Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990, s. 43

¹² Rozdział oparto na podstawie: W. M. Lewandowski, Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Warszawa, WNT 2002r.

1. zamiana energii słonecznej w fotoogniwach na prąd elektryczny, wykorzystany następnie do elektrolizy wody;
2. zamiana energii słonecznej w ogniwach słonecznych na prąd elektryczny, który przepływając przez powłoki wykonane z rodu, molibdenu, wolframu a obecnie związki porfirynowe (zbliżone budową do chlorofilu) rozkłada wodę, nie elektrolitycznie, ale katalitycznie;
3. zamiana energii słonecznej na ciepło (do 4000 K) w piecach słonecznych o mocy 1000 kW z lustrami parabolicznymi i wykorzystanie uzyskanego ciepła do termicznego rozkładu wody (termoliza wody 2500⁰C);
4. metoda Hotelly, polegająca na gorącej elektrolizie pary wodnej w temperaturze 900°C;
5. wykorzystanie bakterii do beztlenowego rozkładu biomasy;
6. fotoredukcyjny rozkład wody enzymem hydrogenazą, występującą m.in. w glonie zielonej algi (*Chlamydomonas reinhardtii*).

6.2. Wady i zalety wodoru

Wodór jako paliwo ma wiele zalet:

1. jest proekologiczny - produktem spalania jest woda;
2. ma małą energię inicjacji zapłonu - przez co jego spalanie jest sprawniejsze;
3. jest łatwiejszy i tańszy w magazynowaniu niż przechowywanie energii elektrycznej;
4. jego zapasy są praktycznie niewyczerpane, gdyż stanowi on składnik wody i wraz z nią krąży w obiegu zamkniętym w przyrodzie.

Wady wodoru:

1. z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową w bardzo szeroki zakresie: od 4 DGW do 75 GGW (w % obj.);
2. dyfunduje przez metale;
3. podczas spalania w powietrzu tworzą się tlenki azotu (NO_x).

Pierwsza i ostatnia wada zostały już wyeliminowane podczas bezpłomieniowego spalania wodoru w ogniwach paliwowych, w których produktem spalania jest woda i prąd elektryczny.

6.3. Magazynowanie wodoru

Jedną z najważniejszych wad energii odnawialnych jest ich cykliczność (dobowa, sezonowa, roczna), która wymusza wspomaganie różnymi innymi rodzajami energii. Wadę tę można by wyeliminować, gdyby udało się bezpiecznie i tanio magazynować wodór uzyskany z odnawialnych źródeł energii (turbiny wiatrowe, ogniwa fotowoltaiczne itd.).

Znane są następujące sposoby przechowywania wodoru:

1. sprężony w postaci gazowej w zbiornikach ciśnieniowych; sposób ten może być stosowany tylko w rozwiązaniach stacjonarnych ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu i ciężar zbiorników;
2. skroplony w silnie opancerzonych i termostatowanych zbiornikach; firma BMW bada możliwość wykorzystania tego sposobu do napędu samochodu;
3. pochłonięty w metalach ziem rzadkich (tytanowce, wanadowce, stopy niklu, żelaza, glinu, magnezu lub wapnia); jedna jednostka objętości tych metali o odpowiednio rozwiniętej powierzchni pochłania do kilkuset jednostek objętości wodoru;
4. w postaci wodorków, jedna jednostka objętości litu jest w stanie pochłonać w trakcie reakcji z wodorem ok. 1600 objętości wodoru; uzyskany wodorek

Podsumowanie

W chwili obecnej jest znikome wykorzystanie w Polsce energii ze źródeł odnawialnych, przy jednoczesnej ocenie ekspertów, że może ona pokryć nawet w 90% zapotrzebowania kraju. Wiąże się z tym małe zainteresowanie na magazynowanie energii, w tym także energii cieplnej. Ewentualny jej wzrost wiąże się z pracami badawczymi, które powinny przede wszystkim skupić się na obniżeniu kosztów jej pozyskiwania a także magazynowania.

Magazynowanie energii cieplnej w chwili obecnej jest uzależnione od:

1. możliwości finansowych inwestora,
2. warunków geologicznych miejsca inwestycji,
3. czasokresu przechowywania,
4. odległością jej odbioru od miejsca wytworzenia.

Należy przy tym pamiętać, że energia ze źródeł odnawialnych ma dwie zasadnicze zalety: jest niewyczerpalna i ekologicznie czysta, (choć w niewielkim stopniu może wpływać na degradację środowiska). Dlatego należy ją pozyskiwać i magazynować w coraz większym stopniu zastępując konwencjonalne źródła energii.

Spis tabel

Tabela 1. Ocena możliwości stosowania magazynów energii	4
Tabela 2 Dane z pierwszego cyklu eksperymentów magazynowania energii cieplnej.....	7
Tabela 3 Reakcje odwracalne stosowane do magazynowania ciepła.....	16

Spis rysunków

Rysunek 1. Schematyczny podział sposobów magazynowania energii cieplnej i możliwości realizacji różnych typów magazynów.	5
Rysunek 2. Pojemność cieplna wybranych materiałów (cieczy i ciał stałych)	6
Rysunek 4. Schemat systemu ogrzewania osiedla Bunnik.....	9
Rysunek 5. Schemat magazynowania i odzyskiwania ciepła z gruntu.....	9
Rysunek 7. Schemat działania pionowego koncentrycznego wymiennika ciepła.....	10
Rysunek 6. Schemat działania wymiennika typu "U"	10
Rysunek 8. Ciepła topnienia związków niskotemperaturowych.....	15

Spis zdjęć

Zdjęcie 1 Połączenia hydrauliczne wymienników	12
Zdjęcie 2 Widok powierzchni akumulatora po zakończeniu prac ziemnych	13

Bibliografia

Źródła wykorzystane:

1. Chwieduk D., Charakterystyka systemów z długoterminowym magazynowaniem energii w gruncie; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 1/1998
2. Domański R., Magazynowanie energii cieplnej, PWN, Warszawa 1990
3. Lewandowski W. M., Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Warszawa, WNT 2002
4. Wita A., Ciepło z pod ziemi, Horyzonty Techniki, 1987 nr 7
5. Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2020 przyjęty w dniu 22 lutego 2000r. przez Radę Ministrów
6. <http://www.otkz.pol.pl> (Określenie efektywności ekologicznego systemu ogrzewania wykorzystującego magazynowanie energii cieplnej w gruncie; Projekt badawczy wykonany w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministerstwa Środowiska)

Literatura uzupełniająca

1. <http://www.cire.pl/zielonaenergia>
2. Urząd Regulacji Energetyki <http://www.windenergy.pl>
3. <http://www.lo9.szczecin.pl>
4. <http://energiack.w.interia.pl/>
5. Ministerstwo Środowiska <http://gate.mos.gov.pl>