

IX  
STUDENCKA SESJA  
NAUKOWA



Politechnika Śląska  
Wydział Transportu  
ul. Krasińskiego 8  
40-019 Katowice

Katowice, 6 czerwca 2011 r.

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**

Wydział Transportu



## **IX Studencka Sesja Naukowa**

Katowice 06.06.2011 r.

Lukasz Wojdas, Bartosz Samolej	Projekt elektronicznego układu pomiarowego zawartego w kole kierownicy bolidu klasy Formula Student	22
-----------------------------------	---	----

### *Katedra Logistyki i Transportu Przemysłowego (RT-3)*

Marcin Czernek, dr inż. Piotr Nowakowski	Systemy wspomagające demontaż środków technicznych z przykładami ich zastosowań	23
Krzysztof Iciek, Prof. dr hab. Aleksander Śladkowski	Perspektywy udziału Polski w odzyskiwaniu, transporcie i składowaniu CO <sub>2</sub> na świecie	24
Daniel Kaniut, dr inż. Damian Gąska	Koncepcja zabudowy żurawia budowlanego na podwoziu samochodowym	25
Wojciech Kazura, dr inż. Grażyna Hat-Garnarcz	Zabezpieczenie ładunków w transporcie drogowym na przykładzie firmy Kuźnia Trans	26
Tomasz Kokot, dr inż. Jerzy Margielewicz	Prognozowanie produkcji i racjonalizacja gospodarki surowcowej na podstawie ArcelorMittal oddział w Dąbrowie Górniczej	27
Daniel Kuszke-Komasara, dr inż. Czesław Pypno	Projekt taśmy do przenośników rurowych	28
Marcin Markiel, dr inż. Grażyna Hat-Garnarcz	Analiza funkcjonowania firmy Epo-Trans Logistic S.A. na podstawie wskaźników logistycznych	29
Kamil Pniewski, dr inż. Piotr Nowakowski	Logistyczny system wymiany informacji przy klasyfikacji usterek i awarii w wybranych typach autobusów w Przedsiębiorstwie Komunikacji Miejskiej w Sosnowcu	30
Jacek Szymański, Prof. dr hab. Aleksander Śladkowski	Outsourcing jako współczesne logistyczne podejście do eksploatacji transportu wewnętrznego	31

### *Katedra Transportu Szynowego (RT-4)*

Marek Dryja	Wirtualny model stanowiska pracy maszynisty na przykładzie pulpitu sterowniczego lokomotywy EU07	32
Radosław Gajos	Modelowanie i symulacja zderzeń tramwaju 105N z wykorzystaniem metody elementów skończonych	33
Marcin Gola	Granica (obecnie Sosnowiec Maczki), czyli ostatnia stacja Drogi Żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej w Królestwie Polskim	34
Wojciech Korczyński	Modelowanie przekładni tramwajowej 20 Pmd w programie CATIA V5 R19	35

prof. dr hab. Aleksander Śładkowski  
Krzysztof Iciek  
Katedra Logistyki i Transportu Przemysłowego  
Wydział Transportu Politechniki Śląskiej

## **PERSPEKTYWY UDZIAŁU POLSKI W ODZYSKIWANIU, TRANSPORCIE I SKŁADOWANIU CO<sub>2</sub> NA ŚWIECIE**

Emisja gazów cieplarnianych, jakich przykładem jest dwutlenek węgla, przyczynia się do powstania tzw. efektu cieplarnianego. Uznaje się, że wzrost emisji antropogenicznego dwutlenku węgla, może przyczynić się w niedalekiej przyszłości do zmian klimatycznych na skalę globalną.

Prowadzone badania stwierdzają, że w okresie 1900-2000 średnia temperatura ziemi wzrosła o 1°C. Jednym z czynników, które miały wpływ na ten wzrost jest działalność i rozwój człowieka [1].

W celu zapobiegania zmianom klimatycznym w 1992 roku na tzw. Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro podpisano ramową konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. Umowa ta określa założenia międzynarodowej współpracy dotyczącej ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

W 1997 roku w Kioto uzupełniono konwencję i założono odpowiednie środki zapobiegawcze globalnemu ociepleniu. Na mocy postanowień protokołu kraje, które zdecydowały się na ratyfikację protokołu z Kioto zobowiązały się do redukcji do 2012 roku własnych emisji gazów cieplarnianych o wynegocjowane wartości (dla Polski to 6% poziomu emisji z 1990r.) [5]. W przypadku niedoboru bądź nadwyżki emisyjnej, kraje zobowiązały się do zaangażowania w wymianę handlową, polegającą na odsprzedaży lub odkupieniu limitów od innych krajów.

Jako kraj członkowski Unii Europejskiej Polska w dniu 2 grudnia 2002 roku ratyfikowała protokół z Kioto odnośnie zmian klimatycznych i przeciwdziałaniu tym zmianom. Ustalenia protokołu spowodowały wzrost zainteresowania technologicznymi możliwościami ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Według nowych unijnych ustaleń dotyczących problemu emisji CO<sub>2</sub>, wynikających z pakietu energetyczno-klimatycznego, należy wskazać, że w okresie etapu post-Kioto (od roku 2013 do roku 2020) obowiązywały będą następujące unormowania:

- Przedsiębiorcy posiadający instalacje energetyczne funkcjonujące na dzień 31.12.2008 będą nabywali na aukcjach jedynie część uprawnień (w roku 2013 zobowiązani będą do zakupu 30% uprawnień na aukcjach)
- Wartość darmowych przydziałów będzie stopniowo malała do 2020 roku kiedy to na aukcjach będzie należało zakupić 100% uprawnień emisyjnych.

Coraz bardziej restrykcyjne normy mają na celu zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Unijna Dyrektywa 2003/87/WE o europejskim systemie handlu emisjami (ETS) określa cele, na jakie przeznaczone będą dochody ze sprzedaży praw do emisji dwutlenku węgla. Dochody te mogą być przeznaczone m. in. na:

- Finansowanie prac badawczo-rozwojowych oraz projektów demonstracyjnych w zakresie ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>
- Rozwój technologii mających na celu zmniejszenia zużycia energii
- Rozwój technologii bezpiecznego dla środowiska wychwytywania, transportowania i składowania dwutlenku węgla.

Polska, jako kraj Centralnej Europy, a w szczególności region taki jak Śląsk, mocno zurbanizowany rejon, na którego obszarze jest wiele nieczynnych i likwidowanych kopalń. Może być rozważany, jako miejsce deponowania wychwyconego dwutlenku węgla.

### **Wychwytywanie CO<sub>2</sub>**

Produkcja energii elektrycznej, to jedno z większych antropogenicznych źródeł emisji dwutlenku węgla do atmosfery. W Polsce aż 90% energii elektrycznej produkuje się przy wykorzystaniu nieodnawialnych źródeł energii takich jak węgiel kamienny i węgiel brunatny. Przy ich spalaniu jest wytwarzana bardzo duża ilość gazów cieplarnianych.

W dzisiejszym świecie praktycznie każdy człowiek posiada telefon komórkowy, komputer, pralkę, lodówkę. Wszystkie te urządzenia mają jedną cechę wspólną, urządzenia te potrzebują energii elektrycznej, aby funkcjonować. W Polsce zapotrzebowanie na energię elektryczną ciągle rośnie.

W przyszłości zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie się zwiększać, prognozuje się, że w 2020 będzie większe o ok. 70% w porównaniu do roku 2000. Co za tym idzie emisja CO<sub>2</sub> do atmosfery będzie również się zwiększać. W Polsce ok. 85% wyprodukowanej energii elektrycznej jest wytwarzana przy użyciu paliw stałych takich jak węgiel kamienny i węgiel brunatny. W tabelicy 1 przedstawiono ogółem moc zainstalowaną w elektrowniach konwencjonalnych i ilość wyemitowanego dwutlenku węgla w skali roku w Polsce w latach 2000 – 2009 [6].

Tabela 1

*Ilość wytworzonej energii i wyemitowanego CO<sub>2</sub> w latach 2000 – 2009*

Rok	2000	2005	2009
Ilość energii wytworzonej z węgla kamiennego, GW	20,5	20,3	20,9
Ilość wyemitowanego CO <sub>2</sub> z węgla kamiennego, Mt	86	87	87
Ilość energii wytworzonej z węgla brunatnego, GW	9,2	9,2	9
Ilość wyemitowanego CO <sub>2</sub> z węgla brunatnego, Mt	55	58	54

Przyjmując, że do 2020 roku zgodnie z przyjętym planem, energia wytwarzana w konwencjonalnych elektrowniach będzie najważniejszym źródłem energii elektrycznej,

a udział w rynku nie zmieni się i pozostanie na poziomie z 2009 roku:

- Węgiel kamienny (60%)
- Brunatny (25%)
- Inne (15%)

Można obliczyć, że przy zwiększonym zapotrzebowaniu na moc do 60 TW (w porównaniu do 2000 r.) emisja CO<sub>2</sub> emitowanego przez Polskę zwiększy się do poziomu ok. 239 Mt gazu na rok.

Dla Polski w 2013 roku rozpocznie się okres tzw. etapu post-Kioto, czyli okres, w którym stopniowo będą musieli nabywać uprawnienia do emisji CO<sub>2</sub>. Etap post-Kioto trwać będzie do 2020 roku, od którego to przedsiębiorcy będą nabywać na aukcjach 100% uprawnień do emisji dwutlenku węgla.

Pieniądze, które w ten sposób zostaną pozyskane będą przekazywane na rozwój badań dotyczących systemów wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla. System ten nazywany jest systemem CCS (Carbon Capture and Storage) i ma na celu wyeliminowanie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery z antropogenicznych źródeł.

Na świecie opracowywane jest wiele typów systemów do odzyskiwania dwutlenku węgla. Systemy odzyskiwania CO<sub>2</sub> można sklasyfikować w trzech grupach:

- odzyskiwanie przed spalaniem,
- odzyskiwanie po spalaniu,
- odzyskiwanie po spalaniu tlenowym.

Odzyskiwanie dwutlenku węgla w procesie poprzedzającym proces spalania paliwa, w tym wypadku paliwa stałego, opiera się na zgazyfikowaniu podstawowego nośnika energii. Proces zgazyfikowania oparty jest o technologię bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym systemem zgazowania IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). Technologia IGCC bazuje na procesie wytworzenia syngazu, czyli mieszaniny wodoru i tlenku węgla. Gaz syntetyczny następnie jest wykorzystywany w turbinach gazowych do wytworzenia energii elektrycznej jak i do wytworzenia ciepła potrzebnego do ogrzania pary wodnej wykorzystanej w turbinach parowych.

Odzyskiwanie dwutlenku węgla w tym przypadku jest możliwe przy założeniu, że końcowym produktem wykorzystanym przy produkcji energii elektrycznej nie jest syngaz, ale czysty wodór.

Unia Europejska przy wykorzystaniu programu ETP ZEP (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants) promuje badanie, rozwój i powstawanie demonstracyjnych instalacji wychwytywania dwutlenku węgla. Unia Europejska planuje, że do 2012 roku będzie możliwe wprowadzenie do użytku na skalę przemysłową tej technologii.

Przy wykorzystaniu funduszy Unii Europejskiej i wyników badań projektów ENCAP SP2 (projekt obejmujący optymalizację procesu konwersji parowej i projektu turbin gazowych zasilanych wodorem) oraz COORIVA (projekt skupia się głównie na badaniu problemów korozji i połączeń poszczególnych części procesu) Niemiecka przedsiębiorstwo energetyczne RWE Power planuje budowę instalacji IGCC-CCS o mocy 450 MW<sub>e</sub> w elektrowni Goldenberwerk w mieście Hürth w Niemczech. Projekt zgodnie z harmonogramem prac powinien wchodzić w fazę 3, czyli w fazę budowy. Budowa powinna potrwać do 2014 roku i powinna zostać oddana do użytku w 2015 roku.

W technologii odzyskiwania dwutlenku węgla ze spalania mieszaniny paliwo-powietrze, dwutlenek węgla wychwytywany jest z parowo-gazowych produktów spalania, zanim te zostaną wydalone do atmosfery. W obecnym czasie jest to jedyna

szeroko rozpowszechniona metoda oczyszczania spalin. Wychwycony dwutlenek węgla jest używany do produkcji na skalę przemysłową.

Najpopularniejszym systemem odzysku dwutlenku węgla po spalaniu jest absorpcja chemiczna. Absorpcja chemiczna to proces wiązania substancji gazowej na powierzchni substancji ciekłej. Absorbowany gaz jest przepuszczany przez rozpuszczalnik w kolumnie absorpcyjnej, gdzie rozpuszczalnik usuwa CO<sub>2</sub> z przepływającego strumienia gazów. Następnie rozpuszczalnik przepływa do jednostki regeneracyjnej, gdzie absorbowany dwutlenek węgla zostaje oddzielony od rozpuszczalnika.

Schładzanie, podgrzewanie, pompowanie i kompresja rozpuszczalnika wymaga wkładu energii. Jest to przyczyna zwiększenia energii produkowanej przez elektrownię, co skutkuje zmniejszeniem sprawności cieplnej elektrowni wykorzystującej ten system.

W trakcie spalania paliwa przy doprowadzonym do procesu powietrzu, ilość dwutlenku węgla waha się pomiędzy 3 – 15 % w zależności od tego, jakie paliwo jest spalane. Odzyskiwanie dwutlenku węgla z takiej mieszanki, czyli mieszaniny głównie N<sub>2</sub> z CO<sub>2</sub>, jest kosztowny i energochłonny. Alternatywą jest spalanie paliwa przy doprowadzeniu czystego tlenu. W wyniku spalania otrzymany gaz będzie zawierał w większości wodę i dwutlenek węgla.

W 2008 roku powstała pierwsza instalacja służąca celom badawczym technologii spalania tlenowego. Jest to blok 30 MW w elektrowni Schwarze Pumpe w Niemczech, należącej do Szwedzkiej firmy Vattenfall AB. Placówka służy badaniu różnego rodzaju palników, sposobów podawania mieszanki w celu doskonalenia technologii. Jak na razie instalacja przepracowała 9300 godzin i wyprodukowała więcej niż 4,300 ton ciekłego dwutlenku węgla [1].

### **Transport CO<sub>2</sub>**

Transport drogowy dwutlenku węgla odbywa się, zgodnie z przepisami międzynarodowej umowy o przewozie drogowym materiałów niebezpiecznych (ADR). Transport samochodowy towarów niebezpiecznych, zgodnie z przepisami międzynarodowymi, obejmuje wszelką działalność przewozową z użyciem pojazdu, przeprowadzoną częściowo lub w pełni po drogach publicznych włącznie z ładowaniem i rozładowywaniem.

Umowa ADR składa się z przepisów wprowadzających oraz dwóch załączników technicznych podzielonych na 9 części tematycznych.



Każda część przepisów zawiera kompletny zbiór wymagań z jednej, wydzielonej dziedziny i adresowana jest do określonej grupy użytkowników.

Przy transporcie materiałów niebezpiecznych kluczowym punktem jest dobór odpowiedniego środka transportu oraz jego odpowiednie oznakowanie.

Do przewozu gazu, jakim jest dwutlenek węgla wykorzystuje się odpowiednie środki zabezpieczające przewożony materiał oraz otoczenie. Gazy czy to w postaci sprężonej, czy też skroplonej przewozi się w cysternach.

Cysterna to zbiornik wraz z jego wyposażeniem obsługowym i konstrukcyjnym. Określenie to użyte samodzielnie oznacza kontener-cysternę, cysternę przenośną, cysternę odemowalną lub cysternę stałą.

Przewóz dwutlenku węgla w cysternach w postaci skroplonego i schłodzonego gazu jest ściśle opisany przepisami prawa i umowy ADR (tablica 2) [2].

Tablica 2

*Przepisy ogólne i przepisy dotyczące dwutlenku węgla*

Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie
Klasa	2	Pojazd do przewozu w cysternie	AT
Kod klasyfikacyjny	3A	Kategoria transportowa	3
Nalepki	2.2	Przepisy szczegółowe dotyczące przewozu: Załadunek, rozładunek, i manipulowanie	CV9 CV11
Przepisy szczególne	593	Przepisy szczegółowe dotyczące przewozu: postępowanie	S20
Instrukcje pakowania	P203	Nr rozpoznawczy zagrożenia	22
Pakowanie razem	MP9	Nr UN	2187
Kod cysterny	RxBN(M)		

Pojazdy przewożące materiały niebezpieczne muszą być odpowiednio oznakowane. Na przedniej i tylnej części powinna być znormalizowana tablica ostrzegawcza.

Poza oznakowaniem tablicami ostrzegawczymi z numerami rozpoznawczymi cystern przewożących materiał, cysterny powinny być ponadto oznakowane trzema odpowiednimi nalepkami ostrzegawczymi. Nalepki te powinny być umieszczone:

- Dwie na bocznych ścianach,
- Jedna na tylnej ścianie cysterny.

Kolejnym przedstawionym systemem transportu do przewozu dwutlenku węgla od emitentów do miejsca składowania jest transport drogami kolejowymi i przy użyciu odpowiednich nośników.

Przewóz dwutlenku węgla drogami kolejowymi jest regulowana przepisami o przewozie kolejami materiałów niebezpiecznych RID. Przepisy RID w dużym stopniu pokrywają się z przepisami ADR. Przykładem jest transport kombinowany kolejowo-drogowy. Do transportu kolejowego zgodnego z przepisami kolejowymi RID, mogą być dopuszczone jedynie takie materiały, które zostały zakwalifikowane do przepisów drogowych ADR.

Wygląd oznaczeń i nalepek jest identyczny jak w przypadku umowy ADR. Dodatkowym oznaczeniem jest nalepka nr 13, jest informacją dla osób manipulujących ładunkiem. Naklejkę nr 13 należy odczytywać, jako ostrzeżenie w trakcie manipulacji wagonem, jako: „Ostrożnie przetaczać!” [3].

Wagony-cysterny przeznaczone do przewozu gazów skroplonych, skroplonych silnie schłodzonych powinny być również oznaczone nie odblaskowym pomarańczowym pasem o szerokości około 30 cm, który otacza zbiornik na wysokości osi podłużnej zbiornika.

Kolejnym systemem transportowania dwutlenku węgla jest transport materiału w postaci gazowej przy wykorzystaniu rurociągu. System rurociągów wykorzystywany jest do transportu różnych materiałów, głównie transportowany jest gaz ziemny oraz ropa naftowa. Gazociągi do przesyłania gazu ziemnego w najlepszym stopniu nadają się, jako podstawa do budowy systemu odbioru i transportu dwutlenku węgla. Dlatego całe opracowanie niniejszego rozdziału bazuje na wiedzy z zakresu budowy i eksploatacji gazociągów służących do przesyłania gazu ziemnego. W Polsce występuje szereg linii rurociągów, linie te można podzielić na różne grupy ze względu na [4]:

- Rodzaj funkcji,
- Ciśnienie robocze,
- Strukturę systemu.

Podział rodzajowy ze względu na pełniącą funkcję można podzielić na dwie grupy, które występują w transporcie gazu ziemnego, a mogą być wykorzystane przy transporcie CO<sub>2</sub>. Rurociągi ze względu na funkcję dzielą się na:

- Magistralne,

- Zasilające.

Gazociągi magistralne służą do przesyłania gazu z rejonu jego pozyskania do rejonu składowania. Na trasie gazociągu przesyłowego rozmieszcza się tłocznie gazu, które służą do sprężania gazu tak, aby wymagane ciśnienie było zachowane. Na całej długości trasy buduje się stacje redukcyjno-pomiarowe. Stacje te służą do pomiaru ilości przesyłanego gazu i do zmniejszenia ciśnienia roboczego w rurociągu. Stacje redukcyjno-pomiarowe służą również, jako łącznik pomiędzy gazociągami magistralnymi, a gazociągami zasilającymi.

System rurociągowego przesyłania gazu ze względu na jego ciśnienie robocze możemy podzielić na:

- Wysokociśnieniowe 1,6 – 10 MPa,
- Podwyższonego średniego ciśnienia 0,5 – 1,6 MPa,
- Średniego ciśnienia 0,01 – 0,5 MPa,
- Niskiego ciśnienia > 0,01 MPa.

Podstawową cechą gazociągów jest ich bezpieczeństwo. Gazociągi do przesyłania gazu ziemnego są budowane z rur stalowych oraz rur polietylenowych, w zależności od ciśnienia roboczego gazu.

Ułożenie rurociągu w terenie jest bardzo istotnym czynnikiem dla bezpiecznej eksploatacji. Zgodnie z normami, gazociągi powinny być podparte, zakotwiczone lub zakopane w taki sposób, aby w czasie ich użytkowania nie przemieszczały się w stosunku do położenia ich w czasie budowy. W zależności od położenia rurociągu w stosunku do terenu wyróżniamy:

- Podziemne – rurociąg jest zasypany warstwą ziemi,
- Zagłębione – rurociąg leży poniżej poziomu terenu, ale nie jest zasypany,
- Naziemne – rurociąg leży nad powierzchnią terenu, ale nie projektuje się komunikacji ponad nim,
- Nadziemne – pod rurociągiem projektuje się komunikację kołową

W celu zabezpieczenia rurociągu przed uszkodzeniami spowodowanymi przez osoby trzecie można zastosować następujące środki zapobiegawcze:

- Zwiększenie głębokości warstwy przykrycia,
- Zwiększenie grubości ściany rury,
- Dodatkowe zabezpieczenia mechaniczne,
- Wprowadzenie kontrolowanej strefy wzdłuż trasy sieciowej,

- Inspekcje.

Gazociąg niejednokrotnie przebiega przez tereny, na których niemożliwe jest poprowadzenie linii pod ziemią. Na tych odcinkach konieczne jest ułożenie rurociągu na powierzchni. Należy zabezpieczyć rurociąg przed czynnikami atmosferycznymi, takimi jak:

- Zwietrzenie materiału,
- Rozszerzalność termiczna,
- Korozja.

Chociaż dwutlenek węgla w stosunku do gazu ziemnego nie jest gazem palnym, to w podwyższonym stężeniu może doprowadzić do podtrucia, lub nawet uduszenia osób przebywających nie opodal nieszczelności. Dlatego warto wprowadzić strefy kontrolowania takie same jak w przypadku linii rurociągu transportującego gaz ziemny. Według normy linia środkowa powinna pokrywać się z osią gazociągu. Szerokość stref kontrolowania jest dobierana do średnicy rury i ciśnienia roboczego. Rury przewodowe,

- Urządzenia zaporowe,
- Komory wysyłania i przyjęcia oczyszczaków,
- Rury ochronne na przejściach drogowych i kolejowych, odpowietrzniki, odwadniacze, kołnierze izolacyjne,
- Urządzenia sygnalizacyjne i pomiarowe,
- Stacje sprężania gazu.

### **Składowanie CO<sub>2</sub>**

Na świecie prowadzone są badania na temat składowania dwutlenku węgla. Jako potencjalne miejsca składowania brane są pod uwagę trzy rozwiązania [7]:

- Składowani w morzach i oceanach,
- Sekwestrację naziemną,
- Składowanie geologiczne.

Składowanie w morzach i oceanach zakłada rozpuszczenie gazu w miejscach o głębokości do 300 metrów pod powierzchnią wody lub zatłaczanie gazu na głębokość ponad 1500 metrów. Obie metody mają szereg wad i zalet. W pierwszym przypadku dwutlenek węgla może zmienić pH wody, co może wpłynąć negatywnie na faunę i florę. Drugi wariant z kolei zakłada, że dwutlenek węgla stworzy warstwę na dnie zbiornika. Warstwa ta nie będzie miała znaczącego wpływu na faunę i florę zbiornika.

Jednak istnieje zagrożenie wydostania się bańki gazu na powierzchnię i niebezpieczeństwo uduszenia ludzi, znajdujących się w pobliżu. Zaletą tego typu składowania jest ich duża szacowana pojemność.

Sekwestracja naziemna to wszelkie działania zmierzające w celu intensyfikacji przetwarzania lub pochłaniania CO<sub>2</sub>. W skład tych działań wchodzi intensyfikacja wzrostu roślin, akumulacja w glebie oraz przekształcania terenów emitujących CO<sub>2</sub> w ich adsorbenty np. zalesianie terenów bagnistych.

Jako miejsca składowania podziemnego brane jest pod uwagę pięć rozwiązań:

- Wyeksploatowane wysady solne,
- Wyczerpane złoża ropy naftowej i gazu ziemnego,
- Zawodnione struktury geologiczne,
- Pozabilansowe pokłady węgla kamiennego,
- Podziemne wyrobiska górnicze.

Przy wykorzystaniu nieczynnych podziemnych kopalń, jako zbiornika na dwutlenek węgla ważną zaletą jest ich duża kubatura. Kolejnym czynnikiem przemawiającym za takim wykorzystaniem kopalń jest wykorzystanie resztek pokładów węgla i wód kopalnianych, jako dodatkowego czynnika wiążącego CO<sub>2</sub>.

Dla Polski składowanie dwutlenku węgla jest możliwe praktycznie jedynie, jako składowanie podziemne.

W ostatnich latach prowadzono badania na temat wykorzystania wyczerpanych złóż węglowodorowych w środkowej i północnej części Polski. Stwierdzono, że teoretycznie w pokładach gazu ziemnego i ropy naftowej można składować 800 Tg dwutlenku węgla.

Prowadzi się również badania nad wykorzystaniem wyeksploatowanych kopalni węgla kamiennego. Gaz w kopalni węgla kamiennego może być składowany w trzech postaciach:

- Jako gaz wolny,
- Jako gaz zaabsorbowany w pozostałych pokładach węgla,
- Jako gaz rozpuszczony w wodach podziemnych.

Podziemne kopalnie węgla kamiennego, są cały czas narażone na zalanie wodami kopalnianymi. W celu ich ochrony wypompowuje się wody kopalniane. Kopalnia traktowana jako niskociśnieniowy zbiornik gazu, również wymaga stałego wypompowywania wody. Napływające wody powodują ograniczenie przestrzeni

składowania, zmniejszają sorpcyjność węgla, zwiększają kompresję gazu i w przypadku nieszczelności wypływanie gazu na powierzchnię. W przypadku długotrwałego składowania dwutlenku węgla koszt wypompowywania wody może być zbyt wysoki, aby stosować tą metodę.

Napływ wód dołowych można ograniczyć wykorzystując metodę wysokociśnieniowego składowania gazu. Metoda ta zakłada:

- Absolutną szczelność nakładu (szczelność pionowa i pozioma),
- Przepuszczalność wyrobisk kopalni powyżej 1000 darcy (gdzie 1 darcy =  $9,86923 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ),
- Każdy poziom kopalni jest w równowadze (temperatura i ciśnienie są jednakowe na całym poziomie).

W pierwszej fazie składowania kopalnia zostaje wypełniona gazem. W fazie drugiej ze względu na różnicę ciśnień w zbiorniku i górotworze następuje dopływ wody do wyrobisk. W trzeciej fazie dwutlenek węgla zostaje sprężony przez podnoszący się poziom wody. W fazie czwartej sprężony gaz może zacząć migrować do otaczających zbiornik wyrobisk lub górotworu w celu zrównoważenia ciśnienia zbiornika i górotworu. W ostatniej fazie osiągnięty zostaje stan równowagi. Z upływem czasu, może nastąpić całkowite zatopienie kopalni.

### **Analiza transportowa**

W zależności od wybranego środka transportu należy zastanowić się, w jakim stanie skupienia najekonomiczniej jest transportować dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla to pierwiastek chemiczny, który w normalnym ciśnieniu tj. 101 kPa występuje w zależności od temperatury w dwóch stanach skupienia. Poniżej 194 K występuje w stanie stałym, a powyżej tej temperatury występuje stanie gazowym. Dwutlenek węgla w stanie płynnym występuje jedynie przy ciśnieniu wyższym powyżej krzywej wrzenia i poniżej krzywej topnienia.

Wymienione wyżej środki transportu, można porównać ze względu na koszt procesu transportowego.

Analizowane zostały koszty transportu na trasach pomiędzy pięcioma emitentami, a miejscem składowania. Na rysunku 1 zostało przedstawione położenie emitentów względem miejsca składowania. Przyjęto, że transport samochodowy i kolejowy będzie odbywał się przy wykorzystaniu już istniejącej infrastruktury, natomiast transport

rurociągowy jest prowadzony w możliwie najkrótszym odcinku pomiędzy wymienionymi punktami.



Rys. 1. Rozmieszczenie wybranych elektrowni konwencjonalnych (1) – PKE S.A. Elektrownia Łaziska (2) – PKE S.A. Elektrownia Jaworzno III (3) – Elektrownia Skawina S.A. (4) – PKE S.A. Elektrownia Rybnik (5) – BOT Elektrownia Bełchatów (6) – Kopalnia

W tabelicy 3 przedstawiono pięć analizowanych dróg transportu od elektrowni do miejsca składowania, odległość między nimi, ilość produkowanego przez nie CO<sub>2</sub>, oraz

ilość potrzebnych środków transportu lub w przypadku transportu rurociągowego zapotrzebowanie na moc i ilość potrzebnych przepompowni gazu na trasie rurociągu.

Tablica 3  
Analizowane drogi transportowe

Droga pomiędzy	Odległość dla transportu samochodowego $L_1$ [km]	Odległość dla transportu kolejowego $L_2$ [km]	Odległość dla transportu rurociągowego $L_3$ [km]	Ilość wycyconego $CO_2$ [kt/dzień]	Ilość zestawów kołowych: ciągnik siodłowy + cysterna $X_1$ [szt]	Ilość środków transportu kolejowego $X_2$ [szt.]	Zapotrzebowanie na moc sprężarek w transporcie rurociągowym $X_3$ [MW]	Ilość przepompowni $X_4$ [szt.]	Średnica rury $X_5$ [mm]
1-6	30	25	22	17,1	856	302	61	2	550
2-6	15	16	12	20	998	353	70,8	2	500
3-6	80	60	58	8,5	427	150	31	2	520
4-6	70	55	45	26	1316	459	94	2	760
5-6	125	156	152	94,6	4735	1140	374	3	1000

W tabeli 4 przedstawiono przykładowe ceny urządzeń transportowych oraz ich eksploatacji [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Tablica 1  
Przykładowe ceny urządzeń transportowych oraz ich eksploatacji

Nazwa we wzorze	Nazwa	Jednostka	Wartość
$C_1$	Cena jednego zestawu ciężarówka + cysterna	€	143500
$C_2$	Cena transportu samochodowego	€/km	3
$C_3$	Cena cysterny kolejowej	€	280000
$C_4$	Cena przewozu	€/(wagon*km)	18,35
$C_5$	Cena rury	€/(mm*km)	1377
$C_6$	Cena całkowita przepompowni i sprężarek	€/MW	$4,2 \cdot 10^6$
$C_7$	Koszt MWh	€/MWh	72

Koszt procesu transportowego wyliczono korzystając ze wzorów:

Koszt początkowy inwestycji:

- Transport samochodowy:

$$\text{Koszt zakupu śr. transportu} = X_1 * C_1 \text{ [€]}$$

- Transport kolejowy:

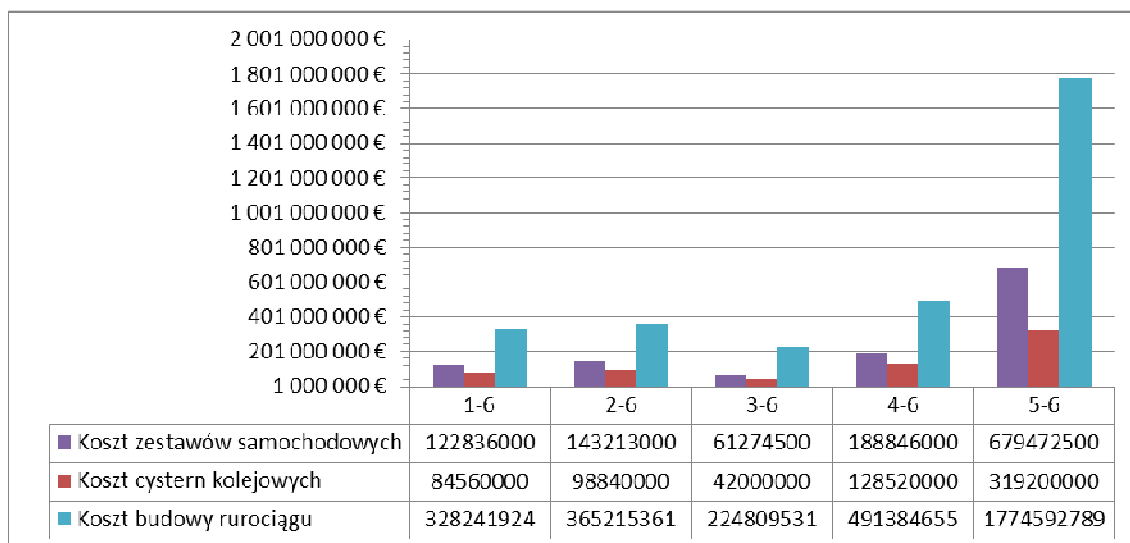
$$\text{Koszt zakupu śr. transportu} = X_2 * C_3 \text{ [€]}$$

- Transport rurociągowy [8]:

$$\text{Koszt budowy infrastruktury} = X_3 * X_5 * C_5 + X_4 * C_6 * X_3 \text{ [€]}$$



Na wykresie (rys. 1) przedstawiono porównanie kosztów zakupu ciągników, wagonów, oraz wybudowania rurociągu dla 5 przykładowych linii przesyłania odzyskanego dwutlenku węgla.



Rys. 2. Porównanie kosztów środków transportu na 5 przykładowych trasach

Koszt eksploatacji liczone, jako łączny koszt dla wszystkich przykładowych dróg transportowych, korzystając ze wzorów:

- Transport samochodowy:

$$\text{Koszt ekspl.} = \Sigma(\text{Koszt zakupu śr. transp.} + X_1 * C_2 * L_1 * Z_1 * \text{ilość lat ekspl.}) \text{ [€]}$$

,gdzie  $Z_1$  – liczba dni w roku  $Z_1 = 365$

- Transport kolejowy:

$$\text{Koszt ekspl.} = \Sigma(\text{Koszt zakupu śr. transp.} + X_2 * L_2 * C_4 * Z_1 * \text{ilość lat ekspl.}) \text{ [€]}$$

- Transport rurociągowy:

$$\text{Koszt eksploatacji} = \Sigma(\text{Koszt budowy infrastruktury} + X_3 * C_7 * Z_2 * \text{ilość lat ekspl.}) \text{ [€]}$$

, gdzie  $Z_2$  – liczba godzin w roku  $Z_2 = 8760$

W tabeli 2 przedstawiono koszty eksploatacji, ze względu na wpływ czasu napełniania zbiornika. Jako czas 0 przyjęto koszt zakupu wszystkich potrzebnych środków transportu.

Tablica 2

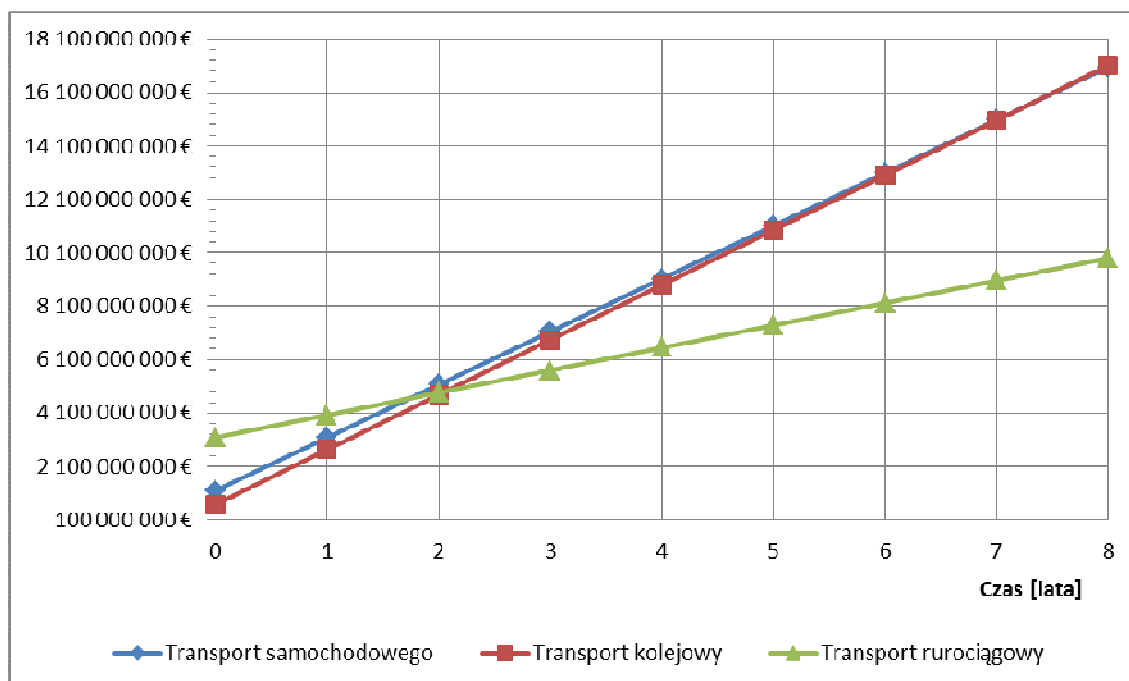
Koszt eksploatacji środków transportu w okresie napelniania zbiornika

Czas [lata]	Koszt eksploatacji transport samochodowy [€]	Koszt eksploatacji transport kolejowy [€]	Koszt eksploatacji transport rurociągowy [€]
0	1195642000	673120000	3184244260
1	3178884100	2728823283	4023871414
2	5162126200	4784526567	4863498569
3	7145368300	6840229850	5703125723
4	9128610400	8895933133	6542752878
5	11111852500	10951636417	7382380032
6	13095094600	13007339700	8222007187
7	15078336700	15063042983	9061634341
8	17061578800	17118746267	9901261496

Na rysunku 3 naniesiono wyniki z tabeli 2.

Roczny koszt transportowania jednego megagrama dwutlenku węgla wynosi:

- W przypadku transportu samochodowego – 32,56 euro na rok,
- W przypadku transportu kolejowego – 33,75 euro na rok,
- W przypadku transportu rurociągowego – 13,78 euro na rok.



Rys. 3. Nakład kosztów w czasie napelniania zbiornika

## Podsumowanie

Rosnący popyt na energię elektryczną, awarie elektrowni atomowych pokazują, że w dzisiejszym świecie energia czerpana z surowców kopalnych jest nadal jedyną ekonomicznie i społecznie akceptowaną metodą pozyskania dużej ilości energii. Opisane procesy odzyskiwania dwutlenku węgla z produkcji energii elektrycznej, są jedną z dróg, które ludzkość musi obrać, aby ratować ekosystem naszej planety.

Przeprowadzona analiza wykazuje, że chociaż przy transporcie rurociągowym jest największy koszt budowy infrastruktury, to koszty eksploatacji w dłuższym okresie czasu są znacznie mniejsze niż koszty eksploatacji w transporcie kolejowym czy samochodowym.

Z analizy składowania dwutlenku węgla przy wykorzystaniu jako zbiornik kopalni węgla kamiennego przeprowadzonej na przykładzie wybranej kopalni wykazała, że jeden taki zbiornik jest wystarczający na około 8 lat eksploatacji. Poniesione koszty tylko na wybudowanie infrastruktury wahają się w granicach 330 milionów euro.

Należy postawić sobie pytanie, czy nakład kosztów rzędu setek milionów, czy nawet miliardów euro, jakie należy wydać na przygotowanie elektrowni, infrastruktury, miejsca składowania jest wart inwestycji na tak krótki okres czasu.

Uważam, że walka o naszą planetę jest równie ważna, co rozwój gospodarczy. Z racji tego, że zasoby ropy naftowej i innych paliw ropopochodnych kurczą się, należy wziąć pod uwagę możliwość wykorzystania odzyskanego dwutlenku węgla, jako surowca potrzebnego do hodowli alg i produkcji z nich biopaliw. W tej technologii powinniśmy szukać rozwiązania problemu efektu cieplarnianego i kończących się zasobów ropy naftowej.

## Literatura

- [1] Rackley S. A. : *Carbon capture and storage*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2010
- [2] Europejska Komisja Gospodarcza - Komitet Transportu Wewnętrznego : *Zrestrukturyzowana umowa ADR.*: Organizacja Narodów Zjednoczonych
- [3] *RID - Regulamin dla międzynarodowego przeozu kolejowego towarów niebezpiecznych*. Warszawa, 2006
- [4] Rybicki Cz., Zachwieja R. Dubliński W. : *Transport gazu*. Kraków: Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne AGH, 2007

- [5] Dz.U.05.203.1684, *PROTOKÓŁ Z KIOTO do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu.*, Dz. U. z dnia 17 października 2005 r
- [6] Grudzinski, *Fakty: Węgiel - Energetyka w Polsce*, 2007
- [7] IEA GHG, *GLOBAL CCS PIPELINE INFRASTRUCTURES –FINAL MARCH 2010*. Cambridge, 2010
- [8] PKP Cargo S.A., *TARYFA TOWAROWA PKP Cargo S.A.* obowiązujący od 1 stycznia 2010
- [9] Portal Otomoto.pl – <http://otomoto.pl/mercedes-benz-actros-1844ls-eev-T2390386.html> – oferta sprzedaży nowego ciągnika siodłowego (25.05.2011)
- [10] Portal Otomoto.pl – <http://otomoto.pl/kassbohrer-kassbohrer-stb43-cysterna-do-paliw-T2286003.html> – oferta sprzedaży nowej cysterny (25.05.2011)
- [11] Alibaba.com - [http://www.alibaba.com/product-gs/202921077/G70K\\_light\\_oil\\_tank\\_wagon.html](http://www.alibaba.com/product-gs/202921077/G70K_light_oil_tank_wagon.html) (25.05.2011)
- [12] Money.pl - średnie ceny paliw - [http://moto.money.pl/ceny-paliw/#polska,0,olej\\_napedowy](http://moto.money.pl/ceny-paliw/#polska,0,olej_napedowy)
- [13] Enea Czysta energia. Czysty biznes – oferta pakietowa cen MWh – <http://www.enea.pl/54/energia-dla-biznesu/duza-firma/pakiet-korporacyjny-712.html> (25.05.2011)
- [14] Europejska giełda transportowa – [http://pl.trans.eu/List,Offers-list\\_messages;search-;;0-ALL;0-ALL;0;0;8;0-9999;0;page-pghmlmd1mmvt.html](http://pl.trans.eu/List,Offers-list_messages;search-;;0-ALL;0-ALL;0;0;8;0-9999;0;page-pghmlmd1mmvt.html) (26.05.2011)