

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **215289**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **392391**

(51) Int.Cl.  
**G01N 33/22 (2006.01)**  
**G01N 25/22 (2006.01)**  
**G01K 17/00 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **14.09.2010**

---

(54) **Sposób pomiaru ciepła spalania węglowodorów  
i miernik ciepła spalania węglowodorów**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**26.03.2012 BUP 07/12**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**29.11.2013 WUP 11/13**

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,  
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZBIGNIEW MAGOŃSKI, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Alina Magońska**

---

**PL 215289 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru ciepła spalania węglowodorów i miernik ciepła spalania węglowodorów przeznaczone do oszacowania jakości paliw płynnych.

Ilość ciepła wytwarzanego w procesie spalania można określić metodą bezpośrednią za pośrednictwem bomby kalorymetrycznej lub metodą pośrednią w oparciu o analizę składu chemicznego paliwa płynnego. W metodzie pośredniej skład kompozycji paliwa płynnego określa się metodami analitycznymi, np. metodą chromatografii gazowej. Następnie znając skład chemiczny paliwa płynnego oraz wartości ciepła spalania, dla każdego czystego komponentu, oblicza się dla określonej objętości paliwa wartość ciepła spalania kompozycji.

Znana jest z amerykańskiego opisu patentowego nr 6,446,487 metoda pomiaru wartości ciepła spalania, w której paliwo gazowe przepuszcza się przez miernik przepływu i mierzy się natężenie przepływu, następnie mierzy się szybkość dźwięku dla ustalonych pierwszych warunków odniesienia, po czym mierzy się szybkość dźwięku i przenikalność dielektryczną dla drugich ustalonych warunków odniesienia, dla których znana jest zawartość dwutlenku węgla i azotu, po czym oblicza się wartość ciepła spalania w oparciu o zmierzone parametry.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 2006022249 sposób pomiaru energii gazu. Sposób polega na tym, że określa się typ gazu w oparciu o zmierzone ilości składników palnych i składników niepalnych, następnie określa się wartość współczynnika korekcyjnego, który umożliwia oszacowanie wartości pobranej energii w oparciu o zmierzoną ilość pobranego gazu.

Z rosyjskiego opisu patentowego nr RU2060477 znany jest kalorymetr do pomiaru ciepła spalania zawierający masywny blok, wyposażony w dwie komórki kalorymetryczne, w których umieszcza się bomby kalorymetryczne. W pierwszej bombie kalorymetrycznej umieszcza się próbkę materiału badanego oraz napełnia się ją dodatkowo mieszaniną gazów zapalających i podtrzymujących proces spalania, natomiast druga bomba służy jako bomba odniesienia. Po zapaleniu gazów zapalających w obu bombach śledzi się przebiegi zmian temperatury obu komórek kalorymetrycznych oblicza różnicę ich temperatur, następnie za pośrednictwem obwodów elektronicznych dokonuje obliczenia wartości wydzielonego ciepła przypadającego na jednostkę masy lub objętości badanego materiału. Nowością sposobu wymienionego wynalazku jest zastosowanie bloku formowania sygnałów, dodatkowego czujnika temperatury umieszczonego w zewnętrznym termostacie, którego stała czasowa jest nie mniejsza od stałej czasowej masywnego bloku.

Metody przedstawione w opisach patentowych US6,446,487, US 2006022249 nie zapewniają dużej dokładności pomiaru, ponieważ nie pozwalają na bezpośredni pomiar wartości ciepła spalania, ponadto wymagają skalowania urządzenia w oparciu o inne urządzenia pomiarowe lub stosowania próbek wzorcowych. Z drugiej strony, metoda kalorymetryczna (bomba kalorymetryczna), aczkolwiek zapewnia największą dokładność pomiaru, wymaga stosowania kosztowego sprzętu kalorymetrycznego i wysokokwalifikowanego personelu do jego obsługi. Ponadto procesy pomiarowe są czasochłonne, wyżej wymienione urządzenia nie nadają się do ciągłego monitoringu. Z tego względu poszukuje się innych sposobów pomiaru ciepła spalania, które mogą być dokonane za pomocą tańszych urządzeń oraz nie wymagają obsługi przez wysokokwalifikowany personel.

Niedogodności tych nie posiada metoda pomiaru ciepła spalania według wynalazku, która umożliwia bezpośredni pomiar wartości ciepła spalania, zapewnia dobrą dokładność i może być stosowana przy pomiarach terenowych (poza laboratorium).

Istota sposobu pomiaru ciepła spalania węglowodorów według wynalazku polega na tym, że za pomocą grzejników elektrycznych utrzymuje się stałą temperaturę komory spalania, jednocześnie kontroluje się szybkość dostawy utleniacza do komory spalania oraz szybkość dostawy badanego paliwa, przy czym wcześniej, w urządzeniu cyfrowym ustala się programowo szybkość dostawy utleniacza i co najmniej dwie zadane wartości dla szybkości dostawy badanego paliwa do komory spalania, następnie zmienia się cyklicznie szybkość dostawy badanego paliwa i jednocześnie mierzy się wartości pobieranej przez grzejniki mocy elektrycznej, następnie za pomocą urządzenia cyfrowego oblicza się korelację pomiędzy zmierzonymi cyklicznymi zmianami wartości mocy elektrycznej dostarczanej do grzejników i cyklicznymi zmianami wartości szybkości dostawy badanego paliwa.

Ponadto, za pomocą dodatkowych termorezystorów platynowych połączonych z układem kontroli nadzoruje się zewnętrzną temperaturę struktury ceramicznej otaczającej komorę spalania i w zależności od wartości zmierzonych cyklicznych zmian temperatury dokonuje się programowo korekty zmierzonej wartości ciepła spalania.

Miernik ciepła spalania węglowodorów ma palnik, w którego końcowym fragmencie umiejscowiona jest komora spalania, której co najmniej dwie ścianki boczne wykonane są z ceramicznego materiału o wysokiej przewodności cieplnej w postaci dwóch płytek, przy czym płytki wyposażone są w grzejniki, które połączone są z obwodem kontroli temperatury, który połączony jest z cyfrowym urządzeniem obliczeniowym. Ponadto, z cyfrowym urządzeniem obliczeniowym połączone jest urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa do palnika oraz urządzenie kontrolujące dostawę utleniacza do palnika. Grzejniki wykonane są z materiału odpornego na procesy degradacji w wysokich temperaturach, natomiast podłoże grzejników stanowi materiał ceramiczny o wysokiej przewodności cieplnej, większej od 100 W/m·K. Grzejniki otaczające komorę spalania osłonięte są od zewnątrz dwiema płytkami izolacyjnymi wykonanymi z materiału o niskiej przewodności cieplnej ( $< 1$  W/m·K), a na powierzchni płytek izolacyjnych zostały nałożone cienkowarstwowe rezystory platynowe.

Urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa do palnika zawiera miernik natężenia przepływu płynu, który za pośrednictwem obwodu cyfrowego połączony jest z silnikiem krokowym napędzającym pompę.

Druga odmiana miernika ciepła spalania ma urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa do palnika, które zawiera miernik natężenia przepływu płynu, który za pośrednictwem obwodu cyfrowego połączony jest z liniowym silnikiem piezoceramicznym napędzającym pompę.

Trzecia odmiana miernika ciepła spalania ma urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa do palnika, które zawiera miernik natężenia przepływu płynu, który połączony jest z zaworem sterowanym sygnałem z miernika natężenia przepływu za pośrednictwem silnika krokowego i obwodu cyfrowego.

Palnik wchodzący w skład miernika ciepła spalania stanowi płaska struktura ceramiczna posiadająca wybranie, które wraz z wybraniem płytki ceramicznej stanowi komorę spalania. Ponadto, palnik ma kanał doprowadzający paliwo i kanał doprowadzający utleniacz, przy czym kanał doprowadzający paliwo ma strukturę meandryczną.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania ujawniono na rysunku, na którym Fig. 1A przedstawia wygląd palnika przeznaczonego do pomiaru ciepła spalania, Fig. 1B przedstawia rozłożone elementy wchodzące w skład palnika, Fig. 2 przedstawia zestaw modułów stanowiących miernik ciepła spalania węglowodorów w postaci cieczy, Fig. 3 przedstawia alternatywne wykonanie miernika ciepła spalania, w którym urządzenie kontrolujące dostawę paliwa wyposażono w liniowy silnik piezoceramiczny, natomiast Fig. 4 przedstawia wykonanie urządzenia przystosowane do węglowodorów w postaci gazowej, Fig. 5 przedstawia zmierzone cykliczne zmiany szybkości dostawy paliwa i zmierzone wartości mocy elektrycznej utrzymujące stałą wartość temperatury komory spalania.

Miernik ciepła spalania według wynalazku umożliwia pomiar ciepła spalania węglowodorów w postaci ciekłej lub gazowej. Sposób pomiaru polega na koncentracji procesu spalania w komorze o niewielkiej objętości, której wartość temperatury utrzymywana jest, za pomocą dwóch grzejników platynowych, na stałym poziomie niezależnie od ilości dostarczanego paliwa. Ponieważ temperatura komory spalania kontrolowana jest poprzez obwód kontroli temperatury 5, zmiana szybkości dostawy paliwa spowoduje zmianę wartości mocy elektrycznej dostarczonej do grzejników 4A, 4B. Wartość zmiany dostarczonej mocy elektrycznej jest proporcjonalna do wartości zmiany natężenia przepływu dostarczanego paliwa. Przed pomiarami konieczne jest dobranie optymalnej szybkości dostawy tlenu do palnika 1. Szybkość dostawy tlenu powinna być tak dobrana, aby proces spalania w całości zachodził wewnątrz komory spalania 2 przy maksymalnej wartości szybkości dostawy paliwa.

Przyrostowa metoda pomiaru zapewnia dużą dokładność, ponieważ ilość ciepła wymienianego z otoczeniem, poprzez promieniowanie, konwekcję i na skutek przewodnictwa jest identyczna, z uwagi na niezmienną temperaturę zewnętrzną komory spalania, dla każdej zadanej wartości natężenia dostawy paliwa do palnika 1.

Wartość ciepła spalania może być oszacowana i wyrażona w  $[J/cm^3]$  jako stosunek wartości zmiany dostarczonej mocy elektrycznej wyrażonej w  $[W]$  do wartości zmiany dostarczonego paliwa w czasie 1 sekundy,  $[cm^3/s]$ . Zatem, metoda pomiaru według wynalazku umożliwia bezpośredni pomiar wartości ciepła spalania badanego paliwa. Zmierzony parametr stanowi „niższą wartość cieplną” (Lower Heating Value), ponieważ część ciepła powstającego w procesie spalania zostaje skonsumowana na podgrzanie paliwa i utleniacza oraz na odparowanie produktu spalania (woda).

Utrzymanie płomienia w niewielkiej objętości (1,5 mm x 1,5 mm x 10 mm) zapewnia odpowiednia konstrukcja palnika, w której cztery ceramiczne dysze wylotowe paliwa ustawione są naprzeciw, oddalonych zaledwie o 1,5 mm, czterech ceramicznych dysz dostarczających tlen. Ponadto, podtrzy-

manie stabilnego płomienia zapewnia wysoka temperatura ścianek komory spalania  $>720^{\circ}\text{C}$ , skutkiem czego, płomień może być utrzymany w niewielkiej odległości od ścianek komory, co zapewnia dobrą wymianę ciepła pomiędzy płomieniem i ściankami komory spalania 2.

Na rysunku Fig. 2 przedstawiono przykład wykonania miernika ciepła spalania węglowodorów ciekłych. Miernik ma urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa 7 do palnika 1, urządzenie kontrolujące dostawę utleniacza 8 do palnika 1, palnik 1, obwód kontroli temperatury 5 i cyfrowe urządzenie obliczeniowe 6. Urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa 7 do palnika 1 zawiera termiczny miernik natężenia przepływu płynów 9 wyposażony w termiczny modulator sigma delta. Miernik natężenia przepływu płynów 9 dostarcza sygnał wyjściowy w postaci szeregu impulsów, których ilość dla ustalonego przedziału czasowego jest proporcjonalna do wartości natężenia przepływu płynu.

W obwodzie cyfrowym 12 sygnał wyjściowy miernika natężenia przepływu płynów 9 porównywany jest z jedną z co najmniej dwóch ustalonych wartości sygnału, ustalających, co najmniej dwie zadane wartości dla przepływu paliwa. Prędkość obrotowa i kierunek obrotów silnika krokowego 11 uzależnione są od wyników porównania. Taka konfiguracja zapewnia dużą szybkość kontroli dostawy paliwa, także ułatwia proces napełniania pompy 10. Ponieważ urządzenie utrzymuje stałą zadaną wartość dostawy paliwa do palnika 1, wstrzyknięcie dodatkowej ilości paliwa do pompy 10 spowoduje niemal natychmiastowe wycofanie tłoka pompy powodując jej napełnienie. Z uwagi na fakt, że w procesie dynamicznej kontroli silnik krokowy 11 wykonuje ruchy rewersyjne, które następnie przenoszone są poprzez przekładnię śrubową do tłoka pompy; dla niektórych zastosowań zwłaszcza pracujących w trybie ciągłym, korzystniejsze jest zastosowanie liniowego silnika piezoceramicznego 13. Rozwiązanie takie przedstawiono na Fig. 3, gdzie silnik piezoceramiczny 13 sterowany jest sygnałem z miernika natężenia przepływu płynu 9 za pośrednictwem obwodu cyfrowego 15. Na Fig. 4 przedstawiono urządzenie kontroli dostawy paliwa 7 przystosowane do kontroli paliw gazowych. Funkcją elementu regulacyjnego pełni zawór 14 sterowany sygnałem z miernika natężenia przepływu płynu 9 za pośrednictwem silnika krokowego 11 i obwodu cyfrowego 12. Również i w tym przypadku standardowy silnik krokowy może być zastąpiony silnikiem piezoceramicznym. Urządzenie kontrolujące dostawę utleniacza 8 wykonano w sposób identyczny jak urządzenie kontrolujące dostawę paliw gazowych 7. W tym przypadku możliwe jest zastosowanie standardowych kontrolerów dla gazów.

Palnik stanowi płaska struktura ceramiczna 16 o długości 50 mm i szerokości 10 mm. W strukturze ceramicznej 16, w oparciu o ceramiczne kompozycje fotoformowalne, wykonano meandryczny kanał doprowadzający paliwo 20 zakończony czterema dyszami oraz kanał doprowadzający utleniacz 21 również zakończony czterema dyszami. Struktura ceramiczna 16 przykryta jest folią ceramiczną 24 (LTCC), która jednocześnie służy jako materiał zespalający płytkę ceramiczną 19. Struktura ceramiczna 16 i płytkę ceramiczną 19 mają wybrania 17 i 18, które po zespoleniu za pośrednictwem folii 24 stanowią komorę spalania 2. Tak wykonana komora spalania 2 ma otwarte dwie ścianki boczne, które przysłaniają dwie płytki 3A, 3B wykonane z azotku aluminium. Płytki 3A, 3B stanowią nośniki grzejników 4A, 4B, pełnią one również funkcję elementów rozprowadzających ciepło w otoczeniu komory spalania. Funkcja ta jest bardzo istotna, ponieważ strumień ciepła generowanego w procesie spalania jest silnie skoncentrowany, a ceramika alundowa, z której wykonano ceramiczną strukturę 16, nie wykazuje odporności na wysokie gradienty temperatury. Płytki 3A, 3B poprzez wyrównanie temperatury otoczenia komory spalania 2 zwiększają wytrzymałość termiczną palnika 1. Od zewnątrz komorę palnika osłaniają dwie płytki kwarcowe 22A, 22B, które pełnią funkcję elementów podtrzymujących wyprowadzenia 25 oraz stanowią nośnik dla dodatkowych pomocniczych termorezystorów platynowych 23A, 23B. Pomocnicze termorezystory 23A, 23B wchodzi w skład obwodu nadzorującego, który niezależnie od głównego obwodu kontroli temperatury śledzi zmiany temperatury struktury ceramicznej otaczającej komorę spalania. Jeżeli zmierzone oscylacje temperatury struktury ceramicznej otaczającej komorę spalania nie przekraczają dopuszczalnego limitu dokonuje się programowo korekty zmierzonej wartości ciepła spalania, w przeciwnym wypadku wysyłany jest sygnał alarmowy.

Z uwagi na duże różnice wartości temperaturowych współczynników rozszerzalności ceramiki alundowej, azotku aluminium i kwarcu płytki ceramiczne 3A, 3B nie zostały trwale połączone ze strukturą 16, a jedynie dociśnięte poprzez płytki kwarcowe 22A, 22B za pomocą sprężystych klamerek.

Grzejniki 4A, 4B pełnią funkcję rezystorów grzewczych i pomiarowych. Procesy te są realizowane naprzemiennie z częstotliwością repetycji 10 kHz. Po każdym impulsie grzewczym następuje proces komparacji sygnału pomiarowego rezystora z wartością zadaną. Obwód kontroli temperatury 5 łączy kolejny impuls grzewczy tylko wówczas jeżeli przechwycony sygnał z grzejników 4A, 4B wykazuje niższą wartość temperatury od wartości temperatury zadanej. Ponieważ grzejniki 4A, 4B łą-

czane są cyklicznie do źródła napięcia stałego przez ściśle określony odcinek czasu i jednocześnie, obwód kontroli utrzymuje stabilną wartość temperatury grzejników 4A, 4B, wartość dostarczonej mocy cieplnej jest wprost proporcjonalna do ilości cykli grzewczych w ustalonym przedziale czasowym.

Fig. 5 przedstawia zarejestrowane sygnały podczas pomiaru ciepła spalania wodoru. Zmiana szybkości dostawy wodoru do palnika 1 o wartość 60 ml/min skutkuje zmniejszeniem pobieranej mocy elektrycznej o wartość ok. 8W. Oszacowana wartość ciepła jest zbliżona do katalogowej wartości ciepła spalania dla wodoru ( $10,8 \text{ J/cm}^3$ ;  $121 \text{ MJ/kg}$  - LHV).

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru ciepła spalania węglowodorów, **znamienny tym**, że za pomocą grzejników elektrycznych utrzymuje się stałą temperaturę komory spalania, jednocześnie kontroluje się szybkość dostawy utleniacza do komory spalania oraz szybkość dostawy badanego paliwa, przy czym wcześniej, w urządzeniu cyfrowym ustala się programowo co najmniej dwie zadane wartości dla szybkości dostawy badanego paliwa do komory spalania, następnie zmienia się cyklicznie szybkość dostawy badanego paliwa i jednocześnie mierzy się wartość pobieranej przez grzejniki mocy elektrycznej, następnie za pomocą urządzenia cyfrowego oblicza się korelację pomiędzy zmierzonymi cyklicznymi zmianami wartości mocy elektrycznej dostarczanej do grzejników i cyklicznymi zmianami wartości szybkości dostawy badanego paliwa.

2. Sposób pomiaru ciepła spalania według zastrz. 1, **znamienny tym**, że za pomocą dodatkowych termorezystorów platynowych (23A), (23B) połączonych z układem kontroli (5) nadzoruje się zewnętrzną temperaturę struktury ceramicznej otaczającej komorę spalania (2) i w zależności od wartości zmierzonych cyklicznych zmian temperatury dokonuje się programowo korekty zmierzonej wartości ciepła spalania.

3. Miernik ciepła spalania węglowodorów posiadający palnik, urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa do palnika i urządzenie kontrolujące dostawę utleniacza do palnika, **znamienny tym**, że ma palnik (1) w którego końcowym fragmencie umiejscowiona jest komora spalania (2), której co najmniej dwie ścianki boczne wykonane są z ceramicznego materiału o wysokiej przewodności cieplnej w postaci dwóch płytek (3A), (3B), przy czym płytki (3A), (3B) wyposażone są w grzejniki (4A), (4B), które połączone są z obwodem kontroli temperatury (5), który z kolei połączony jest z cyfrowym urządzeniem obliczeniowym (6), ponadto z cyfrowym urządzeniem obliczeniowym (6) połączone jest urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa (7) do palnika (1) oraz urządzenie kontrolujące dostawę utleniacza (8) do palnika (1).

4. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że grzejniki (4A), (4B) wykonane są z materiału odpornego na procesy degradacji w wysokich temperaturach, natomiast podłoże grzejników (4A), (4B) stanowi materiał ceramiczny o wysokiej przewodności cieplnej, większej od  $100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

5. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa (7) do palnika (1) zawiera miernik natężenia przepływu płynu (9), który za pośrednictwem obwodu cyfrowego (12) połączony jest z silnikiem krokowym (11) napędzającym pompę (10).

6. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa (7) do palnika (1) zawiera miernik natężenia przepływu płynu (9), który za pośrednictwem obwodu cyfrowego (15) połączony jest z liniowym silnikiem piezoceramicznym (13) napędzającym pompę (10).

7. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że urządzenie kontrolujące dostawę badanego paliwa (7) do palnika (1) zawiera miernik natężenia przepływu płynu (9), który połączony jest z zaworem (14) sterowanym sygnałem z miernika natężenia przepływu (9) za pośrednictwem silnika krokowego (11) i obwodu cyfrowego (12).

8. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że palnik (1) stanowi płaska struktura ceramiczna (16) posiadająca wybranie (17), które wraz z wybraniem (18) płytki ceramicznej (19) stanowi komorę spalania (2), ponadto palnik (1) ma kanał doprowadzający paliwo (20) i kanał doprowadzający utleniacz (21), przy czym kanał doprowadzający paliwo (20) ma strukturę meandryczną.

9. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3, **znamienny tym**, że grzejniki (4A), (4B) otaczające komorę spalania osłonięte są od zewnątrz dwiema płytkami izolacyjnymi (22A), (22B) wykonanymi z materiału o niskiej przewodności cieplnej ( $< 1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).

10. Miernik ciepła spalania według zastrz. 3 i zastrz. 9, **znamienny tym**, że na powierzchni płytek izolacyjnych (22A), (22B) zostały nałożone cienkowarstwowe rezystory platynowe (23A), (23B).

## Rysunki

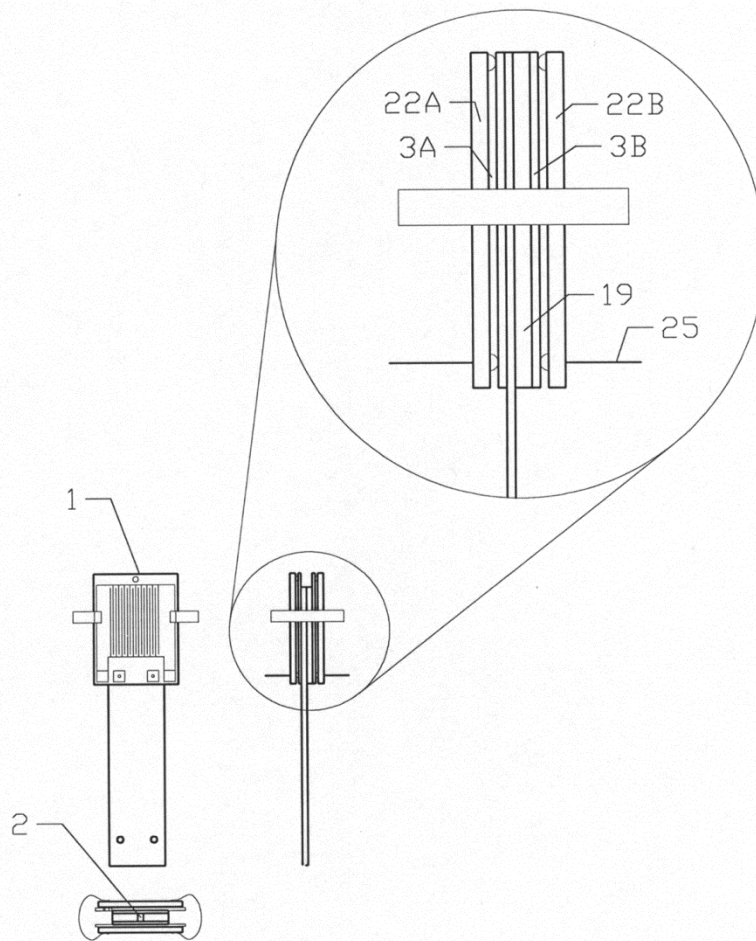


Fig. 1A

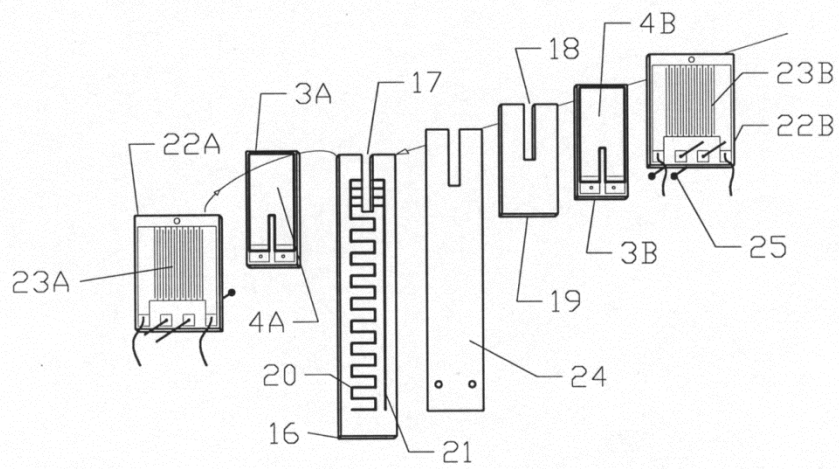


Fig. 1B

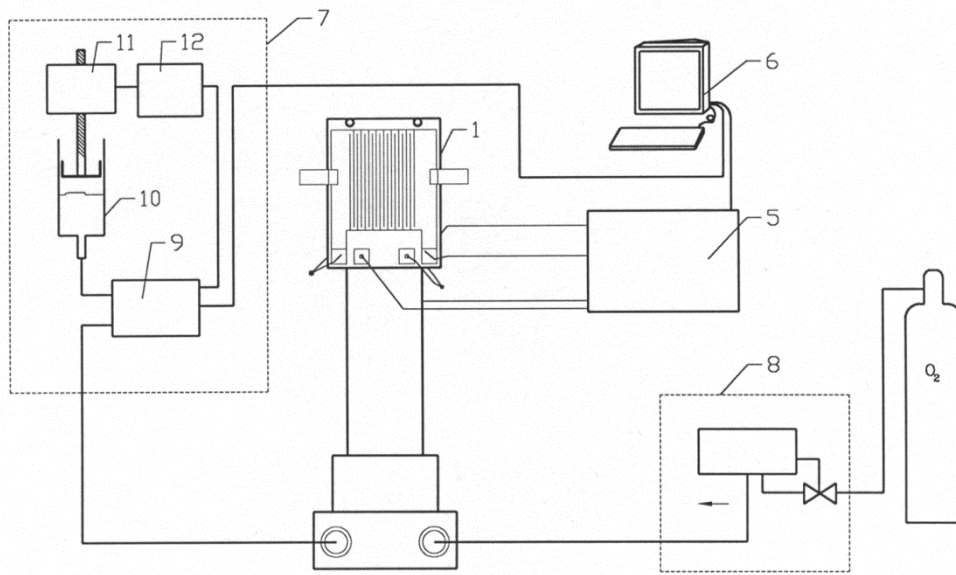


Fig. 2

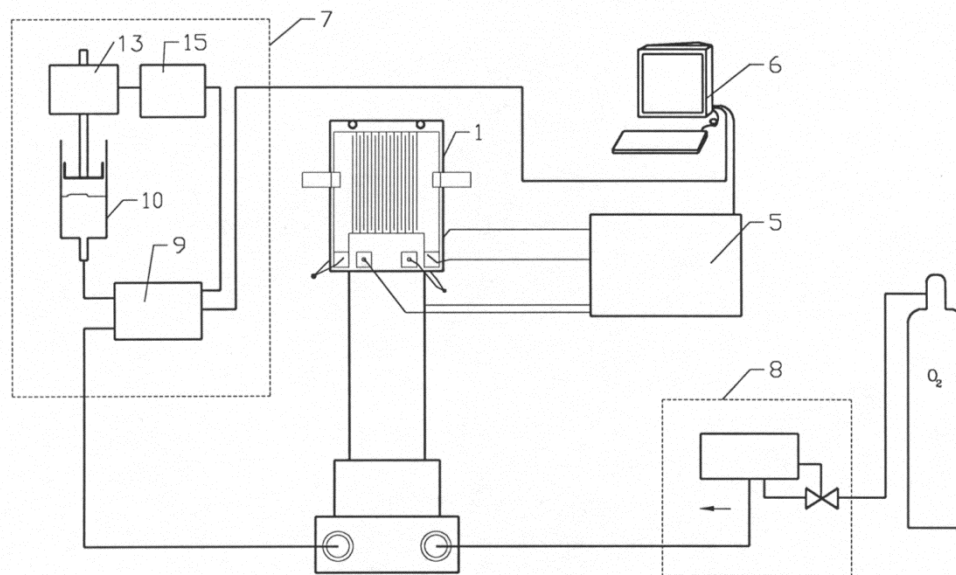


Fig. 3

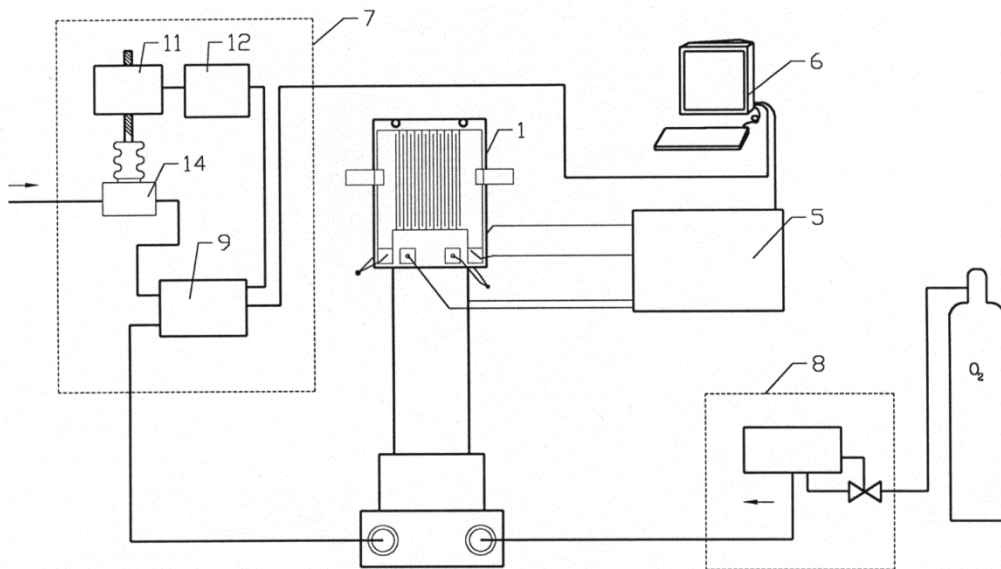


Fig. 4

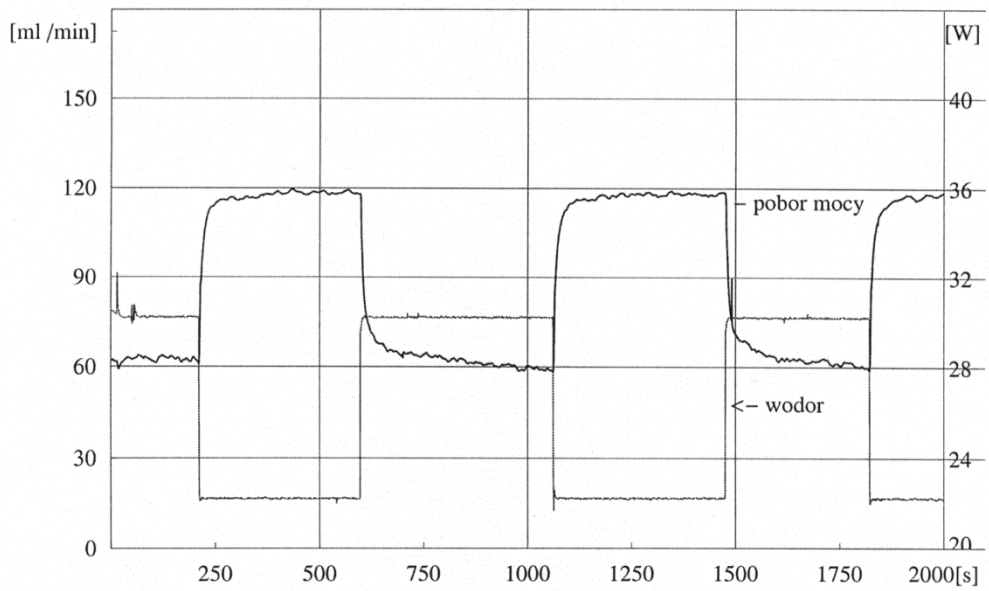


Fig. 5