RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **231296**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **402538**

(22) Data zgłoszenia: **24.01.2013**

(51) Int.Cl.
F02G 1/044 (2006.01)

(54) **Maszyna tłokowa pracująca w obiegu Stirlinga**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
04.08.2014 BUP 16/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.02.2019 WUP 02/19

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
STANISŁAW PŁASKA, Lublin, PL
WOJCIECH PŁASKA, Ciecierzyn Łagiewniki, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Tomasz Milczek

PL 231296 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest maszyna tłokowa pracująca w obiegu Stirlinga.

Znany jest silnik ze spalaniem zewnętrznym opatentowany w roku 1816 przez Roberta Stirlinga. Silnik ten jest silnikiem bezzaworowym posiadającym w cylindrze dwa współosiowe tłoki napędzane oddzielnie. Poza tym w zamkniętym obiegu czynnika roboczego tego silnika znajduje się chłodnica oraz regeneracyjny i rekuperacyjny wymiennik ciepła. W budowanych obecnie zmodernizowanych silniach Stirlinga czynnikiem roboczym jest wodór lub hel.

W patencie PL nr 145978 przedstawiono silnik ze spalaniem zewnętrznym, który jest wyposażony w rekuperacyjny wymiennik ciepła oraz cylindry, w których umieszczone są tłoki współpracujące z jednym wałem korbowym. Dwa z cylindrów, o objętościach skokowych jednakowych lub prawie jednakowych, są połączone z sobą za pośrednictwem rekuperacyjnego wymiennika ciepła, a umieszczone w nich tłoki są przeciwbieżnie. Jeden z cylindrów, umieszczony przed wymiennikiem, jest wyposażony w dwa samoczynne zawory, z których jeden stanowi wlot czynnika do tego cylindra, zaś drugi wylot czynnika do wymiennika. Na wylocie z drugiego cylindra jest umieszczony zawór podwójnego działania, którego zawieradło współpracuje z gniazdem stanowiącym wylot z wymiennika i gniazdem stanowiącym wlot do trzeciego cylindra, o objętości skokowej znacznie większej niż objętości skokowe pozostałych dwóch cylindrów, przy czym umieszczony w nim tłok jest przeciwbieżny w stosunku do tłoka umieszczonego w cylindrze, z którym jest połączony, nadto cylinder ten jest wyposażony w zawór stanowiący wylot z tego cylindra. Czynnik roboczy zassany do cylindra znajdującego się przed wymiennikiem ciepła zostaje następnie przetoczony przez wymiennik ciepła do cylindra znajdującego się za wymiennikiem przy otwartym wylocie z wymiennika. Dzięki temu wzrasta temperatura i ciśnienie czynnika roboczego. Gdy tłok w cylindrze za wymiennikiem osiągnie dolne martwe położenie następuje zamknięcie wylotu z wymiennika i otwarcie wlotu do trzeciego cylindra o znacznie większej objętości skokowej, co umożliwia przetoczenie czynnika roboczego do tego cylindra. W czasie tego przetaczania czynnik roboczy zwiększa swą objętość wykonując pracę. Gdy tłok z trzeciego cylindra osiągnie dolne martwe położenie otwiera się zawór wydechowy i następuje usunięcie czynnika roboczego z tego cylindra. Energia cieplna potrzebna do pracy silnika jest dostarczana czynnikowi roboczemu w wymienniku ciepła, przy czym energia ta pochodzi ze spalania, poza silnikiem, dowolnego paliwa.

Z opisu patentowego USA nr 4622813 znany jest silnik ze spalaniem zewnętrznym, który charakteryzuje się tym, że w dnach jego cylindra są po dwa zawory, przy czym między zaworami każdej pary zaworów, z których jeden jest zaworem przestrzeni sprężania a drugi zaworem przestrzeni rozprężania, są umieszczone szeregowo nagrzewnica, regenerator i chłodnica.

Z opisu patentowego USA nr 4077221 jest znany silnik ze spalaniem zewnętrznym, który posiada co najmniej dwa cylindry - sprężający i rozprężający, przy czym zawory umieszczone w dnach cylindrów, po stronie przestrzeni sprężania, są sterowane.

W znanych odmianach silników Stirlinga najczęściej występuje układ korbowy lub układ pracujący na podobnej zasadzie do układu korbowego, sprzęgający ruch tłoka z ruchem wypornika. W takim rozwiązaniu ruch tłoka wyprzedza ruch wypornika o kąt 90°, co powoduje, że charakterystyka ruchu wypornika w czasie, względem środkowego punktu położenia tłoka jest zbliżona do sinusoidalnej. Zasadniczą wadą występującą w znanych rozwiązaniach silników związaną z wymianą ciepła jest fakt, że wymiana ta jest najbardziej intensywna tylko na niewielkim odcinku ruchu tłoka. Ten sposób pracy powoduje niską sprawność silników cieplnych.

W opisie patentowym wynalazku PL nr 173465 przedstawiono układ do przetwarzania energii cieplnej i mechanicznej. Zawiera on co najmniej jeden zespół komór pierwszej i drugiej, które są połączone ze sobą za pośrednictwem przewodu a w każdej z komór są umieszczone tłoki, przy czym pierwszy tłok umieszczony w pierwszej komorze jest połączony z zespołem uruchamiającym, a w jednej z komór jest umieszczony aparat wtryskowy. Układ charakteryzuje się tym, że z co najmniej jednym z pierwszego tłoka znajdującego się w pierwszej komorze i z drugiego tłoka umieszczonego w drugiej komorze co najmniej jednego zespołu komór jest połączony stały człon. Stały człon stanowi wyjściowe tłoczysko drugiego tłoka umieszczonego w drugiej komorze, a przy drugiej komorze każdego zespołu komór jest usytuowany zespół grzewczy sprężonego gazu. Zespół grzewczy zawiera wymiennik ciepła umieszczony pomiędzy pierwszą, komorą i drugą komorą zespołu komór. W innym wariancie wynalazku zespół grzewczy jest umieszczony w drugiej komorze. Zespół grzewczy zawiera aparaty wtryskowe gorącej cieczy, które są usytuowane w drugiej komorze. Zespół grzewczy zawiera źródło cieczy o co

najmniej dwóch różnych temperaturach, które jest połączone z aparatami wtryskowymi co najmniej jednej z komór pierwszej i drugiej. Pierwsza komora zawiera zawór wlotowy gazu oraz zawór kontrolny usytuowany pomiędzy pierwszą komorą i drugą komorą, a z drugą komorą jest połączony otwór wlotowy paliwa. Zawory kontrolne są usytuowane w wylocie pierwszej komory lub są usytuowane we wlocie drugiej komory zespołu komór. Pierwsza komora jest połączona przewodem z dodatkową komorą zawierają dodatkowy tłok, a przed dodatkową komorą jest umieszczony zespół grzewczy sprężonego gazu.

Zespół grzewczy jest połączony z płaszczem chłodzącym drugiej komory. W innym wariancie wynalazku zespół grzewczy zawiera wymiennik ciepła umieszczony pomiędzy pierwszą komorą i drugą komorą. Dodatkowy tłok jest połączony ze stałym członem. Dodatkowa komora jest połączona poprzez zawór wlotowy ze źródłem gazu.

Patent PL/EP nr 1917434 opisuje 4-cyklowy silnik Stirlinga typu alfa z 2 podwójnymi jednostkami tłoków, które poruszają się względem siebie przesunięte w fazie, składającymi się z 2 tłoków połączonych ze sobą tłoczyskami i z przedłużeniami tłoczysk połączonymi u góry mechanicznie w przekładni. Podwójna jednostka tłoków może składać się z tłoka rozprężnego i tłoka sprężającego, 2 tłoków rozprężnych i 2 tłoków sprężających.

W rozwiązaniu według zgłoszenia DE nr 38 34 071 A1 ujawniono silnik cieplny oparty na zasadzie Stirlinga, w którym ruch dwóch tłoków zimnych jest w stosunku do dwóch tłoków gorących przesunięty w fazie o mniej więcej 90°. Strony tylne obydwóch tłoków zimnych połączone są ze sobą drążkami. To samo dotyczy także odpowiednich tłoków gorących. Między obydwoma tłokami zimnymi lub obydwoma tłokami ciepłymi umieszczona jest przekładnia z płytą zataczającą, która jest połączona z górnymi tłokami przy pomocy korbowodów.

W opisie patentowym PL nr 212854 przedstawiono silnik cieplny Stirlinga z regeneratorem zawierającym część ogrzewaną i chłodzoną, w którym obrotowo i przesuwnie jest osadzony wypornik sprzęgnięty z tłokiem. Silnik ten charakteryzuje się tym, że tłok jest osadzony na wale silnika a wał silnika jest zespolony z wypornikiem i jest wyposażony w wodzik osadzony ruchowo w wyprofilowanym krzywkowym kanale, wykonanym korzystnie w obudowie silnika. Krzywkowy kanał posiada odcinki prostych połączone krzywymi łukowymi a ich ilość jest podwojoną ilością par części ogrzewanych i chłodzonych regeneratora. Tłok jest osadzony obrotowo na wale lub może być połączony z wałem na sztywno. Przewiduje się także rozwiązanie, w którym wypornik jest osadzony przesuwnie na wale, korzystnie poprzez wieloklin.

Możliwe jest też rozwiązanie w którym tłok, wypornik, wał oraz wodzik mechanizmu krzywkowego stanowią monolit. Takie rozwiązanie znacznie upraszcza budowę silnika gdyż stanowi jedyny ruchomy element, konieczny do działania silnika. Element ten jest wyważony i stanowi koło zamachowe. Element ten w całym cyklu pracy wykonuje ruch zawierający składową posuwisto-zwrotną, natomiast blisko dolnego lub górnego położenia element ten zawiera niejednostajną składową obrotową. Składową roboczą ruchu silnika, jest składowa posuwisto-zwrotna. W tym rozwiązaniu nie jest konieczna zamiana składowej roboczej ruchu posuwisto-zwrotnego na ruch obrotowy. W niniejszym rozwiązaniu niejednostajna składowa obrotowa występuje tylko po to, aby wypornik mógł przesłaniać kolejno stronę chłodzoną oraz stronę ogrzewaną regeneratora. Ruch obrotowo-niejednostajny jest realizowany za pomocą mechanizmu krzywkowego.

Istotą maszyny tłokowej pracującej w obiegu Stirlinga składającej się z co najmniej dwóch jednostek napędowych z zsynchronizowanymi tłoczyskami, których cylindry połączone ze sobą przemiennie poprzez pakiety: podgrzewaczy, regeneratorów i chłodnic oraz posiadająca jednostkę przetwarzającą energię mechaniczną na energię elektryczną jest to, że posiada podgrzewacze i chłodnice tworzące odrębne pakiety rur ciepła, zaś jednostką przetwarzającą energię mechaniczną na elektryczną stanowią liniowe generatory prądowe, które napędzane są tłoczyskami, natomiast wzajemne położenia tłoczysk poszczególnych jednostek napędowych ustalane są przez liniowe generatory prądowe pracujące jako silniki liniowe, które są sterowane mikroprocesorowym układem sterującym za pomocą sygnałów z czujników położenia tłoczysk, realizujący cykl obiegu termodynamicznego. Na tłoczyskach umieszczone są czujniki położenia, które połączone są z wejściami sygnałowymi mikroprocesorowego układu sterującego. Wartości sygnałów z czujników są stale porównywane przez mikroprocesorowy układ sterujący z zapisanymi w jego pamięci trajektoriami położeń tłoczysk, odpowiadających obiegowi termodynamicznemu realizowanemu przez silnik cieplny.

Maszyna tłokowa uwidoczniona jest w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy maszyny, a fig. 2 – schematycznie jedną z jednostek napędowych przeciętą wzdłuż osi cylindra.

Maszyna tłokowa pracująca w obiegu Stirlinga składa się z dwóch silników I i II z czterema cylindrami odpowiednio A, B silnik I, C, D silnik II, realizujących obieg cieplny dla silnika dwustronnego działania. Rozwiązanie z zastosowaniem tych silników wynika z potrzeb realizacji jednego lub też kilku obiegów cieplnych Sterlinga, który obejmuje 4 fazy:

– Fazę 1 sprężania, podczas której w wyniku zmniejszania objętości wzrasta ciśnienie,
– Fazy 2 przetłaczania gazu z jednoczesnym jego nagrzewaniem do przestania sprężania,
– Fazy 3 rozprężania gazu w wyniku zwiększania objętości i spadku ciśnienia,
– Fazy 4 przetłaczania gazu wraz z jego chłodzeniem do przestania sprężania.

Realizację tego cyklu umożliwia zastosowanie dwóch silników I i II podwójnego działania, zastosowanie silnika I z cylindrami A i B i silnika II z cylindrami C i D. Zastosowanie tych silników zapewnia bardziej równomierną pracę maszyny.

W przedstawionym rozwiązaniu jeden cykl obiegu cieplnego Stirlinga realizują silniki I i II w cylindrach A i B oraz C i D, których cykle są przesunięte w fazie o wartość $\beta = -\pi/2$. Ma to na celu uzyskanie równomiernego przekazywania przetwarzanej mocy do liniowych generatorów prądowych G1 i G2. Dla uzyskania efektywnego sprężania w fazie 1 oraz rozprężania w fazie 3, które są realizowane w cylindrach A i D silników I i II na przewodach doprowadzających gaz roboczy, zastosowane są zawory sterujące Z służące zamknięciu komór silników I i II w fazach cyklu. Zawory sterujące Z są otwierane lub zamykane automatycznie, w zależności od położenia tłoka, określonego względem jego górnej pozycji zwrotnej GPZ lub dolnej pozycji zwrotnej DPZ i kąta opóźnienia fazowego α. Sterowanie zaworami realizowane jest przez mikroprocesorowy układ MUS sterujący i elementy wykonawcze W poruszające zaworami sterującymi Z.

Pojedynczy silnik składa się: z cylindrów A i B, zamkniętych dennicami DE1 i DE2, tłoków T1 i T2 umieszczonych w odpowiednio w cylindrach A i B oraz tłoczyska TR łączącego tłoki T1 i T2, Tłoczysko TR przez tuleje E w dennicach DE2 przechodzi na zewnątrz cylindrów A i B. Cylindry A i B, dennice DE1 i DE2 wykonane są z materiałów odpornych na temperaturę, korzystnie około 800ºC, i o małej przewodności cieplnej. Ponadto cylindry A i B silnika mają zróżnicowane objętości robocze górną i dolną, dostosowane do zróżnicowanych objętości gazu roboczego występujących podczas obiegu cieplnego. Cylindry A i B silnika I oraz cylindry C i D silnika II są połączone ze sobą parami za pomocą tłoczysk TR. Na tłoczyskach TR silników I i II umieszczone są liniowe prądowe generatory G1 i G2. Liniowe prądowe generatory G1 i G2 pracują przemiennie jak liniowe prądnice lub silnik. Położenia tłoków T1 i T2 silnika I względem swoich cylindrów A i B są tak dobrane, że osiągają jednocześnie swoje górne GPZ lub dolne DPZ punkty zwrotne, zaś tłoki T3 i T4 silnika II realizują takie same położenia i są przesunięte w fazie w stosunku do silnika I. Na tłoczyskach TR silników I i II umieszczone są czujniki położenia CP, których wyjścia połączone są z wejściami sygnałowymi mikroprocesorowego urządzenia MUS sterującego. Mikroprocesorowe urządzenie MUS sterujące przetwarza sygnał z czujników położenia CP i porównuje z zapisanym w nim cyklu obiegu termodynamicznego, zapewniając tym samym wzajemną synchronizację przemieszczeń tłoczysk TR silników I i II wyrażonym w opóźnieniu fazowym a od 2,97 rad. do 4,36 rad. Silnik ten może pracować jako pompa cieplna lub chłodziarka przy zastosowaniu odpowiednich położeń zaworów trójdrogowych ZT1 i ZT1 sprzęgających wyjścia cylindrów realizujących cykl sprężania i rozprężania oraz odpowiednio cykl grzania i chłodzenia dla silników I i II.

Wykaz oznaczeń

A,B	cylindry silnika I
C i D	cylindry silnika II
T1	tłok rozprężny silnika I
T2	tłok sprężający silnika I
T3	tłok sprężający silnika II
T4	tłok rozprężający silnika II
TR	tłoczysko łączące odpowiednio tłoki T1 i T2 oraz tłoki T3 i T4 silników I i II
CP	czujnik położenia trzpieni roboczych silników I i II
G1 i G2	liniowe generatory prądowe (z możliwością pracy jako silniki)
DE1, DE2	Dennice lub głowice tłokowe

Z	zawory w dennicach po dwa na cylinder
MUS	mikroprocesorowy układ sterowania
Z1	zawór trójdrogowy łączący wyjścia z cylindrów A i D
Z2	zawór trójdrogowy łączący wyjścia z cylindrów B i C
W	elementy wykonawcze poruszające zaworami sterującymi (Z)

Zastrzeżenia patentowe

1. Maszyna tłokowa pracująca w obiegu Stirlinga składająca się z co najmniej dwóch jednostek napędowych z zsynchronizowanymi ze sobą tłoczyskami, których cylindry połączone ze sobą przemiennie poprzez pakiety: podgrzewaczy, regeneratorów i chłodnic oraz posiadająca jednostkę przetwarzającą energię mechaniczną na energię elektryczną, **znamienna tym**, że posiada podgrzewacze (N1 + N4) i chłodnice (H1 + H4) tworzące odrębne pakiety rur ciepła, zaś jednostką przetwarzającą energię mechaniczną na elektryczną stanowią liniowe generatory (G1 i G2) prądowe, które napędzane są tłoczyskami (TR), natomiast wzajemne położenia tłoczysk (TR) poszczególnych jednostek (I i II) napędowych ustalane są przez liniowe generatory (G1 i G2) prądowe pracujące jako silniki liniowe, które są sterowane mikroprocesorowym układem (MUS) sterującym za pomocą sygnałów z czujników (CP) położenia tłoczysk (TR), realizujący cykl obiegu termodynamicznego.
2. Maszyna według zastrz. 1, **znamienna tym**, że na tłoczyskach (TR) umieszczone są czujniki (CP) położenia, które połączone są z wejściami sygnałowymi mikroprocesorowego układu (MUS) sterującego.
3. Maszyna według zastrz. 1, **znamienna tym**, że wartości sygnałów z czujników (CP) są stale porównywane przez mikroprocesorowy układ (MUS) sterujący z zapisanymi w jego pamięci trajektoriami położeń tłoczysk (TR), odpowiadających obiegowi termodynamicznemu realizowanemu przez silnik cieplny.

Rysunki

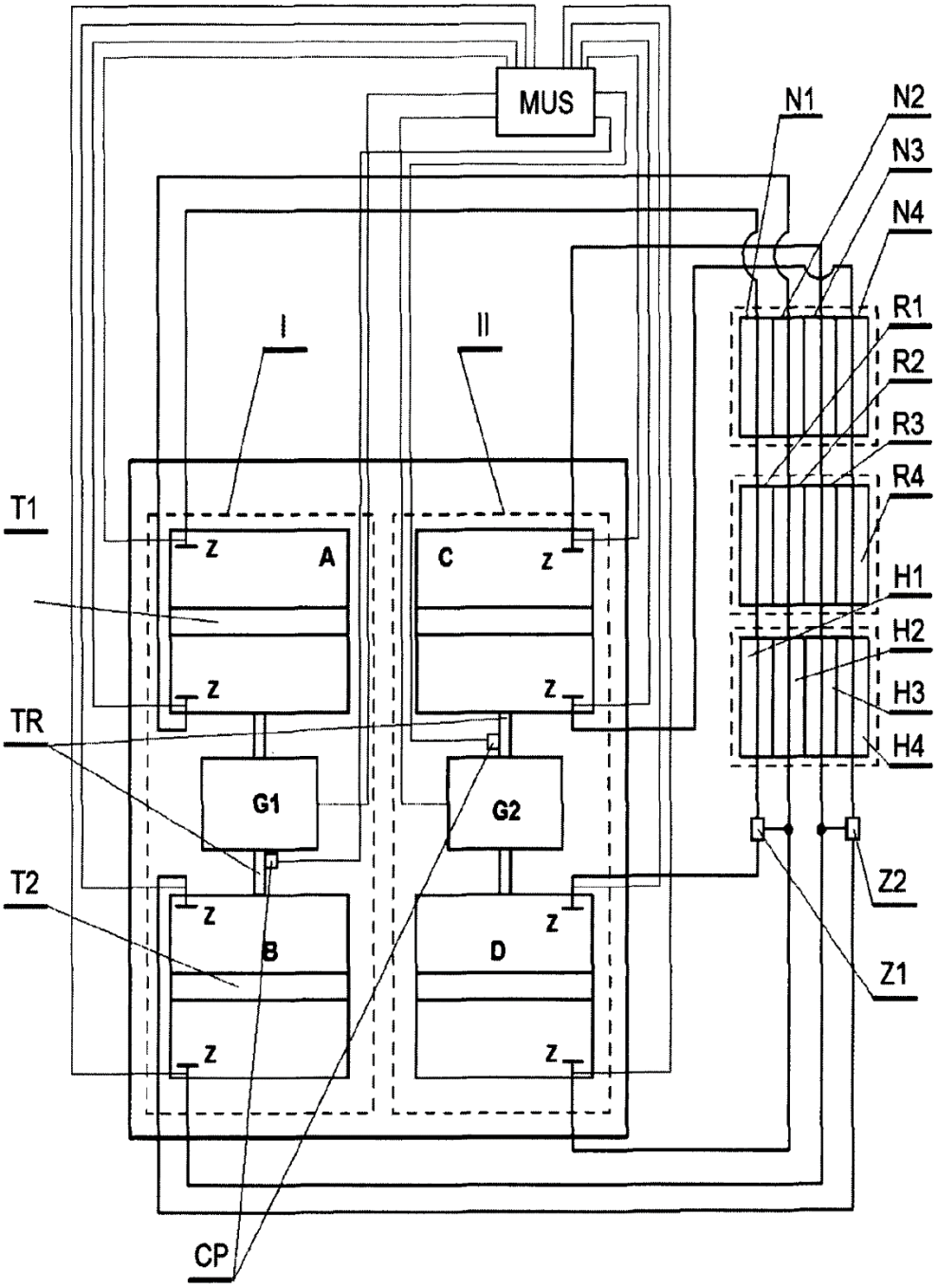

Fig. 1

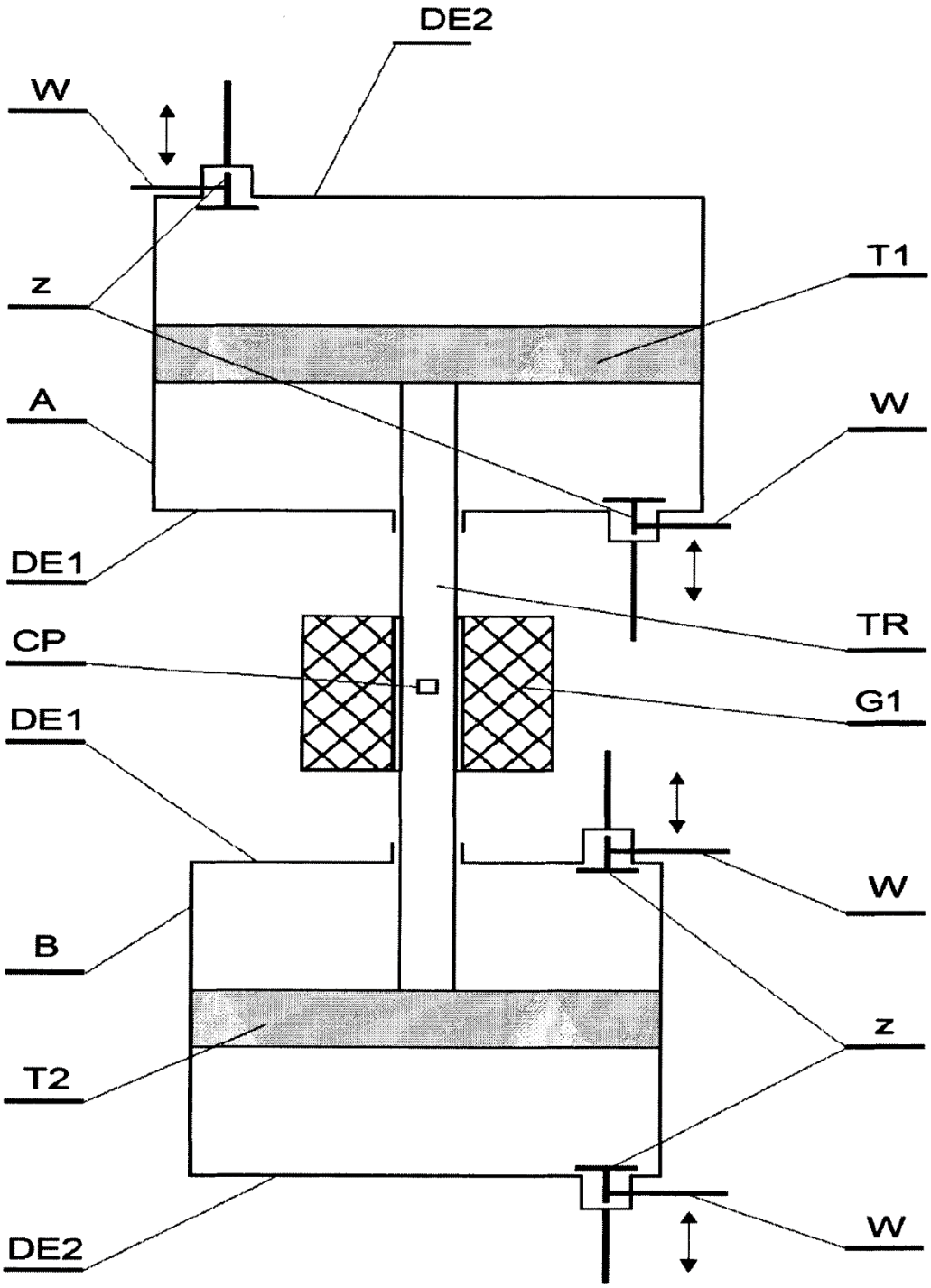

Fig. 2

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)