

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 249038 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **446180**

(22) Data zgłoszenia: **2023.09.19**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.07.15 BUP 29/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.02.23 WUP 08/2026**

(51) MKP:

**G01N 25/18** (2006.01)

**G01N 21/71** (2006.01)

**G01J 5/48** (2022.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**SEBASTIAN PAWLAK, Katowice, PL**

**WOJCIECH ADAMCZYK, Mikołów, PL**

**GRZEGORZ MATULA, Mikołów, PL**

**PRZEMYSŁAW SNOPIŃSKI, Gliwice, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Katarzyna Borkowy, Gliwice, PL**

(54) Tytuł:

**Stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną**

**PL 249038 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, stosowane głównie dla materiałów niejednorodnych, np. warstwowych materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej oraz materiałów porowatych, charakteryzujących się niską wartością współczynnika przewodzenia ciepła. Stanowisko przeznaczone jest również do badań kontaktowego oporu przepływu ciepła.

Z amerykańskiego opisu patentowego US 6142662 (A) znane jest stanowisko do równoczesnego wyznaczania przewodności cieplnej i kontaktowego oporu przepływu ciepła, którego układ pomiarowy zbudowany jest z dwóch metalowych brył, przy czym jedna z tych brył jest nagrzewana, a druga jest chłodzona. Bryły te mają postać prostopadłościanu o podstawie kwadratu lub postać walca. Pomiedzy tymi bryłami umieszczana jest na styk do nich próbka do badań. Ze względu na rolę jaką pełnią metalowe bryły w układzie pomiarowym, nazywane są one często bryłami do pomiaru przepływu ciepła lub pomiaru strumienia ciepła (z j. ang. heat flow meter blocks/bars lub heat flux meter blocks/bars), które dla uproszczenia zapisu są określane w dalszej części opisu jako *bryły pomiarowe* lub skrótowo – *bryły*. Jedna z tych brył posadowiona jest poprzez element grzewczy lub chłodzący na płycie mocującej dolnej, która stanowi nieruchomą podstawę stanowiska badawczego. Z kolei, druga z brył przymocowana jest do elementu grzewczego lub chłodzącego, przytwierdzonego do ruchomej płyty mocującej górnej, która przemieszczana jest względem pionowych prowadnic lub kolumn prowadzących. Zastosowanie płyty mocującej ruchomej umożliwia przemieszczanie bryły pomiarowej górnej względem bryły pomiarowej dolnej na zadaną odległość celem umieszczenia pomiędzy tymi bryłami próbki do badań oraz kolejno przyłożenia obciążenia ściskającego próbkę, tak aby możliwe było wykonywanie pomiaru kontaktowego oporu przepływu ciepła dla różnych wartości siły nacisku.

Z innego amerykańskiego opisu patentowego US 10775329 (B2) znane jest urządzenie do wyznaczania przewodności cieplnej, którego układ pomiarowy zbudowany jest z dwóch metalowych brył pomiarowych (nagrzewanej i chłodzonej), pomiędzy którymi umieszczona jest próbka do badań. Urządzenie wyposażone jest w układ osiowej korekcji ustawienia brył pomiarowych, zapewniający równomierny nacisk na badaną próbkę, co ma bezpośredni wpływ na dokładność wykonywanego pomiaru. Urządzenie to umożliwia badanie próbek posiadających nieznaczną odchyłkę płaskorównoległości powierzchni, które stykają się z bryłami pomiarowymi.

Również znane jest z polskiego opisu patentowego PL 238631 (B1) stanowisko do badania kontaktowego oporu przepływu ciepła oraz przewodności cieplnej, którego układ pomiarowy zbudowany jest z dwóch metalowych brył pomiarowych (nagrzewanej i chłodzonej), pomiędzy którymi umieszczona jest próbka do badań. W stanowisku tym zastosowano układ do precyzyjnego termostatowania brył pomiarowych, który złożony jest z przylegających do siebie modułu termoelektrycznego (Peltiera) i chłodnicy wodnej, przy czym układ ten posadowiony jest na sprężynach usytuowanych pomiędzy bryłą pomiarową a płytą mocującą i dwiema podporami bocznymi. Zastosowanie takiego układu wpływa na uzyskiwanie dużej precyzji i stabilności zadanych wartości temperatury w trakcie wykonywanego pomiaru, co w efekcie zwiększa dokładność pomiarową stanowiska.

Najczęściej stosowane laboratoryjne stanowiska do pomiaru przewodności cieplnej w warunkach ustalonego przepływu ciepła, których układ pomiarowy stanowią dwie metalowe bryły prostopadłościenne lub walcowe, umożliwiają wykonywanie badań zgodnie z wytycznymi przedstawionymi m.in. w amerykańskiej normie ASTM D5470-17 (Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thermally Conductive Electrical Insulation Materials, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2017). Obie bryły pomiarowe stosowane w tych stanowiskach są wytworzone z tego samego materiału o wysokiej wartości przewodności cieplnej, najczęściej stopów miedzi lub aluminium. Na stanowiskach tych dokonuje się pomiaru strumienia ciepła (ustalonego w czasie), potrzebnego do wyznaczenia przewodności cieplnej próbki badanej. Ponadto, dokonuje się oszacowania wartości temperatury pomiędzy stykającymi się powierzchniami, tj. próbki z bryłą pomiarową nagrzewaną oraz próbki z bryłą pomiarową chłodzoną. Na podstawie tych pomiarów wyznaczany jest całkowity opór przepływu ciepła, stanowiący sumę oporu (wewnętrzny) próbki i dwóch oporów stykających się powierzchni, który z kolei może być przeliczony na wartość efektywnej przewodności cieplnej.

W celu wyznaczenia strumienia ciepła, koniecznego do obliczenia przewodności cieplnej, dokonuje się pomiaru wartości (gradientu) temperatury wzdłuż wysokości/długości obu brył pomiarowych. Ze

względu na potrzebę wyznaczenia możliwie dokładnej wartości strumienia ciepła, mającej zasadniczy wpływ na uzyskany wynik, pomiaru temperatury dokonuje się w kilku miejscach każdej z brył pomiarowych. Do tego celu stosuje się kontaktowe czujniki temperatury (np. termopary) umieszczone w nieprzelotowych otworach, wykonanych symetrycznie wzdłuż wysokości obu brył pomiarowych. Końce pomiarowe tych czujników są osadzone w osi lub w pobliżu osi każdej bryły pomiarowej. Dla oszacowania wartości temperatury na styku brył pomiarowych z obiema powierzchniami próbki stosuje się typowo procedurę polegającą na liniowej ekstrapolacji zmierzonych wartości (gradientu) temperatury na długości brył pomiarowych do wartości długości odpowiadającej końcom brył pomiarowych. Brak rzeczywistych (zmierzonych) wartości temperatury na styku brył pomiarowych z obiema powierzchniami próbki może prowadzić do niepewności pomiarowej.

Dla spełnienia warunku jednowymiarowego przepływu ciepła w układzie pomiarowym, obie metalowe bryły pomiarowe muszą być zaizolowane termicznie zewnętrzną izolacją, wykonaną z materiału o bardzo dobrych własnościach izolacyjnych, co w efekcie ma pozwolić na wyznaczenie dokładnych wartości strumienia ciepła. W przypadku niektórych materiałów badanych (np. o niskiej wartości przewodności cieplnej lub wysokiej wartości oporu przepływu ciepła), konieczne jest wykonywanie pomiaru w zakresie wysokich wartości temperatury układu grzewczego bryły nagrzewanej. W efekcie tego powstają większe straty ciepła w układzie pomiarowym i konieczna staje się ich minimalizacja (dla zapewnienia jednowymiarowego przepływu ciepła). Stanowi to techniczną trudność, gdyż w dotychczasowych rozwiązaniach zastosowana izolacja układu pomiarowego posiada szereg otworów lub szczelinę na przewody czujników temperatury wystających z brył pomiarowych. W praktyce, ze względu na obecność czujników temperatury w otworach brył pomiarowych, brak jest możliwości zastosowania „szczelnej” izolacji termicznej. Ponadto, utrudnione jest przy tym zapewnienie przylegania izolacji z wymaganą dokładnością do wszystkich powierzchni bocznych brył pomiarowych. W efekcie lokalnego braku przylegania izolacji do powierzchni bocznych brył pomiarowych występuje niejednorodność gęstości strumienia ciepła, co w konsekwencji ma wpływ na wartość wielkości mierzonej. Praktyka laboratoryjna dowodzi, że brak powtarzalności jakości zakładanej izolacji pomiędzy poszczególnymi pomiarami uniemożliwia prowadzenie badań porównawczych, pomimo ustabilizowanych zadanych wartości temperatury układu grzewczego i układu chłodzącego. Brak skutecznej izolacji układu pomiarowego wprowadza znaczny błąd do obliczanej wartości współczynnika przewodzenia ciepła. Występujące straty ciepła z układu pomiarowego do otoczenia wpływają bezpośrednio na przyjęte w obliczeniach założenie jednowymiarowego przepływu ciepła. Wpływ jakości zaizolowania układu pomiarowego i innych związanych z tym czynników na uzyskiwane błędy pomiarowe przy stosowaniu omawianych stanowisk badawczych opisano w literaturze źródłowej, m.in.: Ahmed Elkholy, Roger Kempers, An accurate steady-state approach for characterizing the thermal conductivity of additively manufactured polymer composites, *Case Studies in Thermal Engineering* 31, 2022 (doi: 10.1016/j.csite.2022.101829).

Dotychczasowe stanowiska do badań przewodności cieplnej nie umożliwiają rejestracji rzeczywistego rozkładu temperatury na powierzchni brył pomiarowych, stosując bezkontaktowe badania termograficzne, ze względu na obecność izolacji termicznej, przysłaniającej dostęp do brył pomiarowych. Typowe rozwiązania konstrukcyjne izolacji termicznej brył pomiarowych, uwzględniające obecność kontaktowych czujników temperatury, nie pozwalają na uzyskiwanie możliwie wysokiej dokładności pomiarowej stanowiska badawczego.

Celem wynalazku i zagadnieniem technicznym wymagającym rozwiązania jest opracowanie stanowiska do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, które umożliwi rejestrację rzeczywistego rozkładu temperatury na powierzchni brył pomiarowych i próbki badanej (w warunkach jednowymiarowego przepływu ciepła), oraz jednocześnie wartości temperatury w miejscach styku brył pomiarowych z próbką badaną i na tej podstawie uzyskanie wysokiej dokładności wartości mierzonego parametru.

Stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, posiadające płytę mocującą dolną, płytę mocującą górną i płytę oporową z osadzonym na niej układem napędowym, oraz układ pomiarowy złożony z zaizolowanych termicznie dwóch metalowych brył prostopadłościennych nagrzewanej i chłodzonej, oraz kamerę termowizyjną, charakteryzuje się tym, że posiada izolację termiczną obu brył pomiarowych, górnej i dolnej, składającą się z czterech części przesuwanych, górnej lewej, górnej prawej, dolnej lewej, dolnej prawej, stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, oraz dwóch części nieruchomych, górnej i dolnej stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, przy czym każda

z części przesuwnych, górna lewa, górna prawa, dolna lewa, dolna prawa, posadowiona jest trwale na przynależnym do każdej z nich wsporniku nośnym, a każdy wspornik nośny przymocowany jest do ruchomego członu modułu wykonawczego, gdzie każdy moduł wykonawczy stanowi napęd liniowy, pneumatyczny lub elektryczny, o programowalnej długości skoku, a obie części nieruchome, górna i dolna, zamocowane są rozłącznie do brył pomiarowych, górnej i dolnej, ponadto części nieruchome, górna i dolna, posiadają w rzucie na płaszczyznę poziomą kształt litery „U” z wewnętrznym wybraniem, którego dowolne dwie ściany mające wspólną krawędź są prostopadłe, natomiast części przesuwne, górna lewa i górna prawa, izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej górnej, a części przesuwne, dolna lewa i dolna prawa, izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej dolnej, przy czym części przesuwne, górna lewa i górna prawa, izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, a części przesuwne dolna lewa i dolna prawa, izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, ponadto części przesuwne, górna lewa i górna prawa, izolacji w pozycji zamkniętej przylegają do siebie jedną powierzchnią, a części przesuwne, dolna lewa i dolna prawa, izolacji w pozycji zamkniętej przylegają do siebie jedną powierzchnią, natomiast moduły wykonawcze poziomego przesuwu części przesuwnych, górnej lewej i górnej prawej, izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, a moduły wykonawcze poziomego przesuwu części przesuwnych, dolnej lewej i dolnej prawej, izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, przy czym moduły wykonawcze, przynależne do części przesuwnych, górnej lewej i górnej prawej, izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu obu tych części przesuwnych, górnej lewej i górnej prawej, izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej górnej, na której rejestrowane są obrazy termograficzne, a moduły wykonawcze, przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej i dolnej prawej, izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu obu tych części przesuwnych, dolnej lewej i dolnej prawej, izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej dolnej, na której rejestrowane są obrazy termograficzne, przy czym moduły wykonawcze, przynależne do części przesuwnych, górnej lewej i górnej prawej, izolacji, zamocowane są do płyty nośnej górnej za pośrednictwem podpór górnych, a moduły wykonawcze, przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej i dolnej prawej, izolacji, zamocowane są do płyty nośnej dolnej za pośrednictwem podpór dolnych, natomiast obie części nieruchome, górna i dolna, izolacji posiadają wewnętrzne wybranie, którego kształt odpowiada kształtowi zewnętrznemu brył pomiarowych, górnej i dolnej, ponadto część nieruchoma górna izolacji wraz z obiema częściami przesuwными, górną lewą i górną prawą, izolacji w pozycji zamkniętej w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową górną, a część nieruchoma dolna izolacji wraz z obiema częściami przesuwными, dolną lewą i dolną prawą, izolacji w pozycji zamkniętej w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową dolną, przy czym część nieruchoma górna izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej górnej, a część nieruchoma dolna izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej dolnej.

Korzystnie posiada dociskacz górny zamocowany do płyty nośnej górnej.

Korzystnie posiada dociskacz dolny zamocowany do płyty nośnej dolnej.

Korzystnie obie części nieruchome, górna i dolna, izolacji oraz części przesuwne, górna lewa, górna prawa, dolna lewa, dolna prawa, izolacji są ze spienionego tworzywa sztucznego, korzystnie poliizocyanuratu (PIR) lub poliuretanu (PUR).

Korzystnie posiada wysięgnik do mocowania kamery termowizyjnej, który przytwierdzony jest rozłącznie lub na stałe do płyty mocującej dolnej.

Korzystnie na wysięgniku osadzona jest prowadnica liniowa.

Korzystnie kamera termowizyjna posadowiona jest na prowadnicy liniowej.

Korzystnie na wysięgniku osadzona jest kamera termowizyjna.

Korzystnie wspornik nośny zaopatrzony jest w trzpienie, których liczba wynosi co najmniej dwa.

Korzystnie wspornik nośny posiada gniazdo do mocowania ruchomego członu modułu wykonawczego.

Korzystnie wszystkie części przesuwne, górna lewa, górna prawa, dolna lewa, dolna prawa, izolacji posiadają otwory na trzpienie.

Korzystnie wspornik nośny posiada otwory na śruby lub magnesy stałe, które to otwory zlokalizowane są w gnieździe, a liczba tych otworów wynosi co najmniej dwa.

Stanowisko według wynalazku pozwala na całkowite wyeliminowanie pomiaru wartości (gradientu) temperatury za pomocą kontaktowych czujników temperatury, umożliwiając tym samym stosowanie izolacji o wysokiej precyzji wykonania, co było trudne lub dotychczas niemożliwe do uzyskania stosując znane rozwiązania. Dzięki wysokiej precyzji wykonania izolacji uzyskuje się dużą dokładność jej przylegania do powierzchni brył pomiarowych oraz dokładność przylegania współpracujących ze sobą poszczególnych części izolacji. W wyniku zastosowania konstrukcji izolacji według wynalazku uzyskuje się dużą jednorodność gęstości strumienia ciepła, co w efekcie prowadzi do zmniejszenia błędów pomiarowych. Ponadto, stanowisko według wynalazku umożliwia wizualizację przepływu ciepła przez próbkę badaną, co z kolei stanowi dodatkowe źródło wiedzy potrzebne m.in. do symulacji numerycznych przepływu ciepła, np. w przypadku badań niejednorodnych materiałów warstwowych w tym głównie materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej oraz materiałów porowatych. Dodatkową korzyścią rozwiązania według wynalazku jest brak dodatkowych urządzeń peryferyjnych niezbędnych w przypadku stosowania kontaktowych czujników temperatury, jak np. wielokanałowego rejestratora wartości temperatury czy układu do termostatowania (lub kompensacji temperatury) zimnych końców term opar. Dzięki zastosowaniu rozwiązania według wynalazku brak jest dodatkowych czynności wynikających z konieczności kalibracji termopar, np. po ich okresowej wymianie. Ponadto, brak czujników temperatury wystających z otworów w bryłach pomiarowych niweluje zjawisko powstawania mostków cieplnych. Korzyścią przy stosowaniu stanowiska według wynalazku jest całkowita powtarzalność zaizolowania układu pomiarowego pomiędzy poszczególnymi pomiarami, co umożliwi prowadzenie analiz porównawczych oraz oszacowywanie rozrzutu wyników przy badaniach próbek z jednej populacji. Stanowisko pomiarowe według wynalazku cechuje się uzyskiwaniem mniejszych błędów pomiarowych w stosunku do znanych rozwiązań, i w efekcie pozwala wyznaczyć z dużą dokładnością wartość wielkości mierzonej.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania został ujawniony na rysunku, na którym: Fig. 1 ilustruje stanowisko do badań w rzucie głównym na płaszczyznę; Fig. 2 i Fig. 3 ilustrują aksonometryczne widoki stanowiska do badań z pokazanym usytuowaniem kamery termowizyjnej podczas wykonywanego pomiaru, odpowiednio od strony części przesuwnej izolacji oraz od strony części nieruchomych izolacji; Fig. 4 i Fig. 5 ilustrują przekroje poprzeczne izolacji i bryły pomiarowej, odpowiednio dla pozycji zamkniętej oraz pozycji otwartej; Fig. 6 ilustruje schemat układu pomiarowego; Fig. 7 ilustruje aksonometryczny widok w rozsunięciu części przesuwnej izolacji i wspornika nośnego; Fig. 8 ilustruje aksonometryczny widok części nieruchomej izolacji.

### Przykład I

Stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, wyposażone w płytę mocującą dolną, płytę mocującą górną i płytę oporową z osadzonym na niej układem napędowym, oraz układ pomiarowy złożony z zaizolowanych termicznie dwóch metalowych brył prostopadłościennych nagrzewanej i chłodzonej, oraz kamerę termowizyjną, znamienne tym, że posiada izolację termiczną obu brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), składającą się z czterech części przesuwnych, górnej lewej (12a), górnej prawej (12b), dolnej lewej (12c), dolnej prawej (12d), stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, oraz dwóch części nieruchomych, górnej (11a) i dolnej (11b), stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, przy czym każda z części przesuwnych, górna lewa (12a), górna prawa (12b), dolna lewa (12c), dolna prawa (12d), posadowiona jest trwale na przynależnym do każdej z nich wsporniku nośnym (13), a każdy wspornik nośny (13) przymocowany jest do ruchomego członu (14) modułu wykonawczego (15), gdzie każdy moduł wykonawczy (15) stanowi napęd liniowy, pneumatyczny lub elektryczny, o programowalnej długości skoku, a obie części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), zamocowane są rozłącznie do brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), ponadto części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), posiadają w rzucie na płaszczyznę poziomą kształt litery „U” z wewnętrznym wybraniem (11.1), którego dowolne dwie ściany mające wspólną krawędź są prostopadłe, natomiast części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej górnej (6), a części przesuwne, dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej dolnej (7), przy czym części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, a części przesuwne dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, ponadto części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji w pozycji zamkniętej (A) przylegają do siebie jedną

powierzchnią, a części przesuwne, dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji w pozycji zamkniętej (A) przylegają do siebie jedną powierzchnią, natomiast moduły wykonawcze (15) poziomego przesuwu części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, a moduły wykonawcze (15) poziomego przesuwu części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, przy czym moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu ( $r_x$ ) obu tych części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej górnej (6), na której rejestrowane są obrazy termograficzne, a moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu ( $r_x$ ) obu tych części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej dolnej (7), na której rejestrowane są obrazy termograficzne, przy czym moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji, zamocowane są do płyty nośnej górnej (2.1) za pośrednictwem podpór (19) górnych, a moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji, zamocowane są do płyty nośnej dolnej (1.1) za pośrednictwem podpór (19) dolnych, natomiast obie części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), izolacji posiadają wewnętrzne wybranie, którego kształt odpowiada kształtowi zewnętrznemu brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), ponadto część nieruchoma górna (11a) izolacji wraz z obiema częściami przesuwymi, górną lewą (12a) i górną prawą (12b), izolacji w pozycji zamkniętej (A) w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową górną (6), a część nieruchoma dolna (11b) izolacji wraz z obiema częściami przesuwymi, dolną lewą (12c) i dolną prawą (12d), izolacji w pozycji zamkniętej (A) w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową dolną (7), przy czym część nieruchoma górna (11a) izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej górnej (6), a część nieruchoma dolna (11b) izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej dolnej (7).

### Przykład II

Stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, składa się z płyty mocującej dolnej (1), płyty mocującej górnej (2), płyty oporowej (3), elementu grzewczego (9), chłodnicy (10) i układu pomiarowego w postaci dwóch brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), przy czym jedna z tych brył jest nagrzewana a druga jest chłodzona. Płyta mocująca górna (2) jest ruchoma i przemieszczana jest (zgodnie z kierunkiem ruchu  $r_z$ ) na łożyskach liniowych względem czterech kolumn prowadzących (4) za pośrednictwem układu napędowego (5) posadowionego na płycie oporowej (3). Układ napędowy (5), umożliwiający regulację siły docisku badanych próbek, stanowi siłownik ze sprzęgłem lub silnik krokowy ze sprzęgłem i śrubą pociągową. Z kolei, na płycie mocującej dolnej (1) zamocowana jest płyta nośna dolna (1.1) za pośrednictwem czterech jednakowych elementów podatnych dolnych (1.2) zlokalizowanych w narożach płyty nośnej dolnej (1.1). Analogicznie, do płyty mocującej górnej (2) zamocowana jest płyta nośna górna (2.1) za pośrednictwem czterech jednakowych elementów podatnych górnych (2.2) zlokalizowanych w narożach płyty nośnej górnej (2.1). Do płyty nośnej dolnej (1.1) przymocowana jest pośrednio (poprzez przekładkę izolacyjną) chłodnica (10) w postaci metalowego bloku z wewnętrznymi kanałami wodnymi, na którym posadowiona jest na stałe bryła pomiarowa dolna (7). Z kolei, do płyty nośnej górnej (2.1) przymocowany jest pośrednio (poprzez przekładkę izolacyjną) elektrooporowy element grzewczy (9), do którego przymocowana jest bryła pomiarowa górna (6). Obie bryły pomiarowe, górna (6) i dolna (7), mają postać prostopadłościanów o powierzchni podstawy  $40 \times 40 \text{ mm}^2$  i wysokości 115 mm. Bryły pomiarowe, górna (6) i dolna (7), wytworzone są ze stopu metalu o wysokiej wartości przewodności cieplnej, korzystnie aluminium. Górna podstawa bryły pomiarowej górnej (6) jest nagrzewana poprzez kontakt z elementem grzewczym (9), a dolna podstawa bryły pomiarowej dolnej (7) jest chłodzona poprzez kontakt z chłodnicą (10). Pomiędzy bryłą pomiarową górną (6) a dolną (7) znajduje się próbka do badań (8) z warstwowego materiału kompozytowego epoksydowo-węglowego (typu CFRP) o grubości 4,6 mm i powierzchni  $40 \times 40 \text{ mm}^2$ . Stanowisko posiada zewnętrzną izolację termiczną obu brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), wytworzoną z pianki poliuretanowej (PUR), która składa się z części nieruchomej górnej (11a) i części nieruchomej dolnej (11b) oraz czterech części przesuwnych, górnej lewej (12a), górnej prawej (12b), dolnej lewej (12c), dolnej prawej (12d). Obie Części nieruchome (11a) i (11b) izolacji w przekroju poprzecznym

posiadają kształt litery „U” z wewnętrznym wybraniem wytworzonym na wymiar brył pomiarowych. Ponadto, część nieruchoma górna (11a) zakrywa jednocześnie trzy z czterech ścian bocznych bryły pomiarowej górnej (6), a część nieruchoma dolna (11b) zakrywa jednocześnie trzy z czterech ścian bocznych bryły pomiarowej dolnej (7). Obie części nieruchome (11a) i (11b) izolacji zamocowane są rozłączenie do brył pomiarowych (6) i (7), i utrzymywane są w zadanej pozycji dociskaczami, górnym (20a) i dolnym (20b), osadzonymi suwliwie w prowadnicach samohamownych. Czołowa ściana bryły pomiarowej górnej (6) zakryta jest (na czas stabilizowania się wartości temperatury układu pomiarowego) symetrycznie dwiema częściami przesuwными (12a) i (12b) izolacji. Analogicznie, czołowa ściana bryły pomiarowej dolnej (7) zakryta jest (na czas stabilizowania się wartości temperatury układu pomiarowego) symetrycznie dwiema częściami przesuwными (12c) i (12d) izolacji. Każda z części przesuwных (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji posadowiona jest trwale (poprzez połączenie klejowe) na usztywniającym metalowym wsporniku nośnym (13), zaopatrzonym w trzpienie (13.1), zapewniające stabilne posadowienie piankowej izolacji. Każda część przesuwna (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji posiada otwory (12.1) o średnicy nieznacznie większej w stosunku do średnicy trzpieni (13.1), umożliwiając tym samym wypełnienie pozostałej przestrzeni klejem montażowym. Wspornik nośny (13) wytworzony jest z płaskownika, np. aluminiowego, o grubości 5 mm, na którym trwale posadowiono w rzędzie trzy trzpienie (13.1), stosując dowolną technikę łączenia, korzystnie poprzez wprasowanie ciasno pasowanych trzpieni w niepokazane na rysunkach otwory w płaskowniku. Wspornik nośny (13) posiada gniazdo (13.2) o głębokości 2,5 mm w kształcie prostokąta o wymiarach 70,2 mm x 30,2 mm, które dopasowane jest do kształtu i wymiarów prostokątnej płytki montażowej ruchomego członu (14) modułu wykonawczego (15). W gnieździe (13.2) znajdują się cztery jednakowe otwory (13.3), w których osadzone są ciasno pasowane magnesy stałe, utrzymujące w zadanej pozycji stalową płytkę montażową. Możliwe jest również zastosowanie połączenia śrubowego płytki montażowej ze wspornikiem nośnym (13), przy czym w takim rozwiązaniu otwory (13.3) są gwintowane. Tego typu sposoby zamocowania rozłącznego (poprzez magnesy stałe lub śruby) umożliwiają łatwe i szybkie zdejmowanie części przesuwных izolacji. Dla przykładowego wykonania średnica trzpienia (13.1) wynosi 7 mm, a średnica otworu nieprzelotowego (12.1) wynosi 9 mm. Liczba otworów nieprzelotowych (12.1) równa jest liczbie trzpieni (13.1) i wynosi co najmniej dwa. Przestrzeń zawarta pomiędzy otworami nieprzelotowymi (12.1) a trzpieniami (13.1) wypełniona jest klejem montażowym, przy czym dla skutecznego zaizolowania termicznego brył pomiarowych (6) i (7), korzystnym jest, aby proces utwardzania kleju montażowego prowadzony był na docelowym stanowisku do badań przy zapewnieniu przylegania powierzchni części przesuwных (12a), (12b), (12c), (12d) do powierzchni brył pomiarowych (6) i (7), co w efekcie zapewnia dokładne przyleganie tych powierzchni podczas wykonywanego pomiaru. Ruchomy człon (14) posiada podwójną prowadnicę na łożyskach liniowych zabudowanych w korpusie modułu wykonawczego (15). Moduł wykonawczy (15) stanowi napęd liniowy elektryczny (lub opcjonalnie pneumatyczny) o programowalnej długości skoku w zakresie od 0 do 20 mm. Moduły wykonawcze (15) górne zamocowane są za pośrednictwem podpór (19) do płyty nośnej górnej (2.1), a moduły wykonawcze (15) dolne zamocowane są za pośrednictwem podpór (19) do płyty nośnej dolnej (1.1). Moduły wykonawcze (15) umożliwiają częściom przesuwным (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji ruch posuwisto-zwrotny (zgodnie z kierunkiem ruchu  $r_x$ ) za pomocą sił  $F_x$  i  $-F_x$  (przemieszczanie z pozycji zamkniętej A do pozycji otwartej B oraz przemieszczenie powrotne). Stanowisko według wynalazku umożliwia badanie próbek posiadających nieznaczną odchyłkę płaskorównoległości powierzchni, które stykają się z bryłami pomiarowymi (6) i (7), co wynika z zastosowania elementów podatnych dolnych (1.2) i górnych (2.2) do mocowania płyt nośnych, dolnej (1.1) i górnej (2.1). Stąd, należy zaznaczyć, że jednakowe oznaczenie kierunku ruchu ( $r_x$ ) dla członów ruchomych (14) modułów wykonawczych (15) dolnych i górnych jest uproszczone (umowne) i prawdziwe jedynie w przypadku badań próbek płaskorównoległych, które nie powodują zmiany wzajemnego położenia osi brył pomiarowych i kierunki ruchu członów ruchomych modułów wykonawczych dolnych i górnych pokrywają się. Stanowisko posiada wysięgnik (18) do stabilnego mocowania kamery termowizyjnej (16) korzystnie za pośrednictwem prowadnicy liniowej (17). Kształt wysięgnika (18) zaprojektowany jest tak, aby oś optyczna kamery termowizyjnej (16) znajdowała się korzystnie na wysokości próbki badanej (8). Zastosowanie wysięgnika (18) z prowadnicą (17) umożliwia pozycjonowanie kamery termowizyjnej (16) i precyzyjne ustawianie jej odległości od brył pomiarowych (6) i (7), co w efekcie zapewnia powtarzalność rejestracji obrazu dla przyporządkowanej liczby pikseli na zdefiniowanej długości linii pomiarowych na powierzchni obu brył. W celu

zarejestrowania obrazu termograficznego na powierzchni brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), oraz próbki badanej (8) wyzwała się z poziomu komputera PC (21), lub sterownika programowalnego (22) typu PLC, przesuw ruchomych członów (14) modułów wykonawczych (15) na zaprogramowaną odległość (tj. z pozycji zamkniętej A do pozycji otwartej B, np. o wartość skoku równą 15 mm i w czasie krótszym niż 2 s). Następnie, po przemieszczeniu się części przesuwnych (12a), (12b), (12c) i (12d) izolacji do pozycji otwartej (B) zostaje wysłany automatycznie sygnał z napędu liniowego (wyposażonego w wewnętrzny czujnik pozycji typu enkoder) do komputera PC (21), który powoduje bezzwłoczne włączenie nagrywania (rejestrację obrazów termograficznych) kamerą termowizyjną (16) za pośrednictwem dedykowanego oprogramowania. Podczas etapu stabilizowania się przepływu ciepła w układzie pomiarowym części przesuwne (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji parami są dosunięte do siebie na styk (pozycja zamknięta A), zapewniając dokładne („szczelne”) zaizolowanie termicznie obu brył pomiarowych (6) i (7). Fragment powierzchni obu brył pomiarowych (6) i (7), na którym rejestrowane są obrazy termograficzne, pokryty jest cienką warstwą czarnej matowej farby o współczynniku emisyjności wynoszącym około 0,9. Opcjonalnie, dla uzyskania większej dokładności pomiaru rozkładu temperatury na grubości próbki badanej (8), przemieszcza się kamerę termowizyjną (16) na prowadnicy liniowej (17) w stronę brył pomiarowych (6) i (7) i rejestruje się dodatkowy obraz termograficzny. Na podstawie zarejestrowanych gradientów temperatury na obu bryłach pomiarowych (6) i (7) oraz na grubości próbki badanej (8), wyznacza się wartość strumienia ciepła potrzebnego do obliczeń przewodności cieplnej lub oporu przepływu ciepła. Aby uzyskać prawidłowe wyniki potrzebne do obliczeń wartości wielkości mierzonej należy dokonać kilku pomiarów wstępnych (rejestracji gradientu temperatury) w różnych odstępach czasu i porównać zarejestrowane gradienty temperatury celem stwierdzenia ustabilizowania się temperatury układu. Każda rejestracja gradientu temperatury odbywa się bezzwłocznie (i w tej samej chwili czasu) po przemieszczeniu się części przesuwnych (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji do pozycji otwartej (B). Po wykonanym pomiarze, celem wyjęcia i zmiany próbki do badań (8), wysuwa się dociskacze (20a) i (20b) z prowadnic i zdejmuje się części nieruchome (11a) i (11b) izolacji, przemieszcza się części przesuwne (12a), (12b), (12c), (12d) izolacji do pozycji otwartej (B) i kolejno podnosi się bryłę pomiarową górną (6) na zadaną odległość względem bryły pomiarowej dolnej (7) za pośrednictwem układu napędowego (5).

#### Wykaz oznaczeń

- 1 – płyta mocująca dolna
- 1.1 – płyta nośna dolna
- 1.2 – element podatny dolny
- 2 – płyta mocująca górna
- 2.1 – płyta nośna górna
- 2.2 – element podatny górny
- 3 – płyta oporowa
- 4 – kolumna prowadząca
- 5 – układ napędowy
- 6 – bryła pomiarowa górna
- 7 – bryła pomiarowa dolna
- 8 – próbka badana
- 9 – element grzewczy
- 10 – chłodnica
- 11a – część nieruchoma górna
- 11b – część nieruchoma dolna
- 11.1 – wybranie
- 12a – część przesuwna górna lewa
- 12b – część przesuwna górna prawa
- 12c – część przesuwna dolna lewa
- 12d – część przesuwna dolna prawa
- 12.1 – otwór nieprzelotowy
- 13 – wspornik nośny
- 13.1 – trzpień
- 13.2 – gniazdo

- 13.3 – otwór
- 14 – człon ruchomy
- 15 – moduł wykonawczy
- 16 – kamera termowizyjna
- 17 – prowadnica liniowa
- 18 – wysięgnik
- 19 – podpora
- 20a – dociskacz górny
- 20b – dociskacz dolny
- 21 – komputer PC
- 22 – sterownik programowalny
- A – pozycja zamknięta
- B – pozycja otwarta
- $F_x$  – siła na kierunku osi x
- $r_x$  – kierunek ruchu na osi x
- $r_y$  – kierunek ruchu na osi y
- $r_z$  – kierunek ruchu na osi

### Zastrzeżenia patentowe

1. Stanowisko do badań przewodności cieplnej metodą termograficzną, posiadające płytę mocującą dolną, płytę mocującą górną i płytę oporową z osadzonym na niej układem napędowym, oraz układ pomiarowy złożony z zaizolowanych termicznie dwóch metalowych brył prostopadłościennych nagrzewanej i chłodzonej, oraz kamerę termowizyjną, **znamiennie tym**, że posiada izolację termiczną obu brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), składającą się z czterech części przesuwnych, górnej lewej (12a), górnej prawej (12b), dolnej lewej (12c), dolnej prawej (12d), stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, oraz dwóch części nieruchomych, górnej (11a) i dolnej (11b), stanowiących izolacje termiczne korzystnie ze spienionego tworzywa sztucznego, przy czym każda z części przesuwnych, górna lewa (12a), górna prawa (12b), dolna lewa (12c), dolna prawa (12d), posadowiona jest trwale na przynależnym do każdej z nich wsporniku nośnym (13), a każdy wspornik nośny (13) przymocowany jest do ruchomego członu (14) modułu wykonawczego (15), gdzie każdy moduł wykonawczy (15) stanowi napęd liniowy, pneumatyczny lub elektryczny, o programowalnej długości skoku, a obie części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), zamocowane są rozłącznie do brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), ponadto części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), posiadają w rzucie na płaszczyznę poziomą kształt litery „U” z wewnętrznym wybraniem (11.1), którego dowolne dwie ściany mające wspólną krawędź są prostopadłe, natomiast części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej górnej (6), a części przesuwne, dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji usytuowane są na wysokości bryły pomiarowej dolnej (7), przy czym części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, a części przesuwne dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji mają postać prostopadłościanów o jednakowych wymiarach, ponadto części przesuwne, górna lewa (12a) i górna prawa (12b), izolacji w pozycji zamkniętej (A) przylegają do siebie jedną powierzchnią, a części przesuwne, dolna lewa (12c) i dolna prawa (12d), izolacji w pozycji zamkniętej (A) przylegają do siebie jedną powierzchnią, natomiast moduły wykonawcze (15) poziomego przesuwu części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, a moduły wykonawcze (15) poziomego przesuwu części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji osadzone są w poziomie naprzeciwko siebie, przy czym moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu ( $r_x$ ) obu tych części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej górnej (6), na której rejestrowane są obrazy termograficzne, a moduły wykonawcze

(15), przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji, osadzone są tak, że kierunek ruchu ( $r_x$ ) obu tych części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji jest równoległy do powierzchni czołowej bryły pomiarowej dolnej (7), na której rejestrowane są obrazy termograficzne, przy czym moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, górnej lewej (12a) i górnej prawej (12b), izolacji, zamocowane są do płyty nośnej górnej (2.1) za pośrednictwem podpór (19) górnych, a moduły wykonawcze (15), przynależne do części przesuwnych, dolnej lewej (12c) i dolnej prawej (12d), izolacji, zamocowane są do płyty nośnej dolnej (1.1) za pośrednictwem podpór (19) dolnych, natomiast obie części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), izolacji posiadają wewnętrzne wybranie, którego kształt odpowiada kształtowi zewnętrznemu brył pomiarowych, górnej (6) i dolnej (7), ponadto część nieruchoma górna (11a) izolacji wraz z obiema częściami przesuwными, górną lewą (12a) i górną prawą (12b), izolacji w pozycji zamkniętej (A) w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową górną (6), a część nieruchoma dolna (11b) izolacji wraz z obiema częściami przesuwными, dolną lewą (12c) i dolną prawą (12d), izolacji w pozycji zamkniętej (A) w rzucie na płaszczyznę poziomą tworzą wewnątrz kształt kwadratu otaczającego w tym rzucie bryłę pomiarową dolną (7), przy czym część nieruchoma górna (11a) izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej górnej (6), a część nieruchoma dolna (11b) izolacji zakrywa łącznie trzy ściany boczne bryły pomiarowej dolnej (7).

2. Stanowisko według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że posiada dociskacz górny (20a) zamocowany do płyty nośnej górnej (2.1).
3. Stanowisko według zastrz. 1 albo 2, **znamiennie tym**, że posiada dociskacz dolny (20b) zamocowany do płyty nośnej dolnej (1.1).
4. Stanowisko według zastrz. 1, 2 albo 3, **znamiennie tym**, że obie części nieruchome, górna (11a) i dolna (11b), izolacji oraz części przesuwne, górna lewa (12a), górna prawa (12b), dolna lewa (12c), dolna prawa (12d), izolacji są ze spienionego tworzywa sztucznego, korzystnie poliizocyanuratu (PIR) lub poliuretanu (PUR).
5. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 4, **znamiennie tym**, że posiada wysięgnik (18) do mocowania kamery termowizyjnej (16), który przytwierdzony jest rozłącznie lub na stałe do płyty mocującej dolnej (1).
6. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 5, **znamiennie tym**, że na wysięgniku (18) osadzona jest prowadnica liniowa (17).
7. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 6, **znamiennie tym**, że kamera termowizyjna (16) posadowiona jest na prowadnicy liniowej (17).
8. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 7, **znamiennie tym**, że na wysięgniku (18) osadzona jest kamera termowizyjna (16).
9. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 8, **znamiennie tym**, że wspornik nośny (13) zaopatrzony jest w trzpienie (13.1), których liczba wynosi co najmniej dwa.
10. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 9, **znamiennie tym**, że wspornik nośny (13) posiada gniazdo (13.2) do mocowania ruchomego członu (14) modułu wykonawczego (15).
11. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 10, **znamiennie tym**, że wszystkie części przesuwne, górna lewa (12a), górna prawa (12b), dolna lewa (12c), dolna prawa (12d), izolacji posiadają otwory (12.1) na trzpienie (13.1).
12. Stanowisko według jednego spośród zastrz. od 1 do 11, **znamiennie tym**, że wspornik nośny (13) posiada otwory (13.3) na śruby lub magnesy stałe, które to otwory (13.3) zlokalizowane są w gnieździe (13.2), a liczba tych otworów (13.3) wynosi co najmniej dwa.

Rysunki

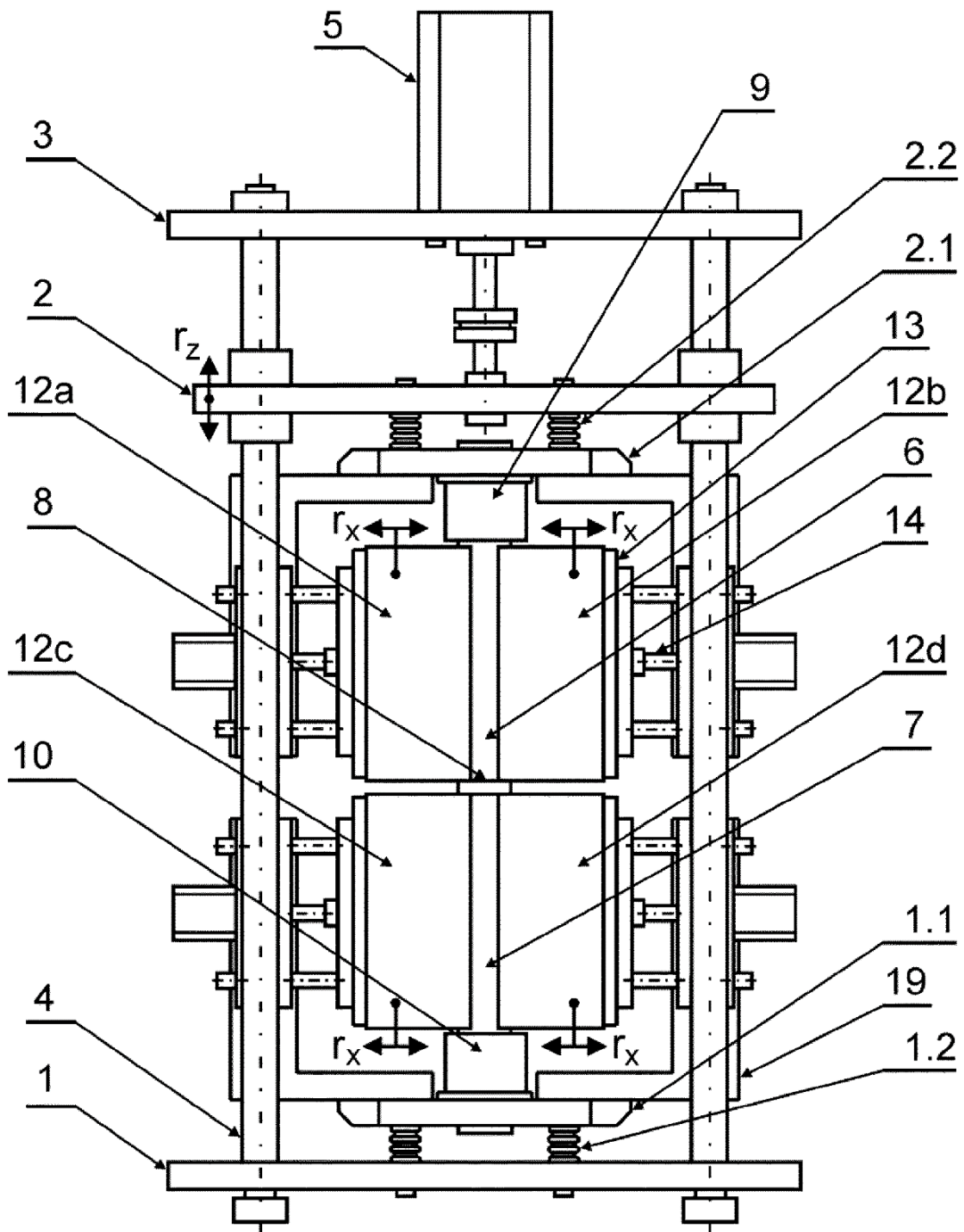


Fig. 1

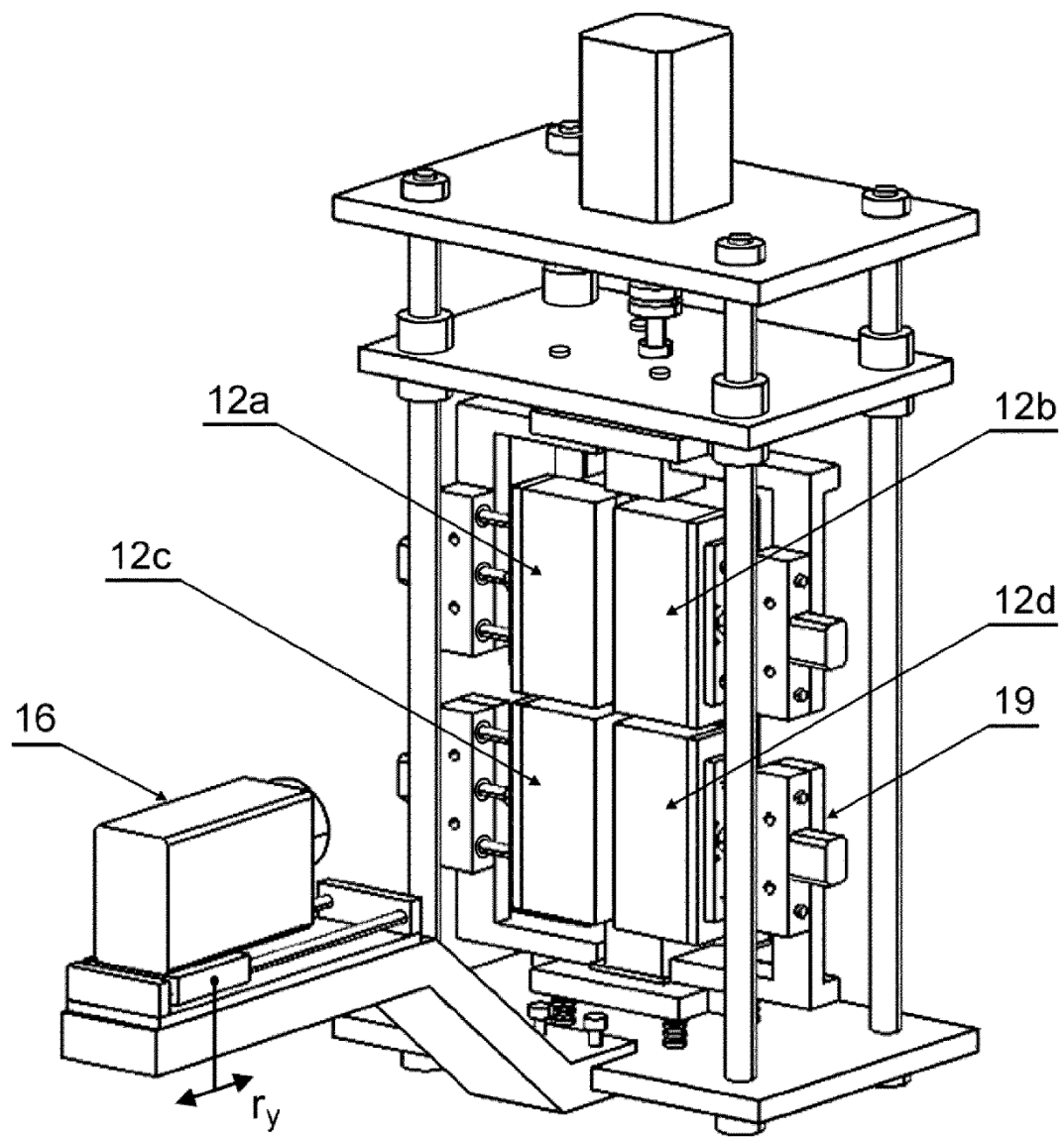


Fig. 2

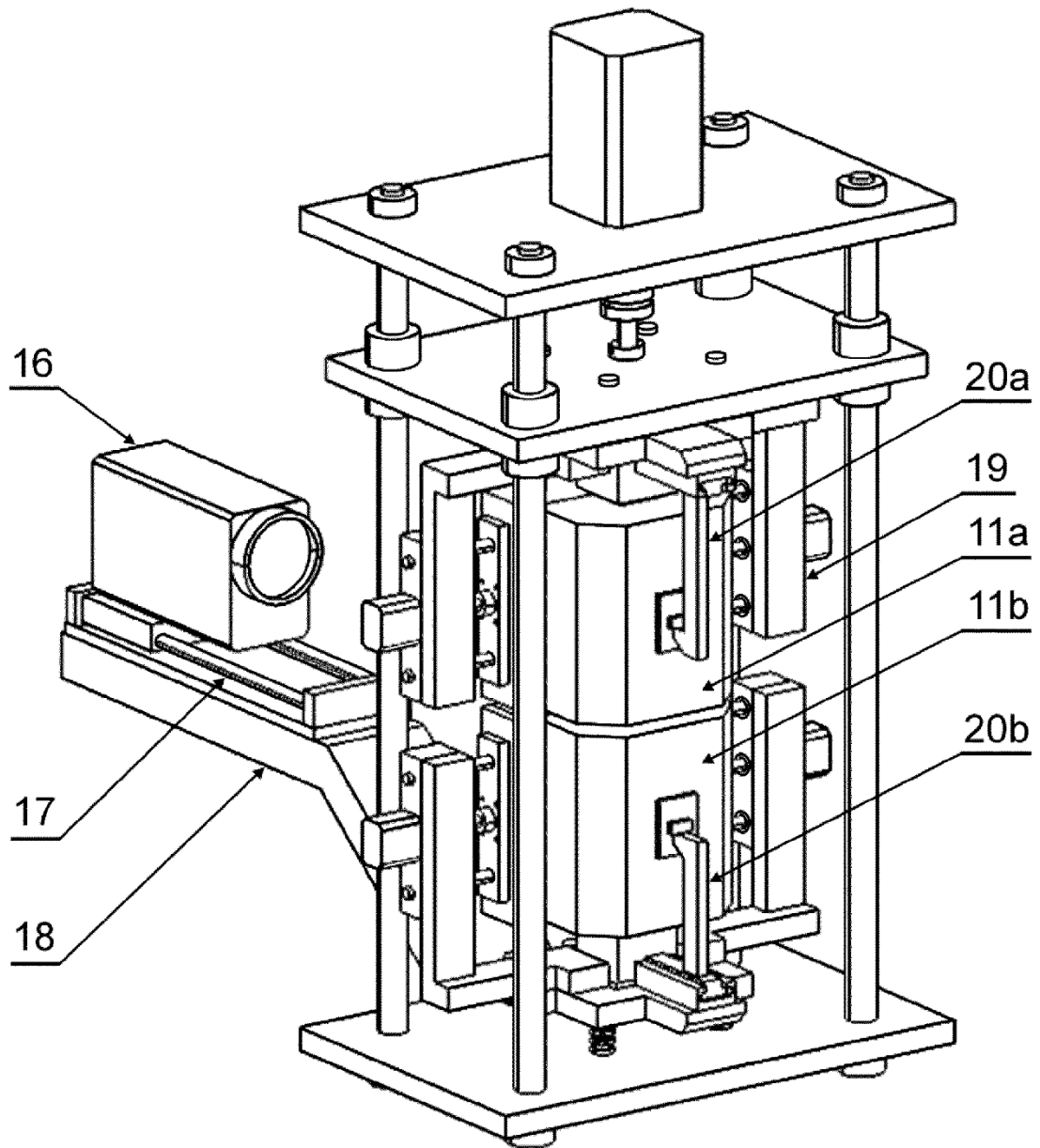


Fig. 3

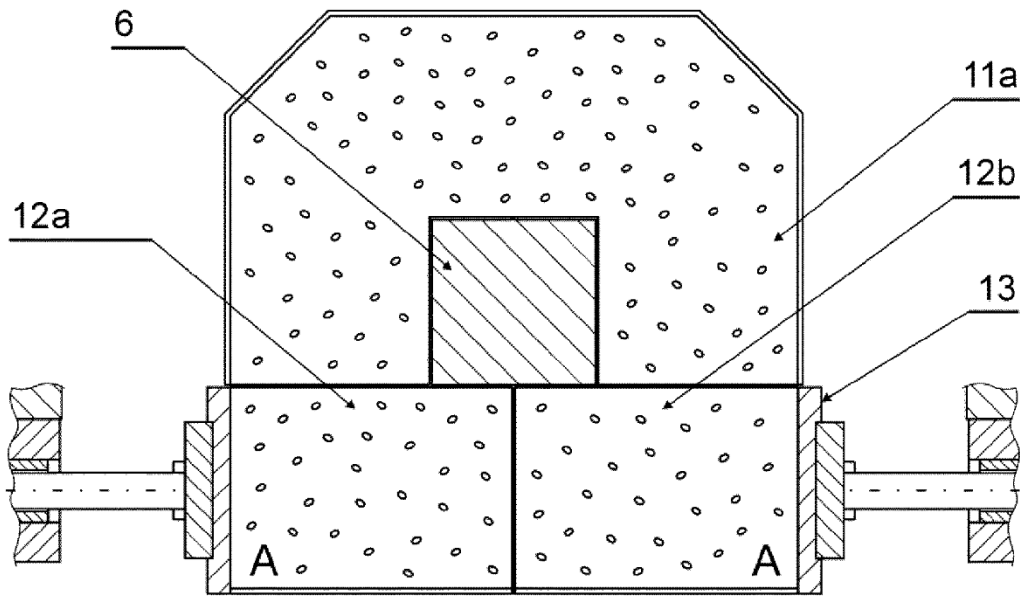


Fig. 4

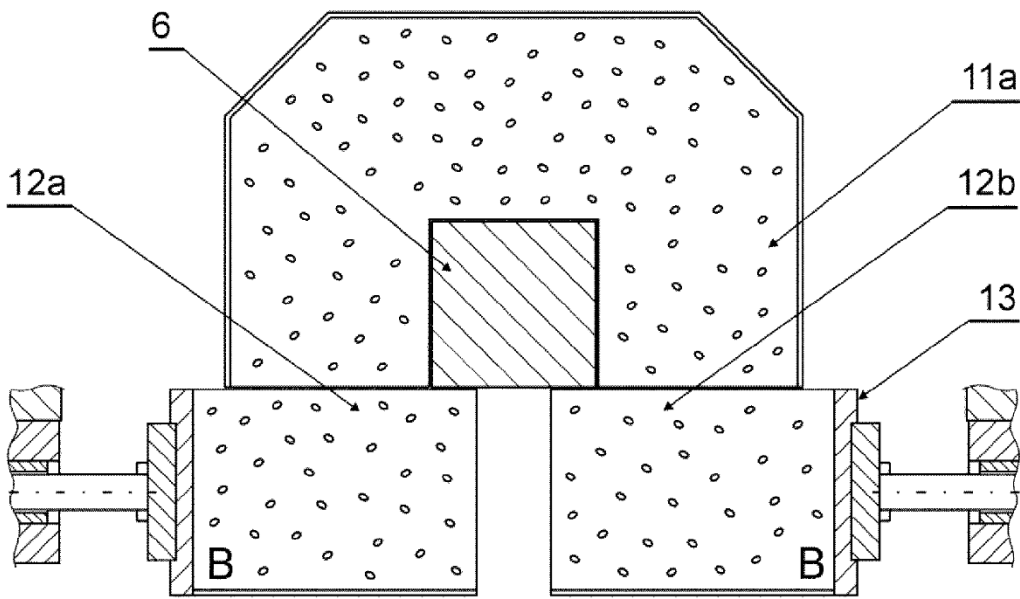


Fig. 5

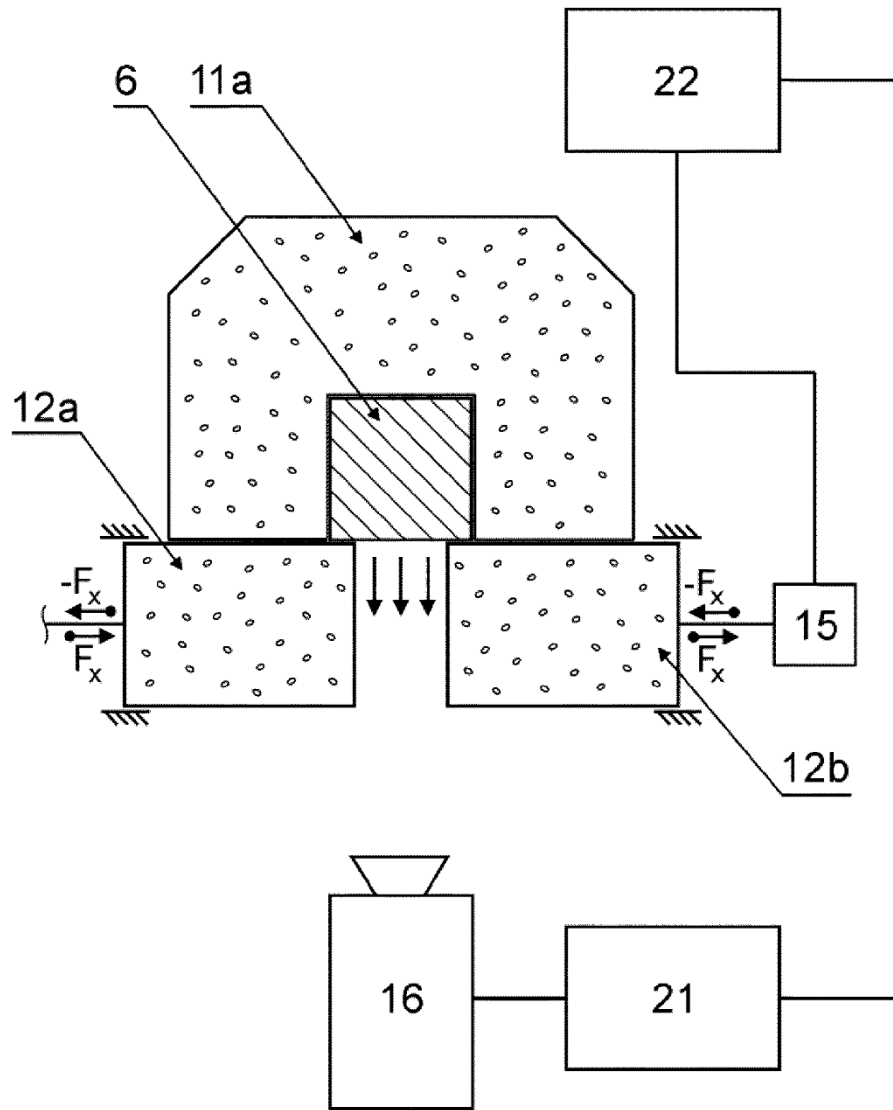


Fig. 6

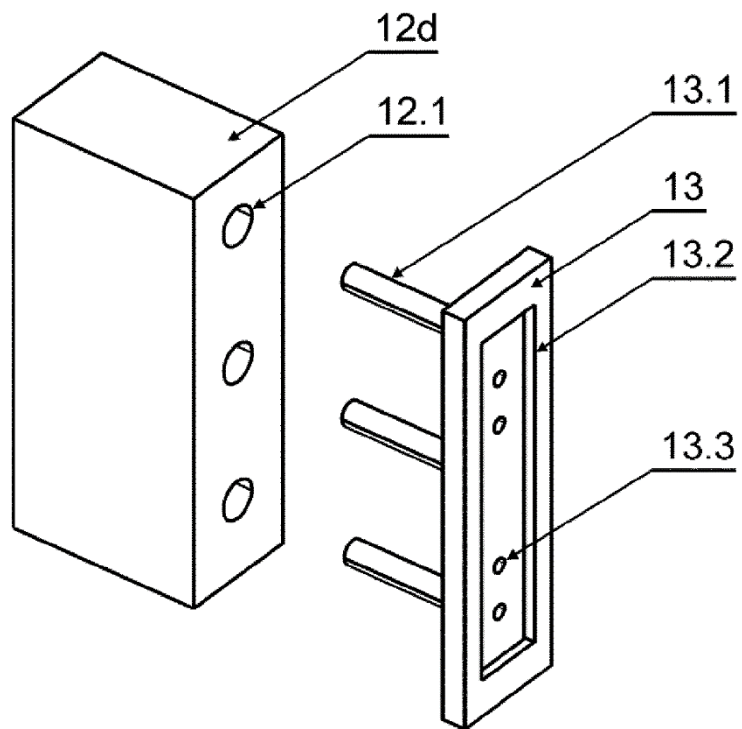


Fig. 7

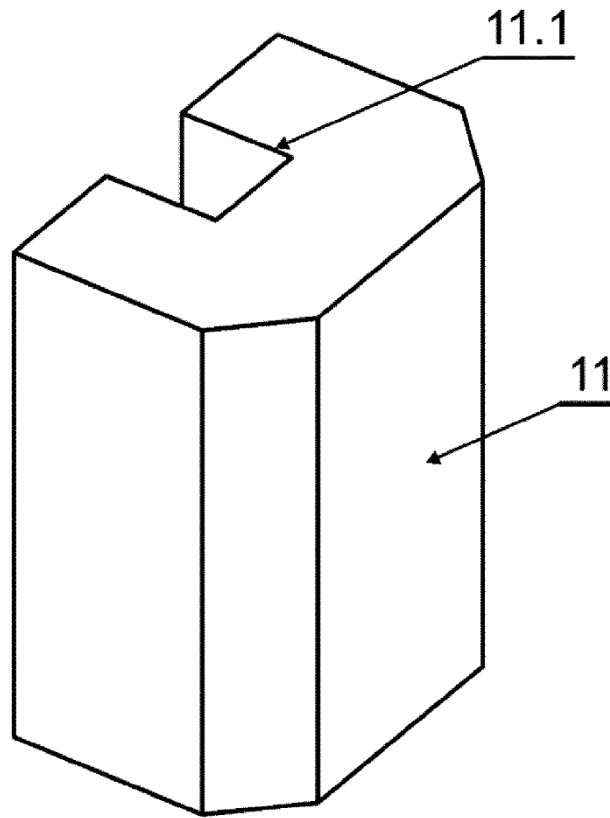


Fig. 8