

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242391 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **428979**

(22) Data zgłoszenia: **2019.02.19**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2020.08.24 BUP 18/2020**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.02.20 WUP 08/2023**

(51) MKP:

G01B 1/00 (2006.01)

G01B 5/02 (2006.01)

G01N 33/38 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MICHAŁ ANTONI GLINICKI, Łomianki Dolne, PL
MACIEJ MARIUSZ SOBCZAK, Warszawa, PL
DARIA JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA,
Warszawa, PL
KAROLINA GIBAS, Kęty, PL
MARIUSZ DĄBROWSKI, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

Anna Grzelak, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Urządzenie służące do przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów zawierających kruszywo, w szczególności betonowych, podlegających reakcji alkalia-kruszywo

PL 242391 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie służące do przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów zawierających kruszywo, w szczególności betonowych, podlegających reakcji alkalia-kruszywo.

Zakres przewidywanych zastosowań wynalazku obejmuje elementy wykonane z betonu o spoiwie cementowym i kruszywem mineralnym, zwłaszcza zawierającym minerały reaktywne z wodorotlenkami sodu i potasu, występującymi w betonie. Wynalazek służy do szybkiego i powtarzalnego przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów z betonu i zaprawy cementowej w warunkach laboratoryjnych, zwłaszcza wydłużonych próbek pryzmatycznych, rozgrzanych do temperatury 80°C w roztworze wodnym wodorotlenku sodu.

Z opisu normy ASTM C1260 znany jest sposób pomiaru zmiany długości próbek pryzmatycznych o wymiarach 25 x 25 x 285 mm z zaprawy cementowej, wykonanej z kruszywem ocenianym pod względem reaktywności z wodorotlenkami alkalicznymi. Pomiar długości przeprowadza się natychmiast po wyjęciu próbki z kąpeli w roztworze 1 N NaOH o temperaturze $80 \pm 2,0^\circ\text{C}$ i wytarciu jej ręcznikiem. Odczyt długości następuje natychmiast po wstawieniu próbki na pozycję pomiarową, tj. po ułożeniu czopików pomiarowych w gniazdach urządzenia do pomiaru długości. Procedurę osuszania próbki i pomiaru zmiany długości z odczytem należy przeprowadzić w ciągu 15 ± 5 sekund od chwili wyjęcia próbki z 1 N roztworu NaOH. Wymagania techniczne odnoszące się do odpowiedniego w tym przypadku urządzenia do pomiaru zmian długości zawarto w przywołanej normie ASTM C490. Urządzenie powinno umożliwiać odczyt mierzonej długości z dokładnością 0,002 mm lub lepszą.

Z dokumentu US2002031165 (A1) znane jest urządzenie do pomiaru zmiany długości elementów wykonanych z kruszywa zawierające cylindryczny metalowy pojemnik posiadający otwór oraz tworzący wewnętrzną komorę; rozłączalnie przymocowaną do pojemnika pokrywę (korzystnie o strukturze wieży) do zamykania wewnętrznej komory; urządzenie do określania zmiany wielkości rozszerzalności materiału zawartego w obudowie pojemnika; i termoparę do monitorowania temperatury w obudowie pojemnika. Korzystne urządzenie do określania zmiany wielkości rozszerzania zawiera ponadto element pływający. Dokument ujawnia ponadto sposób wyznaczania współczynnika rozszerzalności dla kruszywa obejmujący etapy: umieszczenia kruszywa w cieczy wewnątrz pojemnika urządzenia, co powoduje zmianę objętości cieczy i kruszywa w pojemniku; mierzenie wielkości zmiany objętości dla kruszywa i cieczy; określenie wielkości zmiany długości kruszywa.

Z dokumentu US5487307 (A) znane jest urządzenie do pomiaru zmian objętościowych w utwardzalnych próbkach materiałowych, które zawiera stalowy pojemnik posiadający otwarty wierzch, nieprzerwaną ściankę do przyjmowania i kontaktowania z nią utwardzoną próbkę przez bliski i bezpośredni kontakt z wewnętrzną powierzchnią wspomnianej ścianki bocznej, oraz elementy tensometryczne przymocowane do ścianki bocznej pojemnika i umieszczone w celu wykrywania ekspansywnych zmian we wspomnianej ścianie bocznej w odpowiedzi na zmiany objętościowe w próbce po utwardzeniu i działające, gdy są zasilane energią, aby wytworzyć sygnał wskazujący na takie zmiany objętości w próbce. Korzystnie elementy tensometryczne zawierają rezystancyjny element, w którym rezystancja zmienia się wraz z długością. Dokument ujawnia ponadto sposób pomiaru zmian objętościowych w utwardzalnych próbkach, obejmujący etapy: umieszczania próbki utwardzalnego materiału w bezpośrednim kontakcie z wewnętrzną powierzchnią stalowego pojemnika mającego otwarty wierzch i nieprzerwaną pionową cylindryczną ścianę boczną, zabezpieczającą tensometr na wymienionej powierzchni; wykrywanie przez ścianę boczną ekspansywnych zmian ściany bocznej w odpowiedzi na zmiany objętości w próbce; oraz rejestrowanie na miejscu zmian objętości w próbce zgodnie ze zmianami w tensometrze.

Z dokumentu EP2397848 (B1) znane jest urządzenie pomiarowe zawierające klimatyzowaną komorę z ramą do załadowania próbki, wskaźnik przemieszczenia umieszczony w klimatyzowanej komorze, dwa czujniki emisji dźwięku umieszczone na przeciwległych powierzchniach próbki, przy czym rama jest zaprojektowana tak, by umożliwić umieszczenie wskaźnika przemieszczenia obok jednego z czujników emisji dźwięku. Korzystnie ujawnione urządzenie pomiarowe zawiera ponadto jednostkę kontrolną i ewaluującą przystosowaną do ciągłego rejestrowania sygnałów wskaźnika przemieszczenia lub we wstępnie określonych odstępach czasu. Dokument ujawnia również sposób pomiaru próbki obejmujący umieszczenie próbki w klimatyzowanej komorze, pomiar zmiany długości próbki przy zachowaniu klimatyzacji i równoczesny pomiar emisji akustycznej na próbce. Przy czym, pomiar długości odbywa się za pomocą indukcyjnego wskaźnika przemieszczenia.

Z dokumentu DE19539987 (A1) znane jest urządzenie do pomiaru zmian długości już na próbkach/pryzmach świeżej zaprawy, charakteryzujące się tym, że zawiera płytę podstawową, powyżej której

dwa równoległe nośniki są zamontowane na wspornikach na tej samej minimalnej wysokości, z odstępem przekraczającym długość korpusu badanej próbki, a każda belka poprzeczna jest wyposażona w płytę pomiarową przymocowaną do jednego końca wspomnianej belki oraz szczelinomierz z czujnikiem przemieszczenia umieszczony ruchomo na drugim końcu belki. Przy czym, wspomniana belka jest wspierana przez dwa podajniki o długości zmiennej za pomocą szczelin i przemieszczalnych w dwóch miejscach za pomocą zawiasów.

Z opisu normy PN-91-B-06714.34 znany jest opis przyrządu przeznaczonego do pomiaru wydłużenia beleczek z dokładnością do 0,01 mm, składający się z podstawy, śruby regulacyjnej, kolumny, ramienia i czujnika zębatego zegarowego. Przyrząd jest wyposażony we wzorzec długości odpowiadający długości beleczki wraz z wystającymi z niej czopikami. Opis nie precyzuje ani rodzaju materiału, ani wymiarów przekroju zasadniczych elementów przyrządu.

Z przedstawionego podsumowania stanu techniki wynika spostrzeżenie, że rozwiązania konstrukcyjne urządzeń do pomiaru zmiany długości pomijają zagadnienie odpowiedniej sztywności i podatności na rozszerzanie temperaturowe ramy pomiarowej, pomijając w ten sposób efekty podwyższonej temperatury próbek betonu w stosunku do temperatury otoczenia, w której prowadzi się pomiary. Pominięte cechy urządzenia znacznie ograniczają przydatność praktyczną rozwiązań wynalazków w przypadku prowadzenia badań reaktywności kruszyw mineralnych w betonie lub zaprawie cementowej w temperaturze sięgającej $80 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ – znacząco utrudniają odpowiednio szybkie wykonanie pomiaru, nie pozwalają osiągnąć pożądanej powtarzalności pomiarów. Ograniczenia są na tyle istotne przy pomiarach zmian długości próbek wskutek reakcji alkalia-kruszywo, że mogą prowadzić do błędnej kwalifikacji przydatności kruszyw, zatem znacznie ograniczają przydatność metody wykorzystującej gorący roztwór NaOH jako medium oddziałujące na próbki betonu lub zaprawy cementowej.

Urządzenie według wynalazku stanowi rozwiązanie wymienionych problemów z odpowiednio szybkim, dokładnym i powtarzalnym pomiarem zmian długości elementów betonowych wyjętych z gorącego roztworu NaOH. W urządzeniu zmieniono zamocowania gniazd do umieszczenia czopików pomiarowych oraz wprowadzono zmiany materiałowe i geometryczne pozwalające na znaczącą redukcję efektów termicznych.

Istotą wynalazku jest urządzenie do przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów zawierających kruszywo, w szczególności betonowych wyposażone w ramę pomiarową zawierającą podstawę, kolumny, gniazda na czopiki pomiarowe oraz czujnik przemieszczenia, charakteryzujące się tym, że kolumny, gniazdo i pręt pośredni z gniazdem na czopiki pomiarowe oraz pręt kalibracyjny wykonane są z materiału o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/\text{K}$, przy czym rama pomiarowa ponadto zawiera poprzeczkę wyposażoną w zabezpieczony przed obrotem pręt pośredni z gniazdem na czopik pomiarowy, belkę poprzeczną (5) do mocowania czujnika przemieszczenia, sprężynę zapewniającą docisk gniazd pomiarowych do czopików pomiarowych próbki oraz pręt kalibracyjny z oznaczonym końcem w postaci kanałika naciętego na całym obwodzie pręta kalibracyjnego.

Korzystnie, materiałem o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/\text{K}$ jest stop Inwar zawierający 54–64% żelaza i 36–46% niklu oraz dodatek węgla i chromu.

Dla lepszego zrozumienia wynalazku opisano również sposób przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów zawierających kruszywo, w szczególności betonowych, podlegających reakcji alkalia-kruszywo, który obejmuje kalibrację urządzenia za pomocą pręta kalibracyjnego o znanej długości, co powoduje wyzerowanie urządzenia przed właściwym pomiarem, wyjęcie pręta kalibracyjnego i umieszczenie badanego elementu zawierającego kruszywo oznaczonym końcem (*) w gnieździe pręta pośredniego oraz przeciwległym końcem w gnieździe urządzenia pomiarowego za pomocą czopików pomiarowych, następnie wykonywany jest odczyt czujnika przemieszczenia liniowego. Korzystnie, oznaczony koniec pręta kalibracyjnego jest umieszczony w tym samym gnieździe pręta pośredniego przy każdej kalibracji, natomiast przy każdym pomiarze w gnieździe pręta pośredniego umieszczona jest próbka oznaczonym końcem (*).

Podstawą wynalazku jest urządzenie do pomiaru zmiany długości elementów zawierających kruszywo, w szczególności betonowych podlegających reakcji alkalia-kruszywo. Według wynalazku urządzenie jest zbudowane z ramy pomiarowej zawierającej: podstawę ramy, kolumny, gniazda na czopiki pomiarowe oraz czujnik przemieszczenia. W urządzeniu według wynalazku istotne jest to, że kolumny, gniazda na czopiki pomiarowe oraz pręta pośredniego z gniazdem na czopik pomiarowy wykonane są z materiału o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/\text{K}$. Rama pomiarowa ponadto zawiera poprzeczkę wyposażoną w zabezpieczony przed obrotem pręt pośredni z gniazdem na czopik pomiarowy. Pomędzy gniazdem pręta pośredniego a poprzeczką znajduje się sprężyna, która ułatwia wyjmowanie/wkładanie

próbki i zapewnia docisk gniazd pomiarowych do czopików pomiarowych próbki. Urządzenie według wynalazku zawiera ponadto belkę poprzeczną do mocowania czujnika przemieszczenia. Urządzenie według wynalazku ponadto zawiera pręt kalibracyjny z oznaczonym końcem w postaci kanalika naciętego na całym obwodzie pręta. Pręt kalibracyjny wykonany jest ze stali o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/K$, korzystnie ze stopu Inwar.

Sposób przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów betonowych podlegających reakcji alkalia-kruszywo obejmuje kalibrację urządzenia za pomocą pręta kalibracyjnego o znanej długości, co powoduje wyzerowanie urządzenia przed właściwym pomiarem, wyjęcie pręta kalibracyjnego i umieszczenie badanego elementu (zawierającego kruszywo) oznaczonym końcem (*) w gnieździe pręta pośredniego oraz drugim końcem w przeciwległym gnieździe urządzenia pomiarowego za pomocą czopików pomiarowych. Następnie wykonywany jest pomiar zmiany długości elementu zawierającego kruszywo umieszczonego w gniazdach przez czujnik przemieszczenia liniowego. Przy czym, w trakcie pomiaru czopiki pomiarowe wystające z gorącej próbki betonu nie mają bezpośredniego kontaktu z przesuwaną końcówką czujnika przemieszczenia liniowego – między nimi znajduje się pręt pośredni z gniazdem pomiarowym i odpowiednio wyprofilowanych końcach. Dzięki temu zminimalizowane są efekty różnicy temperatury między próbką wyjętą z roztworu NaOH oraz temperaturą otoczenia w laboratorium. Ponadto sztywność ramy pomiarowej jest zwiększona poprzez zastosowanie zwiększonego (fi 16) przekroju poprzecznego prętów kolumn i dodatkowej poprzeczki umieszczonej prostopadłe do kolumn, co pozwala minimalizować drgania ramy podczas umieszczania czopików próbki w gniazdach. Podczas wykonywania kalibracji urządzenia według wynalazku ważne jest, aby oznaczyć odpowiednio końce pręta kalibracyjnego tak, aby podczas wykonywania badań zawsze koniec oznaczony kanalikiem naciętym na obwodzie był umieszczany w gnieździe pręta pośredniego, natomiast drugi koniec był umieszczany w drugim gnieździe. Oznaczony koniec pręta kalibracyjnego przy każdej kalibracji jest umieszczony w tym samym gnieździe pręta pośredniego, natomiast przy każdym pomiarze w przecie pośrednim z gniazdem umieszczona jest próbka końcem oznaczonym (*). Jest to istotne, ponieważ wszystkie elementy układu również ulegają pewnym procesom rozszerzania i mają swoje określone tolerancje rozszerzalności. Taka procedura pozwala zminimalizować wpływ tych procesów fizycznych na pomiar próbki. Jako materiał o niskim współczynniku można zastosować stop Inwar, który jest stopem żelaza (54–64%) i niklu (36–46%) z niewielkim dodatkiem węgla i chromu.

Jednocześnie pozwala to osiągnąć pożądaną powtarzalność pomiarów, co ilustruje poniższy przykład.

Urządzenie według wynalazku i opisany sposób pomiaru zostało przedstawione w poniższych przykładach oraz na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia widok poglądowy urządzenia pomiarowego.

Przykład 1

Przygotowano próbkę o wymiarach 25 x 25 x 285 mm ze stalowymi czopikami na obu końcach do zamocowania w urządzeniu do pomiaru zmiany długości. Próbka wykonana została z zaprawy cementowej z kruszywem mineralnym zgodnie z normą ASTM C1260. Po stwardnieniu cementu w warunkach normowych (wilgotność powietrza RH > 95%, temperatura $20 \pm 2^\circ C$) próbkę przetrzymywano w warunkach suchych laboratoryjnych przez 90 dni. Następnie przeprowadzono pomiar jej długości za pomocą dwóch urządzeń pomiarowych, z wymaganymi normowo gniazdami do umieszczenia próbek:

– urządzenie A – komercyjne urządzenie do pomiaru długości próbek zapraw i betonu według procedur wyznaczania skurczu od wysychania, ekspansji wskutek reakcji alkalia kruszywo lub wskutek innych reakcji ekspansywnych,

– urządzenie B, tj. urządzenie według wynalazku wyposażone w ramę pomiarową zawierającą podstawę (1), kolumny (2), gniazdo (3) i pręt pośredni z gniazdem (6) na czopiki pomiarowe oraz czujnik przemieszczenia (7), charakteryzujące się tym, że kolumny (2) oraz gniazdo (3) i pręt pośredni z gniazdem (6) na czopiki pomiarowe wykonane są z materiału o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/K$. Przy czym rama pomiarowa ponadto zawiera poprzeczkę (4) wyposażoną w zabezpieczony przed obrotem pręt pośredni z gniazdem (6) na czopik pomiarowy, belkę poprzeczną (5) do mocowania czujnika przemieszczenia (7), sprężynę (8) pomiędzy gniazdem a prętem pośrednim i zapewniającą docisk gniazd pomiarowych do czopików pomiarowych próbki oraz pręt kalibracyjny (9) z oznaczonym końcem w postaci kanalika naciętego na całym obwodzie pręta kalibracyjnego. W tym przykładzie pręt pośredni z gniazdem (6) na czopik pomiarowy jest wykonany ze stopu Inwar.

Pomiar przeprowadzono w kontrolowanych warunkach środowiskowych w laboratorium: wilgotność powietrza RH 60–75%, temperatura $20 \pm 2^\circ C$. Oba urządzenia pomiarowe przebywały w warunkach pomiarowych do ustabilizowania ich temperatury.

Pomiar #1

Przed wykonaniem pomiaru urządzenia wyzerowano przy wykorzystaniu prętów kalibracyjnych o długości: A (pręt komercyjny) – 295,01 mm i B (pręt wg wynalazku) – 295,04 mm. Po umieszczeniu próbki w urządzeniu pomiarowym A zapisano odczyt z czujnika przemieszczenia liniowego. Pomiar zmiany długości został powtórzony 10-krotnie, każdorazowo po obrocie próbki w gniazdach do mocowania bez jej wyjmowania z urządzenia. Następnie całą procedurę pomiarową powtórzono za pomocą urządzenia B. Podczas wykonywania kalibracji urządzenia B według wynalazku końce pręta kalibracyjnego zostały odpowiednio oznaczone tak, aby podczas wykonywania badań zawsze koniec oznaczony kanalikiem naciętym wokół obwodu był umieszczany w gnieździe pręta pośredniego natomiast drugi koniec był umieszczany w przeciwległym gnieździe. Po wyzerowaniu urządzenia, badany element betonowy został umieszczony oznaczonym końcem (*) w gnieździe pręta pośredniego (6) oraz drugim końcem w gnieździe (3) urządzenia pomiarowego za pomocą czopików pomiarowych, w taki sposób, aby między czopikami pomiarowymi wystającymi z gorącej próbki badanego elementu a przesuwaną końcówką czujnika przemieszczenia liniowego (7) znajdował się pręt pośredni z gniazdem (6) na czopik pomiarowy. Po czym za pomocą czujnika przemieszczenia liniowego (7) wykonano pomiar zmiany długości elementu zawierającego kruszywo umieszczonego w gniazdach urządzenia. Przy czym, istotne jest, aby podczas każdej kalibracji oznaczony koniec pręta kalibracyjnego (9) był umieszczany w gnieździe pręta pośredniego (6), natomiast przy każdym pomiarze w gnieździe pręta pośredniego (6) badana próbka powinna być umieszczana oznaczonym końcem (*).

Tabela 1. Wynik pomiaru zmiany długości próbki w dwóch urządzeniach (każdy odczyt odpowiada przekręceniu próbki znajdującej się w gniazdach pomiarowych; temperatura otoczenia 22°C, RH = 60%)

Numer odczytu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Średnia	Min.	Max
Odczyt na urządzeniu B (według wynalazku) [mm]	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079
Odczyt na urządzeniu A (komercyjnym) [mm]	1,970	1,977	1,978	1,979	1,982	1,968	1,977	1,973	1,978	1,971	1,975	1,968	1,982

Podsumowanie:

Różnica między maksymalnym i minimalnym odczytem wynosi 0,000 mm w urządzeniu według wynalazku (B), natomiast 0,014 mm w urządzeniu komercyjnym (A).

Pomiar #2

Przed wykonaniem pomiaru urządzenia wyzerowano przy wykorzystaniu prętów kalibracyjnych o długości: A (pręt komercyjny) – 295,01 mm i B (pręt wg wynalazku) – 295,04 mm. Po umieszczeniu próbki w urządzeniu pomiarowym A zapisano odczyt z czujnika przemieszczenia liniowego. Próbkę wyjęto z urządzenia, powtórnie umieszczono w gniazdach do mocowania i zapisano kolejny odczyt. Pomiar zmiany długości został powtórzony 10-krotnie, każdorazowo po włożeniu na nowo próbki w gniazda do mocowania. Następnie całą procedurę pomiarową powtórzono za pomocą urządzenia B.

Tabela 2. Wynik pomiaru zmiany długości próbki w dwóch urządzeniach (każdy odczyt dokonany po wyjęciu i włożeniu próbki w gniazda pomiarowe; temperatura otoczenia 22°C, RH = 60%)

Numer odczytu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Średnia	Min.	Max
Odczyt na urządzeniu B (według wynalazku) [mm]	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079
Odczyt na urządzeniu A (komercyjnym) [mm]	1,979	1,974	1,983	1,969	1,971	1,983	1,982	1,974	1,979	1,970	1,976	1,969	1,983

Podsumowanie:

Różnica między maksymalnym i minimalnym odczytem: 0,000 mm w urządzeniu według wynalazku (B), 0,014 mm w urządzeniu komercyjnym (A).

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do przeprowadzenia pomiaru zmiany długości elementów zawierających kru-szywo, w szczególności betonowych wyposażone w ramę pomiarową zawierającą podstawę, kolumny, gniazda na czopiki pomiarowe oraz czujnik przemieszczenia, **znamiennie tym**, że kolumny (2), gniazdo (3) i pręt pośredni z gniazdem (6) na czopiki pomiarowe oraz pręt kalibracyjny wykonane są z materiału o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/K$, przy czym rama pomiarowa ponadto zawiera poprzeczkę (4) wyposażoną w zabezpieczony przed obrotem pręt pośredni z gniazdem (6) na czopik pomiarowy, belkę poprzeczną (5) do mocowania czujnika przemieszczenia (7), sprężynę (8) zapewniającą docisk gniazd pomiarowych do czopików pomiarowych próbki oraz pręt kalibracyjny (9) z oznaczonym końcem w postaci kanalika naciętego na całym obwodzie pręta kalibracyjnego (9).
2. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że materiałem o niskim współczynniku $\alpha < 2 \times 10^{-6}/K$ jest stop Inwar zawierający 54–64% żelaza i 36–46% niklu oraz dodatek węgla i chromu.

Rysunek

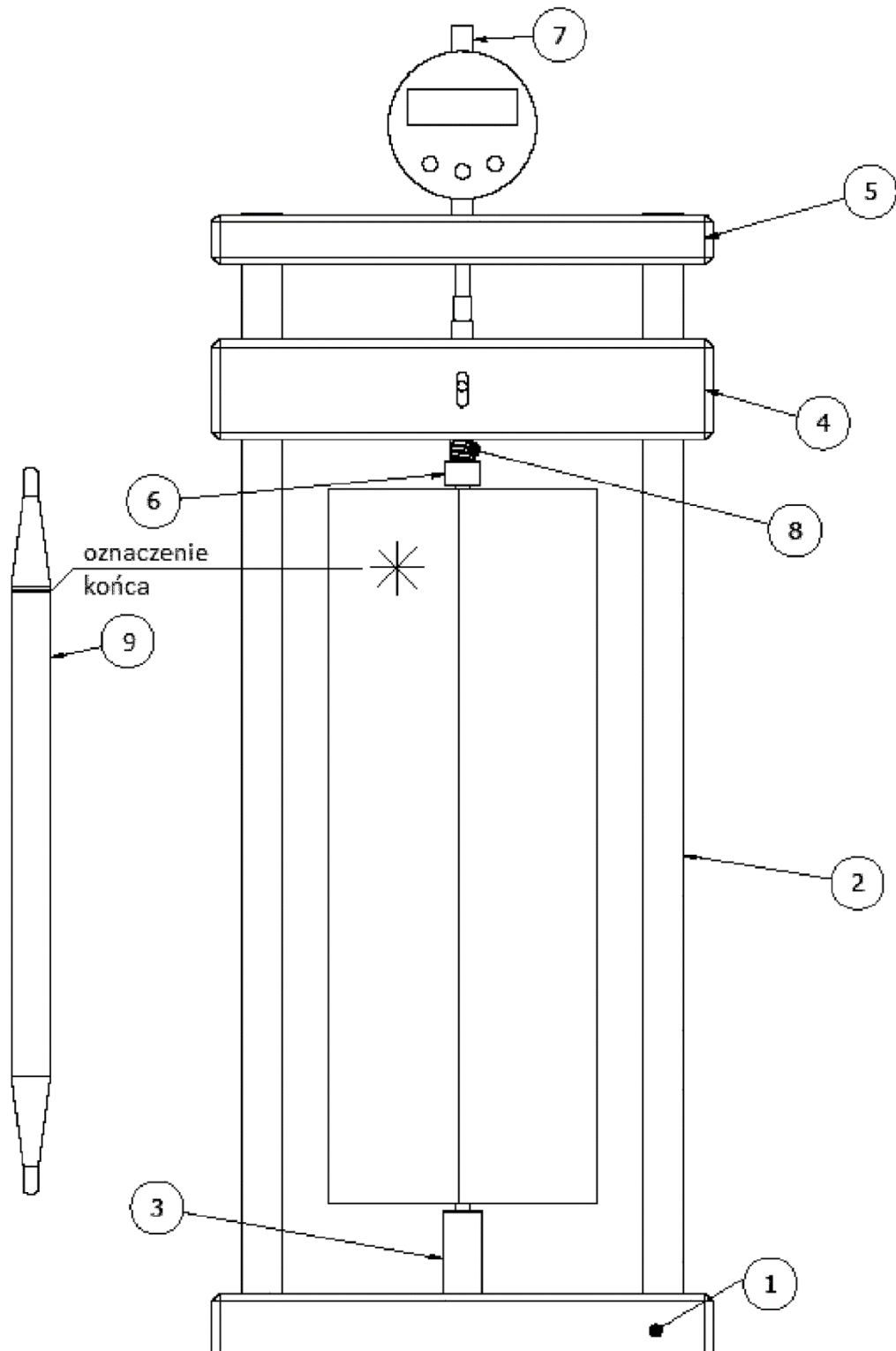


Fig. 1