

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **220335**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **399026**

(51) Int.Cl.  
**G01N 25/20 (2006.01)**  
**G01N 33/38 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **27.04.2012**

---

(54) **Sposób trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów  
i urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**28.10.2013 BUP 22/13**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**30.10.2015 WUP 10/15**

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZBIGNIEW RANACHOWSKI, Warszawa, PL**  
**MICHAŁ ANTONI GLINICKI, Łomianki Dolne, PL**  
**GRZEGORZ KNOR, Ostrówek, PL**  
**TOMASZ DĘBOWSKI, Warszawa, PL**  
**ANDRZEJ OSSOWSKI, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Jerzy Woźnicki**

---

**PL 220335 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów i urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza betonów zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce.

Z normy PN-EN 196-9 znana jest semiadiabatyczna metoda pomiaru ciepła hydratacji, znana także jako metoda Langavanta lub metoda termosowa, stosowana do badania zapraw, to jest mieszanin piasku, cementu i wody. Metoda semiadiabatyczna polega na wprowadzeniu do kalorymetru pomiarowego próbki świeżo przygotowanej zaprawy i oznaczaniu ilości wydzielanego ciepła na podstawie wzrostu temperatury. Wzrost temperatury zaprawy zostaje porównany z temperaturą próbki biernej w kalorymetrze odniesienia. Kalorymetr pomiarowy stanowi naczynie izolacyjne ze szkła, zwłaszcza naczynie Dewara, w którym jest umieszczane naczynie pomiarowe. Naczynie pomiarowe stanowi cylindryczny pojemnik na zaprawę o objętości około 800 cm<sup>3</sup> z dopasowaną pokrywką. Pojemnik powinien być wykonany z cynowej blachy. W pokrywie znajduje się centralnie umieszczona kieszeń na termometr, zapewniająca usytuowanie termometru w środku badanej próbki. Naczynie pomiarowe jest umieszczone w sztywnej obudowie służącej jako jego umocowanie. Termometr jest połączony z urządzeniem do rejestracji temperatury.

Opisana w powyższej normie procedura została zaprojektowana do badania normowych zapraw cementowych zawierających piasek kwarcowy o uziarnieniu do 2 mm i nie może zostać zastosowana do badania betonów zawierających kruszywo grube, ponieważ zaprawa cementowa jest w opisanej metodzie umieszczana w szklanym naczyniu o niewielkiej pojemności i nie jest możliwe poddanie badaniom mieszanek betonowych zawierających kruszywo grube o uziarnieniu do 16 mm. Ponadto zgodnie z opisem powyższej metody normowej pomiar temperatury prowadzi się rzadko – początkowo co godzinę, a później co 4 godziny, co jest wystarczające do wyznaczenia ciepła hydratacji zapraw betonowych. W przypadku trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza zawierających popioły lotne ze spalania węgla w energetyce, występuje zjawisko przesuwania się maksimum temperatury wytwarzanej w badanym betonie w zależności od jego składu i dlatego określenie momentu wystąpienia tego maksimum jest istotne z punktu widzenia rodzajów procesów zachodzących w tym czasie w badanym betonie.

Sposób trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza betonów zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce, w którym oznacza się ilość wydzielanego ciepła twardnienia na jednostkę masy świeżo przygotowanej mieszanki betonowej, umieszczonej w pojemniku z izolowaną termicznie komorą pomiarową, na podstawie wzrostu temperatury próbki wypełniającej pojemnik i porównuje z temperaturą odniesienia, według wynalazku charakteryzuje się tym, że podczas twardnienia betonu rejestruje się co jedną minutę przez trzy doby temperaturę próbki i temperaturę odniesienia z dokładnością pomiaru nie mniejszą niż  $\pm 0.5$  K, przy czym jako temperaturę odniesienia mierzy się temperaturę otoczenia na zewnątrz pojemnika, natomiast ciepło  $q_t$  twardnienia na jednostkę masy oblicza się według wzoru empirycznego:

$$q_t = \sum_{n=1}^{4320} c_p \Delta t_n + V \cdot \frac{(51.5898 + 0.2394 \cdot \theta_n) \theta_n \cdot 60}{1000 \cdot m}$$

gdzie  $c_p$  oznacza przyjętą dla betonu wartość ciepła właściwego, „ $\Delta t_n$ ” oznacza kolejne przyrosty temperatury próbki mierzone w minutowych odstępach czasu, w których temperatura wzrasta, a w pozostałych odstępach czasu za „ $\Delta t_n$ ” przyjmuje się zero, „ $V$ ” oznacza objętość pojemnika, „ $\theta_n$ ” oznacza kolejne różnice temperatury próbki i temperatury otoczenia mierzone w 4320 minutowych odstępach czasu w trakcie pomiaru trzydobowego, a „ $m$ ” oznacza masę próbki w kilogramach.

Korzystnym jest, jeżeli podczas pomiaru utrzymuje się dodatnią temperaturę otoczenia o dobowej różnicy temperatury nie przekraczającej 5 stopni Kelvina. Ponadto objętość  $V$  pojemnika jest stała dla każdego trzydobowego pomiaru i wynosi 0,0035 m<sup>3</sup>.

Urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza betonów zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce, wyposażone w pojemnik z izolowaną termicznie cylindryczną komorą pomiarową, obudowę pojemnika, oraz czujnik do pomiaru temperatury próbki wypełniającej komorę pomiarową, połączony z urządzeniem do rejestracji temperatury, według wynalazku wyróżnia się tym, że pojemnik składa się z cylindra wykonanego z dwuwarstwowej pianki polietylenowej o zamkniętych porach i sztywnej rury z tworzywa sztucznego, zwłaszcza PCV, oddzielającej warstwę zewnętrzną pianki od warstwy wewnętrznej, oraz krążka górnego i krążka dolnego, które to

krażki są wykonane ze styropianu, przy czym czujnik do pomiaru temperatury próbki jest umieszczony w dolnej części komory pomiarowej w rurce polietylenowej osadzonej w krażku górnym w osi komory pomiarowej, zaś obudowę pojemnika stanowi rama złożona z prętów z nakrętkami dociskowymi i poziomymi przekładkami dystansowymi, górnej i dolnej, między którymi jest mocowany pojemnik. Ponadto w skład urządzenia wchodzi czujnik temperatury otoczenia połączony z urządzeniem do rejestracji temperatury.

Korzystnym jest, jeżeli wewnętrzna warstwa pianki jest połączona rozłącznie z krażkami i sztywną rurą.

W korzystnym wykonaniu urządzenia, czujnik temperatury próbki jest umieszczony w komorze pomiarowej w odległości zbliżonej do jednej czwartej wysokości komory od krażka dolnego, zaś czujnik temperatury otoczenia jest umieszczony na zewnątrz pojemnika, korzystnie przy krażku górnym. Ponadto oba krażki są wykonane ze styropianu o grubości 100 mm i gęstości nie większej niż  $20 \text{ kg/m}^3$ , przy czym grubość każdej warstwy pianki w cylindrze wynosi 10 mm, zaś grubość sztywnej rury wynosi 6 mm.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia przeprowadzanie trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów zawierających kruszywo grube, oraz zapewnia wysoką dokładność pomiarów niezbędną przy badaniu zjawiska przesuwania się maksimum temperatury wytwarzanej w badanym betonie w zależności od składu mieszanki betonowej, zwłaszcza w przypadku mieszanek betonowych zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce. Urządzenie według wynalazku ma prostą konstrukcję, w której ścianki pojemnika stanowią jednocześnie izolację termiczną komory pomiarowej, którą wypełnia się mieszanką betonową. Ponadto elementy pojemnika nadają się do wielokrotnego wykorzystania po usunięciu stwardniałej próbki wraz z warstwą wewnętrzną pianki polietylenowej.

Wynalazek jest objaśniony w przykładzie wykonania uwidocznionym na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów w przekroju podłużnym, a fig. 2 przedstawia wyniki pomiaru różnicy temperatury próbki i temperatury otoczenia w stopniach Kelvina dla trzech przykładowych kompozycji mieszanek betonowych podczas trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonu.

Jak przedstawiono na fig. 1, urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów jest wyposażone w pojemnik z izolowaną termicznie cylindryczną komorą pomiarową 3. Pojemnik składa się z cylindra wykonanego z dwuwarstwowej pianki polietylenowej o zamkniętych porach i sztywnej rury 10 z tworzywa sztucznego, zwłaszcza PCV. Sztywna rura 10 oddziela warstwę zewnętrzną 2a pianki od warstwy wewnętrznej 2b. Grubość każdej warstwy pianki w cylindrze wynosi 10 mm, zaś grubość sztywnej rury 10 wynosi 6 mm. Ponadto w skład pojemnika wchodzi kążek górny 4 i kążek dolny 1, które to krażki są wykonane ze styropianu o grubości 100 mm i gęstości nie większej niż  $20 \text{ kg/m}^3$ . W krażku górnym 4 jest zamocowana hermetyczna i elastyczna rurka polietylenowa 5, w której jest umieszczony czujnik temperatury próbki. Rurka polietylenowa 5 jest usytuowana w osi komory pomiarowej 3 tak, że umieszczony w jej końcu czujnik temperatury próbki znajduje się w dolnej części komory pomiarowej 3. Cylinder 2 i krażki 1, 2 są łączone ze sobą z użyciem odpowiedniej masy uszczelniającej, tworząc pojemnik z izolowaną termicznie komorą pomiarową 3. Wewnętrzna warstwa 2b pianki jest połączona rozłącznie z krażkami 1, 4 i sztywną rurą 10. Współczynnik przewodzenia ciepła tak wykonanego pojemnika wynosi  $0,043 \text{ [W/m}\cdot\text{K]} \pm 0,002 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$ , czyli jest osiemnastokrotnie niższy od podawanych w literaturze współczynników przewodzenia ciepła dla betonu suchego.

W skład urządzenia do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów wchodzi obudowa pojemnika i urządzenie do rejestracji temperatury. Obudowę pojemnika stanowi rama złożona z pionowych prętów 6 i poziomych przekładek dystansowych 7, 8, górnej i dolnej, między którymi jest mocowany pojemnik. Przekładki są wykonane z drewna lub płyt drewnopochodnych. Przekładka górna 8 ma otwór, przez który przechodzi rurka polietylenowa 5. Pojemnik z próbką jest mocowany między przekładkami za pomocą nakrętek dociskowych 9. Urządzenie do rejestracji temperatury jest połączone z czujnikiem temperatury próbki i czujnikiem temperatury otoczenia. Komorę pomiarową 3 przed pomiarem wypełnia się szczelnie badaną mieszanką betonową. Tak uformowana próbka ma kształt walca o wysokości około 400 mm. Czujnik temperatury próbki jest umieszczony podczas pomiaru wewnątrz próbki w odległości od krażka dolnego 1 zbliżonej do jednej czwartej wysokości komory pomiarowej 3, to jest w odległości około 50 mm od krażka dolnego. Czujnik temperatury otoczenia jest umieszczony na zewnątrz pojemnika, korzystnie przy krażku górnym 4. Po wykonaniu pomiaru

i zdemontowaniu obudowy, próbka i warstwa wewnętrzna 2b pianki jest usuwana z pojemnika. Pozostałe elementy nadają się do ponownego wykorzystania.

Podczas trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, realizowanego w urządzeniu według wynalazku, oznacza się ilość wydzielanego ciepła twardnienia na jednostkę masy świeżo przygotowanej mieszanki betonowej, umieszczonej w pojemniku z izolowaną termicznie komorą pomiarową 3, na podstawie wzrostu temperatury próbki wypełniającej pojemnik i porównuje z temperaturą odniesienia, którą stanowi temperatura otoczenia.

Podczas twardnienia betonu rejestruje się co jedną minutę przez trzy doby temperaturę mieszanki betonowej wewnątrz próbki i temperaturę otoczenia z dokładnością pomiaru nie mniejszą niż  $\pm 0.5$  K. natomiast ciepło  $q_t$  twardnienia na jednostkę masy oblicza się według wzoru empirycznego:

$$q_t = \sum_{n=1}^{4320} c_p \Delta t_n + V \cdot \frac{(51.5898 + 0.2394 \cdot \theta_n) \theta_n \cdot 60}{1000 \cdot m}$$

gdzie  $c_p$  oznacza przyjętą dla betonu z literatury wartość ciepła właściwego wynoszącą 1130 [kJ/kg·K], „ $\Delta t_n$ ” oznacza kolejne przyrosty temperatury próbki mierzone w minutowych odstępach czasu, w których temperatura wzrasta, a w pozostałych odstępach czasu za „ $\Delta t_n$ ” przyjmuje się zero, „ $V$ ” oznacza objętość pojemnika, „ $\theta_n$ ” oznacza kolejne różnice temperatury próbki i temperatury otoczenia mierzone w 4320 minutowych odstępach czasu w trakcie pomiaru trzydobowego, a „ $m$ ” oznacza masę próbki w kilogramach. Objętość  $V$  pojemnika pomiarowego jest stała dla każdego trzydobowego pomiaru i wynosi 0,0035 m<sup>3</sup>. Objętość  $V$  pojemnika oznacza objętość komory pomiarowej 3. Temperaturę wewnątrz próbki mierzy się czujnikiem temperatury próbki umieszczonym w osi komory pomiarowej 3, w odległości zbliżonej do jednej czwartej wysokości komory od krążka dolnego 1.

Pomiar temperatury był dokonywany w pomieszczeniu, w którym w trakcie całego pomiaru zmiany temperatury nie przekraczały 5 stopni Kelvina. Czujnik temperatury otoczenia był umieszczony przy krążku górnym 4. Oba czujniki temperatury były podczas pomiaru połączone z urządzeniem do rejestracji temperatury. Masa próbki była oznaczana na podstawie różnicy masy pojemnika przed i po wypełnieniu komory pomiarowej 3 świeżo przygotowaną mieszanką betonową.

Przykładowe kompozycje mieszanek betonowych badanych próbek, dla których wyniki pomiarów są zilustrowane na fig. 2, miały następujący stosunek wagowy cementu, piasku, kruszywa grubego, popiołu i wody:

kompozycja nr 1: 131/543/1136/306/243;

kompozycja nr 2: 89/370/1706/209/165;

kompozycja nr 3: 0/370/1706/298/165.

Wyniki pomiarów potwierdzają, że maksimum temperatury w próbkach zawierających popioły lotne występuje później niż dla zapraw normowych wykonanych na cemencie portlandzkim. W przypadku kompozycji nr 3, która nie zawierała cementu, maksimum temperatury wystąpiło znacznie później, niż w przypadku pozostałych kompozycji.

Wyniki pomiarów określonych kompozycji mieszanek betonowych mogą się różnić w zależności od składu chemicznego popiołów lotnych i ich właściwości mogących kształtować cechy betonu. Badanie zjawisk zachodzących w procesie twardnienia betonu w aspekcie oddziaływania na nie popiołów lotnych pozwala na wypracowanie wytycznych technologicznych ich wykorzystania do różnych zastosowań w budownictwie.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza betonów zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce, w którym oznacza się ilość wydzielanego ciepła twardnienia na jednostkę masy świeżo przygotowanej mieszanki betonowej, umieszczonej w pojemniku z izolowaną termicznie komorą pomiarową (3), na podstawie wzrostu temperatury próbki wypełniającej pojemnik i porównuje z temperaturą odniesienia, **znamienny tym**, że podczas twardnienia betonu rejestruje się co jedną minutę przez trzy doby temperaturę próbki i temperaturę odniesienia z dokładnością pomiaru nie mniejszą niż  $\pm 0.5$  K, przy czym jako temperaturę odniesienia mierzy się temperaturę otoczenia na zewnątrz pojemnika, natomiast ciepło  $q_t$  twardnienia na jednostkę masy oblicza się według wzoru empirycznego:

$$q_t = \sum_{n=1}^{4320} c_p \Delta t_n + V \cdot \frac{(51.5898 + 0.2394 \cdot \theta_n) \theta_n \cdot 60}{1000 \cdot m}$$

gdzie  $c_p$  oznacza przyjętą dla betonu wartość ciepła właściwego, „ $\Delta t_n$ ” oznacza kolejne przyrosty temperatury próbki mierzone w minutowych odstępach czasu, w których temperatura wzrasta, a w pozostałych odstępach czasu za „ $\Delta t_n$ ” przyjmuje się zero, „ $V$ ” oznacza objętość pojemnika, „ $\theta_n$ ” oznacza kolejne różnice temperatury próbki i temperatury otoczenia mierzone w 4320 minutowych odstępach czasu w trakcie pomiaru trzydobowego, a „ $m$ ” oznacza masę próbki w kilogramach.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podczas pomiaru utrzymuje się dodatnią temperaturę otoczenia o dobowej różnicy temperatury nie przekraczającej 5 stopni Kelvina.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że objętość  $V$  pojemnika jest stała dla każdego trzydobowego pomiaru i wynosi 0,0035 m<sup>3</sup>.

4. Urządzenie do trzydobowego pomiaru ciepła twardnienia betonów, zwłaszcza betonów zawierających popioły ze spalania węgla w energetyce, wyposażone w pojemnik z izolowaną termicznie cylindryczną komorą pomiarową, obudowę pojemnika, oraz czujnik do pomiaru temperatury próbki wypełniającej komorę pomiarową, połączony z urządzeniem do rejestracji temperatury, **znamiennie tym**, że pojemnik składa się z cylindra wykonanego z dwuwarstwowej pianki polietylenowej o zamkniętych porach i sztywnej rury (10) z tworzywa sztucznego, zwłaszcza PCV, oddzielającej warstwę zewnętrzną (2a) pianki od warstwy wewnętrznej (2b), oraz krążka górnego (4) i krążka dolnego (1), które to krążki są wykonane ze styropianu, przy czym czujnik do pomiaru temperatury próbki jest umieszczony w dolnej części komory pomiarowej (3) w rurce polietylenowej (5) osadzonej w krążku górnym (4) w osi komory pomiarowej (3), zaś obudowę pojemnika stanowi rama złożona z prętów (6) z nakrętkami dociskowymi (9) i poziomymi przekładkami dystansowymi (7, 8), górnej i dolnej, między którymi jest mocowany pojemnik, przy czym w skład urządzenia wchodzi czujnik temperatury otoczenia połączony z urządzeniem do rejestracji temperatury.

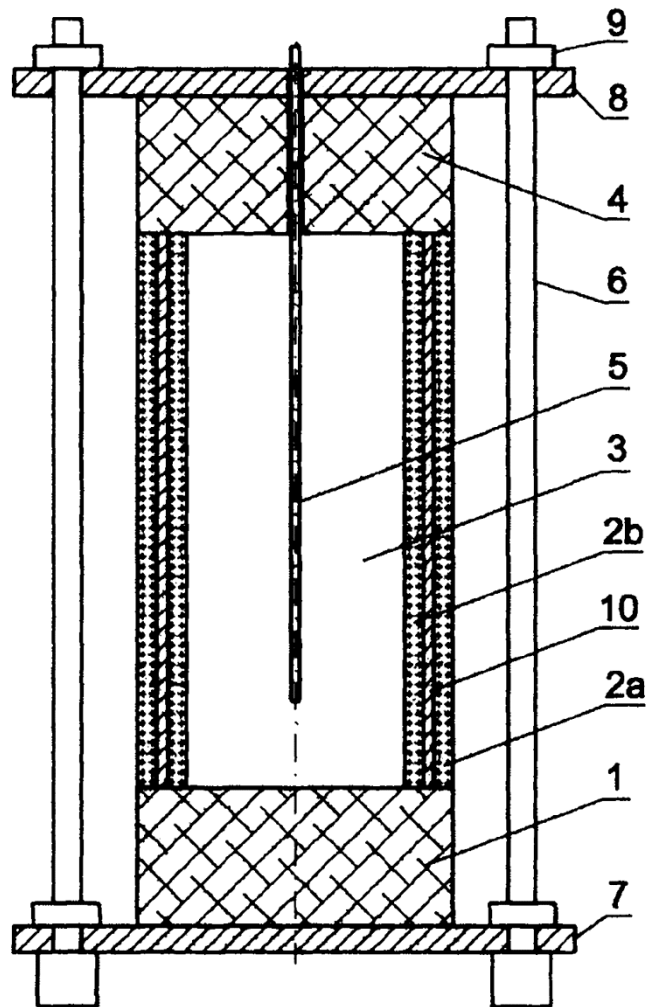
5. Urządzenie według zastrz. 4, **znamiennie tym**, że wewnętrzna warstwa (2b) pianki jest połączona rozłącznie z krążkami (1, 4) i sztywną rurą (10).

6. Urządzenie według zastrz. 4, **znamiennie tym**, że czujnik temperatury próbki jest umieszczony w komorze pomiarowej (3) w odległości zbliżonej do jednej czwartej wysokości komory od krążka dolnego (1).

7. Urządzenie według zastrz. 4, **znamiennie tym**, że czujnik temperatury otoczenia jest umieszczony na zewnątrz pojemnika, korzystnie przy krążku górnym (4).

8. Urządzenie według zastrz. 4, **znamiennie tym**, że krążki (1, 4) są wykonane ze styropianu o grubości 100 mm i gęstości nie większej niż 20 kg/m<sup>3</sup>, przy czym grubość każdej warstwy pianki w cylindrze wynosi 10 mm, zaś grubość sztywnej rury (10) wynosi 6 mm.

## Rysunki



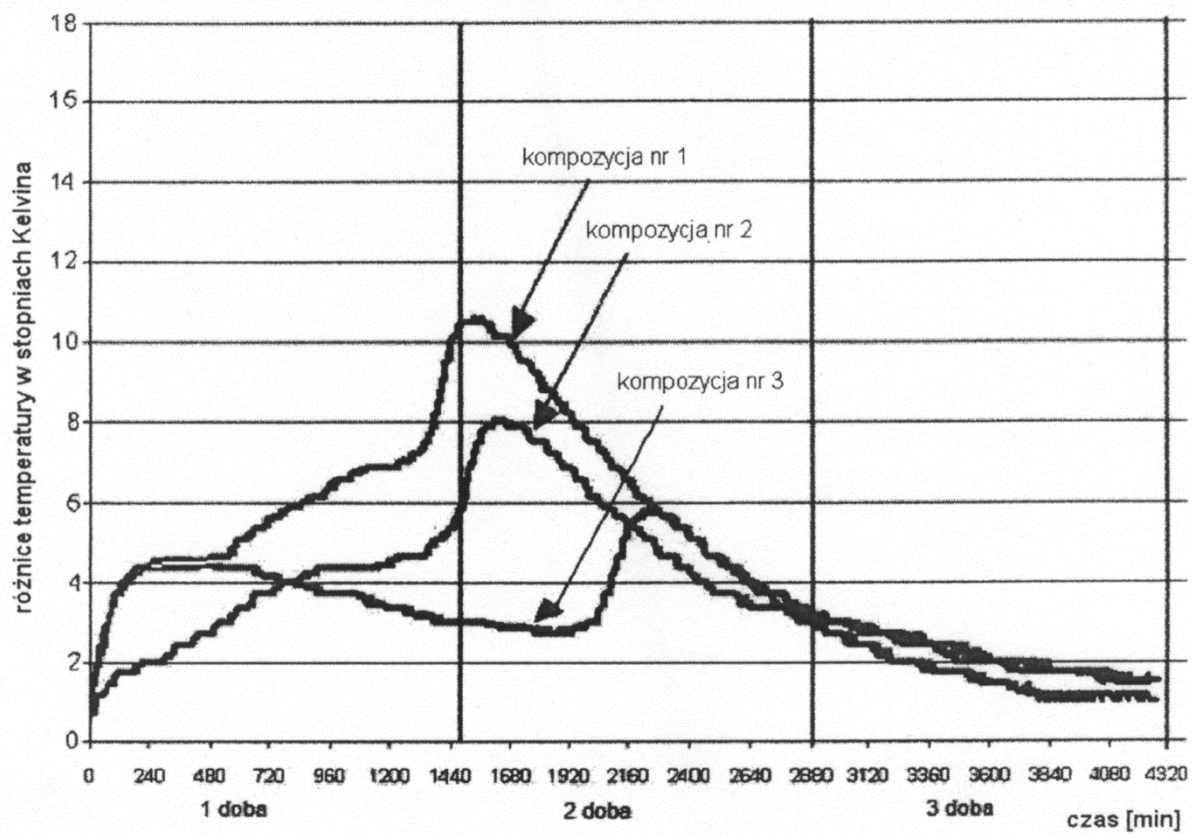


FIG. 2

