

THE METHODOLOGY OF THE CALCULATION OF SURFACE AREA OF THE BED ELEMENTS WHICH CONSTITUTE THE ROCK THERMAL STORAGE

Summary

The correct identification of the interface of the heat exchange in a rock bed thermal storage is significant for the process of describing the heat flow between the bed and air. The transfer of this form of energy goes on during each of the phases of the device's work. New methodology of the identification of the surface area of the stones, suggested by the authors, bases on the division of its mould created using a foam concrete and then on the identification of the partial areas. The procedure is carried out by means of the specially created computer system in which the digital pictures, taken during the division objects scan, are processed. The suggested research device was then used to identify the surface areas of the elements of the rock storage's bed which was granite break stone.

METODYKA WYZNACZANIA POŁA POWIERZCHNI ELEMENTÓW ZŁOŻA STANOWIĄCEGO KAMIENNY AKUMULATOR CIEPŁA

Streszczenie

Prawidłowa identyfikacja międzyfazowej powierzchni wymiany ciepła w kamiennym akumulatorze ma istotne znaczenie w procesie opisu zjawiska przepływu ciepła pomiędzy złożem a powietrzem. Transfer tej formy energii zachodzi w akumulatorze podczas każdej z faz pracy tego urządzenia. Zaproponowana przez autorów nowa metodyka określania pola powierzchni kamieni bazuje na podziale jego formy utworzonej przy użyciu pianki montażowej, a następnie na identyfikowaniu powierzchni cząstkowych. Proces ten przebiega z wykorzystaniem specjalnie do tego celu wytworzonego systemu informatycznego, w którym przetwarzaniu podlegają obrazy cyfrowe uzyskane w trakcie skanowania plastrów – obiektów podziału. Zaproponowane narzędzie badawcze zostało następnie wykorzystane do identyfikacji pola powierzchni elementów złoża kamiennego akumulatora, które stanowił tłuczeń granitowy.

1. Wprowadzenie

Poprawa efektywności wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii może być osiągnięta między innymi poprzez zastosowanie kamiennych akumulatorów ciepła. Tego typu rozwiązania z uwagi na swoje cechy, takie jak prostota konstrukcji i niskie koszty budowy są szczególnie atrakcyjne dla systemów energetycznych występujących w rolnictwie. Jedną z kluczowych wielkości fizycznych, istotnych z punktu widzenia przepływu ciepła w kamiennym akumulatorze podczas jego różnych faz pracy, jest międzyfazowa powierzchnia wymiany. Aktualnie większość procedur obliczeniowych zmierzających do jej wyznaczenia bazuje na założeniu, iż złoża akumulatora stanowią kule charakteryzowane przez średnicę równoważną [1, 4]. Ten sposób postępowania wydaje się być w pełni uzasadniony, gdy złożo stanowi żwir o określonej granulacji. Jednak, gdy materiałem kumulującym energię jest wyselekcjonowany tłuczeń granitowy, którego elementy znacząco odbiegają od regularnej bryły, jaką jest kula rodzą się wątpliwości, co do poprawności powyższego uproszczenia. Uzyskanie odpowiedzi na to nie wprost postawione pytanie wymagało od autorów opracowania metodyki identyfikacji pola powierzchni elementów złoża, która byłaby alternatywą do drogiego, ich zdaniem, sposobu opartego na wykorzystaniu skanera 3D.

2. Metodyka wyznaczenia pola powierzchni elementów złoża

Aktualnie wyznaczenie pola powierzchni zewnętrznej różnego rodzaju obiektów jest realizowane z wykorzystaniem

skanerów 3d i wspierających je systemów informatycznych. Ten sposób pomiaru oprócz szeregu zalet, na które między innymi składa się mały błąd pomiaru posiada istotną wadę, jaką jest cena urządzenia.

Podstawę zaproponowanej przez autorów nowej metodyki, która ma charakter pośredni stanowi pomiar pola powierzchni odcisku kamienia utworzony w materiale plastycznym. W ramach przeprowadzonych badań wstępnych, które nie były poprzedzone decyzją czy pomiar będzie dotyczył kopii czy odcisku kamienia, przetestowano szereg materiałów pozwalających zarówno tworzyć formę, jak i kopię. Uwzględniając możliwości pomiarowe oraz kierując się względami ekonomicznymi zdecydowano się na pomiary odcisków kamieni, które otrzymywano przy zastosowaniu pianki montażowej. Uzyskiwane formy podlegały następnie podziałowi na szereg plastrów o jednakowej i możliwie najmniejszej grubości, jaką można było osiągnąć przy istniejących ograniczeniach technicznych. Dalsza identyfikacja powierzchni wewnętrznej plastra była dokonywana poprzez jednoczesny pomiar obwodów wewnętrznych konturów oraz pomiar grubości plastra. Zsumowana powierzchnia wewnętrzna plastrów, tworzących jedną formę określała pole powierzchni kamienia.

Duża liczba obiektów pomiarowych skutkowałą odpowiednią liczebnością form dodatkowo multiplikowaną procesem ich podziału spowodowała konieczność zautomatyzowania procesu pomiaru długości obwodu plastrów. Zaproponowana metodyka automatyzacji wspomnianego procesu, bazująca na analizie obrazu spowodowała nie tylko skrócenie czasu pomiaru, ale również poprawiła dokładności określania długości obwodu, a zatem i identyfikacji pola powierzchni.

3. Projektowanie systemu informatycznego wspomagającego identyfikację długości konturu

Opisana powyżej metodyka identyfikacji pola powierzchni zewnętrznej badanych elementów złoża bazuje na wyznaczeniu długości konturów wewnętrznych plastrów uzyskanych z podziału formy kamienia. Automatyzacja tego procesu pomiarowego wymagała zaprojektowania i wytworzenia systemu informatycznego „Detektor obwodu plastra”, pozwalającego na określenie długości konturu. Aplikację komputerową zbudowano zgodnie z zasadami inżynierii oprogramowania, przyjmując kaskadowy model cyklu życia oprogramowania [2]. Jest ona przeznaczona do pracy pod systemami operacyjnymi z rodziny Microsoft Windows z zainstalowanym środowiskiem uruchomieniowym „.NET Framework”.

Jedną z kluczowych funkcji opisywanego systemu jest proces binaryzacji cyfrowych obrazów, przedstawiających plastry uzyskane z podziału form. Transformacja obrazu kolorowego, względnie w odcieniach szarości w czarno-biały ułatwia i przyspiesza identyfikację konturu i ocenę jego długości.

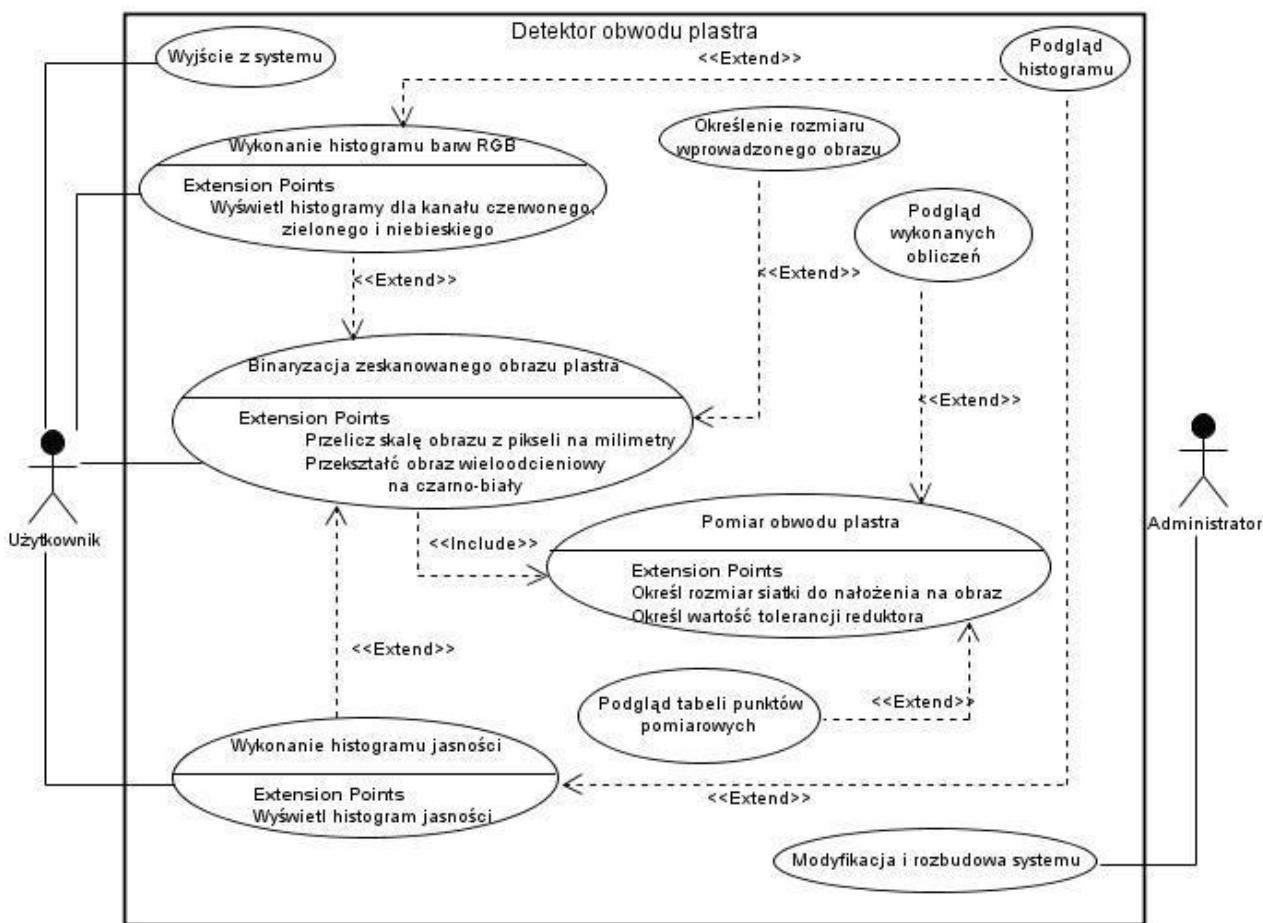
Projektowanie systemu informatycznego przebiegało z wykorzystaniem metodyki obiektowej. Posłużono się w tym celu językiem modelowania UML 2.0 [3]. Modelowanie interesującej nas dziedziny problemowej zostało wykonane za pomocą programu Visual Paradigm for UML 6.4 Community Edition. Efektem etapu projektowania były diagramy przypadków użycia, klas, obiektów, czynności oraz komponentów.

Diagram przypadków użycia obrazujący interakcję użytkownika z tworzonym systemem przedstawiony został na rysunku 1. Interakcja polega na inicjowaniu przez użytkownika przypadku użycia, dostarczeniu danych oraz odbiorze informacji zwrotnych. Natomiast przypadki użycia określają usługi świadczone przez system na rzecz użytkownika. Zadaniem tego diagramu lub diagramów jest dokumentacja zidentyfikowanych wymagań stawianych przez użytkowników wraz z uwzględnieniem ich ról, jakie mają oni pełnić w odniesieniu do systemu.

4. Identyfikacja długości obwodu

Określenie długości konturu prezentowanego obrazu przy użyciu wytworzonej aplikacji wymagało:

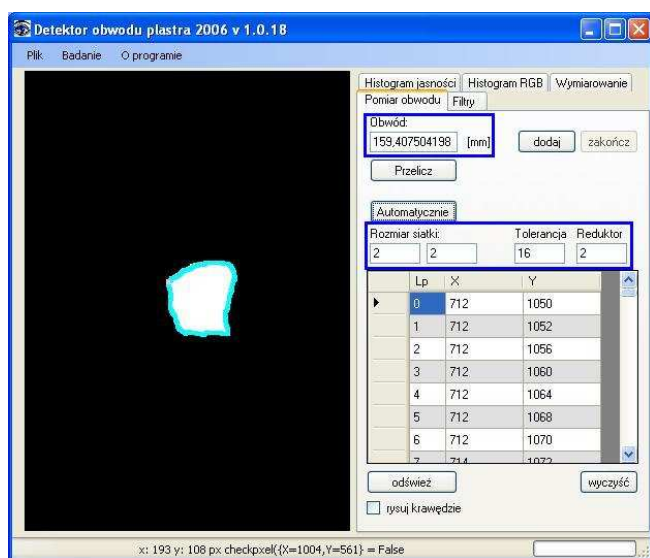
- zeskanowania plastra będącego efektem podziału formy (rys. 2),
- przekształcenia fragmentu formy kamienia w oryginał poprzez inwersję obrazu (odwrócenie kolorów),
- udostępnienia obrazu cyfrowego aplikacji „Detektor obwodu plastra”,
- binaryzacji obrazu,
- uruchomienia procedury automatycznego obliczania długości obwodu z jednoczesnym zapisem wyniku do pliku (rys. 3).



Rys. 1. Diagram przypadków użycia dla systemu „Detektor obwodu plastra”
 Fig. 1. The diagram of the cases of use for the system „Slice circumference sensor”



Rys. 2. Obraz plastra uzyskany w wyniku skanowania
Fig. 2. The slice picture obtained through scanning



Rys. 3. Detektor obwodu plastra – automatyczny pomiar długości obwodu plastra

Fig. 3. Slice circumference sensor – the automatic slice circumference measurement

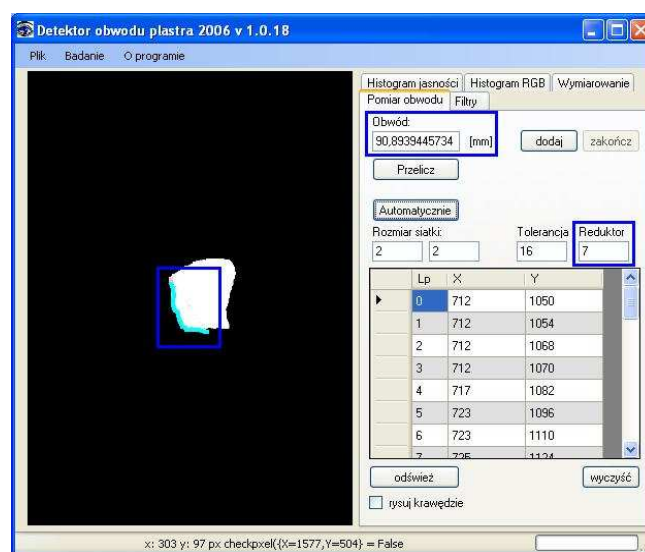
Proces identyfikacji długości obwodu za pomocą prezentowanej aplikacji został poprzedzony wielokrotną kalibracją wykonaną dla kwadratu o boku 30 mm. Uzyskane przy wykorzystaniu tej metody wyniki wykazały, że błąd metody utrzymuje się na poziomie 1,2%. Opisaną dokładność metody uzyskano przy następujących wartościach parametrów sterujących działaniem aplikacji:

- 1) rozmiar siatki - 2 na 2 piksele,
- 2) tolerancja - 16 pikseli,
- 3) redukcja - 2.

Określenie rozmiaru siatki jest równoznaczne z przyjęciem rozmiaru oczek siatki wyrażonych w pikselach, którymi zostanie pokryty analizowany obraz. Zmniejszenie rozmiaru siatki do 1x1 piksela pomimo zwiększenia dokładności pokrycia obrazu, nie powodowało zwiększenia dokładności metody. Podczas prowadzonych pomiarów ingerowano również w wartości dwóch pozostałych parametrów. Pierwsza z wymienionych własności tolerancja pozwalała określić w pikselach maksymalne odległości pomiędzy sąsiadującymi punktami, opisującymi obwód.

Zapewniała ona zawężenie obszaru poszukiwań kolejnych punktów do zadanego zakresu. Zbyt niska wartość tolerancji powodowała „gubienie” punktów analizowanego obrazu i zbyt wczesne kończenie działania algorytmu, bez pełnego rozpoznania obwodu.

Kolejny z parametrów powodował ograniczenie liczby danych niezbędnych do identyfikacji konturu, ale pod warunkiem, że jego wartość była większa od 1. W pewnym zakresie wartości tego współczynnika proces określania długości obwodu ulegał istotnemu przyśpieszeniu, nie powodując zauważalnego zwiększenia błędu. Powyższa sytuacja dotyczyła głównie obrazów większych plastrów, będących wynikiem podziału formy. Nadmierne jednak zwiększenie wartości tego parametru dawało identyczne skutki, co w przypadku zbyt niskiej wartości współczynnika tolerancji. Efekty przyjęcia zbyt dużej wartości tego parametru przedstawia rys. 4.



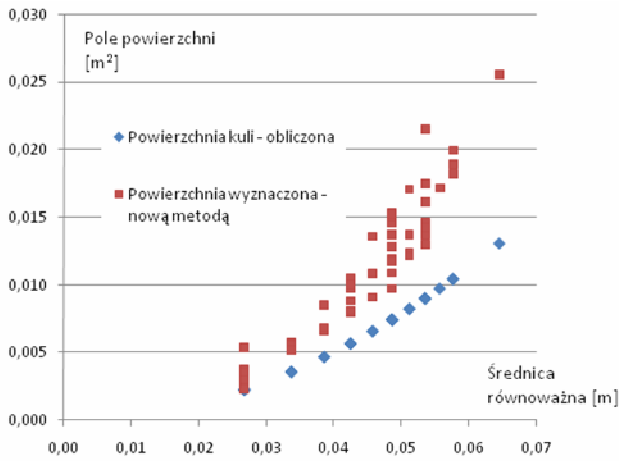
Rys. 4. Detektor obwodu plastra – przykład zbyt wysokiej wartości reduktora

Fig. 4. Slice circumference sensor – the example of too high reducer's value

5. Wyniki badań

Proces rozpoznawania pola powierzchni przeprowadzono dla populacji 60 losowo wybranych kamieni stanowiących złoża akumulatora ciepła. Tworzenie form kamieni z użyciem pianki montażowej, które później podlegały procesowi podziału było poprzedzone wyznaczeniem objętości. Stanowiła ona podstawę zarówno wyznaczenia średnicy równoważnej tłuczni granitowego jak i pola powierzchni kuli. Rezultaty przeprowadzonych badań zilustrowano na wykresie (rys. 5).

Uzyskane wyniki pokazują wyraźnie, iż określenie pola powierzchni kamieni poprzez jej obliczenie na podstawie znajomości średnicy równoważnej i traktowaniu elementu złoża jako kuli jest obarczone znacznym błędem. Przyjmując jako punkt odniesienia rezultaty uzyskane przy zastosowaniu nowej metody średnia wartość błędu względnego wynosi – 66%, co wskazuje na znaczne niedoszacowanie wielkości pola określanego poprzednią metodą.



Rys. 5. Pola powierzchni kamieni (tłuczeń granitowy) wyznaczone przy wykorzystaniu średnicy równoważnej i zidentyfikowane zaproponowaną metodą

Fig. 5. The surface areas of the stones (granite break stone) calculated with use of the equivalent diameter and identified with suggested method

6. Wnioski

1. Zaprezentowana przez autorów oryginalna metodyka pomiaru pola powierzchni elementów złoża, której istotnym składnikiem jest zaprojektowany i wytworzony system informatyczny, pozwalający na identyfikację konturu, a następnie określenie długości obwodu, okazała się bardzo efektywnym narzędziem badawczym.
2. Wskazane wydaje się kontynuowanie prac związanych z doskonaleniem zaproponowanej metody identyfikacji pola powierzchni kamieni, zmierzających zarówno do precyzyjniejszej oceny wielkości błędu metody oraz zaproponowania takich rozwiązań technicznych, które będą sprzyjać jego ograniczeniu.

7. Literatura

- [1] Hollands K.G.T.: Rock bed thermal storage. International Symposium on Solar Energy Utilization, London Canada 1980.
- [2] Jaskiewicz A.: Inżynieria oprogramowania. Helion, 1997.
- [3] Wrycza S., Marcinkowski B., Wyrzykowski K.: Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych. Helion 2005.
- [4] Parker B.F., Bridges T.C., Walton L.R., Collivar D.G.: Design equations for particles bed heat storages. American Society of Agricultural Engineers 1983.