

prof. dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński
mgr inż. Sergiusz Ciskowski
Laboratorium Podstaw Automatykacji,
Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji,
Politechnika Wroclawska

WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKÓW MODELU REOLOGICZNEGO MASY FORMIERSKIEJ ZAGĘSZCZANEJ IMPULSOWO

Zaprezentowano sposób wyznaczania współczynników $k_C(\delta)$ i $k_T(\delta)$ określających zmiany własności sprężystych i lepkich masy formierskiej. Znajomość tych współczynników stanowi podstawę do zastosowania modelu reologicznego do badań symulacyjnych procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich. Zależności $k_C(\delta)$ i $k_T(\delta)$ można określić na podstawie wyników badań eksperymentalnych. W tym celu niezbędne jest wykonanie pomiarów prędkości V_L rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanej masie formierskiej w funkcji stopnia jej zagęszczenia δ .

DETERMINING COEFFICIENTS OF RHEOLOGICAL MODEL OF MOLDING SANDS COMPACTED BY IMPULSE

The way of determining the coefficients of $k_C(\delta)$ and $k_T(\delta)$ determining changes in elastic and viscous properties of foundry sands has been presented. Knowledge of these co-factors provides the basis for the application of the rheological model to simulation studies of impulse compacting of molding. Coefficients $k_C(\delta)$ and $k_T(\delta)$ can be determined on the basis of results of experimental research. For this purpose it is necessary to measure speed of spreading the ultrasonic wave in the test weight as a function of the density degree δ .

1. WSTĘP

Impulsowe zagęszczanie mas formierskich realizowane jest za pomocą strumienia sprężonego powietrza uwalnianego poprzez gwałtowne (w czasie kilku milisekund) otwarcie zaworu impulsowego. Spowodowany w ten sposób nagły wzrost ciśnienia w przestrzeni technologicznej nad masą formierską powoduje nadanie słupowi masy dużej prędkości ruchu, co skutkuje osiągnięciem dużej szybkości jej deformacji a przez to wysokiego stopnia zagęszczenia masy.

Wykonane w ten sposób formy odlewnicze charakteryzują się bardzo dobrą jakością. W praktyce następuje poprawa głównych parametrów technologicznych wytwarzanych odlewów, co skutkuje zwiększoną dokładnością i stabilizacją wymiarową oraz możliwością precyzyjnego odwzorowania kształtów, przy zachowaniu dobrej jakości powierzchni odlewów.

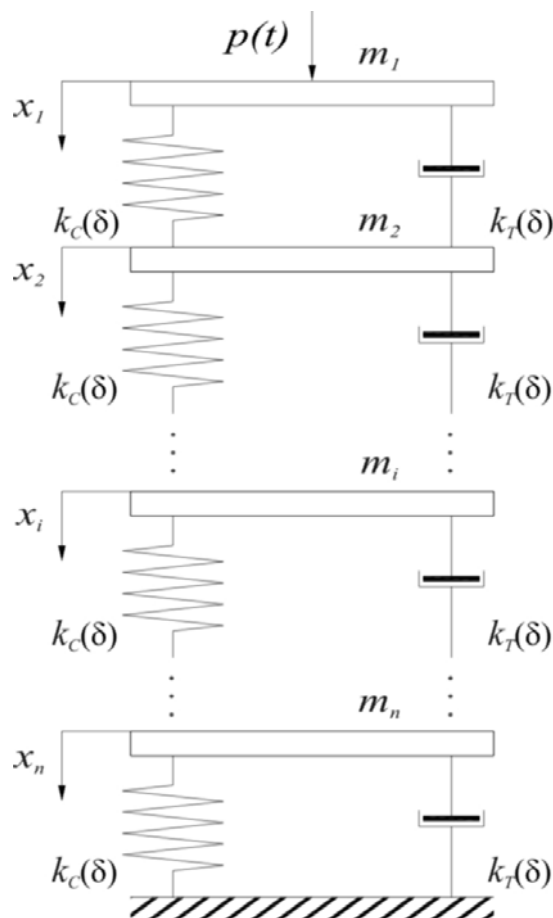
Jednakże osiągnięcie optymalnych efektów procesu impulsowego zagęszczania wymaga znajomości modelu matematycznego tego procesu oraz wyników badań symulacyjnych. Na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych można określić wpływ istotnych parametrów konstrukcyjnych głowicy impulsowej na efektywność procesu impulsowego zagęszczania określonego rodzaju masy formierskiej. Informacje te mogą być wykorzystane do projektowania formierek impulsowych i optymalizacji procesu formowania impulsowego.

2. MODEL MATEMATYCZNY PROCESU IMPULSOWEGO Z AGĘSZCZANI MAS FORMIERSKICH

Podstawę do opracowania matematycznego modelu procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich stanowi opis matematyczny dynamiki impulsowej głowicy formierskiej oraz model matematyczny procesu deformacji i zagęszczania mas formierskich, który sformułowano posługując się metodami reologii opisu własności mechanicznych mas formierskich [1].

Model matematyczny oraz dynamikę głowicy z samoczynnym zaworem impulsowym, opracowanej w Laboratorium Podstaw Automatyki, Instytutu Technologii Maszyn i Automatyki, Politechniki Wrocławskiej przedstawiono w pracach [2, 3].

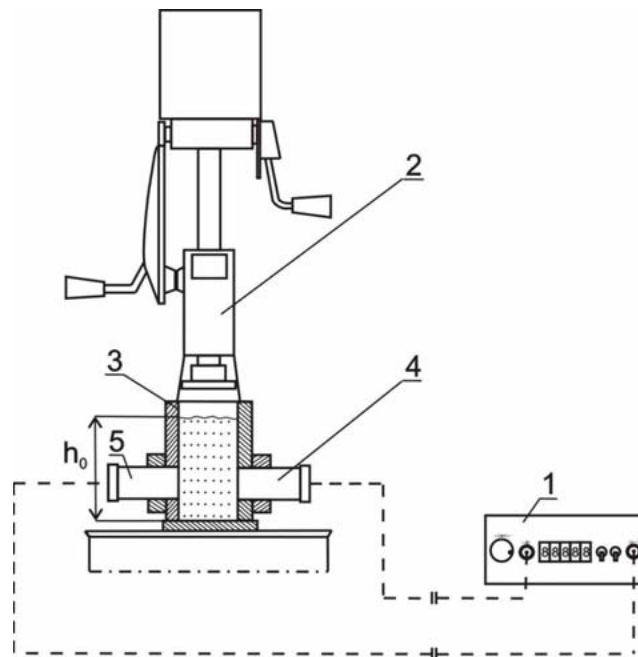
Natomiast opis procesu deformacji i zagęszczania masy formierskiej w dowolnych warstwach formy umożliwia model reologiczny [4, 5], będący szeregowym połączeniem modeli lepko-sprężystych opisujących elementarne warstwy zagęszczanego słupa masy (rys. 1).



Rys. 1. Model reologiczny masy formierskiej: $p(t)$ – ciśnienie strumienia sprężonego powietrza, $k_c(\delta)$ i $k_T(\delta)$ – współczynniki sprężystości i lepkości, m_i – masa i -tej warstwy masy formierskiej, x_i – współrzędna położenia i -tej warstwy

W związku z powyższym, uwzględniając model dynamiki głowicy impulsowej oraz model reologiczny masy formierskiej, proces deformacji masy formierskiej można opisać następującym układem równań różniczkowych:

stopnia zagęszczenia masy formierskiej. Badania te przeprowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego do pomiarów prędkości propagacji ultradźwiękowej fali podłużnej: defektoskop cyfrowy (1), ubijak typ LU (2), komora pomiarowa (3)

Stanowisko pomiarowe składa się z: komory pomiarowej, ubijaka laboratoryjnego LU, defektoskopu ultradźwiękowego CUD, głowic ultradźwiękowych (nadawczej i odbiorczej).

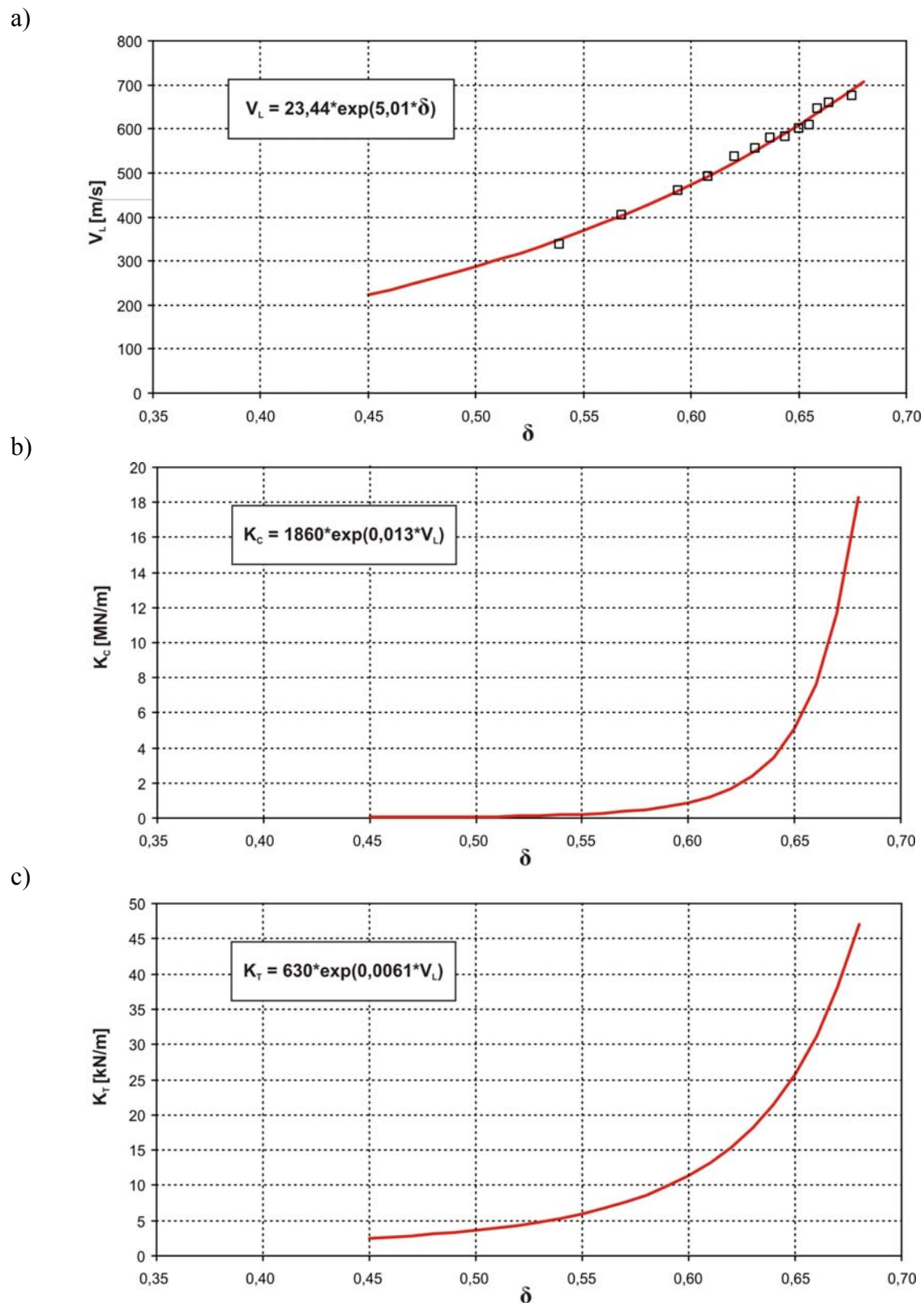
Na stanowisku mierzono czas opóźnienia pomiędzy impulsem nadanym i odebrany ultradźwiękowej fali podłużnej rozchodzącej się w odpowiednio zagęszczonej próbce masy formierskiej. Do komory pomiarowej dozowano próbkę badanej masy ($m=350$ g) i zagęszczano, poprzez 1-krotne uderzenie ciężarka ubijaka. Następnie odczytywano z przyrządu pomiarowego czas przejścia t_i ultradźwiękowej fali podłużnej przez próbkę badanej masy oraz mierzono wysokość h_i zagęszczonej próbki. Pomiar czasu przejścia t_i oraz wysokości h_i powtarzano kilkakrotnie, zwiększając za każdym razem, za pomocą ubijaka laboratoryjnego, stopień zagęszczenia badanej masy formierskiej. W ten sposób wyznaczono eksperymentalnie korelację czasu przejścia fali ultradźwiękowej i stopnia zagęszczenia badanej próbki masy formierskiej ($V_L(\delta)$). Zależność tą można aproksymować funkcją wykładniczą o następującej postaci:

$$V_L = c_1 \cdot \exp(c_2 \cdot \delta) \quad (5)$$

gdzie:

c_1, c_2 – współczynniki

Na rys. 3 zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości fali ultradźwiękowej $V_L=f(\delta)$ oraz zależności współczynników sprężystości $k_C=f(\delta)$ i lepkości $k_T=f(\delta)$, otrzymane w wyniku podstawienia do równań (3) i (4) funkcji aproksymującej relację $V_L=f(\delta)$. Badania przeprowadzono dla masy formierskiej z 5% zawartością bentonitu Specjal i wilgotnością $W=3\%$.

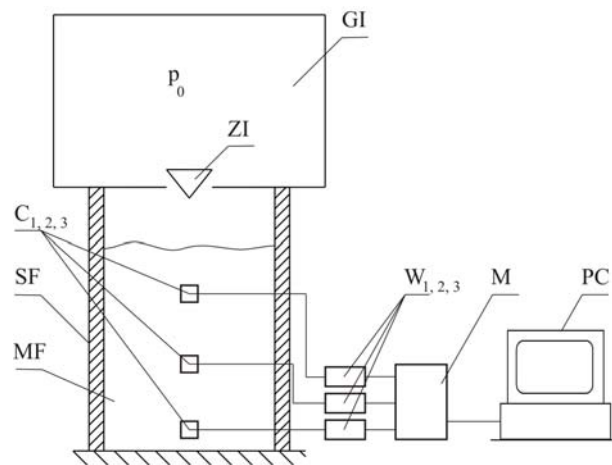


Rys. 3. Eksperymentalne wyniki pomiarów prędkości fali ultradźwiękowej $V_L=f(\delta)$ (a) oraz zależności $k_C=f(\delta)$ (b) i $k_T=f(\delta)$ (c) otrzymane dla masy formierskiej z 5 % zawartością bentonitu Specjal i wilgotności $W=3\%$

4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH I EKSPERYMENTALNYCH MODELU MATEMATYCZNEGO PROCESU IMPULSOWEGO Z AGĘSZCZANIA MAS FORMIERSKICH

Znajomość współczynników $k_c(\delta)$ i $k_T(\delta)$, określających własności sprężyste oraz lepkie masy formierskiej w funkcji jej stopnia zagęszczenia, stanowi podstawę do zastosowania modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich do badań symulacyjnych.

Badania symulacyjne modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich zrealizowane zostały w środowisku Matlab-Simulink, natomiast badania eksperymentalne przeprowadzono na specjalnie skonstruowanym stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys. 4.

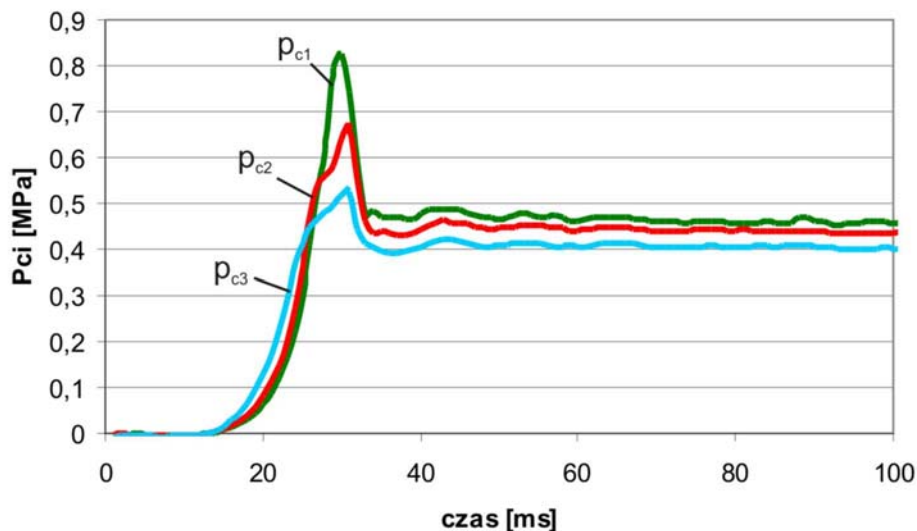


Rys. 4. Schemat procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich oraz toru pomiarowego: GI – głowica impulsowa, ZI – zawór impulsowy, SF – skrzynka formierska, MF – masa formierska, $C_{1,2,3}$ – piezoelektryczne czujniki firmy Kistler typ 601A z cieczowym adaptorem, $W_{1,2,3}$ – wzmacniacz ładunku firmy Kistler typ 5015A, M – moduł akwizycji danych Keithley KUSB 3100, PC – komputer

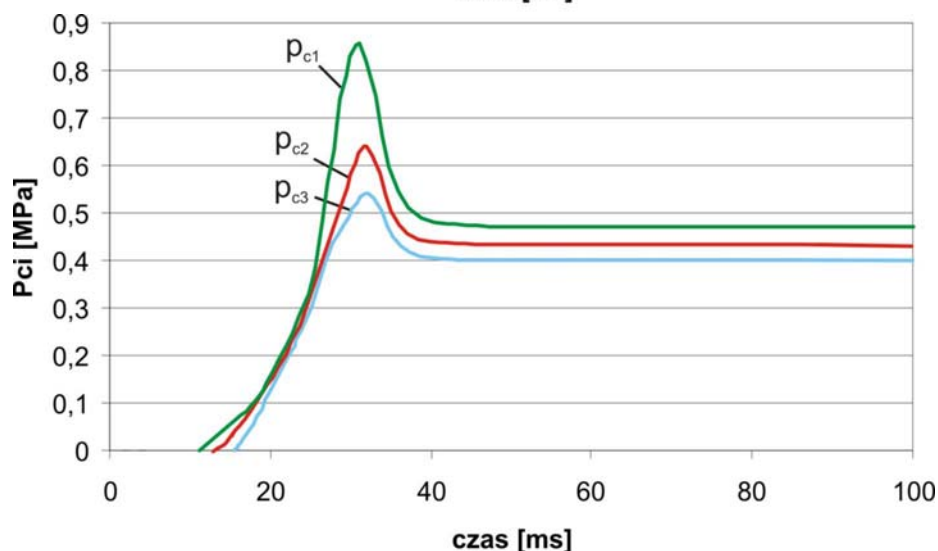
Stanowisko laboratoryjne do badań procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich składa się z opracowanej w Laboratorium Podstaw Automatykacji głowicy GI, wyposażonej w samoczynny zawór impulsowy ZI, skrzynki formierskiej SF wypełnionej masą formierską MF oraz toru pomiarowego do rejestracji nacisków w masach formierskich. Do pomiaru dynamicznie zmieniających się nacisków wykorzystano 3 piezoelektryczne czujniki C1 – C3, umieszczone na trzech różnych wysokościach zagęszczanego słupa masy, wyposażone w adaptory cieczowe umożliwiające bezinercyjny pomiar bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz ośrodka rozdrobnionego [6]. Dodatkowymi elementami wchodzącymi w skład toru pomiarowego są: 3 wzmacniacze ładunków W1 – W3, moduł akwizycji danych M oraz komputer PC.

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych zmian nacisków całkowitych p_c w masie formierskiej zmierzonych na 3 różnych wysokościach: $H1=50$ mm, przebieg nacisków p_{c1} , $H2=100$ mm – p_{c2} , $H3=150$ mm – p_{c3} .

a)



b)



Rys. 5. Przebiegi zmian nacisków całkowitych $p_c=f(t)$ zmierzone na trzech wysokościach zagęszczonego słupa masy formierskiej z 5 % zawartością bentonitu Specjal o wilgotności $W=3\%$. Wyniki badań eksperymentalnych (a), symulacyjnych (b)

4. ZAKOŃCZENIE

Sterowanie procesem impulsowego zagęszczania mas formierskich, poprzez odpowiedni dobór konstrukcji i parametrów pracy formierek do impulsowego zagęszczania mas formierskich wymaga znajomości przebiegu procesu zagęszczania mas formierskich, a w szczególności znajomości stopnia zagęszczenia i zmian wartości nacisków w dowolnej objętości formy.

Opracowany przestrzenny model matematyczny impulsowego zagęszczania mas formierskich, sformułowany w oparciu o zaprezentowany model reologiczny, umożliwia uzyskanie wyników badań symulacyjnych efektów impulsowego zagęszczania masy w dowolnych objętościach zagęszczanych form.

Znajomość współczynników $k_C(\delta)$ i $k_T(\delta)$, określających własności sprężyste oraz lepkie masy formierskiej w funkcji stopnia jej zagęszczenia, stanowi podstawę do zastosowania modelu

reologicznego do badań symulacyjnych. Jedynym warunkiem, koniecznym do określenia wartości tych współczynników, jest przeprowadzenie pomiarów prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych $V_L=f(\delta)$ w badanej masie formierskiej.

Porównanie wyników badań symulacyjnych matematycznego modelu procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich oraz wyników badań eksperymentalnych, pozwala na stwierdzenie, że model reologiczny masy formierskiej, którego własności sprężyste oraz lepkie opisują współczynniki $k_C(\delta)$ i $k_T(\delta)$, bardzo dobrze odzwierciedla rzeczywiste własności reologiczne masy formierskiej i może zostać zastosowany do matematycznego modelowania procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich.

5. LITERATURA

- [1] T. Mikulczyński, S. Ciskowski, M. Ganczarek, D. Nowak, Ł. Dworzak: Modelling of rheological properties of selected disintegrated media. Archives of Metallurgy and Materials. 2007 vol. 52, iss. 3.
- [2] M. Ganczarek: Model matematyczny impulsowego zagęszczania mas formierskich, Praca doktorska, Raporty ITMiA PWr, Ser. PRE Nr. 3, Wrocław, 2003.
- [3] T. Mikulczyński, D. Nowak: Strength measurement of moulding sand in the mould. Sbornik Vedeckych Praci Vysoke Skoly Banske - Technicke Univerzity Ostrava. Rada Strojni. 2006 Roc. 40, cis. 1.
- [4] T. Mikulczyński, M. Bogdan, S. Ciskowski, Ł. Dworzak: Mechanism of impulse compacting of moulding sands. Archives of Foundry Engineering. 2008 vol. 8, spec. iss. 1.
- [5] M. Ganczarek, S. Ciskowski, T. Mikulczyński: 3D model of impulse compaction of moulding sands model. Archives of Foundry Engineering. 2008 vol. 7, iss. 1.
- [6] T. Mikulczyński, S. Ciskowski, Ł. Dworzak: Pomiar nacisków w ośrodkach rozdrobnionych. Pomiary, Automatyka, Robotyka. 2009, R. 13, nr 2.