

**MODELOWANIE ROZKŁADU STOPNIA ZAGĘSZCZENIA
MASY FORMIERSKIEJ Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMÓW
UCZĄCYCH SIĘ**

R. BIERNACKI¹, M. PERZYK², J. KOZŁOWSKI³
Instytut Technologii Materiałowych Politechniki Warszawskiej
Narbutta 85, 02-524 Warszawa

STRESZCZENIE

Omówiono czynniki wpływające na stopień i równomierność zagęszczania masy w formie prasowanej przy użyciu wysokich nacisków. Przedstawiono analizę zależności między najważniejszymi parametrami tego procesu a właściwościami formy, wykonaną przy użyciu systemu uczącego się, jakim są sztuczne sieci neuronowe.

Key words: compaction of moulding sand, density, squeeze, dimensional accuracy, learning systems

1. WSTĘP

Zagadnienie jakości odlewów, w tym ich wadliwości, poprawności uzyskanych kształtów i wymiarów, jest związane m. in. z doborem odpowiednich materiałów formierskich, odpowiednich właściwości masy oraz z procesem przygotowania formy [1]. Najważniejsze czynniki technologiczne dotyczą m. in. oprzyrządowania modelowego, właściwości technologicznych masy formierskiej oraz sposobu przygotowania form rozumianego jako uzyskanie odpowiedniego zagęszczenia. Stopień zagęszczenia masy w formie jest ważnym parametrem technicznym decydującym o powstaniu dobrego odlewu bez wad. Zależy on od wielkości ciśnienia wywieranego na masę w formie, właściwości materiałów formierskich, kształtu modeli oraz wstępnego stopnia zagęszczenia masy w formie. Masa stosowana do formowania pod wysokimi naciskami (0,8 – 2,5 MPa) powinna charakteryzować się m. in. dużą płynnością i małą zawartością wody. Duże znaczenie mają również zagadnienia tarcia wewnętrznego w masie, tarcia ze-

¹ mgr inż., e-mail: rbiernac@wip.pw.edu.pl

² prof. dr hab. inż., e-mail: M.Perzyk@wip.pw.edu.pl

³ mgr inż., e-mail: jkozlows@wp.pl

wnętrznego oraz odkształcenia sprężyste masy, powodujące pęcznienie się wneli formy i występowanie dużych oporów przy oddzielaniu modelu [2]. Omówione zjawiska wpływają na uzyskanie poprawnego rozkładu zagęszczenia masy w formie.

Wspomniane zagadnienia są trudne do opisanja związkami wynikającymi z mechaniki ośrodków rozdrobnionych. Rozważania analityczne przedstawione w opracowaniach naukowych dotyczą analizy stanu naprężeń w masie zagęszczonej metodą prasowania, zmian wymiarowych wneli będących wynikiem sprężystych i trwałych odkształceń masy oraz wpływu pojedynczych czynników na stopień zagęszczenia masy [2]. Należy zauważyć, że uzyskany stopień i równomierność zagęszczenia masy w formie jest wynikiem oddziaływań trudnej do określenia liczby parametrów w warunkach wzajemnych korelacji. Uwzględnienie wszystkich zależności, które czynią zagęszczanie pod wysokimi naciskami procesem o złożonej naturze fizycznej jest możliwe przy zastosowaniu systemów uczących się. Takie systemy w sposób automatyczny doskonalą swoje działanie poprzez analizę wyników doświadczenia (np. przebiegu procesu) i nabywanie wiedzy na tej podstawie.

W artykule zostanie przedstawiona analiza związków między zagęszczeniem a siłami potrzebnymi do jego wywołania oraz między geometrią modelu i wybranymi właściwościami syntetycznej masy formierskiej a stopniem i równomiernością zagęszczania masy w formie.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Badania przeprowadzono w celu stworzenia modelu matematycznego, który mógłby zostać użyty do analizy zagadnień wytwarzania formy w zakresie zapewnienia odpowiedniego stopnia zagęszczenia, poprzez zbadanie związków pomiędzy najważniejszymi parametrami procesu prasowania pod wysokimi naciskami. Proces ten ma ograniczony zakres stosowania do wytwarzania form o prostych i płtykich wnelkach, jest stosowany do zagęszczania masy w komorach automatów formierskich wykonujących formy bezskrzynekowe. W przypadku badań laboratoryjnych stwarza on możliwość teoretycznego ujęcia zjawisk zachodzących przy zagęszczaniu [3].

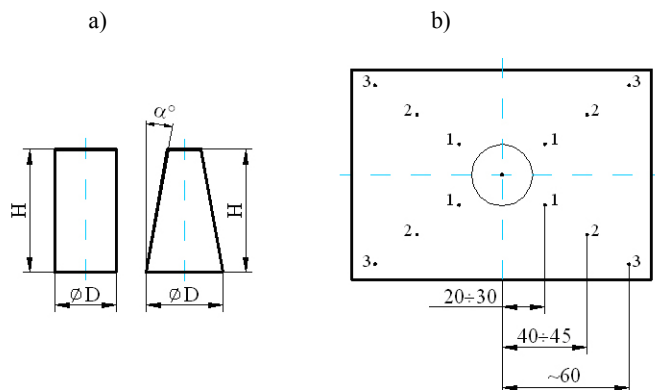
Badaniami objęto zadania umożliwiające bezpośrednio określenie:

- wpływu kształtu modelu na równomierność zagęszczenia masy w formie,
- wpływu właściwości masy na stopień zagęszczenia przy ustalonych wymiarach i kształtach modelu i parametrach zagęszczania.

3. METODYKA BADAŃ

Prace badawcze wykonano dla form wytworzonych metodą prasowania pod wysokimi naciskami na modelach o zmiennych średnicach, wysokościach i kątach nachylenia. Zastosowano prasowanie jednostronne od góry płaską płytą prasującą. W badaniach wykorzystano 24 modele, o charakterystycznych kształtach przedstawionych na rys. 1a. Modele o kształcie walca uszeregowano wg wymiarów średnic D w zakresie $20 \div 40$ mm. W każdej w ten sposób utworzonej grupie zawarto modele charakteryzujące się różnicowaną wysokością H (w zakresie $30 \div 60$ mm), dodatkowo modele o średnicach

$D=25\div 30$ mm zróżnicowano poprzez zmienność kąta nachylenia tworzącej do podstawy ($2\div 10^\circ$).



Rys. 1. Modele użyte w badaniach: a) kształty modeli, b) obszary (punkty) pomiarów twardości formy

Fig. 1. The models used in the investigations: a) the shapes of the models, b) areas (points) where the hardness was measured

Masę formierską zawierającą 8% bentonitu przygotowano w sposób umożliwiający uzyskanie 4 poziomów wilgotności z założonego zakresu: $1,5\div 1,7\%$; $1,9\div 2,1\%$; $2,3\div 2,5\%$; $2,7\div 3,3\%$. Dla każdej uzyskanej porcji masy wykonywano pomiary wytrzymałości na ściskanie R_c , płynności wg metody Orłowa P_o oraz zagęszczalności Z , bezpośrednio przed pomiarem twardości kolejnych form prasowanych odpowiednio naciskami 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 MPa. Formy wykonywano ze wszystkich modeli, w każdym zakresie wilgotności masy.

Próba technologiczną możliwą do wykonania we wnęce formy bez jej zniszczenia jest próba twardości [3], którą w prezentowanej pracy wykonano przy użyciu twardościomierza z wgłębnikiem stożkowym. Pomiary twardości przeprowadzono na powierzchni dolnej połowki formy stanowiącej płaszczyznę podziału. Twardość zmierzono w 12 punktach (rys. 1b), tak aby uzyskać reprezentatywną twardość w trzech obszarach:

- w obszarze 1 oddalonym o ok. 10 mm od krawędzi wneli,
- w obszarze 3 najbardziej zbliżonym do krawędzi skrzyni formierskiej,
- w obszarze 2 mieszczącym się pomiędzy obszarami 1 i 3.

Uzyskane wyniki przetworzono do postaci danych uczących. Uzyskano 500 rekordów. Przyjęto następujące sygnały wejścia i wyjścia:

- dane wejściowe- wysokość H , średnica D , kąt nachylenia α modelu; wilgotność, wytrzymałość na ściskanie, płynność Orłowa, zagęszczalność; ciśnienie zagęszczania;
- dane wyjściowe (wynikowe) - twardość średnia ze wszystkich obszarów; maksymalna twardość ze wszystkich obszarów; obszar z maksymalną twardością, rozstęp.

Utworzono cztery zbiory danych, każdy o jednym wyjściu przedstawionym powyżej.

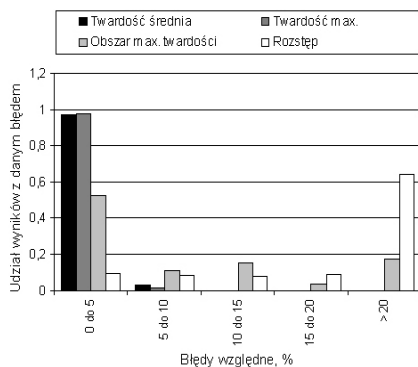
Sztuczne sieci neuronowe (SSN) nauczono na przygotowanych zbiorach uczących przyjmując generalną zasadę wielokrotnego uczenia (10 uczeń) dla tego samego zestawu danych uczących. Szczegóły dotyczące SSN, w tym ich topologii, metod uczenia znaleźć można w pracy [4].

W niniejszej pracy współczynniki istotności względnej określano wielkością maksymalnego przyrostu wartości wyjścia z sieci uzyskiwanego przy zmianie danego wejścia, przy pozostałych wejściach ustalanych wielokrotnie losowo. Szerzej zagadnienie to omówiono w pracy [5].

4. WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

Analizę błędów wyników uczenia określonej SSN (uczonej wielokrotnie) przeprowadzono na wynikach uczenia tej sieci, która charakteryzowała się najmniejszym względnym odstępstwem przewidywań od średnich obliczonych z przewidywań dziesięciu nauczonych SSN.

Określono błędy względne wyników przewidywania wielkości wyjściowych z wykorzystaniem SSN, uwzględniając ich udział w charakterystycznych przedziałach wartości. Z rys. 2 wynika, że SSN prawidłowo modeluje twardości średnie i maksymalne obszarów formy otaczających wnękę w płaszczyźnie podziału.



Rys. 2. Rozkłady błędów przewidywania wielkości wyjściowej przez SSN

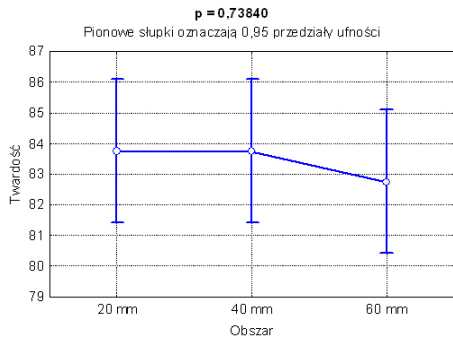
Fig. 2. Distributions of prediction errors obtained from ANNs

Wyniki przewidywania obszaru najbardziej zagęszczonego są mniej zadowalające. Dla większości przypadków pomiarowych można stwierdzić, że wartości odchyleń pojedynczych pomiarów twardości w określonym obszarze są porównywalne z wartościami różnic pomiędzy średnimi twardościami sąsiadujących obszarów.

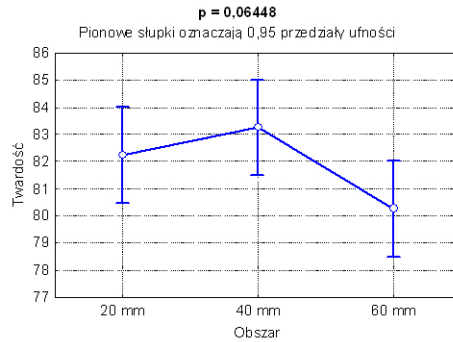
Wykonano również jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA), rys. 3a, b, c. Przedstawione wykresy są wybranymi przykładami: rys. 3a ukazuje jedną z najmniej znaczących różnic (najczęściej spotykanych); rys. 3b jest przykładem jednej z mało znaczących i ukierunkowanych różnic (często spotykanych); na rys. 3c zamieszczono przykład jednej z najbardziej znaczących różnic (dość rzadko spotykanych). Znaczna część wyników testów wykazywała wartości poziomu p powyżej 0,05 (jak w przykładach z rys. 3a i 3b), co oznacza, że ze statystycznego punktu widzenia trudno jest mó-

więc o istotnych różnicach między twardością obszarów położonych w różnych odległościach od modelu.

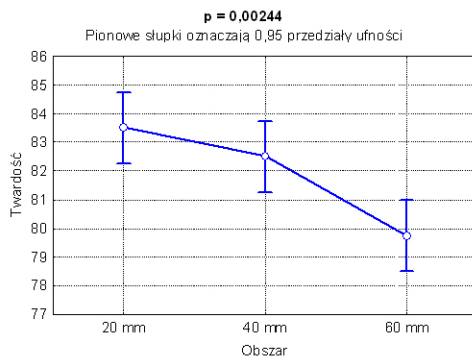
a)



b)



c)

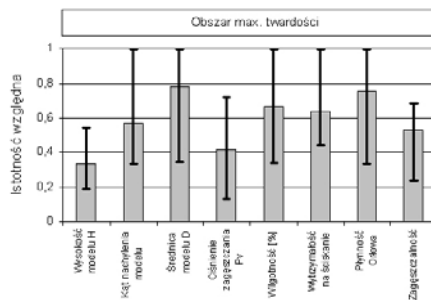


Rys. 3 a, b, c. Wykresy analizy wariancji (ANOVA) przykładowych pomiarów twardości formy

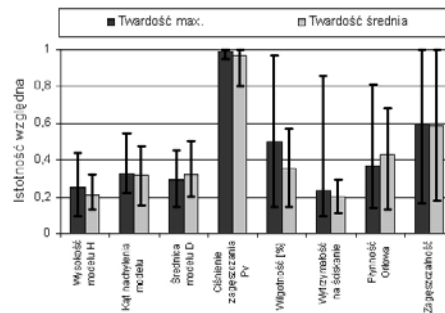
Fig. 3 a, b, c. The diagrams of variance analysis for the specified measurements

Wyjaśnia to w znacznym stopniu powód braku wskazania przez SSN wyrażonych sygnałów wpływających na rozkład zagęszczenia reprezentowany przez obszar maksymalnej twardości (rys. 4a).

a)



b)



Rys. 4 a, b. Istotności względne wielkości wejściowych dla analizowanych zbiorów danych

Fig. 4 a, b. Relative importance factor values for input signals

Na rys. 4a, b pokazano wykresy istotności sygnałów wejściowych oraz rozrzuty wyników z 10 uczeń zdefiniowane jako zakresy pomiędzy minimalną a maksymalną wartością. Otrzymane współczynniki istotności względnej dla zbiorów o wyjściach określających twardość średnie i maksymalne dla określonych modeli, właściwości masy i ciśnienia zagęszczania wykazują fakt zdecydowanie wyróżniającego się działania ciśnienia zagęszczania, co jest odpowiedzią oczekiwaną. Duże rozrzuty istotności sygnałów wilgotność i zagęszczalność sprawiają, że wpływu tych właściwości masy na stopień zagęszczenia (reprezentowany przez maksymalną twardość) nie można uznać za równie znaczący.

Badania przeprowadzone w niniejszej pracy w zasadzie pozwoliły na stwierdzenie poprawności modelowania przez SSN zjawisk wpływających na stopień zagęszczenia masy w formie. Przyjęta metodyka badań oraz zastosowany system uczący się nie umożliwiły jednak poprawnego przewidywania sygnałów wpływających na równomierność zagęszczania masy w formie.

LITERATURA

- [1] L. Lewandowski: *Masy formierskie i rdzeniowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.
- [2] S. Waszkiewicz: *Wpływ błędów odwzorowania wnętrza formy na dokładność wymiarową odlewów*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
- [3] J. Szreniawski: *Piaskowe formy odlewnicze- podstawy teoretyczne i wytyczne dla praktyki*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968.
- [4] M. Perzyk, R. Biernacki, A. Kochański: *Modeling of manufacturing processes by learning systems: the naïve Bayesian classifier versus artificial neural networks*. Journal of Materials Processing Technology 164-165 (2005) 1430-1435.
- [5] M. Perzyk, A. Kochański, J. Kozłowski: *Istotność względna sygnałów wejściowych sieci neuronowej*. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków, tom 3, rok 2003, str. 125-132.

MODELING OF MOULDING SAND DENSITY DISTRIBUTION BY LEARNING SYSTEMS

SUMMARY

The effect of high-pressure moulding parameters to density of sand moulds is discussed. The analysis utilises artificial neural networks. The modelling qualities of the neural networks, based on prediction errors and relevant importance factors of input signals are presented.

Recenzował: Prof. Mieczysław Kaczorowski