

Możliwości implementacji technik sztucznej inteligencji w układach sterowania kombajnów chodnikowych

Dariusz Jasiulek, Joanna Rogala-Rojek, Krzysztof Stankiewicz

Drażenie wyrobisk korytarzowych z użyciem kombajnów chodnikowych jest jednym z podstawowych rodzajów robót w górnictwie podziemnym umożliwiających udostępnianie złoża i przygotowanie go do eksploatacji. Możliwość osiągnięcia dużej koncentracji wydobywania uwarunkowana jest stosowaniem coraz nowocześniejszych technologii drążenia gwarantujących uzyskanie dużej efektywności. Warunkiem zaś uzyskania dużej efektywności postępu drążenia jest kompleksowa mechanizacja robót oraz właściwy dobór parametrów maszyn biorących udział w realizacji procesu.

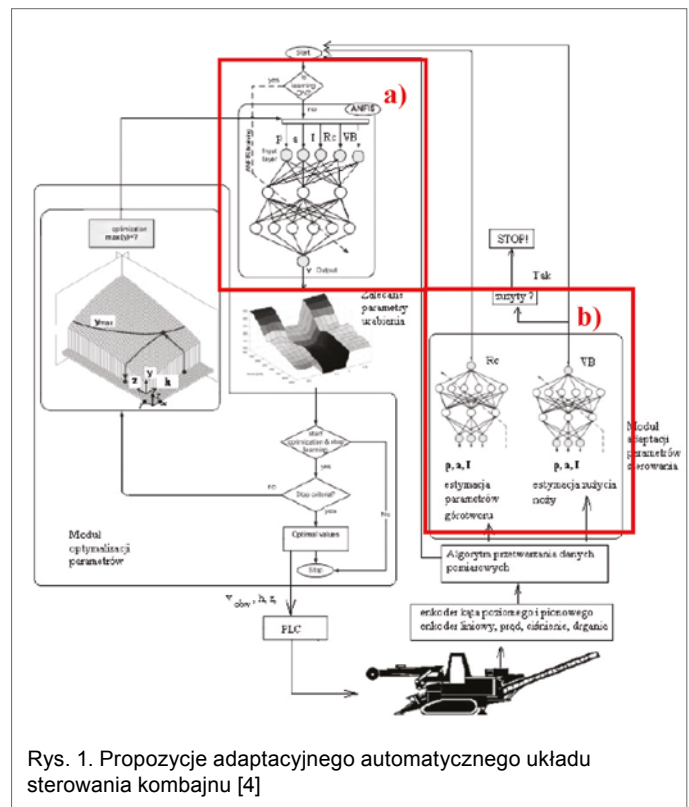
W procesie sterowania maszyn górniczych, takich jak kombajny chodnikowe, występuje wiele czynników utrudniających przygotowanie klasycznego modelu matematycznego opisującego zjawiska towarzyszące pracy tych maszyn. Problemy te są bezpośrednią przyczyną podejmowania prób zastosowania technik sztucznej inteligencji w modelowaniu zjawisk występujących w trakcie drążenia wyrobisk korytarzowych [1, 2, 3, 6, 7, 8].

W artykule [4] przedstawiono między innymi koncepcje adaptacyjnego, automatycznego układu sterowania kombajnu chodnikowego. Realizowane w ITG KOMAG prace dotyczą dwóch obszarów, zaznaczony na rys. 1 obszar a) dotyczy doboru parametrów skrawania, natomiast obszar b) dotyczy szacowania oporów skrawania. Prace związane z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji w układzie sterowania kombajnu chodnikowego poprzedzono badaniami procesu drążenia wyrobiska chodnikowego, przeprowadzonymi w podziemiach kopalni węgla kamiennego.

Badania parametrów procesu drążenia wyrobiska korytarzowego

Opracowanie algorytmów sztucznej inteligencji wymagało pozyskania rzeczywistych danych zarejestrowanych w trakcie drążenia wyrobiska chodnikowego. W tym celu kombajn chodnikowy R-130 produkcji REMAG SA z zabudowaną aparaturą pomiarowo-rejestrującą poddano badaniom w wyrobisku kopalni węgla kamiennego. Wyrobisko, w którym pracował kombajn, drążono w obudowie ŁP9/V29/A z rozstawem odrzwi co 0,75 m. Szerokość wyrobiska w świetle wynosiła 5 m, a jego wysokość 3,5 m. Pole powierzchni przekroju obudowy wynosiło 14,8 m².

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania technik sztucznej inteligencji w układach sterowania maszyn górniczych na przykładzie kombajnów chodnikowych. Przedstawiono wyniki badań modelowych, w których wykorzystano dane zarejestrowane w trakcie procesu drążenia wyrobiska kombajnem chodnikowym. Odpowiednio przetworzone dane wykorzystano w etapie przygotowywania algorytmów sterujących.



Rys. 1. Propozycje adaptacyjnego automatycznego układu sterowania kombajnu [4]

W czole przodka, w dolnej części wyrobiska występował węgiel o miąższości 1,4–1,6 m i wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $R_c = 18,6$ Mpa. Powyżej występował łupek ilasty o miąższości ok. 0,3 m i wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $R_c = 30,9$ MPa. W części przystropowej występował łupek piaszczysty o miąższości 1,6–1,8 m i wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $R_c = 37,5$ MPa. Spąg wyrobiska stanowił łupek piaszczysty o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $R_c = 37,5$ MPa.

W trakcie badań rejestrowano natężenie prądu pobieranego przez poszczególne silniki kombajnu, wartość skuteczną drgań mechanicznych na głowicy urabiającej, ciśnienie w układzie hydraulicznym oraz położenie wysięgnika w stosunku do korpusu maszyny.

Pozyskane dane wykorzystano w procesie uczenia, testowania i walidacji sztucznych sieci neuronowych oraz w procesie formułowania reguł logiki rozmytej.

Szacowanie oporów skrawania z zastosowaniem sztucznej sieci neuronowej

Koncepcja uzależnienia prędkości ruchu roboczego układu urabiania kombajnu chodnikowego od warunków górniczo-geologicznych wynika z następujących przesłanek:

- kombajny często są przeciążane w trakcie urabiania skał o wysokiej wytrzymałości na ściskanie;
- kombajny często są niedociążone w trakcie urabiania skał o niskiej wytrzymałości na ściskanie.

Szacowanie oporów skrawania stanowi wstępny etap wyznaczania wartości zadanej prędkości kątowej wysięgnika kombajnu. W trakcie wstępnych badań modelowych wykonano moduł identyfikacji oporów skrawania w oparciu o sztuczną sieć neuronową. Sieć została przygotowana za pomocą oprogramowania MATLAB i nauczona z wykorzystaniem danych uzyskanych na etapie badań w kopalni. Wyniki przeprowadzonych symulacji wykazały, że jest możliwe oszacowanie oporów skrawania przez sztuczną sieć neuronową.

Wytypowano następujące parametry wejściowe sztucznej sieci neuronowej szacującej opory skrawania:

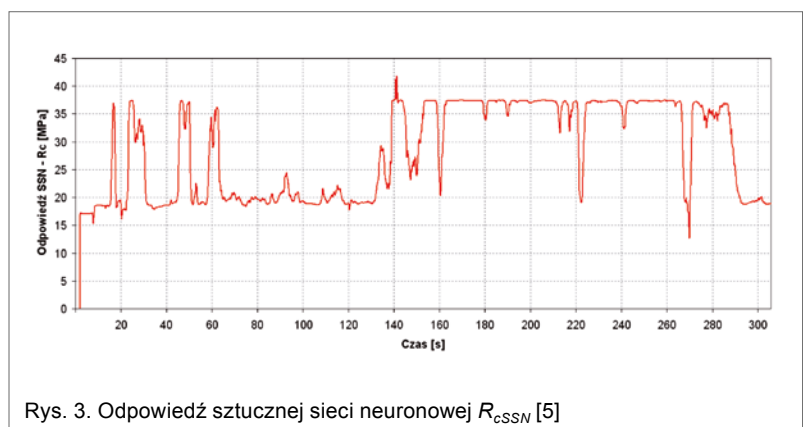
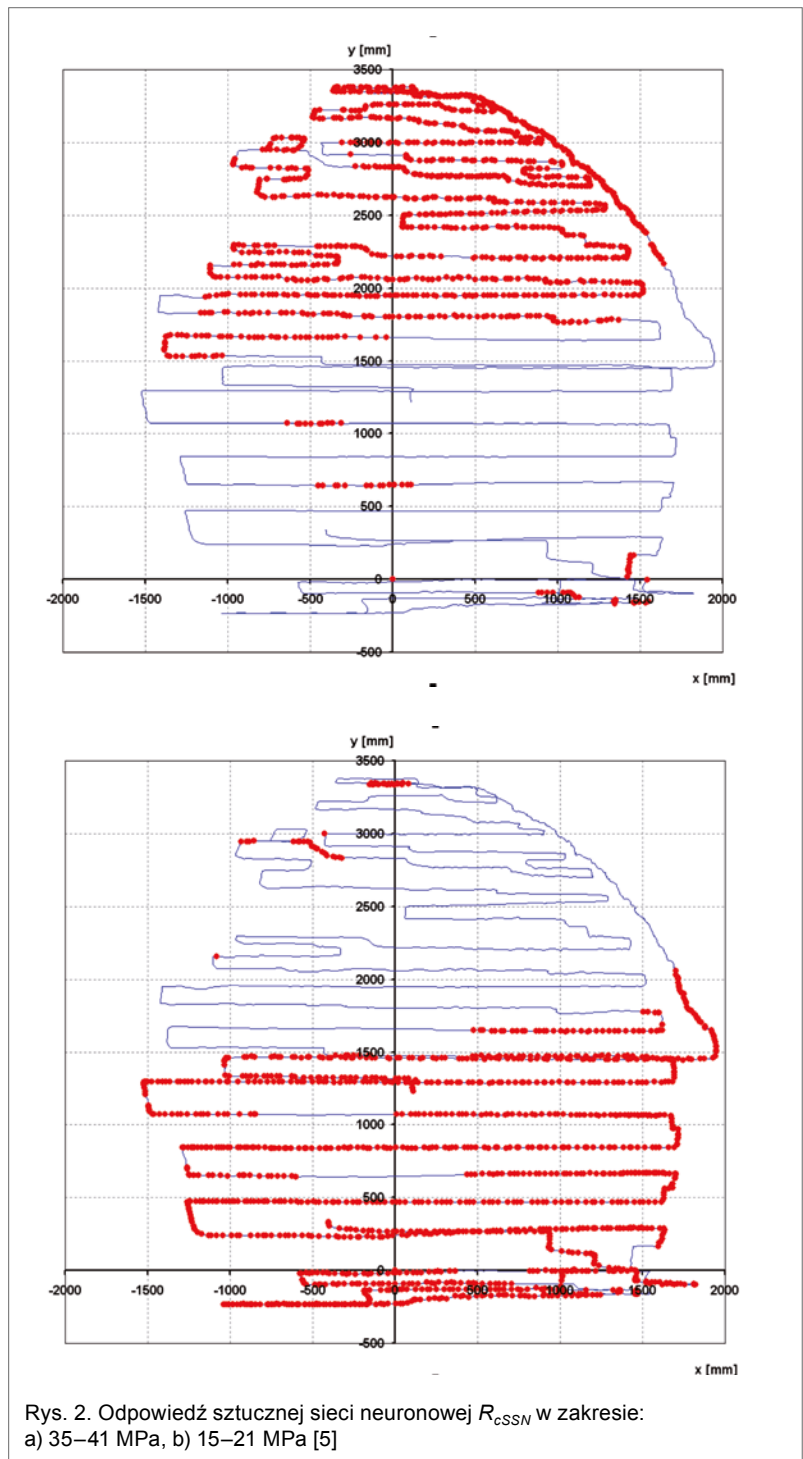
- natężenie prądu silnika organu urabiającego;
- wartość skuteczną przyspieszeń drgań mechanicznych;
- wartość ciśnienia w komorze podłokowej siłownika obrotnicy;
- wartość ciśnienia w komorze nadłokowej siłownika obrotnicy;
- prędkość kątowa wychylenia wysięgnika.

Wyniki uzyskane za pomocą sztucznej sieci neuronowej naniesiono na rzeczywistą trajektorię urabiania. Na rys. 2a przedstawiono opory skrawania odpowiadające urabianiu łupka piaszczystego występującego w górnej części wyrobiska, natomiast na rys. 2b opory skrawania odpowiadające urabianiu węgla w dolnej części wyrobiska.

Na rys. 3 przedstawiono odpowiedź sztucznej sieci neuronowej w zakresie szacownych oporów skrawania w odniesieniu do wybranego zbioru rzeczywistych danych zarejestrowanych w trakcie badań w warunkach rzeczywistych na kopalni.

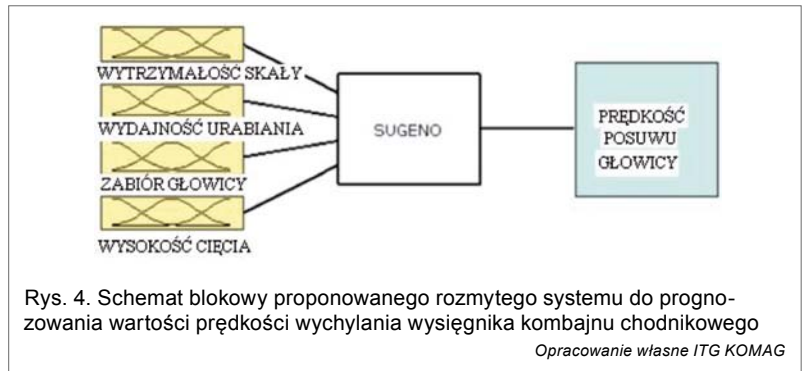
Funkcja doboru parametrów skrawania

W ramach prowadzonych w ITG KOMAG prac badawczych nad adaptacyjnym układem sterowania kombajnu chodnikowego podjęto również próbę syn-



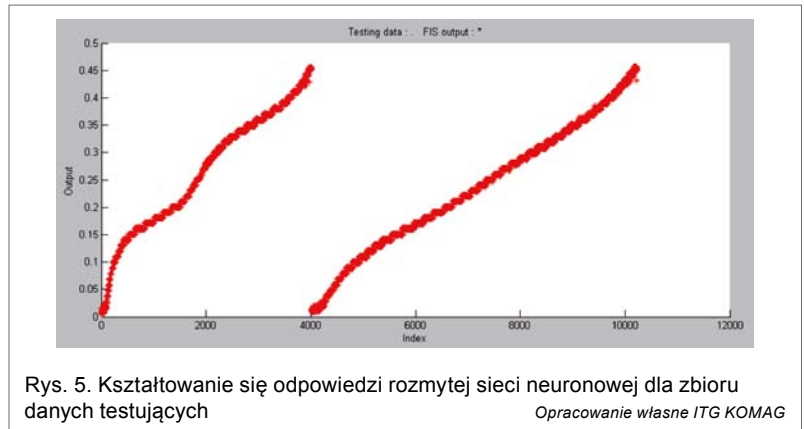
tezy systemu rozmytego służącego do generowania powierzchni sterowania, które mogą być wykorzystywane do automatycznego generowania parametrów roboczych kombajnu sterowanego z wykorzystaniem urządzeń należących do grupy PLC.

W oparciu o zbiory danych uzyskane w wyniku pomiarów zarejestrowanych podczas badań w kopalni podjęto próbę wykorzystania rozmytej sieci neuronowej do prognozowania prędkości ruchu wysięgnika organu urabiającego, w zależności od wartości parametrów urabiającej calizny. W celu analizy wpływu poszczególnych czynników na wartość prędkości wychylania wysięgnika zastosowano model rozmyty typu Sugeno.



Rys. 4. Schemat blokowy proponowanego rozmytego systemu do prognozowania wartości prędkości wychylania wysięgnika kombajnu chodnikowego
Opracowanie własne ITG KOMAG

Wyznaczenie parametrów oraz struktury modelu rozmytego zrealizowano za pomocą interfejsu ANFIS na podstawie wyników pomiarów badań eksploatacyjnych, które pełniły rolę danych uczących. W oparciu o ww. dane zaproponowano system rozmyty w postaci przedstawionej na rys. 4.

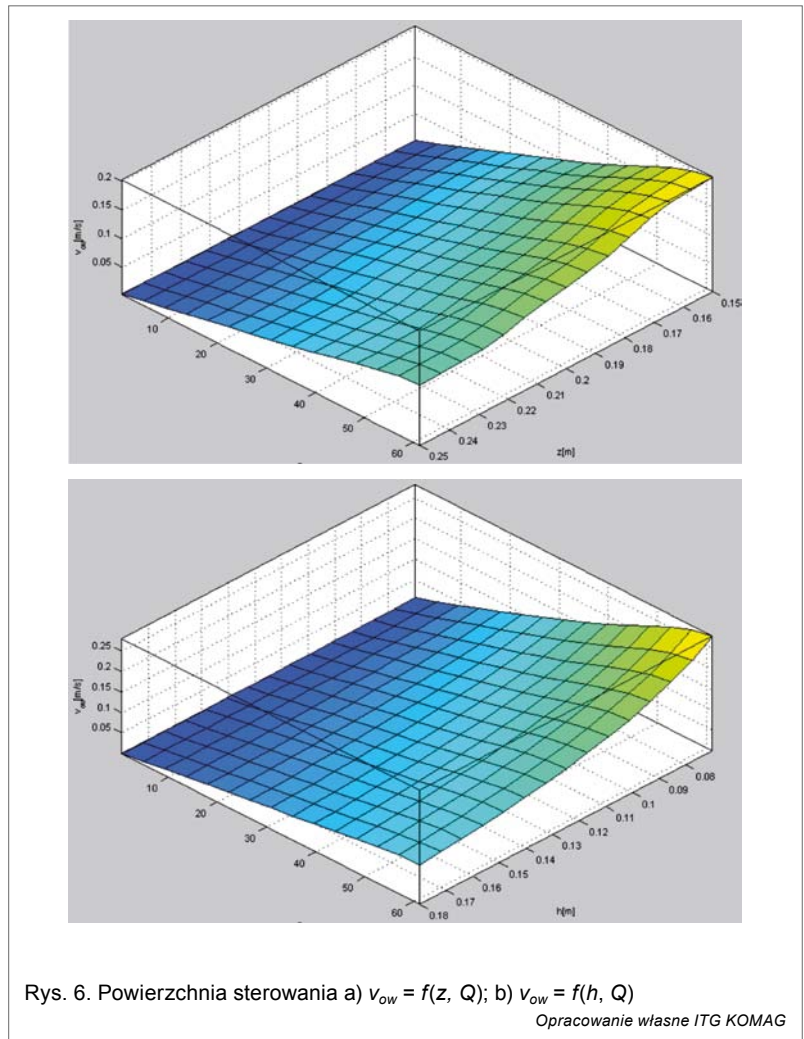


Rys. 5. Kształtowanie się odpowiedzi rozmytej sieci neuronowej dla zbioru danych testujących
Opracowanie własne ITG KOMAG

Analizę kształtowania się wartości prędkości wychylania wysięgnika kombajnu chodnikowego przeprowadzono w odniesieniu do modelu sieci rozmytej z następującymi zmiennymi wejściowymi:

- zabiór z ;
- wysokość cięcia h ;
- wytrzymałość skały na jednoosiowe ściskanie R_c ;
- wydajność urabiania Q .

Strukturę systemu rozmytego uzyskano w wyniku działania automatycznego generatora ANFIS. Po przeprowadzeniu etapu uczenia sieci przeprowadzono eksperyment z wykorzystaniem danych uczących, testujących (rys. 5) i walidacyjnych.



Rys. 6. Powierzchnia sterowania a) $v_{ow} = f(z, Q)$; b) $v_{ow} = f(h, Q)$
Opracowanie własne ITG KOMAG

W wyniku działania systemu, po 500 epokach uczenia metodą hybrydową, wygenerowano powierzchnie sterowania, których przykładowy obraz przedstawiono na rys. 6.

Na powierzchni sterowania (rys. 6 a), będącej odzwierciedleniem zależności wartości wydajności urabiania Q , zabióru z oraz prędkości obwodowej wysięgnika v_{ow} , określono zależność pomiędzy z i v_{ow} oraz Q i v_{ow} . Przedstawiona powierzchnia potwierdza silną zależność pomiędzy prędkością obwodową wysięgnika v_{ow} a wydajnością urabiania Q , wyrażoną w m^3 na jednostkę czasu. Prędkość v_{ow} przyjmuje wartości maksymalne w odniesieniu najniższego w badanym zakresie wartości zabióru z oraz maksymalnej wydajności urabiania Q . Wartość prędkości v_{ow} maleje wraz ze wzrostem wartości zabióru z , co przekłada się na spadek wydajności Q .

W przypadku badania zależności cięcia h , wartości wydajności urabiania Q i kształtowania się prędkości obwodowej v_{ow} (rys. 6 b) można stwierdzić, że v_{ow} osiąga wartość maksymalną w odniesieniu do najniższej uzyskiwanej wysokości cięcia h i największej wartości wydajności Q . Ponadto można zaobserwować wzrost prędkości v_{ow} wraz ze wzrostem wydajności Q oraz spadkiem wartości wysokości cięcia h , przy czym dla zwiększających się wartości wydajności urabiania Q można zauważyć zmianę dynamiki wpływu wartości h na wartość wyjściową – v_{ow} .

Podsumowanie

Tendencje w rozwoju inteligentnych maszyn wskazują na konieczność stosowania zautomatyzowanych układów sterowania kombajnów chodnikowych. Uwzględniając specyfikę prac prowadzonych podczas procesu drążenia wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem kombajnów chodnikowych, można stwierdzić, że nie jest możliwe (i uzasadnione) całkowite wycofanie człowieka (operatora) z rejonu pracy maszyny ze względu na czynności związane z montażem obudowy chodnikowej. Wdrożenie układów automatyki, który umożliwiłyby wycofanie załogi na pozostały czas cyklu w znaczny sposób zwiększyłyby bezpieczeństwo i efektywność procesu drążenia. Implementacja systemu kontrolującego parametry pracy kombajnu i wspomagającego profilowanie obrysu wyrobiska powinno przynieść istotne korzyści, m.in.:

- uniemożliwienie przekraczania dopuszczalnych obciążeń napędów, zwiększając ich żywotność i ograniczając liczbę awarii;
- poprawę wydajności drążenia;
- zmniejszenie energochłonności procesu urabiania;
- zwiększenie precyzji wykonania profilu wyrobiska;
- poprawę bezpieczeństwa pracy w przodku poprzez wycofanie załogi z rejonów zagrożonych.

Literatura

- [1] GAJEWSKI J., JONAK J.: *Metody sztucznej inteligencji w badaniach noży i głowic urabiających*. PTE, Warszawa 2008.

- [2] GAJEWSKI J., JONAK J.: *Wykorzystanie SSN do oceny stanu ostrzy noży głowicy wielonarzędziowej*. XX Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2007.
- [3] GAJEWSKI J., JONAK J.: *Klasyfikacja sygnałów siły skrawania za pomocą sieci neuronowej*. „Eksploatacja i Niezawodność” nr 2/2004, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa 2004, s. 24–27.
- [4] GAJEWSKI J., JONAK J.: *Robotyzacja maszyn roboczych na przykładzie kombajnu chodnikowego*. Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 24–27.01.2011.
- [5] JASIULEK D.: *Adaptacyjny układ sterowania kombajnu chodnikowego*. Rozprawa doktorska, Gliwice 2010.
- [6] JONAK J., PROSTAŃSKI D., SZKUDLAREK Z.: *Propozycja wykorzystania sieci neuronowych w identyfikacji ruchów roboczych kombajnu chodnikowego*. Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechaniczne w świetle wymagań unii europejskiej. KOMTECH 2003, Szczyrk, 17–19 listopada 2003.
- [7] JONAK J.: *Możliwości wykorzystania sieci neuronowych do prognozowania obciążenia narzędzi urabiających*. XVI Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2003.
- [8] PROSTAŃSKI D., JONAK J.: *Sieci neuronowe w badaniach procesu urabiania skał stożkowymi nożami obrotowymi*. Monografie KOMAG, Gliwice 2003.

dr inż. Dariusz Jasiulek, mgr inż. Joanna Rogala-Rojek,
dr inż. Krzysztof Stankiewicz – Instytut Techniki Górniczej KOMAG