

# KONFERENCJE „ODLEWNICTWO XXI WIEKU- TECHNOLOGIE, MASZYNY I URZĄDZENIA ODLEWNICZE”, PLATFORMĄ WSPÓŁPRACY FIRMY P.P.P. TECHNICAL ZE ŚRODOWISKIEM INŻYNIERSKIM, NAUKOWO-BADAWCZYM I AKADEMICKIM

Józef DAŃKO<sup>1</sup>  
Czesław RUDY<sup>2</sup>  
Tadeusz PIOSIK<sup>3</sup>  
Aleksander FEDORYSZYN<sup>4</sup>  
Rafał DAŃKO<sup>5</sup>

## 1. Wstęp

W obecnym roku ma miejsce już XI Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2008 „Odelewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Tradycyjne już Konferencje weszły na stałe do kalendarza spotkań odlewników.

Konferencje przez ubiegłe dziesięciolecie zgromadziły wielu uczestników. Liczy się, że udział w nich brało około tysiąc osób oraz wielu wystawców. Corocznie wydawano Materiały Konferencyjne, w których umieszczano teksty referatów.

Minione dziesięciolecie zasługuje na podsumowania dokonań i oceny rezultatów, tym bardziej, że tematyka referatów nawiązywała do aktualnych potrzeb przemysłu odlewniczego. Dalszy, dynamiczny rozwój konferencji wprowadził dużą różnorodność tematyczną; spróbujmy zatem spojrzeć wstecz na Konferencję, która od ponad 10 lat realizuje skutecznie swoją misję dla odlewnictwa XXI wieku.

## 2. Przegląd tematyki referatów

Pierwsza i druga Konferencja „Odelewnictwo XXI wieku- technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”, miały miejsce jeszcze w ubiegłym wieku. Tematem pierwszej Konferencji były "Nowoczesne Techniki Przygotowania Mas Formierskich". W oficjalnym wydaniu materiałów konferencyjnych, które mają charakter biuletynu konferencyjnego znalazło się słowo wstępne Prezesów i komplet ogłoszonych artykułów. Celem konferencji była prezentacja nowoczesnej techniki przygotowania mas formierskich bentonitowych w przemyśle odlewniczym.

## I KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 1998

Świat nauki i instytucji naukowo-badawczych był reprezentowany przez Poltechnikę Zielonogórską (Ireneusz Dzwonnik) oraz Instytut Odlewnictwa (Irena Izdebska- Szanda). Zostało ogłoszonych 6 referatów technicznych ściśle związanych z tematem konferencji, mianowicie:

1. Walerian Soliński, Tadeusz Piosik - „TECHNICAL” – Nowa Sól „Nowoczesne stacje przerobu mas formierskich”.

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; e-mail: jd@agh.edu.pl

<sup>2</sup> mgr inż., Prezes P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól, e-mail: cz.rudy@technical.com.pl

<sup>3</sup> inż., V-ce Prezes P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól, e-mail: cz.rudy@technical.com.pl

<sup>4</sup> dr hab. inż. prof. nadzw., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; alfa@uci.agh.edu.pl

<sup>5</sup> dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; e-mail: rd@agh.edu.pl

2. Eugeniusz Ciamaga - „TECHNICAL” – Nowa Sól „Mieszarki turbinowe do mas formierskich bentonitowych”.
3. Irena Izdebska – Szanda i inni - Instytut Odlewnictwa – Kraków „Badanie wpływu sposobu mieszania na jakość sporządzanych mas formierskich”
4. Ireneusz Dzwonnik - Politechnika Zielonogórska „Kierunki rozwoju procesów przerobu mas formierskich do formowania na wilgotno”
5. Peter Boschmann - Foundry Control - Neuwied „Regulacja wilgotności przy mieszarce turbinowej (wsadowej)”
6. Waldemar Bojanowski - „TECHNICAL” – Nowa Sól „Sterowanie stacji przerobu mas formierskich i innych linii technologicznych w odlewnictwie”.
7. Świat techniki reprezentowali Gospodarze oraz krajowi i zagraniczni partnerzy firmy TECHNICAL, a mianowicie: Fabryka Maszyn Odlewniczych S.A. „FMO” Kraków, „AB MICRO” s.c. Gliwice, „FOUNDRY CONTROL” Neuwied - Niemcy.

## II KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 1999

Opracowano i ogłoszono 8 referatów, w tym 3 autorstwa Gospodarzy. Po jednym referacie: Politechnika Zielonogórska, Instytut Odlewnictwa w Krakowie oraz WSM „KROTOSZYN”. 2 referaty przygotowane zostały przez autorów z WO AGH.

8. Aleksander Fedoryszyn, Krzysztof Smyksy, Józef Dańko - Wydział Odlewnictwa AGH- Kraków. Techniki formowania stosowane w odlewnictwie światowym.
9. Krzysztof Smyksy - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków-Wybrane aspekty formowania impulsowego.
10. Paweł Gruber- TECHNICAL Nowa Sól. – Formierka dwustanowiskowa impulsowo prasująca FT-65.
11. Walerian Soliński – Technical Nowa Sól – Gnazda i linie formierskie w procesie modernizacji istniejących odlewni.
12. Franciszek Pezarski – Instytut Odlewnictwa Kraków – Analiza wyników badań i prób nowej formierki impulsowo prasującej FT-65.
13. Wiesław Orzechowski – WSM”KROTOSZYN” – Kształtowanie odlewów tulei
14. Ireneusz Dzwonnik- Politechnika Zielonogórska – Wpływ jakości masy formierskiej i technik formowania na jakość odlewów.
15. Waldemar Bojanowski -TECHNICAL Nowa Sól –Sterowanie maszyn, linii formierskich i innych linii technologicznych w odlewnictwie.

## III KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2000

Opracowano i ogłoszono 10 referatów, w tym 4 Gospodarze Konferencji (1 we współautorstwie z firmą Foundry Control). Po jednym referacie: Politechnika Zielonogórska, Instytut Odlewnictwa w Krakowie, współautorstwo w 1 referacie Mahle „KROTOSZYN” oraz Instytut Odlewnictwa. 4 referaty przygotowane zostały przez 5 autorów z WO AGH.

1. Roman Wrona- AGH Kraków – Analiza starzenia się odlewni.
2. Radosław Miczyński, Tadeusz Piosik, Wiesław Nizioł – TECHNICAL Nowa Sól – Nowoczesne techniki przygotowania mas formierskich.
3. Józef Dańko, Jan Lech Lewandowski- Wydział Odlewnictwa AGH – Analiza metod oceny regenerowalności zużytych mas formierskich i rdzeniowych ze szczególnym uwzględnieniem metod ruchowych.
4. Krzysztof Smyksy - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków-Wpływ gęstości początkowej masy na efekty formowania w odlewni.

5. Czesław Rudy, Paweł Gruber- TECHNICAL Nowa Sól. – Mechanizacja procesu formowania w odlewni.
6. Ireneusz Dzwonnik- Politechnika Zielonogórska – Formierskie masy bentonitowe – technologia przygotowania.
7. Aleksander Fedoryszyn, Józef Dańko, Krzysztof Smyksy - AGH Kraków- Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej.
8. Walerian Soliński, Wiesław Orzechowski, Irena Izdebska-Szanda - Technical Nowa Sól- Mahle „KROTOSZYN” – Instytut Odlewnictwa – Urządzenie do odśrodkowego odlewania LOT-8.
9. Jerzy Tybulczuk – Instytut Odlewnictwa Kraków – Produkcja Odlewów w świecie w 1998 roku.
10. Peter Boschman, Waldemar Bojanowski –Foundry Control - TECHNICAL Nowa Sól –Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej w mieszarce turbinowej.

#### IV KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2001

Konferencja rozwija się dynamicznie pod względem bogactwa treści i formy. Po raz pierwszy liczba opracowanych i wygłoszonych referatów osiągnęła 15 pozycji. Wyraźnej krystalizacji ulega formuła i rodzaj uczestników. Można zauważyć tworzenie zrębu elitarności tematycznej. Do grupy stałych uczestników dołączają odlewnie, nowe instytucje i nowi autorzy. Udział w części konferencyjnej: Gospodarze Konferencji – 3, Instytut Odlewnictwa -3 poz., po 1 referacie: Politechnika Wrocławska, Politechnika Zielonogórska, Politechnika Łódzka i ZG STOP. Autorzy z WO AGH, współorganizatorzy konferencji, przygotowali 5 referatów.

1. Czesław Rudy, Tadeusz Piosik- TECHNICAL Nowa Sól. – 10 lat produkcji maszyn i urządzeń odlewniczych w „TECHNICAL”.
2. Józef Dańko, Rafał Dańko- Wydział Odlewnictwa AGH – Systemy regeneracji osnowy z zużytych mas formierskich.
3. Józef Szczepan Suchy, Tadeusz Franaszek –STOP – Odlewnicza Izba Gospodarcza – Aktualna sytuacja polskiego odlewnictwa – perspektywy.
4. Mariusz Holtzer, Iwona Kargulewicz – Wydział Odlewnictwa AGH- Możliwość wykorzystania odpadowych mas formierskich.
5. Tadeusz Mikulczyński, Zdzisław Samsonowicz, Mirosław Janczarek, Janusz Polański, Ryszard Ślusarski – Politechnika Wrocławska-LEGMET Legnica- Gniazdo formierskie z wielozaworową głowicą impulsową.
6. Zenon Niedźwiedzki, Andrzej Jopkiewicz – Politechnika Łódzka- Ustawienie wirnika i łopatek oczyszczarki
7. Aleksander Fedoryszyn, Krzysztof Smyksy Józef Dańko - AGH Kraków- Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej.
8. Krzysztof Smyksy - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków-Energochłonność strumieniowych maszyn formierskich.
9. Jerzy Tybulczuk, Elżbieta Smoluchowski, Irena Izdebska-Szanda - Instytut Odlewnictwa Kraków – Technologie odlewnicze XXI wieku.
10. Roman Wrona, Eugeniusz Ziółkowski - AGH Kraków – Eksploatacja składników strukturalnych w odlewni.
11. Ireneusz Dzwonnik- Politechnika Zielonogórska – Bilans materiałów formierskich w procesie wykonania odlewów.
12. Waldemar Bojanowski, Paweł Naskręt -TECHNICAL Nowa Sól- Systemy sterowania maszyn, urządzeń i linii technologicznych w nowoczesnych odlewniach.

13. Franciszek Pezarski, Elżbieta Smoluchowski, Irena Izdecka-Szanda, Jan Wojciechowski, Walerian Soliński, Czesław Rudy – Instytut Odlewnictwa Kraków – Mahle „KROTOSZYN”, TECHNICAL Nowa Sól- Linia do odlewania tulei cylindrowych LOT-8.
14. Czesław Rudy Krzysztof Makohonenko, Stanisław Wrona - TECHNICAL Nowa Sól – TAMEL Tarnów – Tendencje rozwojowe maszyn, urządzeń i linii formierskich.
15. Halina Pawłowska, Krystyna Łuszczkiewicz, Aleksander Fedoryszyn – Instytut Odlewnictwa Kraków – Wydział Odlewnictwa AGH – Zakres prac normalizacyjnych prowadzonych dla potrzeb odlewnictwa.

## V KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2002

Kolejna, bogata tematycznie konferencja, w ramach której opracowano i wygłoszono 13 referatów. Potwierdza się obserwacja o wyraźnej specjalizacji tematycznej Konferencji. Udział w części konferencyjnej: Gospodarze Konferencji – 4 (3 we współautorstwie), Instytut Odlewnictwa -1 poz., Politechnika Śląska w Gliwicach oraz Politechnika Zielonogórska po 1 poz, Wydział Odlewnictwa AGH – 7 poz.

1. Józef Dańko - Wydział Odlewnictwa AGH – Dobór parametrów nadmuchiwania oraz utwardzania rdzeni w technologii cold-box.
2. Czesław Rudy, Adam Zapalski, T. Legierski- TECHNICAL Nowa Sól. – Technologia sporządzania mas ze spoiwem alkilowym.
3. Ireneusz Dzwonnik- Politechnika Zielonogórska – Metoda bilansowania materiałów formierskich w procesie odlewania.
4. Aleksander Fedoryszyn – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Kryteria klasyfikacji i oceny rozwiązań urządzeń formierskich.
5. Roman Wrona – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Zużycie ekonomiczne maszyn i inwestycje modernizacyjne.
6. Krzysztof Smyksy, Marcin Ślęzyk, M. Szablowski, Krzysztof Makohonenko - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- TECHNICAL Nowa Sól- Badania i analiza wybranych współczesnych metod formowania.
7. Tadeusz Piosik – TECHNICAL Nowa Sól – Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo-ciernie.
8. Franciszek Pezarski, Irena Izdecka-Szanda, Elżbieta Smoluchowska, Czesław Rudy – Instytut Odlewnictwa Kraków – TECHNICAL Nowa Sól – Nowe linie formierskie do produkcji odlewów z zastosowaniem formierek impulsowo-prasujących FT-65.
9. Henryk Szlumczyk, Józef Gawroński – Politechnika Śląska w Gliwicach- Regeneracja mas formierskich w regeneratorsze liniowym.
10. Aleksander Fedoryszyn, Piotr Zyzak - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Charakterystyka podstawowych zespołów oczyszczarek strumieniowo-ciernych.
11. Krzysztof Smyksy - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Porównanie metod formowania strumieniowego.
12. Eugeniusz Ziółkowski - AGH Kraków – Analiza funkcjonalności zdalnych komputerowych systemów pomiarowo-sterujących.
13. Mariusz Holtzer, Beata Grabowska, Iwona Kargulewicz – Wydział Odlewnictwa AGH- Instytut Ochrony Środowiska Warszawa - Dezodoryzacja gazów w warunkach odlewni.

## VI KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2003

W trakcie trwania obrad ogłoszono 14 referatów. Konferencji towarzyszyła wystawa firmy EcoInstal z Kościana oraz reklamy Targów Metal w Kielcach.

Tematykę referatów przedstawiono poniżej.

14. Paweł Gruber, Czesław Rudy, Irena Izdebska Szanda, Franciszek Pezarski - TECHNICAL Nowa Sól Instytut Odlewnictwa Kraków. – Nowoczesne techniki formowania stosowane w odlewnictwie.
15. Czesław Rudy, W. Nizioł- TECHNICAL Nowa Sól. – WSK PZL Rzeszów. Nowoczesna technologia przerobu mas formierskich SPM-45 w odlewni WSK PZL Rzeszów.
16. Aleksander Fedoryszyn, Krzysztof Smyksy – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Ocena wybranych parametrów chłodziarki wibrofluidyzacyjnej.
17. W. Kollek, Tadeusz Mikulczyński, Daniel Nowak – Politechnika Wrocławska- Badania symulacyjne procesu zagęszczania impulsowego.
18. Krzysztof Smyksy, Józef Dańko, Aleksander Fedoryszyn - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Zagadnienie oceny efektów formowania.
19. Krzysztof Smyksy, Józef Dańko, Aleksander Fedoryszyn - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków- Znaczenie homogenizacji w procesie przygotowania masy używanej (obiegowej).
20. Roman Wrona, Eugeniusz Ziółkowski – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Możliwości zastosowania monitoringu poboru mocy w maszynach odlewniczych i ich zespołach z napędem elektrycznym.
21. Roman Wrona – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Decyzje inwestycyjne na tle studiów projektowych.
22. Eugeniusz Ziółkowski, Aleksander Fedoryszyn – Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Charakterystyka metod pomiaru temperatury i wilgotności mas formierskich.
23. Jerzy Zych - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Ocena stanu form wilgotnych i suszonych metodą ultradźwiękową.
24. Piotr Zyzak - Wydział Odlewnictwa AGH Kraków – Analiza rozwiązań zespołu wirnika rzutowego w oczyszczarkach strumieniowo-śrutowych.
25. Ireneusz Dzwonnik- Uniwersytet Zielonogórski – Koncepcja elastycznego transportu podwieszonoego w odlewni.
26. Czesław Rudy, Aleksander Fedoryszyn - Charakterystyki procesu mieszania i mieszarek turbinowych do sporządzania masy formierskiej.
27. Stanisław Bieda – Hüttenes-Albertus- Redukcja emisji gazów poprzez zastosowanie nowej generacji spoiw organicznych w odlewniach.

## VII KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2004

Ogółem 15 referatów w tym Wydział Odlewnictwa AGH – 4 (oraz 2 poz. współautorskie z TECHNICAL).

1. Roman Wrona - Analiza zjawisk wytrzymałościowych w konstrukcji wirnika mieszarki turbinowej.
2. Andrzej Jopkiewicz. J. Kępa, K. Bryczek – Politechnika Łódzka – PRIMA Łódź – Charakterystyka obiegu masy formierskiej w odlewni PRIMA wyposażonej w stację SPM-15A firmy TECHNICAL.
3. Tadeusz Piosik, Piotr Zyzak– TECHNICAL Nowa Sól - Wydział Odlewnictwa AGH – Wybrane zagadnienia z oczyszczania strumieniowo-ściernego.

4. Manfred Michenferder – MICHENFELDER ELEKTRONIK- Kompleksowa kontrola parametrów masy formierskiej.
5. Jacek Chochowski - ECO INSTAL Kościan – Efektywne odpylanie odlewni.
6. Aleksander Fedoryszyn, Waldemar Bojanowski, Łucja Adamowicz – Wydział Odlewnictwa AGH, TECHNICAL Nowa Sól- HEYE Pieńsk- Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej systemem RWM-1.
7. Czesław Rudy, Jiří Nowotny, Jaromir Vytvar – TECHNICAL Nowa Sól – Sand TEAM Brno-SKODA AUTO Mlada Boleslav-Stacja przerobu mas formierskich w Skoda Mlada Boleslav Czechy.
8. Alois Burian, Jiří Nowotny – SAND TEAM Brno- Nowoczesne technologie form i rdzeni stosowane w odlewniach czeskich.
9. Stanisław Bieda – HÜTTENES ALBERTUS Lublin- Nowe spoiwa typu Pentex.
10. Józef Dańko, Aleksander Fedoryszyn, Rafał Dańko – Wydział Odlewnictwa AGH- Badania przemysłowe sporządzania masy formierskiej w mieszarce wirnikowej w cyklu długookresowym.
11. Tadeusz Mikulczyński, J. Barycki, A. Wiatkowski, R. Więclawem – Politechnika Wrocławska- OBR Elementów i Układów Pneumatyki- Koncepcja automatycznego urządzenia do pomiaru wilgotności mas formierskich metodą impulsową.
12. Krzysztof Smyksy, Mirosław Gregoraszczyk, Eugeniusz Ziółkowski – Wydział Odlewnictwa AGH – Tendencje w zakresie rozwiązań krat do wybijania odlewów.
13. Krzysztof Smyksy, Marcin Ślęzyk – Wydział Odlewnictwa AGH – Analiza chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM 3510.
14. A.P. Truchov – MGTU „MAMI” Moskwa- Skurcz liniowy, dokładność i jakość odlewów otrzymywanych w wilgotnych formach piaskowych.
15. Eugeniusz Ziółkowski – Wydział Odlewnictwa AGH- Zastosowanie wybranych układów scalonych w pomiarach poboru mocy maszyn i urządzeń odlewniczych.

### VIII KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2005

Opracowano i ogłoszono 15 referatów w tym 2 Gospodarze i 2 zagraniczne. Po jednym referacie: Politechnika Wrocławska oraz Instytut Odlewnictwa w Krakowie. Dalszych 9 referatów przygotowanych zostało przez 14 autorów z WO AGH.

16. Petr Jelinek - VŠB Technická Univerzita Ostrava - Rozwój spoiw anorganicznych do utwardzania mikrofalowego.
17. Józef Dańko, Jan Lech Lewandowski, Rafał Dańko-Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków. Zagadnienie selekcji masy używanej i jej wpływ na procesy regeneracji.
18. Aleksander Fedoryszyn - Wydział Odlewnictwa AGH- Kraków. Urządzenia formierskie linii wytwarzania odlewów w formach piaskowych.
19. Czesław Rudy - TECHNICAL Nowa Sól. Technologia sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarkach turbinowych.
20. Eugeniusz Ziółkowski, Roman Wrona - AGH Kraków-Koncepcja oprogramowania monitorującego pobór mocy maszyn i urządzeń odlewniczych.
1. Stanisław Rządkosz, Leopold Staszczak Wiesław Jankowski - AGH Kraków. Łopatki rzutowe oczyszczarek strumieniowo-ściernych o zwiększonej trwałości.
2. Krzysztof Smyksy, Marcin Ślęzyk -AGH Kraków-Wstępne badania procesu chłodzenia podciśnieniowego.
3. Zbigniew Bonderek, Stanisław Rządkosz - AGH Kraków -Mechanizacja procesu rafinacji ciekłych stopów odlewniczych.
4. Franciszek Pezarski, Irena Izdecka-Szanda, Zbigniew Kaniowski –Instytut Odlewnictwa Kraków - Urządzenia realizujące proces regeneracji mas formierskich.

5. Waldemar Bojanowski, Paweł Naskręt, Krzysztof Pawlak -TECHNICAL Nowa Sól-Najnowsze metody komunikacji i przesyłania danych w automatyce przemysłowej.
6. Tadeusz Mikulczyński - Politechnika Wrocławska- Dynamika głowicy impulsowej z samoczynnym pneumatycznym zaworem impulsowym.
7. Aleksander Fedoryszyn, Piotr Zyzak - AGH Kraków- Ustalenia normy PN-EN 1248 dotyczącej wymagań bezpieczeństwa dla urządzeń do oczyszczania strumieniowo – ściernego.
8. Eugeniusz Ziółkowski - AGH Kraków - Metody i algorytm automatycznej identyfikacji wybranych parametrów procesu technologicznego.
9. Jiri Novotny - SAND-TEAM Brno - Masy samoutwardzalne z geopolimerowym układem wiążącym.
10. Jarosław Jakubski, Stanisław Dobosz, Petr Jelinek - AGH Kraków, Uniwersytet Techniczny Ostrawa - Deformacja cieplna rdzeni odlewniczych z powłokami ochronnymi.

### IX KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2006

Obowiązuje standard 15 referatów, w sam raz tyle ile może znieść cierpliwy uczestnik Konferencji. W tym 2 Gospodarze i 1 we współautorstwie z AGH. Po jednym referacie: Politechnika Wrocławska , Instytut Odlewnictwa w Krakowie oraz Uniwersytet Zielonogórski w Zielonej Górze. Kolejne 9 referatów przygotowanych zostało przez 12 autorów z WO AGH.

11. Stanisław Rządkosz, Leopold Staszczak- AGH Kraków- Mikrostruktura i właściwości stopów na łopatki rzutowe oczyszczarek strumieniowo – ściernych.
12. Aleksander Fedoryszyn, Józef Dańko, Krzysztof Smyksy - AGH Kraków-Parametry strumienia powietrza w urządzeniach wibrofluidyzacyjnych.
13. Roman Wrona, Eugeniusz Ziółkowski, Marcin Ślęzyk, Piotr Zyzak- AGH Kraków- Doświadczalne i analityczne wyznaczanie geometrii strumieni śrutu w oczyszczarce wirnikowej zawieszkowej.
14. Czesław Rudy -P.P.P TECHNICAL Nowa Sól-Przygotowanie i odświeżanie mas formierskich bentonitowych.
15. Tadeusz Szmigielski - Uniwersytet Zielonogórski Zielona Góra-Zdolność filtracyjna form piaskowych w procesach hydromechanicznych.
16. Tadeusz Piosik, Piotr Zyzak - P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól -AGH Kraków - Właściwości ścierniwa używanego w oczyszczarkach wirnikowych.
17. Stanisław Bieda - HÜTTENES ALBERTUS Lublin -Spoiwo nieorganiczne CORDIS - własności i doświadczenia.
18. Józef Dańko, Rafał Dańko, Aleksander Fedoryszyn - AGH Kraków -Charakterystyka funkcjonalna urządzeń do typowych metod regeneracji mas zużytych.
19. Marcin Ślęzyk, Krzysztof Smyksy, Ewa Chrobot -AGH Kraków -Wizualizacja procesu formowania podciśnieniowego.
20. Eugeniusz Ziółkowski- AGH Kraków -Monitoring użytecznej pracy urządzeń odlewniczych.
21. Roman Wrona, Eugeniusz Ziółkowski, Zbigniew Pączek- AGH Kraków -Specodlew Kraków -Badania i ocena efektywności działania strumieni śrutu w oczyszczarkach wirnikowych zawieszkowych.
22. Krzysztof Smyksy, Tomasz Snopkiewicz - AGH Kraków - Koncepcja mobilnego, mikroprocesorowego systemu do podstawowych pomiarów maszyn formierskich.
23. Franciszek Pezarski, Irena Izdebska-Szanda, Zbigniew Maniowski, Lambert Stepiński -Instytut Odlewnictwa - Kielecka Fabryka Pomp „BIAŁOGON” S.A.

- Regeneracja mas rdzeniowych utwardzanych CO<sub>2</sub> na przykładzie kieleckiej fabryki pomp „BIAŁOGON” S.A.
- 24. Tadeusz Mikulczyński, Daniel Nowak, Rafał Więclawek -Politechnika Wrocławska Wrocław - Modelowanie i programowanie pracy napędów pneumatycznych.
- 25. Piotr Woźniak, Paweł Naskręt, Waldemar Bojanowski -P.P.P. TECHNICAL-Monitoring maszyn i linii produkcyjnych w zintegrowanym zarządzaniu produkcją.

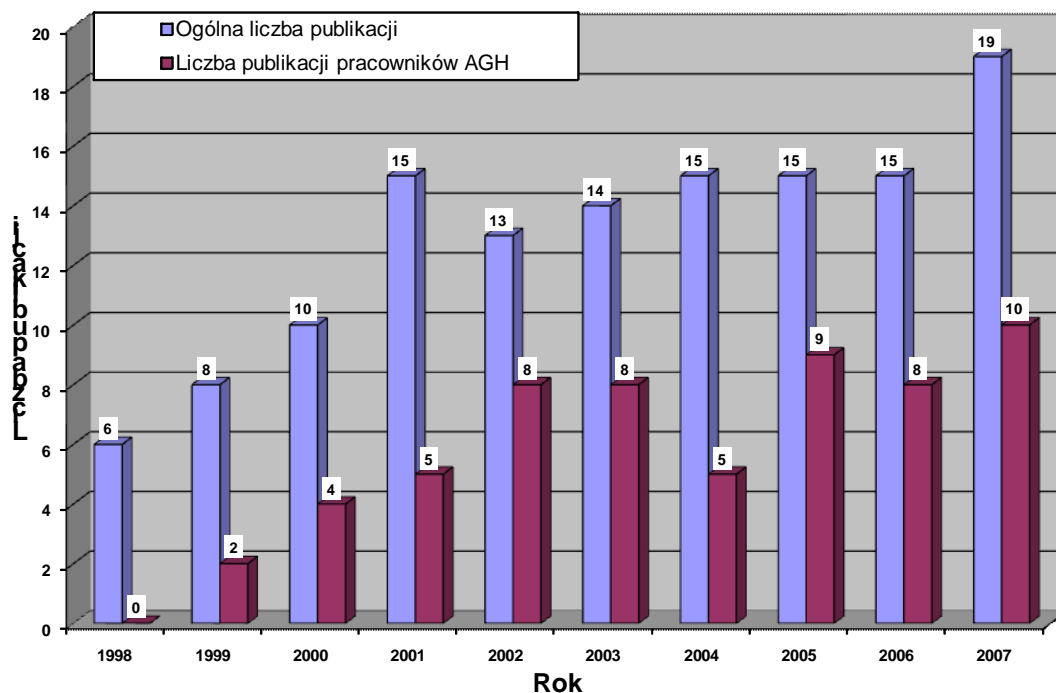
### X KONFERENCJA ODLEWNICZA TECHNICAL 2007

Jubileusz 10 lecia Konferencji „Odlewnictwo XXI wieku- technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Opublikowano i wygłoszono Ogółem 19 referatów w tym Wydział Odlewnictwa AGH – 9 (oraz 1 poz. wspólnie z TECHNICAL).

1. Czesław Rudy, Tadeusz Piosik, Piotr Rudy – Tradycje-Doświadczenie –Postęp w TECHNICAL Nowa Sól.
2. Roman Wrona, Eugeniusz Ziółkowski, Marcin Ślazyk, Piotr Zyzak, Zbigniew Paczek – Wydział Odlewnictwa AGH -Badanie skuteczności oczyszczania ściernego odlewów wytwarzanych technologią wytapianych modeli.
3. Stanisław Dobosz – Wydział Odlewnictwa AGH – Zmniejszenie wrażliwości mas bentonitowych na zmianę wilgotności.
4. Mariusz Holzer, Artur Bobrowski, Dariusz Drożyński, Antoni Bigaj, Daniel Kirchner, Robert Żuchliński - Wydział Odlewnictwa AGH – Odlewnia Żeliwa Bydgoszcz- Zagospodarowanie pyłów z odpylania stacji przerobu mas z bentonitem.
5. Aleksander Fedoryszyn, Czesław Rudy, Janusz Kaźmierczak - Wydział Odlewnictwa AGH - TECHNICAL Nowa Sól- VENTURE INDUSTRIES Grudziądz- Nowoczesny system przygotowania masy formierskiej na przykładzie odlewni „VENTURE INDUSTRIES” Grudziądz.
6. Józef Dańko, Rafał Dańko – Wydział Odlewnictwa AGH- Podstawy teoretyczne konstruowania wirnikowych regeneratorów mechanicznych o działaniu okresowym z sekwencyjną zmianą prędkości.
7. Stanisław Rządkosz, Leopold Staszczak - Wydział Odlewnictwa AGH – Wysoko wytrzymałe stopy na osnowie aluminium.
8. Sergiusz Ciskowski, Mirosław Janczarek, Tadeusz Mikulczyński – Politechnika Wrocławska- Modelowanie matematyczne procesu dynamicznego prasowania mas formierskich.
9. Krzysztof Smyksy – Wydział Odlewnictwa AGH – Aktualne tendencje w zakresie mechanizacji procesów utylizacji odpadów pyłowych – zastosowania w odlewnictwie.
10. Jiří Nowotny, Alois Burian – SAND TEAM Brno- Systemy nieorganicznych spoiw geopolimerycznych.
11. Mariola Latała-Holtzer, Zbigniew Maniowski, Maria Żmudzińska – Instytut Odlewnictwa Kraków – przykłady proekologicznych rozwiązań w odlewnictwie krajowym w aspekcie najlepszych dostępnych technik.
12. Jacek Chochowski - ECO INSTAL Kościan – Nowoczesne technologie odpylania
13. w branży odlewniczej.
14. Tadeusz Szmigielski – Uniwersytet Zielonogórski – Zjawiska towarzyszące strefie kondensacji w wilgotnych formach piaskowych nagrzewanych jednostronnie.
15. Józef Dańko, Rafał Dańko, Mariusz Holzer - Wydział Odlewnictwa AGH- Analiza systemów regeneracji w aspekcie jakości regeneratu i ochrony środowiska.
16. Mariusz Łucarz - Wydział Odlewnictwa AGH- Wybrane aspekty projektowania regeneratorów odśrodkowych talerzowych o działaniu ciągłym.



17. Paweł Naskręt, Sławomir Sietnik, Piotr Woźniak - TECHNICAL Nowa Sól- Monitoring maszyn i linii technologicznych produkcji TECHNICAL.
  18. Andrzej Głód - HÜTTENES ALBERTUS Lublin- Nieorganiczne spoiwo CORDIS, maszyny i technologia.
  19. Manfred Michenferder – MICHENFELDER ELEKTRONIK- Innowacyjny system zarządzania przygotowaniem masy formierskiej.
  20. Rafał Dańko - Wydział Odlewnictwa AGH- Porównawcze badania regeneracji zużytych mas z bentonitem w wybranych systemach regeneracji.
- Ilościowe zestawienie referatów wygłoszonych w ubiegłym dziesięcioleciu przedstawiono graficznie na poniższym rysunku.



### 3. Profil tematyczny Konferencji

Profil tematyczny Konferencji, określony przez treść poszczególnych referatów był bardzo różnorodny. Uwzględniając w zestawieniu tematy, którym poświęcono więcej niż dwa referaty na przestrzeni 10 lat można dokonać następującego uszeregowania tematów, z podaniem liczności ich występowania:

- badania metod formowania - 14 referatów,
- nowoczesne techniki i systemy przygotowania mas formierskich – 12,
- oczyszczarki – 12,
- pomiary maszyn i kontrola procesów - 10,
- procesy regeneracji i zagospodarowania odpadów – 10 poz.,
- nowe technologie i linie wytwarzania odlewów – 7,
- właściwości mas formierskich – 7,
- nowe spoiwa i materiały formierskie – 6,
- odpylanie i ochrona środowiska - 5,
- zagadnienia konstrukcyjne maszyn odlewniczych – 5,
- postęp techniczny, normalizacja ,jakość odlewów – 4.

- 
- badanie procesów odlewniczych, modelowanie matematyczne procesów i urządzeń – 4,
  - systemy sterowania maszyn i linii odlewniczych – 3 poz.,

### **Podsumowanie**

Konferencje „Odlewnictwo XXI wieku- technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze” spełniają niezwykle ważną rolę integracyjną środowiska odlewniczego, przy jednoczesnym spełnianiu ważnej roli wymiany najnowszych informacji technicznych, a także edukacyjną . Dotychczasowy plon konferencji to publikacja 130 referatów naukowo-technicznych, nad poziomem merytorycznym, których czuwa Komitet Naukowy. Ważna integracyjna rola Konferencji organizowanych przez TECHNICAL jest postrzegana i doceniana zarówno przez partnerów przemysłowych Firmy, ale przez jednostki naukowo-badawcze i ośrodki akademickie kraju, związane ze specjalnością odlewnictwo. Wśród innych, znaczny jest wkład pracowników naukowych Wydziału Odlewnictwa AGH, czynnie uczestniczących w Konferencjach, którzy opracowali i wygłosili 60 referatów, na 9 kolejnych Konferencjach.

Składając Szanownym Organizatorom wyrazy uznania i wdzięczności za powołanie oraz utrzymywanie przy życiu tak ważnego wydarzenia jakim są kolejne Konferencje firmy TECHNICAL, pragniemy wyrazić jednocześnie życzenie wszystkich uczestników, aby nadal pozostało aktualne przesłanie Konferencji sformułowane podczas jej pierwszego otwarcia, jako swoistego forum tematycznego. Forum, na którym inżynierowie, naukowcy, ludzie praktyki odlewniczej i biznesu, projektanci i dostawcy maszyn podejmują szeroką dyskusję nad zagadnieniami technologii, maszyn i urządzeń odlewniczych, spełniających wymagania odlewni wkraczających w XXI wiek.

# ANALIZA ROZWIĄZAŃ WSPÓLCZESNYCH URZĄDZEŃ BĘBNOWYCH DO WYBIJANIA ODLEWÓW I CHŁODZENIA MASY

Józef DANKO<sup>1</sup>  
Aleksander FEDORYSZYN<sup>2</sup>  
Krzysztof SMYKSY<sup>3</sup>

## 1. Wstęp

Istotne dla efektów produkcji odlewów jest odpowiednie przygotowanie masy przed powtórny jej użyciem. Zagadnienie odpowiedniego przygotowania masy obiegowej jest szczególnie ważne w wysokowydajnych i zmechanizowanych odlewniach [3,6,25,26]. Problematykę tę poruszano również w przywołanych publikacjach [8,9,15,16, 22, 23].

Względy ekonomiczne wymuszają utrzymywanie w obiegu minimalnego zasobu i jego intensywną cyrkulację. Prowadzi to do zwiększenia temperatury masy, co w konsekwencji powoduje zakłócenia procesu technologicznego oraz występowanie wad odlewów. Jest to związane z obniżeniem właściwości technologicznych masy formierskiej oraz ich niestabilnością; obserwuje się zwiększoną skłonność masy do pylenia, przywieranie jej do urządzeń i oprzyrządowania itp. Negatywny wpływ podwyższonej temperatury masy na jej właściwości podkreślany jest w wielu publikacjach [1,5,14,17÷19].

Masę używaną, przed ponownym zastosowaniem do sporządzania masy odświeżonej, należy poddać określonym zabiegom przygotowawczym, a w szczególności rozdrobnić zbrylenia masy, usunąć z niej części metalowe i ochłodzić do temperatury poniżej 30°C (temperatura masy nie powinna przekraczać temperatury otoczenia o więcej niż 8 - 15°C) [17,24]. W nowoczesnych odlewniach wymaga się zawsze, aby masa formierska posiadała stabilne, wysokie właściwości technologiczne. W związku z powyższym bardziej celowe jest przyjęcie niższych wartości dopuszczalnych temperatury masy. Przy intensywnych obiegach masy (ok. 8 na zmianę) zaleca się stosowanie urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej [6,7,13,14,19,20].

W liniach przygotowania masy używanej szczególną uwagę przywiązuje się do usunięcia zanieczyszczeń z masy, które samorzutnie powstają podczas procesu wytwarzania odlewów. Ich ilość i rodzaj zależy od właściwości stosowanych mas formierskich, tworzywa odlewu, sposobu zalewania itp. Masowy udział zanieczyszczeń metalowych w masie używanej ocenia się na 1.5÷2.5% (max. 5%), w czym około 50% stanowią kawałki o masie do 0,15 kg, natomiast około 70% to kawałki o wielkości 1÷6 mm [24]. Zanieczyszczenia niemetalowe stanowią kawałki ceramiczne różnego pochodzenia. Są to przede wszystkim zbrylenia i zlepki mas formierskich i rdzeniowych.

Wyposażenie ciągów przygotowania masy, kierowanej do obiegu po oddzieleniu od odlewów, przedstawiono na rysunku 1. W zależności od intensywności obiegu masy formierskiej wyróżnia się trzy podstawowe wersje wyposażenia [10, 24÷26]. Wyróżnić można również czwartą wersję z rozdziałem masy wybitej na zużytą i używaną. Zgodnie ze schematem wersja I dotyczy odlewni o niskim poziomie mechanizacji, w których obieg

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż., AGH – Kraków, [jd@agh.edu.pl](mailto:jd@agh.edu.pl)

<sup>2</sup> dr hab. inż., prof. nadzw., AGH – Kraków, [alfa@agh.edu.pl](mailto:alfa@agh.edu.pl)

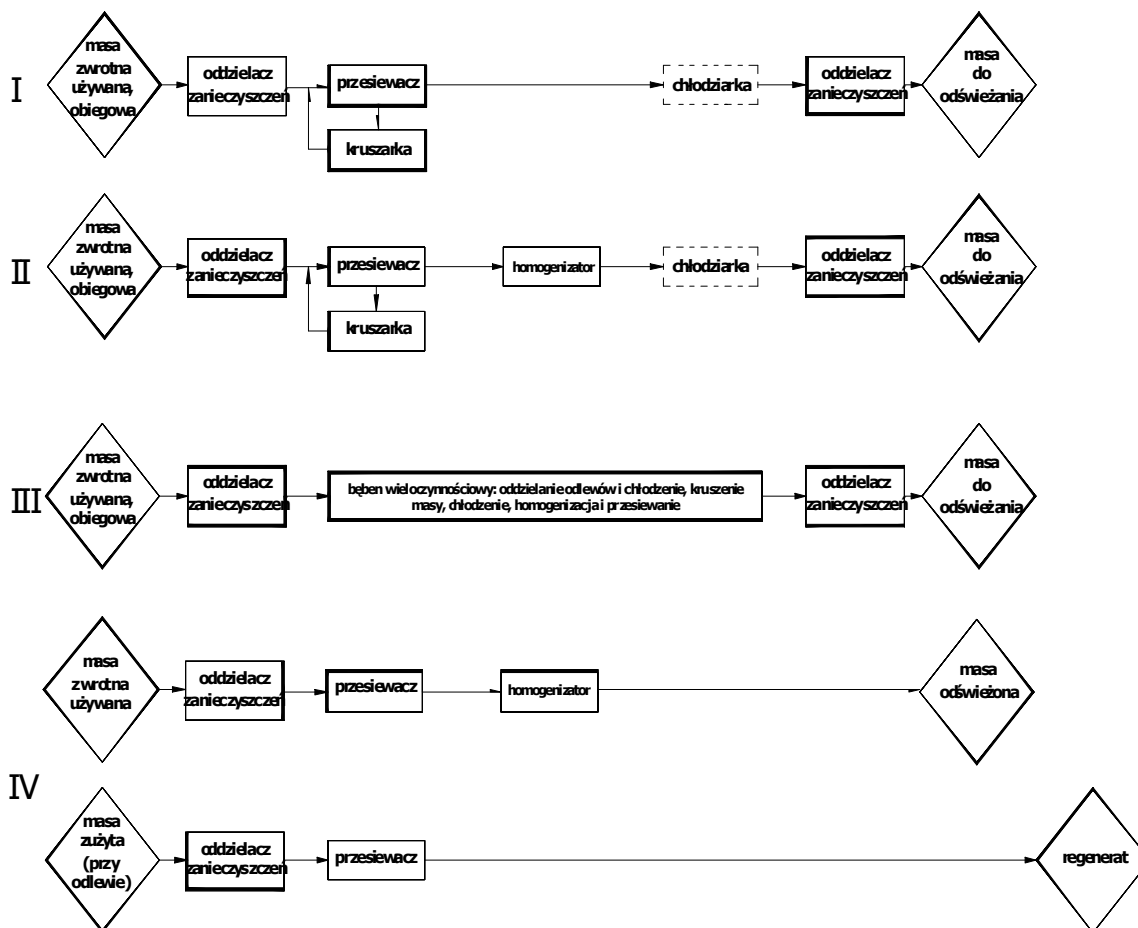
<sup>3</sup> dr. inż., AGH – Kraków, [kscopy@agh.edu.pl](mailto:kscopy@agh.edu.pl)

masy jest mało intensywny, a ujednorodnienie i chłodzenie masy na ogół przebiega w sposób naturalny podczas transportu, przesiewania, magazynowania itp.

Wersje II i III reprezentują rozwiązania mechanizacji w odlewniach wysokowydajnych, cechujących się dużą intensywnością obiegu masy. W wersjach tych są realizowane takie same podstawowe operacje obróbki masy wybitej.

Wersja III ma najprostszą strukturę ze względu na wyposażenie obiegu masy w wielofunkcyjny bęben. W bębnie ma miejsce zarówno oddzielanie odlewów od masy, ich chłodzenie i częściowe oczyszczanie, jak też kruszenie, ujednorodnienie, chłodzenie oraz przesiewanie masy używanej. Występuje w nim korzystna agregacja wielu czynności, co należy uznać za pozytywną cechę tych urządzeń, natomiast do minusów należy zaliczyć znaczne wymiary gabarytowe urządzeń bębnowych, co powoduje iż warunki lokalowe odlewni być odpowiednie dla instalacji tych urządzeń. Urządzenia bębnowe najczęściej stanowią wyposażenie bezskrzynekowych linii wytwarzania odlewów mających stosunkowo prostą strukturę.

Wersja IV polega selekcji masy na część, która ma kontakt z ciekłym metalem oraz na część pozostającą w oddaleniu od odlewu. Schemat ciągu urządzeń wg IV wersji przedstawiono na rysunku 2. Charakterystyczne dla tego ciągu jest stosowanie manipulatorów do wyjmowania odlewów z formy [12].



Rys.1. Wyposażenie ciągów przygotowania masy w zależności od przyjętej wersji mechanizacji odlewni

## 2. Charakterystyka wieloczynnościowych urządzeń bębnowych

Urządzenia bębnowe stanowią odrębną grupą urządzeń, w których poza wybijaniem odlewów intensywnie zachodzą procesy homogenizacji i chłodzenia, kruszenia a także wstępnego przesiewania masy (w wybranych rozwiązaniach konstrukcyjnych) [10,13,21].

Stanowią one najczęściej wyposażenie odlewni, w których są stosowane wysokowydajne automaty do formowania bezskrynkowego.

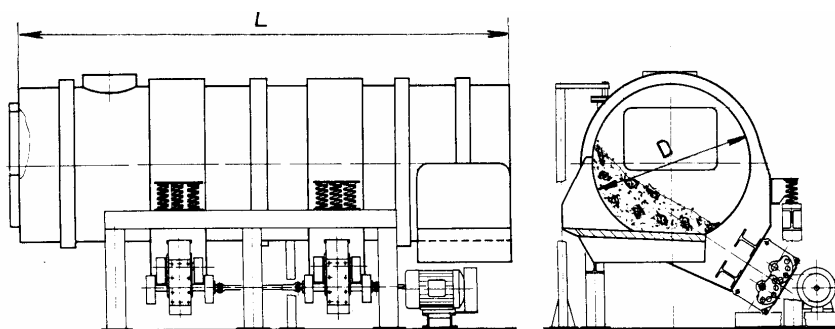
Aktualnie w zakresie bębnow wieloczynnościowych oferowane są dwa podstawowe typy urządzeń:

- bębny obrotowe,
- bębny wibracyjne.

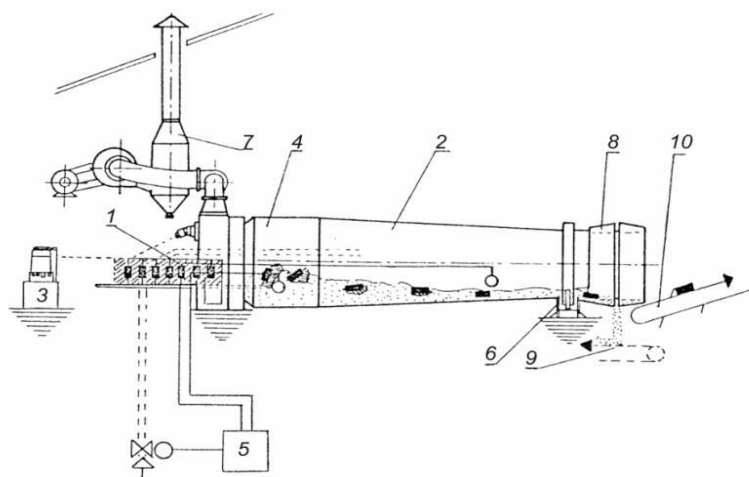
Schematy wymienionych bębnow wieloczynnościowych przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rynku europejskim najszersza oferta obrotowych urządzeń bębnowych przedstawiona jest przez firmę DISA Group [19]. Na rysunku 4 przedstawiono widok wieloczynnościowego bębna DISACOOOL, a na rysunku 5 przykładowe rozwiązanie ilustrujące współpracę wieloczynnościowego urządzenia bębnowego z automatyczną linią formowania bezskrynkowego oraz pozostałymi oddziałami odlewni. Parametry techniczne typoszeregu bębnow DISACOOOL firmy DISA Group zamieszczono w tabeli 1.

Na rysunku 6 przedstawiono parametry techniczne typoszeregu bębnow DISACOOOL, firmy DISA Group; dotyczy to wpływu na wydajność takich parametrów konstrukcyjnych urządzenia jak średnica i długość bębna, znamionowa prędkość obrotowa czy natężenie przedmuchu powietrza. Rysunek 7 ilustruje przykładowe wykorzystanie wieloczynnościowego bębna obrotowego firmy DIDION International Inc. zainstalowanego w linii formowania bezskrynkowego Według producenta zastosowanie nowej wersji tego urządzenia (opatentowane rozwiązania) umożliwi uzyskanie w odlewni oszczędności rzędu 40-80 \$ na tonie odlewów [19]. Wynika to z wieloczynnościowego działania bębna, realizującego: wybijanie, przygotowanie masy obiegowej (homogenizacja, chłodzenie, dwustopniowe przesiewanie), wstępne oczyszczanie odlewów oraz ich chłodzenie. Równocześnie podkreśla się zmniejszenie ilości źródeł pylenia, zmniejszenie emisji całkowitej, oraz małe koszt związane z obsługą urządzenia. W związku ze spełnianiem przez urządzenie kilku funkcji efektywne zapotrzebowanie powierzchni odlewni oraz energii jest mniejsze.

W kraju opracowano również udane rozwiązania bębnow obrotowych, których przykładem jest wieloczynnościowy bęben chłodząco-wybijający typu CHWS - 40, zaprojektowany przez PRODLEW Kraków, przy współdziałaniu Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo- Hutniczej [4,11,19]) oraz bęben konstrukcji PPR „Real”, zrealizowany przy współdziałaniu Politechniki Śląskiej w Gliwicach [2]). Na rysunku 8 przedstawiono schemat urządzenia CHWS-40 a w tabeli 1 – parametry techniczne urządzenia.



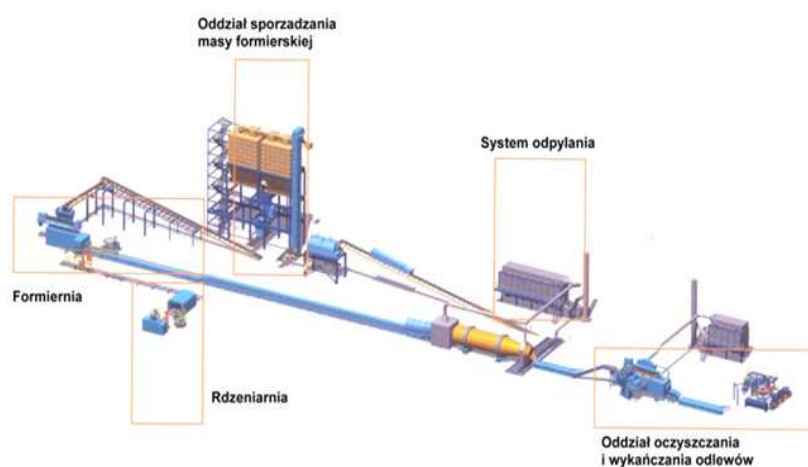
Rys.2. Schemat wieloczynnościowego, przelotowego bębna wibracyjnego [19]



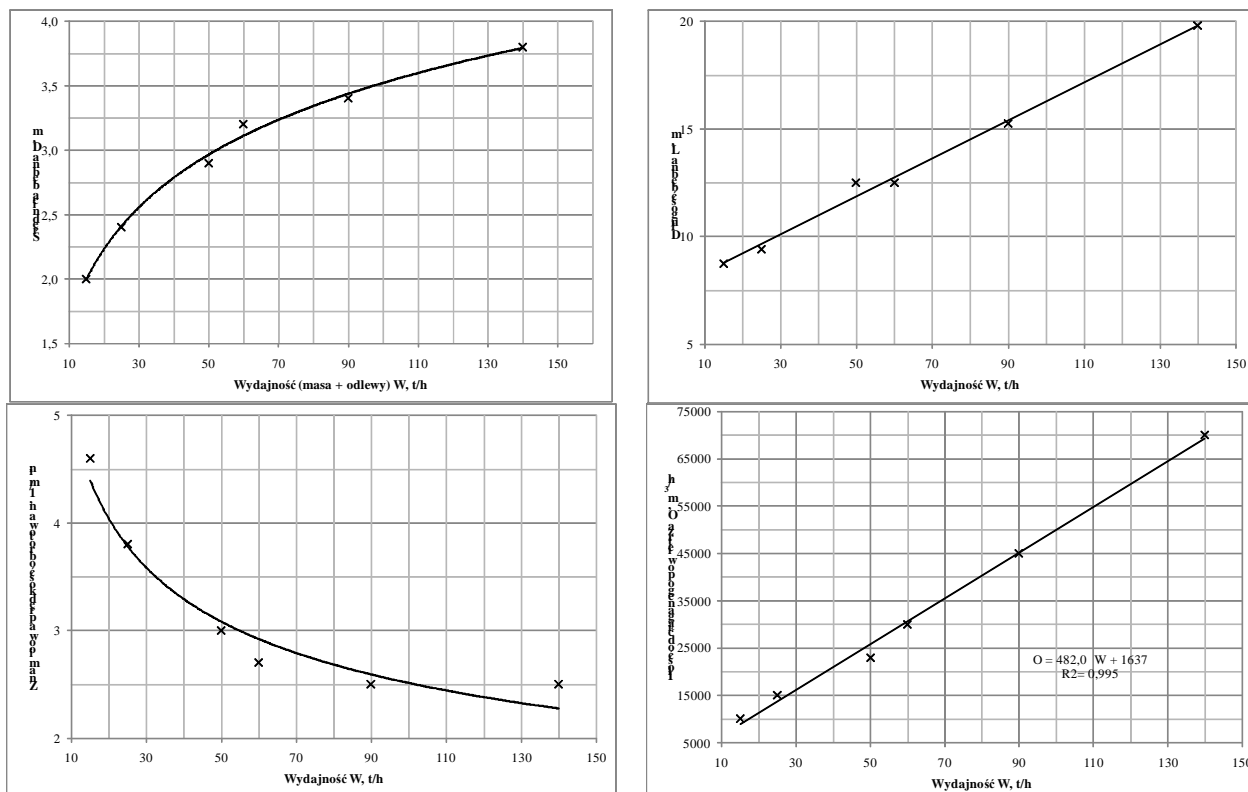
Rys.3. Schemat wieloczynnościowego bębna obrotowego firmy DISA [19]; podajnik pakietów form, 2- bęben, 3- stacja napędu hydraulicznego ,4- doprowadzenie wody, 5- układ sterowania dozowaniem wody, 6- napęd bębna, 7- system odpylania, 8- osłona akustyczna, 9- odbiór masy, 10- odbiór odlewów



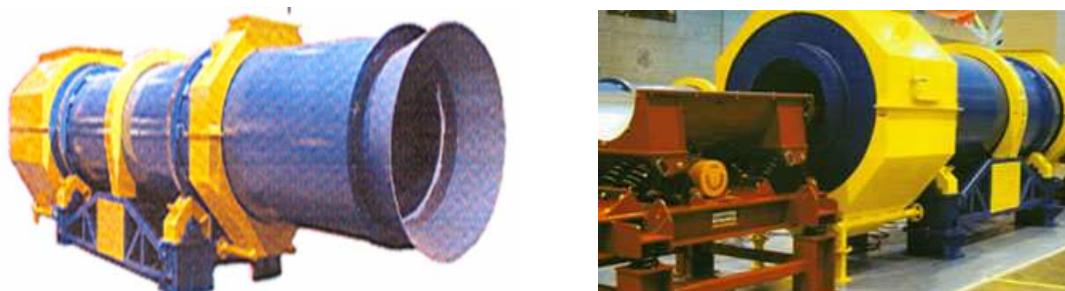
Rys. 4. Widok wieloczynnościowego bębna obrotowego DISACOOOL, firmy DISA [19]



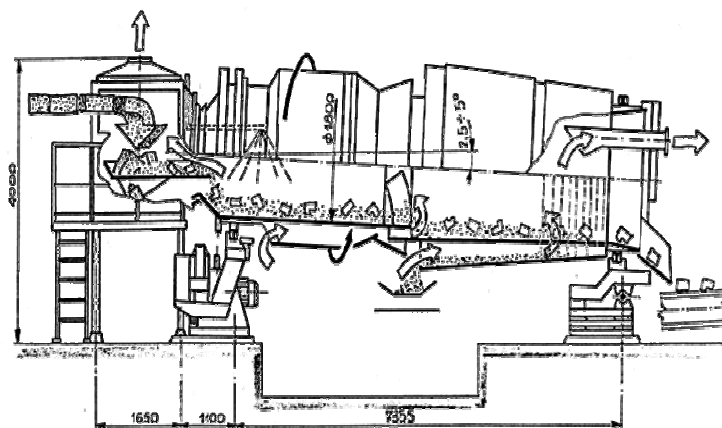
Rys. 5. Widok urządzeń linii wytwarzania odlewów z automatem formowania bezskrzynekowego firmy DISA [19]



Rys. 6. Parametry techniczne typoszeregu bębnowy DISACOOL, firmy DISA Group [19]



Rys. 7. Przykładowe wykorzystanie wieloczynnościowego bębna obrotowego Didion Media Drum Mark 5, firmy DIDION International Inc. w linii formowania bezskrzykowego [19]



Rys. 8. Schemat wieloczynnościowego urządzenia CHWS- 40, firmy PRODLEW Kraków [19];

Tabela 1. Charakterystyka techniczna urządzenia CHWS- 40, firmy PRODLEW Kraków [19]

wydajność	- masa formierska	35,0 t/h
	- odlewy	3 ÷ 5 t/h
Parametry wejściowe	- temp. masy formierskiej	110 ÷ 130 °C
	- wilgotność masy formierskiej	ok. 3,5 %
	- temp. odlewów	250 ÷ 700 °C
	- stosunek masowy: odlew/masa formierska	1 : 7
	- maksymalna masa odlewu	15,0 kg
Parametry wyjściowe (przy temp. otoczenia )	- temp. masy formierskiej	30 ÷ 35 °C
	- wilgotność masy formierskiej	1 - 1,5 %
	- temp. odlewów	55 °C
Zapotrzebowanie wody		maks. 2,0 m <sup>3</sup> /h
Prędkość obrotowa bębna		4 lub 6 obr./min
Moc zainstalowana		37,0 kW
Ilość odciganego powietrza		25000 m <sup>3</sup> /h
Masa własna ( bez ładunku )		ok. 23 t

Producenci bębnow wibracyjnych [19] podkreślają bardziej łagodne oddziaływanie wibracji na odlewy, polegające na ich przemieszczaniu w upłynnionej przez drgania masie formierskiej w stosunku do urządzeń obrotowych. W tych drugich odlewy podnoszone są po poboczniczy bębna i uderzają wzajemnie o siebie podczas opadania, co może powodować uszkodzenia odlewów. W bębnach wibracyjnych charakter transportu sprzyja zarówno czyszczeniu odlewów i ich chłodzeniu; jak również rozkruszeniu brył masy i ostatecznie separacji odlewów od masy. Destrukcyjne oddziaływania dynamiczne są wyeliminowane poprzez wibroizolację. Bębny wibracyjne firmy Carrier Vibrating Equipment Inc. [19] mogą być wyposażone w natrysk wodny, a także w palniki opalane gazem. W określonych zastosowaniach można wywołać częściową regenerację termiczną osnowy masy, zwłaszcza w przypadku mas ze spoiwami żywicznymi. Istotny dla cyrkulacji masy jest system napędu, który wymusza elipsoidalny, trójwymiarowy ruch masy i odlewów. Widok bębna wibracyjnego przedstawiono na rysunku 9.

Rys. 9. Widok wieloczynnościowego bębna wibracyjnego Barrel Horse<sup>TM</sup>, firmy Carrier Vibrating Equipment Inc.[]



Szeroki typoszereg bębnow wibracyjnych, o wydajności do 400 t/h, oferuje także firma GENERAL KINEMATICS Corp. [19], znana z produkcji asortymentu kruszarek znajdujących zastosowanie w mechanicznej regeneracji mas zużytych. Niektóre urządzenia tej firmy, typu VIBRA-DRUM przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Widok wieloczynnościowego bębna wibracyjnego VIBRA- DRUM, firmy GENERAL KINEMATICS Corp. [19]

Parametry techniczne urządzeń bębnowych przedstawiono w tabeli 2 [10,13]. Analiza obejmuje bębny obrotowe o stosunku D/L wynoszącym od 2000/8750 do 3800/19810 oraz bębny wibracyjne, dla których stosunek D/L wynosi od 1250/6000 do 3950/10000. Wartości katalogowe dotyczą wydajności, odnoszącej się do przemieszczania 1 tony masy formierskiej i odlewów.

Tabela 2. Wskaźniki charakteryzujące wieloczynnościowe, przelotowe urządzenia bębnowe

Wskaźniki porównawcze	Bębny obrotowe	Bębny wibracyjne
Natężenie przemieszczania przez bęben nadawy	4.8 ÷ 14.1 t/m <sup>2</sup> h	18.3 ÷ 20 t/m <sup>2</sup> h
Średnia wartość prędkości przepływu powietrza przez bęben (wyznaczona na podstawie ilości powietrza odciągowego w m <sup>3</sup> /h w stosunku do powierzchni poprzecznego przekroju bębna w m <sup>2</sup> )	0.48 ÷ 1.45 m/s	1.3 ÷ 2.7 m/s
Jednostkowy wydatek powietrza (ilość odciąganego z bębna powietrza w m <sup>3</sup> /h w stosunku do przepustowości bębna w t/h)	360 ÷ 417 m <sup>3</sup> /t	256 ÷ 489 m <sup>3</sup> /t
Jednostkowe zapotrzebowanie energii określone jako iloraz zainstalowanej mocy w kW w stosunku do wydajności bębna w t/h (wybitych odlewów i masy formierskiej)	0.88 ÷ 1.0 kWh/t	0.61 ÷ 1.38 kWh/t

Przeprowadzona analiza porównawcza parametrów wskazuje na znaczną wydajność masy przemieszczanej w bębnach wibracyjnych, w stosunku do ich efektywnego przekroju. Jednocześnie duża pojemność nadawy, gromadzonej w bębnach, stwarza korzystne warunki do homogenizacji parametrów masy, czyli jej wilgotności i temperatury. Z drugiej strony większe wypełnienie bębna zmniejsza możliwość uszkodzenia cienkościennych i kruchych odlewów.

### 3. Podsumowanie

Poszukiwanie optymalnych rozwiązań z punktu widzenia stabilizacji parametrów masy używanej, a w konsekwencji także odświeżonej zwrócił uwagę konstruktorów

i producentów maszyn odlewniczych na rozwiązania bębnowe, których podstawowe zalety to duża wydajność, odporność na warunki eksploatacyjne i zdolność do agregacji czynności technologicznych takich jak: wybijanie, chłodzenie masy i odlewów, homogenizacja, przesiewanie i kruszenie. Przedstawiony w artykule, aktualny stan w zakresie oferty wieloczynnościowych urządzeń bębnowych ma już stosowną nie eksponowaną tutaj, podbudowę teoretyczną procesów fizycznych w nich zachodzących, natomiast inwencja konstruktorów skupia się nadal na zmniejszeniu energochłonności realizowanych procesów, większej adaptowalności, niezawodności i uniwersalności rozwiązań w celu spełnienia stale zwiększających się wymagań odlewni, zwłaszcza w intensywnych obiegach masy formierskiej.

*Opracowano w ramach projektu*

#### 4. Literatura

- [1] Babiński J., Badura F., Gawroński J.: Korzyści wstępnego nawilżania używanej masy z bentonitem. Przegląd Odlewnictwa, nr 3, 1997, s. 72
- [2] Babiński J., Badura F., Gawroński J., Szajnar J.: Wstępne nawilżanie masy z bentonitem w urządzeniu firmy „Real”. Krzepnięcie metali i stopów nr 35. PAN Katowice, Bielsko-Biała, Częstochowa, Opole, 1998, s. 93
- [3] Bärthel G.: Homogenization and Cooling of Used Sand- a Major Factor in the Reduction of Mould and Foundry Scrap. BCIRA International Conference 1996, ref. Nr 20, s.1
- [4] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Maszyny do przygotowania materiałów i mas formierskich. Skrypt AGH nr 919, Wyd. AGH, Kraków, 1984
- [5] Cahill V.: Same Old Grind? Streamlining post casting procedures can save foundries money. Foundry Management and Technology, 2005, vol.133, No. 6, p.18
- [6] Dańko J., Fedoryszyn A., Smyksy K.: Problematyka efektywnego wykorzystania obiegowych nas formierskich w odlewniach. Materiały II Międzynarodowej Sesji Naukowej pt. „Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej. Częstochowa, 2001, s. 435.
- [7] Didion M.S.: Rotary Media Drums. Mark 5 Project. Industry News (Didion News), 2006, Vol. 12, iss.3.
- [8] Drews B.: Gleichzeitiges Mischen und Kühlen von Formsand unter Vakuum. Giesserei 86, nr 6, 1999, s. 138
- [9] Dzwonnik I.: Formierskie masy bentonitowe- technologia przygotowania. Materiały Konferencji TECHNICAL-2000, s.73
- [10] Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2000, s.79
- [11] Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2001, s.59
- [12] Gregoraszczyk M., Smyksy K., Fedoryszyn A. i in.: Badanie i analiza pneumatycznego wybijania odlewów. Projekt badawczy KBN, Kraków 1995.
- [13] Gregoraszczyk M., Fedoryszyn A., Smyksy K.: Charakterystyka bębnowych urządzeń do oddzielania odlewów oraz przygotowania formierskiej masy używanej. Acta Metallurgica Slovaca, 5, 1999, s. 104.
- [14] Grefhorst C., Kleimann W.: Bentonitgebundene Formstoffe – Stand der Technik und Erwartungen für die Zukunft. Giesserei 86, nr 6, 1999, s.145

- [15] Hohl B.: System of Computer-assisted Quality Assurance in Molding Sand Preparation Plants. Casting Plant + Technology, nr 1, 1994, s. 8
- [16] Krysiak M.B.: New Conditioning Practice Improves Sand Performance. Modern Casting, nr 2, 2000, s. 40
- [17] Lewandowski J. L.: Znaczenie temperatury dla właściwości używanej masy wiązanej bentonitem. Przegląd Odlewnictwa nr 4, 2002, s.130
- [18] Praca naukowo-badawcza WO AGH: Badanie prototypu chłodziarko-wybijarki CHWS-35.
- [19] Prospekty firm: Bonvillain-Ronceray, Carrier Vibrating Equipment Inc. ( [www.carrier.vibrating.com](http://www.carrier.vibrating.com) ), Didion International Inc. ([www.didion.com](http://www.didion.com)), Eirich, Fondetec, Georg Fischer, SIMPSON Technologies ([www.simpsongroup.com](http://www.simpsongroup.com)), TECHNICAL, Webac ([www.webac-gmbh.de](http://www.webac-gmbh.de)), Künkel Wagner ([www.kuenkel-wagner.com.de](http://www.kuenkel-wagner.com.de)), Savelli ([www.savelli.it](http://www.savelli.it)) , PRODLEW Kraków (<http://www.prodlew.tele2.pl> )
- [20] Samsonowicz Z.: Automatykacja procesów odlewniczych. WNT. Warszawa, 1985
- [21] Schumacher S. I in.: Why Does Hot Sand Cause Problems- Parts 1 and 2. AFS Transactions, Vol. 82, 1974, s. 181÷188, Vol. 83, 1975, s. 441
- [22] Smyksy K., Fedoryszyn A., Gregoraszczuk M.: Źródła hałasu w przemyśle odlewniczym i sposoby jego ograniczenia. Materiały III Seminarium Naukowo-Szkoleniowego „Ochrona Środowiska w odlewnictwie”. Wydział Odlewnictwa AGH, 1998, s. 41.
- [23] Strobl S.M., Silby D.V.: Controlling Hot Sand to Ensure Mold, Casting Quality. Modern Casting, Februar 2001, s. 42
- [24] Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej
- [25] w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139, Kraków, 1991
- [26] Sztefko F., Gregoraszczuk M., Fedoryszyn A.: Optymalne wyposażenie linii przerobu mas formierskich podstawą racjonalnej ich eksploatacji. Prace Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej pt. "Eksploatacja Urządzeń Odlewniczych". Uniejów, 1985, s. 113.
- [27] Żurawski L., Dańko J.: Aktualny stan oraz tendencje rozwojowe w zakresie konstrukcji urządzeń nawilżająco-homogenizujących. Materiały VI Sympozjum Naukowego z okazji Dnia Odlewnika. IT i MO AGH. Kraków, 1980, s. 55.

## NOWOCZESNA STACJA SPORZĄDZANIA MASY FORMIERSKIEJ W ZLIEVÁREŇ TRNAVA S.R.O. - SŁOWACJA

Czesław RUDY<sup>1</sup>,  
Jiri NOWOTNY<sup>2</sup>,  
Aleksander FEDORYSZYN<sup>3</sup>

### 1. Wstęp

Wieloletnia współpraca firmy TECHNICAL Nowa Sól, producenta maszyn odlewniczych (Polska), z firmą SAND TEAM Brno (Czechy) pozwoliła wspólnie zrealizować dla czeskich i słowackich odlewni kilka dużych nowoczesnych inwestycji, w tym:

- stację sporządzania masy formierskiej SPM-60 (wydajność 60t/h) w odlewni SKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy), wyposażoną w mieszarkę turbinową MTI-2500, tensometryczny system naważania, system MICOMP UNI typ G-CH - automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej w mieszarce oraz system VEDIMAT-4 firmy Michenfelder (Niemcy) – automatycznej regulacji właściwości technologicznych masy,
- stację sporządzania masy formierskiej SPM-60 (wydajność 60t/h) w odlewni GIFF Fridland (Czechy), wyposażoną w mieszarkę turbinową MTI-2500, tensometryczny system naważania składników, system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy w mieszarce - MICOMP UNI typ G-CH firmy Michenfelder (Niemcy),
- stację sporządzania masy formierskiej SPM-80 (wydajność 70t/h) Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja), wyposażoną w mieszarkę turbinową MTI-3000, tensometryczny system naważania składników, system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy w mieszarce - MICOMP UNI typ G-CH, chłodziarce MICOMP UNI typ G-FBK oraz system automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej VEDIMAT 4 firmy Michenfelder (Niemcy),
- stację sporządzania masy formierskiej SPM-70 (wydajność 66t/h) w Slévárny Třinec a.s. – Třinec (Czechy), wyposażoną w mieszarkę turbinową RV24, tensometryczny system naważania składników, system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy w mieszarce.

Opis urządzeń nowoczesnej stacji przerobu mas formierskich bentonitowych, technologii jej sporządzania oraz systemów sterowania i zarządzania całym procesem zaprezentujemy na przykładzie nowoczesnej stacji sporządzania masy formierskiej SPM-80 zrealizowanej przez TECHNICAL w 2007 roku w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja).

### 2. Charakterystyka wyposażenia stacji sporządzania masy formierskiej SPM-70 w Zlieváreň Trnava s.r.o. - Trnava (Słowacja)

W odlewni Zlieváreň Trnava s.r.o. eksploatowano poprzednio przestarzałą stację sporządzania masy formierskiej. Wyposażeniem stacji były trzy mieszarki pobocznicowe o wydajności  $3 \times 20$  t/h, które z trudem nadszły za, coraz większym, zapotrzebowaniem na masę formierską. Sporządzana (odświeżana) masa formierska zasilala dwie automatyczne linie

<sup>1</sup> mgr inż., Prezes P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól, e-mail: [cz.rudy@technical.com.pl](mailto:cz.rudy@technical.com.pl),

<sup>2</sup> mgr inż., SAND TEAM s.r.o. Brno (Czechy), e-mail: [novotny@sandteam.cz](mailto:novotny@sandteam.cz),

<sup>3</sup> dr hab. inż., prof. nadzw., Wydział Odlewnictwa AGH, e-mail: [alfa@uci.agh.edu.pl](mailto:alfa@uci.agh.edu.pl),

do formowania bezskrzynkowego firmy Höttinger typu HFM. Przeszarzały, niekontrolowany w pełni proces wytwarzania masy formierskiej syntetycznej z bentonitem, duże zapylenie oraz konieczność zatrudnienia kilkunastu pracowników na trzech zmianach produkcyjnych spowodowały konieczność wprowadzenia radykalnych zmian przez właścicieli Zlieváreň Trnava s.r.o.

Międzynarodowe Targi Odlewnictwa METAL 2006 w Kielcach (Polska) były przełomowe w zakresie podjęcia przez właścicieli Zlieváreň Trnava s.r.o. decyzji związanej z budową nowoczesnej stacji przerobu mas formierskiej. W Kielcach zostały przeprowadzone pierwsze rozmowy z przedstawicielami polskiej firmy TECHNICAL Nowa Sól. Kontynuowano je na kolejnych spotkaniach w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja) oraz podczas wizyty w polskiej odlewni WSK Rzeszów. W tej odlewni TECHNICAL zainstalował, w poprzednich latach, dwie nowe linie przerobu mas formierskich: ze stacjami SPM-90 o wydajności 90t/h oraz SPM-45 o wydajności 45t/h, wyposażonych w mieszarki turbinowe oraz chłodziarkami wibrofluidyzacyjnymi z nowoczesnymi systemami sterowania elektronicznego, wizualizacją oraz automatyczną kontrolą i regulacją wilgotności masy formierskiej.

W rezultacie nastąpiło podpisanie kontraktu z Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja) na budowę nowoczesnej stacji przerobu mas SPM-80 o wydajności 80 t/h. Stację wyposażono w:

- nowoczesną mieszarkę turbinową MTI-3000 o jednorazowym załadunku 3000 kg (rys.1) wraz z tensometrycznym systemem naważania składników z wagami WTM-3000 i WTD – 300,
- system pneumatycznego załadunku piasku suchego i mieszanki bentonitowej z cystern transportowych do zbiorników magazynujących zlokalizowanych bezpośrednio nad mieszarką,
- zbiorniki magazynujące: masę zwrotną, piasek świeży, mieszankę wraz z sondami poziomów ich napełnienia,
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją przebiegu procesu stacji przerobu mas formierskich (rys.2) umożliwiający pracę urządzeń SPM-70 w cyklu automatycznym, remontowym i ręcznym,
- system do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej MICOMP UNI typ G-CH w mieszarce turbinowej MTI-3000 firmy Michenfelder,
- system do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej MICOMP UNI typ G-FBK w chłodziarce wibrofluidyzacyjnej CFM-5016 firmy Michenfelder,
- system automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej - VEDIMAT-4 (rys.3) firmy Michenfelder,
- system odpylania firmy ECO INSTAL Kościan (Polska), licencja Lüra Niemcy, gwarantujący spełnienie norm europejskich (emisja max. 10 mg/m<sup>3</sup>),
- moduł łączności internetowej pomiędzy systemem sterowania stacją przerobu mas formierskich a serwisem firmy TECHNICAL Nowa Sól.
- Realizacja inwestycji wg powyższych założeń umożliwiła:
- uzyskanie wydajności, gwarantującej nieprzerwaną pracę dwóch bezskrzynkowych linii formierskich HFM firmy Höttinger w systemie trzyzmianowym, a w kolejnym etapie dla planowanej, nowej linii formierskiej bezskrzynkowej DISAMATIC,
- programowanie receptur masy formierskiej dla różnych asortymentów produkowanych odlewów z podziałem na dwie niezależne linie formierskie,
- uzyskiwanie stałych parametrów masy formierskiej wg zadanych parametrów (zagęszczalność, wytrzymałość na ściskanie),

Linia przerobu masy formierskiej została wyposażona w chłodziarkę wibrofluidyzacyjną CFM-5016 (rys.2) o parametrach pracy gwarantujących intensywne schłodzenie masy formierskiej, zwrotnej z temperatury 80<sup>0</sup>C÷100<sup>0</sup>C do temperatury 10÷15<sup>0</sup>C powyżej temperatury otoczenia. Chłodziarkę wyposażono w automatyczny system pomiaru i regulacji

wilgotności masy formierskiej MICOMP UNI typ G-FBK firmy Michenfelder. System umożliwia stabilizację temperatury oraz wilgotności masy podawanej do zbiorników buforowych, magazynujących masę formierską zwrotną. Masa formierska zwrotna gromadzona w zbiornikach charakteryzuje się temperaturą około 40°C oraz wilgotność w zakresie 1,8 ÷ 2,4% H<sub>2</sub>O. Zakres wartości wilgotności pozwala na prawidłowy przebieg zalecanego procesu odstawania; minimalny czas odstawania wynosi 2 godziny.

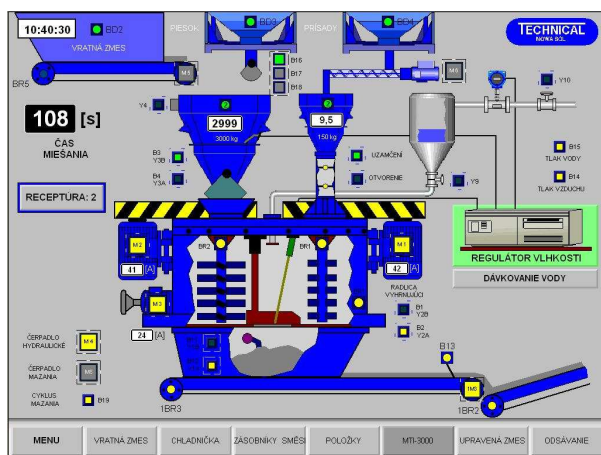


Rys.1. Mieszarka turbinowa MTI-3000 - dla Zliefáreň Trnava s.r.o. Trnava (Słowacja)



Rys.2. Chłodziarka wibrofluidyzacyjna masy formierskiej CFM-5016

System sporządzania mas formierskich bentonitowych SPM-70 (rys.3, rys.4) został zaprojektowany i wykonany jako układ modułowy. Układ składa się z poszczególnych urządzeń oraz systemów dobieranych do różnych wielkości mieszarek turbinowych.



Rys.3. Schemat technologiczny zabudowy mieszarki turbinowej MTI-3000 w Zliefáreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)



Rys.4. Zabudowa mieszarki turbinowej MTP-3000 w Zliefáreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)

### 3. System sterowania i wizualizacji pracy stacji SPM-70 w Zliefáreň Trnava oraz SPM-80 w Slévárny Třinec a.s.

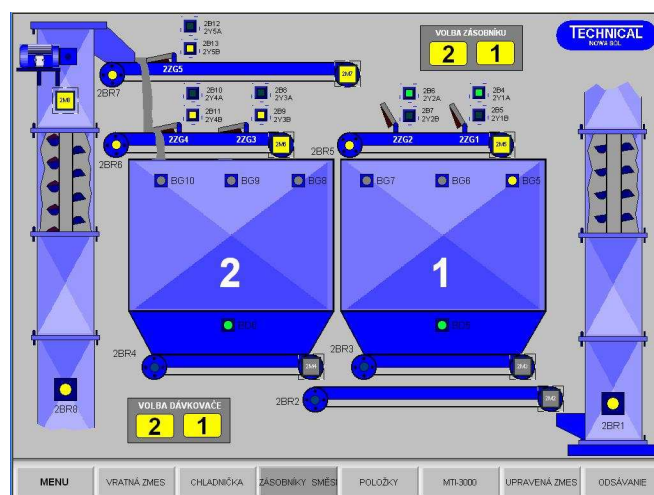
System sterowania i wizualizacji (rys.5) umożliwia:

- bezobsługową pracę całej stacji przerobu mas formierskich SPM-80,
- wizualizację i kontrolę procesu prowadzoną z kabiny sterowniczej,

- wprowadzanie i rejestrację zmian parametrów pracy urządzeń,
- sporządzanie masy formierskiej o zróżnicowanym składzie, dowolnie zadany oraz w dowolnym, zadany czasie,
- możliwość przyporządkowania symbolu modelu do odpowiedniej receptury masy formierskiej,
- bieżącą analizę stanów pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów z natychmiastową lokalizacją ewentualnych przyczyn awarii.

System sterowania i wizualizacji pracy stacji przerobu mas formierskich wykonano na sterownikach swobodnie programowalnych PLC firm GE Fanuc.

Program sterujący stanowi realizację algorytmu wiążącego sygnały wejściowe, które dopływają do sterownika z sygnałami wyjściowymi służącymi do sterowania urządzeniami wykonawczymi. Sterownik czuwa nad przebiegiem cyklu pracy automatycznej, a także pracy poszczególnych mechanizmów w przypadku sterowania ręcznego oraz przy próbach mechanizmów. Sterownik wykonuje polecenia operatora za pośrednictwem aparatury sterowniczej umieszczonej na pulpicie, którego głównym elementem jest panel operatorski QUICKPANEL z ekranem dotykowym komunikujący się bezpośrednio ze sterownikiem. Wynikiem jego działania są odpowiednie sygnały uruchamiające obwody wyjściowe sterowania (cewek styczników, zaworów, elementów sygnalizacji).



Rys.5. Pulpit sterowniczy SPM-70 w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja) w Rys.6. Ekran synoptyczny zbiorników masy zwrotnej w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)

System wizualizacji (rys.3, 5 i 6) składa się z czterech zasadniczych elementów:

- ekrany synoptyczne z graficzną, animowaną prezentacją procesu będącą w pewnym stopniu, uproszczonym odzwierciedleniem przebiegu pracy całej stacji przerobu mas formierskich SPM-70, jak i ich poszczególnych węzłów z sygnalizacją pracy poszczególnych napędów, położenia mechanizmów, stanu wyłączników awaryjnych itp.,
- ekrany (okna) alarmowe ze słownymi komunikatami informującymi o nieprawidłowościach w pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów,
- ekrany (okna) umożliwiające nastawę parametrów procesu,
- system rejestracji ilości zużywanych materiałów.

#### 4. System automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności oraz parametrów masy formierskiej stacji sporządzania masy formierskiej SPM-70 w Zlieváreň Trnava

Do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności oraz parametrów masy formierskiej w stacji przerobu mas formierskich SPM-70 w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja) zostały zastosowane najnowocześniejsze systemy kontrolno-pomiarowe firmy MICHNENFELDER-Niemcy:

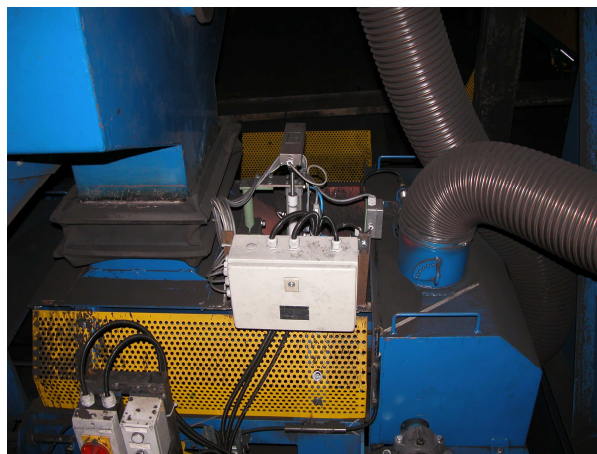
- system MICOMP UNI typ G-CH do automatycznego, ciągłego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej w mieszarce turbinowej MTI-3000, system gwarantuje uzyskanie wilgotności masy formierskiej na wyjściu z mieszarki w tolerancji:  $\pm 0,1\%$  H<sub>2</sub>O,
- system MICOMP UNI Typ G-FBK (rys.8) do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej w sposób ciągły w chłodziarce wibrofluidyzacyjnej CFM-5016, system gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności masy formierskiej na wyjściu z chłodziarki z tolerancją:  $\pm 0,2\%$  H<sub>2</sub>O,
- system VEDIMAT-4 (rys.7) do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej.

System VEDIMAT-4 automatycznie kontroluje i reguluje zagęszczalność oraz wytrzymałość na ściskanie masy formierskiej bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim. System pobiera próbki masy formierskiej z przenośnika taśmowego przed stanowiskiem formierskim. Po sprawdzeniu parametrów masy formierskiej jest wyliczana ilość bentonitu (mieszanki bentonitowej) oraz wody, które to należy zadozować do mieszarki podczas sporządzania kolejnej porcji masy formierskiej, tak aby utrzymać w narzuconym zakresie właściwości masy formierskiej.

System VEDIMAT współpracuje z urządzeniem MICOMP UNI typ G-CH do pomiaru i regulacji wilgotności masy.



Rys.7. System do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej MICOMP UNI typ G-FBK w chłodziarce wibrofluidyzacyjnej firmy Michenfelder w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)



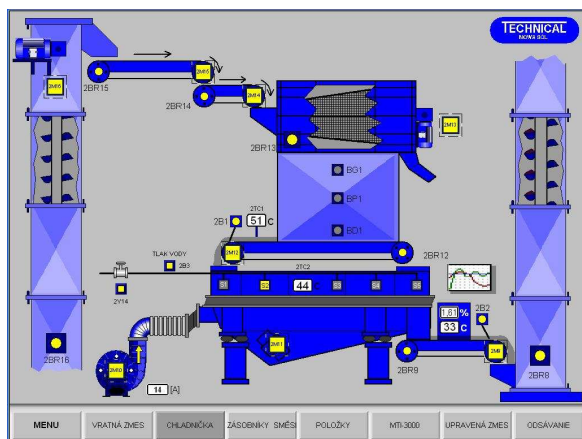
Rys.8. System do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej VEDIMAT 4 firmy Michenfelder w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)



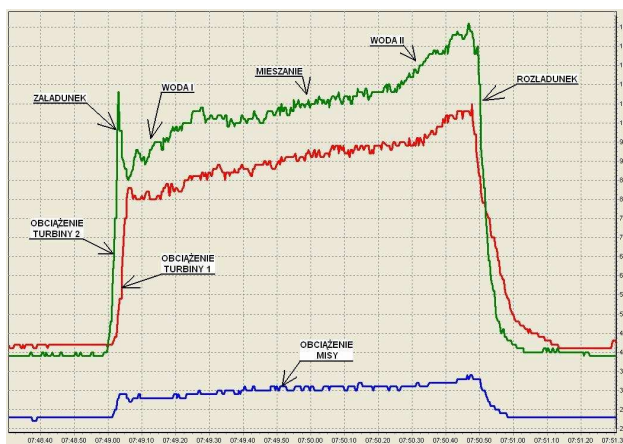
## 5. Monitoring on-line pracy stacji sporządzania masy formierskiej SPM-70 Zlieváreň Trnava oraz SPM-80

Przebieg procesu odświeżania masy formierskiej w omawianych stacjach jest kontrolowany i monitorowany przy użyciu panelu graficznego, typu Quickpanel, umieszczonego na głównym pulpicie sterowniczym (rys.5). Panel ten jest wyposażony w system operacyjny Windows CE oraz kolorowy 12 calowy, dotykowy ekran wraz z licencjonowanym oprogramowaniem, umożliwiającym obsługę aplikacji typu SCADA. Sterowanie przebiegiem całego procesu odbywa się za pomocą aplikacji wizualizacyjnej zainstalowanej na panelu operatorskim.

Za pomocą systemu sterowania przeprowadzana jest kontrola prawidłowości pracy poszczególnych maszyn i urządzeń biorących udział w procesie (rys.3, rys.6, rys.9). Panel jest wyposażony w przyciski do załączenia poszczególnych napędów ze wskazaniem, w sposób graficzny, ich aktualnych stanów pracy.



Rys.9. Ekran synoptyczny chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM-5016 w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)



Rys.10. Wykresy obciążeń silników napędów mieszarki turbinowej MTI-3000 w Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja)

Dzięki podłączeniu systemu sterowania do sieci Ethernet uzyskano możliwość zdalnego dostępu do układu sterowania poprzez Internet. Rozwiązanie takie daje bardzo duże możliwości szybkiej diagnozy sytuacji awaryjnych, analizy pracy poszczególnych systemów (napędów) (rys.10), korekty programu sterującego, bez potrzeby przyjazdu serwisanta, automatyka – a co za tym idzie, skrócenia do minimum czasów przestoju związanych z awarią bądź zmianą procesu technologicznego.

Istnieje możliwość powiadamiania służb utrzymania ruchu o stanach alarmowych bądź awariach poprzez nadawanie informacji (e-mail czy sms), dzięki temu czas postoju związany z awarią zmniejsza się do minimum. Ma to duże znaczenie w obecnych warunkach ekonomicznych.

Dużym atutem takiego systemu sterowania jest możliwość oglądania obrazów z wizualizacji procesu produkcyjnego poprzez Internet z dowolnego miejsca na świecie, nie ograniczając przy tym możliwości zmiany nastaw (receptur) bądź podglądania stanów alarmowych.

Możliwa jest również archiwizacja danych procesowych, co pozwala na późniejszą analizę zebranych informacji. Zapisywanie danych poprzez sieć komputerową daje możliwość bezobsługowego i bardzo elastycznego archiwizowania danych, które są udostępniane uprawnionym użytkownikom sieci.

## 6. System odpylania stacji sporządzania masy formierskiej SPM-70 Zlieváreň Trnava.

Stacja sporządzania masy formierskiej została wyposażona w nowoczesny system odpylający firmy ECO INSTLA Kościan (rys.10, rys.11), charakteryzujący się:

- wysoką sprawnością instalacji odpylającej i wyróżniającą się niską emisją pyłów z filtra do otoczenia,
- małą ilością odciąganego, aktywnego bentonitu z masy formierskiej,
- niskimi kosztami wykonania instalacji odpylającej oraz jej eksploatacji przy zachowaniu wysokiej sprawności.

Zapylone powietrze jest odciągane przewodami instalacji przy użyciu wentylatorów i kierowane do filtra suchego, regenerowanego impulsem sprężonego powietrza.

Zastosowane filtry spełniają normy europejskie emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Emisja do otoczenia, w obu przypadkach, nie przekracza wartości  $5 \text{ mg/m}^3$ .

## 7. Podsumowanie

Modernizacja odlewni Zlieváreň Trnava s.r.o. – Trnava (Słowacja) polegająca na budowie nowej stacji sporządzania masy formierskiej SPM-70 została zrealizowana z udziałem innowacyjnych rozwiązań technologii stosowanych w przemyśle odlewniczym.

Zastosowanie nowoczesnej mieszarki turbinowej oraz chłodziarki wibrofluidyzacyjnej wraz z systemami do kontroli i regulacji parametrów masy formierskiej, firmy Michenfelder, gwarantuje uzyskanie masy formierskiej o dobrych, powtarzalnych właściwościach technologicznych oraz dużej wydajności, w pełni zabezpieczającej ciągłą pracę linii wytwarzania odlewów.

Zastosowane systemy pomiaru i regulacji wilgotności masy oraz jej zagęszczalności i wytrzymałości dają gwarancję prowadzenia właściwego odświeżania i utrzymania stałych właściwości masy na stałym poziomie.

Wyposażenie urządzeń stacji SPM oraz linii w systemy monitorujące przebieg pracy stwarzają warunki dla właściwej i bezawaryjnej eksploatacji.

# ZAGĘSZCZALNOŚĆ – WAŻNE KRYTERIUM STEROWANIA JAKOŚCIĄ MAS Z BENTONITEM

Stanisław Marian DOBOSZ<sup>1</sup>

## Wstęp

Klasyczne masy formierskie ze względu na niski koszt i możliwość wielokrotnego użycia stanowią podstawowe tworzywo na formy odlewnicze. Jednakże zmiany, jakie zachodzą w składnikach tych mas pod wpływem wysokiej temperatury ciekłego stopu powodują istotne zmiany ich właściwości technologicznych. Zmiany te warunkują wymagany stopień odświeżenia masy. Jednym z podstawowych elementów oceny stopnia deaktywacji masy jest oznaczenie zawartości gliny aktywnej. Metody te generalnie można podzielić na metody bezpośrednie i metody pośrednie. Jeżeli chodzi o metody bezpośrednie, to opierają się one zwykle o adsorpcję błękitu metylenowego, analizę sedymentacyjną czy o zmianę przewodności lub oporu elektrycznego. Metody pośrednie wykorzystują zmianę różnych właściwości masy w funkcji ich wilgotności. Większość tych metod posiada jednak wiele wad, takich jak: mała dokładność, ograniczony zakres zastosowania lub też są zbyt skomplikowane. Stąd też w dalszym ciągu prowadzi się poszukiwania nowych kryteriów oceny stopnia deaktywacji masy [1-3].

## 1. Badania własne

### 1.1. Wpływ stopnia deaktywacji lepiszcza na właściwości technologiczne masy

W ramach badań własnych przedstawiono pomiary zagęszczalności jako alternatywną miarę zawartości gliny aktywnej. Ten bardzo popularny parametr masy, w wielu systemach sterowania, służy najczęściej do szybkiego oznaczania wilgotności masy. Warto jednak ocenić także jego zdolność do oceny zawartości gliny aktywnej.

Masę wyjściową stanowiła kompozycja o następującym składzie (w cz.wag.):

piasek kwarcowy	- 100
bentonit	- 10
wilgotność	- 2-5%

Aby określić wpływ stopnia deaktywacji lepiszcza zawartego w masie formierskiej na jej właściwości, sporządzano masy o różnej zawartości lepiszcza nieaktywnego (przy stałej sumie zawartości lepiszcza aktywnego i nieaktywnego, wynoszącej 10 cz.wag.).

W tym celu odpowiednią część lepiszcza aktywnego przepalano w temperaturze 1223K przez 3h. Badaniom poddano masy o następujących składach (w cz.wag.):

Skład masy		Oznaczenie masy
piasek kwarcowy	- 100	A
bentonit	- 10	
piasek kwarcowy	- 100	B
bentonit (aktywny)	- 8	
bentonit (nieaktywny)	- 2	
piasek kwarcowy	- 100	C
bentonit (aktywny)	- 7	
bentonit (nieaktywny)	- 3	
piasek kwarcowy	- 100	D
bentonit (aktywny)	- 6	

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż. Kierownik Pracowni Tworzyw Formierskich i Ochrony Środowiska, dobosz@agh.edu.pl

bentonit (nieaktywny)	- 4	
piasek kwarcowy	- 100	
bentonit (aktywny)	- 5	E
bentonit (nieaktywny)	- 5	
piasek kwarcowy	- 100	
bentonit (aktywny)	- 4	G
bentonit (nieaktywny)	- 6	

W praktyce - w masie używanej - w wyniku deaktywacji. lepiszcza nie tylko powstaje pył, ale także zachodzi proces oolityzacji. Aby otrzymać warstwę zoolityzowaną sporządzono masy, w których skład wchodziła masa przepalona i odpowiednia ilość składników świeżych, przy czym suma zawartości lepiszcza aktywnego i nieaktywnego także wynosiła 10 cz.wag. Składy tych mas były następujące (w cz.wag.):

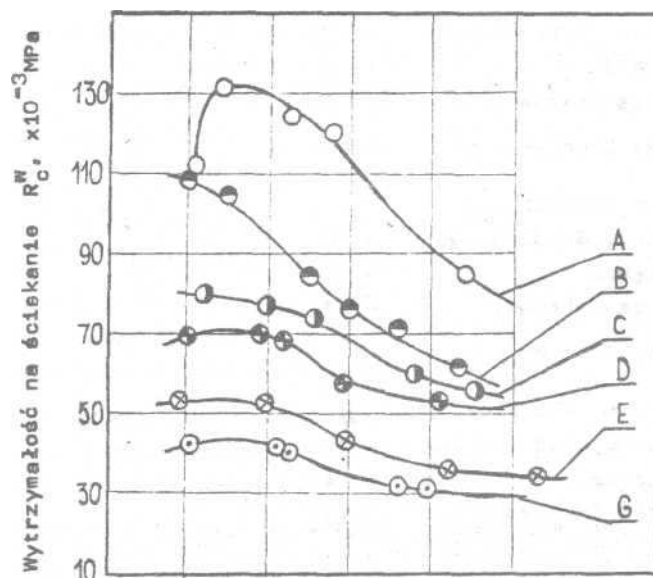
Skład masy		Oznaczenia masy
piasek kwarcowy (świeży)	-80	H
masa przepalona o składzie:		
piasek kwarcowy	-20	
bentonit	- 2	
bentonit (aktywny)	- 8	
piasek kwarcowy (świeży)	-60	K
masa przepalona o składzie:		
piasek kwarcowy	-40	
bentonit	- 4	
bentonit (aktywny)	- 6	
piasek kwarcowy (świeży)	-40	L
masa przepalona o składzie:		
piasek kwarcowy	-60	
bentonit	- 6	
bentonit (aktywny)	- 4	
piasek kwarcowy (świeży)	-60	M
masa przepalona o składzie:		
piasek kwarcowy	-40	
bentonit	- 4	
bentonit (aktywny)	-10	

Kształtki laboratoryjne dla poszczególnych oznaczeń zagęszczano przez prasowanie przy jednostkowym nacisku prasującym 2,0 MPa. Wyjątkiem był tylko pomiar zagęszczalności wykonywany przy nacisku 1,0 MPa, co wynikało z konstrukcji aparatu.

Dla każdej z wymienionych mas formierskich przeprowadzono cykl badań, obejmujący określenie: - wilgotności W, wytrzymałości na ściskanie R<sub>cw</sub>, wytrzymałości na rozciąganie R<sub>mw</sub>, wytrzymałości na rozciąganie w strefie przewilżonej R<sub>k</sub>, gęstości pozornej ρ<sub>0</sub>, osypliwości S<sub>0</sub>, zagęszczalności Z, straty prażenia, zawartości gliny aktywnej.

Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie w strefie przewilżonej przeprowadzono przy użyciu aparatu typu SPNF, a zagęszczalności przy użyciu aparatu typ PVG produkcji firmy G. Fischera. Zawartość gliny aktywnej określano metodę adsorpcji błękitu metylenowego.

Na rysunku 1 przedstawiono wpływ stopnia deaktywacji lepiszcza na wytrzymałość na ściekanie. Jak widać im większa jest zawartość lepiszcza aktywnego tym wytrzymałość jest wyższa. Zbliżony charakter zmian otrzymano dla wytrzymałości na rozciąganie (rys. 2). Można jednak zauważyć, że wpływ ilości lepiszcza aktywnego jest bardziej intensywny w przypadku wytrzymałości na rozciąganie niż wytrzymałości na ściskanie.



Rys. 1. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość na ściskanie (lepiszcza nieaktywne w postaci pyłu)

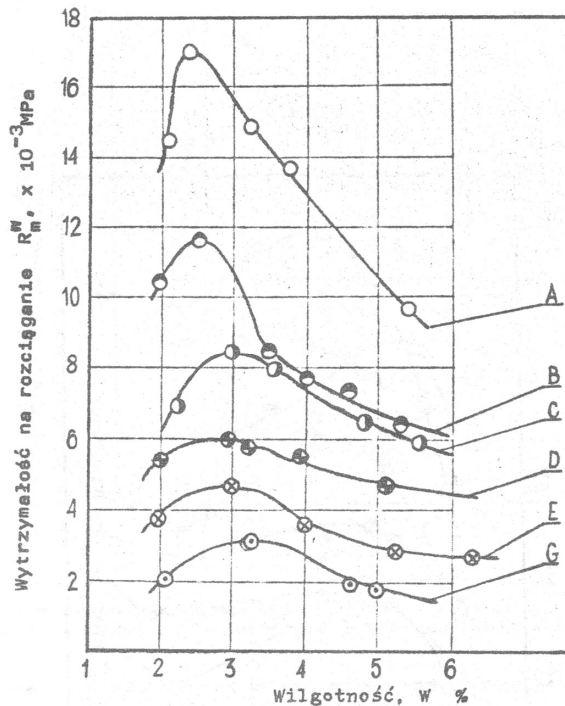
Podobny wpływ stopnia deaktywacji lepiszcza obserwujemy na rysunku 3, przedstawiającym zmiany wytrzymałości na rozciąganie w strefie przewilżonej.

Na następnych rysunkach (rys. 4,5,6) przedstawiono analogiczne wykresy otrzymane dla mas, w których przepalono bentonit razem z piaskiem, czyli dla mas gdzie lepiszcze występowało w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej. Porównując wartości na rysunkach 1 i 4 widać wyraźnie, że masy, w których lepiszcze nieaktywne jest tylko w postaci pyłu, charakteryzuje się wyższymi wartościami wytrzymałości na ściskanie. W przypadku wytrzymałości na rozciąganie (rys. 2 i 5) różnice te nie występują.

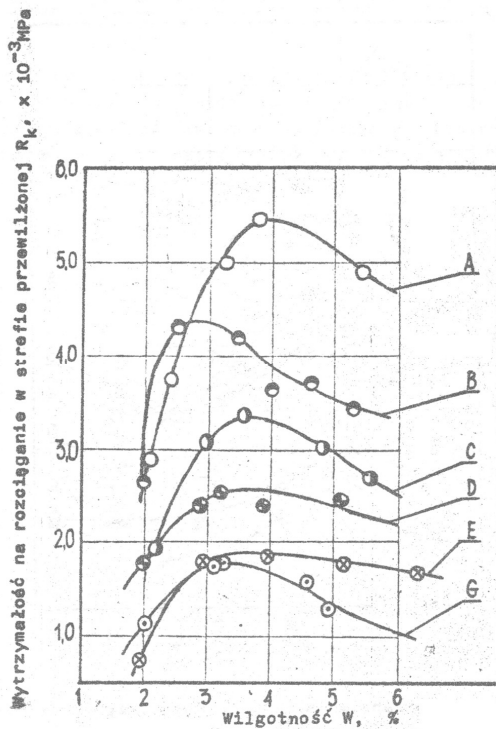
Świadczy to o tym, że wytrzymałość na rozciąganie jest bardziej miarodajną próbą oznaczania siły wiązania, a przez to lepszą wytyczną do określania stopnia odświeżania masy. W przypadku wytrzymałości na ściskanie, lepiszcze nieaktywne, występując w postaci pyłu, zwiększa siły tarcia wewnętrzne, co wywołuje obserwowane różnice.

W przypadku wytrzymałości w strefie przewilżonej (rys. 3 i 6) stwierdzono, że masy, w których lepiszcze nieaktywne jest w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej, mają niższe wartości tej wytrzymałości niż masy z lepiszczem nieaktywnym w postaci pyłu. Przemawia to za przydatnością, tej metody pomiaru wytrzymałości do oceny stopnia deaktywacji masy.

Na wykresach naniesiono także zależności dla masy "M", tj. masy, którą poddano operacji odświeżania. Zawierała ona tyle samo lepiszcza aktywnego co masa wyjściowa (10 cz. wag.), z tym, że oprócz tego zawierała jeszcze 4 części wagowe lepiszcza nieaktywnego w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej. Masa ta ma jednakowe z masą wyjściową wartości wytrzymałości na rozciąganie i wytrzymałości w strefie przewilżonej, natomiast wyższa ma wytrzymałość na ściskanie. Jest to więc kolejne potwierdzenie poprzednich obserwacji, że ten ostatni rodzaj wytrzymałości reprezentuje głównie siły tarcia wewnętrzne, a nie siły wiązania masy. W związku z tym wytrzymałość na ściskanie nie powinna być jedynym kryterium oceny mas odświeżanych, jest już od dawna sygnalizowane w literaturze, a co niestety często ma miejsce w praktyce przemysłowej.



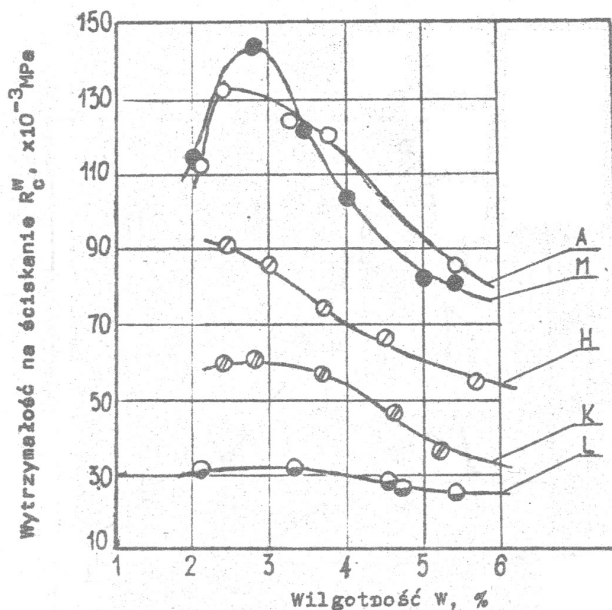
Rys. 2. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość na rozciąganie (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu)



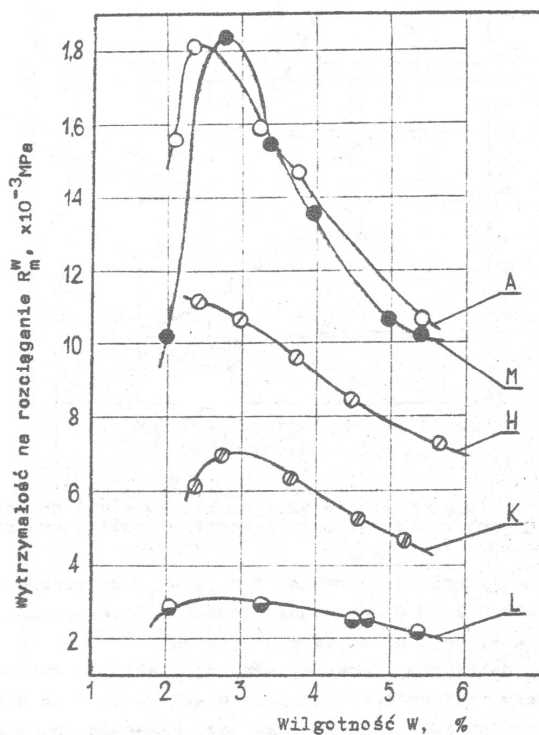
Rys. 3. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość w strefie przewilżonej (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu)

Wpływ sposobu deaktywacji masy wyraża się również w zmianach gęstości pozornej. Masy zawierające lepiszcze nieaktywne tylko w postaci pyłu mają wyższe wartości gęstości pozornej. Wskazuje to na znaczny udział lepiszcza nieaktywnego

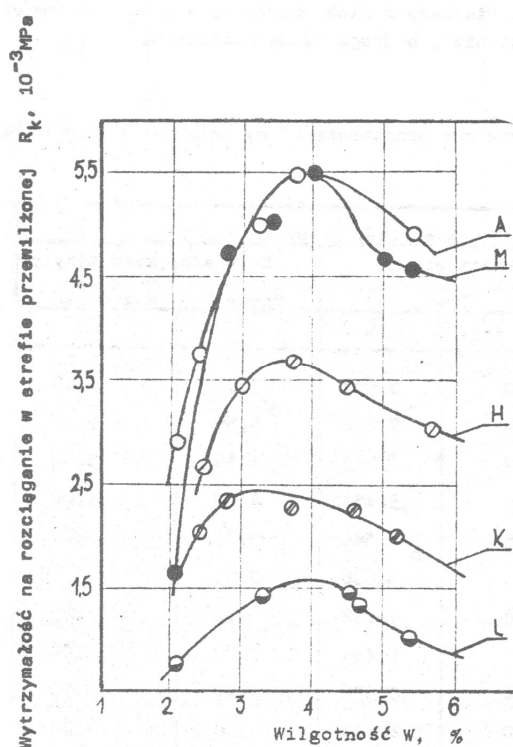
w formie zoolityzowanej na ziarnach osnowy. Pomiary osypliwości nie wykazują istotnych różnic i trudno na ich podstawie formułować bardziej ogólne wnioski.



Rys. 4. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość na ściskanie (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej)



Rys. 5. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość na rozciąganie (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej)



Rys. 6. Wpływ stopnia przepalania masy na wytrzymałość w strefie przewilżonej (lepiszczce nieaktywne w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej)

## 1.2. Zagęszczalność masy jako miara stopnia jej deaktywacji

Pomiary zagęszczalności prowadzono głównie pod kątem ich przydatności dla określenia stopnia deaktywacji masy i sposobu odświeżania. Dla porównania wykonano takie pomiary zawartości gliny aktywnej metodą adsorpcji błękitu metylenowego oraz pomiary straty prażenia (tab. 1). W metodzie błękitu metylenowego wartości wyznaczano

w oparciu o dwie krzywe wzorcowe. Pierwsza z nich oparta była o miareczkowanie układu "woda-piasek-bentonit", a druga "woda-bentonit".

Jak widać, wyniki uzyskane metodą adsorpcji błękitu metylenowego dają niższe wartości lepiszcza aktywnego, niż to wynika z faktycznej jego ilości. Różnice te są większe w przypadku, gdy lepiszcze jest w postaci warstewki zoolityzowanej na ziarnach piasku.

Z kolei zastosowanie metody opartej o krzywa wzorcowe, uzyskane w układzie "woda-bentonit", daje bardziej prawidłowe wyniki. Wiadomo jednak, że metoda błękitu metylenowego daje dobre wyniki tylko w przypadku bentonitów o wysokiej zawartości montmorylonitu, do których badany bentonit się nie zalicza, a co tłumaczy otrzymane różnice.

Wyniki badań zagęszczalności zamieszczono na rysunkach 7 i 8. Jak widać, przy zwiększeniu wilgotności masy jej zagęszczalność rośnie i osiąga maksimum. Wyznaczenie tego maksimum może być źródłem istotnych informacji. Obserwujemy bowiem, że próba ta czule reaguje na zmianę zawartości lepiszcza aktywnego. Im większa jest jego zawartość tym wyższa jest wartość maksimum zagęszczalności. Wszystkie przedstawione na rysunkach masy posiadają tą samą (10 cz.wag.) sumaryczną zawartość bentonitu, a różnią się tylko ilością gliny aktywnej. Spostrzeżenia te dotyczą zarówno masy z lepiszczem nieaktywnym w postaci pyłu, jak i w formie warstwy zoolityzowanej.

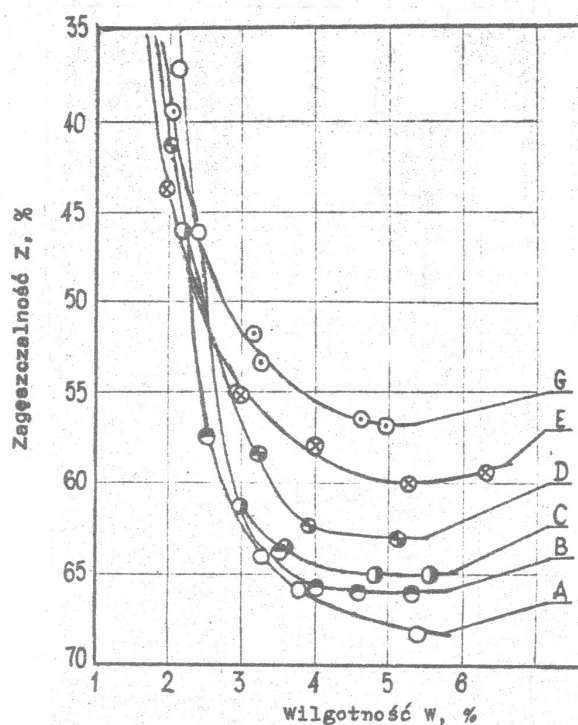


Tab.1 Zestawienia wyników oznaczania gliny aktywnej i strat prażenia

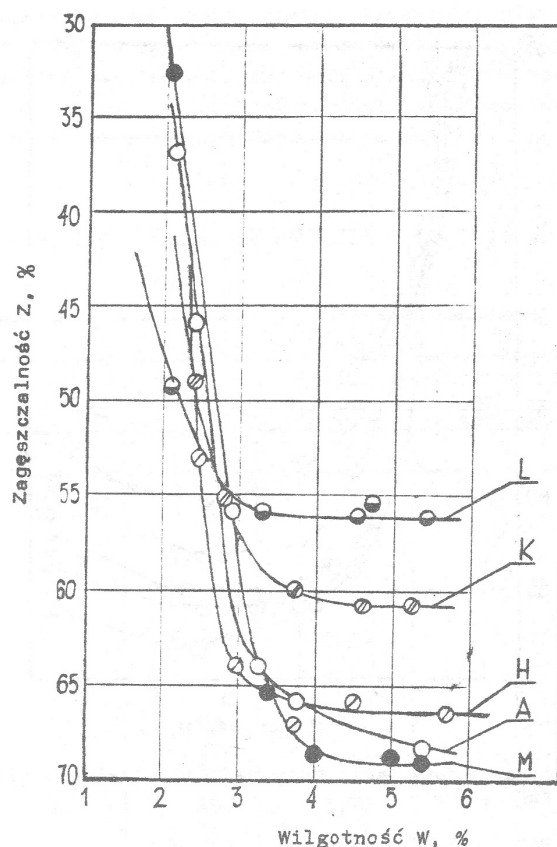
Rodzaj masy formierskiej	Zawartość gliny aktywnej				Straty prażenia
	Rzeczywista		Metoda błękitu etylenowego		
	cz.. wag.	%	krzywa I	krzywa II	
			%	%	
A	10	9,091	7,90	8,10	0,928
B	8	7,272	5,55	5,80	0,716
C	7	6,363	5,15	5,40	0,667
D	6	5,454	4,70	5,00	0,635
E	5	4,545	3,70	4,00	0,569
G	4	3,636	3,25	3,60	0,489
H	8	7,272	5,00	4,25	0,700
K	6	5,454	3,70	4,00	0,546
L	4	3,636	3,00	3,35	0,394
M	10	8,773	6,85	7,05	0,784

Krzywa I dotyczy składu "woda-piasek-bentonit".

Krzywa II dotyczy składu "woda-bentonit".



Rys. 7. Wpływ stopnia przepalania masy na zagęszczalność (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu)



Rys. 8. Wpływ stopnia przepalenia masy na zagęszczalność (lepiszcze nieaktywne w postaci pyłu i warstwy zoolityzowanej)

## 2. Wnioski końcowe

Analiza metod pośrednich określenia zawartości lepiszcza aktywnego opartych o pomiary wytrzymałości na ściekanie i rozciąganie - nie zamieszczona z uwagi na objętość publikacji - wykazała przybliżony charakter tej oceny stopnia deaktywacji masy. Natomiast metoda oparta o pomiary straty prażenia wymaga nowego ujęcia i dalszego dopracowania.

Można więc z tych badań wyciągnąć wniosek, że pomiary zagęszczalności mogą stanowić istotny element oceny zawartości lepiszcza aktywnego czyli być pomocne przy ustalaniu stopnia odświeżania masy. Mając na uwadze takie elementy, jak: prostota wykonania oznaczenia, bardzo dobra powtarzalność wyników i udzielanie wielu innych istotnych informacji - próba zagęszczalności powinna stanowić powszechny parametr oceny masy szczególnie dla technologii prasowania przy użyciu wysokich nacisków.

## 3. Literatura

1. Dobosz St.M.: Woda w masach formierskich i rdzeniowych, wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2006.
2. Rudy Cz., Fedoryszyn A., Kaźmierczak: Nowoczesny system przygotowania masy formierskiej na przykładzie odlewni Venture Industris Grudziąć. X Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2007, s. 39- 47
3. Rudy Cz.: Technologia sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarkach turbinowych, VIII Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2005, s. 33- 44.

## BADANIE ZMIAN ZACHODZĄCYCH W MASACH Z BENTONITEM POD WPLYWEM TEMPERATURY METODĄ SPEKTROSKOPII W PODCZERWIENI

Artur BOBROWSKI<sup>1</sup>  
Mariusz HOLZER<sup>2</sup>  
Czesława PALUSZKIEWICZ<sup>3</sup>

### Wprowadzenie

Masy formierskie z bentonitem stanowią największy udział w produkcji odlewów w Polsce i na świecie. Związane jest to z szeregiem zalet, do których należy zaliczyć: łatwość sporządzenia masy, dobre właściwości mechaniczne i technologiczne, dostępność i niski koszt podstawowych składników (piasku kwarcowego i bentonitu).

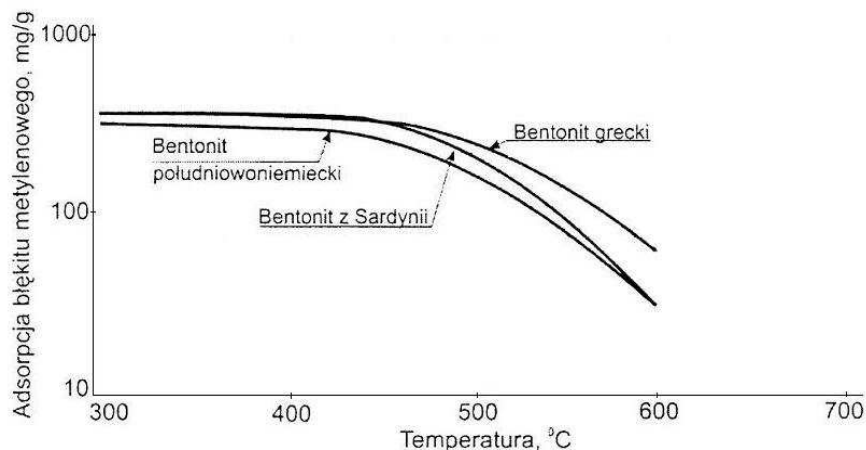
Nie bez znaczenia jest również aspekt ekologiczny. Masa formierska z bentonitem należy do mas ekologicznych do czasu, gdy nie zostanie do niej wprowadzony pył węglowy, będący nośnikiem węgla błyszczącego. Stąd też wiele uwagi poświęca się poszukiwaniom alternatywy dla pyłu węglowego. Masy z bentonitem nie wymagają skomplikowanych zabiegów regeneracji, co przekłada się bezpośrednio na koszty. Regenerat ma bardzo dobre właściwości, często lepsze niż masa sporządzona ze świeżych składników. Ponadto masa odwałowa łatwo znajduje szereg zastosowań poza odlewnictwem.

Bardzo istotną z punktu widzenia odlewnictwa wadą mas z bentonitem jest spadek ich właściwości wytrzymałościowych pod wpływem działania wysokiej temperatury. Utrata właściwości związana jest z dezaktywacją termiczną bentonitu, a konkretnie jego podstawowego składnika – montmorylonitu. W zależności od pochodzenia, bentonity mają różną odporność na działanie wysokiej temperatury. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ temperatury wygrzewania różnych bentonitów na zawartość aktywnego montmorylonitu wyrażoną ilością zaadsorbowanego błękitu metylenowego[1]. Wynika z niego, że bentonit traci zdolność wiązania ziaren piasku wraz ze wzrostem temperatury. Odporność na działanie wysokiej temperatury może być różna w zależności od jakości bentonitu. Jednak w każdym przypadku w zakresie temperatury 400 - 500°C następuje obniżenie zdolności do pęcznienia bentonitów. Z tym wiąże się także bezpośrednio gwałtowny spadek wytrzymałości na rozciąganie masy z bentonitem. Ilustruje to rys. 2, na którym przedstawiono zależność wytrzymałości na rozciąganie masy z bentonitem w stanie wilgotnym w zależności od temperatury.

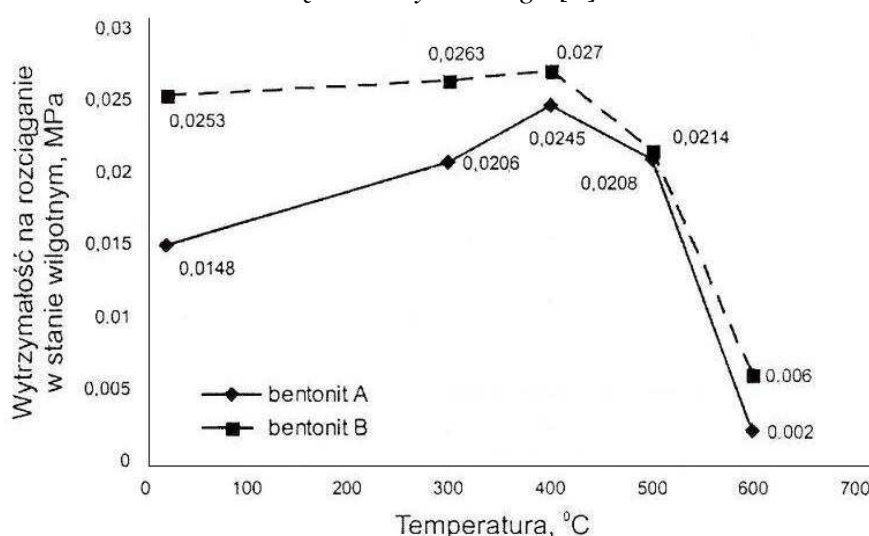
<sup>1</sup> mgr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa

<sup>2</sup> prof. dr hab., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

<sup>3</sup> dr inż., Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki



Rys. 1. Wpływ temperatury wygrzewania różnych bentonitów na ilość zaadsorbowanego błękitu metylenowego [1]



Rys. 2. Wpływ temperatury przepalenia mas zawierających 7 części wagowych bentonitu na ich wytrzymałość na rozciąganie przy stosunku wodno glinowym  $SW=0,5$  [1].

Analiza przedstawionych wyżej zależności skłoniły autorów do przeprowadzenia dalszych badań nad wpływem temperatury na właściwości wiążące bentonitu.

## 1. Cel badań

Celem badań było określenie wpływu temperatury na wytrzymałość na ścislenie mas z bentonitem i powiązanie otrzymanych wyników z badaniami strukturalnymi mas metodą spektroskopii w podczerwieni.

## 2. Zakres badań

Badania podzielono na etapy:

Etap 1: Sporządzenie masy formierskiej z bentonitem o składzie:

100 cz. wag. piasek kwarcowy,

10 cz. wag. mieszanka Kormix 75 (75% bentonit, 25% nośnik węgla).

Wilgotność masy po sporządzeniu: 3,09%.

Etap 2: Wykonanie kształtek standardowych

Etap 3: Suszenie kształtek w temperaturze 110°C przez 2 godziny.

Etap 4: Wygrzewanie kształtek standardowych przez 30 minut w temperaturach: 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C.

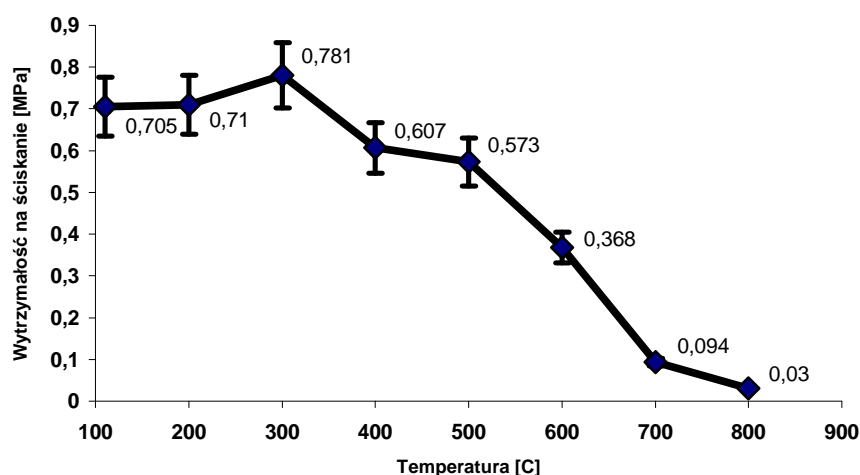
Etap 5: Badanie wytrzymałości na ścislenie (po 3 kształtki dla danej temperatury).

Etap 6: Badania próbek mas wygrzewanych w danej temperaturze metodą spektroskopii w podczerwieni (próbki pobierano z każdej kształtki).

### 3. Badanie wytrzymałości na ściskanie

Badaniom poddano kształtki standardowe  $\varnothing 50 \times 50$  mm, w stanie wysuszonym. Wyniki wytrzymałości na ściskanie masy formierskiej z mieszanką Kormix 75 w zależności od temperatury wygrzewania przedstawiono na rysunku 3.

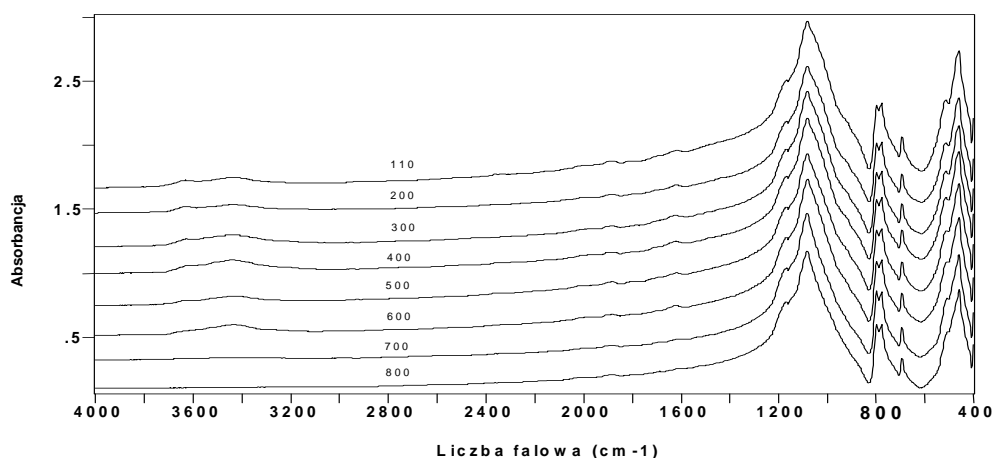
Wytrzymałość na ściskanie masy z bentonitem w zależności od temperatury wygrzewania ulega wyraźnym zmianom. W zakresie temperatury 110 - 300°C następuje stopniowy wzrost wytrzymałości. Po przekroczeniu temperatury 300°C wytrzymałość na ściskanie zaczyna powoli spadać i w temperaturze powyżej 500°C obserwuje się już znaczny, postępujący spadek wytrzymałości.



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na ściskanie masy z bentonitem od temperatury wygrzewania próbki

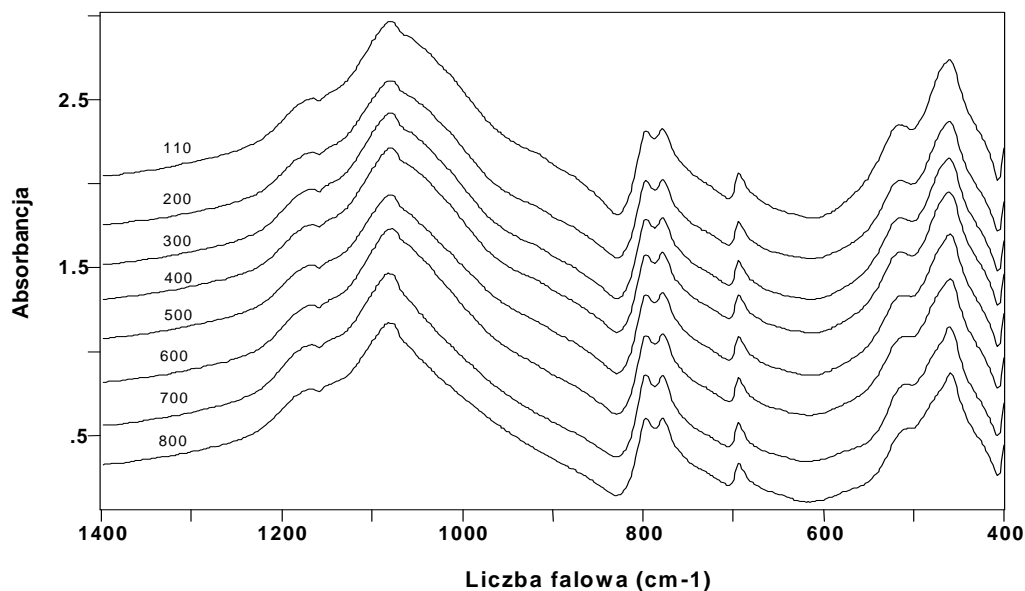
#### 3.1. Badania w podczerwieni

Do badań wykorzystano spektrometr FTIR Excalibur firmy BIO-RAD. Badania przeprowadzono techniką transmisyjną. Widma wykonano w zakresie liczb falowych 4000 – 400  $\text{cm}^{-1}$  ze zdolnością rozdzielczą 4  $\text{cm}^{-1}$ .

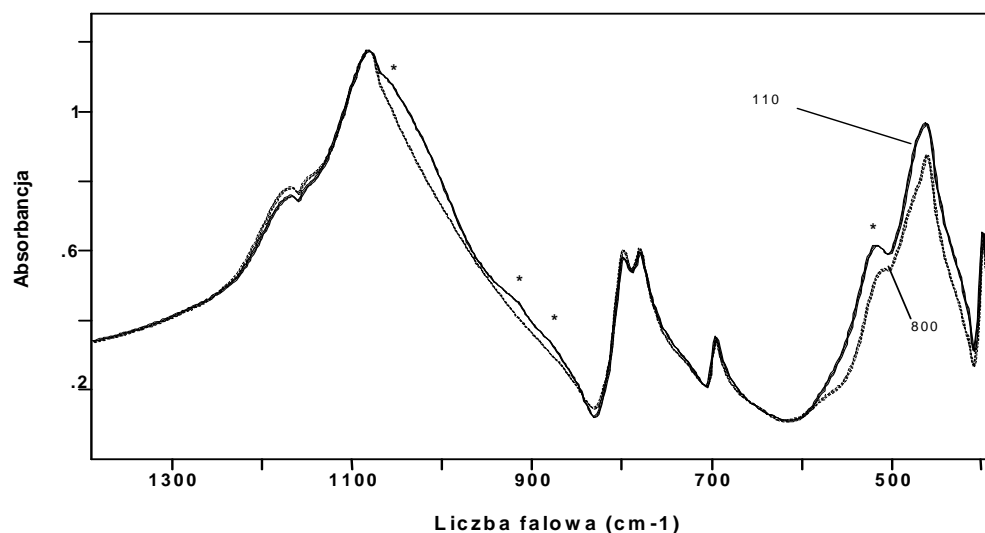


Rys.4. Widma FTIR uzyskane dla mas wygrzewanych w badanym zakresie temperatury

Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie widm mas formierskich z bentonitem dla temperatury z zakresu 110 – 800°C. Możemy wyróżnić bardzo intensywne pasma pochodzące od kwarcu (piasku kwarcowego), odpowiadające liczbom falowym (1085  $\text{cm}^{-1}$ , 797  $\text{cm}^{-1}$ , 778  $\text{cm}^{-1}$ , 694  $\text{cm}^{-1}$ , 511  $\text{cm}^{-1}$  i 460  $\text{cm}^{-1}$ ). Analiza widm wskazuje również na występowanie pasm pochodzących od montmorylonitu (rys. 5 i rys. 6), któremu przypisuje się liczby falowe 1050  $\text{cm}^{-1}$ , 922  $\text{cm}^{-1}$ , 797  $\text{cm}^{-1}$ , 526  $\text{cm}^{-1}$  i 469  $\text{cm}^{-1}$  [3, 4, 5].

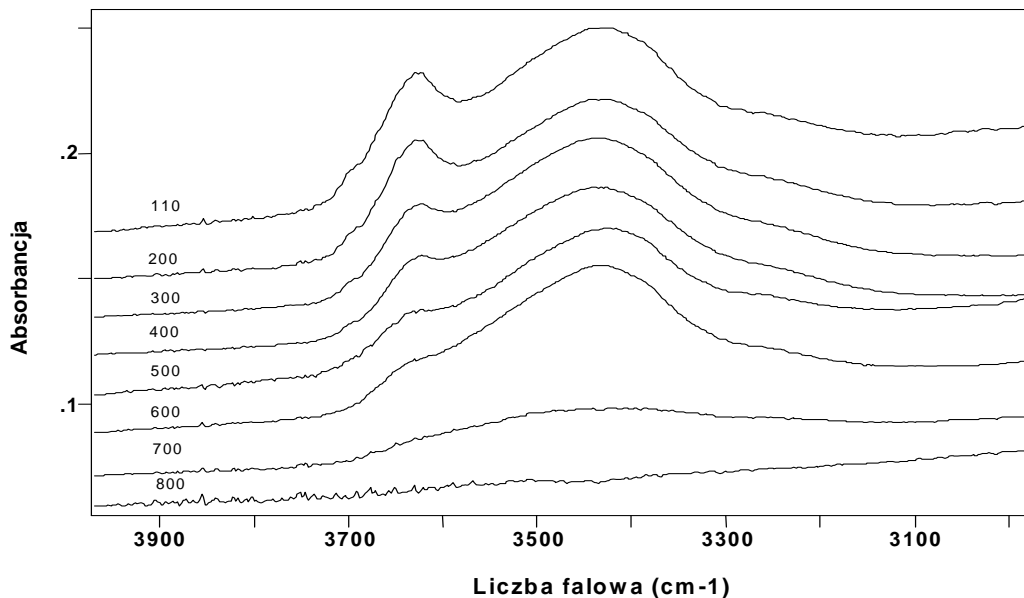


Rys. 5. Widma FTIR uzyskane dla mas wygrzewanych w poszczególnych temperaturach w zakresie 1400-400 $\text{cm}^{-1}$



Rys. 6. Widma FTIR uzyskane dla mas wygrzewanych w temperaturze 110 i 800°C w zakresie 1400-400 $\text{cm}^{-1}$  (\*) oznaczono pozycje pasm bentonitu ulegających zmianie.

Zmianie ulega również szerokość połówkowa pasma w okolicy  $1050\text{ cm}^{-1}$  bentonitu (montmorylonitu) (rys. 5 i 6). Widoczne zmiany zachodzą też w paśmie  $526\text{ cm}^{-1}$ . Świadczy to o rozkładzie bentonitu.



Rys. 7. Widma FTIR w zakresie  $4000 - 3000\text{ cm}^{-1}$

Rysunek 7 przedstawia widma w zakresie  $4000 - 3000\text{ cm}^{-1}$ . Pasma o liczbie falowej  $3420\text{ cm}^{-1}$  wskazuje na obecność tzw. wody związanej lub wody krystalicznej. Pasma  $3620\text{ cm}^{-1}$  odpowiada obecności grup O-H. W miarę wzrostu temperatury wygrzewania zmniejsza się intensywność pasm w zakresie drgań rozciągających O-H aż do temperatury  $600^\circ\text{C}$ . W temperaturze  $700^\circ\text{C}$  i  $800^\circ\text{C}$  analizowane pasma wyraźnie zanikają.

#### 4. Wnioski:

1. Na podstawie danych literaturowych i przeprowadzonych badań należy zauważyć, że w początkowej fazie wzrostu temperatury (do temperatury  $300 - 400^\circ\text{C}$ ) następuje wzrost wytrzymałości na ściskanie masy z bentonitem. Dalszy wzrost temperatury skutkuje stopniową utratą właściwości wiążących bentonitu (spadkiem wytrzymałości masy). Zakres temperatury dla poszczególnych etapów jest zależny od gatunku bentonitu.
2. Widma FTIR (zmiana szerokości połówkowej, zmniejszenie intensywności pasm oraz ich przesunięcia) świadczą o zmianach zachodzących w badanych masach i są spójne ze zmianami właściwości wytrzymałościowych.
3. Na podstawie widm w podczerwieni można analizować zmiany zawartości wody w masach, co znajduje swoje odbicie w gwałtownym spadku wytrzymałości masy.
4. Metoda spektroskopii w podczerwieni daje szerokie możliwości badawcze w zakresie odlewnictwa, w tym również w badaniach mas formierskich i ich poszczególnych składników.

Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R07 012 02 realizowanego w latach 2007-2009.

---

**5. Literatura:**

- [1] J. L. Lewandowski: Masy formierskie i rdzeniowe. Warszawa 1991, Wydawnictwo Naukowe PWN
- [2] J. Dańko, R. Dańko, M. Łucarz: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2007
- [3] J. Madejová, H. Pálková, P. Komadel: *Vibrational Spectroscopy* 40 (2006) 80-88
- [4] J. Madejová: *Vibrational Spectroscopy* 31 (2003) 1-10
- [5] C. Paluszkiewicz, M. Holtzer, A. Bobrowski: FTIR analysis of bentonite in moulding sands, *Journal of Molecular Structure*, 2008 (w druku) ([www.elsevier.com/locate/molstructure](http://www.elsevier.com/locate/molstructure))



# ROZWIĄZANIA TECHNICZNE UKŁADÓW DO POMIARU CIŚNIENIA W SYSTEMACH FORMOWANIA PODCIŚNIENIOWEGO

Marcin ŚLAZYK<sup>1</sup>  
Eugeniusz ZIÓLKOWSKI<sup>2</sup>  
Krzysztof SMYKSY<sup>3</sup>

## 1. Wprowadzenie

W badaniach procesów wykonywania form odlewniczych metodami pneumatycznymi stosowane są różnorodne techniki pomiarowe. Służą one głównie do oceny efektów zagęszczania masy w skrzynkach formierskich. Do najważniejszych zalicza się pomiary twardości formy i gęstości masy. Są to metody bezpośrednie dające wynik po zakończonym procesie formowania. Pośrednio, pracę maszyny formierskiej można ocenić realizując pomiar ciśnienia w odpowiednich przestrzeniach technologicznych. W systemy pomiaru ciśnienia powszechnie wyposażane są współczesne formierki strumieniowe (np. impulsowo- prasujące maszyny serii FT, firmy Technical).

W badaniach procesu formowania podciśnieniowego celowy jest pomiar ciśnienia w okresie przed zagęszczeniem i w trakcie zagęszczania masy. Jest to metoda rejestracji zmian ciśnienia w funkcji czasu trwania procesu zagęszczania. Wielkościami mierzonymi w tej metodzie są: czas trwania procesu oraz wartość podciśnienia. Z badań przeprowadzonych przez Autorów publikacji wynika że najkorzystniejsze są wartości w zakresie 0,02 – 0,04 MPa ciśnienia absolutnego. Wartości te są w większości przypadków wystarczające do przeprowadzenia wstępnego etapu zagęszczenia masy formierskiej. Zmniejszanie wartości ciśnienia nie prowadzi do istotnej poprawy efektów technologicznych, natomiast zwiększa się wyraźnie energochłonność procesu.

Aktualnie na rynku dostępne są nowoczesne przetworniki ciśnienia, które mogą być zastosowane w układach pomiarowych formierek podciśnieniowych. Ich zadaniem jest przekształcanie oddziaływania ciśnienia powietrza na układ mechaniczny przetwornika na sygnał elektryczny. Sygnał ten może być rejestrowany przez rejestratory lub karty pomiarowe w pamięci komputera. Otrzymane w ten sposób wyniki pomiarów poddawane są analizie, co w konsekwencji umożliwia ocenę procesu formowania. Ponadto wyniki badań w tej postaci mogą być podstawą do optymalizacji procesu formowania. Intencją Autorów jest przedstawienie aktualnie dostępnych przetworników i możliwości ich zastosowania w najbardziej korzystnych rozwiązaniach.

## 2. Przetworniki ciśnienia

Czujniki ciśnienia są przeznaczone do pomiaru ciśnienia bezwzględnego (odniesionego do próżni absolutnej), ciśnienia względnego, porównanego do ciśnienia odniesienia (zwykle atmosferycznego) oraz różnicy wartości ciśnienia na dwóch wejściach pomiarowych.

Oferta przetworników ciśnienia jest bardzo bogata. W kraju przetworniki ciśnienia oferują firmy : Honeywell, Danfoss, Freescale Semiconductor, Fujikura, Vega, Introl i

<sup>1</sup> mgr inż., AGH – Kraków, mslazyk@agh.edu.pl

<sup>2</sup> dr. inż., AGH – Kraków, ez@agh.edu.pl

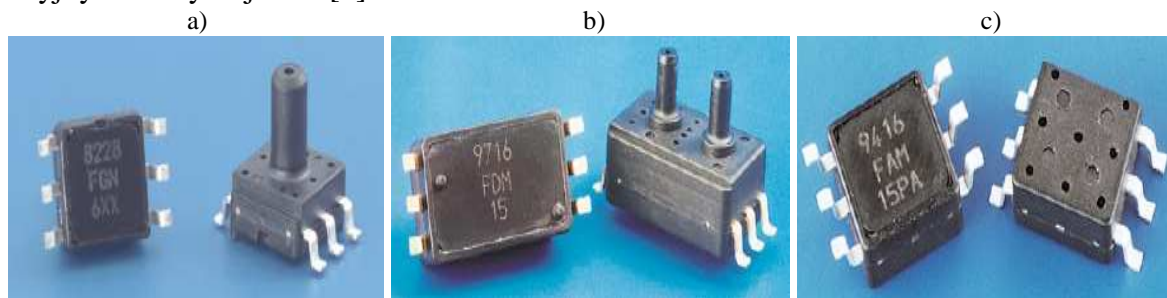
<sup>3</sup> dr inż., AGH – Kraków, ksmysy@agh.edu.pl

wiele innych. Stosowane są między innymi czujniki piezorezystancyjne, piezokwarcowe czy pojemnościowe. Wybór wersji jest uzależniony, między innymi, od rodzaju medium, którego ciśnienie jest mierzone. Do pomiaru ciśnienia powietrza zastosowanie czujników piezorezystancyjnych jest bardziej opłacalne.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi przetworniki ciśnienia są:

- rodzaj pomiaru (ciśnienie absolutne, względne, różnica ciśnień),
- zakres wartości ciśnienia,
- dopuszczalne ciśnienie przeciążenia,
- zakres wartości temperatury pracy,
- rodzaj medium, którego ciśnienie ma być mierzone,
- dokładność pomiaru z uwzględnieniem histerezy,
- sygnał wyjściowy,
- właściwości dynamiczne ,
- rodzaj przyłączy,
- inne.

Na rysunku 1 przedstawiono przykłady czujników krzemowych piezorezystancyjnych firmy Fujikura [3].








Rys. 1. Przykłady czujników krzemowych piezorezystancyjnych firmy Fujikura [4]: a) do pomiaru ciśnienia względnego serii FGN, b) do pomiaru różnicy ciśnień serii FDM, c) do pomiaru ciśnienia absolutnego serii FAM

Przetworniki ciśnienia względnego lub absolutnego wielu producentów, w poszczególnych zakresach pomiarowych, niewiele się różnią wyglądem zewnętrznym, oprócz oczywiście oznaczeń firmowych. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę wybranych przetworników ciśnienia względnego różnych firm.

Czujniki ciśnienia posiadają różne wersje sygnałów wyjściowych. Najczęściej są to wyjścia napięciowe (o różnym zakresie) albo wyjścia prądowe 0..20 mA lub 4..20 mA. Rodzaj sygnału wyjściowego determinuje budowę obwodów wejściowych układu rejestracji.

Tabela 1. Zestawienie przetworników ciśnienia różnych producentów,

			
Nazwa przetwornika	<b>INTROBAR 20</b>	<b>Vegabar 14</b>	<b>S-10</b>

Rodzaj czujnika	piezoelektryczny	ceramiczny pojemnościowy	piezoelektryczny
Zakres ciśnienia [bar]	4	0,1	0,1
Dopuszczalne przeciążenie [bar]	8	15	2
Rodzaj pomiaru	ciśnienie względne	ciśnienie względne, absolutne (0/1 do 0/16 bar)	ciśnienie względne, absolutne (0/0,25 do 0/16 bar)
Zasilanie UB	8 < UB < 28 V DC	12 < UB ≤ 30 V DC	10 < UB < 30
Rodzaj przyłączy	G1/4	G1/2	G1/2
			
Nazwa przetwornika	<b>Vegabar 17</b>	<b>MB 32</b>	ML 50
Rodzaj czujnika	piezorezystancyjny	piezoelektryczny	piezoelektryczny
Zakres ciśnienia [bar]	1	1	6
Dopuszczalne przeciążenie [bar]	5	6	12
Rodzaj pomiaru	ciśnienie względne, absolutne (0/0,25 do 0/16 bar)	ciśnienie względne, absolutne	ciśnienie względne, absolutne
Zasilanie UB	11 < UB ≤ 30 V DC	10 < UB < 30 V DC	5V
Rodzaj przyłączy	G1/2	G1/2	G1/2

Bardzo użyteczną funkcją przetworników w zastosowaniach przemysłowych oraz laboratoryjnych jest możliwość wyświetlania bieżącej wartości ciśnienia. W tym zakresie oferowanych jest wiele rozwiązań: od zintegrowanych w jednej obudowie przetwornika i wyświetlacza po układy modułowe. Przykładowe rozwiązania przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Przetworniki ciśnienia firmy Kobold [8]: a) przetwornik ciśnienia PDA z wyświetlaczem cyfrowym, b) przetwornik ciśnienia serii SEN z wyświetlaczem wtyczkowym typu AUF

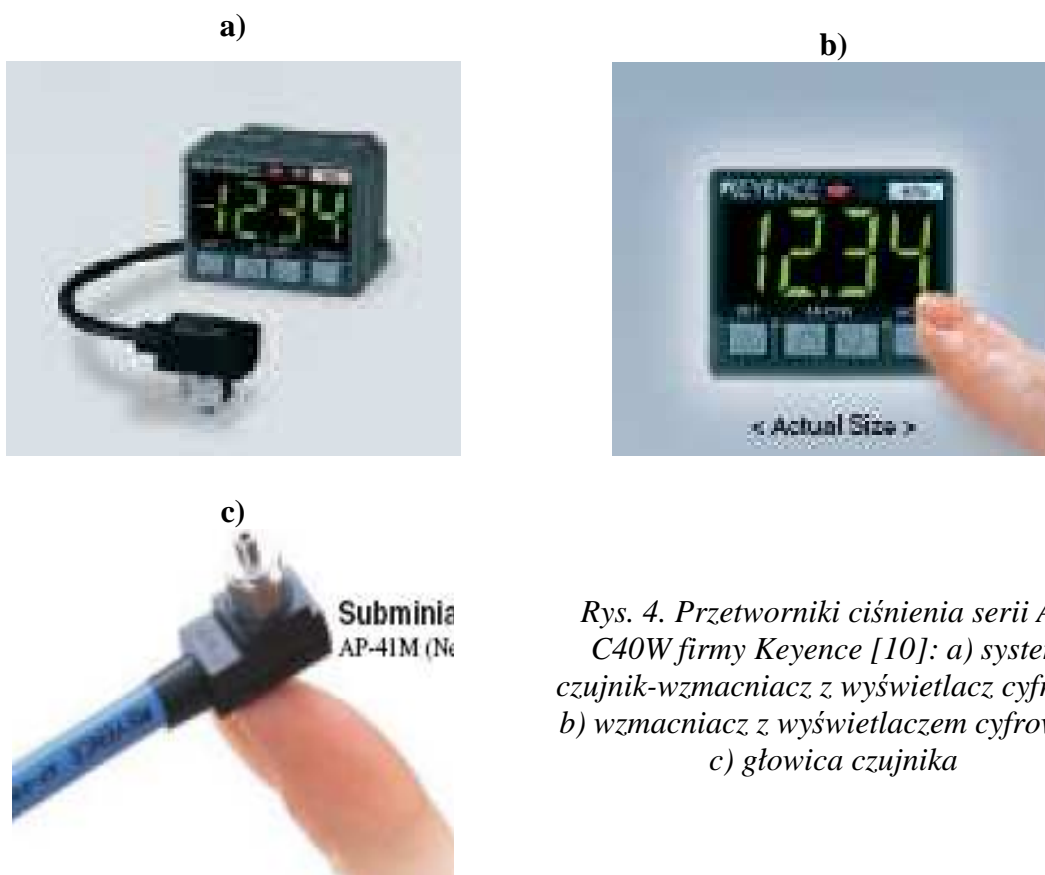
W rozwiązaniach maszyn formierskich korzystna dla szybkiej oceny nastawionych parametrów maszyny jest współpraca przetworników ciśnienia z miernikiem cyfrowym z bargrafem- rys. 3.



Rys. 3. Mierniki cyfrowe z bargrafem serii NA1 i NA2, firmy LUMEL, Zielona Góra [9]

Rozwiązanie takie zastosowano w formierkach impulsowo- prasujących firmy Technical, Nowa Sól [7]

Miniaturyzacja przetworników ciśnienia- rys.4, jest zgodna z ogólnym kierunkiem w budowie aparatury elektronicznej.



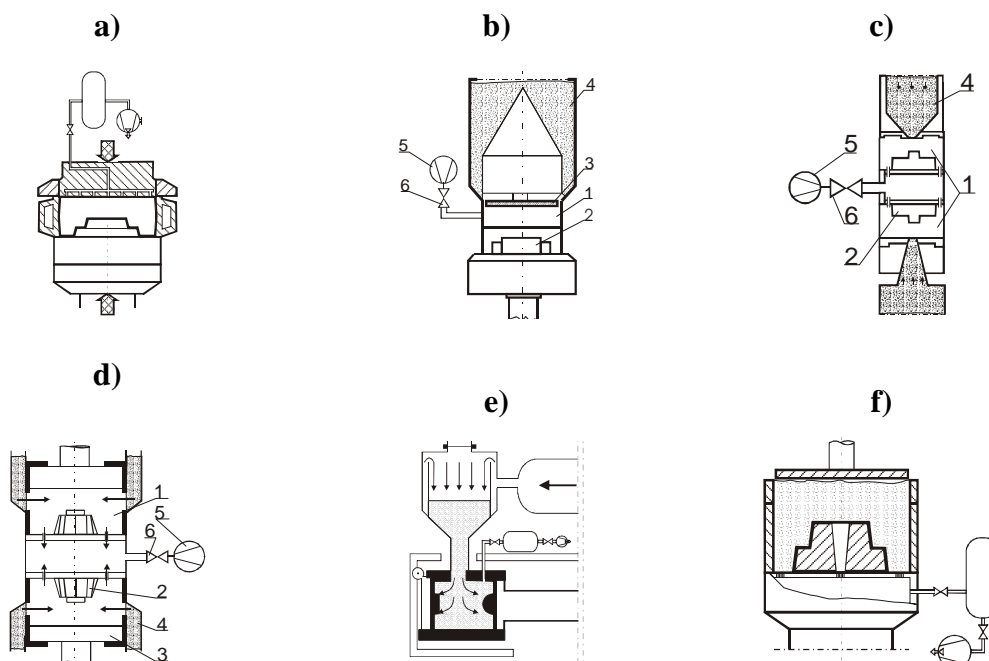
Rys. 4. Przetworniki ciśnienia serii AP-C40W firmy Keyence [10]: a) system: czujnik-wzmacniacz z wyświetlaczem cyfrowym, b) wzmacniacz z wyświetlaczem cyfrowym, c) głowica czujnika

### 3. Zastosowanie przetworników ciśnienia w formierkach podciśnieniowych

W dobie powszechnej automatyzacji procesów odlewniczych, producenci maszyn formierskich stosują w swoich wyrobach przetworniki ciśnienia umożliwiające ciągły pomiar i rejestrację komputerową przebiegu procesu. Dzięki temu zapewniona jest pełna kontrola nad przebiegiem procesu formowania oraz dobór odpowiednich parametrów pracy maszyny. Na rysunku 1 przedstawiono uproszczone schematy maszyn formierskich wykorzystujących podciśnienie powietrza w procesie formowania [2].

Po przeanalizowaniu dostępnych materiałów dotyczących doboru parametrów procesu formowania podciśnieniowego takich jak wielkość podciśnienia, jego wpływ na uzyskane efekty formowania oraz budowy instalacji podciśnieniowej Autorzy postanowili przeprowadzić serię badań na modelowym stanowisku formowania wykorzystującego podciśnienie jako wstępny etap formowania wg schematu f na rysunku 5.

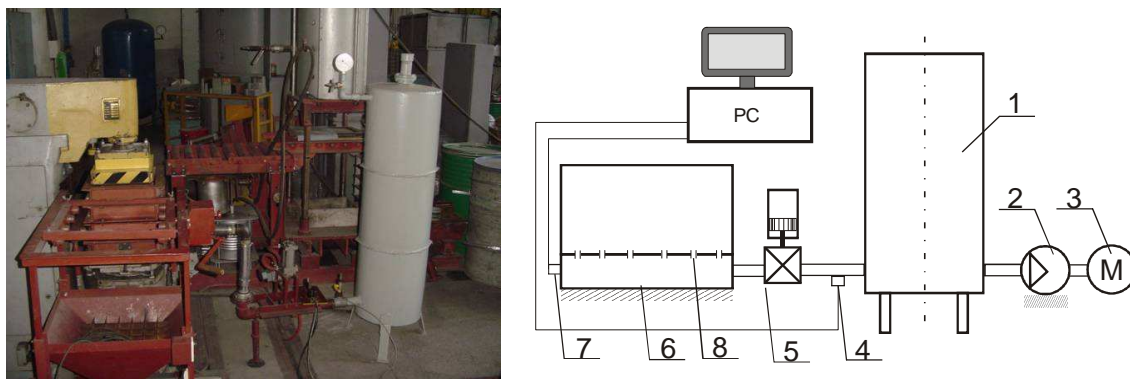
Na rysunku 6 przedstawiono widok i schemat stanowiska do badania przebiegu procesu formowania podciśnieniowego. Układ był wyposażony w piezorezystancyjne czujniki ciśnienia, które rejestrowały jego zmiany podczas procesu. Czujniki te zostały umieszczone odpowiednio nad warstwą masy formierskiej, oraz pod płytą modelową. Dodatkowo czujniki były zamontowane za zaworem elektromagnetycznym oraz w zbiorniku podciśnieniowym. W tym układzie realizowano pomiary ciśnienia za pomocą mikroprocesorowego systemu pomiarowego, opracowanego w Pracowni Projektowania, Mechanizacji i Automatyk Odlewni.



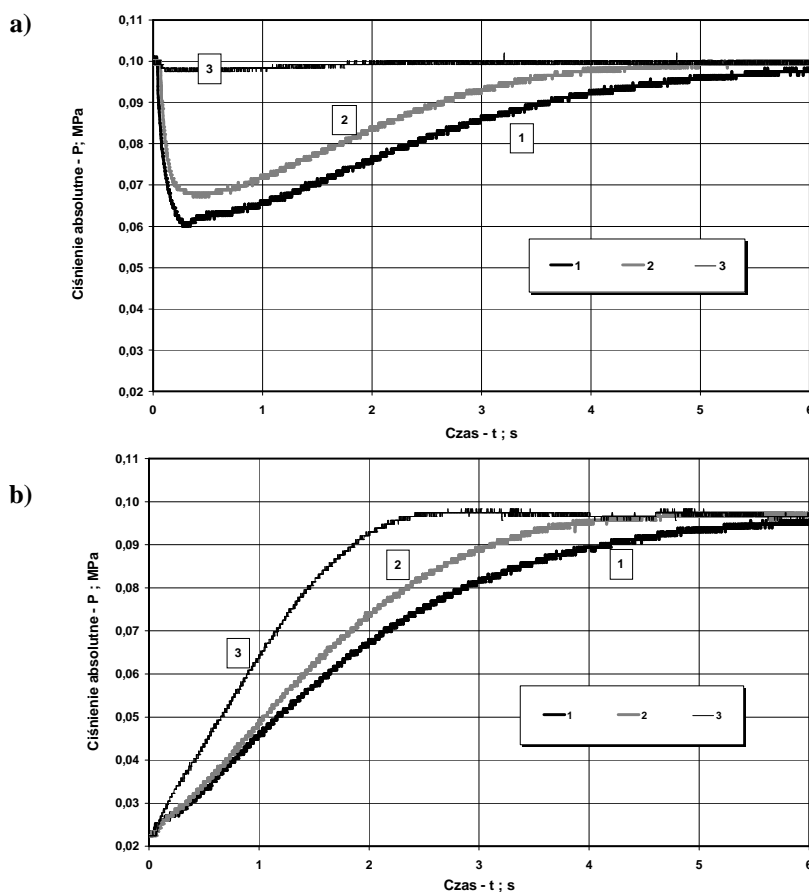
Rys. 5. Uproszczone schematy maszyn wykorzystujących podciśnienie w procesie formowania:

- a), b) warianty Vacupress firmy Künkel Wagner; c) Disa Forma; d) Haflinger;  
e) Disa (przykładowa modyfikacja); f) wariant procesu realizowany przez autorów: 1 - przestrzeń technologiczna, 2 - płyta modelowa, 3 - płyta prasująca z modelem, 4 - zasobnik masy formierskiej, 5 - instalacja podciśnieniowa, 6 - zawór

Uzyskane wyniki po obróbce komputerowej przedstawiono na rysunku 7. Są to przykładowe przebiegi zmian ciśnienia absolutnego w przestrzeni pod płytą modelową.



Rys. 6. Widok i schemat stanowiska do badań procesu formowania podciśnieniowego na bazie formierki FKT 54 [2]; 1 - zbiornik podciśnieniowy, 2 i 3 - pompa próżniowa z napędem, 4 i 7 - czujniki ciśnienia, 5 - zawór, 6 - skrzynka formierska z nadstawką, 8 - korki odpowietrzające



Rys. 7. Przebiegi czasowe ciśnienia absolutnego  $P$  w przestrzeni pod płytą modelową-a), w zbiorniku próżniowym -b), w trakcie realizacji różnych wariantów procesu [2]; 1 - zagęszczanie podciśnieniowe z równoczesnym prasowaniem, 2 - zagęszczanie podciśnieniowe, 3 - proces przepływu powietrza przy pustej przestrzeni technologicznej

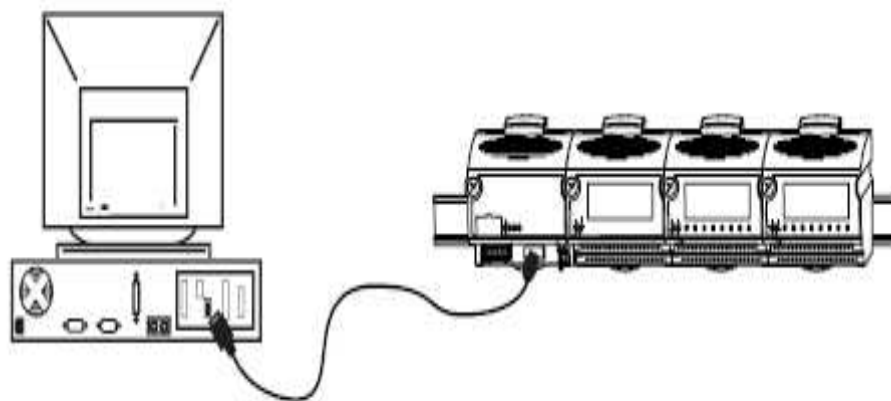
Zmiany ciśnienia, zmierzone w trakcie badania procesu formowania podciśnieniowego, uzasadniają przeprowadzenie analizy możliwych wariantów układu pomiaru tego ciśnienia.

#### 4. Przykładowe rozwiązania układów rejestracji pomiarów ciśnienia

Analiza przykładowych wykresów zmian wartości ciśnienia podczas procesu formowania podciśnieniowego wskazuje, że deklarowane przez wielu producentów przetworników czasy odpowiedzi rzędu 2 ms są wystarczające. Układy rejestracji wyników umożliwiające odczytanie, zapamiętanie i ewentualnie przesłanie do komputera 1000 pomiarów na sekundę również będą odpowiednie w systemach pomiaru formierki podciśnieniowej. Jeżeli układ rejestratora ma posiadać kilka kanałów pomiarowych (dla kilku przetworników) to należy przeprowadzić odpowiednio dodatkowo analizę szybkości transmisji danych.

W Katedrze Inżynierii Procesów Odlewniczych planuje się wykonanie układu pomiarowego bazującego na modułach do akwizycji danych FieldPoint firmy National Instruments [5]. Na rysunku 8 pokazano schemat połączenia komputera z szyną, na której zainstalowane są moduły FieldPoint [5]. Komunikację komputera z modułami pomiarowymi i sterującymi (analogowymi i cyfrowymi) zapewnia moduł FP-1000. Transmisja odbywa się zgodnie ze standardem RS232. Modułem pomiarowym jest moduł FP-AI-110. Umożliwia on pomiar 8 wielkości analogowych z rozdzielczością 16 bitów. Wielkościami wejściowymi mogą być napięcia dodatnie lub symetryczne (0÷1 V, 0÷5 V, 0÷10 V, ±60 mV, ±300 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V) albo prąd w zakresach 0÷20 mA, 4÷20 mA lub ±20 mA. Oba wyżej wymienione moduły (FP-1000 i FP-AI-110) wraz z odpowiednim zasilaczem i okablowaniem mogą stanowić cały układ pomiaru i transmisji danych do komputera. Akwizycję danych można realizować za pomocą programu producenta, odpowiednich bibliotek LABVIEW, albo za pomocą programu komputerowego, wykorzystującego biblioteki DLL, dołączone na płycie CD do zakupionych modułów FieldPoint.

Zastosowanie komputera z modułami FieldPoint może być doskonałym rozwiązaniem w ramach badań laboratoryjnych, na przykład na stanowisku przedstawionym na rysunku 6. Jednak w przypadku realizacji badań w warunkach przemysłowych, może być mało praktyczne, z uwagi na konieczność umieszczenia komputera w pobliżu maszyny formierskiej. Dlatego planuje się także, po zebraniu odpowiednich doświadczeń z modułami FieldPoint, opracowanie i wykonanie wielokanałowego rejestratora pomiaru ciśnienia. Pracę tego rejestratora będzie nadzorował mikroprocesor (ATMEGA128 - 8-bitowy mikroprocesor AVR firmy ATMEL). Procesor ten umożliwi 8-kanałowy pomiar wielkości analogowych z 10-bitową rozdzielczością. W układzie planuje się zastosowanie wymiennej pamięci typu SD, na której zapisywane będą wyniki pomiarów. Takie rozwiązanie pozwala na szybką wymianę kart pamięci, a następnie ich odczyt w dowolnym komputerze, wyposażonym w odpowiedni czytnik.



Rys. 8. Uproszczony schemat połączenia komputera z modułami FieldPoint [5]

Jeżeli pomiar z rozdzielczością 10-bitową okaże się nie wystarczający, to istnieje możliwość opracowania systemu rejestracji na bazie mikroprocesora ADuC7128 lub ADuC7129 firmy Analog Devices [6], które zawierają 10 lub 12 kanałów pomiarowych o rozdzielczości 12-bitów. Firma Analog Devices posiada w swojej ofercie również mikroprocesory z przetwornikami analogowo-cyfrowymi o rozdzielczości 16 i 24 bity. Mikroprocesorowy system rejestracji pomiarów ciśnienia w procesie formowania podciśnieniowego może być bardzo wygodnym i sprawnym narzędziem do zastosowania w warunkach zapylenia w otoczeniu maszyn formierskich. Odpowiednio skonstruowane oprogramowanie samego rejestratora, jak i komputera wykorzystującego wyniki pomiarów zebrane na kartach pamięci, może znacznie zwiększyć efektywność przeprowadzanych analiz przebiegu procesu formowania.

## 5. Podsumowanie

Pomiar ciśnienia w przestrzeniach technologicznych maszyny, realizującej proces formowania podciśnieniowego może dostarczyć istotnych informacji o przebiegu procesu. Do realizacji pomiaru ciśnienia w jednym lub kilku punktach konieczne jest przeprowadzenie analizy charakterystyk technicznych przetworników oraz zaplanowanie i wykonanie systemu rejestracji dużej liczby wyników pomiarów. Przedstawione w artykule założenia oraz koncepcje wykonania takiego systemu pomiarowego zostaną zweryfikowane w kolejnych etapach realizowanej pracy badawczej.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2008 jako projekt badawczy nr 18.18.170.310*

## 6. Literatura

1. Ślęzyk M., Smyksy K., Chrobot E.: Wizualizacja procesu formowania podciśnieniowego. IX Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2006, Nowa Sól 2006, str. 83-92
2. Ślęzyk M., Smyksy K.: Podstawowe parametry procesu podciśnieniowego. Archiwum Odlewnictwa, 2006 R. 6 nr 18 (2/2) s. 489-494
3. [www.wobit.pl](http://www.wobit.pl)
4. Strony internetowe wybranych producentów czujników ciśnień: <http://sensing.honeywell.com>, [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com), [www.freescale.com](http://www.freescale.com), [www.fujikura.com](http://www.fujikura.com), [www.vega.com](http://www.vega.com), [www.introl.pl](http://www.introl.pl)
5. [www.ni.com](http://www.ni.com)
6. [www.analog.com](http://www.analog.com)
7. Bojanowski W., Maj B.: Sterowanie stacji przerobu mas formierskich i innych linii technologicznych w odlewnictwie. Materiały II Konferencji Odlewniczej TECHNICAL `99, Nowa Sól 1999, s.67-74
8. [www.kobold.com](http://www.kobold.com)
9. [www.lumel.com.pl](http://www.lumel.com.pl)
10. [www.keyence.com](http://www.keyence.com)



## WYBRANE BADANIA SYMULACYJNE PROCESU IMPULSOWEGO ZAGĘSZCZANIA MAS FORMIERSKICH

Tadeusz MIKULCZYŃSKI<sup>1</sup>

Marian BOGDAN<sup>2</sup>

Stanisław FITA<sup>3</sup>

Sergiusz CISKOWSKI<sup>4</sup>

Łukasz DWORZAK<sup>5</sup>

W pracy zaprezentowano wybrane wyniki badań symulacyjnych przestrzennego modelu matematycznego impulsowego zagęszczania mas formierskich. Przestrzenny model matematyczny opracowany został w oparciu o opis matematyczny głowicy do impulsowego zagęszczania oraz model matematyczny deformacji i zagęszczania mas formierskich. Na podstawie przedstawionych wyników badań symulacyjnych można określić wpływ wybranych parametrów procesu impulsowego zagęszczania na jego efektywność, co potwierdza, iż zaproponowany przez autorów przestrzenny model matematyczny może być stosowany do projektowania i optymalizacji procesu impulsowego zagęszczania.

### 1. Wstęp

Odlewanie w formach wykonywanych z klasycznych mas formierskich jest wciąż podstawową technologią stosowaną do wytwarzania odlewów. Najkorzystniejsze efekty zagęszczania klasycznych, bentonitowych mas formierskich uzyskuje się stosując metody dynamicznego zagęszczania: impulsową oraz prasowanie płytą. Jednakże złożoność zjawisk zachodzących podczas dynamicznego zagęszczania mas formierskich sprawia, iż wyjaśnienie i matematyczne opisanie mechanizmu tego procesu jest niezwykle trudne. W Laboratorium Podstaw Automatyzacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej prace dotyczące modelowania matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich, badań symulacyjnych i eksperymentalnych są prowadzone od wielu lat. Efektem tych prac jest pełne wyjaśnienie mechanizmu procesu impulsowego zagęszczania [1–3]. Opracowany model może być stosowany do projektowania i optymalizacji procesu impulsowego zagęszczania.

W niniejszej pracy przedstawione zostaną wybrane wyniki badań symulacyjnych przestrzennego modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich. Podstawę do opracowania tego modelu stanowił:

- opis matematyczny głowicy do impulsowego zagęszczania
- opis matematyczny procesu deformacji i zagęszczania masy formierskiej, sformułowany na bazie modelu reologicznego masy

### 2. Model matematyczny procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich

Do impulsowego zagęszczania mas formierskich można stosować głowicę z samoczynnym zaworem impulsowym, opracowaną w Laboratorium Podstaw

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż., Politechnika Wrocławska

<sup>2</sup> dr inż., Politechnika Wrocławska

<sup>3</sup> dr inż., Politechnika Wrocławska

<sup>4</sup> mgr inż., Politechnika Wrocławska

<sup>5</sup> mgr inż., Politechnika Wrocławska

Automatyzacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Model matematyczny oraz dynamikę głowicy opisano w pracach [4].

Proces deformacji i zagęszczania masy formierskiej można sformułować na podstawie znajomości lepko – sprężystego modelu reologicznego masy [5].

Uwzględniając model dynamiki głowicy impulsowej oraz model reologiczny masy formierskiej, proces impulsowego zagęszczania (rys. 1) można opisać następującym układem równań różniczkowych:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_C(x) \cdot (x_1 - x_2) = p_1 \cdot F_1 + m_1 \cdot g \tag{1}$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_C(x) \cdot (x_2 - x_1) + k_C(x) \cdot (x_2 - x_3) = m_2 \cdot g \tag{2}$$

⋮

$$m_i \cdot \ddot{x}_i + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}) + k_C(x) \cdot (x_i - x_{i-1}) + k_C(x) \cdot (x_i - x_{i+1}) = m_i \cdot g \tag{3}$$

⋮

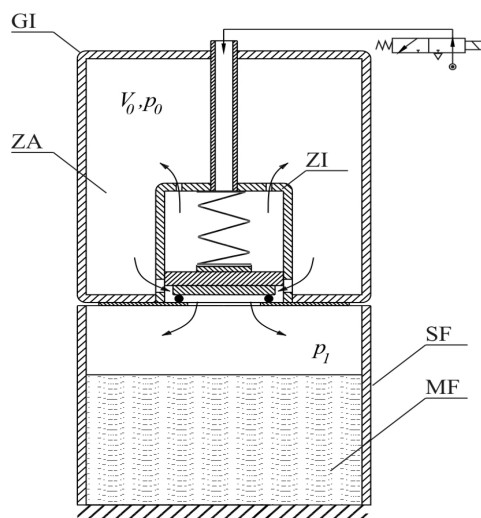
$$m_n \cdot \ddot{x}_n + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_n - x_{n-1}) + k_T(\dot{x}) \cdot \dot{x}_n + k_C(x) \cdot (x_n - x_{n-1}) + k_C(x) \cdot x_n = m_n \cdot g \tag{4}$$

$$p_{C_i}(\delta) = \frac{k_C(x) \cdot (x_i(t) - x_{i+1}(t)) + k_T(\dot{x}) \cdot (\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t))}{F_1} + p_{U_i}(\delta) \tag{5}$$

w którym:  $m_i$  – masa i-tej warstwy,  $x_i$  – współrzędna położenia i-tej warstwy masy formierskiej,  $p_1$  – ciśnienie w przestrzeni technologicznej nad masą formierską,  $F_1$  – powierzchnia przekroju poprzecznego skrzynki formierskiej,  $p_{C_i}$  – nacisk całkowity w i-tej warstwie masy formierskiej,  $p_{U_i}$  – nacisk w i-tej warstwie, będący efektem zagęszczania masy formierskiej.

Poszczególne równania (1) – (5) opisują:

- równania (1) – (4) opisują proces deformacji w masie formierskiej odpowiednio w: 1, 2, i-tej, n-tej warstwie,
- równanie (5) opisuje zmianę nacisków w i-tej warstwie masy formierskiej w funkcji czasu.



Rys. 1. Schemat procesu impulsowego zagęszczania masy formierskiej:  
 GI – głowica impulsowa, ZA – zbiornik akumulacyjny, ZR – zawór rozdzielający,  
 ZI – samoczynny zawór impulsowy, SF – skrzynka formierska, MF – masa formierska  
 $V_0$  – objętość zbiornika akumulacyjnego,  $p_0$ ,  $p_1$  – ciśnienia odpowiednio w: zbiorniku akumulacyjnym, przestrzeni nad masą formierską

### 3. Badań symulacyjne procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich

Do osiągnięcia optymalnych efektów procesu impulsowego zagęszczenia określonego rodzaju masy formierskiej konieczny jest odpowiedni dobór parametrów konstrukcyjnych i warunków pracy głowicy impulsowej w zależności od objętości skrzynki formierskiej (wysokości  $H_0$  i średnicy  $d_0$ ) oraz stopnia jej wypełnienia masą formierską.

Do podstawowych parametrów głowicy impulsowej, decydujących o jej osiąгах i skuteczności procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich, należy zaliczyć przede wszystkim wymiary gabarytowe, w tym objętość zbiornika akumulacyjnego  $V_0$  oraz ciśnienie początkowe sprężonego powietrza  $p_0$  w zbiorniku akumulacyjnym.

Zmiana tych parametrów w znaczący sposób wpływa na szybkość narastania ciśnienia  $p_1$  w przestrzeni technologicznej nad masą formierską, a w konsekwencji na sam przebieg procesu impulsowego zagęszczenia.

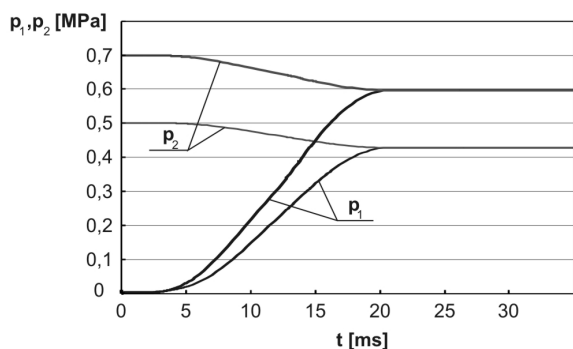
Efektywność procesu impulsowego zagęszczenia ocenić można na podstawie zamian nacisków prasujących  $p_{ci}$  oraz, co ważniejsze, nacisków będących wynikiem zagęszczenia masy pui mierzonych w różnych warstwach masy formierskiej.

Optymalne parametry konstrukcyjne głowicy impulsowej można wyznaczyć na podstawie badań symulacyjnych przestrzennego modelu matematycznego procesu impulsowego zagęszczenia mas formierskich, zaproponowanego przez autorów.

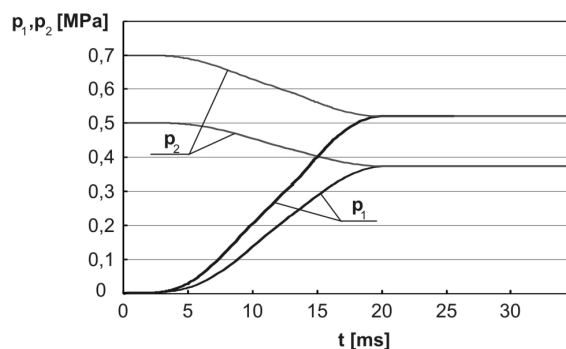
Poniżej zilustrowano wyniki badań symulacyjnych opracowanego przestrzennego modelu matematycznego, zrealizowane w środowisku Matlab – Simulink.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badań dynamiki głowicy impulsowej. Pokazano zależności zmian ciśnień w zbiorniku akumulacyjnym  $p_2$  i przestrzeni technologicznej  $p_1$  dla wybranych wartości ciśnienia początkowego sprężonego powietrza  $p_0$  i objętości zbiornika akumulacyjnego  $V_0$  dla skrzynki formierskiej o wysokości  $H_0 = 0,35\text{m}$  i średnicy  $d_0 = 0,215\text{m}$ .

a)



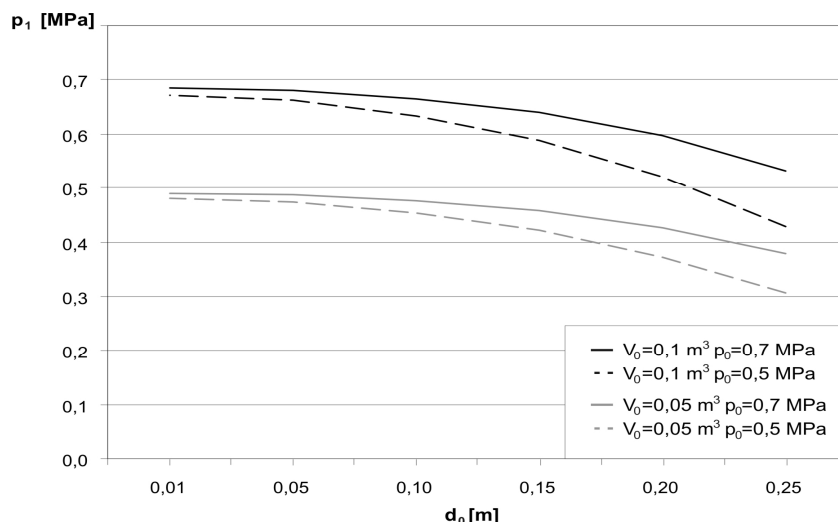
b)



Rys. 2. Zależności zmian ciśnień w funkcji czasu:  $p_1$  przestrzeni technologicznej i  $p_2$  w zbiorniku akumulacyjnym w zależności od ciśnienia początkowego sprężonego powietrza

$p_0 = 0,5 - 0,7\text{MPa}$  i objętości zbiornika akumulacyjnego,  $V_0 = 0,05\text{m}^3$  (a)  $V_0 = 1\text{m}^3$  (b).

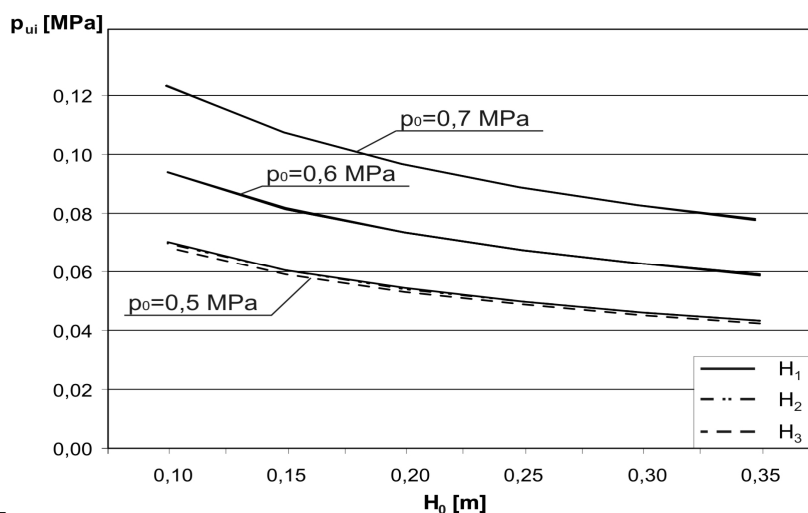
Na rysunku 3 zaprezentowano wpływ wartości ciśnienia początkowego sprężonego powietrza  $p_0$  i objętości  $V_0$  zbiornika akumulacyjnego na charakter zmian ciśnienia  $p_1$  w pustej skrzynce formierskiej w zależności od średnicy  $d_0$  skrzynki.



Rys. 3. Wpływ średnicy  $d_0$  na wartość ciśnienia  $p_1$  w skrzynce formierskiej.

Na podstawie analizy zależności pokazanych na rys. 3 łatwo stwierdzić, że wraz ze zwiększaniem średnicy skrzynki formierskiej, maleje wartość ciśnienia w pustej skrzynce formierskiej. Natomiast, zwiększenie objętości zbiornika akumulacyjnego z 0,05m<sup>3</sup> do 0,1m<sup>3</sup> powoduje stosunkowo niewielki wzrost ciśnienia w pustej skrzynce formierskiej. O wiele efektywniejsze, z punktu widzenia dynamiki procesu, jest zwiększanie ciśnienia początkowego sprężonego powietrza w zbiorniku akumulacyjnym.

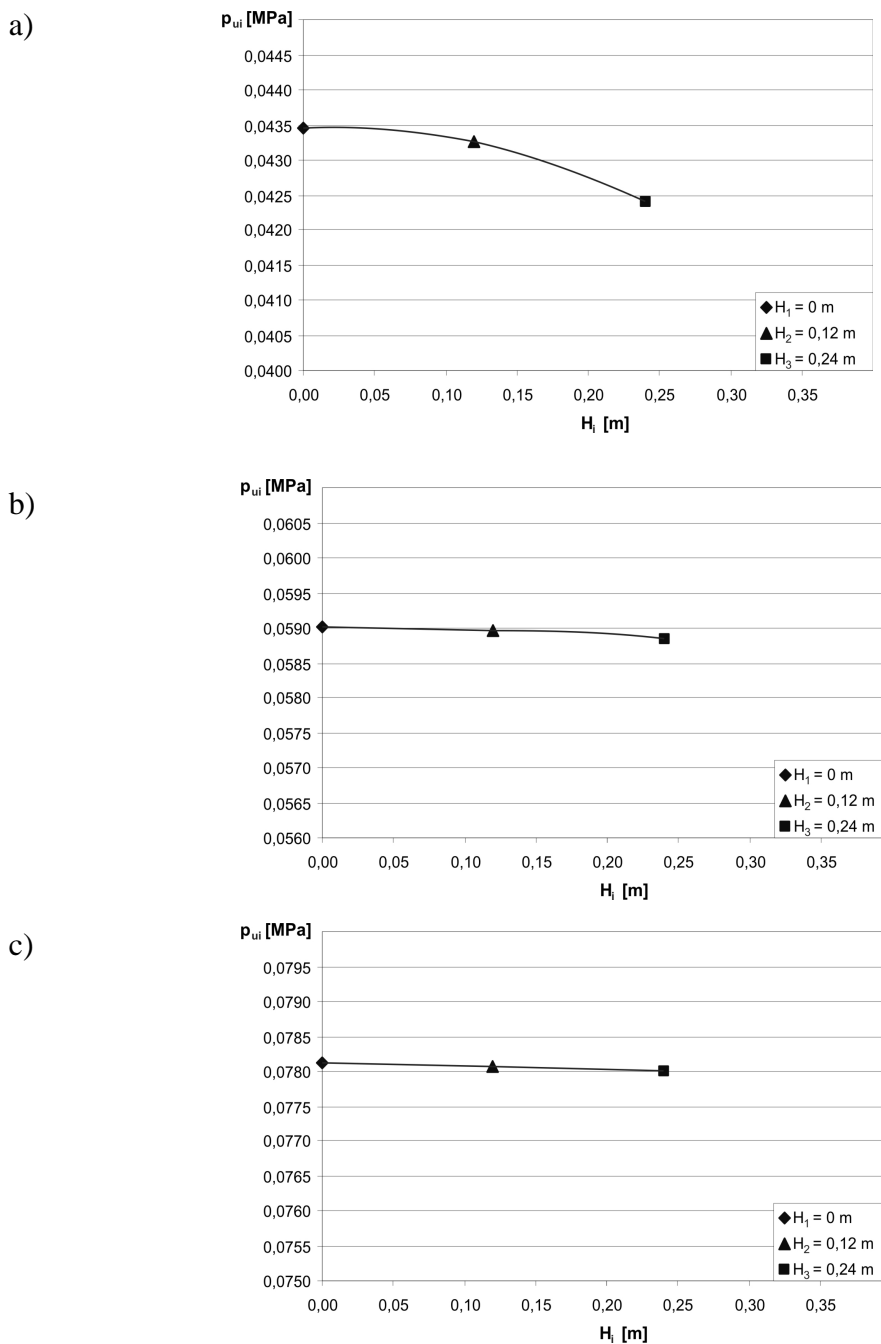
Na rysunku 4 pokazano zależności zmian nacisku  $p_{ui}$  będącego wynikiem zagęszczenia masy w funkcji wysokości  $H_0$  skrzynki formierskiej, w pełni wypełnionej masą formierską. Badania symulacyjne przeprowadzono dla różnych wartości ciśnień  $p_0$  dzieląc słup masy na trzy równe części.



Rys. 4. Zależności zmian nacisku  $p_{ui}$  będącego wynikiem zagęszczenia masy w funkcji wysokości  $H_0$  skrzynki formierskiej dla ciśnień początkowych sprężonego powietrza  $p_0=0,5-0,6-0,7 \text{ MPa}$  w zbiorniku akumulacyjnym głowicy impulsowej.

Przedstawione na rys. 4 wyniki badań symulacyjnych pokazują, iż wartości nacisków  $p_{ui}$  będących wynikiem zagęszczenia masy, odpowiadające trzem poziomom zagęszczanego słupa masy, nieznacznie różnią się między sobą. Świadczy to o dużej jednorodności stopnia zagęszczenia masy w formie.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, obrazujące rozkład wartości nacisku  $p_{ui}$  będącego wynikiem zagęszczenia masy na różnych wysokościach słupa masy formierskiej, wykonane dla skrzynki formierskiej o wysokości  $H_0=0,35\text{m}$  i średnicy  $d_0=0,215\text{m}$ .



Rys. 5. Rozkład wartości nacisku  $p_{ui}$  w funkcji wysokości słupa masy formierskiej dla trzech wartości ciśnienia początkowego sprężonego powietrza:  $p_0=0,5$  (a);  $p_0=0,6$  (b);  $p_0=0,7\text{MPa}$  (c).

#### 4. Zakończenie

W pracy przedstawiono przestrzenny model matematyczny w pełni opisujący proces impulsowego zagęszczania mas formierskich, sformułowany w oparciu o opis matematyczny głowicy do impulsowego zagęszczania oraz model matematyczny procesu deformacji masy formierskiej.

Opracowany przestrzenny model matematyczny impulsowego zagęszczania mas formierskich umożliwił uzyskanie wyników badań symulacyjnych efektów impulsowego zagęszczania masy w dowolnych objętościach zagęszczanych form.

Na podstawie zaprezentowanych przykładowych wyników badań symulacyjnych, pokazano wpływ istotnych, z punktu widzenia efektywności procesu impulsowego zagęszczania, parametrów takich jak: objętość skrzynki formierskiej (wysokość  $H_0$  i średnica  $d_0$ ), objętość zbiornika akumulacyjnego  $V_0$ , ciśnienie początkowe sprężonego powietrza  $p_0$  w zbiorniku akumulacyjnym oraz ciśnienie w przestrzeni technologicznej nad masą formierską  $p_1$ .

Przedstawione wyniki badań symulacyjnych potwierdzają, iż model ten może być stosowany do projektowania i optymalizacji procesu dynamicznego zagęszczania.

## 5. Literatura

- [1] M. Ganczarek, W. Kollek, T. Mikulczyński, D. Nowak, Modelowanie i badania symulacyjne procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich za pomocą szybkobieżnego napędu pneumatycznego, *Slevarenstvi*, Roc. 52, cis. 11/12, 2004
- [2] T. Mikulczyński, S. Ciskowski, M. Ganczarek, D. Nowak, Ł. Dworzak, Modelowanie własności reologicznych wybranych ośrodków rozdrobnionych, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 52, Issue 3/2007
- [3] S. Ciskowski, M. Ganczarek, T. Mikulczyński, Modelowanie matematyczne procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich, *Technological Engineering*, Roc. 4, nr 1, 2007
- [4] J. Barycki, T. Mikulczyński, D. Nowak, J. Nowicki, Wybrane zastosowania szybkobieżnego napędu pneumatycznego z samoczynnym zaworem impulsowym w odlewnictwie, *Pneumatyka* No. 4, 2005
- [5] M. Ganczarek, S. Ciskowski, T. Mikulczyński, Model 3D impulsowego zagęszczania mas formierskich, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 8, Issue 1/2008

# BADANIE WPLYWU INTENSYWNOŚCI ZABIEGÓW REGENERACJI MECHANICZNEJ NA STAN OSNOWY KWARCOWEJ

Łucarz MARIUSZ<sup>1</sup>

## 1. Wstęp

Głównym zadaniem procesu regeneracji jest odzyskanie osnowy ziarnowej z zużytych mas formierskich. Ponieważ ilościowo piasku kwarcowego zużywa się najwięcej, poszukuje się optymalnych warunków realizacji regeneracji, które zmierzają do odzyskania tego składnika w jak największej ilości i jak najlepszej jakości. To dążenie wynika z uwarunkowań ekonomicznych, ale także coraz częściej z przesłanek związanych z ochroną środowiska. Stosowane materiały wiążące charakteryzują się zróżnicowaną siłą spajającą ziarna, a to wymaga stosowania urządzeń charakteryzujących się odpowiednią intensywnością działania do danego spoiwa. Dodatkowo nieregularna budowa powierzchni naturalnych piasków odlewniczych tworzy trudne warunki oczyszczania. Procesy ścierania i ocierania dominujące w regeneracji mechanicznej suchej tworzą dobre warunki oczyszczania głównie wypukłych części powierzchni ziarn, powodując jednocześnie gromadzenie produktów ścierania w zagłębieniach oraz nierównościach powierzchni.

Dlatego celowe wydaje się sprawdzenie, dla różnych piasków kwarcowych, z jaką intensywności mogą być prowadzone zabiegi mechaniczne, prowadzące do ograniczenia ich zużycia, a tym samym zwiększenia odzysku osnowy i ochrony środowiska, przy jednoczesnym zapewnieniu prawidłowego stopnia uwolnienia osnowy z zużytego materiału wiążącego. Recykling mas zużytych balansuje bowiem na granicy korzyści (usunięcie materiału wiążącego z powierzchni ziarn) i strat (ścieranie lub kruszenie powierzchni ziarn), wynikających ze zjawiska zużycia osnowy.

## 2. Kierunek badań

W regeneratorsze mechanicznym odśrodkowym opisanym w innych publikacjach własnych[1 - 6] wykonano badanie odporności na zużycie ścierne i udarowe wybranych naturalnych składów granulometrycznych piasków odlewniczych. Kolejnym krokiem było sprawdzenie jak proces obróbki w regeneratorsze mechanicznym odśrodkowym wpływa na wyselekcjonowane pojedyncze frakcje.

Celem przeprowadzonych prób było sprawdzenie czy, i ewentualnie w jakim stopniu, używają się powszechnie stosowane piaski odlewnicze (składy naturalne i wyselekcjonowane pojedyncze frakcje) w określonym urządzeniu, w zależności od prędkości obrotowej (intensywności działania), jak również od rozwiązania konstrukcyjnego zastosowanej poboczniczy obwodowej.

Wykonano serie badań dla urządzenia z zainstalowaną poboczną udarową i bezudarową, w których dla pięciu prędkości obrotowych 0,5 kg porcje piasku przepuszczano 5 razy przez układ regeneratorsa z zainstalowanym jednym talerzem regeneratorsa.

Dla bardziej jednoznacznego określenia niszczenia poszczególnych frakcji i bardziej przejrzystej analizy badania w odśrodkowym regeneratorsze mechanicznym przeprowadzono na wyselekcjonowanych pojedynczych frakcjach ziarnowych zebranych na sitach 0,8 mm, 0,63 mm i 0,4 mm. Wybór tych frakcji był podyktowany masą cząstek,

<sup>1</sup> dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydz. Odlewnictwa, , eumar@agh.edu.pl

przyjęto bowiem założenie, że im większa masa ziarna, tym większe prawdopodobieństwo jego niszczenia w układzie pracy regeneratora. Segregacja była realizowana dwuetapowo. Najpierw na dużym przesiewaczu sitowym rozfrakcjonowano wstępnie wybrane frakcje. Tak otrzymany materiał w kolejnym kroku poddano dokładnemu przesiewaniu na zestawie laboratoryjnym do analizy sitowej. Przesiewano porcje ok. 50 g, aż do zebrania wybranych frakcji w ilości 0,4 kg potrzebnej do przeprowadzenia 1 cyklu badawczego. Dla każdego piasku przygotowano taką ilość próbek, aby dla 5 prędkości obrotowych regeneratora przeprowadzić badania.

Po obróbce mechanicznej wykonywano 4 analizy sitowe otrzymanego materiału, co pozwalało otrzymać dwa wyniki, które tworzyły średnią wartość prezentowaną w artykule. Efekty obróbki mechanicznej w regeneratorze oceniano w oparciu o ilość frakcji głównej  $F_g$ , lub średniej średnicy arytmetycznej  $d_a$ . Badania wykonano na materiałach (piaskach odlewniczych) pochodzących z dwóch różnych źródeł i oznaczono je odpowiednio: OK1 i OK2. Ich składy ziarnowe prezentuje tabela 1.

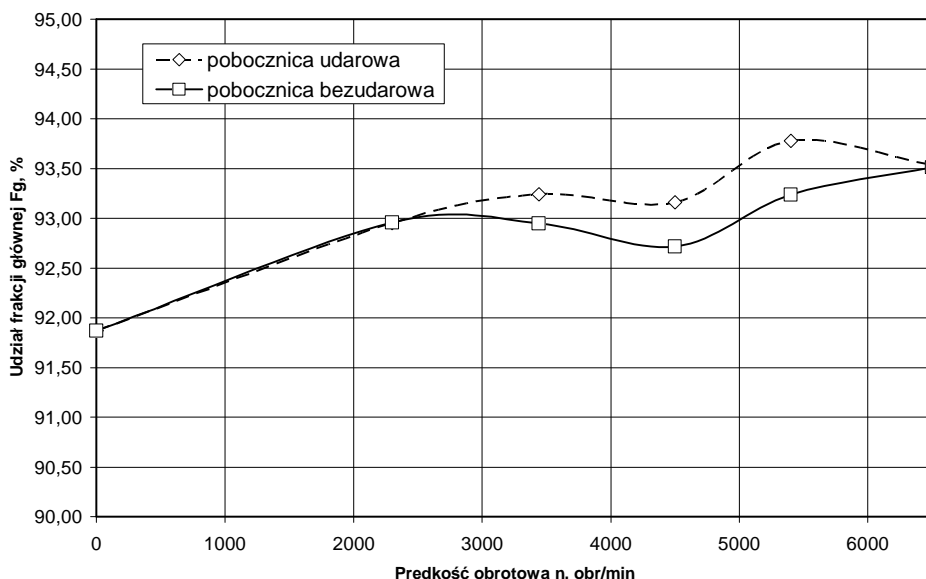
Tabela 2.1. Składy ziarnowe piasków wykorzystanych do badań wg atestów

Nr sita	Piasek OK1	Piasek OK2
1,6	0	0
0,8	0,29	0,03
0,63	2,40	2,74
0,4	30,83	22,47
0,32	28,54	24,67
0,2	32,50	45,57
0,16	3,13	2,44
0,1	2,28	1,96
0,073	0,02	0,08
0,056	0	0,02
DENKO	0	0,02

### 3. Badania i analiza wyników

Na rysunku 1 przedstawiono zmianę zawartości frakcji głównej piasku OK1, będącą sumą frakcji 0,40/0,32/0,20, w zależności od ustawionej w urządzeniu prędkości obrotowej.

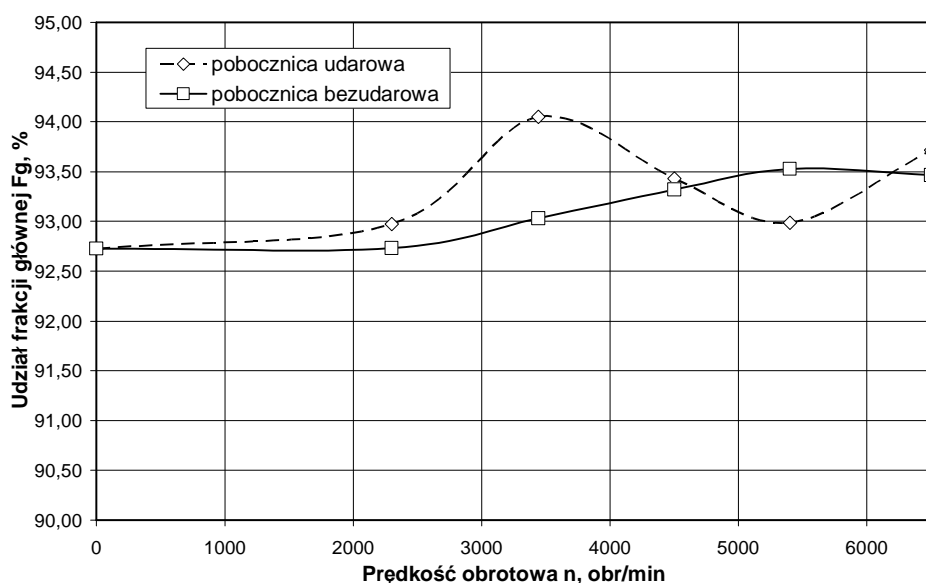




Rys. 1. Udział frakcji głównej Fg piasku OK1 w zależności od prędkości obrotowej regeneratora mechanicznego odśrodkowego, dla różnych rozwiązań pobocznic obwodowej.

Na wykresie zestawiono wyniki dla obu rozwiązań pobocznic obwodowej, to znaczy pobocznic udarowej i pobocznic o zmniejszonym efekcie udarowym, którą dla uproszczenia oznaczono jako bezudarową.

Uzyskane wyniki wykazują na zwiększenie się ilości frakcji głównej Fg w miarę coraz większej prędkości obrotowej wirnika urządzenia. Zastosowanie silniejszych oddziaływań powodowało niszczenie grubszych frakcji, co skutkowało zwiększeniem się ilości frakcji głównej. W nieco większym stopniu ilość frakcji głównej zwiększała się, jeżeli w urządzeniu zastosowano pobocznice udarową. Nie stwierdzono jednak istotnej różnicy uzyskanych wyników w zależności od zastosowanej konstrukcji pobocznic obwodowej.



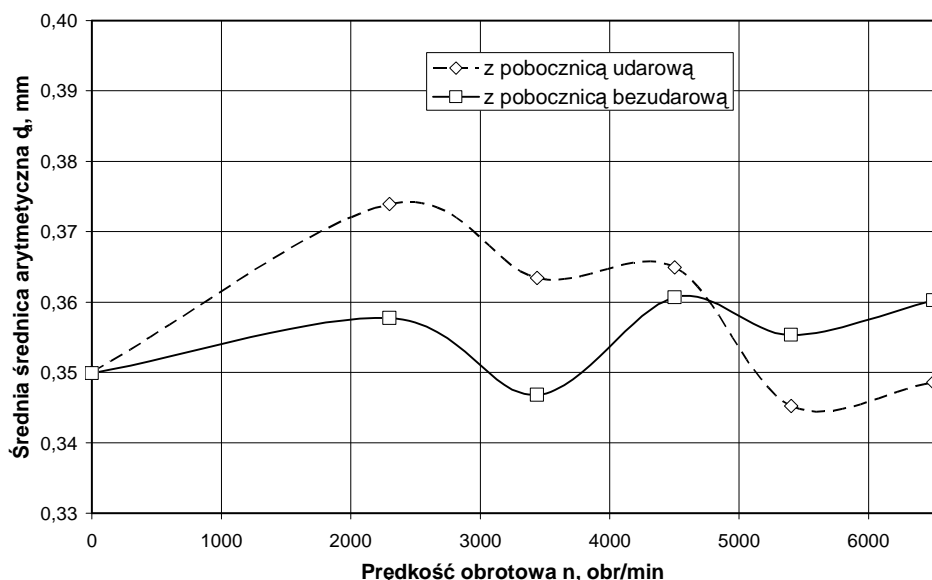
Rys. 2. Udział frakcji głównej Fg piasku OK2 w zależności od prędkości obrotowej regeneratora mechanicznego odśrodkowego, dla różnych rozwiązań pobocznic obwodowej.

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki dla drugiego z badanych piasków kwarcowych OK2. Stwierdzono, że w regeneratorze mechanicznym odśrodkowym tym większa była ilość frakcji głównej (0,20/0,32/0,40) badanego piasku odlewniczego im szybciej obracał się wirujący talerz.

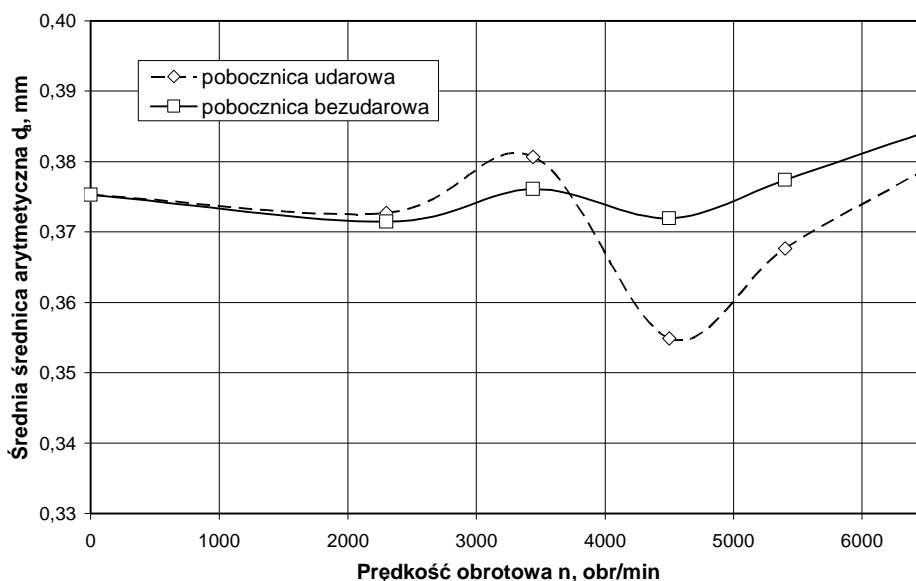
Niszczenie grubszych frakcji w zaistniałych warunkach zachodziło w sposób nieregularny, jeżeli w urządzeniu zainstalowano pobocznice udarową. Bardziej stabilnie przebiegał proces zwiększania się frakcji głównej w regeneratorze, wówczas urządzenie było wyposażone w pobocznice bezudarową. Świadczy to o stopniowym ścierniu frakcji grubych lub też o oddzielaniu się słabiej związanych fragmentów osnowy w wyniku procesów mechanicznych.

Dla obu badanych osnów kwarcowych (OK1 i OK.2) im szybciej wirował talerz tym bardziej zwiększała się ilość frakcji głównej. Nie stwierdzono jednak znacznych różnic w wynikach w zależności od zastosowanej pobocznic obwodowej. Dostrzegalne, nieznaczne zmiany mogą być związane m.in. z ruchem powietrza w urządzeniu i samoistnym odpylaniem nadawy przy przesypie. Potwierdzają to również wyniki średniej średnicy arytmetycznej  $d_a$  osnowy kwarcowej, co można zaobserwować na rysunku 3 dla piasku OK1 i rysunku 4 dla piasku OK2.

W badanym zakresie parametrów ruchowych nie stwierdzono także znacznych zmian średniej średnicy arytmetycznej  $d_a$ . Zmiany następowały w niewielkim zakresie ilości poszczególnych frakcji, nie powodując jednak w znaczący sposób zmian składu granulometrycznego. Można wobec tego stwierdzić, że zakres stosowanych prędkości obrotowych w badaniach jest bezpieczny, zarówno w przypadku stosowania pobocznic udarowej jak i bezudarowej dla badanych osnów kwarcowych. W zależności od sił wiążących stosowanego spoiwa do prędkości 6500 obr/min można było prowadzić proces regeneracji bez obaw o znaczne niszczenie osnowy kwarcowej. Materiały wiążące mogą wręcz ograniczyć zaobserwowane zmiany w składzie ziarnowym i zapobiec oddzielaniu się słabiej związanych części (fragmentów) pojedynczych ziarenek osnowy kwarcowej.



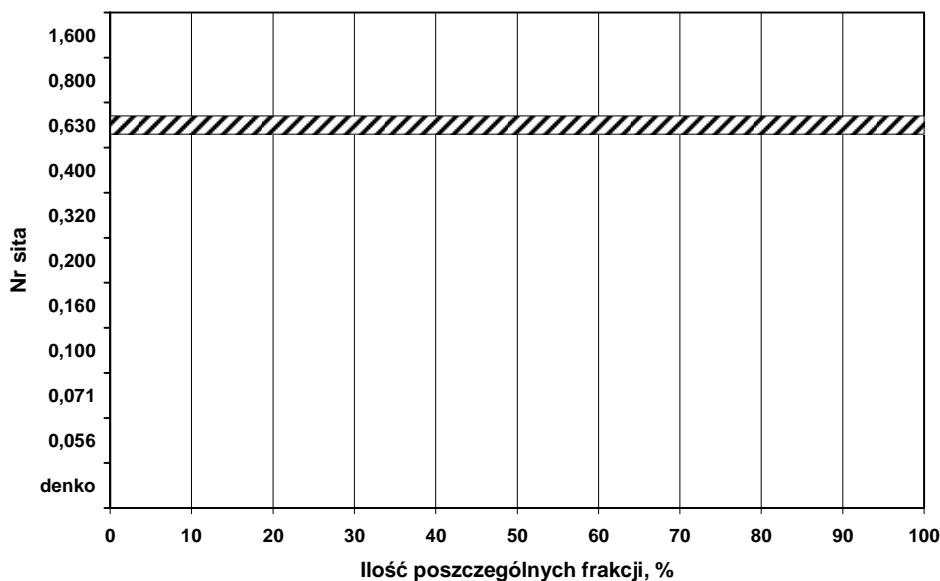
Rys. 3. Zależność średniej średnicy arytmetycznej  $d_a$  piasku OK1 dla różnych prędkości i sposobów obróbki regeneracyjnej, wywieranej na ziarna osnowy kwarcowej.



Rys.4. Zależność średniej średnicy arytmetycznej da piasku OK2 dla różnych prędkości i sposobów obróbki regeneracyjnej, wywieranej na ziarna osnowy kwarcowej.

Dla bardziej jednoznacznego stwierdzenia zmian składu granulometrycznego wykonano kolejny etap badań, polegający na obróbce mechanicznej pojedynczych wyselekcjonowanych frakcji.

Na rysunku 5 przedstawiono ilościowe przesunięcia frakcji 0,63 piasku OK2 po pięciu cyklach obróbkowych w urządzeniu z poboczną udarową.

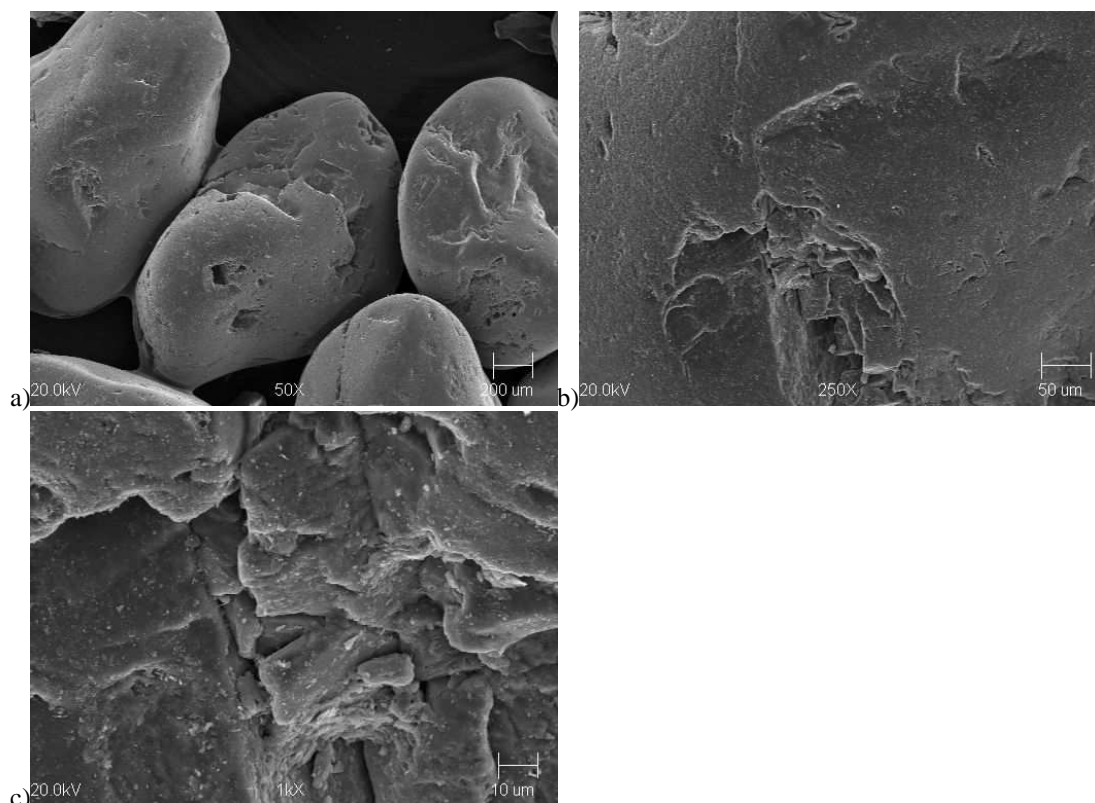


a)

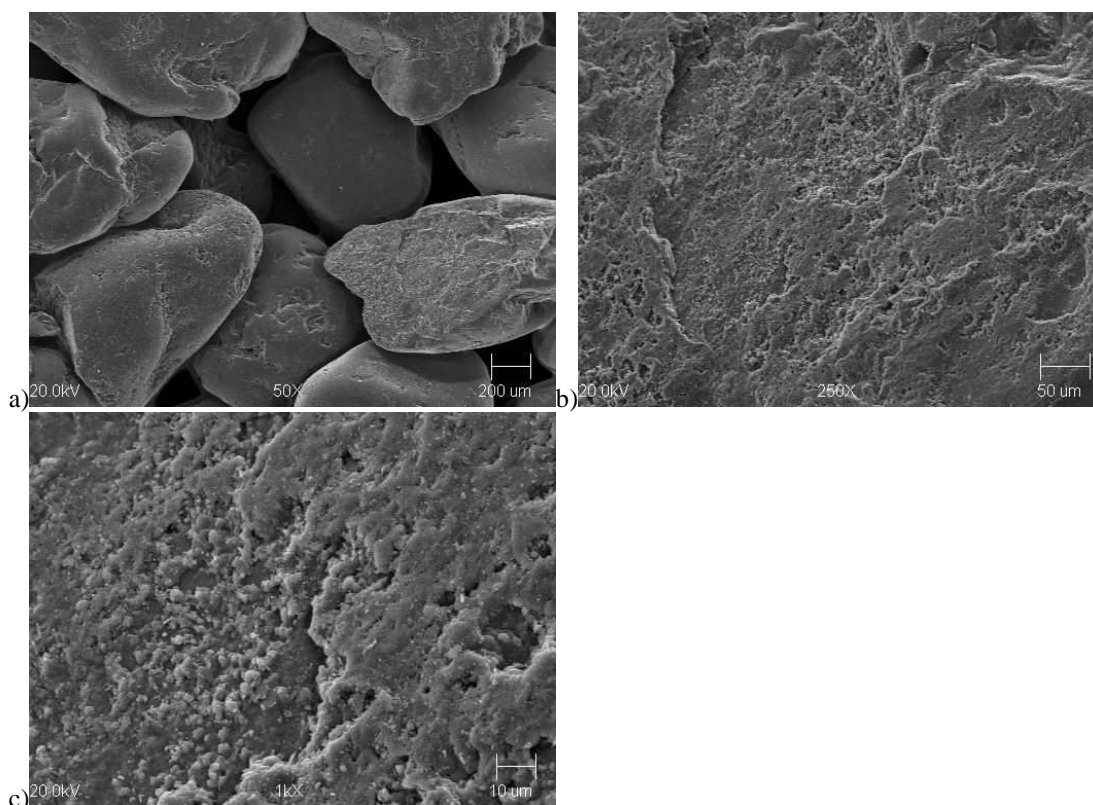


b)

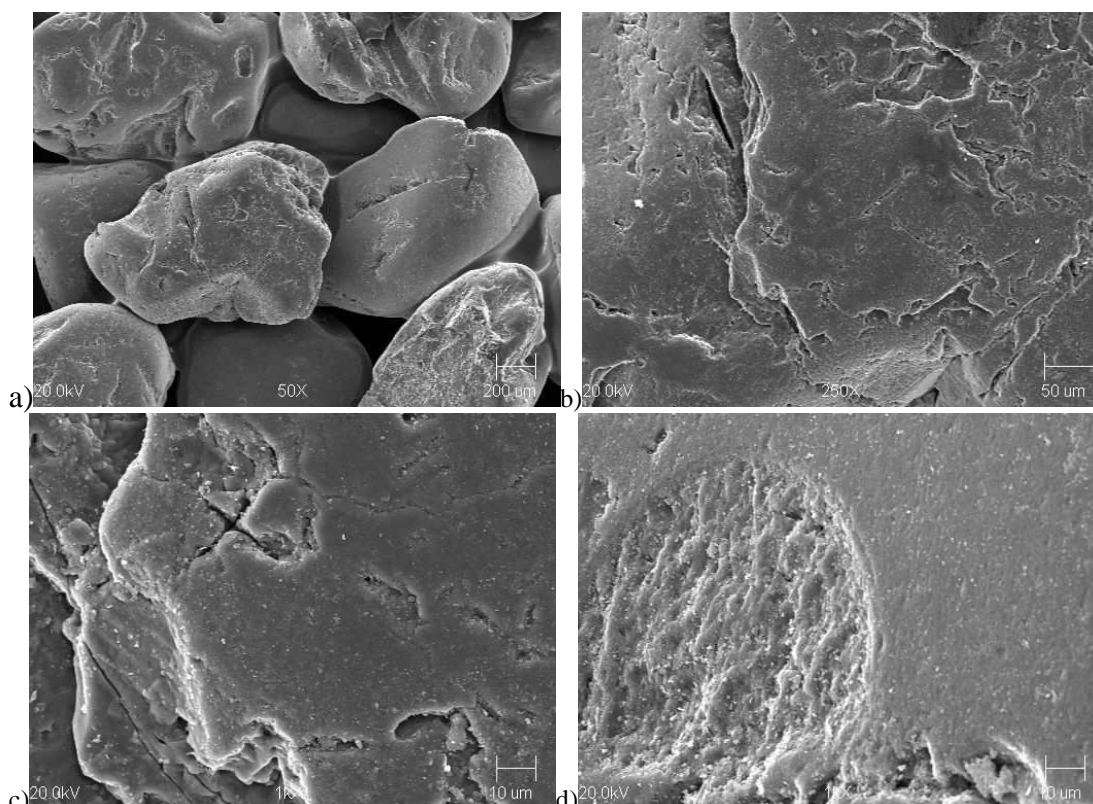
Rys. 5. Ilości frakcji 0,63 mm piasku OK2: a) wyjściowego, b) po 5 cyklach w urządzeniu z pobocznicą uderową, dla prędkości 6500 obr/min.



Rys. 6. Ziarna frakcji 0,63 mm piasku OK2 przed zabiegami mechanicznymi: a) pow. 50x, b) pow. 250x, c) pow. 1000x.

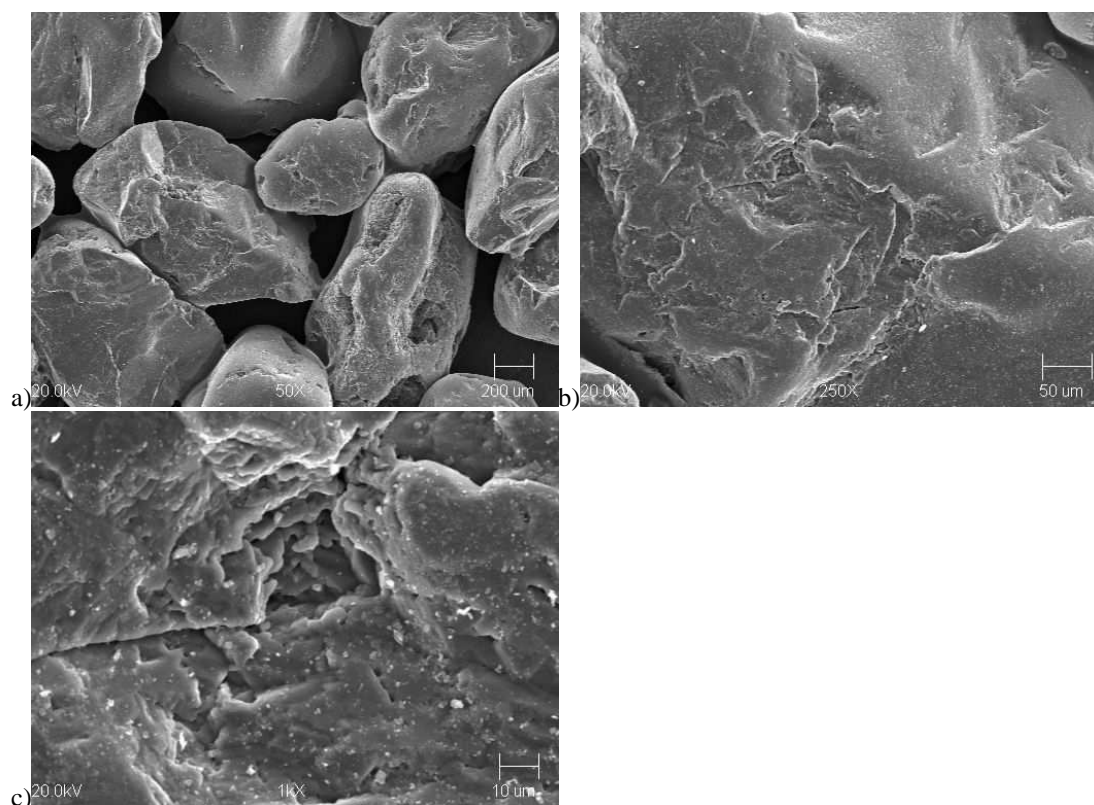


*Rys. 7. Ziarna frakcji 0,8 mm powstałej z frakcji 0,63 mm piasku OK2 po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min: a) pow. 50x, b) pow. 250x, c) pow.1000x.*

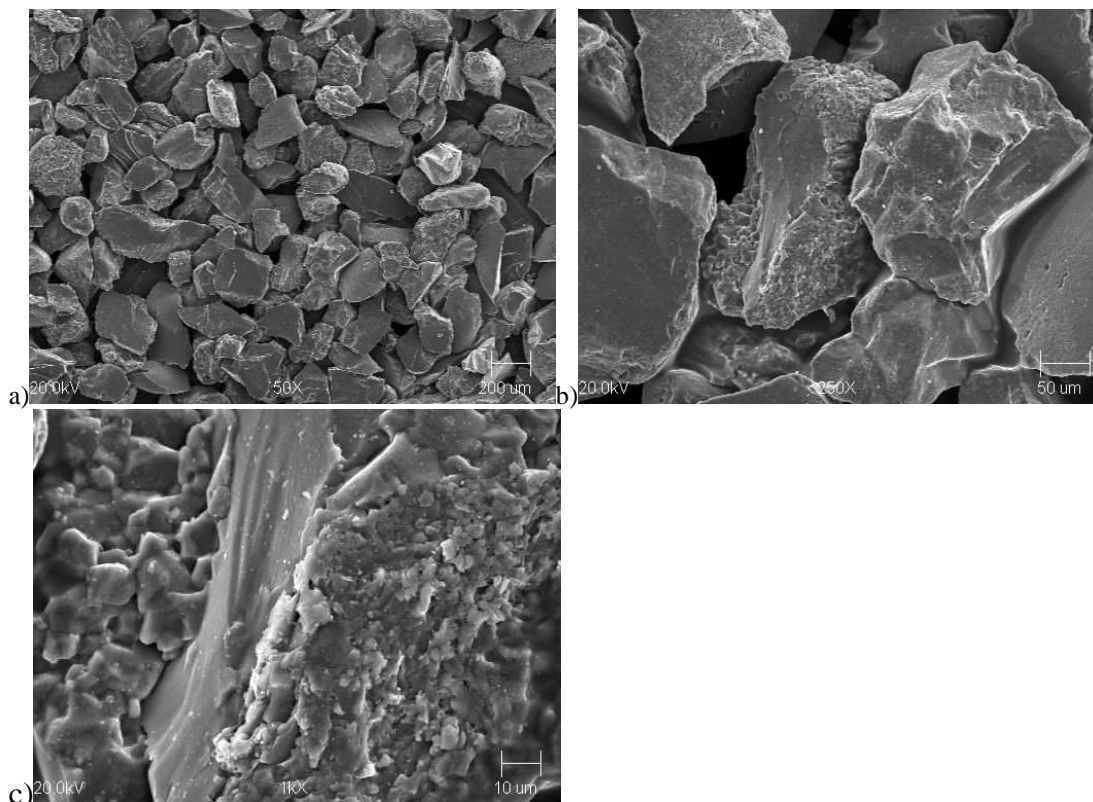


*Rys. 8. Ziarna frakcji 0,63 mm piasku OK2 po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min: a) pow. 50x, b) pow. 250x, c) pow.1000x, d) pow. 1000x.*

Na rysunku 6 przedstawiono ziarna wyselekcjonowanej pojedynczej frakcji 0,63 mm osnowy OK2. Na kolejnym rysunku 7 przedstawiono ziarna 0,8 mm, które wydzieliły się w wyniku analizy sitowej z obrabianej pojedynczej frakcji 0,63 mm po 5 przejściach przez układ regeneratora z poboczną udarową, dla prędkości 6500 obr/min. Można dostrzec, szczególnie na powiększeniu 50x, że ziarna zebrane na sicie o numerze 0,8, są płaskie i powstały z rozłupania większych ziaren, mają nieregularny kształt, co sprzyjało ich pozostaniu na sitach o większym prześwicie niż wyjściowy zebrany materiał. Na rysunku 8 przedstawiono wyselekcjonowaną pojedynczą frakcję 0,63 mm po obróbce mechanicznej udarowej. Widać na zamieszczonych zdjęciach prezentowanej frakcji pęknięcia oraz miejsca, w których nastąpiło obtłupianie ziarn. Na rysunku 9 przedstawiono frakcję 0,4 mm powstałą z obróbki mechanicznej udarowej frakcji 0,63 mm. Zauważalne są powierzchnie przełomów, co było wynikiem pomniejszenia ziarn i zebrania się ich na sicie o prześwicie oczek 0,40 mm. Jeszcze bardziej wyraźnie można dostrzec popękane ziarna obserwując rysunek 10. Przedstawia on nieregularne ziarna o średnicy 0,1 mm powstałe po obróbce mechanicznej udarowej z ziarn 0,63 mm.

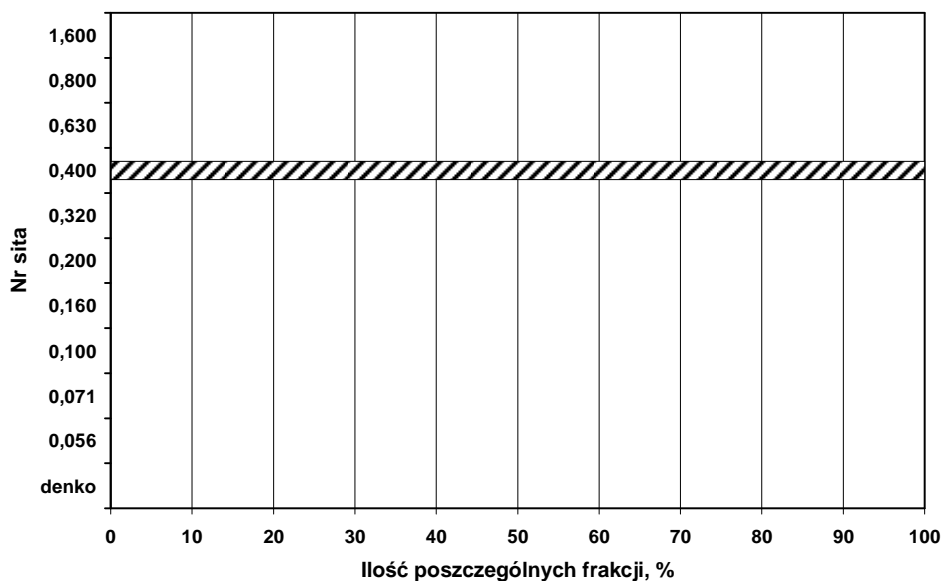


Rys. 9. Ziarna frakcji 0,4 mm powstałej z frakcji 0,63 mm piasku OK2 po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min: a) pow. 50x, b) pow. 250x, c) pow. 1000x.

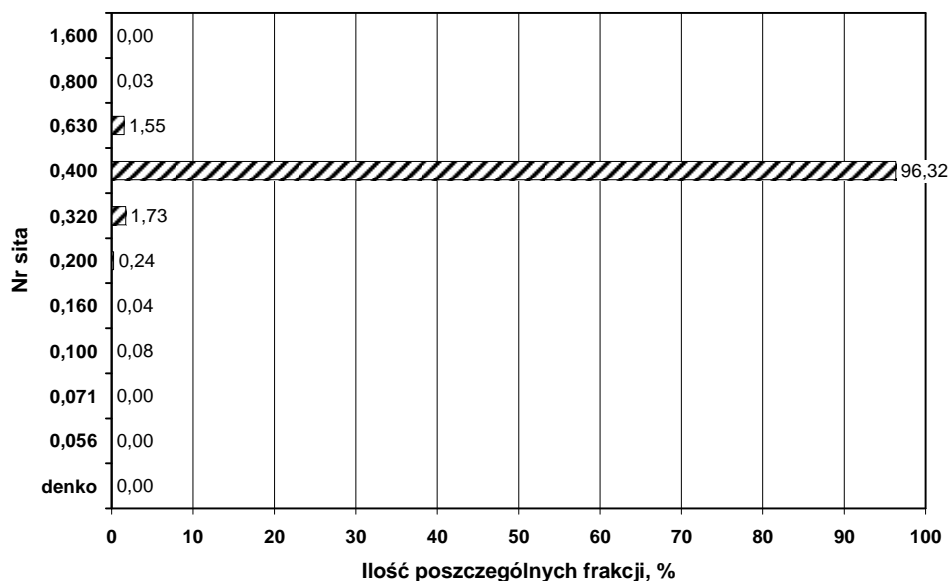


Rys.10. Ziarna frakcji 0,1 mm powstałej z frakcji 0,63 mm piasku OK2 po 5 cyklach regeneracji mechanicznej udarowej, dla prędkości 6500 obr/min: a) pow. 50x, b) pow. 250x, c) pow.1000x.

Podobną sytuację stwierdzono także dla frakcji 0,4 mm. W tym przypadku w wyniku obróbki mechanicznej stwierdzono zbieranie się ziarn na sitach nie tylko o jeden rozmiar większy, ale w niewielkiej ilości również na sicie o prześwicie oczek dwukrotnie większym, co ilustruje rysunek 11b.



a)



b)

Rys. 11. Ilości frakcji 0,4 mm piasku OK2: a) wyjściowego, b) po 5 cyklach w urządzeniu z poboczną udarową, dla prędkości 6500 obr/min.

Jeżeli chodzi o składy naturalne piasków, analizując wyniki przedstawione na rysunkach 3 i 4, nie dostrzeżono znacznych zmian średniej średnicy arytmetycznej  $d_a$ . Bo trudno jest dostrzec efekt niszczenia, jeżeli frakcje przesuwają się pomiędzy sitami, co demonstrują powyższe wyniki.

#### 4. Podsumowanie

Podjęcie badań wpływu intensywności obróbki mechanicznej na niszczenie osnowy kwarcowej wynika z faktu, że prowadzi się szereg doświadczeń mających na celu oczyszczenie osnowy kwarcowej ze spoiwa, ale bez ugruntowanego naukowo stwierdzenia jak realizowane zabiegi regeneracyjne wpływają na jej uzysk. Kładzie się nacisk na efekt uwolnienia osnowy ziarnowej z materiału wiążącego bez działań zmierzających do zachowania dobrej osnowy w obiegu, czyli działań zmierzających do ochrony samej osnowy ziarnowej.

Składy naturalne piasków odlewniczych są zbiorem wielu frakcji, dlatego zakres niekorzystnych - progowych oddziaływań mechanicznych powinien być dobrany w odniesieniu do największej ilości pojedynczej frakcji dla danego piasku. Stwierdzono w trakcie badań, że następstwem oddziaływań dynamicznych osnowy ziarnowej w urządzeniu (na pojedynczych frakcjach), w wyniku naruszenia powierzchni określonej frakcji, w analizach sitowych pojawiały się nie tylko mniejsze frakcje, ale w niewielkim stopniu również większe (np. obróbka mechaniczna wyselekcjonowanej frakcji 0,4 mm, w analizie sitowej pojawiały się frakcje 0,63 i 0,8 mm).

Niewielkie zmiany frakcji głównej wcale nie muszą oznaczać, że osnowa nie ulega destrukcji. Ciągi technologiczne przerobu mas są układami otwartymi, wyposażonymi w przesypy, odciągi. We wszystkich tych miejscach zachodzi zjawisko klasyfikacji osnowy ziarnowej najczęściej związane z jej intensywnym odpylaniem, co może stwarzać wrażenie o nie niszczeniu osnowy, szczególnie gdy drobne frakcje są odwiewane.

Dlatego ważna przy mechanicznej obróbce regeneracyjnej, jest orientacja o skali zjawiska i wpływie zużycia osnowy ziarnowej, a także o przebiegu tego nieuchronnego procesu. Sterowanie zużyciem jest możliwe dzięki, określeniu na podstawie badań podstawowych, funkcji opisującej wielkość zużycia w czasie, dla różnych warunków prowadzenia procesu regeneracji mechanicznej.



## 5. Literatura

- [1] Dańko J., Łucarz M.: Theoretical backgrounds of designing impact-free centrifugal reclamation units. Metallurgy and Foundry Engineering, UMM, vol. 22, Kraków 1996, p. 309-317.
- [2] Łucarz M.: Opracowanie podstaw konstrukcji regeneratorów odśrodkowych dla mas formierskich. Praca doktorska, AGH Wydział Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [3] Badania zmierzające do optymalizacji parametrów regeneracji różnych rodzajów masy w regeneratorze odśrodkowym o zmniejszonym efekcie udarowym oraz do optymalizacji konstrukcji regeneratorów tego typu. Projekt badawczy KBN nr 7 T08B 004 14, Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 1999 (Kierownik projektu Dańko J.).
- [4] Badanie wpływu obróbki mechanicznej suchej na intensywność zużycia osnowy ziarnowej w aspekcie zwiększenia jej odzysku i ochrony środowiska. Projekt badawczy KBN nr 7 T08B 025 26. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2006 (Kierownik projektu Łucarz M.).
- [5] Łucarz M.: Wybrane aspekty projektowania regeneratorów odśrodkowych talerzowych o działaniu ciągłym. X konferencja odlewnicza TECHNICAL 2007 : „Odlewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. P. P. P. TECHNICAL Sp. z o. o., Nowa Sól 2007— ISBN 83-919232-9-0, s. 131–140.
- [6] Dańko J., Dańko R., Łucarz M.: Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2007.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Dańko

## OCENA STANU POWIERZCHNI ODLEWÓW PO OBRÓBCE STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ PRZY UŻYCIU MIKROSKOPU FIRMY OLYMPUS

Piotr ZYZAK<sup>1</sup>

### Streszczenie

W referacie przedstawiono opis metodyki oceny stanu powierzchni za pomocą laserowego konfokalnego skaningowego mikroskopu LEXT firmy OLYMPUS. Przedstawiono opis stanowiska badawczego oraz wyniki wstępnych pomiarów mikroskopem.

### 1. Wprowadzenie

W ramach pracy własnej są prowadzone badania procesu oczyszczania strumieniowo-ściernego. Oczyszczaniu poddano płytki odlewane z różnych stopów odlewniczych np. żeliwa, brązu i aluminium, przy różnych nastawach parametrów pracy oczyszczarki.

Po oczyszczeniu są prowadzone oceny stanu powierzchni odlewów różnymi metodami, takimi jak: metoda pomiaru rzeczywistych przekrojów powierzchni, metody stykowo-mechaniczne, metody oceny przez porównanie z powierzchniami wzorcowymi [1,5,6], metody odwzorowania optycznego [1÷3,5,6]. W grupie metod odwzorowania optycznego można wyróżnić metodę oceny stanu powierzchni za pomocą mikroskopu LEXT.

Do wstępnych pomiarów topografii powierzchni wybrano płytkę odlaną z siluminu AK7, w masie syntetycznej z bentonitem o wilgotności 3.8 %. Odlew testowy poddano obróbce strumieniowo-ściernej na stanowisku doświadczalnym oczyszczarki wirnikowej stołowej OWS-1000 firmy TECHNICAL. Parametry oczyszczania wybranego odlewu testowego przedstawiają się następująco: liczba wirników rzutowych-1., prędkość obrotowa wirnika  $n=2549$  obr/min, czas oczyszczania  $T=30$ s.

Chropowatość powierzchni odlewu surowego wykonywanego w formach piaskowych w zależności od stopu odlewniczego wynosi  $12,5\div 200$   $\mu\text{m}$  [7]. Zakres chropowatości odlewów wykonywanych w ramach badań własnych wynosi  $10\div 100$   $\mu\text{m}$ .

Parametry charakteryzujące powierzchnię np. parametry amplitudowe-pionowe, parametry odległościowe-pozioame, czy parametry mieszane obliczane są zgodnie

z normami PN-EN ISO 4287 oraz 4288. Parametry 3D są wyznaczane w oparciu o algorytmy obowiązujące dla parametrów 2D zgodnie z normami PN-EN ISO 4287 oraz 4288 [10].

Podstawowa norma PN-EN ISO 4287 omawia specyfikację geometrii wyrobów, strukturę geometryczną powierzchni, oraz podaje terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni [10].

### 2. Stanowisko badawcze

LEXT jest systemem konfokalnym do pomiarów i trójwymiarowej analizy powierzchni z wysoką rozdzielczością, przy wykorzystaniu lasera UV. Nowy laserowy konfokalny skaningowy mikroskop LEXT, przeznaczony jest do precyzyjnych pomiarów, spełniający najwyższe standardy dokładności i powtarzalności. Do pracy z mikroskopem

<sup>1</sup> mgr inż.; AGH - Kraków [pzyzak@agh.edu.pl](mailto:pzyzak@agh.edu.pl)

LEXT nie wymaga specjalnego przygotowania próbki, może ona być umieszczona bezpośrednio na stoliku mikroskopowym. Obserwacje i pomiary w trzech wymiarach są możliwe w czasie rzeczywistym. Analiza materiałów wykonywana jest szybciej i z większą dokładnością niż za pomocą konwencjonalnych mikroskopów optycznych.

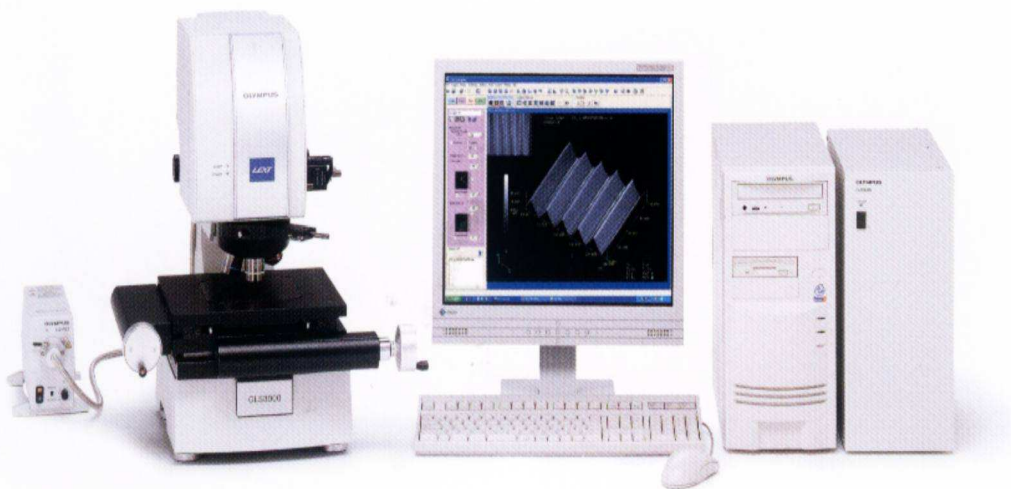
W systemie LEXT poszerzono granice rozdzielczości optycznej dzięki połączeniu światła UV z technologią skanowania konfokalnego. Długość fali światła laserowego wynosi 408nm, a dzięki wykorzystaniu specjalnej optyki, która minimalizuje aberracje powstające w zakresie fal krótkich oraz maksymalizuje transmisję w zakresie 408 nm uzyskuje się wysoką jakość obrazu i transmisję sygnału.

Zdolność rozdzielcza została podwyższona dzięki zastosowaniu techniki skanowania konfokalnego. W tej metodzie powierzchnia próbki jest skanowana punkt po punkcie. Do detekcji sygnału wykorzystuje się fotopowielacz, a przed nim umieszcza przesłonę konfokalną (pinhol), która odcina światło odbite od powierzchni i pochodzące spoza płaszczyzny ostrości. Fotopowielacz mierzy intensywność światła w każdym punkcie. Informacja trójwymiarowa z kolejnych powierzchni jest uzyskiwana poprzez ruch obiektywu w osi „z”. pozycja w osi „z” jest mierzona z dużą precyzją. Utworzona w ten sposób mapa intensywności służy do rekonstrukcji próbki w obraz przestrzenny 3D. kontrola ruchu w osi „z” jest niezwykle precyzyjna dzięki układowi liniowemu z 5nm przyrostem. Dla każdej oglądanej powierzchni obliczana jest krzywa intensywności zwana krzywą „IZ” oparta na zaawansowanej analizie wartości maksymalnej intensywności.

Rezultatem zastosowanych rozwiązań jest najlepsza dostępna rozdzielczość w płaszczyźnie wynosząca  $0,12\mu\text{m}$  oraz  $0,01\mu\text{m}$  w osi „z”. Wszystko to przy zachowaniu niezwyklej powtarzalności równej  $3\sigma n-1=0,02\mu\text{m}$  w osi „z” oraz  $3\sigma n-1=0,05+0,002L\mu\text{m}$  w płaszczyźnie (L oznacza mierzoną długość).

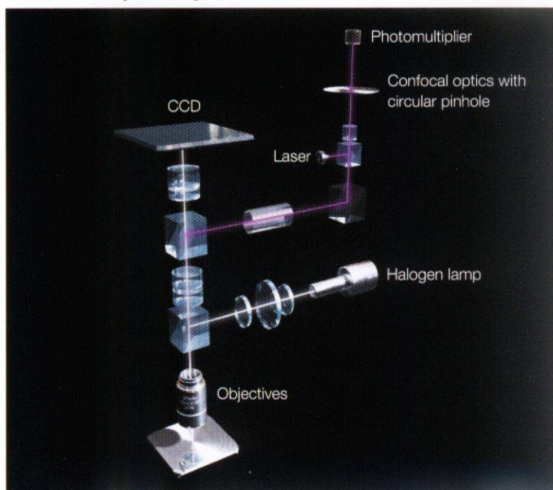
W porównaniu do liniowego analizatora porowatości LEXT umożliwia pomiary nie tylko w jednej linii ale również na całej powierzchni. Precyzyjne zdefiniowanie obszaru pomiarowego może być wykonane bezpośrednio na ekranie monitora. Interpretacja pomiaru porowatości przebiega dużo łatwiej, ponieważ można wyświetlić trójwymiarowy obraz powierzchni. Oprogramowanie LEXT oferuje różne sposoby klasyfikowania powierzchni, falistości i porowatości.

Po zapisaniu danych obrazowych z próbki w dalszej analizie powierzchni wykorzystać można wszystkie dostępne parametry pomiarowe takie jak: wysokość, odległość, kąt, objętość, które w łatwy sposób mogą być wykorzystane do dalszych obliczeń i zapisane [11].

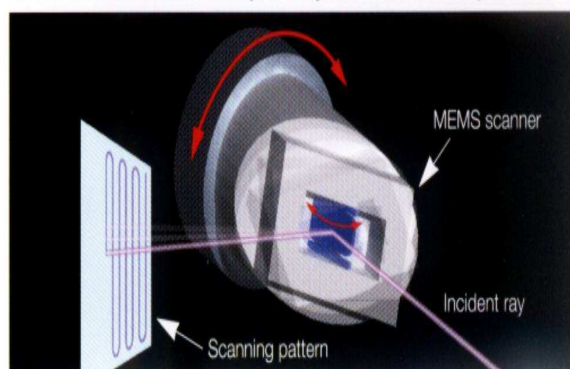


Rys.1. Stanowisko pomiarowe- mikroskop LEXT firmy OLYMPUS [11]

408nm UV optical system



2-dimensional scanner (conceptual illustration)



Rys.2. Zasada działania układu optycznego mikroskopu [11]

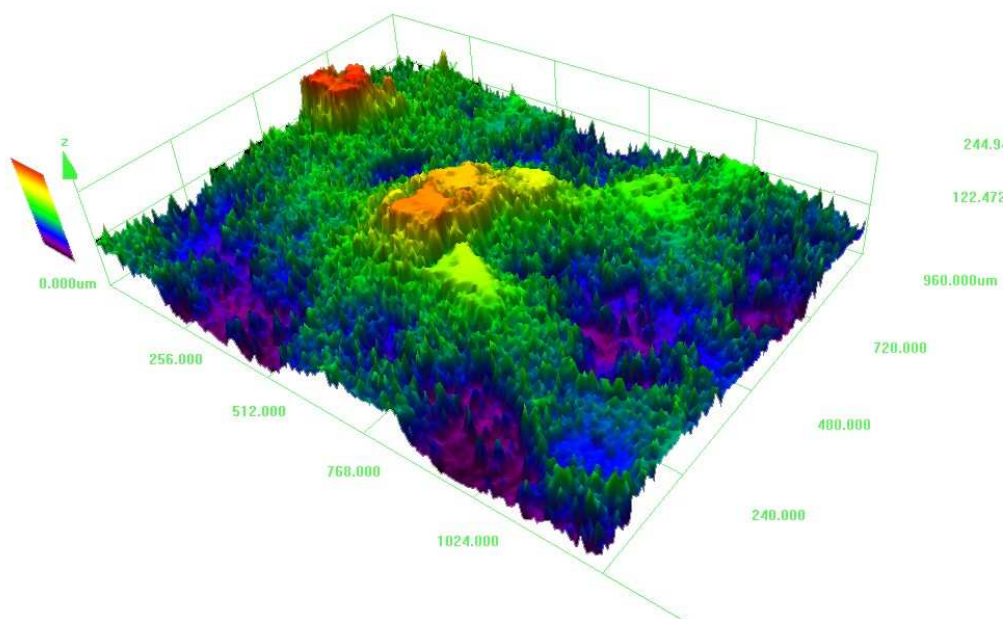
### 3. Badania i analiza wyników

Na rysunku 3 zamieszczono zdjęcie odlewu testowego wykonanego ze stopu AK7. Kolorem zaznaczono obszary, które poddano pomiarom na mikroskopie LEXT. Rysunki 4÷9 przedstawiają wybrane mapy powierzchni 2D oraz 3D przed obróbką strumieniowo-ścierną i po obróbce na stanowisku doświadczalnej oczyszczarki OWS-1000 firmy TECHNICAL.

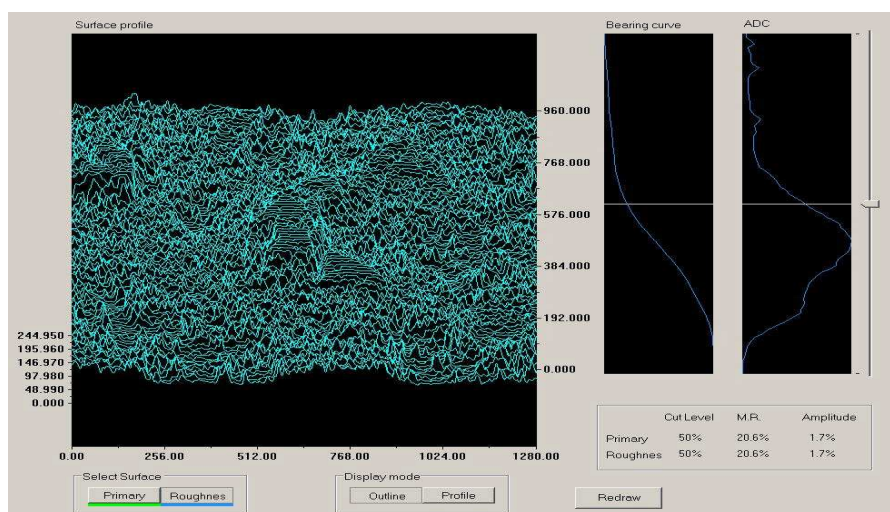
Celem badań było określenie jakości powierzchni wyrażone za pomocą parametrów chropowatości. Wykonano pomiary chropowatości całej analizowanej powierzchni oraz liniowo w kierunku osi X i Y w wybranych miejscach powierzchni.



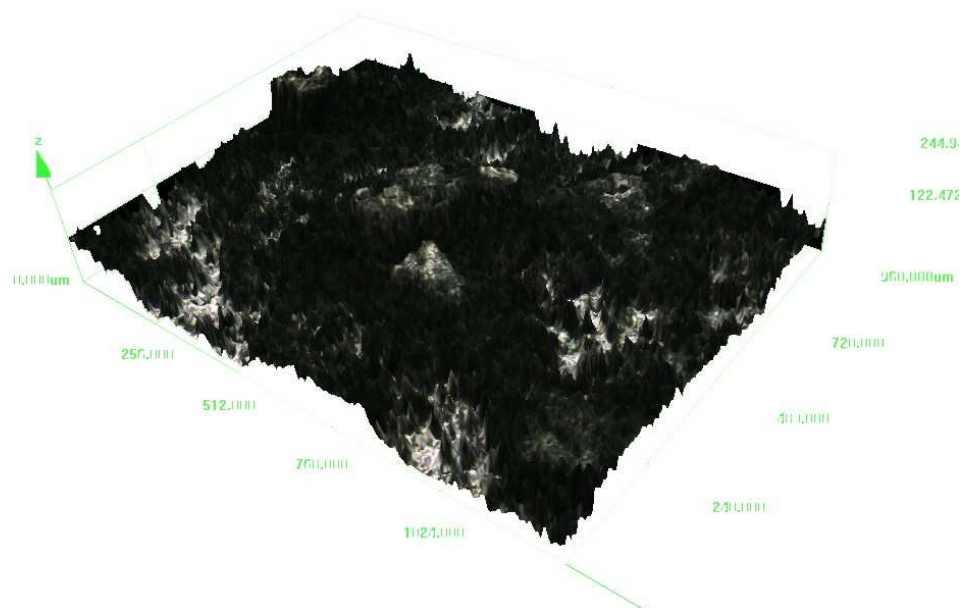
Rys.3. Odlew testowy z zaznaczonym obszarem analizy mikroskopem



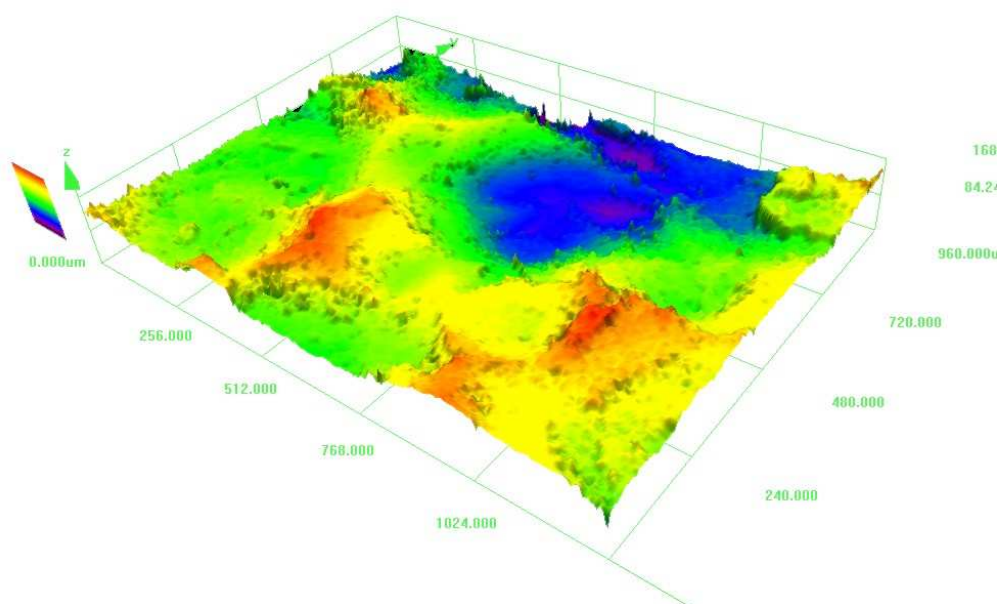
Rys.4. Mapa 3D powierzchni odlewu testowego nieobrobionego



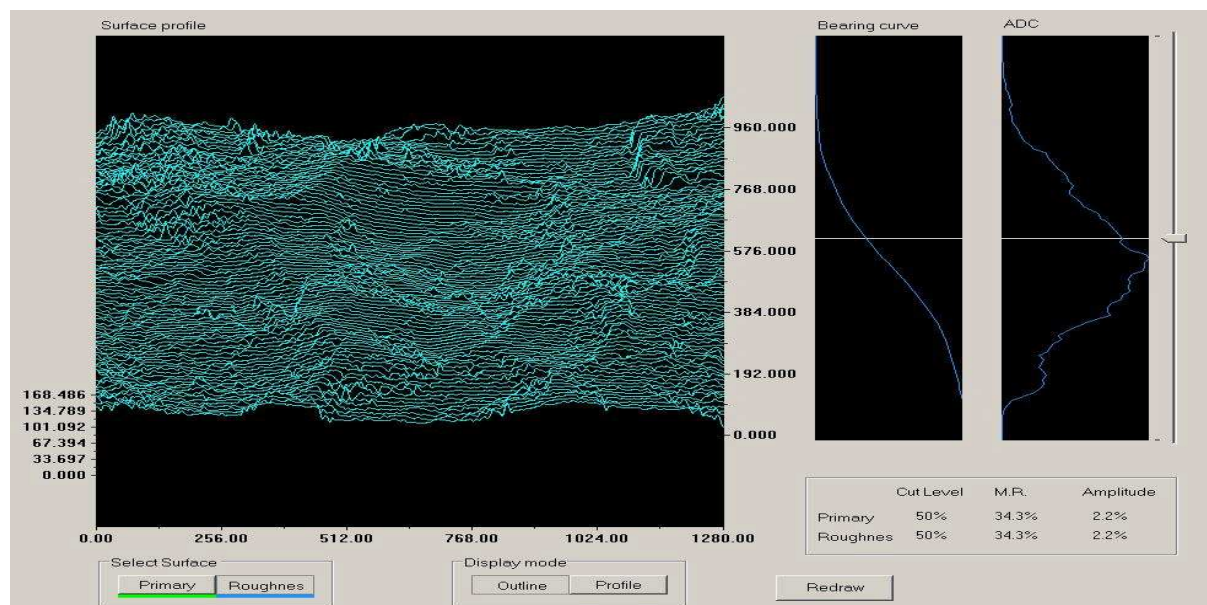
Rys.5. Profil chropowatości powierzchni nieobrobionej odlewu testowego



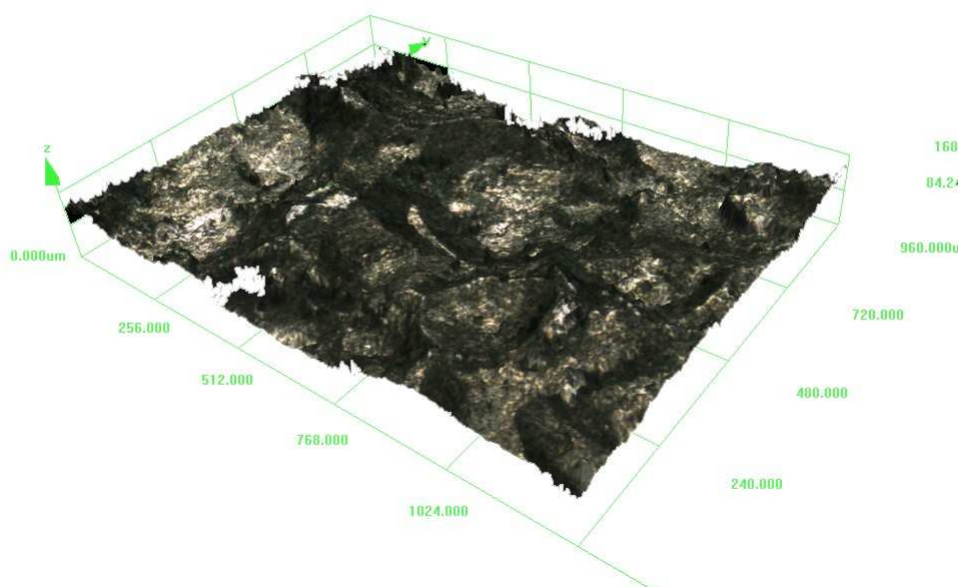
Rys.6. Powierzchnia nieobrobiona- rzeczywista odlewu testowego obraz 3D



Rys.7. Mapa 3D powierzchni odlewu testowego po obróbce strumieniowo-ściernej



Rys.8. Profil chropowatości powierzchni odlewu testowego po obróbce strumieniowo-ściernej



Rys.9. Powierzchnia rzeczywista odlewu testowego obraz 3D po obróbce strumieniowo-ściernej

Najważniejszymi parametrami obliczonymi w programie w zakresie analizy 3D charakteryzującymi powierzchnię są [4]:

- SRp- wysokość najwyższego wzniesienia profilu,
- SRv- głębokość najniższego wgłębienia profilu,
- SRz- najwyższa wysokość profilu,
- SRC- średnia wysokość profilu,
- SRA- średnia arytmetyczna rzędnych profilu,
- SRq- średnia kwadratowa rzędnych profilu,

- SRzjis- najwyższa wysokość profilu.

Wartości parametrów amplitudowych są wartościami bardzo uzależnionymi od pola powierzchni objętego obliczeniami. Podobne zależności występują dla wszystkich parametrów wysokościowych.

W tabelicy 1 przedstawiono najważniejsze parametry charakteryzujące powierzchnię odlewu testowego wg [4].

*Tablica 1. Parametry amplitudowe dla powierzchni odlewu testowego nie obrabianej i po obróbce strumieniowo-ściernej*

Nazwa parametru	Powierzchnia nie obrabiana		Powierzchnia po obróbce strumieniowo-ściernej	
	Parametr	Wartość	Parametr	Wartość
Wysokość najwyższego wzniesienia profilu	SRp [ $\mu\text{m}$ ]	129,027	SRp [ $\mu\text{m}$ ]	84,272
Głębokość najniższego wgłębienia profilu	SRv [ $\mu\text{m}$ ]	84,448	SRv [ $\mu\text{m}$ ]	66,019
Największa wysokość profilu	SRz [ $\mu\text{m}$ ]	213,475	SRz [ $\mu\text{m}$ ]	150,292
Średnia wysokość profilu	SRc [ $\mu\text{m}$ ]	41,607	SRc [ $\mu\text{m}$ ]	23,412
Średnia arytmetyczna rzędnych profilu	SRa [ $\mu\text{m}$ ]	27,856	SRa [ $\mu\text{m}$ ]	19,011
Średnia kwadratowa rzędnych profilu	SRq [ $\mu\text{m}$ ]	37,168	SRq [ $\mu\text{m}$ ]	23,666
Największa wysokość profilu	SRzjis [ $\mu\text{m}$ ]	210,529	SRzjis [ $\mu\text{m}$ ]	138,033

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona metodyka badawcza umożliwia pomiary oraz analizę stanu powierzchni. Metoda ta daje czytelną wizualizację graficzną poprzez wykorzystanie programów pomiarowo-sterujących i analiz.

Analizując parametry amplitudowe dla powierzchni nie obrabianej i dla powierzchni po obróbce strumieniowo-ściernej na stanowisku doświadczalnym oczyszczarki wirnikowej stwierdzono, że obróbka strumieniowo-ścierna polepsza jakość powierzchni.

Zaletami przedstawionej metody pomiarowej jest:

- obserwacja powierzchni w czasie rzeczywistym
- wysokokontrastowy obraz 2D i 3D
- możliwość łączenia analizowanych obrazów powierzchni (obszar o wymiarach 12.5×12.5mm)
- możliwość pomiarów wysokości nierówności (w osi Z), głębokości, objętości i parametrów geometrycznych.



– skanowanie powierzchni w czasie około 30 s.

## 5. Literatura

- [1] Bodnar Z., Kubica A.: *Nowy typ gładkościomierza*. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1955.
- [2] Instrukcja obsługi. „Przyrząd do pomiaru chropowatości powierzchni metodą przekroju świetlnego (gładkościomierz).
- [3] Katalog: „Control-Tech”. V Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej. Targi Kielce 2005.
- [4] PN-EN ISO 4287. *Specyfikacja geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni*
- [5] Samsonowicz Z.: *Wpływ różnych sposobów oczyszczania na niektóre własności mechaniczne odlewów żeliwnych*. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Katedra Odlewnictwa, Wrocław 1961.
- [6] Samsonowicz Z.: *Wpływ własności masy formierskiej na gładkość powierzchni odlewów żeliwnych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej, Mechanika XVI, nr 110, Wrocławska Drukarnia Naukowa, 1966.
- [7] PN-84/H-83140. *Odlewy. Chropowatość powierzchni surowych*.
- [8] Zyzak P.: *Analiza wpływu parametrów strumienia śrutu na jakość powierzchni odlewów*. Praca niepublikowana.
- [9] Zyzak P.: *Ocena jakości powierzchni odlewów poddanych obróbce strumieniowo-ściernej*. III Międzynarodowa Konferencja „Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych”. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, Vol. 24, numer 3 specjalny, s.219. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2004.
- [10] Zyzak P.: *Ocena stanu powierzchni odlewów po obróbce strumieniowo-ściernej przy użyciu profilometru TOPO1*. XXIX konferencja naukowa z okazji Święta Odlewnika 2005 : Kraków, listopad 2005. Wydział Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej s. 81–87
- [11] Katalogi i prospekty firmy OLYMPUS

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako praca własna nr 10.10.170.244*

# PRODUKCJA FORM I RDZENI Z EKOLOGICZNYM SYSTEMEM SPOIWOWYM

Alois BURIAN<sup>1</sup>  
Jiří NOVOTNÝ<sup>2</sup>

## 1. Charakterystyka technologii ze spoiwem RUDAL na bazie polimerów mineralnych

### 1.1. Charakterystyka ogólna

Nieorganiczny system Rudal na bazie polimerów mineralnych służy do produkcji form i rdzeni utwardzanych z zewnątrz pod wpływem działania CO<sub>2</sub> w postaci gazowej. Spoiwem jest polimer mineralny Rudal A. Utwardzaczem jest dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> w postaci gazowej. Pod wpływem działania CO<sub>2</sub> wzrasta stopień polimeryzacji i dochodzi do wytwarzania polimeru z wysoką zdolnością wiążącą.

W celu osiągnięcia wyższych wytrzymałości doraźnych i wytrzymałości przy składowaniu do mieszanek można dodawać akcelerator z oznaczeniem GEOTEK. Typ wymienionego dodatku jest dobierany według wymagań dotyczących właściwości mieszanek i produkowanych rdzeni.

Nieorganiczny system Rudal na bazie polimerów mineralnych dla mieszanek utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> w porównaniu z innymi technologiami posiada przede wszystkim następujące zalety:

- Wyższe doraźne wytrzymałości po utwardzeniu w porównaniu z mieszanekami na bazie szkła wodnego.
- Lepszą zdolność magazynowania rdzeni.
- Charakter płaszczki ziarnowego na bazie polimerów mineralnych gwarantuje lepsze rozpadanie się rdzeni po wykonaniu odlewu.
- Adhezyjna destrukcja płaszczki ziarnowego gwarantuje efektywniejsze regenerowanie mieszanek.
- Niskie dawkowanie spoiwa gwarantuje niższą wilgotność mieszanki w porównaniu z mieszanekami na bazie szkła wodnego.
- Mieszanka posiada bardzo dobre właściwości zapewniające wtryskiwanie.

### 1.2. Czym są polimery mineralne

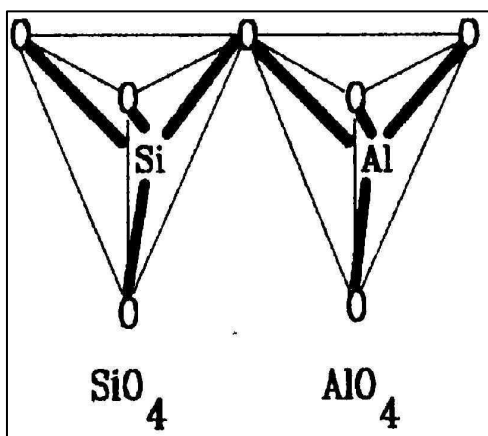
Do nieorganicznych systemów spoiw do produkcji form i rdzeni zaliczane są również spoiwa na bazie polimerów mineralnych.

Polimery mineralne są materiałami zupełnie nieorganicznymi i należą do glinokrzemianów alkalicznych. Są to materiały zawierające krzem, aluminium i pierwiastek alkaliczny taki jak sód lub potas. W przyrodzie takie materiały występują jako zeolity. Polimery mineralne nie powstają jednak w procesach geologicznych, ale są wytwarzane sztucznie. Polimery mineralne otrzymały swoją nazwę dlatego, że ich skład jest zbliżony do składu skał naturalnych.

<sup>1</sup> inż., SAND TEAM Spol. s r.o., Brno

<sup>2</sup> mgr inż., SAND TEAM Spol. s r.o., Brno

Polimery mineralne są przedmiotem badań w wielu krajach świata już od ponad dziesięciu lat. Najszersze badania są prowadzone w przemyśle budowlanym. Przy takim



zastosowaniu polimer mineralny wytwarza się w czasie reakcji między materiałem zawierającym krzem i aluminium (np. popioły, żużel, substancje kaolinowe) i aktywatorem alkaicznym. Wynikiem reakcji jest nieorganiczny polimer na bazie krzemu i aluminium, oznaczany też jako polisialit. Niniejszy mineralny polimer składa się z łańcuchów tetraedrów  $\text{SiO}_4$  i  $\text{AlO}_4$ .

Końcowy produkt w porównaniu z materiałami klasycznymi posiada szereg zalet. Polimery mineralne wytworzone dla budownictwa posiadają np. kilkakrotnie wyższą wytrzymałość niż powszechnie używany beton, są wysoko

żaroodporne, są wysoko odporne na działanie chemikaliów i czynników atmosferycznych. W budownictwie proces utwardzania materiałów jest długookresowy (np. wytrzymałość jest kontrolowana po 28 dniach) i dlatego tej metody wytwarzania polimeru mineralnego nie można zastosować dla celów odlewnictwa, gdy wymagany czas utwardzania waha się w zakresie od kilkudziesięciu sekund do kilku godzin.

Dla odlewni jest do dyspozycji spoiwo na bazie polimerów mineralnych oznaczone jako RUDALA.

Zasada zastosowania w warunkach odlewnictwa (tj. zapewnienie potrzebnej prędkości wytworzenia wytrzymałego polimeru) polega na tym, że spoiwem jest prekursor na bazie polimeru mineralnego. Tzn., że polimer mineralny nie powstaje aż w czasie reakcji utwardzania, ale że już samotne spoiwo jest polimerem mineralnym z niskim stopniem polimeryzacji. To umożliwia dostateczną prędkość utwardzania niezbędną przy produkcji form i rdzeni odlewniczych.

### 1.3. Możliwości wykorzystania technologii RUDAL

RUDAL jest nieorganicznym systemem spoiw na bazie polimerów mineralnych. Niniejszy system spoiw nadaje się do produkcji rdzeni i form z mieszanek utwardzanych pod wpływem działania  $\text{CO}_2$  przygotowanych w mieszarkach kołowych lub w mieszarkach typu S. Nieorganiczny system spoiw nadaje się do produkcji odlewów ze stali, żeliwa, metali nieżelaznych i innych stopów. System spoiw Rudal nadaje się do wszystkich rodzajów piasków kwarcowych, chromitowych i cyrkonowych. Niniejszy system spoiw nadaje się przede wszystkim jako zamiana dotychczasowych systemów spoiw na bazie szkła wodne- $\text{CO}_2$  lub resol- $\text{CO}_2$ .

## 2. Właściwości mieszanek

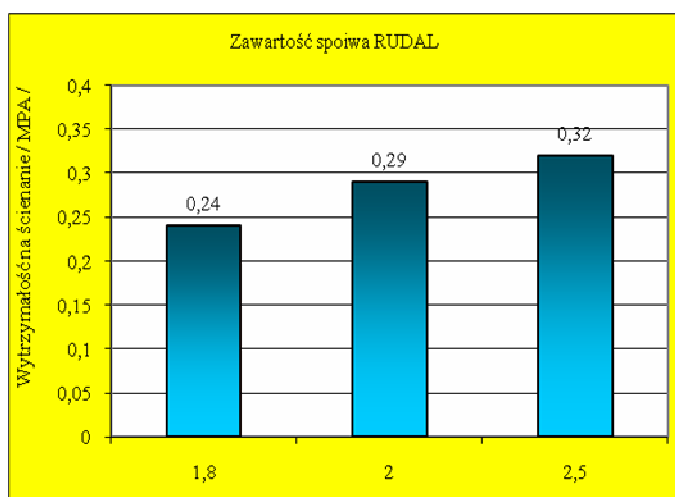
System posiada bardzo dobre właściwości wiążące umożliwiające osiągnięcie wysokich wytrzymałości. Dlatego można wyraźnie zmniejszyć zawartość spoiwa w porównaniu z innymi nieorganicznymi systemami spoiw dla mieszanek utwardzanych pod wpływem działania  $\text{CO}_2$ . System spoiw Rudal A z dodatkami z oznaczeniem GEOTEK gwarantuje wysokie doraźne wytrzymałości rdzeni. Dodatki z oznaczeniem GEOTEK zabezpieczają zwiększenie prędkości utwardzania w porównaniu ze szkłem wodnym. Ma to wpływ na zużycie  $\text{CO}_2$  i wyraźne obniżenie kosztów. Rdzenie wykonane z mieszanek utwardzanych pod wpływem działania  $\text{CO}_2$  ze spoiwem RUDAL posiadają dłuższy okres składowania niż rdzenie ze szkła wodnego. Nieorganiczny mineralny system RUDAL gwarantuje bardzo dobre rozpadanie rdzeni przy niskich temperaturach i efektywną odnawialność mieszanki wtórnej.

## 2.1. Wytrzymałość po utwardzeniu CO<sub>2</sub>

Szereg odlewni stosuje przy produkcji rdzeni metodę utwardzania pod wpływem działania CO<sub>2</sub>, głównie dzięki temu, że dana metoda ma szereg zalet. Jako spoiwo jest używane szkło wodne lub alkaliczna żywica rezolowa. Mieszanki ze szkłem wodnym po utwardzeniu pod wpływem działania CO<sub>2</sub> osiągają wytrzymałość na ścinanie 0,25 – 0,35 MPa, mieszanki rezol - CO<sub>2</sub> miewają wytrzymałość na ścinanie w zakresie 0,3 aż 0,6 MPa. W celu osiągnięcia powyższych wytrzymałości w praktyce do mieszanki ze szkłem wodnym dawkuje się 4,0 aż 5,0 % spoiwa a do mieszanki rezol - CO<sub>2</sub> 2,5 aż 3,0 % spoiwa.

Już przy badaniach z próbkami laboratoryjnymi spoiwa na bazie polimerów mineralnych okazało się, że niniejsze spoiwo mineralne posiada wysoką zdolność wiążącą. Przy zastosowaniu spoiwa RUDAL wymaganych wytrzymałości (0,25 aż 0,35 MPa) można już osiągnąć przy dawkowaniu 2,0 aż 2,5 % spoiwa do mieszanki.

Na rys. nr 1 są przedstawione osiągnięte wytrzymałości przy dawkowaniu 1,8 aż 2,5 % spoiwa RUDAL A. Możliwość niskiego dawkowania spoiwa mineralnego do samoutwardzających mieszanek potwierdzają także wyniki praktyczne uzyskiwane przy produkcji rdzeni utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub>.

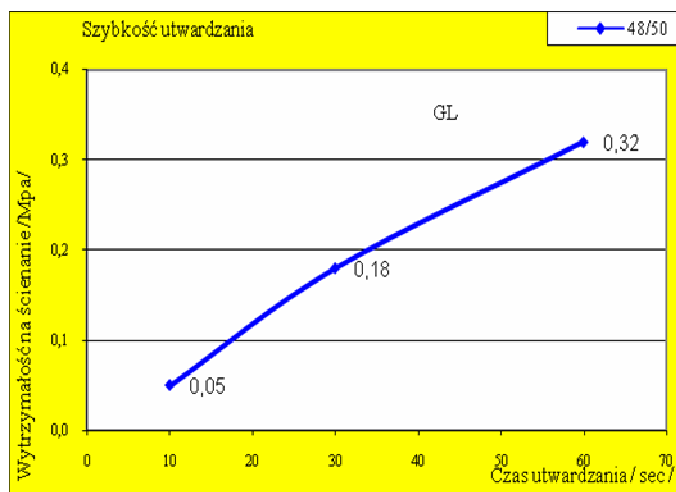


Rys. nr 1 Wytrzymałość tuż po utwardzeniu pod wpływem działania CO<sub>2</sub> przy zawartości spoiwa RUDAL A w ilości 1,8 aż 2,5 % na 100 % domieszki ochudzającej Šajdíkové Humence Š 27. Czas utwardzania 60 s / 15 l.

## 2.2. Prędkość utwardzania a zużycie CO<sub>2</sub>

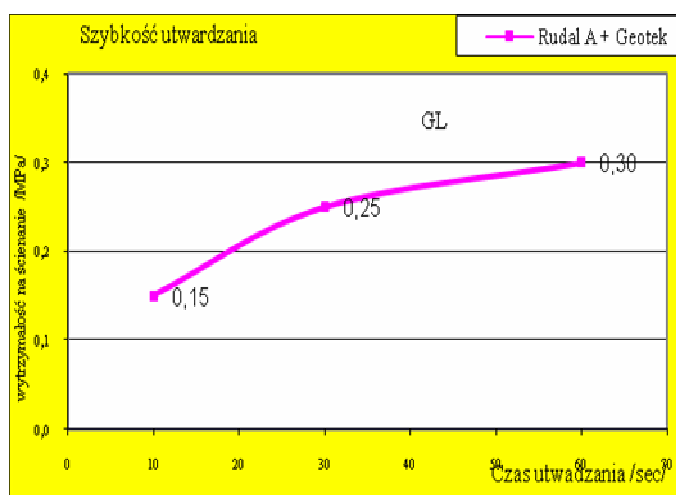
U wszystkich mieszanek utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> ważnym parametrem jest czas utwardzania mieszanki. Z tym jest również powiązane zużycie medium utwardzającego. Zużycie CO<sub>2</sub> do utwardzania tworzy ważny składnik kosztów produkcji mieszanki i w większości koszty na CO<sub>2</sub> są wyższe niż koszty na spoiwo. Na rys. nr 2 jest przedstawiona prędkość utwardzania dla typowej mieszanki z 4 % szkła wodnego 48/50. Utwardzanie przebiega stosunkowo powoli, po 10 sekundach działania CO<sub>2</sub> wytrzymałości są tylko bardzo niskie.

U mieszanek z zastosowaniem spoiwa mineralnego RUDAL A do wpływania na prędkość utwardzania jest stosowany dodatek akceleratora. Dzięki temu można osiągnąć wysoką prędkość utwardzania. Do dyspozycji jest kilka typów akceleratorów.



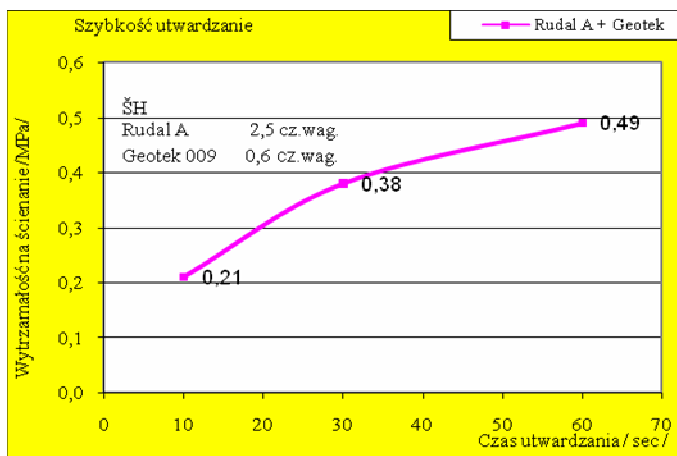
Rys. nr 2 Charakterystyczna zależność wytrzymałości od czasu utwardzania pod wpływem działania  $CO_2$  u mieszanek z 4 % normalnego szkła wodnego 48/50

Rys. nr 3 przedstawia zastosowanie akceleratora GEOTEK 007, który po 10 s utwardzania umożliwia osiągnięcie trzy razy wyższej wytrzymałości w porównaniu do mieszanek ze szkłem wodnym.



Rys. nr 3 Charakterystyczna zależność wytrzymałości od czasu utwardzania pod wpływem działania  $CO_2$  u mieszanek z 2,5 % spoiwa mineralnego RUDAL A z dodatkiem akceleratora GEOTEK 007

Przy zastosowaniu akceleratora GEOTEK 005 można już po 10 s utwardzania osiągnąć wytrzymałość na ściskanie ponad 2 MPa i stosunkowo wysokie wytrzymałości końcowe po utwardzeniu pod wpływem działania  $CO_2$ , jak przedstawia rys. nr 4.

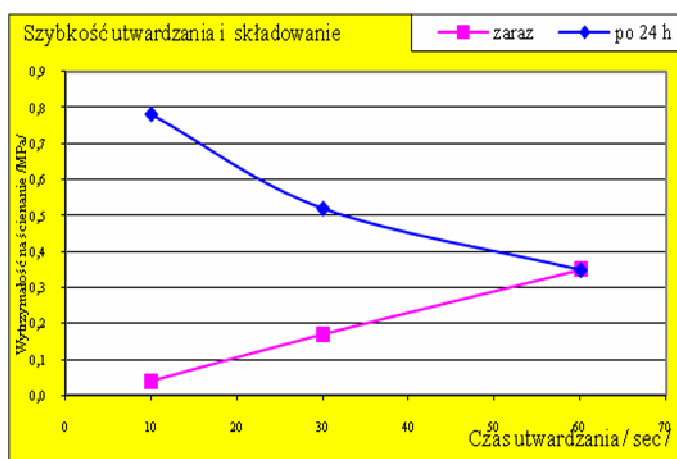


Rys. nr 4 Zależność wytrzymałości od czasu utwardzania pod wpływem działania CO<sub>2</sub> u mieszanek z 2,5 % spoiwa mineralnego RUDAL A z dodatkiem akceleratora GEOTEK 005

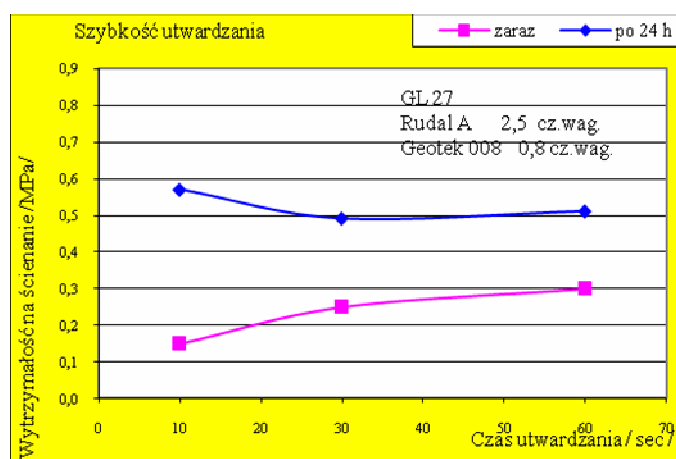
### 2.3. Okres składowania rdzeni

Rysunki nr 5 i 6 przedstawiają porównanie doraźnych wytrzymałości i wytrzymałości po 24 godzinach mieszanek utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> z RUDALEM A i szkła wodnego 48/50. Porównanie przeprowadzono dla piasku GL 27. Wyniki z domieszkami ochudzającymi GL 27 i ŠH 27 są podobne. Z porównania wypływa:

- Wytrzymałości na ściskanie po 24 godzinach u mieszanek z Rudalem A wynoszą ponad 0,5 MPa.
- Przy wszystkich czasach utwardzania wytrzymałość mieszanek z Rudalem A utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> jest na jednakowym poziomie. Jest to zasadnicza różnica w porównaniu z mieszankami ze szkłem wodnym
- Prędkość utwardzania w porównaniu ze szkłem wodnym 48/50 jest zasadniczo wyższa.



Rys. nr 5 Porównanie wytrzymałości doraźnych i wytrzymałości po 24 godzinach mieszanek utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> ze szkłem wodnym 48/50.

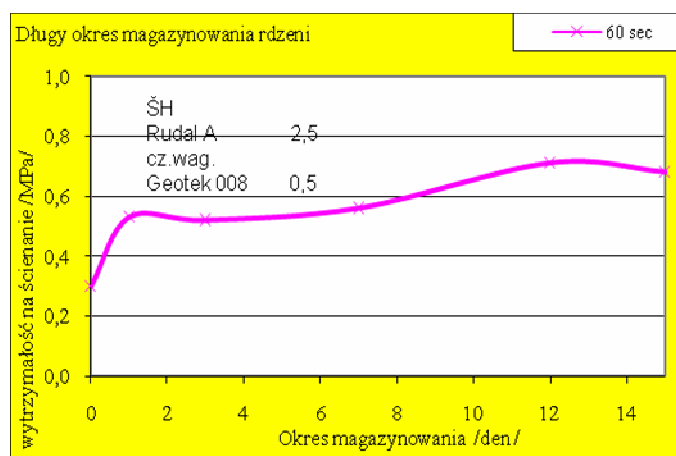


Rys. nr 6 Porównanie wytrzymałości doraźnych i wytrzymałości po 24 godzinach mieszanek utwardzanych pod wpływem działania  $CO_2$  z RUDALEM A.

#### 2.4. Okres składowania rdzeni

Rysunek nr 7 przedstawia okres składowania rdzeni z mieszanek utwardzanych pod wpływem działania  $CO_2$  z RUDALU A. Z grafu wypływa:

- Utwardzone rdzenie nie zmieniają swojej wytrzymałości przez okres 15 dni
- Wytrzymałości na ściskanie w okresie składowania wynoszą ponad 0,5 Mpa.



Rys. nr 7 Zmiana wytrzymałości w zależności od czasu składowania rdzeni.

Utwardzone mieszanki z Systemem mineralnych spoiw mają bardzo długi okres składowania, co potwierdzają badania laboratoryjne przedstawione na rys. nr 7. Rdzenie składowane do drugiego dnia zwiększą wytrzymałość na ściskanie prawie dwukrotnie, do poziomu 0,5 MPa. Dana wytrzymałość nie ulega obniżeniu ani przy długim okresie składowania. Rysunek przedstawia wyniki badań przy okresie składowania 15 dni. Potwierdzają to również wyniki uzyskiwane przy składowaniu w warunkach eksploatacyjnych. Rdzenie składowane przez kilka tygodni nie zmieniły swej wytrzymałości, ani nie doszło do zwiększenia ścieralności. Okres składowania rdzeni można określić jako dłuższy niż u mieszanek ze szkłem wodnym. Nie stwierdzono także śladów powstawania tzw. „wykwitania”, jak w przypadku mieszanek ze szkłem wodnym.

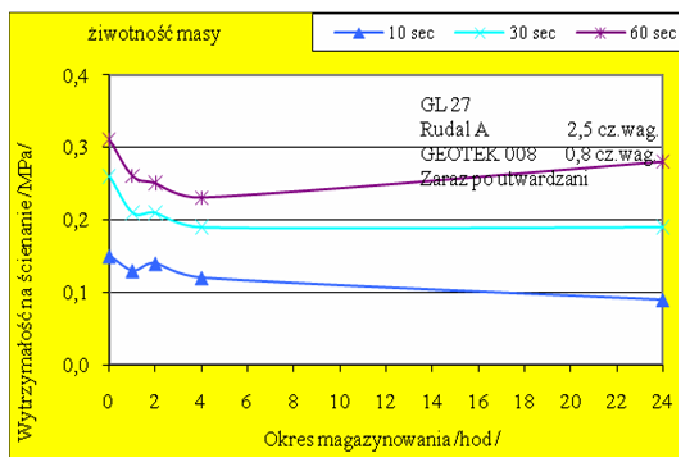
#### 2.5. Płynność mieszanek – zdolność do wtryskiwania

Mieszanki z dodatkiem akceleratora GEOTEK 007 posiadają bardzo dobrą zdolność wtryskiwania. Mieszanka posiada dobrą płynność, łatwo wypełnia przestrzenie rdzennicy. Zdolność do wtryskiwania jest zasadniczo wyższa niż w przypadku mieszanek ze szkłem wodnym.

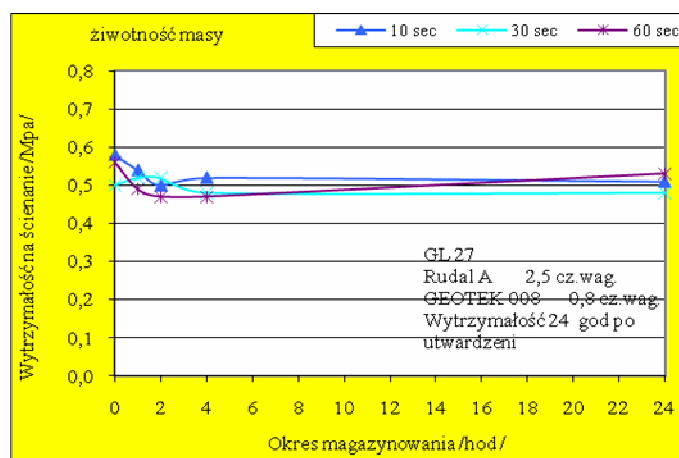
## 2.6. Obrabialność mieszanki

Na rysunkach jest zamieszczona obrabialność mieszanek z RUDALEM A utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub>. Na grafie nr 6 jest podana doraźna wytrzymałość na ścinanie wałeczków przygotowanych z mieszanki składowanej. Na grafie nr 7 jest podana wytrzymałość na ścinanie po 24 godzinach wałeczków przygotowanych z mieszanki składowanej. Z grafów wynika:

- Mieszanka jest obrabialna 24 godzin



Rys. nr 8 Doraźna wytrzymałość na ścinanie wałeczków przygotowanych z mieszanki składowanej 0 aż 24 godzin.



Rys. nr 9 Wytrzymałość na ścinanie po 24 godzinach wałeczków przygotowanych z mieszanki składowanej 0 aż 24 godzin.

## 3. Właściwości po wykonaniu odlewu

### 3.1. Zdolność rozpadania

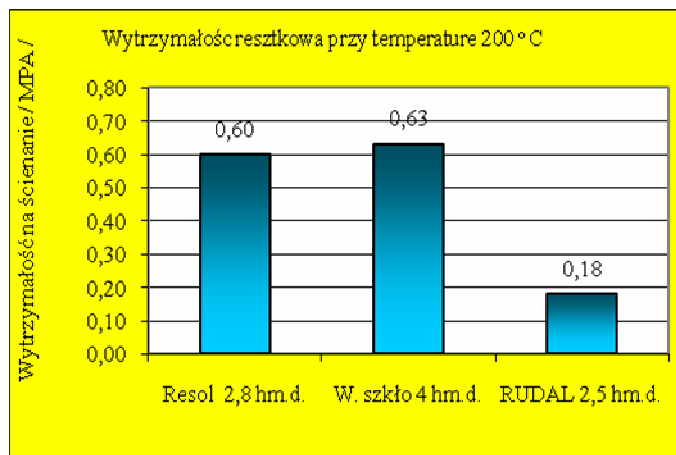
Ze względu na swój charakter ziarnowa powłoka na bazie polimerów mineralnych gwarantuje lepszą zdolność rozpadania po wykonaniu odlewu niż np. mieszanki ze szkłem wodnym.

W przypadku mieszanek ze szkłem wodnym występuje tzw. pierwsze maksimum reszkowych wytrzymałości przy temperaturach 200 °C. Również mieszanki rezol CO<sub>2</sub> mają przy powyższej temperaturze wysokie reszkowe wytrzymałości i gorszą zdolność rozpadania. Mieszanki ze spoiwem mineralnym żadne zwiększone wytrzymałości w wymienionym zakresie temperatur nie mają. Wprost przeciwnie wytrzymałości są niskie i zapewniają dobre rozpadanie. Porównanie reszkowych wytrzymałości przy temperaturze

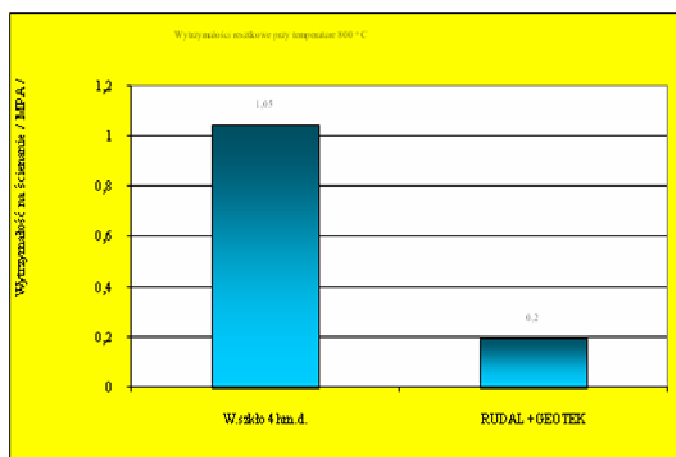


200 °C przedstawiono na rys. nr 10. Również badania praktyczne w warunkach eksploatacyjnych przeprowadzone na odlewach potwierdziły polepszoną zdolność rozpadania nie tylko w odniesieniu do mieszanek ze szkłem wodnym, ale także i w odniesieniu do mieszanek rezol - CO<sub>2</sub>.

W przypadku mieszanek ze szkłem wodnym występuje tzw. drugie maksimum resztkowych wytrzymałości przy temperaturach 800 °C. Również przy tej temperaturze ze spoiwem mineralnym można osiągnąć niższe resztkowe wytrzymałości. Dla takiego przypadku zaleca się zastosować akcelerator GEOTEK 005, który umożliwi zmniejszenie resztkowej wytrzymałości przy wymienionej temperaturze aż do jednej piątej w porównaniu z mieszankami ze szkłem, co przedstawiono na rys. nr 10.



Rys. nr 10 Porównanie resztkowych wytrzymałości przy temperaturach pierwszego maksimum wytrzymałości mieszanek ze szkłem wodnym, tj. przy temperaturze 200 °C. Porównanie mieszanek rezol - CO<sub>2</sub>, szkło wodne - CO<sub>2</sub> i RUDAL A - CO<sub>2</sub>.



Rys. nr 11 Porównanie resztkowych wytrzymałości przy temperaturach drugiego maksimum wytrzymałości mieszanek ze szkłem wodnym, tj. przy temperaturze 800 °C. Porównanie mieszanek szkło wodne - CO<sub>2</sub> i RUDAL A z akceleratorem GEOTEK 005.

## 4. Produkcja rdzeni

### 4.1. Rodzaj mieszarki i czas mieszania

Do przygotowania mieszanek formierskich w praktyce nadaje się szczególnie mieszarka kołowa ewentualnie mieszarka typu S. W przypadku, że mieszarka była zastosowana do przygotowania innej mieszanki, wówczas wcześniej należy ją dokładnie oczyścić. Zaleca się czas mieszania 4 minuty. 1 minutę piasek z dodatkiem

GEOTEK + 3 minuty ze spoiwem RUDAL A. Jeśli mieszanka nie jest dostatecznie wyrobiona (tworzą się grudki), należy ją mieszać dłużej. W mieszance nie mogą pozostawać nie rozmieszane cząsteczki spoiwa. W przeciwnym przypadku nie będzie wykorzystana cała zdolność wiążąca spoiwa.

#### 4.2. Formowanie

Formowanie ręczne: z mieszanką ze spoiwem RUDAL A utwardzaną pod wpływem działania CO<sub>2</sub> pracuje się podobnie jak z mieszanką ze szkłem wodnym. Okres składowania mieszanki po jej namieszaniu wynosi 24 godzin. Mieszankę należy chronić przed dostępem powietrza. Mieszanka ma niską wilgotność i wysoką płynność. To może powodować komplikacje przy ręcznym formowaniu skomplikowanych rdzeni. Mieszanka niema tak wysokich właściwości wiążących w stanie surowym, jest sypka.. Rdzenie są lekko wrażliwe na dotyk przy wyjmowaniu z rdzennicy i na manipulację z nimi. Po około 10 min. powierzchnia rdzenia uzyskuje wysoką jakość.

Formowanie maszynowe: mieszanka ze spoiwem RUDAL A utwardzana pod wpływem działania CO<sub>2</sub> nadaje się szczególnie do wtryskiwania, w porównaniu do mieszanek ze szkłem wodnym i rezolem ma bardzo dobrą płynność. Do wtryskiwania można zastosować takie same typy maszyn wtryskowych jak do wtryskiwania mieszanek ze szkłem wodnym. Mieszanka ma wyższą doraźną wytrzymałość niż mieszanki ze szkłem wodnym. Z tego powodu można wtryskiwać i bardzo skomplikowane rdzenie, których nie można wykonać przy zastosowaniu szkła wodnego.

#### 4.3. Czas utwardzania

Zaleca się skrócić czas utwardzania (przedmuchiwanie) w porównaniu ze szkłem wodnym minimalnie o jedną trzecią. Skrócony czas przedmuchiwanie przejawia się w zmniejszeniu zużycia CO<sub>2</sub> i z tym związanych kosztów. W porównaniu z rezolem ( np. Carbophen) jest wymagany dłuższy czas utwardzania. Czas przedmuchiwanie jest specyficzny dla każdego typu rdzennicy.

#### 4.4. Lakiery do rdzeni

Dla rdzeni utwardzanych pod wpływem działania CO<sub>2</sub> ze spoiwem RUDAL A zaleca się używać lakiery spirytusowo-grafitowe. Lakiery zaleca się używać tylko na miejscach eksponowanych (cienkie żebra itp.).

#### 4.5. Składowanie rdzeni

Warunki składowania są podobne jak dla rdzeni ze szkła wodnego lub rezolu. Rdzenie wykonane z mieszanki z RUDALEM A w porównaniu do rdzeni ze szkła wodnego są mniej wrażliwe na nawilżanie. Okres składowania rdzeni z RUDALU A jest wyraźnie dłuższy niż w przypadku rdzeni ze szkła wodnego lub rezolu.

### 5. Odlewnia aluminium

**Odlewane materiały:** stopy Al i Cu

**Masa odlewów:** 0,1-1000kg

**Wydajność roczna:** 600t stopów Al  
100t stopów Cu

**Liczba pracowników:** 70

**Produkcja rdzeni:** proces RUDAL A - CO<sub>2</sub>

**Mieszarka:** Kołowa MK2

**Regeneracja:** Chodzi o autogeniczną kruszarkę brył o nazwie Grizzly. Kruszarka jest przystosowana do pracy w odlewnictwie do kruszenia rdzeni. Materiał jest dostarczany do sekcji kruszenia. Sekcja wykonuje przestrzenny pionowy i poziomy ruch wibracyjny.

Przy określonej wysokości warstwy dojdzie pod wpływem wibracji i ciężaru do wzajemnego kruszenia brył. Pod wpływem wzajemnego ocierania ziarn dojdzie do mechanicznego usunięcia płaszczki spoiwowej z ziarn i następnie jego odwiania strumieniem powietrza z regenerowanej mieszanki.

**Tabela 3.** Porównanie limitowych wartości mieszanki regenerowanej z wartościami mieszanki regenerowanej z odlewni Agma.

Parametr	Jednostka	Wartość limitowa	Regenerat z odlewni Agma
Woda krystaliczna	%	<b>0,80</b>	0,46
Zawartość Na <sub>2</sub> O	%	<b>0,120</b>	0,19
Wilgotność	%	<b>0,50</b>	0,29
Cząsteczki < 0,125 mm	%	<b>0,90</b>	0,29

#### Składniki mieszanki:

Domieszka ochudzająca: piasek kwarcowy, d<sub>50</sub> 0,27mm

Spoivo: RUDAL A

Dodatek: GEOTEK 007

Środek utwardzający: CO<sub>2</sub>

#### Dawkowanie:

Piasek kwarcowy, d<sub>50</sub> 0,27mm      50%

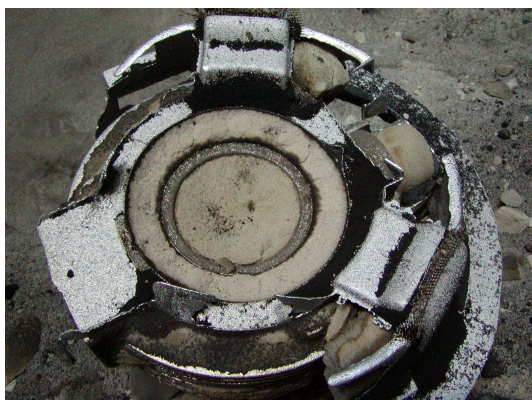
Mieszanka regenerowana                50%

RUDAL A                                        2,5%

GEOTEK 007                                    0,2%

Mieszanki o powyższym składzie są stosowane do produkcji rdzeni prostych i skomplikowanych.

#### Zdolność rozpadania mieszanki:



Rys.nr.15 Rdzeń przed wybijaniem



Rys.nr.16 Rdzeń po wybijaniu

Rdzenie utwardzane pod wpływem działania CO<sub>2</sub> ze spoiwem RUDALU A posiadają bardzo dobrą zdolność rozpadania. Rdzeń nie rozpada się na wielkie bryły, ale drobi się na piasek co widać na zamieszczonym rysunku. Rdzeń przedstawiony na rysunku można wybić z odlewu w ciągu kilku sekund.

## 6. Lakiery

Powierzchnię rdzeni i form można pokryć lakierami spirytusowymi. Suszenie może przebiegać samoczynnie lub po zapaleniu. Dodatek GEOTEK 007 wpływa na podniesienie jakości powierzchni odlewu. Czasami nie jest konieczne stosowanie lakieru.

W obecnym czasie są opracowywane lakiery na bazie wodnej.

## 7. Modele i rdzennice

Modele posiadają takie same ukosy jak dla mieszanek ze szkłem wodnym. Powierzchnie modeli i rdzennicy ze stopów aluminium mogą być nadtrawione przez składniki żrące ze spoiwa, dlatego zaleca się pokryć je warstwą lakieru.

## 8. Separatory

Powierzchnię roboczą modeli i rdzennic zaleca się poddać działaniu separatorów, dostarczanych przez firmę Technofond GmbH.

## 9. Kleje i kity

Do naprawy ułamanych części rdzeni zaleca się stosować takie same kleje jak dla klasycznych mieszanek CT.

Naprawa nierówności, grubej powierzchni, rzadkich miejsc rdzeni zaleca się zastosować talk wymieszany z PTL o wymaganej gęstości. Firma dostarcza również kity do naprawy i kleje dostosowane do niniejszej technologii.

## 10. Odlewane materiały

Stal

Żeliwa

Metale nieżelazne i ich stopy – w tych przypadkach konstatowano bardzo dobrą zdolność rozpadania.

## 11. Warunki higieniczne

RUDAL A ze względu na swój alkaliczny skład według Ustawy o substancjach chemicznych Dz.U. nr 356/ 2003 (CZ) jest klasyfikowany jako substancja drażniąca. Instrukcja postępowania przy pracy i warunki składowania są zamieszczone w karcie bezpieczeństwa.

## NOWOCZESNE MASY ZE SPOIWAMI NIEORGANICZNYMI

Mariusz HOLTZER<sup>1</sup>  
Beata GRABOWSKA<sup>2</sup>

### 1. Wprowadzenie

Trzy ważne elementy decydują o trwałym sukcesie odlewni: wydajność, jakość i środowisko [1]. Coraz ostrzejsze przepisy w zakresie środowiska oraz rosnący nacisk społeczeństwa powoduje, że wiele odlewni zmuszonych jest do poszukiwania ekologicznych spoiw organicznych (o mniejszej emisji) lub alternatywy dla tych spoiw jaką są spoiwa nieorganiczne dla wykonywania rdzeni. Dotychczasowe spoiwa nieorganiczne oparte na szkle wodnym posiadają szereg wad, jakimi są zła wybijalność czy dodatek organicznego utwardzacza. Jest to spowodowane kilkoma zaletami tych spoiw: brak emisji podczas wykonywania rdzeni, zmniejszenie emisji dymów i gazów podczas zalewania, chłodzenia i wybijania form oraz łatwa regeneracja i mniejszy nakład pracy na czyszczenie oprzyrządowania (rdzennice, kokile), przy równocześnie dobrej wybijalności oraz dobrej jakości powierzchni odlewów. Nowoczesne spoiwa nieorganiczne opierają się, co prawda również na krzemianach nieorganicznych, ale utwardzanych czynnikami fizycznymi np. temperaturą. Pierwsze wdrożenia w tym zakresie prowadzone były głównie dla odlewów kokilowych z mosiądzu i metali lekkich. Ale zastosowanie tych technologii dla odlewów żeliwnych również zostało sprawdzone w warunkach przemysłowych. Różne firmy zajmujące się wytwarzaniem spoiw dla mas opracowały w tym obszarze swoje technologie. Należą do nich ASK Chemicals (technologia INOTEC), Hüttenes Albertus (technologia Cordis) oraz technologia AWB.

### 2. Technologia „tradycyjna” mas ze szkłem wodnym

Spoivo w tej technologii oparte jest na krzemianie sodu utwardzanym poprzez przedmuchiwanie CO<sub>2</sub> lub stosowanie utwardzacza organicznego [2]. Podczas procesu przedmuchiwania CO<sub>2</sub> masa uzyskuje wytrzymałość w wyniku reakcji chemicznej, której wynikiem jest wytrącanie się Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Proces ten ma zdecydowane wady:

- reakcja chemiczna jest nieodwracalna,
- woda „rozpuszczalnikowa” w większości pozostaje w rdzeniu,
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> i SiO<sub>2</sub> mogą tworzyć fazę szklaną w wyższej temperaturze, co utrudnia usuwanie rdzeni, regeneracja takich rdzeni jest trudna lub nawet niemożliwa

Dруга technologia wykorzystuje ciekłe utwardzacze w postaci estrów, oparte głównie na glicerynie i glikolu etylenowym (tzw. octany). Ten organiczny składnik poprawia wybijalność masy, ale z drugiej strony zwiększa nieco szkodliwość masy dla otoczenia. Ujemną cechą tych mas jest gorsza wybijalność niż mas ze spoiwami organicznymi, a także wysoka cena utwardzacza estrowego.

### 3. Technologia AWB

Podstawą technologii AWB jest zmodyfikowane szkło wodne [3] (proces ten został opatentowany w 1997 roku). Spoivo stosowane w tej technologii ma wyraźnie mniejszą lepkość niż normalne szkło wodne sodowe stosowane do mas rdzeniowych i formierskich.

<sup>1</sup> prof. dr hab., Wydział Odlewnictwa AGH w Krakowie, e-mail: holtzer@agh.edu.pl

<sup>2</sup> dr., – adiunkt, Wydział Odlewnictwa AGH w Krakowie

Dzięki temu spoiwo to jest znacznie łatwiej wymieszać i homogenizować z piaskiem. Wpływa to również korzystanie na charakterystykę masy do wstrzeliwania, która jest zbliżona do masy w technologii cold box. Technologia AWB pozwala na produkcję rdzeni nawet o cienkich ściankach i skomplikowanych. W procesie AWB utwardzanie rdzeni następuje tylko w wyniku fizycznego usuwania wody.

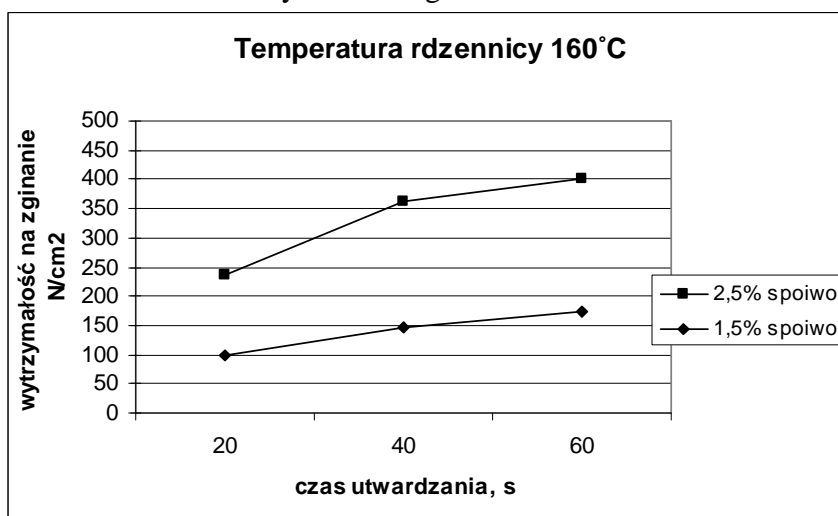
Ma to następujące zalety:

- reakcja fizycznego suszenia jest odwracalna,
- rdzenie są prawie pozbawione całkowicie wody i mogą być składowane przez długi okres,
- emitują znacznie mniej gazów w porównaniu z rdzeniami ze spoiwami organicznymi,
- uzyskuje się wyraźnie większe wytrzymałości rdzeni,
- rdzenie są łatwo usuwalne z odlewu, w związku z brakiem tworzenia się węglanu sodu,
- łatwa regeneracja spoiwa zawartego w regeneracie poprzez dodatek wody.

Utwardzanie masy rozpoczyna się w rdzennicy nagrzanej do temperatury około 140-200°C, która jest połączona z pompą próżniową do usuwania pary wodnej. Po około 10-60 sekundach, w zależności od ciężaru i geometrii rdzenia, na rdzeniu tworzy się utwardzona skorupa, tak że rdzeń uzyskuje wytrzymałość wystarczającą do usunięcia z rdzennicy i przeniesienia. Końcowe utwardzenie (odwodnienie) rdzenia następuje przy użyciu mikrofal o małej mocy (1,5 kW) przez 1-3 minuty w zależności od ciężaru rdzenia.

Ten etap jest bardzo ważny, ponieważ woda pozostająca w rdzeniu może rozpuszczać mostki spoiwa, co skraca czas możliwego ich składowania. Po ochłodzeniu do temperatury pokojowej rdzeń osiąga swoją końcową wytrzymałość i może być zastosowane w odlewie. Zastosowanie próżni pomaga zredukować ciśnienie wstrzeliwania rdzeni o około 0,5-1,0 bara.

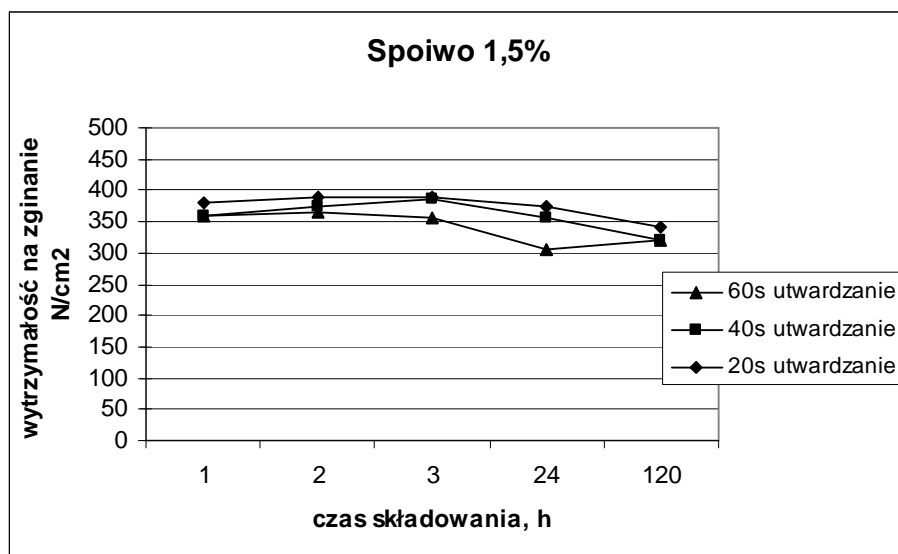
Badania wykazały, że aby uzyskać taką samą wytrzymałość rdzeni wytwarzanych wg technologii AWB jak rdzeni w technologii cold –box (dwie serie o zawartości spoiwa 0,4%/0,4% oraz 0,8%/0,8% (żywica/aktywator) konieczne jest zastosowanie spoiwa w ilości odpowiednio 1,5% i 2,5% [3]. Aby wyprodukować mocne rdzenie w krótkim cyklu czasowym ważne jest wytrzymywanie rdzeni w nagrzanej rdzennicy tak krótko jak to jest możliwe (rys. 1). W praktyce zwykle wytrzymałość 100 N/cm<sup>2</sup> jest wystarczającą do przeniesienia rdzeni z rdzennicy do dalszego utwardzania.



Rys. 1. Zależność wytrzymałości na zginanie przed obróbką mikrofalami od czasu utwardzania w rdzennicy

Po obróbce mikrofalami rdzenie osiągają swoją pełną wytrzymałość, którą będą utrzymywać przez cały okres składowania. Przy czym im krótszy jest czas utwardzania

w rdzennicy, tym większą wytrzymałość uzyskuje rdzeń po obróbce mikrofalami (rys. 2).



Rys. 2. Zależność wytrzymałości na zginanie po obróbce mikrofalami od czasu składowania

Wyniki prób przemysłowych odlewania grawitacyjnego stopów aluminium do kokil przy zastosowaniu rdzeni wykonanych według technologii AWB wykazały, że proces ten:

- nie powoduje emisji gazów innych poza parą wodną,
- nie powoduje kondensowania się osadów na powierzchni kokili,
- pozwala produkować rdzenie bez wad,
- usuwanie rdzeni z odlewu może być wykonane przy zastosowaniu standardowego wyposażenia.

Bardzo dobre wyniki uzyskano również w próbach wykonywania odlewów staliwa, żeliwa, staliwa odpornego na korozję i innych stopów odlewniczych.

Pierwsze testy w zakresie kompatybilności rdzeni wykonanych technologią AWB i masy z bentonitem nie wykazały negatywnego wpływu na zagęszczalność masy i na wytrzymałość na rozciąganie na wilgotno przy dodatku 25% rdzeni AWB.

#### 4. Nieorganiczne spoiwo CORDIS

Koncepcja systemu wiązania CORDIS została opracowana już w latach 90-tych XX wieku przez firmę Hüttenes –Albertus jako spoiwa, którego osnowa byłaby całkowicie nieorganiczna, a jedynym rozpuszczalnikiem jest woda [4, 5]. W zależności od typu spoiwa osnowa składa się z kombinacji grup fosforanowych, krzemianowych i boranowych. Właściwości danego typu spoiwa można regulować poprzez celowe kombinacje i zmiany struktury osnowy spoiwa. Dla polepszenia właściwości spoiwa stosuje się dodatki nieorganiczne, które są włączane do spoiwa lub są bezpośrednio dodawane przy produkcji rdzeni. Poprzez kombinację tych dodatków można regulować ważne właściwości masy, takie jak: płynność lub trwałość rdzeni podczas składowania. Przy stosowaniu tego spoiwa, podobnie jak i innych spoiw nieorganicznych, wymaga się bardzo dobrej homogeniczności masy, dlatego należy stosować odpowiednie do tego celu mieszarki. Rdzenie można wykonywać przy użyciu znajdujących się na rynku strzelarek, pod warunkiem, że można zastosować w nich podgrzewane rdzennice.

Masa formierska zawierająca spoiwo CORDIS wstrzeliwana jest do podgrzanej do temperatury 120 – 160°C rdzennicy (w zależności od geometrii rdzenia). Po wprowadzeniu masy do rdzennicy następuje jej wstępne utwardzenie i tworzy się zewnętrzna skorupa rdzenia. Ten etap obejmuje utwardzenie tylko w wyniku suszenia i ma charakter czysto fizyczny – odparowanie wody. Ponadto, w zależności od typu stosowanego spoiwa

CORDIS, może zostać dodatkowo zainicjowany chemiczny proces utwardzania, w wyniku czego uzyskuje się większą wytrzymałość rdzeni.

W zależności od użytego piasku i typu spoiwa CORDIS, przy dodatku 1,5 – 3% (ułamek objętościowy) uzyskuje się wytrzymałość na zginanie na zimno pomiędzy 350 a 550 N/cm<sup>2</sup>. Proces utwardzania można znacznie przyspieszyć poprzez dodatkowe przedmuchiwanie rdzenia gorącym powietrzem.

Szczególą uwagę należy zwrócić na magazynowanie rdzeni ze spoiwami nieorganicznymi, które mają właściwości hydrofilne (rozpuszczalnikiem spoiwa jest woda). Z tego też względu rdzenie te są bardzo podatne na dużą wilgotność atmosfery.

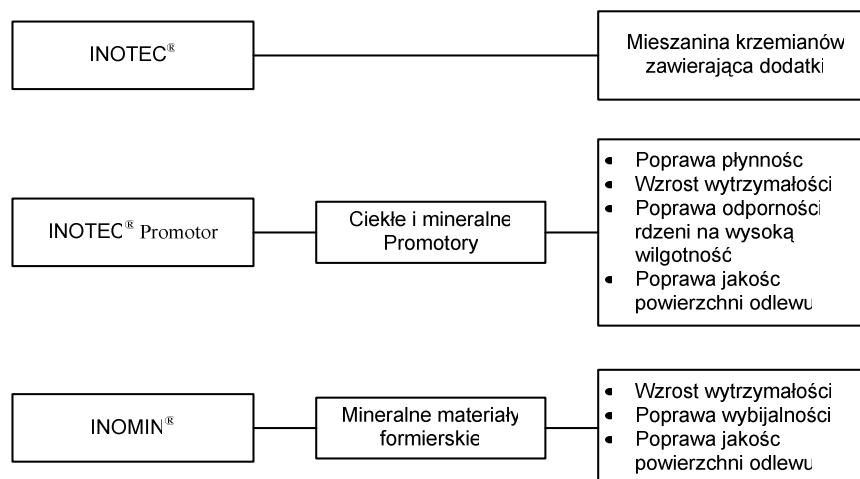
Przy odlewaniu stopów aluminium można stosować rdzenie ze spoiwem Cordis bez powłok ochronnych. Ale jeżeli byłaby taka konieczność, to mogą być użyte zarówno powłoki wodne jak i alkoholowe. Zastosowanie powłok ochronnych może spowodować niewielki spadek wytrzymałości, przy czym w przypadku polki wodnej spadek ten będzie większy.

Pozytywne efekty stosowania rdzeni ze spoiwem Cordis uzyskano przy grawitacyjnym odlewaniu kokilowym aluminium, niskociśnieniowym odlewaniu aluminium oraz odlewaniu aluminium do form wykonanych z mas z bentonitem. Uzyskiwane powierzchnie odlewów były porównywalne lub nawet lepsze niż przy użyciu rdzeni ze spoiwami organicznymi. Wybijanie rdzeni odbywa się bez problemu na będących już w użyciu urządzeniach. Natomiast przy stosowaniu regeneratu z tych rdzeni należy zwrócić uwagę na oddzielenie masy ze spoiwem Cordis od mas ze spoiwem organicznym, ze względu na odmienny charakter chemiczny tych mas.

## 5. Proces INOTEC

Nieorganiczny system spoiwa INOTEC zasadniczo zawiera trzy składniki: ciekłą mieszaninę krzemianową (w ilości 1,8 – 2,5%), wysoko zmineralizowane dodatki tzw. Promotory (0,1 – 1,0%) i jeżeli to konieczne dodatkowo mineralny materiał formierski o nazwie INOMIN (w ilości 1-30%) dodawany do piasku kwarcowego (rys. 3) [6, 7]. Składniki te mogą być mieszane w różnych proporcjach w zależności od wymagań producenta rdzeni, szczególnie gdy wymagana jest wysoka wytrzymałość rdzeni zaraz po sporządzeniu i stabilność podczas składowania w wilgotnej atmosferze. Utwardzanie spoiwa zachodzi w wyniku procesu odwodnienia w nagrzewanej rdzennicy i dodatkowo przedmuchiwania gorącym powietrzem (o temperaturze 180-200°C). Zaletą tej technologii jest wysoka natychmiastowa wytrzymałość rdzeni, krótki cykl czasowy oraz osiąganie dużej wydajności. Przy stosowaniu specjalnych Promotorów można uzyskać wytrzymałość rdzeni na gorąco > 200 N/cm<sup>2</sup>, co gwarantuje optymalne warunki do ich transportu. Rdzenie charakteryzują się homogenicznym utwardzeniem w całej objętości. W procesie można wykorzystać instalacje do technologii hot-box poprzez dodatkowe dołączenie urządzenia do przedmuchiwania gorącym powietrzem





Rys. 3. Skład spoiwa INOTEC

lub instalacje do technologii cold box wyposażone w rdzennice z możliwością nagrzewania. Proces wybijania rdzeni prowadzony jest mechanicznie, ale można stosować do tego celu również wodę. Rdzenie wykonane w technologii INOTEC dla kokilowych odlewów z mosiądzu nie wymagają stosowania powłok ochronnych, a mimo to nie występuje adhezja masy do kokili. Daje to oszczędność czasu, nakładu pracy i materiałów zarówno przy nakładaniu powłok ochronnych jak i przy obsłudze oraz czyszczeniu kokil. Prowadzone na dużą skalę próby w kilku wiodących odlewach motoryzacyjnych z nowym spoiwem wykazały szereg jego zalet. Np. odlewnia BMW modyfikuje system cold box przystosowując go do wymagań technologii INOTEC. Korzyści ze zmiany technologii to wzrost wydajności, mniejsza emisja i brak nieprzyjemnych zapachów podczas produkcji rdzeni i zalewania oraz znaczne ułatwienie czyszczenia oprzyrządowania (rdzennice, kokile), przy uzyskiwanej równocześnie wysokiej jakości powierzchni odlewów. Zdolność zagęszczania i dokładność wymiarowa rdzeni ze spoiwem INOTEC są porównywalne z tymi parametrami dla mas ze spoiwami organicznymi. Wielkość emisji gazów przy zalewaniu rdzeni INOTEC jest do 98% mniejsza w stosunku do organicznych systemów wiązania. Technologia ta została wdrożona dla kokilowych odlewów z mosiądzu i metali lekkich, ale wszystko wskazuje na jej przydatność również dla odlewów żeliwnych.

## 6. Wnioski:

Omówione procesy wytwarzania rdzeni z zastosowaniem spoiw nieorganicznych należy traktować jako pewną alternatywę w stosunku do technologii wykorzystującej spoiwa organiczne. Pozwalają one na seryjną produkcję rdzeni przy zachowaniu cyklu produkcyjnego oraz odpowiedniej wytrzymałości rdzeni. Spoiwa stosowane w tych technologiach oparte są na szkle wodnym, odpowiednio modyfikowanym i z dodatkiem określonych substancji, utwardzanym metodami czysto fizycznymi (usunięcie wody w wyniku suszenia).

Spoiwa te nie powodują emisji substancji szkodliwych dla zdrowia, ani podczas produkcji rdzeni, ani podczas zalewania, chłodzenia i wybijania form. Nie występuje również zjawisko kondensacji. Masy z tymi spoiwami nieorganicznymi łatwo się regenerują metodami mechanicznymi, a w szczególnych warunkach można zastosować regenerację wodną. Ponieważ masa nie przywiera do oprzyrządowania stąd wymagany jest znacznie mniejszy nakład pracy na czyszczenie rdzennic i kokil. Technologie te sprawdziły się przy seryjnej produkcji odlewów aluminiowych motoryzacyjnych i przeszły pomyślnie testy dla odlewów żeliwnych, staliwnych i z innych metali nieżelaznych. Przy stosowaniu spoiw nieorganicznych nowej generacji można wykorzystywać posiadane już urządzenia do mieszania i dozowania składników. Również do wykonywania rdzeni można wykorzystać

oprzyrządowanie do technologii cold box (z dodatkowym podgrzewaniem rdzennicy) lub hot box.

*Praca finansowana z pracy statutowej AGH nr 11.11.170.318*

## **7. Literatura:**

1. Holtzer M. Kierunki rozwoju mas formierskich i rdzeniowych ze spoiwami nieorganicznymi w aspekcie zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko. *Archiwum Odlewnictwa*. Rok 2002, R. 2, Nr 3, 50-56.
2. Lewandowski J.L.: *Tworzywa na formy odlewnicze*. Wyd. Akapit, Kraków 1997.
3. Steinhäuser T., Wolff A.: AWB – Une technologie de noyautage respectueuse de l’environnement. *Homes & Fonderie*. Septembre 2007, No 377, 11-15.
4. Głód A.: Nieorganiczne spoiwo CORDIS – technologia i maszyny. *Mat. Konferencyjne X Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2007*, s. 149-158.
5. Lochte K., Boehm R.: Properties and experience of an inorganic binder. *Foundry Trade Journal* January/February 2006, v. 180, 3631, 28-30.
6. Müller J., Stötzel R.: New innovative solutions for foundries by inorganic concepts. *68th WFC-World Foundry Congress*, 7th-11th February 2008, 133-136.
7. Müller J., Weicker G., Körschgen J.: Serieneinsatz des anorganischen Bindemittelsystems INOTEC im Leichtmetallguss. *Giesserei-Praxis* 5/2007, 192-194.

## BADANIA REGENEROWALNOŚCI ZUŻYTEJ MASY FORMIERSKIEJ Z ŻYWICĄ FURANOWĄ

Rafał DAŃKO<sup>1</sup>

### Streszczenie

Rosnąca światowa produkcja odlewów wynosząca w roku 2006 91,4 mln ton [1] powoduje powstawanie bardzo dużej ilości odpadów produkcyjnych, których główną część stanowią zużyte masy formierskie i rdzeniowe. Wyprodukowanie 1 tony odlewów ze stopów żelaza generuje powstanie około 1 tony odpadów [2], które w przypadku mas ze spoiwami organicznymi z reguły zawierają pewną ilość związków szkodliwych i niebezpiecznych [3]; powinny być odzyskiwane w procesach regeneracji. Jedną z barier bardziej efektywnego wdrażania technik regeneracyjnych, jest nadal brak gruntownych badań dostarczających naukowych argumentów do doboru najlepszych dostępnych technik regeneracji (BAT), zgodnie z dyrektywami unijnymi [4].

W artykule przedstawiono syntezę badań porównawczych procesu regeneracji mechaniczno-ściernej, mechaniczno-kriogenicznej oraz termicznej, zużytej masy z żywicą furfurylową prowadzonych na Wydziale Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Przedstawiono opis stanowisk doświadczalnych, metodę badań oraz uzyskane wyniki.

### 1. Wstęp

W przypadku regeneracji masy zużytej z żywicą furfurylową najbardziej skutecznym sposobem jej odzysku jest regeneracja termiczna, realizowana najczęściej w regeneratorach termicznych ze złożem fluidyzacyjnym. W artykule przedstawiono wyniki badań regeneracji termicznej w regeneratorze ze złożem fluidyzacyjnym, przy czym jako czynnik fluidyzujący wykorzystano powietrze, mieszaninę tlenu i powietrza oraz sam tlen, jako czynnik inicjujący proces wytlewania masy.

Aktualnie, w odniesieniu do mas zużytych z żywicami furfurylowymi najczęściej w praktyce stosuje się regenerację mechaniczną w urządzeniach realizujących połączone procesy ścierania, ocierania i kruszenia, w wyniku których z ziarna osnowy (najczęściej kwarcowej) zostaje usunięta otoczka zużytego materiału wiążącego. Niska efektywność klasycznej regeneracji mechanicznej masy zużytej, skłania do stałego poszukiwania nowych, bardziej intensywnych procesów mających na celu poprawę efektów prowadzonej obróbki regeneracyjnej. W prezentowanych dalej badaniach zastosowano nową metodę intensyfikacji procesów regeneracji mechanicznej, którą jest chłodzenie regenerowanej masy zużytej do bardzo niskiej temperatury, uzyskane przez dodanie do masy określonej ilości ciekłego azotu. Regenerację mechaniczną prowadzoną w obniżonej temperaturze nazywa się dalej regeneracją mechaniczno-kriogeniczną.

### 2. Stanowiska doświadczalne

Badania regenerowalności masy zużytej z żywicą furfurylkową przeprowadzono na, istniejących w Wydziale Odlewnictwa AGH, stanowiskach doświadczalnych do prowadzenia procesów:

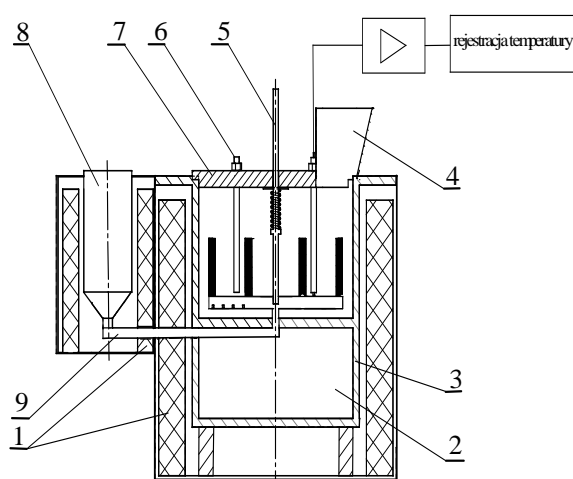
- regeneracji mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej [5]: stanowisko to jest modelem redukcyjnym jednej z odmian regeneratora mechanicznego,

<sup>1</sup> dr inż. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych; rd@agh.edu.pl

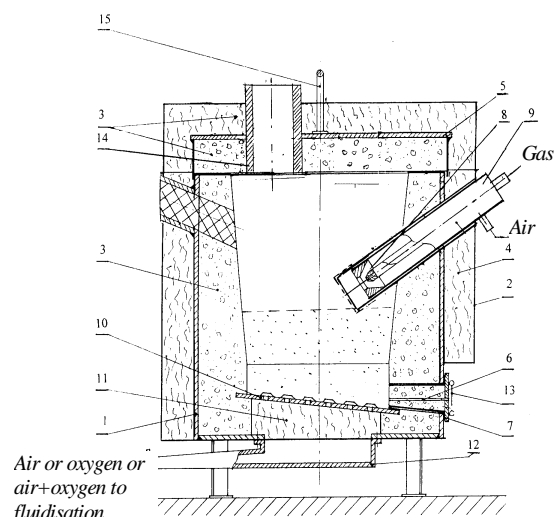
wyposażonego w wirujące elementy ściernie. Regenerator doświadczalny pozwala na realizację obróbki regeneracyjnej z zastosowaniem, lub bez użycia ciekłego azotu jako czynnika chłodzącego, dzięki czemu istnieje możliwość prowadzenia klasycznej regeneracji mechanicznej (atrycyjnej), lub kombinacji tej regeneracji z niskotemperaturową (kriogeniczną), realizowanych w tym samym urządzeniu. Pozwala to na najbardziej miarodajną analizę porównawczą efektów regeneracji uzyskanych w obu przypadkach.

- regeneracji mokrej [5]: stanowisko doświadczalne działa na zasadzie dezintegracji oraz intensywnego ocierania w środowisku wodnym w zbiorniku regeneratora. Badania regeneracji mokrej przeprowadzono w ograniczonym zakresie, głównie dla celów porównawczych.
- regeneracji termicznej [5]: jest to regenerator cieplny, w którym spalanie mieszanki powietrzno-gazowej odbywa się w przestrzeni wewnętrznej pieca na powierzchni masy zużytej, ładowanej do regeneratora okresowo. Charakterystyczną cechą prezentowanego stanowiska doświadczalnego, odróżniającego go od typowych stanowisk z nagrzewaniem materiału w złożu fluidalnym, jest zastosowanie impulsowego, fontannowego mieszania nagrzewanego złoża, uzyskane przez jego okresową fluidyzację.

A)



B)



Rys. 1. A) Schemat urządzenia doświadczalnego do regeneracji zużytych mas formierskich i rdzeniowych w obniżonej temperaturze: 1-komora powietrzna, 2-masa regenerowana, 3-obudowa z warstwą izolacyjną, 4-dozownik azotu, 5-wirnik zespołu udarowo-ściernego, 6-czujnik temperatury

B) Schemat doświadczalnego regeneratora termicznego oraz rysunek poglądowy:  
1 – stalowa obudowa, 2 – płaszcz, 3 – beton ogniotrwały, 4 – izolacja z włókien ceramicznych, 5 – pokrywa, 6 – otwór termopary, 7 – uszczelnienie azbestowe, 8 – palnik, 9 – obudowa palnika, 10 – dno perforowane, 11 – wełna ceramiczna, 12 – skrzynia powietrzna, 13 – zamknięcie wysypu, 14 – króciec wylotowy, 15 – zawieszka

### 3. Badania doświadczalne

W prowadzonych badaniach skoncentrowano się na ocenie regenerowalności zużytej masy pochodzącej z technologii SMS. Do regeneracji kierowano masę nieprzepaloną, wychodząc z założenia, że stwarza to trudniejsze warunki do regeneracji, niż w przypadku masy przepalonej.

Masę do badań przygotowywano w laboratoryjnej mieszarce wstępowej, przy czym sporządzanie masy odbywało się zgodnie z zaleceniami producenta żywicy. Stosowano żywicę furfurylową Kaltharz U 404 U z kwaśnym aktywatorem 500 T1 (nazwy handlowe). Stosowano następujący skład masy formierskiej:

- |                         |              |
|-------------------------|--------------|
| ➤ piasek kwarcowy suchy | 100 cz. wag, |
| ➤ żywica                | 1,0 cz. wag, |
| ➤ utwardzacz            | 0,5 cz. wag. |

W pracy realizowano następujące sposoby regeneracji:

- Mechaniczna, realizowana w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1A. Parametry regeneracji: czas 3 min, 5 min, 10 min- regenerat R1.
- Mechaniczna w obniżonej temperaturze realizowana w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1A. Parametry regeneracji: czas 3 min, 5 min, 10 min - regenerat R2.
- Termiczna, z okresowym mieszaniem fluidalnym (częstotliwość fluidyzacji 1 min czas trwania fluidyzacji 10 s.) w doświadczalnym regeneratorze termicznym przedstawionym na rysunku 1B. Czas regeneracji odpowiednio 3min, 5 min, 10 min - regenerat R3.
- Termiczna, z wstępnym nagrzewaniem powierzchniowym nieruchomego złoża masy zużytej przez czas odpowiednio 3min, 5 min, 10 min w doświadczalnym regeneratorze termicznym przedstawionym na rysunku 1B i następnym uzupełniającym przedmuchiwaniami masy tlenem przez czas 1 min. – regenerat R4.
- Termiczna z okresowym mieszaniem fluidalnym (częstotliwość fluidyzacji 1 min czas trwania fluidyzacji 10 s.) w doświadczalnym regeneratorze termicznym przedstawionym na rysunku 1B. Czas regeneracji odpowiednio 3min, 5 min, 10 min. Czynniki fluidyzujące – powietrze + tlen w proporcji 1:1 – regenerat R5.
- Termiczna z okresowym mieszaniem fluidalnym (częstotliwość fluidyzacji 1 min czas trwania fluidyzacji 10 s.) w doświadczalnym regeneratorze termicznym przedstawionym na rysunku 1B. Czas regeneracji odpowiednio 3min, 5 min, 10 min. Czynniki fluidyzujące – powietrze + tlen w proporcji 1:2 – regenerat R6.

Do oceny regeneratu pod względem technologicznym wyznaczano następujące parametry:

- strata prażenia regeneratu,
- odczyn chemiczny osnowy pH,
- wytrzymałość masy z regeneratem na ściskanie R<sub>gu</sub>,
- morfologia powierzchni (mikroskop optyczny oraz skaningowy).

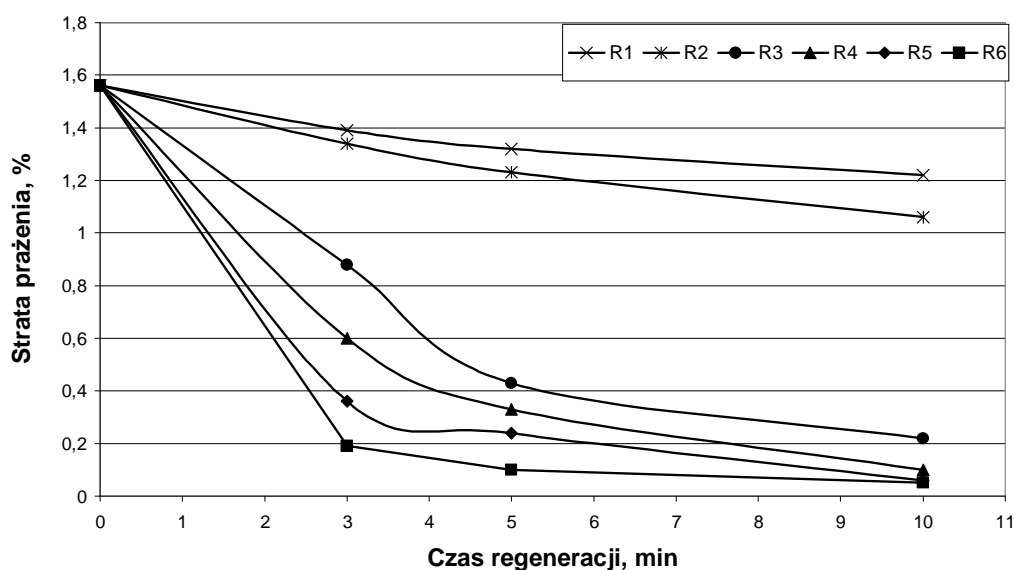
#### 4. Wyniki i analiza

Analizując wyniki przeprowadzonych prób należy zauważyć, że wartość strat prażenia (rys. 2) regeneratu uzyskanego metodą mechaniczną (R1, R2) znacznie odbiega od poziomu uzyskiwanego w przypadku zastosowania regeneracji termicznej w różnych sposobach jej realizacji. Wysokie wartości strat prażenia dla regeneratów R1 i R2 świadczą o słabym efekcie oddziaływania ocierająco-ścierającego występującego w tym urządzeniu, a także o tym, że w przypadku mas ze spoiwami organicznymi regeneracja termiczna skuteczniej realizuje usunięcie z powierzchni osnowy otoczki materiału.

W przypadku zastosowania obniżonej temperatury stwierdzono korzystny efekt jej użycia. Skuteczność chłodzenia masy była jednakże niewystarczająca ze względu na nieefektywny system dozowania azotu.

Wyniki badań strat prażenia wskazują, że w przypadku regeneratów R1 i R2 poziom usunięcia resztek żywicy z osnowy, nawet po 10 minutach trwania procesu nie jest zadowalający. W przypadku pozostałych regeneratów można uznać, że dobry efekt regeneracji uzyskuje się już po 5 minutach.

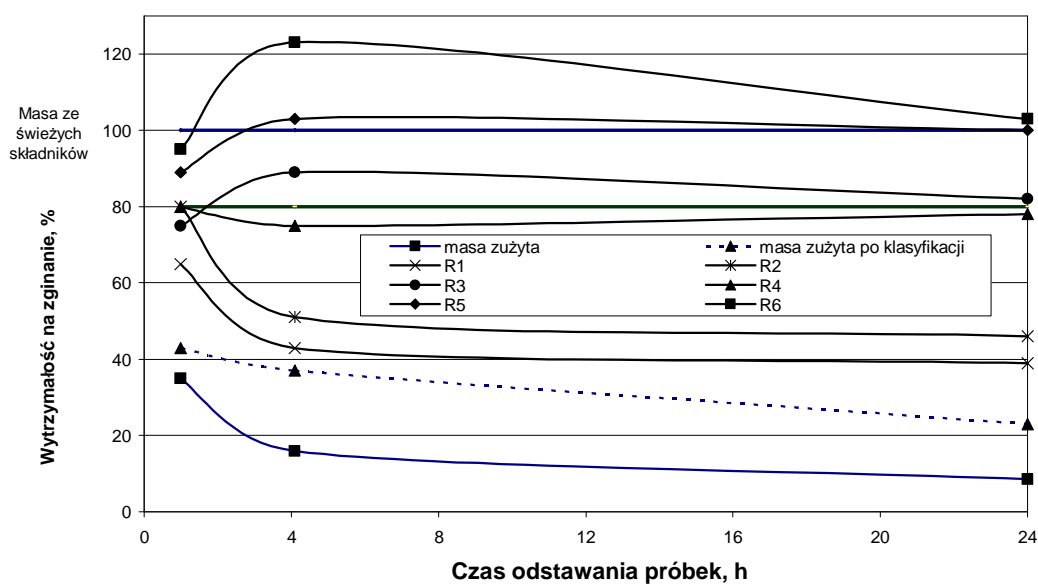
Na podstawie przebiegu zmian wartości strat prażenia w funkcji czasu przy różnych sposobach prowadzenia procesu regeneracji stwierdzić należy, że najbardziej skuteczną jest regeneracja R6, w której stosuje się do mieszania złoża mieszaniny powietrza i tlenu w proporcji 1:2. Kolejną jest regeneracja R5, a następnie na zbliżonym poziomie regeneraty R6 i R5. Można zauważyć różnice w efektach regeneracji R5 w których stosowano różne czasy mieszania fluidalnego mieszaną powietrzno-tlenową o tym samym składzie (kolejno przez 2 min i 1 min). Zbliżony co do jakości regeneratu daje sposób przedstawiony jako R5, w którym nie używa się tlenu natomiast częstotliwość mieszania jest dwukrotnie większa (co 1 min).



Rys. 2. Zależność strat prażenia od czasu regeneracji dla różnych sposobów regeneracji masy zużytej, (przyjęto symbolikę opisaną w charakterystyce parametrów badań)

Na rysunku 3 przedstawiono zależność wytrzymałości na zginanie próbek  $R_g^u$  [MPa] wykonanych z regeneratu od czasu ich odstawiania dla różnych sposobów regeneracji w odniesieniu do próbek wykonanych z piasku świeżego. Na wykresie naniesiono również poziom 80% wartości wytrzymałości masy ze świeżych składników, który stanowić może kryterium oceny regeneratu i jego kwalifikacji do ponownego użycia jako osnowy mas rdzeniowych. Regenerat który nie osiągnie tego poziomu wytrzymałości może być stosowany jako osnowa masy formierskiej wypełniającej lub też ewentualnie w technologiach wykonywania rdzeni dwuwarstwowych jako masa wewnętrzna.

Na podstawie zamieszczonych danych można zauważyć, że regeneraty R5, R6, spełniają wymogi ponownego ich zastosowania do mas rdzeniowych. Regenerat R4 zbliża się do granicznego poziomu i w przypadku rdzeni mniej skomplikowanych można rozważyć jego zastosowanie jako osnowy. Regeneraty R1, R2, R3 w warunkach przemysłowych należałoby wykorzystać do sporządzania masy wypełniającej lub jako dodatek do piasku.

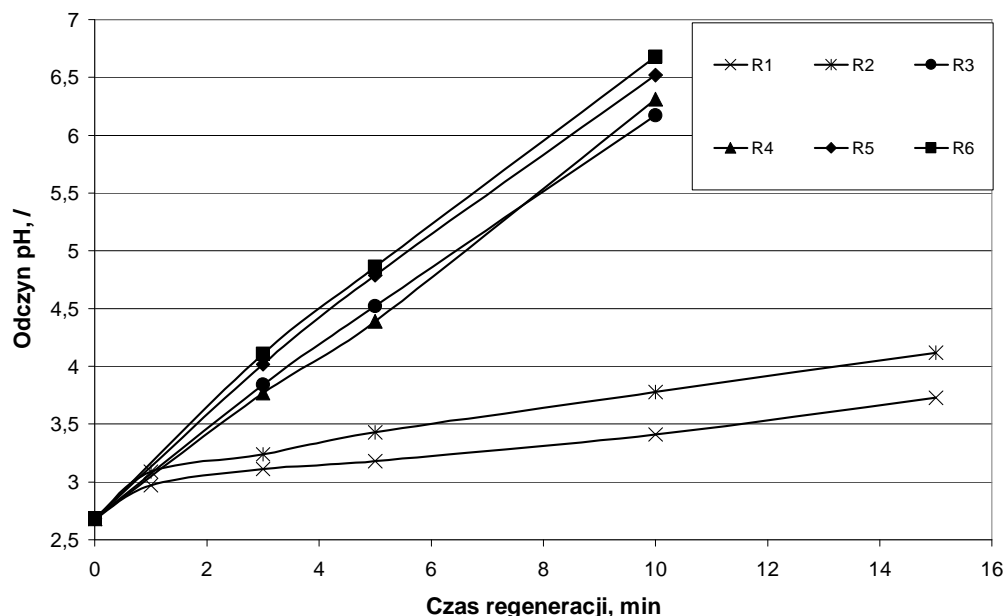


Rys. 3. Zależność wytrzymałości na zginanie  $R_g^{II}$  od czasu odstawiania próbek wykonanych z mas po różnych sposobach regeneracji (przy sumarycznym czasie regeneracji wynoszącym 10 min.)

Rezultaty badań wpływu sposobu regeneracji masy zużytej z żywicą furfurylową na odczyn pH osnowy kwarcowej przedstawiono na rysunku 4. Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że obydwa sposoby regeneracji mechanicznej, to jest regeneracja mechaniczno-ścierna oraz mechaniczno-kriogeniczna, nie stwarzają warunków skutecznego usunięcia z powierzchni ziarn osnowy zużytego spoiwa. Silnie kwaśny odczyn zregenerowanej osnowy ( $pH = 2,6$ ) zmierza w kierunku mniejszej kwasowości wprost proporcjonalnie do czasu, osiągając, w pełnym przedziale badanych prędkości wirnika, wartość  $pH = 3,3 - 3,35$  dla regeneracji mechanicznej oraz  $pH = 3,5 - 4,15$  dla regeneracji mechaniczno-kriogenicznej. W tym przypadku efekt wywołany zastosowaniem niskich temperatur jest najmniej widoczny w porównaniu z pozostałymi, badanymi masami.

Regenerowalność masy zużytej z żywicą furfurylową, oceniana w aspekcie obu wymienionych sposobów regeneracji, jest niedostateczna, a uzyskany regenerat mógłby być stosowany tylko w ograniczonym udziale do sporządzania masy tego samego rodzaju.

Zdecydowanie lepsze rezultaty uzyskuje się w przypadku zastosowania każdej z badanych odmian regeneracji termicznej. Regenerat uzyskuje odczyn  $pH = 6,2 - 6,5$ , przy czym najbardziej korzystny jest sposób regeneracji oznaczony R6. Uzyskany w tym przypadku regenerat po czasie obróbki wynoszącym 10 min ma odczyn  $pH = 6,5$ , co stanowi wartość zbliżoną do świeżego, płukanego piasku kwarcowego.



Rys. 4. Odczyn chemiczny pH otrzymanych regeneratów po procesie obróbki regeneracyjnej osnowy masy zużytej z żywicą furfurylową prowadzonej sposobem: mechanicznym, mechaniczno-kriogenicznym i termicznym z jego odmianami

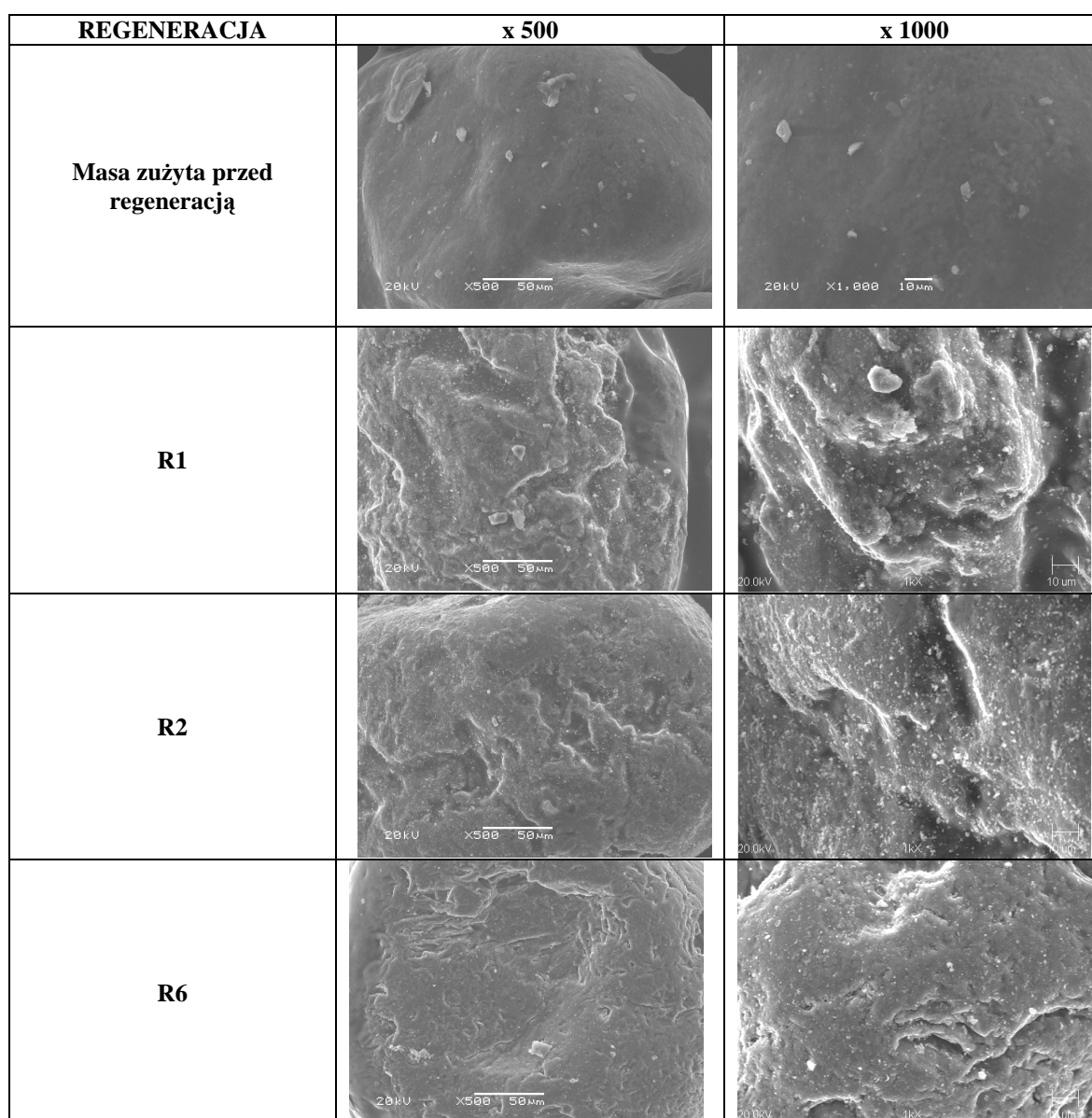
Na rysunku 5 przedstawiono morfologię powierzchni regeneratów otrzymanych z masy zużytej z żywicą furfurylową po regeneracji mechanicznej (R1), mechaniczno-kriogenicznej (R2), prowadzonych przez 5 min oraz regeneracji termicznej impulsowo-tlenowej, prowadzonej przez czas 5 min (R6).

Zdjęcia przedstawiające masę przed regeneracją pokazują widok ziaren, równomiernie otoczonych warstwą utwardzonej żywicy, których naturalny kształt jest całkowicie zakryty, podobnie jak szczeliny i pory. Na powierzchni ziaren widoczne są niewielkie „doklejone” elementy, którymi są prawdopodobnie cząstki żywicy, które oderwały się od sąsiednich ziaren kwarcu w wyniku kruszenia w trakcie przygotowywania masy do regeneracji. Regeneracja mechaniczna powoduje naruszenie jednolitej powłoki żywicy na powierzchni ziaren, na których pojawiają się uszkodzenia powierzchniowe w formie złuszczeń, nieciągłości i bruzd o ostrych krawędziach. Widoczna jest także warstwowa budowa otoczek materiału wiążącego. Powierzchnia ziaren osnowy jest nierówna i postrzępiona.

Regeneracja mechaniczno-kriogeniczna prowadzi do kontynuacji destrukcji powierzchniowej warstw żywicy, przy czym widoczne jest stopień ostrych krawędzi rozgraniczających nieciągłości warstw spoiwa, a także efekt eksponowania powierzchni ziarn. Część żywicy zalega nadal w nierównościach na powierzchni ziarn, przy czym ziarna osnowy mają bardziej zaokrąglony kształt.

Regeneracja termiczna, we wszystkich zastosowanych odmianach realizacji, prowadzi do ekspozycji naturalnej, mineralnej morfologii ziaren. Znika warstwa zużytej żywicy pokrywająca defekty, nierówności i szczeliny na powierzchni cząstek osnowy. Drobinki, widoczne na powierzchni ziaren osnowy, są zlepkami popiołów przyklejonymi do nich na zasadzie sił elektrostatycznych i praktycznie nieusuwalnymi w trakcie klasyfikacji pneumatycznej, która zwiększa stopień „naelektryzowania” regeneratu.





Rys. 4. Morfologia powierzchni regeneratu odzyskanego z masy zużytej z żywicą furfurylową po regeneracji mechanicznej, mechaniczno-kriogenicznej i odmianą regeneracji termicznej oznaczonej w pracy jako R6. Czas regeneracji 5 min

## 5. Podsumowanie

Regenerowalność masy zużytej z żywicą furfurylową, oceniana w aspekcie strat prażenia oraz odczynu pH osnowy kwarcowej po regeneracji mechanicznej, jest niedostateczna. Regeneracja mechaniczno-ścierna oraz mechaniczno-kriogeniczna nie stwarzają warunków skutecznego usunięcia z powierzchni ziaren osnowy zużytego spoiwa, a efekt wywołany zastosowaniem niskich temperatur jest najmniej widoczny w porównaniu z innymi masami.

Przedstawione wyniki potwierdzają fakt o zdecydowanie większej skuteczności termicznej regeneracji mas zużytych z żywicami, w porównaniu z pozostałymi sposobami obróbki regeneracyjnej. Stopień oczyszczenia ziaren podczas regeneracji termicznej jest już po 3 minutach obróbki lepszy niż po upływie 15 minut dla pozostałych sposobów. Po 10 minutach prowadzenia procesu regeneracji termicznej uzyskuje się wartości zbliżone do strat prażenia świeżego piasku kwarcowego.

Najlepsze rezultaty uzyskuje się w przypadku zastosowania termicznej obróbki regeneracyjnej związanej z nagrzewaniem powierzchniowo-tlenowo-impulsowym złoza, w którym po łącznym czasie regeneracji wynoszącym 5 min nagrzewania stacjonarnego i 40 sekund fluidyzacji, temperatura złoza osiąga 800<sup>0</sup>C, co powoduje bardzo skuteczne wypalanie materiału zużytego w całej objętości złoza. W tym przypadku regenerat po czasie obróbki wynoszącym 10 min ma odczyn pH = 6,5, co stanowi wartość zbliżoną do świeżego, płukanego piasku kwarcowego.

Przeprowadzone badania pozwoliły jednakże wykazać, że powszechnie stosowane w praktyce badania wytrzymałościowe nie mogą być jedynym kryterium oceny otrzymanego regeneratu. Masa z regeneratem uzyskanym po 3 minutach regeneracji mechanicznej, mimo dobrych właściwości wytrzymałościowych, mieszczących się w przedziale 86÷90% wytrzymałości masy na osnowie świeżego piasku, nie może być oceniona pozytywnie ze względu na wysoką wartość strat prażenia (1,28%), wobec uzyskiwanych podczas regeneracji termicznej wartości (0,36÷0,6%).

Przedstawione wyniki wskazują, że ze względu na wartości strat prażenia regeneraty, z masy zużytej z żywicą Kaltharz U 404 U, uzyskane z regeneracji mechanicznej i mechaniczno-kriogenicznej mogą być wykorzystane przede wszystkim jako osnowy mas wypełniających, lub jako zamienniki pewnej, ograniczonej ilości świeżego piasku w masach przymodelowych.

Badania zrealizowano w ramach pracy własnej AGH, nr 10.10.170.298

## 6. Literatura

- [1]. 41<sup>st</sup> Census of World Casting Production – 2006. Modern Casting. December 2007.
- [2]. Dańko J., Dańko R., Łucarz M. Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy zużytych mas formierskich. Wydawnictwo Naukowe Akapit, 291, 2007.
- [3]. Holzer M., Dańko J. Waste management from the foundry industry in accordance with sustainable development. Polish Journal of Environmental Studies, 16 (3B) pp. 168–172, 2007.
- [4]. Integrated Pollution and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Smitherie and Foundries Industry. European Commission, May 2005.
- [5]. Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas formierskich. Rozprawa doktorska, Wydział Odlewnictwa, Kraków 2006.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Aleksander Fedoryszyn

# MODELOWANIE BRYŁOWE MASZYN I URZĄDZEŃ DLA PRZEMYSŁU ODLEWNICZEGO.

Sławomir GÓRNICKI<sup>1</sup>  
Paweł BRATUŚ<sup>2</sup>  
Ireneusz SZULC<sup>3</sup>

## 1. Wprowadzenie

Trudno sobie dziś wyobrazić pracę inżyniera bez dobrej znajomości obsługi komputera. Proces projektowania, w którym komputer wykorzystywany jest na każdym etapie jako podstawowe narzędzie pracy projektanta nazywamy komputerowym wspomaganie projektowania (z ang. CAD - Computer Aided Design, czyli projektowanie wspomaganie komputerowo).

W skład CAD wchodzi opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej (2D, oraz coraz częściej 3D), analizy kinematyczne, wytrzymałościowe czy termiczne, prowadzone najczęściej z wykorzystaniem MES, optymalizacja i wiele innych zagadnień związanych z powstawaniem projektu gotowego wyrobu [6].

Dzięki zastosowaniu CAD inżynierowie mają łatwiejszy dostęp do zasobów wiedzy, bibliotek, know-how firmy, opracowań normatywnych, przepisów prawnych i dyrektyw obowiązujących w konkretnej gałęzi przemysłu. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu w procesie projektowania inżynierskich baz danych, oraz pracy w środowiskach sieciowych [6].

Większość firm wykorzystuje do projektowania maszyn i urządzeń narzędzia 2D (najczęściej AutoCAD firmy Autodesk). Szybki rozwój komputerów pozwala coraz częściej wykorzystywać narzędzia do modelowania bryłowego. Programy te w porównaniu z narzędziami 2D wymagają znacznie większej mocy obliczeniowej jak również cena ich jest znacznie wyższa. Na rynku można spotkać wiele narzędzi pozwalających modelować modele przestrzenne. Do najczęściej wykorzystywanych należą:

- Inventor firmy Autodesk (z ang. *Inventor – wynalazca, twórca*) - zaawansowany modelator bryłowy, który służy do zamodelowania projektowanego urządzenia jako modelu 3D, a następnie wygenerowania na podstawie modelu rysunków złożeniowych, wykonawczych, eksplodujących, ofertowych, poglądowych i innych [6].
- SolidWorks - program komputerowy typu CAD tworzony i rozpowszechniany przez firmę SolidWorks Corporation, która jest częścią firmy Dassault Systèmes, S.A.. Jest to typ modelera bryłowego służący do zamodelowania projektowanego urządzenia jako modelu 3D. Na podstawie tego modelu możliwe jest wykonanie rysunków wykonawczych, złożeniowych, poglądowych i innych. SolidWorks został zaprojektowany do pracy z zespołami, sięgającymi kilkunastu tysięcy elementów [6].
- Pro/ENGINEER - (znany również pod nazwą ProE, Pro/E) to w pełni parametryczny zintegrowany system CAD\CAM\CAE\PDM\PLM, szeroko

<sup>1</sup> mgr inż., P.P.P. TECHNICAL, gornicki@technical.com.pl

<sup>2</sup> mgr inż., P.P.P. TECHNICAL, p.bratus@technical.com.pl

<sup>3</sup> mgr inż., P.P.P. TECHNICAL, i.szulc@technical.com.pl

rozpowszechniony w branży motoryzacyjnej. Producentem jest amerykańska firma PTC (Parametric Technology Corporation, PMTC) [6].

- CATIA - to jeden z najpotężniejszych, najdroższych i najstarszych zintegrowanych systemów CAD/CAM/CAE/FEM. CATIA jest produktem firmy Dassault Systemem [6].

## 2. Charakterystyka wybranego oprogramowania oraz zrealizowane projekty

Głównym kryterium wyboru oprogramowania są możliwości programu jak również cena. Optymalnym wyborem ze względu na specyfikę maszyn i urządzeń produkowanych przez P.P.P „Technical” Sp. z o.o. był Inventor firmy Autodesk. Wybór tego oprogramowania podyktowany był również pełną kompatybilnością z programem AutoCAD oraz AutoCAD Mechanical. Program ten daje dużo szersze możliwości projektowe, a także zapewnia doskonałe połączenie między dokumentacją 2D wykonaną w formatach DWG, a rysunkami modeli wykonanych w programie przestrzennym. Zakupiony pakiet Inventor Suite 2008 zawiera również takie programy jak AutoCAD oraz AutoCAD Mechanical, za pomocą których można tworzyć duże rysunki zestawieniowe i koncepcyjne, dla których stosowanie programu do modelowania przestrzennego nie jest do końca racjonalne.

Konstruktor, projektujący w Inventorze, skupia się przede wszystkim na wykonywaniu modelu przestrzennego, będącego odzwierciedleniem przyszłego, rzeczywistego urządzenia [1].

Po zakończeniu prac nad modelem program umożliwia przygotowanie rysunków złożeniowych i wykonawczych. Większość prac związanych z przygotowaniem dokumentacji rysunkowej – a w szczególności generowanie rzutów rysunkowych, przekrojów, widoków, itp. – program wykonuje automatycznie. Inventor zapewnia połączenie z dokumentacją rysunkową w taki sposób, że wszystkie zmiany w modelu trójwymiarowym zostają przeniesione na dokumentację płaską [1].

Każde urządzenie projektowane w programie Inventor to oddzielny projekt. Pliki części, podzespołów, rysunków, biblioteki itp., które wchodzi w skład danego projektu, mogą znajdować się w różnych miejscach (dyski lokalne, dyski na serwerze, dyski na innych komputerach grupy roboczej). Utworzenie nowego lub wybór istniejącego pliku projektu to pierwszy krok podczas pracy w programie Inventor.

Całkowicie nową techniką kształtowania części bryłowej, zastosowaną w programie Inventor, jest adaptacyjność. Wymiary i położenie elementów kształtujących części adaptacyjnej mogą samoczynnie dopasowywać się do zastosowanych warunków geometrycznych, czyli położenie innych części zespołu. Dopasowanie dokonywane jest za pomocą wiązań zespołów. Całe części lub wybrane elementy kształtujące można wykonać, nie używając wymiarów i wiązań geometrycznych, gdyż osiągną swoje docelowe wymiary w wyniku zamontowania w zespole. Ich wymiary będą także zmieniać się na bieżąco, gdy zmianie ulegnie położenie innych części w zespole [1].

Części trójwymiarowe wykonywane w programie Inventor są parametryczne. Możemy szybko wprowadzać korektę wartości wymiarów czy geometrii części. Program nadaje poszczególnych wymiarom nazwy zmiennych. Program Inventor umożliwia także wykonywanie nowych części, tzw. części pochodnych, na podstawie części lub zespołów istniejących. Część pochodna może stanowić podstawę do szybkiego wykonywania nowej części na podstawie już istniejących części (zespołu) lub może być elementem kształtującym w innej części. Zmiany wprowadzone w części macierzystej lub zespole macierzystym zostaną także wprowadzone w części pochodnej [1].

Modelowanie części w programie Inventor wzbogacono o wyspecjalizowany moduł do projektowania konstrukcji z blach. Modele zaprojektowane jako części blaszane mogą być rozwinięte.

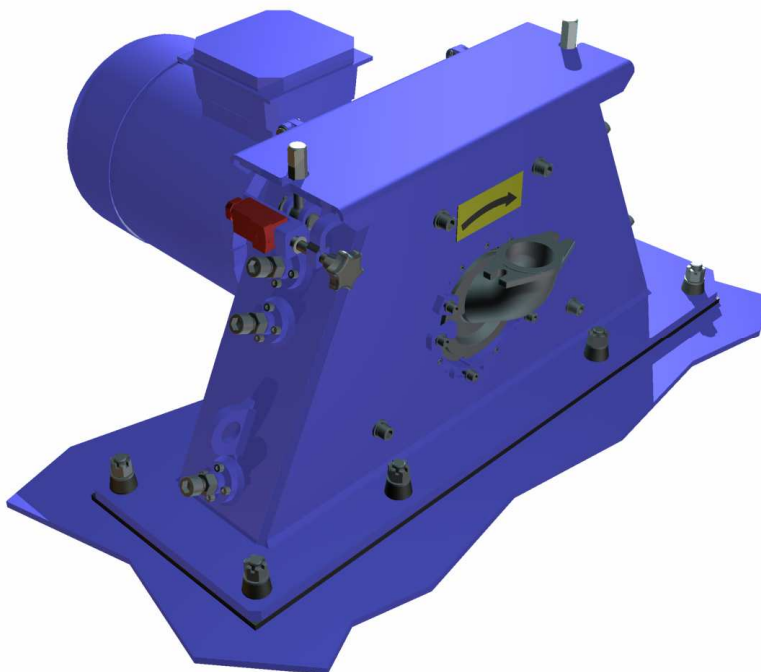
Po przypisaniu materiału możliwe jest szybkie sprawdzenie najważniejszych parametrów fizycznych modelu i przechowywanie ich we właściwościach pliku.

Model części służy do sporządzania rysunku wykonawczego, z którym jest związany. Rysunek wykonawczy znajduje się w oddzielnym pliku. Wszystkie zmiany wprowadzone do modelu części są automatycznie odzwierciedlane na rysunku wykonawczym, natomiast zmiany wartości wymiarów parametrycznych na rysunku może powodować zmianę wymiarów modelu i dostosowanie modelu części do nowych wymiarów oraz aktualizację rzutów rysunkowych (w zależności od opcji instalacji programu Inventor) [1].

Podczas budowania zespołu możemy korzystać z już istniejących części, przygotowanych na potrzeby innych projektów, oraz z części nowych, które powstaną w ramach opracowywanego złożenia. Zespoły mogą być budowane z podzespołów. Przy modelowaniu zespołów zarówno części, jak i podzespoły składowe noszą nazwę komponentów.

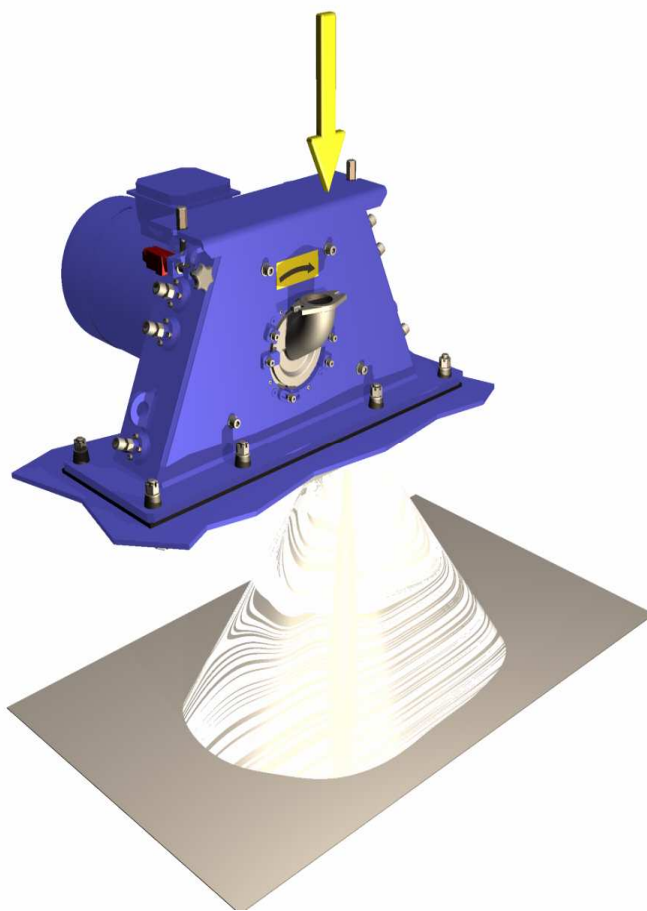
Wszystkie komponenty projektu (czyli części i podzespoły) sporządzanego w programie Inventor zapisuje się w plikach zewnętrznych. Komponenty można wstawiać i pozycjonować względem innych komponentów, a także edytować z poziomu zespołu głównego.

Rysunek poniżej przedstawia turbinę rzutową TR-150. Model bryłowy został przygotowany przy użyciu oprogramowania Inventor. Poszczególne detale wykonano jako osobne pliki (IPT), a części znormalizowane (śruby, nakrętki, podkładki, itd.) wstawiono z bazy danych, którą często można zainstalować wraz z dostarczonym oprogramowaniem.



*Rys.1. Model bryłowy turbiny rzutowej TR-150.*

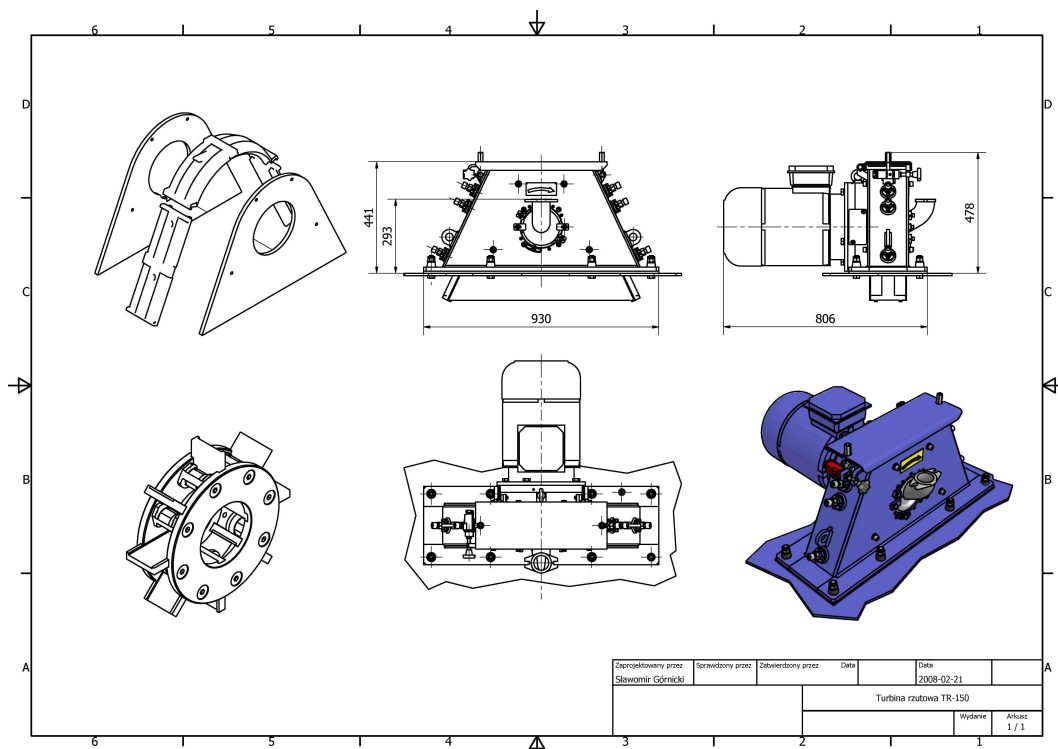
Turbina rzutowa służy do miotania śrutu z dużą energią. Struga śrutu uderzając o przedmiot powoduje oddzielenie zanieczyszczeń powierzchniowych jak masa formierska, korozja, powłoki ochronne itp., oraz nadaje odpowiednią chropowatość powierzchni w zależności od rodzaju użytego śrutu.



*Rys.2. Model bryłowy turbiny rzutowej TR-150.*

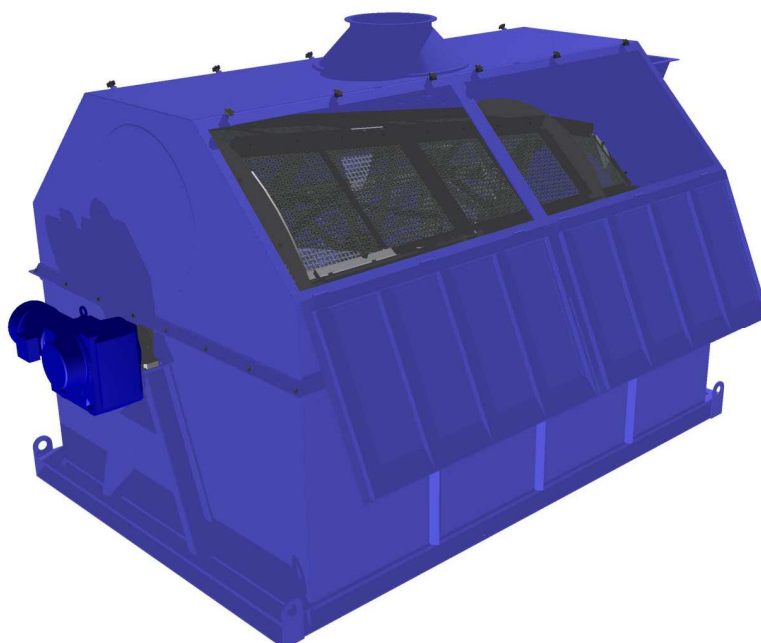
Wyrzut śrutu następuje pod działaniem siły odśrodkowej w czasie obrotu koła łopatkowego. Koło łopatkowe wraz z wirniczkim rozdzielczym osadzone jest na wale silnika elektrycznego.

Na podstawie modelu bryłowego tworzona jest dokumentacja płaska. Program pozwala na tworzenie dowolnych rzutów oraz przekrojów. Na rys. 3. przedstawiono rysunek ofertowy turbiny rzutowej TR-150.



Rys.3. Rysunek ofertowy turbiny rzutowej TR-150.

Innym urządzeniem, którego dokumentacja techniczna została w całości sporządzona przy użyciu programu Inventor jest przesiewacz obrotowy POS-80.



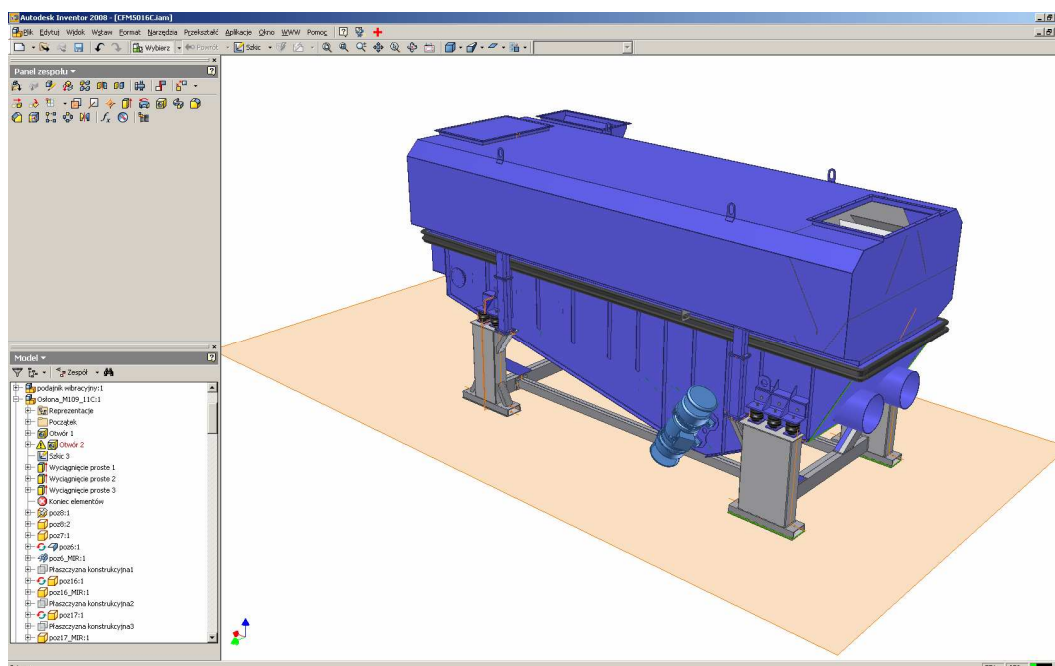
Rys.4. Model bryłowy przesiewacza obrotowego POS-80

Przesiewacz obrotowy przeznaczony jest do przesiewania piasków formierskich oraz świeżych i wybitych mas formierskich. Stosowany jest w ciągach technologicznych przygotowania i obróbki mas formierskich i rdzeniowych.



Rys. 5. Widok sita poligonalnego wykonanego w programie Inventor

Rys.6 przedstawia chłodziarkę fluidyzacyjną w trakcie procesu projektowania. Chłodziarka fluidyzacyjna masy CFM-5016B służy do przygotowania (schłodzenia) masy formierskiej zwrotnej do kolejnego etapu procesu technologicznego. Chłodziarka przeznaczona jest do pracy w odlewniach zmechanizowanych i zautomatyzowanych stacjach przerobu mas.



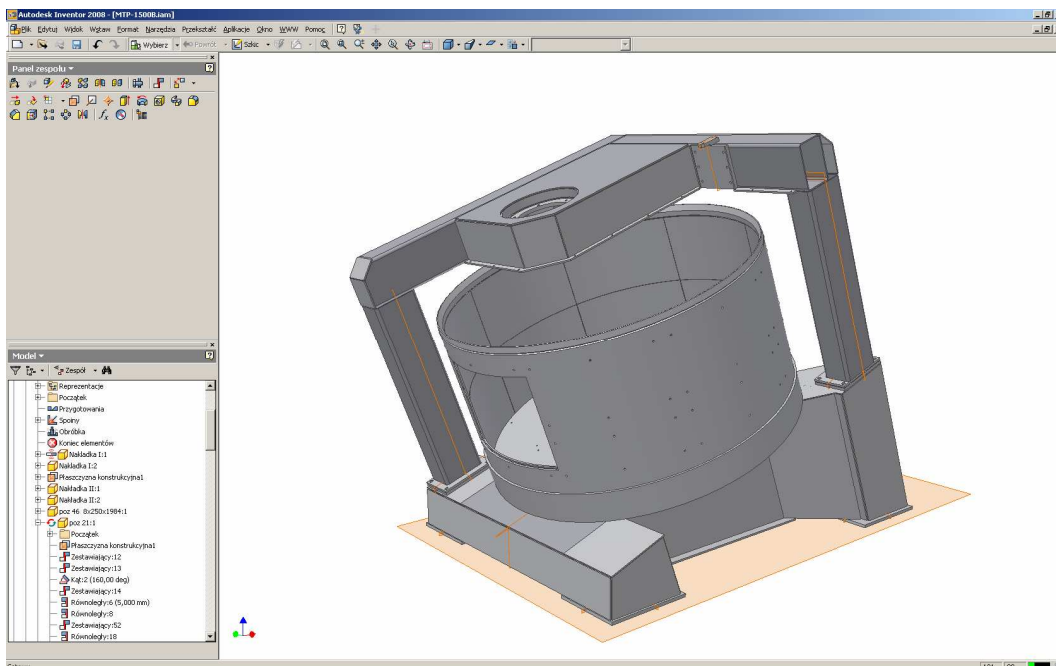
Rys.6. Model brytowy chłodziarki fluidyzacyjnej CFM-5016C

Wykorzystanie programu do modelowania przestrzennego w przypadku projektowania chłodziarki miało bardzo wiele zalet. Ważnym aspektem przy projektowaniu rynn wibracyjnej, która jest jednym z podzespołów chłodziarki, jest fakt, że programy do modelowania 3D wskazują na bieżąco środek ciężkości części jak i całego urządzenia, co w tym przypadku konstrukcji ma bardzo duże znaczenie.

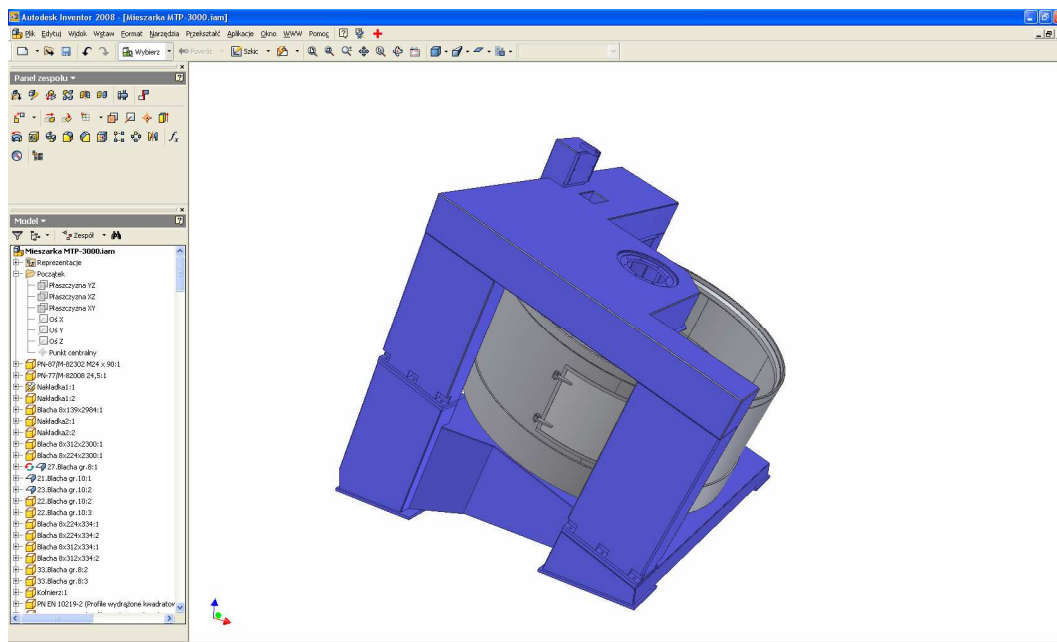
Sercem każdej stacji przerobu mas (SPM) jest mieszarka. Na rys. 7. przedstawiona jest mieszarka turbinowa MTP-1500A (na etapie projektowania), a na rys. 8 MTP-3000.



Mieszarki turbinowe służą do sporządzania mas formierskich wypełniających i przymodelowych ze składników świeżych i zwrotnych, naturalnych i syntetycznych. Przeznaczona jest do pracy w odlewniach zmechanizowanych i zautomatyzowanych stacjach przerobu mas.



Rys. 7. Mieszarka turbinowa MTP-1500 w początkowej fazie projektowania



Ry.8. Mieszarka turbinowa MTP-3000 na etapie projektowania

Wykorzystywane oprogramowania 3D posiada jeszcze jedną zaletę. Można sporządzać prezentację jak również tworzyć ścieżki montażowe. W celu polepszenia jakości wizualizacji projektu można do modelowanych części zastosować szereg kolorów i faktur oraz program posiada możliwość sporządzania fotorealistycznych obrazów (obraz

renderowany) podnoszących efekt wizualny. Wizualizację projektu można wykorzystać do celów marketingowych lub do konsultacji, ponieważ w sposób przejrzysty ilustruje obecny stan projektu i umożliwia omówienie, na przykład w gronie projektantów, kierunku wprowadzania zmian.

### 3. Podsumowanie

Program Inventor z punktu widzenia projektanta – konstruktora jest programem, który nadaje się do tworzenia kompletnej dokumentacji maszyn i urządzeń. Wraz z szybkim rozwojem zarówno sprzętu komputerowego, a co za tym idzie znacznym zwiększeniem mocy obliczeniowej oraz rozwój narzędzi do tworzenia modeli przestrzennych można domniemywać, że programy te powoli będą wypierać programy do projektowania płaskiego [1].

Warto na koniec również przedstawić plusy i minusy modelowania 3d w porównaniu z modelowaniem 2d:

- Możliwość obejrzenia modelu z dowolnego punktu (sprawdzenie poprawności),
- Automatycznie generowanie niektórych standardowych i pomocniczych rzutów,
- Możliwość eksportu modelu, w celu utworzenia animacji lub prezentacji fotorealistycznej,
- Możliwość przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych,
- Wady modelowania 3d w porównaniu z modelowaniem 2d:
- Czasochłonne i trudniejsze,
- Duże wymagania sprzętowe dla pewnych operacji.

### 4. Literatura

- [1.] Stasiak F. : Inventor. Ćwiczenia praktyczne. Helion, 2002 r.
- [2.] Kopias K. : Inventor. Praktyczne rozwiązania. Helion, 2003 r.
- [3.] Stasiak F. :Autodesk Inventor 11. Zbiór ćwiczeń. ExpertBooks, 2006 r.
- [4.] Jaskulski A. : Autodesk Inventor 5.3 PL/5.3. Mikom, 2002 r.
- [5.] <http://www.autodesk.pl/>
- [6.] <http://www.wikipedia.pl/>

# VÝVOJ UHLÍKATÝCH ADITIV BENTONITOVÝCH SMĚSÍ NOVÉ GENERACE

Petr JELINEK<sup>1</sup>

## 1. Abstrakt

K pevným produktům pyrolýzy uhlíkatých aditiv patří lesklý uhlík, amorfni uhlík a semikoks. Všechny 3 formy uhlíku se svým způsobem podílejí na tvorbě povrchu odlitků z grafitizujících slitin železa. Nejdůležitější úlohu sehrává minoritní lesklý uhlík. Zdrojem pyrolýzních produktů jsou aromatické a alifatické uhlovodíky z degradace C-aditiv, které zároveň jsou zdrojem organických polutantů, zhoršující hygienické a ekologické podmínky slévárenské výroby. Příspěvek se zabývá vývojem nových C-aditiv (kompozitní bentonitová pojiva) řešící negativní dopady především pyrolýzy černého uhlí a to cestou postupné substituce „mrtvými“ C-látkami, popř. sorpcí VOC pomocí spec. anorganických sorbentů.

## 2. Úvod

I ty nejmodernější formovací linky používají pro výrobu forem jednotné bentonitové směsi (JBS), což pokrývá okolo 70% světové výroby odlitků. Již více než 100 let je znám příznivý účinek černého uhlí na tvorbu povrchu odlitků z grafitizujících slitin železa (šedá a tvárná litina). Bránění penetraci a dosažení hladkého povrchu odlitků bylo vysvětlováno řadou teorií. Teprve teorie komplexního účinku C-látek Bindernagelové [1] byla experimentálně potvrzena. Z produktů pyrolýzy uhlí hraje nezastupitelnou úlohu proti penetraci kovu především lesklý uhlík (LC). Ten spolu s amorfni uhlíkem (AC) tvoří pyrolýzní uhlík (PC), hlavní produkt tepelné degradace C-látek.

Hlavním zdrojem benzenu (kriterium BTEX) je černé uhlí. Pro zvýšení výtěžku LC je dále uhlí obohacováno nejčastěji přírodními (kalafuna, GILSONIT) nebo umělými pryskyřicemi. Tyto přísady v „nosičích lesklého uhlíku“ ještě nepříznivé hygienické a ekologické podmínky sléváren zhoršují (Volatile Organic Compounds-VOSs v ovzduší slévárny; v odpadních pískách-nebezpečné odpady).

Současný výzkum hledá účinnou a ekologicky přijatelnou náhradu černého uhlí pomocí C-aditiv (směsných bentonitu) nové generace, při zachování vysoké kvality vyráběných odlitků.

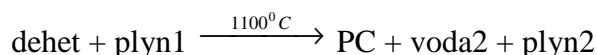
## 3. Proces pyrolýzy C-látek

Naše představa o 2-stupňové degradaci C-látek byla ověřena měřením na modelovém zařízení [2]:

1.stupeň:



2.stupeň:



<sup>1</sup> VŠB- Technická univerzita Ostrava, Katedra slévárenství, Cz.

Mezi pevné produkty 2-stupňové pyrolýzy C-látek patří semikoks a PC. Plyn1 představuje směs aromatických a alifatických uhlovodíků, plyn 2 směs jednoduchých ve slévárenské formě nerozložitelných plynů (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO....).

Kvalitativně ne všechny plyn1 (dehet) pyrolyzuje ve 2.stupni a právě ten je zdrojem (VOC).

Černé uhlí, se stoupajícím prouhelněním roste C<sub>daf</sub> a C<sub>at/Hat</sub>. Zvyšuje se aromaticita „makromolekuly“, ve které roste podíl aromatického uhlíku C<sub>ar</sub> a klesá podíl alifatického uhlíku C<sub>al</sub>. S růstem obsahu C klesá množství dehtu, které podle odhadu obsahuje 10-tisíc sloučenin aromatických a heterocyklických uhlovodíků.

PC obsahuje dvě morfologicky zcela rozdílné, dobře separující složky:



Rozdílné fyzikálně – chemické vlastnosti ukazuje tab.1.

	Měrná hmotnost [g/cm <sup>3</sup> ]	Stupeň aromatizace [Hab/Cab]	Oxireaktivita [OC]
AC	1,92	0,072	630
LC	2,10	0,037	807

Tab.1. Fyz-chem.vlastnosti AC a LC

Jak prokázala rtg-analýza, LC se svoji strukturou (turbostratická mřížka) blíží grafitu, zatímco AC amorfní strukturou se blíží sazím. Křemenný písek má hexagonální mřížku a proto se stává krystalizačním centrem v heterogenní nukleaci LC. Vysoká adheze filmů LC k ostřivu, jeho nízká oxireaktivita (vysoká termostabilita) a nesnmáčivost litinou udávají LC jeho nezastupitelnou funkci při tvorbě hladkého povrchu litinových odlitků. AC vzniká homogenní nukleací přímo z plynné fáze. Je sice součástí oolitizovaných zrn ostřiva C-látkami, avšak vysoký počáteční oxidační potenciál syrových bentonitových forem, velký povrch AC (kuličkovitá morfologie) a jeho vysoká oxireaktivita má jen minimální ochranný účinek proti penetraci litiny.

Třetí pevný produkt pyrolýzy, semikoks, rovněž chrání formu proti penetraci. Proces koksování uhlí je doprovázen plastickým stavem semikoksu (swelling index), ucpáváním mezizrnných prostorů a kompenzací napětí z brzděné tepelné dilatace ostřiva (SiO<sub>2</sub>).

Ne všechny plyn1 a dehet se pyrolyzuje při tepelné degradaci a proto jsou zdrojem polutantů v atmosféře i v odpadních pískách.

V současné době je výzkum řady pracovišť zaměřen na vývoji C-aditiv (směsných bentonitů), které při zachování kvality vyráběných odlitků, řeší hygienu a ekologii slévárenské výroby.

#### 4. Současné návrhy řešení

Z provedené literární rešerše vyplynuly následující směry řešení.

1. Výběrem a skladbou C-aditiv, s cílem snížit objem organických polutantů, odpovídající především objemu aromatů, zajišťující požadovanou kvalitu odlitku.

Je nutno vyjít z obecného poznatku, že s obsahem prchavé hořlaviny (V<sub>daf</sub>) v C-aditivech roste kvalita (hladkost) odlitků z grafitizujících slitin železa. Nejvyšší obsah benzenu dávají černá uhlí („mladá uhlí“ s nízkým stupněm prouhelnění; V<sub>daf</sub> >35%, do 12% PC) a Gilsonit (30-35% PC), což v podstatě je ztuhlý výron nafty (Kanada, Albánie). Velmi nízkou koncentraci benzenu až nulový obsah PC dává antracitové uhlí, antracit.

Proto snížit obsah benzenu (až o 50%) lze již výběrem černého uhlí a volbou C-aditiva v pořadí černé uhlí, Gilsonit, koks, antracit, kaustifikovaný lignit [3], [4],[5], [6].

Vedle produktů pyrolýzy –PC a zvláště lesklého uhlíku-LC, důležitou roli proti penetraci sehrává i koks (semikoks)- tvoří mosty mezi zrny puchnutím uhlí při koksování, SI-index. Kompenzuje mikrodilatace zrn SiO<sub>2</sub> (snižování napětí z brzděné dilatace), což lze u drobných odlitků (do 60kg) nahradit např. celulosou.

Příznivý účinek má i redukční atmosféra formy. Syrová bentonitová forma a její počáteční oxidační charakter (vysoký obsah volné vody) se mění na redukční. Tento je zcela charakteristický pro formy litinových odlitků. Růst obsahu především volné vody vede ke spalování produktů pyrolýzy (PC→LC+AC) uhlíkatých aditiv a výraznému zhoršení kvality povrchu odlitků. S vlhkostí se mění spěchovatelnost JBS, avšak každé C-aditivum má jiné požadavky na vodu (rozdílné smáčení) [7].

Zvláště u JBS má svoji důležitost i stupeň oolitizace zrn „obalení produkty pyrolýzy C-aditiv“ (LC,AC,koks). Nadměrné oživování směsí novým pískem, jakož i celková výměna ostřiva na lince (zahájení provozu), vede k výraznému zhoršení kvality odlitků. Tuto oolitizaci podpoří jak přítomnost jader s organickými pojivy, tak i např. přísada celulosy [8], [9], [10].

O množství uvolněného benzenu nerozhoduje pouze použité aditivum, ale i tepelná expozice formy a dokonce i tvar odlitku. Tepelnou expozici vyjadřujeme poměrem hmotností forma/kov. Při stejném poměru forma/kov, ale s růstem povrchu odlitků roste objem uvolněného benzenu (odlitky stejné hmotnosti; u koule méně, nejvíce u žebrovaného válce) [5], [7].

2. Omezení koncentrace pyrolyzujících C-aditiv a jejich částečnou substitucí tzv. „procesním uhlíkem“.

Snížení obsahu především černého uhlí vede k poklesu vzniku LC, hlavní ochrany povrchu formy. Proto některé výzkumy doporučují tento pokles nahradit např. grafitem, tzv. „procesním uhlíkem“ [16]. Grafit, vysoce tepelně stabilní složka, je nesmáčivá tekutou litinou. K nevýhodám však patří jeho vysoká cena, zvláště ve srovnání s černým uhlím. Řada německých výrobců nabízí bentonitová pojiva s grafitem (ANTRAPUR, PRIOCARBON, ENVIBOND) se zvýšenou tekutostí a s pěchovatelností směsí. Německý patent dokonce hovoří o pronikání grafitových lístků mezi kartovitou strukturou montmorillonitu, což má za následek zvýšení-disperzity, především tzv. „tvrdých bentonitů“, se všemi příznivými důsledky i na růst mechanických vlastností bentonitových směsí (pevnost v zóně kondenzace vody) [13], [14],[15], [17].

3. Snížení exhalací pomocí anorganických sorbentů (podpora fyzikální sorpce aktivního bentonitu).

Maximální vývin plynů (benzenu) se projevuje 10-20min. po odlití formy. Benzen především vzniká na rozhraní forma-kov, kde teplota přesáhne 4820C a je zadržen formou (kondenzační zónou) během lití. Teprve více než 40% emisí se uvolní při vybití forem [6]. Existují tendence snižovat emise cestou fyzikální sorpce pomocí sorbentů. Byly zkoušeny chemicky upravený lignin a zeolity. Ukazuje se, že vysokou sorpci vykazuje aktivní bentonit (reverzibilita => sorpce-desorbce). Množství uvolněného benzenu, vznikajícího během lití je nižší než potenciální schopnost uvolnit benzen z C-aditiva až o 25%, což jen potvrzuje sorpční účinnost bentonitu. Bentonit je sorpci pasivován (hydrofobizován), ale v procesu oběhu JBS jsou aktivovány nové povrchy a pojivo se stává dále aktivním,

#### 4. Diferencovaná koncentrace C-aditiv (PC) v bentonitové formě

Je známo, že jsou vyráběny i těžké litinové odlitky s vysokou povrchovou jakostí do forem bez C-aditiv, avšak za použití ochranných např. grafit-mastek-koksových nátěrů. Bohužel jejich aplikaci nelze realizovat u JBS na formovacích linkách. „Samoobrana“ bentonitových forem, tvorbou PC, se odehrává pouze na rozhraní forma-kov, avšak C-aditiva dávkuje do celého objemu směsi a jsou zdrojem celkových emisí. Při aplikaci tzv. „procesního uhlíku“ – grafitu, je řízení kvality JBS o to dražší. Proto jsou navrhovány úspornější postupy:

Jeden princip sleduje „nalepování“ např. jemně mletého uhlí nasáváním na povrch formy pomocí podtlaku (návrh prof. I. Dzwonnik, PL).

Druhý návrh doporučuje výrobu PC (nebo LC) separátně mimo formu pyrolýzou plynných uhlovodíků. Ten pak bude přimícháván do modelové směsi (dvouvrstvá forma) (návrhy ruských autorů) [11], [12], [18].

Velmi perspektivní a proti oběma realističtější je postup využívající nástřik modelů o složení-grafit s nosnou kapalinou-voda, jedlý olej nebo petrolej. Nástřik na rozhraní forma-kov nahrazuje funkci LC. Praktické výsledky s grafit-vodou suspenzí a přísadou celulosy (3%), při použití vysoce jakostního přírodního Na-bentonitu, byl dosažen hladký povrch odlitku jako při použití černého uhlí a došlo ke snížení emisí CO o 40%; VOC o 51% a polutanty vzduchu o 42% [7].

#### 5. Nová uhlíkatá aditiva

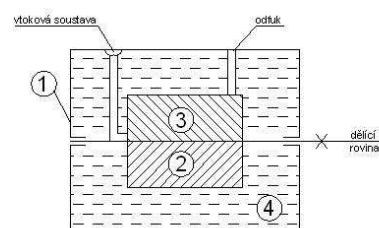
Náš výzkum probíhal cestou postupného snižování obsahu černého uhlí v C-aditivech a jeho pyrolýzní produkty byly substituovány:

za LC → grafit, antracit, hnědé uhlí, lignit

AC → saze

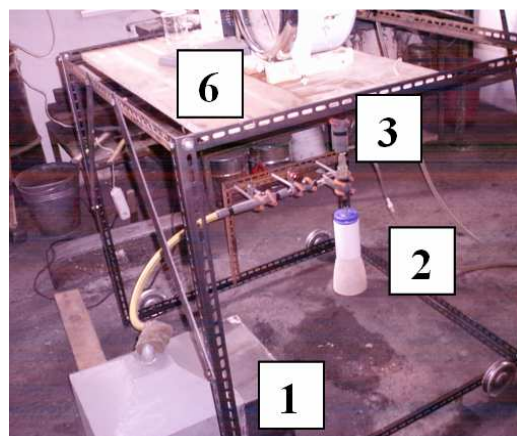
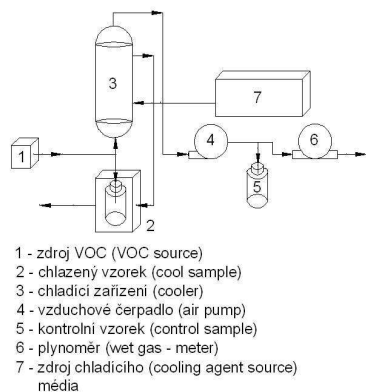
Semikoks → mletý koks, deriváty celulosy, petrolkoks

Různé varianty složení byly testovány na zkušebních odlitcích ze šedé litiny. Byla hodnocena hladkost odlitku (od jádrované plochy s konst. stupněm zhuštění = 1600kg/m<sup>3</sup>) a složení paroplynové fáze (VOC), odebírané z formy po dobu 1hod. od počátku lití (obr.1,2).



1. ... Formovací rám: 2x300x325x115 mm
2. ... Jádro: 150x150x60 mm
3. ... Odlitek: 150x150x s mm
- 2 + 4 jádrová a formovací směs (jednotná bentonitová směs)

Obr. 1. Jádro a forma zkušební odlitku



Obr. 2. Odběrné zařízení

Výsledky s kompozitními bentonitovými pojivy, s označ. A a B uvádí tab.2.

Složení směsi	Hladkost Ra[ $\mu\text{m}$ ]	BTEX (1) [mg/kg]	BTX (2) [mg]+)
100h.d.SiO <sub>2</sub> 7h.d.Na-bent. 3h.d.č.uhlí	16-25	B 7,62 T 22,31 E 2,17 X 21,56	B 705 T 186 X 28 TOC 1316
100h.d. SiO <sub>2</sub> 8,5h.d. A	10-16	B 1,26 T 5,14 E 0,56 X 8,07	B 26 T 4,2 X 1,2 TOC 96
100h.d.SiO <sub>2</sub> 8,5h.d.B	6,3-10	B 0,06 T 0,15 E 0,09 X 0,33	B 59 T 12 X 3,3 TOC 257

Tab.2. Vliv nových kompozitních pojiv na hladkost odlitků a VOC v odpadních pískách (1)

a v exhalacích formy (mg ve 40l plynu) (2), TOC-celkový organický uhlík.

Pojivo A bylo připraveno spec. technologií z bentonit-grafitové pasty, která po vysušení byla semleta na přibližně stejný povrch původního Na-bentonitu (d<sub>50</sub>=39,2 $\mu\text{m}$ ).

U pojiva B byly použity spec. saze ve váhovém poměru k bentonitu 1:8.

Další směr výzkumu byl věnován spec. anorganickým sorbentům. Interakce s montmorillonitickým jílem je možno rozdělit do 3 typů reakcí:

iontová výměna: anorganický výměnný kationt je zaměněn za organický. Tím klesá schopnost montmorillonitu adsorbovat vodu (pasivace bentonitu exhalacemi z C-aditiv a organických pojiv jader)

adsorpce polárních molekul: záporná centra povrchu minerálu přitahují kladná centra molekul. K aktivním centrům patří Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>

chemisorpce: OH skupiny montmorillonitu mohou reagovat s organickými skupinami za vzniku komplexu Si-O-C nebo atom C se může přímo vázat na Si (C-Si)

Jako sorbentů bylo ověřeno: kaustický MgO, mikromletý Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, aktivovaný lignit, zeolity.

Výběr anorganických sorbentů vycházel z přímého měření adsorpčních isotherm benzenu při teplotách 600C a rozdílné jeho koncentraci: 1,6; 3,2; 32; 160 a 287 g/m<sup>3</sup> (tab.3).

Koncentrace benzenu ve vzduchu [g/m <sup>3</sup> ]	Adsorbované množství benzenu [%hm]		
	Na-bentonit	L-1	Z-1
1,6	0,19	0,34	1,12
3,2	0,33	0,66	1,48
32	1,04	1,61	1,69
160	1,76	3,43	2,24
287	2,40	3,53	2,54

Tab. 3. Adsorpční izotermy benzenu

Jako velmi vhodné se ukázaly anorganické sorbety L-1 a Z-1, u kterých byla naměřena ještě vyšší sorpce benzenu než u aktivního Na-bentonitu. Tyto látky, jako součást kompozitních bentonitových pojiv, mohou významnou měrou přispět ke snižování organických polutantů v ovzduší sléváren. Jejich vliv na kvalitu obíhající jednotné bentonitové směsi se dále ověřuje.

## 6. Závěr

Příspěvek předkládá první výsledky výzkumu nových uhlíkatých aditiv bentonitových směsí se snížením vývinu organických polutantů (VOC), které řeší hygienické a ekologické problémy (nebezpečný odpad) slévárenské výroby odlitků z grafitizujících slitin železa při zachování jejich vysoké povrchové kvality a to cestou snižováním koncentrace černého uhlí, cestou substituce produkty pyrolyzních procesů a sorpci především BTEX pomocí anorganických sorbentů.

Výzkum je prováděn za podpory projektu MPO ČR v programu Impuls, evidenční číslo FI-IM4/139.

## 7. Literatura

- Bindernagel, I. Et al. Giesserei, vol.61,1974, Nö.8, s.190-197
- Jelínek, P., Fiala, J., Buchtele, J. The 66th World Foundry Congress, Istanbul 2003, vol.1, Nö12, s.455-467
- La Fay, V.S. et al. Evaluating Emission Characteristics of Seacoal and Seacoal Supplements Using Advanced Analytical Techniques. AFS Transactions, vol.108, pages 713-718 (2000)
- La Fay, V.S. et al. Carbonaceous Additives and Emissions of Benzene During Metalcasting Process. AFS Transactions, vol.106, pages 293-299 (1998)
- La Fay, V.S. et al. Mucosa Gained Info Green Sand's Benzene Emissions. Modern Casting, pages 58-60 (1998)
- Thiel, G. et al. Effects of Using Causticized Lignite as a Seacoal Replacement on Mold Gas Emissions. AFS Transactions, pages 471-484 (2005)
- La Fay, V.S. et al. Significant Reduction in the Emission Characteristics of the Green Sand Process. AFS Transactions, pages 997-1006 (2005)
- La Fay, V.S. et al. Green Sand Without Seacoal. AFS Transactions, pages 671-681 (2004)
- Podobed, O. et al. Der neue Bentonit MAKROBOND. Giesserei Praxis, č.9,2007,s.354-356
- La Fay, V.S. et al. Grünsand ohne Steinkohlezusatz. Giesserei Praxis, č.1-2,2007,s.29-34
- Makov, V.A., Mamajev, K.V. Vlijanije ultradispersnovo pyreugleroda na protivoprigarnyje svojstva peščano-smoljanoj směsi. Litějnoje prizvodstvo, 2002, Nö 9,s.22-23



- 
- Lebšin, A.A., Serebjakov, A.A. O sypučích protivoprigarnych ughlerodsoděržaščich materialach. Litějnoje proizvodstvo, 2007, Nō.1, s.32-34
- Grefhorst, C. Wspólczesne masy z bentonitem. Przegląd Odlewnictwa,č.1-2,2007,s.14-15
- Holtzer, M. Czy można wyeliminować pyl weglowy z mas klasycznych? Przegląd Odlewnictwa, č.12,2005,s.794-799
- Grefhorst, C. Prüfung von Bentoniten. Giesserei, 93,č.5,2006,s.26-31
- Kleimann, W. Einfluß von Prozeßkohlenstoff auf die Fließ-und Verdichtungseigenschaften von bentonitgebundenen Formstoffen. Giesserei, 85,č.1,1998,s.87-89
- Grefhorst, C., Grepaz, R. Bentonitgebundene Formstoffe ohne organische Zusätze für Eisenguss. Giesserei, 91,č.12,2004,s.24-30
- Kvaša, F.S., Tumanova, L.P. Sovremennyje uglevodsođeržaščie protivoprigarnyje materialy dlja pěščano-glinistych formovočnych směsej. Litějnoje proizvodstvo,2003,Nō.10,s.26-29

# METODA ULTRADŹWIĘKOWA W ZASTOSOWANIU DO BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNYCH MASY I OCENY JAKOŚCI RDZENI

Jerzy ZYCH<sup>1</sup>  
Józef DAŃKO<sup>2</sup>  
Łukasz JAMROZOWICZ<sup>3</sup>

## 1. Wprowadzenie

W artykule zaprezentowano możliwości stosowania metody ultradźwiękowej do badania właściwości technologicznych masy takich jak przepuszczalność, struktura rozkładu gęstości i określenie rozkładu wytrzymałości w gotowych elementach form (np. rdzeniach).

Zastosowanie technik ultradźwiękowych do badania rozkładu gęstości oraz przepuszczalności masy w rdzeniach uzyskanych przez wstrzeliwanie powinno ułatwić ocenę wpływu badanych parametrów procesu zagęszczania dmuchowego na uzyskane efekty technologiczne mierzone stopniem jednorodności zagęszczenia.

Metoda prowadzenia badań ultradźwiękowych w masach ze spoiwami chemicznymi została przedstawiona w pracach [1, 5], dlatego w niniejszej nie jest szczegółowo opisywana. Należy podkreślić że technika ultradźwiękowa wykorzystywana do badania rozkładu gęstości pozornej i związanej z nią przepuszczalności i wytrzymałości masy w rdzeniach uzyskanych przez wstrzeliwanie może być stosowana do badania wszystkich rodzajów mas i daje znacznie szerszą informację o ich jakości, niż inne dotychczas stosowane metody (np. badania gęstości metoda trepanacji).

## 2. Ocena jakości rdzenia

Rdzenie podczas procesu zalewania formy ciekłym metalem są narażone na działanie wysokiej temperatury i ciśnienie metalostatyczne ciekłego metalu, dlatego ważne jest aby spełniały kilka warunków, które pozwolą na uzyskanie odlewów bez wad.

Pierwszym warunkiem jest, aby masa wykorzystywana do tworzenia rdzeni w procesie wstrzeliwania masy do rdzennicy miała dobrą zdolność do zapełniania wnęki formy. Zdolność decyduje o tym czy wnęka formy – rdzennicy zostanie odpowiedni wypełniona a rdzeń zostanie odpowiednio odwzorowany, zwłaszcza gdy rdzenie mają skomplikowane kształty. Na zdolność wypełniania formy wpływa płynność masy, która możemy zmieniać przez odpowiedni dobór osnowy i spoiwa. Drugim czynnikiem jest odpowiednie rozmieszczenie otworów odpowietrzających w rdzennicy [2,3].

Kolejnym czynnikiem, decydującym o jakości rdzeni, są dobre właściwości wytrzymałościowe w cienkich warstwach rdzeni. Właściwości wytrzymałościowe zależą od stopnia zagęszczenia masy (na, który wpływa odpowiedni dobór parametrów pracy strzelarki) a także od jakości zastosowanego spoiwa [1].

O jakości rdzenia decyduje również gazotwórczość masy. Gazy powstające w wyniku oddziaływania wysokich temperatur na rdzeń powodujących zgazowanie składników masy, głównie spoiwa organicznego. Dlatego rodzaj jak i ilość użytego spoiwa jest ważna i obowiązuje tu ogólna zasada: im mniej spoiwa tym lepiej.

<sup>1</sup> dr hab. inż. Wydział Odlewnictwa AGH

<sup>2</sup> prof. dr hab. inż. Wydział Odlewnictwa AGH, Katedra Maszyn i Urządzeń Odlewniczych; jd@agh.edu

<sup>3</sup> mgr inż. Wydział Odlewnictwa AGH

Powstające gazy należy odprowadzić, co wymaga aby rdzenie cechowały się przepuszczalnością. O przepuszczalności decyduje rodzaj zastosowanej osnowy – większe ziarna - większa przepuszczalność, a także stopień zagęszczenia masy – bardziej upakowane ziarna (większa wytrzymałość) – mniejsza przepuszczalność. Aby zwiększyć i poprawić odprowadzanie powstających gazów można stosować kierunkową przepuszczalność przez zastosowanie rdzeni dwuwarstwowych. Warstwę zewnętrzną rdzenia (przymodelową) wykonuje się z osnowy o drobniejszych ziarnach – co jest korzystne dla jakości odlewu. Natomiast warstwę wewnętrzną (wypełniającą) z osnow o grubszych ziarnach – co poprawia przepuszczalność a także ukierunkowuje odprowadzanie powstających gazów [3,4]. Do sporządzania warstwy wypełniającej można użyć mniejszej ilości spoiwa, co zmniejsza koszty produkcji i wpływa na ekologiczny aspekt oceny jakości rdzeni.

Na jakość rdzeni ma wpływ wiele czynników i parametrów, które działają niejednokrotnie wywołując równoległe korzystne i niekorzystne działanie (np. większa ilość spoiwa podnosi gazotwórczość i ale polepsza wytrzymałość rdzeni). Dlatego optymalizacja parametrów technologicznych produkcji rdzeni jest procesem złożonym i często trudnym.

### 3. Warunki przemysłowe a ocena jakości rdzeni.

W warunkach przemysłowych o jakości rdzeni w głównej mierze decyduje charakterystyka urządzenia, na którym są one wykonywane. Oczywiście wpływ ma również jakość stosowanej masy – czyli odpowiedni dobór osnowy i spoiwa. Stosując tradycyjne metody badań właściwości technologicznych masy – wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie i przepuszczalność – możemy tak dobrać osnowę i spoiwo – jego ilość – aby uzyskać optymalne właściwości masy. Jednakże odpowiedni dobór parametrów pracy strzelarki i poprawność konstrukcji rdzennicy ma decydujący wpływ na jakość rdzeni. Oceny tych parametrów dokonuje się w oparciu o pomiar zagęszczenia rdzenia, dlatego pomiary gęstości prowadzone są praktycznie w każdym przypadku przy poszukiwaniu optymalnych rozwiązań procesu dmuchowego. Rdzenie wykonane z danego rodzaju masy z reguły w obrębie swojej objętości posiada nierównomierną gęstość, której rozkład jest charakterystyczną cechą sposobu zagęszczania masy. Stopień zagęszczania masy jest praktycznie „niewyznaczalny” tradycyjnymi metodami (np. przez pomiar twardości, badania trepanacyjne).

W dalszej części pracy zaprezentowane wyniki badań dowodzą, że technika ultradźwiękowa można wykorzystać do ogólnej oceny jakości rdzeni.

### 4. Realizacja badań

Badaniami, których wyniki prezentowane są poniżej, objęto dwa rodzaje rdzeni: monolityczne i dwuwarstwowe. Warstwę przymodelową dla rdzeni dwuwarstwowych wykonano z jednej ze znanych mas rdzeniowych, stosowanych w technologii wstrzeliwania rdzeni. Były to masy, w których jako spoiwo zastosowano:

- szkło wodne 145, M = 2,5 (3,5 cz. wag), utwardzane w temperaturze otoczenia (20°C) przez przedmuchiwanie ciągłym strumieniem CO<sub>2</sub> przez 20 s, osnowa piasek Szczakowa dL = 0,29 mm
- żywicę mocznikowo – furanową Kaltharz u 404 (1 cz. wag), utwardzoną w temperaturze otoczenia (20 °C) za pomocą utwardzacza 500T1 (0,4 cz. wag), osnowa piasek Szczakowa dL = 0,29 mm

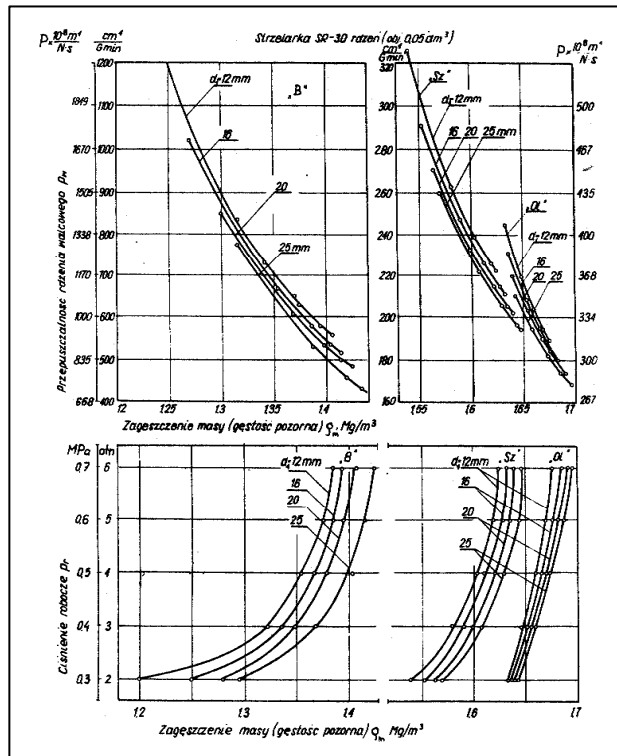
Również rdzenie monolityczne były wykonywane z tej masy.

Masę wypełniającą sporządzono z piasku kwarcowego o sprawdzonej wielkości ziarna  $d_h = 0,36$  mm i zmniejszonej od 50 do 75 procent zawartości tych samych spoiw, które używano do masy przymodelowej.

Stan zagęszczenia masy rdzeniowej oceniano przez pomiar gęstości pozornej masy w próbkach wycinanych z rdzeni za pomocą cienkościennej sondy o polerowanych ściankach i średnicy wewnętrznej równej 30 mm. Przepuszczalność rdzeni w miejscu pobierania próbek

określano metodą pośrednią, za pomocą pomiaru gęstości pozornej masy. Korzystano z wykresów analogicznych do przedstawionego na rysunku 1, ujmujących zmianę przepuszczalności od gęstości pozornej masy danego rodzaju wstrzeliwanej do rdzennicy o wymiarach znormalizowanej próbki walcowej przy zmiennych parametrach prowadzenia procesu. Uzyskane wyniki poddano porównaniu z pomiarami prędkości fali ultradźwiękowej w tych samych punktach pomiarowych rdzenia testowego.

W oparciu o zależności pomiędzy gęstością pozorną i porowatością masy w pełni utwardzonej z żywicą Kaltharz U404 a prędkością fali, a także zależności pomiędzy prędkością fali i wytrzymałością Rc masy z żywicą Kaltharz przeprowadzono nieniszczące pomiary ultradźwiękowe w przykładowym rdzeniu [1].



Rys. 1. Zależność przepuszczalności od gęstości pozornej próbki masy zagęszczonej przez jej wstrzelenie do rdzennicy o wymiarach próbki walcowej (o wymiarach  $\phi 50 \times 50 mm$ ), przy użyciu zmiennego ciśnienia wstrzeliwania [ 3 ].

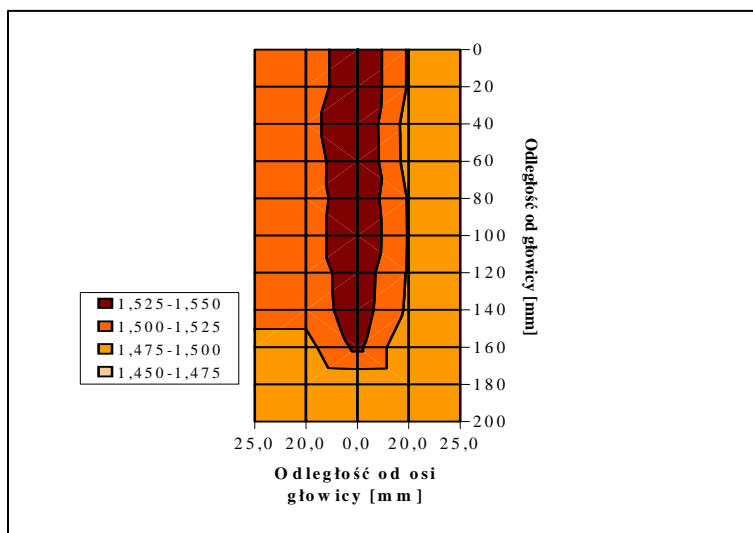
## 5. Wyniki badań

### 5.1 Ocena rozłożenie gęstości pozornej w obrębie rdzenia.

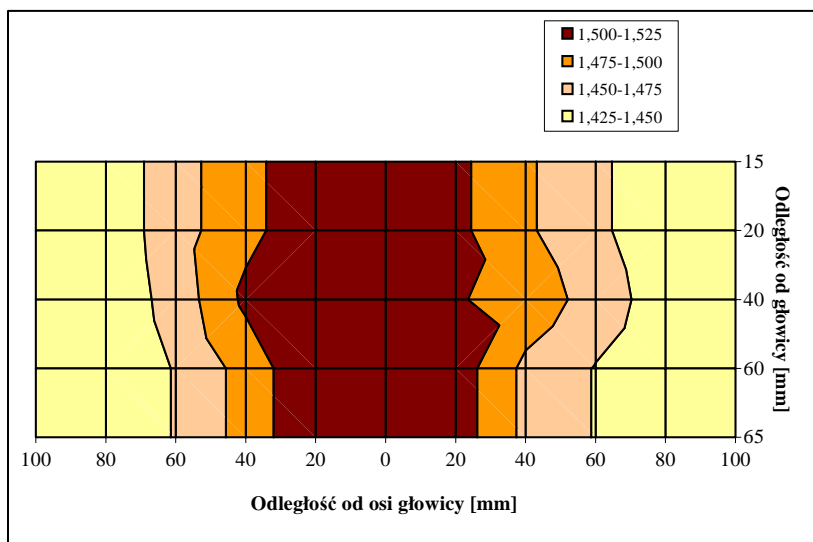
W przedstawionych przypadkach, różniących się sposobem „wstrzeliwania” masy, widać całkowicie odmienny obraz zagęszczenia masy w obrębie rdzenia. W pierwszym przypadku (rys. 2), gdy głowica strzałowa umieszczona była w osi głównej rdzennicy, uzyskano nieco większy stopień zagęszczenia. Najmniejsze zagęszczenie uzyskano w na samym dole rdzennicy. W drugim przypadku (rys. 3), gdy głowica strzałowa umieszczona była w osi krótszego boku, uzyskano niemal symetryczne rozłożenie gęstości, jednak stopień zróżnicowania zagęszczenia jest znacznie większy. Uzyskane wyniki jakościowo odpowiadają oczekiwanemu rozkładowi i są zbieżne w wynikami pomiarów rozkładu gęstości prowadzonych metodą trepanacji.

Zaletą badań ultradźwiękowych jest nieniszczący ich charakter i łatwość dokonywania pomiarów. Czas pomiaru jest również zdecydowanie krótszy, niż uzyskiwany innymi metodami. Wyznaczania gęstości odbywa się metodą pośrednią. Najpierw dla badanej masy

wyznaczana jest jej charakterystyka ultradźwiękowa, polegająca na wyznaczeniu empirycznej funkcji:  $\rho_0=f(cL)$ , czyli empirycznej zależności pomiędzy gęstością pozorną masy ( $\rho_0$ ) a prędkością podłużnej fali ultradźwiękowej ( $cL$ ). Funkcja ta jest wyznaczana po utwardzeniu masy, a więc wtedy, gdy procesy wiązania (utwardzania) zostały zakończone. Dla zakresów technologicznych gęstości masy ( $\rho_0 = 1,25 - 1,75 \text{ g/cm}^3$ ) funkcja  $\rho_0=f(cL)$  ma charakter liniowy, co niezmiernie ułatwia wyznaczanie charakterystyki dla badanej masy. Do jej wyznaczenia wystarczy wykonać pomiary ( $\rho_0$ , i  $cL$ ), przy dwóch różnych gęstościach pozornych próbek pomiarowych. Takie zależności zostały każdorazowo określone dla badanych mas.

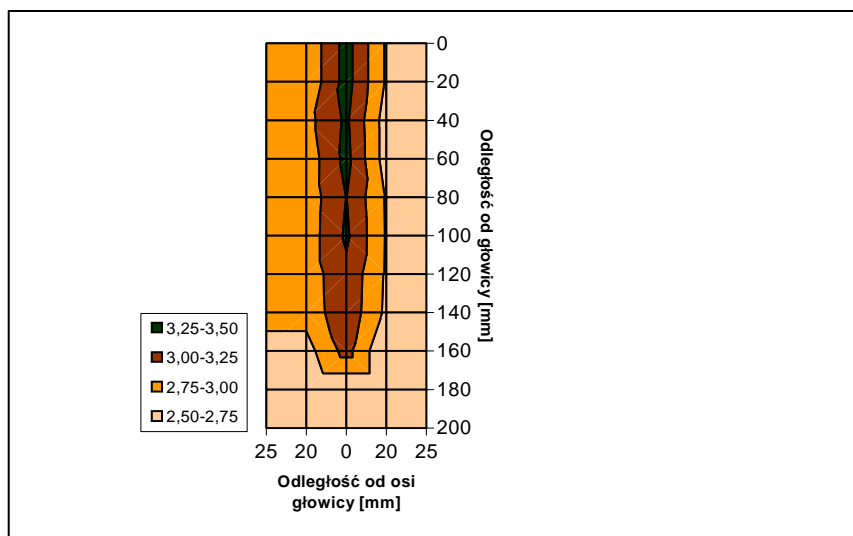


Rys. 2. Rozłożenie zagęszczenia (mierzonego gęstością pozorną) w rdzeniu wykonanym przez „wstrzelenie” masy od góry, wzdłuż dłuższej osi rdzennicy[1].

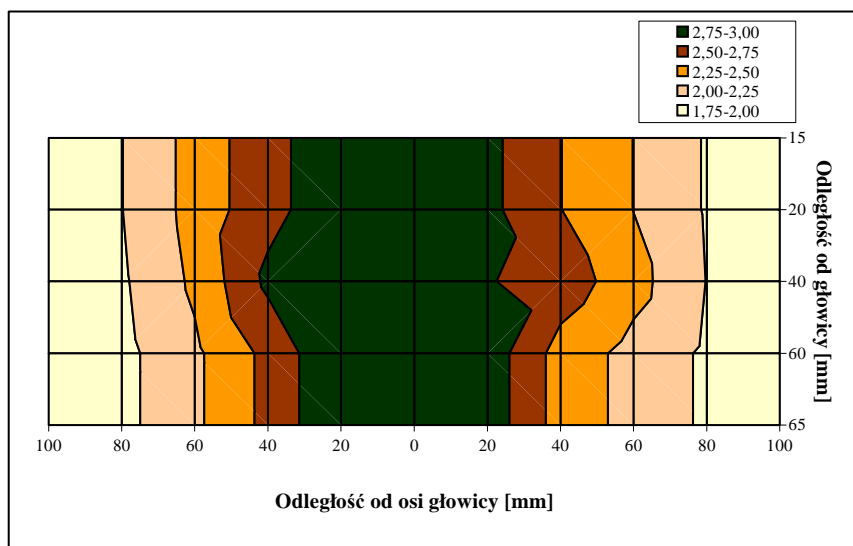


Rys. 3. Rozłożenie zagęszczenia (mierzonego gęstością pozorną) w rdzeniu wykonanym przez wstrzelenie masy z boku, prostopadłe do dłuższej osi rdzennicy[1].

## 5.2 Rozłożenie (prognozowanej) wytrzymałości $R_c$ w obrębie rdzenia



Rys. 4. Rozłożenie wytrzymałości  $R_c$  w rdzeniu (po pełnym utwardzeniu), głowica strzałowa mieszczona od góry w osi głównej rdzennicy [1]



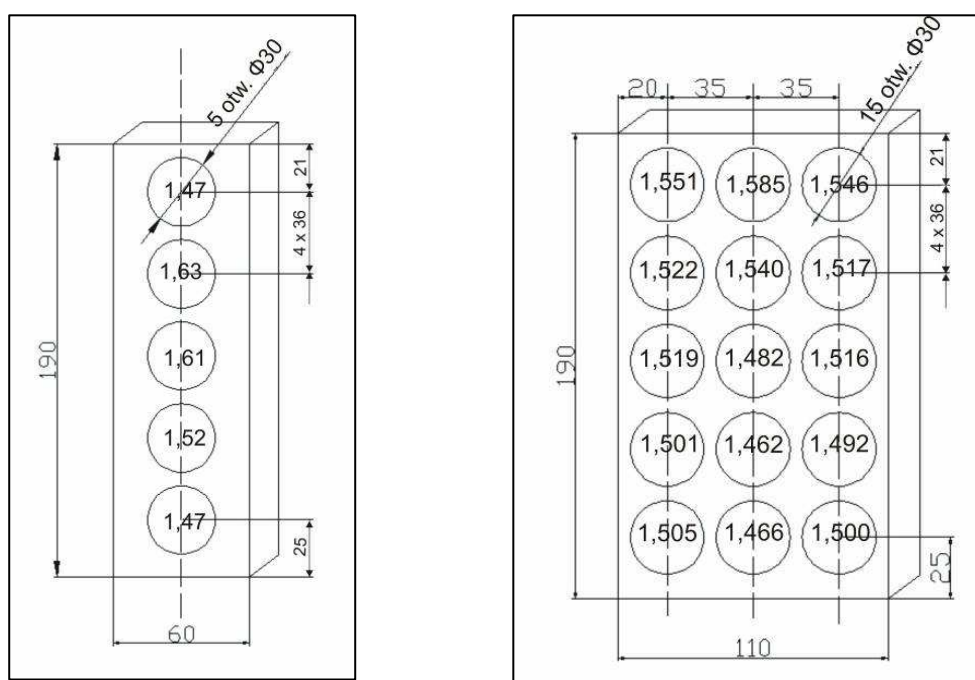
Rys.5. Rozłożenie wytrzymałości  $R_c$  w rdzeniu (po pełnym utwardzeniu), oś otworu strzałowego usytuowana prostopadłe do osi głównej rdzennicy [1].

Wytrzymałość masy ze spoiwami chemicznymi w obrębie utwardzonego elementu formy (np. rdzenia) jest pochodną stopnia jej zagęszczenia. Można ją wyznaczyć pośrednio poprzez pomiar gęstości, o oparciu o zależność:  $R_m, R_c = f(\rho)$ . Dla każdej masy istnieje taka empiryczna zależność. Wyznaczono ją również dla mas, z których wykonywano badane rdzenia mających rozkład gęstości pokazany na rysunkach 2 i 3. Rozkład wytrzymałości w obrębie rdzenia, wyznaczony metodą pośrednią (na podstawie ultradźwiękowych pomiarów gęstości), „podąża” za gęstością pozorną masy, co pokazują rysunki 4 i 5. Również w tych przypadkach, różniących się sposobem „wstrzeliwania” masy, widać odmienny obraz rozłożenia wytrzymałości  $R_c$ . W przypadku, gdy głowica strzałowa umieszczona jest w osi głównej rdzennicy, uzyskano największą wytrzymałość rdzenia w jego osi, natomiast najmniejszą w dole rdzennicy, co jest podobne do rozkładu stopnia zagęszczenia. W drugim

wariancie umieszczenia głowicy, wytrzymałość  $R_c$  jest niemal symetrycznie rozłożona. Również w tym wypadku największa wytrzymałość jest w osi rdzenia, natomiast najmniejsza na bokach.

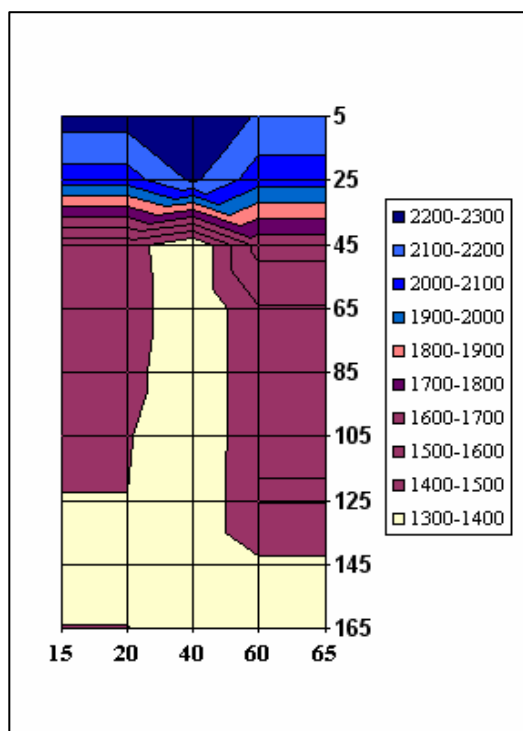
### 5.3 Rozłożenie gęstości pozornej w obrębie rdzeni dwuwarstwowych

Badania rozkładu gęstości w rdzeniach dwuwarstwowych wykonano dwoma metodami: tradycyjną – penetracyjną (trepanacyjną) i metodą ultradźwiękową. Wyniki tych badań zamieszczono na rysunkach 6 i 7. Jak widać z danych uzyskanych przez badanie gęstości pozornej masy tradycyjną metodą penetracyjną, najmniejsze zagęszczenie występuje w osi rdzenia (masa wypełniająca), co oznacza, że w tym obszarze przepuszczalność jest największa. Maksymalne zagęszczenie występuje w pobliżu otworu strzałowego, a także na bokach rdzenia (masa przymodelowa) – tam przepuszczalność będzie najmniejsza.



Rys.6. Wyniki badań gęstości pozornej masy przeprowadzone tradycyjną metodą penetracyjną usytuowane na tle wymiarów rdzeni doświadczalnych.

W wyniku badań metodą ultradźwiękową uzyskano podobne dane jak przy tradycyjnej metodzie penetracyjnej. Analiza danych wykazuje, że przy prędkości fali 1300 -1400 m/s występuje największa przepuszczalność masy rzędu 600 – 400 cm<sup>4</sup>/G. Taka przepuszczalność występuje w osi rdzenia. Natomiast w warstwie zewnętrznej rdzenia (masa przymodelowa) prędkość rozchodzenia się fali wynosi 1600 – 1700 m/s, co wskazuje na mniejszą przepuszczalność. Najniższa przepuszczalność występuje w okolicach otworu strzałowego, gdzie prędkość fali dźwiękowej wynosi ponad 2000 m/s.



Rys. 7. Wyniki badań ultradźwiękowych: rozkład prędkości fali w na przekroju rdzenia wykonanego jako dwuwarstwowy z masy ze szkłem wodnym, b/ widok rdzenia w przekroju.

## 6. Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki badań dowodzą, że technika ultradźwiękowa może być wykorzystywana do ogólnej oceny jakości elementów form i rdzeni wykonanych z mas ze spoiwami chemicznymi.

Ocena elementów form może być prowadzona:

- dla określenia wartości pozornej masy w rdzeniach
- dla określenia przewidywanej wytrzymałości masy w wybranych miejscach rdzenia
- dla określenia przewidywanej przepuszczalności w wybranych miejscach rdzenia.

Wyniki takich badań mogą być wykorzystane do wyjaśniania wielu przyczyn powstawania wad odlewniczych, korekty procesu technologicznego, zmiany w konstrukcji oprzyrządowania odlewniczego lub pracy urządzeń stosowanych do wykonywania rdzeni (strzelarki, nadmuchiwarki, itp.).



## 7. Literatura

1. Zych J., Dańko J.: "Non-destructive method of core examination to determine the uniformity of sand compaction and the distribution of strength and permeability" International Conference "Modern Methods of core production", Českomoravská vrchovina, Milovy - 15-16.04.2003, s. 45-53.
2. Dańko J.: „Ewakuacja masy z komory nabojuowej maszyn dmuchowych”. Komisja Budowy Maszyn PAN – Oddział w Poznaniu, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 18, Poznań 1998, s. 63-71.
3. Dańko J.: „Proces wytwarzania rdzeni i form odlewniczych metodami dmuchowymi. Badania i teoria”. Rozprawa habilitacyjna. Zeszyty Naukowe AGH, z. nr 145, Metalurgia i Odlewnictwo.PL ISSN 0372-9443, s. 179.
4. 4. Zych. J., Dańko J., Jamrozowicz Ł.,: „Zastosowanie techniki ultradźwiękowej do badania rozkładu gęstości oraz przepuszczalności masy w rdzeniach monolitycznych oraz dwuwarstwowych prze wstrzeliwanie masy”. Materiały XXXI Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2007, WO AGH, Kraków listopad 2007, s. 13-20
5. 5. Zych J.: „Synteza zastosowań techniki ultradźwiękowej w analizie kinetyki wybranych procesów zachodzących w tworzywach formierskich”: Rozprawy Monografie 163; AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, ISSN 0867-6631, Kraków 2007.

## PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE INTERNETU W ODLEWNICTWIE

Jarosław KRUKOWSKI<sup>1</sup>

Piotr WOŹNIAK<sup>2</sup>

Paweł NASKRĘT<sup>3</sup>

Sławomir SIETNIK<sup>4</sup>

### 1. Wstęp

Historia sieci komputerowych i Internetu sięga końca lat sześćdziesiątych XX wieku, w odniesieniu do wielowiekowej historii odlewnictwa, stanowi jedynie skromny jej ułamek. W prawie czterdziestoletnim przedziale czasu można zaobserwować bardzo dynamiczny rozwój sieci oraz to jak znajdowano kolejne, praktyczne zastosowania wykorzystania Internetu. Trudno dziś znaleźć dziedzinę, w której Internet nie byłby wykorzystywany. Wynika to z faktu szerokiej dostępności, rozległości i uniwersalności medium nazywanego „siecią sieci”. Do bardzo obszernego zakresu zastosowań niewątpliwie zaliczyć należy zastosowanie w przemyśle odlewniczym. Byłoby jednak błędem mówienie o jakimś szczególnym i z góry określonym przeznaczeniu. Internet sam w sobie to bardzo rozległa sieć, a praktycznie niczym nieograniczona możliwość przesyłania rozmaitych informacji i udostępniania zasobów stanowią o jego wartości. Właśnie ta możliwość jest bardzo ważnym i potężnym narzędziem wspomagającym procesy produkcyjne, działania marketingowe i zarządzanie przedsiębiorstwem, poszerzającym wiedzę na temat nowych technologii, a tym samym przyczyniającym się do rozwoju przedsiębiorstwa i wzrostu konkurencyjności. Praktyczne wykorzystanie Internetu w każdej dziedzinie, sprowadza się do podstawowej funkcji, jaką jest transmisja danych, poprzez różnego typu media (kabel, światłowód, droga bezprzewodowa) a to, jakiego rodzaju informacje zawierają przesyłane dane, determinuje określone zastosowanie.

### 2. Internet jako baza wiedzy

Ilość, różnorodność i rozproszenie informacji, które udostępniono w globalnej sieci, charakteryzują internet jako zdecentralizowaną bazę danych. Istnieją próby usystematyzowania i skatalogowania informacji w nim dostępnych przez różnego rodzaju serwisy branżowe, ośrodki naukowe.

W latach 1996-1997 w Instytucie Odlewnictwa przy współudziale Katedry Informatyki AGH uruchomiony został zestaw baz danych INFOCAST z dostępem poprzez sieć Internet. Zasoby informacyjne zawarte w aktualnie pracujących bazach danych systemu INFOCAST posiadają dużą wartość dla prowadzonych prac badawczych i projektowych, planowania produkcji i marketingu w przemyśle odlewniczym. Ponadto, system doradczy CASTEXPERT (wchodzący w skład INFOCAST) wykazał swoją użyteczność przy wspomaganie wdrażania i udoskonalania technologii odlewniczych w zakładach wytwórczych. Raportowany projekt, realizowany w latach 1999-2002 w ramach grantu KBN/7/T08B/047/17, dotyczy rozbudowy systemu INFOCAST, a w szczególności wzbogacenia jego funkcji informacyjnych oraz stworzenia wersji rozproszonej systemu diagnostycznego CASTEXPERT. Przedmiotem prac były metody

<sup>1</sup> inż. P.P.P TECHNICAL, j.krukowski@technical.com.pl

<sup>2</sup> mgr inż. P.P.P TECHNICAL, p.wozniak@technical.com.pl

<sup>3</sup> inż. P.P.P TECHNICAL, p.naskręt@technical.com.pl

<sup>4</sup> inż. P.P.P TECHNICAL, s.sietnik@technical.com.pl

oraz narzędzia programowe pozwalające na konstrukcję systemów umożliwiających organizację procesów wykorzystania oraz syntezy rozproszonych zasobów informacyjnych. Realizacja systemu diagnostycznego o strukturze zdecentralizowanej (rozproszonej) umożliwi bezpośrednie (sieciowe) udostępnienie go zakładom przemysłowym, z równoczesnym wykorzystaniem informacji pochodzących z realnych procesów produkcyjnych. Na opisywany zdecentralizowany system informacyjno-diagnostyczny składa się zespół systemów ekspertowych i informacyjnych powiązanych w pewną strukturę organizacyjną [1]. Proponowana architektura ma charakter otwarty, pozwalający na dynamiczne zmiany tej struktury dla potrzeb konkretnego zadania diagnostycznego. W systemie mogą występować różnorodne, heterogeniczne źródła informacji, w tym: elementy o charakterze pasywnym (bazy danych, zbiory informacji o przypadkach) oraz elementy o charakterze aktywnym dysponujące pewnym fragmentem wiedzy (zbiory reguł, systemy ekspertowe). Poszczególne elementy współpracując ze sobą tworzą sieć diagnostyczną w dynamiczny sposób dostosowywaną do realizowanego zadania. Z poziomu strony WWW użytkownik ma możliwość korzystania z baz danych (SINTE, NORCAST, CASTSTOP), w których wyszukiwanie informacji odbywa się przy użyciu formularzy (Rys. 1, Rys. 2) [2].

**SINTE - szukaj publikacji**

Rok od / do

Nr karty od / do

Nr analizy

Autor   Wszystkie słowa

Tytuł

Tytuł pol.

[Pokaż deskryptory](#)

Deskryptory

Streszczenie

Język  lub  lub

Kraj  lub  lub

Klasyf.  lub  lub

Opis. bib.

UKD

Ile na stronie

Uporządkowanie

Rys. 1 Formularz bazy SINTE.

**SINTE - publikacje - rezultat wyszukiwania**

Znaleziono 156 publikacji

[dalej](#) [1] 2 3 4 5 ... z 78 >>

ID publikacji : 34605

Nr: 21305 Rok: 2005

Nr analizy:

Autor:

**Tytuł:** EuroMold 2004 - Ein Rueckblick. Weltmesse fuer Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung in Frankfurt/Main.

**Tytuł pl:** EuroMold 2004 - spojrzenie wstecz. Targi światowe w zakresie produkcji form i oprzyrządowania konstruowanie i rozwój wyrobu - Frankfurt/M.

**Kraj:** DE **Język:** GER **Klasyfikacja:** AR 01

**Deskryptory:** odlewnictwo, targi, wystawa

**Streszczenie:** Artykuł jest sprawozdaniem z targów EuroMold 2004, które odbyły się w Frankfurtu/M. Targi dotyczyły technologii produkcji form i technologii formowania. W targach uczestniczyło 1502 wystawców z 39 krajów. 30,8% to wystawcy zagraniczni. Najliczniejszą grupę spośród gości zagranicznych stanowili Włosi i Chińczycy. Na targach przedstawiono nowości nie tylko z zakresu technologii form, modeli czy prototypów, ale z zakresu oprogramowania, urządzeń do produkcji form, urządzeń do szybkiego wykonywania oprzyrządowania (rapid tooling). Sporo uwagi poświęcono zagadnieniom projektowania zastosowania tworzyw. Omówiono badania prowadzone w wyższych uczelniach (badania które dotyczyły produkcji form i rdzeni). W sprawozdaniu zaprezentowano charakterystykę firm prezentujących swoje wyroby. /A.W./

**Bibliograf:** Giesserei-Prax. 2005 nr 1 s.21-27,

**Ukd:** 621.74:061.4\*\*wystawa odlewnicza

*Rys. 2 Rekord bazy SINTE.*

Baza SINTE jest bibliograficzną, odlewniczą, bazą danych zawierającą abstrakty z ponad 36000 artykułów z czasopism odlewniczych (krajowych i zagranicznych), kongresów oraz z prac naukowo - badawczych pracowników Instytutu Odlewnictwa. Wszystkie wymienione w bazie artykuły są dostępne w Bibliotece Instytutu Odlewnictwa. Baza zasilana jest systematycznie od roku 1977. Tematycznie baza SINTE obejmuje: metalurgię i metaloznawstwo stopów odlewniczych, obróbkę cieplną odlewów, odlewy żeliwne, odlewy staliwne, odlewy ze stopów metali nieżelaznych, odlewy z kompozytów metalowych, procesy topienia i stosowane piece, procesy technologiczne przygotowania mas formierskich, procesy wykonywania form i rdzeni, technologie wykonywania odlewów, ochronę środowiska, procesy oczyszczania i wykańczania odlewów, zagadnienia wspomagania komputerowego w odlewnictwie, maszyny i urządzenia odlewnicze, mechanizację i automatyzację, kontrolę jakości i systemy jakości, marketing, zarządzanie, organizację i koszty produkcji.

Baza NORCAST zawiera aktualne dane o ponad 4000 normach odlewniczych krajowych: PN, PN-EN i PN-ISO, międzynarodowych - ISO, europejskich - EN oraz zagranicznych. Tematyka norm w bazie NORCAST podzielona jest na grupy tematyczne: zagadnienia ogólne, materiały wsadowe, materiały formierskie, materiały pomocnicze, stopy odlewnicze, maszyny i urządzenia, odlewy, badania stopów i odlewów, ochrona środowiska, systemy zarządzania jakością, inne zagadnienia związane z odlewnictwem. Baza norm uaktualniana jest od roku 1996.

Wyszukiwanie norm w bazie umożliwiają mechanizmy wyszukiwania według: numeru normy lub jego części, tytułu normy (lub jednego ze słów tytułu lub części słowa) i słów kluczowych. Jeden rekord bazy NORCAST zawiera, numer normy, tytuł w języku polskim i angielskim, numer międzynarodowej klasyfikacji norm (ICS), grupę tematyczną, słowa kluczowe, normy zastąpione, normy powołane, abstrakt w języku polskim.

Baza CASTEXPERT jest systemem wspomagającym decyzje w zakresie diagnostyki wad odlewów. Działanie systemu wspomagane jest bazą reguł decyzyjnych i bazą zdjęć odlewów wadliwych. W oparciu o wiedzę zawartą w systemie i informacje pozyskiwane od technologów w toku prowadzonego z nim dialogu systemem wspomaga identyfikację wad w odlewach, oraz ustala możliwe przyczyny powstawania wad odlewniczych

z równoczesnym wskazaniem działań umożliwiających eliminację wad. Aktualna wersja tego systemu obejmuje wady odlewów z żeliwa szarego, z żeliwa sferoidalnego i ze stopów metali nieżelaznych oraz wady odlewów staliwnych.

CASTEXPERT jest systemem ekspertowym, regułowym, zrealizowanym z użyciem języka CLIPS (ang. C Language Integrated Production System - rozszerzenie języka C) oprogramowanie części regułowo-decyzyjnej, z systemem baz danych Informix SE. Wykorzystano również język JAVA i pakiet JESS (Java Expert System Shell), interfejs graficzny przygotowany w języku HTML, jest dostosowany do dostępu przez przeglądarki WWW (zapewniono możliwość przeglądania obrazów i zdjęć) [1].

### 3. Internet w automatyce przemysłowej.

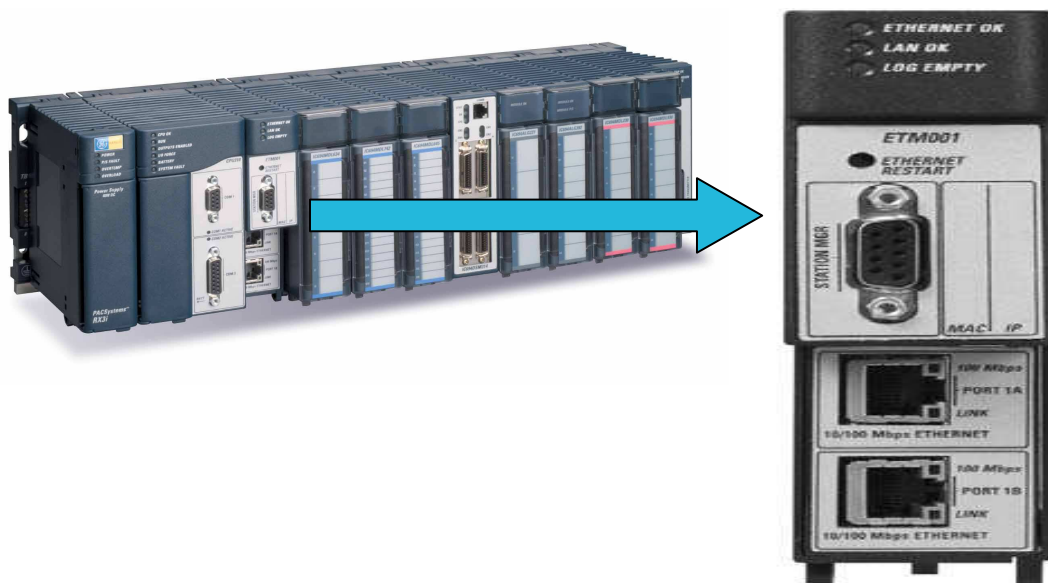
W przypadku automatyki przemysłowej stosowanej w odlewnictwie główne zastosowanie internetu sprowadza się do zdalnej obsługi i monitorowania procesów przemysłowych oraz pracy maszyn.

Menedżerowie i specjaliści odpowiedzialni za produkcję, jakość i utrzymanie ruchu potrzebują w codziennej pracy informacji, które prezentują w czytelnej formie. Prezentowanie wszelkich zmiennych procesowych, wizualizacja procesów, raportowanie, archiwizacja, obsługa różnego typu zdarzeń, stopnia wykorzystania maszyn oraz wprowadzanie zmian i innowacji w oprogramowaniu maszyny, czy całego kontrolowanego procesu możliwe jest w przeglądarkach internetowych. Przy czym dostęp do tego typu informacji może być zarówno „lokalny” tzn. z poziomu panelu operatorskiego (Rys. 3),

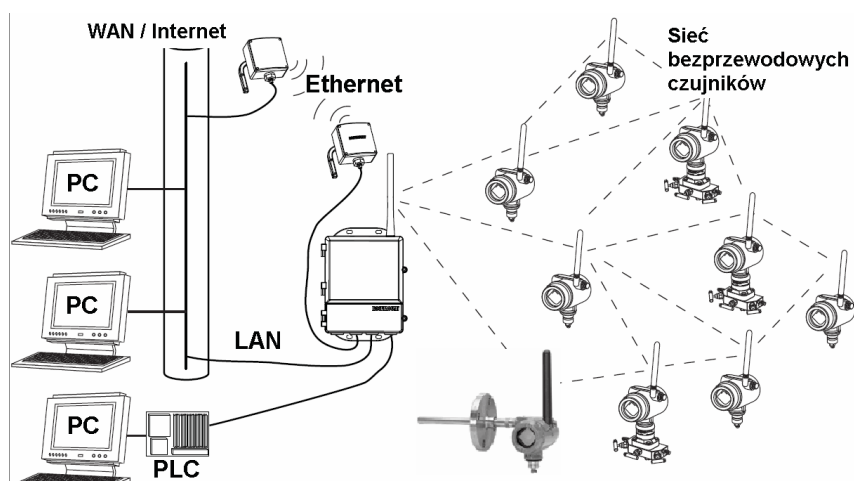


Rys. 3 Panel operatorski z wbudowanym Web-Serwerem

bądź komputera przemysłowego umieszczonego bezpośrednio przy maszynie, jak i w sposób mniej lub bardziej rozproszony tzn. z poziomu oddalonego komputera umieszczonego w pomieszczeniu dla operatorów czy nawet na komputerze znajdującym się w innej części świata (Rys. 6). Tego typu funkcje dostępne są poprzez zastosowanie nowoczesnego oprogramowania wizualizacyjnego oraz użycie rozwiązań sprzętowych w postaci paneli operatorskich z Web-Serwerem, sterowników PLC(ang. Programmable Logic Controller) wyposażonych w moduły ethernetowe (Rys. 4) [3]; a nawet sieci bezprzewodowych czujników (temperatury, ciśnienia, przepływu) zawierających serwery internetowe i obsługę stosu TCP/IP (ang. Transmission Control Protocol / Internet Protocol) (Rys. 5) [3].



Rys. 4 Sterownik PLC firmy GE Fanuc z modułem ethernetowym



Rys. 5 System bezprzewodowego, rozproszonego pomiaru.

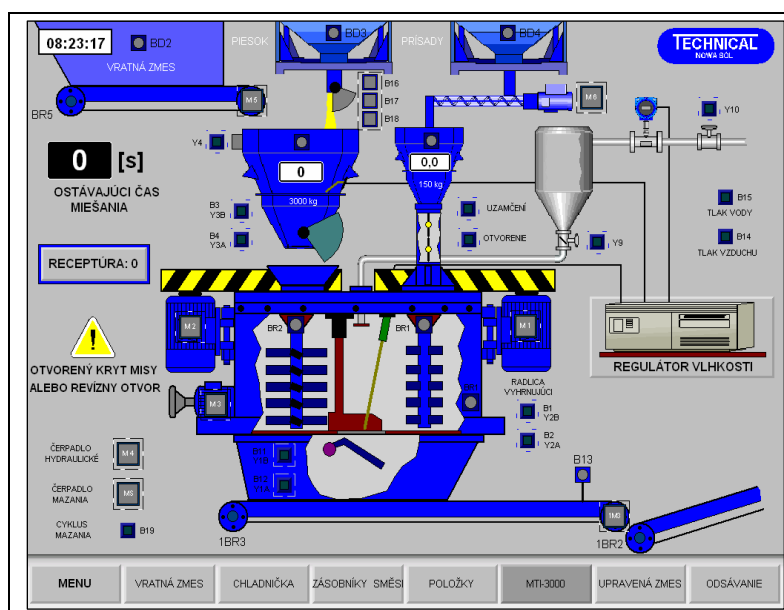
Przykładem oprogramowania wykorzystywanego w firmie Technical do tworzenia wizualizacji pracy produkowanych maszyn jest pakiet Proficy HMI/SCADA CIMPLICITY. Bazuje on na wieloletnim doświadczeniu firmy GE Fanuc w tworzeniu oprogramowania do zbierania i prezentacji danych. Jedną z cech środowiska jest architektura klient - serwer. Dzięki niej system oparty na takiej zasadzie jest bardzo wydajny, a gromadzone dane łatwo dostępne dla końcowych użytkowników bez konieczności dublowania gromadzonych danych. Przykładowo jeden z najprostszyc systemów może wyglądać następująco: dane ze sterownika (bądź grupy sterowników) pobierane są przez Serwer, na którym są one przetwarzane, a następnie w zależności od potrzeb udostępniane kolejnym stacjom operatorskim - komputerom Viewer (komputer Serwer może pełnić również rolę stacji operatorskiej). Ważną rzeczą jest to, że stacja Viewer nie pobiera danych bezpośrednio ze sterownika ale wykorzystuje w tym celu dane pochodzące z serwera. Podobnie wygląda przesyłanie danych w drugim kierunku, tzn. gdy użytkownik na stacji operatorskiej modyfikuje parametry urządzenia poprzez zmianę wartości zmiennej. Zmiana ta nie jest przesyłana bezpośrednio do sterownika tylko do serwera, który pośredniczy w wymianie odbierając informacje od stacji operatorskiej

kieruje je do sterownika oraz rozsyła do innych stacji operatorskich w systemie. Architektura klient - serwer umożliwi również łatwą rozbudowę małych aplikacji składających z pojedynczego komputera do systemów, nad którymi nadzór pełni wielu operatorów.

Pakiet Proficy HMI/SCADA CIMPLICITY umożliwia integrację ze środowiskiem Proficy Machine Edition dzięki czemu otrzymano możliwość konfiguracji i programowania sterowników a także wymiany informacji o zdefiniowanych zmiennych, dzięki czemu zmienne utworzone podczas tworzenia programu sterującego mogą być automatycznie dodane do listy punktów dostępnych w Proficy HMI/SCADA CIMPLICITY.

Kolejną usługą Web-Serwer to możliwość połączenia się z procesem poprzez przeglądarkę Internetową. Projektant aplikacji otrzymuje narzędzie, w którym określa, zasady udostępnienia aplikacji SCADA poprzez Web-Server a mechanizmy zawarte w pakiecie CIMPLICITY przekładają postać aplikacji SCADA na postać ekranów do który może się odwołać użytkownik korzystający jedynie z przeglądarki internetowej. Rozwiązanie takie daje bardzo duże możliwości szybkiej diagnozy sytuacji awaryjnych oraz korekty programu sterującego, bez potrzeby przyjazdu automatyka – a co za tym idzie, skrócenia do minimum czasu przestoju związanego z awarią bądź zmianą procesu technologicznego.

Istnieje możliwość powiadamiania służby utrzymania ruchu o stanach alarmowych, bądź awariach poprzez email czy sms, dzięki temu czas postoju związany z awarią zmniejsza się do minimum, co w obecnych warunkach ekonomicznym ma bardzo duże znaczenie. Nad bezpieczeństwem dostępu do aplikacji czuwa system autoryzacji użytkowników, tak aby tylko uprawnione osoby miały dostęp do odpowiednich zasobów.



Rys. 6 Ekran zdalnego dostępu do systemu wizualizacji

#### 4. Podsumowanie.

Mając na uwadze powyższe, przykładowe i jedno z wielu zastosowania internetu w odlewnictwie, można stwierdzić, że poprzez uniwersalność i powszechność tego medium, wkracza ono i obejmuje swoim zasięgiem kolejne dziedziny związane z funkcjonowaniem nowoczesnego przedsiębiorstwa.

Wykorzystanie technologii internetowych w postaci systemów wizualizacji i zarządzania ma m.in. na celu: zwiększenie szybkości przepływu informacji pomiędzy

poszczególnymi działami w przedsiębiorstwie; przedstawienie dostępnych danych i zaistniałych sytuacji awaryjnych (krytycznych) w łatwej do analizy formie, a tym samym skrócenia czasu ewentualnych przestojów. Celem końcowym tego typu działań zawsze jest zwiększenie atrakcyjności rynkowej przedsiębiorstwa. Najnowsze technologie internetowe stosowane nie tylko w przemyśle odlewniczym, zmierzają w kierunku integracji systemów wizualizacyjnych z systemami zarządzania.

## 5. Literatura:

- [1]. „Diagnostyka wad odlewów przy użyciu systemu ekspertowego CastExpert- przykład zastosowania regułowej reprezentacji wiedzy”, prof. Stanisława Kluska-Nawrecka
- [2]. Strona internetowa: Instytut Odlewnictwa - bazy SINTE, NORCAST ([http://149.156.29.202:2080/gsinte\\_publicacje.php](http://149.156.29.202:2080/gsinte_publicacje.php))
- [3]. Dokumentacja techniczna bezprzewodowego czujnika „Rosemount 648 Wireless Temperature Transmitter” firmy Emerson Process Management.
- [4]. Dokumentacja techniczna modułu ethernetowego firmy GE Fanuc