

BADANIA I OCENA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA STRUMIENI ŚRUTU W OCZYSZCZARKACH WIRNIKOWYCH ZAWIESZKOWYCH

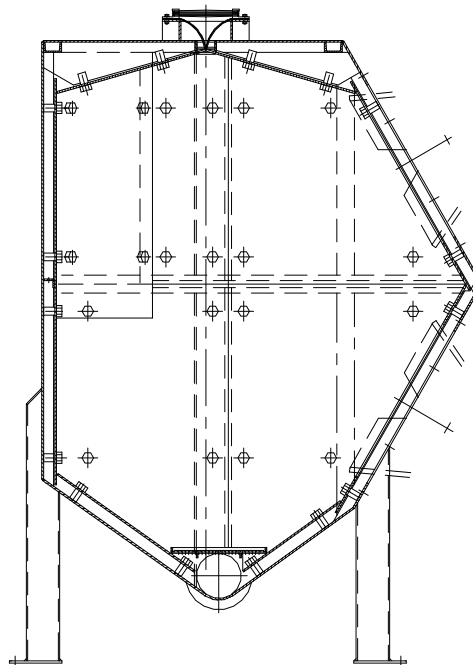
Roman WRONA¹
Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI²
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków

Zbigniew PĄCZEK³
Specodlew,
Kraków

1. Metodyka badań.

Proces oczyszczania strumieniowo-ściernego jest procesem dynamicznym polegającym na wytwarzaniu strumieni śrutu i kierowaniu ich na oczyszczane odlewy. Efektywność oczyszczania zależy od parametrów kinetyczno-dynamicznych strumienia i jego kształtu określonego szerokością i wysokością. Wymiary geometryczne strumieni tworzą przestrzeń efektywnego oczyszczania.

Badania przeprowadzono w komorze oczyszczarki OWH produkcji firmy Technical. Konstrukcję i zasadnicze elementy oczyszczarki podaje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat komory oczyszczarki OWH [DTR- Technical]

¹ prof. dr hab. inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków

² dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków

³ dr inż.

W prawej bocznej ścianie komory, zamocowane są dwa wirniki rzutowe (górny i dolny), stanowiące zasadniczy mechanizm w procesie oczyszczania. Ściana górna komory (sufitowa) jest dzielona symetrycznie wzdłuż osi wzdłużnej komory i przeznaczona jest do zamocowania toru jazdy zawiesia wraz z mechanizmem napędu.

W części dolnej komory znajduje się krata do odprowadzania śrutu i masy formierskiej oddzielonej od odlewów.

Całość stanowi samonośną konstrukcję spełniającą wymogi wytrzymałościowe i eksploatacyjne.

Do określenia kształtu strumienia posłużono się metodą pośredniego pomiaru efektu oczyszczania wraz z rejestracją fotograficzną. W tej metodzie zastosowano ekran z blachy stalowej i ustawiono go w osi toru jazdy zawiesia, równoległe do wirników rzutowych, a prostopadle do kierunku wyrzucanych strumieni śrutu. W wyniku działania strumienia śrutu na powierzchni ekranu powstaje powierzchnia oczyszczona obrazująca geometrię strumienia śrutu. Zarysy powierzchni oczyszczonej dokumentowano techniką fotografowania cyfrowego, co następnie umożliwiło opracowanie wyników metodami komputerowymi.

Pomiary realizowano w trzech etapach:

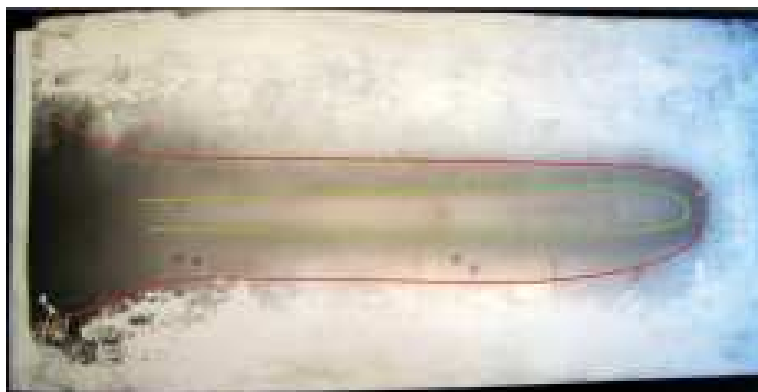
- etap I obejmował badanie wirnika dolnego. Podczas badań wirnik górny był odłączony od zasilania śrutem.
- etap II obejmował badanie wirnika górnego. Analogicznie jak w I etapie, podczas badań wyłączany był wirnik dolny.
- etap III obejmował badanie procesu przy równoczesnym włączeniu wirnika dolnego i górnego.

Każdorazowo poszczególny etap był dokumentowany aparatem cyfrowym o dużej rozdzielczości i głębi obrazu. Badaniami objęto wirniki uzbrojone w łopatki płaskie. Profil łopatek dotyczy powierzchni roboczej, po której wyrzucany jest strumień śrutu.

2. Analiza jakościowa fotogramów.

2.1. Fotogramy z badań wirnika dolnego.

Efekt działania strumienia śrutu z wirnika dolnego zarejestrowano na fotografii ekranu (rys. 2).



Rys. 2. Powierzchnia efektywnego działania skoncentrowanego () i rozproszonego () strumienia śrutu z wirnika dolnego.

Na powierzchni ekranu zarysowały się dwa obszary o zróżnicowanej barwie. Obszar wewnętrzny jaśniejszy i obszar zewnętrzny ciemniejszy, który był rozłożony niesymetrycznie wokół obszaru wewnętrznego. Oznacza to, że struga śrutu jest niejednorodna i składa się z części strumienia skoncentrowanego wewnętrznego i rozproszonego zewnętrznego. Zróżnicowana barwa obszarów świadczy o tym, że strumień skoncentrowany ma większą siłę uderzenia śrutem w ekran od siły uderzenia

strumienia rozproszonego. Następstwem takiego zjawiska będzie zróżnicowana skuteczność oczyszczania odlewów znajdujących się w przestrzeni działania strumienia skoncentrowanego i rozproszonego.

Podział strumienia śrutu na skoncentrowany i rozproszony niesymetrycznie wokół skoncentrowanego strumienia ma swoje uzasadnienie w zjawiskach kinetycznego wprowadzania śrutu do wnętrza wirnika rzutowego i jego rozdziału na łopatki przez tuleję regulacyjną. Śrut wyrzucany przez otwór tulei regulacyjnej pod wpływem siły odśrodkowej kierowany jest na łopatki, które nadają mu dodatkowej energii, rozkłada się na pewnej części szerokości łopatki. W badanym przypadku jest to ok. 2/3 szerokości łopatki, co uzasadnia się przez porównanie rzeczywistych wymiarów łopatki z wymiarami obrazu powierzchni oczyszczonej na ekranie. Dodatkowym argumentem na taką interpretację zachowania się strumienia śrutu jest stan powierzchni łopatek, które w miejscu płynięcia strugi śrutu są zużyte, pozostała powierzchnia wykazuje brak lub tylko nieznaczne ślady tarcia śrutu. Rozłożenie warstwy śrutu na łopatkach jest również nierównomierne, co wskazuje, że warstwa śrutu jest o zmiennej gęstości. Z obrazu na ekranie wynika, że struga ta ulega rozwarstwieniu (rozrzedzeniu) w kierunku od zasypu wirnika. Im bliżej zasypu, tym koncentracja śrutu jest większa a zużycie łopatek większe.

Kolejnym wnioskiem z badań jest rozszerzenie się strumienia śrutu w płaszczyźnie poziomego przekroju. Oznacza to, że przekrój strumienia jest większy na ekranie od szerokości łopatki, a dokładniej szerokości strumienia na wylocie z łopatki. Oprócz rozproszenia strumienia śrutu na szerokości występuje rozproszenie w płaszczyźnie pionowej czyli na wysokości ekranu. Im odległość ekranu od wylotu wirnika jest większa, tym powierzchnia oczyszczania ekranu staje się bardziej jednobarwna. Zanika kontrast pomiędzy strumieniem skoncentrowanym a rozproszonym.

Rozproszenie strumienia śrutu może być także spowodowane niedokładnością wykonania elementów konstrukcji okna wylotowego z wirnika. W badanym przypadku okno jest w postaci ramki prostokątnej, której otwór wewnętrzny powinien być dopasowany do wylotu z wirnika, a w szczególności do płaszczyzny kierownicy wylotowej z wirnika. Hipotetycznie ślad czyszczenia powinien być zbliżony do przekroju prostokątnego.

2.2. Fotogramy z badań wirnika górnego.

Efekt działania strumienia śrutu z wirnika górnego zarejestrowano na fotografii ekranu (rys. 3).



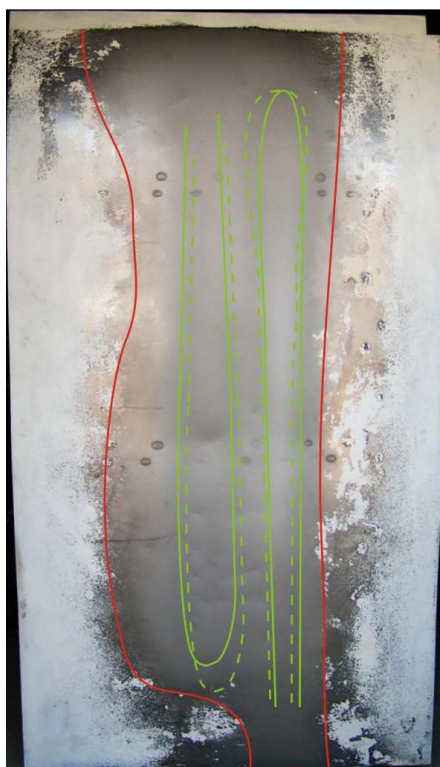
Rys. 3. Powierzchnia efektywnego działania skoncentrowanego (—) i rozproszonego (—) strumienia śrutu z wirnika górnego

Podobnie jak w badaniach wirnika dolnego, na powierzchni ekranu zarysowały się dwa obszary o zróżnicowanej barwie i kształcie. Obszar wewnętrzny jaśniejszy i ciemniejszy zewnętrzny wskazują o zmiennym przekroju strugi śrutu i tym samym o zróżnicowanej energii strumienia śrutu. Obydwa obszary są rozłożone względem siebie prawie symetrycznie o przekroju równomiernie zmniejszającym się ku dołowi ekranu. Obszar swym obrazem zdecydowanie różni się od obszaru z wirnika dolnego. Charakter zmienny przekroju obrazu na ekranie jest uzależniony od kierunku obrotu wirnika rzutowego. Wirnik górny kieruje strugę od góry ekranu w dół, natomiast wirnik dolny kieruje strugę śrutu od dołu w górę ekranu. W konsekwencji przekroje obrazów na ekranie zmieniają się zgodnie z ruchem strumienia śrutu, tracąc energię kinetyczną dają ujednorodniony obraz oczyszczonej powierzchni. Zanika granica między obrazem działania strumienia skoncentrowanego i rozproszonego.

Z oceny stanu powierzchni łopatek wirnika górnego wynika, że strumień śrutu rozkłada się prawie równomiernie na całej szerokości łopatki. Stąd przekrój strumienia na wylocie z łopatki nieznacznie ulega rozszerzeniu na wysokości ekranu. Im strumień bardziej skoncentrowany, tym przypuszczalnie skuteczność oczyszczania większa.

2.3. Fotogramy z badań zintegrowanego działania wirnika dolnego i górnego.

Efekt działania zintegrowanych strumieni śrutu z wirnika dolnego i górnego zarejestrowano na fotografii ekranu (rys. 4).



Rys. 4. Całkowita powierzchnia efektywnego działania strumienia z wirników dolnego i górnego.

Na powierzchni ekranu zarysowały się dwa ślady strumieni skoncentrowanych z obu wirników i obszary strumieni rozproszonych. Z porównania obrazu zbiorowego z obrazami śladów uzyskanych z działania pojedynczych wirników wynika, że strumienie skoncentrowane dają prawie ten sam obraz powierzchni oczyszczonej na ekranie. Natomiast obszar strumieni rozproszonych jest wyraźnie zmieniony. Krawędzie zewnętrzne są bardziej rozmyte, nieregularne, co należy tłumaczyć częściowym

nakładaniem się tej części strumienia, która ulega rozproszeniu. Wypadkowa energia rzutu powstająca z nałożenia i prawdopodobnie wzajemnego odbicia strumieni powoduje załamanie i zawirowanie w strudze śrutu. Ten stan zdecydowanie zmniejsza skuteczność dynamicznego działania strugi na ekran, a w warunkach oczyszczania na odlew.

3. Podsumowanie.

Proces oczyszczania ściernego z zastosowaniem turbin (wirników) rzutowych jest procesem złożonym pod względem kinematycznym i dynamicznym. Złożoność ta wynika z metody wytwarzania strumieni śrutu jak i konstrukcji mechanizmów rzutowych. Istnieje pewien związek pomiędzy parametrami konstrukcyjnymi i eksploatacyjnymi mający wpływ na kształtowanie się strumienia śrutu i skuteczności jego działania ściernego. Metodą umożliwiającą ocenę jakości efektu ścierania jest metoda pośrednia polegająca na rejestracji obrazów ścieranej powierzchni na ekranie. Ekran płaski odtwarza warunki w jakich są oczyszczane odlewy w obszarze działania strumieni śrutu. Identyfikacja strumieni jest podstawą do projektowania turbin rzutowych a także określenia warunków oczyszczania odlewów, tym samym efektywności procesu ściernego.

4. Literatura.

1. Pączek Z., Wrona R., Ziółkowski E., Ślęzyk M., Zyzak P.; Badania i analiza procesu oczyszczania odlewów odlewanych metodą wytapianych modeli w oczyszczarce zawieszkowej OWH-1,0×1,5. Projekt celowy nr ROW-445-204, Specodlew, AGH, Kraków 2005

CHARAKTERYSTYKA FUNKCJONALNA URZĄDZEŃ DO TYPOWYCH METOD REGENERACJI MAS ZUŻYTYCH

*Józef DAŃKO¹,
Rafał DAŃKO²,
Aleksander FEDORYSZYN³,
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków*

1. Wstęp.

Analiza asortymentu urządzeń do regeneracji suchej mechanicznej, wytwarzanych przez 35 bardziej znanych wytwórców europejskich i amerykańskich wskazuje, że zainteresowanie regeneracją mas zużytych ze spoiwami żywicznymi (25 producentów), jest takie samo jak zużytymi masami z bentonitem (24 producentów), a mniejsze dotyczy mas ze szkłem wodnym, utwardzanymi za pomocą CO₂ lub utwardzaczami estrowymi (17 producentów), przy czym jedynie 9 producentów posiada w ofercie urządzenia do każdej z wymienionych trzech rodzajów masy zużytej. Analiza funkcjonalna typowych rozwiązań regeneracji pozwala wyłonić rozwiązania najbardziej odpowiednie do realizacji procesu regeneracji danej masy zużytej.

2. Urządzenia do regeneracji suchej mechanicznej.

Proces regeneracji suchej mechanicznej znalazł obecnie w odlewnictwie najszersze zastosowanie, co wynika z:

- możliwości odzysku osnowy piaskowej praktycznie z każdej masy zużytej, przy założeniu ograniczonego stopnia regeneracji,
- możliwości zastosowania do regeneracji stosunkowo prostych urządzeń, często o innym pierwotnym ich przeznaczeniu (na przykład mieszarek),
- mniejszych, w porównaniu z innymi metodami kosztów realizacji procesu.

Z punktu widzenia identyfikacji sił czynnych, dominujących w urządzeniach stosowanych zwykle do regeneracji wstępnej, a niekiedy również właściwej, można wyodrębnić następujące techniki stosowane do rozbrylania i kruszenia zlepków masy:

- gwałtowna zmiana pędu strumienia będącego mieszaniną zlepków ziaren i powietrza, realizowana najczęściej w regeneratorach pneumatycznych,
- wykorzystanie sił bezwładności oraz tarcia zewnętrznego i wewnętrznego do kruszenia i rozcierania zlepków w bębnach obrotowych z wypełnieniem kulowym lub innym,
- wykorzystanie sił bezwładności oraz tarcia zewnętrznego i wewnętrznego do kruszenia i rozcierania zlepków w urządzeniach wibracyjnych.

Identyfikacja sił czynnych, dominujących w znanych urządzeniach do regeneracji właściwej pozwala wskazać następujące metody i techniki uwalniania osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego:

¹ prof. dr hab. inż.: e-mail: jd@agh.edu.pl

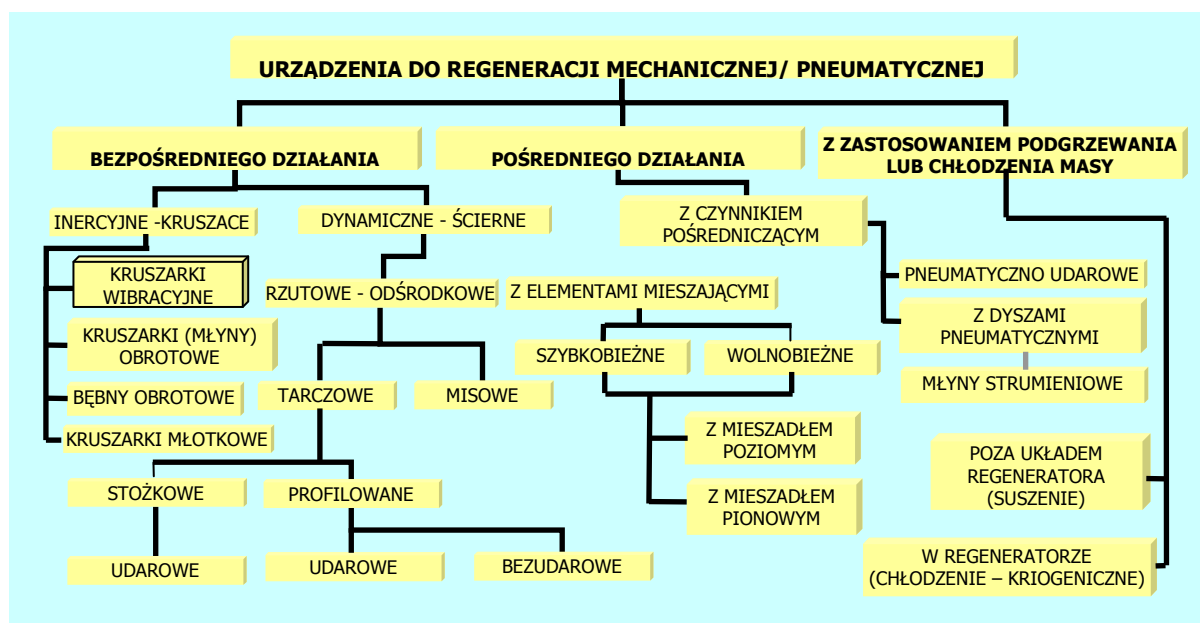
² dr inż., e-mail: rd@agh.edu.pl

³ dr hab. inż. prof. nadzw.: e-mail: alfa@agh.edu.pl

- intensywne mechaniczne oddziaływanie sił tarcia wewnętrznego i zewnętrznego w warunkach prowadzenia procesu w temperaturze: otoczenia, podwyższonej lub ekstremalnie niskiej (kriogenicznej),
- gwałtowna zmiana pędu ziaren osnowy lub strumienia piaskowo- powietrznego, realizowana najczęściej w regeneratorach pneumatycznych, rzutowych (odśrodkowych),
- samodzielne oddziaływanie termiczne lub w kombinacji z intensywnym oddziaływaniem mechanicznym, realizowane zwykle w urządzeniach fluidyzacyjnych lub wirnikowych regeneratorach ciepłno-mechanicznych,
- intensywne mechaniczne oddziaływanie sił tarcia wewnętrznego i zewnętrznego w warunkach prowadzenia procesu w środowisku wodnym.

Egzemplifikację dokonanej charakterystyki wnosi przytoczona dalej analiza funkcjonalna regeneracji mas zużytych realizowanej przy użyciu typowych rozwiązań.

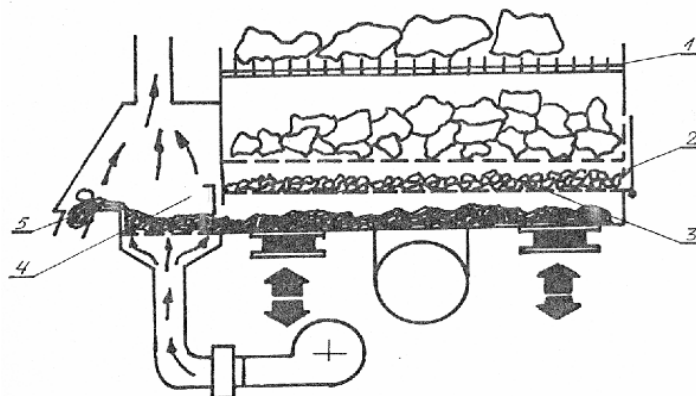
Mimo niezwykle szerokiej gamy i różnorodności konstrukcyjnej regeneratorów, których systematykę przedstawiono na rysunku 1, w systemach suchej regeneracji mechanicznej najczęściej stosowane są rozwiązania, w których uwolnienie ziaren osnowy z otoczki materiału wiążącego odbywa się na zasadzie kombinacji następujących operacji elementarnych: ocierania, ścierania i kruszenia otoczki materiału wiążącego z powierzchni osnowy.



Rys.1. Klasyfikacja regeneratorów do regeneracji mechanicznej (pneumatycznej) [2]

Według obecnych tendencji, dominują rozwiązania regeneratorów wibracyjnych, współpracujących z kruszarkami wibracyjnymi lub młotkowymi, w których produkty ścierania otoczki materiału wiążącego, wolne pyły oraz podziarno są usuwane z regenerowanej osnowy za pomocą powietrza przedmuchiwanego przez warstwę obrabianego materiału.

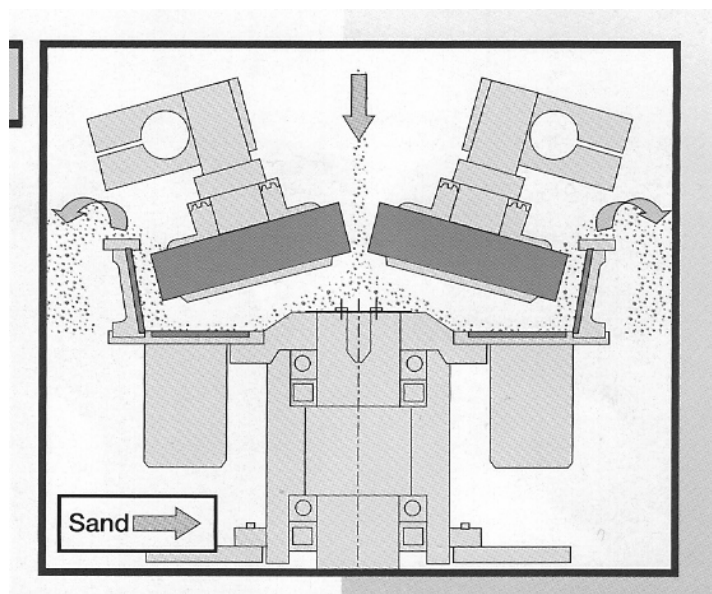
Przykładem tego typu rozwiązań są regeneratory wibracyjne typu Gamma-mill firmy Baker-Perkins, CE-CAST Engineering oraz Vibrader firmy Richards (rys. 2).



Rys. 2. Regenerator wibracyjny o działaniu krusząco-ściernym typu Gamma-mill firmy Baker-Perkins [1, 6]

W regeneratach o działaniu dynamicznym, charakteryzującym się gwałtowną zmianą pędu ziaren osnowy, realizowaną najczęściej w regeneratach odśrodkowych udarowych lub w wyniku udaru strumienia piaskowo- powietrznego w regeneratach pneumatycznych, albo w wyniku działania krążników dociskanych do obrotowej misy siłą odśrodkową, jak to ma miejsce w modelach USR-II-III firmy Sintokogio (rys. 3), dominują elementarne procesy kruszenia i ścierania powodujące usuwanie materiału wiążącego z powierzchni ziaren.

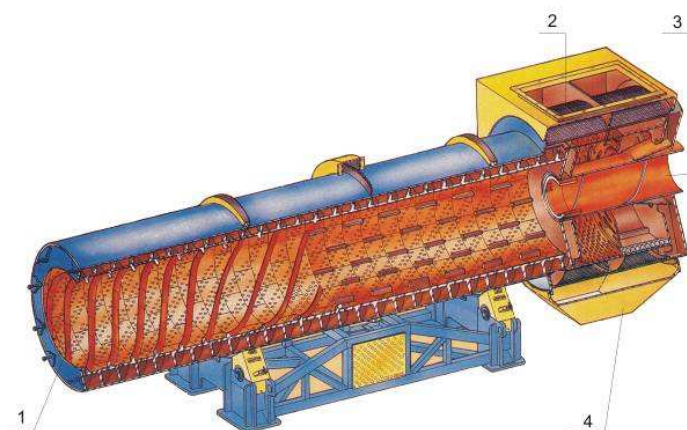
Spośród krajowych urządzeń do regeneracji mechanicznej suchej można wymienić regeneratory odśrodkowe, produkowane w oparciu o projekty Instytutu Odlewnictwa i Prodluwo o/Kraków [3, 4]. Regeneratory odśrodkowe zastosowano w kilku polskich odlewniach (Metalodlew - Kraków, Pioma – Piotrków Trybunalski, Pomet - Poznań) do regeneracji sypkich mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym utwardzanych za pomocą utwardzacza organicznego o nazwie własnej flodur [5].



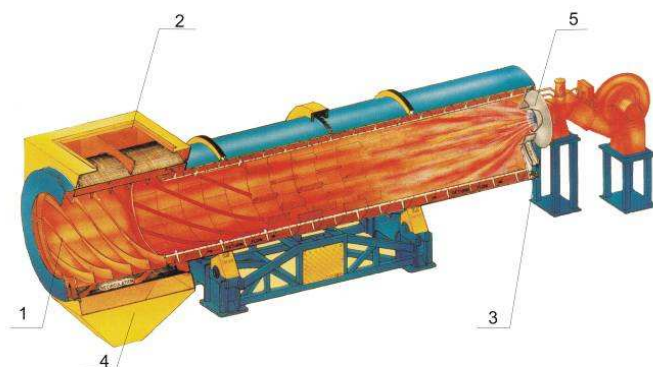
Rys. 3. Fragment roboczy uniwersalnego regeneratora mechanicznego typu USR –I-II firmy Sintokogio o wymuszonym nacisku na masę użytą elementów krusząco-ścierających w postaci odchylnie zamocowanych krążników [1]

W metodach, w których dominuje elementarna operacja kruszenia wykorzystuje się głównie młyny kulowe, bębny walcowe, kruszarki śrutowe, kruszarki młotkowe i inne urządzenia. Przykładem rozwiązań bębnowych jest bęben do regeneracji firmy Allbertus Klein oraz regenerator firmy Didion Manufacturing, przy czym ten drugi może występować w rozwiązaniu podstawowym, służącym do regeneracji tylko mechanicznej lub w rozwiązaniu kombinowanym, w którym połączone zostały efekty regeneracji mechanicznej i cieplnej (rys. 4).

a)



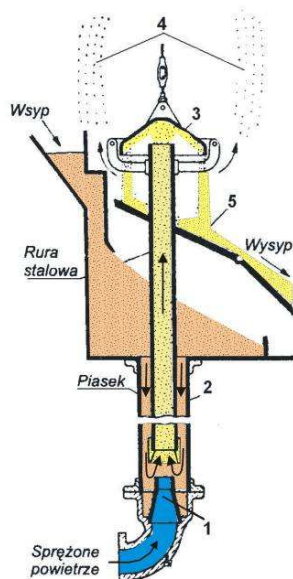
b)



Rys. 4. Regenerator bębnowy firmy Didion Manufacturing: a- bębnowy regenerator mechaniczny, b - bębnowy regenerator mechaniczno-termiczny: 1 –zasyp masy zużytej do regeneracji, 2 - odpylanie i pobieranie pyłów, 3 – odprowadzenie zanieczyszczeń metalowych, 4 – wysyp regeneratu, 5 – palnik gazowy [1, 6]

Metoda regeneracji pneumatycznej znajduje zastosowanie przede wszystkim do mas ze szkłem wodnym, do mas z lepiszczem, a rzadziej do mas z żywicami syntetycznymi. Pneumatyczną obróbkę regeneracyjną stosuje się jako człon wspomagający suchą regenerację mechaniczną, lub cieplną, a niekiedy jako niezależne urządzenie regeneracyjne (np. rozwiązanie Pneu-Reclaim firmy Webac lub firmy Simpson (rys. 5)).

Zaletą suchej regeneracji pneumatycznej jest stosunkowo mała powierzchnia zajmowana przez instalację i możliwość montowania bez budowy ciężkich fundamentów. Wadą metody jest znaczne mechaniczne ścieranie piasku (zwłaszcza przy dużych prędkościach strumienia piaskowo-powietrznego) i związany z tym mały uzysk regeneracji, a także zużywanie znacznych ilości sprężonego powietrza i wysokie koszty związane z koniecznością jego oczyszczania.



Rys. 5. Pneumatyczny regenerator udarowy typu Simpson firmy NEC (USA): 1 – dysza, 2 – przewód transportowy, 3 – kołpak udarowy, 4 – odciąg pyłu, 5 – przegrod wysypu [1, 6]

W celu zwiększenia wydajności i poprawy jakości odzyskiwanej osnowy stosuje się szeregowe połączenie identycznych członów regeneracyjnych, przy czym ich liczbę można dobiera się w zależności od potrzebnej wydajności urządzenia. Masa przed regeneracją jest wstępnie rozdrabniana i przesiewana przez sito o prześwicie oczek 3 mm oraz suszona, jeżeli wilgotność przekracza 1%.

W wyniku prac Boenisch firma Vogel-Schemmann wykonała regenerator mechaniczny wirnikowy o zmiennej prędkości obrotowej wirnika, w którym już na początku lat 1990 możliwy był częściowy odzysk aktywnego bentonitu i pyłu węglowego (rys. 6).

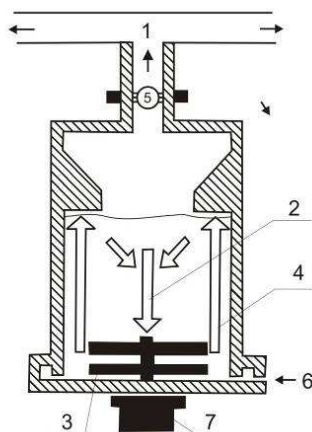
Odzysk obu dodatków do masy następuje w pierwszej fazie regeneracji, charakteryzującej się połączeniem przedmuchiwaną powietrzem masy zużytej przy stosunkowo małej intensywności obróbki regeneracyjnej (odcinki 1 (1')). Czynnikiem rozgraniczającym i sterującym włączenie lub wyłączenie poszczególnych prędkości obrotowych wirnika jest sygnał elektryczny z układu optyczno-elektronicznego mierzącego stopień zapylenia powietrza odciąganego z regeneratora. Faza intensywnej regeneracji ma dwa poziomy intensywności: odcinki: 2 (2') i 3 (3'), uzyskiwane w oparciu o odpowiednie nastawy wartości sygnału sterującego. Faza końcowa regeneracji – odcinek 4 (4') obejmuje ścieranie pozostałości otoczek spoiwa oraz odpylenie regeneratu, realizowane przy ponownie małej intensywności ścierania.

Na rysunku 7 przedstawiono schemat instalacji do regeneracji mechanicznej zużytej masy z bentonitem z częściowym odzyskiem bentonitu i pyłu węglowego.

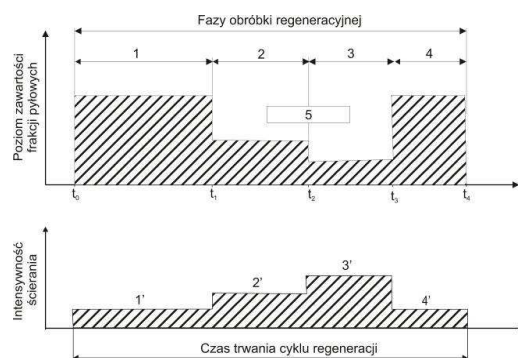
3. Regeneracja właściwa, termiczna.

Ta metoda regeneracji jest przeznaczona do odzyskiwania osnowy piaskowej przede wszystkim z zużytych mas ze spoiwami organicznymi, lecz służy także do dezaktywacji składników masy z lepiszczem, poddawanych regeneracji w systemach, w których nie jest prowadzona selekcja mas zużytych [8, 9].

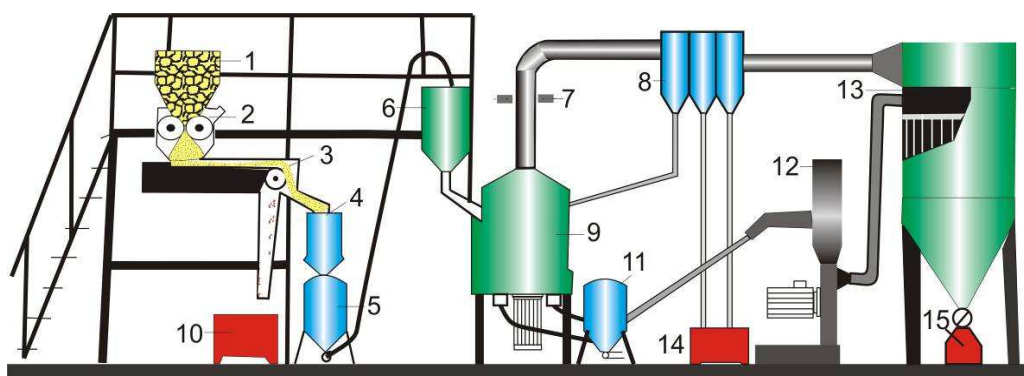
a)



b)



Rys 6. Schemat i funkcjonowanie układu regeneracyjno-sterującego według koncepcji D. Boenisch: a) - regenerator mechaniczny wirnikowy: 1- selektywne oddzielenie frakcji pyłowych, 2 - ścieranie otoczek spoiwa, 3-wirnik ścierny, 4 - odpylanie w złożu fluidalnym, 5 - optyczny system pomiaru stopnia zapylenia powietrza, 6 - sprężone powietrze, 7 - napęd wirnika ściernego, b) - przykładowy diagram stopnia zapylenia powietrza w regeneratorsie firmy Vogel&Schemmann AG: 1, 1' -oddzielenie większych frakcji pyłowych, 2, 2' -słabe ścieranie, 3, 3' - silne ścieranie, 4, 4' -ścieranie pozostałości otoczek spoiwa, 5-okres odpylania masy [6, 7]



Rys. 7. Schemat instalacji firmy Vogel&Schemmann AG do regeneracji masy zużytej: 1 - zbiornik zasypowy, 2 - kruszarka walcowa, 3 - oddzielacz magnetyczny, 4 - człon suszący masę, 5, 11 - podajnik pneumatyczny, ciśnieniowy, 6 - zasobnik masy zużytej, 7 - optyczny system pomiaru stopnia zapylenia powietrza, 8 - cyklony odpylania wstępnego, 9 - mechaniczny regenerator wirnikowy, 10 - pojemnik na zanieczyszczenia metalowe, 12 - wentylator, 13 - filtr, 14 - pojemnik na drobne frakcje piasku, 15 - pojemnik na pył z filtrów [6, 7]

W masach z lepiszczem termiczna obróbka regeneracyjna masy powinna spowodować całkowitą lub częściową degradację nieorganicznych składników lepiszcza, która ułatwia dalsze uwolnienie ziaren osnowy z otoczek przepalonego lepiszcza.

Stopień oczyszczenia osnowy poddanej regeneracji termicznej i typowym zabiegom uzupełniającym jest wysoki – porównywalny ze stanem świeżej osnowy piaskowej.

Zaletami metody termicznej są: bardzo dokładne usunięcie spoiwa, możliwość pełnego wykorzystania regeneratu do wykonywania świeżych mas formierskich i rdzeniowych, nieznaczna szkodliwość chemiczna pyłów z regeneracji dla środowiska. Natomiast wadami są: duże koszty budowy i eksploatacji jak również, w pewnych przypadkach, konieczność neutralizacji gazów odlotowych.

Eksponowaną w literaturze zaletą piasku regenerowanego cieplnie jest stabilizacja jego rozszerzalności objętościowej pod wpływem temperatury, związana z zajęciem przemiany alotropowej kwarcu w trakcie wcześniejszego nagrzania części piasku przylegającego do odlewu.

4. Regeneracja mokra.

Regeneracja mokra jest najbardziej skuteczną metodą odzysku osnowy z mas zużytych z lepiszczem oraz z mas ze spoiwami rozpuszczalnymi w wodzie (masy krzemianowe, masy ze szkłem wodnym utwardzane za pomocą CO₂).

W środowisku wodnym, przy stosunkowo dużym udziale wody w stosunku do masy (min. 10:1), wszystkie pyły znajdujące się w masie oraz ziarna piasku poniżej 0,06 mm łatwo oddzielają się na zasadzie tworzenia zawiesiny, którą odprowadza się w trakcie płukania piasku.

Niekorzystną cechą regeneracji mokrej jest wysoka energochłonność procesu, wynikająca z konieczności suszenia regeneratu, a także duże zużycie wody wynoszące 10-15 m³ na 1 tonę regeneratu.

Powyższe względy powodują, że regeneracja mokra praktycznie nie jest aktualnie stosowana, choć nadal istnieją zakłady, w których bardzo skutecznie pracują instalacje tego typu [10].

5. Regeneracja kombinowana.

Metody regeneracji kombinowanej znalazły zastosowanie stosunkowo niedawno, zwłaszcza do regeneracji osnowy z mieszaniny mas zużytych. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu właściwości i zalet poszczególnych metod regeneracji. Kojarzenie poszczególnych metod oraz ich odmian zależy od składu zużytej masy oraz od przeznaczenia regeneratu. Można je podzielić na trzy podstawowe typy [6]:

- kombinacja metody mokrej i cieplnej,
- kombinacja metody cieplnej i suchej mechanicznej albo pneumatycznej,
- kombinacja metody mokrej, cieplnej i suchej mechanicznej.

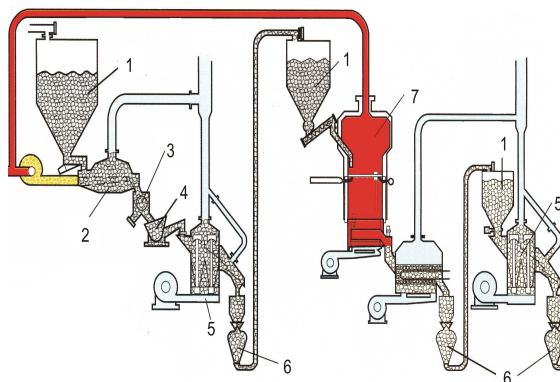
Klasycznym przykładem kombinacji metody cieplnej i pneumatycznej jest przedstawiony na rysunku 8 system regeneracji trójstopniowej firmy FATALUMINIUM, w którym zastosowano dwa identyczne regeneratory pneumatyczne (stopnie I i III) oraz regeneratory termiczne typu HotRec (stopień II). Wielostopniowe systemy regeneracji oferuje także firma KGT, IMF, Wöhr oraz Erich.

Pod względem funkcjonalnym instalacja firmy FATALUMINIUM składa się z 3 zespołów regeneracyjnych usytuowanych szeregowo. Pierwszy i ostatni zespół stanowią regenerację pneumatyczną, natomiast środkowy – regenerację termiczną.

Zadaniem zespołu wstępnej regeneracji pneumatycznej jest usunięcie z mieszaniny masy zużytej wolnych pyłów (głównie nieaktywnego bentonitu oraz pyłu węglowego), ochłodzenie masy i dokończenie procesu jest dezintegracji na pojedyncze ziarna.

W członie wysokotemperaturowej regeneracji termicznej następuje wypalenie składników organicznych masy zużytej, głównie pozostałości spoiw żywicznych oraz całkowita degradacja termiczna lepiszcza na bazie bentonitu.

Zadaniem członu trzeciego jest starcie z powierzchni regeneratu produktów spalania (popioły) oraz uwolnienie osnowy z produktów ścierania pozostałości spoiwa nieorganicznego (nieaktywnego bentonitu). Elementem korzystnym obróbki osnowy kwarcowej w tym członie jest oszlifowanie i uaktywnienie jej powierzchni.



Rys. 8. Schemat instalacji firmy FATALUMINUM do trójstopniowej regeneracji masy zużytej: 1 – zbiornik masy zużytej, 2 – podajniki ślimakowe, 3 – regeneracja pneumatyczna (wstępna i końcowa), 4 – podajniki transportu pneumatycznego, 5 – piec fluidyzacyjny Hot-Rec, 6 – komora wstępnego chłodzenia osnowy, 7 – chłodziarka z wodnym wymiennikiem ciepła, 8 – klasyfikator sitowy, 9 – prętośnik pneumatyczny pionowy, 10 – wentylacja odpylająca [1, 6]

6. Regeneracja przy użyciu metod chemicznych.

Aktualnie regeneracja przy użyciu metod chemicznych nie odgrywa znaczącej roli technicznej. Proponowane sposoby polegają na oddziaływaniu silnie stężonym kwasem H_2SO_4 na zużytą masę z bentonitem. Uzyskany regenerat charakteryzuje się bardzo małym stopniem oolityzacji, z powierzchni jego ziaren została usunięta praktycznie cała otoczka zużytego materiału wiążącego. Wdrożenie do przemysłu napotyka na trudności związane z niebezpieczeństwem stosowania H_2SO_4 , jako reagenta oddziałującego na masę zużytą oraz spodziewanych bardzo wysokich kosztów takiej regeneracji.

7. Podsumowanie.

Regeneracja osnowy piaskowej masy zużytej jest uzasadniona ekonomicznie, technologicznie oraz z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego.

Powszechne stosowanie regeneracji zużytych mas odlewniczych obejmuje praktycznie wszystkie masy ze znanych technologii wytwarzania form i odlewów.

Postęp w zakresie regeneracji jest związany z wprowadzaniem nowoczesnych rozwiązań technicznych. Podane opisy urządzeń oraz idea sterowania procesem dają obraz aktualnego stanu realizacji regeneracji.

Podstawą dalszego doskonalenia procesów obróbczych regeneracji są rezultaty prowadzonych prac badawczych wiążących efekty uwalniania ziaren osnowy z otoczek zużytego materiału wiążącego w warunkach różnych systemów realizacji.

8. Literatura.

1. Wydawnictwa prospektowe firm: Webac, Simpson, Didion, Universal, KGT, Küttner, IMF, Wöhr, Eirich. Sintokogio.
2. Dańko R.: Podstawy teoretyczne i technologiczne doboru optymalnych sposobów regeneracji suchej zużytych mas odlewniczych. Praca doktorska. Kraków, 2006
3. Gadocha A., Lewandowski L., Maniowski Z.: Regeneracja mas formierskich w odlewniach krajowych, Przegląd Odlewnictwa nr 5, 1993, s. 163 - 165.
4. Pezarski F. i in.: Procesy regeneracji piasków opracowane w Instytucie Odlewnictwa i zastosowane w przemyśle. Konferencja naukowo-techniczna. Kraków 1996.
5. Bogacz T.: Wskaźnikowa ocena regeneracji na przykładzie form dwuwarstwowych z mas samoutwardzalnych. Praca doktorska. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2002.
6. Dańko J., i in.: Prognozy odlewnictwa w Polsce na tle tendencji światowych. Część I. „Procesy i urządzenia regeneracji osnowy kwarcowej ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych”. Projekt zamawiany KBN, WO AGH, Kraków 1995, s. 50.
7. Boenisch D.: Verfahren und Vorrichtung zum Regenerieren von Giessereisand. Patent niemiecki nr 4212097, 1992.
8. Dańko J., Dańko R., Holtzer M.: Reclamation of used sands in foundry production. Metallurgy, vol. 42, br. 3, Zagreb, (July/ September) 2003, s. 173 – 178.
9. Dańko R.: Badanie regenerowalności zużytej masy samoutwardzalnej metodami termicznymi. IV Międzynarodowa Sesja Naukowa „Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej. Częstochowa 2003, s. 560 –564.
10. Dalle Rieve L.: Wet reclamation central plant. Experience in Italy. International Conference “Foundry Waste possibilities in the future” Conference organized by EU Thematic Network Foundry Waste, 2002.

DOŚWIADCZALNE I ANALITYCZNE WYZNACZANIE GEOMETRII STRUMIENIA ŚRUTU W OCZYSZCZARCE WIRNIKOWEJ ZAWIESZKOWEJ

Roman WRONA¹
Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI²,
Marcin ŚLAZYK³
Piotr ZYZAK⁴
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków

1. Wprowadzenie.

Geometria kształtu strumieni śrutu wyrzucanych z turbiny jest z jednym z parametrów eksploatacyjnych mającym wpływ na skuteczność oczyszczania. Strumienie tworzą przestrzeń miotanego śrutu i tym samym wyznaczają strefę w zasięgu, której powinny być zawieszane odlewy. W całym tym procesie dąży się do zsynchronizowania działania strumieni śrutu na odlewy będące w ruchu na przejezdno-obrotowym zawieszaniu. Od kształtu geometrycznego strumieni oraz od ułożenia turbin rzutowych będzie zależeć efektywność oddzielania masy od odlewów.

Wyznaczanie kształtu geometrycznego strumieni można dokonać metodą doświadczalną lub geometryczną. Metoda doświadczalna wymaga stosowania kamer cyfrowych przystosowanych do rejestracji procesów szybkozmiennych. Natomiast w metodzie analitycznej wykorzystuje się obrazy statyczne utworzone przez działające strumienie śrutu. Obrazy te w postaci ścieranych powierzchni powstają na ekranach ustawionych w odległości odpowiadającej położeniu odlewów lub mechanizmu zawieszkowego. Obrazy powierzchni ścieranych poddanych analizie komputerowej przekształca się w geometrię kształtu strumieni.

2. Identyfikacja strefy działania strumienia śrutu z wirnika górnego.

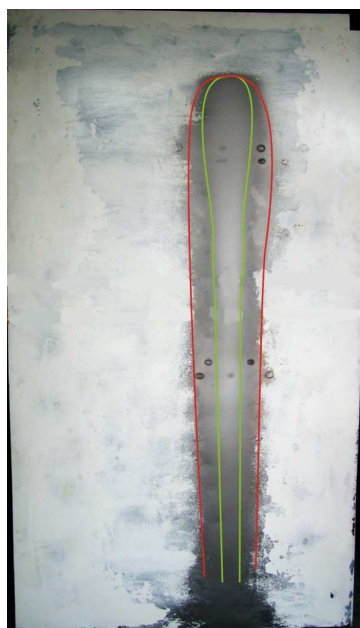
Na podstawie obrazu odtwarzającego skutek działania strumienia śrutu rzucanego z wirnika górnego (rys. 1) dokonano komputerowej interpretacji kształtu strumienia w przekroju poziomym w celu określenia jego geometrii.

¹ *prof. dr hab. inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków*

² *dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków*

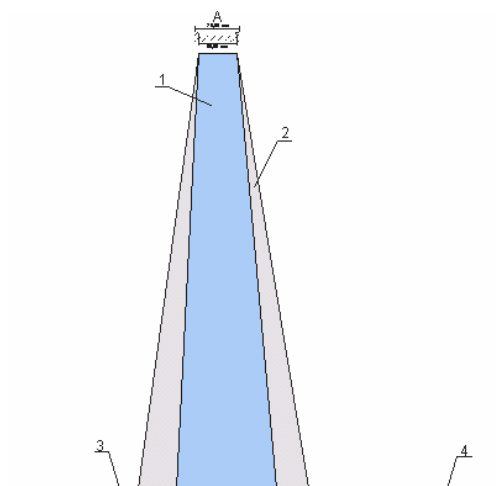
³ *mgr inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków*

⁴ *mgr inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków*



Rys. 1. Powierzchnia efektywnego działania skoncentrowanego (—) i rozproszonego (—) strumienia śrutu z wirnika górnego

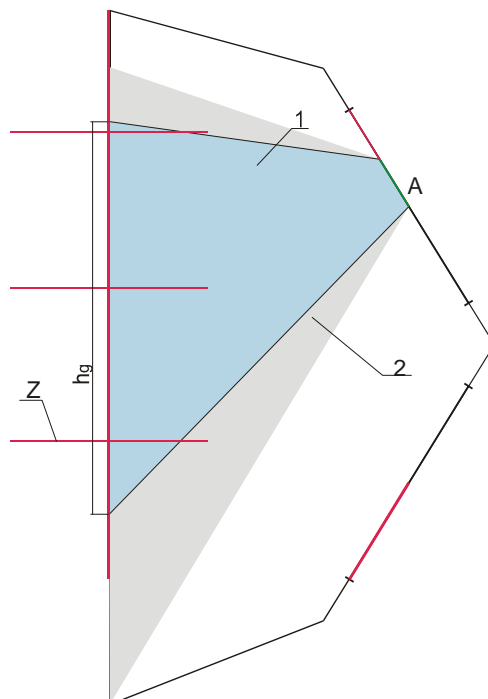
Graficzne ujęcie tego zagadnienia podano na rysunku 2.



Rys. 2. Szerokość strefy działania śrutu z wirnika górnego A: 1 - strefa strumienia skoncentrowanego, 2 - strefa strumienia rozproszonego, 3 - ekran badawczo-pomiarowy, 4 - tor jazdy zawiesia

Strumień śrutu wyrzucany jest całą szerokością łopatkę, który w miejscu zetknięcia z ekranem jest dwukrotnie poszerzony. Jest to strumień skoncentrowany o największej dynamice działania. Dalsza interpolacja tej strugi poza ekran teoretycznie wskazuje, że strumień będzie się rozszerzał. Biorąc jednak pod uwagę położenie odlewów w miejscu ekranu (i nie tylko) strumień trafiając w odlewy odbija się i ulega deformacji niekontrolowanej, a tym samym traci energię i spada w dół na dno oczyszczarki. Oprócz strumienia skoncentrowanego występuje strumień rozproszony o kształcie rozszerzającym się w kierunku ekranu. Rozproszenie strumienia wzdłuż zewnętrznych jego zarysów spowodowane jest znaczną siłą tarcia wzdłuż krawędzi łopatkę, i spadkiem energii wyrzutu ziaren śrutu znajdujących się w zewnętrznym zarysie strumienia. Kształt strumienia śrutu przedstawiono na tle toru ruchu mechanizmu zawieszki. Łączną szerokość strumienia skoncentrowanego i rozproszonego określają szerokość strefy działania strumienia śrutu.

Również na podstawie uzyskanych obrazów na ekranie wyznaczono wysokość strefy działania strumienia śrutu. Pełną charakterystykę rozkładu strumienia śrutu podano na rysunku 3 w nawiązaniu do konstrukcji mechanizmu zawieszkowego.



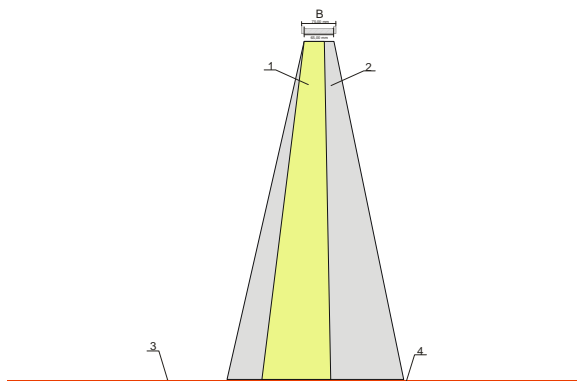
Rys. 3. Wysokość strefy działania strumienia śrutu z wirnika górnego A. h_g - wysokość strefy intensywnego czyszczenia, 1- strefa strumienia skoncentrowanego, 2- strefa strumienia rozproszonego, Z- zawiesie

Wyrzucany strumień śrutu obejmuje swym zasięgiem całkowitą wysokość komory tworząc wyraźną granicę pomiędzy zarysem strumienia skoncentrowanego i rozproszonego. Szerokość i wysokość działania strumieni wyznacza przestrzeń, w której powinny znajdować się oczyszczane zestawy odlewów.

3. Identyfikacja strefy działania strumienia śrutu z wirnika dolnego.

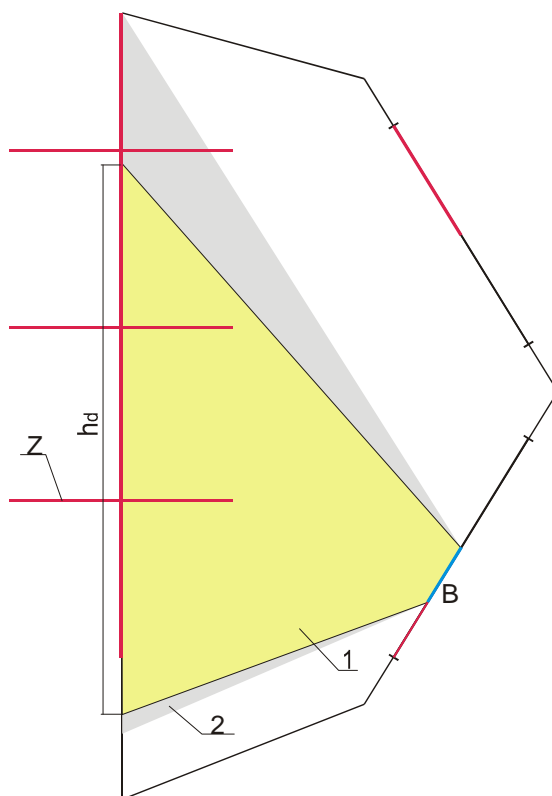
Kształt strumienia wyznaczono również na podstawie obrazu powierzchni na ekranie.

Przekrój poziomy strumienia składa się ze strefy działania strumienia skoncentrowanego i rozproszonego (rys. 4). Charakter zmian w zachowaniu się strumienia jest podobny do strumienia z wirnika górnego. Zdecydowana różnica występuje w geometrii poszczególnych strumieni na wylocie i w miejscu uderzania w ekran. Dolny ulega zdecydowanemu rozszerzeniu, przez co zwiększa szerokość strefy efektywnego oczyszczania.



Rys. 4. Szerokość strefy działania śrutu z wirnika dolnego B: 1 - strefa strumienia skoncentrowanego, 2 - strefa strumienia rozproszonego, 3 - ekran badawczo-pomiarowy, 4 - tor jazdy zawiesia.

Na rysunku 5 podano wysokość strefy działania strumienia z wirnika dolnego. Strumień rozproszony jest bardziej rozarty w górnej części, co może decydować o mniejszej skuteczności oczyszczania odlewów zawieszonych na górnej części zawiesia. Zdecydowanie bardziej skuteczne będzie oczyszczanie odlewów zawieszonych na dolnych ramionach zawiesia.



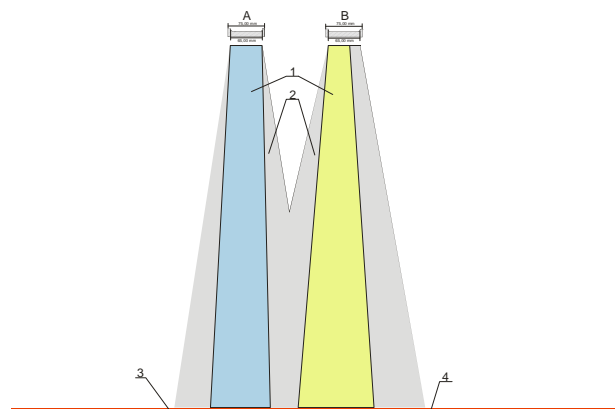
Rys. 5. Wysokość strefy działania strumienia śrutu z wirnika dolnego B: h_d - wysokość strefy intensywnego czyszczenia, 1 - strefa strumienia skoncentrowanego, 2 - strefa strumienia rozproszonego, Z - zawiesie

4. Identyfikacja strefy działania strumieni śrutu z wirnika dolnego i górnego.

Zarysy strumienia zintegrowanego wykreślono z uwzględnieniem wymiarów i konstrukcji umocowania wirników na ścianie komory.

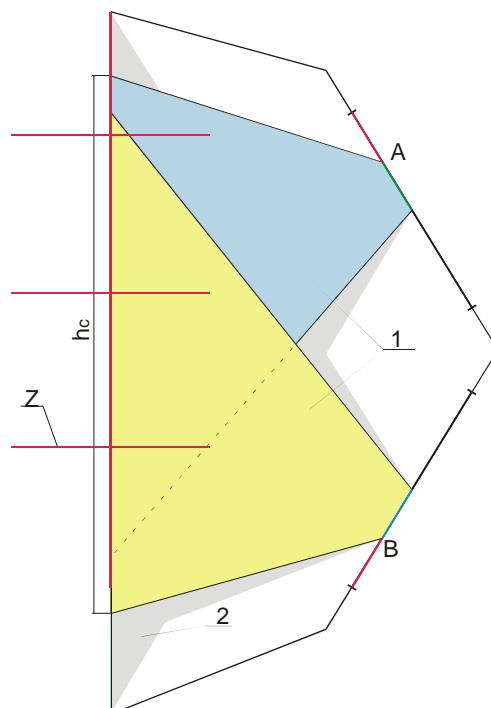
W ten sposób otrzymano całkowitą szerokość strefy, która składa się z dwóch rozdzielonych strumieni skoncentrowanych i strumieni rozproszonych nakładających się

od wewnątrz, natomiast rozdzielnie na zewnętrznych strefach (rys. 6). Całkowita szerokość strefy oczyszczania jest bardzo ważna, gdyż wpływa ona na projektowanie odcinka przesuwu zawiesia względem wirników oraz na długość ramion służących do zawieszania odlewów.



Rys. 6. Szerokość strefy działania strumienia śrutu z wirnika A-górnego i B-dolnego:
1 - strefa strumienia skoncentrowanego, 2 - strefa strumienia rozproszonego,
3 - ekran badawczo-pomiarowy, 4 - tor jazdy zawiesia

Całkowita strefa w płaszczyźnie pionowej nieznacznie różni się od kształtu powstałego z połączenia pojedynczych stref (rys. 7). Pomijając powstałe w skutek odbicia cząstkowe strumienie, można przyjąć, że kształt całkowity tworzy figurę geometryczną nie różniącą się od kształtu pojedynczych strumieni. Takie ułożenie stref ma wpływ na czas oczyszczania w zależności od rozłożenia odlewów na poziomach zawiesia górnym, środkowym i dolnym.



Rys. 7. Wysokość całkowitej strefy działania śrutu z wirnika A i B. h_c - wysokość strefy intensywnego czyszczenia, 1- strefa strumienia skoncentrowanego, 2- strefa strumienia rozproszonego, Z- zawiesie

3. Podsumowanie.

Przedstawiona metoda analityczna z komputerowym wspomaganiami do określania kształtu strumieni śrutu jest w pełni przydatna. Bazuje na obrazach powierzchni ścieranych, które są rejestrowane aparatem cyfrowym, po zakończeniu procesu wyrzucania śrutu. Tym samym jest metodą bezpieczną. Analiza komputerowa obrazów polega na wykorzystaniu możliwości programu Corel Photo-Paint oraz Corel Draw. Efektem tej metody jest geometryczny kształt strumieni wraz z wymiarami ilościowymi opisującymi przestrzeń skutecznego działania śrutu. Określenie przestrzeni powinno być podstawą do projektowania konstrukcji mechanizmu zawieszki oraz jego struktury kinematycznej.

4. Literatura.

1. Pączek Z., Wrona R., Ziółkowski E., Ślęzyk M., Zyzak P.; Badania i analiza procesu oczyszczania odlewów odlewanych metodą wytapianych modeli w oczyszczarce zawieszki OWH-1,0×1,5. Projekt celowy nr ROW-445-204, Specodlew, AGH, Kraków 2005
2. Łempicki J., Paradysz J.; Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i staliwnych. WNT, Warszawa 1979
3. Katalogi firmy Technical

KONCEPCJA MOBILNEGO, MIKROPROCESOROWEGO SYSTEMU DO PODSTAWOWYCH POMIARÓW MASZYN FORMIERSKICH

*Tomasz SNOPKIEWICZ¹,
Krzysztof SMYKSY²,
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków*

1. Wstęp.

Wytwarzanie odlewów oparte o syntetyczne masy formierskie nadal dominuje w odlewnictwie. We współczesnych odlewniach proces wykonywania form jest zmechanizowany, często stosowane są automatyczne linie formierskie. W większości odlewni są jednak również użytkowane indywidualne maszyny formierskie. W krajowych odlewniach są to najczęściej formierki wstrząsowo-prasujące. Ich zalety to: duża niezawodność, żywotność, uniwersalność oraz osiąganie zadowalających efektów zagęszczania. Główne wady tych urządzeń to duża emisja hałasu, a w przypadku większych jednostek przenoszenie drgań na podłoże [4,5]. Zastąpienie tych maszyn nowoczesnymi formierkami na przykład impulsowymi z pewnością będzie wymagało dłuższego czasu.

Prawidłowe działanie maszyny formierskiej decyduje o stanie wykonywanej formy, a tym samym o jakości produktu końcowego – odlewu. Dla określenia parametrów pracy formierki oraz energochłonności stosuje się różne metody pomiarowe [1,2,3]. Wstępnej oceny poprawności działania maszyny można dokonać na podstawie pomiaru gęstości (lub twardości powierzchniowej) w wykonanych formach. Pomiaru te informują tylko o stanie formy, a jedynie pośrednio o stanie maszyny. Ich prawidłowa interpretacja wymaga dużego doświadczenia. Trudno określić: czy zagęszczanie odbyło się w warunkach optymalnych, jaki jest stopień zużycia elementów maszyny, jakie były nakłady energetyczne. Podobnie jak każdy system techniczny formierka w czasie pracy zużywa się i przy zróżnicowanych warunkach technologicznych uzyskujemy różne efekty jej pracy. Stosunkowo proste pomiary formierek mogą dostarczyć odpowiedzi na wiele z powyżej sformułowanych pytań. Problematyka pomiarów maszyn formierskich ma w związku z powyższymi uwagami duże znaczenie praktyczne. Rozwój w zakresie elektroniki i informatyki umożliwia obecnie przy stosunkowo niewielkich nakładach wykonanie systemów pomiarowych mogących znaleźć zastosowanie w diagnostyce użytkowanych w krajowych odlewniach maszyn formierskich. W artykule przedstawiono zrealizowaną praktycznie koncepcję układu umożliwiającego przeprowadzenie podstawowych pomiarów formierek indywidualnych. Stosunkowo niewielki koszt systemu umożliwia wykorzystanie go nie tylko w pomiarach diagnostycznych maszyn, ale także po odpowiednich modyfikacjach jako układ stanowiący wyposażenie formierki.

2. Pomiary formierek.

Obecnie automaty formierskie wyposażane są w zaawansowane systemy sterowania zawierające systemy diagnostyczne oraz nadzoru pracy maszyny, układy pomiarowe

¹ inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków

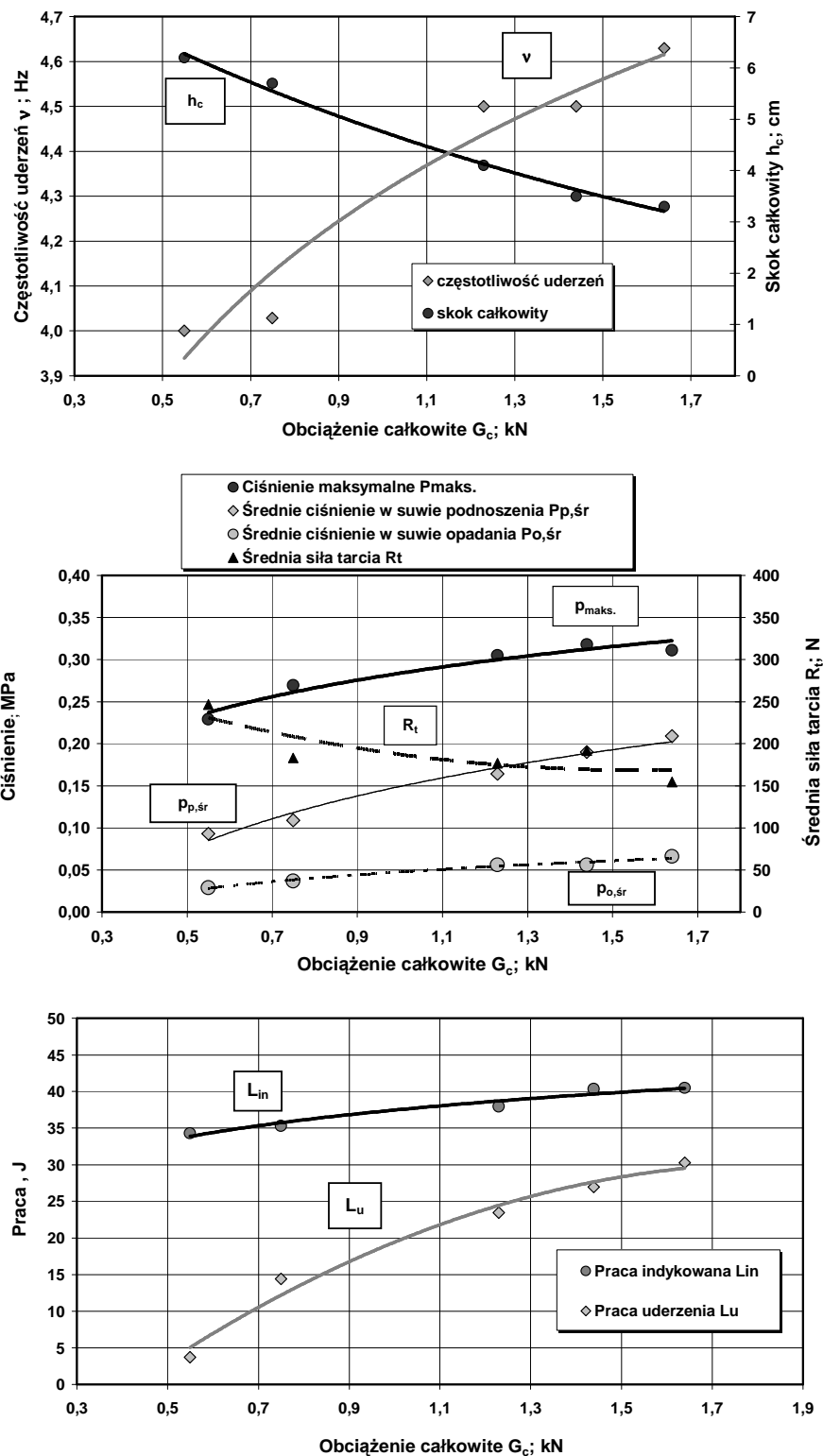
² dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH-Kraków

umożliwiają również rejestrację podstawowych wielkości charakteryzujących pracę maszyny. W przypadku maszyn stosujących nowsze techniki formowania (odmiany zagęszczania strumieniem powietrza z ewentualnym doprasowaniem) ich kompleksowe pomiary wymagają zastosowania wielokanałowej aparatury o odpowiednich parametrach metrologicznych [1,2,6,7,8]. Koszt tych systemów pomiarowych jest oczywiście wysoki. W przypadku wstrząsowo-prasujących maszyn formierskich podstawową metodą stosowaną do oceny ich działania były pomiary indykatorowe [2,3,5]. Mogą być one przeprowadzone przy pomocy indykatora mechanicznego. Obsługa indykatora jest stosunkowo prosta. W typowych rozwiązaniach przyrządu wynikiem pomiaru jest wykres indykatorowy przedstawiający graficzną zależność pomiędzy przemieszczeniem tłoka badanego zespołu formierki (wstrząsowego lub prasującego) a ciśnieniem powietrza w przestrzeni pod tłokiem. Niedogodnością tej metody jest czasochłonne opracowywanie wyników. Pomimo prostej budowy indykatora mechanicznego stosowanie tego przyrządu w warunkach przemysłowych byłoby bardzo uciążliwe. W przypadku pomiarów maszyn amortyzowanych występują dodatkowe trudności i ograniczenia w zakresie stosowania przyrządu.

Odpowiednie opracowanie serii pomiarów indykatorowych uzupełnionych pomiarami częstotliwości uderzeń umożliwiają uzyskanie szeregu wskaźników charakteryzujących pracę maszyny [5]. Przykładowe wyniki opracowanej serii pomiarów indykatorowych zespołu wstrząsowego formierki nieamortyzowanej przedstawiono na rysunku 1.

Pomiary maszyn formierskich z wykorzystaniem aparatury elektronicznej [1,2,6,7,8] stwarzają o wiele więcej możliwości, dostarczając dodatkowych informacji. Pomiar sprowadza się do pomiarów ciśnienia i przemieszczenia w dwóch lub więcej punktach pomiarowych – w zależności od konstrukcji zespołów formierki. Uzyskujemy wówczas czasowe przebiegi danej wielkości. Przykładowo, w przypadku formierki nieamortyzowanej „wtórne złożenie” przebiegów ciśnienia i przemieszczenia prowadzi do uzyskania klasycznego wykresu indykatorowego charakteryzującego pracę zespołu wstrząsowego (rys. 4 c). Prowadzone dotychczas metodami elektrycznymi pomiary maszyn formierskich miały na celu optymalizację ich konstrukcji, a stosowane systemy pomiarowe były złożone i przeznaczone do badań w warunkach laboratoryjnych.

Aktualny stan techniki umożliwia efektywne przeprowadzenie pomiarów maszyn formierskich w warunkach ruchowych. Rozwój elektroniki ułatwia wykorzystanie techniki cyfrowego zapisu sygnałów analogowych. Możemy do tego celu wykorzystać rejestratory pracujące samodzielnie, zapisujące dane do pamięci wewnętrznej systemu lub rejestratory współpracujące z komputerem nadrzędnym i przesyłające na bieżąco dane do jednostki centralnej. Szeroką grupę produktów stanowią specjalistyczne karty rozszerzające, instalowane w zależności od modelu wprost na szynie EISA, ISA, PCI czy innych – zmieniające komputer w specjalizowany system pomiarowy i sterujący z rozbudowanymi funkcjami kontroli. Daną wielkość fizyczną można zmierzyć na wiele sposobów – często zdalnie. Katalogi automatyki przemysłowej ELFA, FARNELL, RS, OMRON, czy innych, oferują gotowe podzespoły. Systemy te charakteryzują się wysoką ceną, rosnącą z graniczną częstotliwością mierzonych sygnałów.



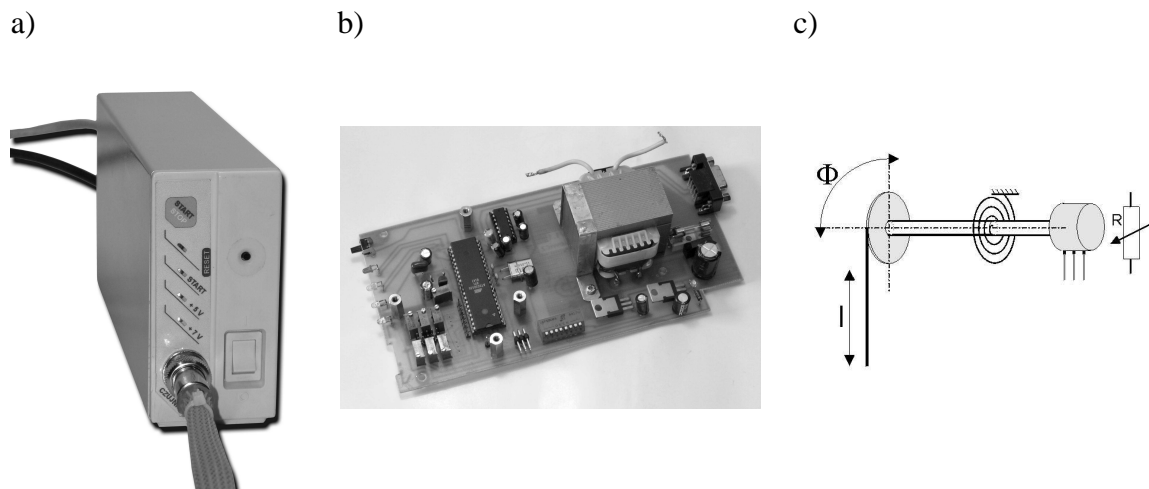
Rys.1. Wybrane charakterystyki nieamortyzowanego zespołu wstrząsowego opracowane na podstawie pomiarów indykatorowych

3. Opis systemu.

Opracowanie koncepcji i wykonanie wersji prototypowej funkcjonalnego systemu do pomiarów maszyn formierskich prowadzonych w warunkach ruchowych - charakteryzującego się stosunkowo niewielkim kosztem wykonania przy zapewnieniu wystarczającej dokładności pomiarów było podstawowym celem podjętych działań.

Po wstępnym rozeznaniu rynku elektronicznego zdecydowano się na wykorzystanie mikrokontrolera firmy ATMEL AT90S8535 [11] o dużej elastyczności programowej, z wbudowanym przetwornikiem A/C oraz układem UART. Na podstawie opracowanego schematu ideowego, zaprojektowano i wykonano płytke drukowaną, a następnie zlutowano i zmontowano całe urządzenie. Wykonano koncentrator i połączono go z rejestratorem za pomocą ekranowanych przewodów.

Program obsługi systemu napisano w języku MS Bascom [10], następnie skompilowano i zaprogramowano przy pomocy programatora szeregowego mikrokontroler. Urządzenie zostało wyposażone w gniazdo programatora szeregowego umożliwiające szybką zmianę oprogramowania na inne (bez wyjmowania układu z podstawki). Skorzystano z tego gniazda kilkakrotnie modyfikując program. Po pierwszym projekcie zaszła konieczność przeprojektowania części układu – została wykonana druga płytka drukowana i zmodyfikowany program.



Rys.2. System pomiarowy i jego elementy: a) widok urządzenia w obudowie, b) płytka, c) schemat przetwornika przemieszczenia

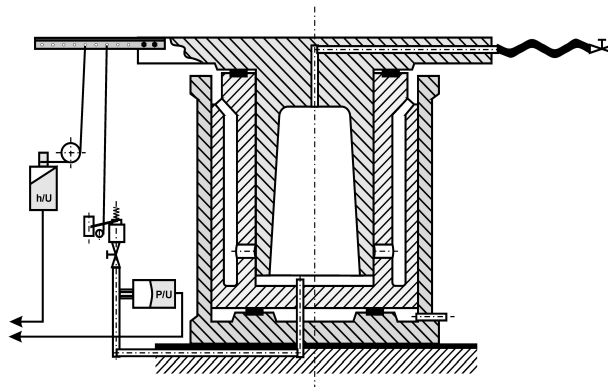
Sygnal wielkości fizycznej po przetworzeniu na napięcie elektryczne jest kierowany do urządzenia poprzez koncentrator. Tam trafia na blok dzielników napięcia a następnie na 10 bitowy przetwornik, analogowo – cyfrowy, wbudowany w mikrokontroler (8 kanałowy przetwornik składa się z bloku multipleksera i pojedynczego, rzeczywistego przetwornika A/C). Układ zasilania przetwornika A/C i układ napięcia odniesienia są zbudowane wspólnie. W układzie zasilania przetwornika A/C zastosowano układ filtrujący (o lepszych parametrach w stosunku do zaleceń producenta) oraz kompensowane termicznie źródło napięcia odniesienia. Sygnal po przetworzeniu jest chwilowo zapamiętywany, a następnie transmitowany poprzez UART do komputera. Poziomy napięć standardu TTL dopasowuje do standardu RS232C interfejs MAX232 [11]. W komputerze wyniki zostają zapisane w pliku danych przeznaczonych do dalszej analizy.

Producent gwarantuje poprawną pracę mikrokontrolera do częstotliwości taktowania 10 MHz - rzeczywista granica pracy tego układu jest wyższa. W urządzeniu zastosowano częstotliwość taktowania 11059200Hz, co zapewnia poprawną pracę układu i dużą pewność przesyłanych danych. Do zmiany parametrów układu służy zadajnik. Możemy nim ustalić liczbę przetwarzanych kanałów (w zależności od oprogramowania) 2, 3, 4 lub 6, następne pozycje zadajnika określają szybkość transmisji do PC. Stan poprawności zasilania wskazują dwie diody LED koloru zielonego, dwie następne pokazują stan pracy.

Rejestrator wyposażono dodatkowo w przewód i przycisk sterujący włączający zapis, oraz posiadający dodatkowy styk znacznika. Sygnal ten może zostać wykorzystany do

zaznaczenia interesującej nas chwili procesu. Przewidziano także wejście znacznika jako sygnał elektryczny poprzez transoptor. Wykonane urządzenie przedstawia rysunek 2.

Czujniki przemieszczenia oparto na potencjometrach wieloobrotowych – rys. 2c. Zdecydowano się na samodzielną budowę przetwornika ze względu na wysokie ceny gotowych wyrobów. Głównym elementem zbudowanego przetwornika jest precyzyjny potencjometr wieloobrotowy o charakterystyce liniowej, błędzie nieliniowości do 1% i tolerancji rezystancji do 5%. Sygnał przemieszczenia liniowego po zamianie na sygnał kąta obrotu jest przenoszony na oś potencjometru i zmienia rezystancję proporcjonalnie do kąta obrotu. Potencjometr jest zasilany z regulowanego i kompensowanego termicznie źródła napięcia odniesienia zbudowanego na układzie LM336/5V dającego precyzyjne napięcie 5 V. Napięcie odpowiedzi na przesunięcie mechaniczne zmienia się w granicach od 0 do 5V.



Rys.3. Schemat stanowiska pomiarowego formierki nieamortyzowanej

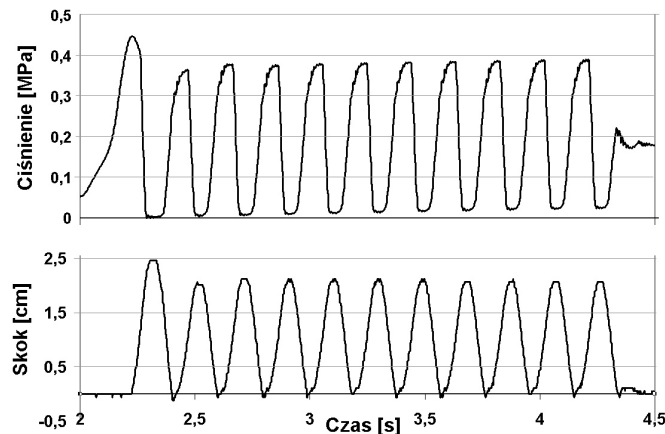
Zakres pomiarowy przetwornika A/C ma wartość do 2,56 V. Podwyższone napięcie wzorcowe na przetworniku położenia daje większą odporność na zakłócenia elektryczne. Sygnał odpowiedzi przetwornika położenia trafia na dzielnik napięcia zbudowany na wieloobrotowych nastawnych potencjometrach montażowych. Dzięki temu zabiegowi możliwe, niepożądane napięcie zakłócenia zostaje zmniejszone (jak i sygnał) o 50%.

W systemie zastosowano przetwornik ciśnienia DG015BSPE firmy Honeywell [7]. Czujnik też został wybrany z dużego grona innych przetworników z powodu małej zwartej konstrukcji, łatwości zasilania (5V tolerancja $\pm 0,25V$), wzmocnionego sygnału wyjściowego, kompensacji termicznej, dużemu zakresowi temperatur pracy ($-40^{\circ}C \div +125^{\circ}C$), krótkiemu czasowi odpowiedzi (mniejszym niż 1ms), oraz dość dużej dokładności odwzorowania linowego ciśnienia napięciem (błąd BFSL /Best-Fit Straight Line / 1% pełnego zakresu) a zwłaszcza korzystnej cenie. Sygnał z obydwu przetworników poprzez panel przyłączeniowy (koncentrator) trafia do dzielników napięcia. Przeprowadzono wstępną kalibrację przetwornika uzyskując liniową charakterystykę o bardzo dobrych parametrach.

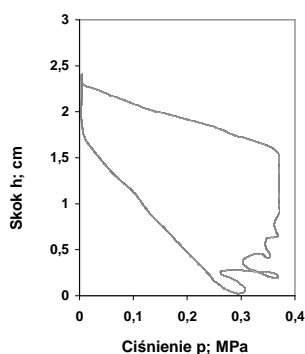
4. Pomiary testowe.

Podstawowym obiektem badań testowych wykonanego sytemu pomiarowego były formierki wstrząsowo - prasujące. Maszyny te wykorzystywane są w dydaktyce - ich charakterystyki są więc okresowo aktualizowane. Po sprawdzeniu poprawności przesyłania danych do komputera PC, wykonano pomiary testowe zespołu wstrząsowego formierki nieamortyzowanej (rys. 3), oraz zespołu prasowania amortyzowanej formierki FKT 54 (rys. 5). Po pierwszych pomiarach zmodyfikowano oprogramowanie.

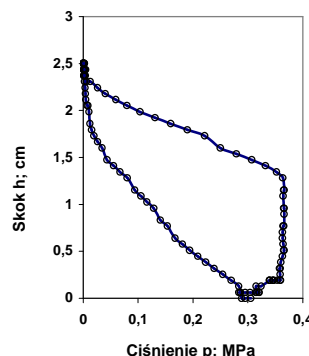
a)



b)

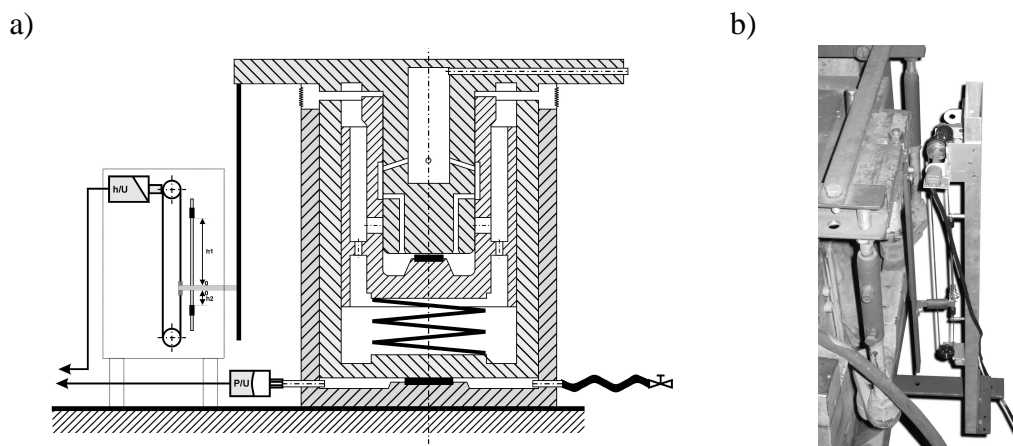


c)



Rys.4. Wyniki pomiarów testowych zespołu wstrząsowego formierki nieamortyzowanej: a - przebiegi czasowe ciśnienia i skoku, b – wykresy indykatorowe zespołu wstrząsowego: b) pomiary indykatorem mechanicznym, c) pomiary systemem elektronicznym (wykres opracowany z wykorzystaniem przebiegów czasowych)

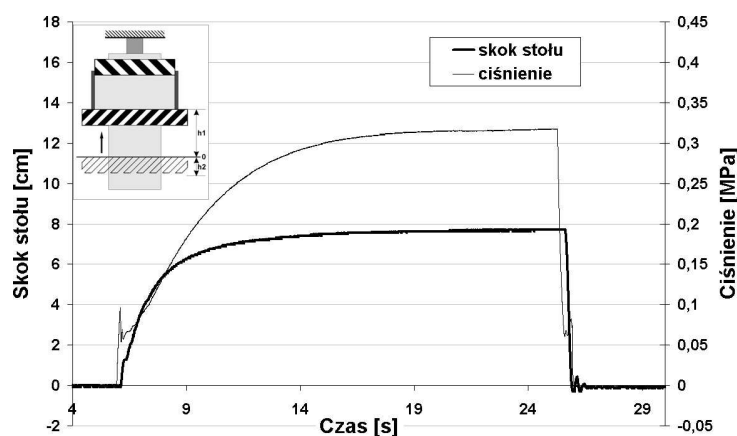
Prowadzono równoczesne pomiary indykatorem mechanicznym i wykonanym system pomiarowym. W celach porównawczych wykonywano również rejestrację przebiegów przemieszczenia i ciśnienia dwukanałowym cyfrowym rejestratorem typ 261 (prod. UNIPAN) oraz wielokanałowym systemem pomiarowym z wykorzystaniem indukcyjnościowych przetworników przemieszczenia oraz przetworników ciśnienia różnych producentów [7]. Przykładowe wyniki rejestracji przy użyciu wykonanego prototypowego systemu pomiarowego charakteryzujące pracę nieamortyzowanego zespołu wstrząsowego formierki przedstawiono na rysunku 4. Porównanie wykresów indykatorowych (rys.4 b,c) uzyskanych w wyniku pomiarów indykatorem mechanicznym oraz „elektronicznym” ma jedynie charakter jakościowy. Uzyskanie jednoznacznego przyporządkowania wykresu zarejestrowanego indykatorem mechanicznym do określonego cyklu przebiegu czasowego wymagałoby wyposażenia układu w dodatkowy system wyzwalania (związany z rysikiem indykatora). Po stwierdzeniu tej potrzeby wyposażono system w kanał znacznika. Styki wyzwalania w indykatorze mechanicznym zostaną wykonane w ramach dalszych prac. Widoczna jest jednak przewaga rejestracji elektronicznej- pomiar ten pozwala wyeliminować zaburzenie wykresu spowodowane drganiem rysika indykatora podczas uderzenia stołu formierki o korpus (dolna część przebiegu na wykresie sporządzonym indykatorem mechanicznym).



Rys.5. Stanowisko badawcze zespołu prasowania formierki FKT54 amortyzowanej: a) schemat układu pomiarowego, b) widok przetwornika położenia stołu

Stanowisko pomiarowe dla formierki amortyzowanej różniło się tylko przetwornikiem położenia; wykorzystano w nim elementy układu mechanicznego skanera (układ przełożenia). Dołączono dodatkowo układ „pamięci mechanicznej” maksymalnych wychyleń stołu. W przypadku indykowania zespołów prasowania formierek występuje konieczność pomiarów znacznie większych przemieszczeń.

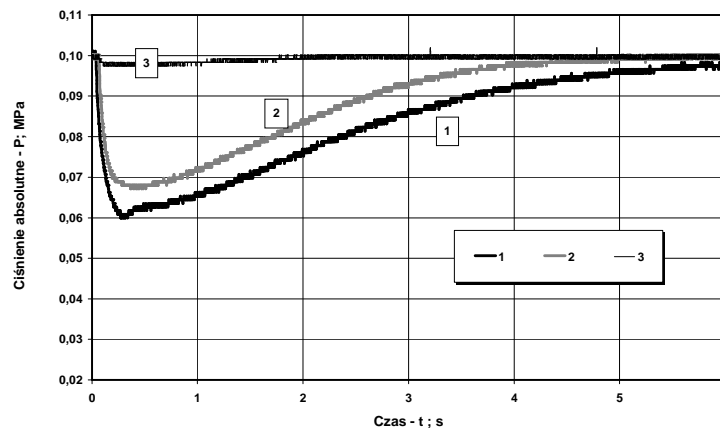
Pozostała część układu elektronicznego była identyczna z systemem pomiarowym wykonanym dla formierki nieamortyzowanej. Na rysunku 5 przedstawiono schemat stanowiska oraz sposób montażu przetworników. Przykładowe wyniki pomiarów wykonanych podczas pracy zespołu prasującego tej formierki przedstawia rysunek 6.



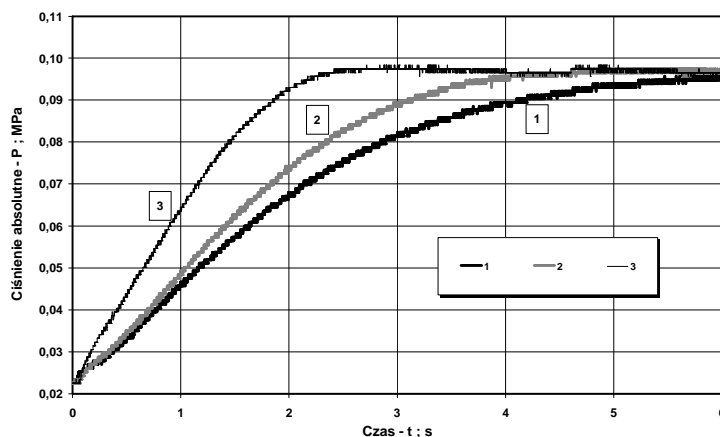
Rys.6. Przykładowe pomiary amortyzowanej formierki FKT54 – testowanie układu prasowania

Uzyskane dane posłużyły do analizy procesu formowania podciśnieniowego [9]. Po stwierdzeniu liniowości pracy przetworników w zakresie podciśnienia dokonano rejestracji procesu formowania podciśnieniowego. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe wykresy przedstawiające przebiegi ciśnienia przy formowaniu podciśnieniowym.

a)



b)



Rys.7. Przebiegi czasowe ciśnienia absolutnego - P w przestrzeni pod płytą modelową - a) i w zbiorniku próżniowym- b) w trakcie realizacji różnych wariantów procesu [9]; 1 - zagęszczanie podciśnieniowe z równoczesnym prasowaniem, 2- zagęszczanie podciśnieniowe, 3- proces przepływu powietrza przy pustej przestrzeni technologicznej

5. Ocena pracy systemu i wnioski końcowe.

Zaprojektowany i wykonany mikroprocesorowy system do pomiarów maszyn formierskich działał poprawnie, nie stwarzając większych problemów podczas obsługi. System łączy zalety rejestracji sygnałów szybkozmiennych z możliwością rejestracji w dłuższym okresie czasu przebiegów okresowych. Stwarza to korzystne warunki pomiarów podczas badania formierek. Jedynym ograniczeniem długości zapisu jest pojemność dysku twardego komputera współpracującego z systemem. Zapis wielu cykli pracy maszyny może być przydatny w wykrywaniu nieprawidłowej pracy formierki przy usterkach występujących losowo w większych odstępach czasu. Należy podkreślić, że analiza wyników pomiarów testowych umożliwiła wykrycie usterek badanych maszyn formierskich: nieszczelności zaworu odcinającego formierki nieamortyzowanej czy nieszczelności komory prasowania formierki amortyzowanej. Usterki te zostały usunięte w ramach remontu maszyn. Jedyną niedogodnością systemu jest konieczność odbierania danych do pliku, a następnie umieszczania ich w arkuszu kalkulacyjnym. W ramach dalszych prac zostanie opracowana wersja oprogramowania umożliwiającej bieżące tworzenie wykresu przebiegu czasowego, w pożądanym formacie. Dokładność pomiarów jest większa w porównaniu z pomiarami prowadzonymi przy użyciu indykatora mechanicznego. Analiza i opracowanie wyników znacznie łatwiejsze. Zalety systemu

uwidaczniają się zwłaszcza podczas pomiarów amortyzowanych zespołów wstrząsowych o większej częstotliwości uderzeń – indykator mechaniczny wykorzystywany jest wówczas na granicy zakresu (ze względu na częstotliwość drgań własnych). Wykorzystanie przetwornika 10 bitowego zapewnia odpowiednią dokładność pomiarów. System może zarejestrować sygnały o większych częstotliwościach niż rejestratory mechaniczne. Dotyczy to nie tylko częstotliwości pracy urządzenia, lecz także dynamiki narastania mierzonego sygnału. Szybkość tę limituje czas odpowiedzi danego przetwornika, czas przetwarzania i głównie czas transmisji do komputera. Działanie systemu można przyspieszyć przez zmianę oprogramowania z języka wyższego rzędu, jakim jest BascomAVR na assembler np. AVR Studio i przysyłać dane binarnie. Elektroniczna postać danych bardzo ułatwia ich archiwizowanie i przetwarzanie. System może być wykorzystany do bieżącego monitorowania pracy maszyn formierskich - pomiary mogą być także dokonywane okresowo. W odpowiednio przystosowanej maszynie pomiar zajmuje tylko kilka minut. Zarchiwizowane dane mogą ułatwić decyzje dotyczące podjęcia napraw bieżących czy remontów.

System jest elastyczny. Możliwe jest wykorzystanie go w badaniach nowszych maszyn formierskich, których praca oparta jest o inne metody zagęszczania. Oczywiście przy zastosowaniu odpowiednich przetworników pomiarowych. Potwierdzają to przykładowe pomiary procesu formowania podciśnieniowego. Planowane jest wyposażenie systemu w kartę pamięci oraz wyświetlacz LCD – co zapewni samodzielną pracę urządzenia. Celowa jest również wymiana portu RS232 na szybszy port USB. Powyższe zmiany zwiększą funkcjonalność systemu i ułatwią jego stosowanie w warunkach przemysłowych.

6. Literatura.

1. Bast, J.; Malaschkin, A.; Albert, W.; Hasse, S.: Nowa metoda automatycznej kontroli jakości form i procesu formowania maszynowego Przegląd Odlewnictwa nr. 7 - 8, 2004, s. 670-673
2. Dańko J., Sobieraj R.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. AGH, skrypt uczelniany 605. Kraków, 1997
3. Fedoryszyn A., Gregoraszczyk M., Smyksy K., Ziółkowski E.: Maszynoznawstwo odlewnicze – laboratorium. <http://mech.wo.agh.edu.pl/>
4. Giergiel J. i in.: Hałas i wibracje w przemyśle odlewniczym. Wydawnictwo AGH, Kraków 1992
5. Gregoraszczyk M.: Maszynoznawstwo odlewnicze. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków, 2002
6. Mikulczyński T., Naplocha K., Nowak D.: Modelowanie procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 24, nr 3 spec., 2004, s. 109-113
7. Smyksy K.: Problematyka doboru parametrów impulsowych maszyn formierskich. Przegląd Odlewnictwa. — 2001 t. 51 nr 7-8

8. Szmigielski T.: Formierka impulsowa z zaworem otwieranym siłownikiem sprężynowo-pneumatycznym Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 24 nr 3 spec., 2004, s. 153—162
9. Ślęzyk M., Smyksy K.: *Badania wybranych metod formowania podciśnieniowego*. XXIX Konferencja Naukowa z okazji Święta Odlewnika 2005, Kraków 2005.
10. Kompilator firmy MCS Electronics: <http://www.mcselec.com/>
11. Materiały prospektowe firm: Atmel. <http://www.atmel.com/>, Honeywell. <http://content.honeywell.com/sensing/>, Maxim. <http://www.maxim-ic.com/>

MIKROSTRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI STOPÓW NA ŁOPATKI RZUTOWE OCZYSZCZAREK STRUMIENIOWO – ŚCIERNYCH

*Stanisław RZADKOSZ¹,
Leopold STASZCZAK²,
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków*

1. Wprowadzenie.

W oczyszczarkach strumieniowo-ściernych elementy niektórych zespołów konstrukcyjnych narażone są na intensywne zużycie ściernie. Należą do nich [1,2]: wyłożenie kabiny roboczej, korpus wirnika rzutowego, koło rzutowe, łopatki rzutowe, tuleja regulacyjna i wirniczek rozdzielczy. Zużywanie się tych elementów ma nie tylko aspekt ekonomiczny. Wpływa także, z upływem czasu eksploatacji, na efektywność oczyszczania odlewów.

Niszczenie elementów konstrukcyjnych oczyszczarek następuje wskutek oddziaływania na ich powierzchnię luźnych cząstek ścierniwa posiadających pewną energię, które wywołują niekorzystne zjawiska prowadzące do ubytków w warstwie przypowierzchniowej. Ścierniwem jest stosowany do oczyszczania śrut żeliwny, stalowy lub staliwny o różnym kształcie, wielkości i twardości oraz piasek kwarcowy zmieszany ze śrutem, którego źródłem są odlewy silnie zanieczyszczone masą formierską.

Wymienione elementy oczyszczarek wykonywane są obecnie najczęściej z bardzo twardego i trudnościeralnego białego żeliwa o wysokiej zawartości chromu, które zawiera dodatkowo inne dodatki stopowe. W referacie omówiono, w oparciu o literaturę oraz badania własne: mikrostrukturę i właściwości takiego żeliwa. Wskazano na wady odlewów pogarszające właściwości eksploatacyjne łopatek i rolę obróbki cieplnej.

2. Mechanizmy zużycia ściernego.

Sposoby niszczenia materiałów metalowych podczas ścierania określane są jako: bruzdowanie lub inaczej mikroskrawanie (występuje w warunkach dużych obciążeń mechanicznych jakie mają miejsce np. w przypadku zębów koparek, szczęk kruszarek i łamaczy itp.), erozja (występuje w przypadku małych cząstek, poruszających się względnie swobodnie po powierzchni i nie wywołujących większych naprężeń w częściach roboczych; ma miejsce w urządzeniach mieszających i transportujących piasek i minerały, sortownikach, oczyszczarkach śrutowych itp.) i ścieranie zmęczeniowe (ma miejsce gdy ciało ścierające np. minerał odkształca warstwę wierzchnią, co prowadzi do wykruszania jej fragmentów [3]). Bruzdowanie występuje przy ostrym kącie oddziaływania cząstek ścierających na powierzchnię, podczas gdy ścieranie zmęczeniowe ma miejsce przy kącie oddziaływania bliskim 90° . Obydwa mechanizmy działają równocześnie, a udział każdego z nich zależy nie tylko od kąta uderzenia cząstek, ale również od właściwości materiału ściernego oraz prędkości cząstek.

¹ dr hab. inż., prof. AGH rzadkosz@uci.agh.edu.pl

² dr inż. staszcz@uci.agh.edu.pl

Stosunkowo najlepiej zostało opisane teoretycznie zużycie erozyjne związane zarówno z oddziaływaniem cząstek padających na powierzchnię pod małymi kątami jak i dużymi kątami.

Opisuje go dobrze teoria Bittera [4], której zgodność z praktyką wykazano w wielu badaniach m.in. omówionych w publikacjach [3,5]. Dla małych kątów ($<20^{\circ}$) oddziaływania cząstek na powierzchnię korzystne jest zastosowanie materiałów twardych np. żeliwa białego, natomiast dla dużych kątów ($>50^{\circ}$) korzystne jest zastosowanie materiałów odpornych na uderzenia cząstek tj. posiadających pewną plastyczność, wysoką granicę sprężystości i dużą wytrzymałość np. staliwa Hadfielda; w tym przypadku twardość materiału nie jest głównym kryterium doboru materiału [5]. W zakresie kątów zawartych w przedziale $20 - 50^{\circ}$ zużywanie się materiałów jest nadmierne i w praktyce należy go unikać.

Niezależnie od materiału ścieranego i kąta padania strumienia cząstek, na zużycie elementów konstrukcyjnych wpływa twardość cząstek, ich prędkość, kształt, ostrość, wielkość i masa. Mniejsze zużycie występuje wówczas, gdy twardość materiału ściernego jest mniejsza od twardości materiału elementu konstrukcyjnego. Będzie ono wzrastać wraz ze zwiększeniem twardości cząstek ścierniwa. Wzrost ten nie przebiega stopniowo, lecz odbywa się z nagłym przejściem od poziomu niskiego do poziomu wyższego. Obszar przejściowy zaczyna się mniej więcej tam, gdzie twardość cząstek zrównuje się z twardością materiału elementu konstrukcyjnego. Przy znanej twardości ziaren materiału ściernego można z góry oszacować, czy dane tworzywo będzie się znajdować w dolnym czy górnym zakresie zużycia.

Do oczyszczania powierzchni odlewów stosuje się śrut żeliwny, stalowy lub stalowy cięty o granulacji od 0,6 do 1,6 mm, dobierany w zależności od początkowego stanu powierzchni i zamierzonego efektu końcowego oczyszczania. Twardość poszczególnych rodzajów śrutu jest zróżnicowana i tak: dla śrutu stalowego ciętego z blachy niskowęglowej zawiera się w przedziale 180-280 HV, dla śrutu stalowego niskowęglowego od 400 do 430 HV (dla śrutu stalowego wysokowęglowego jest jeszcze większa) oraz dla żeliwnego ok. 360 HV [1]. Z danych eksploatacyjnych wynika, że intensywne zużywanie się elementów wirnika wywołuje śrut żeliwny oraz śrut stalowy wysokowęglowy. Mniej niszcząco działa śrut wykonany z miększych materiałów. W przypadku oczyszczarek duże niszczenie wirnika wywołuje piasek kwarcowy wieszany w strugę śrutu. Przytoczone dane potwierdzają ogólne tendencje w zakresie intensywności zużycia ściernego w zależności od twardości materiału ściernego.

Zużycie spowodowane uderzeniem strumienia cząstek zwiększa się także wraz ze wzrostem prędkości cząstek. Przy względnie dużym obciążeniu spowodowanego dużą prędkością strumienia uderzającego o powierzchnię, tworzywa twarde i kruche nie są w stanie odkształcać się plastycznie, co powoduje pękanie i wykruszanie się materiału, zwiększające w konsekwencji jego zużycie.

W oczyszczarkach śrutowych prędkość wylotowa śrutu zawiera się w granicach 70-80 m/s [1]. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że zwiększanie prędkości powyżej 80 m/s zwiększa nie tylko koszty energii, ale przede wszystkim silnie zwiększa zużycie łopatek rzutowych oraz wirniczków i z tych powodów jest nieuzasadnione.

Z teorii Bittera wypływają pewne ogólne zasady doboru materiału. Biorąc pod uwagę udział wielu czynników w procesach ścierania oraz bardzo różne warunki pracy elementów konstrukcyjnych należy zauważyć, że mechanizmy i morfologia zużycia, a także dobór materiałów na te elementy muszą być rozpatrywane indywidualnie, co najwyżej z pewnymi analogiami. Z tych samych powodów próby laboratoryjne wykorzystywane do oceny odporności materiałów na ścieranie nie mają pełnego odniesienia do ich zachowania się w konkretnych zastosowaniach. Z tego powodu

najlepszym sprawdzianem przydatności materiału do konkretnych warunkach eksploatacyjnych są próby przemysłowe.

3. Stopy odlewnicze odporne na ścieranie.

Lane stopy odporne na ścieranie, można ogólnie uszeregować wg malejącej odporności następująco [6]: żeliwo białe z dużą zawartością chromu, żeliwo białe martenzytyczne ze średnią zawartością dodatków stopowych, żeliwo białe podeutektyczne, żeliwo martenzytyczne o średniej i dużej zawartości węgla, staliwo austenityczne managanowe, niskostopowe staliwo perlityczne i staliwo niskowęglowe. Najlepszą odpornością na ścieranie charakteryzują się gatunki żeliwa z dużą zawartością chromu i najczęściej z dodatkiem molibdenu o mikrostrukturze martenzytycznej. Żeliwo z tej grupy jest szeroko wykorzystywane w urządzeniach do przeróbki rud i minerałów, mieszarkach, pompach dla górnictwa, rurociągach transportujących i urządzeniach sortujących materiały mineralne oraz w oczyszczarkach strumieniowych.

W dotychczas opracowanych stopach żelaza odpornych na ścieranie, podstawowymi fazami mikrostruktury są węgliki pierwiastków przejściowych (głównie chromu) oraz martenzyt i austenit. Oprócz mikrotwardości węglików ważny jest ich udział, kształt, wielkość i rozmieszczenie. Wymaga się aby wydzielenia węglkowe miały dużą dyspersję, równomierne rozmieszczenie, były izolowane od siebie osnową oraz dobrze utwierdzone w osnowie metalowej.

Konkretnym warunkom ścierania w różnych urządzeniach odpowiada określona mikrostruktura stopów. Jej ustalenie możliwe jest jedynie na drodze eksperymentalnej.

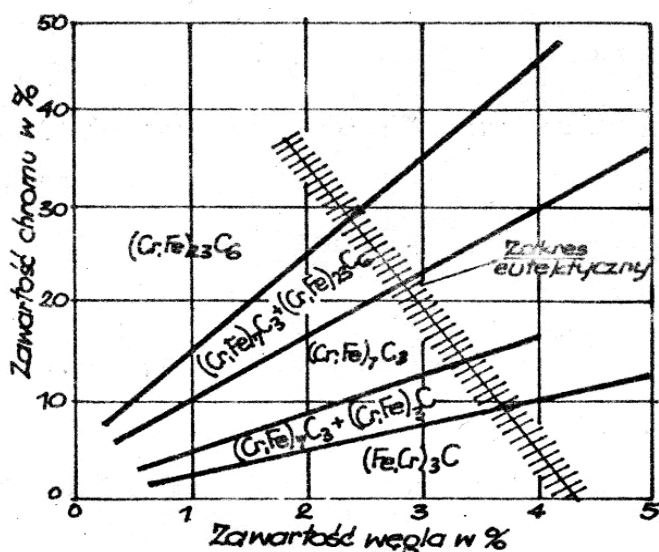
W oparciu o dotychczasowe prace w tym zakresie można przyjąć za ogólną zasadę, że budowa strukturalna tworzywa powinna być wielofazowa i koniecznie makroskopowo jednorodna.

Na podstawie danych literaturowych i praktyki można stwierdzić, że na elementy wirników w oczyszczarkach strumieniowych najczęściej zalecane jest i stosowane żeliwo wysokochromowe (12–20%Cr) zawierające również dodatkowe składniki stopowe. Korzystne właściwości ścierne tego żeliwa wiążą się z występowaniem w mikrostrukturze węglika typu $(Fe,Cr)_7C_3$ i w miarę jednorodnej budowy stopu.

4. Żeliwo wysokochromowe na łopatki rzutowe.

W stopach Fe-C-Cr skład fazowy mikrostruktury uzależniony jest od zawartości węgla i chromu, a praktycznie od stosunku Cr/C. Na rys.1 zamieszczono uproszczony wykres występowania różnych rodzajów węglików w tym żeliwie. Z tych węglików najwyższą twardością (1200–1600 HV) charakteryzuje się węglik $(Fe,Cr)_7C_3$ i ze względu na odporność na ścieranie dobiera się taki skład chemiczny żeliwa, który zapewnia wystąpienie takiego typu węglika. Węglik ten pojawia się przy wyższych zawartościach chromu w żeliwie. Zwiększenie zawartości węgla wymaga dalszego zwiększenia zawartości chromu. Dodatki stopowe (Si, V, Al., Ni, Mo, W) pozwalają uzyskać węglik typu $(Fe,Cr)_7C_3$ przy mniejszej zawartości chromu.

Jak wykazują badania odporność na ścieranie omawianego żeliwa zwiększa się wraz ze wzrostem udziału fazy węglkowej. Dotyczy to stopów podeutektycznych i eutektycznych, albowiem w stopach nadeutektycznych pierwotne wydzielenia węglików mogą być wykuszane, zwiększając w ten sposób zużycie. Drobne wydzielenia węglików, korzystne ze względu na odporność na ścieranie, uzyskuje się przy większych prędkościach krystalizacji oraz w wyniku oddziaływania dodatkowych pierwiastków. Dyspersję wydzieleni węglkowych zwiększają: molibden (1– 4%), tytan (do 05 %), azot (do 0,1%), mangan (2 – 3%) a także wolfram i wanad. Molibden ponadto zwiększa jednorodność rozmieszczenia węglików w mikrostrukturze i zwiększa hartowność żeliwa.



Rys. 1. Występowanie różnych rodzajów węglików w żeliwie wysokochromowym w zależności od zawartości węgla i chromu [7].

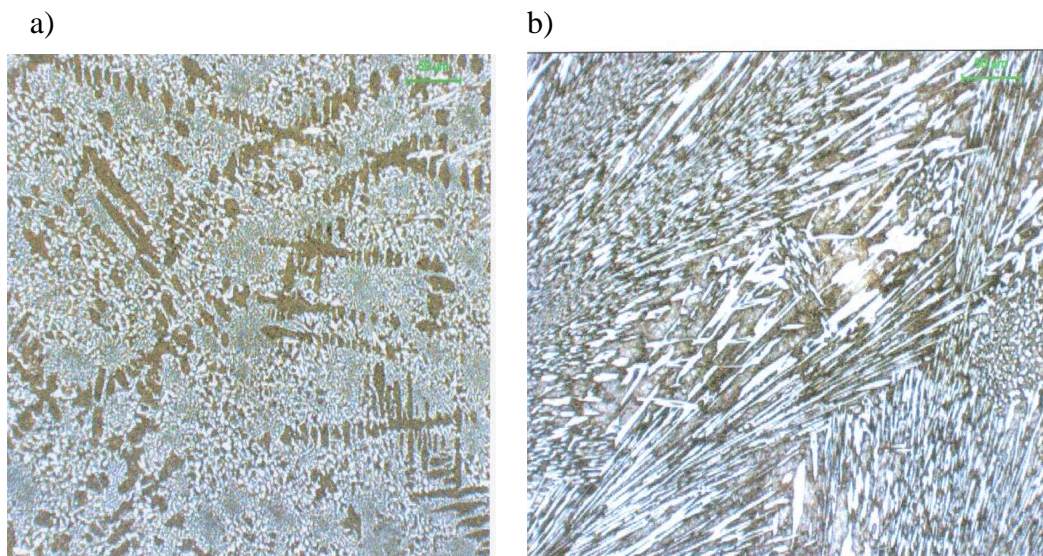
W praktycznie wykorzystywanych gatunkach żeliwa wysokochromowego odpornego na ścieranie osnowa metalowa może być: bainityczna, martenzytyczna i ferrytyczna. W warunkach ścierania erozyjnego, gdy naciski dynamiczne na powierzchnie roboczą są nieduże, najlepszą osnową jest osnowa martenzytyczna o wysokiej zawartości węgla.

Korzystnie, z punktu widzenia odporności na ścieranie, wpływają na osnowę metalową: mangan, nikiel i molibden. Żeliwo wysokochromowe jest skłonne do tworzenia niekorzystnej struktury transkystalicznej. Sprzyjają jej wysoka temperatura odlewania żeliwa. Skłonność do tworzenia takiej budowy odlewów zmniejsza dodatek tytanu.

Wymienione wyżej pierwiastki, poprzez oddziaływanie na mikrostrukturę, zwiększają twardość żeliwa, jego wytrzymałość oraz odporność na ścieranie. Pierwiastki te (w różnych kombinacjach) występują w wielu gatunkach żeliwa wysokochromowego typowanego do zastosowania w warunkach ścierania.

Badania własne autorów referatu dotyczyły możliwości poprawy jakości odlewów łopatek wykonanych z odpornego na ścieranie żeliwa o różnej zawartości węgla i chromu (2,8-3,6 % C oraz 15,0 -25,5% Cr). Żeliwo zawierało także dodatki niklu (0,2 - 1,8 %) oraz molibdenu (0,15-1,8 %). W łopatkach odlanych z tego żeliwa występuje mikrostruktura podeutektyczna i eutektyczna (rys.2) złożona z ferrytu chromowego oraz mieszaniny eutektycznej ferrytu i węglika typu M_7C_3 (głównie).

Z powodu niekorzystnych właściwości odlewniczych żeliwa wysokochromowego, niektóre wykonane z niego odlewy miały wady w postaci jam skurczowych i rzadziny skurczowych. Znajdowały się one przeważnie w pobliżu pogrubionej części odlewu tj. w miejscu zamka (rys.3). Stwierdzono również, że środkowe części łopatek mają mniej zwartą strukturę, czego konsekwencją jest niższa twardość żeliwa w tych częściach. Z prowadzonych wcześniej badań łopatek po eksploatacji [15] wynika, że w miejscach występowania wad materiałowych powierzchniowych i podpowierzchniowych znajdujących się w części roboczej (rzadziny, duża chropowatość, kratery, pęcherze gazowe, większe wtrącenia egzogeniczne), występują stosunkowo duże ubytki materiału, potęgujące się z czasem eksploatacji (rys.4).



Rys.2. Mikrostruktura żeliwa wysokochromowego:
a) podeutektycznego, b) eutektycznego. Pow. x 150.

Przyjmując w ślad za dotychczasowymi doświadczeniami eksploatacyjnymi, że żeliwo wysokochromowe jest dobrym tworzywem łopatek rzutowych, w badaniach skoncentrowano się na analizie możliwości poprawy jakości odlewów na drodze metalurgiczno-odlewniczej. Sugestie wynikające z tych badań wymagają osobnego omówienia poza niniejszym referatem.

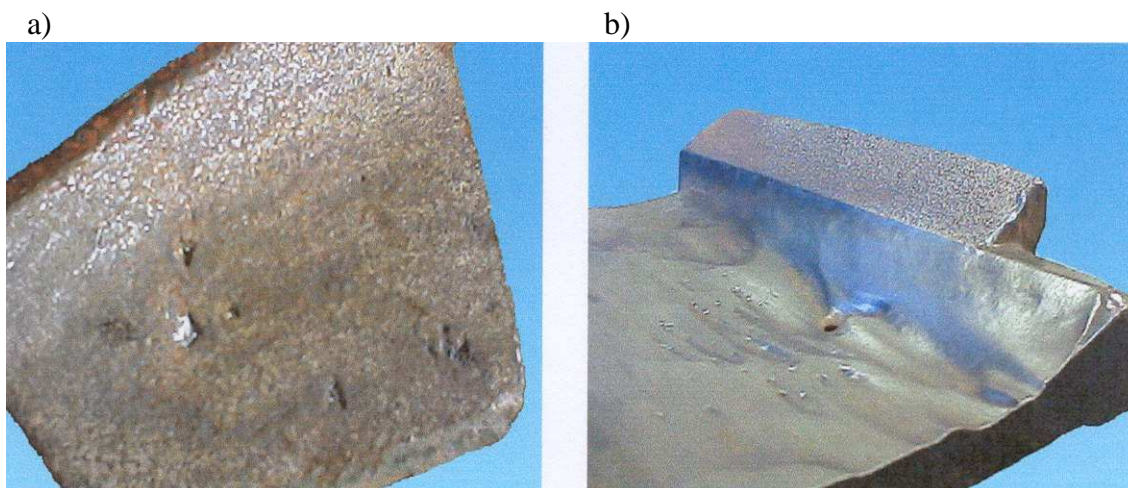
Badania dotyczyły także możliwości poprawy odporności na ścieranie zastosowanego tworzywa poprzez obróbkę cieplną. W praktyce odlewy łopatek stosuje się bądź bez obróbki cieplnej (jeśli odlewy surowe wykazują odpowiednio wysoką twardość) lub w stanie obrobionym cieplnie. Cele jakie realizują się przez obróbkę cieplną to: usunięcie naprężeń odlewniczych (są one w przypadku skomplikowanego odlewu z żeliwa o wysokiej zawartości węgla i chromu przyczyną pęknięć w czasie eksploatacji), zwiększenie twardości i wytrzymałości oraz poprawa obrabialności mechanicznej (jeśli odlewy wymagają tej obróbki). Według opinii autorów szeregu publikacji [np. 8 – 14] obróbka cieplna zwiększa odporność na ścieranie dzięki zmianie osnowy metalowej.

Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższe wartości twardości (ok. 65 HRC) daje wyżarzanie odlewów w temperaturze 950 – 1000⁰C przez 1,5 do 2 godz. z chłodzeniem w oleju lub w powietrzu (spokojnym lub sprężonym). Zalecić należy raczej chłodzenie w powietrzu, albowiem w niektórych przypadkach chłodzenie w oleju powoduje pęknięcia. Przeprowadzone następnie odpuszczanie w temperaturze ok. 200⁰C w małym stopniu zmniejsza twardość (pozytywnie, jak można przypuszczać wpłynie na naprężenia).

Chłodzenie odlewów z piecem po wygrzaniu w podanych wyżej temperaturach prowadzi do zmniejszenia twardości (zmiękczenia). Taki zabieg cieplny będzie korzystny w przypadku odlewów wymagających obróbki skrawaniem. Przykładowe relacje między wartościami twardości w różnym stanie obróbki cieplnej żeliwa zawierającego 3,4% C, 15% Cr, 0,2% Ni i 0,2% Mo są następujące: w stanie po odlaniu – 45HRC, po wyżarzaniu w temperaturze 980⁰C z chłodzeniem w spokojnym powietrzu – 62HRC, po hartowaniu w wodzie – 63HRC (pęknięcia w odlewie) i po chłodzeniu razem z piecem – 37 HRC.



Rys. 3. Jama skurczowa w zamku łopatki.



Rys.4. Wady powierzchni roboczej odlewu łopatki (a) i nierównomierność zużycia związana z wadą wewnętrzną (b).

5. Podsumowanie.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizę literaturową można sformułować następujące wnioski:

1. Można przyjąć, że żeliwo wysokochromowe o mikrostrukturze eutektycznej lub podeutektycznej jest odpowiednim tworzywem na łopatki rzutowe oczyszczarek strumieniowo-ściernych wykorzystujących śrut ze stopów żelaza. Warunki metalurgiczno-odlewnicze wykonania odlewów powinny zapewniać dużą dyspersję fazy węglkowej i jednorodność jej rozmieszczenia..
2. Istotnymi czynnikami zapewniającymi większą trwałość eksploatacyjną łopatek rzutowych są: brak wad wewnętrznych i powierzchniowych w odlewie oraz makroskopowa jednorodność budowy w całej łopatce.
3. Mając na uwadze zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia w łopatkach rzutowych pęknięć, wykruszeń i wyłamania z zamka, należy eliminować łopatki wadliwe przed ich zamontowaniem w urządzeniu stosując ich staranną kontrolę m.in. przez badania nieniszczące.

4. Właściwości użytkowe łopatek z żeliwa wysokochromowego poprawia obróbka cieplna. Jej efekt polega przede wszystkim na zwiększeniu twardości w wyniku zmiany osnowy; obróbka cieplna zmniejsza również naprężenia własne w odlewie łopatki. Efekt obróbki cieplnej wyraźnie zwiększa molibden.
5. Jak wykazują próby zastosowanie technologii odlewania skorupowego pozwala na wyeliminowanie nieciągłości materiału łopatek, poprawę gładkości powierzchni oraz zwiększenie dokładności wymiarowej i wagowej łopatek.

6. Literatura.

1. Piosik T. – Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo-ścierne. Biuletyn Konferencji Odlewniczej Technical 2002, Nowa Sól.
2. Fedoryszyn A., Zyzak P. – Charakterystyka podstawowych zespołów oczyszczarek strumieniowo-ściernych. Biuletyn Konf. V Konferencji Odlewniczej Technical 2002, Nowa Sól.
3. Uetz H. – Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1976, z.1 (25), s.7 – 29.
4. Bitter J.G. – Wear, 1963, nr 6, s.5-21.
5. Kilarski J., Studnicki A., Suchoń J., Bartocha D. – Przegląd Odlewnictwa, 2005, nr 4, s.284-287.
6. Norman T.Z. – Gisserei-Praxis, 1969, nr 20, s.359-364.
7. Zibulla F.- Gissereitechnik, 1966, nr 5, s.152-155.
8. Kitajgora N.J. – Lit. Proizw., 1972, nr 2. s.18-19.
9. Fremunt P., Pascal B., Varhaniczek J. – Międzynarodowy Kongres Odlewników, Moskwa 1973, referat nr 16.
10. Wojnow D.A. – Iznostoikije spławy i pokrytia. Maszynostrojenie, Moskwa 1980.
11. Kitajgora N.J. - Lit. Proizw..., 1972, nr 8, s.33-34.
12. Kitajgora N.J. – MiTOM, 1975, nr 5, s.49-53.
13. Zurov A.A., Silman G.J., Frolcow m.S. – Iznostoikije oliwki iż kompleksjo - legirowanych biełych czugunow. Maszynostrojenie, Moskwa 1984.
14. Popow W.S., Nagornyj Ł. – Lit. Proizw., 1971, nr 9, s.30-33.
15. Rządkosz S., Staszczak L. – Badania metaloznawcze eksploatowanych łopatek rzutowych wykonanych z żeliwa wysokochromowego (nie publ.). Kraków 2001.

MODELOWANIE I PROGRAMOWANIE PRACY NAPĘDÓW PNEUMATYCZNYCH

Tadeusz MIKULCZYŃSKI¹,

Daniel NOWAK²,

Rafał WIĘCŁAWEK³

*Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji
Politechniki Wrocławskiej,
Wrocław*

1. Streszczenie.

Zaprezentowano metodę Grafpol modelowania dyskretnych procesów produkcyjnych i programowania programowalnych sterowników logicznych PLC (ang. Programmable Logic Controller). Zdefiniowano algorytmy: procesu-sieć Grafpol GP oraz sterowania – sieć Grafpol GS. Przedstawiono sposób zapisu, na podstawie wykazu instrukcji programu (WIP), programu użytkownika sterownika PLC, w języku logiki drabinkowej LD (ang. Ladder Diagram). Wykazano, że metodą Grafpol można modelować i programować dowolnie złożone procedury – sekwencyjne, czasowe, współbieżne oraz mieszane – algorytmów dyskretnych procesów produkcyjnych.

2. Wstęp.

W Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej opracowano nową metodę Grafpol modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC (ang. Programmable Logic Controller).

Sieć Grafpol GP (algorytm procesu) przedstawia w sposób graficzny, kolejność wykonywania etapów elementarnych procesu oraz podane, w postaci analitycznej, logiczne warunki ich realizacji.

Do syntezy sieci Grafpol GP podstawę stanowi sieć operacyjna, która przedstawia w sposób graficzny: kolejność wykonywania etapów elementarnych oraz warunki ich realizacji.

Sieć Grafpol GS (algorytm sterowania) otrzymuje się w wyniku transformacji sieci Grafpol GP i przedstawia ona zewnętrzne sygnały (WE i WY) sterownika PLC. Algorytm sterowania stanowi podstawę do wyznaczenia WIP, które musi wykonać sterownik PLC, aby przebieg sterowania procesem był zgodny z założonym algorytmem jego realizacji.

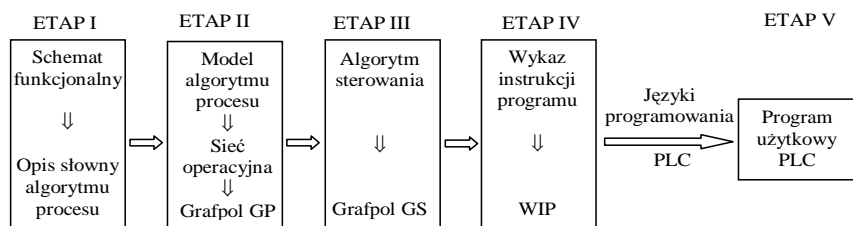
WIP jest przedstawiany w postaci zbioru zdań logicznych, w którym podstawową formą zdaniową jest zdanie warunkowe „Jeśli ..., to ... „. WIP, po uwzględnieniu pamięci, stanowi podstawę do zapisu programu użytkowego (np. w języku LD, ST, itd.) sterownika PLC.

Procedurę modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC zilustrowano na rys. 1.

¹ prof. dr hab. inż., tadeusz.mikulczynski@pwr.wroc.pl

² dr inż. daniel.nowak@pwr.wroc.pl

³ dr inż., rafal.wieclawek@pwr.wroc.pl



Rys. 1. Schemat procedury modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC

3. Modelowanie i programowanie metodą grafpol pracy napędów pneumatycznych.

Zastosowanie metody Grafpol do modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC zostanie zilustrowane na przykładzie modelowania programowania pracy siłowników pneumatycznych.

3.1. Algorytm procesu. Sieci: operacyjna i Grafpol.

Algorytm dyskretnego procesu produkcyjnego reprezentują: sieć operacyjna oraz wyznaczona na jej podstawie sieć Grafpol.

3.1.1. Sieć operacyjna.

Sieć operacyjną stanowi trójka

$$SO = \langle E, W, O \rangle$$

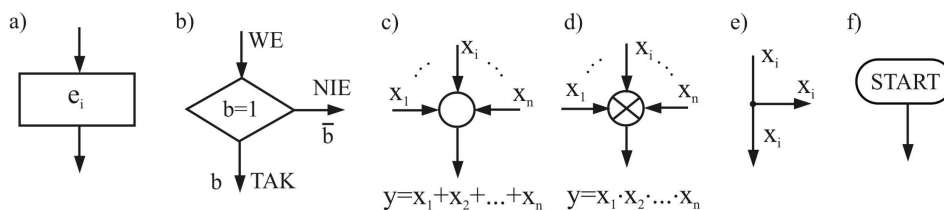
gdzie:

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – skończony, niepusty zbiór etapów elementarnych procesu,

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – skończony, niepusty zbiór warunków logicznych,

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ – skończony zbiór węzłów alternatywy i (lub) koniunkcji.

Na rysunku 2 pokazano symbole graficzne podstawowych elementów sieci operacyjnej.



Rys. 2. Symbole graficzne elementów sieci operacyjnej: klatka operacyjna (a), klatka warunkowa (b), węzeł alternatywy (c), węzeł koniunkcji (d), rozgałęzienie sygnału (e), klatka START(f)

Podstawę do budowy sieci operacyjnej stanowi schemat funkcjonalny procesu, jego dekompozycja na etapy elementarne oraz opis słowny algorytmu procesu.

Zastosowanie sieci operacyjnej do modelowania algorytmów procesów dyskretnych zilustrowano na przykładzie modelowania algorytmu pracy dwóch napędów pneumatycznych S1 i S2.

Przykład

Na rysunku 3a pokazano schemat funkcjonalny dwóch napędów pneumatycznych. Proces stanowi sekwencja etapów elementarnych E1-E4:
ETAP E1: * wysuw tłoczyska siłownika S1*

Realizacja: S1+ (EZ1+)

Sygnalizacja: WP2=1

ETAP E2: * wysuw tłoczyska siłownika S2*

Realizacja: S2+ (EZ2+)

Sygnalizacja: WP4=1

ETAP E3: * wsuw tłoczyska siłownika S1*

Realizacja: S1- (EZ1-)

Sygnalizacja: WP1=1

ETAP E4: * wsuw tłoczyska siłownika S2*

Realizacja: S2- (EZ2-)

Sygnalizacja: WP3=1

Napędy pneumatyczne powinny pracować cyklicznie.

Na rysunku 3b pokazano sieć operacyjną, przedstawiającą algorytm pracy napędów pneumatycznych.

3.1.2. Sieć Grafpol GP.

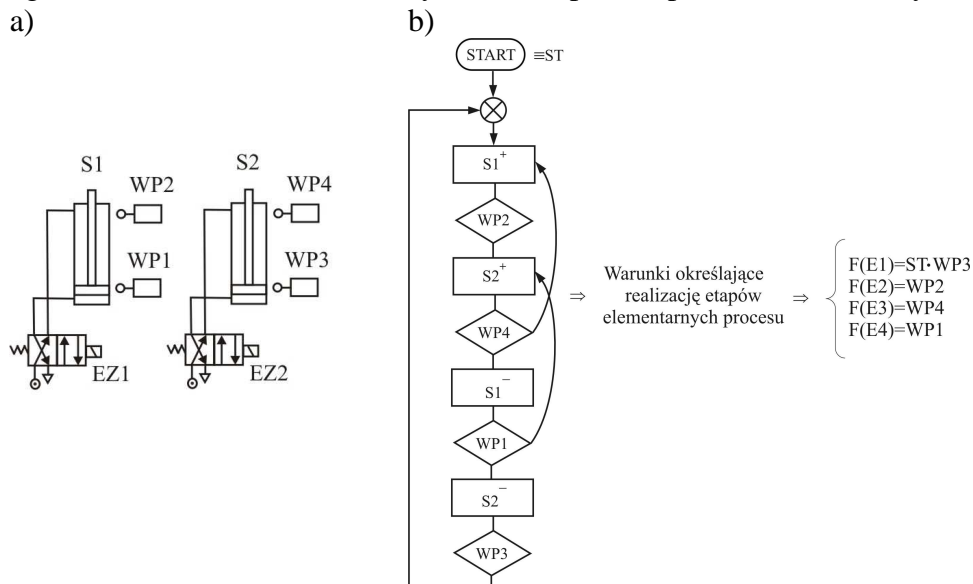
Sieć Grafpol GP stanowi trójka

$$GP = \langle E, T, K \rangle$$

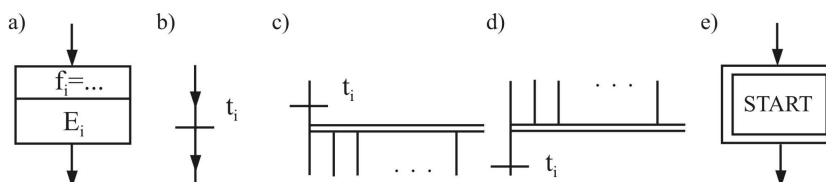
gdzie:

$E = \{e1, e2, \dots, ee\}$ – skończony, niepusty zbiór miejsc, które reprezentują etapy elementarne, $T = \{t1, t2, \dots, tt\}$ – skończony, niepusty zbiór tranzycji (przejęć), które reprezentują warunki logiczne realizacji etapów elementarnych, K – odcinków zorientowanych.

Symbole graficzne stosowane do budowy sieci Grafpol GP przedstawiono na rys. 4.



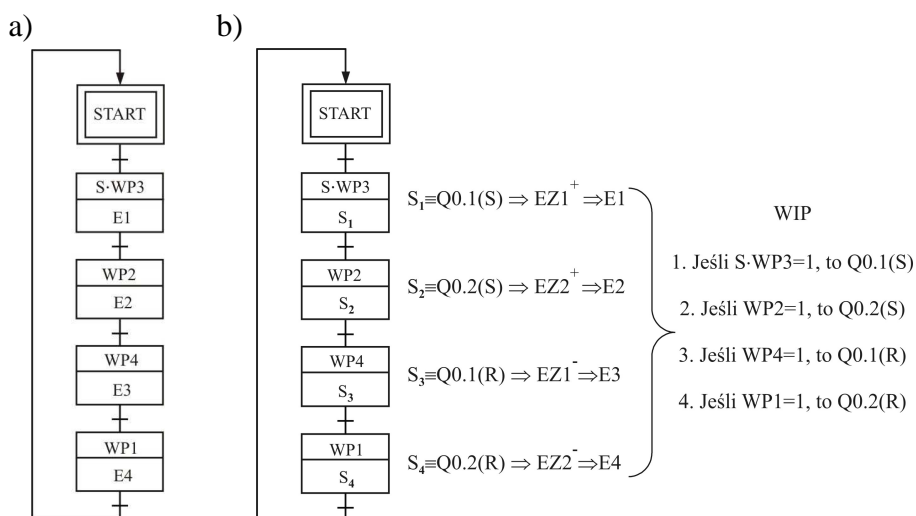
Rys. 3. Schemat funkcjonalny dwóch napędów pneumatycznych (a), sieć operacyjna – algorytm pracy napędów pneumatycznych i warunki realizacji etapów elementarnych (b)



Rys. 4. Symbole graficzne elementów sieci Grafpol: miejsca (etapy elementarne) (a), tranzycji (b), tranzycji określającej rozpoczęcie realizacji procedury współbieżnej (c), tranzycji reprezentującej zakończenie realizacji procedury współbieżnej (d), etapu START (e)

Przykład

Na rysunku 5a zamieszczono sieć Grafpol GP reprezentującą algorytm pracy napędów pneumatycznych.



Rys. 5. Sieć Grafpol GP (a), algorytm sterowania – sieć Grafpol GS – pracą napędów pneumatycznych i WIP programu użytkowego PLC (b)

3.2 Algorytm sterowania – sieć Grafpol GS.

Algorytm sterowania wyznacza się na podstawie transformacji algorytmu procesu. Transformacja algorytmu procesu polega na odwzorowaniu zbioru etapów sieci Grafpol GP zbiorem zmiennych wyjściowych sterownika PLC, których sygnały wyjściowe sterują realizacją etapów elementarnych.

Algorytm sterowania – sieć Grafpol GS – stanowi trójka

$$GS = \langle S, T, K \rangle$$

gdzie:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_s\}$ – skończony, niepusty zbiór miejsc zwanych krokami (ang. steps).

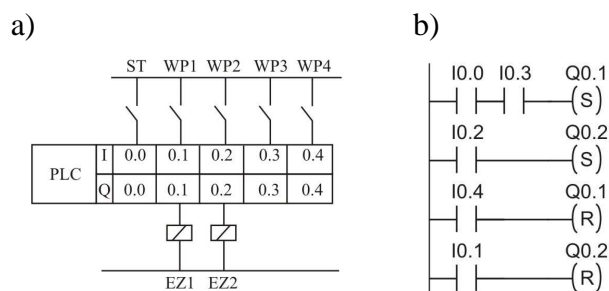
Kroki reprezentują sygnały wyjściowe PLC.

T, K – zbiory równoważne zbiorom T, K sieci Grafpol GP.

Przykład

Na rysunku 5b zamieszczono algorytm sterowania - sieć Grafpol GS – pracą napędów pneumatycznych oraz wykaz instrukcji programu, które powinien wykonywać sterownik PLC, aby przebieg pracy napędów pneumatycznych był zgodny z założonym algorytmem.

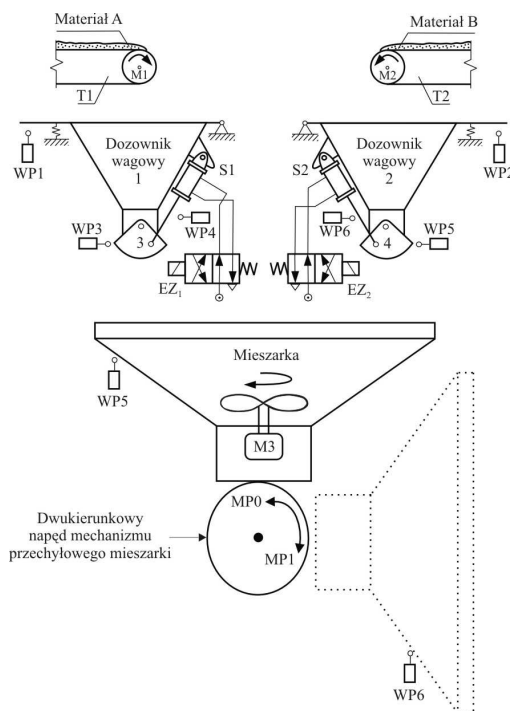
Na rysunku 6a pokazano schemat sygnałów WE/WY (I/O) PLC, natomiast na rys. 6b przedstawiono program użytkowy PLC, napisany w języku LD.



Rys. 6. Schemat sygnałów WE/WY PLC (a) oraz program użytkowy PLC (b)

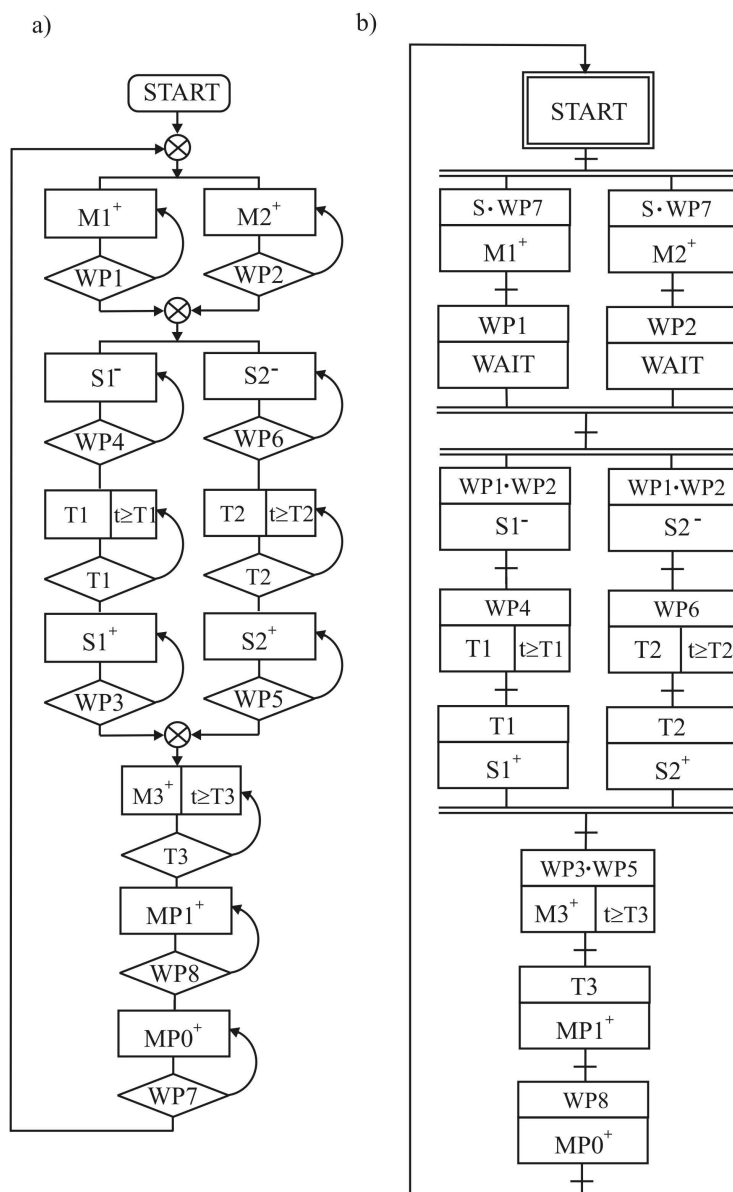
4. Modelowanie i programowanie procedur złożonych.

Zasady modelowania i programowania procedur złożonych – np. sekwencyjno-czasowych, współbieżnych – algorytmów procesów dyskretnych, zostaną zilustrowane na przykładzie modelowania i programowania procesu mieszania materiałów sypkich. Schemat funkcjonalny procesu mieszania materiałów sypkich został przedstawiony na rys. 7.



Rys. 7. Schemat funkcjonalny procesu mieszania materiałów sypkich

Na rysunku 8a zamieszczono algorytm, sieć operacyjną, procesu mieszania materiałów sypkich, natomiast na rys. 8b pokazano sieć Grafpol GP.



Rys. 8. Algorytm procesu mieszania materiałów sypkich, sieci: operacyjna (a) Grafpol GP (b)

Na rysunku 9 pokazano algorytm sterowania – sieć Grafpol GS – procesem mieszania materiałów sypkich, który został wyznaczony na podstawie transformacji algorytmu procesu – sieci Grafpol GP, oraz WIP użytkownika sterownika PLC.

Program użytkowy PLC, napisany w języku LD na podstawie WIP, sterujący procesem mieszania materiałów sypkich, zamieszczono na rys. 10.

5. Zakończenie.

Zaprezentowano metodę Grafpol modelowania dyskretnych procesów produkcyjnych i programowania sterowników PLC. Teoretyczne podstawy metody Grafpol stanowi formalizm sieci działań (ang. flow-diagram) stosowanych do modelowania algorytmów programów komputerowych. Wprowadzone do sieci działań nowe elementy (węzły operacji logicznych) oraz modyfikacje umożliwiły opracowanie uniwersalnego formalizmu modelowania algorytmów dyskretnych procesów produkcyjnych. Stanowi to o dużej walecie sieci operacyjnej. Elementy sieci operacyjnej umożliwiają zapis etapów elementarnych procesów dyskretnych i dowolnie złożonych funkcji logicznych, określających warunki logiczne realizacji etapów elementarnych.

W metodzie Grafpol do reprezentacji algorytmów: procesu i sterowania przyjęto sieć, która przedstawia wymienione algorytmy w sposób graficzny oraz reprezentuje warunki logiczne realizacji etapów elementarnych w sposób analityczny. Sieć Grafpol jest wyznaczana na podstawie sieci operacyjnej.

Metoda Grafpol pozwala na modelowanie dowolnie złożonych procedur algorytmów procesów dyskretnych, np. sekwencyjnych, czasowych, współbieżnych oraz mieszanych, a zatem może być stosowana do automatyzacji nowoczesnych systemów wytwórczych.

6. Literatura.

1. T. Mikulczyński, R. Więclawek: Zastosowanie metody Grafpol do programowania sterowników PLC. *Pomiary Autom. Robot.* 2000, R. 4, nr 10
2. T. Mikulczyński, Z. Samsonowicz, R. Więclawek, R. Wikiera: Zastosowanie metod MTS i Grafpol do programowania sterowników PLC na przykładzie wybranego procesu technologicznego. *Konferencja Automation '97*, T.2, Warszawa 1997
3. T. Mikulczyński, R. Więclawek: Zastosowanie metody Grafpol do syntezy układów sterowania napędami pneumatycznymi. *Hydraul. Pneum.* 2002, R. 22, nr 3

MONITORING MASZYN I LINII PRODUKCYJNYCH W KOMPUTEROWYM WSPOMAGANIU PRODUKCJI

*Piotr WOŹNIAK¹,
Paweł NASKRĘT²,
Waldemar BOJANOWSKI³,
P.P.P Technical,
Nowa Sól*

1. Wstęp.

W dzisiejszych czasach zarządzanie przedsiębiorstwem lub produkcją do swojego prawidłowego i optymalnego funkcjonowania potrzebuje szeregu istotnych danych. Dane te są związane z dostępnością jak i stanem maszyn i urządzeń znajdujących się w danej firmie.

Zbieranie na bieżąco tego typu danych umożliwiają nowoczesne przemysłowe systemy informatyczne.

Pierwsze przypadki zastosowania informatyki w zarządzaniu przedsiębiorstwem miały miejsce w latach sześćdziesiątych. Koszt zakupu i eksploatacji stosowanych wówczas systemów i związane z nimi wymagania natury technicznej ograniczały zasięg ich wykorzystania do dużych firm. Uzyskiwane informacje dotyczyły jedynie zdarzeń przeszłych, i z tego powodu nie mogły być wykorzystywane do bieżącego zarządzania firmą czy też produkcją. Przełom nastąpił w latach 80-tych, gdy pojawiły się mikrokomputery, spadły ceny sprzętu i zmniejszyły się wymagania związane z jego eksploatacją. Poziom funkcjonalności dostępnego oprogramowania umożliwił uzyskiwanie realnych danych w sferze planowania działalności gospodarczej, a nie jak dotychczas tylko automatyzację powtarzalnych czynności administracyjnych. Technologia komputerowego wspomaganie zarządzania stała się ogólnie dostępna. [1]

Stopień złożoności współczesnych systemów wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem lub produkcją zależy od liczby obejmowanych dziedzin tematycznych, liczby spełnianych funkcji i stopnia zautomatyzowania procesu decyzyjnego.

Podstawowymi funkcjami systemu informatycznego zarządzania są:

- ewidencjonowanie danych planistycznych,
- planowanie i prognozowanie,
- kontrola (ustalenie odchyleń od norm, zadań, planu),
- wieloprzekrojowa analiza, wspomaganie podejmowania decyzji,
- sterowanie i monitoring,
- sprawozdawczość.

Jedną z tych funkcji, jaką spełniają w dzisiejszych czasach systemy informatyczne w zarządzaniu produkcją, jest: *sterowanie i monitoring*.

Czym jest sterowanie i monitoring?

STEROWANIE jest to inaczej regulacja, która polega na takim oddziaływaniu na obiekt sterowany, za pomocą sygnałów wejściowych, aby jego sygnały wyjściowe osiągnęły pożądaną wartość.

MONITORING - oznacza regularne jakościowe i ilościowe pomiary zjawiska lub obecności substancji, przeprowadzane przez z góry określony czas.

¹ mgr inż.

² inż.

³ inż.

Oprogramowanie komputerowe do sterowania i monitoringu produkcji pozwala obserwować na panelu operatorskim lub ekranie monitora cały proces wytwarzania produktu, także na bieżąco śledzić pracę maszyn oraz ich parametrów. Najważniejszą cechą tych systemów jest bieżąca automatyczna analiza warunków niedopuszczalnych i szybkie dostarczenie tych informacji, w postaci alarmów, osobom bezpośrednio zaangażowanym w produkcję.

Ze względu na wysokie wymagania niezawodnościowe stawiane systemom komputerowej obsługi procesów technologicznych i eksperymentów badawczych oraz systemom zarządzania informacją procesową, są one zaliczane do grupy zastosowań specjalnych. Systemy takie, powszechnie określane jako SCADA, składają się z elementów odpowiedzialnych za kontakt z procesem oraz elementów odpowiedzialnych za wizualizację, przetwarzanie i archiwizację informacji procesowej (stacje i panele operatorskie) [2].

2. Charakterystyka systemu SCADA.

SCADA (ang. Supervisory Control and Data Acquisition) jest to oprogramowanie wykorzystywane do zbierania danych ze sterowanego procesu i przesyłające je do centralnego komputera, w którym są wykorzystywane do zarządzania i sterowania. Oprogramowanie SCADA cechuje się tzw. skalowalnością, tj. możliwością rozbudowy sprzętowej i programowej bez konieczności dokonywania istotnych zmian w istniejącej strukturze (urządzeń i programu). Do podstawowych funkcji oprogramowania SCADA należą: wizualizacja pracy procesu na obrazie synoptycznym, wybór i zadawanie parametrów technologicznych, sterowanie automatyczne, zdalne sterowanie węzłami technologicznymi, zezwalanie na sterowanie remontowe, alarmowanie o awariach i przekroczeniach parametrów technologicznych z podpowiedziami dla operatora. [3]

Systemy SCADA dostępne są jako gotowe rozwiązania, a nie jak większość systemów do zarządzania produkcją pod kątem administracyjnym, które to opracowywane są pod konkretnego klienta i jego potrzeby. Oznacza to ich uniwersalność do współpracy i obsługi dowolnego procesu technologicznego. Przy stosowaniu systemów typu SCADA ważne jest, odpowiednie dopasowanie optymalnej sprzętowej struktury automatyki jak i odpowiedniego skonfigurowania oprogramowania. Jakość konfiguracji wpływa na realizm i jednoznaczność komputerowej wizualizacji procesu oraz na prawidłową odpowiedź systemu na zdarzenia występujące w kontrolowanym przez system procesie.

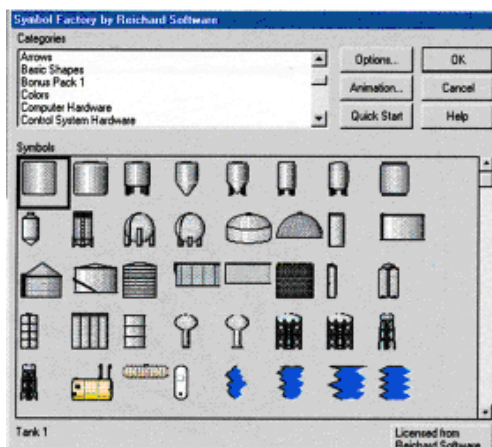
3. Funkcje systemu umożliwiającego sterowanie i monitoring procesu technologicznego.

3.1 Synoptyka (wizualizacja) procesu.

Najpraktyczniejszym i zarazem najbardziej jednoznacznym sposobem elektronicznej wizualizacji aktualnego stanu procesu jest wyświetlenie na ekranie panela operatorskiego lub ekranie monitora graficznej, animowanej mapy sygnałów na tle schematu technologicznego.

W celu realistycznego przedstawienia procesu na ekranie monitora lub panelu operatorskiego stosuje się informacje w postaci koloru, trzeciego wymiaru, światłocienia a nawet rzeczywistych zdjęć poszczególnych maszyn lub urządzeń. Podczas tworzenia aplikacji do wizualizacji danego procesu należy pamiętać, by tworzone ekrany były czytelne i jednoznaczne, ograniczając ilość wyświetlanych informacji do niezbędnego minimum.

Gotowe systemy typu SCADA posiadają już gotowe biblioteki symboli aparaturowych (rys.1) co znacznie upraszcza i przyspiesza proces tworzenia synoptyki procesowej.



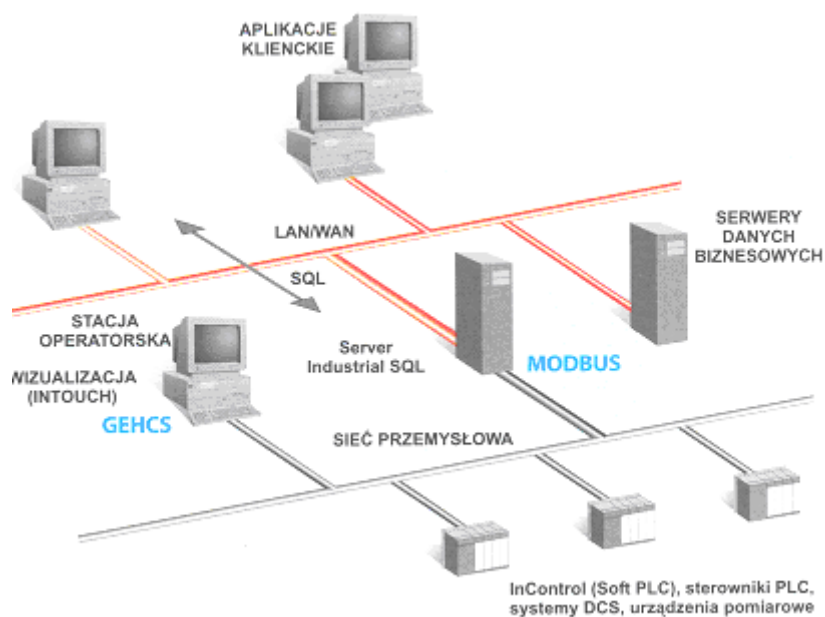
Rys. 1 Gotowe obiekty graficzne w bibliotece symboli

3.2 Obliczenia w procesach wizualizacji.

W nowoczesnym systemie automatyki podstawowe informacje o procesie dostarczają pomiary natomiast aplikacja SCADA znacząco wzbogaca tę informację. Przetwarzanie to, polega na wyznaczeniu wartości zmiennych wyliczalnych na podstawie m.in. wartości pochodzących z pomiarów. Zastosowanie zmiennych wyliczalnych może przyczynić się do obniżenia kosztów systemu automatyki, gdyż pozwala na rezygnację z niektórych pomiarów lub zastąpienie ich pomiarami prostszymi.

3.3 Struktura skonfigurowanego systemu.

Obecny stan techniki transmisji danych umożliwia dowolne rozproszenie poszczególnych funkcji systemu. W większości systemach automatyki wykonywanie pomiarów wykonywane jest przez komputer lub sterownik typu PLC, przetwarzanie oraz wizualizacja danych przez drugi komputer lub przystosowany do tego panel operatorski, natomiast cała archiwizacja danych może być wykonywana na serwerze (trzeci komputer). Przykład takiej realizacji jest przedstawiony na (rys.2). Powszechne jest stosowanie wielu stacji nadzoru operatorskiego, zorganizowanych hierarchicznie.



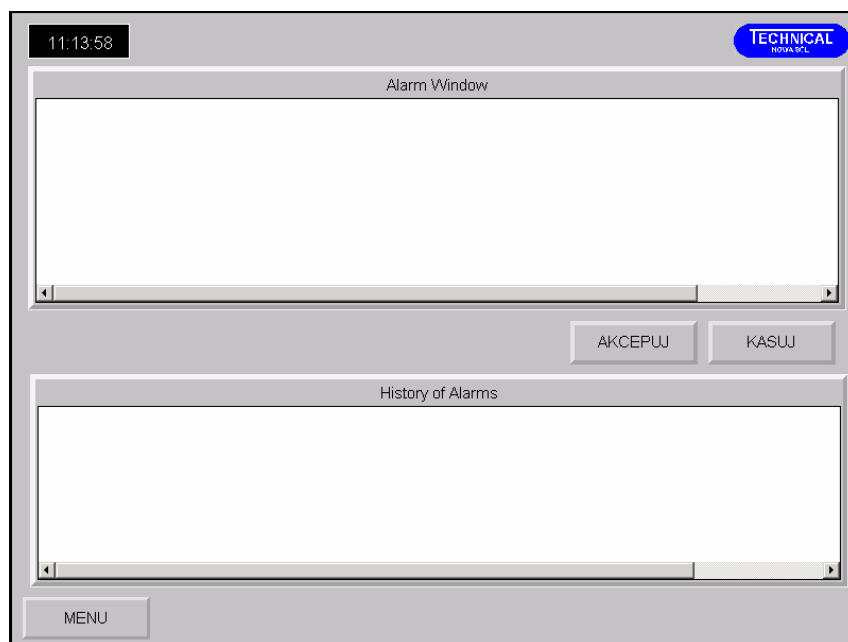
Rys. 2 Przykładowa struktura systemu

3.4 Listy zdarzeń (alarmy).

W aplikacjach wizualizacyjnych alarmy służą do sygnalizowania niebezpiecznych stanów pracy urządzenia. Różnego rodzaju systemy typu SCADA umożliwiają wyświetlanie dwóch typów alarmów - historycznych i bieżących (rys. 3). Pierwsze z nich są przechowywane do czasu ich skasowania, zostają zapamiętane nawet po zniknięciu przyczyn, które je wywołały. Druga grupa alarmów - alarmy bieżące są widoczne tylko w czasie, gdy trwają stany je wywołujące. Każdy z tych alarmów na liście opisany jest charakterystycznymi parametrami takimi jak:

- identyfikator,
- typ zmiennej,
- wartość zmiennej w momencie wystąpienia alarmu,
- data i czas wystąpienia zdarzenia.

Bezpośrednia i szczegółowa analiza zdarzeń umożliwia operatorowi podejmowanie właściwych decyzji.

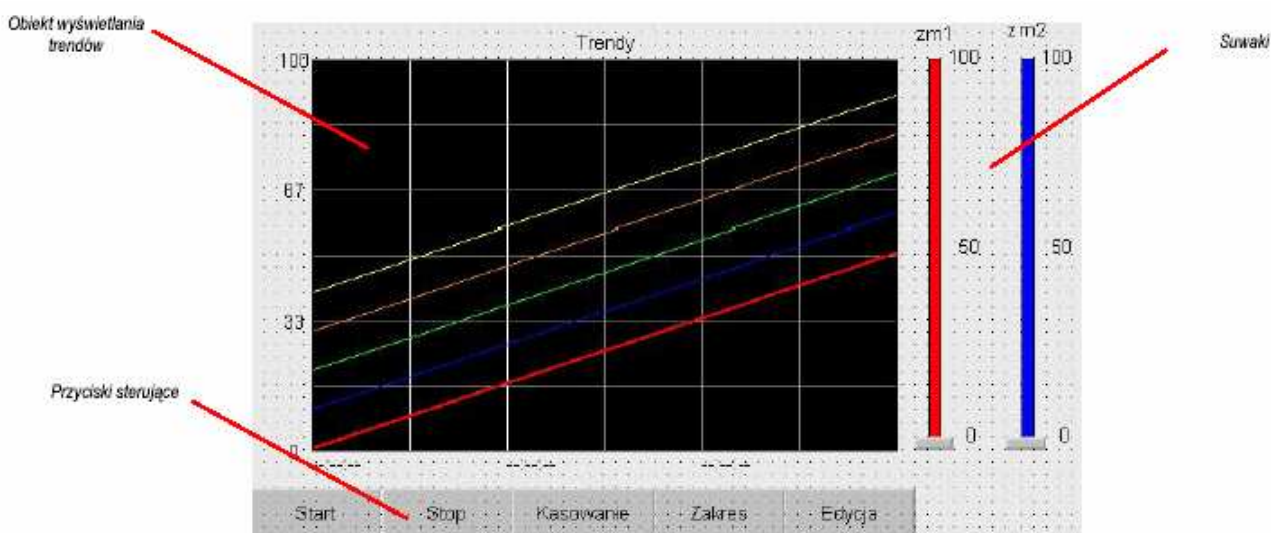


Rys. 3 Okno do wyświetlania alarmów bieżących i historycznych.

3.5 Trendy.

Trendy i grafy słupkowe (rys.4) umożliwiają sprawniejsze i bardziej przejrzyste przekazanie informacji o relacji pomiędzy dwoma lub kilkoma wybranymi zmiennymi procesowymi.

Pozwala to m.in. na lepszą diagnostykę procesu i wykrycie nieprawidłowości (np. oddziaływanie na siebie pętli regulacji). Należy zadbać o to, żeby nazwa i identyfikator grupy były odpowiednie do jej charakteru i składu. Opracowanie składu grup jest pożyteczne zarówno do obserwacji procesu w czasie rzeczywistym, jak i na etapie analiz po-procesowych oraz rearchiwizacji danych procesowych. [4]



Rys. 4 Ekran do wyświetlania trendów

3.6 Archiwizacja danych.

Przetworzone dane procesowe są okresowo archiwizowane (rejestrowane) w plikach dyskowych. Okres archiwizacji, wynoszący typowo od 1 do 15 minut, powinien być dobrany do specyfiki procesu. Stosowanie krótkich okresów archiwizacji w procesach

wolnozmiennych powoduje powstawanie informacji nadmiarowej. Z kolei zbyt rzadka archiwizacja może prowadzić do bezpowrotnej utraty istotnych danych procesowych. Archiwum procesowe ma postać ciągu tablic zawierających stany wszystkich zmiennych oraz sygnatury czasu pobrania próbek. Zapis archiwów realizowany jest najczęściej przez specjalizowany komputer nazywany serwerem plików. [4]

4. Przykładowa aplikacja.

W ramach planu inwestycyjnego, prowadzonego od dwóch lat przez jedną z renomowanych firm w Polsce z kapitałem zagranicznym, zajmującej się wytwarzaniem urządzeń wentylacyjnych, zaistniała potrzeba zautomatyzowania procesu odlewania poszczególnych części wentylatorów ze stopu aluminium. Celem modernizacji części odlewni było zaprojektowanie i stworzenie aplikacji pozwalającej na całościowe sterowanie, kontrolowanie i monitorowanie dwóch procesów:

- proces przygotowania (regeneracji) masy formierskiej,
- proces przygotowania form odlewniczych.

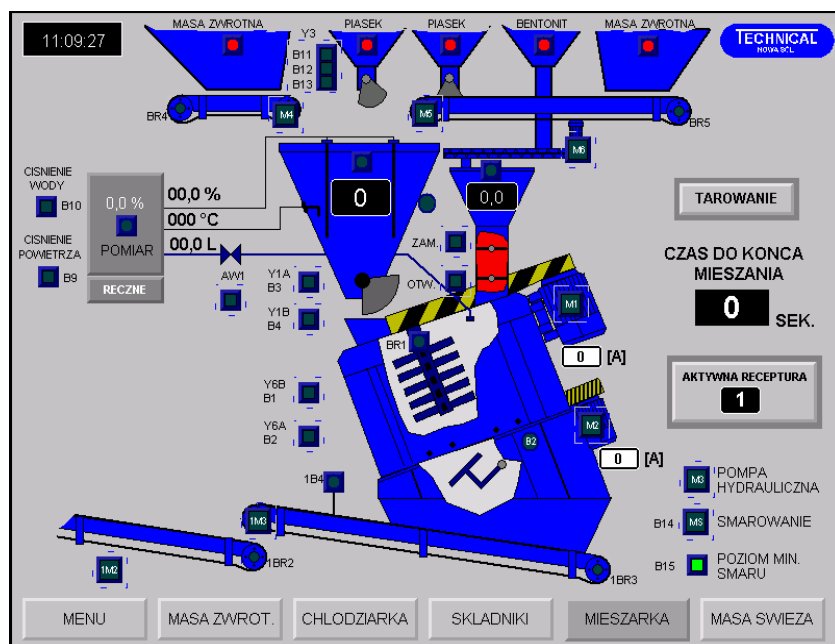
Pierwszy z tych procesów całościowo wykonywany jest na zespole maszyn takich jak: mieszarka, chłodziarka, sito obrotowe, przenośniki taśmowe, oraz zespół zbiorników, zwanym stacją przerobu masy formierskiej. Proces przygotowania form odlewniczych realizowany jest za pomocą automatycznej linii formierskiej. Proces przygotowania form składa się z następujących czynności:

- formowanie półformy dolnej i górnej,
- wykonanie otworu wlewowego i przelewowego w górnej półformie,
- złożenie formy,
- transport formy na stanowisko zalewania,
- chłodzenie zalanych metalem form,
- wybijanie odlewu z formy,
- rozdzielenie formy.

Sterowanie powyżej wymienionymi procesami zostało wykonane na dwóch osobnych swobodnie programowalnych sterownikach PLC firmy GE Fanuc. Proces przygotowania masy został wykonany na sterowniku typu GE Fanuc 90-30. Natomiast proces sterowania linią formierską wykorzystuje rozproszony układ o budowie modułowej jakim jest VersaPoint oraz układ centralny na bazie sterownika 90-30. Oba systemy za pomocą sieci ethernet połączone są do panelu graficznego typu Quickpanel umieszczonego na głównym pulpicie sterowniczym. Panel jest wyposażony w system operacyjny Windows CE oraz kolorowy 12 calowy, dotykowy ekran. Na panelu zainstalowane jest licencjonowane oprogramowanie umożliwiające obsługę aplikacji typu SCADA.

Proces przygotowania masy formierskiej polega na transporcie za pomocą zespołu przenośników taśmowych oraz przenośników kubełkowych (elewatorów) masy zwrotnej do zbiorników głównych mieszarki. Podczas transportu masa zostaje poddana procesowi oczyszczania z kawałków metalu w sicie obrotowym. Następnie wykonywany jest pomiar temperatury masy, chłodzenie i nawilżanie wstępne w chłodziarce fluidyzacyjnej. Ochłodzona masa trafia do zbiorników głównych umieszczonych nad mieszarką. Mieszarka wyposażona jest w dwie wagi tensometryczne: waga masy zwrotnej i piasku, waga dodatków. W wadze masy zwrotnej zostaje wykonywane naważenie masy zwrotnej, pomiar jej aktualnej temperatury i wilgotności oraz naważenie piasku świeżego. W wadze małej ważony jest składnik dodatków (bentonit lub mieszanka). Naważone składniki wpadają do mieszarki gdzie, następuje mieszanie wszystkich dodatków oraz dozowanie wody. Po zakończonym okresie mieszania zregenerowaną masę za pomocą przenośników

taśmowych transportuje się w zależności od zapotrzebowania do zbiornika formierki linii automatycznej lub zbiornika formiarki ręcznej.



Rys. 5 Ekran wizualizacyjny mieszarki

Całym procesem operator może sterować za pomocą zainstalowanego panelu operatorskiego. Na poszczególnych ekranach panelu przedstawiony jest opisany proces technologiczny. Za pomocą systemu sterowania wykonywana jest kontrola prawidłowości pracy poszczególnych maszyn i urządzeń biorących udział w procesie. Na panelu znajdują się przyciski do załączenia poszczególnych napędów oraz przedstawiony w sposób graficzny ich aktualny stan pracy. Na jednym z ekranów panelu umieszczone są stany alarmowe. W procesie przygotowania masy najistotniejszą sprawą jest, by przygotowywana masa posiadała określone parametry zgodne z wybraną przez operatora recepturą. Główne założenia jakie zostały osiągnięte przy modernizacji stacji przygotowania masy to:

- uzyskanie określonych parametrów masy zgodnie z recepturą.
- skrócenie czasu przygotowania masy świeżej,
- sterowanie całym procesem z jednego miejsca,
- wizualizacja pracy poszczególnych maszyn biorących udział w procesie,
- szybka lokalizacja wyłączeń awaryjnych,
- kontrola i informacja o wyłączeniach remontowych,
- rejestrowanie zużytych materiałów do produkcji masy formierskiej,
- obniżenie energochłonności,
- samokontrola stanów awaryjnych,
- możliwość wykonywania masy w trybie cyklicznym,
- kontrola napełnienia zbiorników ze składnikami,
- możliwość modyfikacji receptur.

5. Podsumowanie.

Dzięki obiektywnej ocenie przebiegu procesu, możliwa jest szybka diagnostyka nieprawidłowości technologicznych, awarii i ich przyczyn. Podnosi to zarówno bezpieczeństwo użytkownika obiektu, jak też minimalizuje kosztowne przestoje. Bieżące

i po-procesowe statystyki trybologiczne pozwalają na prognozowanie zużycia aparatury oraz racjonalne planowanie remontów i zapasów części zamiennych.

Systemy receptur oraz automatycznego załadunku i dozowania zagwarantują powtarzalność procesu. Zmiany jakości surowców lub zaburzenia warunków procesu mogą być niwelowane przez mechanizmy zaawansowanego sterowania, w tym poprzez algorytmy optymalizacyjne.

Ciągła rejestracja przebiegu procesu, w tym sytuacji alarmowych, przekroczeń technologicznych oraz awarii elementów systemu, wymusza na obsłudze zwiększenie odpowiedzialności oraz poprawę jakości pracy.

Możliwość kształtowania uprawnień do ingerencji w proces połączona ze zwiększoną liczbą punktów nadzoru technologicznego, to także zwiększenie bezpieczeństwa procesowego. Ingerencja w proces, realizowana z poziomu klimatyzowanego pomieszczenia, bez potrzeby docierania do miejsc odległych, trudnodostępnych i niebezpiecznych, zwiększa komfort obsługi.

Jednocześnie, naturalny i intuicyjny sposób dostępu do informacji procesowej nie wymaga długiego szkolenia ani szczególnych kwalifikacji informatycznych personelu obsługi, ułatwiając koncentrację szkolenia na problematyce procesowej. [5]

6. Literatura.

1. Abramowicz W. - „Zintegrowane systemy informatyczne”.
2. Rzepka M. – „Zintegrowane systemy zarządzania produkcją”. CHIP nr 11/96
3. Strona internetowa www.automatykaonline.pl
4. Szymczak S. – „Komputerowa obsługa procesów technologicznych”.
5. Chlebus E. – „Technika komputerowa CAx w inżynierii produkcji”.

MONITORING UŻYTECZNEJ PRACY URZĄDZEŃ ODLEWNICZYCH

Eugeniusz ZIÓŁKOWSKI¹
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków

1. Wprowadzenie.

Szczegółowa analiza poboru mocy przez badaną maszynę czy urządzenie odlewnicze, zarówno w aspekcie technologicznym jak i ekonomicznym, jest możliwa wówczas, gdy dysponuje się systemem ciągłego monitoringu poboru mocy czynnej, biernej i całkowitej. Monitorowanie to można zrealizować za pomocą specjalizowanych przyrządów pomiarowych, które stanowią samodzielną jednostkę rejestrującą pobór mocy i/lub energii elektrycznej, albo za pomocą układów pomiarowych połączonych z komputerem.

2. Koncepcja oceny pracy urządzeń odlewniczych.

Jednym z najważniejszych wskaźników oceny efektywnej pracy maszyny lub urządzenia odlewniczego, zasilanego z sieci energetycznej, jest zużycie energii elektrycznej. W przypadku wielu urządzeń przemysłowych istotna jest także dynamika poboru mocy pozornej (całkowitej) oraz poszczególnych składników tej mocy (moc czynna i moc bierna indukcyjna lub pojemnościowa). W celu pełnej analizy efektywnej pracy badanego urządzenia, jest celowe wykonanie systemu monitorującego chwilowe wartości poboru wszystkich składników mocy w czasie rzeczywistym. Wyniki pomiaru poboru mocy w funkcji czasu, z uwzględnieniem kolejnych etapów procesu technologicznego, umożliwią na pełniejszą ocenę, zarówno technologiczną, jak również ekonomiczną i ekologiczną funkcjonowania badanego urządzenia odlewniczego.

Urządzenia odlewnicze zasilane z sieci energetycznej mogą pracować w różnych układach zasilania jedno- lub trójfazowego. W układach trójfazowych wyróżnia się kilka wersji połączeń z siecią energetyczną i dlatego projektowany system musi być na tyle uniwersalny, aby mógł realizować pomiar dla każdego z tych układów. W pracy [1] przedstawiono różne rozwiązania urządzeń pomiarowych służących do pomiaru poboru mocy i zużycia energii elektrycznej, którymi dysponuje Katedra Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni Wydziału Odlewnictwa AGH. Urządzenia te nie umożliwiają rejestracji poboru mocy urządzeń o dużej dynamice, dlatego z tych względów wykonano projekt nowego układu pomiarowego do monitorowania chwilowych wartości poboru mocy. Układ ten realizuje następujące zadania:

- pomiar chwilowych wartości poboru składników mocy czynnej, biernej i pozornej, zarówno w układach zasilania jednofazowego, jak i trójfazowego 3- i 4-przewodowego,
- oddzielenie galwaniczne torów pomiarowych od portów komunikacyjnych komputera,
- przesyłanie wyników do komputera, w którym zainstalowany będzie program do gromadzenia, przetwarzania i wizualizacji tych wyników,

¹ dr inż., Wydział Odlewnictwa AGH

- realizację dużej liczby pomiarów w jednostce czasu o wysokiej dokładności.

W systemie niezbędne jest zastosowanie odpowiednich podzespołów elektronicznych i elektroenergetycznych. Wstępnie założono, iż system będzie się składał z następujących modułów:

- modułu wejściowych obwodów pomiarowych, zawierającego przetworniki napięciowe i prądowe, galwanicznie odprężone od dalszej części układu pomiarowego i komputera,
- mikroprocesorowego modułu przetwarzania mierzonych wielkości,
- modułu transmisji szeregowej (w wybranym standardzie), którego zadaniem jest przesłanie wyników pomiarów do komputera,
- komputera klasy IBM PC wyposażonego w odpowiedni interfejs komunikacyjny wraz z programem komputerowym sterującym całością systemu łącznie z gromadzeniem, przetwarzaniem i wizualizacją wyników pomiarów.

3. Przegląd specjalizowanych układów scalonych do pomiaru chwilowych wartości poboru mocy.

Przed dokonaniem wyboru specjalizowanego układu scalonego, realizującego pomiar mocy pobieranej przez urządzenia odlewnicze należało dobrać elementy wejściowego układu pomiarowego. Po przeprowadzeniu analizy danych technicznych zawartych w katalogach i notach aplikacyjnych oraz uwzględnieniu dostępności i ceny poszczególnych przetworników wielkości elektrycznych wybrano przetworniki napięciowe i prądowe amerykańskiej firmy LEM [2].

Przetworniki napięcia LV-25P umożliwiają pomiar napięcia stałego, przemiennego lub impulsowego w zakresie 10÷500 V, z izolacją galwaniczną. Przetwornik ten pracuje w układzie z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego z analogowym wyjściem prądowym.

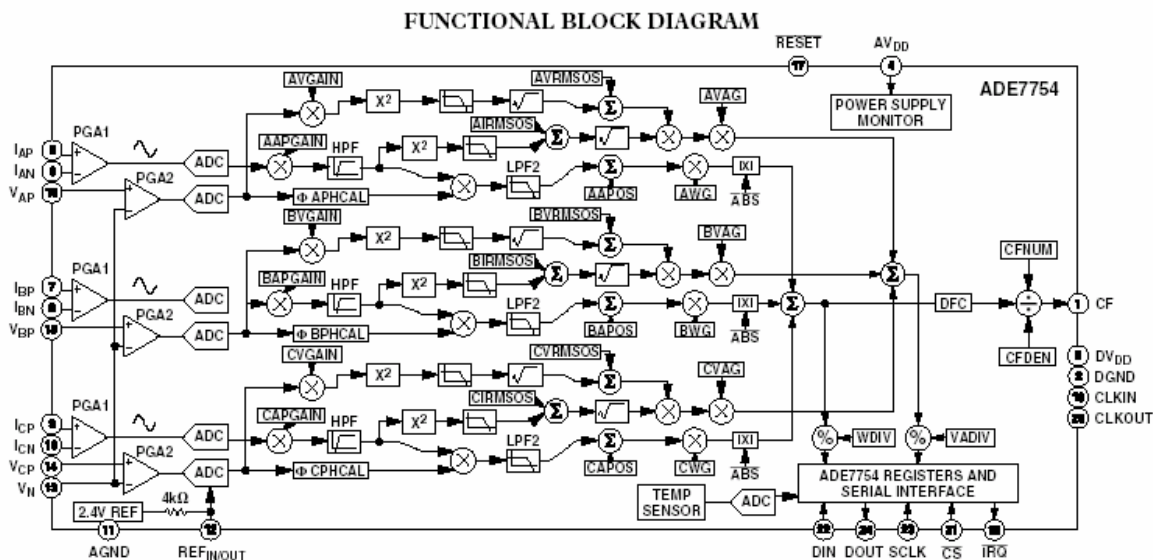
Do pomiaru chwilowych wartości prądu wybrano przetwornik prądowy typu LA-25-NP. Przetwornik ten realizuje pomiar prądu stałego, przemiennego i impulsowego w zakresach pomiarowych do 5, 6, 8, 12 i 25 A z izolacją galwaniczną.

System wejściowych obwodów pomiarowych w projektowanej wersji posiada trzy tory pomiarowe (dla układów trójfazowych), składające się z jednego przetwornika napięciowego LV-25P oraz jednego przetwornika LA-25NP w każdym torze. Wymienione przetworniki wraz z dodatkowymi elementami elektronicznymi są zasilane napięciem stałym ± 15 V.

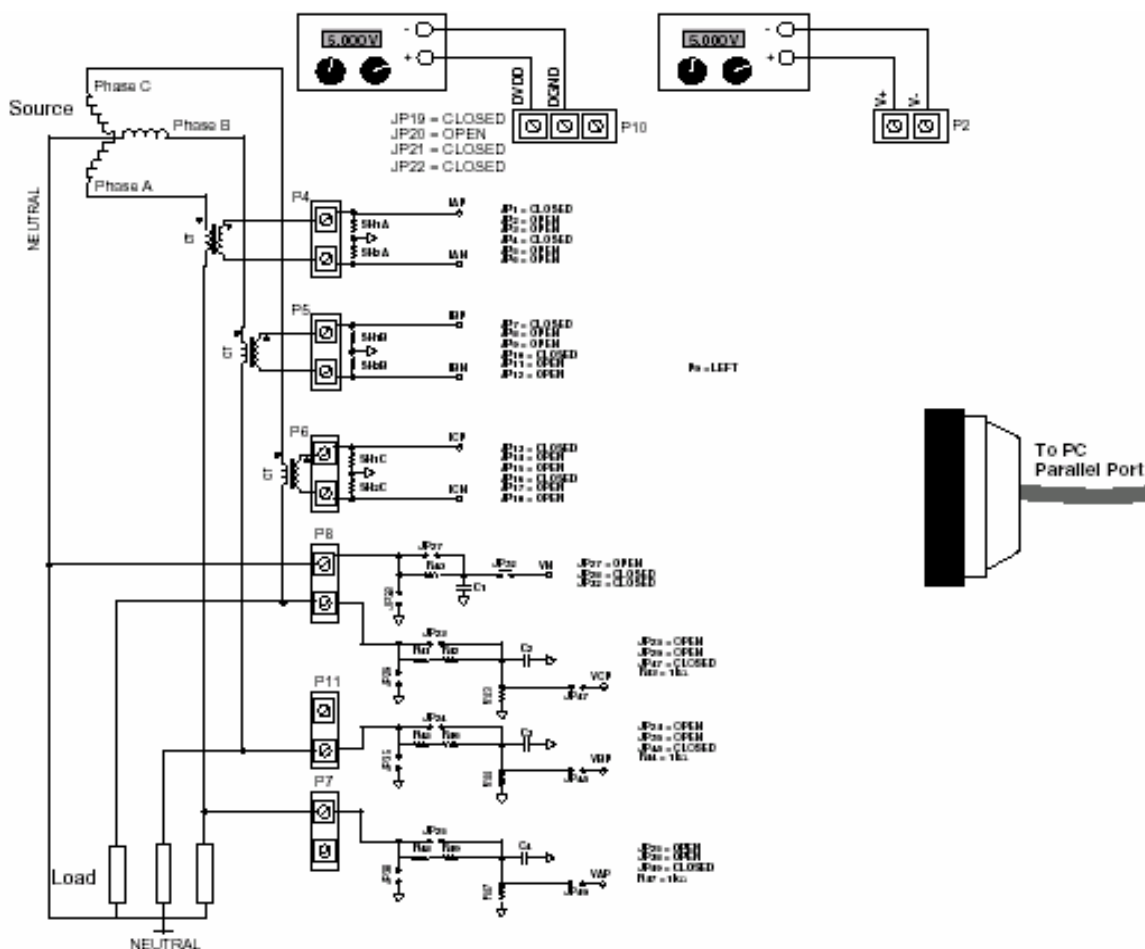
Do realizacji pomiaru wartości chwilowych napięcia i prądu w układach jedno- i trójfazowych można na przykład wybrać specjalizowane układy scalone ADE7754 firmy Analog Devices [3] lub CS5451A firmy Cirrus Logic [4].

Na rysunku 1 przedstawiono strukturę funkcjonalną układu ADE7754.

Jak wynika ze schematu funkcjonalnego (rys. 1), układ ADE7754 posiada sześć 16-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych (3 wejścia napięciowe i 3 prądowe dla poszczególnych faz zasilania). Wszystkie ustawienia wartości poszczególnych rejestrów układu oraz odczyt wartości mierzonych składników mocy są realizowane przez odpowiednio napisany program komputerowy. Na rysunku 2 pokazano schemat aplikacyjny, proponowany przez producenta układu ADE7754.

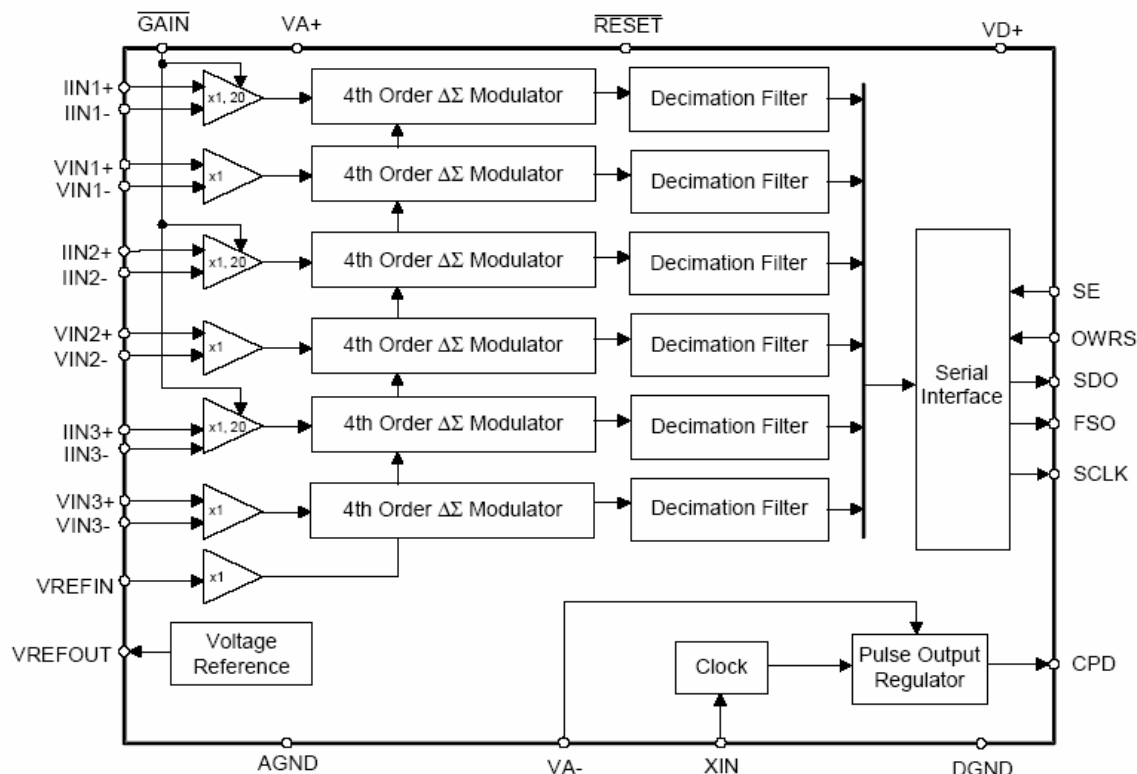


Rys. 1. Schemat funkcjonalny układu scalonego typu ADE7754 [3]



Rys. 2. Schemat aplikacyjny układu scalonego typu ADE7754 [3]

Układ scalony CS5451A jest sześciokanałowym przetwornikiem, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 3. Układ ten posiada wbudowany interfejs szeregowy pozwalający na transmisję danych do mikroprocesora odpowiedzialnego za dalsze przetwarzanie wyników pomiarów. Szczegółowe dane techniczne tego układu są dostępne na stronie internetowej producenta [4].



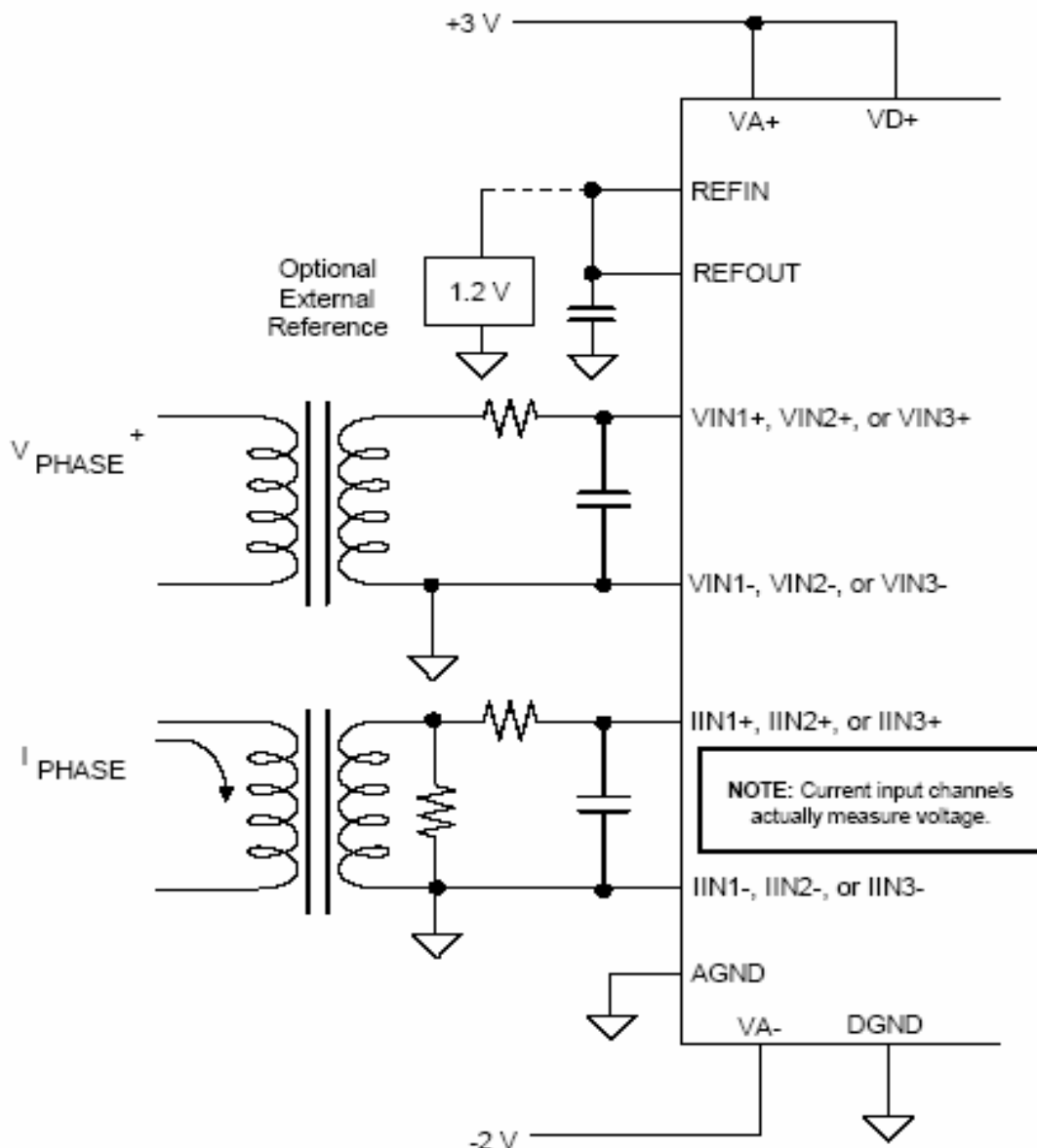
Rys. 3. Schemat blokowy układu CS5451A firmy Cirrus Logic [4]

Na podstawie noty aplikacyjnej [4], na rysunku 4 przedstawiono typowy schemat jednego toru połączeń tego układu z obwodami wejściowymi (przetworniki napięcia i prądu) z zaznaczonym źródłem napięcia referencyjnego i określonymi napięciami zasilania.

Interfejs szeregowy układu CS5451A jest połączony z odpowiednimi portami wybranego mikroprocesora AVR firmy ATMEL. Prace nad rozwiązaniem prototypowym są prowadzone z zastosowaniem mikroprocesora ATmega32 [5], którego podstawowe cechy są następujące:

- 131 rozkazów mikroprocesora,
- maksymalna częstotliwość zegara taktującego 16 MHz,
- 32 KB pamięci Flash (gwarantowane 10000 cykli zapisu/kasowania),
- 1 KB pamięci EEPROM (gwarantowane 100000 cykli zapisu/kasowania),
- 2 KB wewnętrznej pamięci SRAM,
- interfejsy programowania: JTAG (IEEE std. 1149.1) oraz SPI Master/Slave,
- liczniki: dwa 8-bitowe i jeden 16-bitowy,
- licznik czasu rzeczywistego,
- 4 kanały PWM,
- ośmiokanałowy 10-bitowy przetwornik ADC,
- programowalny port USART,
- 32 programowalne wejścia/wyjścia,
- 6 trybów oszczędzania energii.

Zadaniem mikroprocesora AVR w systemie będzie odbieranie informacji z układu CS5451A, a następnie ich przetwarzanie w celu dalszego przesłania poprzez interfejs szeregowy do komputera. W mikroprocesorze przewiduje się także możliwość wprowadzenia wstępnych obliczeń numerycznych oraz przesyłania do podłączonego wyświetlacza LCD wyników tych obliczeń i ewentualnych dodatkowych informacji.



Rys. 4. Typowy schemat połączeń układu CS5451A [4]

Przesłanie z mikroprocesora do komputera wyników pomiarów i ewentualnych wyników obliczeń numerycznych realizuje się poprzez transmisję w wybranym standardzie komunikacyjnym. W opracowywanym systemie monitoringu poboru mocy położono nacisk na jego mobilność. Osiągnąć ją można poprzez zastosowanie komputera typu notebook oraz odpowiednio obudowanego układu z przetwornikami i układem mikroprocesorowym. Etap pierwszy realizacji takiego rozwiązania zakłada wykorzystanie portów USB do komunikacji układu mikroprocesorowego z komputerem. Jeżeli podczas testów rozwiązanie to okaże się mało funkcjonalne, to zostanie zrealizowana transmisja w standardzie RS422.

Realizacja komunikacji mikroprocesora ATmega32 z komputerem będzie polegała na zastosowaniu układu FT245BM firmy Future Technology Devices Intl. Ltd. [6]. Układ ten pozwala na pracę w trybie emulacji portu COM albo na pracę jako typowy port USB. W pierwszym przypadku transmisja może się odbywać z prędkością 300 KB/s, natomiast w drugim z prędkością 1 MB/s. Niezbędne sterowniki do współpracy tego układu scalonego z portem USB komputera są bezpłatne i można je pobrać ze strony producenta układu FT245BM.

4. Wnioski.

Koncepcja oceny efektywności pracy urządzenia odlewniczego jest oparta na analizie całkowitego lub chwilowego poboru mocy przez maszyny i urządzenia odlewnicze. Głównym elementem tego systemu mogą być specjalizowane układy scalone ADE7754 firmy Analog Devices albo CS5451A firmy Cirrus Logic. Zastosowane w tym projekcie przetworniki napięciowe i prądowe firmy LEM umożliwiają uzyskanie wysokiej dokładności pomiarowej wraz z galwanicznym odprężeniem układu mikroprocesorowego i komputera od linii zasilającej badane urządzenie.

System pomiaru poboru mocy może zostać zainstalowane wewnątrz szafy sterowniczej urządzenia odlewniczego bądź w postaci mobilnej, aby możliwe było sprawne wykonywanie badań różnych maszyn odlewniczych w warunkach odlewni, z uwzględnieniem różnych standardów trójfazowego układu zasilania badanego urządzenia, z jednoczesnym zapewnieniem bezpiecznej obsługi tego systemu.

Wdrożony system pomiarowy pozwala na szczegółową ocenę pracy stosowanego urządzenia odlewniczego, zarówno w aspekcie technologicznym, jak i ekonomicznym.

5. Literatura.

1. Wrona R., Ziółkowski E.: Koncepcja systemu monitoringu chwilowego poboru mocy przez maszyny i urządzenia odlewnicze. Mat. XXIX Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2005. Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków, 2005, s. 119÷124.
2. www.lemusa.com
3. www.analog.com
4. www.cirrus.com
5. www.atmel.com
6. www.ftdichip.com

PARAMETRY STRUMIENIA POWIETRZA W URZĄDZENIACH WIBROFLUIDYZACYJNYCH

Aleksander FEDORYSZYN¹,
Józef DAŃKO²,
Krzysztof SMYKSY³,
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków

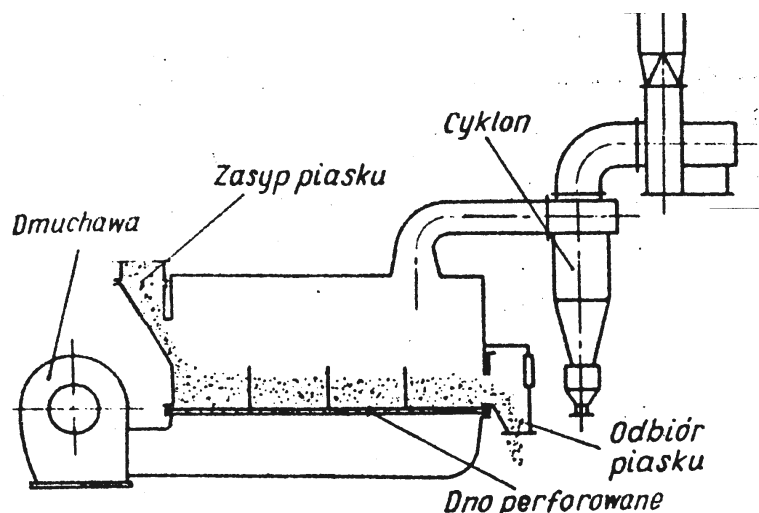
1. Wprowadzenie.

Aktualna oferta producentów maszyn i urządzeń odlewniczych sprzyja coraz powszechniejszemu stosowaniu chłodziarek masy, w których procesy upłynnienia masy zachodzą w wyniku działania wibrofluidyzacji [16].

Asortyment tradycyjnych urządzeń do chłodzenia masy używanej, obiegowej jest wzbogacany przez wibrofluidyzacyjne: uniwersalne separatory zanieczyszczeń masy, klasyfikatory oraz podajniki i przenośniki materiałów ziarnistych [3,14].

Pomimo tego, że procesy fluidyzacji i wibrofluidyzacji są znane od dziesiątków lat, to pojawiają się nowe, stale doskonalone, w miarę rozwoju techniki, technologii i mechanizacji, ich aplikacje w rozwiązaniach przemysłowych.

Pierwsze, prototypowe urządzenia realizowały klasyczny proces fluidyzacji w zastosowaniu do suszenia i chłodzenia piasku (rys.1.) oraz do chłodzenia fluidyzacyjnego masy formierskiej [1÷4,8,12,14]. Wymienione urządzenia były projektowane przez Prodlaw O/Kraków, a wykonywane przez PPiMUO Pemod w Myślenicach.



Rys.1. Schemat chłodziarki fluidyzacyjnej piasku CHP 6 [14]

¹ dr hab.inż.,prof. nadzw. e-mail: alfa@agh.edu.pl

² prof. dr hab. inż., e-mail: jd@agh.edu.pl

³ dr inż., e-mail: ksmysy@agh.edu.pl

Badania prototypów urządzeń fluidyzacyjnych, prowadzone przez zespół pracowników Wydziału Odlewnictwa AGH, przyczyniły się do szeregu ulepszeń w konstrukcji i eksploatacji urządzeń fluidyzacyjnych, a także do opracowania oryginalnych rozwiązań urządzeń do separacji fluidyzacyjnej i wibrofluidyzacyjnej [3]. W ramach realizowanej współpracy opracowano metodykę doboru parametrów aerodynamicznych i przepływowych projektowanych zespołów, wykonywano badania podstawowe, sporządzano charakterystyki wydajnościowe oraz bilanse wymiany masy i ciepła [2,4,12,19].

Doświadczenia nabyte podczas realizacji omawianych prac wykorzystano w zrealizowanych badaniach chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CWFm 3510 [6,9].

Podane dalej wnioski i uogólnienia mogą być również przydatne przy projektowaniu i eksploatacji innych urządzeń fluidyzacyjnych i wibrofluidyzacyjnych.

2. Parametry charakteryzujące pracę chłodziarek wibrofluidyzacyjnych.

Istotną cechą urządzeń wibrofluidyzacyjnych, stosowanych np. do chłodzenia masy używanej jest krzyżowy przepływ strumieni masy i powietrza oraz współzależność parametrów decydujących zarówno o przepływie masy wzdłuż dystrybutora powietrza, jak i o efektach realizowanej operacji chłodzenia, zwłaszcza w aspekcie upłynnienia i rozwinięcia powierzchni materiału obrabianego fluidyzacyjnie.

W przypadku chłodziarek istnieje konieczność rozdzielenia przebiegu realizowanych procesów przez wyraźne zdefiniowanie funkcji każdego z nich. Postuluje się, aby strumień powietrza jako czynnik fluidyzujący był wykorzystywany wyłącznie w procesie wymiany ciepła. Transport warstw masy w obrębie urządzenia powinien być natomiast spowodowany wyłącznie przez drgania mechaniczne dystrybutora powietrza.

Podstawową charakterystyką analizowanych urządzeń jest wydajność W , reprezentująca wartość masowego natężenia przepływu strugi materiału, wyrażona wzorem:

$$W = v \times B \times H \times \rho$$

$$W = v \times B \times H \times [\rho_m \times (1 - \varepsilon) + \rho_p \times \varepsilon]$$

W powyższych zależnościach uwzględniono wielkości ρ_m i ρ_p , oznaczające gęstości właściwe, odpowiednio materiału i powietrza oraz wielkość ε , określającą porowatość warstwy.

Do zasadniczych czynników mających wpływ na wydajność urządzeń wibrofluidyzacyjnych należą:

- wymiary warstwy B , H oraz prędkość jej przepływu v ,
- natężenie oddziaływania rozluźniającego warstwę, czyli intensywność przepływu czynnika określona liczbą fluidyzacji LF oraz intensywność drgań $kd = a\omega^2/g$ i ich kierunek α ,
- natężenie zasilania determinujące wysokość warstwy H ,
- kąt pochylenia dna podajnika β .

Prędkość przemieszczania się strugi materiału mieści się w szerokich granicach $v = 0,01 \div 0,43$ m/s przy wysokościach warstwy $H = 0,048 \div 0,19$ m [10,18].

W urządzeniach wibrofluidyzacyjnych średnia wartość prędkości przemieszczania ziaren materiałów zwiększa się 1,5÷3 razy w porównaniu z urządzeniami o napędzie wibracyjnym, co przypisuje się korzystnemu zjawisku wspomaganie ruchu materiału przez powietrze [10,18].

Zalecenia dotyczące optymalizacji intensywności przepływu czynnika fluidyzującego wynikają z analizy sprawności i energochłonności realizowanych procesów. W przypadku wibrofluidyzacji, postuluje się intensywność drgań zapewniającą

„odrywanie się” ziaren od podłoża. Wykazano, że optymalne warunki wnikania ciepła i masy istnieją w zakresie stosunku przyspieszeń $a\omega^2/g = 2 \div 6$ [18].

Wymiary warstwy wibrofluidalnej wynikają między innymi z rozległości wymiarowej komory i dystrybutora powietrza. Wymiary dystrybutorów odlewniczych urządzeń określone ich rozległością wynoszą [10]:

- $B/L = 0,13 \div 0,15$ w chłodziarkach fluidyzacyjnych piasku o wydajności $2,5 \div 30$ Mg/godz.,
- $B/L = 0,24 \div 0,27$ w chłodziarkach fluidyzacyjnych masy o wydajności $25 \div 50$ Mg/godz.,
- $B/L = 0,21 \div 0,53$ w chłodziarkach wibrofluidyzacyjnych masy o wydajnościach $14,5 \div 200$ Mg/godz.,
- $B/L = 0,32$ w wibrofluidyzacyjnym separatorze zanieczyszczeń o wydajności 50 Mg/godz.

W wymienionych urządzeniach szerokość komory roboczej (dystrybutora) wynosi: $B=500 \div 2750$ mm.

Analizując rozmiary dystrybutorów chłodziarek wibrofluidyzacyjnych PPP TECHNICAL i firmy JÖST, wyrażone wartością ilorazu B/L stwierdza się występowanie większych wartości w przypadku rozwiązań firmy JÖST - maksymalna wartość wynosi 0,44, w porównaniu z wartością 0,36 w przypadku CFM 5520 - TECHNICAL. Parametr ten ma związek z większymi wartościami wydajności jednostkowej podanymi w materiałach ofertowych firmy JÖST.

Schemat chłodziarki wibrofluidyzacyjnej produkcji PPP TECHNICAL zamieszczono na rysunku 2, na którym podano również zakres wydajności oferowanych chłodziarek oraz wymagania, co do ilości strumienia powietrza, odciąganego z komory roboczej.

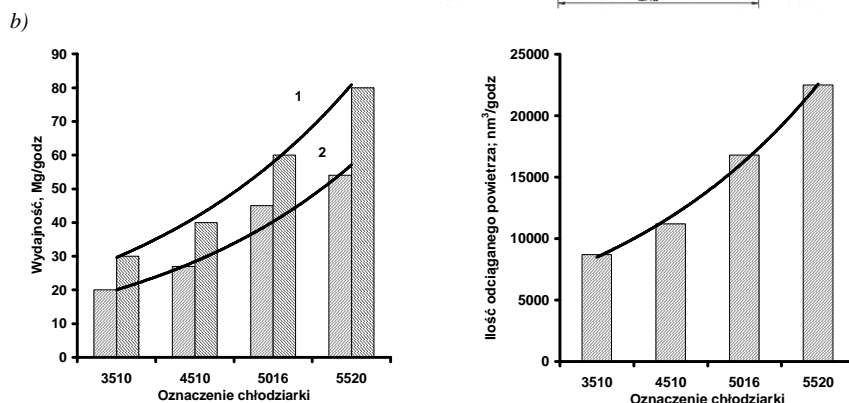
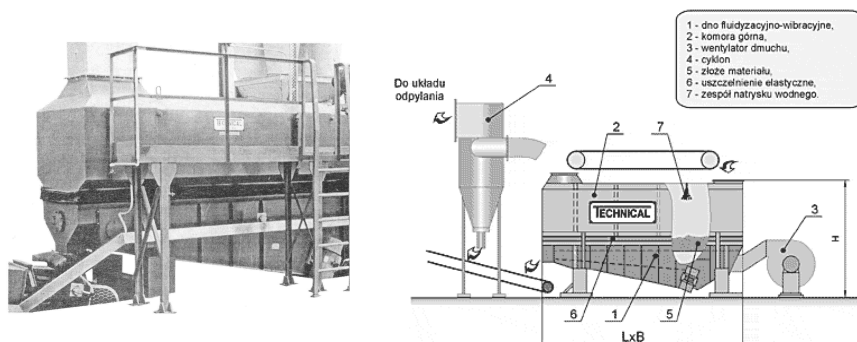
3. Parametry strumienia powietrza

3.1. Ilość powietrza

Ilość podawanego powietrza do komory chłodziarki zależy od szerokości B i długości L komory roboczej, a ściślej od wymiarów dystrybutora powietrza oraz wymaganej prędkości przepływu powietrza:

$$V = B \times L \times u$$

Prędkość u powietrza zawiera się w zakresie wartości krytycznych, warunkujących przebieg upłynnienia złoża, aż do wartości zawisania u_z ziaren osnowy piaskowej masy. Podstawienie do powyższego zapisu wartości przyjętej prędkości zawisania pozwala wyznaczyć V_{\max} - wymagany wydatek wentylatora podmuchowego. Ilość powietrza można zmniejszyć do wartości, wynikającej z przyjęcia zakresu u_{rob} , poprzez stopnie zamykania aparatu kierowniczego wentylatora.

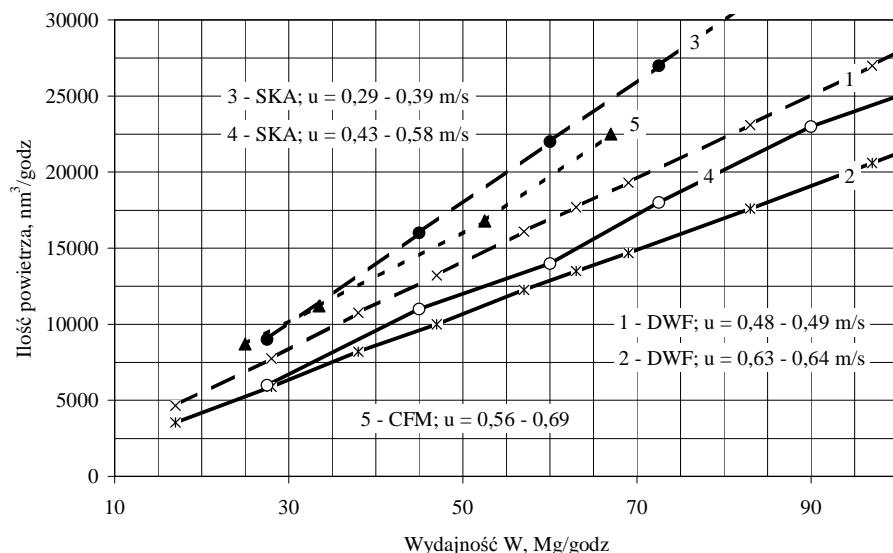


Rys.2. Widok i schemat chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM (CWFM) firmy TECHNICAL Nowa Sól a); 1 - komora robocza, 2 - komora separacji, 3 - wentylator podmuchowy, 4 - dysze wodne, 5 - dno perforowane, b) podstawowa charakterystyka; 1 - chłodzenie masy w zakresie temperatury $120^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$, 2 - w zakresie $80^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ [18]

Z danych katalogowych dotyczących ilości powietrza wyznaczono wartości średniej prędkości strumienia. Średnia prędkość (odniesiona do całkowitej powierzchni dystrybutora) przepływu powietrza w urządzeniach TECHNICAL wynosi od 0,57 do 0,69 m/s. W chłodziarkach JÖST [14] wartość prędkości jest praktycznie stała i wynosi $v_{\text{śr.}} = 0,485$ m/s ($\sigma = 0,002$) dla każdej maszyny typoszeregu. Zakres prędkości odpowiada maksymalnym wartościom fluidyzacji dla masy o granicznej wilgotności wynoszącej $1,5 \div 1,7\%$ [7].

Dane dotyczące przeciętnych wartości prędkości powietrza w komorze roboczej zestawiono na rysunku 3. Zostały one wyznaczone jako iloraz ilości powietrza podawanego do komory (lub ilości powietrza odciganego) do wartości powierzchni dystrybutora. Wartości omawianych wielkości zaczerpnięto z danych prospektowych producentów chłodziarek DWF – f-my JÖST, SKA – FISCHER+GF+ oraz CFM – TECHNICAL [16].

Ilość powietrza odciganego z przestrzeni roboczej przekracza ilość powietrza podawanego, co powoduje pracę w warunkach niewielkiego podciśnienia. Ilość powietrza odciganego z komory roboczej chłodziarek (półproste 1,3,5) przewyższa ilość podawanego strumienia powietrza (półproste 2, 4). Z porównania ilości powietrza wynika, że iloraz $V_{\text{odc}}/V_{\text{pod}}$ wynosi $1,3 \div 1,5$ [16]. Zróżnicowanie ilości powietrza sprawia, że uzyskuje się warunki pracy przy podciśnieniu, wynoszącym do 15 mm słupa H_2O w komorze roboczej.

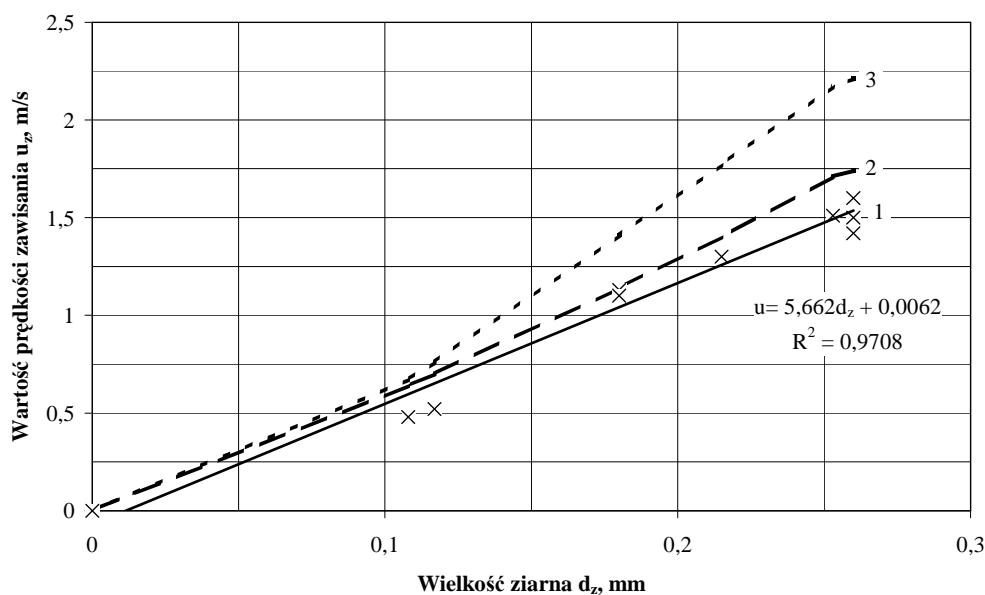


Rys. 3. Zakresy wartości prędkości powietrza w chłodziarkach wibrofluidyzacyjnych [14]

Konsekwencją pracy chłodziarki w ustalonym zakresie roboczej prędkości powietrza jest zjawisko elutriacji; czyli wynoszenie poza urządzenie tych drobnych ziaren, dla których prędkość $u_{rob} > u_z$.

Dane dotyczące wielkości unoszonych ziaren przedstawiono na rysunku 4. Linia wykresu (półprosta 1), opisana empirycznym równaniem, reprezentuje wyniki badań własnych, prowadzonych dla różnych piasków odlewniczych o zróżnicowanych wielkościach i kształtach. Proste 2 i 3 wyznaczono w oparciu o równania O.M. Todesa [17]:

- dla zakresu przejściowego: $Re_z = 0,153 \times Ar^{0,714}$,
- dla całego zakresu (przepływ laminarny i turbulentny): $Re_z = Ar / (18 + 0,61 \times Ar^{1/2})$, w których Re_z i Ar oznaczają odpowiednio liczbę Reynoldsa oraz Archimedesesa.

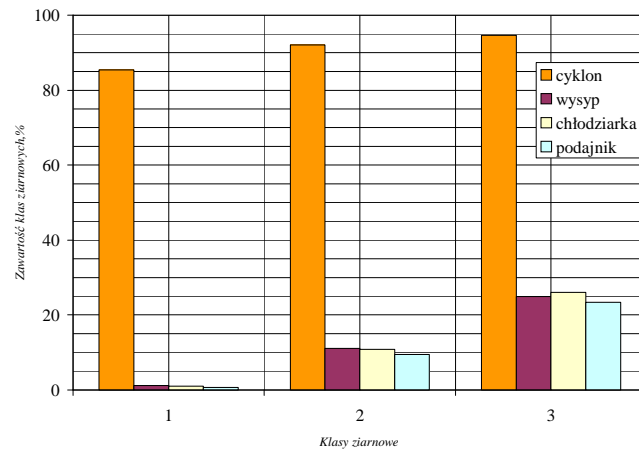


Rys. 4. Wielkości unoszonych ziaren frakcji piasków odlewniczych

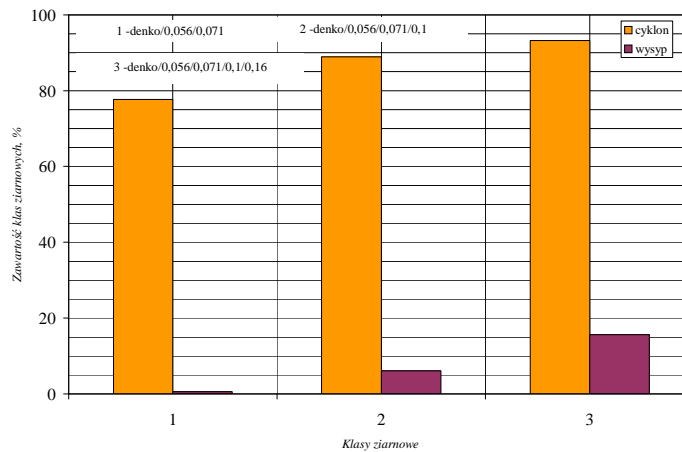
Towarzysząca wibrofluidyzacji elutriacja drobnoziarnistych składników masy nie powoduje zubożenia składu masy. Wytrącone w cyklonie drobne frakcje, zawierające również aktywny bentonit i pył węglowy są zwracane do obiegu. Wyniki analizy

ziarnowej drobnych frakcji zebranych w cyklonie chłodziarki CWFM 3510 przedstawiono na rysunku 5 [6,8].

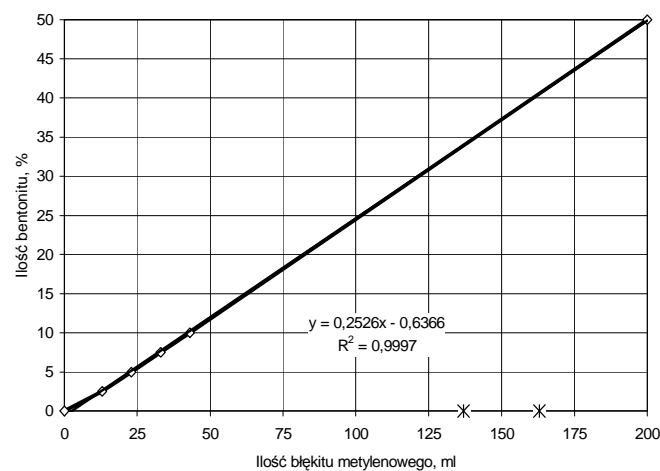
a)



b)



c)



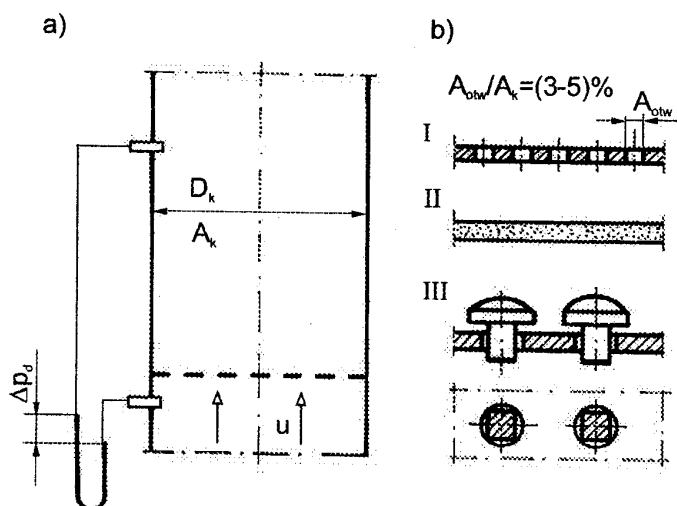
Rys.5. Charakterystyka drobnoziarnistych frakcji wydzielonych w cyklonie chłodziarki CWFM 3510; a)- ilości pyłów (3 klasy ziarnowych) w strumieniu masy, b)- ilości pyłów wytraconych w cyklonie, c)- krzywa wzorcowa i zawartość bentonitu w pyłe z cyklonu (odp. punktom na osi odciętych)

Z wykresów wynika, że największa ilość wytrąconych w cyklonie pyłów stanowi klasa ziarnowa o $d_i = 0 \div 0,71$ mm. Zawartość aktywnego bentonitu w pyłach zebranych w cyklonie wynosi $34 \div 40,5$ %. Zawartość pyłu węglowego jest w analogicznych warunkach o około połowę mniejsza.

3.2. Stopień sprężania wentylatora zasilającego chłodziarkę.

Spręż wentylatora podmuchowego wynika z oporów przepływu strumienia powietrza przez zespoły chłodziarki. Opory te, charakteryzowane spadkami ciśnienia, dotyczą instalacji podawania powietrza (rurociąg), komory pneumatycznej, dystrybutora powietrza, warstwy masy, komory separacji oraz instalacji odbioru i oczyszczania powietrza.

Spadki ciśnienia statycznego powietrza wynikają przede wszystkim z oporów przepływu przez dystrybutor Δp_d i warstwę Δp_w . Schemat komory z dystrybutorem przedstawiono na rysunku 6. Zestawione wartości Δp_d w zależności od prędkości powietrza u , tworzą charakterystykę hydrauliczną dystrybutora.



Rys.6. Schemat komory z dystrybutorem powietrza: a) rozmieszczenie króćców do pomiaru Δp_d , b) schematy dystrybutorów przelewowych i nieprzelewowych

Opory przepływu powietrza przez warstwę fluidyzowanego materiału $\Delta p_w = f(u)$ można wyznaczyć doświadczalnie, a ponadto obliczyć z poniższego wzoru [17]:

$$\Delta p_w = g \times H_0 \times (\rho_m - \rho) \times (1 - \varepsilon_0)$$

w którym: Δp_w - opory przepływu; Pa,
 g - przyspieszenie ziemskie; m/s^2 ,
 H_0 - wysokość początkowa warstwy; m,
 ε_0 - porowatość początkowa, warstwy nieruchomej.

Porowatość ε_0 początkową warstwy wyznaczyć należy z zależności:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{por}}{V_c} = \frac{V_c - V_m}{V_c} = \frac{A_k \times H_0 - \frac{m}{\rho_m}}{A_k \times H_0},$$

w której m oznacza masę złoża, a A_k powierzchnię przekroju aparatu fluidyzacyjnego.

Opory przepływu powietrza przez dystrybutor Δp_d , zależą przede wszystkim od konstrukcji i rozmieszczenia kanałów przepływowych w dystrybutorze oraz od charakterystyki przedmuchiwanego materiału. W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że $\Delta p_d = \Delta p_w$, a stosunek powierzchni kanałów dystrybutora powietrza (A_{dyst}) do powierzchni przekroju aparatu fluidyzacyjnego (A_k) powinien mieścić się w zakresie 3-5% [17].

W złożu wibrofluidyzacyjnym maksymalna porowatość – odpowiadająca rozwiniętej fluidyzacji osiągana jest szybciej co jest związane z obniżeniem prędkości początku fluidyzacji. Do jej obliczania proponowany jest wzór [18]:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} = 1 - \exp \left[-0,54 \times (LF - 1) \times \left(\frac{a\omega^2_{por}}{g} \right)^{0,75/LF} \right]$$

W przypadku złoża wibrofluidalnego spadek ciśnienia- Δp_{wf} jest niższy niż w złożu fluidalnym- Δp_f (przy tej samej prędkości powietrza). Różnica może sięgać 20-30 % i zależy od intensywności drgań [18]. Typowa zależność opisująca powyższą korelację ma postać:

$$\frac{\Delta p_{wf}}{\Delta p_f} = \left(\frac{a\omega^2_{por}}{g} \right)^{-m},$$

w której:

$$m = 0,41 - 0,196 \times d \times \rho_m.$$

Empiryczny charakter podanych wyżej zależności wymaga weryfikacji doświadczalnej współczynników liczbowych występujących w równaniach uwzględniających warunki pracy odlewniczych urządzeń wibrofluidyzacyjnych.

Określenie oporów przepływu powietrza w instalacji współpracującej z chłodziarką wymaga odrębnej analizy pracy całego systemu według dokumentacji projektowej dla danych warunków. Ogólnie opory przepływu w instalacji klasyfikowane są jako liniowe Δp_l i miejscowe- Δp_m [11]. Ogólne wzory do ich obliczenia mają postać:

$$\Delta p_l = \lambda \times \frac{l}{d_p} \times \frac{\rho_p}{2} \times v_p^2 = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{\rho_p}{2} \times \frac{\dot{V}_p^2}{A^2}$$

w którym:

λ - współczynnik tarcia (jego wartość uzależniona jest od charakteru przepływu określonego liczbą Reynoldsa oraz materiału i sposobu wykonania przewodu),

d_p - średnica równoważna przewodu; m,

v_p - średnia prędkość strumienia powietrza; m/s,

\dot{V}_p - natężenie strumienia powietrza; m³/s,

$$\Delta p_m = \xi \times \frac{\rho_p}{2} \times v_p^2 = \xi \times \frac{\rho_p}{2} \times \frac{\dot{V}_p^2}{A^2}$$

ξ - współczynnik oporów miejscowych.

Współczynniki oporów typowych kształtek i armatury można dobrać z odpowiednich norm [16] lub posługiwać się danymi Producentów.

Sumaryczne opory instalacji uzależnione są od jej ukształtowania przestrzennego i zastosowanych elementów. Ze względu na fakt, że najczęściej stosowany jest system ssąco-tłoczący zasilania powietrznego chłodziarek analizie należy poddać układ współpracujących z instalacją wentylatorów (przy instalacji indywidualnej) lub układ

wentylator podmuchowy- sieć instalacji odpylającej (systemy scentralizowane). Jak wspomniano wcześniej warunkiem prawidłowej pracy instalacji jest wytworzenie niewielkiego podciśnienia w przestrzeni nad dystrybutorem, co pozwala uniknąć wywiewania drobnych frakcji pyłu na zewnątrz chłodziarki. Wyjściowe równanie bilansu strumieni powietrza ma więc postać:

$$\dot{V}_o = \dot{V}_t + \dot{V}_h$$

w którym: \dot{V}_o - strumień powietrza odciąganego; m³/s,

\dot{V}_t - strumień powietrza doprowadzonego pod dystrybutor; m³/s,

\dot{V}_h - strumień powietrza zasysanego z hali; m³/s.

Ułatwieniem w analizie pracy instalacji i wymiarowaniu sieci przewodów mogą być programy obliczeniowe oferowane przez producentów elementów instalacji wentylacyjnych i odpylających. Programy ułatwiające dobór wentylatorów zamieszczone są zwykle na stronach internetowych ich producentów.

Dobór parametrów wyjściowych do obliczeń powinien wynikać z analizy procesu transportu wibrofluidyzacyjnego oraz procesu chłodzenia. Zagadnienia te omówiono we wcześniejszych publikacjach autorów referatu [6,8,9].

4. Podsumowanie.

Urządzenia fluidyzacyjne i wibrofluidyzacyjne stosowane do intensyfikacji procesów technologicznych w odlewnictwie od wielu dziesiątków lat nadal są przedmiotem optymalizacji i badań pod kątem nowych możliwości ich zastosowań. Istniejące, krajowe wibrofluidyzacyjne chłodziarki masy, reprezentują wysoki poziom techniczny. Homogenizatory masy używanej z jej nawilżaniem, przedmuchiwanym powietrzem i transportem wibracyjnym stanowią kolejny przykład rozwinięcia urządzeń stosujących technikę upłynniania fluidyzacyjnego w połączeniu z drganiami wibracyjnymi.

Obszarem, który w Polsce pod względem badawczym jest stosunkowo dobrze poznany, łącznie z udanymi próbami wdrożenia prototypu [3], jest wibrofluidyzacyjne oddzielanie zanieczyszczeń metalowych i niemetaloowych. Niekorzystna koniunktura gospodarcza pod koniec lat 80. spowodowała zatrzymanie prac nad doskonaleniem tego typu instalacji, które wykazywały wysoką efektywność pracy, agregując w obrębie jednego urządzenia kilka funkcji technologicznych: oddzielania zanieczyszczeń metalowych niezależnie od ich właściwości magnetycznych, usuwanie kawałkowanych wtrąceń do masy (ceramiczne elementy układu wlewowego, spieczone rdzenie, filtry itp.) oraz chłodzenie i odpylanie masy.

Można wyrazić przekonanie, że ten zupełnie pionierski niegdyś temat techniczny, znajdzie się ponownie w strefie zainteresowania producentów urządzeń stosowanych w nowoczesnych obiegach mas, w miarę gdy przemysł odlewniczy będzie stawiał kolejne wymagania dotyczące doskonalenia jakości wytwarzanych mas.

5. Literatura.

1. Dańko J., Fedoryszyn A. i in.: Badania fluidyzacyjnej spulchniarki masy $Q = 100\text{m}^3/\text{godz}$. Praca badawcza nr 19110, Instytut Odlewnictwa AGH, Kraków, 1974
2. Dańko J., Fedoryszyn A. i in.: Badania podstawowych procesów fluidyzacyjnych występujących w urządzeniach odlewniczych produkowanych przez PPiMUiO „Pemod”- Myślenice. Etap I. Badania suszarki fluidyzacyjnej SFP-40. Praca badawcza nr 537105, Instytut Odlewnictwa AGH, Kraków, 1975

3. Dańko J., Fedoryszyn A. i in.: Badania separatora wibrofluidalnego zanieczyszczeń metalowych i niemetalowych $Q = 40\text{m}^3/\text{h}$. Praca badawcza nr. 5.371.74 ITiMO AGH. Kraków, 1979
4. Dańko J., Fedoryszyn A. i in.: Przeprowadzenie prób i badań na modelu doświadczalnym ACHM-100. Praca badawcza ITiMO AGH nr. 119111. Kraków, 1975
5. Dańko J., Fedoryszyn A.: Analiza metod stosowanych do określania wartości podstawowych parametrów fluidyzacji piasków odlewniczych. Materiały Sympozjum Szkoleniowego Wydziału technologii i Mechanizacji Odlewnictwa AGH. Kraków, 1975, s. 58
6. Fedoryszyn A. i in.: Opracowanie technologii przygotowania, chłodzenia wraz z separacją zanieczyszczeń oraz odświeżania obiegowej masy z bentonitem w zmechanizowanej produkcji odlewów żeliwnych. Projekt celowy KBN nr 6 T08 137 2002 C/5600
7. Fedoryszyn A., Gregoraszczyk M., Smyksy K., Ziółkowski E.: Maszynoznawstwo Odlewnicze – laboratorium. Skrypt AGH, <http://mech.wo.agh.edu.pl/>. Kraków, 2002,
8. Fedoryszyn A., Smyksy K.: Analiza pracy chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CWFm-3510. Materiały Konferencji TECHNICAL-2004 s.139-149
9. Fedoryszyn A., Smyksy K.: Ocena wybranych parametrów chłodziarki wibrofluidyzacyjnej. Biuletyn VI Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2003. TECHNICAL, Wydział Odlewnictwa AGH. Nowa Sól, 2003, s. 26÷35
10. Fedoryszyn A.: Analiza rozdziału ziarn materiałów w odlewniczych urządzeniach fluidyzacyjnych. Rozprawy Monografie nr 87, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 1999.
11. Malicki M.: Wentylacja i klimatyzacja, PWN, Warszawa 1980
12. Pelczarski S., Fedoryszyn A. i in.: Przeprowadzenie prób i badań na modelu doświadczalnym chłodziarki fluidyzacyjnej piasku CHP-100. Praca badawcza nr 1983, Instytut Odlewnictwa AGH, Kraków, 1973
13. Pelczarski S., Fedoryszyn A. i in.: Wykonanie i oprzyrządowanie stanowiska laboratoryjnego do badań fluidyzacji. Rozruch i próby instalacji przedmiotowego stanowiska. Praca badawcza nr 1965, Instytut Odlewnictwa AGH, Kraków, 1973
14. Pelczarski S., Motyczyński R., Fedoryszyn A.: Zastosowanie procesu fluidyzacji w urządzeniach do przygotowania i dozowania piasków odlewniczych. Zeszyty Naukowe AGH nr. 440. Kraków, 1974, s. 67
15. PN- 76/M-34034. Zasady obliczania strat ciśnienia
16. Prospekty firm: JÖST, KÜTTNER, TECHNICAL, UHDE.

17. Razumow J. M.: Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich. Warszawa, WNT 1975
18. Strumiłło Cz.: Podstawy teorii i techniki suszenia. WNT, Warszawa 1983
19. Sztefko F., Dańko J.: Podstawy bilansu cieplnego współczesnych chłodziarek do obiegowych mas formierskich. Przegląd Odlewnictwa, nr.6, 1976, s. 145.

PRZYGOTOWANIE I ODŚWIEŻANIE MAS FORMIERSKICH BENTONITOWYCH

Czesław RUDY¹
P.P.P. „TECHNICAL” Sp. z o.o.,
Nowa Sól

1. Wstęp.

W zmechanizowanej i zautomatyzowanej produkcji odlewów ze stopów żelaza oraz stopów metali nieżelaznych stosuje się jednolitą masę formierską bentonitową obiegową (używaną) poddawaną ciągłemu procesowi jej przygotowania i odświeżania w każdym obiegu technologicznym.

Właściwie przygotowana i odświeżona masa pozwala na przywrócenie jej pierwotnych właściwości technologicznych. Stopień wykorzystania masy obiegowej (używanej) w większości odlewni jest na poziomie około 95% ÷ 97%.

Proces przygotowania mas formierskich bentonitowych obiegowych sprowadza się do usunięcia masy z form i odlewów, homogenizacji oraz chłodzenia masy, rozdrobnienia brył masy, klasyfikacji rozdrobnionej masy na przesiewaczach, oddzielenia części metalowych, transporcie i magazynowaniu masy, mieszaniu, spulchnianiu masy.

Odświeżanie realizowane jest poprzez dodawanie piasku świeżego, bentonitu i pyłu węglowego (lub innego nośnika węgla błyszczącego) lub mieszanki bentonitowej oraz wody w celu uzupełnienia ich częściowego zużycia w poprzednim cyklu obiegu.

W procesie produkcyjnym odlewni, aby uzyskać masę *High-Quality* o jednorodnych i powtarzalnych właściwościach technologicznych decydującą rolę odgrywają parametry:

- wysoka jakość powleczenia ziaren piasku lepiszczem,
- wstępne nawilżenie masy formierskiej,
- dostatecznie niska temperatura masy,
- całkowita powtarzalność procesu przygotowania masy.

Względy techniczno-ekonomiczne uzasadniają posługiwanie się minimalną ilością masy obiegowej o stabilnych, określonych właściwościach technologicznych.

Nowoczesny system przygotowania mas formierskich w obliczu wielkiej różnorodności odlewów (modeli) oraz ciągle rosnących obciążeń termicznych masy formierskiej powodowanych redukcją czasów obiegu, cykli mieszania powinien być w sposób ciągły kontrolowany, nadzorowany oraz korygowany wg zasady *Step-by-Step*.

2. Wpływ temperatury masy na jej parametry technologiczne.

Oddziaływanie ciekłego metalu i stygnących w formie odlewów powoduje znaczny wzrost temperatury masy obiegowej. Podwyższona temperatura masy ma duży wpływ na jej właściwości, parametry technologiczne, na proces przeróbki oraz na zachowanie się masy podczas magazynowania, transportu i formowania a przede wszystkim na jakość odlewów.

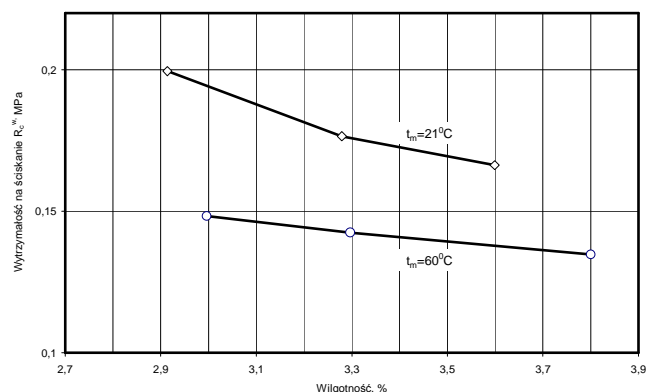
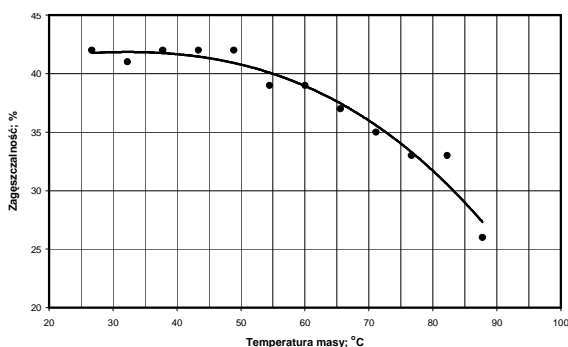
Ze względu na wpływ wielu czynników temperatura strumienia masy wybitej ulega ciągłym zmianom, takim jak: parametry technologii, cykl pracy i rodzaj zastosowanych urządzeń, warunki zewnętrzne itp.

¹ mgr inż., Prezes P.P.P. TECHNICAL Nowa Sól (Polska), E-mail: cz.rudy@technical.com.pl

Powodem znacznych wahań parametrów masy obiegowej a w szczególności jej temperatury w procesie produkcyjnym jest:

- nocne i świąteczne przerwy między zmianami co powoduje wychłodzenie masy w zalanych formach.
- duża intensywność obiegów masy formierskiej w czasie jednej zmiany, powtarzające się co 1 do 3 godzin.
- udział masy w zalanych formach stanowiący do 70% całkowitej masy w obiegu,
- brak systemów chłodzenia masy w obiegu technologicznym,
- częste i niekoordynowane zmiany asortymentu produkowanych odlewów.

Wpływ temperatury masy na jej zagęszczalność oraz wytrzymałość na ściskanie przedstawiają rys. 1 oraz rys.2.



Rys.1. Wpływ temperatury masy na zagęszczalność (wg. Volkmar)

Rys.2. Wpływ temperatury masy na wytrzymałość na ściskanie (wg. Schumachera i in.).

Na podstawie przedstawionych wykresów rys. 1 oraz rys.2 można stwierdzić zależności:

- zagęszczalność wyraźnie maleje poczynając od temperatury masy wynoszącej około 50°C,
- wytrzymałość masy gorącej o temperaturze 60°C jest wyraźnie niższa od wytrzymałości masy o temperaturze 20°C, w szerokim zakresie zmian wilgotności.

Uwaga:

Wartość temperatury masy 50°C uważana jest za graniczną. Powyżej tej temperatury masa jest uważana za nieprzydatną do wykonywania form.

3. Wpływ czasu pozostawiania odlewów w formie na stopień przepalenia i stan jej termicznego zużycia.

Stopień przepalenia masy formierskiej zależy od temperatury ciekłego metalu wlanego do wnęki formy oraz od czasu oddziaływania temperatury metalu na masę. Decyduje o tym grubość ścianki i masa odlewu oraz czas przebywania odlewu w formie po zapełnieniu wnęki formy ciekłym metalem (czas studzenia formy). Dla danej temperatury metalu oraz grubości ścianek i masy odlewu skrócenie czasu oddziaływania temperatury na masę jest możliwe tylko przez skrócenie czasu studzenia formy.

Oprócz stopnia przepalenia masy i stanu jej termicznego zużycia można wymienić, co najmniej kilka korzyści wynikających z krótszego przebywania odlewów w formie.

- cienka warstwa masy całkowicie przepalanej, która zwykle przywiera do powierzchni odlewu i może być wyciągnięta wraz z odlewem i wyselekcjonowana,
- mniejsza grubość warstwy masy pośredniej (bentonit aktywny i częściowo lub całkowicie zdezaktywowany), co zmniejsza zużycie materiałów niezbędnych do odświeżenia masy,
- zwiększa się strefa masy zupełnie nieprzepalanej, czyli o właściwościach masy wyjściowej. Masa ta (poza dodaniem wody) nie wymaga praktycznie odświeżania,
- zmniejsza się średnia temperatura masy wybitej, co zmniejsza niebezpieczeństwo występowanie wad odlewniczych spowodowanych stosowaniem tzw. „gorącej masy”, w przypadku braku systemu chłodzenia,
- skrócenie czasu pozostawiania odlewów w formach pozwala na zwolnienie części powierzchni odlewni pod dalszą produkcję, stwarzając przesłanki do zwiększenia wydajności produkcji.

4. Przygotowanie masy formierskiej obiegowej.

Masa używana przed odświeżeniem musi być odpowiednio przygotowana. Proces przygotowania mas formierskich bentonitowych obiegowych sprowadza się do następujących operacji technologicznych:

- usunięcia masy i odlewów z form z zastosowaniem różnego rodzaju krat lub bębnow do wybijania,
- homogenizacji oraz chłodzenia masy w homogenizatorach oraz różnego rodzaju chłodziarkach oraz bębnach wybijających,
- rozdrobnienia brył masy w urządzeniach kruszących, takich jak: kruszarki bębnowe, szczękowe, młotkowe, wibracyjne, bębny rozdrabniające itp.
- klasyfikacji rozdrobnionej masy na przesiewaczach (wibracyjnych, obrotowych),
- oddzielenia części metalowych przy użyciu separatorów magnetycznych umieszczonych w kilku miejscach ciągu technologicznego oraz sitach,
- transporcie i magazynowaniu masy,
- mieszaniu z automatycznym uzupełnieniem zużytych składników technologicznych oraz wody z zastosowaniem dynamicznych mieszarek turbinowych oraz automatycznego systemu dozowania wody,
- spulchnianiu masy bezpośrednio przed stanowiskami formierskimi w spulchniarkach turbinowych oraz palcowych,
- częściowemu odpyleniu masy w poszczególnych urządzeniach i etapach jej obiegu technologicznego.

a) homogenizacja i chłodzenie masy obiegowej.

Przerób masy wiele lat wcześniej przebiegał o wiele wolniej niż dzisiaj, z reguły projektowano duże zbiorniki 150-200 t zbiornik masy starej, 100t zbiornik masy gotowej. Masa w cyklu produkcyjnym odlewni była poddawana ok. 1-3 cyklach, ponadto czas w mieszarkach krążnikowych lub pobocznicowych mieściły się pomiędzy 3 do 6 minut a masa świeża o wilgotności rzędu 3-5% H₂O leżała w wielkich zbiornikach masy świeżej przez ok. 0,5 do 1 godziny w zbiornikach na masę gotową. Bentonit miał przy takich warunkach wystarczająco wiele czasu na to, żeby w spokoju wchłonąć wodę względnie dyspergować. Ponadto masa nie była na tyle nagrzana, żeby zawsze konieczne były chłodziarki. Poprzez inteligentne strategie napełniania i opróżniania zbiornika uzyskiwano w końcu dobrą i jednorodną masę.

Masa wybita charakteryzuje się dużą zmiennością temperatury, wilgotności oraz zawartością frakcji pyłowych. W wielu odlewniach temperatura masy zwrotnej zmienia się skokowo w zakresie pomiędzy 30°C do 80°C czasami do 120°C a wilgotność pomiędzy 0,5% do 3,5% H₂O, tak ekstremalne warunki bez systemu chłodzenia i nawilżania masy zwrotnej nie pozwalają na uzyskiwanie dobrych jakościowo odlewów.

Obecnie przy intensywnych obiegach masy (ok. 8 na zmianę) zaleca się stosowanie urządzeń do homogenizacji i chłodzenia masy obiegowej.

Homogenizacja ma na celu uśrednienie stanu masy zwrotnej głównie w zakresie temperatury i wilgotności, która charakteryzuje się zmiennością temperatury, wilgotności oraz zawartością frakcji pyłowych, powstających wskutek oddziaływania ciekłego metalu na składniki masy

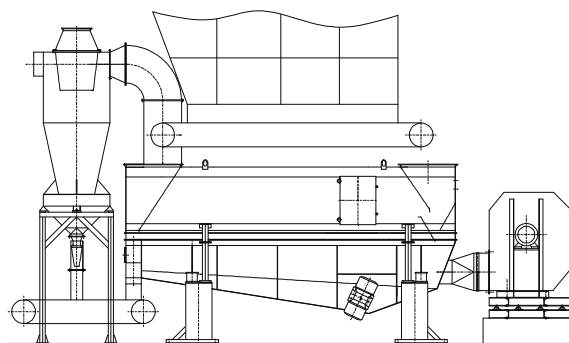
Chłodzenie powinno doprowadzić do obniżenia temperatury masy do zakresu poniżej 50°C, konieczność chłodzenia używanej masy formierskiej uzasadniona jest wieloma czynnikami.

- pierwsza ich grupa obejmuje pogorszenie szeregu właściwości technologicznych masy związane z podwyższeniem jej temperatury, a tym samym zwiększenie prawdopodobieństwa występowania wad odlewów,
- druga grupa wynika z możliwości występowania zakłóceń w przebiegu procesów technologicznych (m.in.: składowania, transportu, formowania) również związanych z podwyższoną temperaturą masy.

Problem dobrego chłodzenia masy występuje z reguły w odlewniach posiadających automatyczne linie formierskie, w których wymiana masy następuje zbyt szybko, co nie pozwala na przebieg naturalnego procesu chłodzenia.

Procesy homogenizacji i chłodzenia najkorzystniej jest realizować w trakcie wybijania lub bezpośrednio po wybitiu odlewów.

Zarówno w homogenizatorach jak i chłodziarkach wibrofluidyzacyjnych rys.3 realizowane jest efektywne chłodzenie wodno-powietrzne (wyparne) (związane z dużym ciepłem parowania wody) dzięki nawilżaniu masy.



Rys.3. Chłodziarka wibrofluidyzacyjna typ CFM.

Można dodać, że jak najwcześniejsze nawilżenie masy wybitej w obiegu jest również zalecane ze względów technologicznych. Przy małej wilgotności początkowej masy i jej wysokiej temperaturze strumień dozowanej wody jest co prawda duży, jednak znacząca jego część jest wykorzystana na podniesienie wilgotności końcowej masy, a nie na chłodzenie wyparne.

Chłodziarki wibrofluidyzacyjne gwarantują intensywne schłodzenie masy formierskiej zwrotnej z temperatury ok. (80°C do 120°C) do temperatury wyjściowej ok. 15°C powyżej temperatury otoczenia. Odbywa to się dzięki współdziałaniu wibracji dna i dmuchu powietrza powodujących zjawisko fluidyzacji warstwy masy formierskiej, a tym samym intensywne odprowadzenie wody zawartej w masie formierskiej zwrotnej oraz zadozowanej w procesie chłodzenia fluidyzacyjnego.

Do zalet procesu chłodzenia fluidyzacyjnego można zaliczyć:

- ujednorodnienie masy formierskiej z równoczesną jej homogenizacją,
- odpylenie nieaktywnych cząstek bentonitu i innych przepalonych cząstek,
- nawilżenie masy formierskiej do wartości powyżej 1,5 % H₂O.

Towarzysząca wibrofluidyzacji elutriacja drobnoziarnistych składników masy nie jest powodem jej zubożenia. Wytrącone w cyklonie drobne frakcje, zawierające również aktywny bentonit i pył węglowy są zawracane do obiegu. Zwiększenie wilgotności masy w chłodziarce również przyczynia się do zmniejszenia elutriacji.

W odlewniach gdzie masa formierska nie ma zbyt wysokiej temperatury, to zastosowanie chłodziarki jest również konieczne, ponieważ przesłanką dla dobrej jakości masy, jest nie tylko chłodzenie masy ale również jej wstępne nawilżanie do wilgotności pomiędzy 1,5 a 2,5% i to nastawialnie z dokładnością rzędu ±0,2%.

b) transport i magazynowanie masy zwrotnej.

Procesy homogenizacji oraz chłodzenia masy zachodzą samoistnie w urządzeniach transportowych, zbiornikach magazynujących masę oraz w urządzeniach do wybijania, kruszarkach, przesiewaczach, mieszarkach. Zwykle zakres uśrednienia parametrów masy i obniżenia jej temperatury zachodzący w tych urządzeniach jest niewystarczający, obniżenie temperatury wynosi maksymalnie do 15°C w jednym obiegu.

Niebezpiecznym zjawiskiem w magazynowaniu masy zwrotnej w zbiornikach jest:

- powstawanie „efektu komina”, który niepotrzebnie redukuje czas dyspergowania bentonitu i zagraża jej jakości. Masa w ciągu 20 - 30 minutach ponownie trafia do obiegu i zostaje termicznie ekstremalnie obciążona. Od takiej masy nie można oczekiwać, że opuści mieszarkę dobrze przerobiona oraz docierając do linii formierskiej lub odcinka zalewania będzie posiadała dobre parametry technologiczne.
- powstawanie narostów wielkopowierzchniowych na ścianach zbiorników zauważalnie pogarszają jakość masy formierskiej. Redukuje się w tym przypadku czas leżakowania masy zwrotnej w zbiornikach. Narosty, które z czasem wzbogacą się do 4, 5 częściowo 6% H₂O, odłamują się, trafiają do obiegu masy i powodują przypadkowe zmiany parametrów masy.

W każdej odlewni są różne wartości krytyczne (górne) wilgotności masy zwrotnej, których przekroczyć nie wolno, aby nie dochodziło do powstawania „efektu komina” oraz narostów na ścianach zbiorników magazynujących masę zwrotną.

Zjawisko „efektu komina” można wyeliminować tylko przez dokładną i pewną regulację wilgotności masy formierskiej zwrotnej przed zbiornikami magazynującymi. Ciągły proces napełniania i opróżniania zbiorników powinien zapewnić, że masa odpowiednio wstępnie nawilżona będzie przebywała w zbiornikach co najmniej 1 godzinę (im dłużej tym lepiej).

Nie da się porównać jakości masy formierskiej, która już dyspergowała, zanim trafiła do mieszarki z jakością masy formierskiej, której bentonit zaczyna dyspergować dopiero po dodaniu wody w mieszarce.

Kilka ważnych doświadczeń z zakresu przerobu mas formierskich zniknęło z pola widzenia przez zbyt bezkrytyczne postępowanie oraz prawie ślepą wiarę w postęp techniczny w zakresie linii formierskich, mieszarek, techniki pomiarowo – regulacyjnej, a także z powodu zredukowania do minimum pojemności zbiorników magazynujących.

c) proces odświeżania mas formierskich w mieszarkach turbinowych (wirnikowych).

Odświeżanie realizowane jest poprzez dodawanie piasku świeżego, bentonitu i pyłu węglowego (lub innego nośnika węgla błyszczącego) lub mieszanki bentonitowej w celu uzupełnienia ich częściowego zużycia w poprzednim cyklu obiegowym oraz wody.

Proces odświeżania realizowany jest w mieszarkach turbinowych (rys.4), które pozwalają uzyskać masę formierską o powtarzalnych wysokich właściwościach technologicznych.. W przypadku syntetycznych mas bentonitowych, wymagane jest aby w procesie mieszania (odświeżania) uzyskać jednorodną mieszanekę oraz dobre połączenie (adhezyjne) substancji wiążącej (mieszaniny gliny z wodą).



Rys.4. Mieszarka turbinowa z obrotową misą o pochyłej osi obrotu typ MTP.

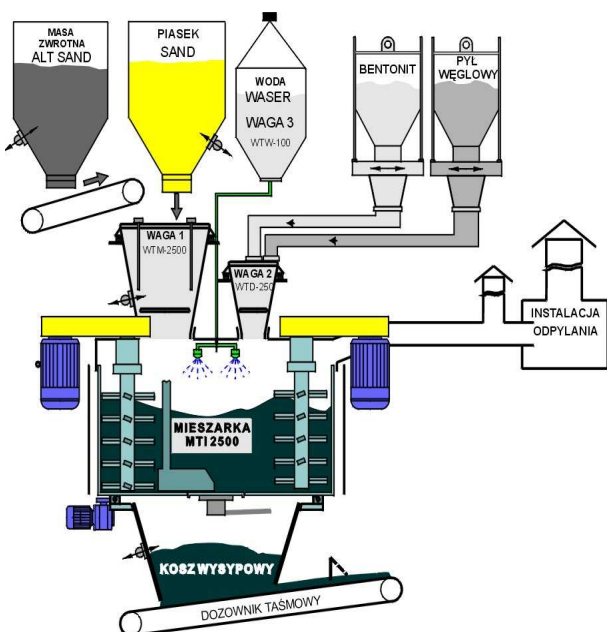


Rys.5. Przemieszczanie się cząstek masy w mieszarce turbinowej.

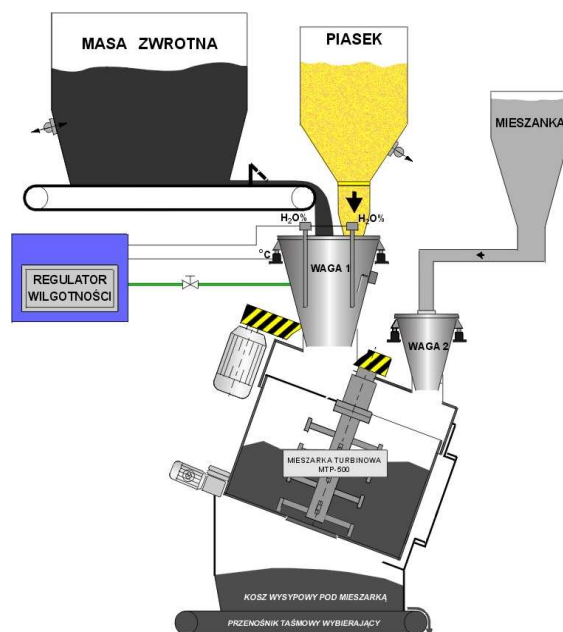
W mieszarkach turbinowych duża prędkość obrotowa turbiny(rys.5), tym samym duża ilość elementarnych oddziaływań powoduje aktywację warstwy nawilżonej gliny, co w rezultacie prowadzi do uzyskiwania maksymalnych wartości właściwości wytrzymałościowych.

Systemy sporządzania (odświeżania) mas formierskich bentonitowych rys.6 oraz rys.7 są projektowane i wykonane jako układy modułowe, w skład których wchodzi:

- mieszarka turbinowa MTP lub MTI,
- elektroniczna waga dozująca masę zwrotną WTM,
- elektroniczna waga dozująca mieszanekę i piasek świeży WTD,
- dozownik śrubowy mieszanki DS,
- dozownik taśmowy masy zwrotnej DT,
- zbiornik magazynujący masę zwrotną , piasek świeży, mieszanekę wraz z sondami poziomów napełnienia zbiorników,
- aparatura kontrolno-pomiarowa do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej, umożliwiająca uzyskanie zadanej wilgotności masy formierskiej,
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją, umożliwiający pracę SPM, programowanie parametrów technologicznych oraz receptur sporządzanych mas.



Rys.6. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarce turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslaw (Czechy.



Rys.7. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarce turbinowej MTP-1500 w odlewni WSK PZL RZESZÓW.

Zagadnienie procesu mieszania można omówić na przykładzie mieszarki MTP-3000 o jednorazowym załadunku 3000 kg:

- masa formierska zwrotna wstępnie nawilżona do wartości ok. 2,0% H₂O trafia do mieszarki, mieszarka MTP-3000 przy ustawionej wilgotności zadanej rzędu 3,0% H₂O potrzebuje ok. 30l wody, ta woda zostaje wymieszana z dobrze dyspergującą masą w ciągu bardzo krótkiego czasu.
- jeżeli masa formierska zwrotna trafi jednak do mieszarki o wilgotności ok. 1,0% H₂O, to do masy należy zadozować ok. 60 litrów wody plus ilość wody konieczna do dyspergowania względnie wiązania bentonitu. Żeby wymieszać jednorodnie niedyspergowaną masę z 60 litrów wody, potrzebne jest znacznie więcej czasu. Potrzebny jest co najmniej 2 krotnie dłuższy czas, aby uzyskać dobra jednorodność masy i przynajmniej częściowo „przerobiona masa formierska”. Masa przerobiona jest dlatego tylko częściowo, ponieważ bentonit nie jest jeszcze w pełni nasycony przy opuszczaniu mieszarki.

Przedłużenie czasu mieszania, w przypadku zbyt niskiej wilgotności na wejściu masy do mieszarki, wymaga dłuższych czasów mieszania dla uzyskania dobrych efektów jednorodności wymieszania (co jest głównym zadaniem mieszarki) oraz właściwego nasycenia bentonitu.

Zalecane czasy mieszania mogą być tylko wtedy dotrzymane, jeżeli różnica pomiędzy żadaną wilgotnością wyjścia masy formierskiej a wilgotnością wejścia masy do mieszarki nie jest wyższa niż 1,0 do 1,5% H₂O.

Jeżeli chcemy pracować na wilgotności masy rzędu 3,0%, to musi stworzyć warunki ku temu, żeby zagwarantowane były co najmniej 1,5% wilgotności wejściowej.

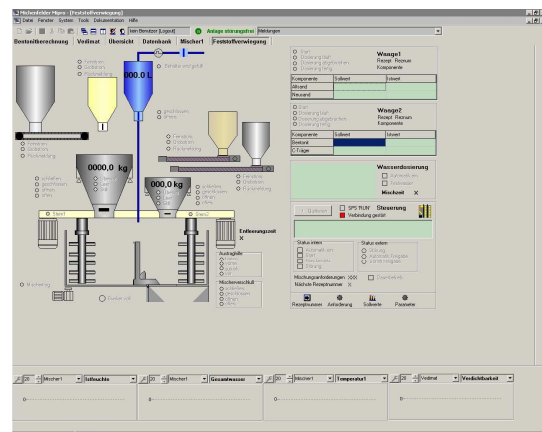
d) Pomiaru i regulacji wilgotności oraz parametrów masy formierskiej.

Do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności oraz parametrów masy formierskiej w projektowanych i produkowanych przez TECHNICAL stacjach przerobu mas formierskich SPM stosowane są systemy:

- a) system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności TECHNICAL Typ RWM (rys.8),
 - system gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności gotowej masy formierskiej: $\pm 0,1\%$ H₂O.
- b) system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH (rys.9),
 - system gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności gotowej masy formierskiej: 0,1% H₂O ($\pm 0,05\%$ H₂O).
- c) automatyczny system VEDIMAT (rys.9) do badania masy w czasie pracy,
 - w pełni zautomatyzowane urządzenie do bezpośredniej kontroli zagęszczalności masy formierskiej. Połączony jest z urządzeniem MICOMP UNI – masa formierska może być przygotowywana nie tylko wg wymaganej wilgotności, ale również zgodnie z parametrami zagęszczalności.
 - system bada i kontroluje zagęszczalności masy formierskiej (i utrzymuje ją w bardzo małych tolerancjach) oraz mierzy wytrzymałości na ściskanie i oblicza zawartości bentonitu bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim.



Rys.8. Ekran synoptyczny mieszarki turbinowej MTP-1500 w odlewni WSK PZL RZESZÓW.



Rys.9. Ekran synoptyczny mieszarki turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

5. Podsumowanie.

Jakość odlewów zależy w dużej mierze od jakości wytwarzanych mas formierskich. Właściwe przygotowanie oraz odświeżanie masy obiegowej pozwala na przywrócenie pierwotnych właściwości technologicznych mas formierskich, ma to szczególnie ważne znaczenie w przypadku dużej intensywności obiegów masy formierskiej w czasie jednej zmiany, oraz stosowania mieszarek turbinowych, w których dzięki intensywnemu procesowi mieszania można skrócić cykl procesu mieszania.

Przerób masy obejmujący przygotowanie masy formierskiej jej wymieszanie oraz odświeżenie, rozpoczyna się od wybijania masy i odlewu, prowadzi przez chłodzarkę. Następnie wiedzie do silosów, w których bentonit dysperguje (przy prawidłowej

wilgotności powyżej 1,5% H₂O), mieszarki turbinowej gdzie zostaje odświeżona i wymieszana z precyzyjną wilgotnością.

Aby jakość masy nie obniżała się w wskutek utrzymującego się w dalszym ciągu trendu do coraz krótszych czasów obiegów i zredukowanych pojemności zbiorników magazynujących, lecz aby mogła być utrzymywana w każdej fazie produkcji stale na wysokim poziomie, należy jej ciągle towarzyszyć, tzn. kontrolować i sukcesywnie (stopniowo) odbudowywać w obiegu masy, a mianowicie od kraty do wybijania po formierkę wg zasady „*Step-by-Step*“.

Budowane wg technologii TECHNICAL nowoczesne stacje przerobu mas formierskich SPM-15, SPM-30, SPM-45, SPM-60, SPM-90, SPM-120 wyposażone w mieszarki turbinowe typ MTP oraz MTI pracują obecnie w wielu polskich i zagranicznych odlewniach w pełni spełniają powyższe kryteria.

6. Literatura.

1. Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Maszyny do przygotowania materiałów i mas formierskich. Skrypt AGH nr 919, Wyd. AGH, 1984
2. Lewandowski J. L.: Znaczenie temperatury dla właściwości używanej masy wiązanej bentonitem. Przegląd Odlewnictwa nr 4, 2002, s.130-134.
3. Fedoryszyn A., Smyksy K., Dańko J.: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2001, s.59-68.
4. Szlumczyk H., Gawroński J.: Regeneracja mas formierskich w regeneratorze liniowym. Materiały Konferencji TECHNICAL-2002, s.94-101.
5. Fedoryszyn A., Smyksy K.: Ocena wybranych parametrów chłodziarek wibrofluidyzacyjnych. Materiały Konferencji TECHNICAL-2003, s.26-34.
6. Dańko J., Smyksy K., Fedoryszyn A.: Znaczenie homogenizacji w procesie przygotowania masy używanej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2003, s.52-63.
7. Jopkiewicz a., Kępa J., Brzęczek K.: Charakterystyka obiegu masy formierskiej w odlewni FPT PRIMA wyposażonej w stację przerobu mas SPM-15A. Materiały Konferencji TECHNICAL-2004, s.13-22.
8. Michenfelder M.: Kompleksowa kontrola jakości masy formierskiej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2004, s.45-58.
9. Smyksy K., Gregoraszcuk M., Ziółkowski E.: Tendencje w zakresie rozwiązań krat do wybijania odlewów. Materiały Konferencji TECHNICAL-2004, s.119-127.
10. Fedoryszyn A., Smyksy K.: Analiza pracy chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CFM-3510. Materiały Konferencji TECHNICAL-2004 s.139-149.
11. Dańko J., Dańko R., Sroczyński A.: Zagadnienia selekcji masy zużytej i jej wpływ na proces regeneracji. Materiały Konferencji TECHNICAL-2005, s.15-23.
12. Smyksy K., Szczurek p., Ślżak M., Śmietana M.: Wstępne badanie procesu podciśnieniowego chłodzenia masy formierskiej. Materiały Konferencji TECHNICAL-2005, s.53-63.
13. Pezarski F., Smoluchowska E., Izdebka Szanda I., Maniowski Z.: Urządzenia realizujące proces regeneracji mas formierskich. Materiały Konferencji TECHNICAL-2005, s.71-80.

14. Fedoryszyn A., Smyksy K., Gregoraszczuk M., Bast J.: Problematyka badań wibrofluidyzacyjnych chłodziarek masy formierskiej. *Acta Metallurgica Slovaca*, 5, 1999, s. 93÷97.
15. Gregoraszczuk M., Smyksy K., Ziółkowski E.: Analiza wybranych procesów odlewniczych w aspekcie ich mechanizacji i automatyzacji. *Mat. Konf. Naukowej z okazji Dnia Odlewnika '97*, 27-28.XI.1997 Kraków, Wyd. Odlewnictwa AGH, s.61-67.
16. Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. *Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo*, nr 139, Kraków, 1991
17. Sztefko F.: Proces homogenizacji masy używanej. *Archiwum Technologii Budowy Maszyn* z.10, 1992, s.113-121.
18. Sztefko F., Smyksy K.: Analiza wpływu parametrów technologicznych na stopień przegrzania mas używanych. *IX Sympozjum Naukowe z okazji Dnia Odlewnika. IT i MO AGH*. Kraków, 1983, s. 55-63.
19. 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.
20. Dobosz S.M.: *Woda w masach formierskich i rdzeniowych*. Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2006.

REGENERACJA MAS RDZENIOWYCH UTWARDZANYCH CO₂ NA PRZYKŁADZIE KIELECKIEJ FABRYKI POMP „BIAŁOGON” S.A.

*Franciszek PEZARSKI¹,
Irena IZDEBSKA-SZANDA²
Zbigniew MANIOWSKI³
Instytut Odlewnictwa,
Kraków*

*Lambert STĘPIŃSKI⁴
Kielecka Fabryka Pomp „BIAŁOGON” S.A.
Kielce*

1. Wprowadzenie.

Przy produkcji odlewów w masach formierskich bentonitowych w wielu odlewniach stosuje się rdzenie ze spoiwem żywicznym utwardzanym CO₂. Podczas wybijania odlewów, do masy obiegowej ciągle dopływa duża ilość masy rdzeniowej w postaci przepalanej masy oraz nadpalonych lub nie przepalonych kawałków rdzeni co pogarsza parametry masy obiegowej i powoduje powstanie jej nadmiaru, który musi być wyprowadzony na odwał. W wielu przypadkach istnieje możliwość selektywnego wybijania form i rdzeni oraz skierowania wybitej masy rdzeniowej do regeneracji i ponownego wykorzystania do mas rdzeniowych. W ramach prac badawczo wdrożeniowych Instytut Odlewnictwa w Kieleckiej Fabryce Pomp „BIAŁOGON” S.A. w Kielcach opracował, przebadał i wdrożył nową linię do regeneracji mas rdzeniowych pracującą wg metody mechanicznej wibracyjnej oraz pneumatycznej. W KFP „BIAŁOGON” S.A. stosuje się masy rdzeniowe sporządzane z żywicami utwardzanymi CO₂ oraz masy na szkle wodnym utwardzane CO₂. Linia do regeneracji została zestawiona przy wykorzystaniu istniejących dotychczas w odlewni takich urządzeń jak suszarka fluidyzacyjna, transport pneumatyczny, silosy i zbiorniki piasku i masy zwrotnej. Nowymi urządzeniami użytymi do kompletacji linii są: kruszarka wibracyjna i filtry suche tkaninowe z wentylatorami. Zużyte masy rdzeniowe przeznaczone do regeneracji zostają wybite z odlewów na osobnym stanowisku przy maksymalnej ich selekcji od masy formierskiej bentonitowej.

2. Proces regeneracji.

Do realizacji procesu regeneracji mas rdzeniowych zastosowano podstawowe urządzenia technologiczne takie jak - kruszarka wibracyjna stanowiąca pierwszy stopień regeneracji (rozdrobienie masy do pojedynczych ziarn piasku i wstępne otarcie spoiwa), - suszarka fluidyzacyjna piasku (separacja pyłów po kruszarce wibracyjnej), - transport pneumatyczny stanowiący drugi stopień regeneracji (proces regeneracji pneumatycznej), filtry tkaninowe do odpylania regeneratu i poszczególnych stanowisk. Przebieg procesu regeneracji przedstawia schemat blokowy na rysunku 1.

W procesie technologicznym regeneracji zużyta masa rdzeniowa wybijana jest z odlewów na osobnym stanowisku i gromadzona jest w pomieszczeniu zadaszonym.

¹ mgr inż. fpez@iod.krakow.pl

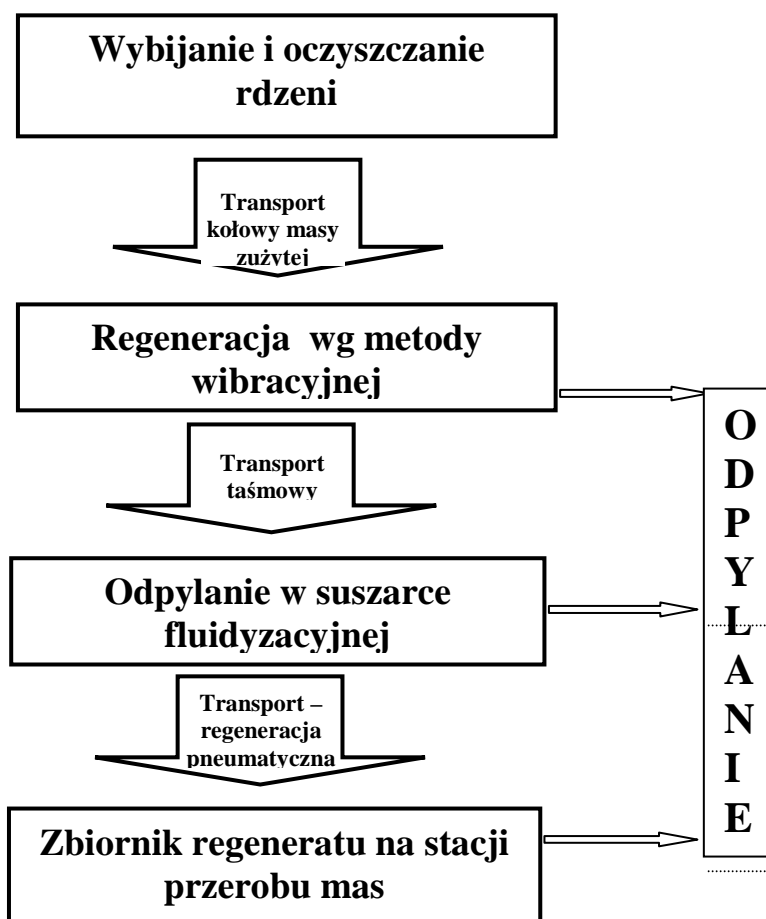
² mgr inż. irsza@iod.krakow.pl

³ mgr inż. zman@iod.krakow.pl

⁴ dr inż. mpto@kfp-bialogon.com.pl

Okresowo transportem samochodowym przewożona jest ona na zadaszone składowisko przy kruszarce wibracyjnej zabudowanej w podpiwniczeniu w rejonie stanowiska suszarki piasku. Nadawa zużytej masy przy zastosowaniu łopaty mechanicznej wsypywana jest do zbiornika wibracyjnego kruszarki. Skruszona i rozdrobniona do pojedynczych ziarn masa z kruszarki wibracyjnej przenośnikiem taśmowym kierowana jest do suszarki fluidyzacyjnej gdzie w zimnym powietrzu podlega odpyleniu. W suszarce w złożu fluidalnym następuje także proces ocierania spoiwa z powierzchni ziarn piasku i częściowe jej podsuszenie. Dalszy proces regeneracji zachodzi podczas transportu pneumatycznego regenerowanej masy na odcinku z suszarki do silosu regeneratu i z silosu do zbiornika regeneratu na stacji przerobu mas w budynku odlewni. Poszczególne stopnie regeneracji i transportu podłączone są do instalacji odpylania z filtrami suchymi workowymi. Regenerat zgromadzony w zbiorniku regeneratu w odlewni przewodem zsywowym zadawany jest do rdzeniarni bezpośrednio do mieszarki lub do przenośnego zbiorniczka, którym dozowany jest do odpowiedniej mieszarki.

Proces regeneracji prowadzony jest przy wydajności ok. 3 t/h. Z nadawy zużytej wyselekcjonowanej masy rdzeniowej kierowanej do regeneracji odzyskuje się ok. 97% regeneratu. Odpady regeneracji stanowią pyły z odpylania oraz części metalowe, drewno oraz trudne do rozkruszenia kawałki mas usuwane okresowo przy oczyszczaniu zbiornika kruszarki.



Rys. 1. Schemat blokowy procesu regeneracji

3. Badania techniczno technologiczne regeneratu.

Odlewnia KFP „BIAŁOGON” S.A. produkuje odlewy z żeliwa szarego oraz żeliwa niskostopowego z dodatkiem Cu i Cr. Formowanie wykonuje się w gniazdach wyposażonych w formierski FKT. Część odlewów wykonuje się w procesie formowania ręcznego. Rdzenie wykonuje się na strzelarkach oraz ręcznie. Stosowane są masy rdzeniowe z żywicami utwardzanymi CO₂, proces Hot-box oraz no-bake.

Do regeneracji kieruje się selektywnie wybite masy rdzeniowe głównie z żywicą Supereko lub Novatex 1000 zanieczyszczone max do 30% masą bentonitową. Przykładowe własności fizyko-chemiczne materiałów wyjściowych i regeneratu z prób przemysłowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Własności fizyko-chemiczne materiałów wyjściowych i regeneratu z prób przemysłowych

Nr sit (mm) oznaczenia	Piasek świeży	Masa rdzeniowa zużyta	Regenerat (XI 2003r)	Regenerat (I 2006r)
1,60	0,15	-	-	-
0,80	4,63	1,55	1,62	0,31
0,63	6,70	2,11	2,61	0,83
0,40	29,32	16,04	18,79	41,85
0,32	16,74	16,17	16,98	16,31
0,20	26,14	37,89	36,74	21,09
0,16	6,37	11,20	10,72	7,44
0,10	6,54	9,34	9,24	7,22
0,071	1,97	2,24	1,52	2,36
0,056	0,54	0,52	0,17	0,63
denko	0,41	0,78	0,16	0,47
suma	99,51	97,84	98,55	98,51
lepiszczce,%	0,49	2,16	1,45	1,49
f. główna	0,40/0,20/0,32	0,20/0,32/0,40	0,20/0,40/0,32	0,40/0,20/0,32
wskaźnik jedn. %	73	72	74	80
straty praż %	0,53	0,71	0,66	1,33

Założono, że uzyskiwany regenerat stosowany będzie w miejsce świeżego piasku w ilości do 70% do mas rdzeniowych, głównie z żywicą Supereko lub Novatec 1000. Wyniki badań laboratoryjnych własności technologicznych mas rdzeniowych z udziałem regeneratu w 2003r.(po wdrożeniu regeneracji) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Własności technologiczne mas z udziałem regeneratu z próby przemysłowej z XII.2003

Lp.	Skład masy w cz. wag.	Przepuszczalność P^{CO_2} , j.p.	Wytrzymałość		
			na ściskanie $R_c^{CO_2}$, MPa	na zginanie $R_g^{CO_2}$, MPa	na rozciąganie $R_m^{CO_2}$, MPa
1.	Piasek „Białogon” 100,0 Żywica Supereko 2,5 CO ₂	320	1,28	0,73	0,34
		310	1,26	0,71	0,35
		310	1,24	0,68	0,38
		300	1,28	0,64	0,38
		310	1,33	0,68	0,37
		śr. 310	śr. 1,28	śr. 0,69	śr. 0,36
2.	Piasek „Białogon” 50,0 Regenerat 50,0 Żywica Supereko - 2,5 CO ₂	340	1,02	0,45	0,29
		360	1,01	0,44	0,32
		340	0,99	0,46	0,31
		340	1,07	0,44	0,29
		340	0,98	0,46	0,30
		śr. 345	śr. 1,01	śr. 0,45	śr. 0,30
3.	Piasek „Białogon” 30,0 Regenerat 70,0 Żywica Supereko 2,5 CO ₂	280	0,99	0,48	0,28
		275	0,95	0,46	0,29
		275	0,96	0,44	0,28
		280	0,94	0,44	0,26
		280	0,91	0,43	0,28
		śr. 278	śr. 0,95	śr. 0,45	śr. 0,28
4.	Regenerat 100,0 Żywica Supereko 2,5 CO ₂	270	0,81	0,34	0,23
		275	0,76	0,36	0,21
		275	0,72	0,38	0,24
		270	0,72	0,38	0,21
		270	0,72	0,36	0,22
		śr. 272	śr. 0,75	śr. 0,36	śr. 0,22

W czasie ponad dwuletniego stosowania procesu regeneracji mas rdzeniowych w KFP „BIAŁOGON” S.A. odzyskuje się ok. 750 t/rok regeneratu, który stosuje się do wykonywania mas rdzeniowych w ilości od 70 do 100% za piasek świeży (najczęściej 100 %). Oprócz dotychczas stosowanych żywic Supereko i Novatex 1000 obecnie w KFP stosuje się żywicę Carbofen 7170 utwardzaną CO₂. Z doświadczeń Odlewni „BIAŁOGON” wynika, że przy produkcji cienkościennych odlewów żeliwnych regenerat zastosowany w miejsce piasku świeżego pozwala na uzyskiwanie wystarczających wytrzymałości masy rdzeniowej, przy czym masa na bazie regeneratu jest bardziej elastyczna i zmniejsza się skłonność do pęknięcia odlewu. Z uwagi na uwarunkowania technologiczne ostatnio regenerat wykorzystuje się także do wykonywania form z żywicą Carbofen.

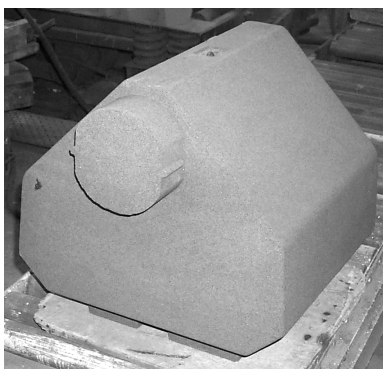
W tabeli 3 przedstawiono przykładowe własności wytrzymałościowe mas rdzeniowych (formierskich) z udziałem regeneratu uzyskiwane podczas prób wprowadzenia żywicy Carbofen 7170 w 2005r.

Na fotografii 1 pokazano typowy rdzeń dla odlewu produkowanego w Odlewni Białogon z zastosowaniem regeneratu. Są to rdzenie masywne nie wymagające wysokiej wytrzymałości na zginanie. Rdzenie te służą do produkcji odlewów cienkościennych przy produkcji, których występuje skłonność do pęknięcia odlewu. Zastosowanie regeneratu

powoduje poprawę elastyczności masy rdzeniowej i zmniejszenie wytrzymałości resztkowej.

Tabela 3. Przykłady własności wytrzymałościowe produkcyjnych mas rdzeniowych

Lp.	Skład masy		Wytrzymałość na ściskanie Rc^U [Mpa]				Data wykonania rdzenia (formy)
			10 min	2h	4h	24h	
1.	Regenerat	100%	-	1,2	1,42	1,42	15.09.05
	Carbophen 7170	2,0%					
2.	Regenerat	100%	1,4	1,62	1,58	1,85	19.09.05
	Carbophen 7170	2,5%					
3.	Regenerat	100%	1,41	1,58	1,77	1,81	19.09.05
	Carbophen 7170	2,8%					
4.	Regenerat	100%	1,54	1,37	1,53	1,88	19.09.05
	Carbophen 7170	3,0%					
5.	Regenerat	100%	2,0	1,8	1,82	>2,0	19.09.05
	Carbophen 7170	3,8%					
6.	Regenerat	50%	1,32	1,52	1,68	1,8	27.09.05
	Piasek kwarcowy	50%					
	Carbophen 7170	2,8%					
7.	Regenerat	30%	1,7	1,98	2,0	>2,0	27.09.05
	Piasek kwarcowy	70%					
	Carbophen 7170	2,8%					
8.	Piasek kwarcowy	100%	1,81	>2,0	>2,0	>2,0	27.09.05
	Carbophen 7170	2,8%					
9.	Regenerat	100%	1,74	1,84	1,85	1,86	03.10.05
	Carbophen 7170	2,8 %					
10.	Regenerat	100%	1,76	1,96	1,97	1,97	03.10.05
	Carbophen 7170	2,8%					
11.	Regenerat	100%	0,96	1,0	1,1	1,11	03.10.05
	Supereko	3,6%					
12.	Regenerat	100%	1,00	1,04	1,08	1,11	03.10.05
	Supereko	3,6%					



Fot 1. Rdzeń z masy z 70% udziałem regeneratu

4. Wnioski.

Zastosowany proces regeneracji zużytych mas rdzeniowych z żywicą fenolową utwardzaną CO₂, przy zastosowaniu kolejno kruszarki wibracyjnej, suszarki fluidyzacyjnej i transportu pneumatycznego z odpylaniem suchym pozwala na odzysk regeneratu, który może być ponownie zastosowany do mas rdzeniowych w ilościach od 70 do 100% w miejsce piasku świeżego.

5. Literatura.

1. Pezarski F. i inni. „Opracowanie metody oraz wdrożenie regeneracji i recyklingu masy rdzeniowej w Odlewni Fabryki Pomp „, Praca Instytutu Odlewnictwa zlec. 2305
2. Pezarski F i inni. „Badania i ocena regenerowalności mas i przydatności do ponownego zastosowania.....”..Praca statutowa Instytutu Odlewnictwa z1 nr 1008/00

SPOIWO NIEORGANICZNE CORDIS - WŁASNOŚCI I DOŚWIADCZENIA

*Stanisław BIEDA¹,
HÜTTENES ALBERTUS,
Lublin*

1. Wprowadzenie.

Odlewnie borykają się ciągle z nowymi, coraz bardziej skomplikowanymi wyzwaniami, a także wzrastającymi nowymi wydatkami związanymi z ochroną stanowiska pracy i środowiska. Szczególny problem stanowią wydzielające się przy zalewaniu i chłodzeniu form odlewniczych produkty parowania, wytlewania i krakowania, które powstają ze stosowanych w odlewniach rdzeni produkowanych dzisiaj przeważnie z mas wiązanych żywicami syntetycznymi. Obok emisji gazów i odoru powstających przy zalewaniu rdzeni, także przy produkcji rdzeni wydzielają się zapachy i powstają emisje.

Chociaż w ostatnich latach podjęto duże wysiłki, a także osiągnięto znaczną poprawę w całym procesie, problematyka ta nie została jeszcze ostatecznie rozwiązana. Dlatego w ostatnich latach wzrosło zainteresowanie i poszukiwanie spoiw alternatywnych. Zwrócono przy tym szczególną uwagę przede wszystkim na spoiwa nieorganiczne. Ich zastosowanie umożliwia wyraźne zmniejszenie emisji i związanego z tym obciążenia odorem przy produkcji rdzeni a przede wszystkim przy zalewaniu, szczególnie w przypadku odlewania aluminium.

2. Spoiwo nieorganiczne – przełom czy wieczna nadzieja?

W celu wyprowadzenia spoiw nieorganicznych z ich niszowej egzystencji przedyskutowano ich zastosowanie w odlewniach na konferencji w listopadzie 2002, pod wyznaczonym przez los hasłem: Spoiwo nieorganiczne – przełom czy wieczna nadzieja? [1]. Oferenci spoiw nieorganicznych przedstawili przy tym swoje koncepcje nowych spoiw i pokazali możliwości ich zastosowania. Duże zainteresowanie i pozytywny oddźwięk w tej sprawie uwidocznił się także na odbywającym się w następnym roku kongresie GIFA, na którym ten temat był szeroko omawiany [2].

Huttenes-Albertus przedstawił na w/w konferencji a także na kongresie GIFA opracowany przez Grupę Huttenes-Albertus system spoiwa nieorganicznego. Aby dopomóc przebicciu się spoiwa nieorganicznego na rynku, Huttenes-Albertus wprowadzając spoiwo Cordis dąży do wykorzystania przy produkcji już istniejących i eksploatowanych technik lub urządzeń. A zatem powinno być możliwe zastosowanie spoiwa na tradycyjnych strzelarkach, a także usuwanie rdzeni z odlewów na istniejących urządzeniach. Zalecane jest przy tym wybijanie rdzeni na sucho. Najbardziej podstawowym warunkiem wprowadzenia na rynek systemu spoiwa Cordis jest, uzyskanie przy jego użyciu porównywalnej jakości odlewów z jakością odlewów na obecnie stosowanych już spoiwach organicznych.

Przy uwzględnieniu tych wszystkich zastrzeżeń spoiwo zostało rozwinięte właśnie w ostatnich latach.

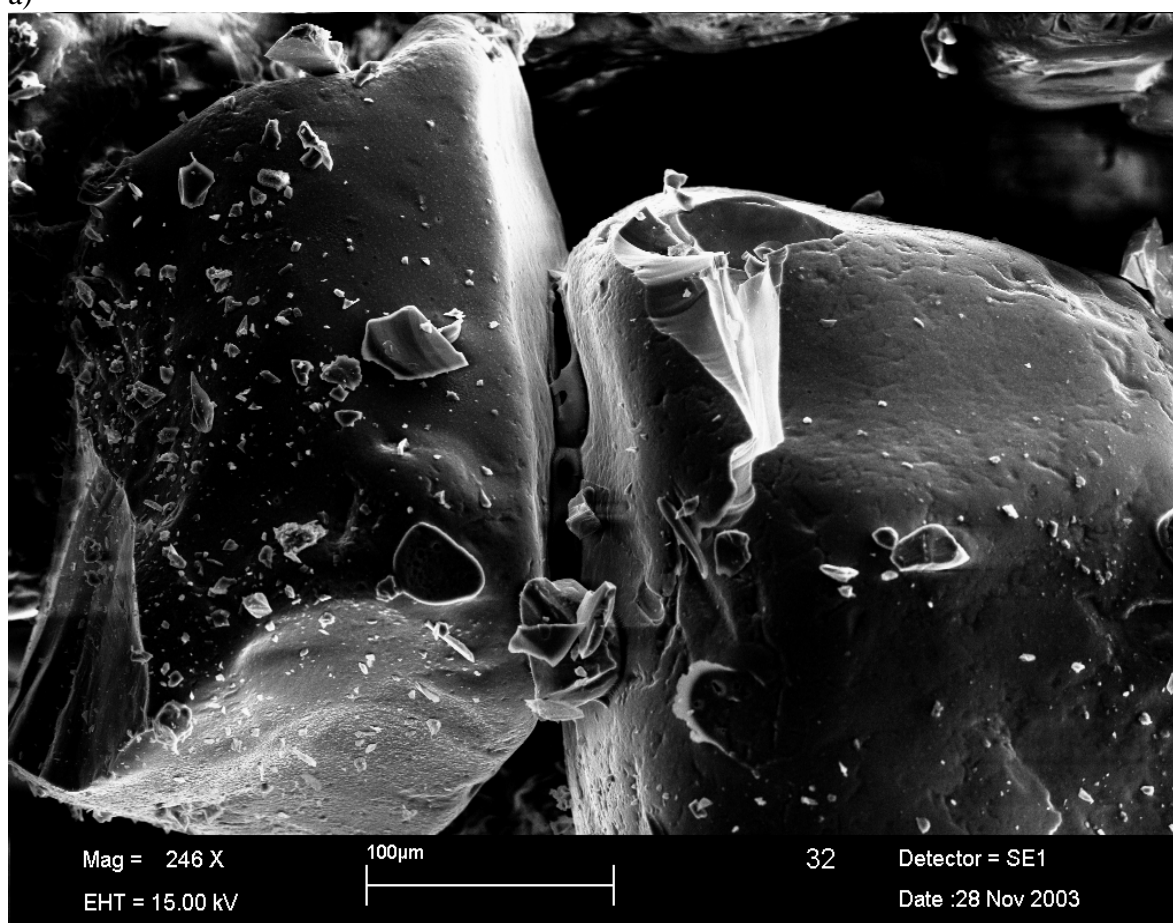
¹ mgr inż.

3. Od idei do rdzenia.

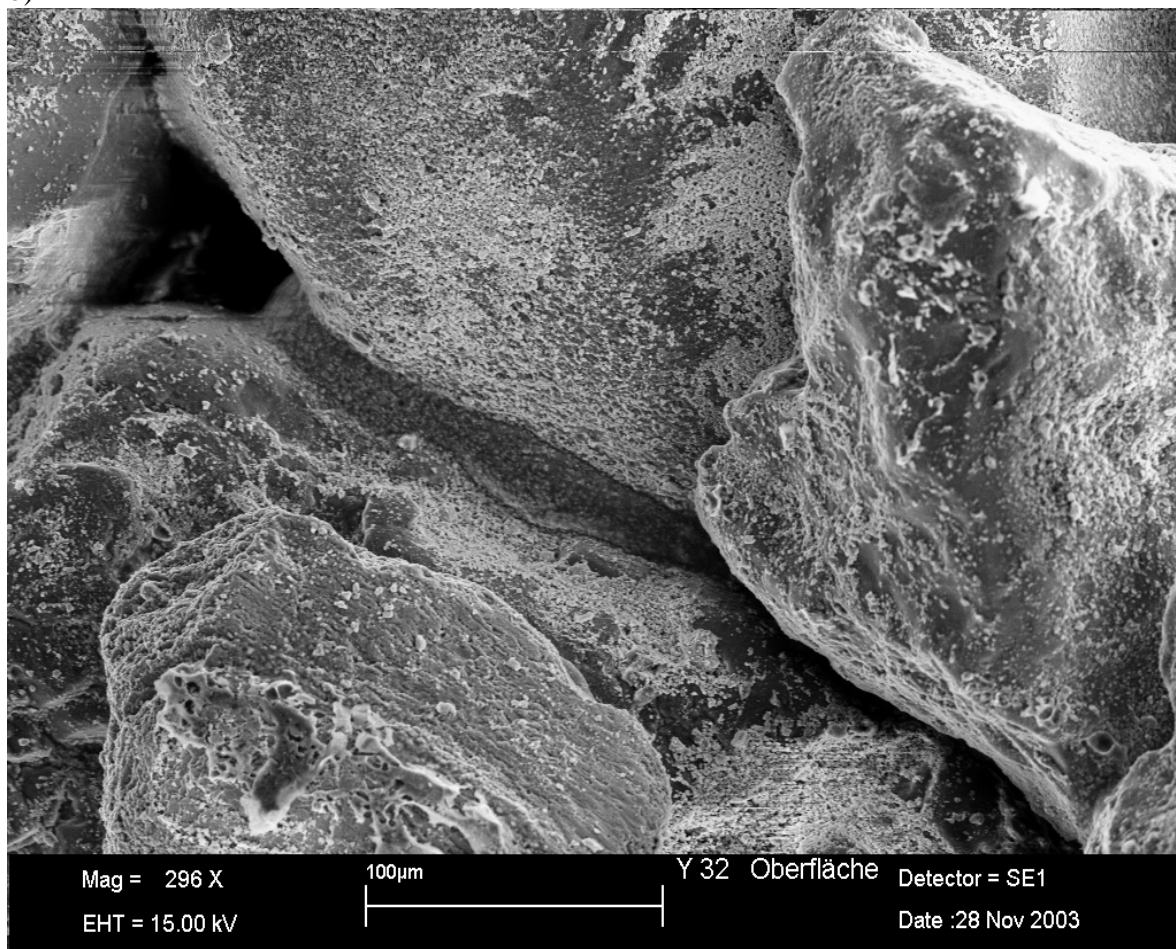
Koncepcja spoiwa Cordis została opracowana już w latach 90-tych.

Myślą przewodnią było to, żeby urzeczywistnić system wiązania z wodą jako jedynym rozpuszczalnikiem i całkowicie nieorganiczną osnową. To rozwiązanie jest w całości zrealizowane w dzisiejszej generacji spoiw Cordis. Osnowa spoiwa tworzy się, w zależności od typu spoiwa z kombinacji grup fosforanów, krzemianów i boranów. Celowe kombinacje i zmiany budowy osnowy spoiwa umożliwia regulowanie własności poszczególnych typów spoiwa (rys 1). Do polepszenia własności stosuje się dodatki nieorganiczne, albo włączone do spoiwa albo jako dodatki przy produkcji rdzeni. Poprzez kombinacje dodatków można regulować ważne parametry procesu jak płynność masy czy trwałość składowania rdzeni.

a)



b)



Rys. 1a,b: Zdjęcia z mikroskopu skaningowego wiązań dwóch różnych typów spoiw Cordis.

Przy zastosowaniu spoiwa nieorganicznego duże znaczenie ma jednorodność masy. Masa powinna, więc być przygotowywana na odpowiedniej do tego celu mieszarce.

Do produkcji rdzeni można stosować praktycznie wszystkie znajdujące się na rynku strzelarki do rdzeni (pod warunkiem, że można zastosować w nich podgrzewanie rdzennicy).

4. Produkcja rdzeni.

W celu wykonania rdzenia masa zostaje wstrzelona do gorącej rdzennicy. Temperatura rdzennicy wynosi zależnie od geometrii rdzenia od 120 do 160 °C. Należy dbać o równomierne nagrzanie rdzennicy. Po wprowadzeniu masy na bazie wodnego spoiwa do rdzennicy, tworzy się skorupa wzdłuż zewnętrznego obrysu rdzenia (rys. 2). Ten pierwszy krok utwardzania polega na procesie suszenia, przy którym z rdzenia usuwana jest wilgoć pochodząca z rozpuszczalnika wodnego. Jest to czysto fizyczny proces utwardzania. Dodatkowo można, zależnie od użytego typu spoiwa Cordis, zastosować chemiczny proces utwardzania. W wyniku otrzymuje się wyższą wytrzymałość przy wyjmowaniu rdzenia z rdzennicy niż przy czysto fizycznym procesie utwardzania (suszenie).

W zależności od użytego piasku i typu spoiwa Cordis osiąga się wytrzymałości na zginanie na zimno 350 - 550 N/cm² przy zawartości spoiwa od 1,5 – 3 %.



Rys. 2. Tworzenie się skorupy na rdzeniu rury ssącej ze spoiwem Cordis, bezpośrednio po wyjęciu z maszyny.

Utwardzanie można wyraźnie przyspieszyć przez przedmuchiwanie rdzenia gorącym powietrzem. To przedmuchiwanie prowadzi do lepszego nagrzania masy rdzeniowej i odprowadza również skutecznie wodę powstającą w rdzeniu podczas procesu suszenia.

Czas utwardzania rdzeni nieorganicznych zależy w dużym stopniu od ich geometrii i od zastosowanych rdzennic. Im większy i bardziej zwarty rdzeń tym trudniejsze jest jego utwardzenie.

Można, więc przy użyciu spoiwa Cordis, ze względu na jego dobrą płynność produkować rdzenie o cienkich przekrojach, jak np. rdzenie koszulki wodnej, rdzenie bloku silnika, części podwozia. Rdzenie kolektora ssącego pokazane na (rys. 3), oraz rdzenie wachacza tylnej osi (rys. 4) produkowane są seryjnie.

a)



b)



Rys.3.a,b Rdzeń Cordis, odlew z rdzenia Cordis



Rys. 4. Rdzeń odlewu wahacza tylnej osi motocykla. Masa rdzenia wynosi 3,8 kg.

5. Pokrycia.

Przy odlewach aluminiowych rdzenie wykonane na bazie spoiwa Cordis mogą być zalewane w stanie nie pokrytym. Jeżeli jednak zastosowanie pokrycia jest konieczne, rdzenie mogą być pokrywane zarówno pokryciem alkoholowym jak i wodnym. Podobnie jak rdzenie organiczne również rdzenie nieorganiczne tracą w niewielkim stopniu wytrzymałość w porównaniu do rdzeni niepokrytych. Pokrycia wodne dają przy tym większą utratę wytrzymałości niż alkoholowe.

6. Składowanie rdzeni.

Szczególne uwagę przy użyciu spoiw nieorganicznych należy zwrócić na składowanie rdzeni wykonanych przy ich zastosowaniu. Ze względu na ich hydrofilowe właściwości (rozpuszczalnikiem spoiwa jest woda), są one szczególnie czułe na wysoką wilgotność powietrza. Rdzenie nieorganiczne nie powinny być, zatem składowane przez dłuższy czas na wolnym powietrzu ani niewystawiane na działanie bardzo wilgotnego powietrza.

Przy opracowaniu systemu spoiw Cordis przebadano możliwości składowania rdzeni próbnych w zwykłych komorach klimatyzacyjnych względnie wilgotnościowych. Rdzeń próbny był przy tym składowany w określonej wilgotności powietrza, a następnie były badane jego właściwości. W badaniach laboratoryjnych rdzenie Cordis okazały się, w porównaniu z innymi spoiwami nieorganicznymi, najbardziej odporne na działanie podwyższonej wilgotności powietrza. (rys. 5). Rdzenie Cordis mogą być składowane przez 24 godziny przy wysokiej wilgotności względnej powietrza i tracą przy tym tylko jedną trzecią swojej wytrzymałości.

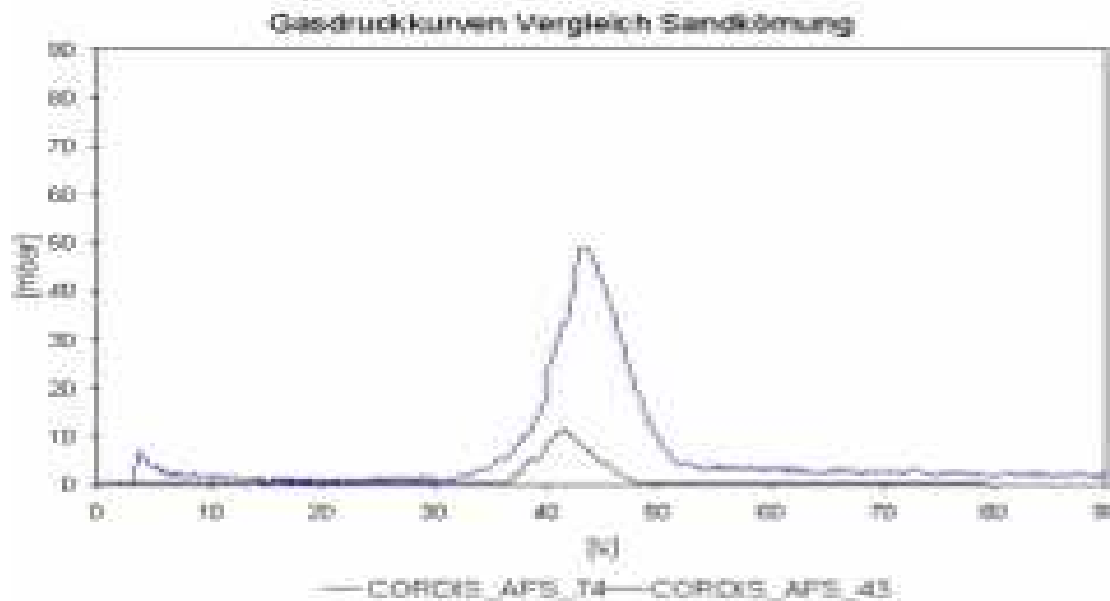


Rys. 5 Testy składowania rdzeni Cordis w komorze klimatyzacyjnej o wysokiej wilgotności względnej powietrza.

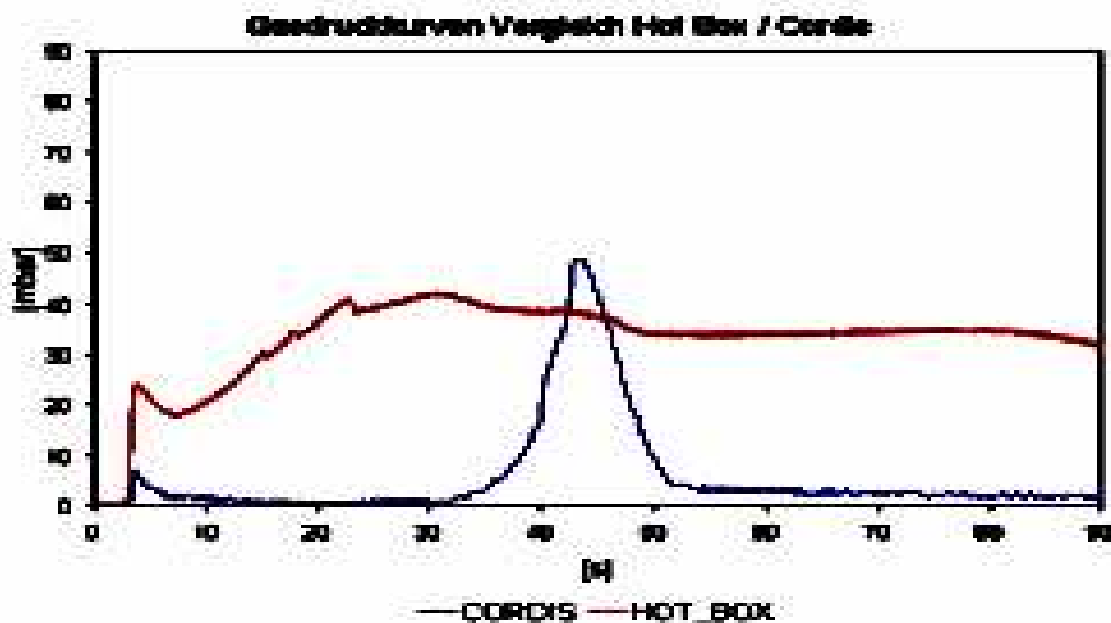
7. Od rdzenia Cordis do odlewu.

Jeszcze wyraźniej niż przy produkcji rdzeni, przyjazne dla otoczenia spoiwa nieorganiczne okazują się przy zalewaniu rdzeni. Tak został zalany grawitacyjnie w kokili kompletny pakiet rdzeni głowicy cylindrowej. Podczas zalewania nie stwierdzono powstawania ani ciemnego dymu ani zapachu. Ponadto nawet po wielu zalaniach nie stwierdzono w kokili tworzenia się kondensatu.

Szeroko rozpowszechniony jest pogląd i ciągle na nowo dyskutowany temat, że w przeciwieństwie do rdzeni wiązanych organicznie rdzenie nieorganiczne mogą być zalewane bez uderzeń gazowych. Badania przeprowadzone w firmie Huttenes-Albertus wykazały jednak, że nawet przy rdzeniach wiązanych nieorganicznie obserwuje się uderzenie gazowe. Szczególnie wyrazista jest tutaj zależność uderzenia gazowego od ziarnistości użytego piasku. Przy zastosowaniu grubego piasku (AFS 43) obserwuje się znacznie mniejsze uderzenie gazowe niż przy użyciu drobnego piasku (AFS 74) (rys. 6). Ponieważ obie badane próbki zawierały identyczne ilości spoiwa, bardzo wyraźny był wpływ ziarnistości piasku na wysokość tworzącego się ciśnienia gazu. Rdzenie Cordis wykazują inną charakterystykę, jeżeli chodzi o powstawanie uderzeń gazowych niż rdzenie wiązane organicznie. Podczas gdy rdzenie hot-box natychmiast po zetknięciu z metalem zaczynają w sposób ciągły wydzielać gaz, rdzenie nieorganiczne dopiero po trzydziestu do czterdziestu sekundach wykazują wyraźny wzrost ciśnienia, które po osiągnięciu maksimum natychmiast spada (rys. 7).



Rys. 6. Porównanie krzywych ciśnienia gazu dwóch rdzeni Cordis o różnej ziarnistości piasku: drobny piasek AFS 74 i gruby piasek AFS 43



Rys. 7. Porównanie uderzenia gazowego rdzeni hot-box i Cordis

Obok już opisanych pozytywnych doświadczeń przy zastosowaniu rdzeni Cordis w grawitacyjnym odlewaniu kokilowym aluminium można osiągnąć także bardzo dobre wyniki przy zastosowaniu w niskociśnieniowym odlewaniu aluminium oraz odlewaniu aluminium do form wilgotnych.. Otrzymywane przy tym powierzchnie odlewów są porównywalne lub lepsze niż wyniki odlewania z użyciem rdzeni wiązanych organicznie.

Wybijanie rdzeni z odlewów odbywa się bez problemu na będących już w użyciu urządzeniach do wybijania, przy czym rdzenie mogą być wybijane z odlewu bez uprzedniej obróbki cieplnej.

Przy stosowaniu piasków regenerowanych należy zwrócić uwagę na oddzielanie piasków ze spoiwami organicznymi od nieorganicznych, ze względu na różną charakterystykę spoiwa.

8. Podsumowanie.

Osiągnięto już wysoki poziom zastosowania spoiw nieorganicznych w produkcji rdzeni. Należy jednak jasno stwierdzić, że zdolność produkcyjna spoiw organicznych (wykonanie i składowanie rdzeni) nie została jeszcze całkowicie osiągnięta.

Spoiwa nieorganiczne są na drodze przełomu. Nie można tu wprawdzie niedoceniać ponoszonych nakładów i wymagań stawianych maszynom i narzędziom. Pomyślne wprowadzenie spoiw nieorganicznych w stosunku do dotychczasowych spoiw organicznych wymaga zmiany sposobu myślenia.

9. Literatura.

1. Przyjazne środowisku spoiwa nieorganiczne do produkcji form i rdzeni, Wuppertal 14.11.2002: Geisserei 90 (2003) Nr 10 str. 42 – 46
2. M. Franken Geisserei (2003) nr 6 str 182 – 184
3. Geisserei – rundschau nr.52 Dypl. Klaus Löchte, Ralph Boehm

WIZUALIZACJA PROCESU FORMOWANIA PODCIŚNIENIOWEGO

Marcin ŚLAZYK¹
Krzysztof SMYKSY²
Ewa CHROBOT³

*Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków*

1. Wstęp.

W badaniach procesów formowania wykorzystywane są różnorodne techniki pomiarowe. Najczęściej stosowana jest ocena efektów formowania oparta o pomiary twardości i gęstości form wykonanych w określonych warunkach. Prowadzone są również pomiary wielkości charakteryzujących dany proces formowania, przykładowo: nacisk prasujący, przemieszczenie warstw zagęszczanej masy, ciśnienie powietrza nad masą [2,3,4,5]. Jedną z metod badawczych stosowaną w ocenie przebiegu oraz efektów procesów formowania jest wizualizacja. Najprostszym wariantem tej metody jest wykonanie fotografii form (lub ich obszarów), w których zastosowano warstwy masy o zróżnicowanych barwach. Trudniejszym zagadnieniem jest wizualizacja przebiegu procesów prowadzona techniką szybkiego filmowania. W początkowym etapie wykorzystania tej metody badawczej stosowane były szybkie kamery mechaniczne a obecnie stosowane są kamery cyfrowe. Ich dużą zaletą jest łatwiejsze opracowanie wyników rejestracji dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu. W referacie zaprezentowano przykłady wykorzystania wizualizacji w badaniu różnych procesów formowania opracowane na podstawie przeglądu literatury. Przedstawiono również wybrane wyniki własnych badań procesu formowania podciśnieniowego, w których zastosowano omawianą technikę badawczą.

2. Obszary zastosowania wizualizacji w badaniach procesów formowania.

W literaturze technicznej z zakresu formowania można znaleźć liczne przykłady zastosowania różnych odmian wizualizacji procesów. Powodem wykorzystania tej techniki badawczej są z jednej strony trudności w bezpośrednim pomiarze parametrów charakteryzujących przebieg procesu formowania (przykładowo przemieszczenia, przyspieszenia warstw zagęszczanej masy) a z drugiej strony - zalety wizualizacji - bezkontaktowy charakter metody, stosunkowo duża ilość informacji o przebiegu procesu, możliwość pośredniej oceny efektów formowania.

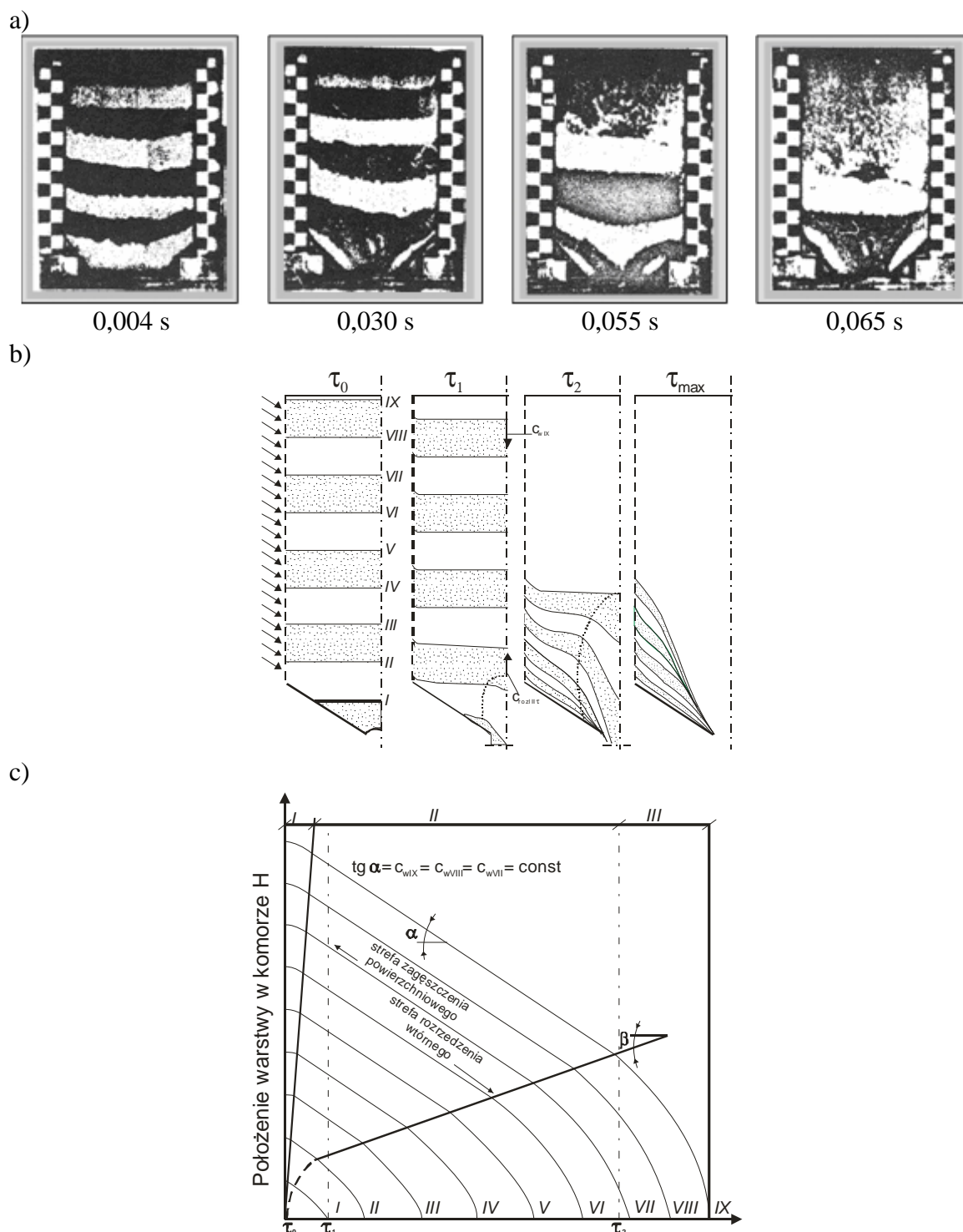
Technika szybkiego filmowania zastosowana była stosunkowo wcześniej i szeroko duchowych w badaniach procesów dmuchowych [2]. Wykorzystywano wówczas szybkie kamery mechaniczne. Badania przeprowadzone przez J. Dańko obejmowały rejestrację zjawisk zachodzących podczas ewakuacji masy z komory naboju - rys. 1 jak i podczas wypełniania rdzennic o różnym kształcie wnętrza - rys. 2. Stosowanie masy o dwu kontrastowych barwach ułatwiało obserwację procesu oraz analizę wyników. Należy

¹ mgr inż., mslazyk@agh.edu.pl

² dr inż., ksmysy@agh.edu.pl

³ mgr inż.

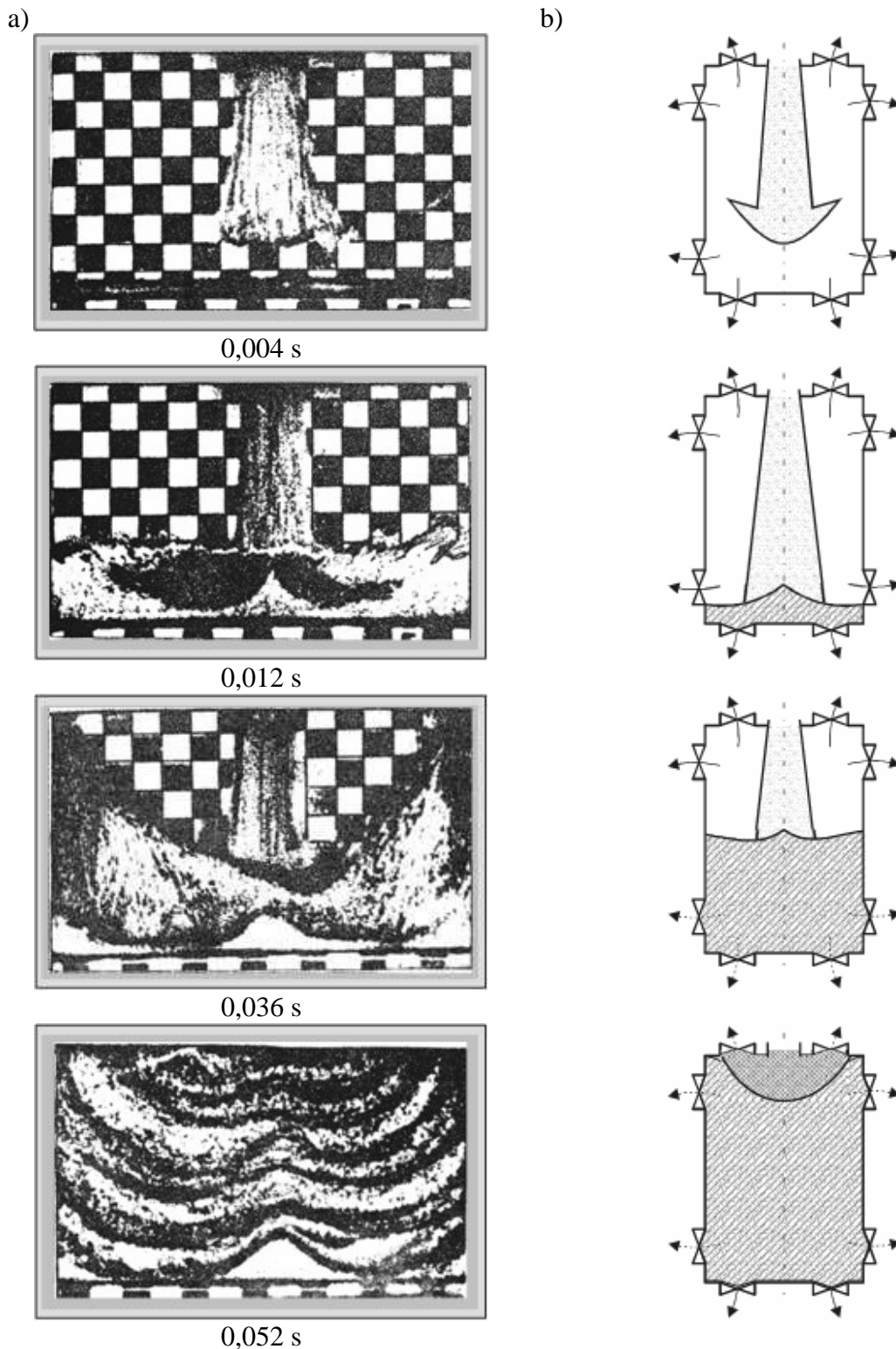
podkreślić, że zastosowana technika badawcza umożliwiła nie tylko opracowanie jakościowych schematów przebiegu zjawisk – rys. 1b, 2b, ale również analizę ilościową dotyczącą kinematyki warstw masy- rys.1c [2].



Rys.1. Wizualizacja i analiza procesu ewakuacji masy z komory nabojewej strzelarki [2]; a) wybrane stop-klatki, b) graficzny schemat przebiegu procesu, c) analiza ruchu warstw masy

Stosunkowo słaba jakość zaprezentowanych obrazów (rys.1a, 2a) wynika z zastosowanej techniki druku materiałów źródłowych [2] a nie z samej metody rejestracji. Tradycyjna technika filmowania przy spełnieniu odpowiednich warunków rejestracji

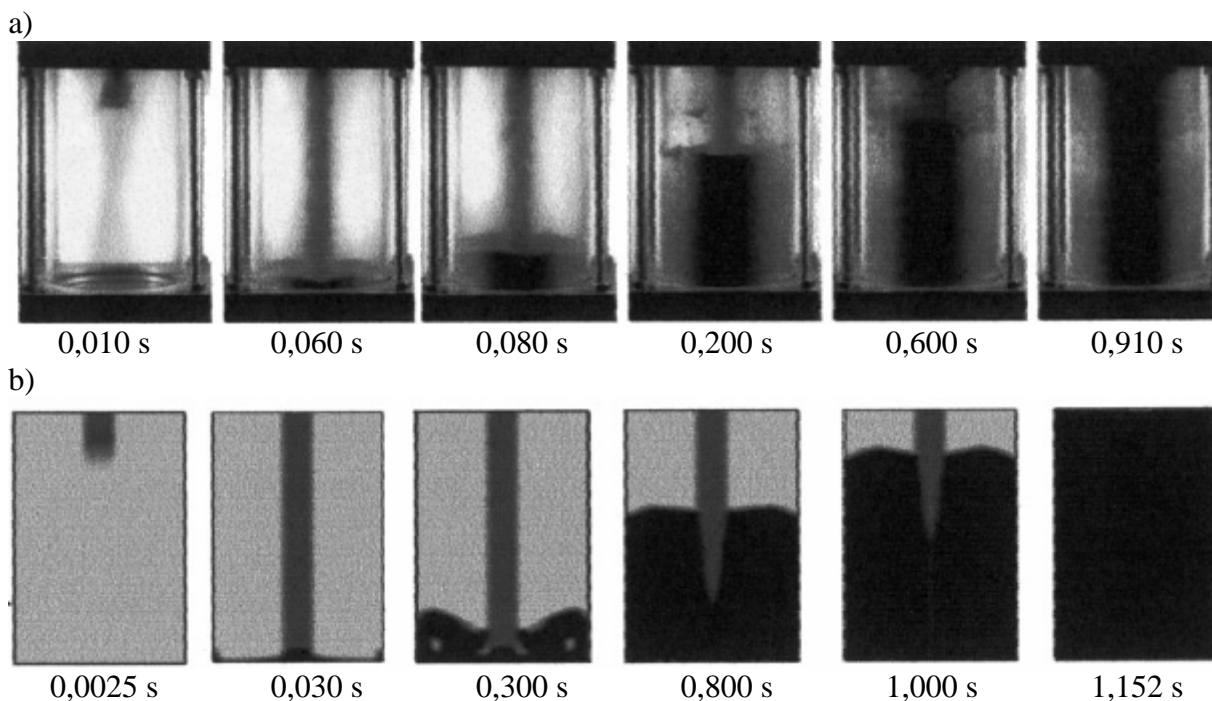
(np. prędkości filmowania, oświetlenia) oraz obróbki filmów, charakteryzuje się bowiem relatywnie wysoką jakością otrzymanych zdjęć.



Rys.2. Wizualizacja procesu zapelniania wnęki rdzennicy- strzelarka SR-3D [2]:
a) wybrane stop-klatki, b) graficzny schemat procesu zapelniania wnęki

Obecnie badania metod dmuchowych są nadal kontynuowane. Stosowana jest cyfrowa technika szybkiego filmowania – zastosowanie, której ułatwia prowadzenie badań, a także opracowanie wyników. Zwrócenia uwagi wymaga kolejny aspekt

wykorzystania wizualizacji – jako narzędzia weryfikującego rezultaty modelowania numerycznego procesu. Ilustrują to przykładowe wyniki rejestracji i symulacji numerycznej procesu zapełniania rdzennicy- rys.3 zaczerpnięte z pracy B. Winartomo i in.[9]. Możliwość efektywnego wykorzystania wspomnianych metod badań i analizy: rejestracji cyfrowej oraz symulacji procesów wynika z dynamicznego rozwoju elektroniki i informatyki.

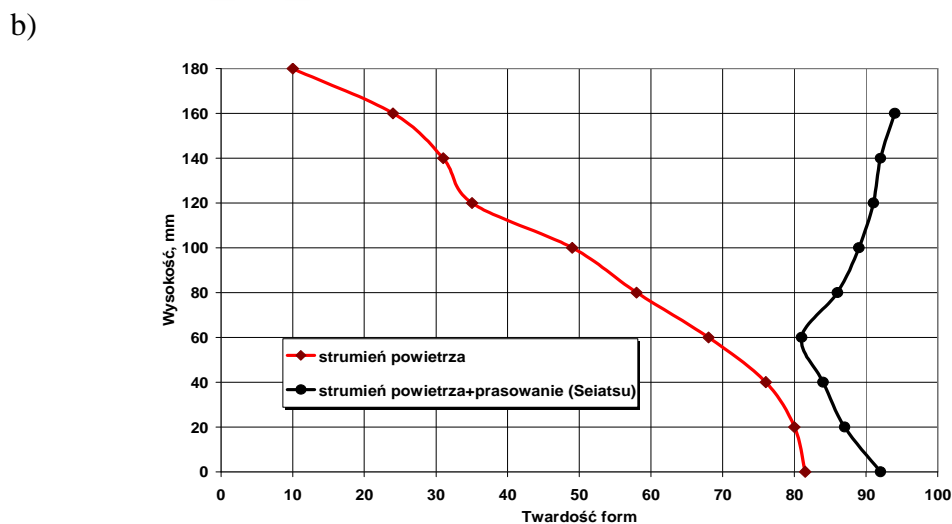
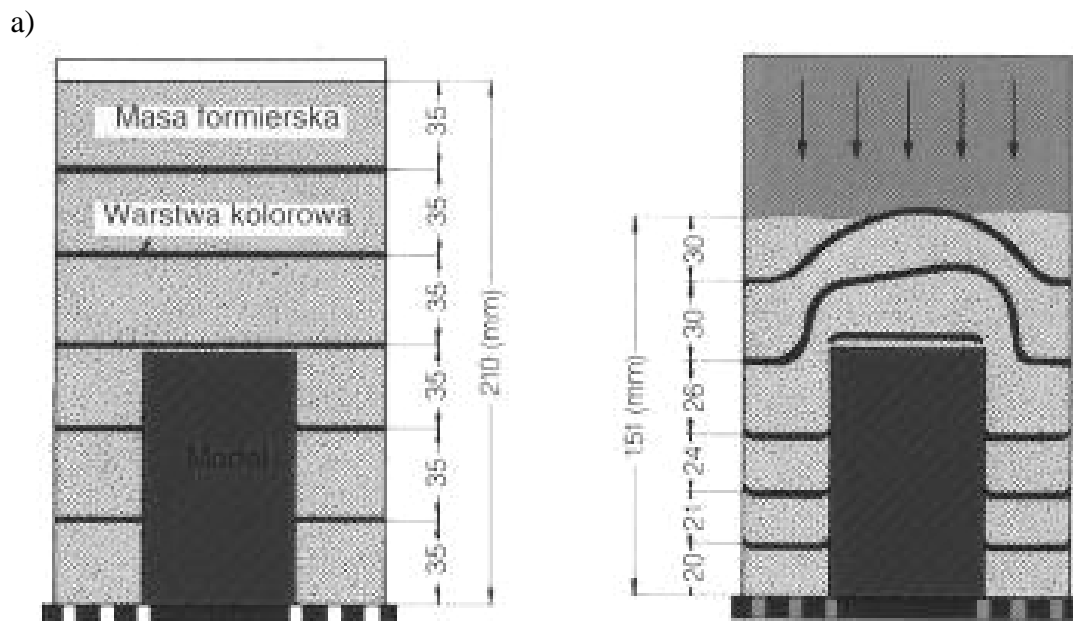


Rys.3. Wizualizacja procesu zapełniania rdzennicy [9]: a) badania modelowe (rejestracja szybką kamerą cyfrową), b) wyniki symulacji numerycznej procesu dmuchowego

Wykorzystanie techniki szybkiego filmowania wymaga zastosowania specjalistycznego, drogiego sprzętu. Jednak nawet w prostych eksperymentach zastosowanie masy o różnych barwach stwarza możliwość oceny efektów zagęszczania uzyskanych przy różnych konfiguracjach modeli. Przykładem może być wyniki wizualizacji zamieszczone w materiałach prospektowych firmy Heinrich Wagner - Sinto (rys. 4).

3. Wykorzystanie wizualizacji w badaniach formowania podciśnieniowego.

Wykorzystanie podciśnienia w przestrzeni technologicznej w celu uzyskania zagęszczenia wstępnego jest stosowane od szeregu lat; początkowa wartość ciśnienia absolutnego w przestrzeni technologicznej może osiągać 20 kPa [3]. Ostateczne zagęszczenie uzyskiwane jest przez doprasowanie. Zalety procesu to: odpowiedni stopień zagęszczenia, także przy trudnych technologicznie modelach, dobre odwzorowanie ich konturów, małe zużycie modeli oraz niski poziom emisji hałasu – poniżej 85 dB (A) [3,4]. Proces może być stosowany w formowaniu bezskrzynekowym jak i skrzynekowym. W dotychczasowych wariantach realizacji proces podciśnieniowy może być sklasyfikowany jako pewna odmiana procesu dmuchowego. Gradient ciśnienia i związany z nim przepływ powietrza powoduje transport masy z zasobnika lub komory naboju do komory formowania lub skrzyni. Proces podciśnieniowy może być wykorzystany do wspomagania zagęszczania form metodami dmuchowymi- informacje o tej możliwości są dostępne na stronach internetowych znaczącego producenta maszyn i linii formierskich DISA Group [10].

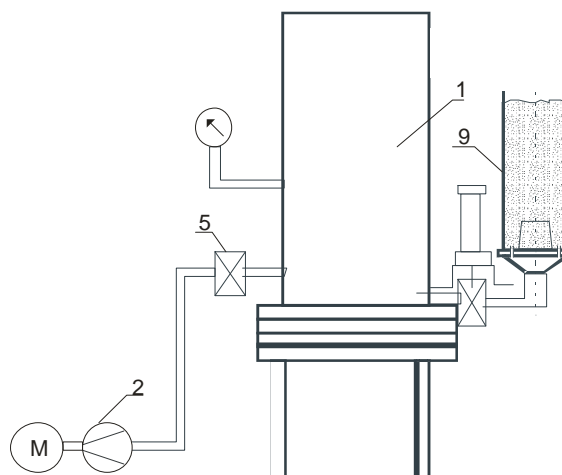


Rys.4. Wizualizacja efektów wstępnego zagęszczania strumieniem powietrza w metodzie SEIATSU [10]- a, rozkład twardości wzdłuż wysokości formy uzyskany w procesie- b

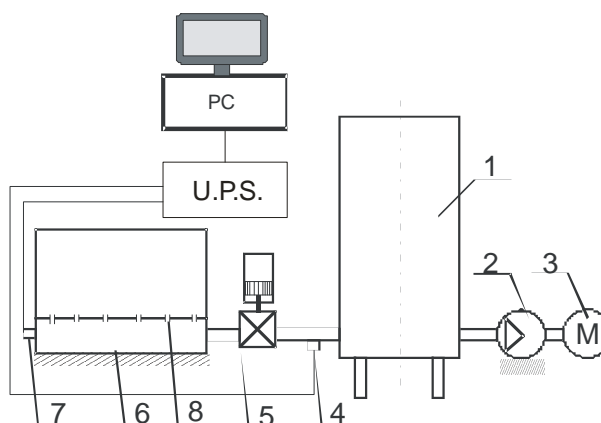
Wspomaganie różnorodnych procesów formowania można uzyskać również w wariacie realizacji procesu podciśnieniowego - bez transportu masy, świadczą o tym wyniki wcześniejszych badań przeprowadzone przez autorów artykułu [7,8].

Wykorzystanie wizualizacji jako techniki badawczej pozwala uzyskać także w przypadku tej metody zagęszczania interesujące rezultaty. Układ badawczy obejmował: stanowisko do badań modelowych z formą ze szkła organicznego oraz prototypowe stanowisko wykorzystujące formierkę FKT 54 wyposażoną w instalację podciśnieniową- rys.5. W badaniach stosowano syntetyczną masę z bentonitem oraz pyłem węglowym - podstawowe właściwości masy to: $R_c^w = 0,12 \text{ MPa}$, $P^w = 2,04 \text{ m}^2/\text{MPa}\cdot\text{s}$, $W=3,2 \%$.

a)



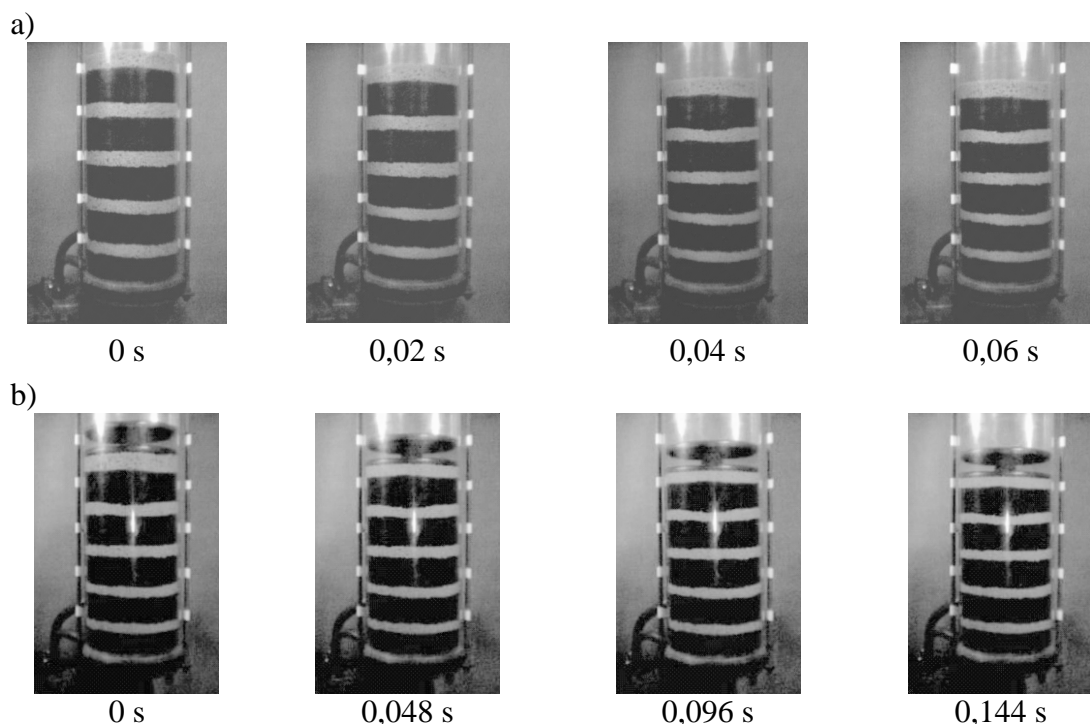
b)



Rys. 5. Widok i schemat prototypowego stanowiska do badań procesu formowania podciśnieniowego: a) modelowe, b) prototypowe na bazie formierki FKT 54; 1- zbiornik podciśnieniowy, 2- pompa próżniowa z napędem, 3- silnik, 4 i 7- czujniki ciśnienia, 5- zawór, 6- skrzynka formierska z nadstawką, 8- otwory odpowietrzające, 9 – forma z PMM

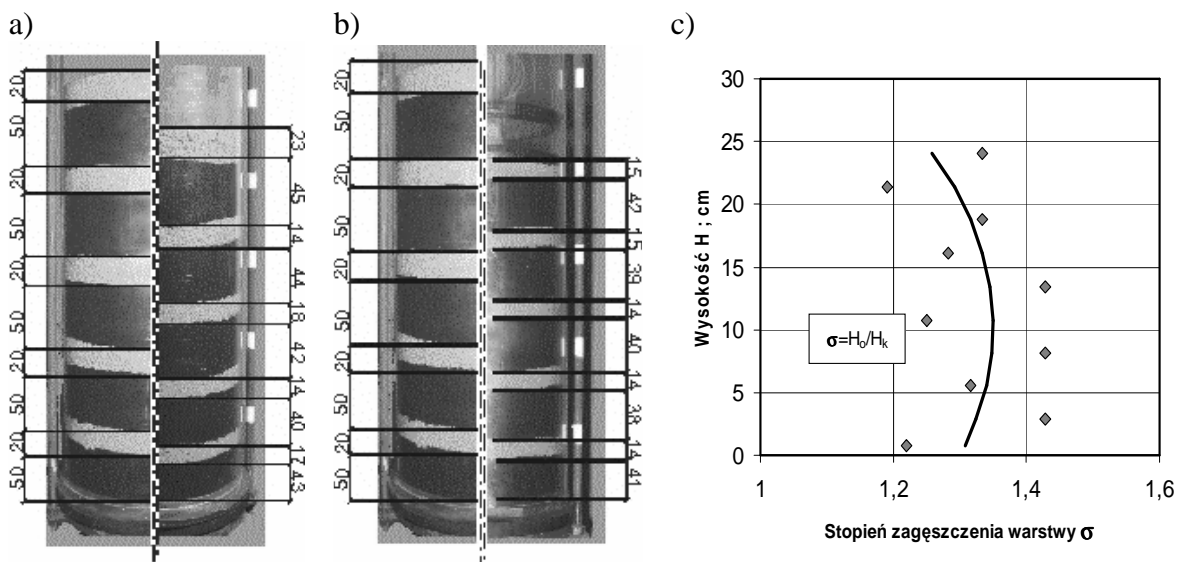
W badaniach stosowano modele o dużej smukłości wnęki wewnętrznej (osiągającej stosunek $h/d \sim 3$). Wyniki badań zaprezentowano obszernie w publikacjach [7,8]. Korzystny wpływ podciśnieniowego zagęszczania wstępnego na osiągnięte końcowe formowania (po doprasowaniu) w porównaniu do form zagęszczanych samym prasowaniem był wyraźny. Nieco wyższe wartości twardości formy uzyskano na zewnątrz modeli. Istotne jest, że występował znaczący wzrost twardości w obszarze szczeliny modelu.

Na rysunku 6 przedstawiono wybrane fazy różnych wariantów zagęszczania podciśnieniowego, rejestrację procesu wykonano szybką kamerą FASTCAM Super 10KC. Podobnie jak we wcześniej omawianych przykładach zastosowano masę o różnych barwach.



Rys. 6. Wizualizacja dwustopniowego procesu zagęszczania podciśnieniowego: a) wstępne zagęszczanie podciśnieniowe, b) doprasowanie podciśnieniowe krążkiem

Rysunek 7 przedstawia stan przed i po procesie zagęszczania w dwóch wariantach procesu zagęszczania podciśnieniowego masy- zdjęcia wykonano standardowym aparatem cyfrowym.

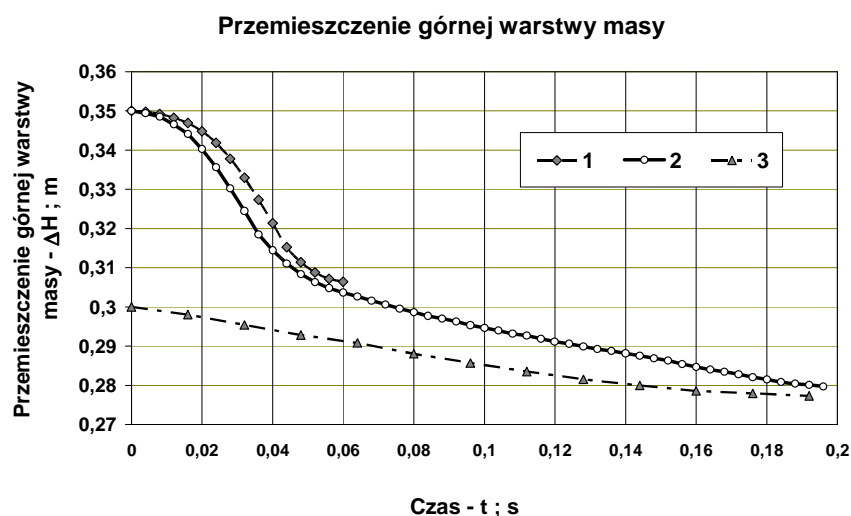


Rys. 7. Stan przed i po procesie zagęszczania podciśnieniowego; zdjęcia wykonane aparatem cyfrowym Minolta Z1

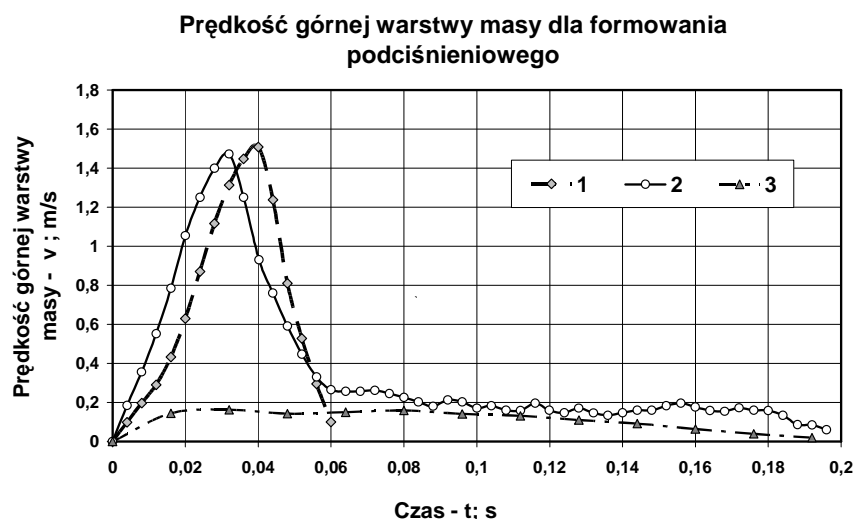
Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wykresy opracowane na podstawie analizy zarejestrowanych filmów. Wykazują one dynamiczny charakter przebiegu procesów pomimo stosunkowo niskiego gradientu ciśnienia w porównaniu do innych metod strumieniowych. Zastosowanie szczelnego krążka ułożonego na powierzchni masy umożliwia uzyskanie dogęszczenia górnych warstw masy. Końcowy efekt zagęszczania był podobny zarówno w jednostopniowym zagęszczaniu podciśnieniowym z krążkiem jak

i w procesie dwustopniowym: zagęszczenie podciśnieniowe z następnym doprasowaniem podciśnieniowym przy użyciu krążka.

a)



b)

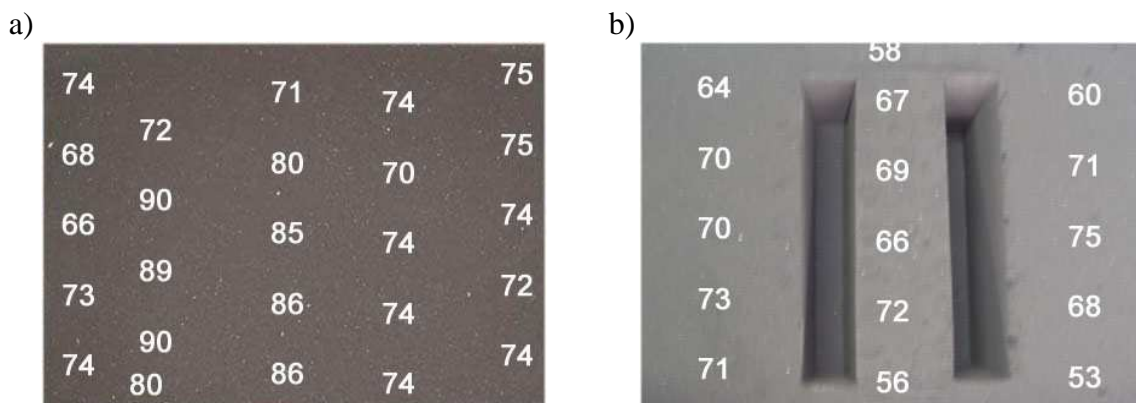


Rys. 8. Przemieszczenie- a) oraz prędkość- b) górnej warstwy masy w wybranych wariantach formowania podciśnieniowego; 1- zagęszczanie podciśnieniowe, 2- prasowanie podciśnieniowe- krążkiem, 3- proces dwustopniowy: prasowanie podciśnieniowe, doprasowanie podciśnieniowe krążkiem

Wykazują one dynamiczny charakter przebiegu procesów pomimo stosunkowo niskiego gradientu ciśnienia w porównaniu do innych metod strumieniowych. Zastosowanie szczelnego krążka ułożonego na powierzchni masy umożliwia uzyskanie dogęszczenia górnych warstw masy. Końcowy efekt zagęszczania był podobny zarówno w jednostopniowym zagęszczaniu podciśnieniowym z krążkiem jak i w procesie dwustopniowym: zagęszczenie podciśnieniowe z następnym doprasowaniem podciśnieniowym przy użyciu krążka.

Badania procesu formowania prowadzone na omawianym wcześniej stanowisku prototypowym- rys. 5 wykazały korzystny wpływ wstępnego zagęszczania podciśnieniowego [1]. Na rysunku 9 zamieszczono przykładowe efekty formowania podciśnieniowego z doprasowaniem (w zakresie niskich nacisków prasujących) uzyskane przy określonym zestawie modelowym (modele o dużej smukłości). Formy wykonane w tych samych warunkach jedynie prasowaniem wykazywały znacznie słabsze

zagęszczenie – zwłaszcza w obszarze pomiędzy modelami. Przeprowadzone badania wykazały możliwość dalszej optymalizacji konstrukcji prototypowego, z czym można wiązać dalszą poprawę efektów wstępnego formowania podciśnieniowego.



Rys. 9. Przykładowe rezultaty formowania uzyskane w procesie formowania podciśnieniowego z doprasowaniem; stanowisko prototypowe; a) górna powierzchnia półformy, b) dolna powierzchnia półformy

4. Podsumowanie.

Zaprezentowane przykłady świadczą o celowości stosowania metody wizualizacji w badaniach zjawisk zachodzących podczas procesów zagęszczania. Wykorzystanie jedynie standardowego aparatu cyfrowego pozwala uzyskać dodatkowe informacje o efektach formowania, przy stosunkowo niewielkim nakładzie pracy związanym z opracowaniem zdjęć. Rejestracja przebiegu procesu wymaga zastosowania drogiego sprzętu oraz specjalistycznego oprogramowania. Ogólnie można stwierdzić, że ceny szybkich kamer cyfrowych są proporcjonalne do szybkości rejestracji i jakości uzyskiwanych obrazów. Zakres możliwych do uzyskania informacji o przebiegu procesu jest jednak o wiele większy.

Zaprezentowane w zarysie rezultaty badań wybranego wariantu zagęszczania podciśnieniowego świadczą o jego przydatności jako metody wstępnego zagęszczania. Zastosowanie instalacji podciśnieniowej może rozszerzyć zakres możliwości technologicznych obecnie użytkowanych maszyn. Dotyczy to zwłaszcza poprawy efektów zagęszczania w przypadku stosowania skomplikowanych modeli. Zastosowana technika badawcza obejmująca wizualizację procesu zagęszczania i dynamiczne pomiary podstawowych wielkości pozwoli na wyjaśnienie mechanizmu procesu zagęszczania, a w konsekwencji optymalizację konstrukcji zespołu podciśnieniowego formierki. Ważny jest również związek powyższej problematyki z wymaganiami BHP oraz energochłonnością maszyn formierskich. Aktualnie w Katedrze Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni, AGH prowadzone są dalsze badania odmian formowania podciśnieniowego.

5. Literatura

1. Chrobot E.: Badanie wpływu podciśnienia na efekty zagęszczania w wybranych metodach formowania. Praca magisterska, Wydział Odlewnictwa, Promotor dr inż. Krzysztof Smyksy, 2004

2. Dańko J.: Metalurgia i Odlewnictwo. Procesy wytwarzania rdzeni i form odlewniczych metodami dmuchowymi. Badania i teoria. Zeszyty naukowe AGH, Kraków 1992
3. Malaschkin A., Bast, J.; Neue Meßmethode zur kontinuierlichen Qualitätskontrolle von tongebundenen Formen auf mechanisierten Formanlagen bei Form - und Gussherstellung mit tongebundenen Formstoffen, Gießerei-Praxis (2003), Nr. 11,
4. Mikulczyński T., Naplocha K., Nowak D.; Modelowanie procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich. Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 24 nr 3, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2004.
5. Smyksy K., Makohonenko K., Ślęzyk M., Szablowski M.: Badanie i analiza wybranych współczesnych metod formowania. V Konferencja odlewnicza Technical 2002, Nowa Sól 2002
6. Smyksy K.; Problematyka doboru parametrów impulsowych maszyn formierskich. Przegląd Odlewnictwa. — 2001 t. 51 nr 7-8
7. Ślęzyk M., Smyksy K.: Badania wybranych metod formowania podciśnieniowego. XXIX Konferencja naukowa z okazji Święta Odlewnika 2005. Kraków, 2005
8. Ślęzyk M.: Badanie wybranych aspektów procesu formowania podciśnieniowego. Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, vol. 24 nr 3, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2004.
9. Winartomo B., Vroomen U., Bührig-Polaczek A., Pelzer M.: Multiphase modeling of core shooting process. International Journal of Cast Metals Research 2005 Vol. 18 No. 1
10. Materiały prospektowe firm: Künkel Wagner, Heinrich Wagner-Sinto, Disa Group

WŁAŚCIWOŚCI ŚCIERNIWA UŻYWANEGO W OCZYSZCZARKACH WIRNIKOWYCH

Tadeusz PIOSIK¹
P.P.P. TECHNICAL Sp. z o.o.,
Nowa Sól

Piotr ZYZAK²
Wydział Odlewnictwa AGH,
Kraków

1. Streszczenie.

W artykule omówiono właściwości śrutu używanego w oczyszczarkach wirnikowych. Przedstawiono charakterystyki ziarnowe śrutu oraz podano zalecenia dotyczące doboru wielkości ziaren. Omówiono metodę oceny trwałości śrutu. Przedstawiono wyniki analizy granulometrycznej śrutu stosowanego do oczyszczania powierzchni odlewów z różnych tworzyw.

2. Wstęp.

Podstawową metodą oczyszczania i przygotowania powierzchni jest obróbka strumieniowo-ścierna [1÷3]. Do prowadzenia tej obróbki są stosowane głównie oczyszczarki wirnikowe miotające, odpowiednio dobrany, śrut. Zagadnienie jakości i właściwego doboru śrutu ma istotne znaczenie ze względu na korelację uzyskiwanych efektów – jakości powierzchni wyrobów z zużyciem śrutu z kosztami oczyszczania odlewów.

3. Charakterystyka stosowanego śrutu, zasady doboru.

W odlewnictwie stopów żelaza podstawowym ścierniwem jest śrut metalowy.

Wymagania techniczne dotyczące metalowych ścierniw stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej określa Polska Norma PN-EN ISO 11124-1.

Powszechnie stosowane ścierniwa określone wyżej podaną normą zawiera tablica 1:

Tablica 1. Powszechnie stosowane ścierniwa w obróbce strumieniowo-ścierniej [12].

Typ	Skrót	Wyjściowy kształt ziarna
Żeliwo utwardzone	M/CI	G (ostrokątny – kątowy, nieregularny)
Staliwo wysokowęglowe	M/HCS	S lub G (kulisty lub ostrokątny – kątowy nieregularny)
Staliwo niskowęglowe	M/LCS	S (kulisty)
Śrut cięty z drutu	M/CW	C (cylindryczny – ostrokrawędziowy)

¹ inż. V-ce Prezes TECHNICAL, t.piosik@technical.com.pl

² mgr inż.; pzyzak@agh.edu.pl

Zgodnie z normą oznaczenie ścierniwa powinno zawierać informacje określające jego podstawowe parametry. Dla przykładu, oznaczenie: Ścierniwo PN-ISO11124M/HCS/G140-710-HV - oznacza ścierniwo metalowe, z wysokowęglowego staliwa odpowiadające wymaganiom odpowiedniego arkusza ISO11124 o wyjściowym ostrokątnym kształcie ziarna, granulacji nominalnej ziaren ściernych 1,40 mm i twardości w zakresie od 570 HV do 710 HV.

Szczegółowe wymagania dotyczące poszczególnych rodzajów podanych ścierniw zawierają odpowiednie arkusze PN-EN ISO 11124. Określają one między innymi: minimalną twardość ziaren, rodzaje wad i ich dopuszczalny udział, wymaganą strukturę ziaren, skład chemiczny.

Charakterystykę stosowanych śrutów zamieszczono w tabelicy 2.

Podana w tabelicy 2 trwałość jest wartością zmienną i uzależniona jest głównie od granulacji wyjściowej śrutu, oraz od zakresu separacji.

Dokonując doboru gatunku, rodzaju i granulacji śrutu, należy brać pod uwagę następujące czynniki: rodzaj i kształt przedmiotu, w tym jego podatność na deformację, rodzaj i wielkość zanieczyszczenia przedmiotu, wymagany stopień czystości powierzchni po oczyszczeniu, wymaganą chropowatość powierzchni po oczyszczeniu, wymagany profil chropowatości, wymaganą wydajność oczyszczania, wpływ użytego śrutu na koszty oczyszczania.

Doboru rodzaju i granulacji śrutu dokonuje się najczęściej na zasadzie kompromisu, na przykład dokonując wyboru pomiędzy energią śrutu i związaną z nią wydajnością, a chropowatością powierzchni. Dla uzyskania dobrego efektu oczyszczania istotnym jest, aby śrut będący w obiegu oczyszczarki tworzył odpowiednią mieszaninę różnych granulacji (rys. 5). W mieszaninie zadaniem śrutu o dużej granulacji jest zgrubne oczyszczenie powierzchni i usunięcie nadmiaru masy. Śrut o granulacji średniej i małej ma za zadanie dokładne oczyszczenie powierzchni, a w szczególności wgłębień w powierzchni przedmiotów. Stąd też przy pierwszym napełnieniu oczyszczarki należy wsypać śrut w następującej proporcji: 60% śrutu o przyjętej największej granulacji, 20% śrutu o granulacji niższej o jeden stopień i 10% śrutu o granulacji niższej o kolejny stopień. Przy pierwszym uzupełnianiu śrutu w obiegu oczyszczarki zaleca się podać mieszaninę w następującej proporcji: 70% śrutu o największej przyjętej granulacji i 30% śrutu o granulacji niższej o jeden stopień. W trakcie dalszej eksploatacji odpowiednia mieszanina powstaje w sposób samoczynny i dalsze uzupełnienia powinny polegać na podawaniu do obiegu oczyszczarki śrutu o największej przyjętej granulacji.

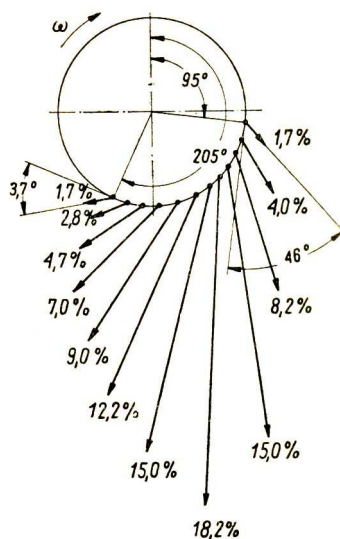
Tablica 2. Charakterystyka najczęściej stosowanych śrutów w oczyszczarkach wirnikowych i komorowych pneumatycznych [12].

RODZAJ ŚRUTU	KSZTAŁT ZIAREN	SKŁAD CHEMICZNY	MIKROSTRUKTURA	PRZECIĘTNA TWARDOŚĆ (HRC)	TRWAŁOŚĆ (liczba obiegów)
Żeliwny łamany utwardzony	ostrokątny	C 2,7÷3,0% Si 1,0÷2,2% Mn 0.30÷1,0% P 0,16÷0,60% S 0,07÷0,17%	Cementyt z osnową martenzytyczną	61÷64	150÷550
Nisko-węglowy staliwny	kulisty	C 0,08÷0,20% Si 0,1÷2,0% Mn 0.35÷1,5% P do 0,05% S do 0,05%	Bainit bądź martenzyt	42÷54	1700÷2200
Wysoko-węglowy staliwny	kulisty	C 0,8÷1,2% Si max 0,05% Mn 0.35÷1,2% P 0 max 0,05% S min. 0,4%	Drobny martenzyt i bainit	48÷52	1800÷2200
Wysoko-węglowy staliwny	ostrokątny	C 0,8 ÷1,2% Si max 0,05% Mn 0.35÷1,2% P 0 max 0,05% S min. 0,4%	Drobny martenzyt	max 64	1700÷1900
Cięty z drutu ze stali węglowej lub nierdzewnej	cylindryczny	Odpowiednio do wymaganej twardości i zastosowania	Odpowiednio do wymaganej twardości i zastosowania	max 62	do 2500 w zależności od składu chemicznego stali i obróbki cieplej
Nierdzewny staliwny	kulisty	C 0,20 Cr 18,0 Ni 8,0 Si 2,0 Mn 1,0	Austenit bez obecności niklu Martenzyt / Ferryt	max 52	1700÷2000
Do kulowania	kulisty	C 0,8÷1,2% Si max 0,05% Mn 0.35÷1,2% P 0 max 0,05% S min. 0,4%	Normalny – martenzyt odpuszczony Specjalny – martenzyt	normalny 45÷50 specjalny 55÷62	1200÷1400

Oferowany śrut charakteryzuje się granulacją [7]:

- śrut stalowy, odlewany kulisty – $d_{90} = 0,3; 0,5; 0,6; 0,71; 0,85; 1; 1,18; 1,4; 1,7; 2; 2,36; 2,83$ mm,
- śrut stalowy, odlewany łamany – $d_{80} = 0,33; 0,71; 0,85; 1,0; 1,18; 1,4$ mm,
- śrut żeliwny, odlewany kulisty – $d_i = 0,5 \div 1,0; 1,0 \div 1,5; 1,5 \div 2,0; 1,6 \div 2,5; 2,0 \div 2,5; 2,0 \div 2,8; 2,5 \div 3,5$ mm,
- śrut żeliwny odlewany łamany – $d_i = 0,1 \div 0,4; 0,4 \div 0,8; 0,8 \div 1,2; 1,0 \div 1,2; 1,0 \div 1,4; 1,2 \div 1,6; 1,6 \div 2,0$ mm.

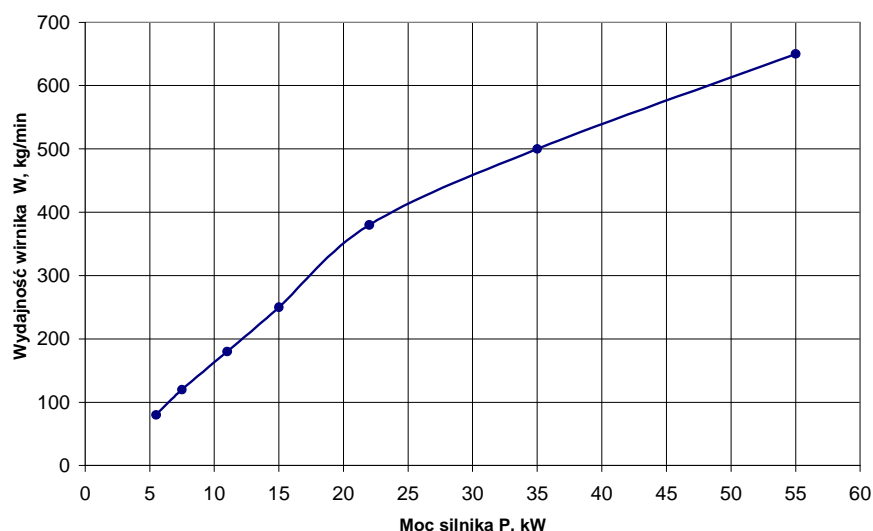
Problematyką rozrzutu cząstek śrutu w swojej pracy [10] zajmował się Aksjonow. Jak wynika z przedstawionego rysunku 1 rozrzut rzeczywisty jest znacznie większy od rozrzutu obliczonego teoretycznie. Można przypuszczać, że jedną z przyczyn tego jest odbijanie się od powierzchni roboczych łopatek śrutu padającego na nie pod dużymi kątami. Cząsteczki śrutu, które odbiły się od łopatki, przemieszczają się skokowo wzdłuż niej i dochodzą do wylotu oczyszczarki mając inne parametry w porównaniu z rozpatrywanym ślizganiem się ich wzdłuż łopatki. Najważniejszą przyczyną zwiększenia się rozrzutu jest prawdopodobnie wzajemne zderzanie się cząstek śrutu, przemieszczających się wzdłuż łopatki, do punktów zetknięcia się z cząstkami śrutu przemieszczającymi się po odbiciu się od niej w kierunku przeciwnym. Podczas tych wzajemnych zderzeń cząstek śrutu ich prędkości oraz kierunek ruchu znacznie się zmieniają, wskutek czego strumień śrutu rozprasza się i zwiększa się jego rozrzut. Rozpraszeniu śrutu sprzyjają nierówność i chropowatość powierzchni łopatki wskutek zużycia oraz nieprawidłowy kształt ziaren śrutu.



Rys.1. Ciężar rozrzutu śrutu (w % całkowitej ilości wyrzucanego śrutu). Koło rzutowe o średnicy 500 mm, 8 promieniowych łopatek, łopatki robocze cofnięte o 15° względem łopatek wirnika, ilość doprowadzanego śrutu 90 kg/min [10]

4. Ilość i zużycie śrutu.

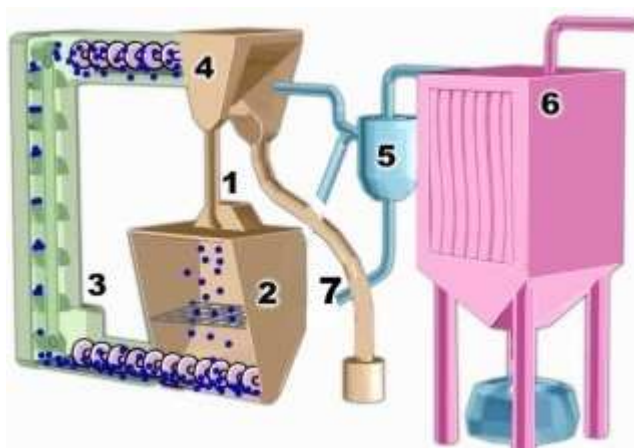
W aktualnie eksploatowanych oczyszczarkach są instalowane wirniki napędzane silnikami o mocy 3 ÷ 110 kW i wydajności 40 ÷ 1300 kg śrutu/min. Wartości średnie wydajności zestawiono na rysunku 4. Dane te dotyczą śrutu stalowego, kulistego o ziarnistości rzeczywistej $d_{90} = 0,6$ mm i 0,71 mm i twardości 46 ÷ 51 HRC [8].



Rys.2. Wydajność wirnika rzutowego w zależności od mocy silnika napędzającego [11]

Parametry strumienia śrutu, miotanego przez wirnik rzutowy zależą m. in. od ilości podawanego śrutu na łopatkę, prędkości wylotowej śrutu, średnicy koła rzutowego, szerokości łopatek rzutowych, wielkości okna w tulei regulacyjnej. Przede wszystkim jednak zależy od rodzaju i granulacji śrutu.

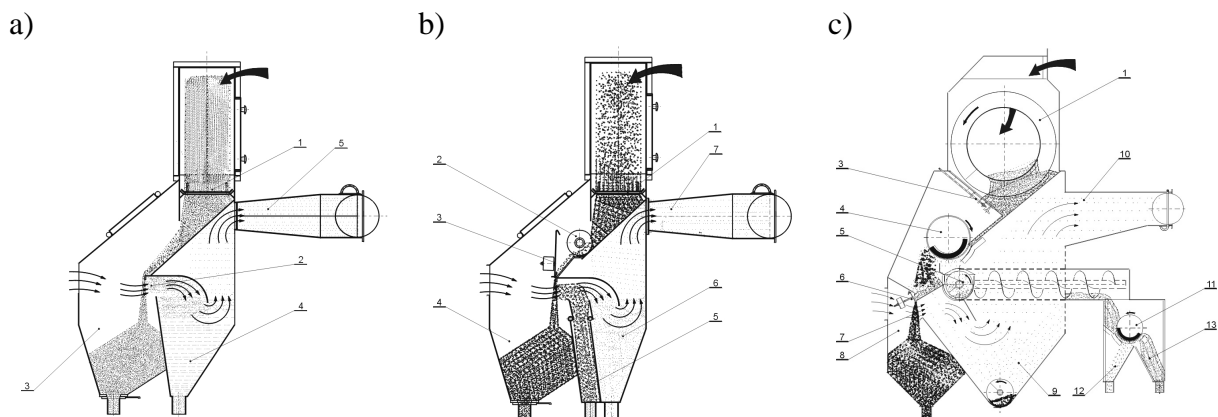
Obieg śrutu w oczyszczarce [9] przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Obieg śrutu w oczyszczarce: 1-wirnik rzutowy, 2-komora robocza, 3-podajnik kubelkowy, 4-separator śrutu, 5-wylapywanie z powietrza dobrych ziaren śrutu (z ang. abrasive trap), 6-zespół filtrów, 7-odprowadzenie z poz.5 do pojemnika

Duży wpływ na jakość powierzchni odlewów, mają właściwości śrutu, który ponownie trafia do obiegu z separatora zanieczyszczeń. Obok wirników rzutowych separatory śrutu są zespołami decydującymi o wydajności i jakości oczyszczania, a także w znaczącym stopniu o strukturze oczyszczanych powierzchni [8]. Sprawność separacji decyduje też o trwałości elementów oczyszczarki, głównie części roboczych wirnika rzutowego

Ogólnie stosowane są trzy rodzaje separatorów śrutu: separator powietrzny jednostopniowy, separator powietrzny dwustopniowy, separator magnetyczno-powietrzny. Stosowane są one odpowiednio do wielkości oczyszczarki i jej przeznaczenia. Na rysunku 4 przedstawiono schematy stosowanych w oczyszczarkach separatorów zanieczyszczeń [9].



Rys.4. Schemat pracy separatorów zanieczyszczeń: a)-separator śrutu powietrzny jednostopniowy, b)-separator śrutu powietrzny dwustopniowy, c)-separator magnetyczno-powietrzny[8]

Separatorzy przedstawione na rysunku 4 składają się z następujących elementów.

- Separator - rysunek a): 1- sito, 2-kurtyna powietrzna, 3-zbiornik śrutu, 4-zbiornik zanieczyszczeń, 5-ssawa.
- Separator - rysunek b): 1-sito, 2- ślimak, 3-przesłona spiętrzająca, 4-zbiornik czystego śrutu, 5-zbiornik warstwy pośredniej, 6- zbiornik zanieczyszczeń, 7- ssawa.
- Separator - rysunek c): 1-bęben przesiewający, 2-ślimak, 3-regulowana przysłona, 4-bęben magnetyczny, 5-przenośnik śrubowy, 6-klapa spiętrzająca, 7-kurtyna powietrzna, 8-zbiornik, 9-zbiornik zanieczyszczeń, 10-ssawa, 11-bęben magnetyczny, 12-zbiornik na śrut do ponownej separacji, 13- zbiornik zanieczyszczeń.



Rys.5. Wpływ granulacji śrutu na jakość obróbki strumieniowo-ściernej[9]

Poziom zużycia śrutu w zależności od zakresu separacji, uziarnienia śrutu i mocy napędu wirnika rzutowego przedstawia się następująco:

Tablica 3. Poziom zużycia śrutu w zależności od zakresu separacji, uziarnienia śrutu i mocy napędu wirnika

Nominalne [%]	Mieszanka Uziarnienie			Poziom zużycia					
	Średnie [%]	Drobne [%]	Zakres separacji [mm]	Zużycie w kg/wirnikogodzinę przy max. obciążeniu silników wirnika (wielkość prądu = pełnej mocy przy 380V), dla silników o różnej mocy znamionowej w kW					
				7 kW 14A	11 kW 21A	15 kW 28A	18 kW 35A	22 kW 42 A	37 kW 70A
70	20÷25	~5	0,4÷0,6	-	3,0	4,0	4,5÷5,5	5,0÷6,0	8,0÷10,0
60	25÷30	~5	0,4÷0,6	-	3,0	4,0	4,5÷5,5	5,0÷6,0	8,0÷10,0
70	20÷25	~5	0,5÷0,8	-	-	4,0÷5,0	5,0÷6,0	6,0÷7,0	8,0÷10,0
60	25÷35	~5	0,5÷0,6	2,5÷3,5	3,0÷4,0	4,0÷5,0	5,0÷6,0	6,0÷7,0	8,0÷10,0
55	30÷40	~10	0,3÷0,5	2,0÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,5÷4,5	4,5÷5,5	-
50	35	10÷15	0,3÷0,4	1,5÷2,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	3,0÷4,0	4,0÷5,0	-
55	35	~10	0,3÷0,5	2,0÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	3,5÷4,5	-
60	35	10÷15	0,2÷0,3	1,5÷2,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	-	-
50	35	10÷15	0,2÷0,4	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,0÷3,5	2,5÷4,0	-	-
60	25÷35	~5	0,5÷0,6	2,5÷3,5	3,0÷4,0	4,0÷5,0	5,0÷6,0	6,0÷7,0	8,0÷10,0
55	30÷40	~10	0,2÷0,5	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	3,5÷4,5	-
55	30÷40	10	0,2÷0,3	1,0÷2,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	-	-
45	35÷45	~10	0,16÷0,20	1,0÷2,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	-	-
55	30÷40	~10	0,20÷0,30	-	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	5,0÷7,0
55	30÷40	~10	0,20÷0,30	-	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	5,0÷7,0
50	30÷40	~10	0,16÷0,20	~1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,0	2,0÷2,5	2,5÷3,5	-
50	30÷40	~10	0,10÷0,16	~1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,0	2,0÷2,5	2,5÷3,5	-
50	30÷40	~10	0,16÷0,20	~1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,0	2,0÷2,5	2,5÷3,5	4,0÷6,0
45	35÷45	~10	0,10÷0,16	~1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,0	2,0÷2,5	2,5÷3,0	3,0÷5,0
45	35÷45	~10	0,10÷0,16	~1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,0	2,0÷2,5	2,5÷3,0	3,0÷5,0
50	30÷40	~10	0,2÷0,3	~1,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	5,0÷7,0
50	30÷40	~10	0,2÷0,3	~1,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	5,0÷7,0
65	25÷35	~5	0,3÷0,5	1,0÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	3,0÷4,0	3,5÷4,5	-
65	20÷30	~10	0,2÷0,4	1,0÷2,0	1,5÷2,5	2,0÷3,0	2,5÷3,5	-	-

Wirniki oczyszczarek mają określoną wydajność wyrażoną w masie śrutu wyrzucanego z wirnika w jednostce czasu. Jeśli ma się do czynienia ze stosunkowo mało zanieczyszczonymi powierzchniami odlewów wówczas energia kinetyczna pojedynczego ziarna nie ma takiego znaczenia, natomiast istotniejszym czynnikiem przyspieszającym proces oczyszczania jest liczba uderzeń śrutu w jednostce czasu. Ten ostatni czynnik jest związany bezpośrednio z ziarnistością śrutu. Przy stałej masowej wydajności wirnika liczba uderzeń śrutu w jednostce czasu rośnie ze zmniejszającą się średnicą ziaren.

Przy doborze należy również uwzględnić fakt, że:

- śrut o dobrych właściwościach skrawających decydujących o dużej wydajności i skuteczności oczyszczania, jest jednocześnie bardzo agresywny w stosunku do części roboczych oczyszczarki szczególnie do elementów zespołów rzutowych,
- śrut o dobrych właściwościach skrawających posiada mniejszą trwałość, wyrażoną ilością przejść przez wirnik rzutowy oczyszczarki,
- kształt ziarna śrutu decyduje o profilu chropowatości oczyszczonej powierzchni: śrut kulisty powoduje powstawanie czasz, natomiast śrut łamany tworzy powierzchnię o ostrych zębach często podciętych [1÷3, 5,6].

5. Badania właściwości śrutu.

Zakres badań obejmuje: trwałość, wielkość i kształt ziaren, twardość i gęstość właściwą [2, 4, 5, 8].

Jedną z podstawowych cech eksploatacyjnych jest trwałość śrutu. Wskaźnik trwałości śrutu określa ilość przejść śrutu przez wirnik doświadczalnej oczyszczarki aż do osiągnięcia określonej końcowej frakcji ziarna. Badany śrut wyrzucany z wirnika oczyszczarki uderza o płytę wykonaną zwykle z hartowanej stali i wraca do ponownego obiegu. Wskaźnik trwałości śrutu bywa zwykle określany jako ilość przejść śrutu przez wirnik do momentu, w którym ziarnistość rzeczywista ma 50% badanej ilości śrutu.

Badania ziarnistości sprowadzają się do określenia wymiarów i zawartości frakcji na drodze analizy sitowej. Wyznacza się ziarnistość rzeczywistą, określoną jako wymiar oczka sita, na którym pozostaje minimum 80, 85% lub 90% badanej próbki śrutu. Badanie ziarnistości przeprowadza się zwykle na próbce o masie min. 100 g, przy czasie przesiewania wynoszącym 5 minut.

Badania twardości prowadzi się najczęściej metodą Vickersa, a niekiedy Rockwella lub Knoppa.

Badanie gęstości śrutu odlewane ma na celu określenie udziału tzw. pustych ziaren. Gęstość właściwą ziarn śrutu można określić przez ważenie i pomiar objętości ziaren przez wyparcie cieczy np. alkoholu metylowego.

Badanie struktury przeprowadza się normalnymi metodami metalograficznymi, inkludując ziarna śrutu w żywicy.

Efekty śrutowania ocenia się na podstawie oceny powierzchni oczyszczanych wyrobów, ubytkiem masy czyszczonych próbek oraz na podstawie próby Almena. Próba ta polega na poddawaniu działaniu śrutu znormalizowanych pasków blachy. Pod wpływem uderzeń śrutu pasek blachy ulega odkształceniu. Wysokość ugięcia blachy jest miarą efektu śrutowania.

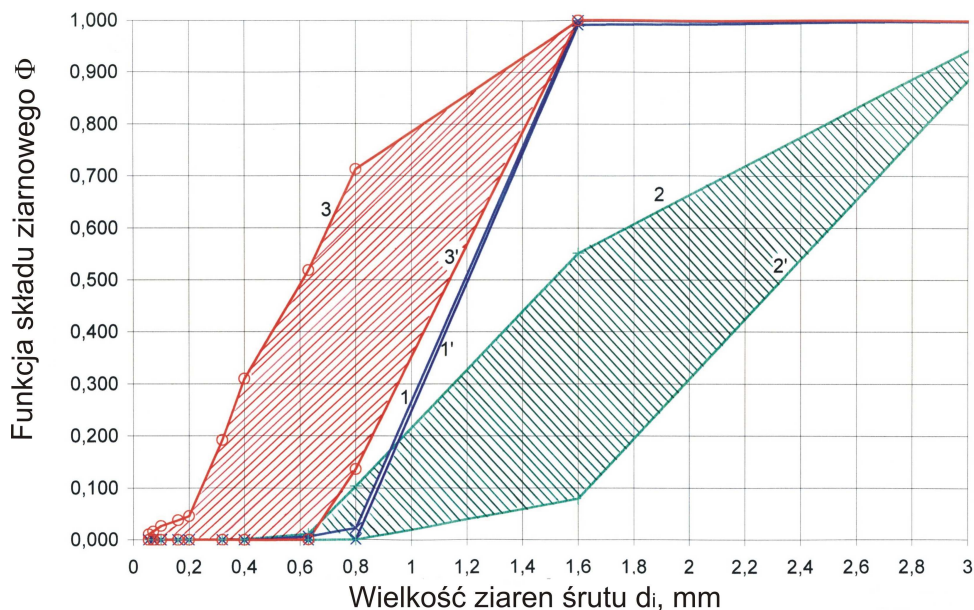
6. Analiza zmian składu ziarnowego.

W ramach własnych prac, dotyczących procesu oczyszczania, przeprowadzono analizę granulometryczną czysciwa (śrutu) używanego przy oczyszczaniu odlewów i blach stalowych przy użyciu oczyszczarek wirnikowych (tablica 4).

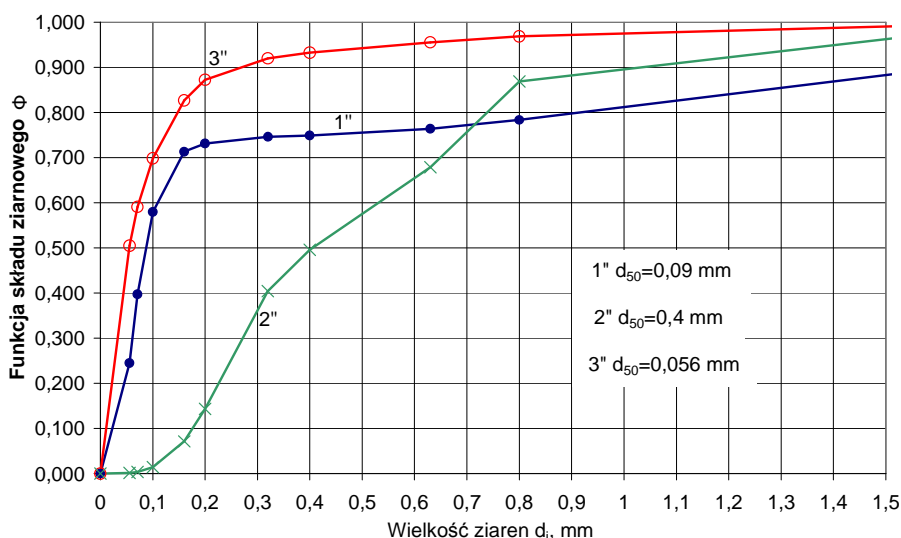
Tablica 4. Dane dotyczące warunków prowadzonych badań [11]

Oznaczenie próby	Tworzywo wyrobu	Technologia wykonania odlewów	Rodzaj oczyszczarki	Liczba wirników	Ilość wyrzucanego śrutu	Rodzaj śrutu	Ziarnistość rzeczywista śrutu	Gęstość właściwa śrutu	Metoda oczyszczania śrutu
-	-	-	-	i, szt	W, kg/min	-	d_{90} , mm	ρ_{sr} , kg/m ³	-
1	stal	formy z masy syntetycznej z bentonitem	OWS-1000	2	300	staliwny kulisty	1,18	7900	klasyfikacja pneumatyczna
2	staliwo	formy z masy syntetycznej z bentonitem	OWT-400A	1	150	żeliwny kulisty	>2	7750	przesiewanie, klasyfikacja pneumatyczna
3	staliwo	ceramiczne-wytapiane modele	OWH-1.0x1.5	2	300	staliwny kulisty	0,71	7800	przesiewanie, klasyfikacja pneumatyczna

Wyniki analizy ziarnowej śrutu używanego przy oczyszczaniu zamieszczono na rysunkach 6 i 7.



Rys.6. Zmiana składu ziarnowego śrutu używanego; po próbach 1,2,3 (tablica 4); 1',2',3'-wyjściowy skład ziarnowy śrutu [11]



Rys.7. Skład ziarnowy materiału z separatorów śrutu stosowanych w oczyszczarkach; 1,2,3-oznaczenia warunków prób (tablica 4) [11]

7. Podsumowanie.

Badania zmian składu ziarnowego śrutu być może pozwolą na powiązanie efektu z wykonaną pracą z hipotezami.

Wybór śrutu do oczyszczania powierzchni odlewów jest istotnym zagadnieniem. Poza decyzją co do rodzaju i gatunku śrutu wymagana jest znajomość jego cech eksploatacyjnych. Ekonomia procesu oczyszczania wymaga, aby stosować śrut charakteryzujący się jak najwyższą trwałością. Trwałość jest podstawową cechą eksploatacyjną. Przedstawione orientacyjne wartości trwałości stosowanych odmian śrutu oraz zakresy właściwości pozwalają na ocenę efektywności procesu.

Analiza zmian składu granulometrycznego śrutu stosowanego w różnych warunkach pozwoli, po kompleksowym opracowaniu, na ocenę trwałości w warunkach przemysłowych. Trwałość w tych warunkach zależy nie tylko od parametrów strumienia

śrutu, tworzywa śrutu i odlewów, właściwości śrutu itp. ale również od stopnia jego oczyszczenia w separatorach oczyszczarek.

8. Literatura.

1. Piosik T.: Wybrane zagadnienia obróbki strumieniowo-ściernej powierzchni.
2. Piosik T.; Zyzak P.: Wybrane zagadnienia obróbki strumieniowo – ściernej. VII Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2004 „Odlewnictwo XXI wieku – technologie, maszyny i urządzenia odlewnicze”. Biuletyn Konferencyjny. Nowa Sól 03.06 ÷ 04.06 2004 r., s.23
3. Piosik T.: Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ścierne. Materiały Sympozjum „Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoży metali pod powłoki ochronne”. Instytut Mechaniki Precyzyjnej. Hajnówka, 2001, s. 89.
4. Katalogi i prospekty producentów maszyn i urządzeń odlewniczych: TECHNICAL, Georg Fischer Disa, Tilghman Wheelabrator, Wheelabrator Alleward oraz producentów śrutu.
5. Łempicki J., Paradysz J.: Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i stalowych. WNT. Warszawa, 1979.
6. Praca zbiorowa.: Poradnik Inżyniera – Odlewnictwo. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa,
7. www.ipd.com.pl
8. Piosik T.: Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ścierne. Biuletyn Konferencji TECHNICAL'02. Nowa Sól, 2002, s.62
9. www.bestofblasting.com
10. Aksjonow P.N.: Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1965
11. Zyzak P.: Cechy użytkowe śrutu stosowanego w oczyszczarkach wirnikowych. W druku.
12. PN-EN ISO 11124-1

ZDOLNOŚĆ FILTRACYJNA FORM PIASKOWYCH W PROCESACH HYDROMECHANICZNYCH

Tadeusz SZMIGIELSKI¹
Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn
Uniwersytetu Zielonogórskiego

1. Wstęp.

Struktura wewnętrzna ośrodków porowatych determinuje opory przepływu w procesach hydromechanicznych układów jedno- jak i dwufazowych (przepuszczalność, filtracja). Zagęszczona masa formierska, jako rzeczywisty ośrodek porowaty, charakteryzuje się określonymi stratami podczas przepływu powietrza. Wymuszony przepływ towarzyszy procesom duchowym, jakim może być poddawana forma w różnych etapach procesu wytwarzania odlewów. Może to być związane z wprowadzaniem rozdrobnionych bądź rozpylonych dodatków do wierzchniej warstwy formy (jako powłoki ochronne, wzmacniające), z przedmuchiwaniami form i rdzeni środkiem utwardzającym spoiwo (proces CO₂, proces fenolowy Ashlanda) itp. Z teoretycznego i praktycznego punktu widzenia dla prawidłowego i sterowalnego procesu na przykład podczas wprowadzania materiału powłokowego w postaci pyłów na formy odlewnicze [10, 12], podstawowe znaczenie ma znajomość prędkości unoszenia U cząstek pyłu, która z kolei wpływa na wielkość oporów przepływu Δp przez zagęszczoną masę formierską. Przegląd publikacji i opracowań zajmujących się zagadnieniami przepływów i filtracji wykazał, że dotyczą one w większości procesów wynikających z chemii przemysłowej. Bezpośrednie wykorzystanie danych wynikających z obliczeń teoretycznych jak i doświadczalnych, do mas formierskich jako ośrodków porowatych nie daje podstaw do prawidłowego i zgodnego ze stanem rzeczywistym interpretowania wyników badań. Prawie wszystkie rozważania teoretyczne przepływu przez ośrodek porowaty oparte są na modelu kanałów prosto-osiowych i na prawie Poissuille'a, bądź na modelu opływu elementu złoża przez płyn, a metody określające parametry charakteryzujące ośrodek porowaty bazują na założeniach upraszczających np., kształtu ziaren, jakości powierzchni, wielkości ziaren itp. Opublikowane liczne prace dotyczące filtracji w procesie odpylania [2,4,5,6,7] operują, co prawda opływem elementu złoża ale elementy te są z założenia rozmieszczone tak luźno, że pomija się ich wzajemne oddziaływanie w przepływie. Przypadki takie mają zastosowanie głównie w filtrach włókninowych o wysokiej porowatości $\varepsilon > 0,40$ oraz przy fluidyzacji i sedymentacji [3,7]. Masa formierska charakteryzuje się znacznie mniejszą porowatością. Według [8,10,12] należy ją przyjmować w zakresie $\varepsilon = 0,24$ do $0,40$ w zależności od występującej w jej składzie ilości frakcji pyłowych, zawartości wody i stopnia zagęszczenia masy. Dla takiego złoża ziarnistego, jakim jest masa formierska, przy opływie jej elementów jakimi są poszczególne ziarna, oddziaływanie sąsiednich ziaren nie powinno być pominięte. W procesach odpylania, czy nanoszenia dodatków do wierzchniej warstwy formy piaskowej należy również uwzględnić zjawisko zatrzymywania cząstek w masie formierskiej. W zatrzymywaniu cząstek biorą udział między innymi takie mechanizmy filtracji jak, mechanizm bezwładnościowy i bezpośredniego zaczepiania [6,7] Mechanizm bezwładnościowy występuje tylko w ruchu krzywoliniowym, a takiego brak w kanale prosto-osiowym. Z kolei mechanizm

¹ dr inż.

bezpośredniego zaczepiania może występować tylko w przypadku elementu opływanego przez zawieszinę pyłowo- lub aerozolowo-powietrzną.

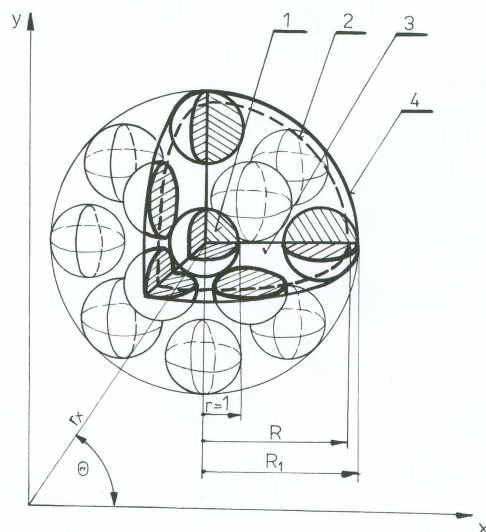
Na podstawie szerokiej analizy różnych modeli ośrodków ziarnistych do rozważań nad przepływem powietrza w masach formierskich i oceny jej zdolności filtracyjnej przyjęto model „celi zamkniętej” zaproponowany przez Chróściela St.[9]. Uzyskane rezultaty przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

2. Model opisujący strukturę zagęszczonej masy formierskiej.

Adekwatność modelu celi zamkniętej w rozważaniach dotyczących przepływów w masach formierskich, wydaje się być uzasadniona ze względu na takie cechy złoża jak:

- rodzaj złoża jest najbardziej ze wszystkich znanych modeli zbliżony do rzeczywistego złoża masy formierskiej,
- uwzględnia oddziaływanie stałych ścianek co dla złoża rzeczywistego jest równoznaczne z wzajemnym oddziaływaniem na siebie ziaren, będących z sobą w bezpośrednim kontakcie.

Model przedstawiony na rysunku 1 składa się z trzech koncentrycznych sfer. Pomiędzy elementem złoża (1) i powierzchnią kulistą (2) o promieniu R znajduje się przestrzeń wypełniona płynem (3). Cella jest zewnętrznie zamknięta powierzchnią kulistą (4) o promieniu R_1 ($R_1 > R > 1$). Na objętość pomiędzy promieniem R_1 i R składa się objętość ziaren złoża otaczających element centralny.



Rys1. Model „celi zamkniętej” złoża ziarnistego – schemat poglądowy: 1-centralne ziarno kuliste o bezwymiarowym promieniu $r=1$, 2- otoczka gazowa o promieniu R wyrażająca wolną przestrzeń międzyziarnową, 3- przestrzeń, w której zachodzi przepływ i opływ, 4- zewnętrzna powierzchnia kulista o promieniu R_1 obejmująca ziarna ułożone wokół elementu centralnego (1).

Do rozważań nad przepływem powietrza przez złożo ziarniste przyjęto równanie Stokesa dla opływu płynu przez kuliste elementy, przy założeniu płynu nieściśliwego. Założenie nieściśliwości płynu wydaje się być poprawne z następujących względów:

- przepływ odbywa się w stałej temperaturze otoczenia,
- gradient ciśnienia przepływu w stosunku do barometrycznego mieści się do 300 hPa,
- prędkość przepływu jest wielokrotnie mniejsza od liczby Macha $U \ll 0,4M$ [1].

Opierając się na rozważaniach teoretycznych St. Chróściela [9], który udoskonalił równanie Kozeny-Carmana oraz wprowadzając funkcję Stokesa $\Psi = Q/2\Pi$ i dokonując

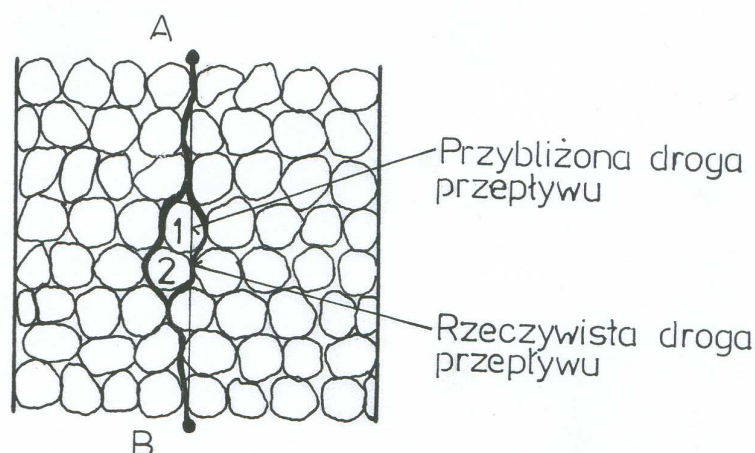
przekształceń [10] otrzymano wzór na spadek ciśnienia przy przepływie przez jednorodną złoże ziarniste o ziarnach kulistych i gładkiej powierzchni w postaci:

$$\Delta p = 9\mu HU/r_z^2 \cdot (1-\varepsilon)/\varepsilon \cdot k_1 \quad (1)$$

gdzie: H - wysokość warstwy złoża ziarnistego,
 μ - współczynnik lepkości dynamicznej powietrza,
 U - prędkość przepływu powietrza,
 ε - porowatość warstwy złoża ziarnistego,
 r_z - promień kulistego elementu (ziarna) warstwy,
 k_1 - współczynnik opisujący wolną przestrzeń międzyziarnową warstwy.

3. Opory przepływu powietrza w masach formierskich.

Zagęszczona masa formierska, jako rzeczywisty ośrodek porowaty, charakteryzuje się określonymi stratami podczas przepływu powietrza przez kanaliki por. Straty te są spowodowane; oporami tarcia i oporami miejscowymi, związane z nagłą zmianą przekroju kanalika, jego zawiłym kształtem oraz stanem powierzchni, która znacznie odbiega od powierzchni gładkiej. Powietrze przepływając w zagęszczonej masie przepływa od punktu A do punktu B nie po linii prostej i nie ze stałą prędkością, lecz raczej od pora do pora po krzywej zaznaczonej na rysunku 2 linią grubą. Rzeczywista droga przepływu jest inna niż wynika to z wysokości (H) warstwy.



Rys.2. Droga przepływu powietrza w zagęszczonej masie formierskiej

Struga powietrza płynąc według schematu przedstawionego na rysunku 2, zmienia kierunek przy opływie poszczególnych ziaren (1, 2), rozdzielając się przy tym, by ponownie (od strony spływowej z ziarna) połączyć się. W sąsiednich porach zachodzi podobne zjawisko jak wyżej omówione, w związku z tym występuje wzajemne oddziaływanie strug na siebie, zwiększające siłę reakcji oporów poszczególnych ziaren na płynące powietrze. Oznacza to, że siła oporu podczas opływu ziarna, będzie różniła się od siły wynikającej z prawa Stokesa przy opływie gładkich ziaren kulistych o pewien współczynnik ζ nazwany współczynnikiem wzrostu oporów. Współczynnik ten charakteryzuje kanaliki pora masy pod względem geometrycznym i uwzględnia w sobie między innymi zmienność kierunku strugi powietrza przepływającego przez warstwę masy. Według [11] $\zeta = 1,18$ do $1,35$.

Wtedy równanie na opory przepływu w warstwie masy przyjmuje postać:

$$\Delta p = \zeta \cdot 9\mu HU/r_z^2 \cdot k_1 \cdot (2,3525 - R) / (R - 0,8325) \quad (2)$$

gdzie: R – parametr reprezentujący wolną przestrzeń wokół elementu ośrodka ziarnistego opisany funkcją: $R = 1,53 \cdot \varepsilon + 0,8325$ dla $\varepsilon = 0,24$ do $0,40$

k_1 – współczynnik opisujący wolną przestrzeń międzyziarnową ośrodka porowatego, niezależny od ziarnistości tego ośrodka związany z parametrem R za pomocą równania:

$$k_1 = (R^2 - 1) \cdot (6R^5 - 5R^3 - 1) / (4R^7 - 9R^6 + 10R^4 - 9R^2 + 4R) \quad (3)$$

Dla stałych parametrów geometrycznych struktury wewnętrznej masy formierskiej oraz stałych właściwości filtracyjnych powietrza opisanych współczynnikiem μ , wielkość spadku ciśnienia po obu stronach warstwy o wysokości H , zależna będzie od prędkości U przepływającego powietrza.

Wtedy równanie (3) można zapisać w postaci uproszczonej:

$$\Delta p = b_f \cdot U \cdot H \quad (4)$$

gdzie: b_f – współczynnik oporów filtrowania ($\text{Pa} \cdot \text{s} / \text{m}$),

U – prędkość przepływu powietrza (m/s),

H – wysokość warstwy masy (m).

Współczynnik b_f charakteryzuje zdolności filtracyjne zagęszczonej masy formierskiej.

Na podstawie wyników doświadczeń [10] ustalono, że zasadniczy wpływ na wartości współczynnika b_f ma między innymi porowatość ε zagęszczonej masy formierskiej. Zależność tę opisano funkcją wykładniczą postaci:

$$b_f = b_{f_0} \cdot e^{-n(\varepsilon - \varepsilon_0)/\varepsilon} \quad (5)$$

gdzie: b_{f_0} - współczynnik oporów filtrowania dla masy o wyjściowej porowatości ε_0 ,

ε - porowatość masy,

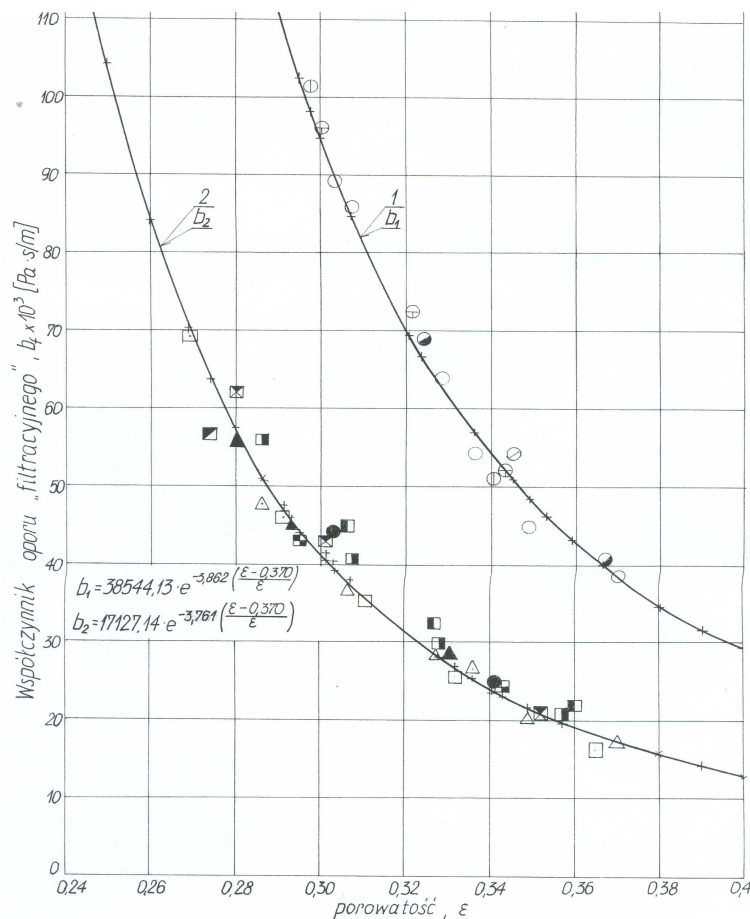
n - wykładnik potęgi zależny od masy formierskiej (od 3,45 do 4,05) [11].

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowo przebieg zależności (5) dla mas opartych na piaskach o liczbie ziarnistości $L = 42$ do 62 i zawartości bentonitu 7%.

Aproksymacja współczynnika oporów filtracyjnych funkcją wykładniczą wprowadziła średni błąd równy 4,3%, w przypadku mas opartych na piasku drobnym oraz 5,7% dla mas opartych na piasku grubym. Wartości podanych błędów odnoszą się dla zakresu porowatości mas $\varepsilon = 0,265$ do $0,378$. Przedstawione wyniki na rysunku 3 można uznać, że w sposób wystarczający opisują zdolność filtracyjną mas o wysokości warstwy $H = 0,05\text{m}$. Uzyskane wyniki odnoszą się do mas opartych o piaski kwarcowe Grudzień Las, jako lepiszcze stosowano bentonit V6 w ilości 7% i 10%. Zawartość wody w masach wynosiła od 2,5% do 6,0%. Gęstość pozorna masy w granicach 1500kg/m^3 do 1730kg/m^3 . Szczegółowy sposób przeprowadzonych pomiarów przedstawiono w pracy [10].

W badaniach wykazano, że wartości współczynnika oporów filtrowania dla rozważanych mas maleją ze wzrostem porowatości masy i wielkości ziarna piasku wyrażonej za pomocą liczby ziarnistości L .

Nie stwierdzono zauważalnego wpływu wilgotności masy w badanym zakresie na zmianę wartości współczynnika b_f opisanego równaniem (5).



Rys. 3. Współczynnik oporów filtracyjnych powietrza b_f w zależności od porowatości ε masy: 1- dla masy o ziarnistości osnowy $L = 62$, 2 – dla masy o ziarnistości $L = 42$

W szybkiej ocenie zdolności filtracyjnej masy, operowanie wielkością jej porowatości napotyka znaczne trudności, gdyż jej pomiar w formie jest trudny. Według [12] obliczenia zdolności filtracyjnej uprości się przez powiązanie odpowiednich wielkości, np. wynikającej z pomiaru przepuszczalności mas. W tym celu wykorzystano zależność liniową współczynnika przepuszczalności k_p , który opisał J. Szreniawski [13] wyrażeniem:

$$k_p = B \cdot P^w \quad \text{gdzie: } B = 0,30,$$

Według badań [10] współczynnik proporcjonalności $B = 0,23$, a wynika to między innymi z większej prędkości przepływów powietrza niż w badaniach [13]. W pracy [10] wykazano dodatkowo, że współczynnik przepuszczalności k_p można powiązać z porowatością ε masy za pomocą funkcji potęgowej:

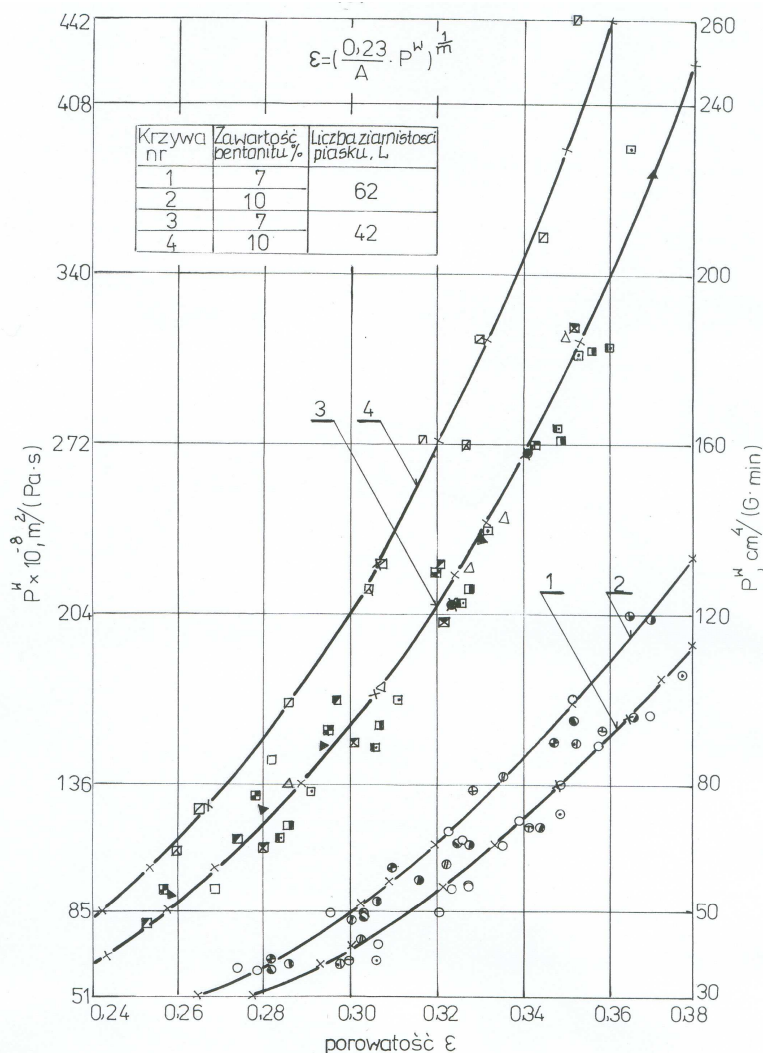
$$k_p = A \cdot \varepsilon^m$$

Przyrównując oba wyrażenia na k_p otrzymano równanie empiryczne określające porowatość ε masy związaną z przepuszczalnością P^w tej masy:

$$\varepsilon = (0,23/A \cdot P^w)^{1/m} \quad (6)$$

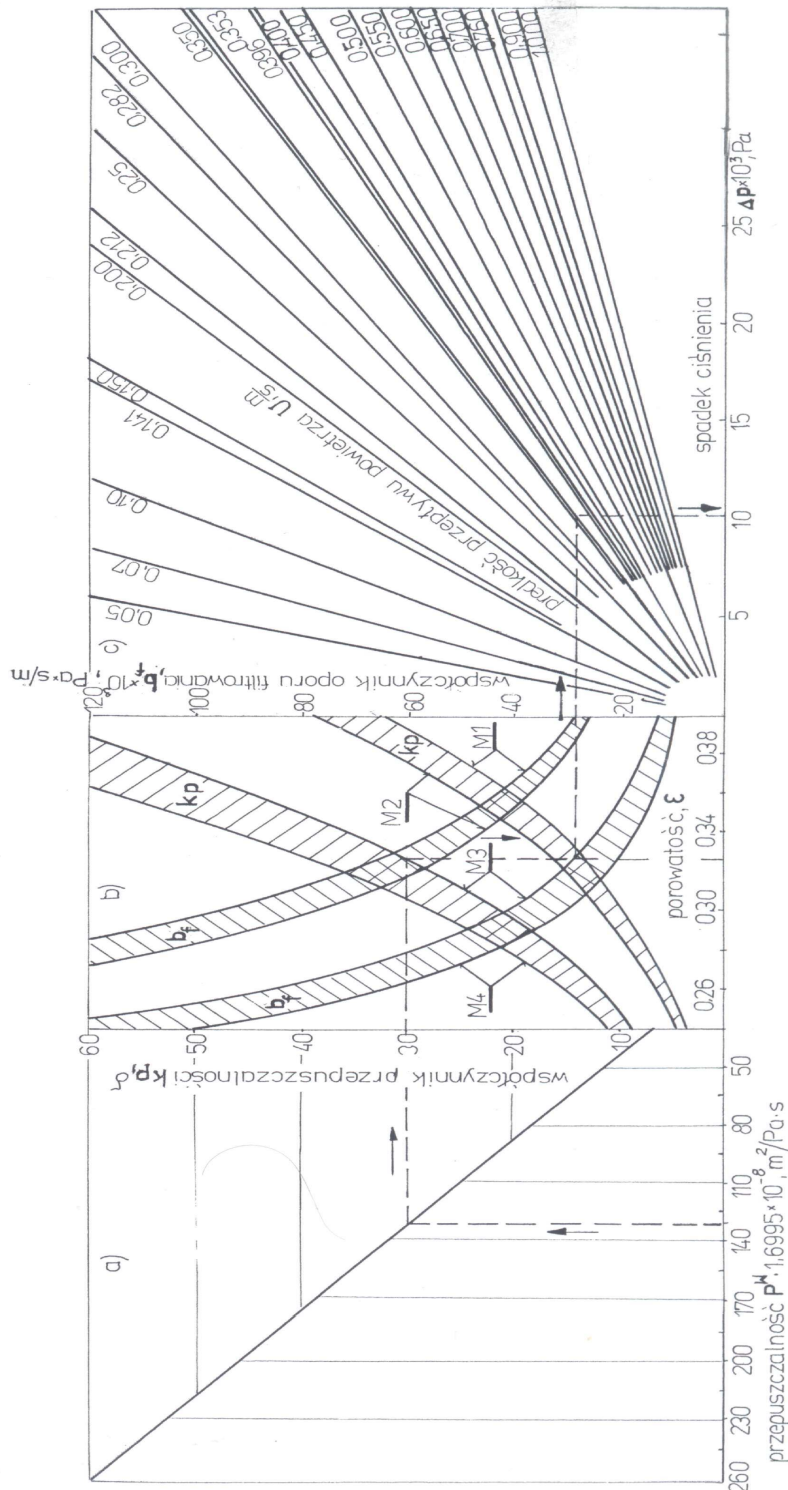
gdzie: A i m – współczynniki zależne od masy formierskiej,
 P^w – przepuszczalność warstwy zagęszczonej masy,

Na rysunku 4 przedstawiono ilustrację zależności (6), która ma duże znaczenie praktyczne, bowiem przez pomiar przepuszczalności P^w znanym sposobem można szybko określić porowatość ε . Z kolei na podstawie równań (6), (5) i (4) można wyznaczyć prędkości przepływu powietrza w zależności od wysokości warstwy masy przez pomiar jedynie przepuszczalności na próbce standardowej, o gęstości pozornej równej gęstości pozornej masy w formie.



Rys. 4. Zależność przepuszczalności P^w wilgotnych mas od porowatości ε i składu ziarnowego

Wykorzystanie parametrów charakteryzujących strukturę wewnętrzną masy formierskiej pod względem geometrycznym (ε , ζ , k_p) i przepływowym (P^w , b_f , U , μ) stworzyło możliwość zbudowania nomogramu przedstawionego na rysunku 5. Dysponując takim nomogramem dla określonej masy formierskiej, można w prosty sposób na podstawie pomiaru przepuszczalności P^w wyznaczyć pozostałe parametry struktury wewnętrznej słupa masy i ocenić zdolność filtracyjną formy odlewniczej. Szerokie badania w tym zakresie przeprowadzone przez autora [10, 11] potwierdziły dużą zbieżność wyników dla wartości Δp , uzyskanych w drodze eksperymentu i odczytanych za pomocą nomogramu. Średni błąd to około 6%.



Rys. 5. Nomogram do określania zdolności filtracyjnych wilgotnych mas z bentonitem o znanej przepuszczalności P^w , w procesach wymuszonego przepływu powietrza z prędkością U .

4. Podsumowanie.

Opisanie zdolności filtracyjnej warstwy masy o stałej gęstości okazało się trudne z uwagi na złożoną strukturę wewnętrzną. Szczególnie to wynika z niejednorodności osnowy kwarcowej. Wprowadzając dodatkowo materiały rozdrobnione jak glinę, pył węglowy itp., które w obecności wprowadzonej wody, dodatkowo komplikuje opisanie układu. Korzystnym okazało się wykorzystanie teoretycznego opisu zdolności filtracyjnej w oparciu o niezbędne wielkości uzyskane w doświadczeniu. Pozwoliło to na opisanie

oporów przepływu mas jako rzeczywistych ośrodków porowatych równaniem liniowym (4). A próbę uproszczenia opisu zdolności filtracyjnej masy w oparciu o wyniki standardowego pomiaru przepuszczalności P^w z wykorzystaniem nomogramu (rys. 5), należy uznać za udaną.

5. Literatura.

1. Bukowski J.: Kurs mechaniki płynów. PWN W-wa, 1980.
2. Davies C.N.: Theory aerosol filtration by fibrous and membrane filters. Aerosol Science. Academic Press. London-New York 1966.
3. Happel J., Brenner H.: Low Reynolds Number hydrodynamics. Prentice-Hall, Inc. 1966.
4. Nowicki M.: Praca doktorska. Pol. Śląska. Gliwice 1975.
5. Toller F.M.: Filtration żidkостей i gazow w poristych sriedach. Gostoptechizdat. Moskwa 1959.
6. Wirski W.: Praca doktorska. Pol. Warszawska 1968.
7. Żakowski L.: Odpylanie w złożu fluidalnym. Praca doktorska. Pol. Warszawska 1973.
8. Piłkowski Z.: Liczba kapilarności ośrodka porowatego i jej zastosowanie w obliczeniach ciśnienia penetracji ciekłego metalu w formę piaskową. ZN Pol. Częstochowskiej, Odlewnictwo, nr 35, z.7, 1965.
9. Chróściel St.: Filtracja aerozolu w złożu ziarnistym. Praca habilitacyjna. Pol. Warszawska 1972, nr 17 seria: Mechanika.
10. Szmigielski T.: Praca doktorska. Instytut Odlewnictwa, Kraków.
11. Szmigielski T.: Opory przepływu w masach formierskich podczas nanoszenia powłok metodą ID. ZN nr 110, Mechanika 21, Pol. Zielonogórska 1996.
12. Dzwonnik I.: Badanie fizyko-chemicznych zjawisk w wilgotnych formach napyłanych pyłem węglowym. Praca habilitacyjna. WSI Zielona Góra 1991.
13. Szreniawski J.: Piaskowe formy odlewnicze. WNT. Warszawa 1968.