

ANALIZA AKTUALNEGO STANU TECHNIKI PRÓŻNIOWEJ WYBRANE ASPEKTY ZASTOSOWANIA W URZĄDZENIACH ODLEWNICZYCH

dr inż. Krzysztof SMYKSY
mgr inż. Marcin ŚLAZYK

Wydział Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej
im. Stanisława Staszica

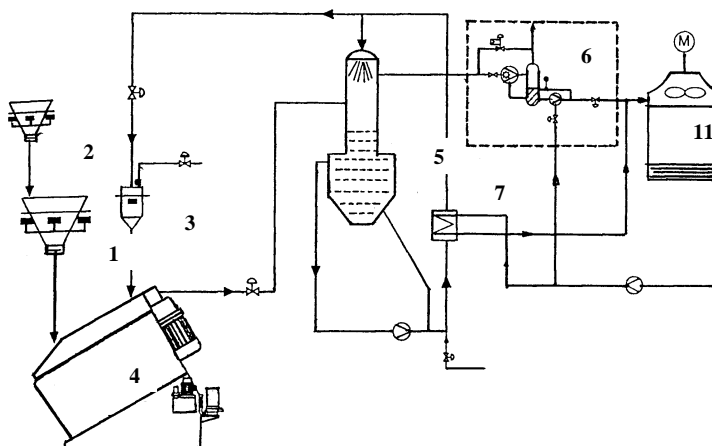
1. Wstęp.

W referacie przedstawiono przykłady zastosowania instalacji podciśnieniowych w realizacji różnorodnych procesów odlewniczych. W zarysie omówiono klasyfikację i podstawowe odmiany pomp próżniowych. Zaprezentowano wybrane dane projektowe oraz przykładowe charakterystyki tego typu urządzeń. Przedstawiono aktualne tendencje w zakresie konstrukcji i osiąganych parametrów pomp próżniowych. Wyeksponowano techniczno-ekonomiczne aspekty zastosowania instalacji podciśnieniowych w urządzeniach odlewniczych.

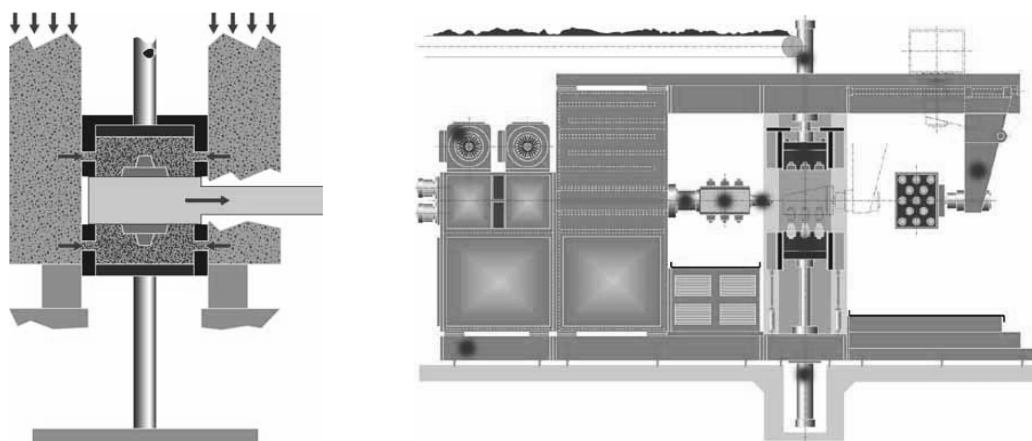
2. Przykłady wykorzystania techniki próżniowej w procesach odlewniczych.

Wykorzystanie urządzeń techniki próżniowej w odlewnictwie jest bardzo szerokie. Obejmuje zarówno procesy klasycznej technologii wytwarzania odlewów w formach wilgotnych, jak również technologie specjalne – na przykład odlewanie ciśnieniowe, odlewanie precyzyjne. Poniżej przedstawiono w zarysie przykładowe wykorzystanie podciśnienia w wybranych procesach odlewniczych.

Sporządzanie mas formierskich. Firma Erich oferuje mieszarki wirnikowe wyposażone w instalację podciśnieniową - system Evactherm (rys.1). Według danych [7,8] uzyskuje się dzięki temu korzystne efekty technologiczne w procesie sporządzania masy. Istotny jest także efekt chłodzenia masy. W przestrzeni roboczej wytwarzane jest podciśnienie o wartości rzędu 0,01 MPa skutkiem czego woda zaczyna intensywnie parować, a masa ulega ochłodzeniu [7]. Szybkość chłodzenia może być kontrolowana przez regulację szybkości obniżania ciśnienia. Zdaniem producenta [7] rozwiązanie charakteryzuje się korzystnymi wskaźnikami energochłonności w stosunku do rozwiązań tradycyjnych.

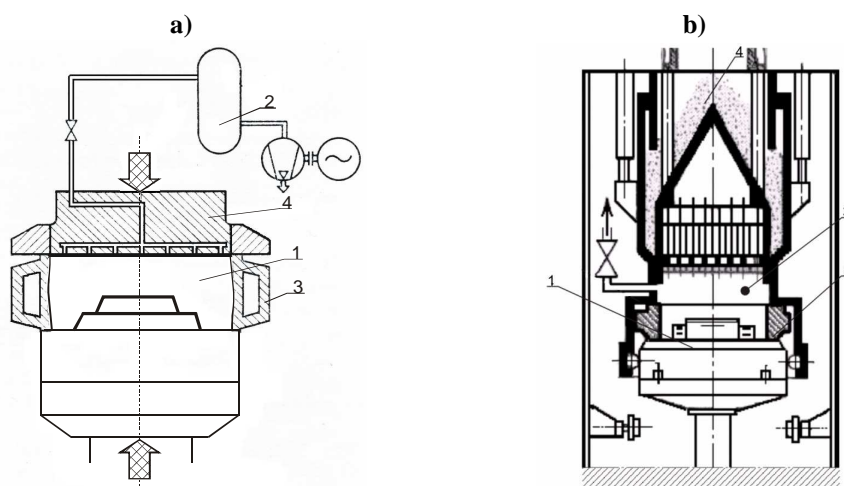


Rys.1. Schemat mieszarko-chłodziarki z podciśnieniowym systemem chłodzenia firmy Erich [3,7,8]: 1- dozownik wagowy masy obiegowej, 2- dozownik wagowy dodatków, 3- dozownik wody, 4- mieszarko-chłodziarka, 5- kondensator, 6- pompa próżniowa, 7- wymiennik ciepła, 8- pompa wody chłodzącej.



Rys. 2. Automat do formowania bezskrzynkowego firmy Haflinger [8,12].

Formowanie. Najbardziej znanym przykładem wykorzystania podciśnienia w formowaniu jest nadal stosowany proces V firmy Sintokogio (w Europie Heinrich Wagner Sinto). W przypadku formowania na wilgotno zastosowanie obniżonego ciśnienia w przestrzeni technologicznej umożliwia uzyskanie zagęszczenia wstępnego lub poprawę efektów zagęszczania prasowaniem. Na rysunku 2 przedstawiono schematy ilustrujące odmiany rozwiązań formierki podciśnieniowej z doprasowaniem Vacupress firmy Künkel-Wagner. Formierki te nadal pracują w odlewniach [8,12]. Proces podciśnieniowy wykorzystywany jest również w automatach do formowania bezskrzynkowego [8,12]-rys. 3. Zarówno przy formowaniu skrzynkowym- rys.2b, jak i bezskrzynkowym- rys.3 proces podciśnieniowy realizuje pewną odmianę procesu dmuchowego. Gradient ciśnienia i związany z nim przepływ powietrza powoduje transport masy formierskiej z jej zasobnika do komory formowania. Wartość ciśnienia absolutnego w przestrzeni technologicznej może osiągać 20 kPa [8,12].



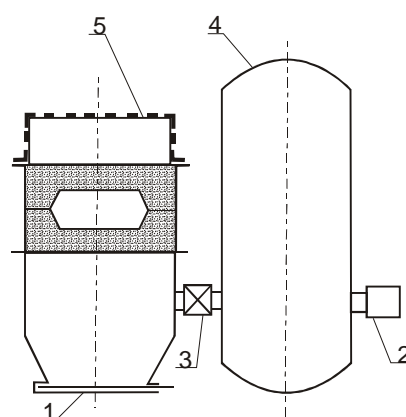
Rys. 3. Schematy ilustrujące działanie odmian formierek Vacupress firmy Künkel-Wagner: a- z płaską płytą prasującą [1]: 1- przestrzeń technologiczna, 2- instalacja podciśnieniowa, 3- skrzynia formierska, 4- płyta prasująca z kanałami łączącymi przestrzeń technologiczną z instalacją podciśnieniową, b- z głowicą wielotokową [8]: 1- płyta modelowa, 2- skrzynia formierska, 3- przestrzeń technologiczna, 4- zasobnik masy formierskiej.

Z punktu widzenia techniki próżniowej są to wartości stosunkowo łatwe do osiągnięcia. Ze względu na stosunkowo niskie wartości gradientu ciśnienia na warstwach masy w metodzie tej nie uzyskuje się wysokich efektów zagęszczania wstępnego, można jednak uzyskać wyraźną poprawę zagęszczenia w trudnych technologicznie rejonach

formy (w stosunku do samego prasowania) [12]. Podkreśla się [8,12] otrzymywanie równomiernego i wysokiego zagęszczenia także w przypadku trudnych technologicznie modeli, dobre odwzorowanie ich konturów, małe zużycie modeli oraz szkodliwie zalety tej metody formowania: niski poziom emisji hałasu – poniżej 85 dB (A), hermetyzację procesu zagęszczania zmniejszającą zapylenie na stanowisku formowania.

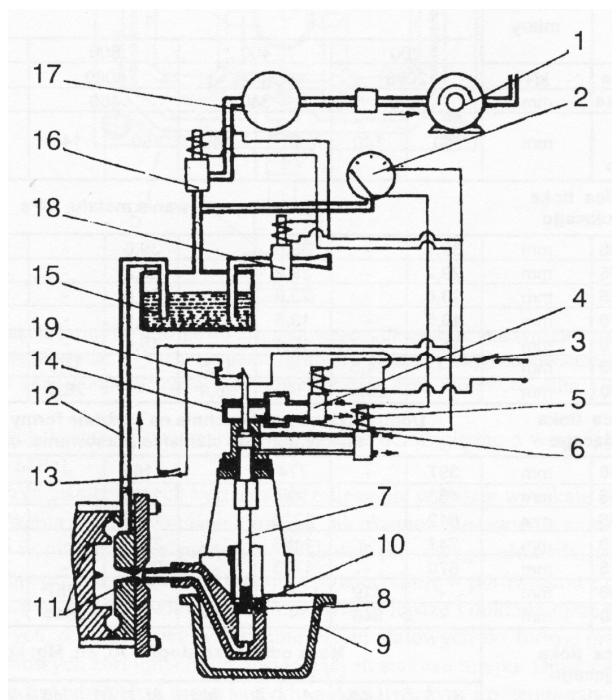
Wybijanie odlewów. Trudne warunki pracy na stanowiskach wybijania odlewów wyposażonych w kraty wibracyjne skłaniają konstruktorów do poszukiwań alternatywnych propozycji realizacji wybijania. Jedną z nich jest metoda podciśnieniowego wybijania odlewów [5,9], której ideę przedstawiono na rysunku 3. Szczególnie istotną zaletą przedstawionej propozycji jest hermetyzacja procesu wybijania. Dane charakteryzujące metodę zestawiono także na rysunku 3. Efektywność wybijania podciśnieniowego można zwiększyć poprzez połączenie tej metody z metodą impulsową, według propozycji opracowanej w Katedrze Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni, AGH [11].

Zakres ciśnienia roboczego, MPa	0,015-0,03
Czas trwania procesu, s	do 0,05
Wymiary wybijanych form, mm	600x500x300/300 1000x850x300/300
Stosunek objętości zbiornika próżniowego do objętości formy	≈12
Wydajność stanowisk prototypowych, f/h	240
Szacunkowe nakłady energetyczne w kJ na 1 kg wybitej masy formierskiej	0,20-0,45



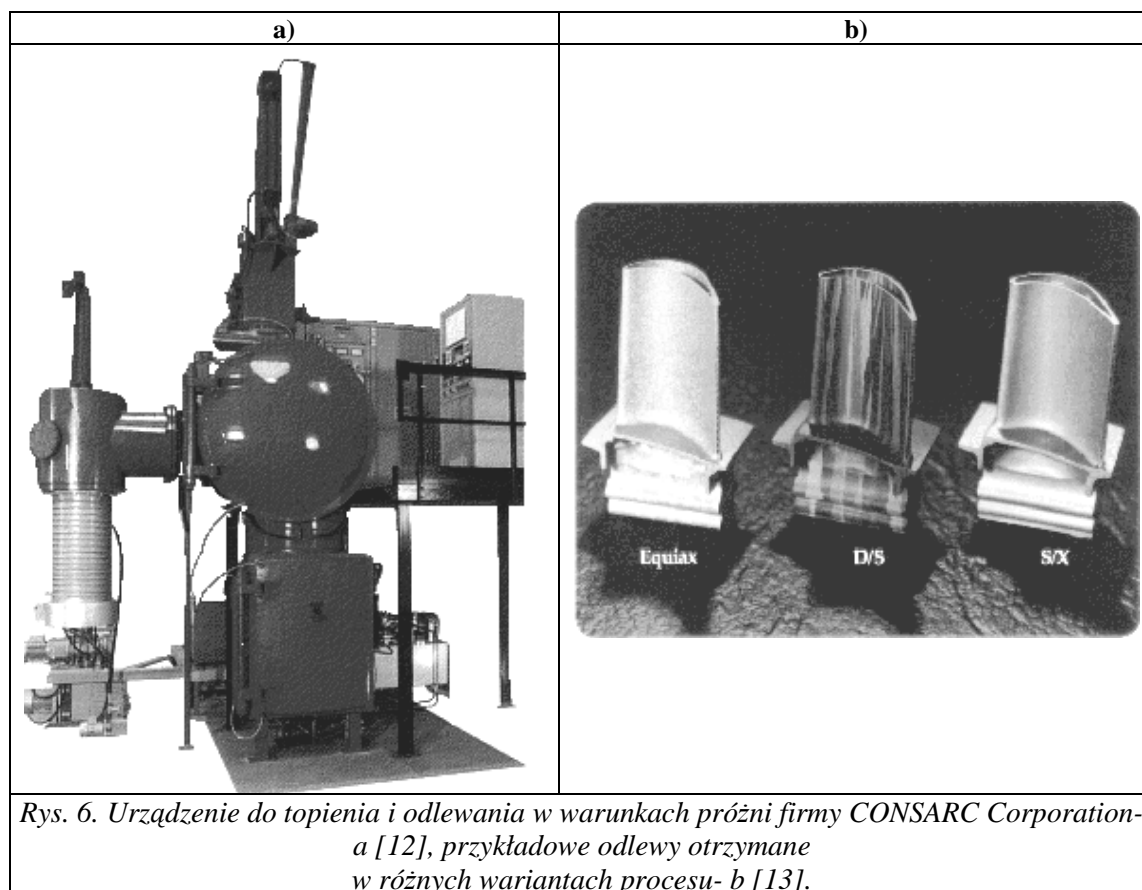
Rys. 4. Parametry metody próżniowego wybijania odlewów i schemat urządzenia:
1 – komora odbiorcza, 2 – pompa próżniowa, 3 – zawór,
4 – zbiornik próżniowy, 5 – osłona hermetyzująca [5].

Odlewanie ciśnieniowe. Wykorzystanie podciśnienia w procesach odlewania ciśnieniowego ma wieloletnią tradycję. Znane są systemy wykorzystujące instalacje podciśnieniowe zarówno w maszynach gorąco- jak i zimnokomorowych. Zastosowanie podciśnienia ułatwia: odprowadzenie powietrza z wnętrza formy oraz dobre odgazowanie ciekłego metalu, zwiększenie szybkości zalewania, poprawę warunków zasilania odlewów, odwzorowanie kształtów i cieńszych przekrojów, usunięcie porowatości podpowierzchniowej [2,4,6]. Uzyskuje się poprawę właściwości mechanicznych odlewów. Metoda stwarza możliwość odlewania skomplikowanych odlewów ze stopów Al, Mg, Zn i innych [4,6]. Jako wady procesu wymienia się zwykle zmniejszenie wydajności oraz dodatkowy koszt instalacji. Podciśnienie we wnętrzu formy zwykle osiąga wartości z przedziału 0,0326 do 0,05 MPa [6]. Na rysunku 5 przedstawiono przykład aplikacji procesu próżniowo- ciśnieniowego w maszynie gorącomorowej [2].



Rys. 5. Schemat instalacji próżniowo-ciśnieniowej firmy FRIES do odlewania w maszynie gorąco-komorowej[2]:
 1 – pompa próżniowa,
 2 – wakuometr regulacyjny,
 3 – wyłącznik,
 4,5,18 – zawory elektromagnetyczne,
 6 – tłok zespołu regulacji skoku tłoka prasującego, 7 – tłok prasujący,
 8 – pierścień, 9 – tygiel, 10 – otwory do zapewnienia komory ciśnienia metalem, 11 – forma, 12 – przewód próżniowy, 13, 19 – wyłączniki krańcowe, 14 – siłownik zespołu regulacji, 15 – kolektor, 16 – zawór próżniowy, 17 – zbiornik próżniowy.

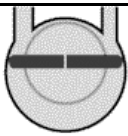
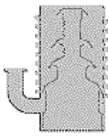

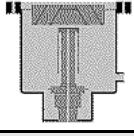
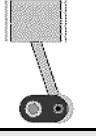
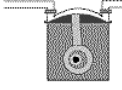

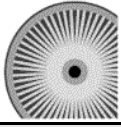
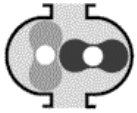
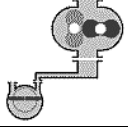
Topienie metalu. Zastosowanie podciśnienia podczas topienia stopów ma liczne zalety pozwalają otrzymywać stop pozbawiony w maksymalnym stopniu gazów i wtrąceń niemetalicznych. Piece próżniowe w odlewnictwie stosowane są w wytwarzaniu odpowiedzialnych odlewów o złożonych kształtach i dużej wytrzymałości, przeznaczonych na przykład dla lotnictwa, energetyki atomowej itp.[10]. Wytapianie metali w próżni lub poddawanie ich obróbce próżniowej po wytopieniu poprawia w znacznym stopniu właściwości odlewnicze (głównie lejność) stali wysokostopowej i stopów specjalnych [10]. Dobre właściwości stopów wytapianych w próżni są wynikiem korzystnego przebiegu procesów rafinujących metal; wskutek między innymi obniżenia temperatury redukcji tlenków węglem, stworzenie możliwości dysocjacji niektórych związków chemicznych (np. siarczków, tlenków)[10,14]. Przykładowo piece próżniowe indukcyjne lub łukowe stosowane są przy wykonywaniu bardzo odpowiedzialnych odlewów z różnych stopów: między innymi staliwa żaroodpornego i nierdzewnego, metali nieżelaznych oraz w przypadku topienia i odlewania stopów reagujących czasie topienia z atmosferą (np. tytanu) [10,13]. Oferowane są również urządzenia przeznaczone nie tylko do topienia metalu w warunkach podciśnienia ale także umożliwiające krzepnięcie odlewów w warunkach próżni. Prowadzi to do otrzymania precyzyjnych odlewów (możliwe jest uzyskanie warunków krzepnięcia kierunkowego, odlewów o strukturze monokrystalicznej czy kryształów równoosiowych). Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe rozwiązanie tego typu urządzenia firmy CONSARC Corporation [13] oraz przykładowe odlewy otrzymane wyżej opisaną metodą pokrywy pieca wyposażonej w instalację podciśnieniową oraz mieszadło.



3. Klasyfikacja i podstawowe parametry pomp próżniowych.

W praktyce stosowane są różnorodne rozwiązania konstrukcyjne pomp próżniowych o zróżnicowanych parametrach [13]. Na ogół im większe wymagania co do wielkości osiąganego próżni (wyrażonej na przykład w procentach w stosunku do próżni absolutnej lub w wartościach ciśnienia absolutnego) tym mniejsza wydajność pompy. W zastosowaniach ogólnotechnicznych, kiedy wymagane wartości osiąganego ciśnienia absolutnego są rzędu kilkudziesięciu kPa, często stosowanym rozwiązaniem są pompy z wirującym pierścieniem cieczy. W kraju urządzenia tego typu oferuje na przykład firma Hydro-Vacuum z Grudziądza [13]. Przedstawiona w tabeli 1 klasyfikacja pomp próżniowych (według firmy Leybold Vacuum) zilustrowana jest symbolami graficznymi, w większości przypadków wyjaśniającymi idee działania pomp.

Tablica.1.
Podział pomp próżniowych wg Leybold Vacuum.[13].

	
<i>Pompy rotacyjne olejowe</i>	<i>Olejowe pompy dyfuzyjne</i>
	
<i>Pompy rotacyjne olejowe</i>	<i>Kriopompy</i>
	
<i>Tłokowe pompy bezolejowe</i>	<i>Pompy membranowe</i>
	
<i>Tłokowe pompy rotacyjne</i>	<i>Pompy turbomolekularne</i>
	
<i>Pompy Roota</i>	<i>Zestawy pompowe Roota</i>

W tabeli 2 zestawiono podstawowe parametry wybranych pomp próżniowych oferowanych przez różnych producentów.

Tablica 2. Podstawowe parametry pomp próżniowych.[13].

Producent	Typ pompy	Rodzaj pompy	Wydajność m ³ /h	Próżnia mbar	Moc kW
Hydrovacuum		z wirującym pierścieniem	4,5	<3	0,75
Leybold vacuum	Sogevac sv 25 B	z wirującym pierścieniem	22,5	<0,6	1,1
Leybold vacuum	Sogevac sv 65 B	z wirującym pierścieniem	64	<0,8	1,8
Leybold vacuum	Ruvac wa	pompa Root'a	210-450	<4x10 ⁻²	1,1-2,2
Leybold vacuum	Divac	przeponowa	0,6-1,2	<100	0,1-0,13
Leybold vacuum	Screwline	śrubowa	630	<0,01	15
ZTP Tepro S.A.	AT6B	łopatkowa	6,8	<30	0,55
ZTP Tepro S.A.	AT 21/B	łopatkowa	23	<10	0,75
Ilmvac GmbH	RUD 200	Pompa Root'a	180	<64	0,75
Vacuumatteis	DBL 35	z wirującym pierścieniem	38	<0,5	1,1

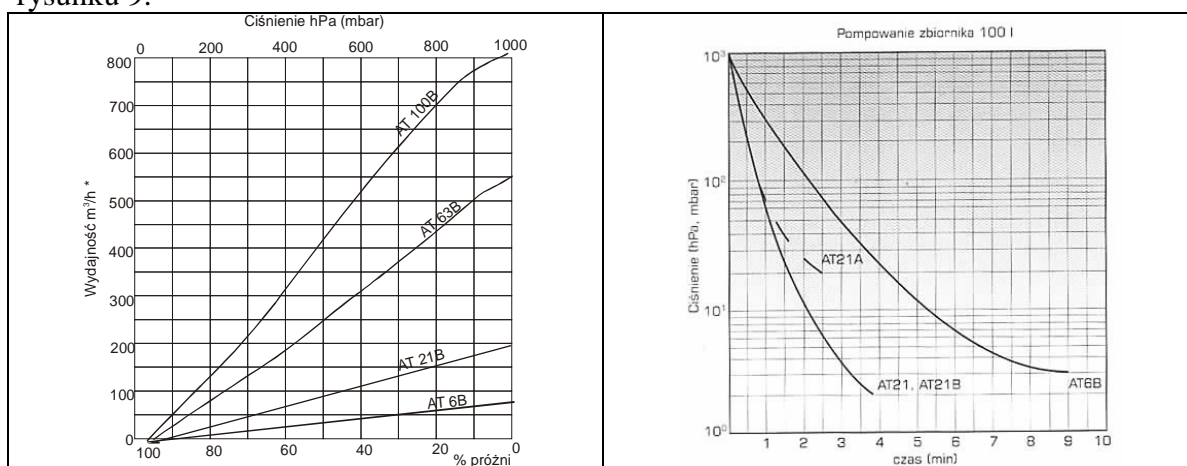
4. Charakterystyki pomp, przykładowe rozwiązania konstrukcyjne.

Producenci pomp podają charakterystyki oferowanych urządzeń (typoszeregu danej serii) w zróżnicowanych układach. Przykładowo mogą to być charakterystyki wydajności przy określonym ciśnieniu zasysania lub też czasowe wykresy zmian ciśnienia w zbiorniku o stałej objętości (rys. 7). Czasami podawany jest jedynie obszar na wykresie wydajności jaki obejmuje typoszereg danych pomp- rys. 8.

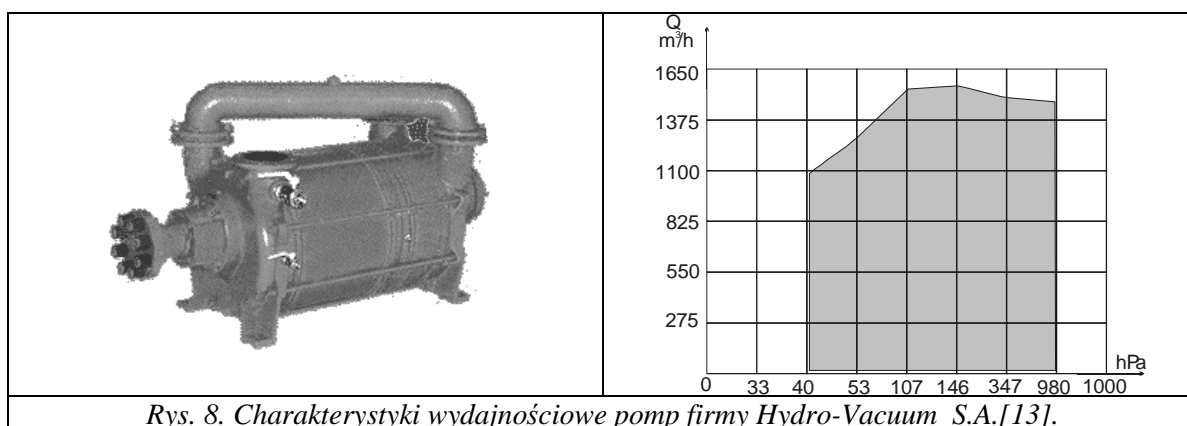
Zdecydowana większość współczesnych instalacji próżniowych wyposażona jest w wielofunkcyjne systemy sterowania obejmujące ekonomiczną regulację wydajności pompy, pomiar podstawowych parametrów instalacji, układy nadzoru pracy urządzenia.

W zastosowaniach ogólnotechnicznych często stosowanym rozwiązaniem są pompy z wirującym pierścieniem cieczy. Wyróżniają się one zwartą konstrukcją, niezawodnością działania, niskimi kosztami eksploatacji. W stosunku do pomp łopatkowych mają niższą sprawność. W kraju urządzenia tego typu oferuje na przykład firma HYDRO-VACUUM z Grudziądza (rys.8) [13].

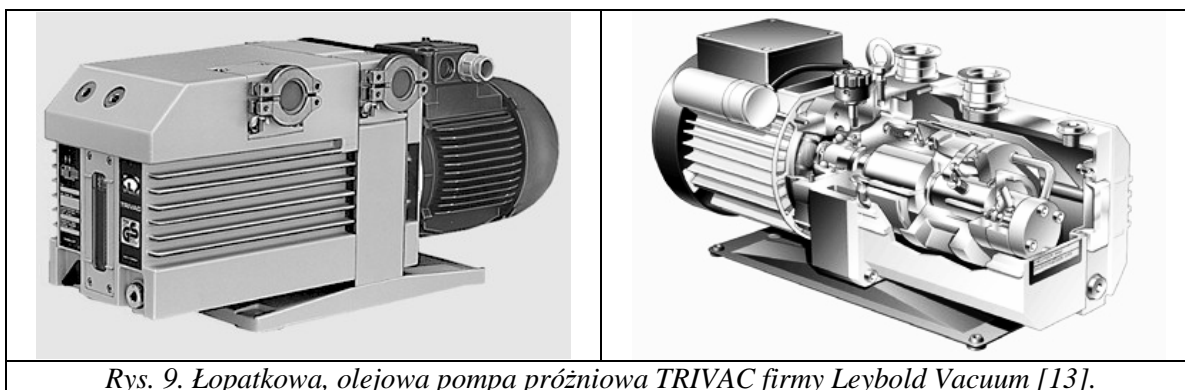
Ilustracją wysokiego poziomu technicznego oraz stopnia złożoności konstrukcji współczesnych pomp próżniowych może być widok pompy zamieszczony na rysunku 9.



Rys. 7. Przykładowe charakterystyki wydajnościowe pomp firmy Tepro S.A. [13].
*-wydajność przy ciśnieniu atmosferycznym.



Rys. 8. Charakterystyki wydajnościowe pomp firmy Hydro-Vacuum S.A.[13].



Rys. 9. Łopatkowa, olejowa pompa próżniowa TRIVAC firmy Leybold Vacuum [13].

5. Podsumowanie.

Zastosowanie techniki próżniowej w odlewnictwie jest obecnie bardzo szerokie i obejmuje szereg bardzo zróżnicowanych procesów technologicznych. Pogląd ten dobrze ilustrują przedstawione powyżej przykłady. Możliwych obszarów zastosowań jest oczywiście znacznie więcej. Podobnie jak w innych dziedzinach przemysłu maszynowego urządzenia techniki próżniowej osiągnęły bardzo wysoki poziom techniczny. Wynika to zarówno z faktu bardzo dużego postępu w zakresie technik wytwarzania jak też postępu w zakresie układów sterowania pracą urządzeń. Osiągane parametry techniczne i eksploatacyjne współczesnych instalacji próżniowych stwarzają nowe możliwości ich aplikacji w procesach odlewniczych oraz rozszerzają zakres zastosowań dotychczasowych. O dalszym rozszerzeniu wykorzystania techniki próżniowej zadecydują także aspekty ekonomiczne.

Opracowano w ramach pracy własnej: nr 10.10.170.219, Katedra Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni, WO AGH, finansowanej przez KBN.

6. Literatura.

- [1] Chudzikiewicz R.: Mechanizacja i automatyzacja odlewni. WNT, Warszawa 1980.
- [2] Dańko J.: Maszyny i urządzenia do odlewania pod ciśnieniem. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2000
- [3] Fedoryszyn A., Smyksy K., Dańko J.: Urządzenia do homogenizacji i chłodzenia masy formierskiej. Mat. Konf. IV Konferencji Odlewniczej Technical 2001
- [4] Górny Z.: Odlewanie ciśnieniowe; rozdz..XV, pr.zbiorowa: Poradnik Inżyniera: Odlewnictwo, WNT Warszawa, (1972)
- [5] Gregoraszczyk M., Smyksy K., Fedoryszyn A.: Parametry Procesu Pneumatycznego Wybijania Odlewów. Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 25, 1995 PAN – Oddział Katowice
- [6] Gregoraszczyk M.: Maszynoznawstwo odlewnicze. UWND AGH, Kraków (2002).
- [7] Hohl B., Müller M., Tilch W., Grefhorst C.: Doświadczenia z wykorzystaniem mieszarki próżniowej Evactherm w warunkach przemysłowych. Przegląd Odlewnictwa nr 2, Kraków 2004
- [8] Materiały prospektowe: DOZAMET, EIRICH, DISA, HAFLINGER, HEINRICH WAGNER SINTO, KÜNKEL WAGNER, TECHNICAL.
- [9] Mysovskij V.S., Brodskij A.M.: Nowa, ekologiczna metoda próżniowego wybijania odlewów. Mat. Konf. „Tendencje Rozwojowe w Mechanizacji Procesów Odlewniczych. Wydz. Odlewnictwa AGH, Komisja Met. – Odlewn. PAN, STOP O/Kraków. Kraków 1994, s.7

- [10] Podrzucki Cz., Szopa J.: Piece i urządzenia metalurgiczne stosowane w odlewnictwie. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.
- [11] Smyksy K., Fedoryszyn A., Gregoraszczyk M., Sztefko F.: Sposób i urządzenie do usuwania odlewu z formy odlewniczej. Patent RP nr 169060, Urząd Patentowy RP, Warszawa 1996.
- [12] Smyksy K., Makohonenko K., Ślęzyk M., Szablowski M.: Badanie i analiza wybranych współczesnych metod formowania. Materiały V Konferencji Odlewniczej Technical 2002
- [13] Strony WWW producentów www.leyboldvac.de, www.hydro-vacuum.pl, www.tepro.com.pl, www.prevac.pl, www.softrade.com.pl, www.sterling.pl, www.techem.com.pl, www.buhlergroup.com, www.masterfiber.com.br, www.ihl.de, www.fondarex.com, www.erkunt.com.tr, www.frogswitch.com, www.ald-vt.com, www.consarc.com, www.agm-haflinger.de, www.eirich.com.
- [14] Szweycer M.: Vacuum degassing of aluminium alloys In mechanical mixers. 58th World Foundry Congress. Kraków, 15-19 September 1991
- [15] Ślęzyk M.: Badanie procesu formowania podciśnieniowego. Praca magisterska, Wydział Odlewnictwa AGH, Kraków 2001.

ANALIZA PRACY CHŁODZIARKI WIBROFLUIDYZACYJNEJ CWFM

Aleksander FEDORYSZYN¹

Krzysztof SMYKSY²

Wydział Odlewnictwa

Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica

1. Wprowadzenie.

Proces chłodzenia wodno-powietrznego (wyparnego) jest najefektywniejszy, gdyż wykorzystuje się w nim wysokie ciepło parowania wody [1÷8]. Proces ten jest realizowany w chłodziarkach wibrofluidyzacyjnych [9]. Są to urządzenia, w których przemieszczająca się warstwa nawilżonej masy jest przedmuchiwana na całej długości chłodziarki powietrzem chłodzącym.

2. Charakterystyka badanej chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CWFM 3510.

Parametry badanej chłodziarki wibrofluidyzacyjnej, produkcji P.P.P. TECHNICAL, zestawiono w tablicy 1 [2,9].

Tablica 1.

Charakterystyka techniczna chłodziarki wibrofluidyzacyjnej CWFM 3510 – założenia.

Lp	Parametr	Jedn.	Wartość
1	Wydajność; W_{max} .	Mg/godz.	30
2	Wymiary rynny, dł. \times szer.; $L \times B$	mm	3690×1000
3	Wymiary dystrybutora, dł. \times szer.; $L \times B$	mm	3500×1000
4	Prędkość transportu masy; v	m/s	$0,05 \div 0,2$
5	Temperatura początkowa masy; t_p	$^{\circ}C$	120
6	Temperatura końcowa masy; t_k	$^{\circ}C$	$15^{\circ}C$ powyżej temp. otoczenia
7	Wilgotność początkowa; W_p	%	$1,2 \div 2,0$
8	Wilgotność końcowa; W_k	%	$0,5 \div 2,0$
9	Ilość powietrza chłodzącego;	m^3/s	1,73
10	Ilość powietrza odciąganego;	m^3/s	2,55
11	Ilość wibratorów;	szt.	2
12	Amplituda liniowa; a_{max}	mm	3,75
13	Moc jednego wibratora, N_{wib}	kW	1,6
14	Ilość dysz natryskowych	szt.	3 rzędy \times 5 dysz
15	Ilość podawanej wody przez dyszę	l/min	$1,4 \div 2,4$

Zasilanie w powietrze chłodzące zapewnia wentylator podmuchowy WWOax 35,5 o wydajności $V = 2,2$, m^3/s , obr. $N = 2940$ obr/min, mocy $N = 11$ kW i sprężu $\Delta p_c = 3150$ Pa. Uzyskanie założonego podciśnienia w komorze roboczej zapewniło podłączenie do odciągu z wentylatorem promieniowym WWOax 40 o $V = 2,55$ m^3/s , $n = 2940$ obr/min, $N = 15$ kW i $\Delta p_c = 3750$ Pa.

Prototypowa chłodziarka wibrofluidyzacyjna została wyposażona w dystrybutor powietrza wykonany z blachy perforowanej (1H18N9T). Dystrybutor ten zamocowano na rozpostartej blasze o szerokości 990 mm z otworami $\varnothing 40 \div 45/60^{\circ}$. Mocowanie rozwiązano przez zastosowanie 5 listew dociskowych o szerokości 40 mm, umieszczonych co 240 mm.

¹ dr hab. inż., prof. nadzw. alfa@uci.agh.edu.pl

² dr inż. kmysy@uci.agh.edu.pl

Podstawowym zespołem chłodziarki jest rynna, o wymiarach płaszczyzny mocowania dystrybutora 350/4100 × 100/1148, i masie 1860 kg produkcji VIBRO-ECO-TECH. Rynna ta jest od góry zamknięta osłoną o masie 88 kg. Długość utworzonej komory roboczej wynosi $L_{sr} = 3292$ mm (mierząc odległość od środków zasypu do wysypu).

Napęd rynny stanowią 2 elektrowibratory (rys.1.), z możliwością zmiany położenia wirujących mas. Amplituda liniowa wynosi $a_{max}=3,75$ mm, prędkość obrotowa $n=960$ obr/min, moc $N=1,6$ kW. Projektowa prędkość transportu nosiwa $v = 0,1 \div 0,2$ m/s.

Instalacja wodna składa się z 3 rzędów dysz podawania wody. Podawanie wody w odpowiednich rzędach (sekcjach) jest uruchamiane po przekroczeniu temperatury masy powyżej temperatury regulatora w szafie sterowniczej. Sterowanie polega na nastawie progu temperatury oraz współczynników określających czas pracy (podawania wody) dysz.

Temperaturę masy wewnątrz komory roboczej mierzą termometry – czujniki termoelektryczne płaszczone TTPJ-1-V60-SP-1-350 produkcji LIMATHERM. Końcówki czujników są umieszczone tuż nad dnem: I przy ścianie komory (0,003 L), II w odległości 1290mm (0,37 L), a III 100 mm od wysypu (0,97 L; przy **L=3500 mm**).

Dysze w ilości 15 sztuk umieszczono w trzech rzędach: I- w odległości 665 mm od początku komory, II odległy od I rzędu o 1570 mm i III w odległości 1150 od II. Biorąc pod uwagę długość L komory roboczej w wartości 3500 mm położenie rzędów (przewodów kolektorów poprzecznie do dłuższego boku komory) wynosi I- 0,19, II 0,63 i III 0,97 L. Ze względu na to, że od kolektorów do dysz woda jest doprowadzana poziomymi rurkami o długości ok. 192 mm, to położenie dysz rozpryskowych jest następujące: I – 857,5 mm (**0,22 L**), II- 2042,5 mm (**0,525 L**), III – 3192,5 mm (**0,82 L**; przy **L = 3893,5 mm** licząc od skraja komory do osi wysypu.)

Każda z dysz jest zakończona rozpylaczem wklęsło-stożkowym TN 26 produkcji Spraychy System „WIGO” Gliwice. Ilość rozpylanej wody zależy od jej ciśnienia – mierzonego na manometrze G ¼” o zakresie 0 ÷ 10 bar. Zastosowano regulatory ciśnienia DO5F – ¾”A.

Woda do dysz jest podawana po stwierdzeniu obecności masy w komorze chłodziarki. Obecność stwierdzają 4. łopatkami aluminiowe ustawiane w odległości ok. 5 mm od dna perforowanego. Przepływ masy powoduje podniesienie łopatek – inicjatorów, aż do zetknięcia się z powierzchnią czołową czujników ruchu PCID M 30 × 1,5.

3. Opis pomiarów.

Przeprowadzone pomiary [2] parametrów niezbędnych do oceny pracy chłodziarki CWFm obejmowały pod względem mierzonych wielkości fizycznych:

- parametry powietrza: temperatura, wilgotność względna,
- prędkość przepływu powietrza,
- parametry masy formierskiej: temperatura, wilgotność,
- prędkości przemieszczania masy na taśmie: podajnika, przenośnika,
- wymiary przekroju strugi masy formierskiej na taśmie podajnika, przenośnika, rynnie chłodziarki,
- amplitudy drgań rynny chłodziarki.

W tablicy 2 scharakteryzowano syntetycznie przeprowadzone pomiary z podaniem zastosowanej aparatury pomiarowej oraz celu prowadzonych badań ze szczególnym uwzględnieniem danych niezbędnych do sporządzenia bilansu ciepła i wilgoci dla prototypowej chłodziarki. Podano metodykę pomiarów oraz wykaz stosowanych przyrządów zarówno do badań podstawowych jak i często do badań sprawdzających.

Wyniki pomiarów wymienionych wielkości kojarzono ponadto ze wskaźnikami procesu odlewniczego, takimi jak wartość obciążenia cieplnego formy, wielkość formy,

temperatura i wilgotność otoczenia, stopień odświeżania, rodzaj i jakość materiałów odświeżających, ilość i sposób podawania wody itp.

Tablica 2.

Charakterystyka prowadzonych pomiarów oraz sposobu określania wielkości niezbędnych do obliczeń bilansowych i oceny pracy chłodziarki CWFM.

Mierzona wielkość	Symbol mierzonej oraz określanej wielkości	Stosowana aparatura, metodyka pomiaru
Temperatura i wilgotność (względna) powietrza doprowadzonego pod dno perforowane	t_p, i_{pp}, x_p	Aparatura podstawowa: mikroprocesorowy zestaw do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza, Aparatura sprawdzająca: termohigrometr HD8901, termoanemometr PAT 88 TM
Temperatura i wilgotność (względna) powietrza w odlewni (hali)	t_{ph}, i_{ph}, x_{ph}	Termohigrometr HD8901 z sondą HD 850 1S.
Temperatura i wilgotność (względna) powietrza odciganego z chłodziarki	t_{pk}, i_{pk}, x_k	Aparatura podstawowa: mikroprocesorowy zestaw do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza, Aparatura sprawdzająca: termohigrometr HD8901, termoanemometr PAT 88 TM
Temperatura i wilgotność masy formierskiej podawanej do chłodziarki	t_{fp}, W_p	Temperatura: termohigrometr HD8901, z sondą TP 870/C; Wilgotność: metoda grawimetryczna
Temperatura i wilgotność masy formierskiej na wylocie chłodziarki	t_{fk}, W_k	Temperatura: termohigrometr HD8901, z sondą TP 870/C; Wilgotność: metoda grawimetryczna
Strumień masy formierskiej podawanej do chłodziarki	\dot{m}_{fp}	Metoda pośrednia: pomiar prędkości taśmy podajnika, wymiarów geometrycznych przekroju strumienia masy, określenie gęstości pozornej masy na taśmie podajnika (w stanie spoczynku) metodą grawimetryczną
Strumień masy formierskiej opuszczającej chłodziarkę	\dot{m}_{fk}	Metoda pośrednia: pomiar prędkości przemieszczania masy w chłodziarce, pomiar wymiarów geometrycznych przekroju strumienia masy poddanej wibrofluidyzacji, określenie gęstości pozornej masy na rynnie chłodziarki, wykorzystanie danych użytkownika (pomiar pośredni – pomiar masy opuszczającej chłodziarkę w określonym czasie), Oszacowanie na podstawie pomiaru natężenia strumienia masy podawanej oraz pomiaru wilgotności masy na wylocie z urządzenia; Pomiary sprawdzające: pomiar prędkości taśmy przenośnika masy formierskiej, wymiarów geometrycznych przekroju strumienia masy, oszacowanie gęstości pozornej masy na taśmie przenośnika
Strumień powietrza doprowadzonego do chłodziarki (pod dno perforowane)	\dot{m}_p	Metoda pośrednia: pomiar prędkości przepływu powietrza w przewodzie doprowadzającym powietrze do chłodziarki- termoanemometr PAT 88 TM , pomiar wymiarów geometrycznych przewodu; Oszacowanie: na podstawie danych katalogowych wentylatora podmuchowego, analiza oporów sieci powietrza (przewody rurowe, przepustnica, opory dna perforowanego)
Amplituda drgań rynny przenośnika	a	Rejestracja mechaniczna przy pomocy rysika, (cel pomiaru: oszacowanie wydajności chłodziarki)
Częstotliwość drgań rynny	f	Dane katalogowe wibratorów napędu rynny, oszacowanie na podstawie przebiegu czasowego drgań (zapis mechaniczny, cel pomiaru: oszacowanie wydajności chłodziarki)
Kierunek drgań, kąt pochylenia dystrybutora powietrza	α, β	Rejestracja mechaniczna przy pomocy rysika, pomiar kątomierzem

4. Obliczenia bilansowe.

W równaniach bilansowych w miejsce bezwzględnych wartości składników bilansu wprowadzono odpowiednie wartości strumieni ciepła, entalpii oraz wody. Obliczenia bilansowe wykonano w oparciu o odpowiednio zaprojektowany arkusz kalkulacyjny EXCEL. Dane wyjściowe do obliczeń przyjęto na podstawie pomiarów.

Zastosowana aparatura oraz przyjęta metodyka pomiarowa była powodem takiego przekształcenia równań bilansu wymiany ciepła i masy, aby można było ocenić wielkość przyrostów odpowiednich strumieni występujących w równaniach, czyli:

$$\dot{Q}_1 \quad \dot{Q}_4 + \dot{Q}_3 = \dot{Q}_5 \quad \dot{Q}_2 + \dot{Q}_R . \quad (1)$$

Powyższe równanie można zapisać w następującej formie:

$$\Delta \dot{Q}_{mf} + \dot{Q}_3 = \Delta \dot{Q}_{pch} + \dot{Q}_R , \quad (2)$$

w którym:

$\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dot{Q}_3$, - strumień ciepła doprowadzone do chłodziarki z masą obiegową, powietrzem chłodzącym i wodą uzupełniającą, \dot{Q}_4, \dot{Q}_5 - strumień ciepła odprowadzane z chłodziarki z ochłodzoną masą i powietrzem odlotowym, \dot{Q}_R - ciepło rozproszone do otoczenia;

$\Delta \dot{Q}_{mf}$ - reprezentuje strumień ciepła wymieniany przez chłodzoną masę formierską z powietrzem chłodzącym oraz otoczeniem;

$\Delta \dot{Q}_{pch}$ - ujmuje strumień ciepła związany ze zmianą entalpii powietrza chłodzącego;

\dot{Q}_R - wielkość ta ujmuje ciepło rozproszone do otoczenia oraz odchyłkę wynikającą z błędów pomiarowych.

Powyższy zapis uproszczono stosując podstawienie - $\Delta \dot{Q}_{mf} + \dot{Q}_3 = \Delta \dot{Q}'_{mf}$; ostatecznie równanie (2) zapisano w postaci:

$$\Delta \dot{Q}'_{mf} = \Delta \dot{Q}_{pch} + \dot{Q}_R \quad (3)$$

Obliczenia dotyczyły również bilansu wilgoci. Ostateczny zapis równania bilansowego przedstawia się następująco:

$$\dot{m}_{fp} \times \frac{w_p}{100} + \dot{m}_w \quad \dot{m}_{fk} \times \frac{w_k}{100} = \dot{m}_{pm} \times x_{pm} \quad \dot{m}_{ph} \times x_h \quad \dot{m}_p \times x_p + \dot{m}_{WR} . \quad (4)$$

Wielkości: \dot{Q}_R oraz \dot{m}_{WR} w powyższych równaniach oraz w opracowanym modelu obliczeniowym [2] można traktować także jako wielkości „uzgadniające” równania bilansowe wynikające z określonych „strat” trudnych do analitycznego ujęcia oraz pomiaru (m in.: ciepło rozpraszane do otoczenia, kondensację pary wodnej itp.) oraz błędów pomiarowych związanych ze stosowaną aparaturą, nieuniknionych fluktuacji wielkości mierzonych itp.

5. Wyniki pomiarów oraz obliczeń i ich dyskusja.

Obliczenia podstawowych parametrów strumieni powietrza w procesie chłodzenia dokonano na podstawie przeprowadzonych pomiarów (tablica 2) oraz w oparciu o zależności analityczne będące opracowaniem danych tablicowych [5]. Z przeprowadzonych pomiarów wybrano te, które ilustrują wpływ zmiennych parametrów procesu na efekty chłodzenia.

Wyniki zrealizowanych pomiarów oraz obliczeń bilansowych zamieszczono w tablicy 3 oraz przedstawiono również w formie graficznej na rysunkach 1 ÷ 3. Ze względu na zastosowaną formę graficzną przyjęto konwencję, w której strumieniom wejściowym przypisano znak „-”, a strumieniom wyjściowym w procesie chłodzenia znak „+”. Na wykresie przyrostów – strumieniem ciepła związanym z masą formierską przypisano znak „-”, a przyrostowi entalpii powietrza chłodzącego znak „+”.

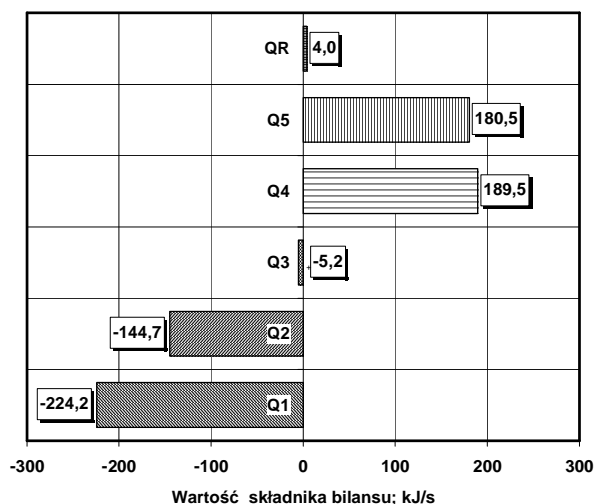
Bilans ciepła i wilgoci przeprowadzono dla reprezentatywnych danych z pomiarów – oznaczono je jako serie I – V. Do obliczeń przyjęto wartość wydajności podawanej masy równą 20 t/h (~ 5,56 kg/s). Obliczenia miały na celu ocenę efektów chłodzenia przy wysokiej temperaturze masy podawanej do chłodziarki, w warunkach niekorzystnych z punktu widzenia procesu tj. okresie letnim.

Obliczenia sprawdzające (VI) dokonano przy założeniu wydajności chłodziarki 30 t/h. Obliczenia bilansowe przeprowadzone przy założeniu wyższej wydajności chłodziarki pozwalają lepiej ocenić graniczne możliwości urządzenia. Na podstawie analizy procesu chłodzenia można przyjąć, że jeżeli efekty działania chłodziarki są zadowalające przy wyższej wartości stosunku masowego: strumienia masy formierskiej do strumienia powietrza to przy niższych wartościach tego stosunku efektywność chłodzenia poprawi się. Oczywiście ograniczeniem dolnym tego stosunku w pracy chłodziarki są wskaźniki energetyczne (zbyt duże zapotrzebowanie powietrza) oraz technologiczne duża prędkość przepływu powietrza przez złożo wibrofluidalne masy może prowadzić do wywiewania (elutracji) aktywnego lepiszcza.

Przeprowadzono symulacje procesu chłodzenia mające na celu ocenę wpływu wahań wydajności chłodziarki na wynik obliczeń bilansu ciepła i wilgoci. Ich wyniki pozwalają na stwierdzenie, że odchylenia wydajności w zakresie 1 t/h (+, -) nie wywołują dużych różnic w wynikach obliczeń. Z punktu widzenia dokładności prowadzonych pomiarów różnice te mieszczą się w granicach błędów wynikających z przyjętej metodyki pomiarów.

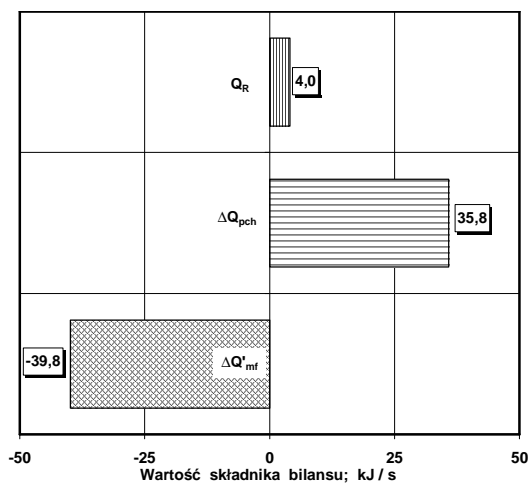
Tablica 3.
Wyniki pomiarów parametrów procesu chłodzenia.

Oznaczenie serii pomiarów:				I	II	III	IV	V	VI
Parametry procesu chłodzenia: masa formierska podawana do chłodziarki									
1	\dot{m}_{fp}	kg/s	strumień masy formierskiej	5,56					8,33
2	t_{fp}	°C	temperatura masy formierskiej	40,8	52,8	45,9	42	39,8	53,0
3	w_p	%	wilgotność masy formierskiej	0,9	0,5	1,5	1,1	1,2	0,5
<i>masa formierska po schłodzeniu</i>									
4	t_{fk}	°C	temperatura masy formierskiej	33,2	38,2	30,5	31,7	28,9	33,0
5	w_k	%	wilgotność masy formierskiej	1,8	1,3	1,7	1,4	1,5	1,5
<i>woda podawana podczas chłodzenia</i>									
6	\dot{m}_w	kg/s	strumień wody	0,062	0,067	0,038	0,032	0,035	0,133
7	t_{wp}	°C	temperatura wody	20	20	18	18	16	20
<i>powietrze chłodzące z wentylatora podmuchowego</i>									
8	\dot{V}_p	m ³ /s	strumień powietrza	2,0					2,22
9	\dot{m}_p	kg/s	strumień powietrza z wentylatora podmuchowego	2,235	2,243	2,307	2,312	2,385	2,54
10	t_{pp}	°C	temperatura powietrza	32,15	31,71	24,34	24,46	16,05	27
11	ϕ_{pp}	%	wilgotność względna powietrza	41,9	38	46,1	38,1	49,23	38
12	x_p	kg/kg	wilgotność bezwzględna	0,0127	0,0112	0,0088	0,0073	0,0056	0,0085
13	i_{pp}	kJ/s	entalpia właściwa powietrza	64,75	60,49	46,96	43,27	30,4	48,85
<i>powietrze odciągane z chłodziarki po zmieszaniu z zasysanym</i>									
14	\dot{V}_{pm}	m ³ /s	strumień powietrza	2,2					2,55
15	\dot{m}_{pm}	kg/s	strumień powietrza odciąganego z chłodziarki	2,423	2,357	2,424	2,445	2,507	2,73
16	t_{pm}	°C	temperatura powietrza	34,3	41,9	34,0	33,6	26,9	38,7
17	ϕ_{pm}	%	wilgotność względna powietrza	50,7	37,4	53,1	39,9	49,2	60,0
18	x_{pm}	kg/kg	wilgotność bezwzględna	0,0174	0,0193	0,0179	0,013	0,011	0,0264
19	i_{pm}	kJ/s	entalpia właściwa powietrza	79,07	91,9	79,99	67,15	55,15	106,98
20	x_k	kg/kg	wilgotność bezwzględna powietrza po chłodzeniu	0,0179	0,0197	0,0183	0,0133	0,0113	0,0278
21	i_{pk}	kJ/s	entalpia właściwa powietrza po chłodzeniu	80,78	93,59	81,76	68,57	56,45	111,6
<i>powietrze zasysane z hali</i>									
22	\dot{m}_{ph}	kg/s	strumień powietrza zasysanego z hali	0,188	0,004	0,116	0,134	0,122	0,19
23	t_{ph}	°C	temperatura	29,3	29,3	23,1	23,2	15,3	25,0
24	ϕ_{ph}	%	wilgotność względna	44,6	44,6	48,1	42,6	51,8	40,0
25	x_h	kg/kg	wilgotność bezwzględna	0,0114	0,0114	0,0086	0,0076	0,0057	0,008
26	i_{ph}	kJ/s	entalpia właściwa	58,72	58,72	44,99	42,69	29,68	45,41



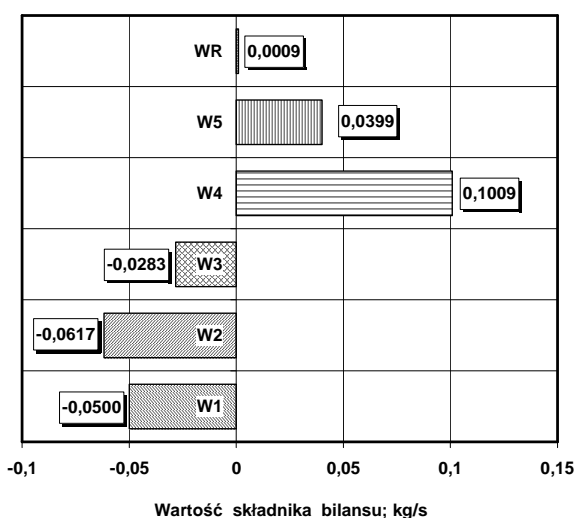
	I	II	III	IV	V	VI
QR	+4,0	+3,3	+7,4	-1,3	-1,4	+2,8
Q5	180,5	209,9	188,6	158,5	134,7	283,4
Q4	189,5	214,4	172,3	177,6	162,4	280,1
Q3	5,2	5,6	2,9	2,4	2,3	11,2
Q2	144,7	135,7	108,3	100,0	72,5	124,1
Q1	224,2	286,4	257,2	232,3	220,8	431,1

Rys.1. Bilans ciepła procesu chłodzenia masy.



	I	II	III	IV	V	VI
QR	+4,0	+3,3	+7,4	-1,3	-1,4	+2,8
ΔQpch	35,8	74,2	80,3	58,5	62,1	186,4
ΔQ'mf	39,8	77,6	87,7	57,2	60,8	162,2

Rys.2. Sumaryczny bilans ciepła w procesie chłodzenia masy formierskiej.



	I	II	III	IV	V	VI
W_R	+	-	-	-	-	-
W_5	0,0009	0,0025	0,005	0,0015	0,0046	0,0004
W_4	0,0399	0,0442	0,0423	0,0309	0,0269	0,0707
W_3	0,1009	0,0728	0,0946	0,078	0,0836	0,1263
W_2	0,0283	0,0251	0,0204	0,0169	0,0134	0,0216
W_1	0,0617	0,0667	0,0382	0,0324	0,035	0,1333
W_1	0,05	0,0278	0,0833	0,0611	0,0667	0,0417

Rys. 3. Bilans wilgoci procesu chłodzenia masy: $w_1 = \dot{m}_{fp} \times \frac{w_p}{100}$ - strumień wody stanowiącej wilgotność

masy formierskiej podawanej do chłodziarki, $w_2 = \dot{m}_w$ - strumień wody uzupełniającej (natrysk wody w chłodziarce), $w_3 = \dot{m}_{pm} \times x_{pm}$ - strumień wody stanowiącej wilgotność powietrza dolotowego,

$w_4 = \dot{m}_{fk} \times \frac{w_k}{100}$ - strumień wody stanowiącej wilgotność masy formierskiej na wylocie chłodziarki,

$w_5 = \dot{m}_p \times x_k$ - strumień wody stanowiącej wilgotność powietrza po procesie chłodzenia

$w_R = \dot{m}_{wR}$ - wielkość uwzględniająca poza „stratami” wilgoci odchyłkę wynikającą z błędów pomiaru wielkości.

Jeszcze mniejszy wpływ na wyniki obliczeń wywierają ewentualne odchylenia w zakresie przyjętych wydajności wentylatorów podmuchowego i odciągowego. Według danych katalogowych ich maksymalne wydajności to odpowiednio 2,2 oraz 2,55 m³/s. Ze względu na współpracę tych wentylatorów z siecią oraz zastosowane dławienie przepływu (przepustnice) rzeczywiste natężenia strumieni powietrza: doprowadzanego pod dno perforowane oraz odciąganego są mniejsze. Określone na podstawie pomiarów natężenia omawianych strumieni powietrza mieściły się w granicach 1,8 ÷ 2,08 m³/s dla strumienia wlotowego i 2,1 ÷ 2,3 m³/s dla strumienia powietrza odciąganego. Stosunkowo mały wpływ dławienia na przepustnicach regulacyjnych (otwarcie do 4/7, co odpowiada kątom do 45⁰) można wytłumaczyć relatywnie dużymi oporami sieci (liczne opory miejscowe i liniowe) w stosunku do oporów miejscowych wprowadzanych przez przepustnicę. W tym przypadku spadek natężenia przepływu w zakresie wymienionych kątów w stosunku do strumienia maksymalnego jest stosunkowo niewielki i nie przekracza 20 % [5]. W obliczeniach bilansowych przyjęto wartości określone na podstawie pomiarów: odpowiednio 2,0 i 2,2 m³/s. Precyzyjne określenie natężenia strumieni wymagałoby bardzo pracochłonnych pomiarów, a jak zaznaczono wcześniej wpływ tych parametrów (w zakresie zmian do 20 %) na wyniki obliczeń bilansowych jest stosunkowo niewielki.

Analiza wyników wykazuje, że największym wartościowo składnikiem bilansu ciepła jest zawsze strumień ciepła wnoszony przez „gorącą” masę formierską. Natomiast strumienie ciepła na wylocie chłodziarki: odprowadzanego z ochłodzoną masą formierską oraz z powietrzem odlotowym mają porównywalne wartości – co może być traktowane jako wskaźnik poprawnego przebiegu procesu chłodzenia. O efektywnym przebiegu procesu świadczą również znaczące przyrosty entalpii w strumieniu powietrza

odciągane w stosunku do entalpii strumienia powietrza dolotowego. Widoczne to jest zwłaszcza na wykresach ujmujących bilans ciepła w formie przyrostów wartości. Podkreślenia wymaga fakt, że przyrosty te zostały osiągnięte dzięki znaczącemu zwiększeniu zawartości wilgoci w powietrzu chłodzącym. Analiza wyników (tab. 2) pozwala stwierdzić, że takie przyrosty entalpii nie byłyby możliwe do osiągnięcia jedynie przy wzroście temperatury powietrza odlotowego (przy stałej jego wilgotności bezwzględnej). Zrealizowany jest więc postulat chłodzenia „wyparnego” masy formierskiej, podkreślany w licznych publikacjach [1,4,6÷8].

Strumień ciepła wnoszony przez wodę chłodzącą ma, w stosunku do innych głównych składników bilansu, nieznaczną wartość. W związku z powyższym wpływ przyjętej temperatury wody uzupełniającej na wyniki obliczeń bilansowych jest nieistotny (w realnym zakresie jej zmienności). Omawiany strumień ciepła jest zbliżony do wartości strumienia ciepła rozpraszanego do otoczenia - Q_R (uwzględniającego również błędy pomiarów i obliczeń). Stosunkowo mała wartość Q_R w stosunku do innych głównych składników bilansu świadczy pozytywnie o przyjętej metodyce pomiarów i obliczeń. Wartość tego strumienia jest również znacznie mniejsza od wartości przyrostowych – rys. 2; pozwala to również pozytywnie ocenić przyjętą metodykę bilansowania i uznać jej dokładność za wystarczającą do oceny pracy chłodziarki. Sumaryczny strumień ciepła oddawanego przez masę formierską jest więc przejmowany głównie przez powietrze chłodzące.

W zakresie bilansów wilgoci – rysunek 3, w strumieniu wejściowym bilansu dominuje strumień wody uzupełniającej lub strumień wody stanowiącej wilgotność strumienia masy na wejściu chłodziarki. Związek wilgotności masy wejściowej z jej temperaturą byłby wyraźny i uzasadniony technologicznie; spadek wilgotności ze wzrostem temperatury, gdyby nie dane z serii III- odbiegające od ogólnego trendu. Należy mieć jednak na uwadze fakt, że określenie tego rodzaju empirycznego związku dla konkretnych warunków odlewni wymagałoby znacznie większej ilości pomiarów prowadzonych w warunkach ustabilizowanej produkcji. Trzeba również uwzględnić niedokładność oznaczenia średniej wilgotności w strumieniu masy podawanej do chłodziarki. Jakkolwiek dokładność samego oznaczenia wilgotności próbki masy formierskiej jest duża to procedura pobierania dużej ilości próbek i szybkiego oznaczania wilgotności na stanowisku pomiarowym wymaga stosowania wagi-suszarki i odpowiedniego, statystycznego opracowania wyników. Niezbędne byłoby również zaangażowanie dużego zespołu do przeprowadzenia tego typu pomiarów. W przypadku typowego rozwiązania linii zwrotu masy odchylenia wilgotności masy na wejściu chłodziarki zależą nie tylko od szeregu czynników technologicznych (zwłaszcza stosunku masowego forma – odlew), ale i od parametrów powietrza w hali odlewni.

Biorąc pod uwagę strumień wilgoci zawartej w powietrzu chłodzącym porównywalny w wielu przypadkach ze strumieniem stanowiącym wilgotność masy można uznać, że parametry powietrza chłodzącego: wilgotność, temperatura powinny być uwzględniane w analizie procesu chłodzenia. Wilgotność powietrza odciągane z chłodziarki zawierała się w granicach od 37,4 do 53,1 % (dla analizowanej serii eksperymentów). Są to wartości odbiegające od stanu nasycenia powietrza. Można więc stwierdzić, że nie występuje niebezpieczeństwo niekorzystnej pracy chłodziarki w warunkach zamglenia strumienia powietrza odciągane. Nawet przy niekorzystnych warunkach pracy: wysoka temperatura masy na wejściu, duża wydajność chłodziarki, wysoka temperatura powietrza chłodzącego jest możliwe osiągnięcie wymaganych efektów chłodzenia bez konieczności pracy w warunkach zamglonego strumienia powietrza odciągane z urządzenia.

6. Wnioski końcowe.

Przeprowadzone pomiary oraz ich analiza dostarczyła cennego materiału do weryfikacji założeń teoretycznych procesu chłodzenia podczas wibrofluidyzacji.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz analizy wyników można z punktu widzenia przebiegu procesu chłodzenia ocenić pozytywnie prototypowe urządzenie CWFM 3510. Wybrane do analizy wyniki pomiarów dotyczyły okresu letniego i jesiennego, w tym również bardzo niekorzystnych warunków zewnętrznych - wysoka temperatura powietrza. Rezultaty chłodzenia uzyskane w takich warunkach dają pewność prawidłowej pracy instalacji w korzystnych z punktu widzenia chłodzenia warunkach okresu zimowego (potwierdziła to również seria badań przeprowadzonych w okresie niskiej temperatury otoczenia).

Na podstawie przeprowadzonych analiz można prognozować poprawną pracę chłodziarki CWFM nawet przy niekorzystnych warunkach zewnętrznych, z zadowalającymi wskaźnikami technicznymi.

Do czynników sprzyjających poprawie wskaźników technicznych w procesie chłodzenia można zaliczyć: stabilizację ilości i stopnia nawilżenia masy podawanej do chłodziarki, zmianę systemu regulacji wydajności wentylatorów w instalacji chłodziarki, zwiększenie ilości dozowanej wody. Podczas realizowanych badań, zwłaszcza w ostatnich seriach pomiarów, zaobserwowano wyższe wartości temperatury masy na wejściu do chłodziarki (wskazania zainstalowanych przetworników temperatury) od wartości zmierzonych w próbkach masy pobranych z podajnika.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić efektywniejszy przebieg procesu chłodzenia przy wyższych wartościach wilgotności początkowej masy. Dotyczy to zwłaszcza okresów letnich o wysokiej temperaturze powietrza. Można zalecić wprowadzanie do chłodziarki masy o wilgotności początkowej w zakresie 1,2 do 1,5 %.

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. Dotyczy to zwłaszcza pracy ostatniego rzędu dysz. Najwyraźniej w takich warunkach korzystne byłoby wydłużenie czasu przebywania masy w chłodziarce lub zwiększenie ilości dozowanej wody (zwłaszcza podawanej przez pierwszy rząd dysz).

Zmiana parametrów wibracji w odpowiednim zakresie prowadząca do zmniejszenia prędkości przemieszczania masy w chłodziarce byłaby również korzystna. Konieczne jest jednak zwrócenie uwagi na współzależność parametrów chłodziarki; przykładowo zwiększenie ilości powietrza chłodzącego powinno teoretycznie poprawić efekty chłodzenia jednak wpływa to na prędkość transportu masy w urządzeniu i skraca czas przebywania masy w chłodziarce. Przy zbyt dużym zakresie zmian wypadkowy efekt może więc być przeciwny do oczekiwanego. Podobnie zwiększenie strumienia wody uzupełniającej- korzystne z punktu widzenia chłodzenia masy, przy niewłaściwym systemie pracy dysz może powodować lokalne zmiany właściwości warstwy wibrofluidalnej masy formierskiej i zaburzenia w pracy urządzenia.

Zwiększenie strumienia dozowanej wody, zwłaszcza w okresie letnim, jest jednak godne polecenia. Pod tym względem technicznie możliwe do osiągnięcia natężenia strumienia wody uzupełniającej są wystarczające. Parametry powietrza odlotowego z chłodziarki są bowiem dalekie od stanu nasycenia. Poprawie uległyby wówczas wskaźniki pracy chłodziarki. Z punktu widzenia energochłonności system pracy wentylatora podmuchowego oraz sposób regulacji jego wydajności jest szczególnie niekorzystny. Najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie systemu regulacji prędkości obrotowej.

Powyższe uwagi nie mają wpływu na ogólną bardzo dobrą ocenę realizacji podstawowej funkcji urządzenia CWFM, to jest chłodzenia masy. Potwierdzają to wyniki pomiarów, a także obserwacje pracy urządzenia w analizowanym okresie eksploatacji. Przeprowadzone analizy pozwalają również prognozować właściwą pracę urządzenia w przypadku większej jego wydajności. Można ocenić, że parametry całej instalacji stwarzają korzystny „zapas bezpieczeństwa”, który umożliwi poprawną pracę systemu również w niekorzystnych, z punktu widzenia procesu chłodzenia masy formierskiej, warunkach.

Towarzysząca wibrofluidyzacji elutriacja drobnoziarnistych składników masy nie jest powodem jej zubożenia. Wytracone w cyklonie drobne frakcje, zawierające również aktywny bentonit i pył węglowy są zwracane do obiegu. Wyniki badań składu granulometrycznego wskazują na właściwy dobór wielkości cyklonu i efektywną jego pracę. Postulowane zwiększenie wilgotności masy w chłodziarce również przyczyni się do zmniejszenia elutriacji.

Pomiary natężenia dźwięku emitowanego przez prototypową chłodziarkę wibrofluidyzacyjną CWFM 3510 wykazały, że nie są przekroczone wartości dopuszczalne. Pomiary wykazały wartości $80 \div 81$ dB(A), mieszczące się poniżej wartości tła.

Opracowano w ramach projektu celowego KBN nr 6 T08 137 2002 C/5600.

7. Literatura.

- [1] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych, Skrypt AGH nr 919, Kraków, 1984
- [2] 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
- [3] Häussler W.: Zastosowanie wykresu i-x w inżynierii sanitarnej. Arkady. Warszawa, 1970
- [4] Lewandowski J.L.: Znaczenie temperatury dla właściwości używanej masy wiązanej bentonitem. Przegląd Odlewnictwa, nr.2, 2002, s. 130
- [5] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera automatyka. WNT Warszawa, 1969
- [6] Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139. Kraków, 1991
- [7] Sztefko F., Dańko J.: Podstawy bilansu cieplnego współczesnych chłodziarek do obiegowych mas formierskich. Przegląd Odlewnictwa, nr.6, 1976, s. 145
- [8] Sztefko F., Smyksy K.: Numerical Interpretation of the Process of Cooling Return Sand. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, T9, z.4, 1983
- [9] www.technical.com.pl

ANALIZA ZJAWISK WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH W KONSTRUKCJI WIRNIKA MIESZARKI TURBINOWEJ

Roman WRONA¹

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica

1. Uwagi ogólne.

Współczesne mieszarki odznaczają się złożoną budową, w której występuje wiele współpracujących ze sobą elementów. Niedostateczna znajomość warunków pracy tych elementów lub brak dokładnych metod obliczania ich wytrzymałości sprawiają, że postęp w geometrii kształtu i doborze materiałów na ich wykonanie jest utrudniony. Jedną z metod ułatwiających rozwiązywanie tych zagadnień jest analiza konstrukcji, w której złożone elementy można przedstawić jako zbiory prostych ściśle ze sobą współpracujących elementów. Z analizy wynika, że znaczna większość prostych elementów składowych można dokładnie obliczyć oraz przewidzieć zachowanie ich w czasie pracy. Do takich elementów zalicza się tarcze, tuleje grubościennne, powłoki osiowo-symetryczne, łopatki, itp. Należyta wytrzymałość maszyny lub mechanizmów jest w głównej mierze uzależniona od właściwości sprężystych i wytrzymałościowych tych prostych elementów składowych jak również od ich prawidłowej współpracy.

Siły wewnętrzne i związane z nimi naprężenia w różnych częściach składowych konstrukcji zależą głównie od obciążeń zewnętrznych.

W niniejszym opracowaniu przedmiotem analizy konstrukcji będzie wirnik stanowiący część mechanizmu mieszania.

2. Budowa wirnika.

Zasadniczymi elementami w konstrukcji wirnika jest wał i łopatki połączone z wałem za pomocą śrub. Analizując dynamikę takiego układu, wyróżnia się obciążenie wałów i obciążenie łopatek.

W układach mieszających wały podlegają działaniu obciążeń głównych. Są to obciążenia od:

- ciężaru własnego i ciężaru łopatek rozłożonych pojedynczo na obwodzie wału, lub głowicy z łopatkami osadzonej na wale,
- sił masowych niedoskonałego wyrównoważenia wirnika,
- nagrzania części lub całości w wyniku tarcia w środowisku masy formierskiej,
- skręcenia wywołanego momentem obrotowym i oporami podczas procesu mieszania,
- siłami masowymi wywołanymi rozruchem wirnika w sytuacji gdy mieszarka jest napełniona,
- sił wzdłużnych wywołanych ciśnieniem statycznym i dynamicznym masy formierskiej na łopatki i czoło wału,
- drgań giętnych i skrętnych.

Ciężar własny wału z łopatkami.

Obciążenie pochodzące od ciężaru rozmieszczone jest w sposób ciągły. Ułożenie wału może być pionowe lub ukośne. W pierwszym ułożeniu występują naprężenia

¹ prof. dr hab. inż., rwrone@agh.edu.pl

rozciągające, natomiast w drugim dominują naprężenia gnące od momentów gnących w poszczególnych punktach wału. Do obliczeń naprężeń gnących stosuje się wzór:

$$\delta_g = \pm \frac{M_g}{M_z} \quad [N/cm^2] \quad (1)$$

w którym: M_g – moment gnący w danym przekroju [Ncm]

$$W_z = \frac{\pi d^3}{32} \quad \text{- wskaźnik wytrzymałości przekroju względem osi zgięcia [cm}^3\text{]}$$

d – średnica zewnętrzna wału w dowolnym miejscu.

Sily masowe niedoskonałego wyrównoważenia wirnika.

Niedoskonałe wyrównoważenie jest źródłem znacznych sił masowych i momentów gnących. Te z kolei są przyczyną dodatkowych reakcji dynamicznych łożysk oraz naprężeń gnących w samym wale. Wartość siły masowej P_d wywołanej pewnym mimośrodem e między osią wału a środkiem masy układu łopatek wynosi:

$$P_d = \frac{Q}{g} \omega^2 e \quad (2)$$

gdzie: ω - prędkość kątowna obrotów

Q – ciężar wirnika.

Obciążenia cieplne.

Mogą być wywołane nierównomiernym nagraniem poszczególnych miejsc wału i głowicy utworzonej z łopatek. Występują tu naprężenia cieplne promieniowe, obwodowe i wzdłużne. Naprężenia są tym większe im większe są różnice temperatur np. podczas dodawania wody do masy obiegowej o podwyższonej temperaturze.

Obciążenia momentem skręcającym.

Moment obrotowy oblicza się z zależności:

$$M_0 = 71620 \frac{N}{n} \quad (3)$$

w którym: N – moc przenoszona przez wał

n – prędkość obrotowa wału.

Moment ten skręca wał, wywołując w nim naprężenia skręcające:

$$\tau = \frac{M_0}{W_0} \quad (4)$$

gdzie: $W_0 = \frac{\pi d^3}{16} [cm^3]$ - wskaźnik wytrzymałości dla przekroju kołowego.

Do określenia wymiarów wału może być również uwzględniony dopuszczalny kąt skręcenia φ na długości l , gdy przekrój wału i moment są stałe:

$$\varphi = \frac{M_0 \cdot l}{G \cdot J_0} \quad [\text{rad}] \quad (5)$$

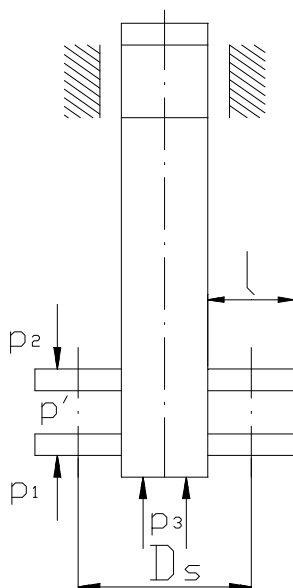
W przypadku gdy moment i przekrój wału są zmienne to:

$$\varphi = \int_0^l \frac{M_0}{G \cdot J_0} dx \quad (6)$$

gdzie: $J_0 = \frac{\pi d^4}{32}$ - moment bezwładności poprzecznego przekroju dla wału pełnego

G - moduł sprężystości postaciowej.

Obciążenia statyczne i dynamiczne wywołane przez przemieszczanie się masy pomiędzy łopatkami.



Rys.1. Rozkład ciśnień na łopatkach (tarczy).

Mieszana masa formierska wywołuje siły statyczne:

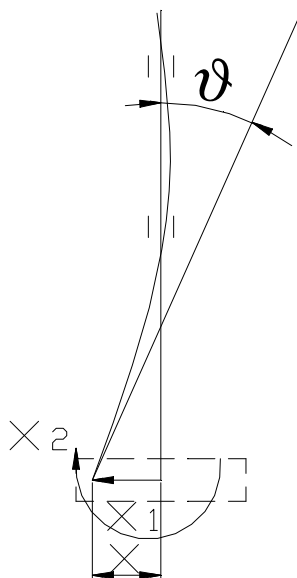
$$P_{s_1} = (p_1 - p) \pi D_s l \quad (7)$$

$$P_{s_2} = (p_2 - p) \pi D_s l$$

Całkowita siła wzdłużna $P = P_{s_1} + P_{s_2} + \dots + P_{s_i} + P_d$ przenosi wał, dla którego w dowolnym przekroju F wystąpią naprężenia ściskające lub rozciągające. Wartość P_d określa siły dynamiczne wynikające ze składowych wzdłużnych prędkości masy na powierzchniach łopatek.

Obciążenia wywołane drganiami giętnymi i skrętnymi.

Model rozważań sprowadza się do stwierdzenia, że każdy wieńiec złożony z łopatek wprowadza dodatkowo w układ skupiony moment pracy na skutek obrotu wokół średnicy. W miejscu zamocowania wieńca łopatek i nacisku masy, ruch określają dwie współrzędne; liniowe przemieszczenie normalne do osi oraz przemieszczenie kątowe. Układ ma dwa stopnie swobody (rys. 2)



Rys.2. Wał z masą skupioną i wieńcem łopatek zaznaczonym linią przerywaną.

Równania dla przemieszczenia liniowego X a kąowego wieńca łopatek:

$$X = X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} \quad (8)$$

$$V = X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22}$$

zawierają siły bezwładności X_1 ruchu postępowego masy oraz moment sił bezwładności X_2 , ruchu obrotowego wieńca łopatek wokół średnicy. Wobec tego:

$$X_1 = m \frac{d^2 x}{dt^2}; \quad X_2 = \phi \frac{d^2 V}{dt^2} \quad (9)$$

gdzie: ϕ - moment masowy bezwładności względem średnicy
 m – masa wieńca.

3. Konstrukcja łopatek.

Łopatki są to elementy za pośrednictwem, których następuje przemiana energii wirnika na energię mieszania masy. Pracują w warunkach złożonego stanu obciążenia w obecności niekorzystnych czynników zewnętrznych takich jak: piasek, składniki masy, wilgoć, podwyższona temperatura. Konstrukcja łopatki składa się z dwu części: części roboczej profilowanej (pióra) i stopki. Część profilowana utworzona jest przez dwie

powierzchnie, które można nazwać natarcia i spływu. Natomiast stopka służy do zamocowania łopatki na wale wirnika.

Kształt i profil pióra łopatki ma istotny wpływ na skuteczność mieszania. Istnieje (dotąd niezbadana) zależność pomiędzy kształtem a parametrami przepływu masy pomiędzy łopatkami i w całej objętości misy mieszarki oraz elementarnymi procesami zachodzącymi w masie podczas mieszania. Natomiast kształt stopki determinuje rodzaj i wartość obciążeń.

Oddziaływanie czynników roboczych wywołuje powstawanie w łopatkach zmiennego stanu naprężeń. Obciążenia łopatek w warunkach pracy mieszarek można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- powstające pod wpływem naporu masy formierskiej,
- masowe to siły odśrodkowe mas łopatek oraz siły wywołane drganiami sprężystymi,
- cieplne na skutek tarcia masy.

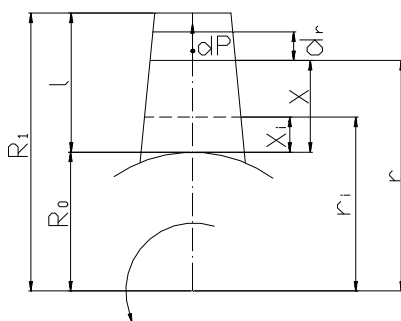
W wyniku działania sił podczas mieszania w łopatkach powstają następujące naprężenia:

- rozciągające, wywołane siłami odśrodkowymi wirujących łopatek,
- gnące od naporu masy na część profilową łopatki,
- gnące wywołane drganiami poprzecznymi,
- styczne od drgań skrętnych części roboczej.

Pierwsze dwa rodzaje są dominujące, pozostałe ze względu na stosunkowo małe naprężenia styczne pomija się.

I. Rozciąganie łopatek.

Schemat obliczeniowy podaje rysunek 3.



Rys.3. Model rozciągania łopatki.

Różniczkowa siła odśrodkowa dP wynosi:

$$dP = \frac{\gamma}{g} F \omega^2 r dr \quad (10)$$

gdzie: γ - ciężar właściwy materiału

F , F_i , F_0 – pola przekrojów poprzecznych łopatki w odległościach r , r_i , R_0 od osi obrotu, natomiast w przekroju oddalonym o r_i siła odśrodkowa wyniesie:

$$P_i = \frac{\omega^2}{g} \int_{r_i}^{R_0} \gamma F r dr \quad (11)$$

Podstawiając $r = R_0 + x \rightarrow dr = dx$

$$P_i = \frac{\Omega}{g} \int_{x_i}^l \gamma F(R_0 + x) dx \quad (12)$$

Największa siła odśrodkowa występuje w przekroju odległym o R_0 .

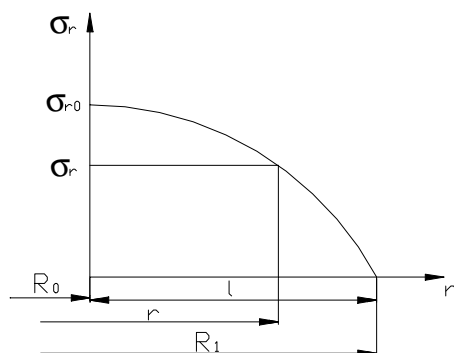
$$P_0 = \frac{\Omega}{g} \int_0^l \gamma F(R_0 + x) dx \quad (13)$$

Również naprężenia w tym przekroju będą największe.

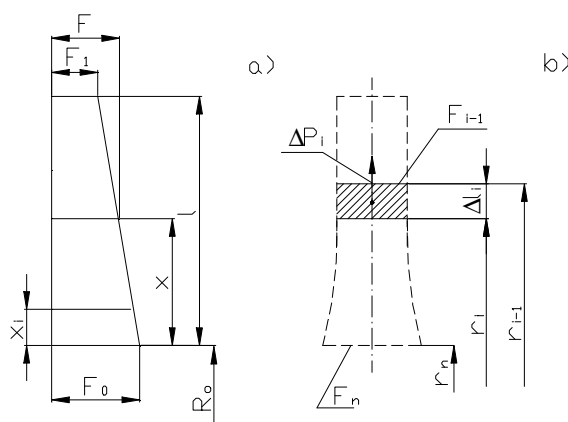
$$\sigma_{r_0} = \frac{P_0}{F_0} \quad (14)$$

Przykładowy wykres rozciągania łopatki podaje rysunek 4 [1].

Ze względu na możliwe kształty łopatki mogą być: o stałym przekroju, liniowo zmiennym i o dowolnie zmiennym. (rys.5.)



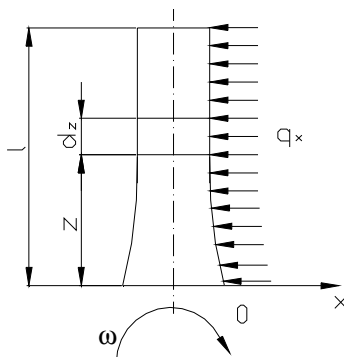
Rys.4. Wykres rozciągania łopatki.



Rys.5. Przekroje łopatek: a) liniowo zmienny, b) dowolnie zmienny.

II. Momenty gnące od naporu masy formierskiej (rys. 6).

Na łopatki działają siły naporu w kierunku przeciwnym do obrotu wirnika w osi x oraz w kierunku pionowym. Pionowe naciski nie odgrywają znaczącej roli w sytuacji, gdy łopatki ułożone w wieńce tworzą warstwy na długości wirnika.



Rys.6. Siły naporu masy formierskiej.

Największe momenty gnące występują w przekroju przy stopce i są równe:

$$M_{gx} = \int_0^l q_x z dz \quad (15)$$

Wartości q_x wynikają z dynamiki przepływu masy omywającej wirnik, są funkcją kształtu łopatek, ich ilości na obwodzie i warstw tworzących wirnik. Zmienny układ naprężeń związany jest z nierównomiernością rozkładu obwodowego prędkości przepływu masy.

4. Podsumowanie.

Konstrukcja wirnika jest mechanizmem składającym się z wału i łopatek ułożonych warstwowo, a każda warstwa tworzy wieńce. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zespół wirnika podlega działaniom sił, które wywołują naprężenia o złożonej charakterystyce. Decydującym czynnikiem w rozkładzie naprężeń jest kształt łopatki i wału. W praktyce stosowane są wały o przekroju kołowym i wielokątnym. Natomiast łopatki mogą być o przekroju stałym lub zmiennym na ich długości.

Opracowanie najwłaściwszego kształtu łopatki wymaga przede wszystkim sprecyzowania zadania (funkcji), jakie ma do spełnienia łopatka w określonym okresie mieszania masy. Jakże powinna realizować elementarne procesy składające się na proces mieszania. Ogólnie zadanie i sposób eksploatacji mogą być traktowane jako wielowymiarowe procesy losowe.

Istnieje duże prawdopodobieństwo, że ze względów skuteczności mieszania łopatki powinny mieć zróżnicowany przestrzennie kształt o dużej rozpiętości wymiarowej przy założeniu stałej wytrzymałości w każdym przekroju na całej długości.

5. Literatura.

- [1] Lipka J.: Wytrzymałość maszyn wirnikowych. WNT, Warszawa, 1967
- [2] Kocańda S.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. PWN, Warszawa 1985.

BADANIA PRZEMYSŁOWE ODŚWIEŻANIA MASY FORMIERSKIEJ W MIESZARCE WIRNIKOWEJ MTI-500 W CYKLU DŁUGOOKRESOWYM

Józef DAŃKO¹
Aleksander FEDORYSZYN²
Rafał DAŃKO³

Wydział Odlewnictwa
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica

1. Wstęp.

Właściwe odświeżanie masy pozwala na przywrócenie pierwotnych właściwości technologicznych. Odświeżanie masy obiegowej sprowadza się do dodawania składników odświeżających, takich jak: świeży piasek, bentonit i nośnik węgla błyszczącego w celu uzupełnienia ich częściowego zużycia w poprzednim cyklu obiegowym oraz wody. Zwykle suma świeżych materiałów dodawanych do masy mieści się w granicach 5 ÷ 20% [6,8]. Odświeżanie jest prowadzone w mieszarkach, obecnie najczęściej w mieszarkach wirnikowych (turbinowych).

Analiza zmian właściwości masy syntetycznej z bentonitem dotyczy odlewni, w której odświeżanie jest prowadzone w zakresie skrajnych, górnych wartości. Wynika to z faktu wykonywania odlewów w formach przy stosunku mas: ciekłego metalu do masy w formie jak 1: (≤ 1) [2,3].

Podanego zakresu również nie ujmuje nomogram Levelinka [8]. Przy jego użyciu można wyznaczyć ilość dodatków odświeżających przy obciążeniu 3:1 ÷ 20:1. Nomogram Levelinka daje możliwość o szybkiego określenia stopnia odświeżenia masy o założonej wytrzymałości $R_c^w = 20 \text{ N/cm}^2$ i gęstości usypowej $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$.

2. Zakres i warunki odświeżania.

Podstawowym wyposażeniem stacji sporządzania syntetycznej masy z bentonitem SMF jest mieszarka turbinowa MTI-500 produkcji P.P.P. TECHNICAL. Dane techniczne tej mieszarki są następujące:

- wydajność: 15 ÷ 18 Mg/godz,
- załadunek: 500 kg,
- moc zainstalowana:
 - napęd misy: 5,5 kW,
 - napęd mieszadła: 15 kW,
 - napęd turbiny: 30 kW,
- wymiary gabarytowe: 2900 × 1630 × 2110 mm,

masę odświeża się świeżą osnową (świeżym piaskiem) dodając bentonit. Po zagęszczeniu masy formy pokrywa się wodnym roztworem pyłu węglowego i suszy.

Masa po odświeżającym mieszanii jest podawana na stanowiska formowania. Po wykonaniu form nanosi się powłokę ochronną. Po wysuszeniu formy umieszcza się na stanowisku zalewania. Masa po oddzieleniu od odlewów jest kierowana do SMF

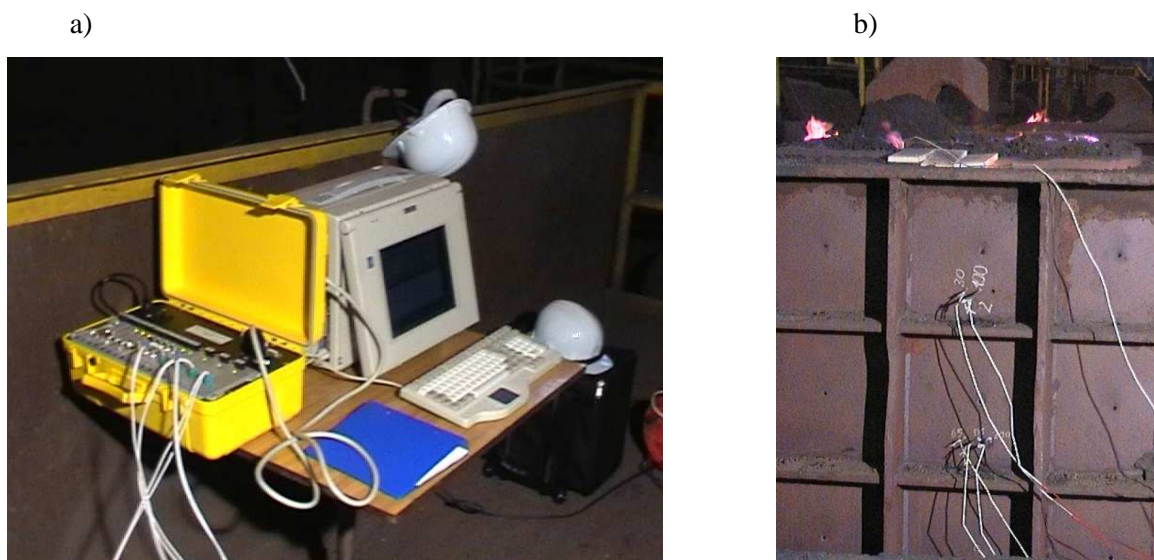
¹ prof. dr hab. inż. jd@uci.agh.edu.pl

² dr hab. inż., prof. nadzw. alfa@uci.agh.edu.pl

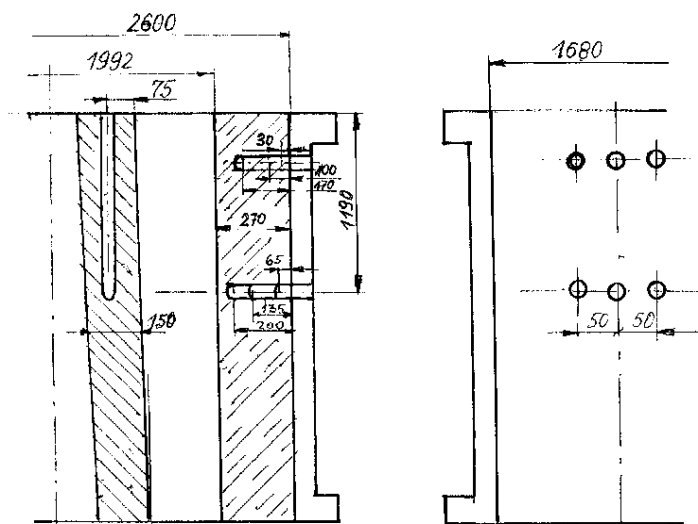
³ mgr inż. rd@uci.agh.edu.pl

przenośnikami. Ma miejsce oddzielanie zanieczyszczeń przy użyciu sita obrotowego oraz oddzielaczy elektromagnetycznych: taśmowego i bębnowego.

W celu wyznaczenia stopnia utraty właściwości masy przeprowadzono analizę rozkładu temperatury masy w formie po zalaniu metalem. Zainstalowano czujniki do pomiaru temperatury połączone z komputerowym układem rejestrującym. Oprzyrządowanie do pomiaru temperatury masy w formie przedstawiono na rysunku 1 (rys. 24/2 a i b). Na rysunku 2 przedstawiono rozkład temperatury w czasie 24-godzinnych badań.

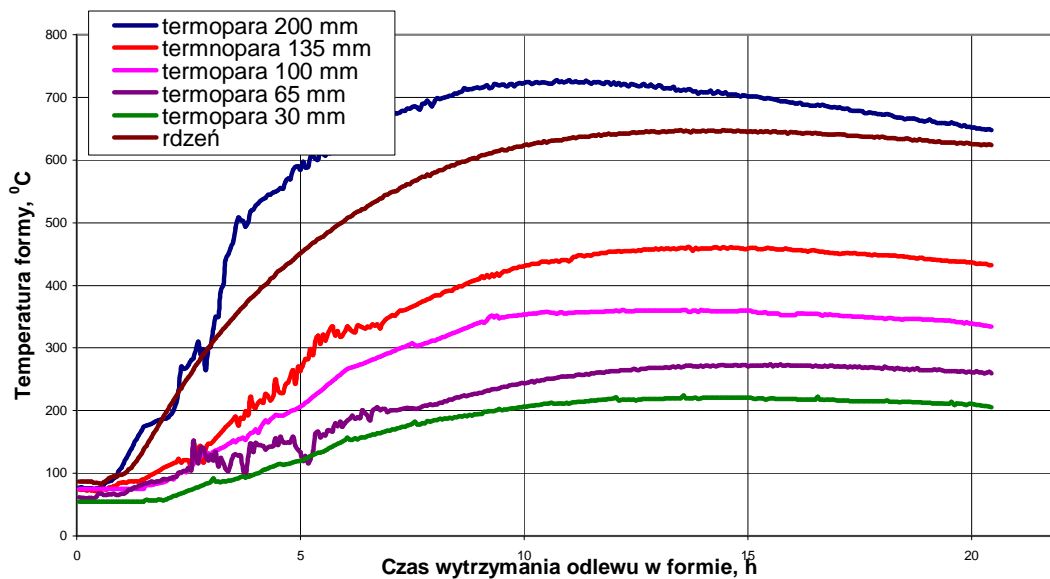


Rys.1. Oprzyrządowanie do pomiaru temperatury masy w formie oraz w rdzeniu wlewnicy. a- układ rejestracji, b- termopary.



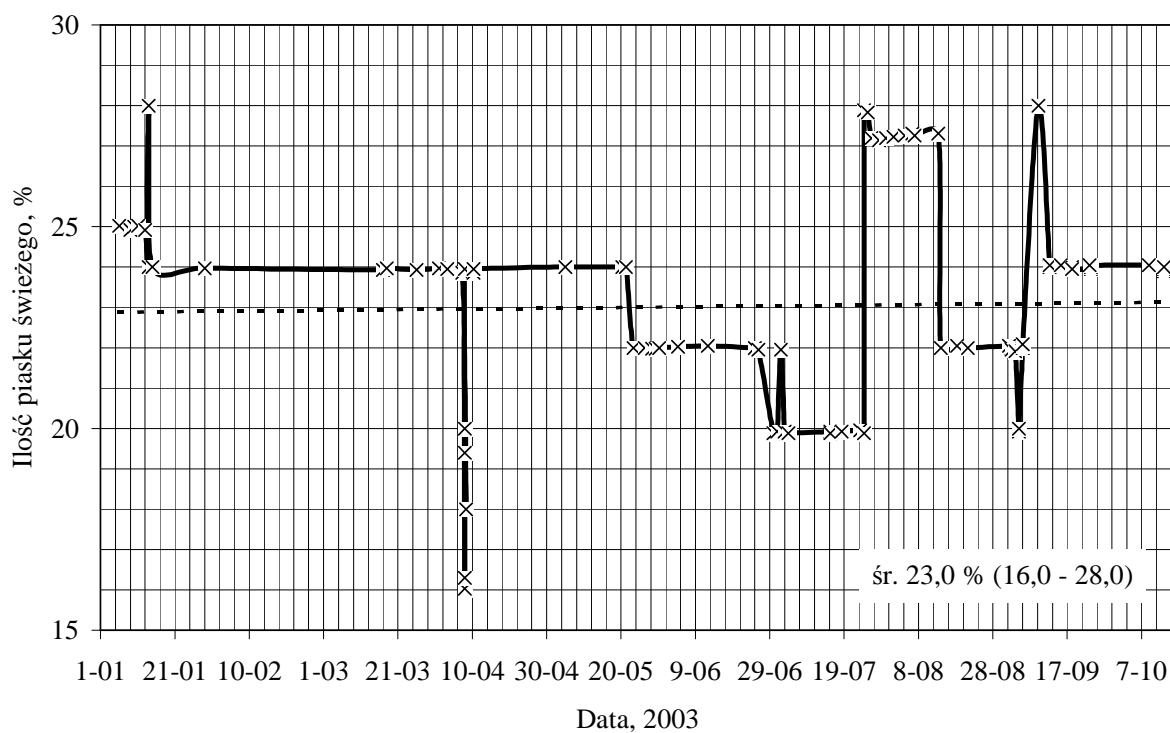
Rys.2. Schemat rozmieszczenia termopar w formie wykonanej z masy klasycznej z bentonitem.

Z danych wynika, że warstwy masy z bentonitem oddalone od powierzchni odlewu na odległość ≥ 135 mm nie nagrzewają się powyżej 460°C . Jest to zakres poniżej temperatury dehydracji bentonitu. Jedyne warstwy masy rdzenia, w odległości ok. 75 mm od powierzchni wewnętrznej wlewnicy oraz masa w odległości ok. 70 mm od powierzchni zewnętrznej odlewu wlewnicy uzyskują temperaturę powyżej 600°C . Na podstawie tych badań ustalono, że po każdym cyklu wytwarzania 70÷80% masy będzie kierowane do odświeżenia dodatkiem piasku świeżego oraz bentonitu BENTOMAK.

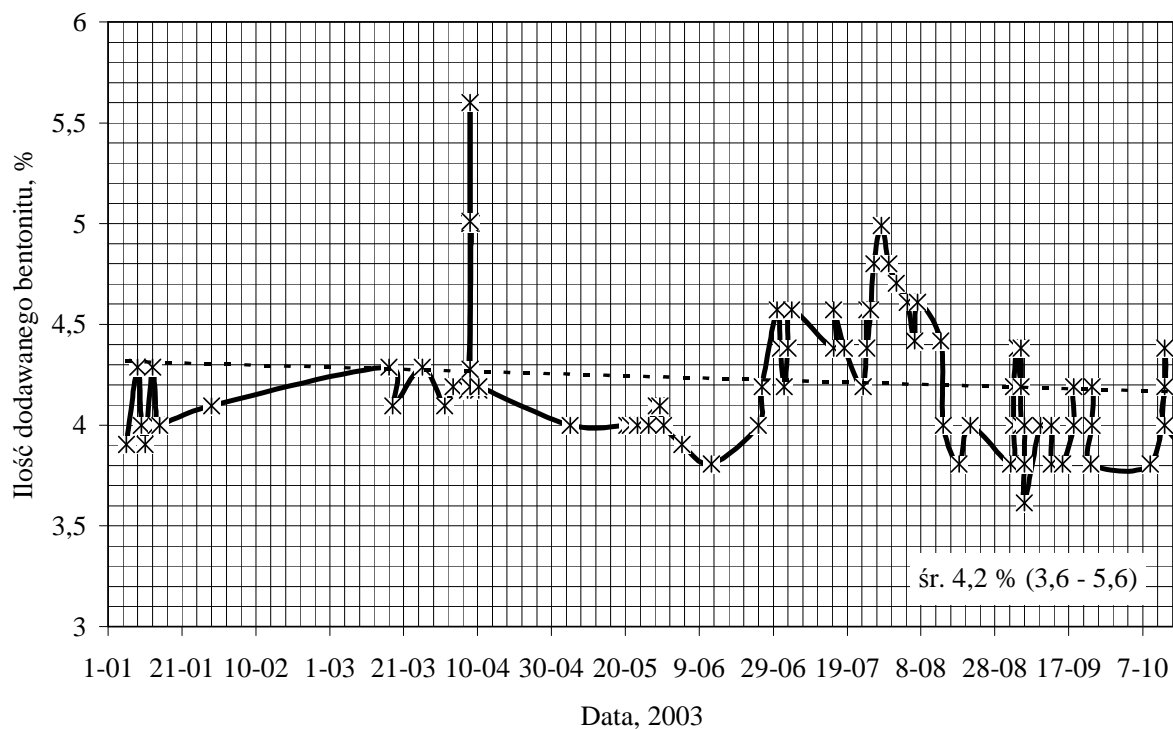


Rys.3. Rozkład temperatury masy w formie w funkcji czasu wytrzymania odlewu w formie.

Ilość dodawanego bentonitu i wilgotnego piasku kwarcowego przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

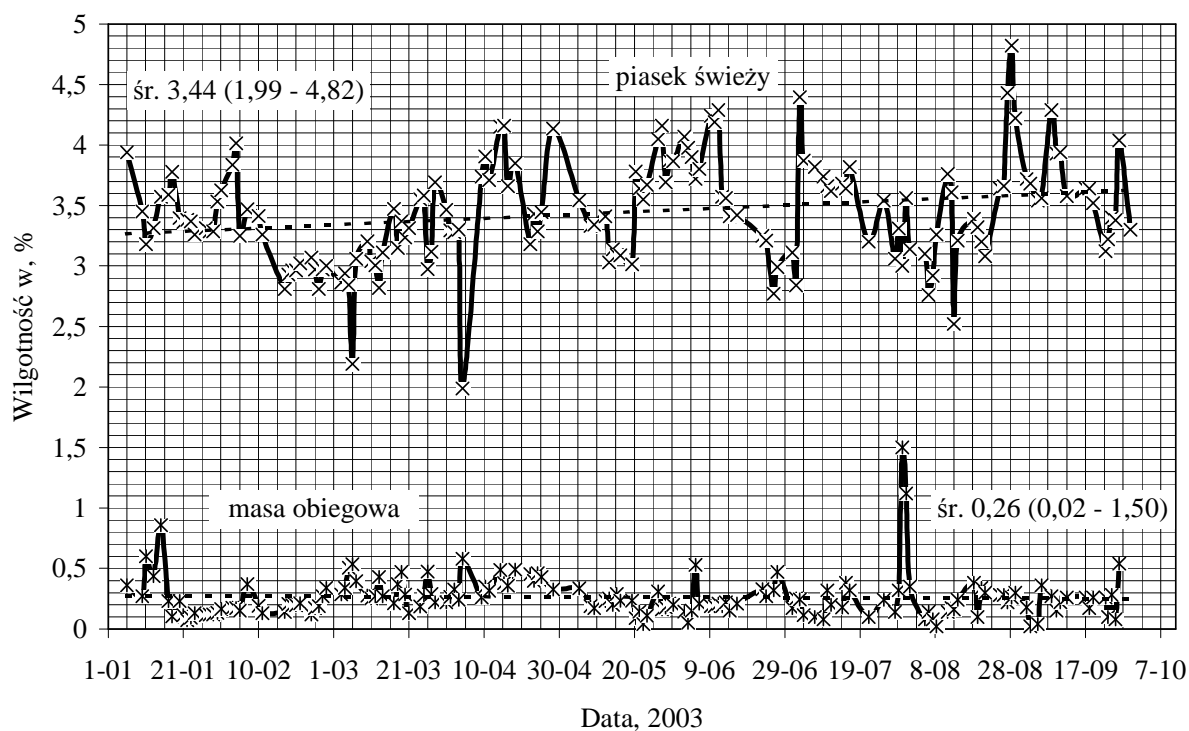


Rys.4. Ilość dodawanego piasku kwarcowego podczas odświeżania.



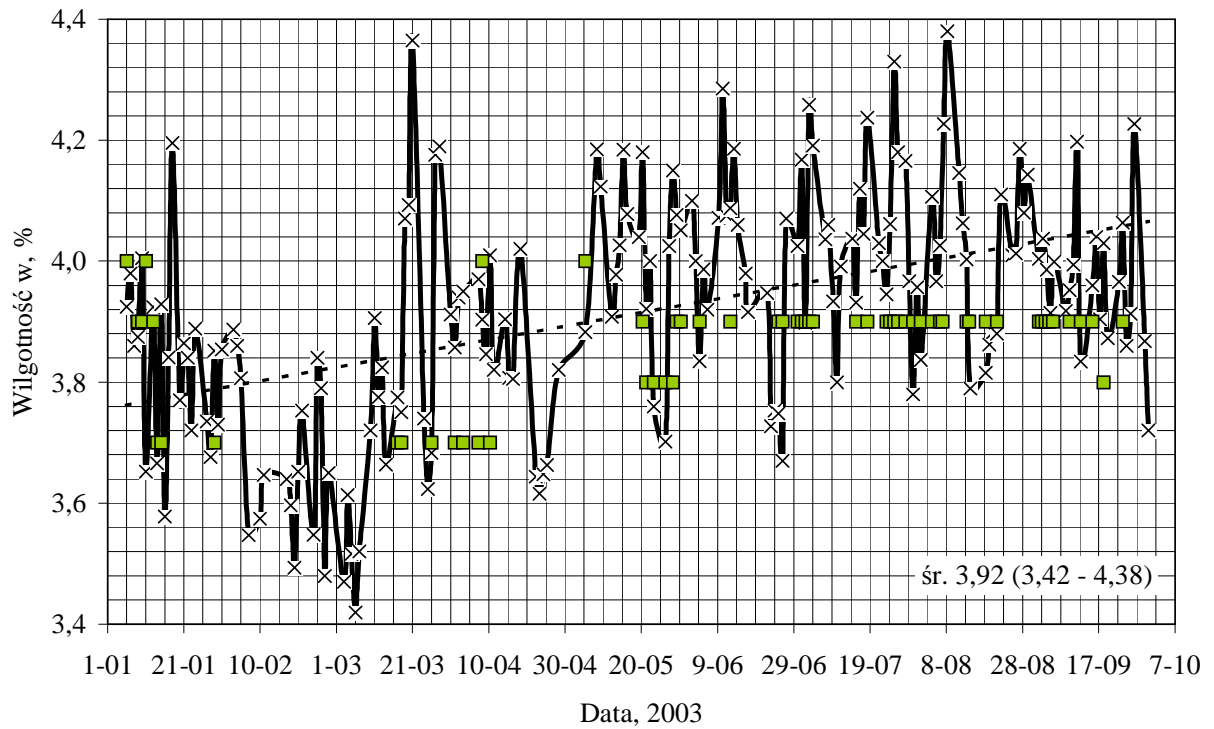
Rys.5. Ilość dodawanego materiału wiążącego podczas odświeżającego mieszania.

Ilość dodawanej wody podczas odświeżającego mieszania była wyznaczana na podstawie pomiaru średniej wilgotności i temperatury w podajniki masy zwrotnej i wilgotnego piasku świeżego. Wilgotność masy zwrotnej i piasku kwarcowego przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 6. Zmiany wilgotności masy zwrotnej oraz piasku odświeżającego.

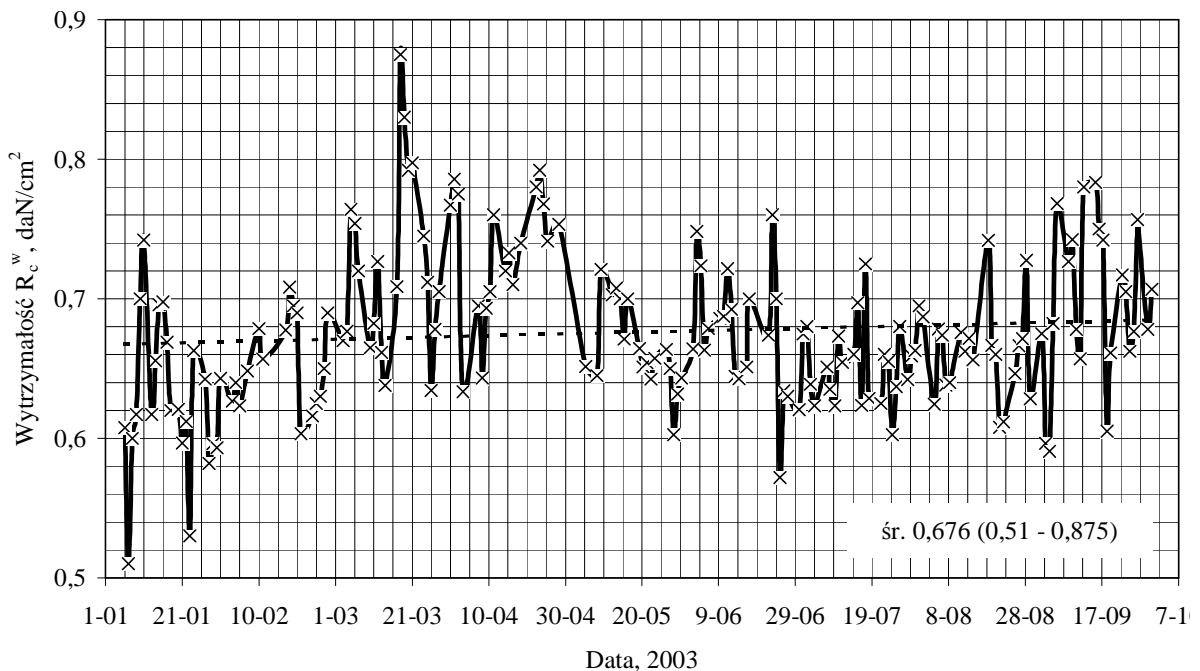
Wilgotność masy po odświeżającym mieszaniu przedstawiała się jak na rysunku 6; kwadratami oznaczono wartości zadane.



Rys.7. Zestawienie wartości wilgotności masy po odświeżającym mieszaniu.

3. Wyniki badań właściwości masy - wytrzymałości masy.

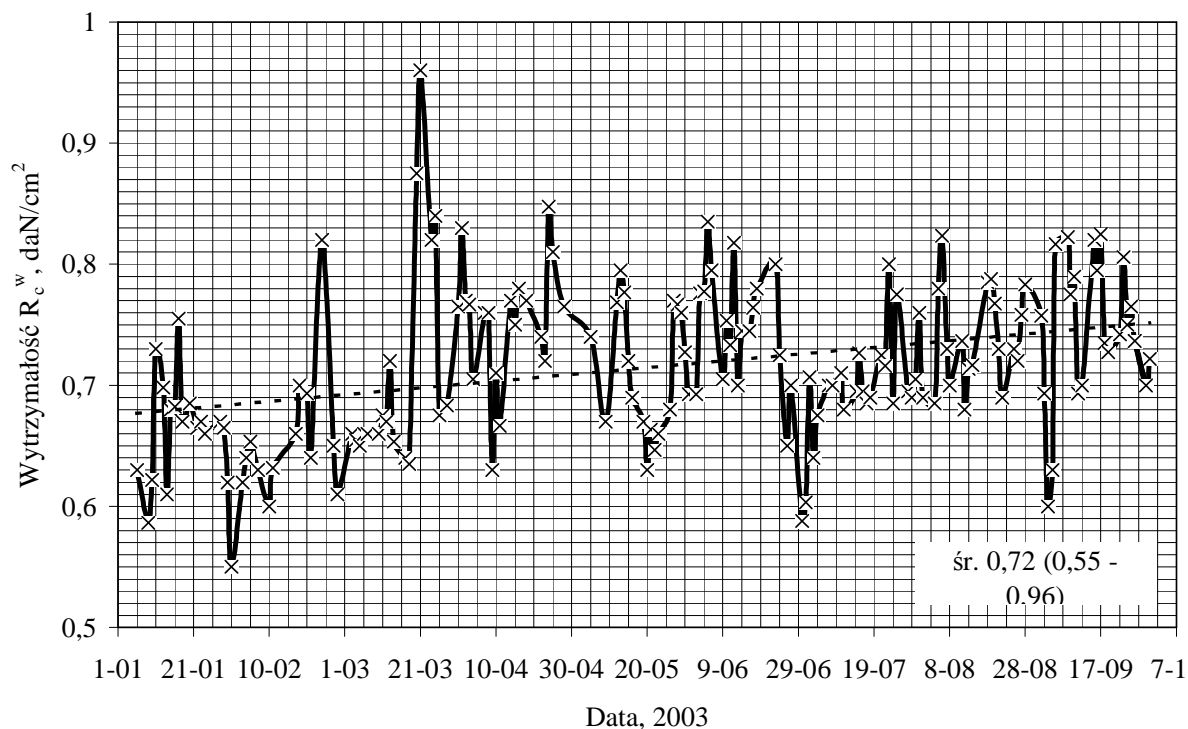
W czasie wprowadzania technologii masy syntetycznej z bentonitem prowadzono systematyczne badania jej właściwości, w tym wytrzymałości R_c^w . Kształtowanie się wytrzymałości masy, bezpośrednio po odświeżającym mieszaniu, przedstawiono na rysunku 7.



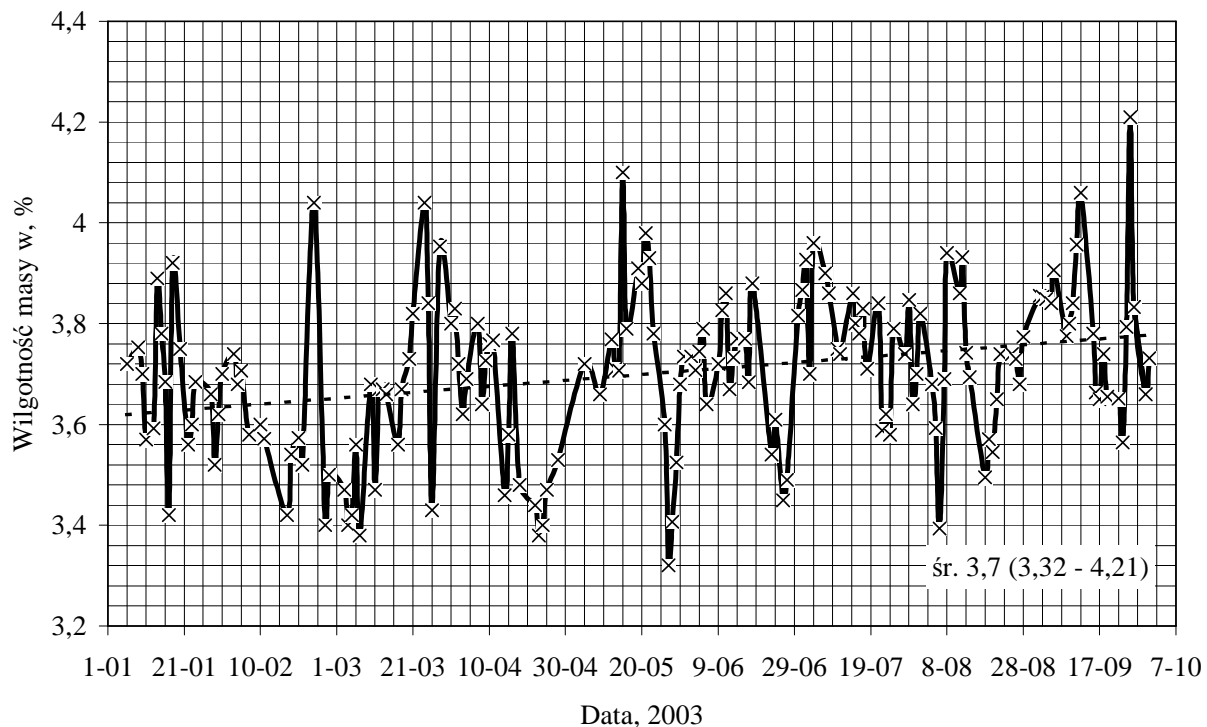
Rys.8. Zestawienie wartości wytrzymałości masy po odświeżającym mieszaniu.

Masa po odświeżeniu w mieszarce wirnikowej jest podawana do zasobników na stanowiskach formierskich, skąd jest pobierana do formowania. Masa w zasobnikach pozostaje przez pewien okres czasu, od godziny aż do kilkunastu godzin. Widoczne jest

przy tym wzrost wytrzymałości masy (rys.8), jak również zmiana wartości wilgotności (rys.9).



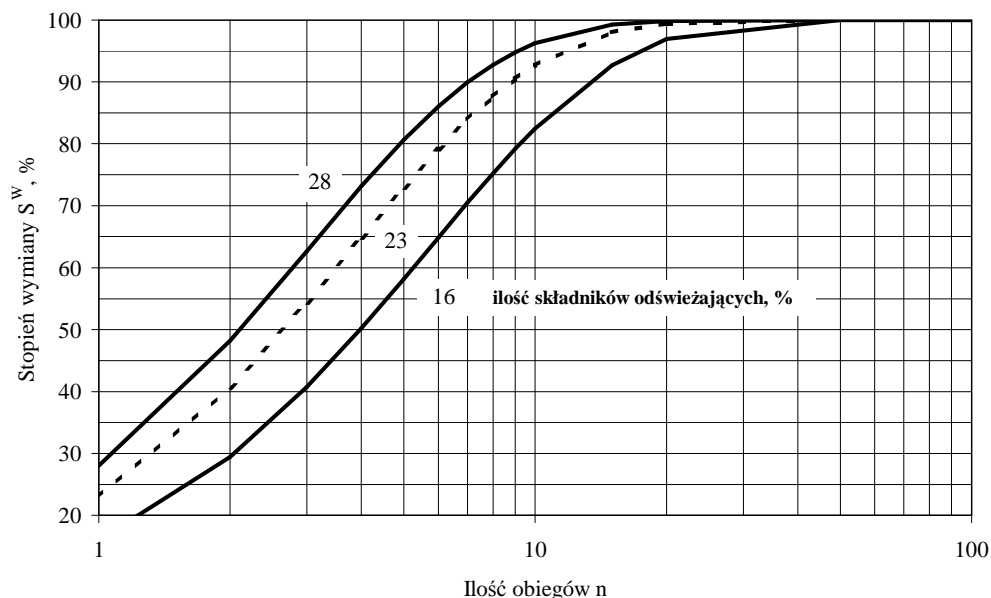
Rys.9. Zestawienie wartości wytrzymałości masy przytrzymywanej w zasobnikach na stanowiskach formierskich.



Rys.9. Zestawienie wartości wilgotności masy przytrzymywanej w zasobnikach na stanowiskach formierskich.

Wyniki przedstawionych zestawień potwierdzają korzystny wpływ odstawiania masy; najkorzystniejsze wyniki notowano po dłuższym niż zwykle czasie odstawiania.

Analizując wyniki wytrzymałości masy w zależności od ilości dodatków potwierdzono fakt, że oczekiwane efekty wzrostu właściwości nie uzyskuje się zaraz po zmianie stopnia odświeżania [4]. Na rysunku 10 zilustrowano fakt, że w miarę wzrostu ilości cykli (obiegów) można oczekiwać zmian właściwości masy. Przy ilości dodatków w zakresie 16÷28 % zadawalający stopień wymiany wynoszący 75 % uzyskuje się po 4÷8 cyklach obiegu masy.

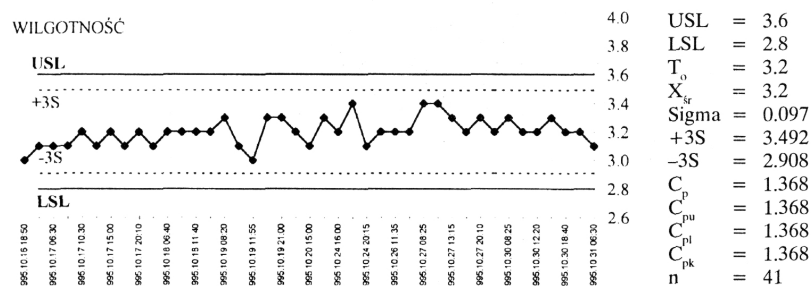


Rys.10. Wpływ ilości cykli odświeżania masy na stopień jej wymiany.

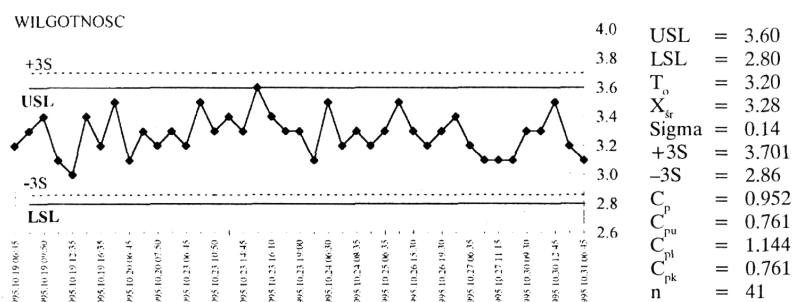
Wyniki badań prowadzonych systematycznie można wykorzystać do statystycznego sterowania procesem w ramach statystycznego sterowania jakością [1,5,7]. W tym celu stosuje się karty kontrolne do analizy stabilności procesu. Analiza danych pozwala na uzyskiwanie sygnałów alarmowych dwojakiego rodzaju; generowanie po przekroczeniu granic kontrolnych: zewnętrznych – odpowiadającym w przybliżeniu granicom zewnętrznym kart Shewharta oraz wewnętrznych – ustalonych pomiędzy granicami zewnętrznymi a linia centralną [7].

Karty z zewnętrznymi granicami kontrolnymi określają przesunięcie wartości średniej procesu większe niż $3\sigma/n$, gdzie σ – odchylenie standardowe kontrolowanej charakterystyki, a n licznosc badanej próby.

W aplikacji stworzonej i wykorzystywanej w jednej z Odlewni krajowych [1] dane dotyczące masy są wczytywane automatycznie (realizuje to odpowiednie makropolecenie) do odpowiedniego arkusza kalkulacyjnego, działającego w środowisku Windows. Podczas wczytywania danych następuje równocześnie ocena ich prawidłowości. Wartości analizowanych wielkości są wyświetlane na wykresach z zaznaczonymi zakresami tolerancji. Dla każdej z monitorowanych właściwości są wyznaczane i pokazywane podstawowe parametry statystyczne (wartość średnia, odchylenie standardowe, współczynnik przydatności itp.) oraz dolna i górna granica dopuszczalnych odchyleń (tolerancji). Przykładowe wydruki dotyczące wilgotności masy przedstawiono na rysunku 11.



Przykładowy wydruk karty kontrolnej dla wilgotności masy

Wpływ zwiększenia rozrzutu wyników na wartość C_{pk}

Rys.11. Przykładowe opracowania wyników pomiaru właściwości masy formierskiej [1].

W kartach kontrolnych są podane wartości takich wielkości jak: USL, LSL – odpowiednio górna i dolna granica tolerancji, T_0 – środek zakresu tolerancji, X_{sr} – wartość średnia kontrolowanego parametru wyznaczona z wszystkich pomiarów, Sigma – wartość odchylenia standardowego, +3S, -3S – odpowiednio górna i dolna granica ± 3 sigma, n – liczba danych.

Pozostałe wskaźniki określają ocenę przydatności masy:

$$C_p = \frac{(USL - LSL)}{6 \times \sigma}$$

$$C_{pU} = \frac{(USL - X_{\text{sr}})}{3 \times \sigma}$$

$$C_{pL} = \frac{(X_{\text{sr}} - LSL)}{3 \times \sigma}$$

Wykorzystując obliczone wartości podaje się wskaźnik krytycznej przydatności procesu: $C_{pk} = \min(C_{pL}; C_{pU})$. W omawianym okresie notowany zakres wartości współczynnika C_{pk} dla wilgotności wynosił 1 do 1,35. Uznano, że zakres ten zadawalający i świadczy o stabilnym prowadzeniu procesu [1]. Wraz z upływem czasu zaobserwowano stałe, stopniowe zwiększanie wartości współczynników C_p i C_{pk} dla wszystkich właściwości.

Przed wprowadzeniem oceny stabilności procesu sporządzania masy formierskiej za pomocą współczynnika C_{pk} za zadawalającą przyjmowano sytuację, gdy wszystkie wyniki mieściły się w granicach tolerancji. Postępowanie takie jednak jest niedokładne; mimo, że wyniki mieściły się w granicach tolerancji to współczynnik C_{pk} może nie przekraczać wartości 0,7, co jest nie do przyjęcia. Przykład ten zilustrowano przebiegiem na rysunku 11 (dolny wykres). Przebieg ten dotyczy symulowanego zwiększonego rozrzutu wyników i pewnego odchylenia średniej procesu od środka zakresu tolerancji.

Zamieszczone przykłady rozwiązań monitorowania właściwości masy są do zastosowania w warunkach każdej odlewni. Wyniki statystycznych analiz świadczą

również o tym, że dzięki szybko dostępnych informacji można na bieżąco obiektywnie analizować wyniki pracy linii i prawidłowo korygować warunki celem stabilizacji procesu.

4. Podsumowanie.

Zakres odświeżania masy zależy od wartości temperatury warstw masy w formie. Rzeczywisty stopień nagrzewania się masy ustalić można na podstawie zmian temperatury formy przy zalewaniu.

Określenie ilości dodatków odświeżających wymaga prowadzenia analizy bilansowej strumieni masy oraz kontroli kształtowania się wilgotności i właściwości masy

Monitorowanie procesu odświeżania, prowadzonego w ramach sporządzania w mieszarce, obejmuje poza diagnostyką także nadzór. Nadzór to nie tylko zapobieganie sytuacjom awaryjnym lub łagodzenie skutków awarii, ale również optymalizacja zmierzająca do uzyskania najkorzystniejszego rezultatu, np. największej wartości wskaźnika jakości oraz oceny stabilności w ramach systemu zapewnienia jakości..

Systematyczne badania laboratoryjne mas poza stwierdzeniem zakresu rozrzutu właściwości dają możliwość wykorzystania przy sterowaniu pracą urządzeń linii przerobu.

Narzędzia statystycznego sterowania procesem rozszerzają możliwości efektywnego sterowania jakością. Narzędzia te to odpowiednie kart kontrolne z zewnętrznymi i wewnętrznymi granicami kontrolnymi.

Opracowano w ramach projektów celowych KBN nr 6 T08 137 2002 C/5600 oraz 10 T 08 011 2000/5214.

5. Literatura.

- [1] Burian A., Myrdzik J.: Ocena stabilności procesu sporządzania mas formierskich w Odlewni URSUS w Lublinie. Przegląd Odlewnictwa 12, 1996, s. 353
- [2] Dańko J. i in.: Wdrożenie nowej konstrukcji i technologii form z mas samoutwardzalnych oraz mas bentonitowych w produkcji odlewów masywnych z żeliwa”. Projekt celowy KBN nr 7 T08B 237 2000C/4891
- [3] Dańko J., Fedoryszyn A., Olkusi B.: Modernizacja stacji sporządzania masy formierskiej przeznaczonej do wytwarzania masywnych odlewów w warunkach KRAKODLEW S.A. Materiały XXVI Konferencji Naukowej z okazji Święta Odlewnika 2002, 22. 11. 2002, WO AGH Kraków, s. 45 - 51
- [4] 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
- [5] Hrynkiewicz O.: Nowe narzędzia statystycznego sterowania procesem (SPC) w Polskich Normach. Normalizacja 12, 2002, s.9
- [6] Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wyd. Akapit. Kraków, 1997
- [7] Normy Pr PN-ISO 7870 Karty kontrolne – wprowadzenie i ogólny przewodnik; PN-ISO 7873: 2001 karty kontrolne wartości średniej z wewnętrznymi granicami kontrolnymi
- [8] Sztefko F.: Analiza procesów przygotowania formierskiej masy używanej w aspekcie ich mechanizacji. Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, nr 139, Kraków, 1991

CHARAKTERYSTYKA OBIEGU MASY FORMIERSKIEJ W ODLEWNI F.P.T. PRIMA WYPOSAŻONEJ W STACJĘ SPM – 15A

A. Jopkiewicz¹

J. Kępa², K. Brzęczek

¹Politechnika Łódzka – Zakład Odlewnictwa

²FPT PRIMA Łódź

1. Wstęp.

Odlewnia w Fabryce Pierścieni Tłokowych „PRIMA S.A.” wytwarza głównie odlewy na pierścienie tłokowe do silników spalinowych Diesla i z zapłonem iskrowym, amortyzatorów, sprzężarek i urządzeń hydraulicznych.

Są stosowane dwie podstawowe metody odlewnicze produkcji odlewów na pierścienie:

- technologia odlewu indywidualnego,
- technologia odlewu tulejowego.

Wiodącą technologią jest technologia indywidualnego odlewu, która polega na wykonaniu pojedynczych form i złożeniu ich w stosy. Zalewanie żeliwa do form odbywa się poprzez wspólny wlew główny. Formy są wykonywane z masy bentonitowej na wilgotno.

Jakość masy w zakresie stabilizacji składu, wilgotności jak też dokładnego wymieszania ma decydujący wpływ na wadliwość odlewów.

Nadmierna wadliwość odlewów pierścieniowych wpływa w istotny sposób na koszty wytwarzania pierścieni tłokowych. W celu poprawy jakości i obniżenia kosztów produkcji pierścieni F.P.T. PRIMA w zakresie wytwarzania odlewów zaplanowała następujące inwestycje rozwojowe:

- zmodernizowanie stacji przerobu masy,
- zainstalowanie automatycznej linii formierskiej o wydajności 540 form/h.

Zmodernizowanie stacji przerobu masy powierzono firmie TECHNICAL – Nowa Sól. Zadanie to zostało wykonane „pod klucz” w 2000 roku i w znaczącym stopniu przyczyniło się do podniesienia jakości i konkurencyjności pierścieni tłokowych.

Na przykładzie stacji SPM-15A eksploatowanej w okresie trzech lat w warunkach produkcyjnych Odlewni w artykule przedstawiono, zmienność właściwości masy obiegowej w czasie oraz analizę zmienności parametrów masy świeżej w wybranych miejscach stacji SPM-15A. Ponadto w artykule zaprezentowano model matematyczny obiegu masy formierskiej.

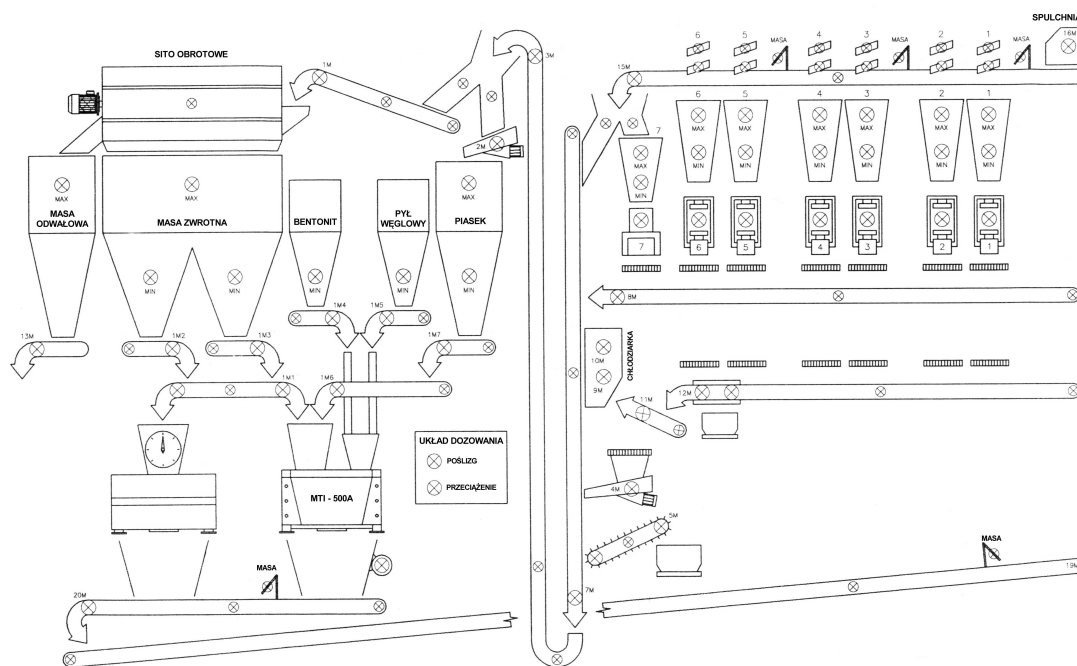
2. Opis techniczny zmodernizowanej stacji przerobu mas SPM-15A.

I. Urządzenia stacji przerobu mas SPM -15A.

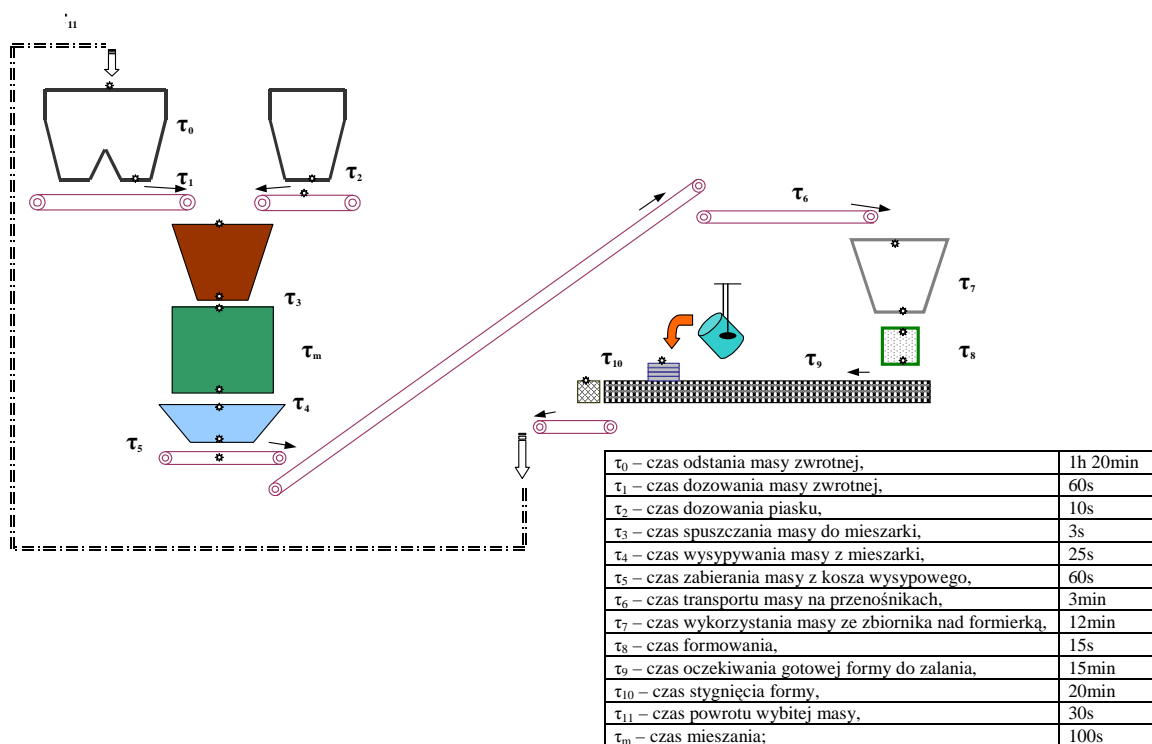
Schemat zmodernizowanej stacji przerobu mas SPM - 15A przedstawiono na rys.1.

¹ Prof PŁ dr hab. inż. ajopkiewicz@p.lodz.pl

² mgr inż. jan.kepa@fpt-prima.com.pl



Rys. 1. Zmodernizowana stacja przerobu mas SPM – 15A.



Rys. 2. Schemat obiegu masy w czasie

W skład stacji przerobu masy wchodzi następujące podstawowe urządzenia i zespoły:

- Mieszarka MTI – 500A z układem ważącym oraz układem do pomiaru i regulacji wilgotności masy,
- Zasobniki na masę zwrotną, piasek świeży, bentonit, pył grafitowy i odsewki,
- Dozowniki śrubowe taśmowe,
- Sito obrotowe,

- Elewator z kierownicą
- Zespół taśmociągów masy zwrotnej i świeżej,
- Taśmociąg dystrybucyjny z zestawem zgarniaczy,
- Spulchniarka wirnikowa
- Schładzarka.

II. Opis cyklu technologicznego SPM -15A.

Transport masy zwrotnej.

Masa formierska wybita z form na kratkach wstrząsowych przesypuje się na przenośnik taśmowy (12M). Bęben napędowy przenośnika taśmowego (12M) stanowi bęben elektromagnetyczny za pomocą którego następuje oddzielenie od masy części metalowych. Masa formierska po schłodzeniu w schładzarce fluidyzacyjnej typu HM – 20 kierowana jest na przenośnik taśmowy (7M), dalej do elewatora i przenośnikiem taśmowym (1M) do przesiewacza obrotowego (SM) typu POS-40. Na przenośnik taśmowy (7M) podawana jest również masa przesypana ze stanowisk formierskich zbiorczym przenośnikiem taśmowym (8M).

Na przenośniku taśmowym (7M) zamontowany jest drugi oddzielnik elektromagnetyczny z taśmą odprowadzającą oddzielone części ferromagnetyczne do pojemnika. Przesiana masa w przesiewaczu obrotowym (SM) przesypuje się do zbiorników masy zwrotnej a odsiewki do zbiornika z podwieszonym pod nim przenośnikiem taśmowym (13M), którym okresowo są wyprowadzane na zewnątrz hali.

Dozowanie składników do mieszarki.

Świeża masa formierska wykonywana jest w mieszarce turbinowej MTI 500A, która wyposażona jest w dwie elektroniczne wagi dozujące EWD -500 – dla masy zwrotnej i piasku oraz EWD-50 – dla bentonitu i pyłu grafitowego. Masa zwrotna do pojemnika wagi podawana jest za pomocą dozowników taśmowych (1M2 i 1M3) podwieszonych pod zbiornikami masy, pracujących naprzemiennie oraz przenośnika taśmowego rewersyjnego (1M1) podającego masę do mieszarki MTI – 500A lub mieszarki MK-060.

Wilgotny piasek świeży podawany jest za pomocą dozownika taśmowego (1M7) zamykającego zbiornik piasku oraz przenośnika taśmowego (1M6).

Podawanie dodatków tj. pyłu grafitowego i bentonitu do zbiornika wagowego EWD-50 odbywa się za pomocą dozowników śrubowych (1M4) i 1M5). Wszystkie składniki masy tj. masa obiegowa, piasek świeży, bentonit, pył grafitowy magazynowane są w odpowiednich zbiornikach wyposażonych w sygnalizatory poziomu dolnego i górnego.

Podawanie pyłu grafitowego i bentonitu do zbiorników odbywa się w zbiornikach samorozładowczych lub w big-bagach z rękawem za pomocą elektrowciągu. Dozowanie sulfapolu E-20 odbywa się bezpośrednio z beczki do komory roboczej mieszarki za pomocą pompy dozującej typu YD-RS.

Transport masy świeżej.

Wymieszana w mieszarce turbinowej masa formierska wysypuje się do kosza wysypowego pod mieszarkę, skąd przenośnikami taśmowymi (20M, 19M, 18M) doprowadzana jest do przenośnika taśmowego (15M) nad stanowiskami formierskimi. Na przenośniku taśmowym (15M) ustawionych jest szereg zgarniaczy pneumatycznych odpowiednio kierujących masę do zbiorników buforowych masy.

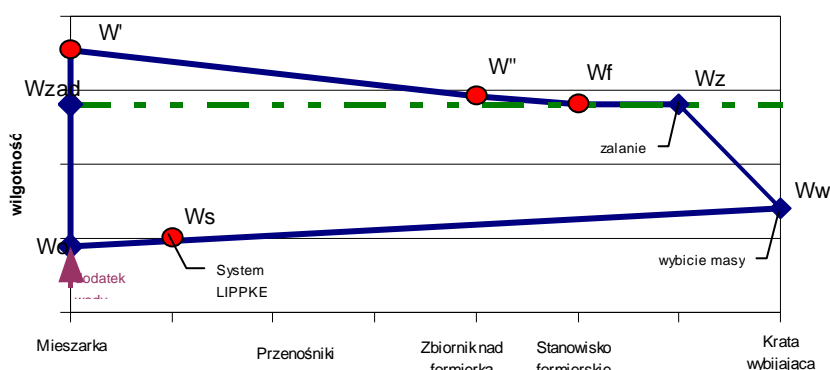
Wszystkie zbiorniki masy świeżej nad stanowiskami formierskimi wyposażone są w sygnalizatory poziomu masy. Sygnały od sygnalizatorów w sposób automatyczny wg. przyjętego algorytmu sterują pracą zgarniaczy pneumatycznych.

Czasy przebywania masy w poszczególnych obszarach stacji zestawiono na rys. 2.

Pomiar i regulacja wilgotności masy formierskiej.

Pomiar regulacja wilgotności masy odbywa się przy pomocy automatycznego układu kontroli i regulacji wilgotności FSE-19 uc firmy FOUNDRY CONTROL (Lipke). System umożliwia regulację wilgotności masy formierskiej z dokładnością $\pm 0,1 \text{ H}_2\text{O}$ od zawartości dodanej.

Rozkład wilgotności wzdłuż drogi masy przedstawiono na rys. 3.



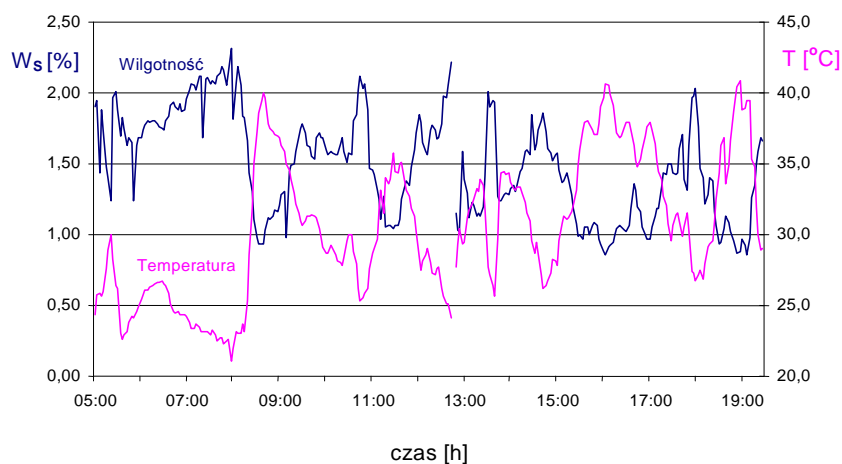
Rys. 3. Rozkład wilgotności masy w odlewni.

Odpylanie stacji.

Wszystkie punkty pyłogenne stacji przerobu mas podłączone są do instalacji odpylającej. Zapyłone powietrze odciągane jest rurociągami przy pomocy wentylatora do odpylacza przewiewowego mokrego, gdzie następuje jego oczyszczenie, a następnie odprowadzane przez komin wyrzutowy do atmosfery.

3. Zmienność parametrów masy obiegowej w czasie.

Produkcja odlewów realizowana jest systemie dwuzmianowym, co sprawia, że parametry masy obiegowej dostarczanej do mieszarki nie są stabilne. Temperatura masy waha się w granicach $20 - 42^\circ\text{C}$ a zawartość wilgoci w granicach $0,8 - 2,3\%$. Rozkład wilgotności i temperatury masy obiegowej w czasie obu zmian produkcyjnych przedstawia rys.4.



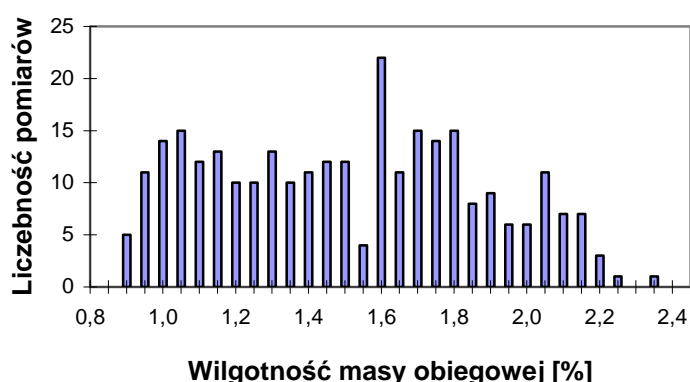
Rys. 4. Rozkład wilgotności (W_s) i temperatury masy (T) obiegowej w czasie obu zmian.

Powodem dość znacznych wahań parametrów masy obiegowej jest :

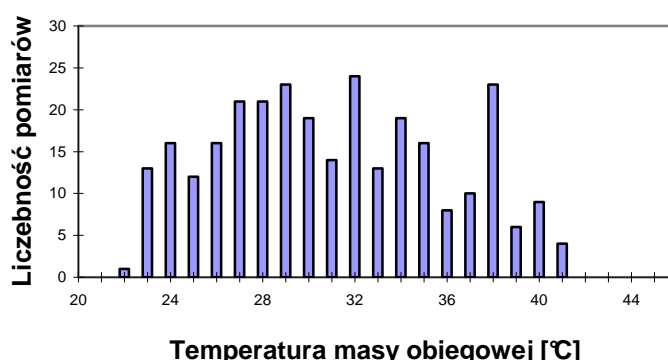
- nocna przerwa między zmianami co powoduje wychłodzenie masy w zalanych formach.
- udział masy w zalanych formach stanowiący ok. 70% całkowitej masy w obiegu,
- niedostateczna wydajność schładzarki, zdolność schładzania masy wynosi ok. 15°C ,
- jednoczesne wybijanie zalanych form na wszystkich stanowiskach,
- krótki tor zalewani,
- brak tunelu schładzającego.

Liczebność porcji masy o różnej zawartości wilgoci i różnej temperaturze w okresie dwóch zmian przedstawiają histogramy rys.5. i rys. 6.

Histogramy zostały zbudowane z danych przetworzonych statystycznie. Z analizy histogramów wynika, że proces przygotowania masy obiegowej do operacji mieszania nie jest stabilny.



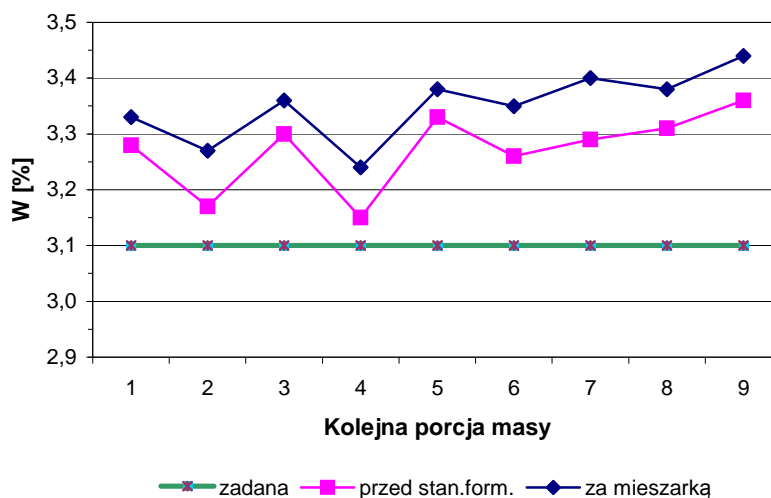
Rys. 5. Histogram liczebności pomiarów wilgotności.



Rys. 6. Histogram liczebności pomiarów temperatury masy obiegowej.

4. Analiza zmienności masy w wybranych miejscach stacji SPM - 15A.

Do stwierdzenia jak wpływają parametry masy obiegowej na parametry masy świeżej na drodze od mieszarki do stanowiska formierskiego dokonano serii badań kolejnych porcji masy. Przeprowadzono pomiary wilgotności, wytrzymałości i zagęszczalności w miejscach za mieszarką i przed stanowiskiem formierskim. Wyniki badań przedstawiono na wykresach – rys.7, rys. 8, rys. 9.

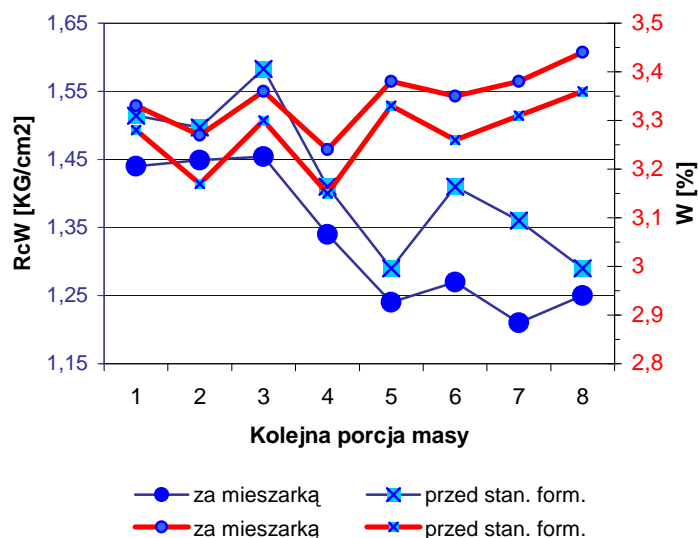


Rys.7. Wilgotność kolejnych porcji masy.

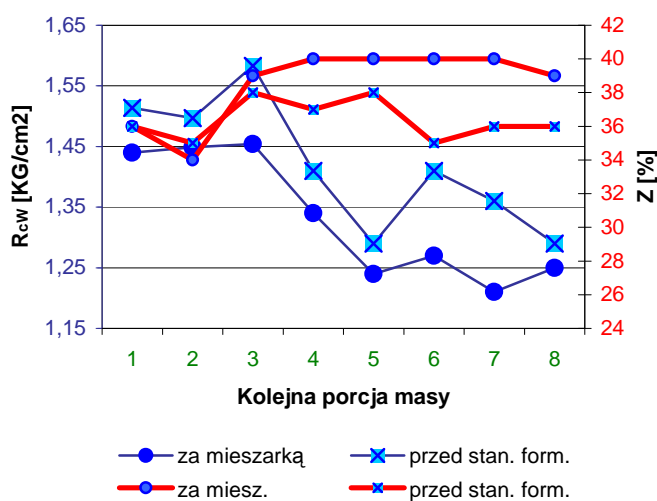
Z wykresu przedstawionym na rys.4 widać wyraźnie, że wilgotność masy za mieszarką jest większa niż przed stanowiskiem formierskim, co oczywiście było do przewidzenia. Istotną informacją wynikającą z wykresu jest stabilność strat wilgoci podczas operacji transportu masy z mieszarki do stanowiska formierskiego, która wynosi ok. 0.07%.

Maksymalny rozrzut wilgotności wynosi 0,2% zarówno dla masy badanej za mieszarką jak i przed stanowiskiem formierskim. Wynik ten należy uznać za zadawalający zwłaszcza w zderzeniu z niestabilnymi parametrami masy obiegowej w zbiorniku wagowym mieszarki.

Wilgotność masy za mieszarką w stosunku do poziomu wilgotności zadanej w systemie LIPPKE jest nieco za wysoka, co świadczy, że krzywa kalibracyjna w systemie jest „przewilżona”. Należałoby dokonać przesunięcia krzywej o odpowiednią wartość.



Rys.8. Wykres wytrzymałości i wilgotności kolejnych porcji masy.



Rys. 9. Wykres wytrzymałości i zagęszczalności kolejnych porcji masy.

Zbiorcze zestawienie wyników wytrzymałości, wilgotności i zagęszczalności przedstawiono na wykresach rys.8 i rys.9. Analiza wyników pozwala uchwycić następującą zależność: masa po wyjściu z mieszarki jest mniej wytrzymała i lepiej zagęszczona. Natomiast przed stanowiskiem formierskim jest na odwrót, wytrzymałość masy rośnie a zagęszczalność maleje. Taki stan rzeczy spowodowany jest odparowaniem wody z masy na przenośnikach i przesypach.

Maksymalny rozrzut własności masy przed stanowiskiem formierskim przedstawia się następująco: wytrzymałość $R_{cw} - 0,15 \text{ KG/cm}$, zagęszczalność $Z - 3\%$. Rozrzuty podstawowych parametrów masy przed stanowiskiem formierskim świadczą, że proces przygotowania masy formierskiej świeżej na zmodernizowanej stacji SPM – 15A jest w miarę stabilny. Stabilność procesu można by podnieść poprzez zastosowanie sterowania ze sprzężeniem zwrotnym. Rozwiązanie takie oferuje kilka firm zachodnich. Również na Politechnice Łódzkiej w latach 90÷96 prowadzone były prace nad stworzeniem takiego systemu sterowania. Podstawą systemu jest model matematyczny obiegu masy formierskiej przedstawiony w następnym punkcie.

5. Model matematyczny obiegu masy formierskiej.

Opracowany w Zakładzie Odlewnictwa PŁ model matematyczny [2] obiegu masy formierskiej umożliwia symulowanie procesu obiegu masy formierskiej w zakresie zmian parametrów obejmujących pełny program produkcji typowej odlewni przemysłu maszynowego, wyposażonej w automatyczne linie formujące.

Kolejne operacje technologiczne w opracowanym modelu matematycznym określone są przez odpowiedni zespół danych.

Analiza symulowanych obiegów umożliwia:

- ocenę składu masy formierskiej w każdej operacji,
- ustalenie zużycia oraz wyznaczenie dodatku odświeżającego w zależności od zmiennych parametrów procesu technologicznego,
- optymalizację obiegu poprzez wychwycenie jego słabych punktów.

Przy opracowywaniu modelu matematycznego obiegu technologicznego masy formierskiej przyjęto następujące założenia:

1. Istnieje możliwość dokładnego określenia granic własności technologicznych masy formierskiej zapewniających uzyskanie dobrego odlewu.

2. Istnieje możliwość dokładnego określenia granic składu masy formierskiej zapewniających uzyskanie wymaganych jej parametrów.
3. Istnieje możliwość takiego skorygowania składu masy formierskiej w operacji mieszania, aby na stanowisku zalewania wystarczająco dokładnie spełniał dwa pierwsze założenia.

Ponadto założono, że winien to być szczególny model stanu ustalonego procesu, pozwalający śledzić przemiany pojedynczej porcji masy formierskiej, zachodzące w każdej z wyodrębnionych operacji.

Poszczególne wielkości charakteryzujące procesy opisane są wektorami.

Na przykład wielkością charakteryzującą skład porcji masy formierskiej jest wektor:

$$\mathbb{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{pmatrix}$$

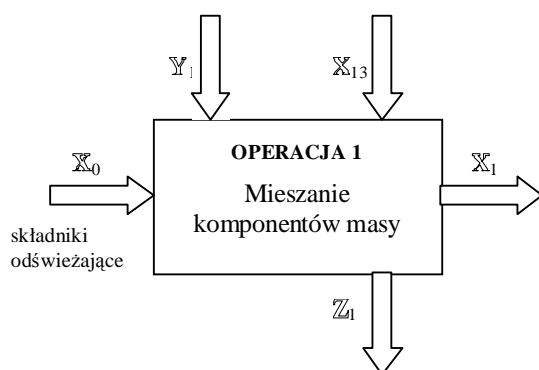
gdzie:

- X_1 - zawartość piasku w jednostce wagowej masy,
- X_2 - zawartość lepiszcza w jednostce wagowej masy,
- X_3 - zawartość pyłu węglowego w jednostce wagowej masy,
- X_4 - zawartość frakcji zużytej w jednostce wagowej masy,
- X_5 - zawartość wody w jednostce wagowej masy,
- X_6 - zawartość ciepła w jednostce wagowej masy.

Przykład zapisu matematycznego dla operacji mieszania masy jest następujący:

Zakładamy, że mieszarka zasilana jest masą obiegową \mathbb{X}_{12} , dostarczaną taśmociągami ze zbiornika masy obiegowej oraz składnikami odświeżającymi \mathbb{X}_0 w postaci piasku, lepiszcza, pyłu węglowego i wody (rys. 10.)

Po wymieszaniu wszystkich komponentów następuje wydanie z mieszarki przygotowanej masy \mathbb{X}_1 i przemieszczenie jej taśmociągami do zasobnika.



Rys. 10. Schemat zasilania i odbioru masy dla operacji mieszania.

Założono, że w trakcie mieszania oprócz ujednorodnienia mieszaniny ma miejsce akumulowanie w niej ciepła \mathbb{Y}_1 na skutek tarcia. Przyjęto, że wartość tego ciepła jest proporcjonalna do czasu mieszania. Ponadto zakłada się, że część \mathbb{Z}_1 mieszaniny ulega rozsypaniu przy wydawaniu masy z mieszarki. Jeśli w chwili t_1 mieszarka zostanie uruchomiona i załadowana masą obiegową \mathbb{X}_{13} oraz składnikami odświeżającymi \mathbb{X}_0 , to po czasie mieszania τ_1 wyda ona na taśmociąg masę o składzie określonym wektorem:

$$\mathbb{X}_1(t_1 + \tau_1) = a_1[\mathbb{X}_{13}(t_1) + \mathbb{X}_0(t_1) + \mathbb{Y}_1(t_1)]$$

przy czym: $\mathbb{Y}_1 = \tau_1 \mathbb{Y}_1^*$

gdzie:

t_1 - chwila uruchomienia i załadowania mieszarki,

τ_1 - czas operacji mieszania komponentów,

\mathbb{X}_1 - wektor charakteryzujący skład porcji masy wydanej z mieszarki na taśmociąg,

\mathbb{X}_{13} - wektor charakteryzujący skład masy obiegowej załadowanej do mieszarki,

\mathbb{X}_0 - wektor charakteryzujący dodatek składników odświeżających,

\mathbb{Y}_1^* - wektor określający ilość ciepła akumulowanego w masie podczas mieszania, odniesiony do jednostki czasu,

\mathbb{Y}_1 - wektor określający ilość ciepła akumulowaną w masie w czasie

$\tau_1 [\mathbb{Y}_i]_1 = 0$ dla $i = 1, 2, \dots, 5$,

($[\mathbb{Y}_6]_1$ - ilość ciepła akumulowanego w masie),

Obieg masy w odlewni w postaci schematu blokowego przedstawiono na rys.6. Kolejnymi blokami oznaczono poszczególne operacje procesu, zaś strzałkami kierunek przepływu masy. Strzałki oznaczone symbolem \mathbb{X} z indeksami 1÷13, reprezentujące wektor określający wagowe składniki masy formierskiej między każdą parą kolejnych operacji technologicznych, a także ilości dodatkowych składników odświeżających.

Symbolami \mathbb{Y} , \mathbb{Z} , \mathbb{R} , oznaczono:

\mathbb{Y} - wektor określający wagowe ilości wody i ciepła wymieniane między masą formierską i otoczeniem,

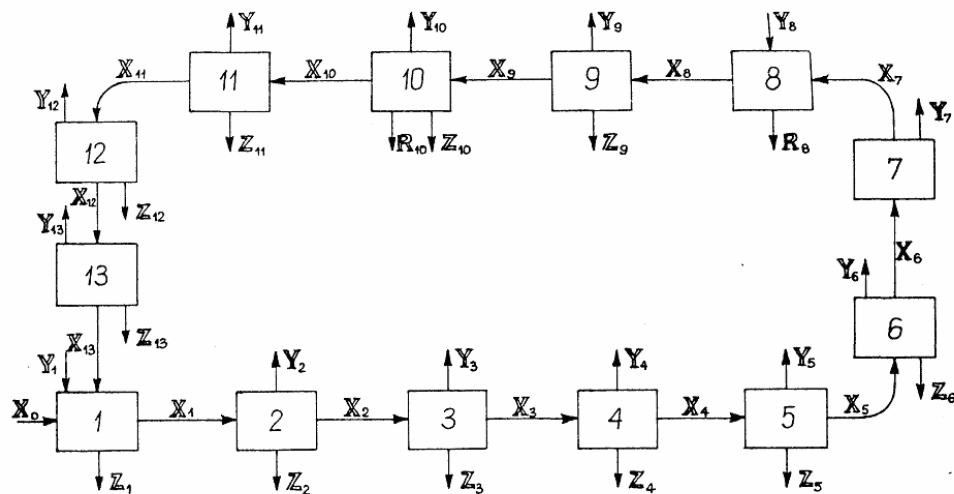
\mathbb{Z} - wektor określający wagowy skład masy rozsypywanej w trakcie poszczególnych operacji technologicznych,

\mathbb{R} - wektor określający wagowe ilości tych części składników masy, które były z niej w danej operacji na skutek zgazowania lub odpylania.

Poszczególne operacje oraz zestawy danych zawartych w schemacie modelu obiegu masy (rys.11.), przedstawiono w tabeli (tabl.1).

Tablica 1.

Zestawienie danych dla kolejnych operacji technologicznych obiegu masy formierskiej.



Nr operacji	Nazwa operacji technologicznej	Dane		
		wejściowe	określające proces	wyjściowe
1.	Mieszanie komponentów masy	X_{13}, X_0, Y_1^*	τ_1, a_1	X_1, Y_1, Z_1
2.	Przemieszczanie masy do zasobnika (odstojnika)	X_1	τ_2, T_2', T_2'', a_2	X_2, Y_2, Z_2
3.	Przechowywanie masy w zasobniku	X_2	τ_3, T_3'', a_3	X_3, Y_3, Z_3
4.	Przemieszczanie masy do zasobnika indywidualnego	X_3	τ_4, T_4', T_4'', a_4	X_4, Y_4, Z_4
5.	Przechowywanie masy w zasobniku indywidualnym	X_4	τ_5, T_5'', a_5	X_5, Y_5, Z_5
6.	Formowanie	X_5	τ_6, T_6', T_6'', a_6	X_6, Y_6, Z_6
7.	Przemieszczanie formy do stanowiska zalewania	X_6	τ_7, T_7', T_7''	X_7, Y_7
8.	Nagrzewanie masy od odlewu	X_7, Y_8^{**}, X^* ($X^* = X_7$)	$\tau_8, T_8'', A_{i,i}, B_{4i,i}, B_{i,i}$ (lub F_i, G_i)	X_8, Y_8, R_8
9.	Stygnięcie masy po wybicciu odlewu	X_8	τ_9, T_9', T_9'', a_9	X_9, Y_9, Z_9
10.	Odpylanie masy	X_9	$\tau_{10}, T_{10}', T_{10}'', a_{10}, D_{i,i}, D_{6,6}$	$X_{10}, Y_{10}, R_{10}, Z_{10}$
11.	Przemieszczanie masy do zasobnika masy obiegowej	X_{10}	$\tau_{11}, T_{11}', T_{11}'', a_{11}$	X_{11}, Y_{11}, Z_{11}
12.	Przechowywanie masy w zasobniku masy obiegowej	X_{11}	$\tau_{12}, T_{12}'', a_{12}$	X_{12}, Y_{12}, Z_{12}
13.	Przemieszczanie masy obiegowej do mieszarki	X_{12}	$\tau_{13}, T_{13}', T_{13}'', a_{13}$	$X_{13}, Y_{13}, Z_{13}, X_0$

Program komputerowy sporządzony na podstawie opracowanego modelu matematycznego obiegu masy formierskiej może służyć do sterowania obiegiem masy w rzeczywistych warunkach odlewni ze sprzężeniem zwrotnym. Wstępne symulacje komputerowe pozwalają sądzić, że model wykonano poprawnie.

W Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Łódzkiej prowadzone są obecnie dalsze prace nad symulacją obiegu masy formierskiej dla pełnego zakresu wielkości charakteryzujących proces.

6. Wnioski.

1. Zmodernizowana stacja SPM – 15A w warunkach produkcyjnych odlewni w F.P.T. „PRIMA” S.A. spełniła oczekiwania inwestora w zakresie stabilności podstawowych parametrów masy formierskiej.
2. System LIPPE kontrolno – pomiarowy regulacji wilgotności masy formierskiej gwarantuje utrzymanie zawartości wody w masie w polu tolerancji max.0,2%.

3. Jakość form uległa znacznej poprawie co spowodowało obniżenie wadliwości odlewów z poziomu 6,5% do 4,1%.
4. Dalsze zawężanie tolerancji wilgotności możliwe jest do osiągnięcia poprzez zastosowanie sterowania ze sprzężeniem zwrotnym.

7. Literatura.

- [1] K. Brzęczek – Badanie właściwości mas formierskich sporządzanych na stacji przerobu mas w odlewni PRIMA S.A. w Łodzi. Praca dyplomowa magisterska wykonana pod kierunkiem A. Jopkiewicza. Politechnika Łódzka 2003.
- [2] Cz. Żakowski, M. Pawlak, T. Łyszkowski – Optymalizacja odświeżania masy formierskiej z zastosowaniem techniki komputerowej. Prace Komisji Met-Odl, Metalurgia 41. PAN Kraków 1991.

8. Streszczenie

W artykule przedstawiono, na przykładzie stacji SPM – 15A eksploatowanej w PRIMA Łódź, zmienność właściwości masy formierskiej w czasie i przestrzeni. Wykazano celowość dalszego doskonalenia układów sterowania właściwościami masy i zaprezentowano model matematyczny obiegu masy jako podstawę takiego doskonalenia.

EFEKTYWNE ODPYLANIE ODLEWNI

Jacek CHOCHOWSKI¹

1. Wstęp.

Ochrona powietrza w UE ma znaczenie priorytetowe, tymczasem w Polsce problem ten niejednokrotnie był marginalizowany. Trudno szukać przyczyn takiego stanu rzeczy, jednak powinien to być czynnik determinujący dalsze aktywne działania i efekty osiągane w tej dziedzinie.

Największe wyzwania dla ochrony powietrza w Polsce związane są z obowiązkiem uzyskania przez przedsiębiorstwa zintegrowanych pozwoleń na korzystanie ze środowiska (określonych szczegółowo w tzw. Dyrektywie IPPC) oraz, co za tym idzie stosowania najlepszych dostępnych technik (BAT).

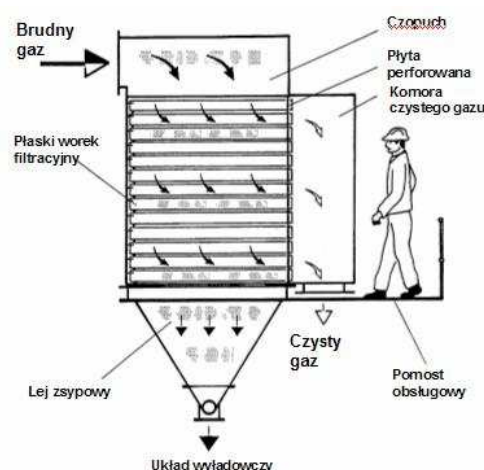
Powyższe zagadnienia dotyczą również branży odlewniczej, przed którą stoją wyzwania wdrożenia nowoczesnych technologii, pozwalających na spełnienie nowych, określonych przez normy wymagań.

2. Nowoczesne techniki ochrony powietrza.

Instalacje odpylające są niezbędne w wielu procesach występujących w odlewnictwie. Oczyszczaniu należy poddawać gazy pochodzące z różnego rodzaju maszyn, zaczynając od oczyszczarek i szlifierek poprzez przerobownie mas formierskich, a kończąc na piecach indukcyjnych, łukowo oporowych czy żeliwiakach. Z ogółu urządzeń odpylających dostępnych na polskim rynku na największą uwagę zasługują Modułowe Filtry Typu **FLAT-BAG** (oferowane przez firmę **ECO INSTAL**¹), które dają gwarancję sprostania wszelkim normom europejskim z zakresu ochrony powietrza (ograniczenie stężeń pyłów w gazach oczyszczonych nawet do $1\text{mg}/\text{m}^3$).

Ogromny postęp w zakresie produkcji włóknin odpornych na temperaturę i związki chemiczne spowodował, że filtry workowe stały się silną konkurencją dla innych urządzeń odpylających.

Filtry **FLAT-BAG** różnią się od innych spotykanych na rynku przede wszystkim ułożeniem worków filtracyjnych, które w przypadku tych urządzeń są montowane w poziomie (Rys. 1).



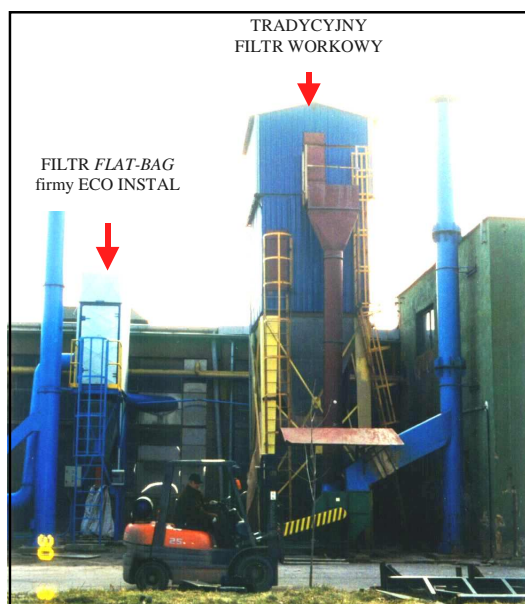
Rys. 1. Schemat filtra typu **FLAT-BAG** bez systemu regeneracji.

Poziome usytuowanie worków umożliwia przepływ gazów przez filtr od góry ku dołowi, co jest zgodne z kierunkiem opadania pyłów do zsypu. Dzięki temu unika się osadzania

¹ www.ecoinstal.pl

szczególnie najdrobniejszych i najlżejszych pyłów w górnej części komory filtracyjnej, co jest częstym zjawiskiem w przypadku filtrów z pionowym układem worków. Dzięki skutecznej regeneracji materiał filtracyjny jest wykorzystany równomiernie, opory przepływu gazów przez filtr są niskie, znacznie spada też zużycie sprężonego powietrza koniecznego do regeneracji włókniny.

Zastosowanie płaskich worków filtracyjnych pozwala na lepsze ich rozmieszczenie, co w efekcie powoduje, że na taki sam przepływ filtry firmy ECO INSTAL posiadają o ponad 50 % mniejsze gabaryty od innych filtrów spotykanych na rynku (Rys. 2).



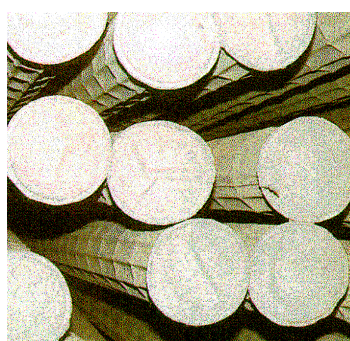
Rys. 2. Różnica w gabarytach urządzeń przy tych samych powierzchniach filtracyjnych.

Wszystkie worki filtracyjne są mocowane z dwóch stron, co powoduje, że nie ma możliwości przetarcia włókniny na skutek pocierania jednego worka o drugi (Rys. 3).

FILTR FLAT-BAG
firmy ECO INSTAL

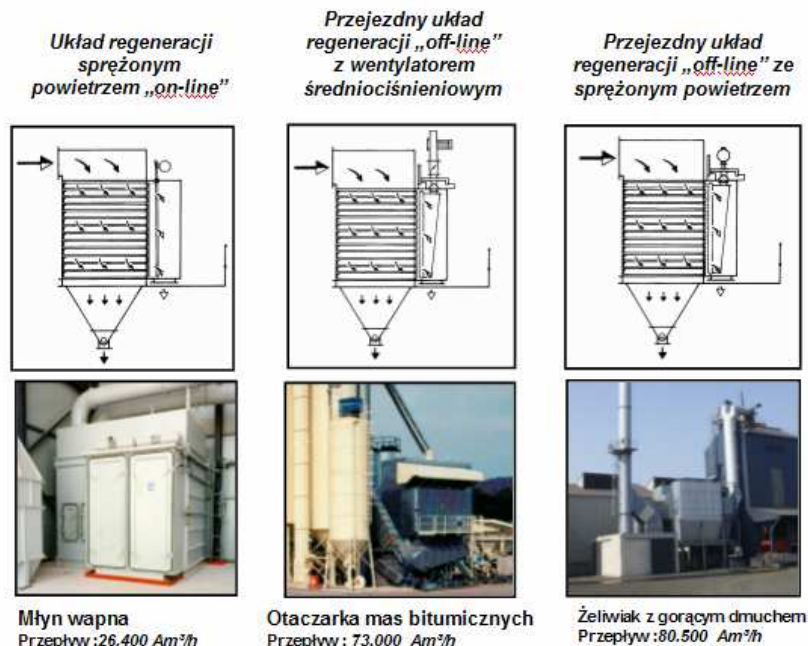


TRADYCYJNY FILTR WORKOWY



Rys. 3. Porównanie worków płaskich oferowanych przez ECO INSTAL z tradycyjnymi workami o przekroju cylindrycznym.

Różne metody regeneracji worków filtracyjnych, pozwalają dobrać najbardziej efektywne i ekonomiczne rozwiązanie dla różnego rodzaju pyłów. Wspomniane systemy zużywają stosunkowo niewiele sprężonego powietrza, zapewniając przy tym wysoko wydajny i łagodny proces regeneracji, a w konsekwencji wydłużoną żywotność worków filtracyjnych.



Rys. 4. Podstawowe systemy regeneracji worków filtracyjnych.

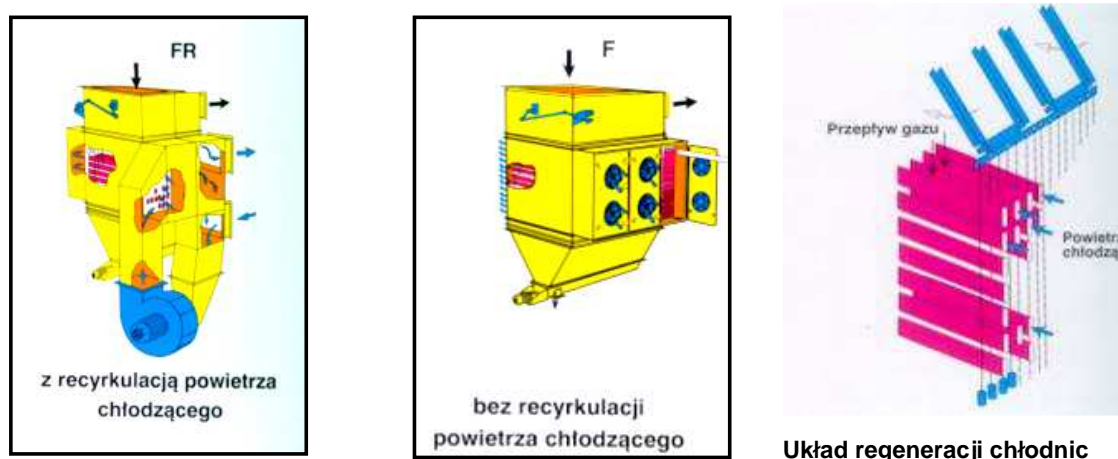
Wyróżnia się trzy podstawowe systemy regeneracji worków filtracyjnych (Rys. 4):

- Filtry o oznaczeniu **DF** – wyposażone są w system regeneracji za pomocą stacjonarnych kolektorów wstrzeliwujących sprężone powietrze do wnętrza worków poprzez rury przedmuchowe wyposażone w specjalne dysze podsysające czyste powietrze i tym samym wzmacniające efekt regeneracji.
- Filtry o symbolu **DWF** – wyposażone są w przejezdny wózek ze zbiornikiem sprężonego powietrza, który nadjeżdża na poszczególne trzy pionowe rzędy worków, za pomocą specjalnej poduszki powietrznej odcina dwa skrajne rzędy od przepływu powietrza filtrowanego a regeneruje środkowy z nich. Jest to układ off line, w którym na czas regeneracji odcinana jest od przepływu powietrza filtrowanego nie cała komora, a jedynie trzy rzędy worków, co oczywiście przekłada się na wielkość filtra (typowy filtr off line musi być większy dla danego przepływu o jedną komorę, która przez cały czas jest wyłączana na czas regeneracji) i jego koszt.
- Filtry o symbolu **MWF** – posiadają podobny do opisanego powyżej układ z tą różnicą, że zamiast zbiornika na przejezdny wózek zamontowany jest wentylator średnociśnieniowy. Jest to układ przeznaczony przede wszystkim dla firm, które nie posiadają sprężonego powietrza.

3. Urządzenia wspomagające procesy odpylania.

Chłodnice

Na bazie filtrów workowych typu **FLAT-BAG** firma **ECO INSTAL** produkuje również chłodnice rurowe. Ich budowa jest podobna do budowy filtrów z tą różnicą, że zamiast worków filtracyjnych również w poziomie montowane są rury wymiennikowe, do wnętrza których wtłaczane jest powietrze studzące gazy (Rys. 5).



Rys. 5. Schematy działania chłodnic produkowanych na bazie filtrów workowych typu **FLAT-BAG**.

Cechą charakterystyczną powyższych chłodnic jest układ oczyszczania powierzchni rur wymiennikowych z pyłów pozwalający na ciągłą pracę chłodnic bez konieczności zatrzymań instalacji na czyszczenie wymiennika. Dodatkowo układ regeneracji zapewnia stałą wydajność cieplną chłodnicy. W chwili obecnej oferowane są dwa typy chłodnic produkowanych przez firmę **ECO INSTAL**:

- chłodnice o symbolu F – posiadające nadmuch powietrza studzącego za pomocą wentylatorów osiowych
- chłodnice o symbolu FR – posiadające nadmuch powietrza studzącego poprzez wentylator promieniowy wraz z układem częściowego zawracania powietrza po przejściu przez rury wymiennikowe i mieszania go ze świeżym zimnym powietrzem. Ma to bardzo wielkie znaczenie w przypadku studzenia gazów agresywnych chemicznie bądź mających tendencje do zalepiania rur wykrystalizowanym w skutek kontaktu z zimną powierzchnią pyłem.

Wentylatory

Duże znaczenie dla poprawnego funkcjonowania instalacji odpylających ma stosowanie wysokiej jakości wentylatorów. Od ponad dwóch lat w instalacjach opartych na filtrach **FLAT-BAG** pracują wysokosprawne, produkowane przez **ECO INSTAL** wentylatory promieniowe. Wentylatory te są energooszczędne, niezawodne i bezpieczne dla środowiska. Wiedza i umiejętności polskiej firmy bazują na wieloletnim doświadczeniu niemieckiego partnera firmy Konrad Reitz Ventilatoren GmbH & Co. KG wiodącego producenta wentylatorów przemysłowych w Niemczech. Wentylatory te wykonywane są w różnych wariantach i w bardzo szerokim asortymencie. Istotną cechą tych urządzeń są bardzo niskie poziomy natężenia hałasu, co niejednokrotnie jest ważnym czynnikiem decydującym o możliwości ich zastosowania. Typy wentylatorów zostały przedstawione na rysunkach nr 6 i 7.



Rys. 6. Typy wentylatorów przemysłowych stosowanych w instalacjach odpylania bazujących na filtrach **FLAT-BAG**.



Rys. 7. Typy wentylatorów przemysłowych stosowanych w instalacjach odpylania bazujących na filtrach **FLAT-BAG**.

4. Przykłady wykonywanych instalacji.

Do ciekawszych zastosowań prezentowanych powyżej urządzeń do ochrony powietrza w branży odlewniczej, można zaliczyć między innymi wykonane przez **ECO INSTAL** instalacje odpylania stanowisk sferoidyzacji, w których odpylane są dymy tlenku magnezu, stanowiące jedną z najdrobniejszych frakcji pyłowych (Rys. 8).



Rys. 8. Instalacja odpylania stanowisk sferoidyzacji.

Wymagającymi dużej wiedzy i doświadczenia są również instalacje odpylająco-chłodzące gazy z żeliwiaków, w których mamy do czynienia z temperaturami rzędu 800 °C.



Rys. 9. Instalacja odpylająco-chłodząca gazy odlotowe z żeliwiaka.

ECO INSTAL wykonuje również instalacje odpylające, gdzie filtry typu **FLAT-BAG** są elementem linii technologicznych, czyli odpylany w nich pył jest produktem końcowym. Istotną w tego typu układach jest niezawodność filtrów, których praca limituje możliwość funkcjonowania całej linii. Do takich instalacji można zaliczyć między innymi instalacje produkcji bieli cynkowej czy cynku (Rys. 10).



Rys. 10. Instalacja odpylania pieca przewalowego do produkcji tlenku cynku.

5. Podsumowanie.

Niewątpliwie najważniejszym zadaniem na przyszłość będzie dostosowanie się polskiego przemysłu odlewniczego do restrykcyjnych norm ograniczających emisję substancji szkodliwych do powietrza. Wiąże się to z uzyskaniem pozwoleń zintegrowanych w oparciu o wykorzystanie najlepszych dostępnych technik (BAT).





Aby spełnić te wymagania konieczne jest korzystanie z rozwiązań technologicznych, które umożliwią bezawaryjną i wieloletnią pracę, oszczędzając tym samym środki finansowe przeznaczane na ten cel.

Przykładem takich urządzeń są produkowane przez firmę ECO INSTAL Modułowe Filtry Workowe typu *FLAT-BAG*, których podstawowe zalety warto jeszcze raz podsumować, należą do nich m.in.:

- dwukrotnie mniejsze gabaryty od filtrów tradycyjnych,
- ekonomiczne systemy regeneracji,
- gwarancja skuteczności odpylania w długim okresie czasu działania instalacji,
- długa żywotność materiału filtracyjnego,
- wysoka sprawność urządzenia,
- łatwy montaż i demontaż worków filtracyjnych,
- różnicowanie systemów regeneracji w zależności od potrzeb inwestora i rodzaju pyłu.

Urządzenia te dzięki specyficznej konstrukcji i technice wykonania spełniają najbardziej rygorystyczne normy oczyszczania powietrza. Ponadto zgodnie z obowiązującymi normami, które nakładają restrykcje nie tylko w stosunku do zanieczyszczeń pyłowych, lecz także gazowych związków szkodliwych i metali ciężkich, instalacje Modułowych Filtrów Workowych typu *FLAT-BAG* mogą być rozbudowywane o urządzenia oczyszczające gazy odlotowe także z tych zanieczyszczeń (np. poprzez wykorzystanie bębna kondycjonującego).

Przebiegu oraz dynamiki zmian na rzecz ochrony środowiska w naszym kraju nie sposób przewidzieć. Jednak nie podlega kwestii, że są one niezbędne aby przemysł w Polsce mógł się efektywnie rozwijać i zwiększać swoją konkurencyjność. Dzięki stosowaniu rozwiązań technologicznych o najwyższym światowym standardzie, wykonane inwestycje będą przynosić wymierne korzyści w trakcie wielu lat efektywnej eksploatacji.

 <p>P o z n a ń</p>	<p style="text-align: center;">ECO INSTAL Technika Ochrony Powietrza ul. Gostyńska 67, 64-000 Kościan tel: +48 65 512 05 95, fax: +48 65 512 19 27 ecoinstal@ecoinstal.pl, www.ecoinstal.pl</p>	
 <p>LIDER POLSKIEJ EKOLOGII '97</p>		 <p>TECHNOLOGIA GODNA POLECENIA</p>

KOMPLEKSOWA KONTROLA JAKOŚCI MASY FORMIERSKIEJ

Manfred MICHELFELDER¹

Szanowni Państwo,

cieszę się, że dane mi jest referować tu i teraz, przed zainteresowanym gremium specjalistów, o ważności ciągłego nadzorowania całego obiegu masy formierskiej, a mianowicie od kraty do wybijania odlewów po formierkę.

Szpecially chciałbym podziękować Dyrektorowi firmy TECHNICAL, panu Czesławowi Rudy, który swoim zaproszeniem umożliwił moje pojawienie się na tej konferencji specjalistycznej.

Mój temat brzmi:

KOMPLEKSOWA KONTROLA JAKOŚCI MASY FORMIERSKIEJ

i jest praktyczną obserwacją obiegu masy, typowych błędów w przerobie masy oraz ich skutków, jak także odpowiednich systemów i metod kontroli najważniejszych parametrów masy.

W ciągu minionych 40 lat po dzień dzisiejszy jako technik a w mojej funkcji właściciel tudzież dyrektor firmy Michenfelder Elektrotechnik GmbH & Co. KG ca. odwiedziłem 1000-1200 odlewni na całym świecie po to, żeby zamontować tam w nowych i już istniejących urządzeniach do przerobu masy opracowany i wyprodukowany przez Michenfelder system pomiaru, badania, kontroli i sterowania.

Takie uruchomienie trwa ok. 2 do 5 dni. Jest to więc wiele czasu na przyjrzenie się indywidualnym osobliwościom przerobu masy w najróżniejszych odlewniach całego świata.

Uważam, że owa suma praktycznego doświadczenia uprawnia mnie do mówienia o prawidłowym sposobie przerobu masy formierskiej oraz arkanach w obiegu masy formierskiej.

Podkreślić chciałbym w tym miejscu, że nie będę rzucał światła na część teoretyczno – naukową, ale na to, co każdego dnia dzieje się w praktycznej odlewniczej codzienności w przerobie masy.

I mogę tylko Państwu powiedzieć, że dzieje się tam często wystarczająco wiele rzeczy, które pozwalają na tylko jeden wniosek:

Wiele osób w przemyśle odlewniczym uważa po dziś dzień, że w przypadku masy formierskiej chodzi tylko o – proszę pozwolić na drastyczne sformułowanie - „czarne paskudztwo“, które - podoba się czy nie - potrzebne jest do produkowania form odlewniczych. Najlepiej trzymać się od niego z daleka, żeby się nie ubrudzić i nie musieć wdychać czarnego pyłu.

Masa formierska oraz obserwacja i regulacja jej specjalnych właściwości zasługują jednak na znacznie większą uwagę.

Kluczową rolę w produkcji najwyższej jakości odlewów na nowoczesnych i szybkich liniach formierskich odgrywają bowiem przede wszystkim właściwości masy: zagęszczalność, wytrzymałość na ściskanie i ścinanie, płynność, przepuszczalność gazowa, wytrzymałość na rozciąganie na mokro, formowalność oraz wilgotność. Niestety niektóre z osób odpowiedzialnych za przerób masy nie są tego świadome.

¹ MICHELFELDER ELEKTROTECHNIK

Tylko z trudem górę bierze przekonanie, że jednostajnie wysoka i stała jakość masy formierskiej stanowi istotny aspekt dla odlewów o dobrej jakości oraz niskim poziomie braków.

W celu utrzymania stałej jakościowo masy formierskiej, jej przerób dokonywać się musi w każdym poszczególnym obiegu z dużym wyczuciem.

Przed czterdziestu laty, gdy odwiedzałem pierwsze odlewnie, przerób masy przebiegał o wiele wolniej niż dzisiaj. Z reguły napotykało się 150-200 t zbiornik masy starej, 100t zbiornik masy gotowej a pośrodku dwie mieszarki krążnikowe.

Przy tylko ok. 1-3 cyklach obiegu na dzień produkcyjny masa poddawana była wcześniej – w przeciwieństwie do dzisiaj – znacznie mniejszemu obciążeniu ogólnemu. Ponadto czasy taktowania starych mieszarek krążnikowych mieściły się pomiędzy 4 do 6 minut a masa zmieszana na gotowo leżała przy wilgotności rzędu 3-5% H₂O następnie przez ok. ½ do 1 godziny w wielkich zbiornikach na masę gotową.

Bentonit miał więc przy takich warunkach wystarczająco wiele czasu na to, żeby w spokoju wchłonąć 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. Zmiany w składzie masy (krzywa przesiewu,) a tym samym jakości masy dokonywały się wcześniej – z uwagi na niewielką przepustowość – tylko bardzo powoli w ciągu kilku dni.

W owym czasie przerób masy udało się jeszcze w pełni zautomatyzować, zwyczajnie poprzez zastąpienie ostatniej ręcznej ingerencji personelu obsługującego, to jest korekty ilości dodawania wody, automatycznym urządzeniem dozowania wody. Urządzenia po raz pierwszy były w stanie w pełni automatycznie skompensować wahające się wilgotności na wejściu oraz temperatury, przez co masa formierska znowu opuszczała mieszarkę z mniej więcej zawsze jednakową (wcześniej ustawioną) wilgotnością. Urządzenia pracowały w przedziale dokładności rzędu $\pm 0,2$ do 0,3%.

Michenfelder zautomatyzował w tamtym czasie bardzo wiele linii przerobu masy formierskiej. Jakościowe polepszenie masy, a przez to warunkowa redukcja braków, jak również pewne efekty racjonalizatorskie, doprowadziły do tego, że urządzenia te szybko się opłaciły.

Dzisiaj systemy pomiaru i regulacji wilgotności firmy Michenfelder już gwarantują stałą wilgotność materiału na wyjściu za mieszarką w przedziałach dokładności rzędu $\pm 0,05$ do 0,1% (w 1. odchyleniu standardowym) a mimo tego nie oznacza to już dzisiaj automatycznie, że użytkownik otrzyma również dobrze przerobioną masę.

Wyjaśnieniem tego są ogromne zmiany przerobowo – technicznych warunków ramowych, dlatego na przerób masy należy dzisiaj patrzeć pod całkiem innym kątem.

Dla nowoczesnego, związanego z masą formierską, odlewnictwa prawie już charakterystyczne w dzisiejszych czasach są nowe formierki wysokiej wydajności, nowa generacja mieszarek wirowych, o znacznie zredukowanych czasach taktowania rzędu tylko jeszcze 90 do 120 sekund, niewielkich wielkościach zbiornika oraz produkcji na trzy zmiany w sześciodniowym tygodniu pracy.

Dzięki tym czynnikom przepustowość masy formierskiej podnieść się może na 15 do 18 i więcej cykli w 24 godzinach produkcyjnych.

Jeżeli teraz dojdzie np. jeszcze efekt komina – poprzez mocne narosty na ścianach silosu, to doprowadzi to do tego, że masa w ciągu jeszcze krótszego czasu, tzn. w szczególnych przypadkach już po tylko 20 - 30 minutach ponownie, bez jakiegokolwiek czasu regeneracji, zostanie termicznie ekstremalnie obciążona.

Od takiej masy nie można poważnie oczekiwać, że opuści mieszarkę dobrze przerobiona, oraz – docierając do linii formierskiej lub odcinka zalewania – zdolna będzie do najwyższych osiągnięć.

Taka masa formierska nigdy nie spełni pokładanych w niej oczekiwań. Najlepiej nadaje się do tego, żeby produkować dużą liczbę braków i daleka jest od miana masy High-Quality.

To się po prostu nie uda, nawet gdybyście Państwo tupali nogą mówiąc: ale ja chcę!

Może tak być, że w taki sposób odlejecie Państwo żelazne kule dla przemysłu cementowego, ale z pewnością żadne wysokowartościowe części maszyn.

Kilka ważnych, nawet nie całkiem nowych, faktów oraz doświadczeń z zakresu przerobu mas formierskich wprost zniknęło z pola widzenia po części 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, z uwagi na koszty i efektywność, pojemności zbiornika oraz czasów przestoju maszyn.

Jednak właśnie ta nierozwaga przy kontynuowanej redukcji czasów mieszania, taktowania oraz obiegu w imię postępu technicznego tudzież jako skutek gospodarczego cięcia kosztów kończy się często niejednorodną masą. Przysparza mi to osobiście wiele smutku.

Opiszę Państwu w tym miejscu dwa z wielu małych przykładów, jakie częściej mają miejsce w praktyce:

W jednej z odlewni, która stosuje chłodziarkę fluidyzacyjną ze zwykłą regulacją wilgotności na podstawie mierzonej temperatury materiału, regularnie rano pomiędzy godziną 8:00 a 10:00 a jeszcze bardziej przede wszystkim w poniedziałki rano dochodziło do problemów z jakością masy a tym samym odlewów. Klient nie dostrzegał, że właściwym problemem była chłodziarka fluidyzacyjna i dlatego za swoje czasowe problemy jakościowe czynił odpowiedzialnym system pomiaru i regulacji wilgotności na szybkiej mieszarce wirowej.

System pomiaru i regulacji wilgotności mieszarki wirowej pochodził od nas. Zarzutem klienta czuliśmy się oczywiście zobligowani i musieliśmy najszybciej jak to tylko możliwe odszukać prawdziwą przyczynę. I dzięki naszemu doświadczeniu powiodło się nam. O wiele trudniej było przekazać to w sposób wiarygodny kierownictwu odlewni.

Spróbuję również Państwu prostymi słowami wyjaśnić, gdzie leżała prawdziwa przyczyna, jakie skutki powodowała i jak ją usunięto.

Na rozpoczęcie produkcji masa była zimna (przede wszystkim w poniedziałki), tzn. zależna od temperatury regulacja wilgotności opisanej chłodziarki fluidyzacyjnej nie dokonywała żadnego podania wody. Wszystko według zasady „zimnej masy chłodzić nie trzeba“

Prowadziło to do ekstremalnie wysokiego odessania suchych pyłokształtnych cząsteczek. Masa leżała wprawdzie następnie przez 1-2 godziny w zbiorniku masy starej, lecz żaden bentonit nie może dyspergować tudzież wiązać, jeżeli brak jest wody. Poza tym masa ta w stosunku do masy resztowej zmieniona zostanie w swojej krzywej przesiewu, tzn. w swoim składzie.

Aby w mieszarce wsadowej móc masę w ogóle o tyle o ile przerobić, konieczne byłoby w tej specjalnej sytuacji, co najmniej podwojenie czasu taktowania mieszarki. W praktyce nie da się tego zrealizować, ponieważ prowadziłoby to natychmiast do braku masy w formierce. Czasy taktowania pozostają więc bez zmian a wynikiem jest niejednorodna źle przerobiona masa i to mimo faktu, że wilgotność wyjściowa utrzymywana jest przy pomocy systemu pomiaru i regulacji wilgotności w mieszarce na stałym poziomie.

(Informacyjnie: Po żmudnej dyskusji klient zdecydował się wtedy na doposażenie chłodziarki fluidyzacyjnej w nasz MICOMP UNI Typ G-FBK. Było to w roku 1998. Od tego czasu nie ma już problemów z masą, co klient nam niedawno ponownie potwierdził.

Drugim przykładem niejednorodności masy jest niekontrolowane doprowadzenie powrotne zebranej w zbiornikach masy nadmiarowej i odpadowej lub pyłu do obiegu masy.

Jeżeli po czasie x wystąpią teraz 2-3 złe mieszanki, to nikt nie skojarzy tego tak szybko z jednokrotnym dodaniem tych resztek. A już na pewno nie, gdy dodanie nastąpi np. w piątek po zakończeniu zmiany a te 2-3 złe mieszanki wystąpią dopiero w poniedziałek rano. Opisy błędów przez klientów brzmią wtedy zawsze mniej więcej tak: W zasadzie urządzenie pomiaru i regulacji wilgotności pracuje bardzo dobrze i dokładnie, tylko czasami maszyna się wygłupia i występują dwie do trzech zbyt suchych lub zbyt mokrych mieszanek, a potem wszystko jest znowu w porządku.

Mógłbym przytoczyć wiele takich przykładów pokazujących, jak z nieznajomości i nierozwagi, mimo zastosowania zaawansowanej techniki, powstać może niejednorodna masa formierska, lecz wykroczyłoby to poza ramy niniejszego referatu.

Po to, żeby otrzymać dzisiaj dobrą masę - ja mawiam, że jest to "masa zwycięska" - konieczne są trzy rzeczy:

- 1.) Szef odlewni, potrafiący rozpoznać i na trwałe usunąć wcześniej opisane zagrożenia mogące prowadzić do uzyskania niejednorodnej masy.
- 2.) Masie formierskiej musi dzisiaj, w obliczu wielkiej różnorodności modeli oraz opisanych ciągle rosnących obciążeń powodowanych redukcją czasów obiegu, taktowania i faz spokoju, ciągle towarzyszyć obieg oraz nadzorowanie i korygowanie „Step-by-Step“.
- 3.) Właśnie z powodu większej ilości koniecznych systemów pomiaru, regulacji i dozowania obok czysto produkcyjno – technicznego sukcesu prawidłowa musi być również relacja ceny do usługi, a to wszystko gwarantują Państwu wszystkie komponenty systemu zarządzania masą formierską Michenfelder.

Do przeszłości należy typowe wcześniej rozwiązanie częściowe, gdzie poprzez zastosowanie pojedynczego urządzenia dozowania wody na mieszarce zrezygnować można było z personelu obsługującego produkując mimo to dobrą masę.

Dzisiaj nadzorowanie rozpoczyna się już zaraz po oddzieleniu masy od odlewu, czyli krótko po procesie odlewniczym. W tym bowiem momencie obiegu masy zapotrzebowanie na bentonit i związki węglowe może zostać stosunkowo precyzyjnie wyliczone i dokładnie przyporządkowane do danej masy. W tym celu posiadać należy informacje o związanej z modelem stracie spalania na skrzynkę lub tonę masy oraz o rozrzedzeniu masą rdzeniową. Klient z reguły posiada te informacje (od swojego dostawcy bentonitu) i może je udostępnić.

W dzisiejszej dobie szerokiej różnorodności modeli odlewniczych oraz kilku zbiornikach masy starej dokładne i precyzyjne, dopasowane do potrzeb danej masy, dodanie bentonitu i związków węglowych – zależnie od spalania i rozrzedzenia – później w mieszarce nie jest już możliwe. Chyba, że klient odlewa codziennie jeden lub dwa swoje własne produkty i wie – na bazie wieloletnich doświadczeń – jakie ilości musi dodać, żeby uzyskać jednorodną i dobrą masę.

Ponieważ jest to takie trudne, niektórzy wpadli na pomysł, żeby oczekiwane straty spalania profilaktycznie dodać już wcześniej w mieszarce.

Oznacza to, że do formierki tudzież odcinka zalewania, czyli tam, gdzie od masy formierskiej oczekiwana jest właściwie najwyższa wydajność, po każdej zmianie modelu dociera inna masa z wahającą się zawartością bentonitu i wilgotności itd.

Otrzymuje się przez to być może masę powrotną stałą w krzywej przesiewu, ale nie ma to jednak sensu.

Tą rozpowszechnioną metodę profilaktycznego dodawania oczekiwanych strat spalania już w mieszarce ja osobiście uważam za błędną.

Przy pomocy porównania chciałbym tą praktykę co najmniej poddać w wątpliwość. Proszę wyobrazić sobie dobrze wytrenowanego maratończyka na krótko przed startem. Nikomu nie przyszyłoby do głowy, żeby wlać w niego jeszcze szybko profilaktycznie 5 litrów wody oraz odpowiednie minerały tylko dlatego, że straci je biegnąc. Nigdy nie zaryzykowano by jego dobrą sytuacją wyjściową tylko po to, żeby po wyścigu nie musiał pić.

Z pełnym brzuchem nie pokaże, co potrafi.

Ale w masie formierskiej takie oczekiwania się pokłada.

Dodawanie oczekiwanych strat spalania już z góry w mieszarce nie jest ani efektywne, ani nie służy dobru zasobów, ani nie jest godne polecenia pod kątem jakości masy i odlewu.

Straty spalania powinny być moim zdaniem dodawane bezpośrednio po odlewaniu, dopóki możliwe jest dokładne śledzenie masy, tzn. możliwe jest jeszcze jednoznaczne przyporządkowanie, w każdym razie więc przed dużym zbiornikiem masy starej. Gwarantuje to, że również nowo dodany bentonit już w zbiorniku masy starej może wiązać przy prawidłowej wilgotności.

Odpowiednie miejsca w obiegu masy w celu dodania strat spalania istnieją, w lub za chłodziarką masy.

Wiem, że co do zasady nie jest to zadanie łatwe. Firma Michenfelder Elektrotechnik jest jednak na dobrej drodze do tego, żeby potrafić w sposób w pełni zautomatyzować regulację i dozowanie strat spalania. Nawet jeżeli potrwa to jeszcze rok lub dwa. Potem stanie się to stanem techniki.

Jak już wspomniałem, na temat strat spalania na skrzynkę formierską lub tonę masy potrzebujemy albo dane ugruntowane naukowo – teoretycznie lub wartości wynikające z doświadczenia klienta.

Posiadając te informacje w odniesieniu do modelu, opanować należy trzy rzeczy:

- 1.) Ciągłe dodawanie wyliczonych ilości dodatków przez czas i tonę masy starej
- 2.) Należy zadbać, żeby dodatki dodane podczas kontynuowanego procesu przerobu, np. w chłodziarce nie zostały natychmiast odessane a następnie przy prawidłowej wilgotności były składowane w zbiorniku masy starej
- 3.) Prawidłowa musi być relacja ceny do usługi, ponieważ sensu nie ma inwestowanie zamiast tego w 6 - 8 tonową chłodziarkę wsadową lub dodatkową mieszarkę czołową. Jest to o wiele za drogie i, jak już opisano, da się także inaczej skutecznie a znacznie taniej rozwiązać.

Każdy dobrze funkcjonujący obieg masy musi mieć chłodziarkę. Zadaniem jej nie powinno być jednak tylko wyłączne chłodzenie masy. Przy pomocy naszego systemu pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI dla różnych typów chłodziarek (G-FBK, G-MC, G-91, G-T) rozbudowujemy chłodziarkę do regeneratora masy.

W każdej fazie produkcji system ten gwarantuje, że przerobiona masa opuści chłodziarkę z precyzyjną, swobodnie ustawianą i trwale stałą wilgotnością.

Prawidłowa wilgotność w chłodziarce daje nie tylko optymalne chłodzenie.

Bo zależnie od zastosowanego gatunku i rodzaju bentonitu od wilgotności materiału na wyjściu (poniżej 1,7% lub 2,0%) w sposób zdecydowany zależy, czy bentonit znajdujący się w masie starej zacznie następnie dyspergować w zbiorniku masy starej czy nie.

Nawiążę do tego wprawdzie później jeszcze raz przy temacie „Mieszarki”, ale niech tyle zostanie już powiedziane: Nie da się porównać jakości masy formierskiej, która już

dyspergować, zanim trafiła do mieszarki z jakością masy formierskiej, której bentonit zaczyna dyspergować dopiero po dodaniu wody w mieszarce.

Dziwi mnie za każdym razem z jakim opanowaniem klienci przełękają lub akceptują, że mimo drogiej inwestycji w chłodziarkę wilgotność materiału na wyjściu wahać się może pomiędzy 1,5% a 2,5%.

W przypadku chłodziarek fluidyzacyjnych z regulacją wilgotności zależną od temperatury wahanie to mieścić się może nawet pomiędzy 0,5% a 3,0% a w niektórych przypadkach prowadzić do zatopienia masy.

Ponieważ klient chciałby uniknąć tej ostatniej sytuacji, pracuje z reguły zbyt sucho z katastrofalnymi skutkami dla jakości masy formierskiej.

Założmy, że klient doposażył swoją chłodziarkę przy pomocy naszego systemu pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI regenerator masy i teraz może regulować w sposób stały swoją wilgotność wyjścia nastawialnie pomiędzy 2,0% a 3,0% przy dokładności rzędu $\pm 0,15\%$ -0,2% (w 1 odchyleniu standardowym).

To następnym aspektem w obserwacji obiegu masy jest zbiornik tudzież silos oraz czasy przebywania względnie regeneracji masy formierskiej.

Każda odlewnia posiada swoją specjalną masę, własne zbiorniki stalowe, ze specjalną formą wykonania i ewentualnie okładzinami. Dość popularne są obecnie również tzw. Big Bag'i z tworzywa sztucznego. Wszędzie panują też różne temperatury oraz, globalnie patrząc, warunki klimatyczne.

Owe różniące się indywidualnie warunki prowadzą do tego, że nieomal w każdej odlewni są różne wartości górne wilgotności masy starej, których przekroczyć nie wolno, aby nie dochodziło do narostów na ścianach silosa.

Jeżeli to jednak wystąpi, to – jak wspomniano na początku – dochodzić może do tzw. efektu komina, który znacznie skróci czas przebywania masy formierskiej potrzebny właściwie do regeneracji.

O tyle ważniejsza jest stąd praca na chłodziarce z systemem pomiaru i regulacji wilgotności, przy pomocy którego bardzo precyzyjnie i bez uwagi godnych wahań regulować można krytycznymi wartościami wilgotności nie obawiając się, że wartość graniczna zostanie przekroczona.

Narosty wielkopowierzchniowe na ścianach silosa zauważalnie pogarszają jakość masy formierskiej.

Redukuje się po pierwsze czas regeneracji, ponieważ spada czas przelotu. Po drugie narosty, które z czasem wzbogacą się do 4, 5 częściowo 6% H₂O, odłamują się, trafiają do obiegu masy i powodują jedną lub kilka zbyt wilgotnych mieszanek.

W tym miejscu muszę wspomnieć o wcześniej już cytowanym opisie błędu: W zasadzie urządzenie pomiaru i regulacji wilgotności pracuje bardzo dobrze i dokładnie, tylko czasami maszyna się „wygłupia” i występują dwie do trzech zbyt suchych lub zbyt mokrych mieszanek, a potem wszystko jest znowu w porządku.

Dlatego zbiornik i silos powinny, także wtedy, gdy często jest tam bardzo brudno, być regularnie optycznie kontrolowane.

Jeżeli masa przebywała teraz w wystarczającej i stałej wilgotności dostatecznie długo w silosie, to gotowa jest ona do następnej operacji obiegu masy:

- do ponownego przerobu w mieszarce.

Masa napęlnia teraz wagę starej masy i jest odważana.

- Jeżeli urządzenie jest tak pomyślane, jak dotąd opisywałem, a więc wyposażone w MICOMP UNI system pomiaru i regulacji wilgotności w mieszarce, to jest już zabezpieczone, że wilgotność na wejściu masy formierskiej, która trafia do mieszarki, nie waha się z mieszanki na mieszankę bardziej niż max. $\pm 0,2\%$. Również temperatura waha się tylko minimalnie.
- Jest to przyczyna, dlatego przy tej konstelacji zrezygnować można z wstępnego pomiaru wilgotności lub w wadze masy a wagę wodną napęlnić można już ilością wody, która konieczna była do sporządzenia poprzedniej mieszanki, odliczając swobodnie nastawialny mały współczynnik bezpieczeństwa. Tzn. gotowe jest już prawie kompletne zapotrzebowanie wodne dla następnej mieszanki. Gdy tylko waga masy starej otworzy się, nasz niepowtarzalny i górujący nad wszystkimi innymi systemami system pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH pracować będzie od strony metodowo – technicznej następująco:

Po środku napływającego strumienia masy znajduje się wlot wody, tzn. już w momencie wejścia komponentów masy i wody do mieszarki odbywa się homogenizacja polegająca na otoczeniu wody masą.

Osobliwość ta ułatwia oraz – co ważne – przyspiesza jednorodne i równomierne wymieszanie masy i wody. Ok. 5-10 sekund później następuje podanie dodatków, jak bentonit i związki węglowe, które dzięki specjalnej metodzie podawania wody nie wchodzą już w kontakt z wodą „swobodną“ i w ten sposób bezpośrednio – bez tworzenia się szkodliwych grudek – mogą układać się wokół zwilżonego ziarna masy.

Równocześnie na wyświetlaczu MICOMP UNI powstaje krzywa przedstawiająca stopień przerobu tudzież homogenizacji materiału mieszanego w zależności od czasu mieszania. Metoda ta opatentowana jest pod niemieckim numerem patentowym: 19635452.

W zależności od rodzaju i typu mieszarki oraz jej stanu mechanicznego wszystkie komponenty w mieszarce (jak masa stara, piasek świeży, woda, bentonit, związki węglowe i inne dodatki) po ok. 30 - 80 sekundach są ze sobą jednorodnie wymieszane.

Dopiero w tym momencie przerobu masy po raz pierwszy możliwe jest dokonanie precyzyjnej wypowiedzi na temat zawartości wilgotności kompletnego wsadu.

Poprzez ustawiony współczynnik bezpieczeństwa przy obliczaniu dodania wody wstępnej wsad w tym momencie oddalony jest od żądanej końcowej wartości wilgotności tylko jeszcze o ok. 0,1 - 0,3%. Po ok. 3-5 sekundach MICOMP UNI błyskawicznie wylicza wymagane resztowe zapotrzebowanie wody i dozjuje wyliczoną ilość. Po ostatnim krótkim czasie domieszania wsad jest gotowy i przygotowany do opróżniania.

Tylko dzięki tej wyjątkowej metodzie pomiarowej i szczególnemu przebiegowi metodowo – technicznemu jest dopiero w ogóle możliwe osiągnięcie żądanych wartości wilgotności przy powtarzalnej dokładności rzędu $\pm 0,05-0,1\%$ H₂O. Żaden inny z systemów na rynku nie jest w stanie regulować wilgotność masy formierskiej z precyzją podobną do MICOMP UNI.

Jednak system obok tej precyzji posiada w zanadrzu dla użytkownika jeszcze kilka ważnych korzyści dodatkowych.

Ciągłe nadzorowanie, kontrola i zapisywanie kompletnej fazy przerobu w mieszarce od opisanego wejścia materiału po otwarcie wysypu mieszarki umożliwia precyzyjne korekty podczas mieszania.

System oferuje ponadto komfortową kontrolę sygnalizacją alarmową. Gdy np. z uwagi na nieprawidłowo zamykający zawór wilgotność znajduje się o x/10% ponad ustawioną wartość zadaną (swobodnie ustawialna przez parametry), następuje zgłoszenie

ostrzegawcze a wysyp mieszarki wcale nie zostaje otwarty. To samo dotyczy również różnych przypadków, gdy z innych przyczyn lub nieregularności (np. powodowanych urządzeniem) wartość zadana nie zostaje osiągnięta.

Poza tym opatentowane nadzorowanie przerobu ma ten pozytywny i rzeczywiście pomocny efekt uboczny, że zastosowana mieszarka ciągle sprawdzana jest pod kątem swojej wydajności mieszania. Uczynienie widoczną słabnącej wydajności mieszania, MICOMP UNI służy również jako instrument do szybkiego rozpoznawania zużycia mieszarki albo przestawionych (co bardzo często się zdarza) lub zużytych narzędzi mieszających, dzięki czemu niezwłocznie wdrożyć można odpowiednie działania reagujące. Oszczędza to dodatkowo czas i pieniądze.

Producenci mieszarek mogą ponadto zastosować tę funkcję do dalszej optymalizacji swoich mieszarek.

W tym miejscu chciałbym na krótko przerwać opisywanie obiegu masy formierskiej i – zanim będę kontynuować – jak poniżej podsumować lub przypomnieć:

1.) Jeszcze przed fazą spoczynkową masy w zbiorniku masy starej straty spalania powinny zostać skompensowane przez dokładne podanie precyzyjnie wyliczonych ilości bentonitu i związków węgla przed lub w chłodziarce.

Odpowiednie urządzenia regulacyjno – dozujące do efektywnego wyrównania strat wypalowych znajdują się w końcowej fazie opracowania, lecz nie są jeszcze jednak całkowicie gotowe do produkcji seryjnej. Prototypy są krótko przed fazą prób. (Chętnie powitamy partnerów / zainteresowanych, którzy zechcą urzeczywistnić to razem z nami).

Dlatego na razie koncentracja skupia się na rzeczach, które dadzą się obecnie skutecznie zrealizować.

2.) Również, gdy w niektórych odlewniach nie powstają żadne zbyt wysokie temperatury masy, to zastosowanie chłodziarki masy to absolutny „MUS”. Rozbudowa chłodziarki masy do „regeneratora masy“ jest przy tym przesłanką dla masy o dobrej jakości, ponieważ nie tylko chłodzenie masy należeć ma do jej zadań. Chłodziarka powinna raczej dbać o to, żeby 95% przepływu masy znajdowało się w przedziale wilgotności pomiędzy 2 a 3% i to nastawialnie z dokładnością rzędu $\pm 0,15 - 0,2\%$.

Spełniwszy tą przesłankę dochodzimy do punktu 3:

3.) W dalszym przebiegu przerobu należy uważać na to, żeby w silosach nie tworzyły się narosty, a tym samym nie powstawał efekt komina, który niepotrzebnie redukuje czas regeneracji masy i zagraża jej jakości. Nie dojdzie jednak do tego dzięki dokładnej i pewnej regulacji wilgotności przed silosami. Ciągły proces napełniania i opróżniania powinien zapewnić, że masa odpowiednio wstępnie nawilżona spędzi w silosie co najmniej 1 godzinę (im dłużej tym lepiej).

Gdy spełnione będą warunki 2+3 problemu nie będzie stanowić pełne wykorzystanie wydajności Państwa mieszarki i wyprodukowanie jakościowo wysokowartościowej „masy zwycięskiej” przy mniejszych czasach taktowania rzędu ok. 90-120 sekund. Przetworzona w taki sposób masa formierska jest bazą dla dobrej jakości odlewów i niewielu braków.

Wyobraźmy sobie odlewnię, która wprawdzie stosuje chłodziarkę, lecz nie rozwinęła jej jeszcze przy pomocy naszego MICOMP UNI do „regeneratora masy“. Skutkuje to tym, że temperatury masy zmieniają się falokształtnie pomiędzy 30° i 45°, częściowo do 50°C, a wilgotność masy z reguły pomiędzy 1,5% i 3,0% H₂O w przebiegu okresu produkcji.

Co teraz, gdy brak jest chłodziarki a masa formierska waha się skokowo pomiędzy 30°C i 80°C częściowo do 90°C i pomiędzy 0,5% i 3,5% H₂O? Tak być nie musi, lecz w tak ekstremalny sposób często już to widziałem.

Mogę na to tylko powiedzieć: nie posiadanie chłodziarki może w ogóle funkcjonować tylko przy temperaturach masy starej do max. 60°C. Przekonanie, że stosując w pełni automatyczny system pomiaru i regulacji wilgotności w mieszarce (żeby oszczędzić sobie może na chłodziarce) można dobrze przerobić masę formierską, która w temperaturach ponad 60°C trafia do mieszarki, jest nierealną mrzonką.

To, co przy takich warunkach potrafimy ze swoją techniką, to zadbanie, żeby masa opuszczała mieszarkę przy stałej wilgotności, co kilku odlewniom pozwala funkcjonować. Nie posiadając chłodziarki, ekstremalne wahania wilgotności prowadzą albo (przy zbyt mokrej masie) do narostów i opisanego „efektu komina“ lub (przy zbyt suchej masie) do tego, że bentonit nie może w zbiorniku dyspergować lub wiązać, z konsekwencjami dla dalszego przerobu, które zaraz bliżej opiszę.

Jeżeli nie ma do dyspozycji chłodziarki lub była taka o silnie wahającej się wilgotności wyjściowej, to dopasowujemy nasz system pomiaru i regulacji wilgotności odpowiednio do sytuacji, dokonując pomiaru wilgotności przed mieszarką.

To, co konkurencja stosuje wyłącznie jako główny system pomiarowy, u nas służy jedynie jako pomiar wstępny dla obliczenia dodania wstępnego wody.

Przy pomiarze wilgotności wstępnej w sposób uwarunkowany metodowo – techniczny, tzn. w zależności od rozmieszczenia sond pomiarowych, uchwyconych może być albo tworząc wartość średnią na taśmie podającej podczas czasu napełniania wagi lub stacjonarnie w wadze, w ogóle tylko 20-50% materiału.

Całkowicie nieuwzględnione pozostają przy tej metodzie pomiaru dozowane do mieszarki dodatki jak bentonit i nośniki węgla.

Na podstawie tych faktów metodowo – technicznych pomiar wilgotności i bazujące na nim wyznaczenie zapotrzebowania w wodę możliwe jest tylko przy powtarzalnej dokładności w przedziale rzędu tylko $\pm 0,2\%$ i wymaga ponadto w ciągu dnia częstych korekt. Jeżeli, jak w opisanym przypadku, masa również jest jeszcze sucha i nie miało miejsca dyspergowanie lub wiązanie i tym samym nie jest znany stopień nasycenia bentonitu w masie, to określenie wilgotności oraz wynikające z niego obliczenie zapotrzebowania w wodę będzie jeszcze mniej dokładne.

Ale nie z naszym systemem.

W sprawie pomiaru wilgotności przed mieszarką w celu wyznaczenia wymaganej ilości wody wstępnej w przeciwieństwie do naszej konkurencji jeszcze długo nie powiemy ostatniego słowa. Nasz system pomiaru i regulacji wilgotności w mieszarce metodą pomiaru wilgotności wstępnej jest zaledwie uzupełniany, po to, żeby Państwa produkcja masy formierskiej w specyficznych sytuacjach była jeszcze bezpieczniejsza i dokładna.

Istnieje jednak sytuacja specjalna, w której również z najlepszym systemem pomiaru i regulacji wilgotności, obojętnie czy z pomiarem wilgotności wstępnej czy bez, nie wyprodukujecie Państwo jakościowo wysokiej wartości „masy zwycięskiej”, w której ucierpi Państwa jakość odlewu a Państwa braki drastycznie wzrosną. Teraz wyjaśnię, jaka jest sytuacja i jak do tego dochodzi:

Gdy masa wstępnie nawilżona z ok. 2,5% H₂O trafia do mieszarki, to mieszarka 30t potrzebuje przy ustawionej wilgotności zadanej rzędu 3,5% H₂O rachunkowo 30l wody. 30l wody da się wymieszać z dobrze dyspergującą masą w ciągu bardzo krótkiego czasu.

Jeżeli masa trafi jednak do mieszarki przy tylko ok. 1,5% H₂O, to czysto rachunkowo potrzebnych będzie 60 litrów wody plus na razie nieznaną ilość wody konieczną do dyspergowania względnie wiązania bentonitu.

Żeby jednorodnie wymieszać z niedyspergowaną masą 60 litrów wody, potrzebne jest znacznie więcej czasu. Skalkulować należy 2 - 2½ - krotny czas, aby powstała dobra jednorodność i przynajmniej częściowo przerobiona masa formierska.

Masa przerobiona jest dlatego tylko częściowo, ponieważ bentonit nie jest jeszcze w pełni nasycony przy opuszczaniu mieszarki. Mimo nowych gatunków bentonitu, jak np. Quick-Bonds, dzisiejsze krótkie czasy mieszania nie wystarczają z reguły dla pełnego związania spoiw.

Należy w tym miejscu wspomnieć, że dla naszego systemu pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI nie stanowi problemu, aby również z masy o gorszych przesłankach wyciągnąć dobrą jakość. Przy pomocy 9 różnych receptur oraz mnogości możliwych ustawień parametrów indywidualnie zareagować można na większość metodowo – technicznych procesów i czasów, oczywiście zakładając, że ma się oczywiście do dyspozycji odpowiednio dłuższy czas przerobu. W takich przypadkach kombinacja z koniecznego przedłużenia czasu przerobu z jednej strony i uszczuplenia przepustowości zbiornikowo – silosowych z drugiej prowadzić może do następnego problemu: a mianowicie braku masy w formie. I dokładnie w tym miejscu koło się zamyka.

Jeszcze raz chciałbym zwrócić uwagę na problematykę, że przedłużenie czasu mieszania, w przypadku zbyt niskiej wilgotności na wejściu masy, ma do czynienia nie tylko z koniecznie dłuższym czasem dla jednorodnego wymieszania (co jest właściwym zadaniem mieszarki). Znacznie większa część przedłużenia czasu mieszania obciąża w tym przypadku nasycenie bentonitu.

Chciałbym również skorzystać z okazji i wyrazić wskazówkę specjalnie dla zaprzyjaźnionych i kooperujących z nami producentów mieszarek, aby przy ich sprzedaży i obietnicy czasów taktowania wskazywać na tą problematykę i przyswoić sobie poniższe sformułowanie:

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

Na przykład:

Jeżeli klient chce pracować na wilgotności rzędu 3,5%, to musi stworzyć przesłanki ku temu, żeby zagwarantowane były co najmniej 2% wilgotności wejściowej.

Wróćmy teraz jednak do obiegu masy. Znajdujemy się w momencie opróżniania mieszarki. W zależności od dotychczasowej konfiguracji urządzenia i przerobu masy formierskiej, powstała teraz jedna z trzech możliwych jakości masy:

Jakość 1:

jakościowo wysokiej wartości „masa zwycięska” po gwarantowanie krótkim czasie taktowania (-> ponieważ przesłanki były dobre).

Jakość 2:

masa jakościowo akceptowalna z uwagi na przedłużony czas taktowania

(-> przesłanki masy nie były optymalne, jednak przez dłuższy czas mieszania udało się jeszcze uzyskać dobrą jakość masy).

Jakość 3:

masa nie przerobiona jeszcze na gotowo

(-> brak dobrych przesłanek i zbyt krótki czas taktowania, tzn. masa znacznie zmieni jeszcze swoją jakość pomiędzy mieszarką a formierką)

Naturalnie zależy to w sposób decydujący od jakości masy formierskiej przy opuszczaniu mieszarki, czy i na ile mocno zmienią się jeszcze raz jej charakterystyczne właściwości w drodze pomiędzy mieszarką a formierką. Decydującą rolę odegrają przy tym czynniki:

- stopień nasycenia bentonitu
- temperatury otoczenia
- wilgotność powietrza oraz
- czasy przebywania na taśmie.

W celu uzyskania informacji o tym, jak mocne są te zmiany i oddziaływania na jakość masy, możliwie krótko przed formierką powinno nastąpić jeszcze sprawdzenie mechanicznych właściwości masy.

Michenfelder Elektrotechnik oferuje w tym celu zwarty system badania masy Online VEDIMAT. Dzięki sieciowaniu z systemem pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI na mieszarce następuje w pełni automatyczna regulacja zagęszczania, pomiar wytrzymałości na ściskanie jak również obliczenie ciężaru nasypowego. Na podstawie normowanej wytrzymałości na ściskanie możliwe są ważne wnioski dotyczące gospodarki bentonitowej.

Alternatywnie Michenfelder oferuje jeszcze SANDLAB, przy pomocy którego obok już opisanych cech wyliczone mogą jeszcze zostać wytrzymałość na ścinanie oraz formowalność masy formierskiej.

Wiadome jest, że wilgotność i zagęszczalność korelują, tzn. są ze sobą powiązane.

Z faktu tego korzysta system Michenfelder, tzn. VEDIMAT w powiązaniu z MICOMP UNI. Przy pomocy zintegrowanego z mieszarką systemu pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH wilgotność a tym samym również już korelująca zagęszczalność utrzymywane są w wąskich granicach.

MICOMP UNI Typ G-CH dozuje odpowiednio do swojego zadania w sposób godny zaufania i precyzyjny do żądanej i na stałe ustalonej wartości wilgotności, w zależności wilgotności wejścia materiału i jego temperatury, bez uwzględniania jednak zmian w krzywej przesiewu a tym samym zagęszczalności.

Krzywa przesiewu lub skład masy formierskiej, zmieniające się powoli lub w sposób pełzający, wymaga jednak dopasowania zapotrzebowania wodnego, po to, żeby na stałym poziomie utrzymać dotychczas uzyskaną zagęszczalność.

Zmiany w składzie masy a tym samym zagęszczalności rejestrowane mogą być konwencjonalnie poprzez pomiary laboratoryjne a następnie kompensowane korektą manualną ustawionego zapotrzebowania wodnego w MICOMP UNI Typ G-CH.

Instalując VEDIMAT, który w sposób godny zaufania rejestruje te wolne zmiany składu masy, proces ten automatyzowany jest we współgraniu z urządzeniem pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH na mieszarce. W ten sposób utrzymują one zagęszczalność we wszystkich cyklach produkcji automatycznie w wąskich granicach na stałym poziomie.

Kolejna duża zaleta VEDIMAT'a leży po stronie jego specjalnej pozycji zamontowania na taśmie bezpośrednio przed formierką uzasadnia i różni VEDIMAT wyraźnie od innych systemów na rynku, które zamontowane są bezpośrednio na mieszarce.

W przeciwieństwie do tych systemów VEDIMAT potrafi wpływać na wszystkie zakłócenia na drodze masy formierskiej od mieszarki do formierki oraz trwale zmieniać zagęszczalność (jak np. różnie silne stopnie nasycenia bentonitu spowodowane mocno wahającą się wilgotnością na wejściu lub zmianami wilgotności przez różnice temperatury i odparowanie) w sposób pewny rejestrować i kompensować.

Zagęszczalność wyliczana jest więc tam, gdzie jej stałość jest najważniejsza, bezpośrednio na formierce.

Pomiar zagęszczalności w tym miejscu nie jest w żadnym razie zbyt późny, jak niektórzy sądzą lub błędnie twierdzą. Jeszcze raz przypominamy, że już system pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH dba o to, żeby masa formierska już przy opuszczaniu mieszarki miała bardzo stałą wilgotność a tym samym również stałą zagęszczalność.

Zadaniem VEDIMAT'a jest teraz wyliczenie tych powolnych zmian w składzie masy oraz ich oddziaływanie na zagęszczalność i wytrzymałość na ściskanie (np. poprzez mniej lub bardziej drobne cząstki, bentonit, masę świeżą masę itd.) i we współgraniu z MICOMP UNI Typ G-CH takie skompensowanie, że zagęszczalność utrzymywana będzie automatycznie ciągle w wąskich granicach. Nastąpi to poprzez ciągłe dopasowanie zapotrzebowania wodnego.

Przykład:

Ustawiona wartość wilgotności na MICOMP UNI Typ G-CH wynosi np. 3,2% H₂O. Z taką wartością wilgotności masa formierska opuszcza mieszarkę.

Ustawiona na VEDIMAT'cie korelująca zagęszczalność rzędu np. 40% zostaje w ten sposób osiągnięta. Wartości zagęszczania wyliczane przez VEDIMAT przekazywane są ciągle do MICOMP UNI Typ G-CH na mieszarce.

Jeżeli teraz w toku produkcji z powodu zmieniającego się składu masy (np. więcej drobnych cząstek) rejestrowany jest powolny spadek zagęszczalności do np. 39%, to system pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH na mieszarce oblicza automatycznie korektę zapotrzebowania wodnego na np. 3,3% H₂O i dba o odpowiednie dozowanie. Poprzez to w pełni automatyczne dopasowanie zapotrzebowania wody do zmienionego składu masy wartość zagęszczania ustabilizuje się znowu przy 40%.

Proces ten odbywa się permanentnie.

Wraz z kombinacją systemów VEDIMAT i MICOMP UNI Typ G-CH otrzymujecie Państwo pakiet dwóch systemów pracujących niezależnie od siebie, które się wzajemnie kontrolują. Klient może ponadto produkować swoją masę formierską do wyboru albo według stałej wilgotności albo stałej zagęszczalności. Nasz VEDIMAT w połączeniu z MICOMP UNI Typ G-CH nadaje się do tego, jak żaden inny system.

Drodzy Państwo, towarzyszenie masie formierskiej w jej drodze przez obieg masy dobiega końca. Poznaliście Państwo tą drogę, poszczególne stacje regulacji i pomiaru w obiegu masy formierskiej oraz najważniejsze punkty, o których należy pamiętać. Przerób masy

rozpoczyna się od efektywnego i od strony metodowo – technicznej optymalnego dodania strat spalania, prowadzi przez chłodziarkę, którą rozszerzono do regeneratora masy.

Następnie wiedzie do silosów, w których masa regeneruje bez narostów przy prawidłowej wilgotności, aż zostanie w końcu przerobiona w mieszarce na wydajną, jakościowo wysokowartościową „ masę zwycięską” z precyzyjną wilgotnością. Nadzorowany pod kątem właściwości mechanicznych, przerób i nadzorowanie masy kończy się za VEDIMAT'em bezpośrednio przez linią formierską, a więc tam, gdzie jakość musi zgadzać się w 100%.

W przypadku inwestycji w nowe urządzenie przerobu masy formierskiej standardem ma się stać ciągła kontrola obiegu masy formierskiej przez opisane systemy pomiaru i regulacji.

Modułowa zasada systemu zarządzania masą formierską Michenfelder pozwala jednak również na stopniową modernizację istniejących urządzeń, w zależności od budżetu lub priorytetów przerobowo-technicznych.

Aby sprostać nie tylko wymogom metodowo, pomiarowo i regulacyj-notechnicznym idealnego przerobu masy, lecz także wymaganiom nowoczesnej technologii procesu, wszystkie opisane i rozdzielone systemy Michenfelder obsługiwane mogą być centralnie z komputera MiPro. Centralny system kierowania procesem, wizualizacji i zapewnienia jakości MiPro jest modułową kombinacją Software/Hardware dla Państwa bezpieczeństwa jakości oraz w celu wizualizacji Państwa przerobu masy formierskiej.

Stosowanie MiPro oznacza sprowadzenie kontroli przerobu masy do biura.

Wszystkie informacje naszych systemów pomiaru i regulacji wilgotności jak również naszych systemów badania masy wpływają tutaj i być centralnie sterowane ze strony MiPro. MiPro w dalszym ciągu jest ważnym instrumentem analizy statystycznej, zarządzania alarmem i śledzenia trendu. MiPro służy ponadto jako długoterminowa baza danych w celu archiwizacji wszystkich istotnych danych procesu. jak wilgotność na wejściu i wyjściu, zagęszczalność, wytrzymałość na ściskanie, temperatura, dynamika mieszania itd.

na podstawie kompleksowych wymagań dotyczących potrzebnych interfejsów dostawa następuje kompletnie z wstępnie skonfigurowanym PC wraz z komputerem, monitorem, klawiaturą, Floppy-Disk-, napędem ZIP- i CD-Rom.

Zestawienie usług:

- > graficzne przedstawienie wszystkich istotnych danych procesu
- > funkcje trendu i statystycznej analizy
- > długoterminowa archiwizacja danych procesowych (funkcja bazy danych)
- > zarządzanie kontrolą alarmową
- > elastyczny eksport danych do systemów zewnętrznych
- > otwarty system (przez sterowniki OPC)
- > wertykalna integracja przez Ethernet/TCP

System MiPro rośnie równolegle. Ostatnie rozszerzeniem była np. integracja urządzenia wagowo – dozującego do masy starej i dodatków z modułami ważenia Siwarex oraz wizualizacją urządzenia mieszającego. Projekt ten realizowano razem z firmą TECHNICAL, dzisiejszym gospodarzem, w firmie Skoda w Mlada Boleslaw (CS).

Mam nadzieję, że udało mi się umożliwić Państwu wgląd w praktykę nowoczesnego przerobu masy. Moją pierwszorzędną intencją było pokazanie, że naprzeciwko ogromnym obciążeniom, na które wystawiona jest dzisiaj masa formierska w swoim obiegu, nie można już wychodzić tylko z niezależnymi od siebie rozwiązaniami wyspowymi. Aby jakość masy nie cierpiała wskutek utrzymującego się w dalszym ciągu trendu do coraz krótszych czasów taktowania i zredukowanych pojemności zbiornika, 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.

Jak pokazała praktyka – i tą myślą na zakończenie chciałbym we własnym interesie rozstać się z Państwem – modułowy system zarządzania masą formierską Michenfelder potrafi więcej niż tylko sprostać tym wymagającym zadaniom nowoczesnego przerobu masy.

Bezpieczna, precyzyjna i szybka produkcja jakościowo wysokiej wartości masy formierskiej, pod kontrolą wszystkich ważnych właściwości masy, jest w ten sposób zagwarantowana a elastyczne dopasowanie do indywidualnych życzeń klienta i warunków technicznych oczywiste. W postaci MiPro do dyspozycji jest ponadto komfortowy system kierowania procesem. Dzięki modułowej budowie wszystkich składników częściowych systemy nasze – w zależności od budżetu, konieczności technicznych i priorytetu – stosować można również stopniowo. Właśni dlatego świetnie nadają się one do modernizacji starszych urządzeń przerobu masy.

Skoda była pierwszym projektem, który TECHNICAL i Michenfelder, które poznały się na GIFA 2003 wspólnie skutecznie przeprowadziły. Za dobrą współpracę i prawidłową realizację kontraktu chciałbym w tym miejscu firmie TECHNICAL, szczególnie Panu Rudy, serdecznie podziękować. Podziw mój dotyczy szczególnie mechanicznego i elektrycznego wykonania urządzenia przerobu masy dostarczonego przez TECHNICAL do SKODY.

Przekonany jestem – tym bardziej, że obecnie jesteśmy razem członkami Unii Europejskiej – że połączenie TECHNICAL <-> MICHENFELDER, w następnych latach sprawi jeszcze nie jedną pozytywną niespodziankę. Obie firmy łączy dążenie do perfekcyjnego przerobu masy i za oboma przemawia świetna relacji ceny do usługi.

Skoda była pierwszym projektem, który TECHNICAL i Michenfelder, które poznały się na GIFA 2003 wspólnie skutecznie przeprowadziły. Za dobrą współpracę i prawidłową realizację kontraktu chciałbym w tym miejscu firmie TECHNICAL, szczególnie Panu Rudy, serdecznie podziękować. Podziw mój dotyczy szczególnie mechanicznego i elektrycznego wykonania urządzenia przerobu masy dostarczonego przez TECHNICAL do SKODY.

KONCEPCJA AUTOMATYCZNEGO URZĄDZENIA DO POMIARU WILGOTNOŚCI MAS FORMIERSKICH METODĄ IMPULSOWĄ

J. BARYCKI²
T. MIKULCZYŃSKI²
A. WIATKOWSKI³
R. WIĘCŁAWEK⁴

^{1,3} Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Elementów i Układów Pneumatyki
^{2,4} Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

Zaprezentowano nową, impulsową metodę pomiaru wilgotności mas formierskich. Ocena wilgotności metodą impulsową polega na pomiarze maksymalnej wartości ciśnienia powietrza w komorze powrotnej szybkobieżnego napędu pneumatycznego, które zmienia się podczas dynamicznego prasowania próbki masy formierskiej i odczytanie wilgotności badanej masy z charakterystyki wzorcowej $p_{\max}=f(W)$. Przedstawiono koncepcje automatycznego urządzenia do pomiaru wilgotności mas formierskich metodą impulsową. Prototyp urządzenia wg wybranej wersji został wykonany przez OBR EiUP w Kielcach. Badania wstępne prototypu wykazały, że metoda impulsowa pomiaru wilgotności charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru, która wynosi $\pm 0,2\%$ H₂O.

1. Wstęp.

Problem pomiaru i regulacji podstawowych właściwości technologicznych używanych mas formierskich jest niezmiernie istotny w odlewnictwie. Utrzymanie takich ich właściwości jak: wilgotność, wytrzymałość, przepuszczalność itp. wymaga stosowania odpowiednich metod pomiaru wspomnianych parametrów.

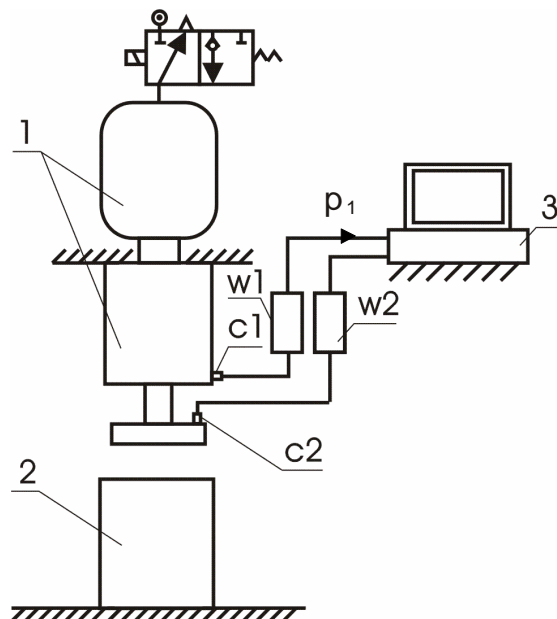
Utrzymanie wilgotności używanej masy formierskiej na zadanym poziomie, w warunkach przemysłowych, może jedynie zapewnić stosowanie do pomiaru i regulacji tej właściwości metod charakteryzujących się bardzo krótkim czasem oraz dużą dokładnością pomiaru.

Znane i stosowane metody pomiaru wilgotności mas formierskich mają wady i ograniczenia [1], [2], dlatego ciągle są poszukiwane nowe metody, które spełniałyby wymagania dotyczące czasu i dokładności pomiaru.

Do nowych metod, charakteryzujących się krótkim czasem oraz dużą dokładnością pomiaru wilgotności, można zaliczyć metodę impulsową [3], opracowaną w Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej.

2. Metoda impulsowa pomiaru wilgotności mas formierskich.

Schemat stanowiska laboratoryjnego do pomiaru wilgotności mas formierskich metodą impulsową zamieszczono na rys.1.



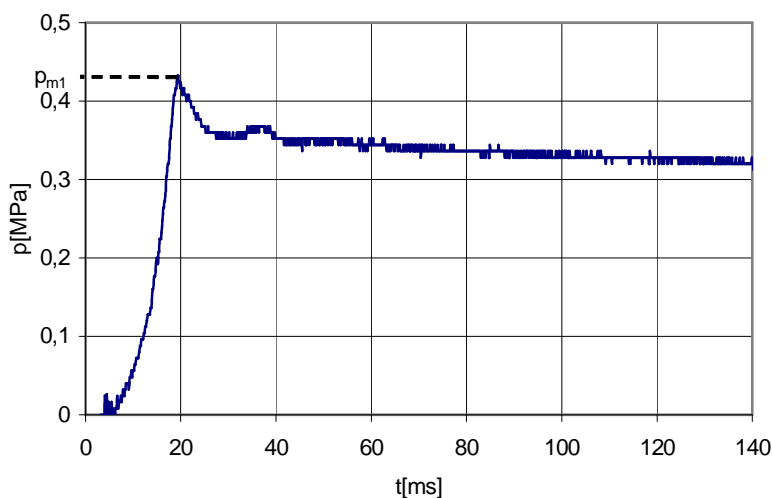
Rys. 1. Schemat układu do pomiaru wilgotności mas formierskich metodą impulsową: głowica do dynamicznego prasowania mas formierskich (1), tuleja pomiarowa $\phi 80 \times 250$ mm (2), układ pomiarowy (3).

Stanowisko jest zbudowane z następujących podstawowych podzespołów:

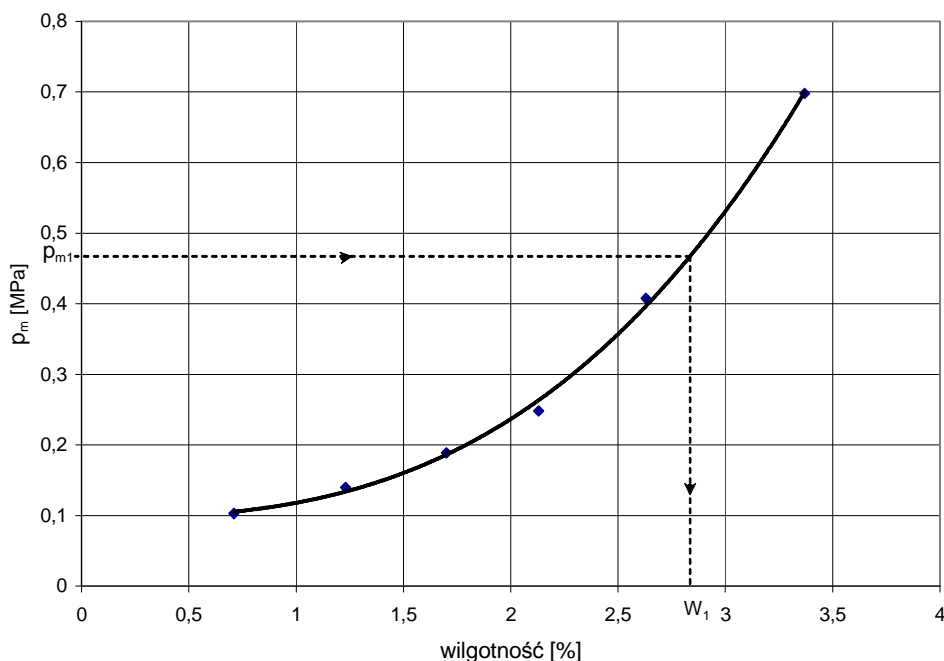
- głowicy (1) do dynamicznego prasowania mas formierskich,
- tulei pomiarowej 80×250 mm (2),
- układu pomiarowego (3).

Układ do pomiaru wilgotności mas formierskich został wyposażony w tory pomiarowe przeznaczone do: pomiaru ciśnienia (C1-W1) w komorze powrotnej szybkobieżnego napędu pneumatycznego głowicy prasującej oraz do pomiaru przyspieszenia (C2-W2) płyty prasującej.

Ocena wilgotności metodą impulsową polega na określeniu maksymalnej wartości ciśnienia w komorze powrotnej napędu głowicy prasującej, zarejestrowanej podczas zagęszczania próbki badanej masy formierskiej (rys. 2) i odczytanie z charakterystyki wzorcowej $p_m = f(W)$ (rys. 3) wilgotności masy.



Rys. 2. Zależność $p=f(t)$ zmian ciśnienia w komorze powrotnej napędu głowicy prasującej w funkcji czasu trwania procesu prasowania badanej próbki masy formierskiej.



Rys. 3. Zależność $p_m=f(W)$ dla masy formierskiej z 6% bentonitu Bentomak.

Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych stwierdzono, że podstawową zaletę metody impulsowej stanowi duża dokładność pomiaru wilgotności mas formierskich. Wykazano, że dokładność pomiaru wilgotności wynosi $\pm 0,2\%$ H₂O w zakresie wilgotności $W \leq 1\%$, natomiast dla wilgotności $W > 1\%$ błąd pomiaru wynosi tylko $\pm 0,14\%$ H₂O.

3. Koncepcja prototypu urządzenia do pomiaru wilgotności.

Zalety opracowanej metody pomiaru wilgotności mas formierskich skłoniły do opracowania prototypu automatycznego urządzenia, przeznaczonego do pomiaru wilgotności metodą impulsową.

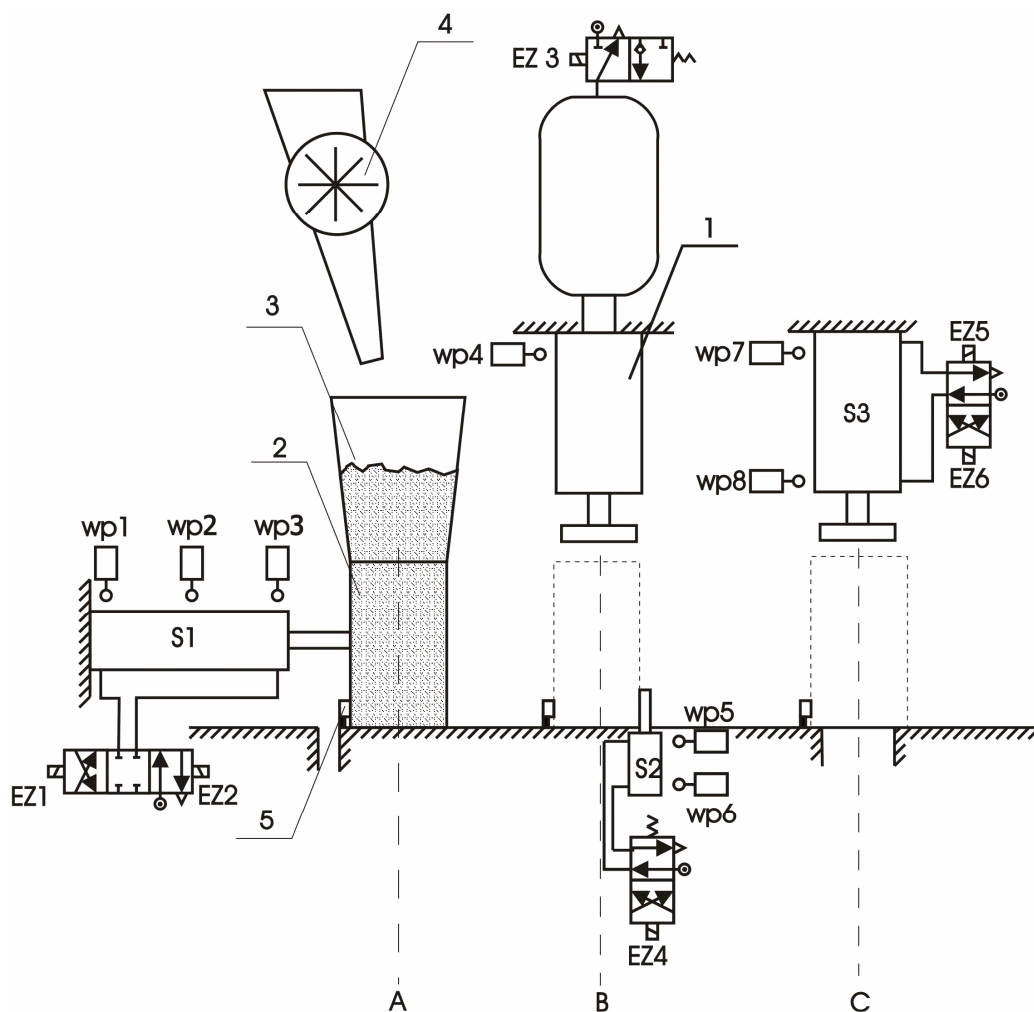
Spośród kilku wersji koncepcji konstrukcji prototypu automatycznego urządzenia szczegółowej analizie zostały poddane dwie wersje, które zilustrowano na rys. 4.

Urządzenie, którego schemat budowy pokazano na rys 4a, jest zbudowane z głowicy do dynamicznego zagęszczania (1), tulei pomiarowej (2), zasobnika (3), spulchniarki (4) oraz siłowników pneumatycznych S1, S2 i S3, z których każdy jest wyposażony we wskaźniki położenia tłoczyska. Zadaniem siłownika S1 jest przemieszczanie tulei pomiarowej do trzech pozycji: dozowania (A), zagęszczania (B) i wybijania (C). Siłownik S2 (blokada) zapewnia odpowiednie położenie tulei pomiarowej w pozycji B, natomiast siłownik S3 ma zastosowanie do wybijania zagęszczonej masy. Zasada pracy urządzenia jest następująca: masa formierska, po spulchnieniu, jest kierowana do zasobnika a stamtąd do tulei pomiarowej. Zadozowana próbka masy formierskiej jest przemieszczana do pozycji B, w której następuje dynamiczne zagęszczanie badanej masy. Po zagęszczeniu próbki masy i zwolnieniu blokady tuleja pomiarowa jest przemieszczana do pozycji C, w której zagęszczona masa jest wybijana z tulei za pomocą siłownika S3. Po powrocie tłoczyska siłownika S3 do pozycji wyjściowej, tuleja pomiarowa jest przemieszczana do położenia początkowego.

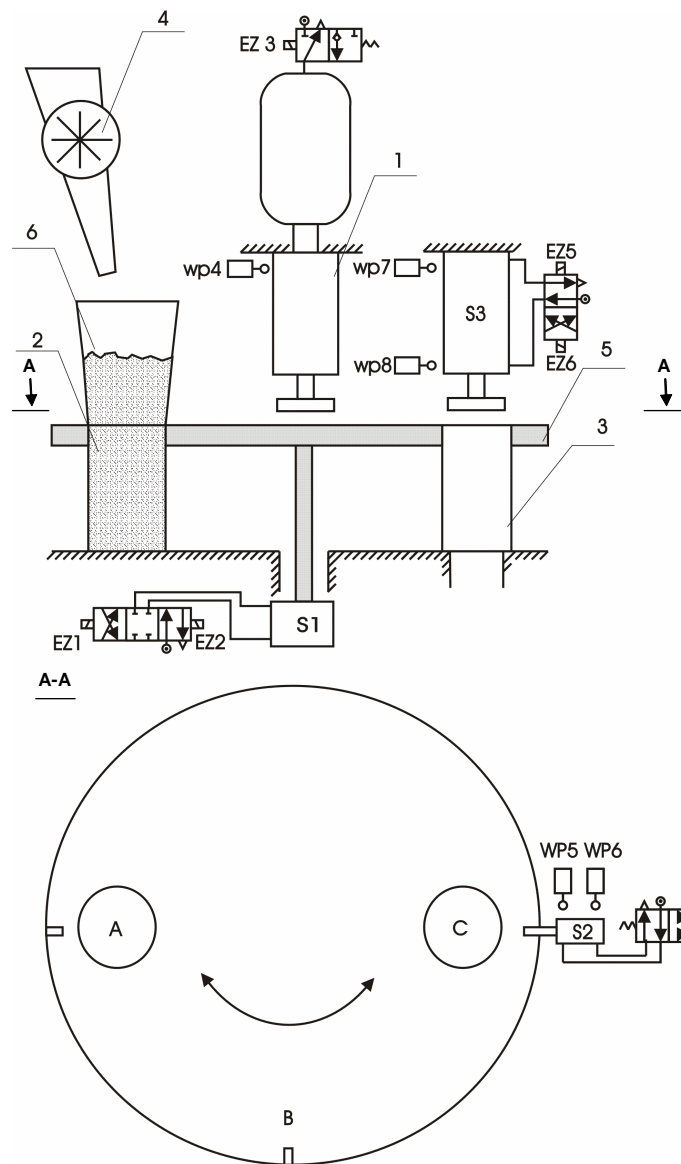
Na rysunku 4b pokazano schemat budowy prototypu urządzenia według II wersji, w skład którego wchodzi: głowica do dynamicznego zagęszczania (1), stół obrotowy (5), tuleje: pomiarowa (2) i pomocnicza (3) związane na stałe ze stołem, zasobnik (6),

spulchniarka (4), siłowniki pneumatyczne: S2 i S3 oraz siłownik S1 o ruchu wahadłowym. Zadaniem siłownika S1 jest obrót stołu, a tym samym przemieszczanie tulei pomiarowej i pomocniczej do kolejnych położeń. Siłownik S2 zapewnia odpowiednie położenie stołu w pozycji A, B i C, natomiast siłownik S3 ma zastosowanie do wybijania zagęszczonej masy. Zasada pracy urządzenia jest następująca: po zadozowaniu masy, następuje obrót stołu o 90° , a tym samym przemieszczenie tulei pomiarowej do pozycji B. Po zagęszczeniu masy i wsunięciu tłoczysk głowicy prasującej i blokady, następuje obrót stołu o następne 90° , co powoduje ustawienie tulei pomiarowej w pozycji C. W tej pozycji zagęszczona masa jest wybijana z tulei pomiarowej za pomocą siłownika S3, natomiast resztki masy z zasobnika opadają do tulei pomocniczej. Po wsunięciu tłoczyska siłownika S3, następuje obrót stołu o 180° , do pozycji wyjściowej A, w której następuje opróżnienie tulei pomocniczej z resztek masy.

a)



b)



Rys. 4. Schemat prototypu automatycznego urządzenia do pomiaru wilgotności mas formierskich: wersja I (a), wersja II (b).

Po szczegółowej analizie do praktycznej realizacji skierowano prototyp urządzenia skonstruowany wg wersji I. Prototyp został wykonany przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Elementów i Układów Pneumatyki w Kielcach.

4. Badania wstępne prototypu urządzenia do pomiaru wilgotności mas formierskich.

Badania prototypowego urządzenia zrealizowano z użyciem masy przymodelowej stosowanej w Wydziale Odlewni Dolnośląskich Zakładów Mechanicznych ZANAM-LEGMET. Badana masa miała następujący skład:

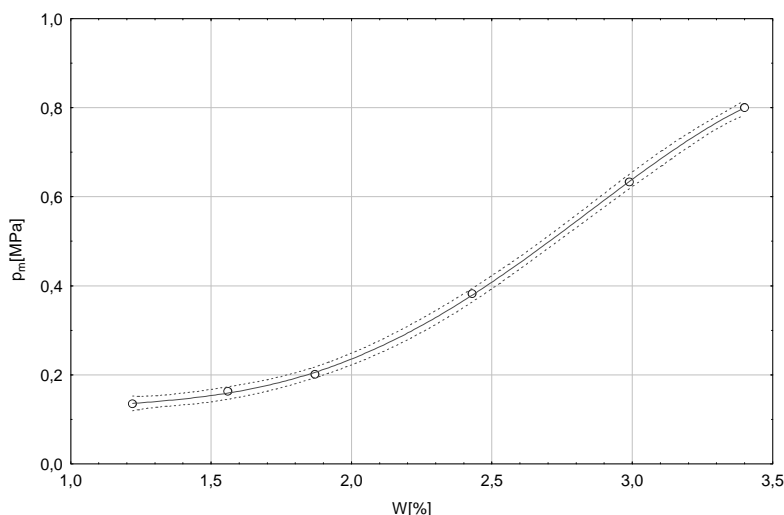
- piasek kwarcowy-90,1%,
- bentonit-6,5%,
- nośnik węgla -3,4%,

- woda- 1,2÷3,4%.

Zależność $p_m=f(W)$ dla badanej masy formierskiej zamieszczono na rys. 5. Prezentowaną zależność można aproksymować wielomianem

$$p_m = 2,711 + 0,082 \times W + 9,406 \times W^2 - 8,743 \times W^3 + 0,464 \times W^4 \quad (1)$$

który obowiązuje w zakresie wilgotności $W = 1,2 \div 3,4\%$.



Rys. 5. zależność $p_m=f(W)$ dla masy przymodelowej z Wydziału Odlewni ZANAM-LEGMET.

Na rysunku 5 zilustrowano także granice przedziałów ufności, określone na poziomie ufności 95%, wyznaczone przy pomocy programu Statistica. Graniczny błąd pomiaru wilgotności wynosi $\pm 0,2\%$ H₂O.

5. Zakończenie.

Zalety metody impulsowej, takie jak krótki czas i duża dokładność pomiaru, uzasadniają podjęte próby automatyzacji pomiaru tą metodą. Spośród wielu koncepcji konstrukcji prototypu automatycznego urządzenia, do realizacji wybrano wersję, która charakteryzuje się prostą i zwartą konstrukcją. W trakcie eksploatacji opracowane urządzenie wykazało się niezawodnością i pewnością wyników pomiaru. Uzyskane rezultaty badań świadczą o tym, że urządzenie to może być stosowane z powodzeniem do pomiarów wilgotności mas formierskich w warunkach przemysłowych.

6. Literatura.

- [1] Lewandowski L., Przygotowanie form odlewniczych: masy formierskie i rdzeniowe, WNT Warszawa, 1983.
- [2] Lewandowski L., Masy formierskie i rdzeniowe, WNT Warszawa, 1991.
- [3] Mikulczyński T., Samsonowicz Z., Więclawek R., Nowa metoda pomiaru wilgotności mas formierskich, Arch. Odlew. 2002, R. 2, nr 5,

NOWE SPOIWA TYPU PENTEX

Stanisław Bieda¹

Hüttenes Albertus

1. Wstęp.

Dotychczas stosowane żywice samoutwardzalne fenolowe, furanowe, alkidowe, resole alkaiczne (alfa set) obok niewątpliwych zalet posiadały małą produktywność wynikającą z długiego czasu utwardzania. Pentex to spoiwo, które przy zachowaniu wysokiej jakości odlewów posiada niespotykaną w innych systemach szybkość utwardzania. Czas utwardzania waha się od 2 min do 2 godz. w zależności od wielkości rdzenia lub formy, a także od wyposażenia odlewni. Te najkrótsze czasy stosowane są w zmechanizowanych liniach formierskich.

2. Charakterystyka spoiwa Pentex.

Spoiwo poliuretanowe typu Pentex składa się z trzech płynnych składników:

- P1: żywicy fenolowej typu nowolak w rozpuszczalnikach

Postać	płynna, klarowna, żółtopomarańczowa
Gęstość	1,10 - 1,15 g/cm ³
Lepkość	120 - 210 Pa.s
Punkt zapłonu	>100°C
Udział monomerów	2,5 - 7 % (fenol + formaldehyd)

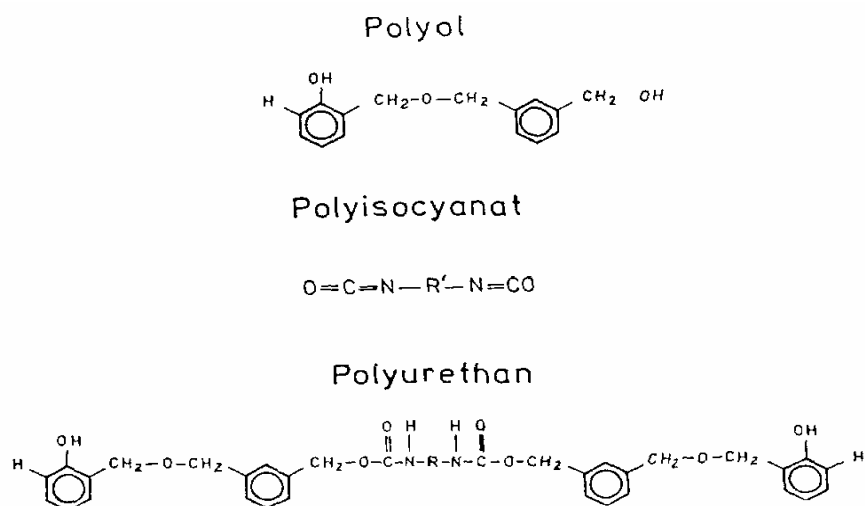
- P2: aktywatora - difenylmetandiizocyjanianu , rozpuszczonego w organicznych rozpuszczalnikach

Postać	płynna, klarowna, ciemnobrązowa
Gęstość	1,15 - 1,2 g/cm ³
Lepkość	20 - 100 Pa.s
Punkt zapłonu	> 93 °C

- P3: katalizatora – (zmodyfikowane związki pirydyny)

Postać	płynna, jasnożółta
Gęstość	1,02 g/cm ³
Lepkość	20 Pa.s

Żywica fenolowa jest utwardzana za pomocą aktywatora, katalizator przyspiesza reakcję umożliwiając uzyskanie dokładnie oczekiwanego czasu utwardzania. Woda tworzy z poliizocyjanianem pochodną mocznika charakteryzującą się niską stabilnością termiczną, rozpada się łatwo z wydzieleniem azotu i wody (Rys.1.). Trzeba chronić aktywator (poliizocjanian) przed wilgocią przez zastosowanie filtrów absorbujących wodę na odpowietrzeniach, a także stosować piasek o najmniejszej możliwie wilgotności.



Rys.1. Przebieg utwardzania w procesie Pentex.

3. Zalety:

- spoiwo nie zawiera N₂, P, S,
- wysoka wytrzymałość ,
- duża plastyczność rdzenia (formy),
- duża płynność masy (mała zawartość spoiwa) ,
- niski koszt rdzenia ,
- krótkie czasy utwardzania i możliwość ich regulacji z dokładnością do 1min.,
- możliwość regeneracji mechanicznej,
- możliwość długiego magazynowania rdzenia,
- możliwość stosowania powłok na bazie alkoholu i wody.

4. Zastosowanie.

Spoivo poliuretanowe typu Pentex stosuje się do wykonywania utwardzanych chemicznie form i rdzeni dla odlewów z żeliwa szarego, sferoidalnego, stopów metali nieżelaznych. Dzięki temu, że spoiwo to nie zawiera azotu, oraz jest plastyczne w czasie skurczu odlewniczego doskonale nadaje się do odlewania staliwa. W przypadku metali nieżelaznych lekkich stosuje się specjalne kombinacje żywicy z aktywatorem, które przy niskich temperaturach zalewania zapewniają dostateczną wybijalność.

5. Dozowanie.

Do wykonywania form rdzeni w technologii Pentex można stosować praktycznie wszystkie rodzaje piasków (Tabela 1), w celu wyeliminowania wpływu pH na szybkość wiązania i żywotność masy opracowano specjalny system Pentex oliwin (Wykres nr.4,5).

Przykładowe receptury dla różnych piasków przedstawia Tab.1. Dla piasku oliwinowego zastosowano standardową żywicę Pentex 34174 z dodatkiem boraksu, dlatego konieczny jest jej większy udział aby zachować taką samą wytrzymałość jak przy innych osnowach.

Tabela 1.

PIASEK	KWARCOWY	CHROMITOWY	OLIWINOWY
	SiO₂	FeO-CR₂O₃	MgO-SiO₂-FeO
	PH7	PH8	PH10

DODATKI	Fe₃O₄	3%	-----	-----
	Fe₂O₃	----	-----	2%
	B(OH)₃	----	-----	0,22%

PENTEX	Żywica	0,45%-0,6%	0,3%-0,4%	0,85%-0,95%
	Aktywator	0,38%-0,55%	0,28%-0,55%	0,8%-0,9%
	Katalizator	3%-7% *	2%-4%	3%-5%

* w stosunku do żywicy

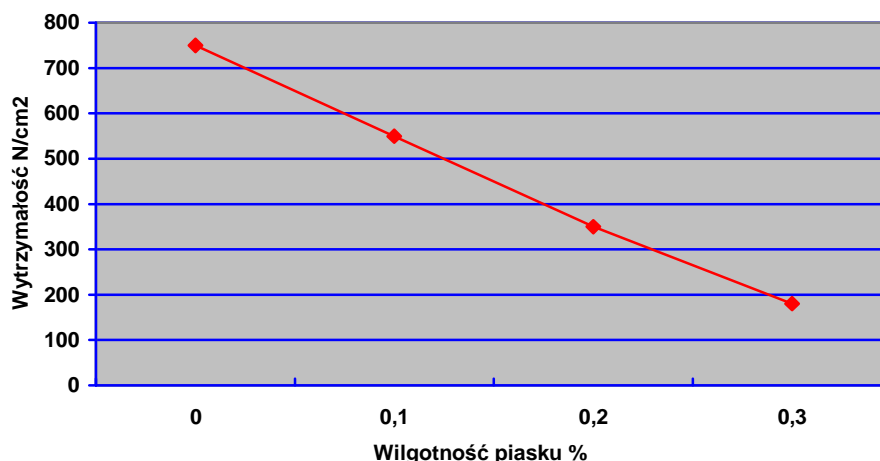
6. Temperatura piasku.

Optymalna temperatura piasku:	- 20 - 25 °C
W praktyce w zależności od pory roku	- 5 - 40 °C
Temperatura powyżej 25 °C	- zmniejszenie żywotności, masy - spadek wytrzymałości spowodowany parowaniem rozpuszczalnika
Temperatura poniżej 10 °C	- pogarsza się zdolność dobrego wymieszania - wydłużenie czasu sporządzenia masy - wzrost zużycia katalizatora - wydłuża się czas utwardzania

UWAGA: Przy wzroście temperatury o 10°C podwaja się szybkość reakcji.

7. Wilgotność piasku.

Optymalna	< 0,05 %
W praktyce	do 0,1 %
<i>Woda reaguje gwałtownie z poliizocyanianem (część 2)</i>	
Następstwa :	-zmniejszenie płynności i zagęszczenia -zmniejszenie wytrzymałości (wykres.1.) -powstanie polimocznika zamiast poliuretanu -pogarsza jakość rdzeni w czasie przechowywania



Wykres.1. PENTEX- Wpływ wilgotności na wytrzymałość (Żywica - 0,6 %, Aktywator -0,6%,Katalizator 3606 - 4%).

8. Zanieczyszczenia.

Wszystkie zanieczyszczenia jak glina, bentonit, wapno, cement, tlenki metali (tlenek żelaza tlenek aluminium inne), resztki spoiw z innych procesów np. resztki szkła wodnego

- zmniejszają żywotność masy rdzeniowej
- zwiększają udział spoiwa.

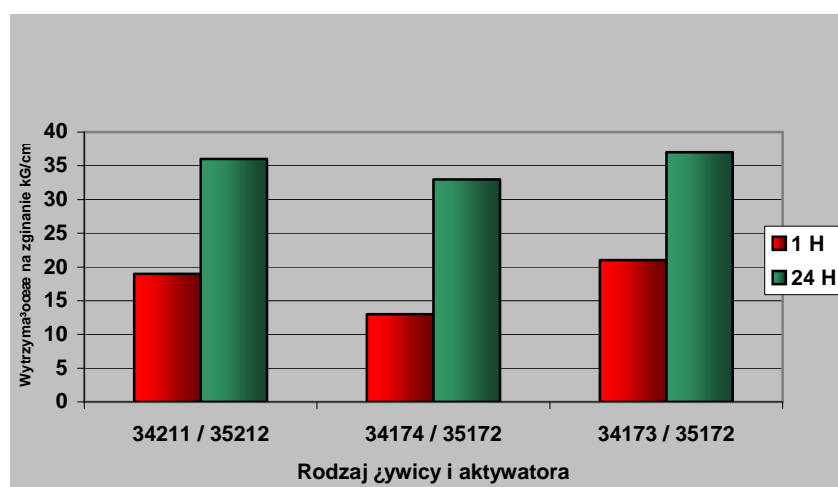
9. Własności wytrzymałościowe Pentex-piasek kwarcowy.

Na wykresach 2-4 przedstawiono wytrzymałość na zginanie trzech podstawowych układów spoiw Pentex:

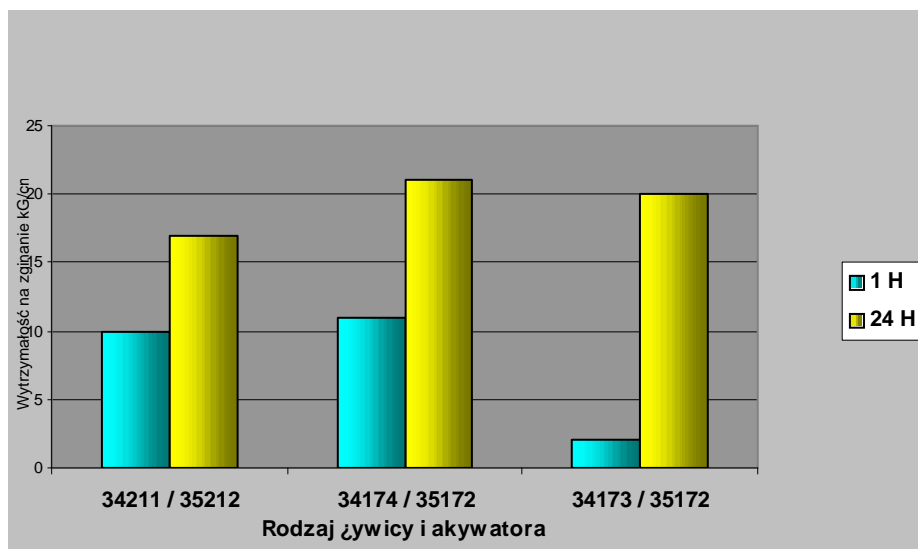
- szybki (żywica Pentex 3421 i aktywator Pentex 35212),
- normalny (żywica Pentex (żywica Pentex 34174 i aktywator Pentex 35172,
- wolny (żywica Pentex 34173 i aktywator Pentex 35172).

Wytrzymałość może być regulowana przez:

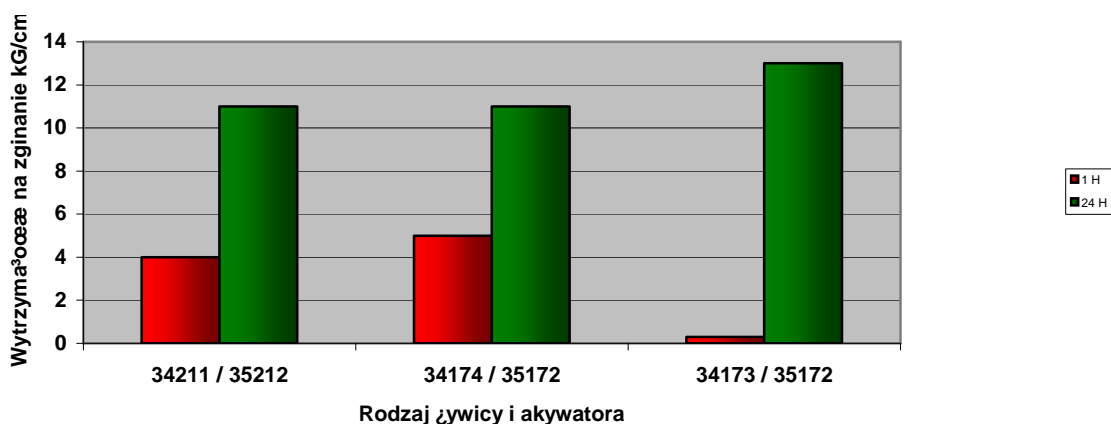
- różny dodatek żywic,
- kombinację różnych żywic i aktywatorów.



Wykres.2. PENTEX- Wytrzymałość na zginanie (Żywica - 0,6 %, Aktywator -0,6%, Katalizator 3606 - 4%).



Wykres.3. Pentex-Wytrzymałość na zginanie (Żywica - 0,42%, Aktivator - 0,38%, Katalizator 36006 - 4 %).

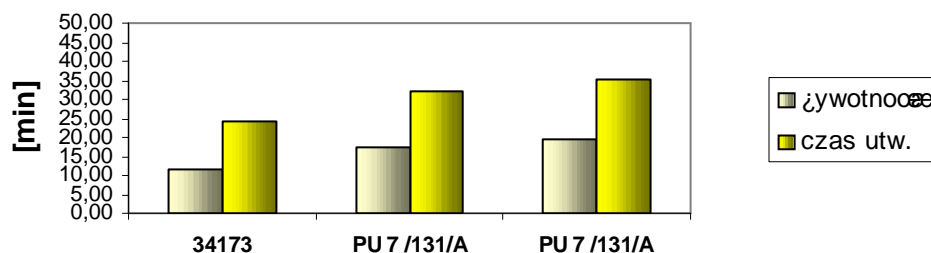


Wykres.4. PENTEX - Wytrzymałość na zginanie (Żywica - 0,25%,Aktywator - 0,25%, Katalizator 36006 - 4 %).

10. Własności wytrzymałościowe Pentex-piasek oliwinowy.

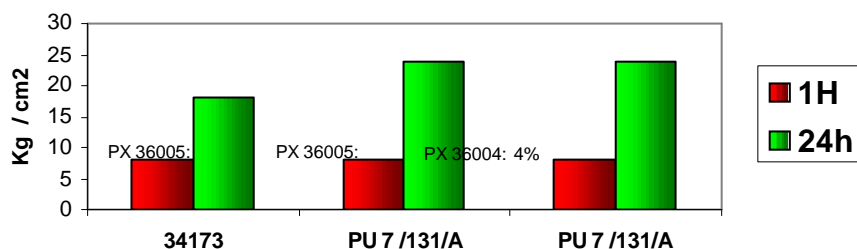
W celu poprawy własności wytrzymałościowych i żywotności masy Hüttenes Albertus opracował żywicę **Pentex Pu7/131/A**. Pozwala ona na produkcję dużych form i rdzeni bez dodatku boraksu. Żywotność, czas utwardzania i wytrzymałość dla piasków oliwinowych pokazuje wykres 4-5.

Pentex ŻYWICA : 0,88% PX 35172 : 0,82%
PISAEK OLIWINOWY



Wykres.5. PENTEX – Żywność i czas utwardzania (Żywica - 0,88%,
Aktywator - 0,82%, Katalizator - 4%).

Pentex ŻYWICA : 0,88% PX 35172 :
0,82%
PISAEK OLIWINOWY



Wykres.6. PENTEX – Wytrzymałość na zginanie (Żywica - 0,88%,
Aktywator - 0,82%, Katalizator - 4%).

11. Żywność i czas utwardzania.

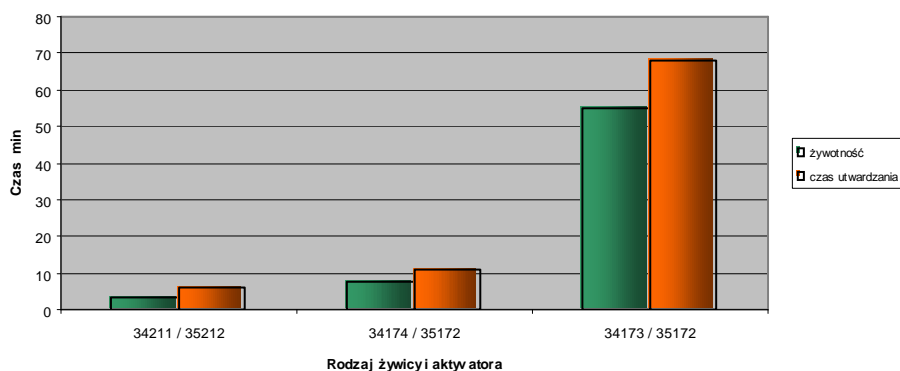
System Pentex pozwala na bardzo elastyczną regulację czasu utwardzania i żywotności.

Można je regulować przez:

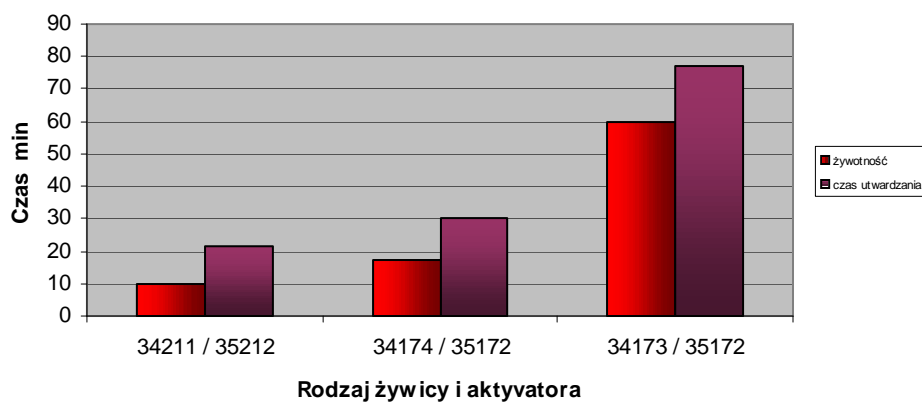
- różny udział katalizatora P3 stosowanie różnych katalizatorów od 36009 - najszybszy

do 36001 – najwolniejszy

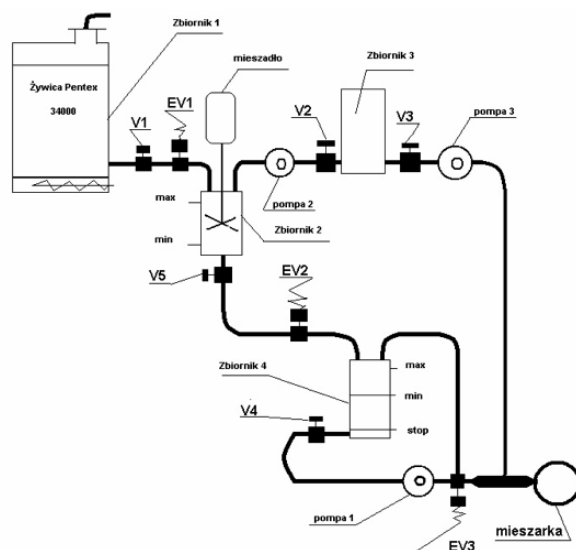
- kombinacje różnych żywic i aktywatorów (Wykres 6-7)



Wykres 7. PENTEX-żywność i czas utwardzania (Żywica - 0,6%, Aktywator - 0,6%, Katalizator 36006 - 4%).



Wykres. 8. PENTEX-żywność i czas utwardzania (Żywica - 0,42%, Aktywator - 0,38%, Katalizator 36006 - 4%).



Rys.2. System dozowania żywicy z tzw baj-pasem.

12. Mieszarki.

Do wykonywania masy z żywicami Pentex stosuje się:

- mieszarki okresowe skrzydełkowe (tylko do spoiw Pentex o długim czasie utwardzania i żywotności)
- mieszarko - nasypywarki z dwoma pompami dozującymi i zbiornikiem dziennym na mieszaninę żywicy P1 i katalizatora P3. Jedna pompa podaje aktywator P2, druga mieszaninę (P1+P3). (wymaga dokładnego planowania produkcji, ilość wymieszanej żywicy powinna być dokładnie taka jak planowane zużycie, pozostała mieszanina z każdym dniem przechowywania zwiększa prędkość utwardzania)
- mieszarko - nasypywarki z trzema pompami dozującymi (układ najczęściej stosowany)
- system z tzw. bajpasem **Rys 2**.

Składa się on z następujących elementów:

- ✚ Podgrzewanego **zbiornika 1** w którym żywica utrzymywana jest w temp. ok. 20°C.
- ✚ **Zbiornika 2** w którym miesza jest żywica z katalizatorem dostarczanym przez pompę 3 ze **zbiornika 3**. W pierwszej kolejności do zbiornika 2 dostarczana jest żywica przez zawór EV1 aż do osiągnięcia poziomu max, potem dozowany jest katalizator w ilości 1 – 3 % w stosunku do żywicy.
- ✚ **Zbiornika 4**, który jest wypełniany za pomocą czujników poziomu ze zbiornika 2. Z niego mieszanina jest dozowana za pomocą pompy 1 do mieszarki. W momencie spadku temperatury masy dozowana jest dodatkowa porcja katalizatora przez pompę 3. Ilość dodatkowego katalizatora zależy od spadku temperatury.

13. Wnioski.

Hüttenes Albertus nie ograniczył się do opracowania jednego spoiwa typu Pentex, lecz stworzył cały system wiązania Pentex składający się kilku różnych żywic, aktywatorów i katalizatorów. System ten pozwala na osiągnięcie dokładnie oczekiwanych czasów utwardzania, żywotności i wytrzymałości. Zastosowanie rozpuszczalników roślinnych w miejsce węglowodorów aromatycznych spowodowało znaczące zmniejszenie emisji szkodliwych substancji typu Toluen, Benzen, Xylen. Zastosowanie spoiw Pentex prowadzi do zwiększenia wydajności na rdzeniarni i formiarni, a co za tym idzie obniża cenę odlewu i poprawia konkurencyjność odlewni.

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE DLA FORM I RDZENI STOSOWANE W ODLEWNIACH CZESKICH

Alois BURIAN¹
Jiří NOVOTNÝ²

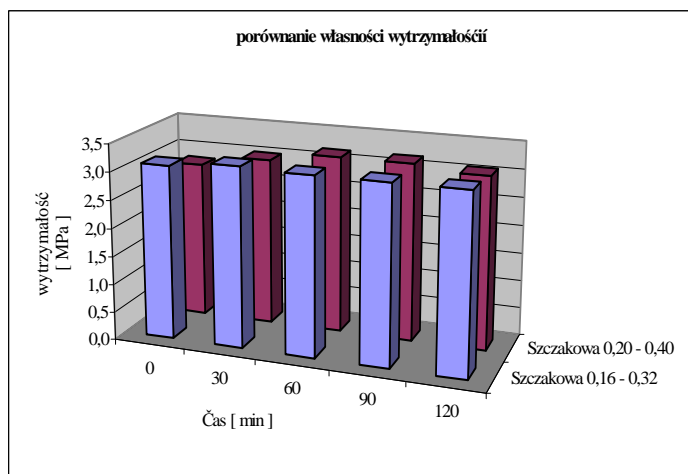
SAND TEAM, spol.s r.o. , Brno, Česká republika

W naszym referacie chcemy się podzielić niektórymi doświadczeniami z odlewni czeskich związanymi ze stosowaniem i wprowadzaniem niektórych technologii produkcji form i rdzeni. Odlewnie czeskie, chcąc być konkurencyjne, powinny dostarczać odlewy dobrej jakości po niskich cenach. Nie jest to możliwe bez nowoczesnych technologii i bez nowoczesnego wyposażenia maszynowego. Dlatego w odlewniach czeskich rozpowszechniają się niektóre technologie, które to umożliwiają.

1. Technologie produkcji rdzeni.

W produkcji rdzeni dynamicznie rozwija się technologia Cold Box. W Republice czeskiej jest około 220 odlewni (z tymi najmniejszymi). W tej chwili jest 42 odlewni, które posiadają własne maszyny do produkcji Cold Box rdzeni i następnych około 10 odlewni, którzy stosują Cold box rdzeni od dostawców (outsourcing). To znaczy, że większość wspomnianych odlewni tę technologie stosuje.

Największymi zaletami rdzeni Cold Box są bardzo dobre jakościowo rdzenie i dobrej jakości powierzchnie odlewu. Wytrzymałość jest wysoka również przy niskim dozowaniu spoiw. Piaski polskie są bardzo odpowiednie dla tej technologii.



Możliwe jest produkowanie bardzo skomplikowanych rdzeni o cienkich przekrojach. Jakość i wytrzymałość ich jest wysoka. Tą technologią produkuje się rdzenie piaskowe o najwyższej jakości.

¹ Ing; sandteam@sandteam.cz

² Ing; sandteam@sandteam.cz



2. System spoiwowy.

W Republice czeskiej nie ma krajowego producenta systemu spoiwowego. Firma nasza dostarcza system spoiwowy firmy Borden. System spoiwowy ma dwa składniki spoiwowe i katalizator aminowy. W Republice czeskiej przeważnie stosuje się dimethylisopropylamin.

3. Wyposażenie maszynowe.



Strzelarki są zakryte (z osłonami) i odsysane (pyły są wyciągane) i zapewniają bezproblemowe działanie.

W Republice czeskiej jest wielki szereg maszyn repasowanych (po remoncie generalnym), przygotowanych do technologii Cold Box.

Firma nasza zapewnia dostawy nowych maszyn oraz przygotowanie starszych maszyn.



Po bezproblemowym działaniu technologii Cold Box dostarczamy płuczki aminu, która zapewni odpowiednie warunki w rdzeniarni oraz w okolicach odlewni.

4. Dostawy rdzeni kompletnych (gotowych, wyprodukowanych) dla odlewni.

Nasza firma dostarcza wielu odlewniom gotowe rdzenie, które są produkowane w naszej rdzeniarni technologią Cold Box.. Dostarczamy rdzenie też poza granice Republiki Czeskiej.

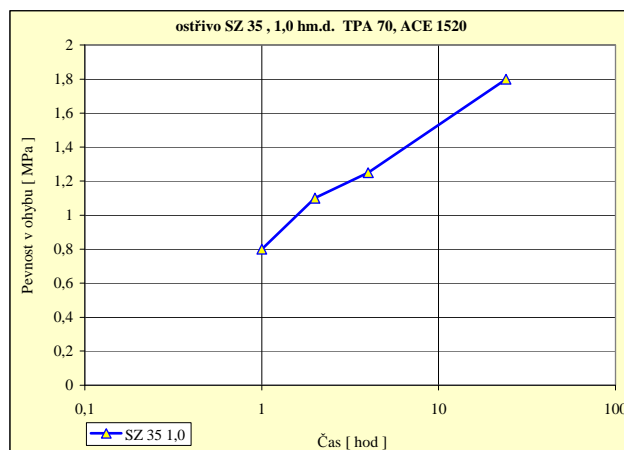


5. Produkcja form i rdzeni do mas samoutwardzanych.

W produkcji form i wielkich rdzeni są stosowane masy samoutwardzane. W zasadzie są stosowane masy z spoiwem organicznym i nieorganicznym.

6. Technologie Alphaset.

Samoutwardzane masy z spoiwem organicznym są utwardzane kwaśno (żywice furanowe) albo utwardzane alkalicznie. Technologie Alphaset stosuje firma angielska Borden.



System spoiwowy zestawia się z żywicą alkaliczną i z utwardzaczem typu esterowego. Żywica nazywa się TPA 70, utwardzacze w szeregu od ACE 1501 (czas utwardzania 1 min.), do ACE 1575 (czas utwardzania 75 min.). Korzystne właściwości osiągane są z piaskami polskimi.

W porównaniu z systemem kwaśno utwardzonym technologia ta ma szereg zalet:

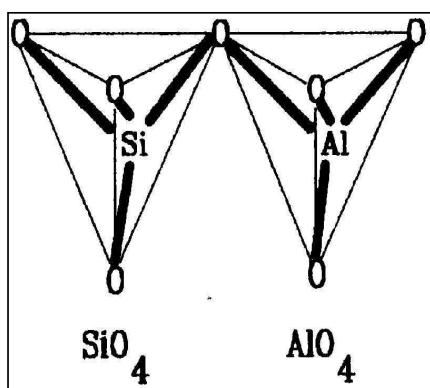
- Dobre właściwości higieniczne i ekologiczne,
- Odporność na wady, szczególnie na żyłki i pęknięcia,
- Mniejszy wpływ temperatury i wilgotności na przebieg utwardzania,
- Gładza powierzchnia odlewów,
- Reakcja utwardzania ma czas inkubacyjny,
- System nie obejmuje S, P, N,
- Umożliwia ograniczyć stosowanie chromitu.

Te zalety okazują się szczególnie ważne przy produkcji odlewów stalowych. System spoiwowy można stosować dla drobnych odlewów jak również dla odlewów bardzo ciężkich.

W tej chwili system spoiwowy jest tak przygotowany, że jest możliwa dobra regeneracja masy metodą suchą i jest możliwe stosowanie do masy świeżej od 70 % do 100 % regeneratu.

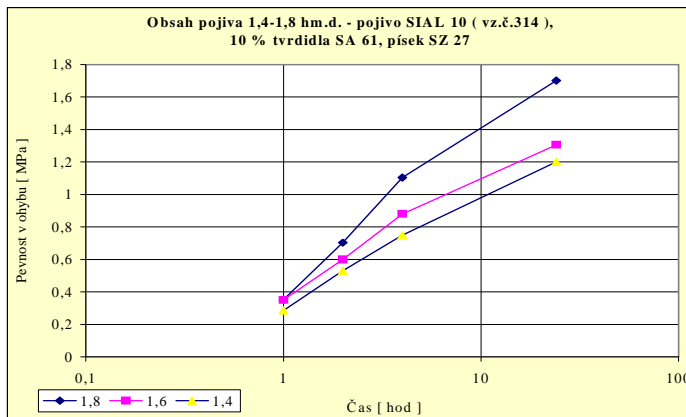
7. Samoutwardzane masy z nowym spoiwem nieorganicznym

W Republice czeskiej są stosowane w wielu odlewni masy samoutwardzane ze szkłem wodnym utwardzane esterami ciekłymi. W całej Europie istnieje w tej chwili tendencja wracania do nieorganicznego systemu spoiwowego z punktu widzenia ekologii.

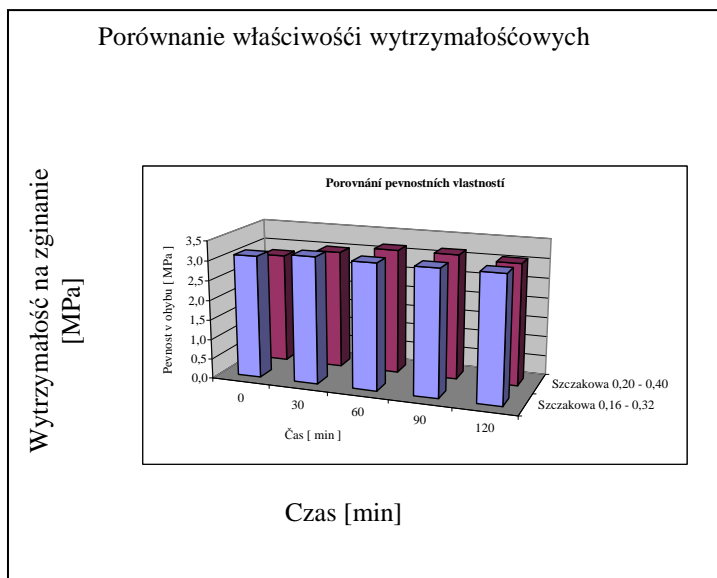


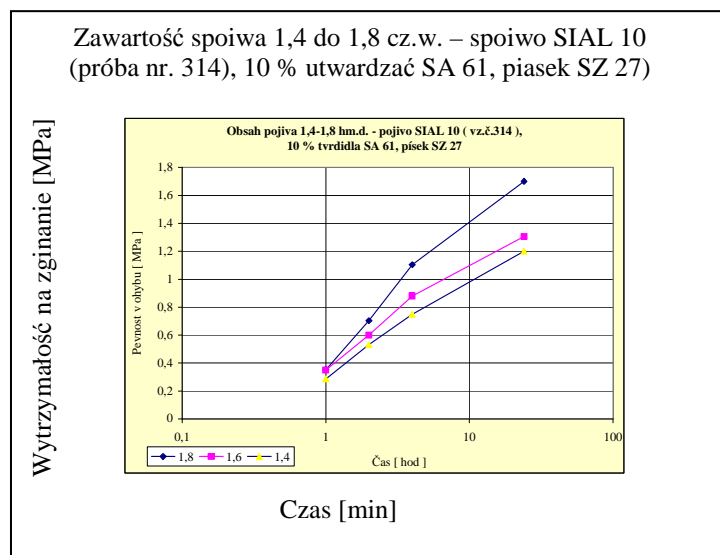
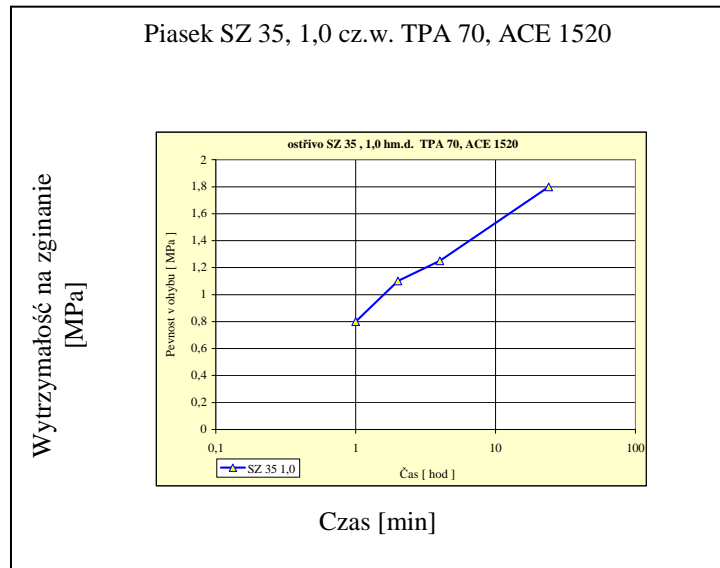
Obecnie w Republice czeskiej jest wprowadzany nowy nieorganiczny system spoiwowy, który wykorzystuje geopolimerne spoiwo nieorganiczne- spoiwo SIAL. Chodzi o nieorganiczny polymer na zasadzie krzemu Si i aluminium Al, oznaczany jako polysialat.

Polysiaty są złożone z łańcuchu tetraedru SiO₄ i AlO₄ w różnym stosunku molarnym. Według zawartości Al zmieniają się właściwości. Dla odlewnictwa są stosowane geopolimery z wysokim stosunkiem molarnym SiO₄/AlO₄.



Spoiwo geopolimerne ma wysoką zdolność spoiwową. Do produkcji rdzeni i dla masy przymodelowej możliwe jest dozowanie 1,8 części wagowych spoiwa w celu uzyskania żądanych wytrzymałości. Wybitalność mas po zalewaniu jest wyraźne (bardzo) lepsza niż przy systemach nieorganicznych ze szkłem wodnym.





POMIAR I REGULACJA WILGOTNOŚCI MASY FORMIERSKIEJ

Aleksander FEDORYSZYN¹
Waldemar BOJANOWSKI²
Łucja ADAMOWICZ³

1. Wprowadzenie.

Automatyczna regulacja wilgotności masy formierskiej jest przeprowadzana przy użyciu wielu systemów, których działanie wynika z różnych zasad pomiarów. Są to metody automatycznej regulacji wilgotności w oparciu o pomiary: stratności (przenikalności dielektrycznej), przewodności właściwej, prędkości impulsów ultradźwiękowych, gęstości pozornej, wskaźników formowalności, zagęszczalności oraz metody zaliczane do metod elektrojadrowych [1,2,5]. W odlewnictwie są najczęściej stosowane urządzenia wykorzystujące zasadę pomiaru stratności dielektrycznej. W metodzie tej czujnikami pomiarowymi są kondensatory o specjalnej konstrukcji [2].

W P.P.P. TECHNICAL podjęto prace nad opracowaniem dokumentacji własnego, firmowego układu w oparciu o zespoły, podzespoły i elementy oferowane w kraju. W oparciu o sporządzoną dokumentację wykonano układ prototypowy RWM –1 [4].

Badania eksploatacyjne prototypowego układu automatycznej regulacji przeprowadzono w Odlewni HEYE - Fabryki Form Szklarskich.

2. Warunki pracy układu regulacji wilgotności masy RWM.

W odlewni FFS HEYE do wytwarzania form odlewniczych jest stosowana masa formierska, syntetyczna z bentonitem, podawanym w mieszance Ecosil. Masa ta jest odświeżana podczas sporządzania w mieszarce wirnikowej stacji sporządzania mas.

Stacja sporządzania masy formierskiej SPM – 16 A została wyposażona w mieszarkę wirnikową, turbinową MTP-500 wraz z układem ważącym oraz układem do pomiaru i regulacji wilgotności masy. Masa obiegowa wraz z piaskiem świeżym jest podawana podajnikiem wibracyjny, natomiast dodatki są podawane podajnikami śrubowymi.

Masa formierska, po oddzieleniu od odlewów przy użyciu kraty WKMS – 2,5, jest transportowana na stację sporządzania przenośnikami taśmowymi o $B = 600$ mm. Zanieczyszczenia metalowe są oddzielane przy użyciu oddzielaczy POET 600 i POEB 600.

Odświeżona masa zasila linię wytwarzania odlewów wyposażoną w 4 formierki FKT -65 A do wytwarzania form w skrzynkach o wymiarach $400 \times 500 \times 100/150$ mm. Formy są składane na przenośnikach wózkowych tworzących dwie linie pionowo zamknięte. Ilość masy w formie wynosi średnio $65 \div 85$ kg, a ilość metalu w formie $25 \div 50$ kg. Składy masy formierskiej odświeżonej przedstawiono w tabeli 1.

Założona wilgotność masy formierskiej wynosi $3,5 \div 4,5$ %, a czas mieszania 120 s.

Schemat stacji sporządzania (odświeżania) masy formierskiej z bentonitem, zainstalowanej w odlewni F.F.S. HEYE, przedstawiono na rysunku 1 z podaniem lokalizacji sygnalizacji stanu danego urządzenia. Charakterystykę techniczną urządzeń stacji podano w tabeli 2.

Dozowanie masy używanej oraz składników odświeżających odbywa się przy użyciu dwóch niezależnych dozowników o różnej konstrukcji, pojemności oraz dokładności ważenia.

¹ dr hab. inż., prof. nadzw. alfa@uci.agh.edu.pl

² mgr inż. w.bojanowski@technical.com.pl

³ mgr inż. ffs@heye.com.pl

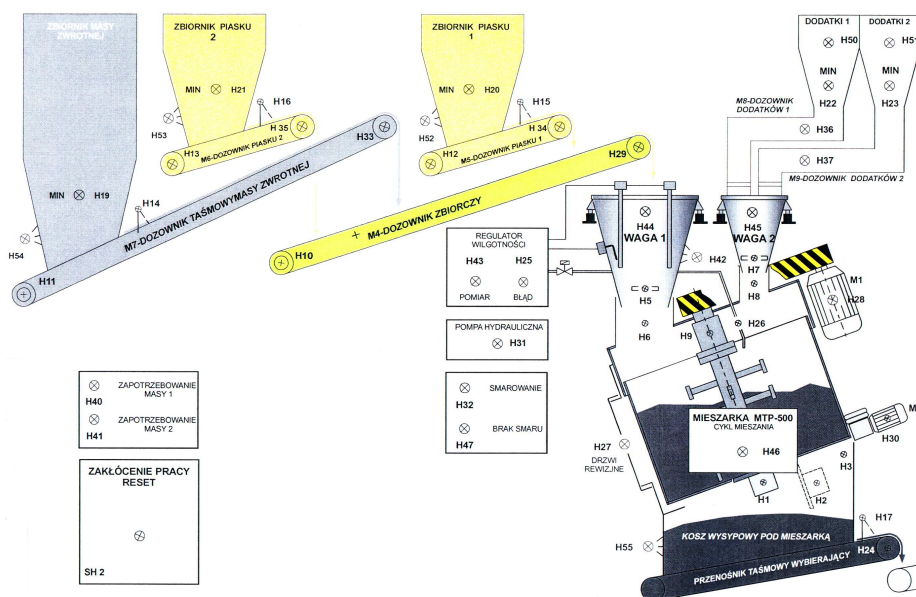
Cykl odświeżania rozpoczyna dozowanie masy zwrotnej oraz świeżego, wilgotnego piasku do zbiornika wagi WTM-500. Dodatki odświeżające, bentonit oraz pył węglowy (lub inny nośnik węgla błyszczącego), są podawane do wagi typu EWD-50A (rys.1.)

Zbiorniki dozowników są podwieszane do konstrukcji nośnej za pomocą przetworników tensometrycznych. Przetworniki, tworząc rezystancyjny mostek pomiarowy, są podłączone do elektronicznego miernika wagowego. Miernik ten przetwarza analogowy sygnał pochodzący z mostka tensometrycznego na sygnał cyfrowy. Sygnał jest transmitowany do sterownika nadzorującego pracę całej stacji przerobu masy, gdzie jest poddawany odpowiedniej obróbce. Dokładność ważenia, wynoszącą 1% zapewnia nie tylko stosowanie precyzyjnych urządzeń ważących, ale również odpowiednie podawanie składników do wagi. Stosowane są w podajnikach napędy dwubiegowe; wstępne dozowanie odbywa się z większym natężeniem, a dokładne, do wartości zadanej, odbywa się strumieniem o natężeniu dwukrotnie mniejszym.

Tabela 1.

Skład masy odświeżonej; zestawienie ilości składników przy załadunku porcji 500 kg.

Składnik	Stopień odświeżania					
	10 %		7 %		5 %	
	I	II	IV	V	VI	VII
Masa używana, obiegowa; kg	450	450	465	465	475	475
Piasek kwarcowy Krzeszówek 0,20/0,16/0,10; kg	45	46	31	32	22	23
Ecosil 03s78; kg	5	4	6,5	5,5	3	2



Rys.1. Schemat wyposażenia stacji sporządzania masy SPM-16 A [4].

Tabela 2

Charakterystyka urządzeń stacji sporządzania (odświeżania) masy formierskiej.

I. Mieszarka wirnikowa MTP-500 <ul style="list-style-type: none"> - jednorazowy załadunek - wydajność - czas cyklu - czas wyładunku masy - moc zainstalowana - max ciśnienie oleju - zużycie wody max - masa mieszarki 	500 kg 15 ÷ 18 t/h (w zależności od czasu cyklu) regulowany 90-120 s 15 s 59 kW 10 MPa 1 m ³ /h 600 kg
II. Podajnik wibracyjny PR 400/4500-2SW <ul style="list-style-type: none"> - zasilanie - ilość silników wibracyjnych - moc nominalna - częstotliwość robocza zespołu napędowego - skok drgań - wydajność 	3 × 380V 2 szt. 2 × 0,95 kW 16 Hz max 7 mm max 16 t/h
III. Dozownik śrubowy <ul style="list-style-type: none"> - ilość dozowników śrubowych - materiał dozowany - wydajność jednego dozownika - moc jednego dozownika śrubowego 	2 szt: mieszanka bentonitu i pyłu węglowego 28 kg/min 1,1 kW
IV. Dozowanie składników <ul style="list-style-type: none"> - masa zwrotna + piasek - bentonit + pył węglowy - woda 	waga tensometryczna masy WTM-500 waga tensometryczna dodatków EWD-50A regulator wilgotności masy RWM-1
V. Objętość zbiorników <ul style="list-style-type: none"> - zbiornik mieszanki - zbiornik piasku przy rynnie wibracyjnej 	2 × 2,2 m ³ 5 m ³
VI. Sterowanie	automatyczne, ręczne, remontowe

3. Układ pomiarowo-regulacyjny.

Regulator wilgotności masy RWM-1 tworzą zespoły pomiarowe temperatury, wilgotności i gęstości pozornej, a ponadto zespoły wykonawcze podawania wody do mieszarki.

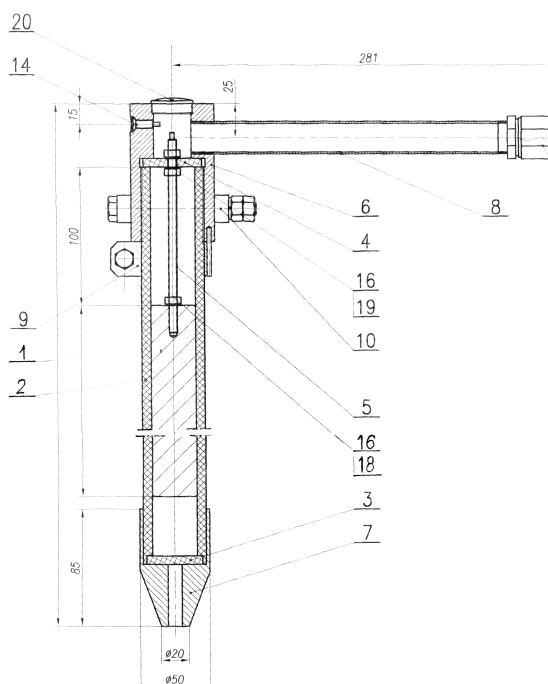
W projektowanym układzie zdecydowano się na zastosowanie czujników temperatury typu TTJ-Fe-CuNi z przetwornikiem 4 ÷ 20 mA o zasilaniu 24VDC i zakresie pomiarowym 0 ÷ 150⁰C. Zdecydowano, że wymienione dwa czujniki, o specjalnej konstrukcji, będą zamocowane w zbiorniku wagowym naprzeciw siebie na różnych wysokościach, tak aby było można uzyskiwać w miarę uśrednione wartości. Specjalne wykonanie czujników polegało na doborze ich kształtu i zapewnieniu odporności na erozyjne oddziaływanie piasku i masy.

W wyniku analizy zdecydowano określać wilgotność metodą pomiaru stałej dielektrycznej. Na potrzeby układu prototypowego opracowano pojemnościowe sondy pomiarowe o budowie prętowej (rys.2).

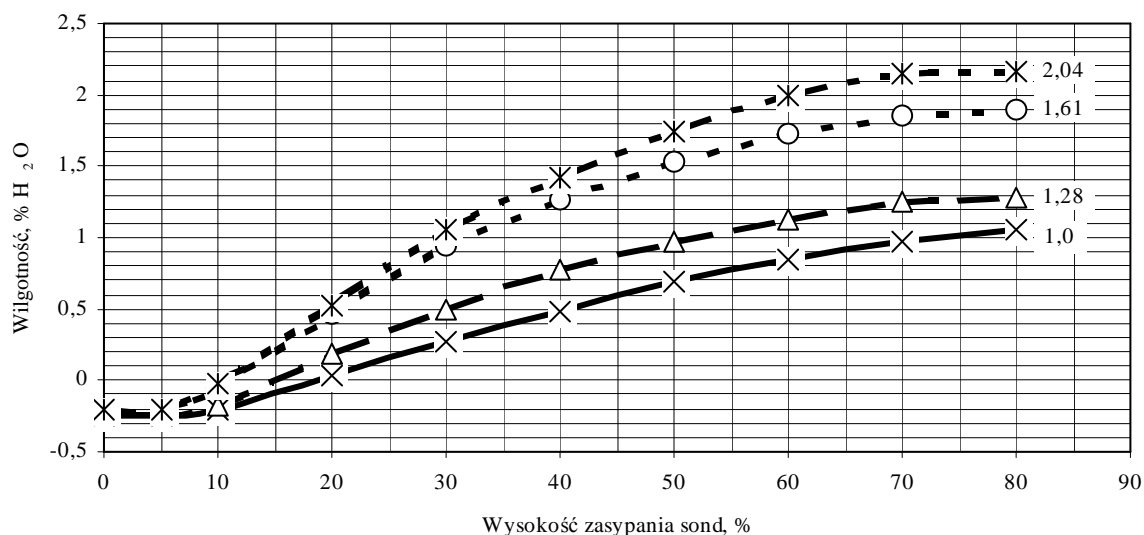
Sondy zamontowano w dozowniku wagowym pionowo, przy czym ich długość obejmuje ok. 90% wysokości słupa masy, co pozwala na uśrednienie sygnału (rys. 3).

Przetwornik pomiarowy, przetwarzający mierzoną wielkość pojemności elektrycznej na sygnał standardowy $4 \div 20$ mA, jest doprowadzany do sterownika PLC. Pomiar polega na wyznaczeniu pojemności elektrycznej masy znajdującej się pomiędzy sondami pomiarowymi a ścianami zbiornika wagowego. Ze względu na typ mierzonej wielkości zastosowano generator wysokiej częstotliwości, produkcji firmy ELEKTROSYSTEM w Zielonej Górze [6].

Sygnały z zastosowanych przetworników pomiarowych są doprowadzone na wejścia analogowe i cyfrowe sterownika swobodnie programowalnego GE FANUC [6]. Sterowniki te wybrano po gruntownej analizie oferty rynkowej ze względu na możliwość ich stosowania w uciążliwych warunkach odlewni.



Rys.2. Schemat sondy pomiarowej; 1-rdzeń aluminiowy, 2- ekran teflonowy, 3-zaślepka teflonowa, 4 -podkładka teflonowa, 5-łącznik M6, 6-korpus górny, 7-korpus dolny, 8-przewód rurowy, 9-zacisk, 10-uchwyt, 12 –metalowa dławica kablowa z zaciskiem, 14-wkręt M6×20-MS-B, 16-nakrętka M6-6-B, 18-podkładka, 19-podkładka sprężysta Z 6,1, 21-zaślepka elektryczna PG-21[4].



Rys.3. Zależność sygnału od stopnia zasypania sondy przy różnej wilgotności masy.

Wybrane sterowniki charakteryzują się tym, że posiadają zintegrowany z jednostką centralną panel operatorski o wymiarach 4 linie \times 20 znaków. Na ekranie jest możliwość wyświetlania aktualnych danych procesowych, jak również stanów alarmowych. Panel (sterownik) wyposażony jest w pełną klawiaturę numeryczną z 12 przyciskami funkcyjnymi, dzięki którym można dokonywać odpowiednich nastaw parametrów. Sterownik dzięki swojej zwartej budowie może być montowany na drzwiczkach szafy sterowniczej, przez co zwiększa się przestrzeń do zabudowy wewnątrz.

Specjalnie opracowany algorytm sterowania nadzoruje pracę regulatora, przy czym podstawową jego funkcją jest wyznaczanie ilości wody podawanej do mieszarki.

Układ pomiarowo-sterujący obejmuje automatyczny system naważenia i dozowania przy użyciu elektronicznych wag dozujących. Zespół wag dozujących wyposażony jest w miernik wagowy MWE-0517. Ten wielofunkcyjny procesor jest przeznaczony do realizacji ważenia z wykorzystaniem tensometrycznych przetworników masy. Szczególnie dobrze nadaje się do realizacji ważenia we współpracy ze sterownikami GE FANUC serii 90 MICRO oraz 90 – 30 [6].

Zmierzone w procesie przygotowania składników wartości są przekazywane do urządzenia centralnego wilgotnościomierza, który oblicza wymaganą ilość wody, jaką należy podać do mieszarki podczas procesu mieszania dla uzyskania właściwej zadanej wilgotności. Wymaganą ilość wody układ wyznacza na podstawie pomiaru pojemności elektrycznej masy formierskiej oraz jej temperatury. Po przekazaniu wszystkich zebranych danych do komputera wylicza on potrzebną ilość wody do zadozowania, zanim masa zwrotna i składniki trafią do mieszarki. Dodanie wody następuje już w pierwszych sekundach procesu mieszania, co zapewnia optymalne powleczenie ziaren bentonitem, przy bardzo krótkim całkowitym cyklu sporządzania masy formierskiej.

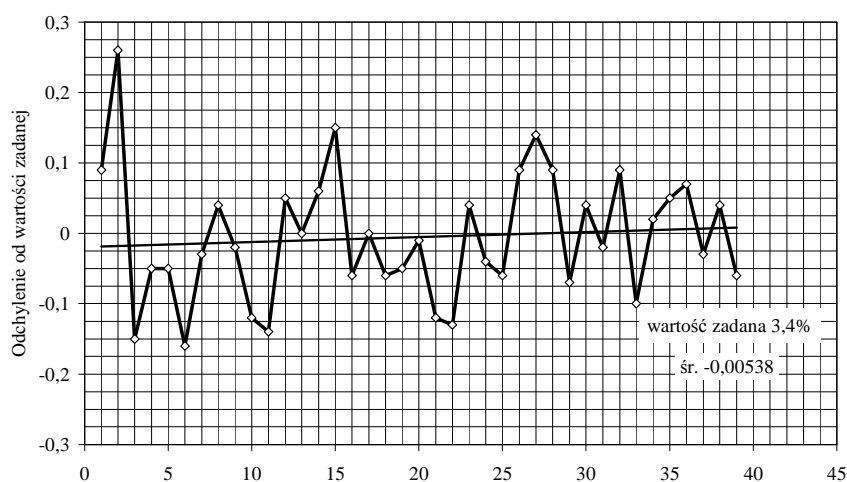
Zwiększenie dokładności regulacji wilgotności oprócz minimalizacji błędów pomiarów wilgotności, temperatury i masy dozowanych składników wymaga minimalizacji błędów wynikającego ze sposobu dozowania wody. Na etapie projektowania układu skłaniano się do realizacji koncepcji pomiaru masy dozowanej wody. Analiza danych literaturowych, w tym oryginalnych, opatentowanych rozwiązań wykazała, że taki sposób zastrzegła firma Maschinenfabric Gustav Eirich [3]. To między innymi zdecydowało o zastosowaniu w urządzeniu prototypowym sprawdzonego dozowania objętościowego z wykorzystaniem zespołu zmontowanego z elementów dostępnych w handlu. Zespół ten tworzy łopatkowy czujnik przepływu z modułem sterowania typu 8035 firmy BURKERT [6]. Współpraca regulatora z mieszarką MTP-500 o załadunku jednorazowym 500 kg pozwala na dokładność dozowania wody na poziomie 20 ml.

4. Analiza pracy prototypowego układu.

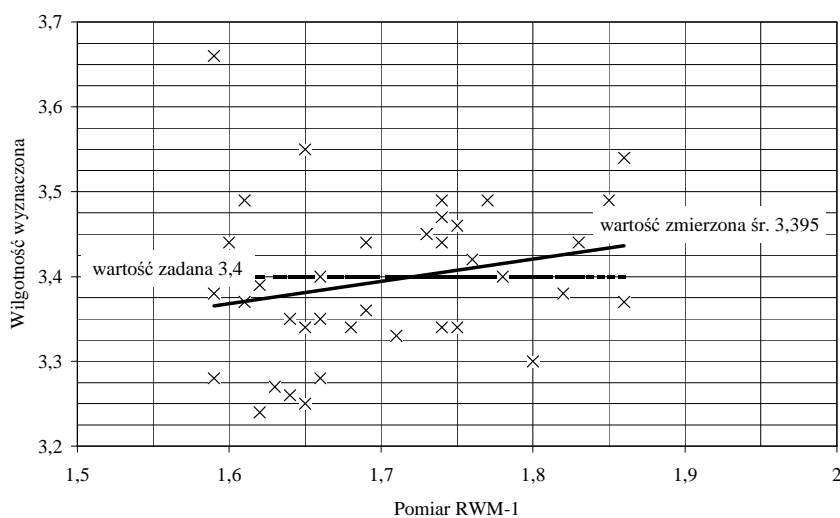
Weryfikacji założeń projektowych dokonano w oparciu o analizę charakterystyk firmowych składowych zespołów układu pomiarowego i regulacji wilgotności. Ustalenia weryfikacyjne dokonano również w oparciu o analizę warunków pracy instalacji w Odlewni HEYE F.F.S w Pieńsku.

W ramach prowadzonych badań przeprowadzono ocenę funkcjonowania zespołów oraz wyznaczono charakterystyki. Skupiono się przede wszystkim na zespole pomiaru wilgotności metodą pojemnościową. Przeprowadzono szereg badań przy różnych zakresach wilgotności masy, a przykładowe charakterystyki zamieszczono na rysunkach 4 ÷ 6.

a)

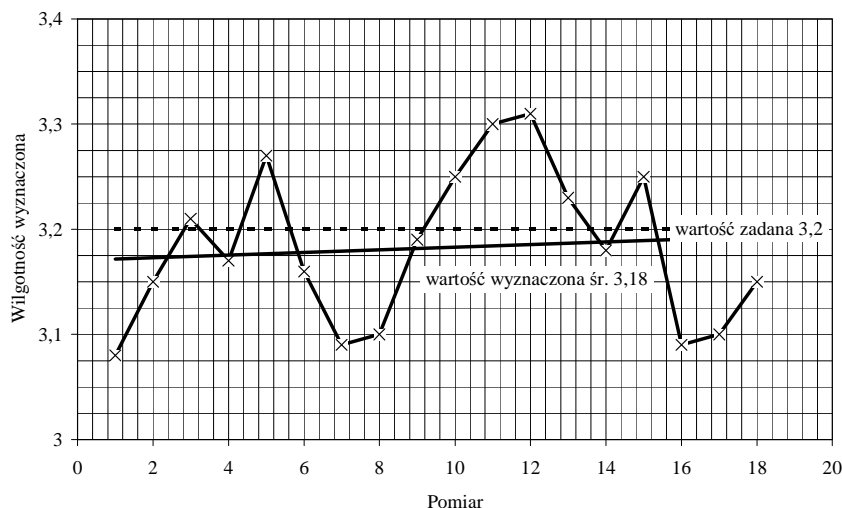


b)

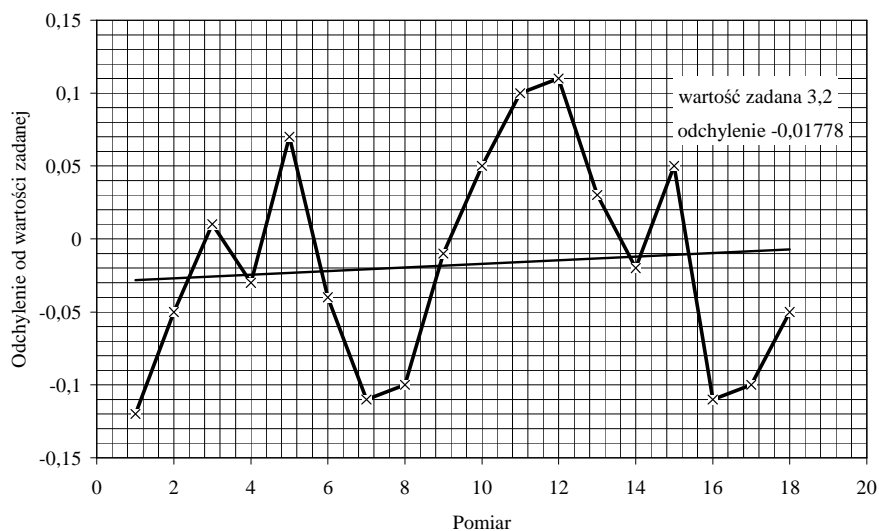


Rys.4. Charakterystyka pracy regulatora wilgotności przy zadanej zawartości wody $w = 3,4\%$.

a)



b)



Rys.5. Charakterystyka pracy regulatora wilgotności przy zadanej zawartości wody $w = 3,2\%$.

W oparciu o wykonane charakterystyki związane z funkcjonowaniem i precyzją działania stwierdzono, że uzyskano założone parametry pracy regulatora wilgotności.

Pozostałe zastosowane układy pomiaru temperatury oraz pomiaru ilości masy odświeżanej oraz składników odświeżających objęto badaniami mającymi na celu ocenę funkcjonowania oraz wyznaczenie charakterystyk pracy. Stwierdzono, że spełniają swoje zadanie zgodnie z przewidywaniami, a charakterystyki ich pracy nie odbiegają od założonych.

W oparciu o zebrane doświadczenia opracowano dokumentację typoszeregu układów automatycznej regulacji wilgotności masy formierskiej RWM przeznaczonych do wyposażenia mieszarek, chłodziarek i homogenizatorów różnej wielkości [7].

Układy regulacji wykonywane jako wyposażenie mieszarek o dowolnej wydajności różnią się budową jedynie sondy pojemnościowej. W zależności od wielkości zbiornika masy zwrotnej sondy te mają odpowiednie wymiary. Dane dotyczące długości sond oferowanych jako wyposażenie stacji w zależności od wielkości mieszarki przedstawiają się następująco: MTP-500, 1000, 1500, MTI-2500, 3000, 4000 długość $L = 1220, 1110, 1700, 1900, 2000$ i 2065 mm.

5. Posumowanie.

W stacjach sporządzania masy stosowano dotychczas układy automatycznej regulacji wilgotności producentów zachodnich. Ich cena oraz brak serwisu krajowego były barierą szerokiego ich stosowania w krajowych odlewniach. Z tego też względu podjęto prace wdrożeniowe nowego rozwiązania pomiaru i regulacji wilgotności.

W wyniku wprowadzenia układu automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności uzyskano warunki stabilnej produkcji odlewów. Stabilizacja właściwości masy formierskiej przyczyniła się między innymi do zmniejszenia ilości braków.

Układy RWM pozwalają na prowadzenie procesu zgodnie z wymaganiami norm zapewnienia jakości. Układy te nadają się przede wszystkim do współpracy z mieszarkami wirnikowymi typu MTI i MTP oraz automatycznymi systemami ważenia i dozowania przy użyciu elektronicznych wag dozujących

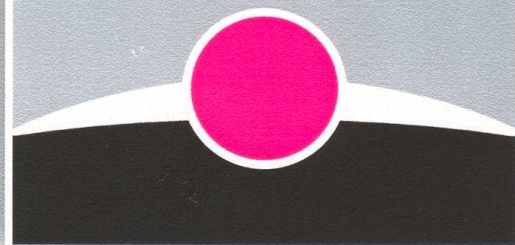
Opracowano w ramach projektu celowego FSNT nr ROW-143-2002.

6. Literatura.

- [1] Fedoryszyn A., Ziółkowski E.: Charakterystyka metod pomiaru temperatury i wilgotności mas formierskich. Materiały VI Konferencji Odlewniczej TECHNICAL 2003. Nowa Sól, 2003, s. 67
- [2] Lewandowski J. L.: Tworzywa na formy odlewnicze. Wydawnictwo Akapit. Kraków, 1997
- [3] Patent WO 01/98001.: Metoda i urządzenie do przygotowania masy formierskiej, 2001
- [4] Praca zbiorowa.: Dokumentacja techniczna układu pomiaru i automatycznej regulacji wilgotności masy. P.P.P. Technical. Nowa Sól, 2003
- [5] Samsonowicz Z.: Automatyzacja procesów odlewniczych. WN-T. Warszawa, 1985
- [6] <http://www.elektrosystem.zgora.pl/>; <http://www.gefanuc.com/>.
<http://www.burkert.com/>
- [7] <http://www.technical.com.pl>

TARGI KIELCE

dypłom



**IX Międzynarodowe Targi
Technologii dla Odlewnictwa**

METAL

24-26.09.2003


za


„Układ pomiaru i automatycznej regulacji
wilgotności masy formierskiej w zmechanizowanych
liniach przerobu RWM -1”

MEDAL

otrzymuje

**P.P.P. Technical Sp. z o.o.
z Nowej Soli**


Tadeusz Franaszek
Przewodniczący Komisji


Tomasz Raczyński
Prezes Zarządu
Targi Kielce

SKURCZ LINIOWY, DOKŁADNOŚĆ I JAKOŚĆ ODLEWÓW OTRZYMYWANYCH W WILGOTNYCH FORMACH PIASKOWYCH

prof. dr A.P. TRUCHOV

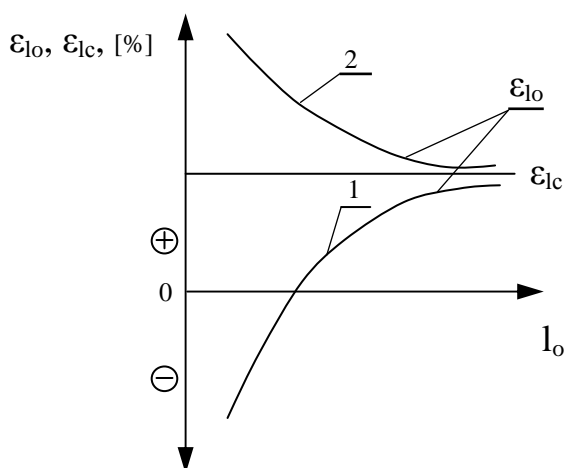
Moskwa MGTU „MAMI”

Podczas analizy problemów związanych z dokładnością wymiarową odlewanych części maszyn należy rozróżnić skurcz liniowy stopów i skurcz (liniowy lub rzeczywisty) odlewów. Skurcz liniowy stopu zależy od jego fizycznych właściwości i dla każdego stopu jest wielkością stałą. Natomiast skurcz liniowy odlewów określa się nie tylko zmianami właściwości stopu podczas krzepnięcia i chłodzenia, ale również warunkami wzajemnego oddziaływania (cieplnego i naprężeniowego) między odlewem i formą.

Skurcz liniowy różnych odlewów, a także dla takiego samego typu odlewów, ale o różnych wymiarach, nie jest wielkością stałą. Standardowe wartości skurczu liniowego odlewów (np. 1% - dla odlewów z żeliwa szarego, 2% - dla odlewów ze staliwa) są wielkościami średnimi statystycznymi.

Skurcz liniowy rzeczywisty odlewów (oprócz skurczu stopu) zależy od odkształcenia ścianek formy odlewniczej spowodowanych oddziaływaniem nacisku ciekłego metalu i odkształcenia formy spowodowanego zmianami temperatury masy formierskiej zachodzącymi w czasie zalewania i krzepnięcia odlewu.

Nowym aspektem w ocenie wpływu wymienionych wyżej czynników na dokładność wymiarową odlewów jest uwzględnienie zależności liniowego (rzeczywistego) skurczu odlewów w funkcji wartości nominalnej rozpatrywanego wymiaru l_o (rys.1) [1].



*Rys. 1. Zależność liniowego skurczu odlewów odniesiona do wymiarów modelu(1) i wymiarów wnęki formy(2):
 ϵ_{l_0} – liniowy (rzeczywisty) skurcz odlewu,
 ϵ_{lc} – skurcz stopu.*

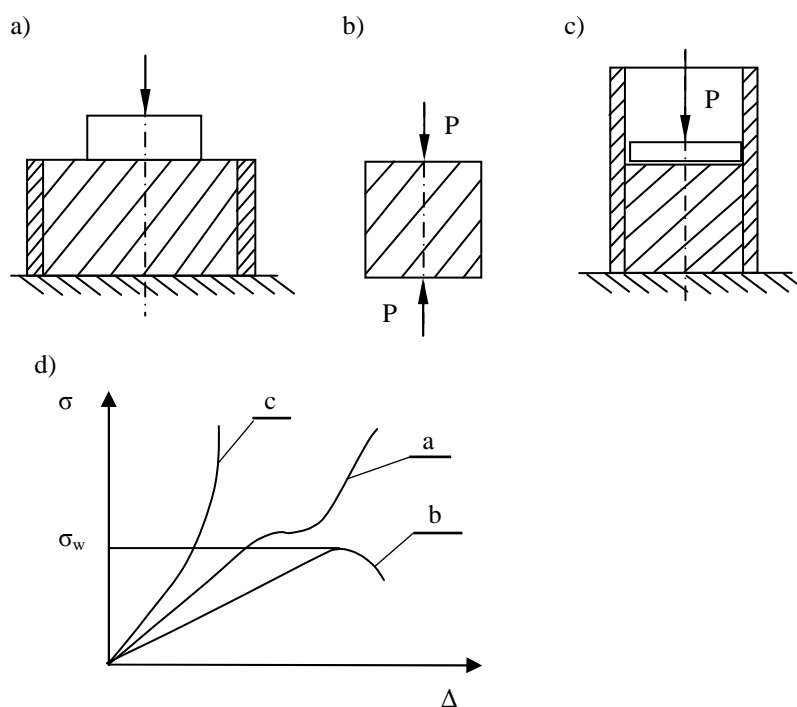
Biorąc pod uwagę jedynie ciśnienie hydrostatyczne metalu we wnęce formy odlewniczej można stwierdzić, że odkształcenie ścianek formy praktycznie nie zależy od nominalnych wymiarów odlewu, a jego wpływ na skurcz względny jest różny. Stąd, przy odkształceniu ścianki formy równym 1 mm i skurczu stopu $\epsilon_{lc}=1\%$, rzeczywisty skurcz odlewu ϵ_{l_0} (bez uwzględnienia pozostałych czynników na skurcz) dla nominalnych wymiarów 50, 100 i 1000 mm jest równy odpowiednio -1,0; 0 i + 0,9% (rys.1 krzywa 1). Stąd też wymiary odlewów o $l_o < 100$ mm mogą być większe od wymiarów modeli, a wpływ odkształcenia wnęki formy na te wymiary jest większy od skurczu stopu ϵ_{lc} (rys.1 krzywa 2).

Podstawowym zadaniem przy rozpatrywaniu odkształcenia ścianek formy podczas jej zalewania ciekłym metalem jest ustalenie przyczyn zmniejszenia przepuszczalności masy formierskiej od tej, którą wykazywała masa bezpośrednio po jej zagęszczeniu w formie, pomimo że naprężenia panujące podczas zalewania formy metalem są znacznie mniejsze niż występujące w czasie wykonywania formy. Powszechnie przyjmuje się, że przyczyną zmniejszenia przepuszczalności masy formierskiej jest tworzenie się, podczas zalewania formy ciekłym metalem, strefy przewilżonej (strefy kondensacji pary wodnej). Jednakże dane eksperymentalne [2] i dodatkowe badania wykazały, że odkształcenia ścianek formy następują głównie w wyniku oddziaływania ciekłego metalu na wnękę formy w momencie zakończenia zalewania, a wpływ strefy kondensacji jest nieistotny ze względu na jej małe wymiary. Okazało się, że jedną z przyczyn dogęszczenia masy formierskiej spowodowanego mniejszymi wartościami naprężeń (oprócz niejednorodności zagęszczenia spowodowanego tarciem masy o model) jest stan naprężenia masy formierskiej, występujący po zalaniu formy ciekłym metalem [3].

Powyższe stwierdzenie potwierdzają wyniki pomiarów naprężeń i odkształceń masy formierskiej obciążanej różnymi sposobami. Wyniki badań zilustrowano na rys.2.

Krzywą „a” (rys. 2d) otrzymano przy obciążeniu próbki zagęszczonej masy formierskiej o wysokości 50 mm i średnicy 100 mm stopką prasującą o średnicy 50 mm, która jest równa średnicy standardowej próbki (rys.2a). Podczas tego badania zagęszczenie masy formierskiej było takie same jakie ma standardowa próbka masy. Krzywą „b” (rys.2d) wyznaczono podczas próby jednoosiowego ściskania (rys.2b), z możliwością bocznych odkształceń. Natomiast krzywą „c” (rys.2d) określono podczas obciążania standardowej próbki masy umieszczonej w tulei.

Próba przedstawiona schematycznie na rysunku 2a powoduje powstanie naprężeń w masie formierskiej, które można w przybliżeniu porównać do wywoływanych w formie zalanej ciekłym metalem. Przy czym jednak przy tym sposobie obciążenia odkształcenia



Rys.2. Schematy badań masy formierskiej (a, b, c) i zależności naprężeń (obciążenia) od przemieszczeń (d).

będą większe niż przy obciążeniu masy sztywną płytą prasującą. W tym przypadku istnieje poziomy odcinek zależności σ - Δ (rys.2d, krzywa „a”), kiedy odkształcenia masy formierskiej zachodzą przy stałej wartości naprężenia, nieznacznie przekraczającego granicę wytrzymałości masy na ściskanie (krzywa „b” na rys.2d).

Wykazano, że odkształcenia odpowiadające poziomemu odcinkowi zależności σ - Δ mogą powodować zwiększenie stopnia zagęszczenia masy formierskiej. Dlatego, w celu podniesienia dokładności wymiarowej odlewów, formę należy tak zagęścić aby wytrzymałość masy formierskiej w każdym punkcie formy była mniejsza od naprężeń pojawiających się podczas zalewania formy ciekłym metalem.

Do wykonywania form kwarcowo-iłowych (na maszynach wstrząsowo-prasujących) stosowane są masy o niedużej wytrzymałości, przy czym stopień zagęszczenia masy w formie jest zwykle mniejszy od stopnia zagęszczenia standardowej próbki masy. Dlatego wytrzymałość masy w formie jest mniejsza niż standardowej próbki i jest porównywalna z naprężeniami, pojawiającymi podczas zalewania ciekłym metalem, szczególnie wynikającym z uderowego oddziaływania strugi ciekłego metalu. W związku z tym podczas zalewania form wykonanych metodą wstrząsową-prasującą, często następuje znaczne odkształcenie form. Jeśli zwiększy się stopień zagęszczenia masy o małej wytrzymałości, to stopień odkształcenia formy, po zalaniu ciekłym metalem, będzie się zmniejszał. Podstawowym wymaganiem, w celu uzyskiwania nieznacznej deformacji wnętrza formy odlewniczej, jest stosowanie mas formierskich o dużej wytrzymałości i metod zagęszczania pozwalających na uzyskiwanie dużego stopnia zagęszczenia masy w formie.

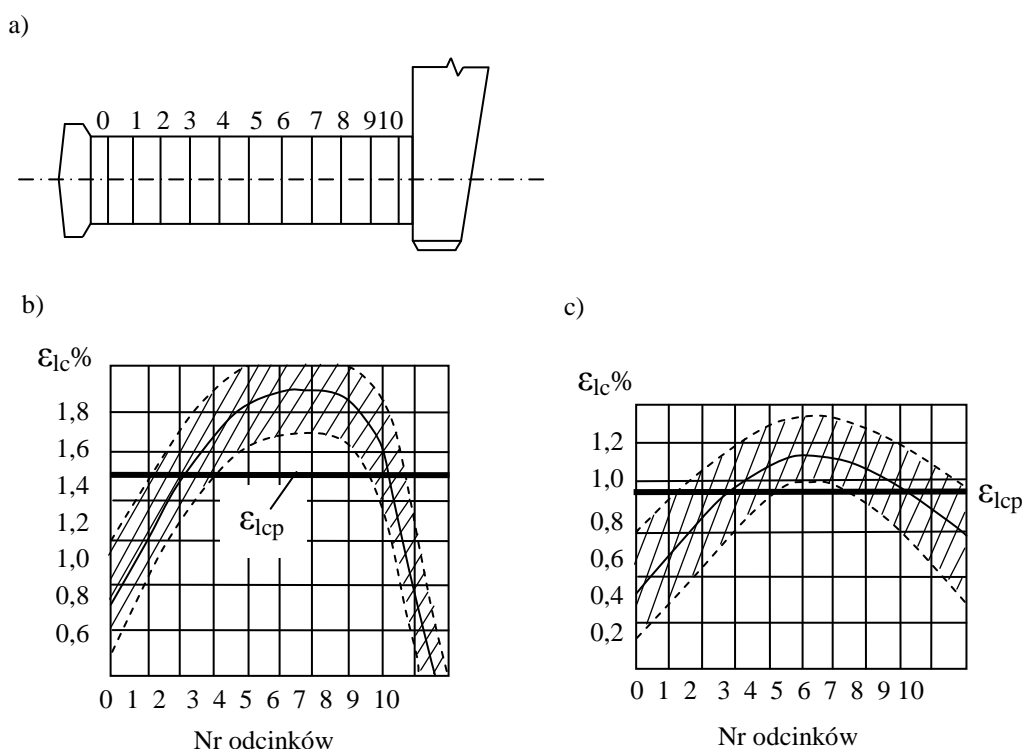
Istotny wpływ na skurcz liniowy odlewów ma zmiana wymiarów wnętrza formy powodowana rozszerzalnością cieplną masy formierskiej. Określenie na drodze analitycznej rozszerzalności wilgotnej formy, na podstawie znajomości rozszerzalności cieplnej suchej masy formierskiej, jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym. Po zalaniu wnętrza formy ciekłym metalem temperatura powierzchni formy szybko osiąga temperaturę metalu. W tym przypadku sucha warstwa masy na granicy metal-forma ma z jednej strony temperaturę stałą, równą temperaturze parowania wody, a z drugiej strony temperaturę równą krzepnącego odlewu.

Analizując zachowanie się suchej warstwy masy formierskiej stwierdzono, że jej rozszerzalność termiczna jest niejednorodna, czemu sprzyjają siły oddziaływujące na styku sucha masa - przewilżona masa w strefie kondensacji. W miarę zbliżania się do strefy kondensacji siły wzajemnego oddziaływania pomiędzy masą suchą i przewilżoną utrudniają rozszerzalność cieplną masy. Można zatem stwierdzić, że największa rozszerzalność następuje na styku forma-metal i w miarę oddalania się od powierzchni wnętrza formy maleje. W bardziej oddalonych przekrojach od powierzchni styku forma-metal nie obserwuje się rozszerzalności cieplnej formy. Wynika stąd, że średnia rozszerzalność cieplna formy będzie zależała od wartości rozpatrywanego wymiaru ścianki formy, zmniejszając się wraz z jego wzrostem.

Na wymiary odlewu rozszerzalność cieplna formy wpływa w stadiach odprowadzania ciepła po zalaniu jej ciekłym metalem i podczas krzepnięcia odlewu. Po zalaniu wnętrza formy ciekły metal, do momentu skrzepnięcia, odwzorowuje nierównomiernie rozszerzającą się wnękę formy. W efekcie, końcowy skurcz odlewu, na przekór tradycyjnym przekonaniom, okazuje się niejednorodny na długości odlewu; na końcach jest mniejszy niż w środku odlewu (rys.3). Końcowy efekt skurczu odlewu zależy od jego długości, zwiększając się wraz z jej wzrostem. Dlatego zależność rzeczywistego liniowego skurczu odlewów ε_{l_0} od wymiaru nominalnego l_0 (rys.1, krzywa 1) związana jest nie tylko ze stopniem zagęszczenia masy w formie, ale również z rozszerzalnością cieplną formy.

Szczegółowa analiza opisanych zjawisk została wykorzystana do sformułowania modelu matematycznego dla odlewów cylindrycznych [4]. O ile dla rzeczywistych

złożonych odlewów analityczne obliczenia ich rzeczywistego skurczu są obecnie jeszcze



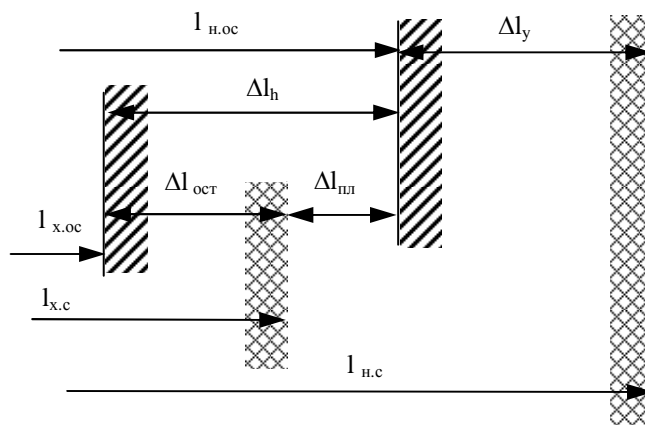
Rys.3. Zmiana liniowego skurczu na długości cylindrycznych wzorców (a) z białego (b) i szarego (c) żeliwa.

zbyt trudne, dlatego do jego określenia przeprowadzono pomiary statystyczne modeli i odlewów z żeliwa szarego, żeliwa z grafitem kulkowym i stali węglowej. Wyniki zrealizowanych badań umożliwiły wyznaczenie zależności określającej rzeczywisty skurcz ε_{lo} w funkcji nominalnej wartości rozpatrywanego wymiaru odlewu (rys.1).

Zależności ε_{lo} , otrzymane w wyniku statystycznego opracowania wyników pomiarów, mogą być wykorzystane do określania wymiarów projektowanych modeli odlewniczych.

W МАМИ, we współpracy z НИИТ, został opracowany program komputerowy przeznaczony do obliczania oprzyrządowania modeli i skrzynek rdzeniowych wchodzący w pakiet oprogramowania przeznaczonego do automatycznego projektowania procesu technologicznego wykonywania odlewów („САПР Отливка”). W tym programie są realizowane również obliczenia wymiarów rdzeni odlewniczych wykonywanych metodą gorącej rdzennicy. W programie uwzględniono, że w tym procesie chłodna masa, zagęszczona w gorącym oprzyrządowaniu jest nagrzewana, w skutek czego powinna się rozszerzać. Jednak metalowe oprzyrządowanie jest niepodatne i nie pozwala na odkształcanie masy rdzeniowej. Stąd, w każdym momencie czasu w masie rdzeniowej występują naprężenia, które powinny powodować jej deformację termiczną.

Właściwości masy w procesie nagrzewania zmieniają się. Początkowo przeważają jej własności lepko-plastyczne i następują nieodwracalne plastyczne deformacje (dogęszczenie) masy. Potem, w miarę utwardzania masy, zaczynają dominować jej właściwości sprężyste. Dlatego w momencie wyciągnięcia rdzenia z nagrzanego oprzyrządowania powinno nastąpić zwiększenie jego wymiaru: od $l_{h.oc}$ (wymiaru nagrzanego oprzyrządowania) do $l_{h.c}$ (wymiaru nagrzanego rdzenia w momencie po jego wyciągnięciu z oprzyrządowania) w wyniku sprężystego odkształcenia $l_y = l_{h.c} - l_{h.oc}$ (rys.4).



Rys.4. Schemat analizy zmiany wymiarów rdzenia wykonywanego metodą gorącej rdzennicy.

Po wyciągnięciu rdzeń się ochładza i jego wymiary się zmniejszają. Jeśli przy nagrzewaniu w rdzeniu następowałyby tylko sprężyste deformacje, to po ostudzeniu jego wymiar byłby równy wymiarowi nagrzanego oprzyrządowania $l_{H.oc}$. Przy obecności plastycznych deformacji ściskania l_{pl} wymiar ochłodzonego rdzenia $l_{x.c}$ będzie mniejszy od $l_{H.oc}$, stąd $l_{x.c} = l_{H.oc} - l_{pl}$ lub $l_{x.c} = l_{H.c} - (l_y + l_{pl})$. Stosunek wymiarów zimnego rdzenia $l_{x.c}$ i zimnego oprzyrządowania $l_{x.oc}$, będzie zależał od deformacji plastycznej i stosunku współczynników rozszerzalności liniowej materiału oprzyrządowania i materiału rdzenia. Dla najbardziej rozpowszechnionej pary: żeliwna rdzennica–masa formierska na osnowie piasku kwarcowego, prawdziwa jest zależność $l_{x.c} > l_{x.oc}$. Różnicę wymiarów $l_{ocT} - l_{x.oc}$ obowiązkowo należy uwzględniać przy projektowaniu oprzyrządowania; przy czym korzystnie jest uwzględniać ją w postaci wielkości względnej $\epsilon_{ocT} = [(l_{x.c} - l_{x.oc})/l_0] \cdot 100\%$, gdzie l_0 – wymiar odlewu odtwarzany przez rdzeń. Ustalono, że ϵ_{ocT} (nazywane pozostałościową deformacją) może różnić się od rozszerzenia termicznego oprzyrządowania $\epsilon_H = \alpha(T_{oc} - T_{II}) \cdot 100\%$ przy jego nagrzewaniu (gdzie: α – współczynnik rozszerzalności cieplnej materiału oprzyrządowania, T_{oc} – temperatura robocza oprzyrządowania, T_{II} – temperatura wydziału) prawie dwa razy. Dlatego przy projektowaniu oprzyrządowania trzeba uwzględniać ϵ_{ocT} i tylko w pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że $\epsilon_{ocT} = \epsilon_H$. Trzeba pamiętać, że sprężyste odkształcenie podczas wyciągania rdzenia zwiększa siłę wyciągania i może doprowadzić do jego połamania.

Odnotowana wcześniej rola cieplnego rozszerzania suchej warstwy masy w kształtowaniu rozmiarów wnętrza formy odnosiła się do procesu formowania w skrzynkach. W przypadku formowania bezskrzynkowego z pionowym podziałem, rozszerzanie cieplne powstającej suchej warstwy masy jest również jedną z głównych przyczyn różnicy rzeczywistego skurczu w kierunkach prostopadłym i równoległym do płaszczyzny podziału formy; w drugim przypadku rozszerzenie cieplne uwidacznia się w większym stopniu, co należy uwzględnić przy projektowaniu oprzyrządowania modelowego. Oprócz tego, przy innych podobnych warunkach, odlewy otrzymywane w formach wykonanych w skrzynkach będą miały większą dokładność wymiarową od odlewów wykonanych w formach bezskrzynkowych i liniowy skurcz tych odlewów będzie też inny.

Rozszerzalność cieplna suchej warstwy masy jest główną przyczyną tworzenia się pęknięć w pewnym okresie czasu po zalaniu w bezskrzynkowych formach z pionowym podziałem, a poziom naprężeń powstających w procesie wykonania, transportu i zalania wpływa na czas powstawania pęknięć [6].

Na rzeczywisty skurcz odlewów z żeliwa z grafitem kulkowym istotnie wpływa również sposób modyfikowania. Modyfikacja żeliwa w formie (Inmold – proces),

w porównaniu do jego modyfikacji w kadzi powoduje większy skurcz odlewu, gdyż występuje wtedy mniejsze rozszerzalność przedskurczowa.

Oprócz tego, sposób modyfikowania wpływa również na błędy przypadkowe wymiarów. Przy Inmold – procesie, jak pokazały wyniki badań, dokładność wymiarów odlewów obniża się o 2-3 klasy (ГОСТ 26645-85(89)) w porównaniu z modyfikowaniem żeliwa w kadzi. Jak widać ten eksperymentalny fakt związany jest z dużą liczbą technologicznych czynników podczas krzepnięcia odlewów, wykonywanych z wykorzystaniem Inmold-procesu. Do nich można odnieść dokładność dozowania modyfikatora, silny wpływ temperatury metalu na proces rozpuszczania modyfikatora itp.

Należy zwrócić uwagę na potrzebę wykonania różnego modelowego oprzyrządowania dla jednego i tego samego odlewu, wykonywanego z wykorzystaniem maszynowego formowania i formowania na automatycznych liniach. Jak wynika z wyżej przedstawionego dla tych dwóch przypadków zarówno liniowy skurcz odlewów jak również ich dokładność wymiarowa będą różne, dlatego też muszą być różne naddatki na obróbkę mechaniczną. Stąd też wynika, że nie tylko oprzyrządowanie modeli, ale i rysunki odlewów w tym przypadku powinny być różne.

Jak pokazuje doświadczenie, uwzględnienie wyżej opisanych zjawisk, pozwala na zaoszczędzenie od 3 do 5% masy odlewów.

LITERATURA.

- [1] Konstantinov L.S., Truchov A.P. Naprjaženija, deformacii i treščiny v otlivkach. Mašinostrojenie, Moskva 1981.
- [2] Vołkomič A.A. Issledovanije technologičeskich vozmožnostiej uplotnienija litiejnych form niekotorymi metodami pressovanija. Diss. kand. tech. nauk, Moskva 1969.
- [3] Truchov A.P., Abylgazin D.D. Deformacjonnaja sposobnost syrych uplotnionnych smiesiej i litiejnych form. Dieponir. naučn raboty VINITI, 1985 Nr 12 (170), Nr 15227-tm
- [4] Trinčer B.K. Truchow A.P. Predstavlenija o rastuščem tele i ich ispolzovanie v litiejnom prizvodstve. Deponir. naučn. raboty VINITI, 1985 Nr 12 (170), Nr 1528-tm
- [5] Truchov A.P., Kniper S.V. Opredelenie razmerov nagrevajemoj osnastki. Litiejnoje proizvodstvo 1983 – Nr 6 – C. 21-22
- [6] Truchov A.P., Gorilej A.C. Vlijanie osnovnyh technologičeskich faktorov na vremja obrazovanija treščin v bezopočnyh formach, na razmery i massu otlivok. Dieponir. naučn. raboty VINITI, 1988 Nr 1 (195), Nr 1991-tm 87
- [7] Truchov A.P., Dmitriev S.P. Jeryškanov Je.A., Šibiejev Je .A. Vlijanie sposoba modificirovanija na liniejnuju usadku otlivok iz vysokopročnogo čuguna. Litejnoje proizvodstvo 1991 Nr 2 str 12-13

STACJA PRZEROBU MAS FORMIERSKICH W ŠKODA MLADA BOLESLAV - CZECHY

Czesław RUDY¹
Jiři NOVOTNÝ²
Jaromir VÝTVAR³

1. Wstęp.

Odlewanie do form wykonanych z mas bentonitowych jest najczęściej stosowaną metodą odlewania, szerokie stosowanie tej metody wynika przede wszystkim z niskich kosztów materiałowych. W przypadku zmechanizowanej i zautomatyzowanej produkcji odlewów stosuje się jednolitą syntetyczną bentonitową masę formierską, odświeżoną w każdym obiegu technologicznym dodatkiem świeżego piasku, bentonitu i pyłu węglowego lub mieszanki bentonitowej zawierającej nośniki węgla.

Proces mieszania jest bardzo ważny w przypadku syntetycznych mas bentonitowych, wymagane jest aby w wyniku mieszania uzyskać jednorodną mieszaninę, oraz dobre połączenie (adhezyjne) substancji wiążącej (mieszanki gliny z wodą).

Obecnie, do sporządzania bentonitowej masy formierskiej, jak również jej odświeżania są stosowane mieszarki turbinowe (wirnikowe), które charakteryzują się wysokimi walorami eksploatacyjnymi. Pozwalają one uzyskać masę formierską o powtarzalnych wysokich właściwościach technologicznych.

2. Stacja przerobu mas formierskich bentonitowych w odlewni ŠKODA AUTO Młada Boleslav (Czechy) (rys.1).

ŠKODA AUTO Młada Boleslav (Czechy) posiada w swoich strukturach organizacyjnych odlewnię żeliwa, produkującą odlewy na własne potrzeby oraz potrzeby koncernu VOLKSWAGEN.

Do 2004 roku odlewnia ŠKODA stosowała metodę odlewania do form wykonanych w masach bentonitowych na linii formierskiej (konwojerowej) z zastosowaniem maszyn formierskich wstrząsowo – prasujących. Masa formierska bentonitowa sporządzana była w dwóch mieszarkach pobocznicowych.

Chcąc poprawić jakość swoich wyrobów oraz zwiększyć wydajność produkowanych odlewów ŠKODA podjęła decyzję o zainstalowaniu nowych linii technologicznych opartych na nowoczesnych i sprawdzonych technologiach:

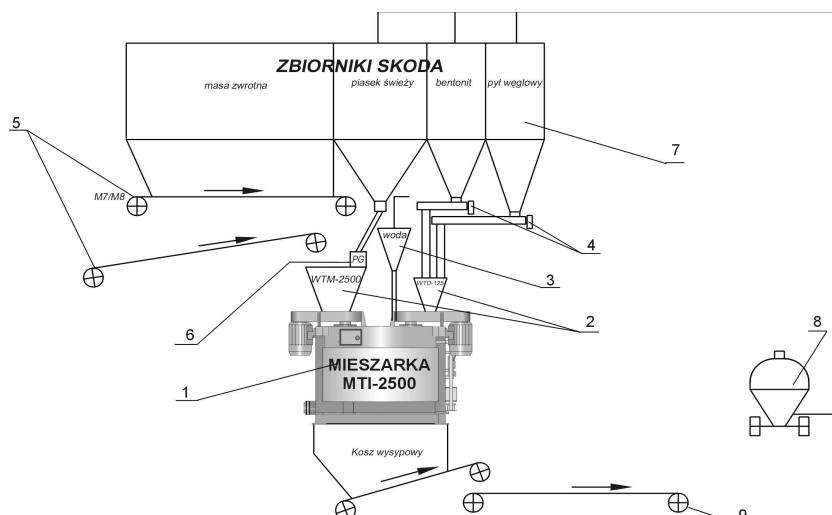
- formowania bezskrzynkowego z pionowym podziałem form w nowoczesnej linii formierskiej firmy LORAMATIC,
- stacji przerobu mas formierskich SPM-60 z mieszarką turbinową oraz kompletnym systemem pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej, wykonanej przez TECHNICAL Nowa Sól.

Stację przerobu mas formierskich SPM-60 o wydajności 60 t/h (rys.1) w odlewni ŠKODA AUTO Młada Boleslav (Czechy), pracuje od stycznia 2004 roku, została zaprojektowana i wykonana przez TECHNICAL –Nowa Sól.

¹ mgr inż. cz.rudy@technical.com.pl

² Ing. sandteam@sandteam.cz

³ jaromir.vytvar@skoda-auto.cz



Rys.1. Schemat stacji przerobu mas formierskich SPM-60, ŠKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy). 1-mieszarka turbinowa, 2-elektroniczne wagi dozujace, 3- aparatura kontrolno-pomiarowa do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej firmy MICHENFELDER, 3-bateria zbiorników, 4 dozowniki śrubowe mieszanki, 5-dozowniki taśmowe masy zwrotnej, 6-podajnik grawitacyjny, 7-bateria zbiorników, 8-transport pneumatyczny, 9-dozownik odbiorczy.

3. Charakterystyka techniczna SPM-60.

3.1. Założone parametry masy formierskiej.

WŁASNOŚCI MASY FORMIERSKIEJ	JEDN.	LORAMENDI	DISAMATIC
Wielkość ziarna	AFS		110 - 75
	0,14	0,18 – 0,20	0,14-0,22 DIN
Udział ziaren wg numeru sita	Sito	3 az 4	90 zm na 3 a 4 sitach
Wytrzymałość na ściskanie	g/cm ²	2000 - 2300	1700 - 2100
Wytrzymałość na rozciąganie	g/cm ²	min. 200	min. 200
Wytrzymałość na ścinanie	g/cm ²	min 300	min. 300
Przepuszczalność	n.j.p.	min. 50	min. 50
Zagęszczalność	%	40 ±2	40 ±2
Zawartość aktywnego bentonitu (MB)	%	min. 8	min. 7
Maksymalna temperatura masy	°C	40	40
Wilgotność	%	uzyskana przy zagęszczalności 40 ± 2	uzyskana przy zagęszczalności 40 ± 2

3.2. Mieszarka turbinowa MTI-2500.

Jednorazowy załadunek wszystkich składników	- 2.500 kg
Wydajność (dla cyklu pracy: 150 sek)	- max 65 t/h
Czas mieszania masy formierskiej	- regulowany
Poziom hałasu	- 85 dB
Ciśnienie sprężonego powietrza	- 0,5÷0,6 MPa
Ciśnienie wody	- 0,3÷0,5MPa
Moc silnika turbiny I i II	- 2 x 90 kW
Moc silnika obrotu miski	- 18,5 kW
Moc zainstalowana	- 202,5 kW
Odciąg powietrza z mieszarki:	
- wydajność	- 1500 m ³ /h
- podciśnienie	- 400 Pa

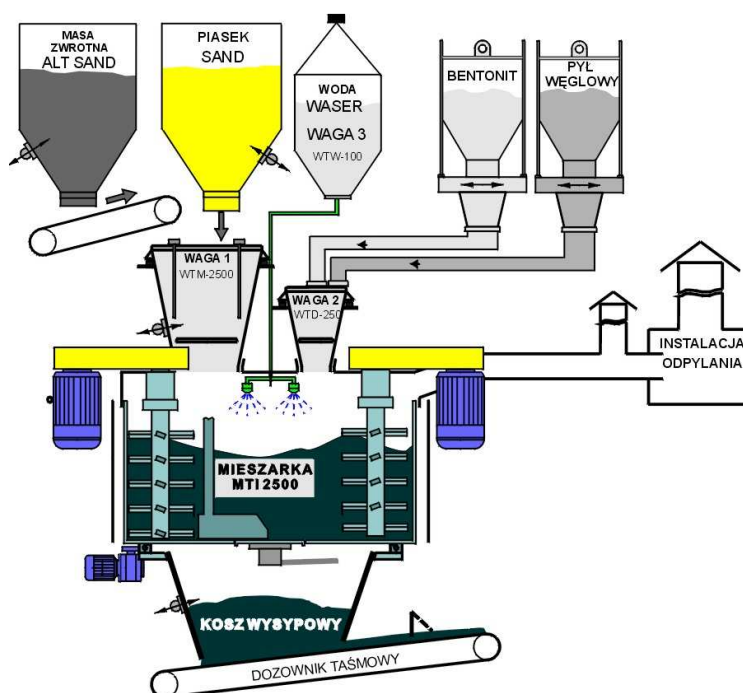
3.3. Dozowanie składników.

Dozowanie składników (masa zwrotna, piasek świeży, bentonit, pył węglowy)	- wagi tensometryczne
Dokładność dozowania składników	- ±1 %
Dozowanie wody	- automatyczny system kontroli wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH
Dokładność dozowania wody	- ±0,1 %

3.4. Sterowanie elektroniczne.

Sterowanie elektroniczne	- automatyczne - ręczne - remontowe
--------------------------	---

4. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych (rys.2).



Rys.2. Schemat technologiczny systemu sporządzania mas formierskich bentonitowych w mieszarce turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

System sporządzania mas formierskich dostosowany jest do typu mieszarki turbinowej MTP czy MTI, jest on niezależny a jedynie uwarunkowany od sposobu zabudowy mieszarki oraz sposobu dozowania składników.

System sporządzania mas formierskich bentonitowych został zaprojektowany i wykonany jako układ modułowy, w skład obu przedstawionych systemów wchodzi następujące urządzenia i zespoły:

- mieszarka turbinowa MTP-2500,
- elektroniczna waga dozująca masę zwrotną WTM-2500,
- elektroniczna waga dozująca mieszankę i piasek świeży WTD-250,
- dozownik śrubowy mieszanki DS,
- dozownik taśmowy masy zwrotnej DT,
- zbiornik magazynujący masę zwrotną , piasek świeży, mieszankę wraz z sondami poziomów napełnienia zbiorników,
- aparatura kontrolno-pomiarowa do automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności masy formierskiej firmy MICHENFELDER, umożliwiającą uzyskanie zadanej wilgotności masy formierskiej,
- system sterowania elektronicznego z wizualizacją, umożliwiający pracę SPM-60, programowanie parametrów technologicznych oraz receptur sporządzanych mas.

4.1. Mieszarka turbinowa MT-2500 (rys.3).

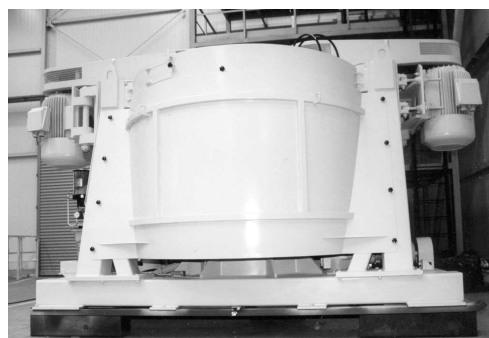
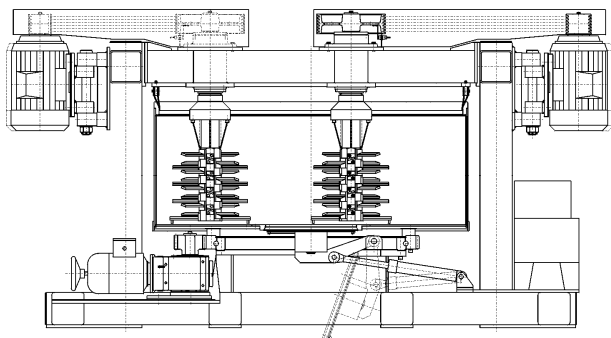
Mieszarki turbinowe produkowane przez TECHNICAL należą do najnowszej generacji maszyn odlewniczych przeznaczonych do sporządzania syntetycznych mas formierskich bentonitowych. Obecnie pracują w wielu odlewniach w raz z kompletnymi systemami dozowania składników masy formierskiej.

W mieszarkach turbinowych MTP oraz MTI wykorzystuje się proces dynamicznego przemieszczania cząstek masy, realizowany przez trzy elementy robocze: ruchomą misę, szybkoobrotową turbinę (jedną lub dwie) i zespół lemieszów kierujących.

Zjawisko dynamicznego przemieszczania cząstek masy realizowane przez szybkoobrotową turbinę intensyfikuje proces mieszania, ujednocila skład masy oraz rozprowadzanie spoiwa na powierzchni ziaren piasku.

TECHNICAL produkuje mieszarki turbinowe o różnej wydajności, co jest związane z wielkością misy (załadunkiem):

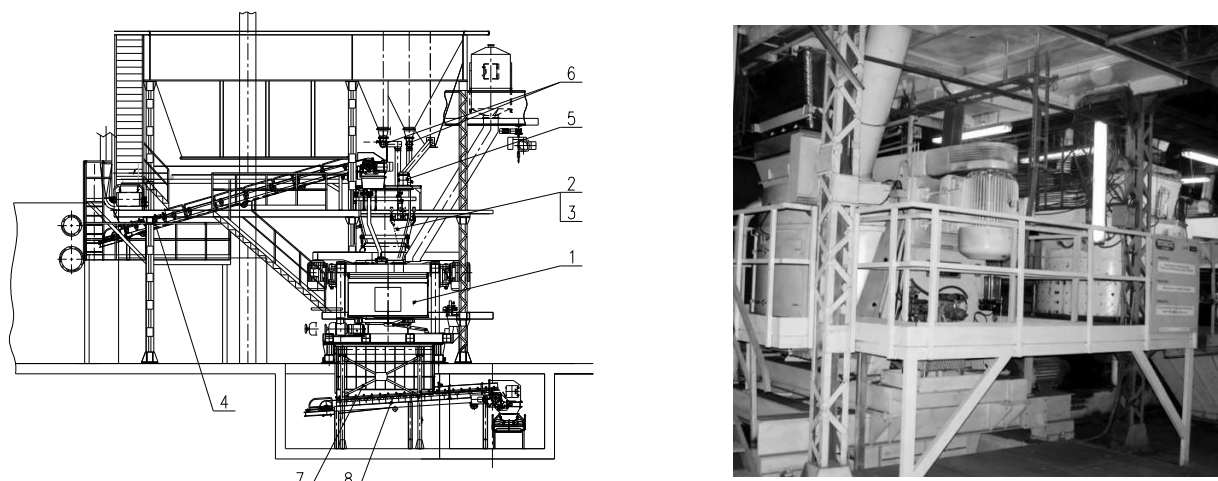
- mieszarki turbinowe z obrotową misą o pochyłej osi obrotu, stałym lemieszem oraz jedną wysokoobrotową turbiną zamontowaną na stałe do korpusu mieszarki MTP-250, MTP-500, MTP-1000, MTP-1500 – (rys. 3),
- mieszarki turbinowe z obrotową misą o pionowej osi obrotu, stałym lemieszem oraz dwoma wysokoobrotowymi turbinami zamontowanymi na stałe do korpusu mieszarki MTI-2500, MTI-3000, MTI-4000, MTI-5000.



Rys.3. Mieszarka turbinowa MTI-2500 (z obrotową misą o pionowej osi obrotu) produkcji TECHNICAL Nowa Sól, zamontowaną w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

4.2. Zabudowa mieszarki turbinowej MTI –2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy) (rys.4).

Technologia, głównie węzły technologiczne, system sterowania i pomiar z regulacją wilgotności oraz parametrami masy formierskiej zostaną przedstawione i omówione na przykładzie nowoczesnej stacji przerobu mas formierskich SPM-60 z odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy), przedstawionej na rys.4.



Rys.4. Zabudowa mieszarki turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy):
1-mieszarka turbinowa MTI-2500, 2-waga tensometryczna masy, 3-waga tensometryczna dodatków WTD-150, 4-dozownik masy zwrotnej, 5-dozownik piasku, 6-dozownik śrubowy dodatków, 7-kosz wysypowy masy świeżej, 8- przenośnik wybierający.

Wagę tensometryczną masy zwrotnej i piasku WTM-2500 (rys. 4), Zbiornik wagi wykonany jest z blachy nierdzewnej. Niewielkie pochylenie ścian, zaokrąglone naroża, zastosowanie wibratora pneumatycznego eliminują zjawisko przywierania masy do ścian bocznych zbiornika wagowego. Zamykanie i otwieranie zbiornika realizowane jest cylindrem pneumatycznym.

Waga tensometryczna mieszanki WTD-150 (rys. 4), zbiornik wagi wykonany jest z blachy nierdzewnej i zakończony zamknięciem motylkowym napędzanym cylindrem pneumatycznym.

Dozowniki masy formierskiej zwrotnej, mieszanki oraz piasku świeżego (rys. 4).

System dozowania składników masy formierskiej bentonitowej do zbiorników wagowych:

- masa zwrotna podawana jest dozownikiem taśmowym,
- mieszanka podawane jest podajnikiem śrubowym dwubiegowym,
- piasek świeży (suchy) podawany jest podajnikiem grawitacyjnym dwustopniowym.

5. Instalacja dozowania wody do mieszarki MTI-2500 (rys. 5).

Zgodnie z wymogami system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH produkcji MICHENFELDER ELEKTROTECHNIK GmbH Co. KG (Niemcy), woda dozowana do mieszarki powinna być podana w bardzo krótkim czasie, co wydłuża czas aktywnego mieszania składników szczególnie bentonitu z wodą.

Założenia te można zrealizować instalując dodatkowy zbiornik na wodę, napełnianego tą samą ilością wody przed rozpoczęciem cyklu mieszania.

Końcową ilość dozowanej wody system MICOMP wylicza na podstawie dokonanego pomiaru wilgotności wymieszanych składników w mieszarce. Elektroniczny system MICOMP zapewnia wtedy dodawanie właściwej ilości wody do mieszanki, gwarantującej uzyskanie żądanej wilgotności masy formierskiej w każdym cyklu mieszania z dokładnością 0,1% H₂O (±0,05% H₂O).

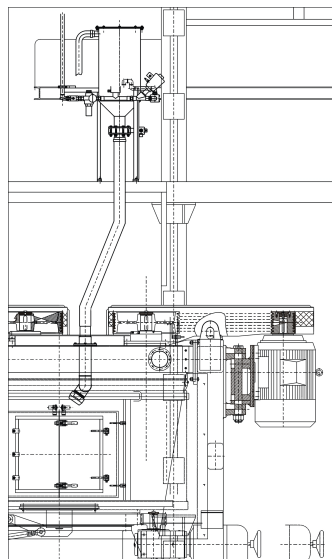
Układ dozowania wody z pośrednim zbiornikiem, pozwala na:

- skrócenie czasu mieszania składników w stosunku do systemu, gdzie pomiar dozowanej wody jest przez przepływomierz,
- drugi pomiar sprawdzający wilgotność masy formierskiej po wstępnym wymieszaniu składników posiada możliwość korekty.

Napełnianie zbiornika tą samą ilością wody przed cyklem mieszania, może być realizowane przez:

- pomiar objętościowy dozowanej wody przez przepływomierz,
- pomiar wagowy dozowanej wody przez wagę tensometryczną.

Obydwa stosowane pomiary napełniania zbiornika wodą są obarczone porównywalnym błędem pomiarowym wynoszącym ok. $\pm 1\%$.



Rys.5. Instalacja dozowania wody do mieszarki MTI-2500 zamontowana w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy).

6. System sterowania stacją przerobu mas formierskich SPM-60.

System sterowania stacją przerobu mas formierskich SPM-60 wyposażony jest w aparaturę zabezpieczającą, sterowniczą, sygnalizacyjną oraz kontrolno – pomiarową. Zasadniczym elementem układu sterowania jest sterownik swobodnie programowalny firmy SIMENS typ S7 300 oraz system naważenia SIWAREX-M.

System obejmuje swoim zakresem sterowanie nie tylko napędami i mechanizmami mieszarki, ale również sterowanie dozownikami składników masy formierskiej, jak i całego systemu dystrybucji masy.

System sterowania umożliwia:

- automatyczną pracę całej stacji przerobu mas formierskich SPM-60,
- utrzymanie stabilnych zadanych parametrów masy formierskiej,
- wizualizację i kontrolę procesu z kabiny sterowniczej linii formierskiej,
- rejestrację parametrów technologicznych,
- pracę na kilku dowolnie wybranych recepturach masy formierskiej,
- bieżącą analizę stanów pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów z natychmiastową lokalizacją ewentualnych przyczyn awarii.

7. Pomiar i regulacja wilgotności oraz parametrów masy formierskiej w mieszarce turbinowej MTI-2500 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslaw (Czechy).

Do automatycznego pomiaru i regulacji parametrów masy formierskiej produkowanej przez mieszarkę turbinową MTI-2500 firmy P.P.P. TECHNICAL Sp. z o. o. (Polska) zostały zastosowane dwa systemy produkcji MICHENFELDER ELEKTROTECHNIK GmbH Co. KG (Niemcy):

- a) system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH
 - gwarantuje uzyskanie dokładności wilgotności gotowej masy formierskiej: 0,1% H₂O ($\pm 0,05\%$ H₂O).
 - ciągłe monitorowanie procesu mieszania oraz jej działania.
- b) automatyczny system VEDIMAT do badania parametrów masy w czasie pracy to:
 - w pełni zautomatyzowane urządzenie do bezpośredniej kontroli zagęszczalności masy formierskiej. Połączone ono jest z urządzeniem MICOMP UNI – tu masa formierska może być przygotowywana nie tylko wg wymaganej wilgotności, ale również zgodnie z parametrami zagęszczalności,
 - automatyczny system badania i kontroli zagęszczalności masy formierskiej (utrzymywanie jej w bardzo małych tolerancjach). System mierzenia wytrzymałości na ściskanie i obliczanie zawartości benonitu bezpośrednio przed stanowiskiem formierskim. Tak więc wszystkie czynniki mające wpływ na masę formierską na jej drodze z mieszarki do formierki będą wykryte i wyrównane.

Sposób działania:

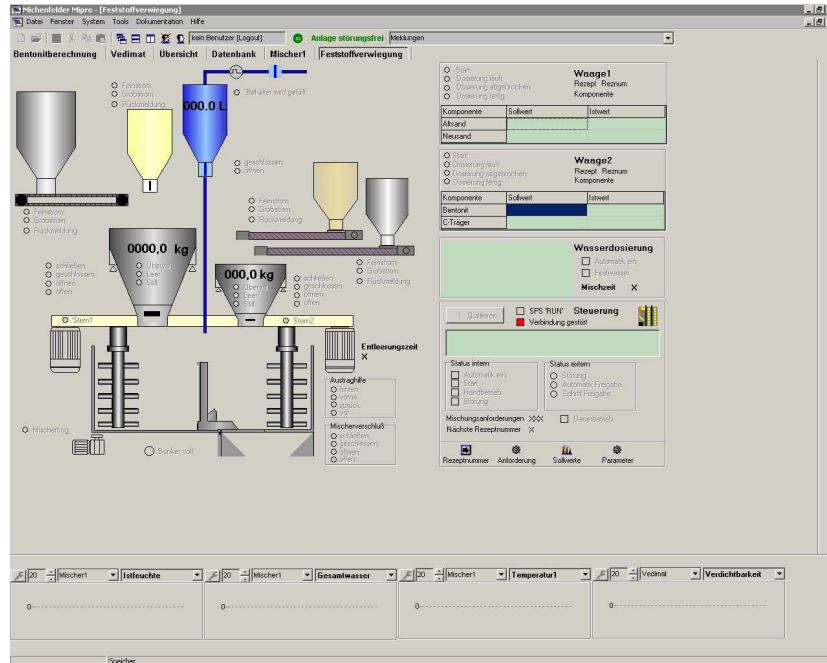
Odpowiednią ilość wody ustala się na podstawie różnicy pomiędzy docelową a rzeczywistą zagęszczalnością. System do obliczeń bierze wagę wsadu oraz istniejące warunki wilgotności, następnie w sposób elektroniczny dozuje właściwe ilości wody do mieszanki.

Optymalna ilość bentonitu jest obliczana na podstawie różnicy pomiędzy docelową i rzeczywistą wytrzymałością formy. Właściwa wielkość bentonitu jest dodawana do kolejnego wsadu. System analizuje wszystkie dane i uzyskane wyniki badań, które są następnie wyświetlone na ekranie i przekazywane w postaci graficznej lub numerycznej.

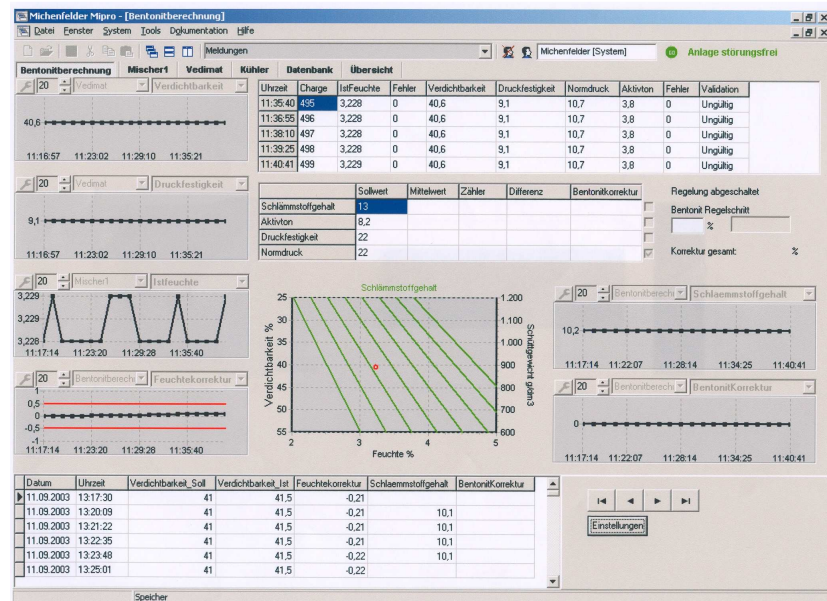
8. System wizualizacji SPM-60 (rys.6, 7).

System wizualizacji składa się z czterech zasadniczych części:

1. Ekran synoptyczny z graficzną animowaną prezentacją procesu, będącą w pewnym stopniu schematem całej stacji przerobu mas, jak i jej poszczególnych węzłów, sygnalizującą pracę poszczególnych napędów, położenie mechanizmów, stopień napełnienia zbiorników itp.,
2. System ekranów (okien) alarmowych ze słownymi komunikatami informującymi o prawidłowej i nieprawidłowej pracy poszczególnych urządzeń i mechanizmów,
3. System ekranów (okien) umożliwiających nastaw parametrów procesu przygotowania masy, w szczególności:
 - programowanie receptur masy
 - nastawę czasów technologicznych procesu
 - nastawę innych parametrów pracy urządzeń.



Rys.6. Ekrany wizualizacji stacji przerobu mas formierskich SPM-60, ŠKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy).



Rys.7. Ekrany wizualizacji stacji przerobu mas formierskich SPM-60, ŠKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy).

4. System rejestracji danych.

Wszystkie dane procesowe (aktualna wilgotność masy) w mieszarce, temperatura, ilości dozowanych składników, zagęszczalność i wytrzymałość na ściskanie gotowej masy, ilości dozowanej wody itp.) są rejestrowane, wyświetlane na ekranie i przechowywane w pamięci komputera. Operator ma możliwość podglądu danych aktualnych jak i historycznych w formie tabelarycznej lub w postaci wykresu.

9. Wyniki technologiczne (rys. 8, 9).

Stacja przerobu mas formierskich SPM-60 wraz z mieszarką turbinową MTI-2500 została wykonana dla nowej linii formierskiej LORAMATIC.

Z istniejących w starej stacji przerobu mas formierskich zostały zdemontowane dwie z trzech istniejących mieszarek pobocznicowych. W miejsce dwóch mieszarek pobocznicowych została zamontowana mieszarka turbinowa MTI-2500, której zadaniem jest produkcja masy dla linii LORAMATIC, natomiast pozostawiona mieszarka pobocznicowa miała produkować masę formierską dla linii formierskiej (konwojerowej) z maszyną formierską wstrząsowo – prasującą, która docelowo przeznaczona jest do liwidacji.

W praktyce okazało się, że masa formierska produkowana na pozostawionej mieszarce pobocznicowej tak znacznie odbiega jakością i parametrami od masy formierskiej produkowanej w nowo zainstalowanej mieszarce turbinowej MTI-2500, że podjęto decyzję o całkowitym wyłączeniu mieszarki pobocznicowej z cyklu produkcyjnego, mieszarka turbinowa MTI-2500 wykonuje obecnie masę formierską na przemian dla obu linii formierskich.

Ciąg technologiczny produkcji masy formierskiej dla linii LORAMATIC jest wyposażony w system automatycznego pomiaru i regulacji wilgotności MICOMP UNI Typ G-CH oraz automatyczny system VEDIMAT do badania parametrów masy w czasie pracy. Ciąg technologiczny produkcji masy formierskiej dla linii formierskiej (konwojerowej) z maszyną formierską wstrząsową – prasującą nie jest wyposażony w automatyczny system VEDIMAT do badania parametrów masy w czasie pracy.

Na rys.8 przedstawione są wyniki pomiarów parametrów masy formierskiej produkowanej w mieszarce turbinowej MTI-2500 dla linii formierskiej LORAMATIC.

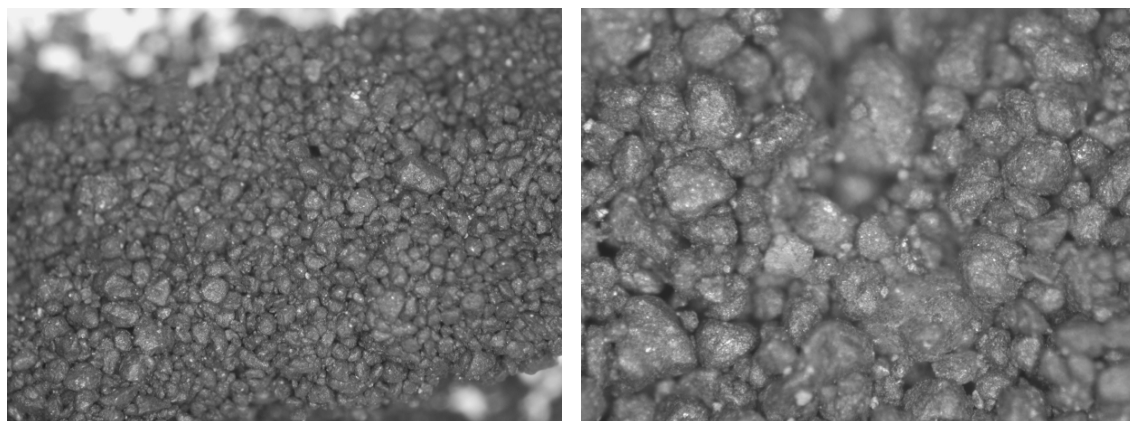
Wilgotność masy zwrotnej po chłodzeniu	Wilgotność wyjściowa za mieszarką MTI-2500 (%)	Zagęszczalność (%)
1,75	3,45	42,5
1,42	3,49	42,7
1,20	3,52	43,0
1,12	3,55	43,6
1,72	3,52	43,7
1,10	3,51	43,9
1,53	3,49	44,0
1,08	3,55	44,2
1,04	3,51	44,3
2,38	3,44	42,5

Rys.8. Wyniki pomiarów parametrów masy formierskiej produkowanej w mieszarce turbinowej MTI-2500 dla linii formierskiej LORAMATIC, ŠKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy).

Otrzymane wyniki technologiczne oraz parametry masy formierskiej dla linii formierskiej LORAMATIC spełniają założenia techniczne w zakresie parametrów masy formierskiej określone przez producentów linii formierskich ujęte w pkt.3 niniejszego referatu. Kolejne pomiary parametrów masy w różnych okresach czasu, oraz dla różnych asortymentów odlewów potwierdziły niezawodność działania oraz możliwość dokładnej regulacji i stabilizacji procesu sporządzania mas formierskich.

Zdjęcia cząstek piasku masy formierskiej otrzymane w procesie mieszania w mieszarce turbinowej MTI-2500 powiększone pod mikroskopem przedstawia rys.9.

Na zdjęciach widać pojedyncze ziarna piasku otoczone spoiwem, co daje podstawę do oceny, że proces mieszania w mieszarce turbinowej przebiegał prawidłowo.



Rys.9. Cząsteczki piasku kwarcowego otoczone bentonitem po procesie mieszania w mieszarce turbinowej MTI-2500, ŠKODA AUTO Mlada Boleslav (Czechy).

10. Podsumowanie.

Jakość odlewów zależy w dużej mierze od jakości wytwarzanych mas formierskich. W procesie produkcyjnym odlewni aby uzyskać masę o jednorodnych właściwościach decydującą rolę odgrywają trzy zasadnicze parametry:

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

Budowane wg technologii TECHNICAL stacje przerobu mas formierskich SPM-60 w odlewni ŠKODA – Mlada Boleslav (Czechy) w pełni spełniają powyższe kryteria.

Oferowane przez TECHNICAL –Nowa Sól (Polska) mieszarki turbinowe w pełni sprawdziły się w przemyśle. Charakteryzują się one niezawodnością działania, stanowią podstawowe wyposażenie nowoczesnych stacji przerobu mas formierskich SPM.

Dodatkowe wyposażenie oraz zastosowane systemy automatycznej kontroli i regulacji parametrów masy formierskiej w pełni zaspakajają wymagania nowoczesnych odlewni.

Podobne systemy sporządzania mas formierskich bentonitowych zostały wykonane w ostatnich latach w wielu odlewniach na terenie kraju oraz poza granicami Polski. Niezawodna praca urządzeń oraz uzyskiwane parametry technologiczne masy formierskiej są potwierdzeniem przyjętych założeń oraz wysokiego poziomu technicznego stosowanych rozwiązań.

11. Literatura.

- [1] Chudzikiewicz R.: Mechanizacja Odlewni. WNT. Warszawa, 1974.
- [2] Rudy C., Piosik T.: Katalog „Maszyny Odlewnicze”. PPP. TECHNICAL. Nowa Sól, 1998.
- [3] Aksjonow P.N.: Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice, 1965.
- [4] Bodzoń L., Dańko J., Żurawski L.: Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Skrypt AGH nr 919. Kraków, 1984.
- [5] Gregoraszczyk M.: Maszynoznawstwo Odlewnicze. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne. Kraków, 2002.

TENDENCJE W ZAKRESIE ROZWIĄZAŃ KRAT DO WYBIJANIA ODLEWÓW

Mirosław GREGORASZCZUK¹
Krzysztof SMYKSY²
Eugeniusz ZIÓLKOWSKI³

1. Wstęp.

Proces wybijania odlewów stwarza szczególnie trudne warunki na stanowisku pracy. Postęp w zakresie mechanizacji i automatyzacji stanowisk wybijania umożliwił ograniczenie zagrożeń oraz optymalizację przebiegu procesu wybijania. Od pierwszych prób zastosowania krat wibracyjnych do wybijania odlewów, pozostają one niezmiennie w szerokim użyciu. Początkowo ich napędem były wibratory pneumatyczne, a następnie mechaniczne. Obecnie najczęściej są stosowane odmiany wibratorów rotodynamicznych. Poniżej, na tle skrótowego opisu procesu i urządzeń do wybijania odlewów omówiono niektóre zagadnienia budowy, działania i zastosowań krat wibracyjnych. Uwzględniono zagadnienie regulacji napędu umożliwiające skuteczne i wydajne działanie krat przy zmiennym asortymencie wybijanych odlewów. Zestawiono dane techniczne krat oferowanych przez wybranych producentów.

2. Ogólna charakterystyka procesu i urządzeń do wybijania odlewów.

Proces wybijania polega na usunięciu ze skrzynki formierskiej odlewu wraz z masą formierską, przy następnym ich oddzieleniu, a także na usunięciu rdzeni. Korzystne jest skuteczne rozdrobnienie brył masy i wybitych rdzeni oraz wstępne przesianie masy. Mechanizację procesu realizowano głównie w oparciu o urządzenia wibracyjne. Dotyczyło to również krat wibracyjnych, których napędem były początkowo wibratory pneumatyczne. Charakteryzowały się one jednak dużym zużyciem sprężonego powietrza, a także niską wydajnością procesu wybijania – stąd w latach 50-tych ubiegłego wieku zostały one zastąpione napędem mechanicznym z wibratorami kinematycznymi i rotodynamicznymi (rys.1.).

W eksploatacji krat wibracyjnych występują negatywne oddziaływania w postaci hałasu, pyłu czy wysokiej temperatury. W przypadku formowania skrzynkowego powszechnie stosowane kraty wibracyjne charakteryzują się wysokim poziomem hałasu przekraczającym nawet 115 dB (A) [3,10]. Głównym jego źródłem są uderzenia skrzyń formierskich i odlewów o ruszt kraty oraz drgania własne kwater rusztu [5]. Poziom emisji hałasu podwyższa się wraz ze wzrostem rozmiarów kraty wibracyjnej: od ok. 106 dB(A) przy 3,5 m² powierzchni rusztu do 113 dB(A) przy 11,5 m³ [3,10]. Jedynym skutecznym sposobem obniżenia poziomu hałasu tych urządzeń jest stosowanie obudów, co pozwala obniżyć emisję o 13-21 dB(A) [3,12]. Korzystnym rozwiązaniem zmierzającym do obniżenia emisji hałasu i osiągnięcia korzyści technologicznych jest współpraca krat z wpycharkami [8,9].

¹ prof. dr hab. inż.; mgregoraszczuk@agh.edu.pl

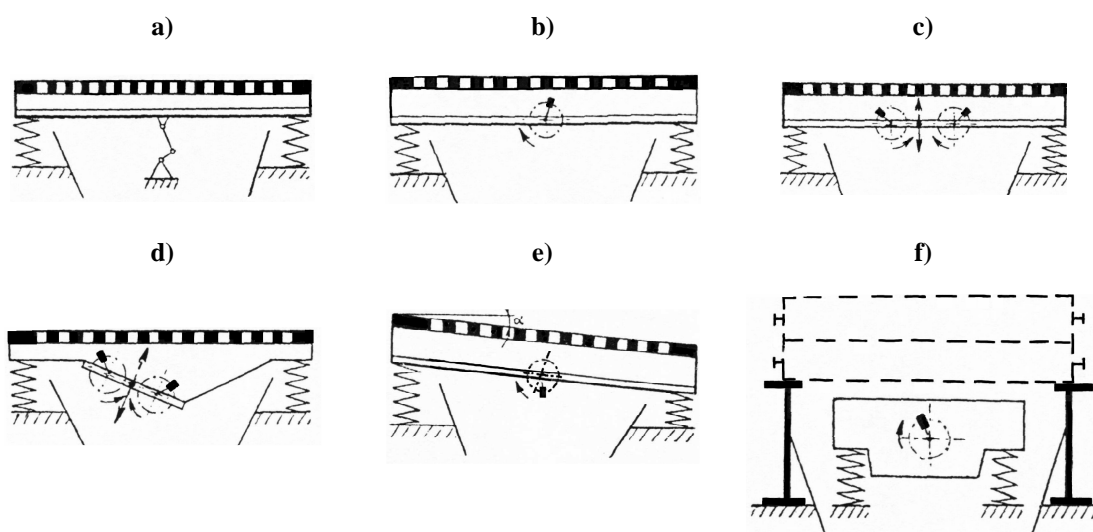
² dr inż.; kscopy@agh.edu.pl

³ dr inż.; eziolkowski@agh.edu.pl

W automatycznych liniach formowania bezskrzynekowego kraty są często zastępowane obrotowymi lub wibracyjnymi bębnami wieloczynnościowymi. Stosowanie urządzeń bębnowych poprawia warunki pracy. Przy poprawnym rozwiązaniu urządzenia, poziom emisji hałasu nie przekracza dopuszczalnych wartości. Ponadto stworzone są warunki do eliminacji dodatkowych emitorów hałasu (homogenizator, chłodziarka) [4,6,7]. Alternatywne rozwiązania dla krat i bębnow- pneumatyczne urządzenia impulsowe (nisko- i wysokociśnieniowe), pozwalają osiągać bardzo niski poziom emisji hałasu na stanowiskach wybijania zapewniając przy tym hermetyzację procesu [8]. Metody te nie znalazły jednak szerokiego rozpowszechnienia. Nadal dominują, więc metody wibracyjnego wybijania, wykorzystujące głównie kraty wibracyjne. Udoskonalono znacząco ich konstrukcję oraz zastosowano nowoczesne układy sterowania.

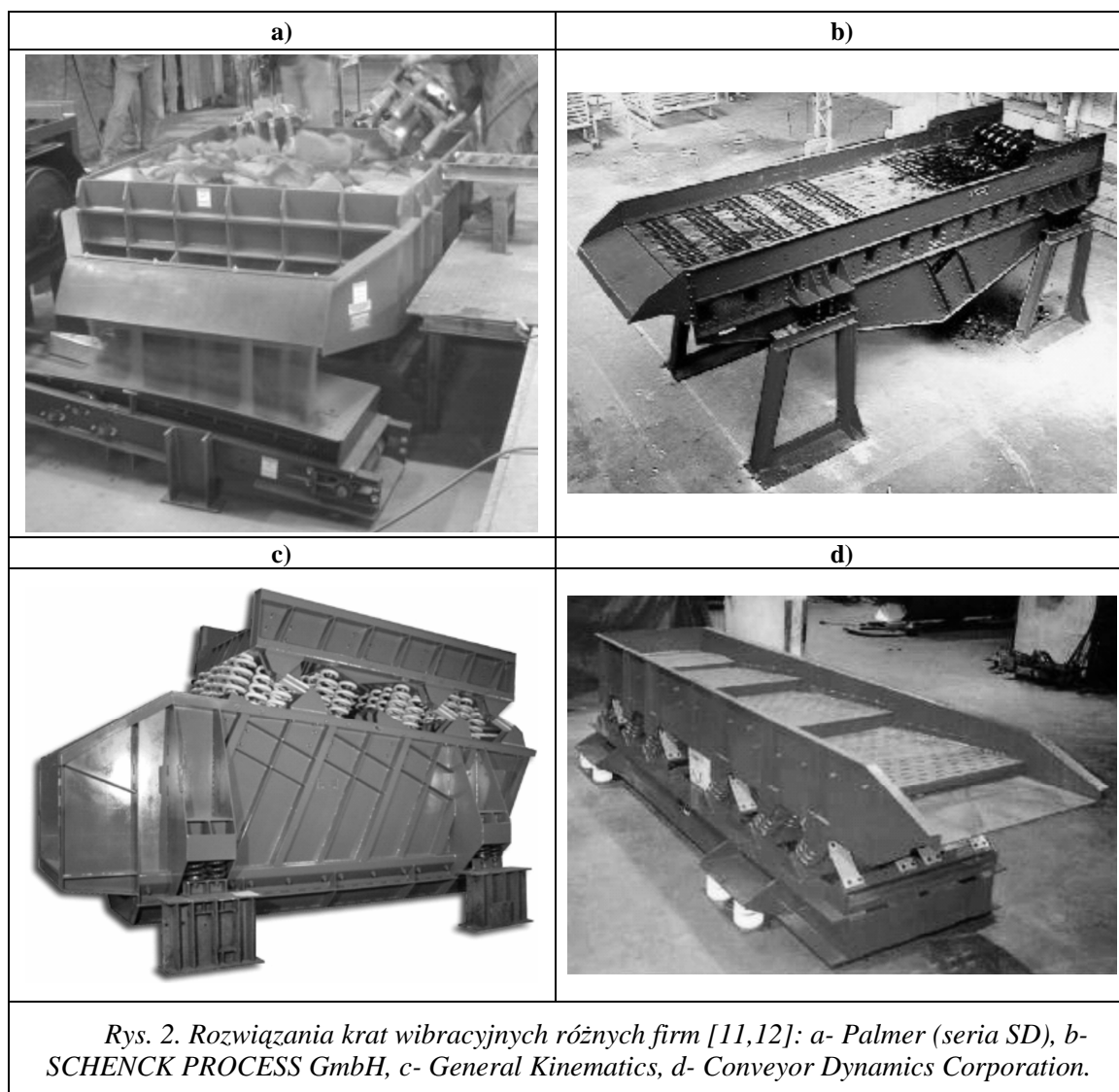
3. Kraty wibracyjne i ich działanie.

Przykładowe schematy krat wibracyjnych przedstawiono na rysunku 1. Kraty z napędem kinematycznym- rys.1a, zostały zastąpione przez napęd rotodynamiczny: jednomasowy (rys.1b, 1e, 1f) lub dwumasowy (rys.1c, 1d). Postępem mechanizacji procesu wybijania stały się tzw. kraty samorozładowcze (rys.1d i e).

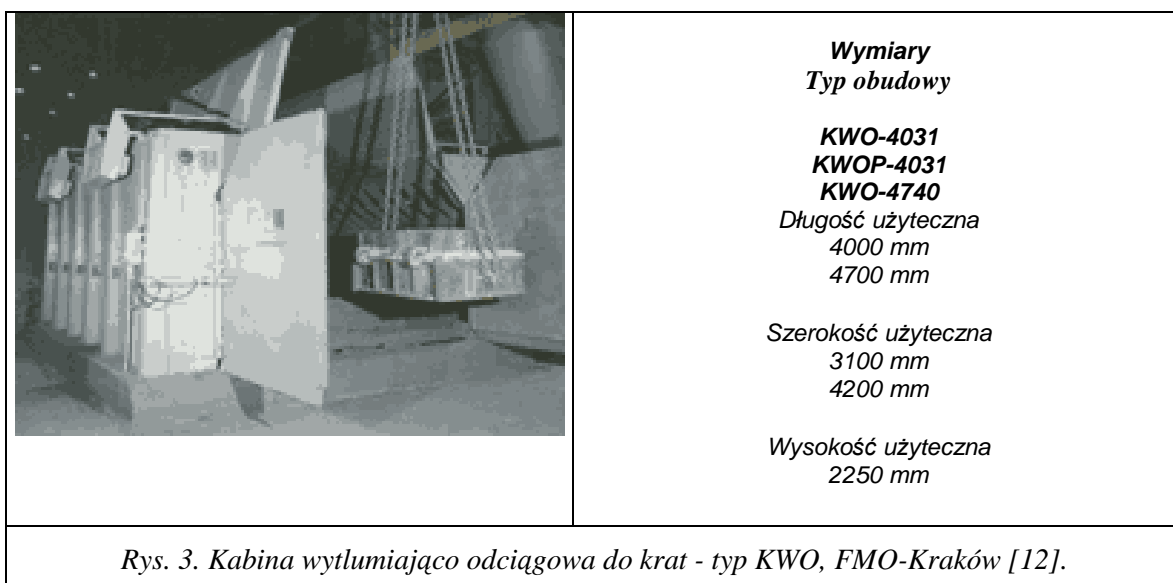


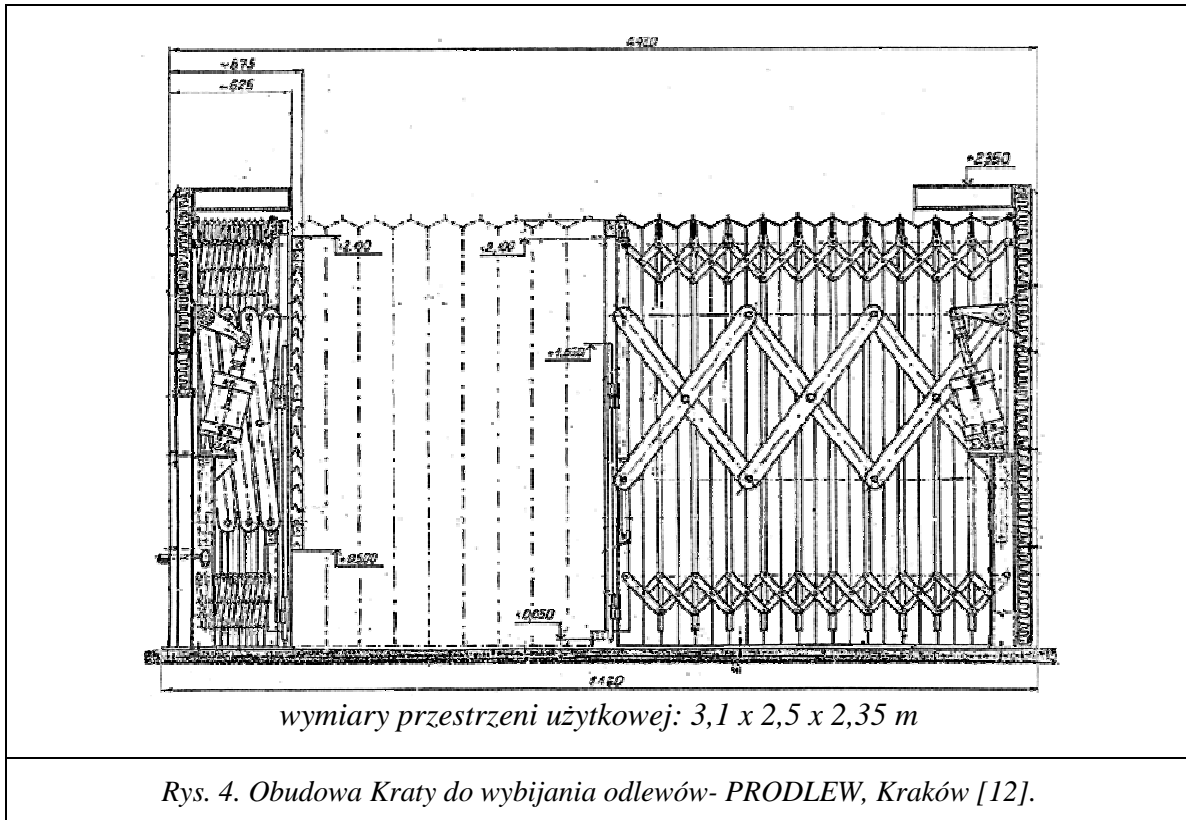
Rys. 1. Schematy krat wibracyjnych z różnymi rodzajami napędu: a– kinematycznym mimośrodkowym, b– rotodynamicznym jednomasowym, c– rotodynamicznym dwumasowym, d– samorozładowcza z wibratorem dwumasowym, e– samorozładowcza z wibratorem jednomasowym, f– udarowa.

Szczególnym rozwiązaniem, rzadziej stosowanym, jest krata udarowa (rys.1.f), w konstrukcji charakteryzująca się działaniem wibracyjnego bijaka, a w eksploatacji - relatywnie mniejszym zużyciem energii napędowej. Ograniczeniem zastosowań krat udarowych jest rozmiar skrzyń formierskich, jakie mogą być wybijane przy danym rozstawie podpór. W procesie wybijania dużych i ciężkich odlewów, możliwe jest również zestawianie kilku krat wibracyjnych (z uwzględnieniem nośności poszczególnych krat). Rozwiązanie takie proponuje przykładowo FMO- Kraków dla typoszeregu krat- WKM [11]. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe rozwiązania krat wibracyjnych oferowanych przez różne firmy.

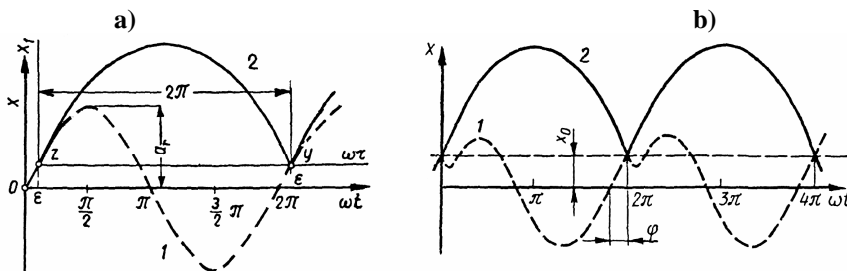


Jak wspomniano wcześniej zastosowanie obudowy krat umożliwi skuteczne ograniczenie emisji pyłów oraz hałasu [5,12]. W kraju obudowy oferuje FMO- Kraków (typu KWO oraz KWOP- rys.3) [11, 12] oraz Prodlew, Kraków- rys.4 [12].





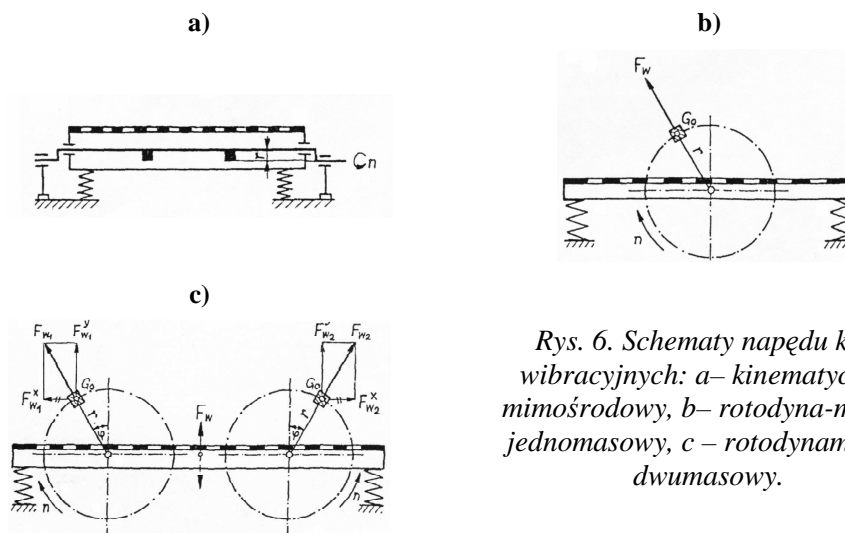
Teorię i analizę procesu wybijania przy użyciu krat wibracyjnych opracował P. N. Aksjonow [1]. W celu skrótowej interpretacji działania krat wibracyjnych na rysunku 5 przedstawiono graficzne ujęcie ruchów kraty i wybijanej formy [1]. Ze względu na złożony proces oddziaływania kraty z nadawą podczas wybijania, trudno jednak ustalić jednoznaczne kryteria oceniające efektywność działania kraty.



Rys. 5. Wykresy przebiegu ruchu rusztu kraty wibracyjnej oraz wybijanej formy:
a – kraty z napędem kinematycznym mimośrodowym działająca w warunkach optymalnych (tj. przy braku odbicia formy przy uderzeniach o kratę $R = 0$), b – kraty z napędem rotodynamicznym jednomasowym działająca przy współczynniku odbicia formy od kraty $R > 0$ ($R = 0,12 \div 0,22$).

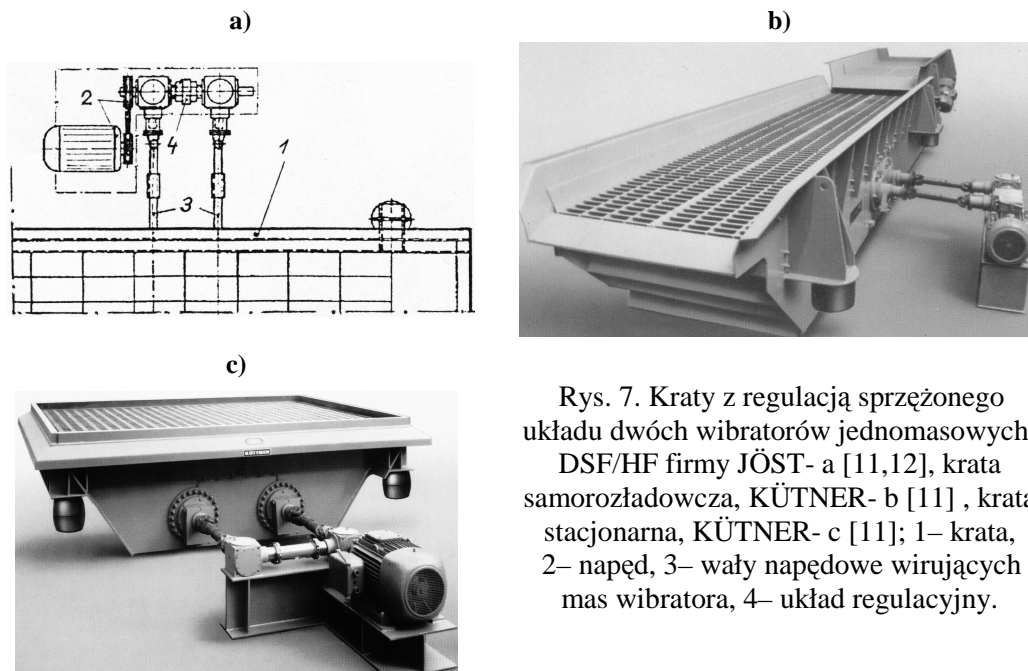
4. Napędy krat wibracyjnych.

Współczesnym napędem krat wibracyjnych są wibratory mechaniczne [7]. Ich schematy odpowiadające stosowanym alternatywom – przedstawia rysunek 6. Napęd kinematyczny mimośrodowy (rys.3a) zapewnia stałą wartość amplitudy, niezależnie od częstotliwości i wielkości mas drgających. Tego rodzaju wibrator nadaje się do napędu urządzeń o relatywnie sztywnym układzie sprężyn podpierających kratę, przy wzbudzeniu drgań o niskich częstotliwościach i dużych amplitudach.



Rys. 6. Schematy napędu krat wibracyjnych: a – kinematyczny, mimośrodowy, b – rotodyna-miczny jednomasowy, c – rotodynamiczny dwumasowy.

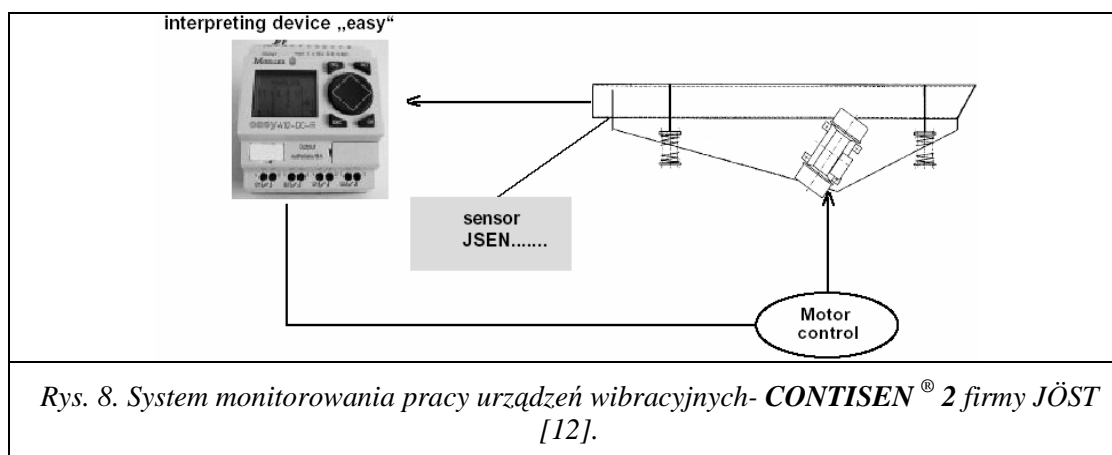
Napęd rotodynamiczny jednomasowy (rys.6b) charakteryzuje się tym, że tor ruchu wybranego punktu napędzanej kraty w ogólności jest eliptyczny, zaś wartość siły wymuszającej wynosi $F_w \cong 4 G_0 \cdot n^2 \cdot r$ [8]. Wibrator dwumasowy (rys.6c) zapewnia liniowe przemieszczanie się rusztu kraty, a wartość siły wymuszającej wynosi $F_w = 2 F_{w1} \cdot \cos \varphi$, maksimum wartości siły występuje przy $\varphi = 0^\circ$ oraz 180° , zaś przy $\varphi = 90^\circ$ i 270° – F_w równe jest 0. W przypadkach dużych sił wymuszających występuje znaczne obciążenie łożysk wibratora, stąd wibratory takie zastępuje się wibratorami biegunowymi [8]. Uzyskiwanie dużych sił wymuszających przy małych rozmiarach gabarytowych oraz niewielkim ciężarze własnym – to zalety, zaś obciążenia łożysk oraz stosunkowo długi czas rozruchu i zatrzymywania – to główne wady wibratorów rotodynamicznych.



Rys. 7. Kraty z regulacją sprzężonego układu dwóch wibratorów jednomasowych: DSF/HF firmy JÖST- a [11,12], krata samorozładowcza, KÜTNER- b [11], krata stacjonarna, KÜTNER- c [11]; 1– krata, 2– napęd, 3– wały napędowe wirujących mas wibratora, 4– układ regulacyjny.

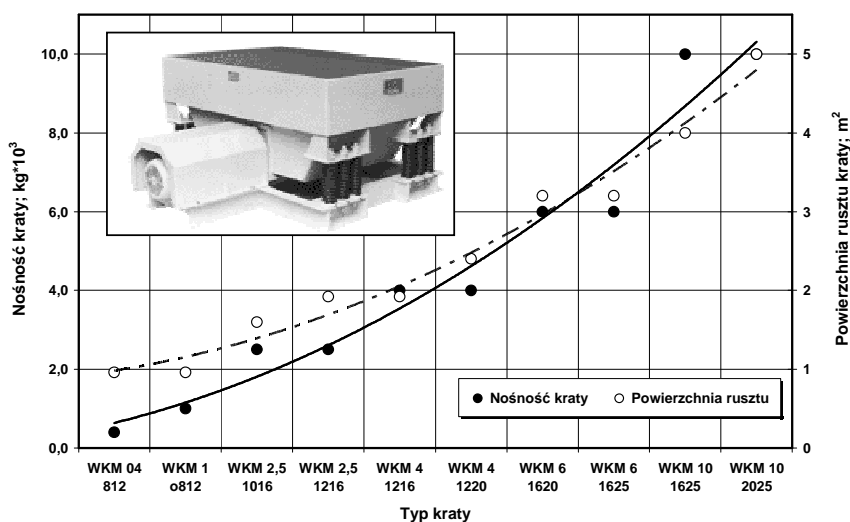
Regulacja wibratorów rotodynamicznych, może polegać na zmianie położenia środków ciężkości mas wirujących G_0 wzdłuż promienia r (rys.6), rzadziej na wymianie masy G_0 . Inną możliwością regulacji jest zmiana kąta wzajemnego położenia mas wirujących. Umożliwia to zmianę wartości F_w^{\max} oraz kąta podrzutu, a tym samym warunków procesu wybijania.

Możliwy jest dobór parametrów vibracji rusztu kraty do asortymentu wybijanych odlewów (cienko- lub grubościennie) oraz zmiana czasu przebywania nadawy na ruszcie kraty. System ten zastosowano w typoszeregu krat DSF/HF firmy JÖST oraz w kratkach współpracującej z nią firmy KÜTNER - rys.7 [11,12]. Wprowadzane są również nowoczesne systemy sterowania napędem (wykorzystanie falowników) oraz układy monitorowania pracy urządzenia [11,12]. Przykładowy system przedstawiono na rysunku 8.

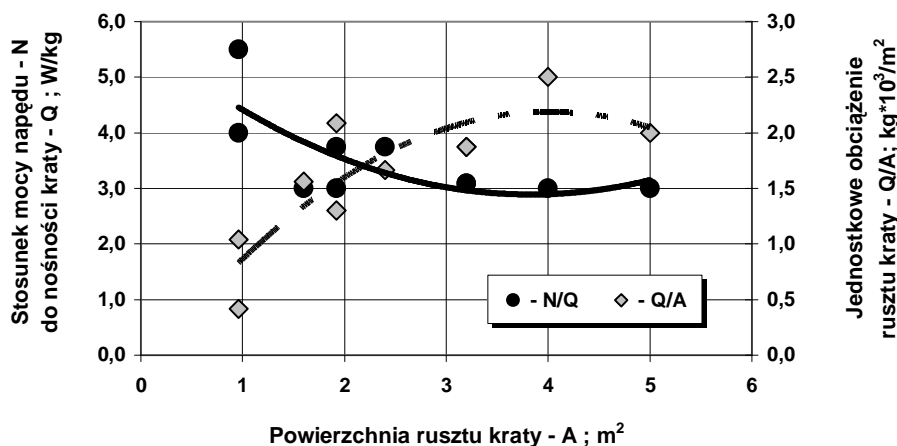


5. Przykładowe dane porównawcze krat wibracyjnych.

Powszechne i szerokie zastosowanie krat wibracyjnych do wybijania odlewów spowodowało zainteresowanie ich produkcją. Liczni wytwórcy oferując swoją produkcję, z reguły nie podają pełnych danych katalogowych, co utrudnia ocenę oraz możliwość porównywania produkowanych krat wibracyjnych. W kraju producentem krat jest firma FMO- Kraków, oferująca aktualnie kraty stacjonarne serii WKM i samorozładowcze WKMS [12]. Na rysunku 9 zestawiono podstawowe dane charakteryzujące typoszereg krat WKM.

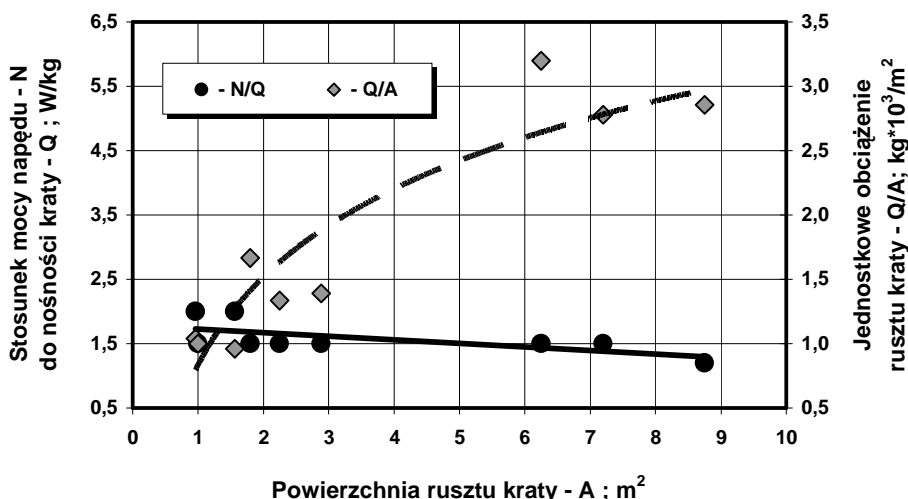


Rys. 9. Charakterystyka typoszeregu krat WKM firmy FMO- Kraków.



Rys 10. Wybrane parametry typoszeregu krat wibracyjnych:
WKM (FMO- Polska).

Na rysunkach 10 i 11 zestawiono syntetyczne wskaźniki porównawcze dwóch typoszeregów krat znanych producentów: JÖST -Niemcy oraz FMO-Polska - obliczone w oparciu o dostępne dane techniczne [11,12].



Rys. 11. Wybrane parametry typoszeregu krat wibracyjnych
AUFA (JÖST- Niemcy).

Z rysunku 11 wynika, że w przypadku większości krat typoszeregu AUFA firmy JÖST [12] zachowano niemal stałą relację wartości mocy napędu kraty do jej nośności. Wzrost wielkości kraty (jej rozmiarów) związany jest z wyraźnym wzrostem jej jednostkowego obciążenia (rys.11). Brak w materiałach ofertowych innych firm pełnej charakterystyki technicznej krat ogranicza przeprowadzenie ich kompleksowej oceny porównawczej. Jak wspomniano wcześniej trudno również ustalić jednoznacznie kryteria oceniające technologiczną efektywność działania kraty.

Rozwiązaniem posiadającym wiele pozytywnych cech jest urządzenie firmy Palmer Manufacturing & Supply, Incorporation [12] stanowiące połączenie kraty wibracyjnej z urządzeniem do mechanicznej regeneracji (ociernej) przedstawione na rysunku 12. W tabeli zamieszczonej na tym rysunku zestawiono podstawowe dane techniczne typoszeregu tych urządzeń oraz obliczone wskaźniki techniczne. Należy podkreślić, że koncepcję oraz prototyp oryginalnego urządzenia integrującego kratę wibracyjną z regeneratorem mechanicznym opracowano również na Wydziale Odlewnictwa AGH; zespół Autorów rozwiązania wymieniony jest w publikacji [2].

Dane techniczne urządzeń serii VD firmy Palmer



Typ urządzenia

VD 2**VD 4****VD 8**Wydajność; kg·10³/h

1 ÷ 3

2 ÷ 6

6 ÷ 10

Moc napędu; kW

3,1

4,6

6,2

Obciążenie rusztu, kg

454

680

907

Powierzchnia rusztu, m²

0,31

0,59

0,84

Obciążenie jedn., kg/m²

1,46

1,16

0,84

Energochłonność, kJ/kg

3,7 ÷ 11

2,8 ÷ 8,3

2,2 ÷ 3,7

Rys. 12. Krata wibracyjna zintegrowana z urządzeniem do mechanicznej regeneracji, typu VD firmy Palmer Manufacturing & Supply, Inc. [12].

6. Podsumowanie.

Zaprezentowane rozwiązania mechanizacji wibracyjnego wybijania odlewów świadczą o znacznym postępie w tym zakresie. Widoczna jest możliwość istotnego ograniczenia zagrożeń występujących na stanowiskach wybijania. Wyraźny jest także rozwój w zakresie: konstrukcji krat, jakości stosowanych do ich budowy materiałów, oraz systemów sterowania ich pracą. Regulacja parametrów napędu: siły wymuszającej wibratora, częstotliwości drgań umożliwia obecnie dobór optymalnych parametrów działania kraty i ich dostosowanie do zmiennego asortymentu wybijanych odlewów, przy równoczesnym uzyskaniu korzystnych wskaźników charakteryzujących energochłonność procesu wybijania. Uwzględniając aktualny poziom techniczny rozwiązań krat wibracyjnych można prognozować dalsze szerokie ich stosowanie.

Opracowanowo w ramach pracy statutowej Katedry Mechanizacji, Automatyizacji i Projektowania Odlewni, WO AGH realizowanej w 2004r, finansowanej przez KBN.

7. Literatura.

- [1] Aksjonow P. N.: Oborudowanie litiejnych ciechow. Maszynostrojenie, Moskwa (1977)
- [2] Bodzoń L., Dańko J., Sroczyński A., Żurawski L.: Próby nowej odmiany regeneratora mechanicznego. Przegląd Odlewnictwa, t.41, nr 3, s.90.
- [3] Brülle P. van : Untersuchung der Geräuschemission von Gießereimaschinen. Giesserei 78, (1991), Nr.14, S. 515.
- [4] Fedoryszyn A., Dańko J., Smyksy K.: Analiza wyposażenia linii przygotowania masy używanej. Materiały Konferencji TECHNICAL-200, s.94.
- [5] Giergiel i in.: Hałas i wibracje w przemyśle odlewniczym. cz. I i II, AGH, Kraków, (1992).
- [6] Gregoraszcuk M., Fedoryszyn A., Smyksy K.: Charakterystyka bębnowych urządzeń do oddzielania odlewów oraz przygotowania formierskiej masy używanej. Acta Metallurgica Slovaca, 5, (1999), s. 104.
- [7] Gregoraszcuk M., Smyksy K., Wrona R.: The Design Features of Vibratory Knock-out Grids. Acta Metallurgica Slovaca, special Issue 3, (2001), s. 162.
- [8] Gregoraszcuk M.: Maszynoznawstwo odlewnicze. UWND AGH, Kraków (2002).
- [9] Samsonowicz Z.: Automatyizacja procesów odlewniczych. WNT. Warszawa, (1985).
- [10] Smyksy K., Gregoraszcuk M., Fedoryszyn A.: Comparative Study of Chosen Foundry Machines in Aspects of Noise Emission. Acta Metallurgica Slovaca, 2, (1998), s. 21.
- [11] Materiały ofertowe producentów krat wibracyjnych: BMD, CARL SCHENCK, FMO, JÖST, KÜTTNER, GENERAL KINEMATICS.
- [12] Strony internetowe: www.conveyordynamicscorp.com, www.schenck-process.de, www.joest.com, www.fmo.krakow.pl, www.generalkinematics.com, www.prodlew.tele2.pl, www.palmermfg.com, www.kuettner.com

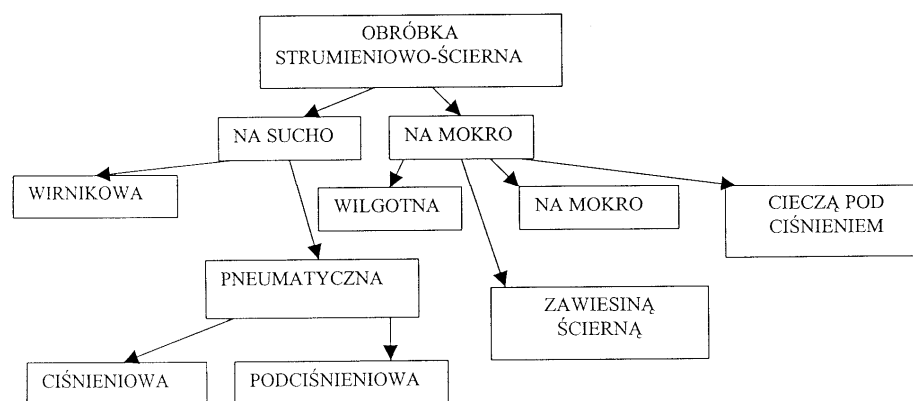
WYBRANE ZAGADNIENIA OBRÓBK STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ

Tadeusz PIOSIK¹
Piotr ZYZAK²

WPROWADZENIE.

Podstawową metodą oczyszczania i przygotowania powierzchni jest obróbka strumieniowo-ścierna. Zgodnie z definicją zawartą w PN-EN ISO 8504-2:2000 obróbka strumieniowo-ścierna jest to "uderzanie strumieniem ścierniwa, charakteryzującego się wysoką energią kinetyczną w powierzchnię, która ma być przygotowana."

Metody obróbki strumieniowo-ścierniej:



Rys. 1. Metody obróbki strumieniowo-ścierniej, według PN-EN ISO 8504-2:2000.

Obróbka strumieniowo-ścierna wirnikowa

W metodzie tej ścierniwo wyrzucane jest na obrabianą powierzchnię za pomocą kół rzutowych turbin wyposażonych w łopatki rzutowe. Obróbka wirnikowa jest bardzo skuteczna i ekonomiczna, nie usuwa ona jednak dostatecznie z powierzchni zanieczyszczeń chemicznych.

Obróbka strumieniowo-ścierna pneumatyczna

W obróbce strumieniowo-ścierniej pneumatycznej strumień powietrza jest zasilany ścierniwem, a następnie mieszanina powietrza ze ścierniwem jest kierowana z dyszy z dużą prędkością na oczyszczaną powierzchnię. Ścierniwo może być wtryskiwane do strumienia powietrza ze zbiornika ciśnieniowego, lub może być wprowadzane do strumienia powietrza poprzez zasysanie ze zbiornika bezciśnieniowego.

Obróbka strumieniowo-ścierna pneumatyczna podobnie jak wirnikowa nie usuwa dostatecznie z powierzchni zanieczyszczeń chemicznych.

Obróbka strumieniowo-ścierna podciśnieniowa

Metoda jest podobna do obróbki strumieniowo-ścierniej pneumatycznej, z tym, że dysza natryskowa wyrzucająca ścierniwo umieszczona jest w głowicy ssącej przylegającej do oczyszczanej powierzchni i zbierającej ścierniwo i zanieczyszczenia. Obróbka podciśnieniowa podobnie jak dwie pozostałe nie usuwa dostatecznie z powierzchni zanieczyszczeń chemicznych.

¹ inż.; t.piosik@technical.com.pl

² mgr inż.; pzyzak@agh.edu.pl

Obróbka strumieniowo-ścierna pneumatyczna na mokro (hydrościerna)

Podobna jest do obróbki strumieniowo-ścierniej pneumatycznej lecz z dodaniem cieczy (zwykle wody). Metoda ta stosowana jest najczęściej w celu uniknięcia pylenia, oraz gdy wymagane jest usunięcie związków rozpuszczalnych w dodanym płynie.

Obróbka strumieniowo-ścierna zawieszoną ścierną

W tej metodzie zawieszona drobnoziarnista ścierniwa w wodzie lub innej cieczy jest kierowana pompami lub sprężonym powietrzem poprzez dyszę na obrabianą powierzchnię. Stosowana jest głównie do uzyskania drobnoziarnistego profilu powierzchni, lub celem uniknięcia powstawania wtórnego profilu.

Obróbka strumieniowo-ścierna cieczą pod ciśnieniem

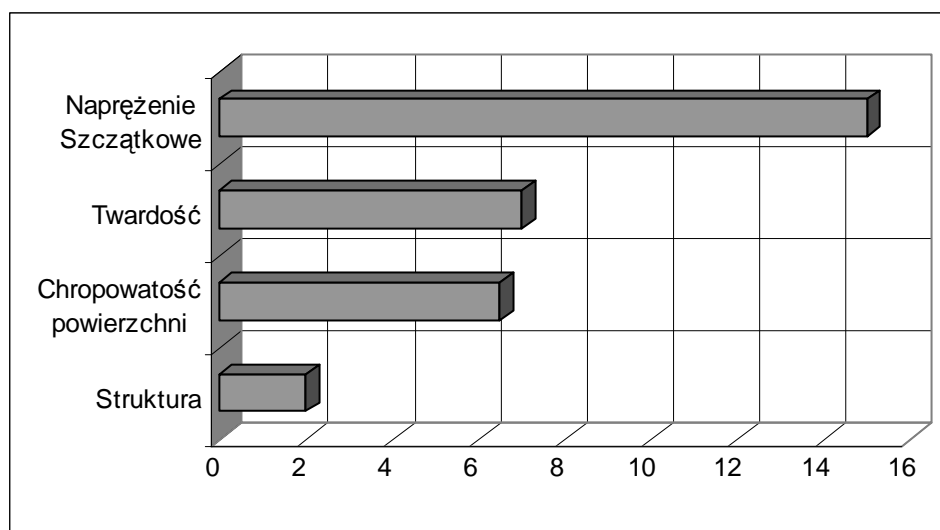
Ścierniwo (lub mieszanina ścierniw) wprowadzana jest do strumienia cieczy, a strumień ścierny kierowany jest dyszą na oczyszczaną powierzchnię. Strumień ścierny stanowi głównie ciecz pod ciśnieniem. Zakres stosowania obróbki strumieniowo-ścierniej cieczą pod ciśnieniem jest taki jak w przypadku obróbki strumieniowo-ścierniej pneumatycznej na mokro [12].

Obróbka strumieniowo – ścierna powierzchni jest procesem stosowanym od 130 lat.

Na jej temat opublikowano ponad 1500 rozpraw naukowych. Badaniom podlegały między innymi: efekty obróbki strumieniowo-ścierniej i jej parametry, wpływ obróbki na powierzchnie w odniesieniu do poszczególnych materiałów, trwałość elementów roboczych urządzeń do obróbki strumieniowo-ścierniej.

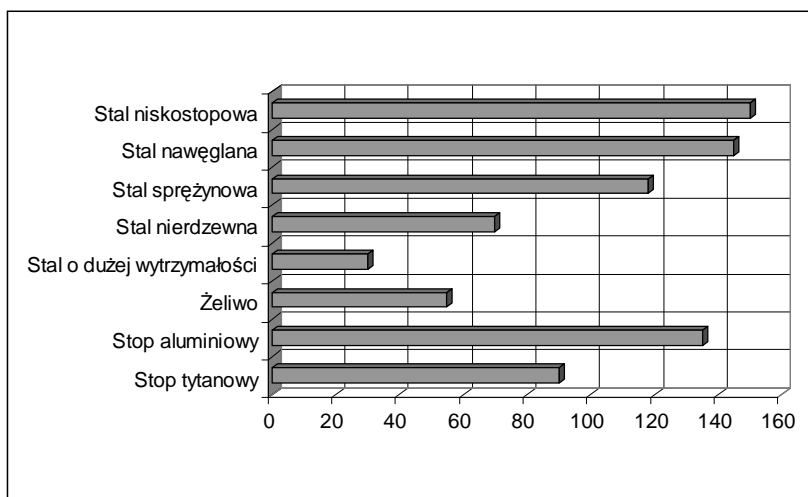
Statystycznie udział poszczególnych tematów realizowanych w ostatnich latach przedstawia się następująco:

W zakresie analizy efektów obróbki i jej parametrów:



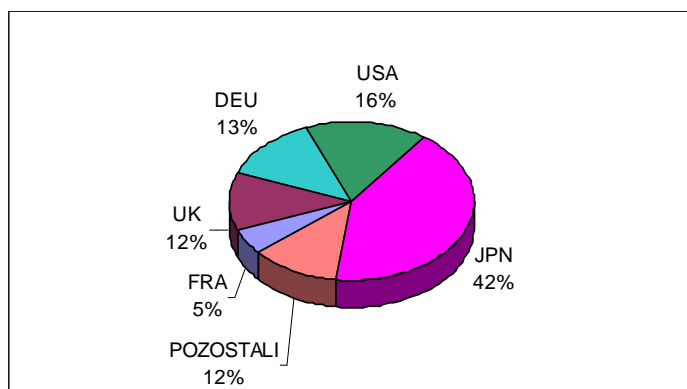
Rys. 2. Badanie efektów obróbki strumieniowo-ścierniej i jej parametrów.

Biorąc pod uwagę rodzaje badanych materiałów, największa liczba opublikowanych rozpraw naukowych przedstawia się następująco:



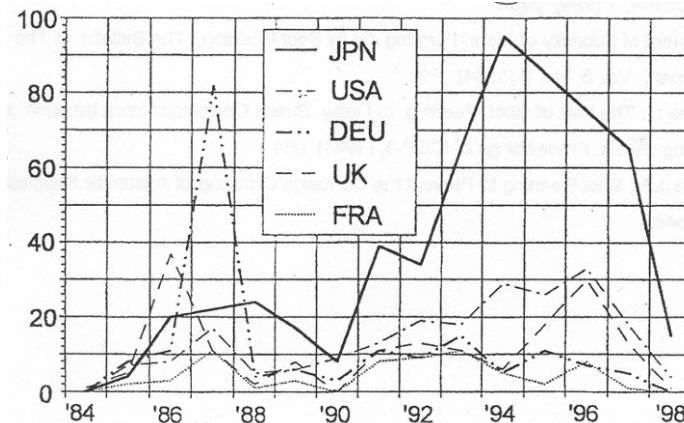
Rys. 3. Liczba rozpraw naukowych dotyczących wpływu obróbki strumieniowo - ściernej na powierzchnie wybranych materiałów.

Najwięcej rozpraw naukowych na temat obróbki strumieniowo-ściernej zostało opublikowanych w następujących krajach: Japonii, USA, Wielkiej Brytanii, Niemczech i Francji. Procentowy udział poszczególnych krajów przedstawia się następująco:



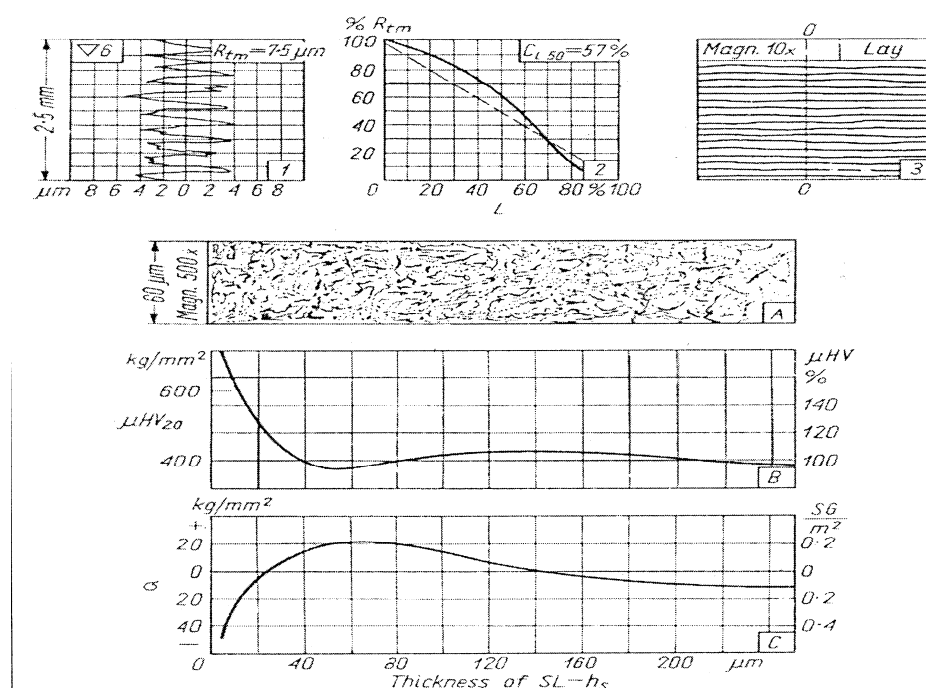
Rys. 4. Porównanie liczby rozpraw naukowych na temat obróbki strumieniowo-ściernej opublikowanych w ostatnim okresie.

Największą ilość opublikowanych prac odnotowano latach dziewięćdziesiątych, co ilustruje poniższy wykres:



Rys. 5. Ilość prac naukowych na temat obróbki strumieniowo-ściernej opublikowanych w pięciu wiodących krajach [14].

Przedstawione powyżej dane obejmują lata 1984 –1998. Lata te były najbardziej „owocne” pod względem ilości opublikowanych prac badawczych. Wynikało to ze zmiany podejścia do zagadnień obróbki strumieniowo-ścierniej. Przez wiele dziesięcioleci obróbka ta była postrzegana wyłącznie w najprostszych kategoriach oczyszczania mocno zanieczyszczonych powierzchni odlewów wykonanych w formach piaskowych i bardzo mocno skorodowanych powierzchni stalowych. W rozważaniach nie brano pod uwagę zmian występujących w warstwie wierzchniej obrabianego przedmiotu. Zmiana podejścia do prezentowanej technologii nastąpiła na przełomie lat 60-tych i 70-tych. Od tej pory w miejsce słowa „oczyszczanie” coraz częściej używa się określenia „obróbka strumieniowo-ścierna”. Jednym z przełomowych wydarzeń było Zgromadzenie Ogólne Międzynarodowego Towarzystwa CIRP w Hadze w 1962 roku. Tam po raz pierwszy przedstawiono i przyjęto w środowisku technologicznym Kompleksową Charakterystykę Warstwy Wierzchniej.



Rys. 6. Schemat układu Kompleksowej Charakterystyki Warstwy Wierzchniej. Objasnienia: 1- profil chropowatości jego ówczesznie znormalizowane parametry, 2- tak zwana krzywa nośności Abbota-Firestone, 3- widok powierzchni w powiększeniu, A- zgląd metalograficzny, B- rozkład twardości, C- rozkład twardości w płaszczyźnie normalnej do powierzchni [11].

- Dla pełnej oceny powierzchni, przedstawioną powyżej charakterystykę należy uzupełnić o stopień czystości.

WPLYW OBRÓBKII STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ I JEJ PARAMETRÓW NA POWIERZCHNIĘ I WARSTWĘ WIERZCHNIĄ PRZEDMIOTU.

Czystość powierzchni i jej ocena

Czystość powierzchni odgrywa zasadnicze znaczenie dla jakości i trwałości powłok ochronnych i dekoracyjnych. W przypadku odlewów podlegających dalszej obróbce mechanicznej, czystość powierzchni ma niebagatelne znaczenie dla parametrów obróbki skrawaniem i trwałości narzędzi skrawających. O ile w początkowym okresie stosowania metody obróbki strumieniowo-ścierniej, oczyszczanie odlewów było przedmiotem stosunkowo dużej ilości opracowań teoretycznych i praktycznych – tak w ostatnim

dwudziestolecia zagadnienie to zajmuje marginalne znaczenie zarówno pod względem publikacji naukowych, jak też normalizacyjnych i praktycznych. Na temat przygotowania powierzchni metodą strumieniowo-ścierną i oceny jej czystości ukazały się w latach 1985 – 2003 liczne publikacje naukowe i opracowania normalizacyjne odnoszące się do powierzchni stalowych i nieżelaznych. W przypadku braku odpowiednich opracowań dotyczących odlewów, głównie staliwnych i żeliwnych - poprzez analogię przyjmuje się do stosowania opracowania i normy odnoszące się do powierzchni stalowych. W tym względzie najbardziej aktualne są normy PN-ISO 8501 obejmujące: kryteria oceny powierzchni przed obróbką strumieniowo - ścierną, ustalenia wymaganego stopnia czystości, oraz oceny czystości powierzchni po obróbce. Podstawowymi normami są: PN-ISO 8501-1; PN-ISO 8501-1/Ad1; PN-ISO 8501-2 - o ogólnym tytule: „Przygotowanie podłoży stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów. Wzrokowa ocena czystości powierzchni”. Podane normy zawierają następujące sposoby przygotowania powierzchni: trawienie kwasem, oznaczone symbolem Be; czyszczenie płomieniem, oznaczone symbolem FI; czyszczenie ręczne z wykorzystaniem narzędzia z napędem mechanicznym, oznaczone symbolami St2 i St3; oraz obróbkę strumieniowo – ścierną oznaczoną symbolem Sa.

Ocena jakości przygotowania i oczyszczenia powierzchni dokonywana jest według następujących metod:

Stopień przygotowania powierzchni - ocena odbywa się na zasadzie oceny wzrokowej - służą do tego celu odpowiednie fotografie porównawcze powierzchni stalowych zawarte w PN- ISO 8501-1; PN-ISO 8501-1/Ad1; PN-ISO 8501-2 różnią się cztery stopnie przygotowania powierzchni od Sa 1 do Sa 3. Najwyższym stopniem przygotowania powierzchni jest Sa 3. Z reguły dla większości pokryć ochronnych wystarczającym stopniem przygotowania powierzchni jest Sa 2 lub Sa 2,5.

Stopień zapylenia powierzchni - ocena dokonywana jest zgodnie z PN – EN ISO 8502-3, metoda ta polega na zebraniu pyłu i kurzu taśmą samoprzylepną i porównania zagęszczenia i wielkości przyklejonych cząsteczek z wzorcami umieszczonymi w normie. Rozróżnia się pięć stopni zagęszczenia zanieczyszczeń i pięć stopni wielkości cząstek kurzu. Dla poprawnego wykonania powłok ochronnych zapylenie powierzchni nie może być wyższe od 3-go stopnia. Odnosi to się również do wielkości cząsteczek kurzu.

Zatłuszczenie powierzchni - do tej pory nie opracowano żadnej dogodnej i prostej ruchowej metody oceny zatłuszczenia. Można stosować: test wody (nie powinny zbierać się krople), bibułę filtracyjną nasączoną benzyną ekstrakcyjną, badanie fluorescencyjne (naświetlanie lampą UV), ekstrakcję rozpuszczalnikiem.

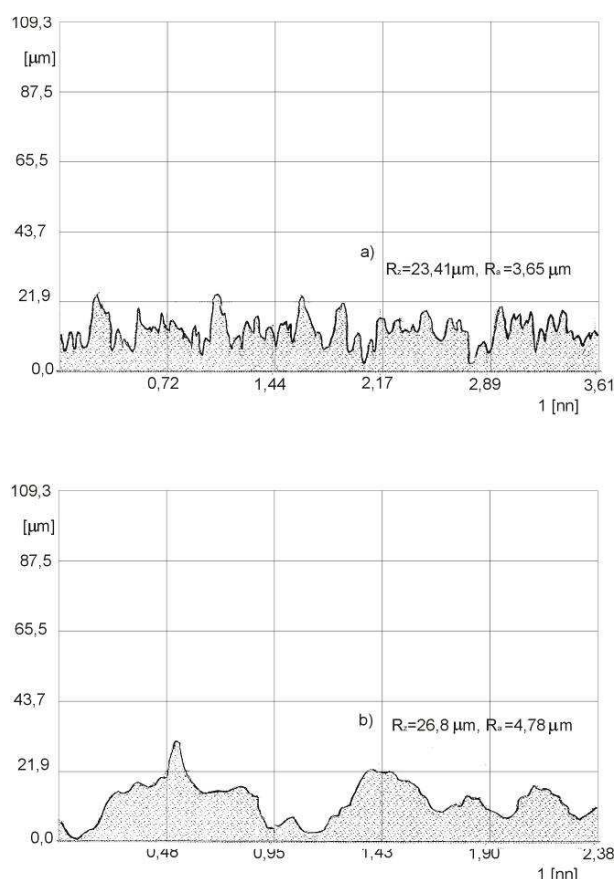
Obecność zanieczyszczeń jonowych rozpuszczalnych w wodzie - zdejmuje się je metodą Bresla wg PN - EN ISO 8502-6 i oznacza kalorymetrycznie metodą podaną w PN - EN ISO 6502-9. Zanieczyszczenia zdejmuje się pod przylepcami Bresla rozpuszczając je w wodzie destylowanej. Pomiar przewodności roztworu jest bardzo prosty, można posłużyć się wzorem przeliczeniowym przewodności zawartym w normie PN - E - ISO 8502-9, lub też posłużyć się wykresem przy powierzchni przylepca 1250 mm. Obecność jonów żelaza w stężeniu do 15 mg/m^2 nie wywiera ujemnego wpływu na większość powłok malarskich.

Chropowatość powierzchni i sposoby jej oceny.

Profile chropowatości powierzchni poddanych obróbce strumieniowo-ścierną istotnie różnią się od profili uzyskanych innymi metodami obróbki mechanicznej. Zasadnicza różnica polega na tym, że powierzchnie obrobione metodą strumieniowo – ścierną posiadają profile nierówności przestrzenne, podczas gdy powierzchnie obrobione innymi metodami posiadają profile nierówności o charakterze liniowym.

W zależności od stosowanych parametrów obróbki strumieniowo – ścierniej różne są profile obrobionych powierzchni. Do podstawowych parametrów decydujących o wielkości i kształcie profilu chropowatości obrobionej powierzchni, należą: rodzaj ścierniwa, granulacja ścierniwa, kształt ścierniwa, energia kinetyczna ścierniwa, rodzaj i twardość obrabianego materiału, powierzchnia wyjściowa materiału przed obróbką, natężenie kulowania, czas obróbki. Zmiana chropowatości powierzchni w dużej mierze zależy od wielkości i charakteru nierówności uzyskanych podczas obróbki poprzedzającej proces obróbki strumieniowo – ścierniej, ponieważ kulowanie zmienia strukturę powierzchni z anizotropowej na punktową.

Przykładowe różne kształty profilu chropowatości przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 7. Kształty profilu chropowatości powierzchni po obróbce strumieniowo – ścierniej
a) ścierniwem ostrokątnym (profil ostry), b) ścierniwem kulistym (profil łagodny).

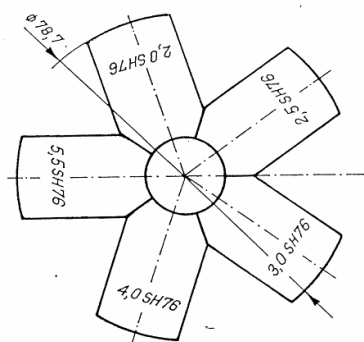
W zależności od celu obróbki wymagany jest profil „a” lub „b”. Na przykład w przypadku kulowania utwardzającego zwiększającego wytrzymałość zmęczeniową materiału wymaganym profilem jest profil „a”. W przypadku przygotowania powierzchni do malowania zalecanym profilem jest profil „b”. Profil ten znacznie zwiększa powierzchnię styku z podłożem. Ostre i liczne podcięcia ułatwiają „zakotwiczenie się” powłoki w podłożu metalu. Dla większości farb i lakierów zaleca się wartość R_z od $40 \mu\text{m}$ do $70 \mu\text{m}$. W przypadku farb z małą ilością rozpuszczalników wartość R_z może wynosić od $150 \mu\text{m}$ do $250 \mu\text{m}$.

W wyniku obróbki strumieniowo – ścierniej występuje zjawisko „falowania” warstwy wierzchniej. Ma to miejsce szczególnie przy obróbce materiałów nieżelaznych i stalowych nieutwardzonych. Czynnikiem ten należy brać pod uwagę przy dokonywaniu pomiaru chropowatości powierzchni – szczególnie przy ustalaniu długości odcinka pomiarowego. Obecnie stosowane metody pomiaru chropowatości powierzchni sklasyfikować można następująco:

- optyczne metody odwzorowania struktury powierzchni przy użyciu mikroskopu optycznego, elektronowego mikroskopu skaningowego,
- stykowe metody odwzorowania chropowatości powierzchni za pomocą laboratoryjnych lub polowych (przenośnych) profilografometrów,
- metody porównawcze wymiarowej oceny chropowatości powierzchni.

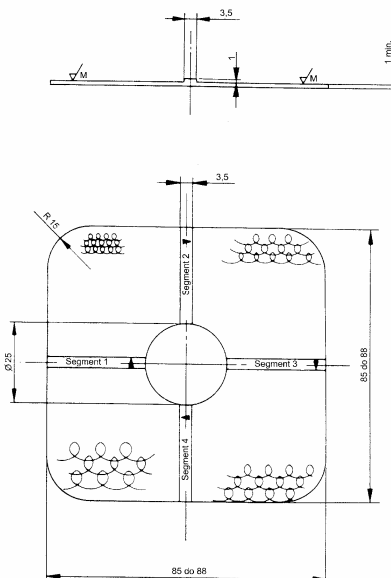
Przy ocenie chropowatości cechującej się znacznymi wahaniami wysokości mierzonych nierówności, a więc takiej chropowatości jak po obróbce strumieniowo – ścierniej, nie wydaje się celowe stosowanie przyrządów pomiarowych o wysokiej dokładności własnej. Można przyjąć, że jeśli wymagania nie stanowią inaczej, to do pomiaru chropowatości metalu po obróbce strumieniowo – ścierniej wystarczająca jest metoda porównawcza, w której są wykorzystywane wzorce chropowatości powierzchni. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, kiedy pomiary chropowatości wykonywane są z dala od laboratorium.

W USA od wielu lat używane są wzorce Keane-Tatora, które schematycznie przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 8. Wzorec chropowatości Keane- Tatora po obróbce śrutem kulistym (SH).

Najszerze jednak zastosowanie mają wzorce wg PN-EN ISO 8503-1. Przykład takiego wzorca przedstawiony jest na poniższym rysunku.



Rys. 9. Wzorec ISO profilu powierzchni.

Komplet składa się z dwóch wzorców chropowatości powierzchni dla dwóch podstawowych kształtów ziarna ściernego; ostrokątnego (wzorzec G) i kulistego (wzorzec S). Każdy z wzorców ma cztery segmenty różniące się średnią arytmetyczną maksymalnych wysokości chropowatości R_y . R_{y5} jest średnią arytmetyczną maksymalnych odległości między wierzchołkami, a wgłębieniami profilu w obrębie odcinka elementarnego, wyliczoną z pięciu sąsiednich odcinków elementarnych. W tabelicy 1 przedstawiono znamionowe wartości parametrów R_{y5} dla poszczególnych segmentów wzorców. Zaś w tabelicy 2 zestawiono klasyfikację ocenianych profili chropowatości.

Tabela 1.

Wartość parametrów R_{y5} dla poszczególnych segmentów wzorca.

Nr segmentu	Wzorzec G		Wzorzec S	
	R_{y5} (μm)	tolerancja (μm)	R_{y5} (μm)	tolerancja (μm)
1	25	± 3	25	± 3
2	60	± 10	40	± 5
3	100	± 15	70	± 10
4	150	± 20	100	± 15

Tabela 2.

Klasyfikacja profilu powierzchni.

Profil powierzchni	Ocena
Drobnoziarnisty („Fine” wg ISO)	Profil zgodny z segmentem nr 1 lub między segmentami 1 a 2, ale z wykluczeniem segmentu 2
Pośredni („Medium” wg. ISO)	Profil zgodny z segmentem nr 2 lub między segmentami 2 a 3, ale z wykluczeniem segmentu nr 3
Gruboziarnisty („Coarse” wg. ISO)	Profil zgodny z segmentem nr 3 lub między segmentami 3 a 4 ale z wykluczeniem segmentu nr 4

Ogólna ocena chropowatości powierzchni za pomocą wzorców ISO polega na wzrokowym lub dotykowym porównaniu badanej powierzchni z wzorcami ISO [12, 13, 16 ÷20].

WPLYW PARAMETRÓW OBRÓBKI STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ NA WARSTWĘ WIERZCHNIĄ OBRABIANEGO PRZEDMIOTU.

Kulowanie jest obróbką strumieniowo-ścierną, w wyniku której następuje umocnienie powierzchni obrabianych przedmiotów i polepszenie ich właściwości wytrzymałościowych, szczególnie wytrzymałości zmęczeniowej. Zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej jest spowodowane przez zmiany zachodzące w warstwie wierzchniej na skutek kulowania, a szczególnie przez zmianę wartości i rozkładu naprężeń własnych. W celu optymalizacji procesu kulowania konieczna jest znajomość wpływu parametrów procesu na wynik kulowania. Celem ustalenia wpływu parametrów kulowania na jego wynik zostały przeprowadzone próby kulowania próbek stalowych 4110 wg skali ASI (niemiecka skala 42CrMo4). Do badań użyto próbek o wymiarach: 110mm x 24mm x 2mm. Wszystkie próbki poddano obróbce skrawaniem, a następnie poszczególne próbki poddano różnej obróbce cieplnej, jak podano poniżej.

Tablica 3

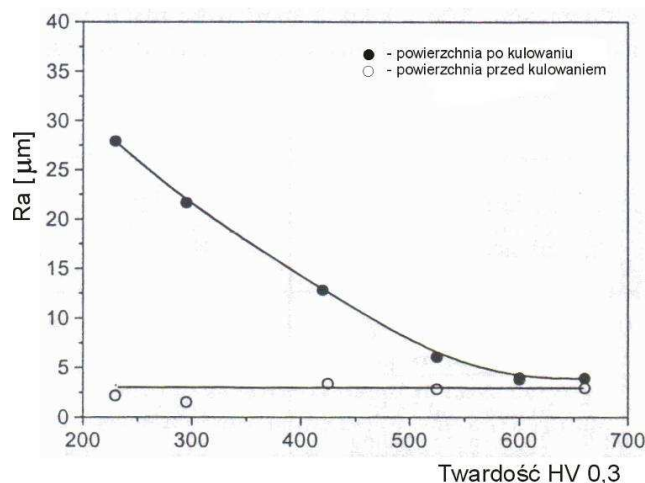
Warunki obróbki cieplej próbek i ich twardość wg Skali Vickersa.

OPIS	OBRÓBKA CIEPLNA	TWARDOŚĆ VICKERS
Normalizacja	930°C/3h, chłodzenie w piecu	HV 230
T 650	850°C/20min → olei 25 °C +650 °C/2h, chłodzenie w piecu	HV 295
T 450	850°C/20min → olei 25 °C +450 °C/2h, chłodzenie w piecu	HV 430
T 300	850°C/20min, olei 25 °C +300 °C/2h, chłodzenie w piecu	HV 525
T 180	850°C/20min → olei 25 °C +180 °C/2h, chłodzenie w piecu	HV 600
Szybkie chłodzenie	850°C/20 min → chłodzenie w piecu	HV 660

Wszystkie próbki poddane zostały dwustronnemu kulowaniu metodą pneumatyczną. Średnica dyszy wyrzutowej śrutu wynosiła 8 mm, odległość pomiędzy dyszą, a obrabianą powierzchnią była stała i wynosiła 80 mm, kąt padania śrutu na obrabianą powierzchnię był stały i wynosił 90°. Dla parametrów zmiennych ciśnienie powietrza zostało nastawione pomiędzy 0,16 a 0,6 MPa, a masowy przepływ śrutu pomiędzy 1,5 a 10 kg/min. Do prób zastosowano różne typy i wielkości śrutu. Pomiary naprężeń szczątkowych i połowy szerokości przy warstwie podpowierzchniowej zostały dokonane po usunięciu czterech warstw przy pomocy polerowania elektrolitycznego do głębokości 0,4 mm.

Wpływ twardości obrabianego przedmiotu na wielkość chropowatości

Do badań: użyto śrutu S 170 46 HRC, ustawiono ciśnienie powietrza na wartość $p = 0,16$ MPa, ustawiono masowe natężenie przepływu śrutu $m = 1,5$ kg/min. Próbki kulowano do uzyskania ugięcia płytek Almena 0,3 mm. Wynik prób przedstawia poniższy rysunek:

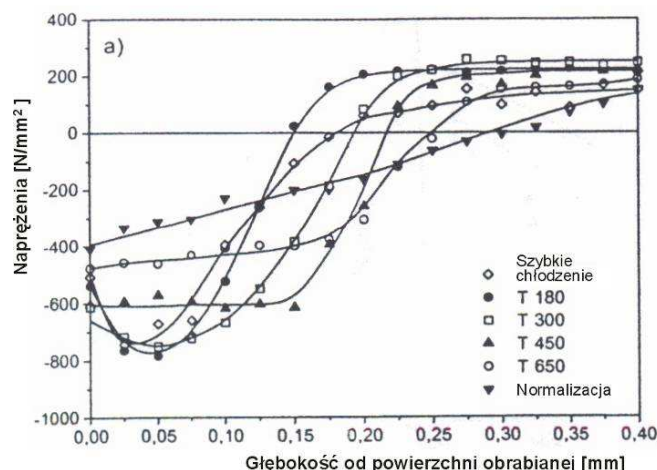


Rys. 10. Chropowatość powierzchni przed kulowaniem i po kulowaniu uzyskana dla różnych twardości obrabianego przedmiotu

Jak widać w miarę wzrostu twardości obrabianego przedmiotu maleje chropowatość powierzchni przy twardości 650 HV zbliża się do chropowatości wyjściowej.

Wpływ twardości przedmiotu na rozkład naprężeń szczątkowych warstwy wierzchniej

Badania przeprowadzono przy następujących parametrach obróbki: zastosowano śrut S 170 46 HRC, ciśnienie powietrza wynosiło $p = 0,16$ MPa, masowe natężenie przepływu śrutu wynosiło $m = 1,5$ kg/min. Uzyskane wyniki przedstawione są na poniższym rysunku.



Rys. 11. Wielkość naprężeń szczątkowych po kulowaniu próbek poddanych różnej obróbce cieplnej

Jak widać na powyższym wykresie wraz ze wzrostem twardości próbek maleje głębokość gdzie następuje zmiana znaku naprężeń szczątkowych. Jednocześnie można stwierdzić, że wraz ze wzrostem twardości próbki wzrastają naprężenia ściskające.

Wpływ rodzaju śrutu na intensywność obróbki strumieniowo-ściernej

Badania zostały przeprowadzone na zasadzie porównawczej poprzez dokonanie pomiaru wielkości odkształceń płytek Almena. Uzyskane wyniki obrazuje przedstawiona poniżej tabela.

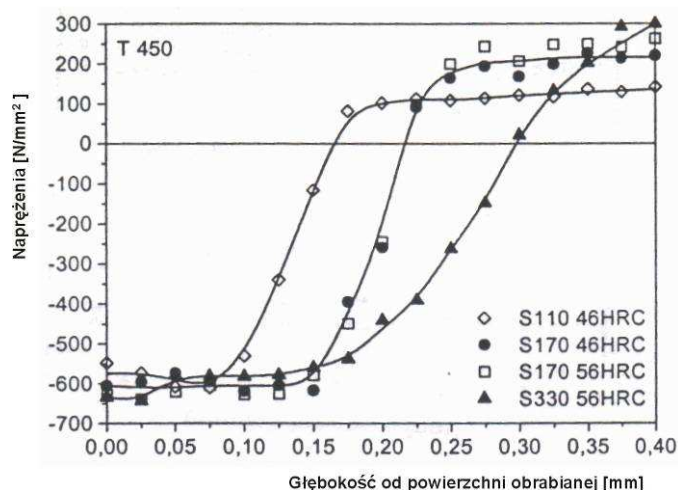
Tablica 4.

Wpływ rodzaju śrutu na intensywność kulowania.

Rodzaj śrutu	Ciśnienie spręż. powietrza MPa	Natężenie przepływu kg/min	Ugięcie płytki Almena mm
S10 46HRC	0,16	1,5	0,20
S170 46HRC			0,30
S170 56HRC			0,31
S330 56 HRC			0,50

Wpływ rodzaju śrutu na rozkład naprężeń szczątkowych.

Badania przeprowadzono na próbce poddanej ulepszeniu cieplnemu T450, przy stałych parametrach: $p = 0,16$ MPa, $m = 1,5$ kg śrutu/min. Wyniki badań przedstawione są na poniższym rysunku.

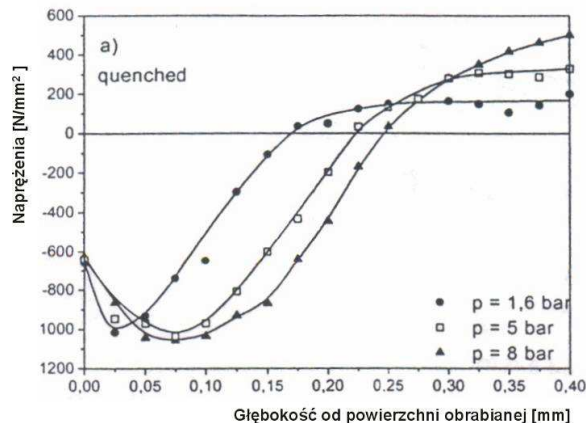


Rys. 12. Stosunek naprężeń szczątkowych do odległości od powierzchni dla różnego rodzaju śrutu

Podany powyżej wykres wskazuje, że głębokość na której naprężenia szczątkowe zmieniają swój znak wzrasta wraz ze wzrostem średnicy śrutu. Przy czym nie dotyczy to naprężeń szczątkowych do głębokości 0,1 mm poniżej powierzchni przedmiotu. Dla stałego rozmiaru śrutu, twardość śrutu nie ma wpływu na rozkład naprężeń szczątkowych.

Wpływ ciśnienia powietrza na rozkład naprężeń szczątkowych

Badania zostały wykonane przy zastosowaniu śrutu S 170 46 HRC, oraz przy stałym masowym natężeniu przepływu śrutu $m = 1.5 \text{ kg/min}$. Uzyskane wyniki obrazuje przedstawiony poniżej wykres.

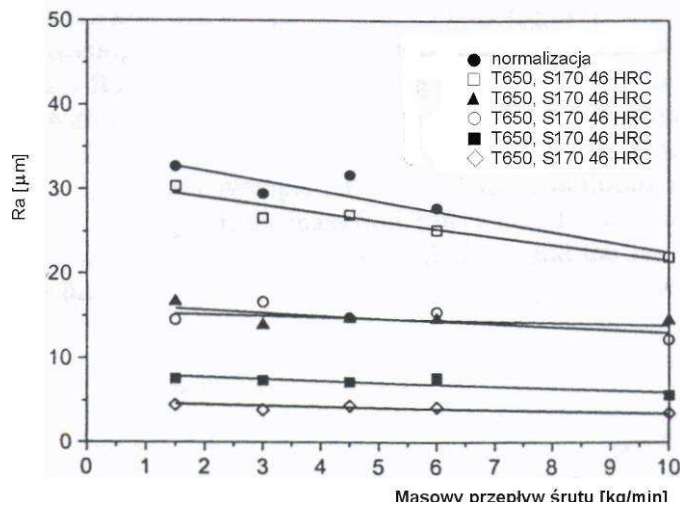


Rys. 13. Zmiany naprężeń szczątkowych kulowanej powierzchni przy różnych ciśnieniach powietrza

Przedstawiony powyżej wykres wskazuje, że naprężenia szczątkowe są niezależne od ciśnienia kulowania. Wraz ze wzrostem ciśnienia wzrasta odległość maksymalnych naprężeń ściskających od powierzchni, oraz miejsce zmiany znaku naprężeń. Wartości maksymalnych naprężeń ściskających pozostają praktycznie bez zmian.

Zależność pomiędzy masowym natężeniem przepływu śrutu, a chropowatością powierzchni

Badanie przeprowadzono przy zastosowaniu śrutu S 170 46 HRC oraz przy ciśnieniu powietrza $p = 0,3 \text{ MPa}$. Wyniki prób przedstawione są na poniższym wykresie.

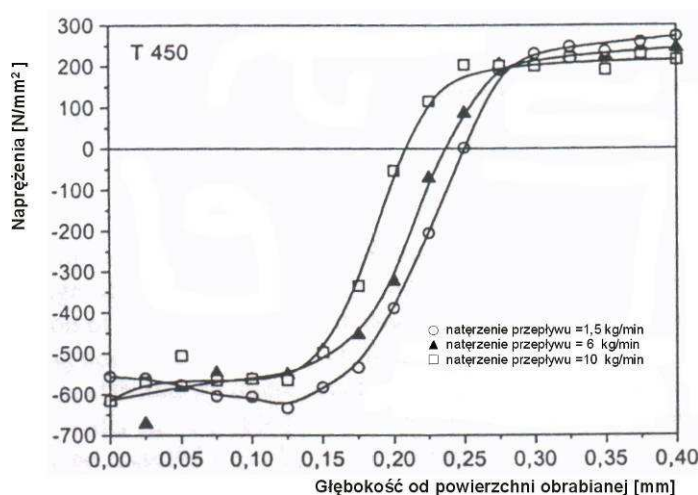


Rys. 14. Zależność chropowatości powierzchni od masowego natężenia przepływu śrutu i twardości obrabianych powierzchni

Przedstawiony powyżej wykres wskazuje, że wraz ze wzrostem masowego natężenia przepływu śrutu maleje wysokość chropowatości powierzchni, proporcjonalnie do twardości obrabianej powierzchni.

Zależność pomiędzy masowym natężeniem przepływu śrutu, a naprężeniami szczątkowymi

Badanie przeprowadzono stosując śrut S 170 46 HRC i ciśnienie powietrza $p = 0,3$ MPa. Poddano obróbce materiał T 450. Wyniki przeprowadzonych przedstawione są na poniższym rysunku.

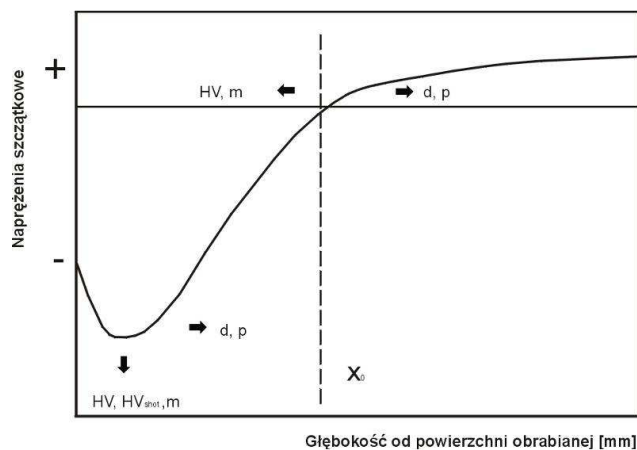


Rys. 15. Zależność pomiędzy masowym natężeniem przepływu śrutu, a naprężeniami szczątkowymi

Przedstawione na wykresie krzywe wskazują, że masowe natężenie przepływu śrutu nie ma większego wpływu na wielkość szczątkowych naprężeń ściskających do głębokości 0,1 mm od powierzchni. Przy większych odległościach od powierzchni naprężenia maleją wraz ze wzrostem masowego natężenia przepływu śrutu. Występuje również redukcja głębokości x_0 , gdzie naprężenia szczątkowe zmieniają swój znak.

Podsumowanie

Przedstawiony poniżej rysunek schematycznie przedstawia wpływ parametrów kulowania na rozkład naprężeń szczątkowych. Strzałki pokazują przesunięcie kierunku rozkładu naprężeń, kiedy wskazane parametry wzrastają.



Rys. 16. Wpływ parametrów kulowania na rozkład (schematycznie) naprężeń szczątkowych

Znaczenia symboli podanych na rysunku 16:

HV – twardość kulowanego materiału,

HV_{shot} - twardość śrutu użytego do kulowania,

m – masowe natężenie przepływu śrutu,

p – ciśnienie powietrza,

d – średnica śrutu.

Można stwierdzić, że rezultatem wzrostu twardości przedmiotu obrabianego jest spadek głębokości x_0 , gdzie naprężenia szczątkowe zmieniają swój znak. Przy wzroście twardości materiału obrabianego następuje wzrost maksymalnych naprężeń ściskających.

Wzrost twardości śrutu powoduje wzrost maksymalnych naprężeń ściskających, ale tylko w przypadku materiałów twardych.

Wzrost masowego natężenia przepływu śrutu powoduje zmniejszenie x_0 .

Większe ciśnienie obróbki i większa średnica śrutu, powodują wzrost wartości x_0 i zwiększenie odległości od powierzchni maksymalnych wartości szczątkowych naprężeń ściskających [15].

WYBRANE ZAGADNIENIA WIRNIKOWEJ OBRÓBK STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ

Większość wykonanych do tej pory badań odnoszących się do obróbki strumieniowo-ściernej dotyczyła metody pneumatycznej. Bardzo mało jest natomiast opracowań dotyczących metody wirnikowej. O ile metoda pneumatyczna nie podlegała istotnym zmianom, tak w metodzie obróbki wirnikowej dokonano w ostatnim czasie wielu innowacji konstrukcyjnych i technologicznych. Między innymi: wprowadzono nowe materiały elementów roboczych turbin i technologię ich wykonywania, opracowano nowe konstrukcje turbin i ich elementów roboczych, zwiększono sprawność energetyczną turbin, zastosowano regulację prędkości wyrzutu śrutu. Z racji wielu zalet metoda wirnikowa znajduje coraz szersze zastosowanie, wypierając też w wielu przypadkach metodę pneumatyczną. Z tych też powodów uważa się co najmniej za celowe wykonanie w miarę kompleksowych prac naukowo-badawczych dotyczących wirnikowej obróbki strumieniowo-ściernej. Badania te powinny dotyczyć urządzeń: konstrukcji wybranych elementów roboczych, parametrów pracy, trwałości elementów roboczych, materiałów i technologii wykonania. Powinny też dotyczyć wpływu obróbki wirnikowej strumieniowo-ściernej na powierzchnię i warstwę wierzchnią obrabianego przedmiotu.

Katedra Mechanizacji, Automatykacji i Projektowania Odlewni AGH w Krakowie, przy współudziale P.P.P. TECHNICAL w Nowej Soli przeprowadziła w ostatnim czasie wycinkowe badania procesu oczyszczania metodą wirnikową. Przeprowadzono między innymi badania zespołów rzutowych oczyszczarek z rejestracją strumienia śrutu. Badania przeprowadzono przy użyciu kamery PHOTRON FASTCAM Super 10 K (model 3000/3000C) współpracującej z komputerem. Zapisuje ona obraz cyfrowy z szybkością 30, 60, 125, 250, 500, 1000, 2000 i 3000 klatek/sekundę. Badania wykonano na stanowisku badawczym turbiny rzutowej TR-100 f-my TECHNICAL Nowa Sól [1].

Ostatnio w Katedrze Mechanizacji, Automatykacji i projektowania Odlewni AGH przeprowadzono badania mające na celu ocenę efektów oczyszczania przy metodzie wirnikowej. Do celów badawczych wykorzystano stanowisko oczyszczarki wirnikowej stołowej OWS-1000 zainstalowanej w P.P.P. TECHNICAL.

Stanowisko do badań procesu oczyszczania OWS-1000

Stanowisko służy ona do prowadzenia badań: elementów roboczych wirników rzutowych (łopatek, tulei regulacyjnych, wirników rozdzielających), separatorów śrutu i ścierniwa.

W skład stanowiska oczyszczania OWS-1000 wchodzi następujące zespoły:

- komora robocza,
- zespół odpylania,
- drzwi ze stołem,
- przenośnik ślimakowy,
- zespół wirników rzutowych,
- elewator,
- separator powietrzny,
- wyposażenie pneumatyczne.

Charakterystyka techniczna oczyszczarki

Charakterystykę oczyszczarki doświadczalnej wykorzystywanej do badań zamieszczono w tablicy 5.

Tablica 5.

Charakterystyka techniczna oczyszczarki OWS-100.

Maksymalne wymiary ładunku	φ 1000×700 mm	
Maksymalne obciążenie stołu	500 kg	
Prędkość obrotowa stołu	5,6 obr/min	
Zalecane parametry czyszczywa		
	Twardość	35 ÷ 50 HRC
	Granulacja	0,2 ÷ 1,2 mm
	Rodzaj	Śrut stalowy lany lub stalowy cięty
Ilość wirników rzutowych	2 szt.	
Wydajność wirnika rzutowego	50 ÷ 150 kg/min	
Wymagane ciśnienie sprężonego powietrza	0,6 MPa	
Zapotrzebowanie sprężonego powietrza	1 Nm ³ /h	
Całkowite zapotrzebowanie mocy	20 kW	

Zasada pracy oczyszczarki

Przedmioty do oczyszczenia układane są na stole roboczym zamocowanym do drzwi komory roboczej. W czasie trwania oczyszczania stół wraz z przedmiotami jest obracany mechanicznie w strugach ścierniwa miotanego przez wirniki rzutowe. Oddzielone zanieczyszczenia wraz z ścierniwem przemieszczane są przesypem do przenośnika ślimakowego

i dalej do elewatora, skąd transportowane są kubelkami do separatora. W separatorze następuje oddzielenie zanieczyszczeń od ścierniwa. Wydzielone z obiegu zanieczyszczenia odprowadzane są do pojemnika, natomiast ścierniwo jest kierowane przewodami zasilającymi do dozowników i dalej do wirników rzutowych.

Parametry pracy oczyszczarki

Istnieje możliwość zmiany lub płynnej regulacji parametrów pracy oczyszczarki OWS-1000 w celu uzyskania lepszego efektu oczyszczania.

Można zmieniać następujące parametry:

- czas oczyszczania,
- prędkość obrotową wirników za pomocą przetwornika częstotliwości prądu z zasilającego silniki wirników.

Sterowanie oczyszczarki umożliwia prowadzenie procesu oczyszczania z wykorzystaniem dwóch wirników rzutowych, bądź jednego dowolnie wybranego wirnika.

Zakres badań i metodyka oceny rezultatów

W zakładzie P.P.P. TECHNICAL dokonano prób oczyszczania próbek wykonanych ze stali St3SX, o następujących wymiarach $a \times b \times h$ - 200×44×5 mm. Oczyszczanie było prowadzone w zakresie nastawialnych parametrów pracy oczyszczarki tzn. dla każdej próbki przewidziano określone nastawy pracy wirników rzutowych.

Zakres badań obejmował:

- pomiar twardości powierzchni próbek przed oczyszczaniem,
- pomiar twardości każdej powierzchni próbek po oczyszczaniu (przy określonych nastawach); określenie zmian twardości powierzchni próbek pozwoli określić wpływ parametrów pracy oczyszczarki na wartość twardości,
- pomiar parametru chropowatości powierzchni próbek po oczyszczaniu; umożliwiającą określenie wpływu parametrów procesu oczyszczania na chropowatość powierzchni,
- analiza fotogramów i zdjęć mikroskopowych powierzchni oczyszczanych; pozwala to na ocenę stanu powierzchni próbek.

Podczas wstępnych prób oczyszczania prowadzonych na doświadczalnym stanowisku oczyszczarki wirnikowej stołowej zmieniano zakres następujących parametrów:

- liczbę obrotów wirnika,
- czas oczyszczania,
- liczbę używanych wirników.

Aby otrzymać zróżnicowane wyniki i dokonać analizy parametry pracy oczyszczarki zmieniano w następujących zakresach:

- liczbę obrotów wirnika – wybierano do prób oczyszczania wartość minimalną równą 1440 obr/min, oraz wartość maksymalną równą 2900 obr/min,
- ilość wirników oczyszczających – 1 lub 2,
- czas oczyszczania – były ustawiane następujące czasy : 5, 15, 30, 45, 60 sekund, przy czym automatyczny układ sterowania powodował utrzymanie czasu działania

Oczyszczanie przeprowadzono przy użyciu śrutu S460, którego producentem jest firma Wheelabrator. Jest to śrut stalowy kulisty o składzie C-min 0,85%, P-max 0,05%, S-max 0,05%, o twardości - 46-51 HRC i o granulacji 1,0 – 2,0 mm. Wyniki analizy sitowej śrutu przedstawiają się następująco:

Tablica 6.

Wyniki analizy sitowej śrutu użytego do prób [8].

Wymiar oczka sita, mm	Ilość odsiewu śrutu, %
2,0	0
1,7	30
1,18	90
1,0	97
0,85	100

Tabelaryczne zestawienie wyników badań

Oczyszczenie powierzchni prowadzono przy użyciu płaskowników ze stali St3SX. Powierzchnię płaskowników o wymiarach $a \times b \times h$ - 200×44×5 mm, dzielono na 6 części z każdej strony, otrzymując dwa obszary nie poddawane oczyszczaniu oraz obszary a), b), c), d) oczyszczane w zmiennych warunkach.

W tablicy 7 zestawiono parametry oczyszczania próbek.

Tablica 7

Dane charakteryzujące parametry procesu.

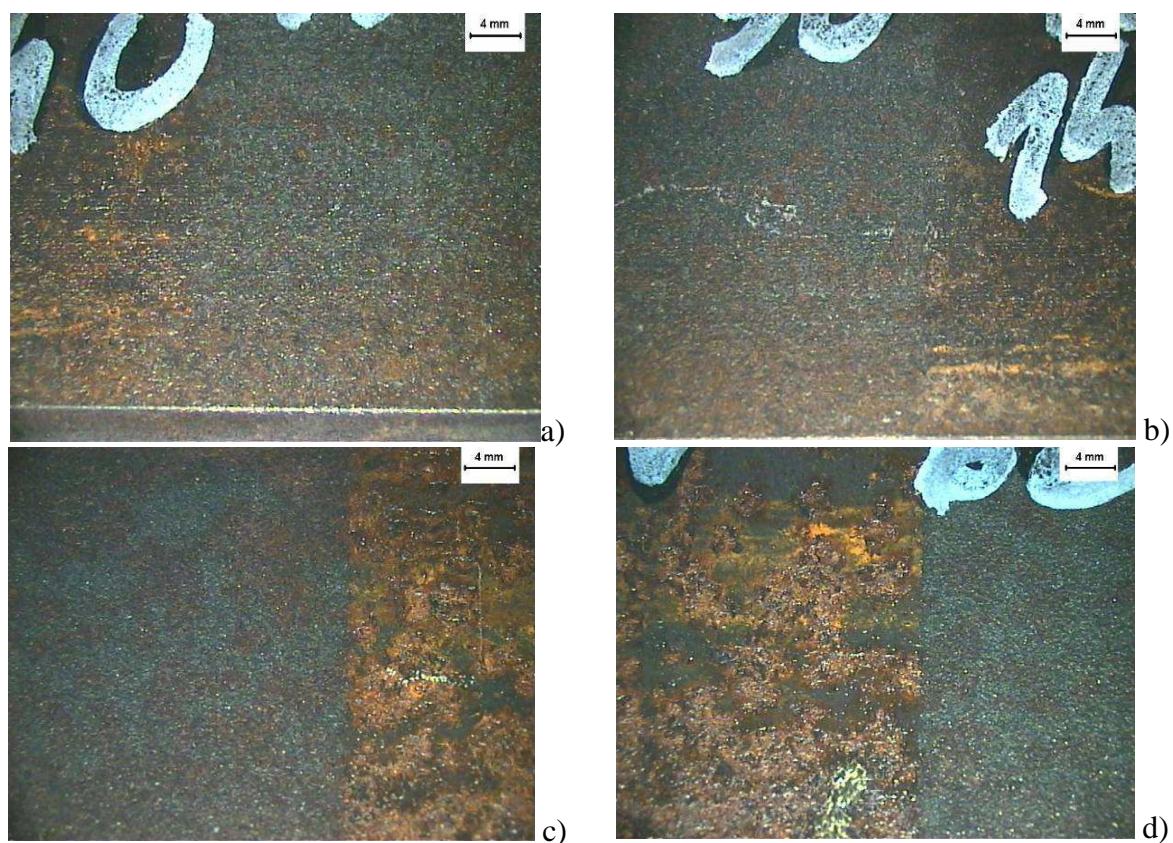
Oznaczenie próby	Prędkość obrotowa wirnika, obr/min	Czas oczyszczania ,s	Liczba wirników oczyszczających
I	1440	15	2
II	1440	30	2
III	1440	45	2
IV	1440	60	2
V	2900	15	2
VI	2900	30	2
VII	2900	45	2
VIII	2900	60	2

Analiza zdjęć mikroskopowych powierzchni próbek oraz wyników badań

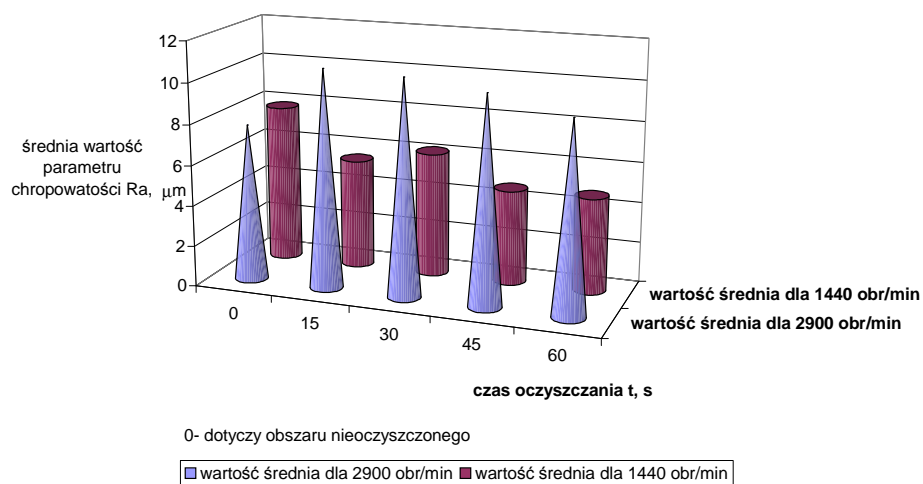
a) wyjściowa

b)oczyszczona

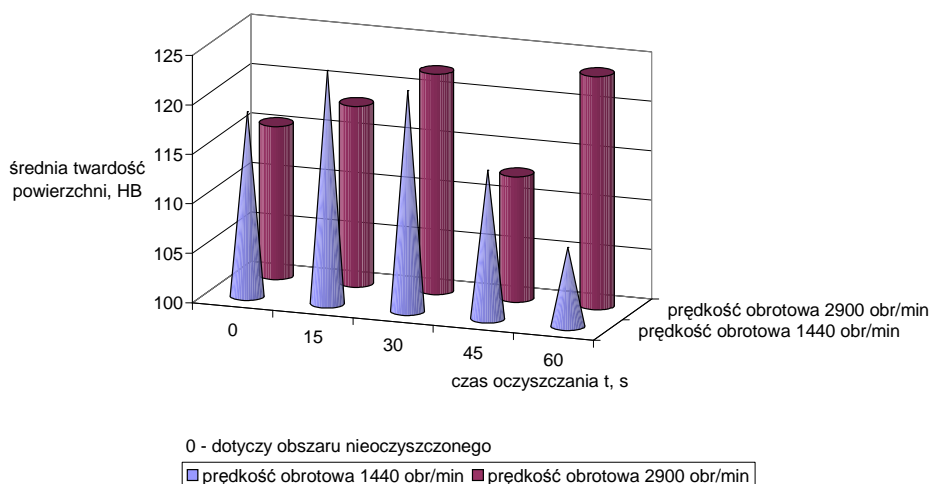
Rys. 17. Powierzchnia wyjściowa – a), oczyszczona – b); parametry oczyszczania: prędkość obrotowa wirnika rzutowego 2900 obr/min, czas oczyszczania 60 s, liczba wirników oczyszczających 1-górny; powiększenie 3x - mikroskop Leica MZ6



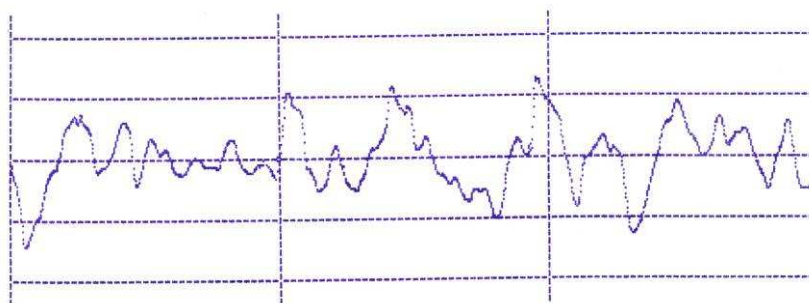
Rys. 18. Porównanie stanu powierzchni po różnym czasie oczyszczania: a-15 s (próba numer I), b-30 s (próba numer II), c-45 s (próba numer III), d-60 s (próba numer IV), powiększenie 3x - mikroskop Leica MZ6



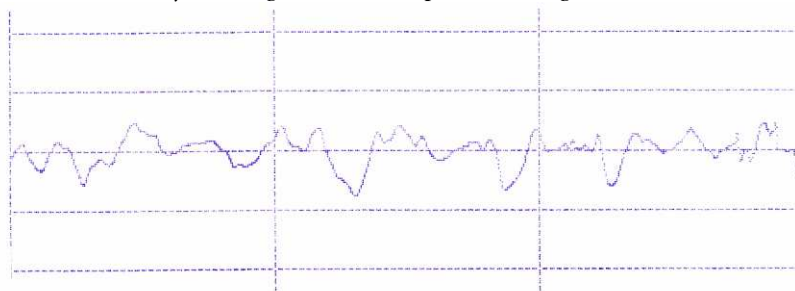
Rys. 19. Wykres zmian parametru chropowatości R_a w czasie



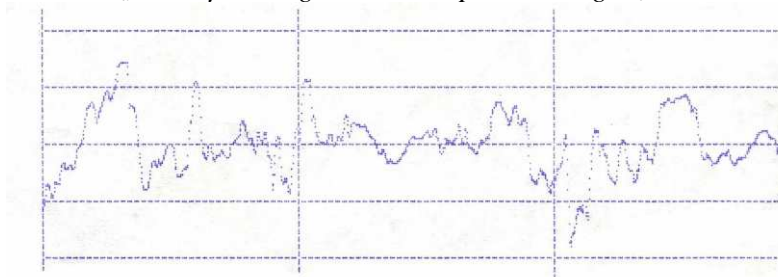
Rys. 20. Średnie wartości twardości HB powierzchni próbek w różnym czasie czyszczenia





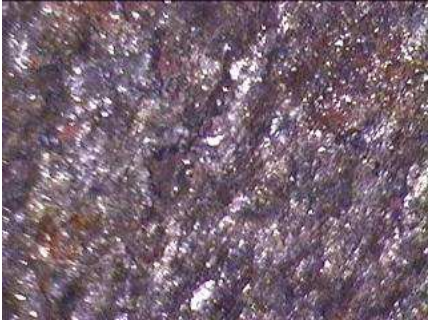
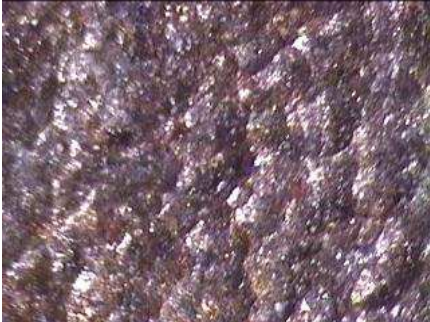
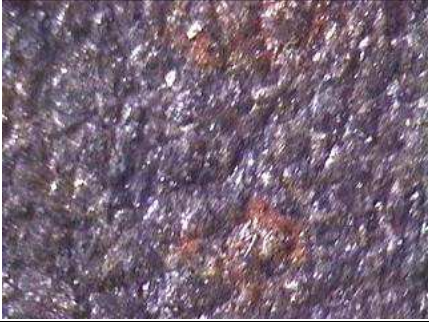
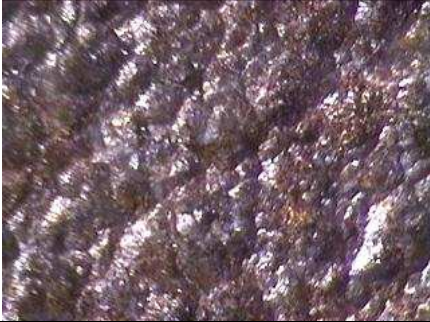
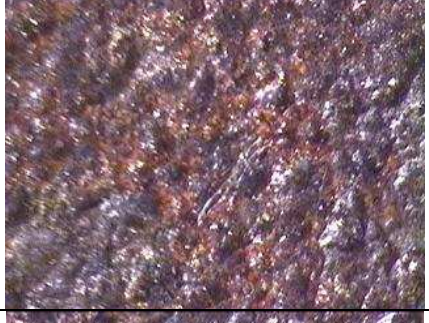
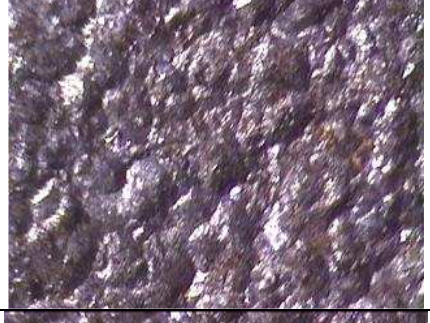
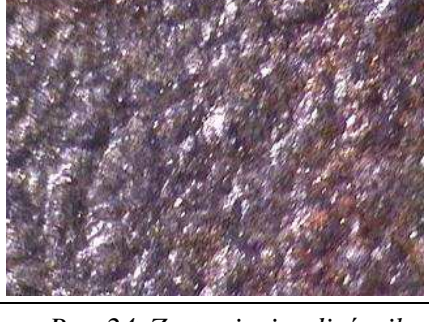
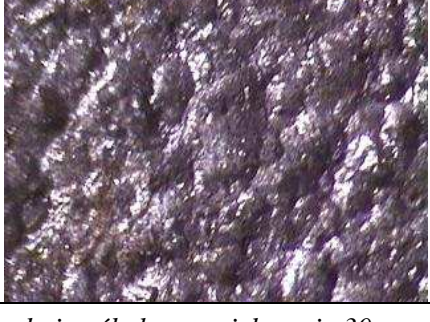
Rys. 21. Profil chropowatości powierzchni; parametry czyszczenia: $n=2900$ obr/min, $t=60$ s, $R_a=8,38$ μm , długość odcinka pomiarowego $l_e=2,5$ mm



Rys. 22. Profil chropowatości powierzchni; parametry czyszczenia: $n=1440$ obr/min, $t=60$ s, $R_a=4,12$ μm , długość odcinka pomiarowego $l_e=2,5$ mm



Rys. 23. Profil chropowatości; powierzchnia nieoczyszczona, $R_a=7,97$ μm , długość odcinka pomiarowego $l_e=2,5$ mm; próba numer XV

<i>Próby: I, II, III, IV, 1440 obr/min</i>		<i>Czas t, s</i>	<i>Próby: V, VI, VII, VIII, 2900 obr/min</i>	
			<i>Przed Oczyszczeniem</i>	
		15		
		30		
		45		
		60		

Rys. 24. Zestawienie zdjęć mikroskopowych powierzchni próbek – powiększenie 30 x

PODSUMOWANIE

Stanowisko badawcze i jego wyposażenie umożliwia prowadzenie badań procesu oczyszczania, które pozwalają ocenić przydatność określonego gatunku śrutu do oczyszczania, jak również określić optymalne warunki pracy oczyszczarki i przebieg procesu oczyszczania dla określonego asortymentu produktów.

Wyniki pomiaru twardości wskazują, że wzrost twardości powierzchni użytych próbek występuje gdy czas oczyszczania równy jest 60 s, prędkość obrotowa wirnika 2900 obr/min, liczba wirników rzutowych–2. Z analizy fotogramów zamieszczonych na rysunku 8 wynika, że najlepszy efekt oczyszczania uzyskujemy przy maksymalnej prędkości obrotowej wirników rzutowych.

Prowadzenie procesu oczyszczania w czasie mniejszym niż 60 s nie pozwala uzyskać dobrego parametru chropowatości R_a . Przy oczyszczaniu z prędkością obrotową 1440 obr/min po czasie 60 sekund otrzymamy lepszą wartość parametru R_a , w stosunku do wartości wyjściowej.

Czasy oczyszczania mniejsze niż 60 sekund nie pozwalają na uzyskanie dobrego parametru chropowatości, oraz nie zostają usunięte wszystkie zanieczyszczenia.

Charakterystyki zespołów oraz problematyka badawcza z zakresu oczyszczania wirnikowego strumieniowo-ściernego dotyczy opracowania lub wyznaczenia:

- wpływu parametrów strumienia śrutu na efekty oczyszczania: prędkości wylotowej, gęstości i wymiarów strumienia, kąta padania i odległości od wyrobu oraz czasu obróbki jednostkowej powierzchni,
- możliwych zmian w strukturze warstwy przypowierzchniowej odlewów z różnych tworzyw,
- rozwiązań napędu i doboru parametrów pracy (prędkości obrotowej, łożyskowania itp.) wpływających na warunki pracy, zwłaszcza na poziom emitowanego hałasu,
- tworzywa na szybko zużywające się elementy zespołu rzutowego tj. łopatek roboczych, tulei regulacyjnych oraz wirników rozdzielczych,
- doboru tworzywa i ziarnistości ścierniwa, oraz kształtu ziaren,
- metody oceny efektów pracy wirnikowych urządzeń do obróbki strumieniowo-ścierniej, separacji oraz klasyfikacji ścierniwa.

Opracowano w ramach realizacji pracy 11.11.170.109

LITERATURA

- [1] Fedoryszyn A., Zyzak P.: Charakterystyka podstawowych zespołów oczyszczarek strumieniowo- ściernych. Biuletyn Konferencji TECHNICAL'02. Nowa Sól, 2002, s.102
- [2] Fedoryszyn T.: *Problematyka badawcza metod oczyszczania powierzchni odlewów i oprzyrządowania*. Acta Metallurgica Slovaca, nr 3, rocznik 7 Košice, 2001, tom 1, s.134.
- [3] Högel R.: *Wirtschaftliche Hängebahn-Strahlanlage*. Giesserei, t. 86, nr. 5, 1999, s. 112.
- [4] Katalogi i prospekty producentów maszyn i urządzeń odlewniczych: TECHNICAL, DOZAMET, Georg Fischer Disa GmbH, Tilghman Wheelabrator, Wheelabrator Alleverd, Stem, Gostol TST, Centriblast oraz producentów śrutu.
- [5] Łempicki J., Paradysz J.: *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i stalowych*. WNT. Warszawa, 1979

- [6] Opisy patentowe: *Urządzenie wirnikowe miotające materiał ziarnisty* 142 881; *Oczyszczarka wirnikowa* 156 792; *Pozioma śrutowa oczyszczarka wirnikowa* 131 988; Wirnik rzutowy oczyszczarki śrutowej 142 099; Łopata wirnika rzutowego oczyszczarki 92 264 i 94 815; Łopata rzutowa wirnika oczyszczarki śrutowej 141 554 i 141 555.
- [7] Piosik T.: Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo – ściernie. Materiały Sympozjum „Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoża metali pod powłoki ochronne”. Instytut Mechaniki Precyzyjnej. Hajnówka, 2001, s. 89
- [8] Strony internetowe producentów śrutu do oczyszczania powierzchni odlewów. www.wheelabr.com, www.technical.com.pl
- [9] Waninger D.: *GIFA '99- Einrichtungen für die Putzerei*. Giesserei, t.86, nr. 12, 1999, s. 46
- [10] Waninger D.: *Jahresübersichy Putzverfahren und – einrichtungen* (36. Folge). Giesserei, t.87, nr. 1, 2000, s. 65
- [11] Kaczmarek J.: Znaczenie Obróbki Strumieniowo-Ściernej W Ochronie Przed Korozją – Sympozjum Instytutu Mechaniki Precyzyjnej Hajnówka 2001.
- [12] Andziak J.: Strumieniowo-Ściernie Przygotowanie Podłoża Stalowych Przed Nanoszeniem Powłok Ochronnych Zagadnienia Techniczne i Normalizacyjne – Sympozjum Instytutu Mechaniki Precyzyjnej Hajnówka 2001
- [13] Andziak J.: Zwiększanie Wytrzymałości Zmęczeniowej Metodą Kulowania – Prace Instytutu Mechaniki Precyzyjnej Zeszyt 15/88.
- [14] Katsuji Tosha : *Papers On Shot Peening Published In The World For The Last Thirteen Years – Shot Peening Present & Future* Instytut Mechaniki Precyzyjnej Warszawa 1999.
- [15] Wick A., Holzapfel H., Schultze V., Vohringer O.: *Effect Of Shot Peening Parameters On The Surface Charackteristics Of Differently Heat Treated ASI 4140 – Shot Peening Present & Future* Instytut Mechaniki Precyzyjnej Warszawa 1999.
- [16] PN-ISO 8501-1, PN-ISO 8501-1/Ad 1, PN-ISO 8501-2: Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów. Wzrokowa ocena czystości powierzchni.
- [17] PN-EN ISO 8404-1: Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów. Metody przygotowania powierzchni. Część 1: Zasady ogólne.
- [18] PN-EN ISO 8404-2: Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów. Metody przygotowania powierzchni. Część 2: Obróbka strumieniowo-ścierna.
- [19] PN-EN ISO 8503-1: Charakterystyki chropowatości powierzchni podłoża stalowych po bróbce strumieniowo-ścierniej.
- [20] Baraniak A.: Przygotowanie powierzchni – podstawa prawidłowej ochrony antykorozyjnej.

ZASTOSOWANIA WYBRANYCH UKŁADÓW SCALONYCH W POMIARACH POBORU MOCY MASZYN I URZĄDZEŃ ODLEWNICZYCH

E. ZIÓŁKOWSKI¹

1. Streszczenie.

W artykule przedstawiono charakterystyki wybranych układów scalonych firmy Analog Devices, które można zastosować w systemach komputerowego monitoringu poboru mocy przez maszyny i urządzenia odlewnicze. Opisane rozwiązania automatycznej kontroli poboru mocy wraz z pomiarami i rejestracją innych parametrów badanej maszyny odlewniczej mogą stanowić element systemu oceny jakości jej pracy, a także dostarczać niezbędnych danych dla układów sterowania procesem technologicznym, realizowanym za pomocą tej maszyny.

2. Wprowadzenie.

Firma Analog Devices [1] posiada w swojej ofercie całą rodzinę specjalizowanych układów scalonych, przeznaczonych do budowy głównie mierników poboru energii elektrycznej. Układy te mogą stanowić element albo niezależnego modułu mikroprocesorowego albo element systemu komputerowego. W układach mikroprocesorowych, zadaniem mikroprocesora jest obsługa takich funkcji układu scalonego, jak kalibracja, ustawianie offsetu, korekta przesunięć fazowych wprowadzanych przez przekładniki prądowe (jeśli są stosowane) oraz odczyt bieżących wartości pomiarowych w kanałach napięciowych i prądowych. W systemach komputerowych, wszystkie wyżej wymienione funkcje realizuje program komputerowy. Dodatkowo program ten umożliwia prezentację wyników pomiarów na ekranie komputera (także zdalnie poprzez sieć Internet) oraz rejestrację tych wyników w pamięci masowej. Poniżej zostaną przedstawione szczegółowe charakterystyki wybranych układów scalonych.

3. Układy scalone do pomiaru mocy firmy ANALOG DEVICES.

Układy scalone serii ADE775x i ADE776x [1] firmy Analog Devices przeznaczone są do pomiarów poboru mocy w układach jedno- lub trójfazowych. Układy te posiadają odpowiednią liczbę 16-bitowych precyzyjnych przetworników analogowo-cyfrowych, które stosowane są do pomiaru napięć (poprzez rezystancyjne dzielniki napięcia) oraz do pomiaru prądów, z wykorzystaniem albo boczników rezystancyjnych, albo przekładników prądowych (transformatorowych lub cewek Rogowskiego). Omawiane układy scalone posiadają jeden z dwóch wariantów wyjść informujących o wartościach mierzonych wielkości. Jedna grupa układów została wyposażona w wyjścia impulsowe, natomiast druga grupa w wyjścia w postaci transmisji szeregowej sygnałów. Na wyjściu impulsowym, wartości wielkości mierzonych są proporcjonalne do liczby generowanych impulsów prostokątnych. Takie wyjścia można podłączyć bezpośrednio do układów zliczających. Układy wyposażone w system transmisji szeregowej muszą być podłączone do układów mikroprocesorowych lub komputera. Programy umieszczone w pamięci systemu mikroprocesorowego lub komputera muszą odpowiednio obsłużyć informacje przesyłane szeregowo.

¹ Dr inż.

W Tabeli 1 przedstawiono skróconą charakterystykę zastosowań układów scalonych wyposażonych w wyjścia impulsowe.

Tabela 1.

Podstawowe cechy układów z wyjściem impulsowym [1].

Opis	Układ scalony					
	ADE7751	ADE7755	ADE7757	ADE7760	ADE7761	ADE7752
Układy jednofazowe dwużyłowe	+	+	+	+	+	
Układy trójfazowe, 3- lub 4-żyłowe, (gwiazda, trójkąt)						+
Boczniki prądowe	+	+	+			
Przekładniki prądowe transformatorowe	+	+	+	+	+	+
Pomiar energii czynnej	+	+	+	+	+	+
Kalibracja sprzętowa	+	+	+	+	+	+
Wewnętrzny oscylator			+	+	+	

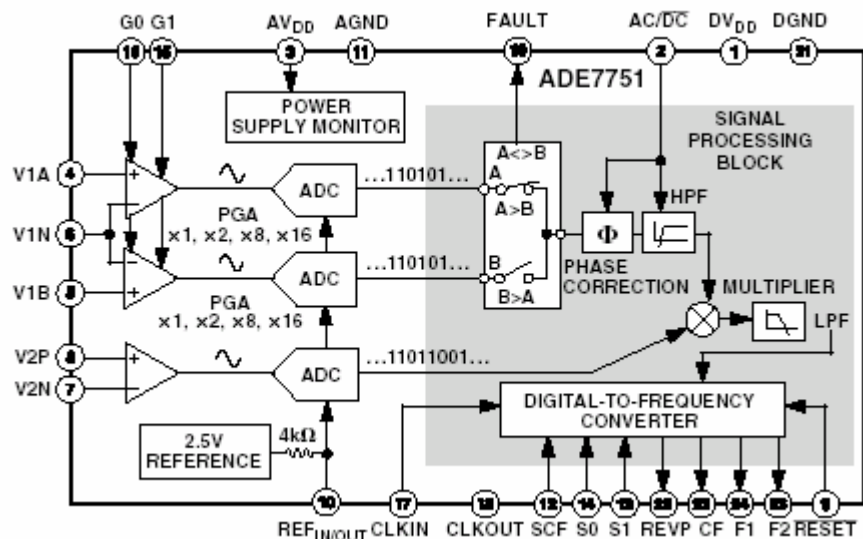
Tabela 2 przedstawia skróconą charakterystykę zastosowań układów scalonych z interfejsem szeregowym.

Tabela 2.

Podstawowe cechy układów z interfejsem szeregowym [1].

Opis	Układ scalony					
	ADE7753	ADE7756	ADE7759	ADE7763	ADE7754	ADE7758
Układy jednofazowe dwużyłowe	+	+	+	+		
Układy trójfazowe, 3- lub 4-żyłowe, (gwiazda, trójkąt)					+	+
Boczniki prądowe	+	+	+	+		
Przekładniki prądowe transformatorowe	+	+	+	+	+	+
Cewki Rogowskiego (wejście di/dt)	+		+	+		+
Pomiar energii czynnej	+	+	+	+	+	+
Pomiar energii całkowitej (pozornej) oraz wartości True RMS napięcia i prądu	+			+	+	+
Pomiar mocy biernej	+					+
Kalibracja programowa	+	+	+	+	+	+
Transmisja szeregową i obsługa przerwań	+	+	+	+	+	+

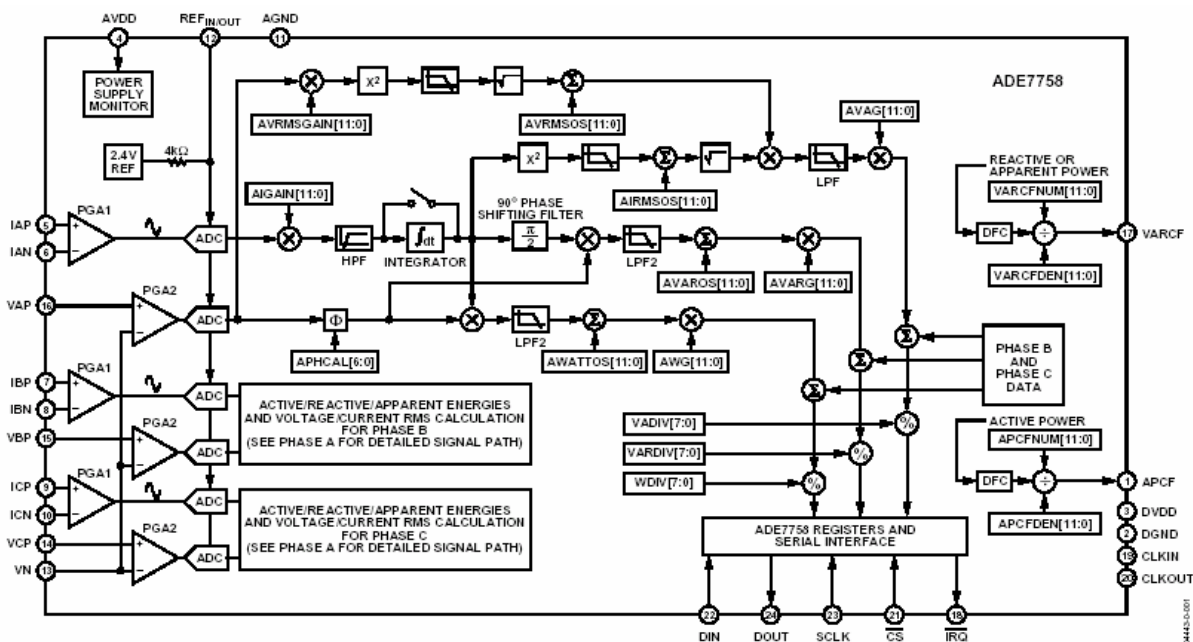
Na rysunku 1 przedstawiono schemat funkcjonalny układu ADE7751 firmy Analog Devices [1]. Układ ten jest przeznaczony do pomiaru energii czynnej pobieranej przez odbiornik jednofazowy. Układ posiada dwa pomiarowe kanały wejściowe. Kanał 1 służy do pomiaru mocy i może być wykorzystywany w układzie asymetrycznym lub symetrycznym. Kanał 2 jest wejściem służącym do pomiaru napięcia. Oba kanały posiadają 16-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe. Wielkość wyjściowa, odpowiadająca wartości pobranej przez odbiornik energii czynnej jest, poprzez przetwornik (typu wielkość cyfrowa-częstotliwość), przesyłana na dwa wyjścia impulsowe niskoczęstotliwościowe F1 i F2.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny układu ADE7751 firmy Analog Devices [1].

Jako przetworniki prądowe można w systemie opartym na układzie ADE7751 stosować niskorezystancyjne boczniki prądowe lub transformatorowe przekładniki prądowe.

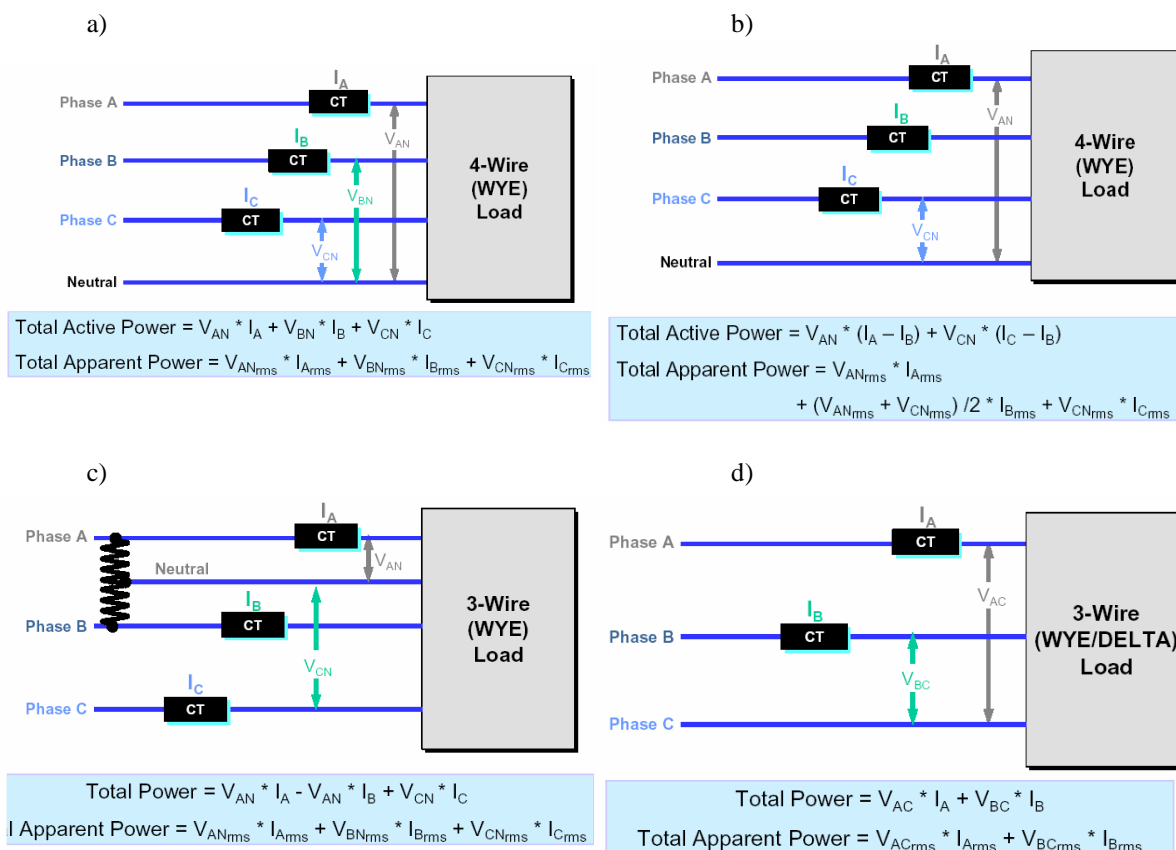
Na rysunku 2 przedstawiono schemat funkcjonalny układu ADE7758, przeznaczonego do pomiaru wszystkich składników energii (czynnej, bierniej i pozornej), wyposażonego w szeregowy interfejs transmisji danych.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny układu ADE7758 firmy Analog Devices [1].

Układ ADE7758 posiada sześć 16-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych: trzy do pomiaru napięcia każdej fazy oraz trzy do pomiaru prądu w każdej fazie. Układ ten umożliwia pomiar energii we wszystkich praktycznie stosowanych wariantach połączeń trójfazowych, zarówno 3- jak i 4-żyłowych, z odbiornikami pracującymi w układzie gwiazda lub trójkąt. Bardzo ważną cechą tego układu i wszystkich układów z serii ADE775x i ADE776x posiadających interfejs szeregowy jest to, że kalibracja tych układów odbywa się programowo, poprzez odpowiednie wpisy do rejestrów tych układów.

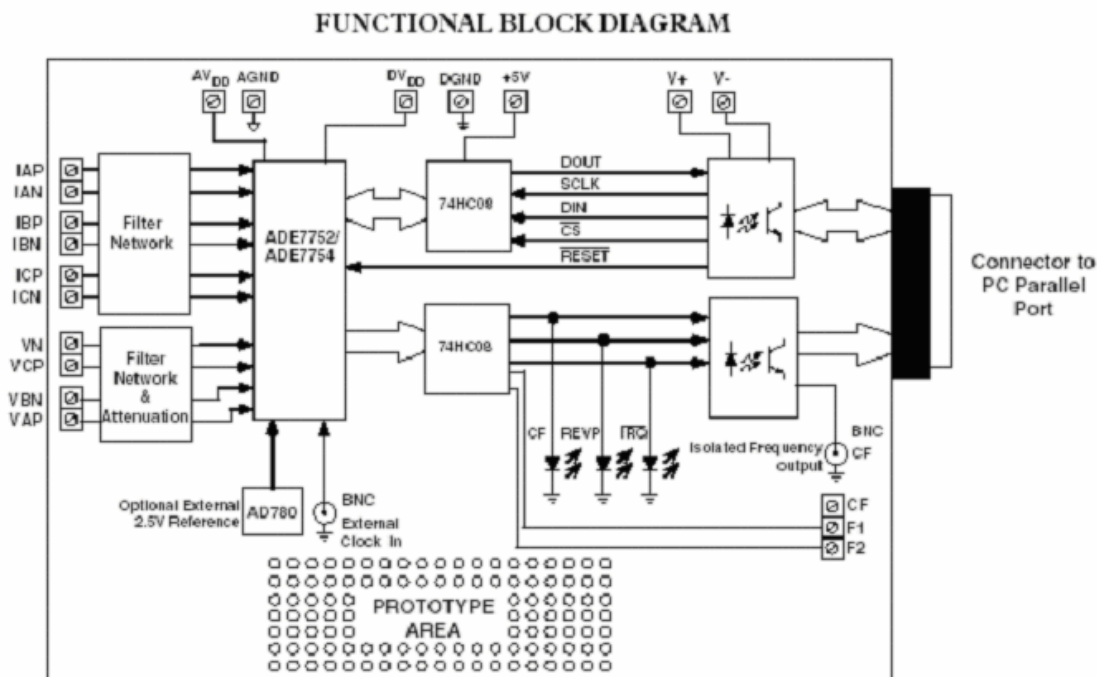
Układy scalone do pomiarów w systemach zasilania trójfazowego posiadają możliwość realizacji obliczeń pobieranej mocy według zależności matematycznych, charakterystycznych dla konkretnego rozwiązania połączeń 3- lub 4-żyłowych typu „gwiazda” lub „trójkąt”. Podstawowe schematy tych połączeń oraz stosowane do nich zależności matematyczne obliczania poboru mocy pokazano na rysunku 4.



Rys. 3. Uproszczone schematy pomiaru energii w układach trójfazowych wraz z zależnościami obliczania mocy pozornej: a) układ 4-żyłowy typu „gwiazda”; b) układ 4-żyłowy typu „gwiazda” z dwoma przetwornikami napięcia; c) układ 3-żyłowy typu „gwiazda” lub „trójkąt”; d) układ 4-żyłowy typu „gwiazda” [1].

4. Moduły rozwojowe firmy ANALOG DEVICES.

Do każdego układu scalonego, przeznaczonego do realizacji pomiarów poboru energii elektrycznej, firma Analog Devices oferuje moduły rozwojowe (ang. *evaluation board*). Są to zmontowane układy elektroniczne, które wraz z dostarczonym okablowaniem oraz oprogramowaniem służą do zestawienia gotowego urządzenia pomiarowego. Jedynymi, niezbędnymi do uzupełnienia we własnym zakresie dodatkami są zasilacze +5V (najczęściej dwa) oraz obwody wejściowe (dzielniki napięcia i przekładniki lub boczniki prądowe). Na rysunku 4 przedstawiono uproszczony schemat modułu rozwojowego dla układu ADE7754.



Rys. 4. Schemat funkcjonalny modułu rozwojowego EVAL-ADE7754
Firmy Analog Devices [1].

Ten moduł rozwojowy zawiera, oprócz podstawowego układu ADE7754, także układ scalony precyzyjnego źródła napięcia odniesienia 2.5V (AD780) oraz specjalizowane układy optoizolacji transmisji szeregowej pomiędzy modułem a komputerem, realizowanej z wykorzystaniem łącza równoległego CENTRONICS. Na płycie modułu wyodrębniono także obszar punktów lutowniczych, na którym można zestawiać na przykład dzielniki napięcia i inne niezbędne obwody elektroniczne.

Jak wspomniano powyżej, transmisja szeregową odbywa się w tych modułach nie za pomocą łącza szeregowego, na przykład RS232C, lecz z wykorzystaniem portu równoległego komputera. Wraz z modułem rozwojowym dostarczane jest oprogramowanie bazujące na bibliotekach LabView. Oprogramowanie to umożliwi przetestowanie poprawności pracy całego modułu oraz wykonanie ewentualnej kalibracji programowej systemu pomiarowego.

5. Przekładniki prądowe firmy TAE HWA TRANS.

Koreańska firma TAE HWA TRANS [2] posiada w swojej ofercie całą gamę przekładników prądowych jedno i trójfazowych oraz cewek Rogowskiego. Transformatorowe przekładniki prądowe oferowane są w wersjach *Supreme Accuracy* i *High Accuracy*. W Tabeli 3 przedstawiono podstawowe charakterystyki transformatorowych przekładników prądowych z serii *Supreme Accuracy* klasy 0.2%.

Tabela 3.

Przekładniki prądowe *Supreme Accuracy* klasy 0.2 [2].

Model	Klasa, %	Częstotliwość, Hz	Przełożenie prądowe	Zakres prądu, A
TZ77V / TZ77L	0.2	20÷400	5A / 2mA	5÷20
TZ71V / TZ71L			40A / 16mA	40÷80
TZ76V / TZ76L			80A / 32mA	60÷120
TZ31L			10A / 2mA	10÷150
TZ105V / TZ105L			200A / 80mA	100÷250
TZ79L			200A / 80mA	100÷250
TZ110L			400A / 160mA	400÷600

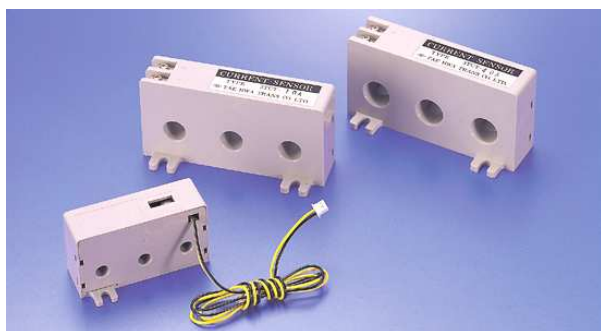
Tabela 4 zawiera podstawowe dane transformatorowych przekładników prądowych z serii *High Accuracy* klasy 1.0.

Tabela 4.
Przekładniki prądowe *High Accuracy* klasy 1.0 [2].

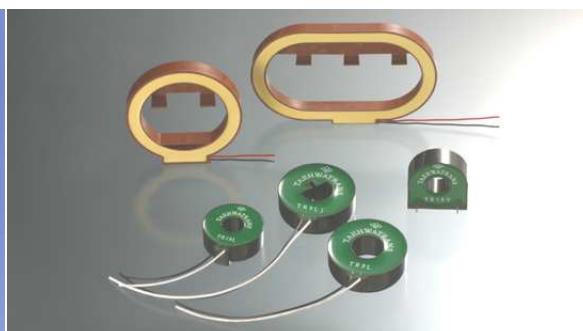
Model	Klasa, %	Częstotliwość, Hz	Przełożenie prądowe	Zakres prądu, A
TC172V / TZ172L	1.0	20÷400	20A / 8mA	20
TC173V / TC173L			60A / 24mA	60
TC174V / TC174L			120A / 48mA	120
TC143V / TC143L			200A / 50mA	200
TC175V / TC175L			400A / 200mA	400
TC176L			800A / 320mA	800

Firma TAE HWA TRANS oferuje także trójfazowe przekładniki prądowe serii TS (rys. 5). Przekładniki te mają zakresy prądowe 2.5A, 5A, 10A, 20A, 40A, 80A i 160A. Zakres napięcia wyjściowego wynosi 185 mV. Częstotliwość pracy 50Hz lub 60Hz. Maksymalne dopuszczalne napięcie robocze wynosi 660V.

Cewki Rogowskiego (rys. 6) oferowane są dla zakresów prądu 630A, 1000A, 1250A, 1600A, 2000A, 2500A, 3200A i 4000A. Częstotliwość robocza wynosi 50Hz lub 60 Hz.



Rys. 5. Widok trójfazowych przekładników prądowych serii TS [2].



Rys. 6. Cewki Rogowskiego z serii TR [2].

6. Podsumowanie.

Przedstawione w niniejszym artykule skrócone charakterystyki specjalizowanych układów scalonych firmy Analog Devices, przeznaczonych do budowy mierników poboru mocy lub energii elektrycznej, potwierdzają możliwość ich zastosowań w systemach ciągłego monitoringu pracy wybranych maszyn i urządzeń odlewniczych. Systemy takie, w postaci mikroprocesorowych lub komputerowych rozwiązań można wyposażyć w przekładniki prądowe na przykład z oferty firmy TAE HWA TRANS.

W Katedrze Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni na Wydziale Odlewnictwa AGH są prowadzone prace mające na celu wykonanie komputerowego systemu (opartego na układzie ADE7754) ciągłego pomiaru poboru mocy badanych maszyn i urządzeń odlewniczych.

Opracowano w ramach realizacji pracy statutowej w Katedrze Mechanizacji, Automatyzacji i Projektowania Odlewni w roku 2004.

7. Literatura.

- [1] www.analog.com
- [2] www.taehwatrans.co.kr