

Wacław Sakwa, Stanisław Jura,
Zbigniew Piątkiewicz

TECHNOLOGIA PNEUMATYCZNEGO MIESZANIA I TRANSPORTU SUROWCÓW W PRZEMYSLE SZKLARSKIM

Streszczenie. W pracy podano wyniki badań Instytutu Odlewnictwa Politechniki Śląskiej w zakresie technologii pneumatycznego mieszania i transportu surowców szklarskich. Praca zawiera opis stanowiska badawczo-pomiarowego i metod badań procesu pneumatycznego mieszania i transportu. Wyniki badań technologicznych oraz uzyskane wskaźniki techniczno-ekonomiczne transportu pneumatycznego podano w formie zestawień tablicowych. W końcowej części pracy podano wnioski z przeprowadzonych prób i badań.

Technologia pneumatycznego mieszania i transportu, opracowana w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej, wykazała pełną przydatność przemysłową w warunkach różnych technologii sporządzania odlewniczych mas formierskich. Wprowadzenie opracowanych metod pneumatycznego mieszania i transportu do przemysłu szklarskiego wymagało przeprowadzenia badań w zakresie przydatności transportu pneumatycznego do operacji mieszania odważonych surowców szklarskich oraz przemieszczania surowców i zestawów szklarskich zgodnie z wymogami technologicznymi. Badania przeprowadzono w Zakładzie Doświadczalnym Politechniki Śląskiej na instalacji badawczo-pomiarowej. Zespół urządzeń tej instalacji składa się z następujących elementów: podajnik komorowy systemu "POLKO" z dolnym rozładunkiem materiału o objętości użytecznej 1 m^3 , rurociąg transportowy o długości 111 m wykonany z rur stalowych o średnicy wewnętrznej 100 mm oraz pięciu łuków z których każdy zmienia kierunek transportu o dziewięćdziesiąt stopni przy promieniu gięcia $R = 500 \text{ mm}$.

Badania technologii pneumatycznego mieszania i transportu

Zakres przeprowadzonych badań obejmuje określenie jednorodności gotowych zestawów szklarskich w procesie transportowania pneumatycznego, jednorodności uzyskanych zestawów szklarskich w procesie mieszania pneumatycznego, ocenę wpływu technologii transportu pneumatycznego na wilgotność i ciężar usypowy surowców i zestawów szklarskich. Do badań wpływu technologii transportu pneumatycznego na jednorodność zestawu szklarskiego użyto zestawu szklarskiego dostarczonego z Huty "Kara". Zestaw ten zo-

stał pobrany bezpośrednio z urządzeń produkujących. Przed badaniem z każdego worka pobrano próbki do przeprowadzenia analizy jednorodności dostarczanego zestawu. Materiał następnie przetransportowano pneumatycznie i ponownie pobrano próby do analizy. Badania składu chemicznego badanego zestawu przeprowadzono według metodyki stosowanej w hutach szkła. Badanie jakości pneumatycznego mieszania surowców szklarskich dokonywano drogą bezpośredniej próby technologicznej. W tym celu surowce odważano w odpowiednich proporcjach (61,1% - piasku kwarcowego, 15,2% - dolomitu, 3,2% - wapnia, 20,5% - sody) i wsypywano w miarę możliwości równomiernie do podajnika komorowego transportu pneumatycznego. Po napełnieniu podajnika przetransportowywano materiał do zbiornika. W czasie opróżniania zbiornika pobierano próbki do badań. W ten sposób otrzymany zestaw doświadczalny nawilżano w mieszarce łopatkowej do 4,57% wody. Mieszania dokonywano w czasie 120 s w pięciu porcjach. Z każdej porcji pobierano oddzielnie próbki do badań jednorodności i wilgotności zestawu. Wilgotny zestaw podawano ponownie procesowi transportowania pneumatycznego. Po przetransportowaniu pobierano próbki do badań jakości mieszanki doświadczalnej. Badanie wpływu procesu transportowania pneumatycznego na ciężar usypowy i wilgotność przeprowadzano w warunkach przemieszczania zestawów szklarskich suchych i wilgotnych oraz surowców jak: piasek kwarcowy, soda, dolomit i mączka wapienna. Ciężar usypowy określano przed i po pneumatycznym przetransportowaniu. Pobraną próbkę wsypywano do naczynia o objętości $0,001 \text{ m}^3$ i następnie ważono. Dla określenia ciężaru usypowego pod obciążeniem masę nasypaną do naczynia obciążano poprzez płytę siłą odpowiadającą naciskowi warstwy masy o grubości 1 m. Wilgotność surowców i zestawów szklarskich określano przez suszenie w suszarce laboratoryjnej, aż do uzyskania stałego ciężaru próbki. Metodyka pobierania próbek dla określenia własności oraz składu chemicznego zestawów szklarskich posiada istotne znaczenie. Zestawy szklarskie stanowią mieszankę surowców sypkich o różnej granulacji (ziarnistość), która przy usypywaniu podlega segregacji. Przez stosowanie odpowiednich metod pobierania próbek zjawisko to należy ograniczyć do minimum. W tym celu pobierano próbki do badań o ciężarze około 8 kg, a następnie rozsypywano na dwie części przy zastosowaniu urządzenia uśredniającego (przesypowego). Czynność tę powtarzano dwukrotnie. Ciężar ostatecznie pobranej próbki do badań wynosił około 2 kg. W laboratorium 2 kg próbkę ponownie rozsypywano dwukrotnie. W ten sposób otrzymaną próbkę o ciężarze około 0,5 kg, wsypywano na płytę, z której przy pomocy łyżeczki uśredniającej, pobierano materiał do ostatecznego naważenia próbki badanej. W ten sposób pobierana próbka jest średnią materiału wstępnie przeznaczanego do badań. Metoda ta została sprawdzona w laboratorium materiałów sypkich i w pełni odpowiada teoretycznym podstawom uśredniania prób. próbki do badań zestawów szklarskich lub surowców wyjściowych po pneumatycznym przetransportowaniu, pobierano w czasie opróżniania zbiornika. W tym celu z gardzieli zbiornika wysypywano około 40 kg materiału, a następnie pobie-

rano 8 kg próbkę przeznaczoną do badań. Pobieranie próbek kontynuowano aż do całkowitego opróżnienia zbiornika, w przypadku zestawów szklarskich, natomiast przy surowcach wyjściowych pobierano tylko trzy próbki.

Wyniki przeprowadzonych badań technologicznych podano w formie zestawień w tablicach od 1 do 8. Zawartość poszczególnych składników w badanych zestawach szklarskich (tabl. 1-5) określono zgodnie z obowiązującymi normami w hutach szkła, tj. przez oznaczenie części nierozpuszczalnych w HCl (piasek), części rozpuszczalnych w H₂O (soda) oraz obliczanie z różnicy do 100% części nierozpuszczalnych w H₂O a rozpuszczalnych w HCl (wapień, dolomit).

Tablica 1

Wilgotność i skład zestawu szklarskiego z Huty Kara
otrzymywany w mieszarkach mechanicznych

Lp.	Zawartość wody %	Zawartość składników suchych		
		Rozpuszczalnych w H ₂ O %	Rozpuszczalnych w HCl %	Rozpuszczalnych w HCl %
1	9,65	19,70	62,10	18,20
2	10,00	18,55	62,00	19,45
3	10,65	25,00	58,30	16,70
4	10,15	22,00	62,50	15,50
5	12,40	24,20	61,50	14,30
6	6,05	22,40	61,40	16,20
Średnia	9,40	21,95	61,57	16,48
Średnie odchylenie standardowe	%	2,120	1,45	1,63
Wskaźnik stopnia zmieszania	%	9,660	2,35	9,89

Wpływ transportowania pneumatycznego na jednorodność zestawu szklarskiego wynika z porównania zawartości składników wyjściowych suchych w zestawie szklarskim; tabl. 1 - przed transportem pneumatycznym, tabl. 2 - po przetransportowaniu pneumatycznym. Przedstawione wyniki wyraźnie wskazują że technologia transportowania pneumatycznego nie wpływa ujemnie na jednorodność zestawu. Uzyskano prawie identyczne wartości średnie poszczególnych składników. Wielkość średniego odchylenia standardowego również nie różni się w sposób istotny.

Na tej podstawie można stwierdzić, że proces transportowania pneumatycznego zestawu szklarskiego nie pogarsza jego jednorodności. Skuteczność mieszania pneumatycznego składników sypkich wynika z otrzymanego składu zestawu szklarskiego doświadczalnego (tabl. 3) przez wymieszanie pneumatyczne surowców suchych. Wyniki badań przedstawione w tabl. 3 wskazują że mieszanie surowców suchych jest zadowalające, a średnie odchylenie stan-

Tablica 2

Wilgotność i skład zestawu szklarskiego z Huty Kara
po przetransportowaniu pneumatycznym

Lp.	Zawartość wody %	Zawartość składników suchych		
		Rozpuszczalnych w H ₂ O %	Nierozpuszczalnych w HCl %	Rozpuszczalnych w HCl %
1	6,65	20,80	62,20	17,00
2	6,70	21,90	62,20	15,90
3	7,15	21,90	60,50	17,60
4	6,65	21,00	63,20	15,80
5	7,25	21,20	61,50	17,30
6	7,40	21,60	59,40	19,00
7	6,20	22,40	61,10	16,50
8	5,70	24,20	60,90	14,90
9	5,55	23,10	60,60	16,30
10	5,55	23,80	64,40	11,80
11	5,70	21,20	62,60	16,30
12	5,15	23,00	61,50	15,50
Średnia	6,30	21,83	61,96	16,16
Średnie odchylenie standart. %		1,107	1,650	1,700
Wskaźnik stopnia zmieszania %		5,07	2,661	10,52

Tablica 3

Wilgotność i skład zestawu szklarskiego doświadczalnego
otrzymanego przez pneumatyczne mieszanie

Lp.	Zawartość wody %	Zawartość składników suchych		
		Rozpuszczal. w H ₂ O %	Rozpuszczal. w HCl %	Rozpuszczal. w HCl %
1	0,15	20,90	53,40	25,70
2	0,10	20,11	56,00	23,89
3	0,10	16,71	63,80	19,49
4	0,15	20,56	62,95	16,49
5	0,15	18,42	63,80	11,78
6	0,20	19,38	59,85	20,77
7	0,15	19,10	60,55	20,35
8	0,20	20,76	58,30	20,94
9	0,15	20,46	60,25	19,29
10	0,15	20,11	59,00	20,89
Średnia	0,15	19,65	59,79	20,56
Średnie odchylenie standartowe %		1,21	2,68	2,56
Wskaźnik stopnia zmieszania %		6,16	4,48	12,45

Tablica 4

Wilgotność i skład zestawu szklarskiego doświadczalnego otrzymanego przez pneumatyczne mieszanie z następnym nawilżaniem w mieszarce skrzydełkowej typu MS - 0/5

Lp.	Zawartość wody %	Zawartość składników suchych		
		Rozpuszczaln. w H ₂ O %	Rozpuszczaln. w HCl %	Rozpuszczaln. w HCl %
1	4,55	20,75	61,80	17,45
2	4,55	20,80	62,10	17,70
3	4,70	20,30	62,00	17,70
4	4,65	20,60	62,00	17,40
5	4,40	19,40	63,00	17,60
Średnia	4,57	20,25	62,18	17,57
Średnie odchylenie standartowe %		0,53	0,54	0,39
Wskaźnik stopnia zmieszania %		2,61	0,87	2,21

Tablica 5

Wilgotność i skład szklarskiego zestawu doświadczalnego otrzymywanego przez pneumatyczne mieszanie, z następnym ich nawilżaniem w mieszarce skrzydełkowej do 4,57% H₂O i ponownym pneumatycznym przetransportowaniu²

Lp.	Zawartość wody %	Zawartość składników suchych		
		Rozpuszczal. w H ₂ O %	Rozpuszczal. w HCl %	Rozpuszczal. w HCl %
1	4,20	19,00	63,70	17,30
2	4,50	21,00	60,50	18,50
3	4,25	20,40	64,50	15,10
4	4,15	20,00	62,70	17,30
5	4,20	17,60	63,80	18,60
6	4,15	17,70	63,80	18,50
7	4,70	18,50	61,90	19,60
8	4,45	19,00	62,50	18,50
9	4,45	21,24	62,70	16,06
10	4,50	20,66	62,30	17,04
Średnia	4,35	19,51	62,80	17,65
Średnie odchylenie standartowe %		1,26	1,22	1,29
Wskaźnik stopnia zmieszania %		6,45	1,94	7,31

Tablica 6

Ciężar usypowy surowców szklarskich
przed i po pneumatycznym przetransportowaniu w N/m^3

Lp.	Nazwa surowca	Ciężar usypowy przed transportem pneumatycznym		Ciężar usypowy po transporcie pneumatycznym	
		bez obciążenia	po obciążeniu	bez obciążenia	po obciążeniu
1	Piasek kwarcowy	14611,91	15200,31	14808,04	15690,64
2		14709,98	15396,44	15102,24	15788,71
3		14808,04	15396,44	15200,31	15690,64
	Wartość średnia	14709,98	15331,06	15036,86	15723,33
1	Mączka dolomitowa	14023,51	15984,84	15004,17	16180,97
2		13827,38	15494,51	15004,17	16279,04
3		13729,31	15494,51	15200,31	16279,04
	Wartość średnia	13860,07	15690,64	15102,24	16258,35
1	Soda techniczna ciężka	11277,65	12454,45	11473,78	12846,71
2		11669,91	12356,38	11571,85	12846,71
3		11571,85	12454,45	11571,85	12748,65
	Wartość średnia	11506,47	12421,76	11539,16	12814,02
1	Mączka wapienna	12062,18	14121,58	11081,51	13729,31
2		12552,51	14415,78	11277,65	14023,51
3		12160,25	14121,58	11179,58	13631,24
	Wartość średnia	12258,31	14219,65	11179,58	13794,69

Tablica 7

Ciężar usypowy zestawów szklarskich
przed i po pneumatycznym przetransportowaniu w N/m^3

Lp.	Nazwa zestawu	Ciężar usypowy przed transportem pneumatycznym		Ciężar usypowy po transporcie pneumatycznym	
		bez obciążenia	po obciążeniu	bez obciążenia	po obciążeniu
1	Zestaw szklarski Huty "Kara" otrzymywany w mieszarkach mechanicznych	12846,71	13925,44	12258,31	13631,24
2		12748,65	13631,24	12356,38	13631,24
3		12748,65	13729,31	12258,31	13631,24
	Wartość średnia	12781,34	13762,00	12291,00	13631,24
1	Zestaw szklarski doświadcz., otrzymywany przez pneumatyczn. mieszanie	-	-	14415,78	15592,57
2		-	-	14219,64	15298,37
3		-	-	14317,71	15494,51
	Wartość średnia			14317,71	15461,82
1	Zestaw szklarski doświadcz., otrzymywany przez pneumatyczne mieszanie z następnawilżaniem w mieszarce do 4,57% H_2O	12160,25	12944,78	13238,98	14121,58
2		12454,45	12650,58	12944,78	14121,58
3		12062,18	12944,78	13140,91	13729,31
	Wartość średnia	12225,63	12846,71	13108,22	13990,82

Tablica 8

Wpływ technologii transportu pneumatycznego
na zawartość wody w surowcach i zestawach szklarskich

Lp.	Nazwa surowca lub zestawu szklarskiego	Zawartość wody w %	
		przed transportowaniem	po przetransportowaniu
1	Piasek kwarcowy	0,03	0,05
2	Mączka dolomitowa	0,13	0,73
3	Soda techniczna ciężka	0,30	1,23
4	Mączka wapienna	0,05	0,13
5	Zestaw szklarski z Huty Kara otrzymywany w mieszarkach mechanicznych	9,40	6,30
6	Zestaw szklarski doświadczalny otrzymywany przez pneumatyczne mieszanie	0,10	0,15
7	Zestaw szklarski doświadczalny otrzymywany przez pneumatyczne mieszanie z następnym nawilżaniem w mieszarce	4,57	4,35

dartowe w pełni odpowiada warunkom normy obowiązującej w hutach szkła (około 3%). Otrzymany zestaw doświadczalny poddany nawilżaniu w mieszarkach mechanicznych jeszcze bardziej ujednorodnia się, a średnie odchylenie standardowe jest bardzo małe (około 0,5%), co daje szczególnie korzystne warunki dla tej technologii przygotowania zestawów szklarskich (tabl. 4). Ponowne przetransportowanie pneumatyczne nie pogarsza w sposób istotny jednorodności i nadal w pełni odpowiada warunkom normy. Wyniki badań jednorodności przedstawiono w tabl. 5.

Wpływ technologii transportowania pneumatycznego przedstawiono w tabl. 6 - dla surowców, a w tabl. 7 - dla zestawów szklarskich. Badania ciężarów usypowych przeprowadzono przed i po transportowaniu pneumatycznym. Jak wynika z tablic, ciężar usypowy zestawów po transportowaniu pneumatycznym nieznacznie wzrasta lub prawie nie zmienia się. Ciężar usypowy zestawu szklarskiego z Huty "Kara" badany pod obciążeniem nie zmienia się w porównaniu do zestawów nie poddawanych procesowi transportowania pneumatycznego. Natomiast zestaw szklarski doświadczalny posiada większy ciężar usypowy. Podobnie analizując wyniki pomiarów ciężaru usypowego surowców wyjściowych można stwierdzić, że po przetransportowaniu pneumatycznym wartości te w nieznacznym stopniu zwiększają się. Można również stwierdzić, że w procesie transportowania pneumatycznego nie następuje spulchnienie surowców zestawów szklarskich. Istniejące różnice są nieistotne dla stosowanych technologii w produkcji szkła.

Wpływ transportowania pneumatycznego na stopień nawilżania surowców i zestawów szklarskich przedstawiono w tabl. 8. Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że suche składniki transportowane pneumatycznie nawil-

żają się nieznacznie. Najwięcej ulega nawilżaniu soda (około 0,9%). Natomiast zestawy szklarskie wilgotne ulegają nieznacznemu wysuszeniu. Zmiana wilgotności zależna jest przede wszystkim od początkowej zawartości wody w zestawie szklarskim.

Celem ustalenia wskaźników techniczno-ekonomicznych charakteryzujących proces pneumatycznego mieszania i transportu, wyznaczono doświadczalnie parametry pracy instalacji badawczej. Korzystając z parametrów ustalonych doświadczalnie podczas procesu pneumatycznego mieszania i transportu, dla wszystkich badanych surowców i zestawów szklarskich wyznaczono zasadnicze wskaźniki techniczno-ekonomiczne (tabl. 9). W tabelicy 9 przyjęto następujące oznaczenia: G_w - wydajność instalacji transportu pneumatycznego, P - ciśnienie powietrza doprowadzanego do podajnika komorowego, μ - ciężarowa koncentracja mieszaniny, V - zużycie powietrza na megagram przetransportowanego materiału, E - pobór energii niezbędnej do przetransportowania megagrama materiału.

Tablica 9

Wskaźniki techniczno-ekonomiczne transportu pneumatycznego badanych surowców i zestawów szklarskich

Materiał badany	G_w kg/s	P N/m ²	μ	V m ³ /Mg	E J/Mg
Soda techniczna ciężka	11,0	294199	24	38	8,64.10 ⁶
Suszony piasek kwarcowy	9,0	353039	19	43	9,36.10 ⁶
Mączka dolomitowa	9,5	254973	26	43	9,72.10 ⁶
Mączka wapienna	10,0	264780	20	40	9,36.10 ⁶
Zestaw szklarski z Huty Kara	9,5	343232	19	43	9,72.10 ⁶
Zestaw szklarski doświadczalny	10,3	274586	20	39	9,00.10 ⁶
Zestaw szklarski doświadczalny o wilgotności 4,57% H ₂ O	10,6	392266	18	46	10,44.10 ⁶

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć szereg wniosków:

- proces transportowania pneumatycznego nie zmienia jednorodności zestawów szklarskich;
- mieszanie suchych surowców w procesie transportowania pneumatycznego w pełni odpowiada warunkom jednorodności zestawu szklarskiego;
- nawilżanie w mieszarkach mechanicznych, zestawu doświadczalnego otrzymanego przez mieszanie pneumatyczne, powoduje znaczne zwiększenie jednorodności (jednorodność zestawu jest znacznie większa od jednorodności zestawów uzyskanych drogą mieszania mechanicznego);
- proces transportowania pneumatycznego nie zmienia w sposób istotny ciężaru usypowego surowców i zestawów szklarskich;

- surowce i zestawy szklarskie suche nieznacznie nawilżają się w procesie transportowania pneumatycznego, a wilgotne zestawy szklarskie zmniejszają wilgotność;
- transport pneumatyczny badanych surowców i zestawów szklarskich przy zastosowaniu podajnika komorowego systemu "POLKO" działa bez zakłóceń;
- podczas pracy instalacji w warunkach transportowania pneumatycznego wszystkich badanych surowców i zestawów szklarskich zachowana jest stabilność przepływu solgazu;
- poprawność działania transportu pneumatycznego w warunkach przemieszczania wszystkich badanych surowców i zestawów szklarskich oraz uzyskane parametry eksploatacyjne transportu pneumatycznego, stanowią podstawę do projektowania tego typu instalacji dla potrzeb przemysłu szklarskiego.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej Półautomatyczny przerób ciekłych mas samoutwardzalnych Materiały na sympozjum naukowo-techniczne Warszawa 1968 r.
2. Patent nr 122910 "Sposób wytwarzania mas formierskich i rdzeniowych metodą pneumatyczną z dnia 1.I.1967 r.

ТЕХНОЛОГИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СМЕШИВАНИЯ И ТРАНСПОРТА СЫРЬЯ
В СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В статье поданы результаты исследований института литейного производства Силезского политехнического института по технологии пневматического смешивания и транспорта стекольного сырья. В работе описывается испытательно-измерительный стенд, а также методы исследований процесса пневматического смешивания и транспорта. Результаты технологических исследований и полученные технико-экономические показатели пневматического транспорта приведены в виде составительных таблиц. В заключительной части этой работы приводятся выводы проведённых испытаний и исследований.

**THE TECHNOLOGY OF PNEUMATIC MIXING
AND TRANSPORTING RAW MATERIALS IN THE GLASS INDUSTRY**

S u m m a r y

The paper provides results of investigations carried through at the Institute of Casting, Silesian Technical University, Gliwice, concerning the technology of pneumatical mixing and transporting glaziery raw materials. The paper contains the description of a testing-station and of investigation methods concerning the process of pneumatic mixing and transport. The results of these investigations, as well as the obtained technical and economical coefficients of pneumatic transport have been presented in the form of tables. In the final part of the paper conclusions have been put forward concerning the accomplished tests and investigations.