

OPTIMALIZACJA PRODUKCJI ODLEWNI Z WYKORZYSTANIEM SYMULACJI ZDARZEŃ DYSKRETYCH

Jan SZYMSZAL, Teresa LIS, Marian MALIŃSKI, Krzysztof NOWACKI

Streszczenie: W artykule omówiono możliwości wykorzystania symulacji zdarzeń dyskretnych metodą odwracania dystrybuanty w ocenie jakości produkcji odlewniczej. Przedstawiony przykład dotyczy elementarnego przypadku statycznego, który można rozwiązać również na drodze fizycznie przeprowadzonego eksperymentu, polegającego na notowaniu jakości produkcji odlewniczej w wybranym zakładzie odlewniczym. Do symulacji i prognozowania jakości produkcji odlewniczej stopu AlSi(Me) zastosowano generator liczb losowych arkusza kalkulacyjnego Excel.

Słowa kluczowe: symulacja zdarzeń dyskretnych, komputerowe wspomaganie produkcji odlewniczej

1. Wprowadzenie

W procesie racjonalnego podejmowania decyzji gospodarczych należy brać pod uwagę okoliczności, które są, lub będą nierozdzielnie związane z przekształcaniem ich w rzeczywistą realizację. Taką możliwość stwarza symulacja, która najogólniej oznacza wykorzystanie zestawu bardzo różnych technik badawczych, opierających się na wprawieniu w ruch modelu naśladującego zachowanie badanego systemu. Obecnie, dzięki symulacji istnieje możliwość obserwacji zjawisk i badania ich, w sposób, który możliwy był dotychczas jedynie na drodze przeprowadzenia rzeczywistego eksperymentu.

Przedstawiony przypadek elementarny statyczny, możliwy do rozwiązania również przez fizyczne przeprowadzanie eksperymentu, jednakże ze względu na dość duże zróżnicowanie modeli zdarzeń dyskretnych, przedstawienie ich ze strony teoretycznej wymaga wysokiego poziomu abstrakcji rozważań. Z tego względu dla ukazania działania omawianego modelu oparto się na konkretnym przykładzie w którym wykorzystano symulację tzw. metodą odwracania dystrybuanty [1]. Rozwiązanie tego przykładu powinno pozwolić na określenie opłacalności realizowanej produkcji odlewniczej.

2. Opis problemu

Pewien zakład odlewniczy w oparciu o dostarczane stopy wstępne (tzw. zaprawy) przez wybranych producentów produkuje silumin nadeutektyczny typu AlSi(Me), a konkretnie stop AlSi17Cu3Ni1,5Mg1,5. Ten bardzo nowoczesny stop jest wykorzystywany bezpośrednio w zakładzie do odlewania odpowiedzialnych części konstrukcyjnych w przemyśle samochodowym i lotniczym [2], jak również w postaci gąsek jest sprzedawany innym zakładom odlewniczym. Stop ten spełnia warunki odbioru, jeśli (między innymi) zachowany jest wymagany skład chemiczny, a szczególnie zawartość czterech głównych składników stopu: krzemu, miedzi, niklu i magnezu, gdyż od ścisłego zachowania wymaganego składu chemicznego zależą istotnie właściwości tego stopu [2]. Zawartość podstawowych składników oznaczana jest z dokładnością 0,1% i powinna zgodnie z

założeniami wynosić: Si% od 16,9 do 17,1%, Cu% od 2,9 do 3,1%, Ni% od 1,5 do 1,7% oraz Mg% od 1,4 do 1,6%. Stop produkuje się zawsze z zachowaniem jednakowych warunków technologicznych w elektrycznym piecu indukcyjnym o pojemności 250 kg. Produkcja będzie dla zakładu opłacalna jeśli, co najmniej 60% wytopów stopu AlSi(Me) będzie zgodna jakościowo z zakładanymi wymaganiami, tzn. jednoczesnym zachowaniem składu pod względem zawartości Si%, Cu%, Ni% i Mg%.

3. Produkcja stopu AlSi(Me) - eksperyment fizyczny

Zakład odlewniczy od pewnego czasu produkuje stop AlSi17Cu3Ni1,5Mg1,5 i w wyniku tego fizycznego eksperymentu stwierdzono rozkłady rzeczywistego prawdopodobieństwa zawartości w podziale na klasy dla poszczególnych składników stopowych X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1.

Rozkład prawdopodobieństwa składu stopu AlSi17Cu3Ni1,5Mg1,5 [3]

Zawartość krzemu X_{Si}		Zawartość miedzi X_{Cu}		Zawartość niklu X_{Ni}		Zawartość manganu X_{Mg}	
Si, %	p	Cu, %	p	Ni, %	p	Mg, %	p
16,7	0,03	2,8	0,06	1,3	0,03	1,3	0,04
16,8	0,05	2,9	0,28	1,4	0,04	1,4	0,25
16,9	0,32	3,0	0,34	1,5	0,31	1,5	0,39
17,0	0,35	3,1	0,24	1,6	0,37	1,6	0,26
17,1	0,21	3,2	0,05	1,7	0,21	1,7	0,04
17,2	0,04	3,3	0,03	1,8	0,04	1,8	0,02

Ponieważ przebadano dużą partię wytopów, można przyjąć, że wyniki z zadowalającą dokładnością opisują skład chemiczny stopu AlSi(Me) w populacji generalnej, tj. empiryczne częstości występowania poszczególnych klas zawartości składników stopowych można uznać za prawdopodobieństwa ich występowania.

4. Losowanie metodą odwracania dystrybuanty

Główną niedogodnością rozwiązania praktycznego jest to, że wymaga ono fizycznej produkcji danego stopu, a w przypadku nie zachowania norm dotyczących wymaganego składu może to być kosztowne i wysoce nieopłacalne. Z założeń eksperymentu fizycznego, związanych między innymi z centralnym twierdzeniem granicznym wynika jednak, że wcale nie trzeba prowadzić dalej eksperymentu fizycznego by przekonać się czy produkcja wybranego stopu AlSi(Me) w danych warunkach będzie opłacalna. Wystarczy bowiem losować wartości zmiennych: X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} , przy czym ważne jest, aby rozkłady prawdopodobieństwa losowanych zmiennych pokrywały się z odpowiadającymi rozkładami w populacji generalnej. Mówi się wtedy, że zmienne X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} są losowane z tych rozkładów. Każda powtórka losowania (tzw. replikacja) dostarcza kolejnej obserwacji na zmiennych X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} , a w konsekwencji na sumarycznych składzie stopu AlSi(Me). Tak więc np. stop o zawartości krzemu (X_{Si}) na poziomie 16,9% ma się pojawić w próbie 32 razy na sto, a o zawartości manganu (X_{Mg}) na poziomie 1,6% 26 razy na sto (Tab.1).

Do losowania zmiennych X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} z odpowiednich rozkładów powinno się wykorzystać zmienną przyjmującą z jednakowym prawdopodobieństwem wartości z przedziału (0,1), czyli zmienną o rozkładzie równomiernym (jednostajnym) na odcinku

(0,1). Zmienną tą, nazywaną często zmienną losującą, oznaczono jako ZL_i . W arkuszu kalkulacyjnym Excel wygenerowano ją wykorzystując bezargumentową funkcję =LOS().

W pierwszym etapie symulacji dla każdej zmiennej X_{Si} , X_{Cu} , X_{Ni} i X_{Mg} obliczono skumulowane wartości rzeczywistego prawdopodobieństwa, czyli dystrybuantę (rys.1a) [5].

a)

=JEZELI(N11>P57;NS8;JEZELI(N11>P56;NS7;JEZELI(N11>P55;NS6;JEZELI(N11>P54;NS5;JEZELI(N11>P53;NS4;NS3))))																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Zawartość krzemu X_{Si}			Zawartość miedzi X_{Cu}			Zawartość niklu X_{Ni}			Zawartość magnezu X_{Mg}						
2	Si, %	p	Dystrybuanta	Cu, %	p	Dystrybuanta	Ni, %	p	Dystrybuanta	Mg, %	p	Dystrybuanta				
3	16,7	0,03	0,03	2,8	0,06	0,06	1,3	0,03	0,03	1,3	0,04	0,04				
4	16,8	0,05	=C3+0,08	2,9	0,28	0,34	1,4	0,04	0,07	1,4	0,25	0,29				
5	16,9	0,32	0,40	3,0	0,34	0,68	1,5	0,31	0,38	1,5	0,39	0,68				
6	17,0	0,35	=C4+D3	3,1	0,24	0,92	1,6	0,37	0,75	1,6	0,26	0,94				
7	17,1	0,21	0,96	3,2	0,05	0,97	1,7	0,21	0,96	1,7	0,04	0,98				
8	17,2	0,04	1,00	3,3	0,03	1,00	1,8	0,04	1,00	1,8	0,02	1,00				
9	=JEZELI(B11>D\$7;B\$6;JEZELI(B11>D\$6;B\$7;JEZELI(B11>D\$5;B\$6;JEZELI(B11>D\$4;B\$5;JEZELI(B11>D\$3;B\$4;B\$3))))															
10	Lp	ZL_1	SX_{Si}	ZL_2	SX_{Cu}	ZL_3	SX_{Ni}	ZL_4	SX_{Mg}							Norma
11	1	0,58156	17	0,93024	3,2	0,37301	1,5	0,33161	1,5							0
12	2	0,06798	16,8	0,32902	2,9	0,25716	1,5	0,08032	1,4							0
13	3	0,40670	17	0,89445	3,1	0,11531	1,5	0,23822	1,4							1
14	4	0,70764	17	0,02954	2,8	0,58431	1,6	0,83121	1,6							0
15	5	0,48330	17	0,58476	3	0,60985	1,6	0,78138	1,6							1
16	6	=LOS()	16,9	0,96532	3,2	0,02923	1,3	0,38099	1,5							0
17	7	0,20570	16,9	0,70724	3,1	0,70823	1,7	0,90445	1,6							1
18	8	0,17016	=JEZELI(LUB(C11=\$B\$3;C11=\$B\$4;C11=\$B\$8;G11=\$F\$7;G11=\$F\$8;K11=\$J\$3;K11=\$J\$4;K11=\$J\$8;O11=\$N\$3;O11=\$N\$7;O11=\$N\$8);0;1)													

b)

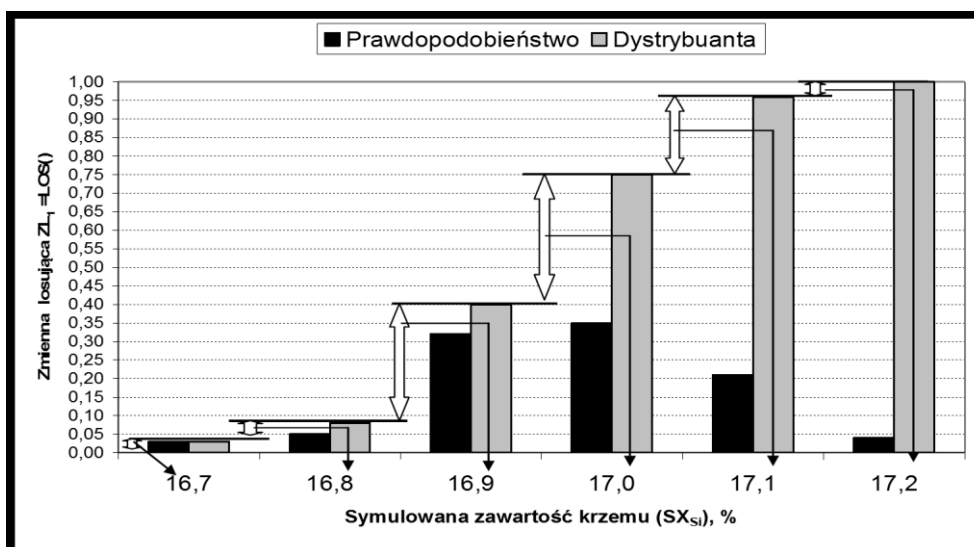
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
9998	9988	0,05816	16,8		0,93555	3,2			0,27188	1,5			0,94724	1,7		0
9999	9989	0,71813	17		0,38955	3			0,99032	1,8			0,26408	1,4		0
10000	9990	0,59122	17		0,48588	3			0,17871	1,5			0,45458	1,5		1
10001	9991	0,20420	16,9		0,40225	3			0,80977	1,7			0,36882	1,5		1
10002	9992	0,56282	17		0,94955	3,2			0,80720	1,7			0,41914	1,5		0
10003	9993	0,66448	17		0,60311	3			0,60017	1,6			0,48262	1,5		1
10004	9994	0,54935	17		0,88737	3,1			0,89615	1,7			0,97831	1,7		0
10005	9995	0,36360	16,9		0,10567	2,9			0,58321	1,6			0,39688	1,5		1
10006	9996	0,07544	16,8		0,20928	2,9			0,95379	1,7			0,67596	1,5		0
10007	9997	0,40472	17		0,75689	3,1			0,53372	1,6			0,00382	1,3		0
10008	9998	0,75479	17,1		0,81549	3,1			0,91225	1,7			0,92625	1,6		1
10009	9999	0,03980	16,8		0,40592	3			0,29632	1,5			0,64596	1,5		0
10010	10000	0,52532	17		0,36291	3			0,17909	1,5			0,92876	1,6		1
10011																
10012	Symulowana liczba wytopów zgodnych z założonym poziomem krzemu, miedzi, niklu i magnezu												=SUMA(L11:L10010)	6115		
10013													=L1012/10000	61,15%		
10014																

Rys. 1a, b. Fragmenty arkusza z wynikami symulacji metodą odwracania dystrybuanty dla 10000 replikacji

W stosunku do zmiennej losującej ZL_1 odpowiadającej symulowanej wartości krzemu (SX_{Si}) przyjęto zasadę, że:

- Jeśli zmienna losująca ZL_1 ma wartość nie większą od 0,03 to symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 16,7%, w przeciwnym razie:
- Jeśli zmienna losująca ZL_1 ma wartość nie większą od 0,08 to symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 16,8%, w przeciwnym razie:
- Jeśli zmienna losująca ZL_1 ma wartość nie większą od 0,40 to symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 16,9%, w przeciwnym razie:
- Jeśli zmienna losująca ZL_1 ma wartość nie większą od 0,75 to symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 17,0%, w przeciwnym razie:
- Jeśli zmienna losująca ZL_1 ma wartość nie większą od 0,96 to symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 17,1%, w przeciwnym razie:
- symulowana zawartość krzemu (SX_{Si}) jest na poziomie 17,2%.

Uznaje się więc, że wylosowana zmienna ZL_1 wskazuje na zawartość krzemu w klasie odpowiadającej wierszowi, w którym dystrybuanta po raz pierwszy osiągnie lub przekroczy wartość zmiennej losującej (rys.2).



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie generowania symulowanej zawartości krzemu (SX_{Si})

Podobną zasadę przyjęto dla trzech pozostałych zmiennych losujących ZL₂, ZL₃ i ZL₄ pokrywając je z odpowiednimi rozkładami w populacji generalnej odpowiednio dla symulowanej zawartości miedzi (SX_{Cu}), symulowanej zawartości niklu (SX_{Ni}) oraz symulowanej zawartości magnezu (SX_{Mg})

Na rys 1a i b przedstawiono fragmenty arkusza Excel z wynikami 10000 replikacji przy wykorzystaniu zmiennych losujących ZL₁, ZL₂, ZL₃ i ZL₄ i odpowiadających im symulowanym poziomom krzemu (SX_{Si}), miedzi (SX_{Cu}), niklu (SX_{Ni}) oraz magnezu (SX_{Mg}).

5. Analiza statystyczna

Przedstawione na rys. 1 wyniki eksperymentu fizycznego i symulacji poddano ocenie statystycznej.

W pierwszym etapie oceny statystycznej, w oparciu o wyniki symulacji ujmującej 10000 iteracji, dla każdej z czterech zmiennych wyznaczono bezwzględną częstość (tzw. częstość symulowaną - rys. 3 a,b,c,d) występowania w danej klasie poziomu zawartości danego składnika stopowego (Si, Cu, Ni, Mg), a następnie dokonano kumulowania tej częstości oraz oszacowano wartości prawdopodobieństwa i dystrybuanty symulowanej.

Uzasadnienie poprawności podejścia stosowanego w metodzie można uzyskać wykorzystując do oceny zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem symulowanym test zgodności Kołmogorowa-Smirnowa [4], który weryfikuje hipotezę, że dwie próby pochodzą z tej samej próby lub inaczej mają ten sam rozkład. W tym celu dla każdej z klas zawartości danego pierwiastka stopowego obliczono bezwzględne różnice dystrybuant dla rozkładu rzeczywistego i symulowanego a następnie maksymalną wartość wymnożoną przez pierwiastek kwadratowy z liczby iteracji, czyli wartość tzw. λ_{testowe} porównano z wartością krytyczną $\lambda_{(\alpha=0,05)}$ odczytaną dla założonego poziomu istotności ($\alpha=0,05$) z tablic rozkładu asymptotycznego λ Kołmogorowa. W każdym przypadku, tzn. Si (rys. 3a), Cu (rys. 3b), Ni (rys. 3c) oraz Mg (rys. 3d) stwierdzono jednorodność obu rozkładów.

a)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Zawartość krzemu X_{Si}			Częstość symulowana (n)	Częstość kumulowana	Prawdopodob. symulowane	Dystrybuanta symulowana	Bezwzględne różnice distr.	
2	Si, %	p	Dystrybuanta						
3	16,7	0,03	0,030	293	293	0,0293	0,0293	0,00070	
4	16,8	0,05	0,080	488	781	0,0488	0,0781	0,00190	
5	16,9	0,32	0,400	3332	4113	0,3332	0,4113	0,01130	
6	17,0	0,35	0,750	3413	7526	0,3413	0,7526	0,00260	
7	17,1	0,21	0,960	2071	9597	0,2071	0,9597	0,00030	
8	17,2	0,04	1,000	403	10000	0,0403	1,0000	0,00000	
9	Statystyki opisowe dla X_{Si}			Statystyki opisowe dla SX_{Si}			$D^* \cdot \sqrt{10000} =$	1,130	
10	Średnia= 16,978			Średnia= 16,977			$\lambda_{(\alpha=0,05)} =$	1,358	
11	SD= 0,1054			SD= 0,1052			=MODUŁ.LICZBY(C3-G3)		
12	Decyl 2 (20%)= 16,9			Decyl 2 (20%)= 16,9			=MAX(H3:H8)*PIERWIASTEK(10000)		
13	Mediana= 17,0			Mediana= 17,0			=CZĘSTOŚĆ(10000replikacji!A11:A1010;C3:C8)		
14	Decyl 8 (80%)= 17,1			Decyl 8 (80%)= 17,1			(ŚREDNIA(10000replikacji!C11:C10010)=		
15	Dominanta= 17,0			Dominanta= 17,0			=ODCH.STANDARDOWE(10000replikacji!C11:C10010)		
16	=SUMA.ILOCZYNÓW(B3:B8;A3:A8)			=WYST.NAJCZĘŚCIEJ(10000replikacji!C11:C10010)			=PERCENTYL(10000replikacji!C11:C10010;0,2)		
17	=MEDIANA(10000replikacji!C11:C10010)			=WYST.NAJCZĘŚCIEJ(10000replikacji!C11:C10010)					
18									
19	=PIERWIASTEK(B3*(A3-B10)^2+B4*(A4-B10)^2+B5*(A5-B10)^2+B6*(A6-B10)^2+B7*(A7-B10)^2+B8*(A8-B10)^2)								

b)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zawartość miedzi X_{Cu}			Częstość symulowana (n)	Częstość kumulowana	Prawdopodob. symulowane	Dystrybuanta symulowana	Bezwzględne różnice distr.
2	Cu, %	p	Dystrybuanta					
3	2,8	0,06	0,06	549	549	0,055	0,0549	0,00510
4	2,9	0,28	0,34	2732	3281	0,273	0,3281	0,01190
5	3,0	0,34	0,68	3507	6788	0,351	0,6788	0,00120
6	3,1	0,24	0,92	2423	9211	0,242	0,9211	0,00110
7	3,2	0,05	0,97	516	9727	0,052	0,9727	0,00270
8	3,3	0,03	1,00	273	10000	0,027	1,0000	0,00000
9	Statystyki opisowe dla X_{Cu}			Statystyki opisowe dla SX_{Cu}			$D^* \cdot \sqrt{10000} =$	1,190
10	Średnia= 3,003			Średnia= 3,004			$\lambda_{(\alpha=0,05)} =$	1,358
11	SD= 0,1109			SD= 0,1089				
12	Decyl 2 (20%)= 2,9			Decyl 2 (20%)= 2,9				
13	Mediana= 3,0			Mediana= 3,0				
14	Decyl 8 (80%)= 3,1			Decyl 8 (80%)= 3,1				
15	Dominanta= 3,0			Dominanta= 3,0				

c)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zawartość niklu X_{Ni}			Częstość symulowana (n)	Częstość kumulowana	Prawdopodob. symulowane	Dystrybuanta symulowana	Bezwzględne różnice distr.
2	Ni, %	p	Dystrybuanta					
3	1,3	0,03	0,03	289	289	0,029	0,0289	0,00110
4	1,4	0,04	0,07	426	715	0,043	0,0715	0,00150
5	1,5	0,31	0,38	3012	3727	0,301	0,3727	0,00730
6	1,6	0,37	0,75	3715	7442	0,372	0,7442	0,00580
7	1,7	0,21	0,96	2149	9591	0,215	0,9591	0,00090
8	1,8	0,04	1,00	409	10000	0,041	1,0000	0,00000
9	Statystyki opisowe dla X_{Ni}			Statystyki opisowe dla SX_{Ni}			$D^* \cdot \sqrt{10000} =$	0,730
10	Średnia= 1,581			Średnia= 1,582			$\lambda_{(\alpha=0,05)} =$	1,358
11	SD= 0,1036			SD= 0,1039				
12	Decyl 2 (20%)= 1,5			Decyl 2 (20%)= 1,5				
13	Mediana= 1,6			Mediana= 1,6				
14	Decyl 8 (80%)= 1,7			Decyl 8 (80%)= 1,7				
15	Dominanta= 1,6			Dominanta= 1,6				

d)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zawartość manganu X_{Mg}			Częstość	Częstość	Prawdopod.	Dystrybuanta	Bezwzględne
2	Mg, %	p	Dystrybuanta	symulowana (n)	kumulowana	symulowane	symulowana	różnice distr.
3	1,3	0,04	0,04	386	386	0,039	0,0386	0,00140
4	1,4	0,25	0,29	2413	2799	0,241	0,2799	0,01010
5	1,5	0,39	0,68	3982	6781	0,398	0,6781	0,00190
6	1,6	0,26	0,94	2635	9416	0,264	0,9416	0,00160
7	1,7	0,04	0,98	377	9793	0,038	0,9793	0,00070
8	1,8	0,02	1,00	207	10000	0,021	1,0000	0,00000
9	Statystyki opisowe dla X_{Mg}			Statystyki opisowe dla SX_{Mg}			$D^* \cdot \sqrt{10000} =$	1,010
10	Średnia=	1,507		Średnia=	1,508		$\lambda_{(\alpha=0,05)} =$	1,358
11	SD=	0,1003		SD=	0,0995			
12	Decyl 2 (20%)=	1,4		Decyl 2 (20%)=	1,4			
13	Mediana=	1,5		Mediana=	1,5			
14	Decyl 8 (80%)=	1,6		Decyl 8 (80%)=	1,6			
15	Dominanta=	1,5		Dominanta=	1,5			

Rys. 3. Wyniki oceny statystycznej dla wartości uzyskanych na drodze eksperymentu fizycznego i symulacji dla: a) krzemu; b) miedzi; c) niklu i d) magnezu

W drugim etapie dla każdej z czterech zmiennych wyznaczono podstawowe charakterystyki statystyki opisowej, najbardziej przydatne do prowadzonej analizy, czyli: średnią, odchylenie standardowe, decyle 2 (20%) i 8 (80%), medianę (50%) oraz dominantę. Dla wartości uzyskanych z eksperymentu fizycznego charakterystyki te obliczono korzystając z ogólnie znanych wzorów stosowanych w przypadku szeregów rozdzielczych punktowych [5], natomiast dla wartości symulowanych obliczono je bezpośrednio z szeregów szczegółowych (rys. 2a,b,c,d).

6. Podsumowanie i wnioski

Tradycyjnie do podsumowań wyznaczane są miary klasyczne oparte na momentach rozkładu zmiennych. W rozpatrywanym przypadku średnie wartości (po 10000 replikacji) dla wszystkich badanych zmiennych (Si%, Cu%, Ni% i Mg%) w pełni odpowiadały założonej wartości. Jeśli rozkład tych zmiennych byłby zbliżony do normalnego należałoby się spodziewać, że w przedziałach wyznaczonych przez typowy przedział zmienności dla średniej i odchylenia standardowego znajdzie się ok. 68% wytopów. Nie jest to jednak informacja zadowalająca gdyż zbiór zdarzeń trafionego wytopu stanowi zbiór zdarzeń niezależnych każdego z rozpatrywanych składników stopowych.

Dokładniejszej informacji na temat opłacalności produkcji dostarczają miary pozycyjne takie, jak mediana, dominanta czy kwantyle. Jak wykazały wyniki oszacowania tych charakterystyk wszystkie badane zmienne charakteryzują się wartościami mieszczącymi się w rozstępie 60 procentowym tzn. pomiędzy drugim a ósmym decylem, zatem ok. 60% wytopów pod względem badanych zmiennych (Si%, Cu%, Ni% i Mg%) odpowiada założonym warunkom.

Dostosowując technikę opracowania wyników symulacji do kluczowego dla zakładu odlewniczego pytania: ile wytopów jest zgodnych pod względem jakościowym z zakładanymi wymaganiami, tzn. jednoczesnym zachowaniem składu pod względem zawartości Si%, Cu%, Ni% i Mg% można by pominąć wyznaczenie wcześniej oszacowanych parametrów statystyki opisowej, ograniczając analizę jedynie do zliczenia wytopów odpowiadającym założonym normom. Uzyskana odpowiedź na to pytanie (kolumna Q - rys.1a,b) świadczy, że nieco ponad 61% wytopów spełnia te warunki. Ponieważ uzyskane wyniki obarczone są zmiennością z próby, istnieje bardzo niewielki

zapas bezpieczeństwa. Należałoby więc zastanowić się nad działaniami, które poprawią jakość produkcji. Można w tym celu wykorzystać narzędzia SPC, poprawić technologię wytapiania, zastosować nowoczesne metody termicznej analizy ATD, zażądać od dostawców poprawy jakości stopów wstępnych itd.

Literatura

1. Gajda J.: Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, 2001.
2. Szymshal J.: Ocena niezawodności odlewów ze stopów AlSi(Me) na podstawie statystycznych wskaźników niezawodności materiałowej opartych na analizie Weibulla. Wyd. Politechniki Śląskiej Gliwice, 2009.
3. Dane statystyczne Odlewni Metali Nieżelaznych.
4. Maliński M., Szymshal J. : Współczesna statystyka matematyczna w medycynie w arkuszach kalkulacyjnych. Wyd. Śląskiej Akademii Medycznej, Katowice, 1999.
5. Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S.: Metody statystyczne. Zadania i sprawdziany, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2002.

Dr hab. inż. Jan SZYMSZAL*

Dr hab. inż. Teresa LIS**, prof. nadzw. Pol. Śl.

Dr inż. Marian MALIŃSKI***, doc. w Pol. Śl.

Dr inż. Krzysztof NOWACKI**

*Katedra Technologii Materiałów

**Katedra Zarządzania i Informatyki

***Katedra Nauki o Materiałach

Politechnika Śląska,

40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8

tel./fax.: (032) 6034486

e-mail: jan.szymshal@polsl.pl

teresa.lis@polsl.pl

marian.malinski@polsl.pl

krzysztof.nowacki@polsl.pl