

## KONTROLA STATYSTYCZNA W AKTUALNYCH WARUNKACH ODLEWNI W POLSCE

Jerzy PIASKOWSKI

### 1. Wprowadzenie

Kontrolę jakości wyrobów przemysłowych, opartą na zasadach statystyki matematycznej i teorii prawdopodobieństwa opracowano już na początku lat trzydziestych (1). Kontrola ta została rozpowszechniona, zwłaszcza w przemyśle zbrojeniowym w USA podczas II Wojny Światowej. W latach pięćdziesiątych ukazało się tam szereg poradników ułatwiających zastosowanie metod statystycznych do kontroli jakości w przemyśle (2, 3), także w odlewniach (4).

W tym okresie Polski Komitet Normalizacyjny opracował i opublikował wiele norm związanych z wprowadzeniem kontroli statystycznej, ukazało się także kilka książek ze szczegółowym opisem zastosowania metod statystycznych (5, 6). Jednak pomimo przeprowadzania prób wprowadzenia tych metod w Odlewni Żeliwa Ciągłego w Drawskim Młynie (7), nie udało się ich zastosować w produkcji odlewów. Nie zastosowano ich także w krajowych odlewniach w okresie modernizacji i rozbudowy krajowego przemysłu - także odlewniczego - w latach siedemdziesiątych osiemdziesiątych. Na początku lat dziewięćdziesiątych rozpoczęto w krajowym przemyśle wprowadzanie systemów gwarantowanej jakości, zaleconych przez międzynarodowe normy ISO 9000-9004. Ogólne zalecenia dotyczące metod kontroli statystycznej znalazły się w normie 9002 (punkt 4.18) i 9003 (punkt 4.12), a zwłaszcza w normie 9004 (punkt 20); w tej ostatniej zalecono stosowanie kart kontroli statystycznej, (punkt 20.2). Karty takie znalazły się w normie PN-ISO 8258 + AC1 „Karty kontrolne Shewarta”. Po wymienionej normie PN-ISO ukazało się w kraju szereg dalszych norm tego rodzaju zawierających opis zastosowania różnych metod statystycznych kontroli i sterowania jakością. Opublikowano szereg książek z tą tematyką związanych (8, 9) nawiązując także do statystycznych metod sterowania jakością (10, 11, 12, 13). Do prac nad wprowadzeniem metod statystycznych do kontroli produkcji w odlewniach przystąpiono także w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie (14, 15, 16, 17, 18, 19).

Sytuacja krajowego przemysłu odlewniczego jest bardzo trudna. Zachodzące w kraju od 1989 r. zmiany społeczno-gospodarcze spowodowały spadek produkcji przemysłowej, a zwłaszcza przemysłu maszynowego np. obrabiarek do metali o 62,3%,

maszyn rolniczych o 56,4%, maszyn elektrycznych o 50,0%. Spadek ten spowodował zmniejszenie produkcji odlewów z ok. 2000 t do 700 tys. t. (tj. o 65%). W niektórych odlewniach produkcja sięga obecnie 20–30% poziomu sprzed 10 lat.

Odlewnie, szukając zamówień, rozszerzają zakres produkowanych asortymentów podejmując produkcję gatunków lub stopów dawniej nie wytwarzanych. Wpływa to ujemnie na specjalizację produkcji, a równocześnie zmniejsza „gęstość” działań kontrolnych poszczególnych asortymentów. Ponadto konieczność obniżenia ceny oferowanych odlewów zmusza do ograniczenia badań kontrolnych, rezygnacji z niektórych metod badawczych. Są to zjawiska regresu technicznego, które utrudniają wprowadzenie nowoczesnych metod kontroli produkcji.

Jednak z drugiej strony, dla utrzymania krajowych odlewni istotne znaczenie ma eksport odlewów. Jest on możliwy tylko w przypadku gwarantowanej wysokiej jakości produkowanych odlewów. Taką jakość może zapewnić nowoczesna kontrola oparta na metodach statystyki matematycznej. I dlatego, pomimo istniejących trudności, krajowe odlewnie powinny wprowadzić kontrolę statystyczną.

Trzeba przy tym wykorzystać istniejącą aparaturę i wszystkie prowadzone badania kontrolne. Wprowadzenie kontroli statystycznej nie wymaga zakupów nowej aparatury, pierwszym krokiem jest wykorzystanie prowadzonych aktualnie badań kontrolnych, problem polega więc jedynie na ujęciu tych pomiarów w system badań statystycznych. Dzięki temu można zapewnić wysoką i ustabilizowaną jakość produkowanych odlewów.

## **2. Stabilizacja jakości odlewów w świetle obowiązujących norm klasyfikacji stopów odlewniczych i normy PN-ISO 8258 + AC1**

Krajowe odlewnie dokonują oceny jakości produkowanych odlewów na podstawie obowiązujących norm klasyfikacji stopów odlewniczych: dla żeliwa szarego (PN-92/H-83101), żeliwa ciągliwego (PN-92/H-83221), żeliwa sferoidalnego (PN-92/H-83123), stopów aluminium (PN-76/H-88027), miedzi (PN-91/H-87026), stopów cynku (PN-80/H-87102) i magnezu (PN-88/H-88050). Normy te określają jakość metalu tylko jednostronnymi granicami właściwości mechanicznych. Jedynie norma na staliwo węglowe konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia PN-ISO 3755 z października 1994 r. przewiduje obustronne ograniczenie wytrzymałości na rozciąganie, jednak doraźna granica plastyczności  $R_c$  oraz wydłużenie są ograniczone tylko od dołu. Dla składu chemicznego staliwa (zawartość C, Mn, Si, P, S, Ni, Cr, Cu, Mo, V) podane są górne granice, ale mają być dotrzymane tylko dla odlewów przeznaczonych do spawania.

Normy klasyfikacji metali nieżelaznych przewidują minimalne (dolne granice dla właściwości mechanicznych  $R_m$ ,  $A_5$  i HB, dla stopów miedzi także  $R_e$ ) i górne granice dla szkodliwych domieszek. Jednostronne granice np. właściwości mechanicznych nie prowadzą do stabilizacji jakości. Ujemna korelacja niektórych właściwości (np. wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia) nie zastąpi obustronnego ograniczenia tych parametrów i nie doprowadzi do ustabilizowanej jakości odlewów.

Trzeba także zwrócić uwagę, że samo wprowadzenie metod kontroli statystycznej, także kart przedstawionych w normie PN-ISO 8258 + AC1 „Karty kontrolne Shewarta” nie zapewni ustabilizowanej jakości odlewów. Zawarte w tej normie karty kontroli parametrów ilościowych ( $\bar{X}$ -R,  $\bar{X}$ -s,  $X_i$ -R<sub>k</sub>, Me-R) oraz parametrów jakościowych (np, p, u, c) dostosowane są do przedsiębiorstw o wysokiej i już ustabilizowanej jakości wyrobów stąd zadaniem ich jest dopilnowanie, aby jakość ta została nadal utrzymana.

Karty te rejestrują jakość odlewów, pozwalają na identyfikację zmian jakości i dzięki temu służą do śledzenia wyników działań personelu technicznego odlewni w kierunku ustabilizowania wysokiej jakości odlewów. Są więc „narzędziem” jakim posługuje się technolog w swoich działaniach do tego celu zmierzających.

Ponadto w normie PN-ISO 8258 + AC1 pominięte zostały granice ostrzegawcze, chociaż zostały one wspomniane. Dla odlewni, które stosują od lat kontrolę statystyczną i opanowały wysoką jakość odlewów, granice te są istotnie zbędne, jednak mogą być one pomocne dla krajowych zakładów odlewniczych, które dopiero dążą do osiągnięcia wysokiego poziomu jakości produkcji.

W wielu przypadkach dla krajowych odlewni (np. w przypadku małej „gęstości” pomiarów kontrolnych) dogodną będzie karta  $X_i$ -R<sub>k</sub>, przewidziane w normie PN-ISO 8258 + AC1 ewentualnie nawet kart D-G wg polskiej normy PN-55/N-03015 nie objęta w/w normą międzynarodową. Na karcie D-G trzeba jednak wprowadzić dodatkowo R.

### **3. Wstępna analiza jakości produkowanych odlewów podstawą do wprowadzenia metod statystycznych do kontroli parametrów ilościowych w odlewni.**

#### **3.1. Metoda przygotowania charakterystyk statystycznych kontrolowanych parametrów**

Początkiem prac technologa nad podwyższeniem jakości produkowanych odlewów w oparciu o badania kontrolne, a równocześnie wstępem do wprowadzenia kontroli statystycznej w odlewni, powinna być ocena aktualnego stanu jakości odlewów przy użyciu metod statystycznych.

Przykładem takiej oceny jest przedstawione tu opracowanie przeprowadzone dla wyników badań kontroli produkcji w ośmiu krajowych odlewniach żeliwa i staliwa średniej wielkości przed 1990r.; nie reprezentują więc one aktualnego poziomu i jakości produkowanych w Polsce odlewów. Liczba pomiarów poszczególnych parametrów (n) mieściła się w granicach 40-80 wyników.

Na podstawie zebranych wyników obliczono charakterystyki statystyczne dla poszczególnych parametrów w poszczególnych odlewniach, a więc wartości reprezentujące:

a) przeciętny poziom kontrolowanych parametrów, tj. wartość średniej arytmetycznej  $\bar{X}$ , reprezentujących dany zbiór wyników kontrolnych parametru oraz wielkość modalną  $Mo_i$ , najbardziej prawdopodobną, równą wartości maksymalnej dla krzywej (lub wieloboku) rozkładu; równość obu tych charakterystyk pozwala przypuszczać, że krzywa ta ma rozkład przynajmniej symetryczny, a więc nie różni się zbyt od normalnego,

b1) stopień stabilizacji kontrolowanego parametru, w zbiorze statystycznym, teoretyczny tj. wartość odchylenia średniego (kwadratowego lub standardowego)  $s$ , reprezentowanego przez teoretyczny:

przy czym:

$$\text{górna granica ostrzegawcza} \quad G_{t1} = \overline{X}_i + 2s \quad (1)$$

$$\text{dolna granica ostrzegawcza} \quad D_{t1} = \overline{X}_i - 2s \quad (2)$$

oraz

$$\text{górna granica kontrolna} \quad G_{t2} = \overline{X}_i + 3s \quad (3)$$

$$\text{dolna granica kontrolna} \quad D_{t2} = \overline{X}_i - 3s \quad (4)$$

Rozstęp granic ostrzegawczych określa wzór:

$$R_{t1} = G_{t1} - D_{t1} \quad (5)$$

a granic kontrolnych:

$$R_{t2} = G_{t2} - D_{t2} \quad (6)$$

W przypadku rozkładu normalnego (Gaussa) w zakresie rozstępu granic ostrzegawczych  $R_{t1}$  (5) mieści się 95,45% wyników badań kontrolnych parametru, zaś w zakresie rozstępu granic kontrolnych  $R_{t2}$  (6) – 99,73% wyników.

b2). stopień stabilizacji, doświadczalny tj. rozstęp wartości maksymalnej i minimalnej w zbiorze statystycznym:

$$R_d = G_d - D_d \quad (7)$$

przy czym

$$\text{wartość maksymalna} \quad G_d = X_i \text{ max} \quad (8)$$

$$\text{wartość minimalna} \quad D_d = X_i \text{ min} \quad (9)$$

Teoretyczne charakterystyki rozrzutu badań kontrolowanego zbioru są dokładne dla rozkładu normalnego tego zbioru lub - w przybliżeniu - dla podobnych rozkładów symetrycznych; dla zbiorów o znacznie różniącym się od rozkładu normalnego odchylenie średnie  $s$  i wyliczone na tej podstawie na wielkości pochodne  $R_{t1}$  i  $R_{t2}$  nie są charakterystyką reprezentującą dokładnie rozrzut wyników kontrolowanego parametru.

Dotychczasowa literatura techniczna, zarówno krajowa jak i zagraniczna, nie podają tego rodzaju wyników badań charakterystyk zbiorów statystycznych, ze względu

zrozumiałych. Podane tu w tablicach 1-6 wielkości, wybrane z większego zasobu danych z krajowych odlewni zebranych w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie są jedynym opublikowanym zbiorem charakterystyk wyników kontroli statystycznej w odlewniach.

### 3.2 Charakterystyka statystyczna kontrolowanych parametrów (na przykładach z krajowych odlewni)

Brak publikacji, krajowych i zagranicznych, zawierających podobne wyniki okresowej oceny kontroli statystycznej produkcji odlewów sprawia, że w chwili obecnej można dokonać porównania i oceny tylko w zakresie przedstawionych tu wielkości, tj. pomiędzy wynikami uzyskanymi w ośmiu przykładowo wybranych odlewni, przy uwzględnieniu czynników technologicznych.

Na postawie zestawionych w tablicach 1 do 6 wyników kontroli statystycznej gatunków żeliwa szarego, sferoidalnego i ciągliwego oraz staliwa węglowego i stopowego można przedstawić następującą ocenę:

#### a) *Właściwości mechaniczne żeliwa*

Żeliwo szare 200 (Tabl. 1). Poziom wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  utrzymuje się na podobnym poziomie  $\bar{X}$  we wszystkich czterech odlewniach (229,0–249,6 MPa) z tym jednak, że największe rozrzuty wyników kontrolnych (s) występują w odlewni B (40,7 MPa) i odlewni C (27,6 MPa). Najbardziej ustabilizowaną wytrzymałość na rozciąganie wykazuje żeliwo 200 w Odlewni A, produkującej odlewy dla motoryzacji (s = 7,435 MPa).

Podobnie ustabilizowana była twardość ( $\bar{X}$ ): 182,61–195,6 HB przy niewielkim rozrzucie (s) w granicach od 7,7 HB w odlewni C do 11,54 HB w odlewni A.

Żeliwo szare 250 (Tabl. 2) produkowane w odlewni A i C wykazało podobną wartość średnią ( $\bar{X}$ ): 269,33 MPa i 274,7 MPa z tym, że bardziej ustabilizowane wyniki (s) uzyskano w Odlewni A (13,64 MPa) niż w Odlewni C (41,8 MPa), podobnie jak dla żeliwa 200.

Żeliwo sferoidalne Zs 400-15 (Tabl. 3). Poziom wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  ( $\bar{X}$ ) był podobny w odlewni F i Odlewni B (439,2 i 446,9 MPa), ale znacznie wyższy był w Odlewni C (480,0 MPa); stopień stabilizacji procesu technologii (s) był podobny dla wszystkich trzech odlewni, mieścił się w granicach (14,43–18,3 MPa).

Również poziom ( $\bar{X}$ ) i rozrzut wyników (s) wykazały badania wydłużenia  $A_5$  (18,50–22,8% oraz 2,128–2,6%) i twardości (148,5–158,2 HB) przy bardzo małym rozrzucie, 5,4–7,7 HB.

Podobne wyniki ( $\bar{X}$ ) i ich duża stabilizacja (s) były skutkiem ferrytycznej osnowy żeliwa oraz stosowanej obróbki cieplnej (dwustopniowego wyżarzania).

Żeliwo sferoidalne Zs 500-7 (Tabl. 4). W rozpatrywanych odlewniach B i C wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  różniła się bardziej (516,2 i 539,5 MPa) z tym, że w od-

lewni B uzyskany wynik był zbyt bliski dolnej granicy dla tego gatunku (500 MPa). Duży był rozrzut wyników kontrolnych, s: 30,6 MPa dla odlewni B i 22,5 MPa dla odlewni C; nieco bardziej ustabilizowana była umowna granica plastyczności  $R_e$  żeliwa wytwarzanego w tych odlewniach.

Znaczny był natomiast rozrzut wyników wydłużenia  $A_5$ , a nawet i twardości HB. Stabilizacja właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego Zs 500-7 była więc niższa niż żeliwa sferoidalnego Zs 400-15, jest ona jednak znacznie trudniejsza do osiągnięcia dla tego pierwszego (bez obróbki cieplnej) gdyż wymagana utrzymania zawartości manganu w bardzo wąskich granicach.

#### b). *Skład chemiczny żeliwa*

Skład chemiczny kontrolowanych gatunków żeliwa szarego, sferoidalnego i ciągliwego odpowiada wymaganiom technologicznym. Ocenie podlega więc stabilizacja tego składu. Jak wynika z danych zawartych w tabl. 1, 2, 3 i 5 wielkość rozrzutu wyników analiz (s) zawartości węgla jest podobna dla wszystkich gatunków (ok. 0,05%), a wynika ona z wytopu ich w żeliwiakach o wyłożeniu kwaśnym. Dwukrotnie większy rozrzut wyników wystąpił jedynie dla żeliwa sferoidalnego Zs 400-15 w odlewni E i można tu postulować odpowiednie zalecenia technologiczne dla podwyższenia stabilizacji procesu nawęglania metalu.

Rozrzut wyników zawartości krzemu (s) w żeliwie szarym 250 i żeliwie sferoidalnym Zs 400-15 (0,170% i 0,1862%) dwukrotnie wyższy aniżeli dla żeliwa szarego 200 i żeliwa ciągliwego Zce 350-10 (0,1073% i 0,1018%) jest wynikiem dodatkowo wprowadzanego krzemu oraz modyfikowania tym dodatkiem. Stąd zachodzi potrzeba dokładniejszego dozowania krzemu przy modyfikowaniu obu tych rodzajów żeliwa.

Znaczne są też wahania zawartości manganu (s) co może być wynikiem braku dostatecznej kontroli przy dozowaniu tego składnika we wsadzie do żeliwniaka, m.in. pomijania zawartości manganu w stosowanej surówce. Np. przy wytapianiu żeliwa sferoidalnego Zs 400-15 w odlewni E w okresie objętym kontrolą (tabl. 3), nastąpiła zmiana surówki hematytowej o niskiej zawartości manganu ( $Mn_1$ ) przez surówkę zawierającą więcej składnika ( $Mn_2$ ). Nie wpłynęło to jednak na właściwości mechaniczne uzyskiwanego żeliwa ponieważ o właściwościach tych decydowała stosowana obróbka cieplna (dwustopniowe wyżarzanie ferrytyzujące).

Rozrzut wyników zawartości fosforu w kontrolowanych gatunkach żeliwa (s) był zbliżony i ograniczony do niewielkich wartości.

Różnice zawartości magnezu w żeliwie sferoidalnym Zs 400-15 w odlewni E zależne były od rodzaju zaprawy magnezowej i sposobu wprowadzanie jej do żeliwa.

#### c) *Właściwości mechaniczne staliwa węglowego i staliwa stopowego*

Staliwo węglowe LII450. Badania kontrolne wykazują wyniki zgodne z wymaganiami normy jednak przy dużym rozrzucie (s) wytrzymałości na rozciąganie (28,3 MPa); nieco mniejszy jest rozrzut umownej granicy plastyczności (19,6 MPa). Wyniki

badan wydluzenia ( $A_5$ ), przewezienia ( $Z$ ) i twardosci HB wykazuja rozrzut w granicach podobnych jakie wystepuja przy badaniach zeliwa.

Staliwo stoipowe L35 GSM. Rozrzut wynikow (s) wytrzymaosci na rozciaganie (45,2 MPa), a zwlaszcza umownej granicy plastycznosci (61,5 MPa !) jest bardzo duzy, wiekszy nawet anizeli dla staliwa LII 450. Prawdopodobnie te ostatnie pomiary sa bardzo niedokladne i nalezaloby je skontrolowac. Badania wydluzenia i przewezienia wykazuja niewielki rozrzut, natomiast duze sa wahania (s) twardosci HB co jest przypuszczalnie wynikiem nieregularnosc obróbki cieplnej odlewow.

### 3.3. Podsumowanie statystycznej oceny badan kontrolnych odlewni

Ze względu na brak podobnych zestawien badan kontrolnych w literaturze przedmiotu mozna bylo tylko przeprowadzic analize porownawcza zebranych wynikow. Uzupezniono ja oceną i pewnymi zaleceniami dotyczacymi pewnych zmian w prowadzonych procesach technologicznych. Oznacza to, ze ocenę okresowych wynikow kontroli statystycznej musza prowadzic technologowie. Przedstawione wyniki moga byc wykorzystane jako material porownawczy dla podobnej oceny jaką beda podejmowac krajowe odlewnie.

## LITERATURA

1. Shewhart W. A.: Economic control of quality of manufactured product. D.Van Nostrand Co.
2. Davies O. L.: Statistical methods in research and production, wyd. II London - Edinburgh 1949.
3. ASTM Manual on quality control of materials . Part 1 Presentation of Data, Part 2 - Presenting  $\pm$  Limits of uncertainty of observed average, Part 3 - Control chart method of analysis and presentation of Data. American Society for Testing Materials, Philadelphia 1951.
4. Statistical quality control for foundries . American Foundrymens Society, Chicago 1953 (first edition).
5. Oderfield I. Zarys statystycznej kontroli jakosci. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1954.
6. Obalski J., Statystyczna kontrola jakosci podczas produkcji. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1955.
7. Piaskowski J.: Statystyczna metoda kontrola jakosci z odlewni zeliwa ciagliwego. Przegląd Odlewnictwa 1954, t. 4, nr 11, s. 317.
8. Hryniewicz O. Optymalne plany statystycznej kontroli jakosci produkcji. Państw. Wyd. Naukowe, Warszawa 1983
9. Iwasiewicz A. Statystyczna kontrola jakosci w toku produkcji. Systemy i procedury. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1985.
10. Czyzewski B.: Metody statystyczne w sterowaniu jakoscią procesow technologicznych. Poznański Klub Jakości NOT, Poznań 1993

11. Panek T.: Rola metod statystycznych w systemach zapewnienia jakości. Metody statystyczne w zarządzaniu jakością. Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 27 czerwiec 1994.
12. Thomson J.R., Kornacki J.: Statystyczne sterowanie procesem. Metoda Deminga etapowej optymalizacji jakości. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLI, Warszawa 1994.
13. Hryniewicz O. Nowoczesne metody statystyczne sterowania jakością. Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1996.
14. Piaskowski J.: Wytyczne opracowania kart kontroli statystycznej w odlewniach żeliwa i staliwa. Określenie granic kontrolonych i ostrzegawczych. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1992.
15. Piaskowski J.: Metody statystyczne - istotny element w systemie zapewniania jakości w odlewni. Przegląd Odlewnictwa 1993 t. 43, z. 2, s. 93.
16. Piaskowski J. Karty kontroli statystycznej w produkcji żeliwa sferoidalnego. (w) Żeliwo sferoidalne szansą rozwoju polskiego odlewnictwa. Instytut Odlewnictwa , Kraków 18–19 czerwca 1996, s 109.
17. Piaskowski J. Kontrola statystyczna gwarantem wysokiej, ustabilizowanej jakości produkcji nowoczesnej odlewni. III Konferencja naukowo-techniczna. Metody statystyczne w metalurgii i odlewnictwie, Raba Niżna, listopad 1997, s. 109.
18. Piaskowski J.: Określenie i charakterystyka parametrów technologicznych. Wstęp do wprowadzenia statystycznej kontroli jakości w krajowych odlewniach. Biuletyn Instytutu Odlewnictwa 1999, z. 2, s. 3.
19. Zastosowanie metod statystycznych do kontroli i sterowania jakością w odlewniach. Część 1. Prace przygotowawcze do wprowadzenia metod statystycznych – Karty kontroli parametrów ilościowych. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1999.

Recenzował: dr hab. inż. Józef Dańko, prof.nadzw.



**Tablica 1**  
**Charakterystyki statystyczne składu chemicznego i właściwości mechanicznych żeliwa szarego 200**  
**Table 1**  
**Statistical characteristics of the chemical composition and mechanical properties of grey cast iron, grade 200**

Odlewnia	kontrolowany parametr (jednostka)	Charakterystyki statystyczne								
		$\bar{x}$	s	Mo	$Dt_1 \div G t_1$	$Dt_2 \div G t_2$	$Dd \div Gd$	$Rt_1$	$Rt_2$	Rd
A (żeliwo 200)	C (%)	3,363	0,0502	3,25	3,263÷3,463	3,123 ÷ 3,513	3,11 ÷ 3,49	0,201	0,301	0,38
	Si (%)	1,906	0,1073	1,95	1,651 ÷ 2,121	1,585 ÷ 2,127	1,71 ÷ 2,20	0,429	0,644	0,49
	Mn (%)	0,649	0,0514	0,625	0,546 ÷ 0,752	0,495 ÷ 0,803	0,55 ÷ 0,91	0,206	0,308	0,36
	P (%)	0,120	0,0078	0,125	0,104 ÷ 0,136	0,097 ÷ 0,143	0,100 ÷ 0,140	0,0312	0,049	0,040
	$C_E$ (%)	3,901	0,0533	3,85	3,794 ÷ 4,008	3,741 ÷ 4,061	3,59 ÷ 4,07	0,213	0,329	0,48
	$S_C$	0,929	0,0146	0,925	0,900 ÷ 0,958	0,874 ÷ 0,974	0,84 ÷ 0,98	0,058	0,088	0,14
	Rm(MPa)	229,87	7,435	225	215,0 ÷ 244,8	207,6 ÷ 252,2	200 ÷ 260	29,74	44,61	60
HB	182,2	11,54	175	159,5 ÷ 205,7	148,0 ÷ 217,2	163 ÷ 217	46,16	69,24	54	
B (żeliwo 200)	Rm (MPa)	243,3	40,7	260	161,9 ÷ 324,7	120,6 ÷ 366,0	172 ÷ 365	162,8	244,2	193
	HB	185,2	10,5	190	164,2 ÷ 206,2	153,7 ÷ 216,7	159 ÷ 212	42,0	63,0	53
C (żeliwo 200)	Rm (MPa)	249,6	27,6	275	194,3 ÷ 304,8	166,8 ÷ 332,2	196 ÷ 298	110,4	165,6	102
	HB	193,5	7,7	200	178,1 ÷ 208,9	170,4 ÷ 216,6	179 ÷ 207	30,8	46,2	28
D (żeliwo 200)	Rm (MPa)	229,0	20,0	240	189,0 ÷ 269,0	169 ÷ 289	201 ÷ 316	80	120	115
	HB	195,6	10,8	200	174,0 ÷ 217,2	163,2 ÷ 228,0	175 ÷ 223	43,2	64,8	48

**Tablica 2**  
**Charakterystyki statystyczne składu chemicznego i właściwości mechanicznych żeliwa szarego 250**  
**Table 2**

**Statistical characteristics of the chemical composition and mechanical properties of grey cast iron, grade 250**

Odlewnia	kontrolowany parametr (jednostka)	Charakterystyki statystyczne								
		$\bar{x}$	s	Mo	$Dt_1 \div G t_1$	$Dt_2 \div G t_2$	Dd $\div$ Gd	Rt <sub>1</sub>	Rt <sub>2</sub>	Rd
E (żeliwo Zcc 35010)	C (%)	3,292	0,045	3,25	3,202 $\div$ 3,382	3,157 $\div$ 3,327	3,18 $\div$ 3,36	0,113	0,169	0,18
	Si (%)	1,775	0,170	0,725	1,435 $\div$ 2,115	1,245 $\div$ 2,265	1,46 $\div$ 2,68	0,68	1,02	1,22
	Mn (%)	0,626	0,162	0,675	0,300 $\div$ 0,950	0,130 $\div$ 1,112	0,52 $\div$ 0,91	0,648	0,972	0,39
	P (%)	0,116	0,0106	0,12	0,095 $\div$ 0,137	0,084 $\div$ 0,148	0,10 0,14	0,042	0,064	0,04
	C <sub>E</sub> (%)	3,793	0,054	3,75	3,685 $\div$ 3,801	3,631 $\div$ 3,955	3,70 $\div$ 3,88	0,216	0,324	0,18
	S	0,899	0,014	0,900	0,871 $\div$ 0,927	0,857 $\div$ 0,941	0,87 $\div$ 0,94	0,056	0,084	0,07
	Rm (MPa)	269,33	13,646	272,5	242,0 $\div$ 296,6	228,48 $\div$ 309,68	250 $\div$ 295	54,58	81,87	45
	HB	202,3	13,975	207,5	174,4 $\div$ 230,3	160,405 $\div$ 244,255	170 $\div$ 228	55,9	83,85	58
C (żeliwo 250)	Rm (MPa)	274,7	41,8	300	191,1 $\div$ 358,3	149,3 $\div$ 400,1	159 $\div$ 318	167,2	250,8	59
	HB	206,3	16,4	230	1,735 $\div$ 239,1	157,1 $\div$ 255,5	159 $\div$ 223	65,6	98,4	64

**Tablica 3**  
**Charakterystyki statystyczne składu chemicznego i właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego Zs 400-15**  
**Table 3**  
**Statistical characteristics of the chemical composition and mechanical properties of ductile cast iron, grade Zs 400-15**

Odlewnia	kontrolowany	Charakterystyki statystyczne								
	parametr (jednostka)	$\bar{x}$	s	Mo	$Dt_1 \div G t_1$	$Dt_2 \div G t_2$	$Dd \div Gd$	Rt <sub>1</sub>	Rt <sub>2</sub>	Rd
F (Zs 400-15)	C (%)	3,646	0,107	3,63	3,432÷3,860	3,325÷3,967	3,39÷3,94	0,428	0,642	0,55
	Si (%)	2,742	0,1862	2,65	2,373÷3,117	2,183÷3,301	2,25÷3,22	0,745	0,117	0,97
	Mn <sub>1</sub> (%)	0,149	0,0205	0,16	0,108÷0,190	0,087÷0,211	0,10÷0,19	0,084	0,123	0,09
	Mn <sub>2</sub> (%)	0,347	0,030	0,355	0,287÷0,407	0,257÷0,437	0,32÷0,46	0,12	0,18	0,14
	P, (%)	0,062	0,0046	0,06	0,0528÷0,0712	0,0482÷0,0758	0,05÷0,07	0,0184	0,028	0,02
	S, (%)	0,017		0,01			0,01÷0,02			0,01
	Mg, (%)	0,0551	0,010	0,0525	0,0351÷0,0751	0,0251÷0,0851	0,036÷0,079	0,04	0,06	0,043
	R <sub>m</sub> , (MPa)	439,2	14,437	440,5	409,3÷469,1	1395,9÷482,5	401÷464	57,75	86,62	63
	A <sub>5</sub> , (%)	18,50	2,128	17,25	14,24÷22,76	12,12÷24,88	14,3÷22,8	8,51	12,77	8,5
HB	153,84	6,54	157,5	140,76÷166,92	134,22÷173,46	143÷170	26,16	39,24	27	
B (żeliwo Zs 400 -15)	R <sub>m</sub> , (MPa)	446,9	18,3	460	410,3÷483,5	392,0÷501,8	413÷487	73,2	109,8	74
	R <sub>e</sub> , (MPa)	337,5	16,0	360	305,8÷369,5	289,5÷385,5	299÷379	40	60	
	A <sub>5</sub> , (%)	22,8	2,6	25	17,6÷28,0	11,82÷27,42	13,0÷27,6	10,4	15,6	12,6
	HB	148,5	7,7	150	133,1÷163,9	125,4÷171,6	131÷170	30,8	46,2	39
C (żeliwo Zs 400-15)	R <sub>m</sub> (MPa)	480	15,2	488	449,6÷510,4	434,4÷525,6	452÷523	60,8	91,2	71
	R <sub>e</sub> (MPa)	356	12,8	380	330,9÷382,1	317,6÷394,4	325÷396	51,2	76,8	71
	A <sub>5</sub> (%)	19,4	2,5	21	14,4÷24,4	11,9÷26,3	15,0÷25,0	10	15	10,0
	HB	158,2	5,4	160	147,4÷169,0	142,0÷174,4	146÷175	21,6	32,4	29

**Tablica 4**  
**Charakterystyki statystyczne właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego Zs 500-7**  
**Table 4**  
**Statistical characteristics of the mechanical properties of ductile cast iron, grade Zs 500-7**

Odlewnia	kontrolowany parametr (jednostka)	Charakterystyki statystyczne								
		$\bar{X}$	s	Mo	$Dt_1 \div G t_1$	$Dt_2 \div G t_2$	$Dd \div Gd$	$Rt_1$	$Rt_2$	Rd
B (żeliwo Zs 500-7)	Rm (MPa)	516,2	30,6	510	415,0 ÷ 617,4	424,4 ÷ 608,0	452 ÷ 653	122,4	183,6	201
	Re (MPa)	375,8	27,3	370	321,2 ÷ 430,4	293,9 ÷ 757,4	338 ÷ 461	109,2	163,8	123
	A <sub>5</sub> (%)	16,3	3,9	20	8,5 ÷ 24,1	4,6 ÷ 28,0	7,1 ÷ 23,0	15,6	23,4	15,9
	HB	167,1	18,2	165	130,7 ÷ 203,5	112,5 ÷ 220,7	146 ÷ 223	72,8	109,2	77
C (żeliwo Zs 500-7)	Rm (MPa)	539,5	22,5	540	494,5 ÷ 584,5	472,0 ÷ 607,0	500 ÷ 582	90	135	82
	Re (MPa)	383,2	10,4	380	362,4 ÷ 404,0	352,4 ÷ 414,4	364 ÷ 403	41,6	62,4	39
	A <sub>5</sub> (%)	14,7	3,4	18	7,9 ÷ 21,5	4,2 ÷ 24,9	7,1 ÷ 20,4	13,6	20,4	12,3
	HB	173,3	7,1	175	159,1 ÷ 187,5	152 ÷ 194,6	159 ÷ 192	28,4	42,6	33

**Tablica 5**  
**Charakterystyki statystyczne składu chemicznego czarnego żeliwa ciągliwego Zcc 350-10**  
**Table 5**  
**Statistical characteristics of the chemical composition of blackheart malleable cast iron, grade Zcc 350-10**

Odlewnia	kontrolowany parametr (jednostek)	Charakterystyki statystyczne								
		$\bar{X}$	s	Mo	Dt <sub>1</sub> ÷ G t <sub>1</sub>	Dt <sub>2</sub> ÷ G t <sub>2</sub>	Dd ÷ Gd	Rt <sub>1</sub>	Rt <sub>2</sub>	Rd
E (żeliwo Zcc 35010)	C (%)	2,978	0,051	2,95	2,876 ÷ 3,080	2,825 ÷ 3,031	2,74 ÷ 3,13	0,204	0,306	0,39
	Si (%)	1,258	0,1018	1,25	1,022 ÷ 1,429	0,953 ÷ 1,563	0,98 ÷ 1,80	0,407	0,611	0,82
	Mn (%)	0,5468	0,0638	0,525	0,389 ÷ 0,644	0,4154 ÷ 0,6782	0,33 ÷ 0,66	0,255	0,383	0,33
	P (%)	0,0583	0,0033	0,060	0,052 ÷ 0,065	0,0484 ÷ 0,0682	0,053 ÷ 0,674	0,0132	0,0198	0,021
	S (%)	0,193	0,013	0,190	0,167 ÷ 0,219	0,154 ÷ 0,232	0,160 ÷ 0,225	0,052	0,078	0,065
	Cr (%)	0,0468	0,0063	0,043	0,034 ÷ 0,059	0,0279 ÷ 0,0657	0,035 ÷ 0,065	0,025	0,038	0,030

**Tablica 6**  
**Charakterystyki statystyczne właściwości mechanicznych dla staliwa węglowego L II 450 i stopowego L35 GSM**

**Table 6**  
**Statistical characteristics of the mechanical properties of carbon cast steel, grade L II 450, and alloyed cast steel, grade L35 GSM**

Odlewnia	kontrolowany parametr (jednostka)	Charakterystyki statystyczne								
		$\bar{x}$	s	Mo	Dt <sub>1</sub> ÷ G t <sub>1</sub>	Dt <sub>2</sub> ÷ G t <sub>2</sub>	Dd ÷ Gd	Rt <sub>1</sub>	Rt <sub>2</sub>	Rd
G (staliwo LII 450)	Rm (MPa)	498,2	28,3	490	441,6 ÷ 554,8	413,3 ÷ 583,1	452 ÷ 592	113,2	169,8	140
	Re (MPa)	292,6	19,6	300,0	253,4 ÷ 331,8	233,8 ÷ 351,4	261 ÷ 331	78,4	117,6	70
	A <sub>5</sub> (%)	27,5	2,5	28,0	22,5 ÷ 32,5	20,0 ÷ 35,0	22 ÷ 32	10	15	10
	Z (%)	49,9	6,5	55,0	56,9 ÷ 62,9	30,4 ÷ 69,4	31,1 ÷ 59,0	26	39	29,7
	HB	143,0	8,7	150	125,6 ÷ 160,4	116,9 ÷ 169,1	126 ÷ 170	34,8	52,2	44
(staliwo L35 GSM)	Rm	1145,9	45,2	1120,0	1055,5 ÷ 1235,3	1010,3 ÷ 1281,5	1102 ÷ 1242	180,8	271,2	140
	Re (MPa)	1035,0	61,5	1040,0	912,0 ÷ 1158,0	850,5 ÷ 1219,5	892 ÷ 1146	246	369	254
	A <sub>5</sub> (%)	9,1	1,0	10,4	7,1 ÷ 11,1	6,1 ÷ 12,1	8,0 ÷ 11,2	4,0	6,0	3,2
	Z (%)	27,2	5,6	25,0	16,0 ÷ 38,4	10,4 ÷ 44,0	19,0 ÷ 36,0	22,4	33,6	17
	HB	327,2	20,1	360,0	287 ÷ 367,4	266,9 ÷ 387,5	302 ÷ 363	80,4	120,6	61