

**Odlewnia Żeliwa „DRAWSKI” Spółka Akcyjna
Program Finansowany z Funduszy Europejskich:
Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014 – 2020
Działanie 1.1.**

**Poddziałanie 1.1.1. - Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane
przez przedsiębiorstwa.**

Umowa Nr: POIR.01.01.01.-00-0958/18

**„Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania żeliwa do pracy w niskiej
temperaturze przy dynamicznych obciążeniach wraz z ulepszoną metodą
wykonywania odlewów do takich warunków pracy.”**

**Raport z badań wykonawcy.
„Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania żeliwa
do pracy w niskiej temperaturze przy dynamicznych
obciążeniach wraz z ulepszoną metodą wykonywania odlewów
do takich warunków pracy.”**

Badania przemysłowe – Etap nr 2

**Opracował: dr hab. inż. Paweł Popielarski
Kierownik Prac B+R**

I. Wstęp

Etap 2 projektu realizował zespół badawczy w składzie:

Dr hab. inż. Nauk Technicznych Paweł Popielarski, prof. PP – Kierownik prac badawczych

Dr inż. Jan Mocek- Z-ca kierownika prac badawczych, ekspert ds. technologii odlewnictwa metali

Inż. Krzysztof Dymek – członek zespołu badawczego, specjalista ds. technologii chemicznej

Inż. Adam Pankowski – członek zespołu badawczego, specjalista ds. kontroli jakości

Inż. Bartosz Heft – członek zespołu, technolog

Inż. Artur Orzechowski- członek zespołu, ekspert ds. technologii

Inż. Łukasz Andrzejkowicz – członek zespołu, ekspert ds. urządzeń technicznych

Nadzorem nad projektem zajmuje się zespół, który pełni jednocześnie funkcje obsługi zmian:

Józef Bojanowski - kierownik organizacyjny projektu

Katarzyna Tymek – kierownik finansowy projektu

II. Przebieg i wyniki prac badawczych 2 etapu

Działania w ramach etapu nr 2 badań przemysłowych koncentrowały się na zaimplementowaniu technologii opracowanej w warunkach laboratoryjnych przez Wydział Odlewnictwa AGH do warunków zbliżonych do rzeczywistych w Odlewni Żeliwa Drawski. Z uwagi na prowadzenie prac etapu nr 1 w warunkach laboratoryjnych mogły wystąpić problemy z przeniesieniem opracowanego procesu do skali przemysłowej ze względu na zupełnie inne warunki (zdecydowanie większe piece i kadzie stosowane w warunkach przemysłowych). Dlatego opracowany w etapie nr 1 proces wymagał walidacji technologii w warunkach Odlewni Żeliwa „DRAWSKI” i wprowadzenia niezbędnych modyfikacji.

Zadania badawcze realizowane w ramach etapu nr 2 dotyczyły opracowania w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski technologii produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o ściśle określonej morfologii grafitu, bez niekorzystnych wtrąceń niemetalicznych i niskim poziomie wtrąceń gazowych według wytycznych opracowanych w ramach etapu nr 1 badań przemysłowych przez AGH, która pozwoli na utrzymanie wskaźnika powtarzalności na poziomie 80 %.

Etap nr 2 badań przemysłowych został podzielony na 9 zadań:

Zadanie 1. Wstępna weryfikacja wyników uzyskanych w ramach etapu nr 1 badań przemysłowych (uzyskanych przez Wydział Odlewnictwa AGH) w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski.

Zadanie 2. Opracowanie techniki rafinacji żeliwa w piecu i w kadzi zabiegowej wraz z optymalizacją technologii w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski.

Zadanie 3. Opracowanie optymalnej struktury wsadu metalowego aby uzyskiwane z tego wsadu żeliwo miało strukturę ferrytyczną

Zadanie 4. Dobór rodzajów i ilości zapraw i modyfikatorów

Zadanie 5. Opracowanie optymalnych wartości kluczowych parametrów procesu i wdrożenie metod ich kontroli

Zadanie 6. Wytopy próbne według nowo opracowanej technologii – ocena skuteczności procesu rafinacji (min. badania udarności i plastyczności)

Zadanie 7. Opracowanie technik zalewania form odlewniczych oraz zasad projektowania układów zalewania.

Zadanie 8. Wykonanie pierwszej partii odlewów w oparciu o nową technologię

Zadanie 9. Wykonanie serii odlewów testowych o zamierzonej morfologii grafitu, wysokiej czystości i właściwościach odpowiadających EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT z utrzymaniem powtarzalności na poziomie 80%

Zadanie 1

Wstępna weryfikacja wyników uzyskanych w ramach etapu nr 1 badań przemysłowych (uzyskanych przez Wydział Odlewnictwa AGH) w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski

1. Wprowadzenie

Celem pierwszych badań zrealizowanych w warunkach niedokończonej modernizacji Odlewni (przebudowa topialni i zastąpienie procesu duplex nową technologią z wykorzystaniem pieców elektrycznych nowej generacji) była wstępna weryfikacja wdrażanej technologii wytwarzania żeliwa sferoidalnego w technologii z podwójną rafinacją w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. W ramach badań wykonano serię 3 wytopów Z1.1-Z1.3, w których wytopiono 9 ton żeliwa. Na początkowym etapie wstępnej weryfikacji wyników uzyskanych w ramach etapu nr 1 badań przemysłowych (podczas badań zrealizowanych w warunkach niedokończonej modernizacji Odlewni) rafinacja tak w piecu jak i w kadzi prowadzona była przy pomocy lancy z końcówką w postaci rury grafitowej w gazoprzepuszczalną wkładką. W związku z tym, że na tym etapie nie była wykonana jeszcze instalacja do rafinacji, która umożliwia ustawienie ilości przepływającego gazu, podczas rafinacji sterowano jedynie ciśnieniem gazu. Nie kontrolowano natomiast przepływu przez co nieznanym był wydatek gazu podczas procesu rafinacji.

2. Wytopy żeliwa

Pierwszy etap prac polegał na przeprowadzeniu trzech wytopów w odlewni, oceny cech i parametrów uzyskanego żeliwa. W tym celu dokonano następujących wytopów:

Wytop Z1.1 – wytop żeliwa w stosowanej obecnie technologii,

Wytop Z1.2 – wytop żeliwa z **dwuetapową** rafinacją żeliwa w piecu indukcyjnym oraz w kadzi po zabiegu sferoidyzacji,

Wytop Z1.3 – wytop żeliwa z **dwuetapową** rafinacją żeliwa w piecu indukcyjnym oraz w kadzi po zabiegu sferoidyzacji z **potrójną** modyfikacją żeliwa (w trakcie przelewania z pieca do kadzi, w trakcie przelewania z kadzi do zalewarki i podczas zalewania na strugę).

Do przygotowania żeliwa w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości JATŻEL o pojemności 3000 kg, użyto w kolejnych wytopach materiałów wsadowych i dodatków według zestawienia podanego w tabelach 1.1-1.3.

Tabela 1.1. Wytop Z1.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 1 (ZAD 1 - Z1.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	900
Złom żeliwny obiegowy	1050
Złom stalowy W-4	1050
Żelazokrzem Fe Si 75	9
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	0
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	9
Nawęglacz Desulco	3,6
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	87

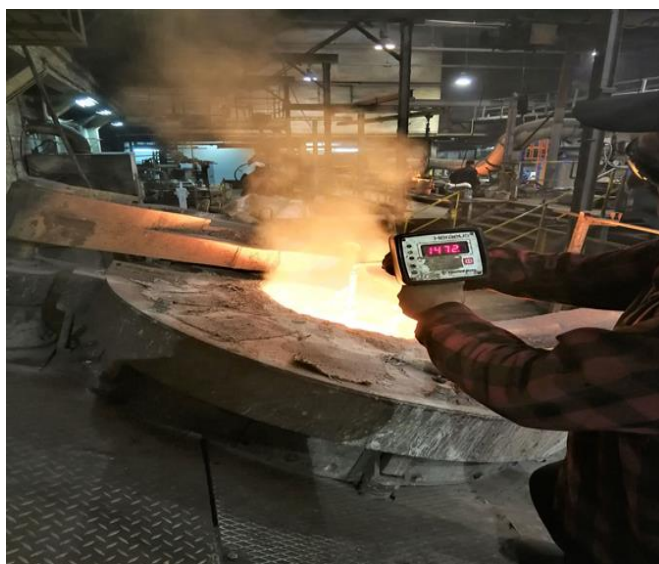
Tabela 1.2. Wytop Z1.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 2 (ZAD 1 - Z1.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	900
Złom żeliwny obiegowy	1050
Złom stalowy W-4	1050
Żelazokrzem Fe Si 75	9
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	0
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	9
Nawęglacz Desulco	3,6
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	87

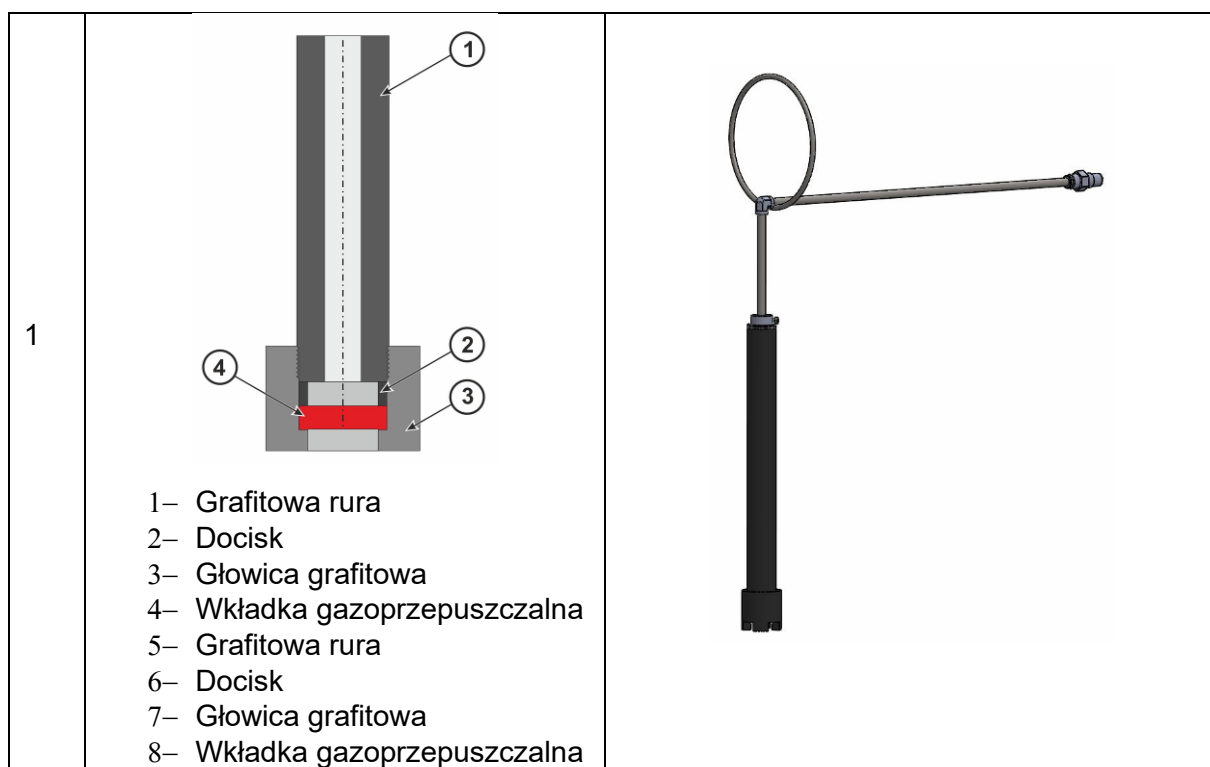
Tabela 3. Wytop Z1.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 3 (ZAD 1 - Z1.3)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	900
Złom żeliwny obiegowy	1050
Złom stalowy W-4	1050
Żelazokrzem Fe Si 75	9
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	15
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	9
Nawęglacz Desulco	3,6
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	87

Topienie żeliwa prowadzono w piecu indukcyjnym o pojemności 3000 kg pokazanym na rysunku 1.1. Czas topienia w piecu trwał około 20 godzin. W trakcie topienia kontrolowano skład chemiczny odlewając próbki do badań spektrometrycznych i korygując skład chemiczny żeliwa. Po osiągnięciu preferowanego składu wyjściowego i osiągnięciu wymaganej temperatury przegrzania, która mieści się w zakresie 1470 – 1510°C, dokonywano zabiegu rafinacji żeliwa przy pomocy lancy (rys.1.2). Kontrolę temperatury żeliwa wyjściowego realizowano Digilancą pomiarową z termoparą (rys.1.1). Skład chemiczny badano metoda spektralną na wcześniej odlewanych próbkach kontrolnych (rys.1.3). Czas rafinacji żeliwa wynosił ok. 1 minuty. Następnie metal przelewano do kadzi smukłej, przeznaczonej do zabiegu sferoidyzacji. Proces sferoidyzacji realizowany jest w kadzi zabiegowej specjalnej konstrukcji, tzw., kadzi smukłej, której wysokość jest około 2 razy większa od średnicy. Dla ograniczenia spadków temperatury żeliwa przelewane do kadzi, ona sama musi być silnie nagrzana do temperatury $T > 700^{\circ}\text{C}$. Proces nagrzewania odbywa się przy użyciu palnika gazowego na stanowisku pokazanym na rysunku 1.4.



Rys. 1.1. Piec indukcyjny JATŻEL o pojemności 3000 kg. Pomiar temperatury żeliwa w piecu przy użyciu Digilancy.



Rys. 1.2. Konstrukcja lancy z grafitową końcówką i wkładką gazo przepuszczalną



Rys. 1.3. Zalewanie próby do analizy składu chemicznego żeliwa.



Rys. 1.4. Stanowisko wygrzewania kadzi smukłych do sferoidyzacji żeliwa.

Następnie kadź została przetransportowana na stanowisko do zabiegu sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego PE. Proces sferoidyzacji żeliwa metodą przewodu elastycznego PE realizowany jest w Odlewni Drawski na stanowisku pokazanym na rysunku 1.5. Proces sferoidyzacji jest zmechanizowany, a samo wprowadzanie PE do żeliwa jest sterowane tak pod względem ilości jak i szybkości, z jaką wprowadza się przewód z zaprawą magnezową do kąpieli metalowej. W procesie sferoidyzacji wytwarza się duża ilość żużla, w którym dominują tlenki i siarczki, głównie magnezu. Ich wypływanie z kąpieli jest długotrwałe, dlatego w nowej technologii przewidziana jest rafinacja żeliwa. Jej celem jest z jednej strony przyspieszenie procesu wypływania wtrąceń z ciekłego żeliwa, a z drugiej – zwiększenie skuteczności odżużlania metalu.



Rys. 1.5. Zmechanizowane stanowisko do sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego PE.

W ramach wytopów Z1.2 i Z1.3 prowadzono proces rafinacji zarówno w piecu (po roztopieniu i ustabilizowaniu składu chemicznego żeliwa) jak i w kadzi zabiegowej (rys.1.6) – po wykonaniu procesu sferoidyzowania żeliwa metodą PE. Ogólną zasadą prowadzenia procesu rafinacji jest utrzymanie takiego ciśnienia gazu i takiego wydatku (na sek.), aby w piecu czy kadzi powierzchnia rafinowanego metalu „lekko drgała - falowała”. Rafinacja jest źle prowadzona, jeśli wprowadzany zbyt intensywnie gaz powoduje wyrzucanie metalu lub tworzenie fontanny, albo, gdy wydatek metalu jest tak mały, iż nie obserwuje się „drgania” górnej powierzchni.

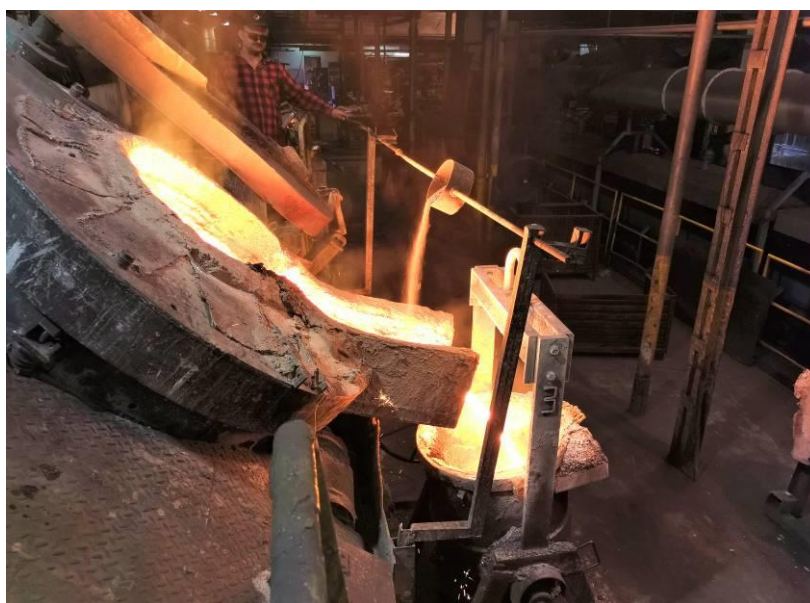
W związku z tym, że na tym etapie nie była wykonana jeszcze instalacja do rafinacji, która umożliwia ustawienie ilości przepływającego gazu, podczas rafinacji sterowano jedynie ciśnieniem gazu. Nie kontrolowano natomiast przepływu przez co nieznany był wydatek gazu podczas procesu rafinacji.

Po zabiegu sferoidyzacji metal był poddawany zabiegowi usuwania żużla z powierzchni, poprzez jego ściąganie na stanowisku zgarniania żużla. Po zakończeniu opisanych zabiegów na ciekłym metalu została odlana partia próbek technologicznych: Odlawano próbki badań spektrometrycznych składu chemicznego, próbki do badań metalograficznych, oraz odlano wlewek próbny typu Y2, z którego zgodnie z PN - EN1563 wycinane są próbki do badań właściwości mechanicznych: wytrzymałości (R_m) i wydłużenia (A_5) i badań metalograficznych.



Rys.1.6. Stanowisko do rafinacji żeliwa w kadzi smukłej za pomocą lancy z głowicą grafitową.

W ramach wytopu Z1.3 przeprowadzono trzystopniową modyfikację w celu uzyskania największej liczby podkładek do zarodkowania wydzielań grafitu. Modyfikacji dokonywano w trakcie przelewania metalu z pieca do kadzi smukłej (rys.1.7), w trakcie przelewania metalu z kadzi do zalewarki (rys.1.8) i w trakcie zalewania próby klinowej (rys.1.9).



Rys.1.7. Modyfikacja żeliwa w trakcie przelewania metalu z pieca do kadzi smukłej



Rys.1.8. Modyfikacja żeliwa w trakcie przelewania metalu do zalewarki.



Rys.1.9. Zalewanie i modyfikacja w trakcie zalewnia próby kontrolnej YII.
i badań udarności, jeśli wytwarzane jest żeliwa do pracy niskich temperaturach.

3. Ocena składu chemicznego.

Analizę składu chemicznego prowadzi się na specjalnych próbkach odlewanych w miedzianych kokilkach (rys. 1.3) dla uzyskania struktury żeliwa bez wolnych wydzielen grafitu, żeliwa zakrzepłego w układzie metastabilnym. Samą analizę wykonywano na spektrometrze „SPEKTROMAX” (rys.1.10), przystosowanym do badań składu żeliwa (wyskalowany dla tego tworzywa). Wyniki badań zawarto w tabeli 1.4, podając analizie pierwiastki podstawowe, oraz te, które mogą sprzyjać tworzeniu osnowy perlitycznej jak: Cu, Ni, Cr, V, Sn, a także te, które mogą degradować powstawanie kulistej postaci wydzielen grafitu. Do tej grupy należą: Pb, Sb, Ti, As, Bi, B. Niektóre pierwiastki sprzyjają tworzeniu zarodków krystalizacji i są potrzebne w żeliwie, a zatem ich zawartość powinna być również kontrolowana przy badaniach spektrometrycznych. Do tych pierwiastków należą: Al i Ca, które są wprowadzane wraz z modyfikatorami.

Należy jeszcze raz podkreślić, iż docelowo dąży się do wytwarzania, w sposób powtarzalny żeliwa o strukturze „czysto” ferrytycznej, o „idealnie” kulkowej postaci wydzielen grafitu, żeliwa wolnego od wtrąceń niemetalowych, które powinny być usunięte na drodze dwustopniowej rafinacji.



Rys. 1.10. Laboratorium badań składu chemicznego żeliwa wyposażone w spektrometr emisyjny typu „SPEKTROMAX”.

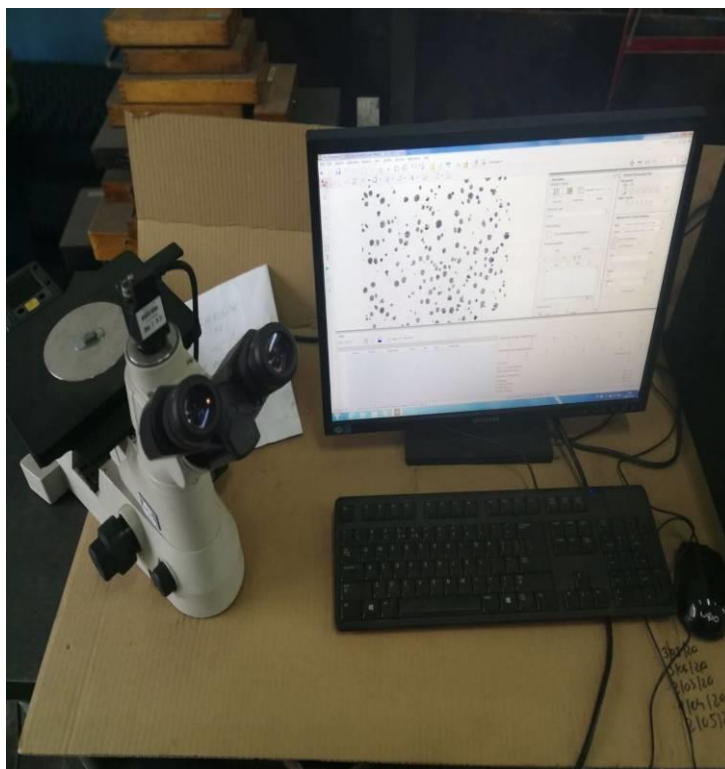
Tabela 1.4. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w kolejnych wytopach

Skład chemiczny żeliwa wyjściowego w piecu indukcyjnym								Skład chemiczny żeliwa po sferoidyzacji									
Nr wytopu	C %	Si %	S %	P %	Mn %	Zn %	Mg %	Cu %	Ni %	Al %	Cr %	V %	Sn %	Pb %	Ti %	Bi %	B %
Wytop Z1.1	4,02	1,48	0,012	0,048	0,28	0,025		0,034	0,048	0,0035	0,032	0,0044	0,010	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0110
	3,92	2,38	0,014	0,051	0,28	0,026	0,048	0,034	0,048	0,0089	0,032	0,0044	0,010	<0,003	0,0098	<0,0015	0,0110
Wytop Z1.2	3,98	1,43	0,022	0,051	0,25	0,031		0,030	0,043	0,0042	0,026	0,0036	0,011	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0100
	3,91	2,40	0,013	0,051	0,25	0,031	0,045	0,030	0,043	0,0096	0,026	0,0036	0,010	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0100
Wytop Z1.3	3,95	1,52	0,025	0,048	0,25	0,028		0,031	0,044	0,0036	0,031	0,0041	0,009	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0093
	3,88	2,48	0,013	0,048	0,25	0,028	0,042	0,031	0,044	0,0085	0,031	0,0041	0,009	<0,003	0,0096	<0,0015	0,0093

4. Badania metalograficzne

Badania metalograficzne wykonywano w laboratorium zakładowym, które wyposażone jest w mikroskop optyczny Nikon MA 100, rys.1.11. Badania metalograficzne realizowano zgodnie z PN – EN 945 – 1. Typowe struktury uzyskane w próbkach Y2 z kolejnych wytopów przedstawiono w tabelach 1.5–1.7. W żeliwie z wytopu Z1.1 w strukturze występuje perlit, i dlatego takie żeliwo nie może być przeznaczone do pracy w warunkach dynamicznych obciążeń.

Jego właściwości plastyczne i udarność będą zbyt niskie. Żeliwo z wytopu Z1.3, w którym wdrożono trzystopniową modyfikację charakteryzuje się już osnową ferrytyczną. Zdjęcia zglądów z próbek z wytopu Z1.3, w którym zastosowano rafinację, potwierdzają dużą jego czystość, nie są widoczne na granicach ziaren wtrącenia niemetaliczne lub eutektyka fosforowa. Badania w tym zakresie należy kontynuować.



Rys.1.11. Mikroskop do badań metalograficznych MA100.

Tabela 1.5. Ocena metalograficzna kształtu grafitu – wytop Z1.1

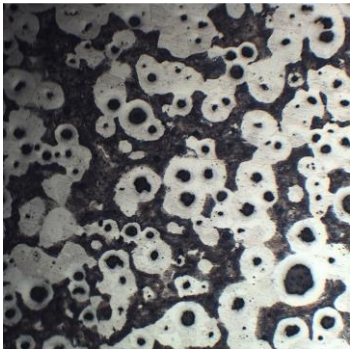
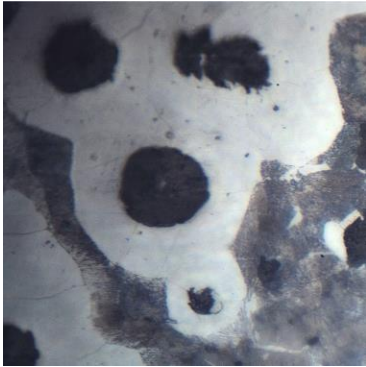
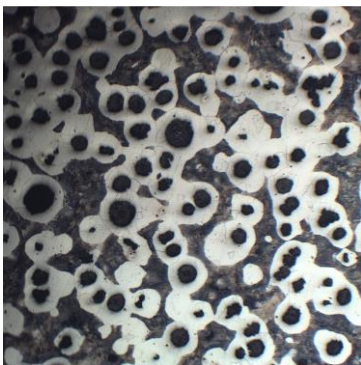
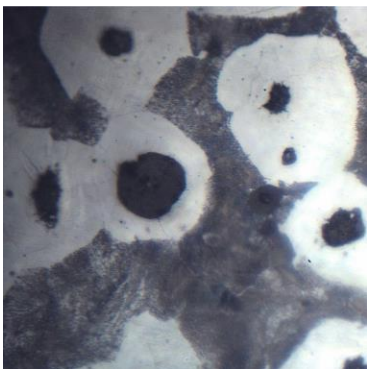
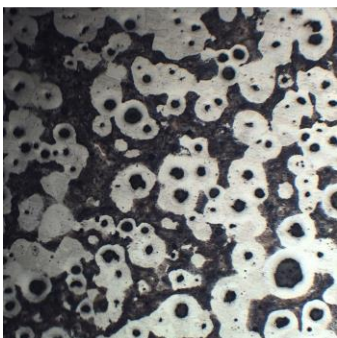
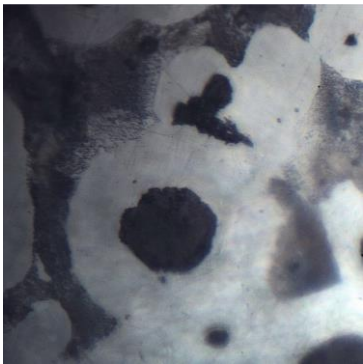
L.p.	PO TRAWIENIU pow. 100x	PO TRAWIENIU pow. 500x
1.		
2.		
3.		

Tabela 1.6. Ocena metalograficzna kształtu grafitu – wytóp Z1.2

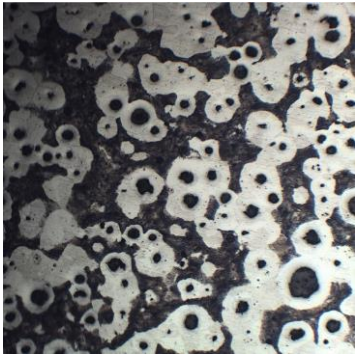
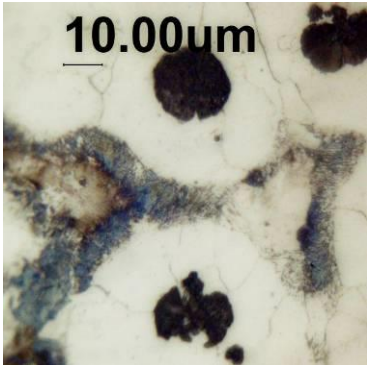
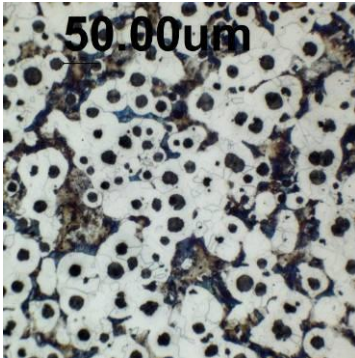
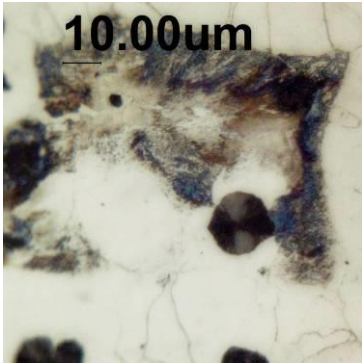
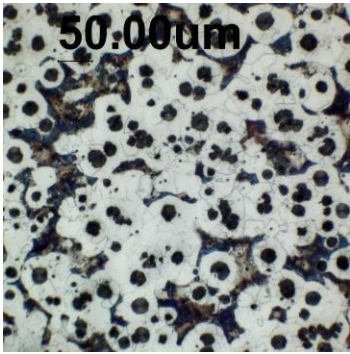
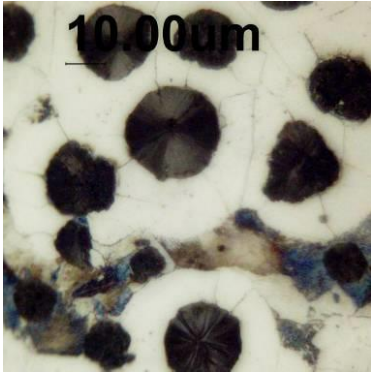
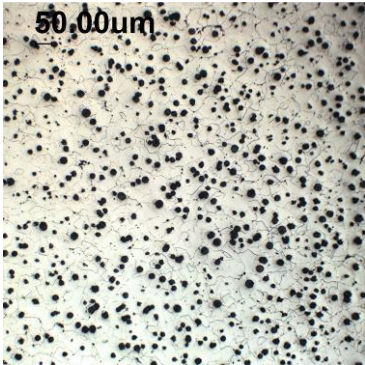
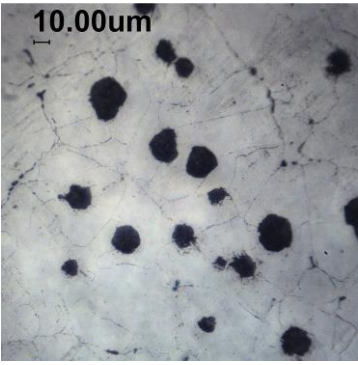
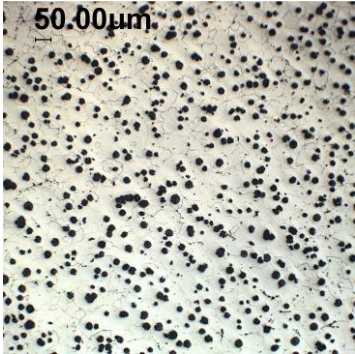
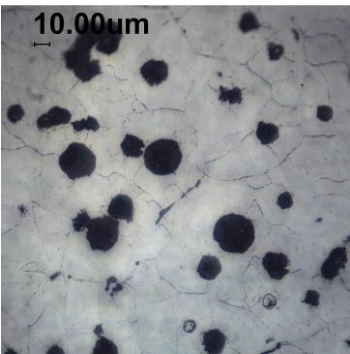
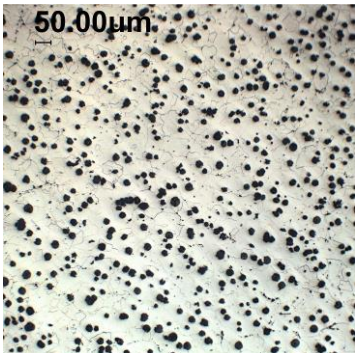
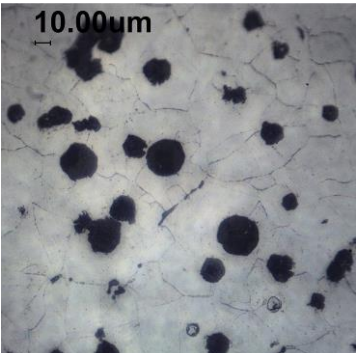
L.p.	PO TRAWIENIU pow. 100x	PO TRAWIENIU pow. 500x
1.		
2.		
3.		

Tabela 1.7. Ocena metalograficzna kształtu grafitu – wytop Z1.3

L.p.	PO TRAWIENIU pow. 100x	PO TRAWIENIU pow. 500x
1.		
2.		
3.		

Ferrytyczną osnowę, a więc taką jaka jest konieczna dla uzyskania wysokiej plastyczności żeliwa i wysokiej uderności (wymagania żeliwa EN GJS 400.18 LT) uzyskano w wytopie Z1.3. Żeliwo to poddano dwustopniowej rafinacji i trójstopniowej modyfikacji, co przyczyniło się do

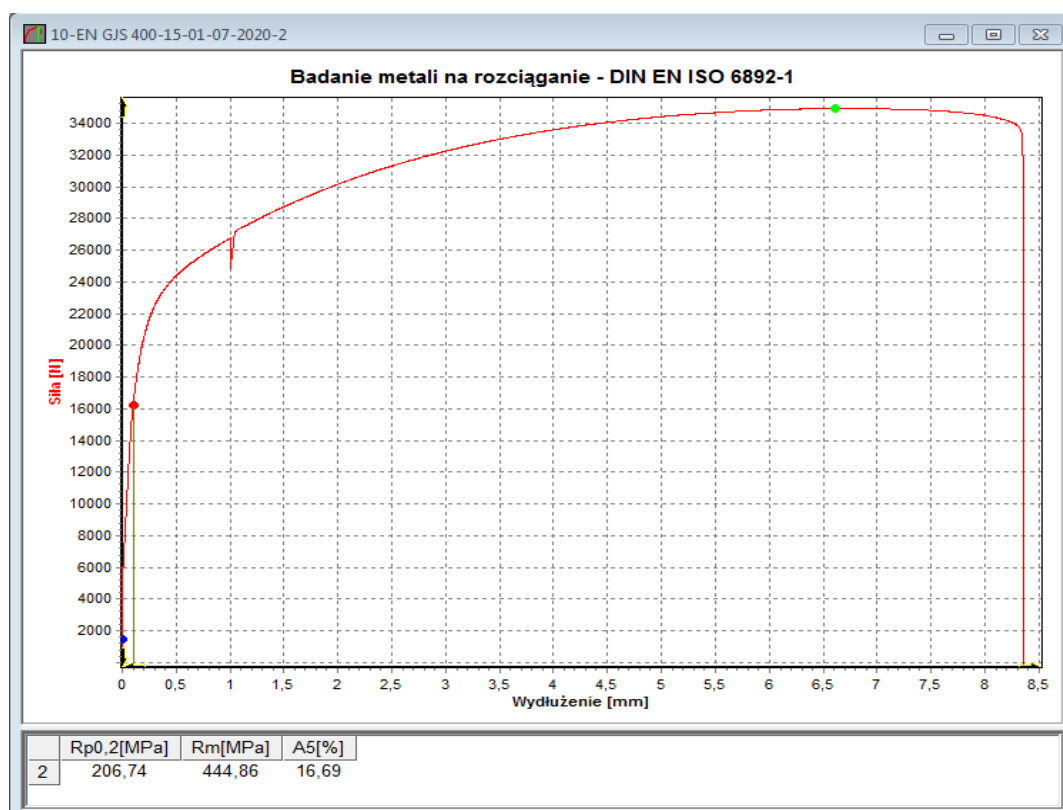
utrzymania wysokiej zdolności do zarodkowania, którego efektem jest uzyskanie dużego rozdrobnienia wydzieli grafitu. Drobną grafit ułatwia uzyskiwanie struktury ferrytycznej w stanie lonym.

5. Badania właściwości mechanicznych

Badania właściwości mechanicznych zostały przeprowadzone zgodnie z normą PN EN 6892 -1 na próbkach wyciętych z wlewków próbnych zgodnie z normą PN EN 1563, Próbę rozciągania (zrywania) realizowano na nowo zakupionej w ramach realizowanego projektu maszynie wytrzymałościowej LabTest 6.200.1.10. Stanowisko pomiarowe i maszyna wytrzymałościowa zakupiona w ramach projektu jest przedstawiona na rysunku 1.12. Przebieg zmian naprężeń i wydłużanie rozciąganej próbki zarejestrowane na maszynie Labor Test 6.200 1.10 pokazano na rysunku 1.13. Badane żeliwo uzyskane w wytopie Z1.3 charakteryzuje się dużym (ponad 16%) wydłużeniem i R_m 444 MPa.



Rys 1.12. Maszyna wytrzymałościowa LabTest 6.200.1.10.



Rys.1.13. Wykres rozciągania prób wytrzymałościowych.

6. Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań struktury metalograficznej i właściwości mechanicznych z wytopów Z1.1-Z1.3, zestawiono w tabeli 1.8.

Tabela 1.8. Wyniki badań właściwości mechanicznych żeliwa uzyskanego w wytopach próbnych Z1.1-Z1.3

Nr Wyt opu	Twardość			Wytrzymałość			Wydłużenie A5			Granica plastyczności Rp 0,2 [MPa]			Ocena metalograficzna PN EN 945-1 (uśredniona z trzech prób)	Rodzaj osnowy (ferryt/pe rlit) [%]	Stopień sferoidyzacji			
	[HB]			[MPa]			[%]			[MPa]					[%]			
Z1.1	190	193	190	501	506	498	8	8	9	330	335	340	85%VIA5+15%VA5	50/50	88	88	90	
Z1.2	167	165	163	480	472	473	13	14	14	320	315	315		90%VI+10%VA5	80/20	90	91	89
Z1.3	155	154	155	444	445	455	17	17	18	206	220	240		95%VI+5%VA5	95/5	90	92	90

W wytopie Z1.1 uzyskano osnowę zawierającą stosunkowo wysoką zawartość perlitu ok. 50%. Zarówno niskie wydłużenie na poziomie 8-9% oraz wytrzymałość w kierunku gatunku GJS 500-7 jest efektem wysokiego udziału perlitu w osnowie żeliwa.

W wytopie Z1.2, w którym zastosowano podwójną rafinację zauważalna jest poprawa wyników. Uzyskano osnowę zawierającą większą ilość ferrytu, perlit na poziomie ok. 20%. Osnowa w przewadze ferrytyczna, pozwoliła na poprawę parametrów plastycznych, uzyskano wydłużenie na poziomie 13-14%.

Z przeprowadzonych badań wynika że najlepsze wyniki uzyskano w wytopie Z1.3 z podwójną rafinacją i trzystopniową modyfikacją. W tym wytopie uzyskano najwyższą ilością ferrytu w osnowie ok.95% z jednoczesną najwyższą liczbą drobnych wydzielen grafitu. Uzyskane wydłużenie zawiera się w przedziale 17-18% a więc cechy plastyczne materiału są w tym wytopie najwyższe. Ten wytop charakteryzuje się również najwyższym stopniem sferoidyzacji,

7. Podsumowanie

Analizując wyniki badań zawarte w tabeli Nr 8 można wyciągnąć następujące wstępne wnioski:

- Dwustopniowa rafinacja sprzyja podwyższaniu plastyczności żeliwa.
- Żeliwo z grupy sferoidalnych do pracy w niskiej temperaturze powinno mieć strukturę „czysto” ferrytyczną, której uzyskiwaniu sprzyja wieloetapowa modyfikacja żeliwa.
- Pośrednim wskaźnikiem osnowy ferrytycznej jest twardość żeliwa, nie powinna ona w próbkach z wlewka próbnego Y2 przekraczać około 180HB.

Badania zrealizowane w warunkach niedokończonej modernizacji Odlewni należy traktować jako wstępną weryfikację wdrażanej technologii wytwarzania żeliwa sferoidalnego w technologii z podwójną rafinacją. W związku z tym, że na tym etapie nie była wykonana jeszcze instalacja do rafinacji, która umożliwia ustawienie ilości przepływającego gazu, podczas rafinacji sterowano jedynie ciśnieniem gazu. Nie kontrolowano natomiast przepływu przez co nieznany był wydatek gazu podczas procesu rafinacji. Wyniki badań z kolejnych wytopów Z1.1-Z1.3 potwierdzają zasadność kierunku realizowanych badań opartych o rafinację żeliwa. Potwierdzona została także zasadność i konieczność realizacji wieloetapowej modyfikacji żeliwa w celu nadania mu silnie rozdrobnionej struktury oraz wysokiej plastyczności. Dalsze badania będą ukierunkowane na optymalizację parametrów rafinacji oraz optymalizację procesu wielostopniowej modyfikacji.

Zadanie 2

Opracowanie techniki rafinacji żeliwa w piecu i w kadzi zabiegowej w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski

1. Wprowadzenie

W ramach Zadania 2 w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski po zakończonej modernizacji (instalacja nowej topialni w oparciu o dwa piece indukcyjne średniej częstotliwości o pojemności 6 ton) opracowany został proces rafinacji gazowej żeliwa w piecu i w kadzi zabiegowej wraz z optymalizacją technologii.

W badaniach przeprowadzonych przez Wydział Odlewnictwa AGH wykazano, iż rafinacja dwustopniowa prowadzi do usuwania wtrąceń niemetalowych z kąpeli żeliwa. Badania udarności wykazały, iż w serii próbek wykonanych z tego samego wlewka Y, czy też odlewu rozrzuty wyników są bardzo małe. Wynika to z usunięcia z metalu wtrąceń niemetalowych, które losowo rozłożone w objętości wlewka/odlewu prowadziły do generowania dużych rozrzutów wyników, pogarszania jakości żeliwa.

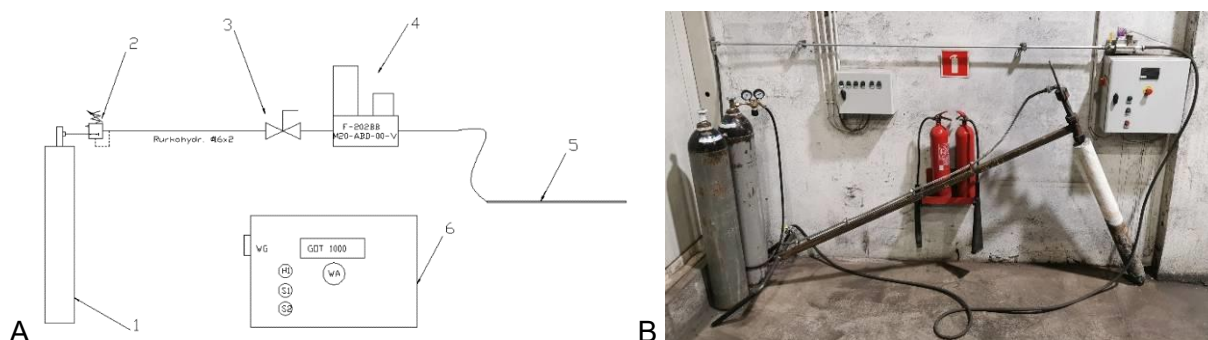
Wytyczne opracowane w ramach badań w odlewni AGH (Wydział Odlewnictwa) obejmują następujące elementy technologii dwustopniowej rafinacji żeliwa:

- zaleca się stosowanie azotu w podwójnej rafinacji, tak jak to prowadzono w skali mikro, w badaniach wykonywanych w AGH,
- Zaleca się wykorzystanie w próbach przemysłowych porowatych kształtek ceramicznych,
- zaleca się umieszczanie wkładek w dnie kadzi i w dnie pieca, a w przypadku kadzi Tundish na dnie tzw. kieszeni. Zaleca się również, przed umieszczeniem wkładki w wymurówce pieca/kadzi, umieszczanie wkładki w metalowej (blaszanej) obudowie z zewnątrz, dla ukierunkowania przepływu gazu do metalu, a nie do wymurówki.
- Ciśnienie robocze gazu należy każdorazowo dopasować do wysokości słupa metalu (ciśnienia metalostatycznego). Im wyższy słup metalu nad wkładką tym wyższe ciśnienie.
- Ciśnienie i wydatek gazu powinny być tak dobrane, aby przepływający gaz powodował widoczne drgania (lekkie falowanie) górnej powierzchni metalu.
- Zużycie gazu w procesie dwuetapowej rafinacji żeliwa, wg badań w skali mikro jest na poziomie ~ 0,5 litra/kg żeliwa. W literaturze zaleca się (przy jednostopniowej rafinacji) zużycie około 0,13 m³/Mg (0,13 l/kg).

Podczas realizacji zadania 2 wykonanych zostało 12 wytopów, w których zmieniano czas rafinacji w piecu i w kadzi zabiegowej, ciśnienie i przepływ gazu w celu dostosowania parametrów do warunków przemysłowych panujących w odlewni.

2. Budowa instalacji do rafinacji w kadzi i piecach indukcyjnych

W ramach realizacji projektu badawczego wykonano dwie instalacje do rafinacji (dozowania azotu) w kadzi i piecach indukcyjnych. Instalację do dozowania azotu w kadzi pokazano na rysunku 2.1. Instalację do dozowania azotu w piecach (rys.2.2) zbudowano w sposób zapewniający równoczesne dozowanie gazu w dwóch piecach. Sterowanie ilością wprowadzanego azotu do ciekłego metalu w piecu, odbywa się na pulpicie sterowniczym pieców indukcyjnych (1). Zawory przepływowe (2) do tygla pierwszego oraz (3) do tygla drugiego połączone są przewodem z łańcuchem do rafinacji.



Rys. 2.1. Instalacja do dozowania azotu w kadzi: A – schemat, 1. butla gazów technicznych (azot), 2. reduktor ciśnienia do azotu, 3. zawór odcinający, 4. regulator przepływu, 5. łańcuch, 6. szafka elektryczna zasilająca i sterująca, B – widok wykonanej instalacji



Rys. 2.2. Instalacja do dozowania azotu w piecach indukcyjnych, 1. pulpit sterowniczy, 2.3. regulator przepływu

2. Technologia topienia żeliwa i jego obróbki pozapiecowej

W ramach realizacji zadania 2 wytopy wykonywano w dwóch piecach indukcyjnych średniej częstotliwości o pojemności 6 ton (rys. 2.3), przeprowadzono proces rafinacji gazowej w piecu z użyciem azotu i dokonano obróbki pozapiecowej żeliwa (sferoidyzacji) oraz rafinacji w kadzi zabiegowej.



Rys. 2.3. Piec indukcyjny o pojemności 6000 kg.

Do przygotowania żeliwa w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości, użyto w kolejnych wytopach materiałów wsadowych i dodatków według zestawienia podanego w tabelach 2.1-2.12.

Tabela 2.1. Wytop Z2.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 4 (ZAD 2 – Z2.1)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.2. Wytop Z2.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 5 (ZAD 2 – Z2.2)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90

Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150
--	-----

Tabela 2.3. Wytop Z2.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 6 (ZAD 2 – Z2.3)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.4. Wytop Z2.4 – materiały wsadowe

WYTOP NR 7 (ZAD 2 – Z2.4)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.5. Wytop Z2.5 – materiały wsadowe

WYTOP NR 8 (ZAD 2 – Z2.5)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.6. Wytop Z2.6 – materiały wsadowe

WYTOP NR 9 (ZAD 2 – Z2.6)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12

Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.7. Wytop Z2.7 – materiały wsadowe

WYTOP NR 10 (ZAD 2 – Z2.7)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.8. Wytop Z2.8 – materiały wsadowe

WYTOP NR 11 (ZAD 2 – Z2.8)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.9. Wytop Z2.9 – materiały wsadowe

WYTOP NR 12 (ZAD 2 – Z2.9)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.10. Wytop Z2.10 – materiały wsadowe

WYTOP NR 13 (ZAD 2 – Z2.10)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18

Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

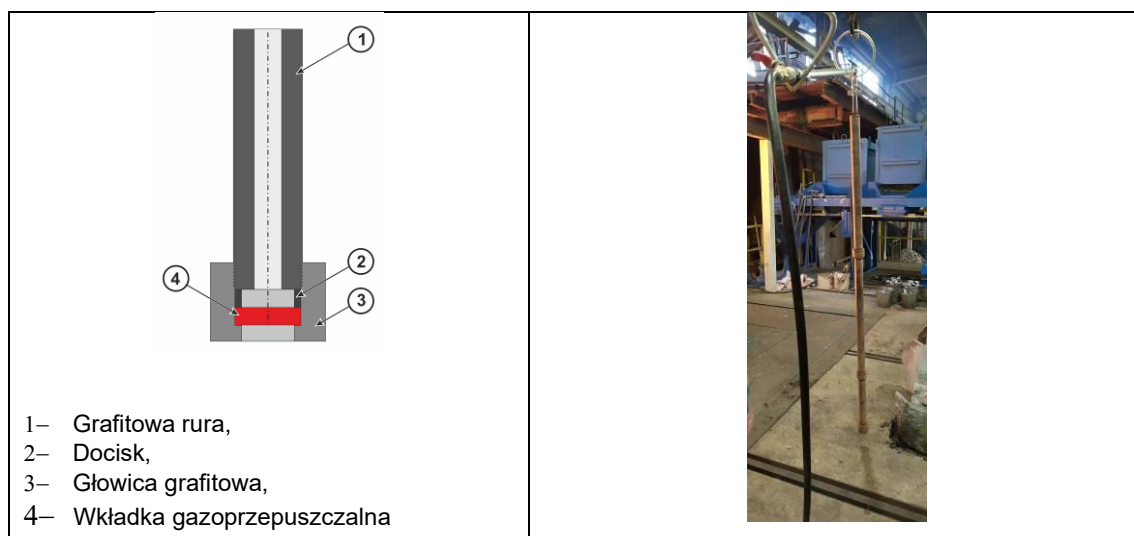
Tabela 2.11. Wytop Z2.11 – materiały wsadowe

WYTOP NR 14 (ZAD 2 – Z2.11)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 2.12. Wytop Z2.12 – materiały wsadowe

WYTOP NR 15 (ZAD 2 – Z2.12)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

W trakcie topienia kontrolowano skład chemiczny żeliwa odlewając próbki do badań spektrometrycznych i korygując skład chemiczny żeliwa. Po osiągnięciu wymaganego składu wyjściowego i osiągnięciu wymaganej temperatury przegrzania, która mieści się w zakresie 1520 – 1550°C przeprowadzano rafinację gazową (azotem) przy użyciu lancy z końcówką w postaci rury grafitowej z gazoprzepuszczalną wkładką (rys.2.4).



Rys. 2.4. Lanca z grafitową końcówką i wkładką gazoprzepuszczalną

Proces rafinacji pokazano na rysunku 2.5.



Rys. 2.5. Rafinacja w piecu przy użyciu lancy

Następnie metal został przelany do przygotowanej (nagrzanej do określonej temperatury) kadzi zabiegowej (rys. 2.6). Kadź została przetransportowana na stanowisko do zabiegu sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego PE.



Rys. 2.6. Przelanie części wytopionego żeliwa do kadzi zabiegowej

Proces sferoidyzacji żeliwa metodą przewodu elastycznego PE realizowany jest w Odlewni Drawski na stanowisku pokazanym na rysunku 2.7. Proces sferoidyzacji jest zmechanizowany, a samo wprowadzanie PE do żeliwa jest sterowane tak pod względem ilości jak i szybkości, z jaką wprowadza się przewód z zaprawą magnezową do kąpieli metalowej. W procesie sferoidyzacji wytwarza się duża ilość żużla, w który dominują tlenki i siarczki, głównie magnezu. Ich wypływanie z kąpieli jest długotrwałe, dlatego w nowej technologii przewidziana jest rafinacja żeliwa.



Rys. 2.7. Zmechanizowane stanowisko do sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego PE.

Po zakończeniu procesu sferoidyzacji żeliwa metodą przewodu elastycznego PE kadź zabiegowa transportowana jest na stanowisko (rys. 2.8) gdzie przeprowadzany jest drugi stopień rafinacji gazowej przy użyciu lancy takiej samej konstrukcji jak używana do rafinacji w piecu jednak o mniejszej długości roboczej (dostosowanej do wielkości kadzi).



Rys. 2.8. Rafinacja w kadzi zabiegowej przy użyciu lancy

3. Wykonanie serii próbnych wytopów żeliwa z rafinacją gazową. Wytopy Z2.1 – Z2.4

Na początkowym etapie wstępnej weryfikacji wyników uzyskanych w ramach etapu nr 1 badań przemysłowych (podczas badań zrealizowane w warunkach niedokończonej modernizacji Odlewni) rafinacja tak w piecu jak i w kadzi prowadzona była przy pomocy lancy z końcówką w postaci rury grafitowej w gazoprzepuszczalną wkładką. Wkładka gazoprzepuszczalna, zbudowana jest z tego samego materiału, jaki jest stosowany na wkładki gazoprzepuszczalne do kadzi i pieców. Jej rola polegała na rozproszeniu wypływającego gazu z lancy, tak, aby miał o postać rozproszonych drobnych pęcherzy. Jedynie taka postać wprowadzanego podczas rafinacji gazu może skutecznie wynieść wtrącenia niemetalowe, które przyklejają się do powierzchni pęcherzyków. Im mocniej zdyspergowany jest gaz, im mniejsze pęcherzyki uda się wytworzyć, tym rafinacja jest skuteczniejsza. Dlatego w głowicy umieszczono wkładkę gazoprzepuszczalną.

Podczas wstępnej weryfikacji procesu rafinacji w zadaniu 1 (wytopy Z1.3) regulowano jedynie ciśnienie dozowanego gazu (azotu) na reduktorze butli. Nie kontrolowano natomiast przepływu przez co nieznanym był wydatek gazu podczas procesu rafinacji.

Według wytycznych opracowanych przez AGH zużycie gazu w procesie dwuetapowej rafinacji żeliwa, wg badań w **skali mikro** powinno być na poziomie ~ 0,5 litra/kg żeliwa, a czas rafinacji nie powinien przekraczać 2 minut.

Z uwagi na to, że w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski do wytopu wykorzystywany jest piec o wielkości 6000 kg do przeprowadzenia rafinacji powinno zostać wykorzystane **3000 litrów gazu**. Przy czasie rafinacji wynoszącym 2 minuty wydatek gazu z lancy powinien wynosić **1500 [l/min]** (**90 [m³/h]**).
Jednocześnie z badań wykonanych przez AGH (gdzie obserwowano wypływanie gazu z

lancy w wodzie) wynika, że przy wydatku gazu 20 i 25 [l/min] powierzchnia lustra cieczy staje się burzliwa – co jest zjawiskiem niekorzystnym. Po analizie tych wyników stwierdzono, że zastosowanie podczas rafinacji w warunkach przemysłowych przepływu gazu na poziomie 1500 [l/min] może stwarzać zagrożenie bezpieczeństwa w Odlewni. Dodatkowo instalacja pieca w Odlewni nie pozwala na uzyskiwanie przepływów większych niż 250 [l/min]. W związku z tym w pierwszym wytopie, ze względów bezpieczeństwa zrezygnowano z rafinacji w piecu. Postanowiono przetestować parametry rafinacji tylko w kadzi zabiegowej gdzie ilość metalu jest kilkukrotnie mniejsza niż w piecu.

Wytop Z2.1

Wytop prowadzono zgodnie z technologią topienia przedstawioną w punkcie 2, przy czym na tym etapie ze względów bezpieczeństwa zrezygnowano z rafinacji w piecu.

Zgodnie z wytycznymi wydatek gazu (azotu) podczas rafinacji w kadzi zabiegowej powinien wynosić około 150 [l/min]. Jednak ze względu na to, że zbyt duży wydatek gazu może powodować efekt fontanny metalu, co jest zjawiskiem szkodliwym i nie powinno się do niego dopuszczać (utlenianie metalu) oraz ze względów bezpieczeństwa w wytopie Z2.1 podczas rafinacji w kadzi zabiegowej założono wydatek gazu na poziomie 25 [l/min].

Rafinacja w kadzi prowadzona była po wykonaniu zabiegu sferoidyzacji żeliwa na dedykowanym do tego celu stanowisku. Po wprowadzeniu lancy do kadzi i rozpoczęciu procesu rafinacji wystąpił efekt fontanny metalu (strugi metalu o temperaturze ok. 1400°C były wyrzucane na wysokość ok. 0.5 metra ponad górną krawędź kadzi i opadały częściowo poza kadzią), w związku z tym proces rafinacji został przerwany. Podjęto decyzję o zakończeniu wytopu Z2.1 i ponownym przeanalizowaniu wymagań dotyczących wydatku gazu podczas rafinacji.

Zastosowanie wydatku gazu na poziomie 8 razy niższym niż wytyczne opracowane w warunkach laboratoryjnych prowadzi do niekorzystnych i niebezpiecznych zjawisk, dlatego konieczne jest dalsze ograniczanie wydatku gazu podczas procesu rafinacji.

W wyniku analizy stwierdzono, że przeniesienie wyników ze skali laboratoryjnej (wytapiano 25 kg żeliwa) do przemysłowej (6000 kg żeliwa) nie powinno opierać się jedynie na przeliczeniach wydatku gazu odniesionych do masy żeliwa, a powinno bazować na kontroli ciśnienia dozowania i wydatku gazu i dostosowania go do takiego poziomu, przy którym obserwuje się jedynie drgania (falowanie) powierzchni lustra metalu w kadzi, przez które ten gaz ma przepływać.

Podjęto też decyzję, że rafinacja w piecu nie będzie przeprowadzana do czasu opanowania procesu rafinacji w kadzi i określenia na tej podstawie bezpiecznych parametrów tego procesu.

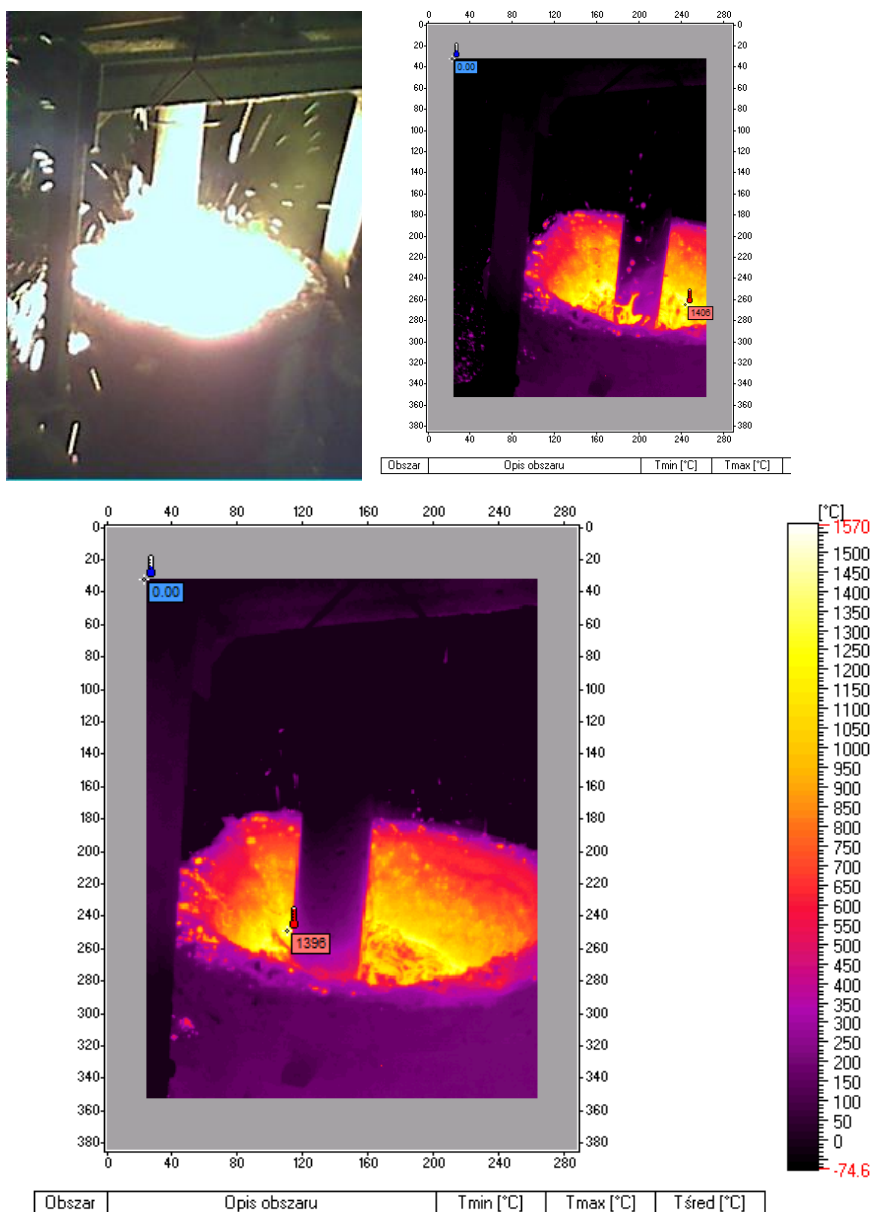
Wytop Z2.2

W wytopie Z2.2 podobnie jak w wytopie Z2.1 zrezygnowano z rafinacji w piecu.

Początkowy wydatek gazu podczas rafinacji w kadzi zabiegowej postanowiono ograniczyć do 15 [l/min] i zmniejszać go w razie konieczności (wystąpienie efektu fontanny metalu) do 10 [l/min]. Należy przy tym uważać aby wydatek gazu nie był zbyt niski, bo może to doprowadzić do uszkodzenia lancy (przepływający gaz schładza lancę, która jest zanurzona w ciekłym żeliwie).

Dla przedstawionych powyżej parametrów przeprowadzano proces rafinacji gazowej. **Zmniejszenie wydatku gazu do 10 [l/min] pozwoliło na zniwelowanie efektu fontanny metalu, jednak ciągle dochodziło do gwałtownych rozprysków żeliwa poza kadź zabiegową (rys 2.7).**





Rys. 2.7. Rafinacja w kadzi zabiegowej przy użyciu lancy - przepływu gazu 10 [l/min].

Zdjęcia oraz termografy zarejestrowane kamerą termowizyjną.

W wyniku przeprowadzonego wytopu stwierdzono, że ograniczenie wydatku gazu do 10 [l/min] podczas rafinacji w kadzi zabiegowej nie gwarantuje prawidłowego przebiegu procesu rafinacji i konieczne jest dalsze zmniejszanie przepływu gazu w kolejnym wytopie.

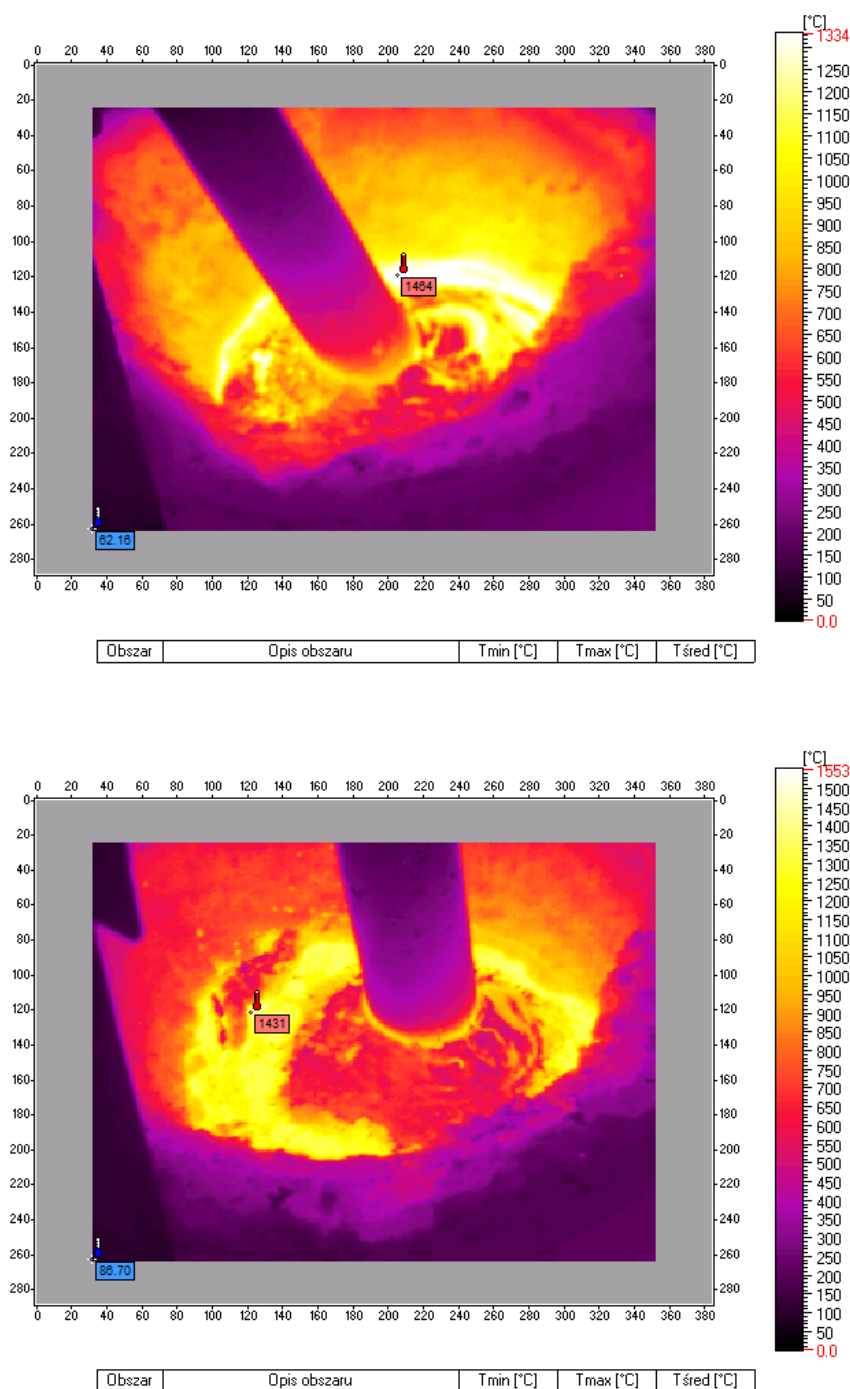
Wytop Z2.3

W wytopie Z2.3 podobnie jak w wytopie Z2.1i Z2.2 zrezygnowano z rafinacji w piecu.

Początkowy wydatek gazu podczas rafinacji w kadzi zabiegowej postanowiono ograniczyć do 8 [l/min] i zmniejszać go w razie konieczności (wystąpienie rozprysków metalu i burzliwa powierzchnia lustra metalu) do 5 [l/min]. Należy przy tym uważać aby wydatek gazu nie był zbyt niski, bo może to doprowadzić do uszkodzenia lancy (przepływający gaz schładza lancę, która jest zanurzona w ciekłym żeliwie).

Dla przedstawionych powyżej parametrów przeprowadzano proces rafinacji gazowej. **Zmniejszenie wydatku gazu do 8 [l/min] pozwoliło na zniwelowanie efektu fontanny gwałtownych rozprysków żeliwa poza każdą zabiegową jednak powierzchnia lustra cieczy była jeszcze ciągle wzburzona, co może prowadzić do wtórnego utlenienia stopu, zjawiska tzw. reoksydacji. Dalsze ograniczanie wydatku do 5 [l/min] doprowadziło do oczekiwanego efektu gdzie w wyniku przepływającego gazu lustro metalu drgało w wyniku pobudzania przez przepływający gaz (rys. 2.8).**





Rys. 2.8. Rafinacja w kadzi zabiegowej przy użyciu lancy - przepływu gazu 5 [l/min].

Zdjęcia oraz termografy zarejestrowane kamerą termowizyjną.

W wyniku przeprowadzonego wytopu stwierdzono, że ograniczenie wydatku gazu do 5 [l/min] podczas rafinacji w kadzi zabiegowej zapewniła prawidłowy przebieg procesu rafinacji.

W związku z tym podjęto decyzje o przeprowadzeniu w kolejnym wytopie rafinacji dwustopniowej w piecu i w kadzi zabiegowej przy ustawieniu wydatku gazu na poziomie 5 [l/min].

Wytop Z2.4

W wytopie Z2.4 na podstawie wyników uzyskanych w poprzednich wytopach zaplanowano przeprowadzenie dwustopniowej rafinacji w piecu i w kadzi zabiegowej przy ciśnieniu roboczym gazu na poziomie 2,0 barów i przepływie gazu wynoszącym 5 [l/min].

Wytop prowadzono zgodnie z technologią topienia przedstawioną w punkcie 2.

Proces rafinacji w piecu pokazano na rysunku 2.9. Czas rafinacji wynosił 2 minuty.

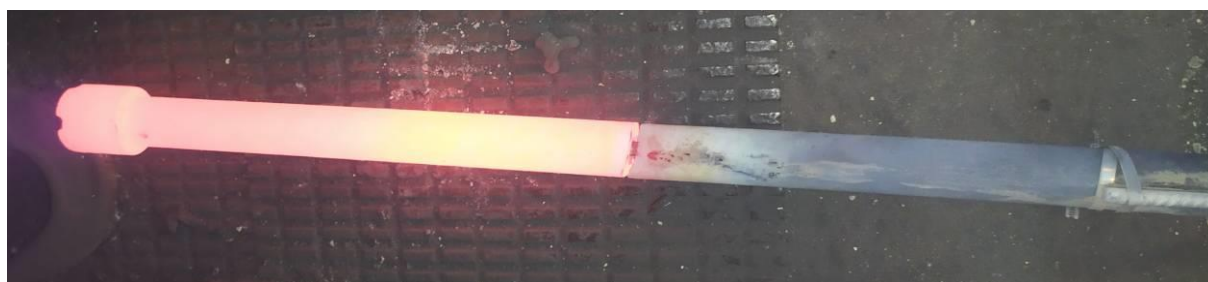


Rys. 2.9. Rafinacja w piecu przy użyciu lancy (czas 2 [min]., 5 [l/min], 2,0 [bar])

Podczas procesu zaobserwowano bardzo mocne nagrzanie części roboczej lancy (rys.2.10), które jest skutkiem oddziaływania wysokiej temperatury żeliwa w piecu. Temperatura żeliwa podczas rafinacji w piecu wynosi 1550°C i jest o ok. 100°C wyższa od temperatury panującej podczas rafinacji w kadzi zabiegowej. Zbyt mocne przegrzanie lancy doprowadziło do jej uszkodzenia (pęknięcia rury grafitowej) co pokazano na rysunku 2.11.



Rys. 2.10. Lancy po zakończonym procesie rafinacji w piecu



Rys. 2.11. Uszkodzenie lancy po procesie rafinacji w piecu

Pomimo uszkodzenia lancy proces rafinacji w piecu był przeprowadzony w sposób prawidłowy i wytop prowadzono dalej zgodnie z technologią topienia.

Po przeprowadzeniu procesu sferoidyzacji żeliwa kadź zabiegowa transportowana jest na stanowisko gdzie przeprowadzany jest drugi stopień rafinacji gazowej.

Po wprowadzeniu lancy do kadzi stwierdzono że przepływ gazu jest na minimalnym poziomie i nie osiąga ustawionych 5 [l/min] co prawdopodobnie było wynikiem zakrzepnięcia żeliwa na wkładce porowatej po zakończeniu poprzedniego procesu rafinacji. W wyniku niskiego przepływu gazu, a w związku z tym braku chłodzenia wewnętrznej części lancy nastąpiło jej zniszczenie co pokazano na rysunku 2.12.



Rys. 2.12. Uszkodzenie lancy po procesie rafinacji w kadzi zabiegowej

3. Podsumowanie serii próbnych wytopów żeliwa z rafinacją gazową. Wytopy Z2.1 – Z2.4

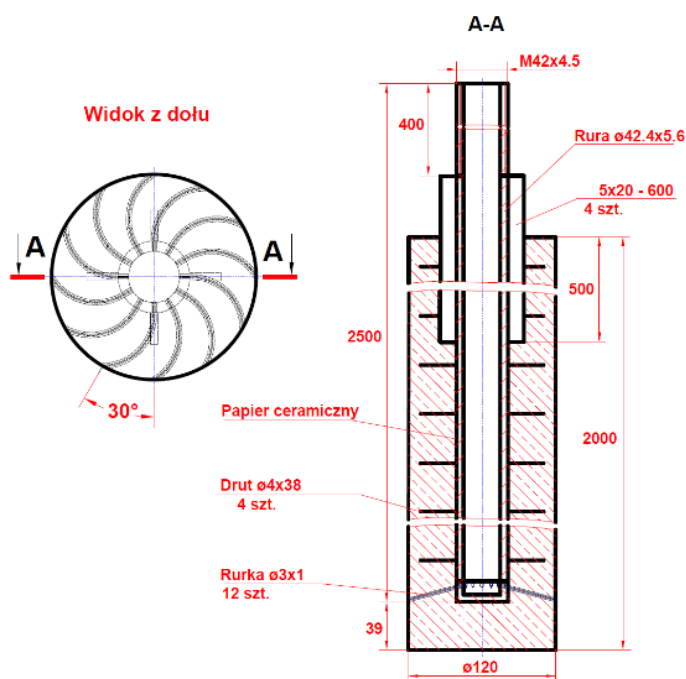
W wyniku przeprowadzonych wytopów Z2.1-Z2.4 stwierdzono, że:

- przeniesienie wyników ze skali laboratoryjnej (**wytapiano 25 kg żeliwa**) do przemysłowej (**6000 kg żeliwa**) nie powinno opierać się na przeliczeniach wydatku gazu odniesionych do masy żeliwa, a powinno bazować na powierzchni lustra metalu przez które ten gaz ma przepływać. Zgodnie z wytycznymi odniesionymi do masy żeliwa zużycie gazu w procesie dwuetapowej rafinacji żeliwa, wg badań w **skali mikro** powinno być na poziomie ~ **0,5 litra/kg żeliwa** co daje w warunkach Odlewni wydatek gazu podczas rafinacji w piecu na poziomie **1500 [l/min]** a w kadzi zabiegowej **200 [l/min]**. W przeprowadzonych wytopach wykazano, że zastosowanie takich parametrów podczas rafinacji w warunkach Odlewni Drawski jest niemożliwe i wymaga korekty. **Zastosowanie wydatku gazu podczas rafinacji w kadzi na poziomie 8 razy niższym (25 [l/min]) niż wytyczne opracowane w warunkach laboratoryjnych prowadzi do niekorzystnych i niebezpiecznych zjawisk (wystąpił efekt fontanny metalu), dlatego konieczne jest ograniczanie wydatku gazu podczas procesu rafinacji do poziomu około 5 [l/min],**
- ograniczenie wydatku gazu do 5 [l/min] podczas rafinacji w kadzi zabiegowej zapewniła prawidłowy przebieg procesu rafinacji (w wyniku przepływającego gazu lustro metalu drgało w wyniku pobudzania przez przepływający gaz),
- trwałość lancy grafitowej stosowanej w procesach rafinacji jest zbyt niska i nie pozwala na stosowanie jej w warunkach przemysłowego wytapiania żeliwa.

4. Modyfikacja procesu rafinacji gazowej w piecu i w kadzi zabiegowej.

Po przeprowadzeniu wytopów Z2.1-Z2.4 stwierdzono, że trwałość lancy grafitowej do rafinacji w piecu i w kadzi zabiegowej jest zbyt niska. W związku z tym nie może być ona stosowana w warunkach przemysłowego wytapiania żeliwa i należy znaleźć inne rozwiązanie konstrukcyjne do przeprowadzania procesu rafinacji gazowej w piecu i kadzi zabiegowej.

Rozważano rozwiązania wykorzystujące inny rodzaj lancy (o większej trwałości) oraz metody wykorzystujące kształtki gazoprzepuszczalne umieszczane w wymurówce kadzi lub pieca. W wytycznych opracowanych przez AGH wskazana została możliwość wykorzystania kształtek gazoprzepuszczalnych. Jednak po przeanalizowaniu warunków technicznych takiego rozwiązania wykluczono możliwość zastosowania kształtki gazoprzepuszczalnej w posiadanych piecach. Używane w Odlewni Żeliwa Drawski piece indukcyjne średniej częstotliwości o pojemności 6 ton (Otto Junker) mają możliwość umieszczenia takiej wkładki w tyglu jednak warunki techniczne użytkowania pieca z zamontowaną wkładką wymagają ciągłego przepływu gazu podczas całego procesu wytopu. To powoduje, że czas rafinacji będzie zbyt długi (kilka godzin) przy zalecanych około 2 minut. Należy przy tym pamiętać, iż azot może być rozpuszczany w żeliwie (żelazie) i jest składnikiem który sprzyja perlityzacji osnowy co jest niekorzystne w przypadku próby uzyskiwania żeliwa ferrytycznego. Przechodzenie azotu do roztworu jest procesem stosunkowo powolnym (aby osiągnąć zawartość azotu, mającą wpływ na strukturę żeliwa czas rafinacji powinien być dłuższy od 10 min, a zalecany to czas około 30 min). Przy wprowadzeniu większych ilości azotu (rafinacja powyżej 10 min) należy się liczyć z pojawianiem się większego udziału perlitu w mikrostrukturze żeliwa, a co za tym idzie pogorszenia jego właściwości plastycznych oraz uduchotwienia. W związku z tym zawartość azotu w żeliwie przeznaczonym do pracy w niskiej temperaturze i dynamicznych obciążeniach powinna być kontrolowana i utrzymywana na możliwie niskim poziomie. Dlatego czas rafinacji nie powinien przekraczać kilku minut. Z powodu wskazanych powyżej ograniczeń zdecydowano się na rozwiązanie konstrukcyjne wykorzystujące lance o większej trwałości, wykonane z betonu ogniotrwałego oraz konstrukcji stalowej o specjalnie dobranych i rozmieszczonych dyszach umożliwiającym równomierny i niezaburzony przepływ gazu. Wybrana do zastosowania lancę Pegas OLBET pokazano na rysunku 2.13.



Rys. 2.13. Lanca Pegas OLBET

5. Wyznaczanie zakresów parametrów rafinacji żeliwa.

Ogólną zasadą prowadzenia procesu rafinacji jest utrzymanie takiego ciśnienia i takiego wydatku gazu, aby w piecu czy kadzi powierzchnia rafinowanego metalu „lekko drgała - falowała”. Rafinacja jest źle prowadzona, jeśli wprowadzany zbyt intensywnie gaz powoduje wyrzucanie metalu lub tworzenie fontanny, albo, gdy wydatek metalu jest tak mały, iż nie obserwuje się „drgania” górnej powierzchni. Sterowanie parametrami dozowania gazu odbywa się na dwóch poziomach:

- poprzez dopasowanie na reduktorze butli ciśnienia gazu (rys. 2.14), które jest proporcjonalne do głębokości zanurzenia lancy w ciekłym metalu (ściślej jest proporcjonalne do ciśnienia metalostatycznego w „punkcie” umieszczenia głowicy lancy).
- poprzez poziom otwarcia zaworu przepływomierza (rys. 2.15), którym reguluje się wydatek (przepływ) gazu.



Rys. 2.14. Reduktor ciśnienia gazu zamontowany na głowicy butli z azotem



Rys. 2.15. Przepływomierz zamontowany na lancy

W czasie prób podczas wytopów Z2.1 – Z2.4 ustalono parametry dozowania gazu, co pozwoliło przeprowadzić rafinację osobno w piecu i w kadzi (z powodu uszkodzenia lancy nie udało się przeprowadzić rafinacji dwustopniowej).

Ostatnim parametrem, który może zostać zoptymalizowany na drodze kilku wytopów **jest czas dozowania gazu**.

Rafinacja w piecu pozostawia większą swobodę w tym zakresie. Metal po rafinacji może zostać jeszcze podgrzany. Nie mniej jednak nie zaleca się rafinacji powyżej 5 min, z obawy o rozpuszczanie się azotu w żeliwie, co mogłoby utrudniać uzyskanie osnowy ferrytycznej (azot rozpuszczony w żeliwie sprzyja perlityzacji osnowy).

Natomiast czas rafinacji po zabiegu sferoidyzacji powinien być skracany do minimum i zostanie wyznaczony w drodze dalszych prób. Ograniczenie czasu rafinacji do minimum w przypadku żeliwa sferoidalnego jest konieczne ze względu na ciągły spadek temperatury z czasem oraz ze zjawiska zaniku efektu sferoidyzacji z upływem czasu. Na ogół ten czas rafinacji w drugim etapie technologicznym nie powinien trwać dłużej niż 2,0 minuty.

W ramach badań, wykonanych zostało kolejnych **8 wytopów (Z2.5- Z2.12)**, w których skorygowane zostały parametry dozowania gazu wyznaczone przy użyciu innego typu lancy oraz wyznaczone optymalne czasy dozowania gazu podczas rafinacji w piecu i kadzi zabiegowej.

W celu kontroli przebiegu procesu rafinacji została zastosowana kamera termowizyjna, która umożliwiła ocenę stanu lustra metalu w kadzi.

Wytopy Z2.5 – Z2.12

W wytopach Z2.5 i Z2.6 na podstawie wyników uzyskanych w poprzednich wytopach zaplanowano przeprowadzenie dwustopniowej rafinacji w piecu i w kadzi zabiegowej przy ciśnieniu roboczym gazu na poziomie 2,0 barów i przepływie gazu wynoszącym 5 [l/min].

Wytop prowadzono zgodnie z technologią topienia przedstawioną w punkcie 2. Z zastosowaniem lancy pokazanej na rys. 2.13.

Proces rafinacji w piecu pokazano na rysunku 2.16. Czas rafinacji wynosił 2 minuty.



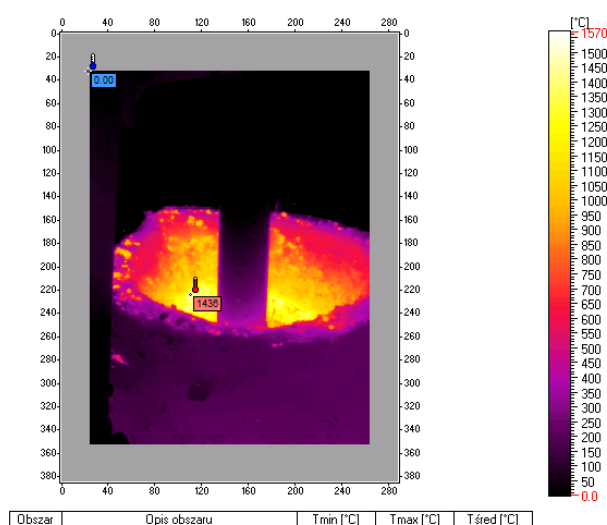


Rys. 2.16. Rafinacja w piecu przy użyciu lancy (czas 2 [min]., 5 [l/min], 2,0 [bar])

Po przeprowadzeniu procesu sferoidyzacji żeliwa każda zabiegowa transportowana jest na stanowisko gdzie przeprowadzany jest drugi stopień rafinacji gazowej. Po wprowadzeniu lancy do kadzi w wytopie Z2.5 przepływ gazu ustawiono na poziomie 5 [l/min]. Podczas rafinacji ciągle dochodziło do gwałtownych rozprysków żeliwa poza każdą zabiegową (rys 2.17 i 2.18). Przepływ gazu zmniejszono w kolejnych wytopach (w Z2.6 ustawiono 3,5 [l/min].)

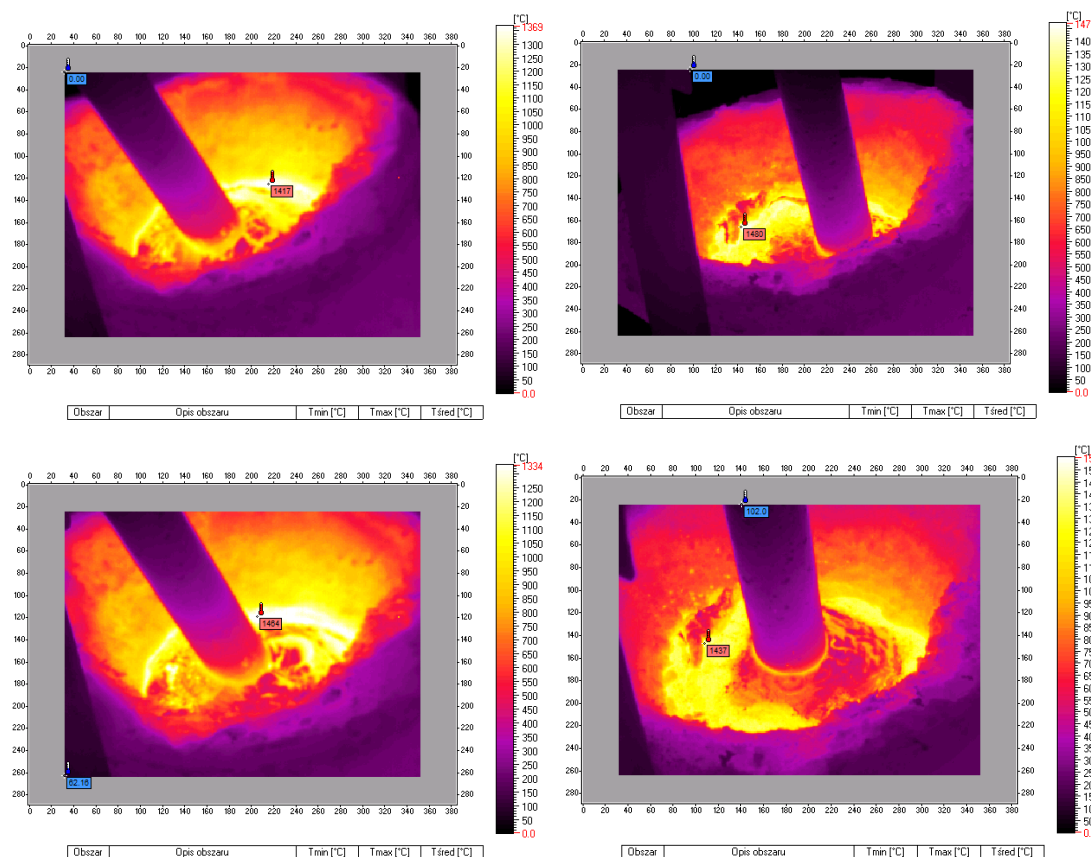


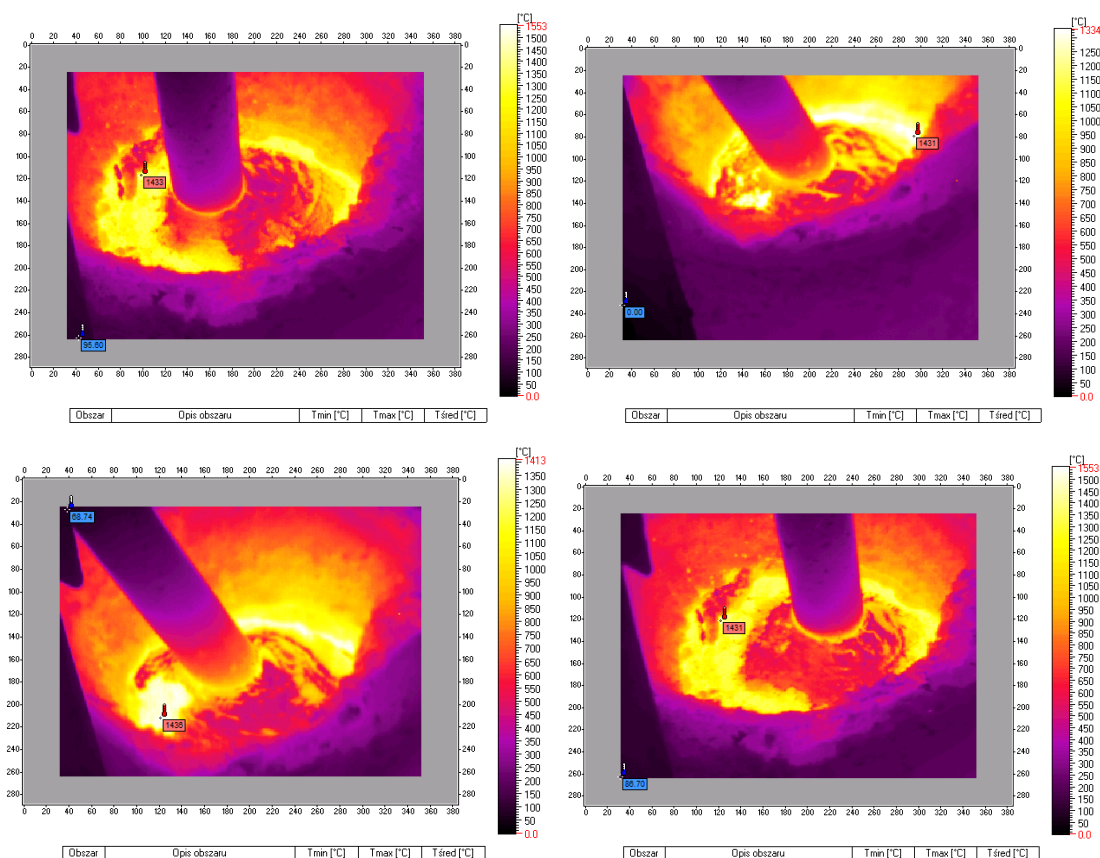
Rys. 2.17. Rafinacja w kadzi zabiegowej przy użyciu lancy - przepływu gazu 5 i 3,5 [l/min]



Rys. 2.18. Rafinacja w kadzi zabiegowej przy użyciu lancy – obrazy zarejestrowane kamerą termowizyjną

Po wykonaniu kilku prób dobrano parametry przepływu gazu podczas rafinacji. Optymalne ciśnienie dobrano na poziomie 1,5 [bar] a przepływ gazu w granicach 2-2,5 [l/min]. Zastosowanie takich parametrów doprowadziło do oczekiwanego efektu podczas wytopów Z2.7 – Z2.12 gdzie w wyniku przepływającego gazu lustro metalu drgało w wyniku pobudzania przez przepływający gaz (rys. 2.19).





Rys. 2.19. Rafinacja w kadzi zabiegowej wytopy Z2.8 – Z2.12 – obrazy zarejestrowane kamerą termowizyjną

W poszczególnych wytopach zmieniano czasy rafinacji gazowej

Nr wytopu	Czas rafinacji w piecu [s]	Czas rafinacji w kadzi [s]
Z2.7	bez rafinacji	bez rafinacji
Z2.8	120	120
Z2.9	120	100
Z2.10	120	80
Z2.11	120	60
Z2.12	120	40

Badania w zakresie wyznaczenia optymalnej (najmniejszej, ale koniecznej) ilości gazu zużywanej w procesie rafinacji były wykonywane w warunkach, w których czystość wsadu była trudna do utrzymania, ponieważ wsad metalowy był złożony i miał w swoim składzie: surówkę, złom obiegowy, złom stalowy, żelazostop, nawęglacz.

Parametry poszczególnych wytopów zestawiono w tabelach 2.7-2.12 w punkcie 2.

Z powyższych wytopów wykonano próby do oceny i badań uzyskanego żeliwa, wykonano: analizę struktury – ocena wydzieliń grafitu w zakresie kształtu i wielkości, ocenę stopnia sferoidyzacji żeliwa, analizę osnowy metalowej, zbadano parametry wytrzymałościowe tj: granica plastyczności, wydłużenie, wytrzymałość na rozciąganie, twardość. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2.13.

Tabela 2.13. Wyniki badań

Nr Wytopu	Twardość [HB]	Wytrzymałość [MPa]	Wydłużenie A5 [%]	Granica plastyczności Rp 0,2 [MPa]	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%]	Stopień sferoidyzacji [%]
Z2.7	173	476	17	320	91/9	89
Z2.8	161	418	22,7	268	96/4	93
Z2.9	158	419	21,4	272	96/4	93
Z2.10	169	439	22	287	95/5	93
Z2.11	159	415	19,2	263	95/5	93
Z2.12	171	446	19	302	94/6	90

6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że przeniesienie wyników ze skali laboratoryjnej (**wytapiano 25 kg żeliwa**) do przemysłowej (**6000 kg żeliwa**) nie powinno opierać się na przeliczeniach wydatku gazu odniesionych do masy żeliwa, a powinno bazować na powierzchni lustra metalu przez które ten gaz ma przepływać. Zgodnie z wytycznymi odniesionymi do masy żeliwa zużycie gazu w procesie dwuetapowej rafinacji żeliwa, wg badań w **skali mikro** powinno być na poziomie ~ **0,5 litra/kg żeliwa** co daje w warunkach Odlewni wydatek gazu podczas rafinacji w piecu na poziomie **1500 [l/min]** a w kadzi zabiegowej **200 [l/min]**. W przeprowadzonych wytopach wykazano, że zastosowanie takich parametrów podczas rafinacji w warunkach Odlewni Drawski jest niemożliwe i wymaga korekty. **Zastosowanie wydatku gazu podczas rafinacji w kadzi na poziomie 8 razy niższym (25 [l/min]) niż wytyczne opracowane w warunkach laboratoryjnych prowadzi do niekorzystnych i niebezpiecznych zjawisk (wystąpił efekt fontanny metalu), dlatego**

konieczne jest ograniczanie wydatku gazu podczas procesu rafinacji do poziomu około 5 [l/min],

Wyniki badań żeliwa uzyskiwanego w próbnym wytopach obejmujących sześć wytopów Z2.7 – Z2.12 pozwalają wyciągnąć szereg wniosków, które ukierunkują dalsze próby. Zrealizowano próby z dwustopniową rafinacją stosując zalecane czasy rafinacji w piecu i testując różne czasy rafinacji w kadzi. Analizując wyniki badań zestawione w tabeli 2.13 można stwierdzić, że dwustopniowa rafinacja sprzyja podwyższaniu plastyczności żeliwa, najlepsze parametry pod kątem uzyskiwania gatunków żeliwa charakteryzujących się wysoką plastycznością, uzyskano w wytopach Z2.8 – Z2.10 (czas rafinacji w piecu 120 [s], w kadzi 80 – 120 [s]). W wytopie Z2.8 – Z2.11 uzyskano również najwyższy stopień sferoidyzacji żeliwa wynoszącym 93%, a więc wydzieleń grafitu o najwyższej kulistości, co jest efektem uzyskania żeliwa z najmniejszą ilością wtrąceń i zanieczyszczeń, co jest zasługą rafinacji żeliwa.

W wyniku przeprowadzonych badań dobrano parametry przepływu gazu podczas rafinacji. Stwierdzono, że w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski:

- ciśnienie gazu podczas rafinacji w piecu powinno wynosić 2,0 [bar],
- wydatek gazu podczas rafinacji w piecu powinien wynosić 5,0 [l/min],
- ciśnienie gazu podczas rafinacji w kadzi powinno wynosić 1,5 [bar],
- wydatek gazu podczas rafinacji w kadzi powinien wynosić 2,0-2,5 [l/min],
- czas rafinacji w piecu powinien wynosić 120 [s],
- czas rafinacji w kadzi powinien wynosić co najmniej 80 [s].

Wyniki badań z wytopów Z2.7 – Z2.12 potwierdzają, że kierunek działania jest właściwy. Potwierdzona została zasadność i konieczność realizacji dwustopniowej rafinacji żeliwa dla nadania mu wysokiej plastyczności. Dalsze prace powinny być ukierunkowane na uzyskanie żeliwa o strukturze „czysto” ferrytycznej i silnie rozdrobnionej strukturze. Dlatego w kolejnych zadaniach należy opracować optymalną strukturę wsadu metalowego aby uzyskiwane z tego wsadu żeliwo miało strukturę ferrytyczną oraz opracowanie sposobu przeprowadzania wieloetapowej modyfikacji żeliwa dla nadania mu silnie rozdrobnionej struktury oraz wysokiej plastyczności.

Zadanie 3.

Opracowanie optymalnej struktury wsadu metalowego aby uzyskiwane z tego wsadu żeliwo miało strukturę ferrytyczną

1. Wprowadzenie

W ramach Zadania Nr 3 w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski po zakończonej modernizacji (instalacja nowej topialni w oparciu o dwa piece indukcyjne średniej częstotliwości o pojemności 6 ton) dobrane zostaną optymalne struktury wsadu metalowego. Skład chemiczny żeliwa przeznaczanego na odlewy do pracy w warunkach dynamicznych obciążeń w niskiej temperaturze powinien być tak dobrany, aby w odlewach uzyskiwano strukturę ferrytyczną (najkorzystniej czysto ferrytyczną), bez eutektyki fosforowej i wtrąceń niemetalowych, z grafitem kulkowym dobrze rozdrobnionym.

W badaniach przeprowadzonych przez Wydział Odlewnictwa AGH wykazano, że aby osiągnąć zespół właściwości opisanych normą dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18 LT ($R_m = 400 \div 450 \text{ MPa}$, $A_5 > 18\%$, $UV > 12 \text{ J}$ przy $T = (-20 \div -2^\circ \text{C})$), żeliwo przeznaczone na odlewy drobne i średnie o module krzepnięcia $M < 1,5 \div 1,7 \text{ cm}$ powinno mieć następujący skład chemiczny:

C %	$3,50 \div 3,65$
Si %	$2,40 \div 2,65$
Mn %	$< 0,15$
P %	$< 0,035$
S %	$< 0,010$
Mg %	$0,045 \div 0,055$
Ca %	$0,006 \div 0,010$
Al %	$0,010 \div 0,025$
Cu %	$< 0,010$
Cr %	$< 0,01$
Ni %	$< 0,02$
V %	$< 0,01$
Sn %	$< 0,005$

Żeliwo do pracy w temperaturze -40°C (EN GJS 350-22-LT) powinno mieć ograniczoną zawartość krzemu, który umacnia ferryt podwyższając wytrzymałość i równocześnie obniża plastyczność żeliwa (wydłużenie). Dla żeliwa do pracy w temperaturze do -40°C (EN GJS 350-22 –LT) zaleca się obniżenie zawartości krzemu do $Si = 2,30 \div 2,45\%$ i podwyższenie zawartości węgla do zakresu $C = 3,65 \div 3,85$.

Ze względu na dążenie do uzyskania również dobrych właściwości technologicznych (mała skłonność do tworzenia wad pochodzenia skurczowego) żeliwo powinno mieć skład

lekko nadeutektyczny. Zaleca się, aby współczynnik nasycenia eutektycznego Sc mieścił się w granicach $Sc = 1,04 \div 1,08$.

Struktura wsadu metalowego jest uwarunkowana docelowym składem. Dla zachowania wysokiej zdolności do grafityzacji zaleca się stosować do wsadu udział surówki nie mniejszy niż 30%. Pozostałe należy tak dobrać, aby osiągnąć zamierzony skład opisany wcześniej.

Prace realizowane w ramach tego zadania polegały na przeprowadzeniu 4 wytopów po 6 ton żeliwa zgodnie z technologią topienia żeliwa przedstawioną w Zadaniu 2. W poszczególnych wytopach były zmieniane udziały poszczególnych składników wsadu metalowego.

W celu oceny parametrów uzyskanego żeliwa została przeprowadzona analiza składu chemicznego oraz ocena mikrostruktury metalograficznej na próbkach pobieranych z wlewków Y2.

2. Wytopy żeliwa

Prace polegały na przeprowadzeniu w odlewni czterech wytopów Z3.1 – Z3.4 o preferowanym składzie chemicznym żeliwa oraz ocenie mikrostruktury uzyskanego żeliwa.

Do wytopów przygotowano złom stalowy o niskiej zawartości pierwiastków sprzyjających perlityzacji (Cu, Cr, Ni i Sn), a przede wszystkim o niskiej zawartości Mn oraz surówkę Sorelmetal, która zawiera minimalną ilość manganu, a ilość pierwiastków, które sprzyjają powstawaniu węglików, jak i zakłócają proces sferoidyzacji grafitu, jest niewielka i powtarzalna. Typowy skład chemiczny surówki Sorelmetal to: C=3,9-4,7%; Si max 0,02%; Mn max 0,04%, P max 0,03%, S max 0,010%.

W kolejnych wytopach Z3.2, Z3.3 i Z3.4 celowo zwiększano udział surówki po to, aby żeliwo charakteryzowało się większą zdolnością do grafityzacji, która jest konieczna dla uzyskania żeliwa ferrytycznego. Stosowano odpowiednio 30, 40, 45 i 50% surówki oraz odpowiednio po 35, 30, 27.5 i 25% złomu żeliwnego i stalowego.

Zestawienie materiałów wsadowych zastosowanych w Z3.1 – Z3.4 przedstawiono w tabelach 3.1 – 3.4. a uzyskane składy chemiczne zestawiono w tabelach 3.5 – 3.8.

Tabela 3.1. Wytop Z3.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 16 (ZAD 3 – Z3.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	1800
Złom żeliwny obiegowy	2100
Złom stalowy W-4	2100
Żelazokrzem Fe Si 75	42

Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 3.2. Wytop Z3.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 17 (ZAD 3 – Z3.2)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	2400
Złom żeliwny obiegowy	1800
Złom stalowy W-4	1800
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 3.3. Wytop Z3.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 18 (ZAD 3 – Z3.3)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	2700
Złom żeliwny obiegowy	1650
Złom stalowy W-4	1650
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 3.4. Wytop Z3.4 – materiały wsadowe

WYTOP NR 19 (ZAD 3 – Z3.4)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

3. Wyniki badań

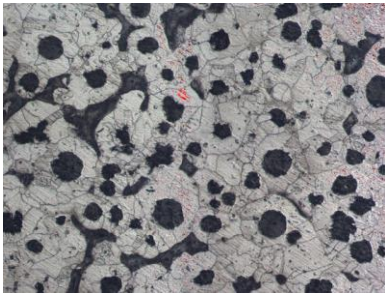
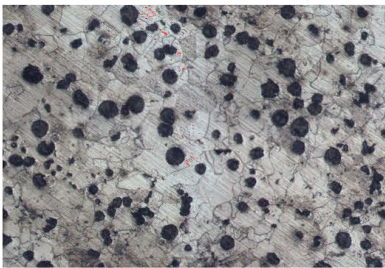
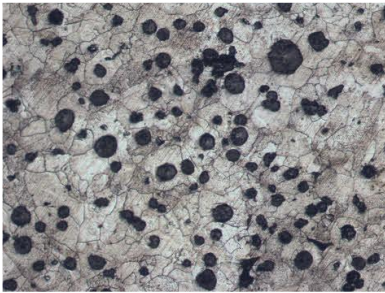
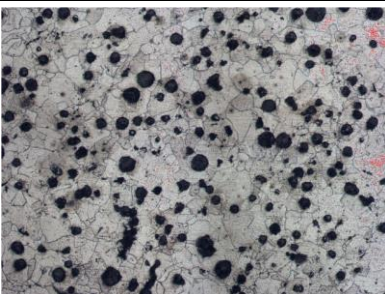
Analizę składu chemicznego wykonywano na spektrometrze „SPEKTROMAX”. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w wytopach Z3.1-Z3.4

	Skład chemiczny żeliwa po sferoidyzacji			
	Wytop Z3.1	Wytop Z3.2	Wytop Z3.3	Wytop Z3.4
C %	3,70	3,58	3,67	3,65
Si %	2,65	2,63	2,65	2,61
Mn %	0,266	0,193	0,151	0,119
P %	0,033	0,028	0,025	0,021
S %	0,021	0,017	0,013	0,011
Mg %	0,059	0,057	0,052	0,056
Al %	0,016	0,014	0,011	0,010
Cu %	0,026	0,020	0,016	0,016
Cr %	0,040	0,031	0,027	0,022
Ni %	0,042	0,030	0,026	0,020
V %	0,0016	0,0015	0,0015	0,0013
Sn %	0,009	0,006	0,005	0,004

Następnie zrealizowano badania metalograficzne zgodnie z PN – EN 945 – 1. Typowe struktury uzyskane w próbkach Y2 z wytopów Z3.1 – Z3.4 przedstawiono w tabeli 3.6. Badania struktur w próbkach pobranych z wlewków próbnych Y2 odlanych w trakcie wytopów Z3.1, Z3.2, Z3.3, i Z3.4, potwierdzają ogólną tendencję, która polega na tym, iż zwiększanie udziału surówki we wsadzie skutkuje tym że w strukturze uzyskuje się więcej wydzieliń grafitu i tym bardziej ferrytyczna staje się osnowa. **„Czysto” ferrytyczną osnowę, a więc taką jaka jest konieczna dla uzyskania wysokiej plastyczności żeliwa i wysokiej udarności (wymagania żeliwa EN GJS 400.18 LT) uzyskano w wytopie Z3.4.**

Tabela 3.6. Wybrane struktury metalograficzne w próbkach pobieranych z wlewków Y2

Wytóp	Zdjęcie struktury badanego żeliwa	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%]
Z3.1		94/6
Z3.2		96/4
Z3.3		97/3
Z3.4		99/1

4. Podsumowanie

W wytopie Z3.1 nie osiągnięto zalecanego składu chemicznego. Zanotowano znaczące przekroczenia w zawartości pierwiastków sprzyjających perlityzacji takich jak Cu, Cr, Ni i Sn, a także zbyt duży udział Manganu co doprowadziło do tego, że nie uzyskano żeliwa o strukturze ferrytycznej. W zawiązku z tym podjęto decyzję o stopniowym zwiększaniu udziału surówki we wsadzie co spowodowało obniżenie w żeliwie zawartości pierwiastków sprzyjających perlityzacji (Cu do 0,016% , Cr do 0,022%, Ni do 0,020% i Sn do 0,004%) oraz obniżenie zawartości Mn do 0,119%, co sprzyja wytwarzaniu żeliwa o strukturze czysto ferrytycznej.

Wykonano kolejne wytopy Z3.2, Z3.3, i Z3.4, w których zmieniano strukturę wsadu poprzez zwiększanie udziału procentowego surówki, stosowano odpowiednio 40, 45 i 50% surówki. W wyniku badania struktur w próbkach pobranych z wlewków próbnych Y2 odlanych w trakcie tych wytopów potwierdzono, że zwiększanie udziału surówki we wsadzie wraz ze stosowaniem dwuetapowej rafinacji gazowej skutkuje większą liczbą wydzieleni grafitu i uzyskiwaniem ferrytycznej osnowy.

Celem nadrzędnym prowadzonych prób było uzyskanie w znormalizowanych wlewkach Y2 mikrostruktury czysto ferrytycznej. Ponadto, dążono do uzyskania kulkowej postaci grafitu i wysokiego rozdrobnienia jego wydzieleni. „Czysto” ferrytyczną osnowę, a więc taką jaka jest konieczna dla uzyskania wysokiej plastyczności i uduwności żeliwa (wymagania żeliwa EN GJS 400.18 LT) uzyskano w wytopie Z3.4.

Dążenie do uzyskania ferrytycznej osnowy, której konieczność wynika z dążenia do nadaniu żeliwu wysokiej plastyczności i wysokiej uduwności skłania do stosowania nadeutektycznych składów żeliwa. Takie gatunki żeliwa zachowują dużą zdolność do grafityzacji. Niestety, nadeutektyczne żeliwo, szczególnie przy $Sc > 1,10$ ma skłonność do tworzenia "dużych" wydzieleni grafitu i małej ich ilości, co zmniejsza uduwność żeliwa. **Dla uzyskania wysokiej zdolności do grafityzacji (osnowa ferrytyczna) i uzyskiwania drobnych wydzieleni grafitu koniecznym staje się zastosowanie wielostopniowej modyfikacji.**

Zadanie 4

Dobór rodzajów i ilości zapraw i modyfikatorów

1. Wprowadzenie

W ramach Zadania 4 wykonana została seria 10 wytopów (60 ton żeliwa) na podstawie których w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski dobrana zostały optymalne ilości zapraw i modyfikatorów oraz parametry procesu sferoidyzacji.

W ramach zadania przewidziano realizację zabiegu sferoidyzacji żeliwa dwoma technologiami:

- z zastosowaniem zaprawy magnezowej (metoda sandwich),
- metodą przewodu elastycznego (PE).

W tym celu zostały przeprowadzone wytopy Z4.1 – Z4.5.

W zadaniu 3 stwierdzono, że dla uzyskania wysokiej zdolności do grafityzacji i uzyskiwania drobnych wydzieliń grafitu koniecznym staje się zastosowanie wielostopniowej modyfikacji. W tym celu w wytopach Z4.6 – Z4.10 dobierano optymalną ilość modyfikatorów dla trzech stopni modyfikacji.

2. Wytopy żeliwa Z4.1 – Z4.5

Prace polegały na przeprowadzeniu w odlewni pięciu wytopów żeliwa Z4.1 – Z4.5 w dwóch piecach indukcyjnych średniej częstotliwości o pojemności 6 ton.

Zestawienie materiałów wsadowych zastosowanych w Z4.1 – Z4.5 przedstawiono w tabelach 4.1 – 4.5.

Tabela 4.1. Wytop Z4.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 20 (ZAD 4 – Z4.1)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Zaprawa Lamet 5544	72

Tabela 4.2. Wytop Z4.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 21 (ZAD 4 – Z4.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	150

Tabela 4.3. Wytóp Z4.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 22 (ZAD 4 – Z4.3)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	138

Tabela 4.4. Wytóp Z4.4 – materiały wsadowe

WYTOP NR 23 (ZAD 4 – Z4.4)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 4.5. Wytóp Z4.5 – materiały wsadowe

WYTOP NR 24 (ZAD 4 – Z4.5)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18

Modyfikator Innocast 2 - 6mm	12
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	114

W wytopie Z4.1 proces sferoidyzacji żeliwa przeprowadzono za pomocą zaprawy magnezowej (metoda sandwich). Proces przeprowadzono w kadzi smukłej podwieszanej na elektrowciągu przy piecu indukcyjnym. Przed wlaniem metalu na dno kadzi wsypano odpowiednią porcję zaprawy magnezowej Lamet 5504 o składzie pokazanym na rysunku 4.1. W celu zapobieżenia wypływania zaprawy na powierzchnię ciekłego metalu oraz zmniejszenia intensywności reakcji metalu z zaprawą, zaprawę przykryto krążkiem odlanym z żeliwa sferoidalnego. Po wykonaniu w/w czynności nalano porcję 550 kg metalu z pieca indukcyjnego do kadzi.

Lot no	Net weight	Si %	Mg %	La %	Ca %	Al %	MgO %	Ce %	+4.6mm %	+4mm %	+2.5mm %	+1mm %	-1mm %
Min		44,0	5,20	0,25	0,40	0,80					30,0	45,0	1,0
Max		48,0	5,80	0,40	0,60	1,20	0,45	0,10	0	2,0	55,0	65,0	7,0
1505035594	6,300	47,2	5,48	0,34	0,53	1,05	0,16	0,03	0	0,2	43,3	51,7	4,9

Rys 4.1. Zaprawa magnezowa Lamet 5504, 1-4mm prod. Elkem

W wytopach Z4.2 – Z4.5 proces sferoidyzacji żeliwa przeprowadzono za pomocą drutu elastycznego o średnicy 13mm WHS 1525. Przygotowany metal o temperaturze 1520-1550 °C przelano z pieca indukcyjnego (rys. 4.2) do kadzi smukłej (rys. 4.3). Napelnioną kade należy przetransportować (rys. 4.4) na stanowisko sferoidyzacji (rys. 4.5). Dobrane parametry długości oraz szybkości podawania drutu ustawiono na pulpicie podajnika drutu i przeprowadzono proces sferoidyzacji (rys. 4.6). Rozpuszczaniu magnezu i jego stopów w żeliwie zawsze towarzyszą silne błyski związane ze spalaniem się par magnezu. Po zakończeniu procesu sferoidyzacji dokładnie oczyszczono lustro metalu z żużla i kade z metalem przetransportowano na stanowisko rafinacji.



Rys. 4.2. Piece indukcyjne średniej częstotliwości o pojemności 6 ton.



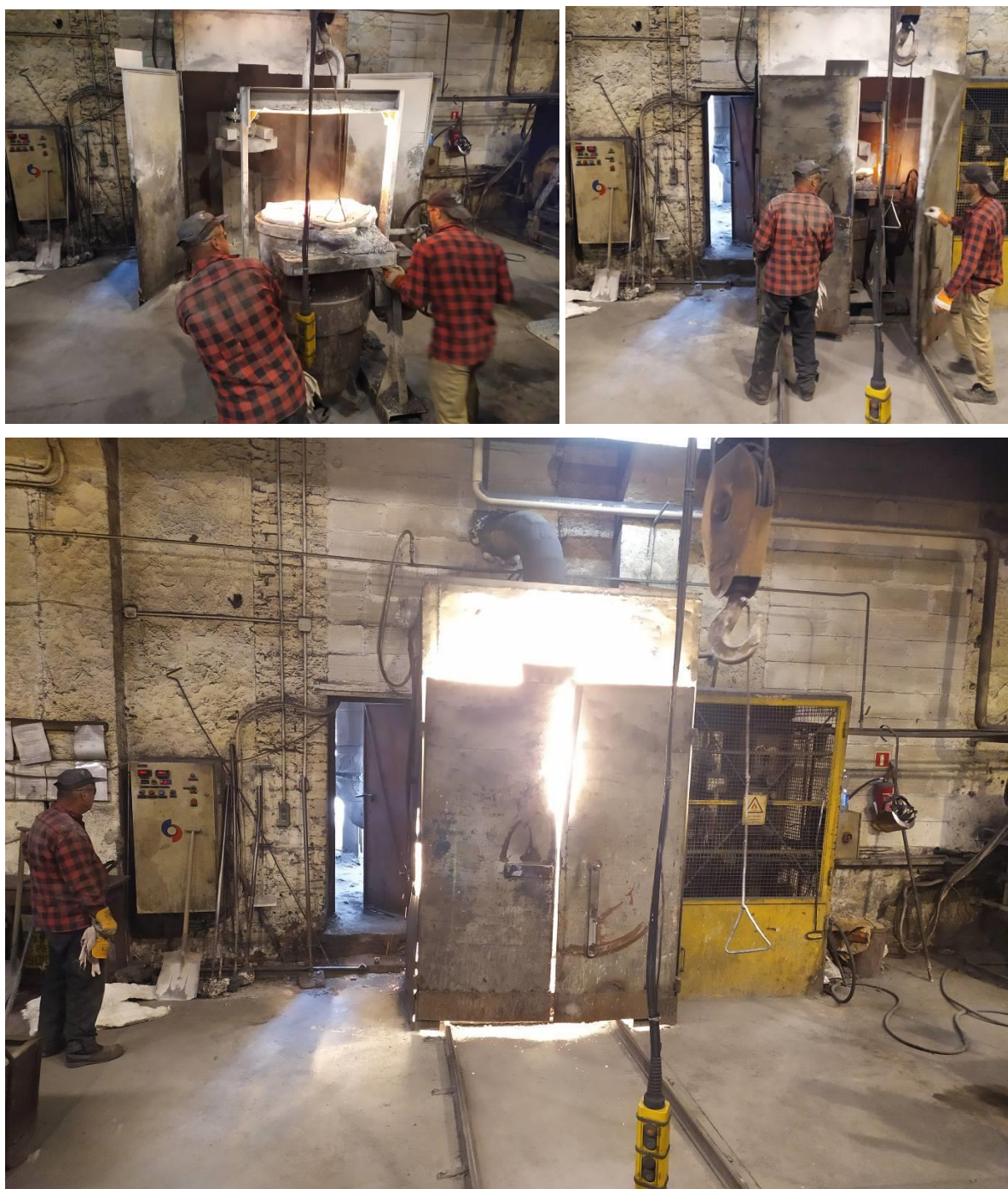
Rys.4.3. Przelewanie żeliwa wyjściowego z pieca do kadzi smukłej.



Rys.4.4. Transport żeliwa na stanowisko zabiegu sferoidyzacji.



Rys. 4.5. Stanowisko sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego (PE)



Rys 4.6. Sferoidyzacja żeliwa metodą drutu elastycznego.

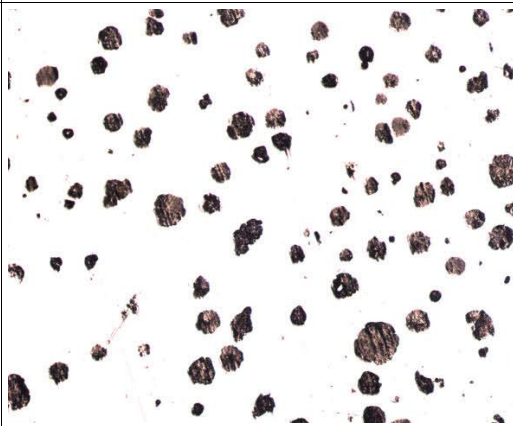
Dla każdego z wytopów w celu oceny przebiegu procesu sferoidyzacji prowadzono analizy składu chemicznego. Próbkę odlewano w kokilach miedzianych w celu uzyskania struktury krzepnącej w układzie metastabilnym (wolnym od wydzielenia grafitu). Wyniki badań zawarto w tabeli 4.6. Stopień przyswojenia magnezu, skuteczność uzupełniania składu węglem i krzemem wymagała wykonania kilku prób. Następnie zrealizowano badania

metalograficzne zgodnie z PN – EN 945 – 1. Typowe struktury uzyskane w próbkach Y2 z wytopów Z4.1 – Z4.5 przedstawiono w tabeli 4.7. Za najkorzystniejszy uznano wytop Z4.4 (zastosowano 126 kg drutu do sferoidyzacji żeliwa (WHS 1525)), w którym uzyskano 109 wydzieliń grafitu na mm² i zawartość magnezu na oczekiwanym poziomie.

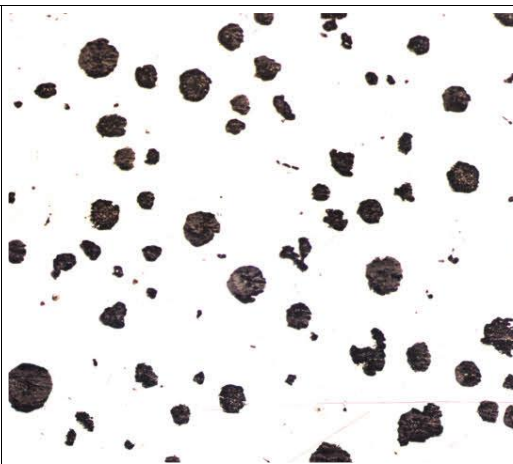
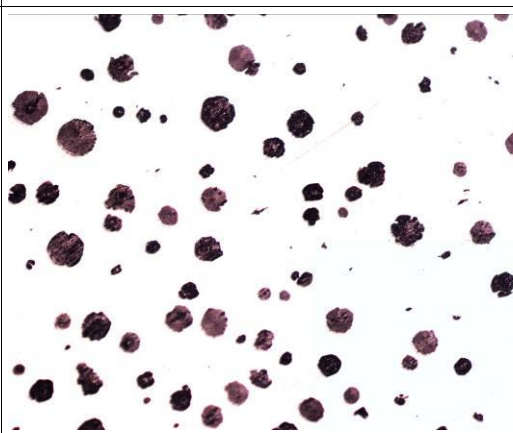
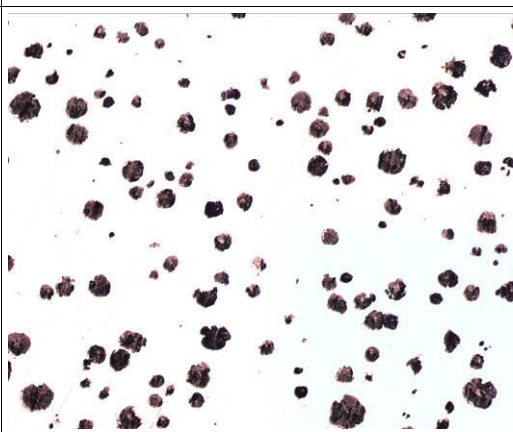
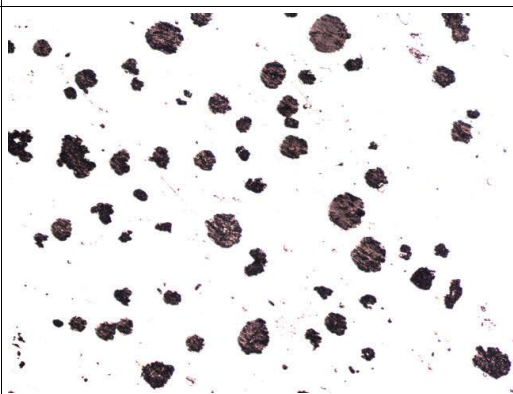
Tabela 4.6. Uzyskiwane w wytopach składy chemiczne żeliwa

Skład chemiczny żeliwa po sferoidyzacji					
	Wytop Z4.1	Wytop Z4.2	Wytop Z4.3	Wytop Z4.4	Wytop Z4.5
C %	3,60	3,57	3,65	3,61	3,58
Si %	2,48	2,66	2,62	2,54	2,49
Mn %	0,135	0,132	0,127	0,130	0,125
P %	0,022	0,024	0,021	0,021	0,022
S %	0,012	0,010	0,013	0,011	0,012
Mg %	0,050	0,057	0,051	0,042	0,034

Tabela 4.7. Wybrane struktury metalograficzne w próbkach pobieranych z wlewków Y2

Wytop	Zdjęcie struktury badanego żeliwa – przed trawieniem	Wydzielenia grafitu
Z4.1		81 kulek/mm ²



Z4.2		79 kulek/mm ²
Z4.3		90 kulek/mm ²
Z4.4		109 kulek/mm ²
Z4.5		60 kulek/mm ²

3. Wytopy żeliwa Z4.6 – Z4.10

Prace polegały na przeprowadzeniu w odlewni pięciu wytopów żeliwa Z.4.6 – Z4.10 w dwóch piecach indukcyjnych średniej częstotliwości o pojemności 6 ton.

Zestawienie materiałów wsadowych zastosowanych w Z4.6 – Z4.10 przedstawiono w tabelach 4.8 – 4.12. W kolejnych wytopach zmieniano ilości stosowanych modyfikatorów na 1, 2 i 3 stopniu modyfikacji. Ilości modyfikatora na poszczególnych stopniach modyfikacji zestawiono w tabeli 4.13.

Tabela 4.8. Wytop Z4.6 – materiały wsadowe

WYTOP NR 25 (ZAD 4 – Z4.6)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	18
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	24
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 4.9. Wytop Z4.7 – materiały wsadowe

WYTOP NR 26 (ZAD 4 – Z4.7)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	24
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	24
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 4.10. Wytop Z4.8 – materiały wsadowe

WYTOP NR 27 (ZAD 4 – Z4.8)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30

Modyfikator Innocast 2 - 6mm	24
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 4.11. Wytóp Z4.9 – materiały wsadowe

WYTOP NR 28 (ZAD 4 – Z4.9)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	27
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

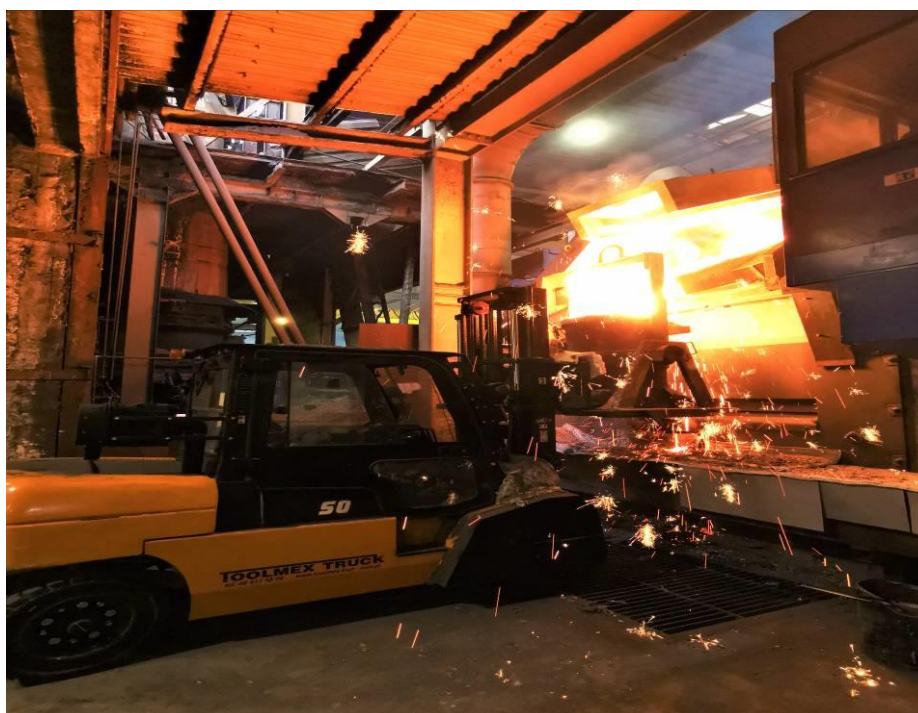
Tabela 4.12. Wytóp Z4.10 – materiały wsadowe

WYTOP NR 29 (ZAD 4 – Z4.10)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

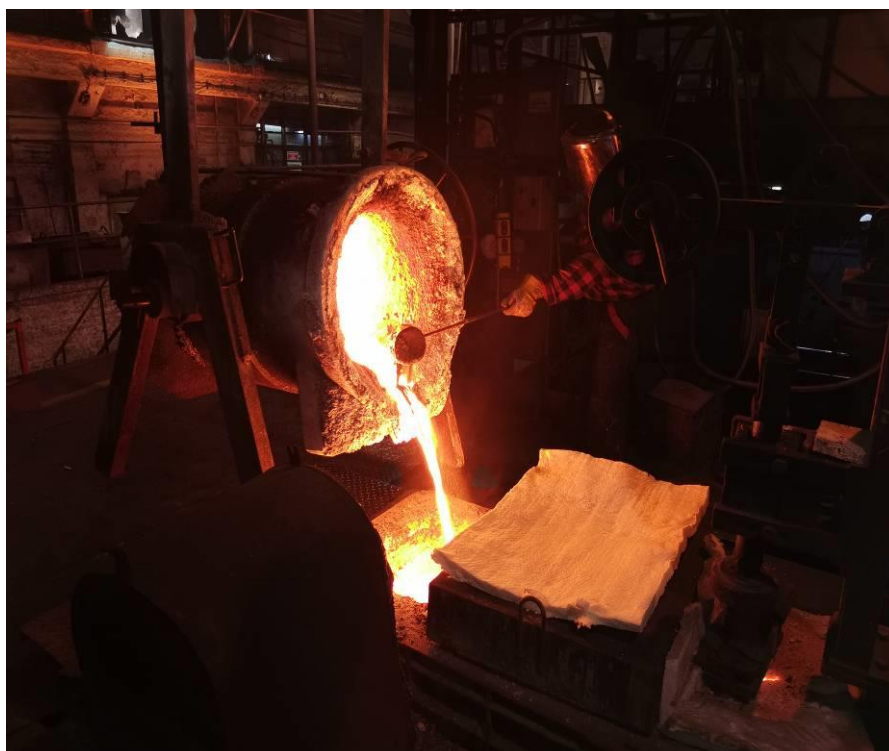
Tabela 4.13. Zestawienie ilości modyfikatora na poszczególnych stopniach modyfikacji w wyciupach Z4.6 – Z4.10

	I stopień modyfikacji (na strugę, przy przelewaniu metalu z pieca do kadzi)	II stopień modyfikacji (na strugę, przy przelewaniu metalu z kadzi do zalewarki)	III stopień modyfikacji (na strugę, podczas zalewania)
Wytóp Z.4.6	Innocast 2 – 12 kg	Zircinoc – 18 kg	Innocast 2 – 12 kg
Wytóp Z.4.7	Innocast 2 – 12 kg	Zircinoc – 24 kg	Innocast 2 – 12 kg
Wytóp Z.4.8	Innocast 2 – 12 kg	Zircinoc – 30 kg	Innocast 2 – 12 kg
Wytóp Z.4.9	Innocast 2 – 12 kg	Zircinoc – 30 kg	Innocast 2 – 15 kg
Wytóp Z.4.10	Innocast 2 – 15 kg	Zircinoc – 30 kg	Innocast 2 – 15 kg

Topienie żeliwa prowadzono w dwóch piecach indukcyjnych średniej częstotliwości o pojemności 6 ton. Czas topienia w piecu trwał około 60 minut. Po osiągnięciu preferowanego składu wyjściowego i osiągnięciu wymaganej temperatury przegrzania, która wynosiła 1520 – 1550°C, dokonywano zabiegu rafinacji żeliwa przy pomocy lancy. Skład chemiczny badano metodą spektralną na wcześniej odlewanych próbkach kontrolnych. Czas rafinacji żeliwa wynosił 2 minuty. Następnie metal przelewano do kadzi smukłej, przeznaczonej do zabiegu sferoidyzacji. Podczas przelewania metalu z pieca do kadzi dokonywano pierwszej modyfikacji na strugę (I stopień modyfikacji – rys. 4.7). Następnie kadź została przetransportowana na stanowisko do zabiegu sferoidyzacji metodą przewodu elastycznego PE. Po procesach sferoidyzacji i rafinacji gazowej w kadzi metal transportowano na stanowisko zalewarki. II stopień modyfikacji przeprowadzano metodą na strugę podczas przelewania metalu z kadzi do zalewarki (rys. 4.8). Ostatni III stopień modyfikacji przeprowadzano metodą na strugę podczas zalewania próby kontrolnej YII (rys.4.9). Badania metalograficzne wykonywano w laboratorium zakładowym, które wyposażone jest w mikroskop optyczny Nikon MA 100. Do oceny poszczególnych faz w żeliwie próbki trawiono Nitałem. Badania metalograficzne realizowano zgodnie z PN – EN 945 – 1. Wyniki badań metalograficznych zestawiono w tabeli 4.14.



Rys.4.7. Przelewanie żeliwa wyjściowego z pieca do kadzi smukłej.
Pierwszy stopień modyfikacji.



Rys. 4.8. Modyfikacja żeliwa w trakcie przelewania metalu do zalewarki. Drugi stopień modyfikacji.



Rys.4.9. Modyfikacja żeliwa podczas zalewania próby kontrolnej YII. Trzeci stopień modyfikacji.

Tabela 4.14. Wyniki badań metalograficznych

	Rodzaj osnowy (feryt/perlit) [%]	Stopień sferoidyzacji [%]	Wydzielenia grafitu [kulek/mm ²]
Wytop Z.4.6	97/3	92	110
Wytop Z.4.7	99/1	93	118
Wytop Z.4.8	98/2	91	135
Wytop Z.4.9	99/1	90	160
Wytop Z.4.10	99/1	91	183

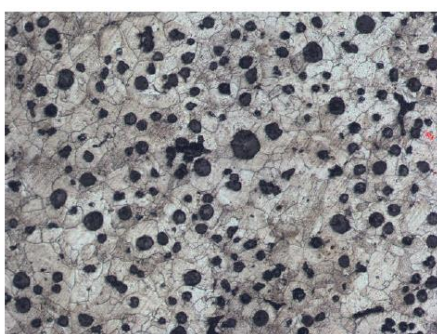
3. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań wybrano metodę sferoidyzacji za pomocą drutu elastycznego o średnicy 13 mm oraz dobrano parametry podawania drutu. Badania potwierdziły konieczność stosowania trzystopniowej modyfikacji. Najbardziej korzystną strukturę (z największą liczbą wydzieleń grafitu i najwyższym udziałem ferrytu w osnowie) i zespół właściwości mechanicznych uzyskano w wytopie Z4.10, z potrójną modyfikacją (rys. 4.10). Na podstawie wyników dobrano optymalne ilości i rodzaje modyfikatorów.

Badania pokazały że w dalszym ciągu należy podejmować działania mające na celu podniesienie skłonności do zarodkowania grafitu. Wytopione żeliwo charakteryzuje się niską liczbą wydzieleń grafitu max. 60-183/mm² co jest efektem niskiej zdolności do grafityzacji.

Result

Total Count:	183
Nodularity:	91
Graphite Ratio [%]:	11,756
Ferrite Ratio [%]:	99
Pearlite Ratio [%]:	1



Rys. 4.10. Struktura żeliwa uzyskana w wytopie Z4.10 (z potrójną modyfikacją i dwustopniową rafinacją gazową)

W kolejnych wytopach należało dążyć do podniesienia zdolności do grafityzacji. Konieczne było wyznaczenie optymalnych wartości kluczowych parametrów procesu takich jak skład wsadu, czasy i temperatury metalu poszczególnych etapów procesu i ich skuteczna kontrola. Podczas wytopów zauważono, że czas procesów od przelania metalu z pieca do dostarczenia go do

zalewarki jest zbyt długi co wiąże się ze zbyt dużymi spadkami temperatury. Zaobserwowano zbyt niską temperaturę żeliwa po procesie rafinacji w kadzi - wynoszącą tylko 1340°C oraz temperaturę w zalewarce poniżej 1300°C. Zbyt niska temperatura podczas drugiego i trzeciego stopnia modyfikacji może prowadzić do tego, że modyfikacja przestaje być skuteczna (w temperaturze poniżej 1320°C nie rozpuszczają się w pełni modyfikatory), co jest potwierdzone zbyt małą liczbą wydzieleni grafitu w przeprowadzonych wytopach. W dalszym ciągu należy także podejmować działania zwiększające udział ferrytu w osnowie żeliwa związane z rygorystycznym przestrzeganiem procedury wytopu i kontrolą składu złomu stalowego.

Zadanie 5

Opracowanie optymalnych wartości kluczowych parametrów procesu i wdrożenie metod ich kontroli

1. Wprowadzenie

Badania wykonane w zadaniach 2-4 pokazały, że w dalszym ciągu należy podejmować działania mające na celu podniesienie skłonności do zarodkowania grafitu. Wytopione żeliwo charakteryzuje się niską liczbą wydzieliń grafitu co jest efektem niskiej zdolności do grafityzacji. W kolejnych wytopach należy dążyć do podniesienia zdolności do grafityzacji. **Konieczne jest opracowanie optymalnych wartości kluczowych parametrów procesu takich jak skład wsadu, czasu i temperatury poszczególnych etapów procesu i ich skuteczna kontrola. Podczas wytopów zauważono, że czas procesów od przelania metalu z pieca do dostarczenia go do zalewarki jest zbyt długi co wiąże się ze zbyt dużymi spadkami temperatury. Zaobserwowano zbyt niską temperaturę żeliwa po procesie rafinacji w kadzi - wynoszącą tylko 1340°C oraz temperaturę w zalewarce poniżej 1300°C. Zbyt niska temperatura podczas drugiego i trzeciego stopnia modyfikacji może prowadzić do tego, że modyfikacja przestaje być skuteczna (w temperaturze poniżej 1320°C nie rozpuszczają się w pełni modyfikatory), co jest potwierdzone zbyt małą liczbą wydzieliń grafitu w przeprowadzonych wytopach.**

W dalszym ciągu należy także podejmować działania zwiększające udział ferrytu w osnowie żeliwa związane z rygorystycznym przestrzeganiem procedury wytopu i kontrolą składu złomu stalowego.

W ramach Zadania 5 wykonana została seria 8 wytopów w dwóch piecach (wytopiono 48 ton żeliwa) na podstawie których dobrane zostały kluczowe parametry procesu takie jak skład żeliwa, graniczne temperatury podczas procesów obróbki żeliwa, maksymalne czasy trwania procesu od momentu przelania żeliwa z pieca do rozpoczęcia procesu zalewania oraz określone zostały optymalne temperatury zalewania. W ramach zadania opracowane i wdrożone zostały także nowe metody kontroli jakości żeliwa na etapie topienia, sferoidyzacji, rafinacji i modyfikacji. Wynikiem działań wykonanych w zadaniu 5 jest opracowanie instrukcji wytwarzania żeliwa sferoidalnego gat. EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT.

2. Wykonanie serii próbnych wytopów (Z5.1 – Z5.8)

Żeliwo wytapiano równolegle w dwóch piecach. W pierwszej kolejności w wytopach Z5.1 – Z5.4 wytapiano żeliwo w kierunku uzyskania gatunku EN-GJS-400-18-LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabelach 5.1-5.4, a uzyskane składy chemiczne zestawiono w tabeli 5.5.

Tabela 5.1. Wytop Z5.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 30 (ZAD 5 – Z5.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	86
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	124

Tabela 5.2. Wytop Z5.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 31 (ZAD 5 – Z5.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	88
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.3. Wytop Z5.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 32 (ZAD 5 – Z5.3)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	92
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	128

Tabela 5.4. Wytop Z5.4 – materiały wsadowe

WYTOP NR 33 (ZAD 5 – Z5.4)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.5. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w wytopach Z5.1 i Z5.4

Skład chemiczny żeliwa				
	Wytop Z5.1	Wytop Z5.2	Wytop Z5.3	Wytop Z5.4
C %	3,54	3,61	3,69	3,65
Si %	2,58	2,55	2,60	2,63
Mn %	0,130	0,133	0,125	0,135
P %	0,022	0,021	0,020	0,021
S %	0,013	0,012	0,013	0,011
Mg %	0,042	0,047	0,050	0,044
Al %	0,011	0,014	0,017	0,015
Cu %	0,018	0,016	0,014	0,016
Cr %	0,024	0,021	0,020	0,022
Ni %	0,022	0,017	0,018	0,020
V %	0,0013	0,0015	0,0014	0,0013
Sn %	0,004	0,005	0,003	0,004

W drugiej serii wytopów (Z5.5 – Z5.8) wytapiano żeliwo w kierunku uzyskania gatunku EN-GJS-350-22-LT. W kolejnych wytopach (Z5.6 – Z5.8) zwiększano udział surówki w przy jednoczesnym obniżaniu zawartości złomu żeliwnego i stalowego w materiałach wsadowych. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabelach 5.6-5.9, a uzyskane składy chemiczne zestawiono w tabeli 5.10. Przeprowadzone wytopy pozwoliły na ustalenie optymalnych składów chemicznych żeliwa. Dla żeliwa do pracy w temperaturze -40°C - EN-GJS-350-22-LT, dla którego wymagana jest wyższa plastyczność dobrany został skład, w którym w stosunku do żeliwa EN-GJS-400-18-LT obniżono zawartość krzemu do poziomu 2.35÷2.45 przy równoczesnym zwiększeniu zawartość węgla do poziomu 3.65÷3.85.

Podczas wytopów próbnych przeprowadzono badania, w których korygowano parametry procesu opracowane w zadaniach 1 – 4 oraz wprowadzano nowe metody kontroli jakości żeliwa na etapie topienia, sferoidyzacji, rafinacji i modyfikacji.

Tabela 5.6. Wytop Z5.5 – materiały wsadowe

WYTOP NR 34 (ZAD 5 – Z5.5)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	39
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	100
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.7. Wytop Z5.6 – materiały wsadowe

WYTOP NR 35 (ZAD 5 – Z5.6)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3200
Złom żeliwny obiegowy	1400
Złom stalowy W-4	1400
Żelazokrzem Fe Si 75	38
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	99
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.8. Wytop Z5.7 – materiały wsadowe

WYTOP NR 36 (ZAD 5 – Z5.7)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3400
Złom żeliwny obiegowy	1300
Złom stalowy W-4	1300
Żelazokrzem Fe Si 75	35
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	97
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.9. Wytop Z5.8 – materiały wsadowe

WYTOP NR 37 (ZAD 5 – Z5.8)	
------------------------------------	--

Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 5.10. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w wytopach Z5.5 i Z5.8

	Skład chemiczny żeliwa			
	Wytop Z5.5	Wytop Z5.6	Wytop Z5.7	Wytop Z5.8
C %	3,81	3,79	3,69	3,75
Si %	2,41	2,45	2,35	2,37
Mn %	0,135	0,130	0,125	0,125
P %	0,021	0,022	0,020	0,020
S %	0,013	0,012	0,012	0,010
Mg %	0,044	0,046	0,041	0,039
Al %	0,012	0,011	0,014	0,011
Cu %	0,018	0,020	0,017	0,014
Cr %	0,026	0,022	0,020	0,022
Ni %	0,022	0,018	0,019	0,016
V %	0,0015	0,0015	0,0014	0,0015
Sn %	0,005	0,004	0,005	0,003

3. Analiza parametrów procesu wytwarzania żeliwa (czasu i temperatury poszczególnych etapów procesu)

Skład chemiczny jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym dla uzyskania oczekiwanych właściwości żeliwa sferoidalnego. W obróbce pozapiecowej żeliwa, która obejmuje sferoidyzację i modyfikację, ważną rolę odgrywa temperatura żeliwa zarówno podczas procesów sferoidyzacji, modyfikacji i podczas zalewania. Drugim ważnym czynnikiem wywierającym wpływ na końcową strukturę żeliwa i wszystkie jego właściwości jest czas mierzony od momentu sferoidyzacji i modyfikacji.

Podczas wytopów w zadaniach 1 – 4 zauważono, że czas procesów od przelania metalu z pieca do dostarczenia go do zalewarki jest zbyt długi co wiąże się ze zbyt dużymi spadkami temperatury. Zaobserwowano zbyt niską temperaturę żeliwa po procesie rafinacji w kadzi - wynoszącą tylko 1340°C oraz temperaturę w zalewarce poniżej 1300°C. Zbyt niska temperatura podczas drugiego i trzeciego stopnia modyfikacji może prowadzić do tego, że modyfikacja przestaje być skuteczna (w temperaturze poniżej 1320°C nie rozpuszczają się w pełni modyfikatory), co jest potwierdzone zbyt małą liczbą wydzieleń grafitu w przeprowadzonych wytopach. W związku z tym w zadaniu 5 podczas wytopów Z.5.1 – Z5.8 przeprowadzono analizę temperatury i czasów poszczególnych elementów procesu wytwarzania żeliwa. Wyniki analizy uwzględnione zostały w opracowanych instrukcjach wytwarzania żeliwa sferoidalnego.

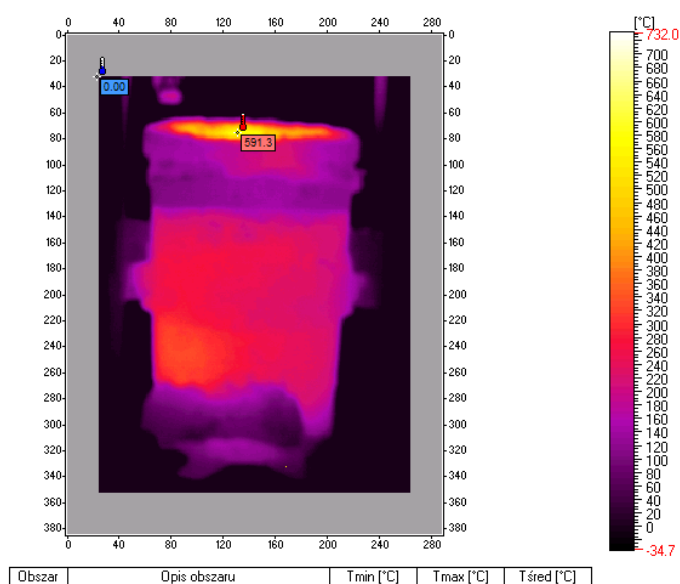
Wykonano badania temperatur żeliwa i kadzi przy użyciu digilancy pomiarowej (rys. 5.1) i kamery termowizyjnej VIGOcam V50 (rys. 5.2). Wykonano pomiary temperatury żeliwa w piecu, w kadzi przed procesem i po procesie sferoidyzacji, w kadzi po procesie rafinacji i w zalewarce. Badano także temperaturę kadzi przed przelaniem żeliwa z pieca i po wylaniu metalu z kadzi oraz temperaturę żeliwa podczas procesu rafinacji. Przykładowe wyniki pomiarów pokazano na rysunkach 5.3 – 5.9.

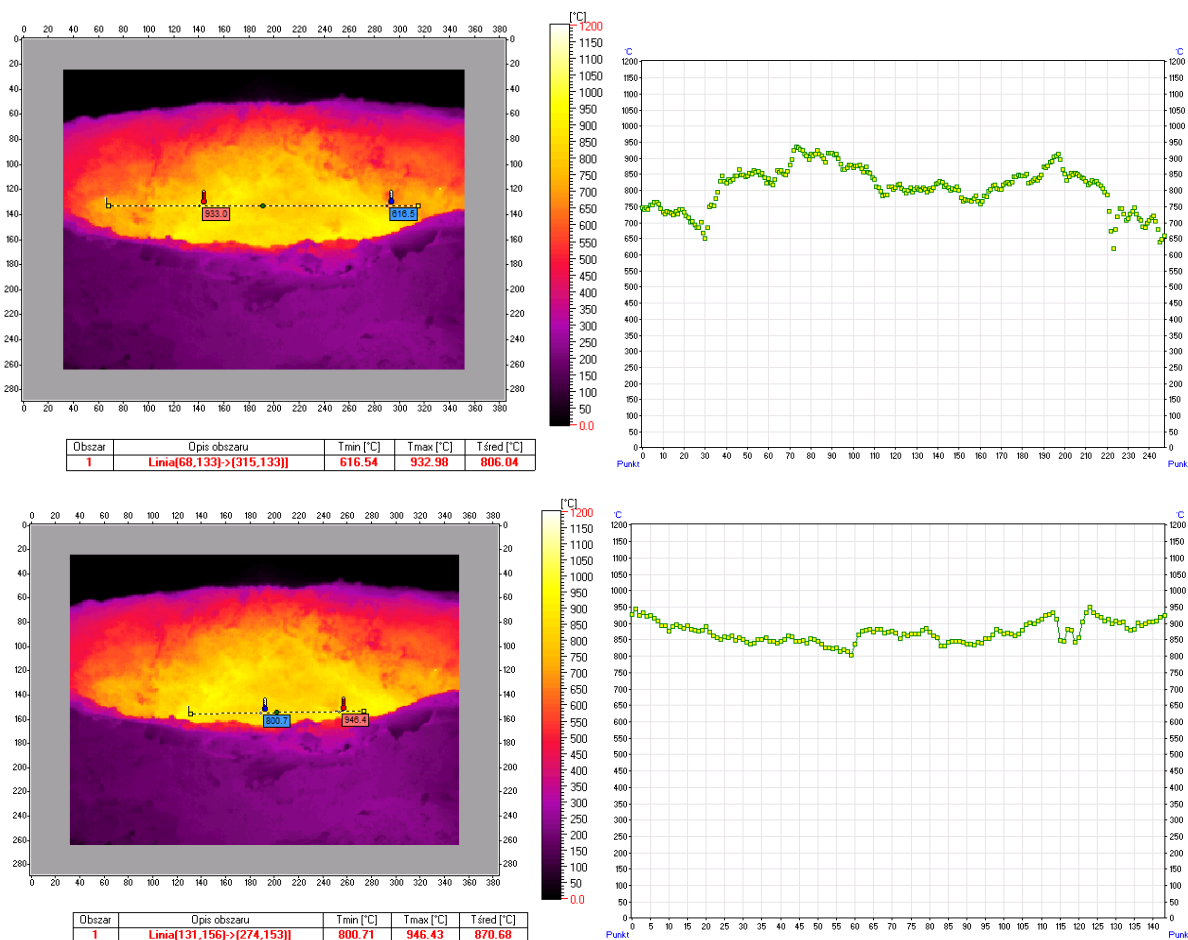


Rys. 5.1. Pomiar temperatury żeliwa w piecu przy użyciu Digilancy.

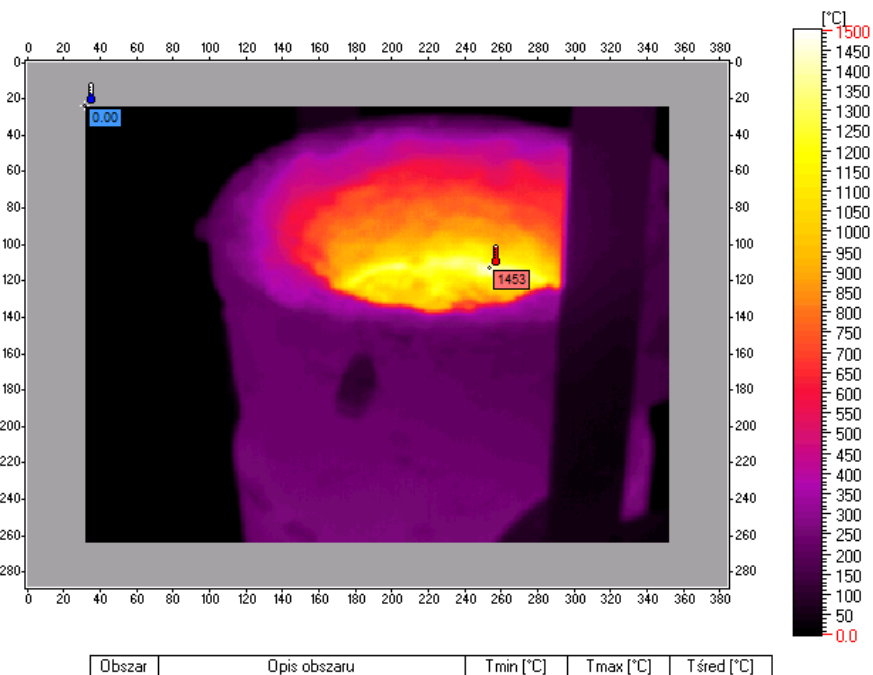


Rys. 5.2. Kamera termowizyjna VIGOcam V50

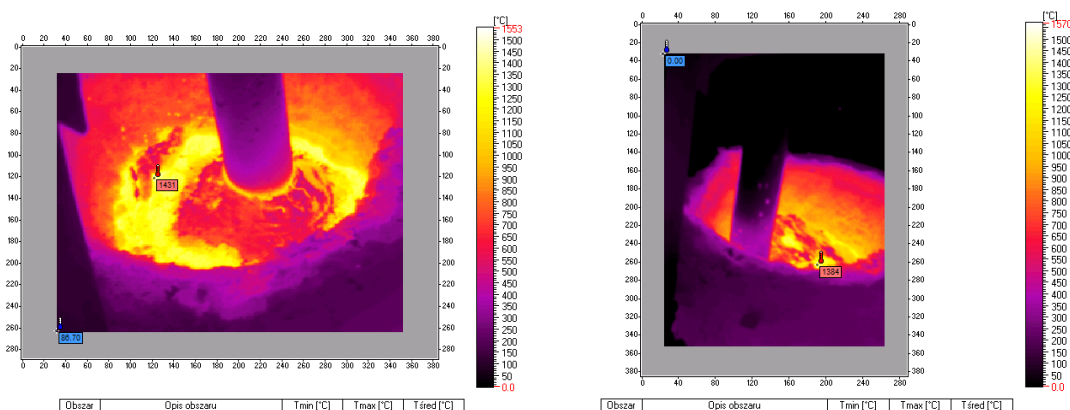




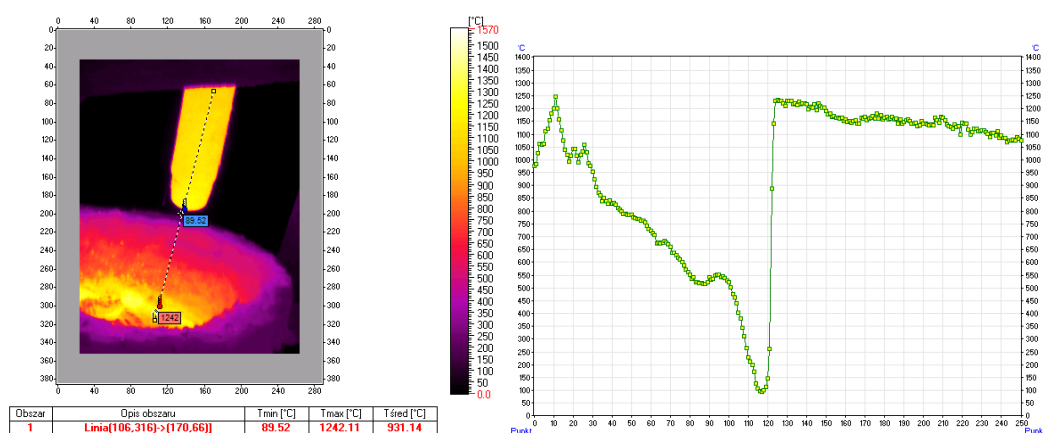
Rys. 5.3. Rozkład temperatury w kadzi przed przelaniem żeliwa z pieca.



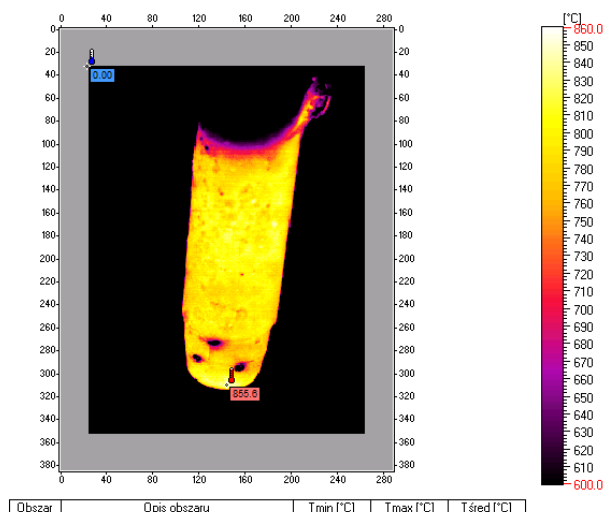
Rys. 5.4. Pomiar temperatury żeliwa w kadzi

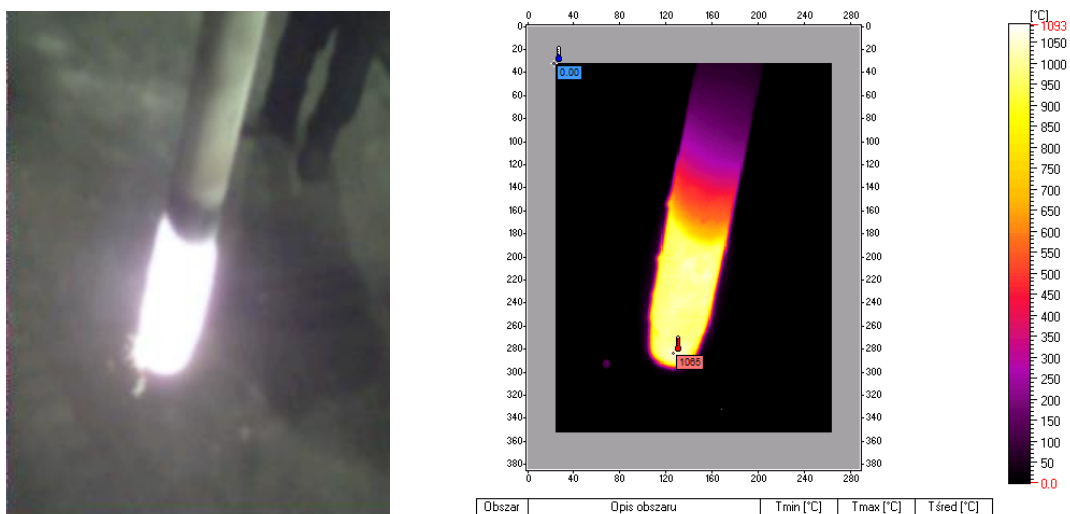


Rys. 5.5. Pomiar temperatury żeliwa w kadzi podczas procesu rafinacji.

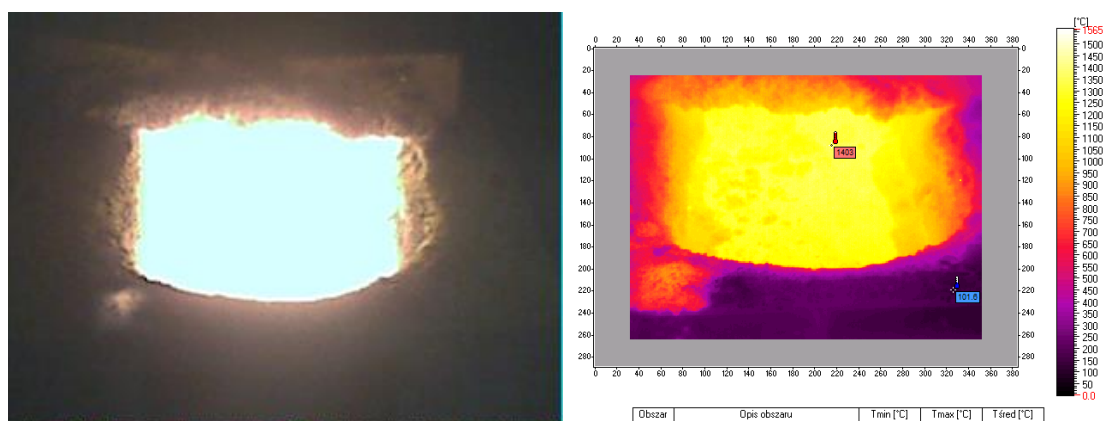


Rys. 5.6. Rozkład temperatury po zakończeniu procesu rafinacji

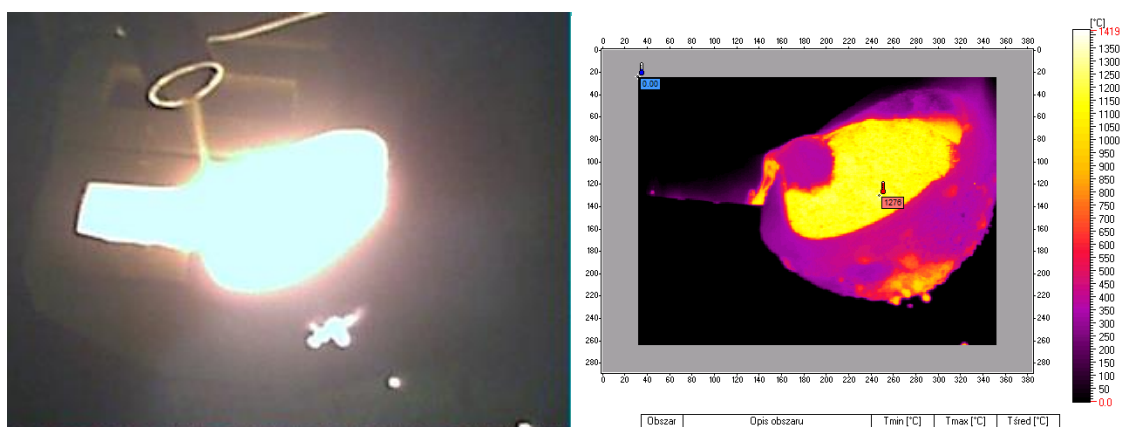




Rys. 5.7. Temperatura lancy po zakończeniu procesu rafinacji



Rys. 5.8. Pomiar temperatury żeliwa w zalewarce.



Rys. 5.9. Rozkład temperatury podczas procesu modyfikacji na strugę

Pomiarów dokonywano dla wyjściowej temperatury żeliwa w piecu w przedziale od 1500 do 1550 °C.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono zbyt duże spadki temperatury żeliwa podczas procesu wytwarzania żeliwa sferoidalnego, które były wynikiem zbyt dużych czasów poszczególnych operacji. Do dużych spadków temperatury podczas procesu przygotowania żeliwa przyczyniała się też zbyt niska temperatura początkowa kadzi, której spadek był wynikiem zbyt długich przerw pomiędzy kolejnymi wytopami. Czas od momentu rozpoczęcia przelewania metalu z pieca do kadzi do czasu zakończenia przelewania metalu z kadzi do zalewarki wynosił od 11 do 13 min. Zaobserwowano, że największy negatywny wpływ na czas procesu ma operacja rafinacji w kadzi z użyciem lancy z końcówką gazoprzepuszczalną (6 - 8 min). Przeprowadzenie rafinacji wymaga wykonania następujących czynności:

- transport kadzi przy użyciu wózka widłowego ze stanowiska do sferoidyzacji na stanowisko do rafinacji,
- pomiar temperatury przy użyciu digilancy,
- podniesienie lancy przy użyciu suwnicy (wykorzystywanej wcześniej do umieszczenia kadzi na wózku),
- umieszczenie i ustawienie pionowo lancy w kadzi (rys. 5.10),
- przeprowadzenie procesu rafinacji,
- podniesienie i odstawienie lancy.



Rys. 5.10. Rafinacja w kadzi – umieszczanie lancy w kadzi.

Dodatkowo procesy sferoidyzacji i rafinacji w kadzi odbywają się w bardzo ciasnych miejscach, do których jest utrudniony dostęp co wpływa na wydłużenie czasu procesu.

W związku z tym podjęto decyzję o przebudowie stanowisk i zastąpieniu rafinacji przy użyciu lancy, kadzią z zamontowaną wkładką gazoprzepuszczalną.

Kadź z zamontowaną w dnie wkładką gazoprzepuszczalną i systemem doprowadzenia gazu pokazano na rysunku 5.11. Wprowadzona zmiana spowodowała skrócenie czasu potrzebnego na przygotowanie i wykonanie procesu rafinacji w kadzi (rys. 5.12) do 2 minut. W związku z tym czas mierzony od momentu sferoidyzacji do rozpoczęcia procesu zalewania został skrócony do 5 minut. Co jest bardzo korzystne ponieważ ten czas jest ważnym czynnikiem wywierającym wpływ na końcową strukturę żeliwa i wszystkie jego właściwości. Wszystkie obserwacje wynikające z przeprowadzonych pomiarów zostały uwzględnione w instrukcjach wytwarzania żeliwa sferoidalnego gat. EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT, których opracowanie było wynikiem zadania 5.





Rys. 5.11. Kadź w zamontowaną wkładkę gazoprzepuszczalną.





Rys. 5.12. Proces rafinacji w kadzi z wkładką gazoprzepuszczalną

4. Kontrola jakości żeliwa na etapie topienia i sferoidyzacji

Monitorowanie przebiegu procesu wytwarzania żeliwa w procesie z podwójną rafinacją powinno być realizowane kilkoma metodami. Jest to szczególnie ważne na etapie wdrażania tej nowej technologii.

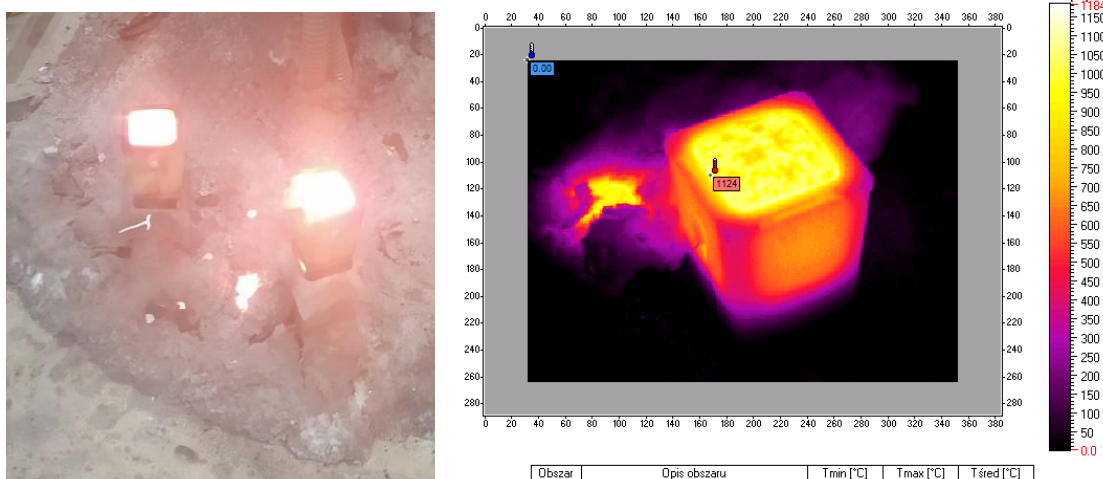
Obok standardowej analizy spektrometrycznej składu chemicznego wprowadzono metodę analizy termicznej derywacyjnej ATD w celu kontrolowania wskaźników składu chemicznego: stopnia nasycenia eutektycznego Sc oraz równoważnika węglowego CE (analiza termiczna jest, w zakresie wyznaczania tych dwóch kluczowych wskaźników składu chemicznego żeliwa, mniej zawodna, niż analiza spektralna). Dlatego AGH zaleca się jej wdrożenie. Wszystkie wytypy próbne w skali mikro (próby w AGH) były prowadzone z wykorzystaniem analizy termicznej.

W Odlewni Żeliwa Drawski wdrożono metodę analizy termicznej - system ITACA w wersji z odlewaniem równolegle dwóch kubków próbnych, co jest konieczne dla szybkiej oceny zawartości Si w żeliwie. Zawartość Si jest podstawową wielkością decydującą o strukturze ferrytycznej żeliwa (musi być utrzymywana w wąskim paśmie zakresu zmienności).

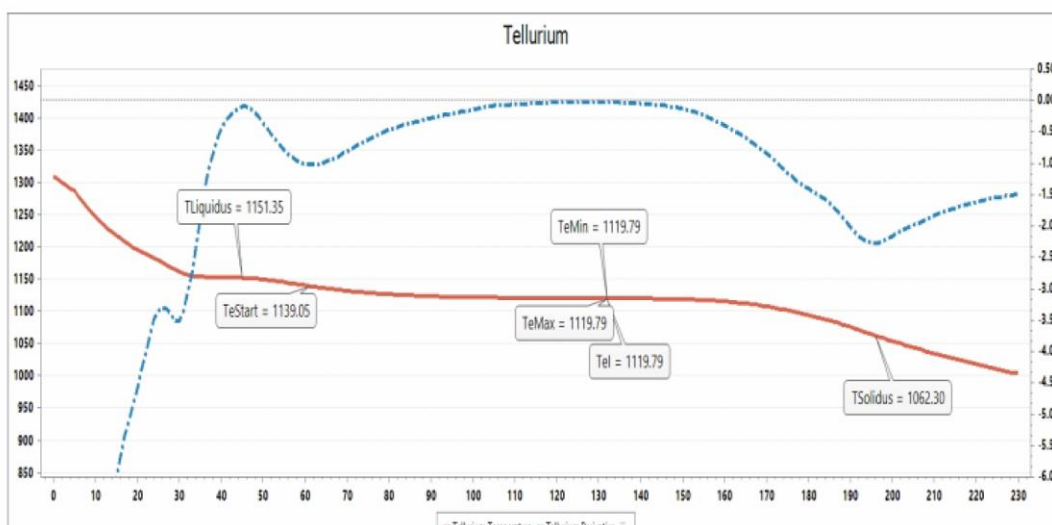
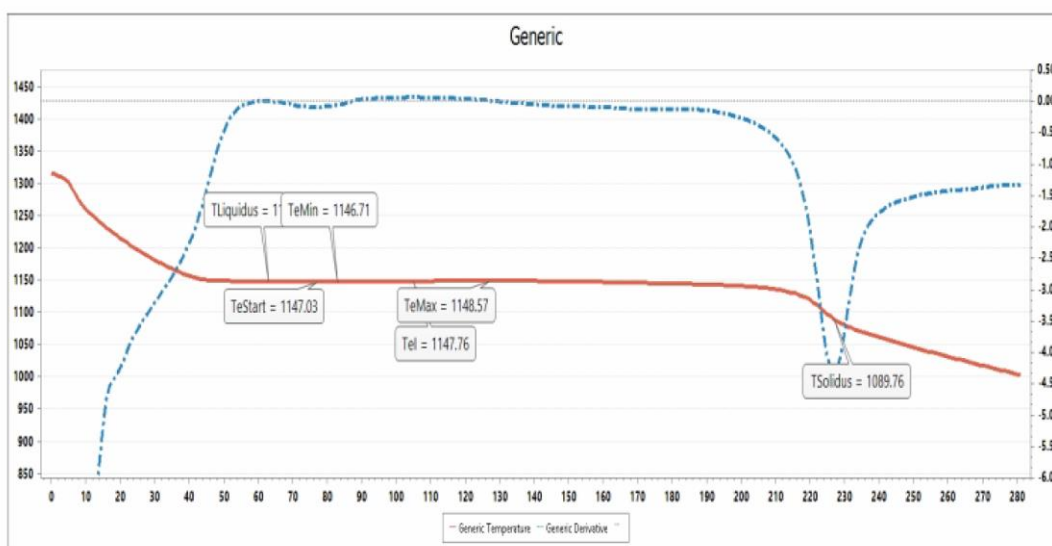
W Odlewni przy piecach indukcyjnych wykonano dwa stanowiska poboru próbek do analizy systemu ITACA, po jednym dla każdego tygla, oraz jedno stanowisko przy zalewarce linii formierskiej Disamatic do analizy stopu końcowego (po wykonaniu zabiegu sferoidyzacji i modyfikacji). Stanowiska poboru próbek i proces odlewania próbek pokazano na rysunku 5.13.

Przykładowe wyniki analizy uzyskane w systemie ITACA pokazano na rysunkach 5.14 (krzywe stygnięcia, dT/dt i temperatury charakterystyczne) i 5.15.

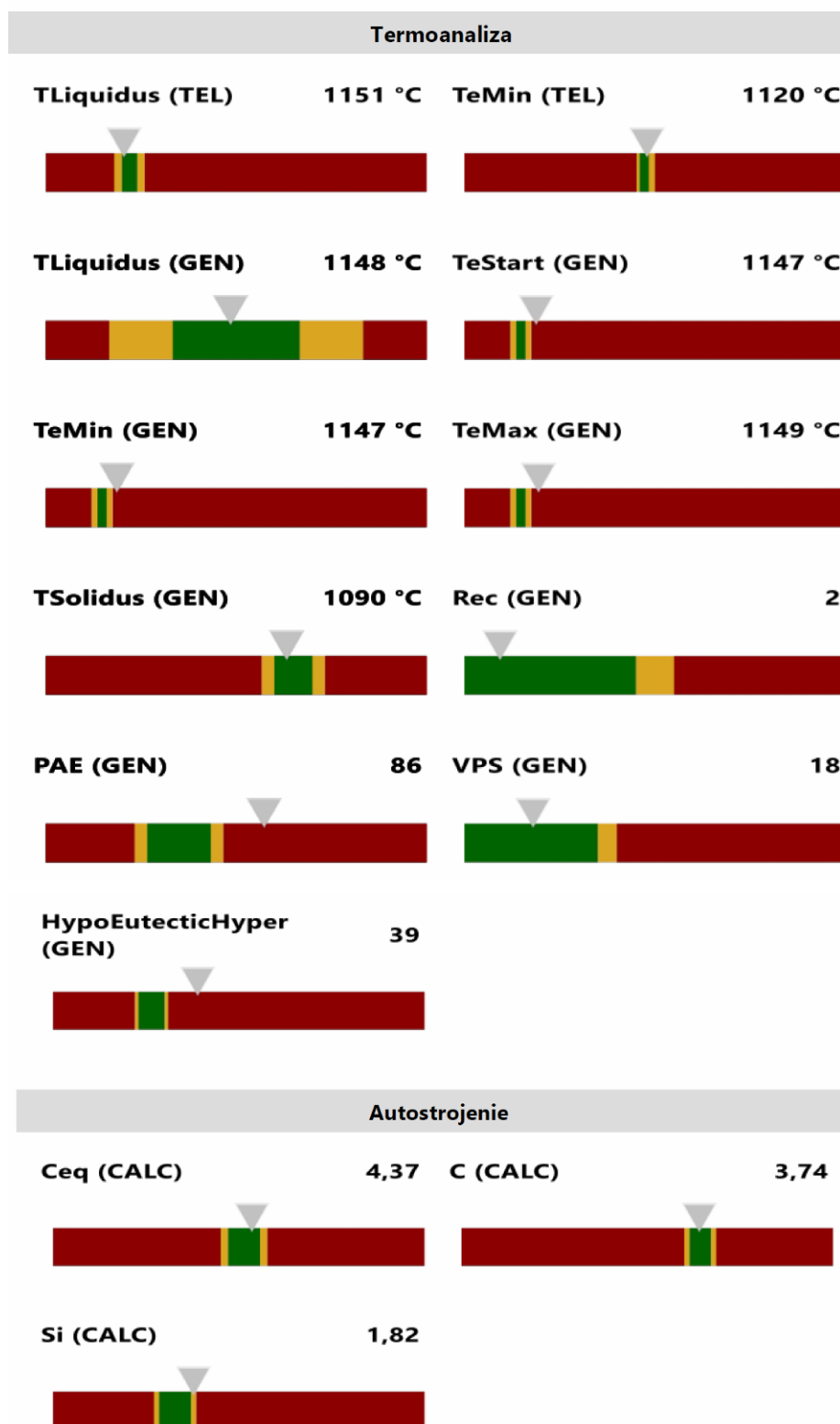




Rys. 5.13. System ITACA – dwa stanowiska poboru próbek do analizy systemu ITACA po jednym dla każdego tygla.



Rys. 5.14. System ITACA – krzywe stygnięcia



Rys. 5.15. System ITACA – wyniki analizy termicznej

Badania ultradźwiękowe.

Technika ultradźwiękowa jest podstawowym narzędziem w ocenie postaci wydzieliń grafitu w żeliwie. W ciągu procesu technologicznego powinna być ona stosowana na kilku etapach. Ocena żeliwa w próbkach i odlewach opiera się na wyznaczeniu wartości szybkości rozchodzenia się fali w żeliwie, a na tej podstawie dokonuje się oceny postaci wydzieliń grafitu. Badania tej cechy żeliwa są szczególnie ważne w okresie dochodzenia do optymalnych parametrów technologii wytwarzania danego gatunku żeliwa.

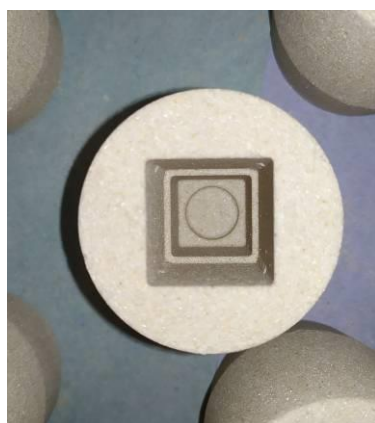
W Odlewni Drawski przy zalewarce przygotowano stanowisko do oceny skuteczności zabiegu sferoidyzacji żeliwa bezpośrednio po jego przeprowadzeniu (a przed rozlaniem metalu do form) z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej opracowanej przez AGH. Test ten pozwala na szybką ocenę żeliwa, z punktu widzenia kulistości wydzieliń grafitu. Metoda polega na odlaniu szybko stygnącej próbki, schłodzeniu jej w końcowej fazie w wodzie do temperatury otoczenia i wykonaniu pomiaru prędkości propagacji fali ultradźwiękowej. Wymiary próbki zostały tak dobrane, aby czas stygnięcia i czas wykonania pełnej oceny żeliwa nie trwały sumarycznie dłużej niż 2 minuty. Prędkość fali w próbce jest podstawowym kryterium oceny skuteczności procesu sferoidyzacji i stanowi podstawę o skierowaniu metalu do zalewania form. Przyjęto minimalną prędkość fali w próbce wynoszącą $\vartheta = 5640$ m/s.

Na rysunku 5.16 widoczny jest zestaw pomiarowy stosowany w ocenie stopnia sferoidyzacji żeliwa. Próbka wykonywana jest w rdzeniu pokazanym na rysunku 5.17. Prostopadłościenna próbka mająca kwadratowy przekrój (rys. 5.18) ułatwia wykonywanie szybkich pomiarów, co jest konieczne do prowadzenia procesu technologicznego. Prędkość fali w próbce jest podstawowym kryterium oceny skuteczności procesu sferoidyzacji i stanowi podstawę o skierowaniu metalu do zalewania form. We wdrożeniach przemysłowych metody przyjęto prędkość fali w próbce wynoszącą $\vartheta = 5640$ m/s jako prędkość minimalną.

Na rysunku 5.19 pokazano proces przygotowania próbki i pomiar na stanowisku do kontroli stopnia sferoidyzacji żeliwa, z widoczną próbką, głowicą i ultradźwiękowym próbnikiem materiałów.



Rys. 5.16. Zestaw pomiarowy stosowany w ocenie stopnia sferoidyzacji żeliwa



Rys. 5.17. Rdzenie do wykonywania próbek



Rys. 5.18. Prostopadłościenna próbka do badania prędkości fali



Rys. 5.19. Proces przygotowania próbki i pomiar na stanowisku do kontroli stopnia sferoidyzacji żeliwa

5. Instrukcja wytwarzania żeliwa sferoidalnego gat. EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT (Projekt)



INSTRUKCJA

Nr 4-2.05.00

PLANOWANIE I REALIZACJA PRODUKCJI

Wytwarzanie rafinowanego żeliwa sferoidalnego w
piecach indukcyjnych do pracy w niskich temperaturach
wg PN-EN 1563 z gatunku EN-GJS 400-18 LT , EN-GJS
350-22 LT

str. 89

Nazwisko i imię	Data	Podpis
Za zespół redagujący Pankowski Adam		
Sprawdził Popielarski Paweł		
Zatwierdził Jurga Tadeusz		
Przyjął do stosowania		
.....		

Niniejszy dokument jest własnością Odlewni Żeliwa „DRAWSKI” S.A. i nie może być zmieniany lub powielany bez zgody Pełnomocnika ds. Systemu Jakości i Środowiska.

ODLEWNIA ŻELIWA „DRAWSKI”, S.A.	PLANOWANIE I REALIZACJA PRODUKCJI	Instrukcja nr 4-2.05.00
		Wydanie 4
	Wytwarzanie żeliwa sferoidalnego gat. EN- GJS 400-18LT, EN-GJS 350-22LT	Rewizja 1
		Strona 2/

SPIS TREŚCI

9–	Cel instrukcji	3
10– 3	Przedmiot instrukcji	
11–	Zakres stosowania	3
12–	Odpowiedzialność	3
13– 3	Opis postępowania	
14–	Dokumenty związane z instrukcją	9
15–	Zmiany i poprawki	9
16–	Załączniki	9

ODLEWNIA ŻELIWA „DRAWSKI, S.A.”	PLANOWANIE I REALIZACJA PRODUKCJI	Instrukcja nr 4–2.05.00
		Wydanie 4
	Wytwarzanie żeliwa sferoidalnego z gatunku EN- GJS 400-18LT, EN-GJS 350-22LT	Rewizja 1
		Strona 2/

• CEL INSTRUKCJI

Celem niniejszej instrukcji jest określenie prawidłowego sposobu postępowania przy wytopie żeliwa sferoidalnego z podwójną rafinacją do pracy w niskich temperaturach.

• PRZEDMIOT INSTRUKCJI

Przedmiotem instrukcji jest przedstawienie sposobu wytwarzania żeliwa sferoidalnego z podwójną rafinacją z gatunku EN GJS 400-18LT, EN GJS 350-22LT wg PN EN 1563.

• ZAKRES STOSOWANIA

Instrukcja swoim zakresem obejmuje:

1. Wydział Odlewni
2. Dział Głównego Technologa
3. Dział Kontroli Jakości
4. Pełnomocnika ds. Systemu Jakości i Środowiska

4. ODPOWIEDZIALNOŚĆ

Odpowiedzialność za realizację postanowień niniejszej instrukcji jest następująca :

1. Wydział Odlewni odpowiedzialny jest za:

Wytop żeliwa zgodnie z niniejszą instrukcją
Przestrzeganie wymagań środowiskowych i BHP

2. Dział Głównego Technologa odpowiedzialny jest za aktualizację niniejszej instrukcji

3. Dział Kontroli Jakości odpowiedzialny jest za przeprowadzanie badań na odlanych w trakcie wytopu próbkach żeliwa.

4. Pełnomocnik ds. Systemu Jakości i Środowiska odpowiedzialny jest za emisję niniejszej instrukcji.

5. OPIS POSTĘPOWANIA

Wytop żeliwa wyjściowego przeprowadzany jest naprzemiennie w dwóch piecach indukcyjnych JUNKER średniej częstotliwości o pojemności 6000 ton.

ODLEWNIA ŻELIWA „DRAWSKI,, S.A.	PLANOWANIE I REALIZACJA PRODUKCJI	Instrukcja n 4–2.05.00
		Wydanie 4
	Wytwarzanie żeliwa sferoidalnego z gatunku EN- GJS 400-18LT, EN-GJS 350-22LT	Rewizja 1
		Strona 2/

5.1 Przygotowanie żeliwa wyjściowego do sferoidyzacji

- żeliwo wyjściowe należy wytapiać zgodnie z instrukcją obsługi pieca indukcyjnego (instrukcja 4-2.02.00) w oparciu o dyspozycje wsadowe i załadunkowe podane na tablicy na polu wsadowym
- dyspozycje wsadowo-załadunkowe wywiesza kierownik zmiany na tablicy na polu wsadowym. Odpowiedzialnym za prawidłowy załadunek wozów wsadowych jest operator suwnicy wraz z

obsługą pieca, nadzorującym kierownik zmiany, Udziały poszczególnych składników wsadu podano w **tabeli 1**

Tabela 1. Udziały poszczególnych składników we wsadzie pieca w zależności od wytapianego gatunku.

Gatunek żeliwa	Udział we wsadzie [%]	
	EN GJS 400 - 18LT	EN GJS 350 - 22LT
Surówka specjalna	50	60
Złom stalowy niskomanganowy	25	20
Złom obiegowy niskomanganowy	25	20

c) wymagany skład chemiczny żeliwa wyjściowego i końcowego po zabiegu sferoidyzacji dla gatunku GJS 400-18LT wytapać zgodnie z **tabelą nr 2** , dla **gatunku GJS 350-22LT zgodnie z tabelą nr 3** niniejszej instrukcji,

d) materiały do produkcji żeliwa sferoidalnego:

- surówka niskomanganowa specjalna (3,8-4,5%C, max 0,1% Mn, max 0,07% P, max 0,03%S)
- złom obiegowy niskomanganowego żeliwa sferoidalnego Mn max 0,2%
- złom stalowy niskomanganowy Mn max 0,2%
- żelazostopy (FeMn, FeSi75),
- sferoidyzator w postaci drutu elastycznego o średnicy 13 mm np. VHS 15-25, lub inny o podobnych parametrach
- zaprawa do sferoidyzacji żeliwa Lamet 5540 1-4mm, o zawartości Mg 6%, Re 0,25 – 0,4%, lub inna o podobnych parametrach
- dokonywać trzystopniowej modyfikacji żeliwa dwoma rodzajami modyfikatorów, modyfikator o granulacji 2 - 6 mm (strontowy) i 0,2-0,7mm (cyrkonowy),zgodnie z pkt.5.2

e) zalecany nabój wsadu metalowego do pieca zgodnie z **tabelą 1**

f) po każdorazowym wytopieniu metalu w piecu indukcyjnym wytapiacz metalu zgodnie z instrukcją 5-1.04.00 Odlewanie próbek kontrolnych w procesie produkcji żeliwa sferoidalnego po zabiegu szlakowania i rafinacji odlewa próbkę do badania składu chemicznego i próbki do analizy termicznej. Próbka składu chemicznego odbierana jest przez pracownika laboratorium w celu wykonania analizy. Wyniki analizy chemicznej podawane są wytapiaczowi i rejestrowane w zeszycie roboczym oraz w pamięci komputera. Wyniki z analizy termicznej wyświetlane są na pulpicie roboczym urządzenia ITAKA ,do analizy termicznej żeliwa. Metal wylewać do kadzi po osiągnięciu wymaganego składu chemicznego



- g) po wytopieniu żeliwa o wymaganym składzie wyjściowym i ściągnięciu żużla, wykonać pierwszą rafinację żeliwa ,rafinacji żeliwa w piecu dokonywać azotem w ilości 5l/h, laną z rotametrem zgodnie z punktem 5.3 ,
- h) rafinacji drugiego stopnia dokonywać po zabiegu odżużlania po procesie sferoidyzacji, ilość gazu ustawić na 5l/h zgodnie z punktem 5.3 rafinację prowadzić w kadzi z wkładką gazoprzepuszczalną zamontowaną w dnie kadzi z podłączonym rotametrem ,
- i) w celu zebrania żużla wytapiacz powinien wsypać na lustro metalu znajdującego się w piecu koagulator w ilości 0,1÷ 0,2 % oraz zebrać dokładnie żużel
- j) odbioru żeliwa z pieca indukcyjnego należy dokonywać za pomocą kadzi tyglowej z wkładką gazoprzepuszczalną o pojemności 750kg, zamocowanej na wózku transportowym, przeznaczonym do wożenia metalu, ważenia metalu dokonywać za pomocą wagi piecowej z rejestracją w zeszycie roboczym
- k) przed spustem metalu do kadzi dokonywać pomiaru temperatury żeliwa Digilaną z termoparą, zakres temperatury spustowej 1510 – 1530°C.

Tabela 2.Skład chemiczny żeliwa EN GJS 400-18LT

SKŁAD CHEMICZNY ŻELIWA - EN GJS 400-18 LT													
	Skład chemiczny żeliwa wyjściowego												Temp.Przegrzania
	C %	Si %	Mn % max	P% max	S% max	Cr % max	Mg %	Sn% max	Cu% max	Ni% max	CE	Sc	1510°-1530 [°C]
	3,65 3,75	- 1,65 1,75	- 0,15	0,04	0,03	0,03 5	-	0,005	0,02	0,04	4,15- 4,25	0,96- 0,98	
Skład chemiczny żeliwa po zabiegu sferoidyzacji													
Grubość ścianki [mm]	C %	Si %	Mn % max	P% max	S% max	Cr % max	Mg %	Sn% max	Cu% max	Ni% max	CE	Sc	Temp.Zalewania
6 - 12	3,60 3,65	- 2,60 2,65	- 0,15	0,04	0,01 5	0,01 5	0,035 0,045	- 0,005	0,02	0,04	4,4 4,45	- 1,02- 1,03	1350 - 1410
12 - 25	3,55 3,6	- 2,55 2,60	- 0,18	0,04	0,01 5	0,01 5	0,035 0,045	- 0,005	0,02	0,04	4,3 - 4,4	1 – 1,02	1340 - 1400

Tabela 3.Skład chemiczny żeliwa EN GJS 350-22LT.

SKŁAD CHEMICZNY ŻELIWA - EN GJS 350 - 22 LT													
	Skład chemiczny żeliwa wyjściowego												Temp.Przegrzania [°C]
	C %	Si %	Mn % max	P% max	S% max	Cr % max	Mg %	Sn% max	Cu% max	Ni% max	CE	Sc	1510°-1530
	3,8 – 3,9	1,5 – 1,6	0,15	0,04	0,015	0,015	0,035 - 0,045	0,005	0,02	0,04	4.25–4.4	0.99–1,02	
	Skład chemiczny żeliwa po zabiegu sferoidyzacji												
Grubość ścianki [mm]	C %	Si %	Mn % max	P% max	S% max	Cr % max	Mg %	Sn% max	Cu% max	Ni% max	CE	Sc	Temp.Zalewania [°C]
6 - 12	3,8 – 3,85	2,35 – 2,45	0,15	0,04	0,015	0,015	0,035 - 0,045	0,005	0,02	0,04	4,52-4,6	1,05 - 1,07	1370 - 1410
12 - 25	3,75 – 3,7	2,25 – 2,35	0,15	0,04	0,015	0,015	0,035 - 0,045	0,005	0,02	0,04	4,45-4,42	1,03 - 1,02	1360 - 1400

5.2 Rafinacja żeliwa

Prowadzić dwustopniową rafinację żeliwa azotem. Rafinacji pierwszego stopnia dokonywać w piecu indukcyjnym za pomocą lancy do rafinacji, po osiągnięciu składu wyjściowego, temperatury i zebraniu szlaki z lustra metalu. Rafinację drugiego stopnia wykonywać w kadzi uzbrojonej w wkładkę gazoprzepuszczalną.

5.2.1 Rafinacja pierwszego stopnia

Rafinacji pierwszego stopnia dokonywać za pomocą lancy do rafinacji, po osiągnięciu wymaganego składu chemicznego żeliwa wyjściowego w piecu i temperatury wyjściowej zgodnie z tabelą 2 i 3 niniejszej instrukcji. Przed zabiegiem rafinacji należy ściągnąć żużel z lustra metalu.

W celu stałej kontroli ciągłego przepływu i możliwości płynnej regulacji ilości podawanego gazu, lancę do rafinacji należy uzbroić w przepływomierz kulowy. Następnie uruchomić przepływ gazu przez lancę na pulpicie sterowania piecami nastawiając poniższe parametry:

- ciśnienie gazu 2 [bar],

- przepływ gazu 5 [l/min],
- czas rafinacji w piecu 90 s,
- czas przepływu gazu przez lancę 180s.

Przed zanurzeniem przez lancę musi przepływać gaz, (unosząca się kulka na zaworze)następnie należy wyregulować na zaworze kulowym ilość gazu na 5l/min. W tym momencie lanca jest gotowa do rafinacji. Następnie należy zanurzyć lancę w piecu na czas 90 sekund. W celu uniknięcia ryzyka zablokowania się kanałów przepływowych, po zakończonej rafinacji przez lancę musi przepływać gaz. Czas przepływu gazu po rafinacji wynosi min. 60 sekund.

5.2.2 Rafinacja drugiego stopnia

Rafinację drugiego stopnia należy przeprowadzić w kadzi z wkładką gazoprzepuszczalną. Rafinację przeprowadzać po zabiegu sferoidyzacji żeliwa i ściągnięciu żużla z lustra metalu. W tym celu po zabiegu sferoidyzacji kadź z metalem należy przetransportować do stacji rafinacji żeliwa, podłączyć zawór doprowadzający gaz wraz zaworem kulowym do kadzi, uruchomić na pulpicie sterowania przepływ gazu nastawiając następujące parametry:

- ciśnienie gazu 2 [bar],
- przepływ gazu 5 [l/min],
- czas rafinacji w piecu 90 s,

Po zabiegu rafinacji drugiego stopnia kadź przetransportować na linię zalewania form.

5.3 Proces sferoidyzacji żeliwa za pomocą drutu elastycznego o średnicy 13mm o zawartości Mg 25%min.

- Po wytopieniu , metal należy przetransportować na stanowisko sferoidyzacji wózkiem transportowym, ważenia metalu dokonywać za pomocą wagi piecowej
- W oparciu o skład chemiczny żeliwa wyjściowego (zawartość siarki), oraz masę żeliwa w kadzi mistrz topialni korzystając z



tabeli 4 każdorazowo ustala długość oraz szybkość podawania drutu

Tabela 4

Ilość drutu w metrach w zależności od zawartości siarki i masy żeliwa oraz prędkości podawania w zależności od temperatury metalu

Zawartość S w żeliwie [%]	Masa sferoidyzowanego żeliwa [kg]	
	750	1000
	Ilość podawanego drutu w metrach	
0,015	18	24
0,020	19,5	26
0,025	21	28
Temperatura żeliwa w kadzi [°C] przed sferoidyzacją		Prędkość podawania drutu [m/min]
1440-1470		21

- dobrane parametry długości oraz szybkości podawania drutu należy nastawić na pulpicie podajnika drutu i załączyć podajnik
- po zakończeniu procesu sferoidyzacji, dokładnie oczyścić lustro metalu z żużla, kadełko z metalem przetransportować na linię produkcyjną

5.4 Modyfikacja i zalewanie.

Prowadzić trzystopniową modyfikację żeliwa. Do modyfikacji używać dwóch rodzajów modyfikatorów:

- granulacja 2 - 6mm , z dodatkiem strontu w ilości Sr 0,5% - 1,5%
- granulacja 0,2 – 0,7mm z dodatkiem cyrkonu Zr w ilości 1–2%
- modyfikacji pierwszego stopnia dokonywać w trakcie przelewania metalu z pieca do kadzi smukłej o pojemności 750 kg., na strugę" modyfikatorem o granulacji 2-6mm z dodatkiem strontu, w ilości 0,5% = tj. 3,75 kg
- modyfikacji drugiego stopnia dokonywać po zabiegu sferoidyzacji w trakcie przelewania metalu z kadzi do zalewarki lub kadzi rozlewczej "na strugę" modyfikatorem o granulacji 2-6mm w ilości 0,5% = 3,75 kg
- modyfikacji trzeciego stopnia dokonywać w trakcie zalewania form "na strugę" modyfikatorem o granulacji 0,2-0,7mm w ilości 1-2%

- kontroli skuteczności modyfikacji należy prowadzić techniką analizy termicznej żeliwa ITAKA

Uwaga!

Dozowanie modyfikatora należy tak prowadzić, aby proces modyfikacji zakończył się po zapełnieniu 3/4 pojemności kadzi rozlewczej, zalewarki lub formy.

Ze względu na zanik efektu sferoidyzacji czas od momentu sferoidyzacji do zalania ostatniej formy nie może przekroczyć 15 minut, po upływie tego czasu metal zlać do kadzi rezerwowej. Minimalna temperatura metalu w kadzi zalewowej nie może być niższa od 1330 °C.

5.5 Odlewanie prób kontrolnych

W celu zapewnienia powtarzalności, stabilności i kontroli procesu odlewnia należy odlewać następujące próby kontrolne:

a) Próbki o analizy termicznej żeliwa system ITAKA.

W celu wykonania prawidłowej analizy termicznej należy odlewać komplet prób na piecu, oraz na stanowisku zalewania form po zabiegu sferoidyzacji.

a.1) Analiza termiczna żeliwa wyjściowego na piecu indukcyjnym.

Próbki do analizy termicznej odlewać po wytopieniu metalu w piecu, po zbiegu szlakowania i rafinacji. W tym celu należy przygotować odpowiedni komplet stanowiska pomiarowego przypisanego do danego pieca 1 i 2 (piec 1 z lewej strony patrząc na piec z poziomu zero, piec 2 z prawej strony patrząc z poziomu zero). Następnie należy zamontować nowy komplet kubków pomiarowych na odpowiednie stanowiska pomiarowe ITAKA.

Uwaga! - do prawidłowej analizy termicznej należy stosować dwa rodzaje kubków : z telurem i bez teluru. Kubek z telurem należy zamontować na stanowisko z oznaczeniem T, kubek bez teluru na stanowisko bez dodatkowych oznaczeń.

Po instalacji kubków należy sprawdzić stan gotowości na pulpicie ITAKA. Kontrolki F1 lub F2 (w zależności od pieca 1 lub 2), oraz kontrolki "bez modyfikatora" i "z telurem" muszą podświetlać się na zielono, co oznacza stanowisko gotowe do analizy.

Po sprawdzeniu stanu gotowości należy zalać próbki kontrolne żeliwem o temperaturze w zakresie 1300 – 1350°C.

a. 2) Analiza termiczna żeliwa po zabiegu sferoidyzacji i rafinacji w kadzi.

Próbki do analizy termicznej po zabiegu sferoidyzacji, rafinacji w kadzi i szlakowania zalewać na stanowisku zalewania po przelaniu metalu do zalewarki lub kadzi rozlewczej. W tym celu na stanowisku do analizy termicznej na linii zalewania należy zamontować nowy kubek bez teluru. Zielona kontrolka na pulpicie wskazuje próbnik gotowy do zalania. Próbkę zalewać w temperaturze 1300 – 1350°C.

a. 3) Próbki do analizy składu chemicznego.

Próbki do analizy wyjściowego składu chemicznego odlewać każdorazowo po wytopieniu metalu w piecu indukcyjnym P1, P2.

Po osiągnięciu wymaganego składu chemicznego oznaczyć skład gotowy do wylania indeksem "Z".

Próbki do analizy składu końcowego po zabiegach rafinacji, modyfikacji, sferoidyzacji pobierać każdorazowo, po przelaniu metalu do zalewarki lub bezpośrednio z kadzi zalewczej nadając odpowiedni do numeru kadzi indeks "S".

Skład chemiczny jednej próbki jest reprezentatywny dla danej porcji metalu. Wyniki analiz rejestrować w wersji elektronicznej w pamięci Spektrometru, oraz w zeszycie roboczym w laboratorium składu chemicznego.

a. 4) Próbki wytrzymałościowe oddzielnie odlewane typu Y II.

Próbki Y II odlewać po zabiegach sferoidyzacji, modyfikacji i rafinacji metalem pobranym z zalewarki lub kadzi zalewczej przypisując na znaczniku odpowiedni numer próbki składu chemicznego. Znacznik z numerem zatopić w metalu. Odlewać trzy po próby z każdej zalewarki lub kadzi.

a. 5) Próbki do ultradźwiękowej oceny żeliwa.

W celu oceny efektów sferoidyzacji odlewać próbki kontrolne do oceny ultradźwiękowej.

Metal po wlaniu pobrać z zalewarki i zalać próbnik wykonany z rdzenia. Zalaną próbkę wybić i schłodzić w wodzie.

Po schodzeniu próbki należy zbadać prędkość przepływu fali echografem Karldeutch na węższej części próbника, która stanowi część pomiarową próbki. Minimalna prędkość przepływu fali wynosi 5640 m/s.

5.6 Wymagania BHP

- a) W czasie transportu i przelewania metalu należy bezwzględnie przestrzegać obowiązujące na tych stanowiskach przepisy BHP w tym dotyczące stosowania odzieży ochronnej i



sprzętu ochrony osobistej przewidzianych dla stanowisk transportu metalu i obsługi pieców.

- b) Urządzenia służące do transportu metalu, piec indukcyjny, mogą być obsługiwane tylko przez odpowiednio przeszkolonych i wykwalifikowanych pracowników.

5.7 Przepisy dodatkowe

- a) za przeszkolenie pracowników oraz przestrzeganie zapisów zawartych w tej instrukcji odpowiedzialni są: Kierownik Odlewni oraz mistrzowie
- b) pracownik w załączniku 4-2.05.01 poświadczają własnoręcznym podpisem zapoznanie z niniejszą instrukcją oraz zobowiązanie do jej przestrzegania

• DOKUMENTY ZWIĄZANE Z INSTRUKCJĄ

- 1-3.00.00 Nadzór nad zapisami
- 4-2.00.00 Planowanie i realizacja produkcji
- 4-2.02.00 Obsługa pieca indukcyjnego
- 4-2.06.00 Opracowywanie i obieg norm i normatywów technologicznych
- 4-9.00.00 Postępowanie z odpadami
- 4-10.00.00 Zarządzanie emisjami do powietrza
- 4.11.00.00 Zarządzanie gospodarką wodno ściekową
- 4.12.00.00 Zarządzanie gospodarką energetyczną
- 5-1.04.00 Odlewanie próbek kontrolnych

7. ZMIANY I POPRAWKI

W treści instrukcji mogą być wprowadzone zmiany i poprawki wynikające z przyczyn organizacyjnych i formalnych. Zasady wprowadzania zmian określa procedura 1-1.00.00.

Zmiany i poprawki są ewidencjonowane w tabeli zmian i poprawek

Lp	Treść zmiany/poprawki	Strona	Data	Podpis
----	-----------------------	--------	------	--------



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



--	--	--	--	--

8) ZAŁĄCZNIKI

9-4.010.01 Potwierdzenie zapoznania się z instrukcją wytopu żeliwa

LT.

Lp	Imię i nazwisko	data	podpis
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

6. Podsumowanie

W ramach Zadania 5 wykonano serię wytopów w dwóch piecach (wytopiono 48 ton żeliwa) na podstawie których dobrano kluczowe parametry procesu takie jak skład żeliwa, graniczne temperatury podczas procesów obróbki żeliwa, maksymalne czasy trwania procesu od momentu przelania żeliwa z pieca do rozpoczęcia procesu zalewania oraz określono optymalne temperatury zalewania.

Żeliwo wytapiano równolegle w dwóch piecach. W piecu 1 wytapiano żeliwo w kierunku uzyskania gatunku EN-GJS-400-18-LT, a w piecu 2 gatunku EN-GJS-350-22-LT. Przeprowadzone wytopy pozwoliły na ustalenie optymalnych składów chemicznych żeliwa. Dla żeliwa do pracy w temperaturze -40°C - EN-GJS-350-22-LT, dla którego wymagana jest wyższa plastyczność dobrany został skład, w którym w stosunku do żeliwa EN-GJS-400-18-LT obniżono zawartość krzemu do poziomu $2.35\div 2.45$ przy równoczesnym zwiększeniu zawartość węgla do poziomu $3.65\div 3.85$.

Na podstawie wykonanych badań opracowana została technologia produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości (żeliwa EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT), która będzie osiądana na drodze dwustopniowej rafinacji gazowej w piecu i w kadzi. Wytwarzanie żeliwa o bardzo wysokich właściwościach plastycznych i odporności na obciążenia dynamiczne w warunkach niskiej temperatury (-20°C lub -40°C) jest możliwe pod warunkiem równoczesnego spełnienia kilku warunków technologicznych. W wyniku badań przeprowadzonych w ramach zadań 1 – 5, w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski, opracowano

technikę dwustopniowej rafinacji w piecu i kadzi, dobrano optymalną strukturę wsadu metalowego, dobrano optymalne składniki żeliwa, dobrano ilości modyfikatorów do trzystopniowej modyfikacji żeliwa oraz opracowano optymalne wartości kluczowych parametrów procesu. **Opracowana została instrukcja wytwarzania żeliwa sferoidalnego gat. EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT.**

W ramach zadania do procesu wytwarzania żeliwa wdrożono także nowe metody kontroli jakości żeliwa na etapie topienia i sferoidyzacji. W Odlewni Żeliwa Drawski wdrożono metodę analizy termicznej - system ITACA w wersji z odlewaniem równolegle dwóch kubków próbnych, co jest konieczne dla szybkiej oceny zawartości Si w żeliwie. Przy zalewarce przygotowano także stanowisko do oceny skuteczności zabiegu sferoidyzacji żeliwa bezpośrednio po jego przeprowadzeniu (a przed rozlaniem metalu do form) z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej opracowanej przez AGH. Test ten pozwala na szybką ocenę żeliwa, z punktu widzenia kulistości wydzieliń grafitu. Metoda polega na odlaniu szybko stygnącej próbki, schłodzeniu jej w końcowej fazie w wodzie do temperatury otoczenia i wykonaniu pomiaru prędkości propagacji fali ultradźwiękowej.

Wdrożone nowe metody kontroli jakości żeliwa na etapie topienia i sferoidyzacji dają podstawę do uznania, że osiągnięto kamień milowy KM 2.3 – wdrożenie nowych metod kontroli jakości żeliwa na etapie topienia i sferoidyzacji czyli w stanie ciekłym, które później zostaną również wykorzystane do oceny gotowych odlewów (etap 3).

Zadanie 6.

Wytopy próbne według nowo opracowanej technologii – ocena skuteczności procesu rafinacji (min. badania udarność i plastyczności).

Na podstawie wykonanych badań opracowana została technologia produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości, która będzie osiągnąta na drodze dwustopniowej rafinacji gazowej w piecu i w kadzi. Wytwarzanie żeliwa o bardzo wysokich właściwościach plastycznych i odporności na obciążenia dynamiczne w warunkach niskiej temperatury (-20°C lub -40°C) jest możliwe pod warunkiem równoczesnego spełnienia kilku warunków technologicznych. W wyniku badań przeprowadzonych w ramach zadań 1 – 5, w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski, opracowano technikę dwustopniowej rafinacji w piecu i kadzi, dobrano optymalną strukturę wsadu metalowego, dobrano ilości modyfikatorów do trzystopniowej modyfikacji żeliwa oraz opracowano optymalnych wartości kluczowych parametrów procesu. W zadaniu 6 zostaną wykonane dwa wytopy próbne według nowo opracowanej technologii, których celem będzie uzyskanie żeliwa sferoidalnego odpowiadającego gatunkowi EN-GJS-400-18-LT (udarność w temperaturze -20°C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J) i EN-GJS-350-22-LT (udarność w temperaturze -40°C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J), wskaźnik kształtu grafitu $>0,85$, $N>225$ kulek/ mm^2). W celu oceny parametrów uzyskanego żeliwa zostanie przeprowadzona ocena mikrostruktury metalograficznej, określenie właściwości mechanicznych oraz określenie znormalizowanej udarności w obniżonej temperaturze na próbkach pobieranych z wlewków Y2.

2. Wytopy żeliwa

Prace polegały na przeprowadzeniu dwóch wytopów (Z6.1 i Z6.2) po 6 ton żeliwa według nowo opracowanej technologii oraz ocenie cech i parametrów uzyskanego żeliwa. Wytop Z6.1 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-400-18-LT, a wytop Z6.2 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-350-22-LT.

Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabelach 6.1 i 6.2, a uzyskane składy chemiczne zestawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.1. Wytop Z6.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 38 (ZAD 6 – Z6.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000

Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 6.2. Wytop Z6.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 39 (ZAD 6 – Z6.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 6.3. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w wytopach Z6.1 i Z6.2

	Skład chemiczny żeliwa	
	Wytop Z6.1	Wytop Z6.2
C %	3,61	3,76
Si %	2,55	2,40
Mn %	0,135	0,123
P %	0,022	0,021
S %	0,013	0,012
Mg %	0,047	0,051
Al %	0,011	0,011
Cu %	0,018	0,016
Cr %	0,023	0,021
Ni %	0,022	0,020
V %	0,0013	0,0015
Sn %	0,004	0,004

3. Wyniki badań

W celu oceny parametrów uzyskanego żeliwa przeprowadzono ocenę mikrostruktury metalograficznej, określono właściwości mechaniczne (R_m , $A_{5,}$) oraz określono znormalizowaną udarność (U_v) w obniżonej temperaturze na próbkach pobieranych z wlewków

Y2. Badania udarowości wykonywane na tym etapie prac w temperaturze $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ realizowano na młocie Charpyego LabTest CHK 450J (rys. 6.1).

Rys. 6.1. Młot Charpyego 450J do badania udarowości.



Wyniki badań metalograficznych zestawiono w tabelach 6.4 (Wytop Z6.1) i 6.5 (Wytop Z6.2). Natomiast wyniki badań wytrzymałościowych i udarowości przedstawiono w tabeli 6.6.

Tabela 6.4. Wynik badań metalograficznych – wytop Z6.1

Zdjęcia struktury badanego żeliwa	Opis struktury żeliwa
-----------------------------------	-----------------------

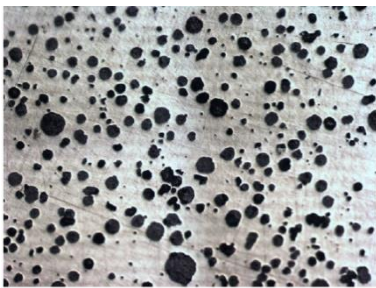
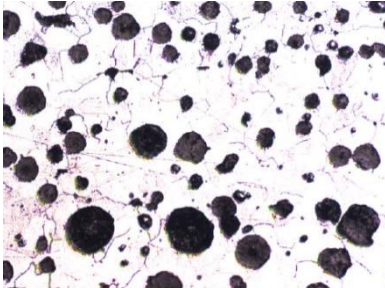
		Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%] 98/2 Stopień sferoidyzacji 95 [%] 328 kulek/mm²
---	--	---

Tabela 6.5. Wynik badań metalograficznych – wytop Z6.2

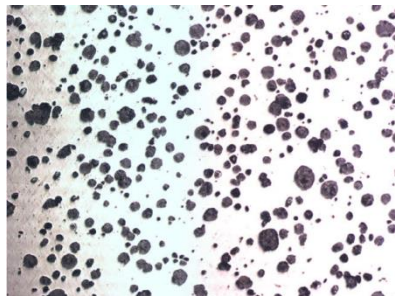
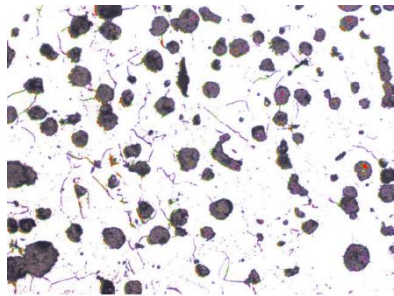
Zdjęcia struktury badanego żeliwa	Opis struktury żeliwa
 	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%] 99/1 Stopień sferoidyzacji 97 [%] 370 kulek/mm²

Tabela 6.6. Wynik badań wytrzymałościowych i udarności.

Nr wytopu	R_m [MPa]	A₅ [%]	U _v [J]	uwagi	U_v śr[J]
Z6.1	422	19,81	12,9	-20 °C	12,43
			12,1	-20 °C	
			12,3	-20 °C	
Z6.2	415	22,13	12,1	-40 °C	12,20
			12,4	-40 °C	
			12,1	-40 °C	

3. Podsumowanie

W ramach zadania 6 wykonano dwa wytopy próbne według nowo opracowanej technologii. Podczas każdego wytopu wykonano odlewy wlewków Y2, z których pobrano próbki do badań oceny mikrostruktury metalograficznej, określenia właściwości

mechanicznych oraz określenia znormalizowanej udarności w obniżonej temperaturze. Wyniki zestawiono w tabelach 6.4 – 6.6.

Na podstawie zestawionych wyników można stwierdzić, że w wytopie Z6.1 uzyskano żeliwo sferoidalne spełniające warunki technicznego odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18-LT (udarność w temperaturze -20°C , w średnia z 3 pomiarów, wynosiła 12,43 [J], $A_5 = 19,8$ [%], $R_m = 422$ [Mpa], wskaźnik kształtu grafitu wynosił 0,95 a $N = 328$ kulek/ mm^2). W wytopie Z6.2 uzyskano żeliwo sferoidalne spełniające warunki technicznego odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-350-22-LT (udarność w temperaturze -40°C , średnia z 3 pomiarów wynosiła 12,20 [J], $A_5 = 22,1$ [%], $R_m = 415$ [Mpa], wskaźnik kształtu grafitu wynosił 0,97 a $N = 370$ kulek/ mm^2).

Daje to podstawę do uznania, że osiągnięto kamień milowy KM 2.1 – opracowano technologię wytwarzania żeliwa w warunkach Odlewni Żeliwa Drawski o parametrach wyznaczanych na znormalizowanych próbkach, która w wytopach Z6.1 i Z6.2 pozwoliła na uzyskanie żeliwa odpowiadającego gatunkowi EN-GJS-400-18-LT (udarność w temperaturze -20°C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J) i EN-GJS-350-22-LT (udarność w temperaturze -40°C , w każdym pojedynczym pomiarze była powyżej 9J), wskaźnik kształtu grafitu $>0,85$, $N>225$ kulek/ mm^2).

Należy przy tym mieć na uwadze fakt, że żeliwo o wymaganych właściwościach otrzymano odlewając wlewki Y2 w specjalnie przygotowanych rdzeniach. Natomiast w przypadku zalewania form od chwili wejścia metalu do wnęki formy (a właściwie do wlewu głównego) jego stan fizyko-chemiczny może być już tylko pogorszony w funkcji intensywności niektórych zjawisk towarzyszących wypełnianiu. Dlatego kolejnym etapem badań, który pozwoli na uzyskiwanie odlewów o bardzo wysokich właściwościach plastycznych i odporności na obciążenia dynamiczne w warunkach niskiej temperatury (-20°C lub -40°C), będzie opracowanie przy użyciu kodu symulacyjnego Magmasoft takich konstrukcji układów wlewowych, które to negatywne oddziaływanie procesu wypełniania będą ograniczały.

Zadanie 7.

Opracowanie technik zalewania form odlewniczych oraz zasad projektowania układów zalewania.

1. Wprowadzenie

W zadaniu 6 wykonując wytopy według nowo opracowanej technologii otrzymano gatunki żeliwa EN-GJS-350-22-LT i EN-GJS-400-18-LT. Należy przy tym mieć na uwadze fakt, że żeliwo o wymaganych właściwościach otrzymano odlewając wlewki Y2 w specjalnie przygotowanych rdzeniach zgodnie z obowiązującymi normami w tym zakresie. Natomiast produkcja odlewów z przygotowanego w drodze dwustopniowej rafinacji „czystego” żeliwa wymaga takich rozwiązań w zakresie technologii form i techniki zasilania, aby na etapie produkcji (podczas zalewania form odlewniczych) nie doszło do zanieczyszczenia metalu wtrąceniami związanymi z reoksydacją stopu lub jego nasycenia gazami z nagrzewanych mas formierskich. Wynika to z tego, że od chwili wejścia metalu do wnęki formy (a właściwie do wlewu głównego) jego stan fizyko-chemiczny może być już tylko pogorszony (w funkcji intensywności niektórych zjawisk towarzyszących wypełnianiu) – w celu ograniczenia tych niekorzystnych oddziaływań w ramach zadania 7 opracowane zostaną zasady projektowania, które pozwolą na takie zaprojektowanie układów wlewowych by metal przepływał w nich w sposób zbliżony do laminarnego.

Do opracowania i weryfikacji prototypowych rozwiązań został wykorzystany kod symulacyjny Magmasoft. W ramach prowadzonych prac planowane jest wprowadzenie rozwiązania Turboprint w technologii form z pionową powierzchnią podziału).

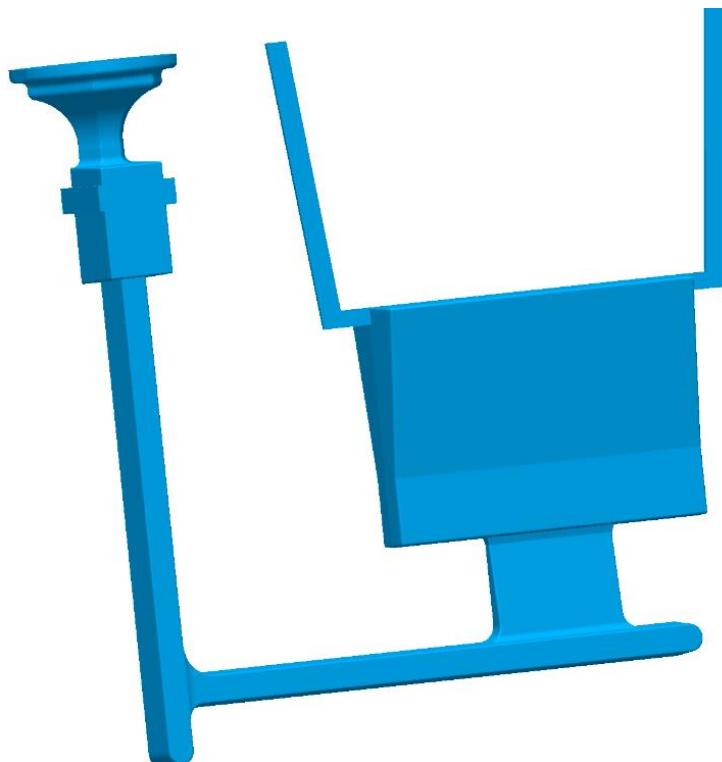
Opracowane rozwiązanie zostało zweryfikowane w warunkach produkcyjnych Odlewni Żeliwa Drawski. W ramach zadania wykonane zostały także dwa wytopy (12 ton żeliwa) w celu wykonania odlewów próbnych, w których zostanie potwierdzona skuteczności nowej konstrukcji układu wlewowego.

2. Projektowanie układu wlewowego z wykorzystaniem symulacji w kodzie Magmasoft

W celu wyboru optymalnej budowy układu wlewowego wykonana została seria symulacji z wykorzystaniem kodu Magmasoft.

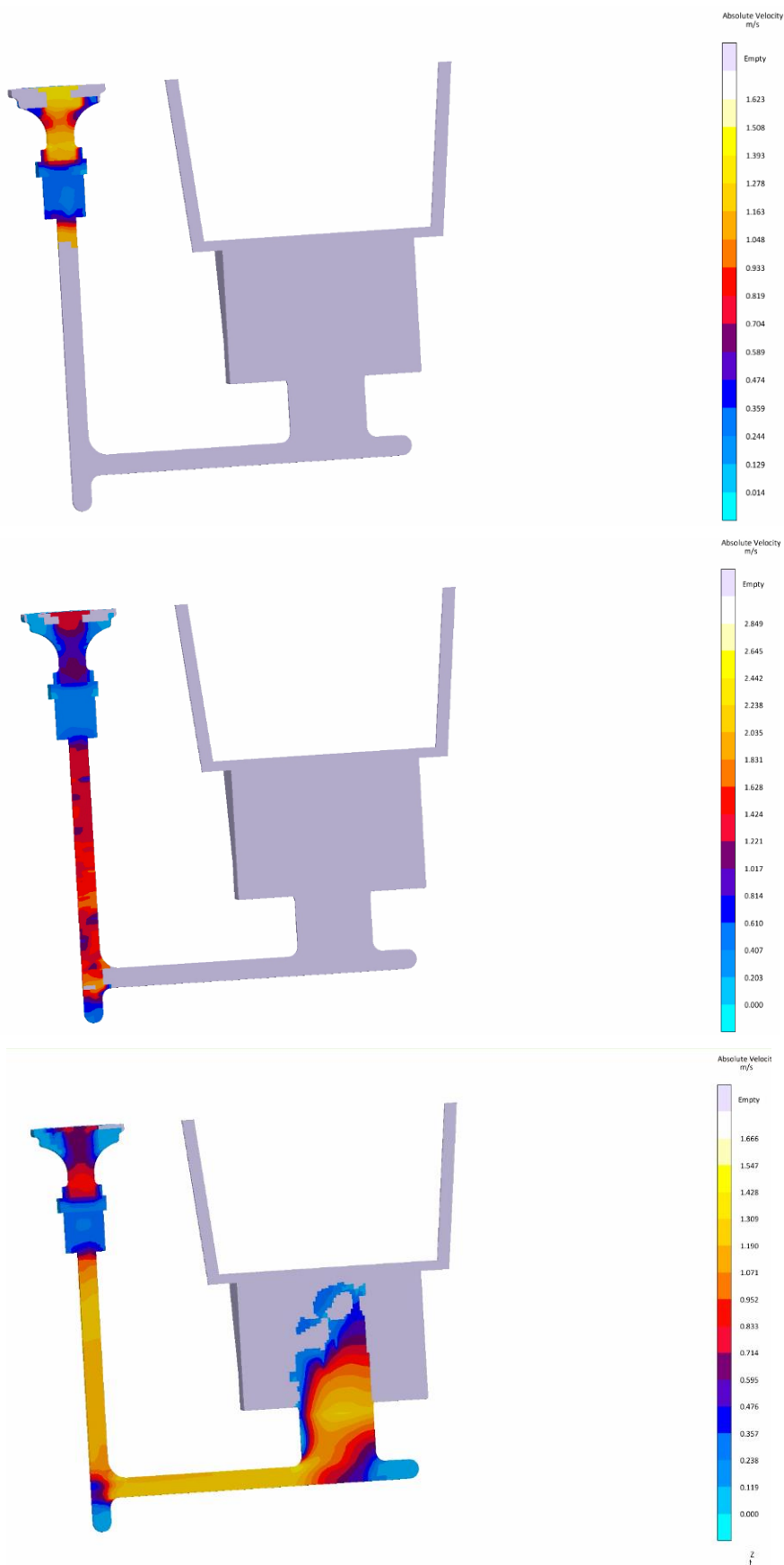
Symulacja wersja V1

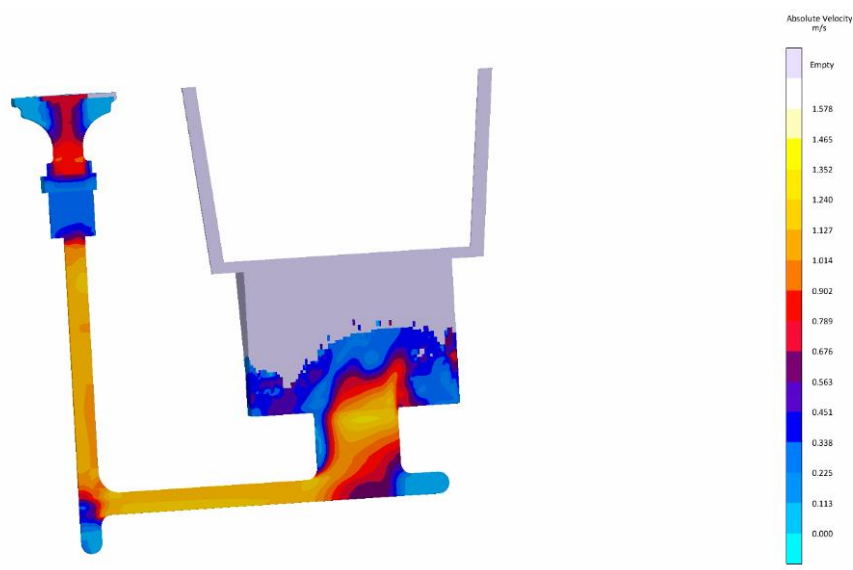
Pierwsza symulacja wykonana została dla rozwiązania z poziomym położeniem filtra obecnie stosowanego w Odlewni Żeliwa Drawski. W wersji V1 poziomo położony filtr znajduje się w odległości 70mm od górnej powierzchni pakietu (rys 7.1).



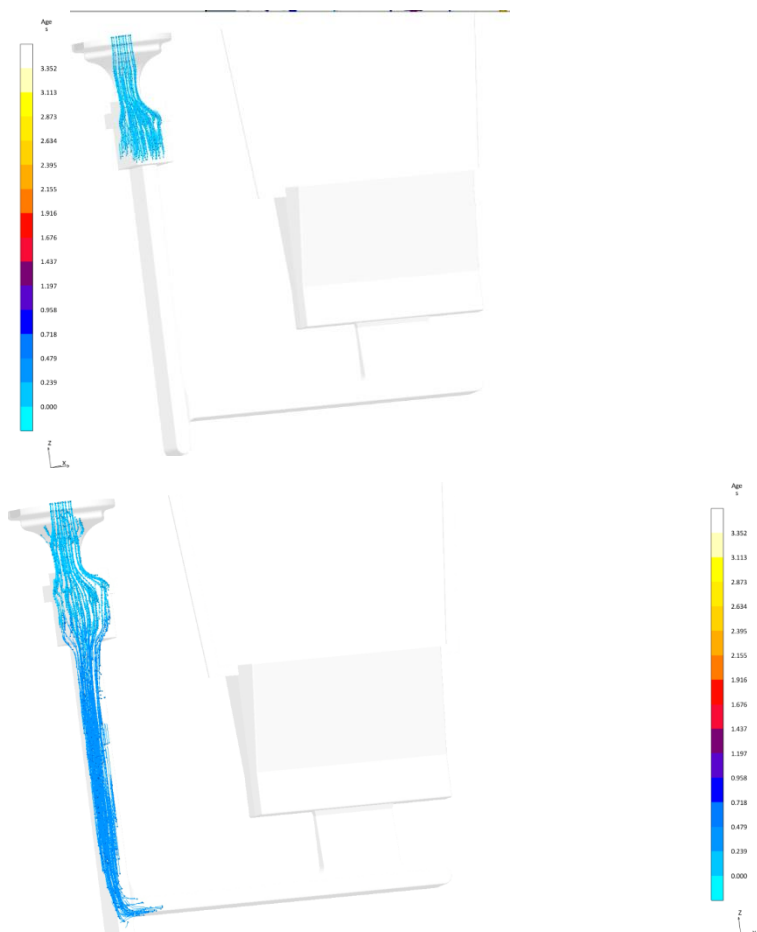
Rys 7.1. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V1

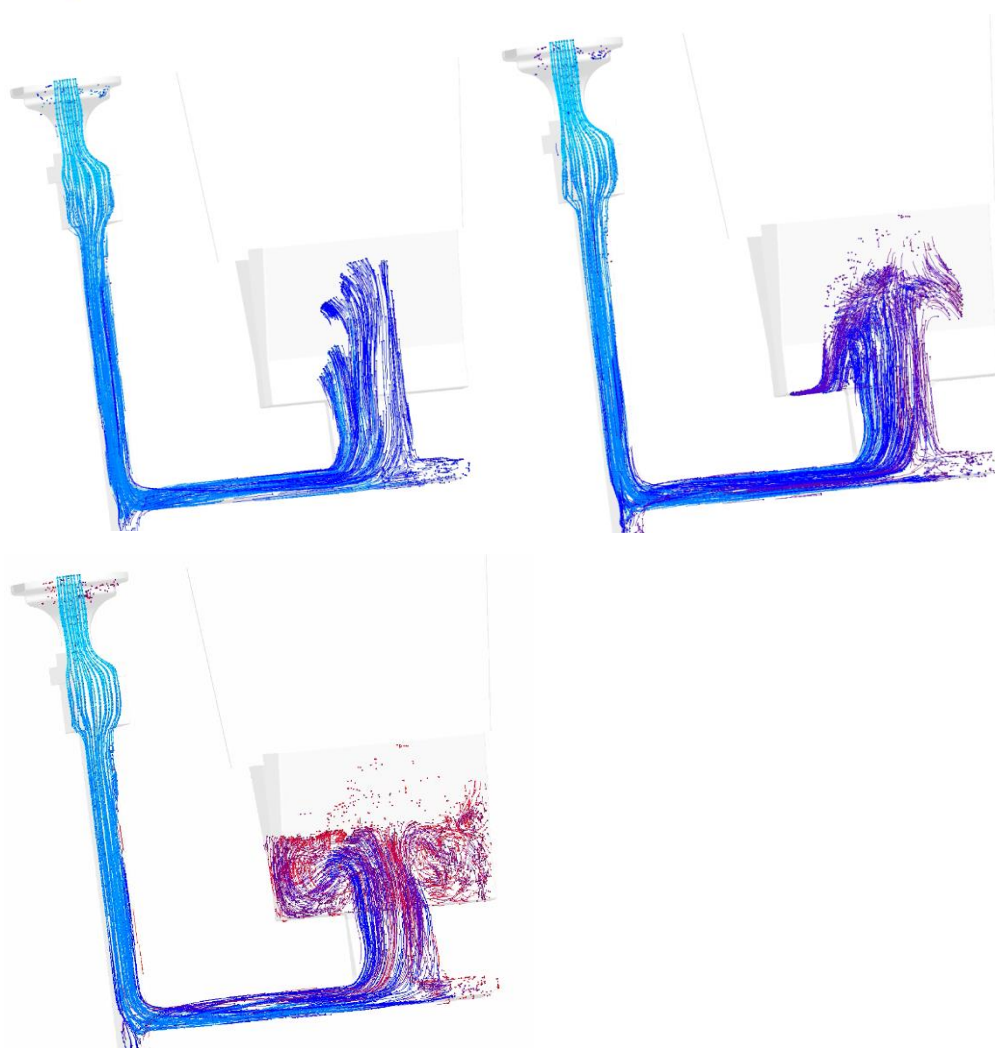
Podczas symulacji analizowano proces wypełniania wnęki formy (prędkości podczas wypełniania) i krzepnięcia odlewu. Wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci pól prędkości żeliwa i znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnęki formy pokazano na kolejnych rysunkach (rys. 7.2 i 7.3) .





Rys 7.2. Wyniki symulacji - prędkość żeliwa podczas wypełniania.



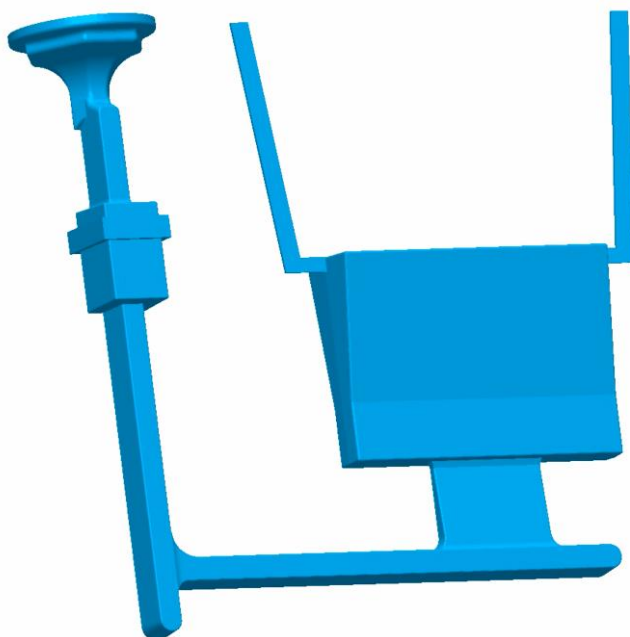


Rys 7.3. Wyniki symulacji - znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy

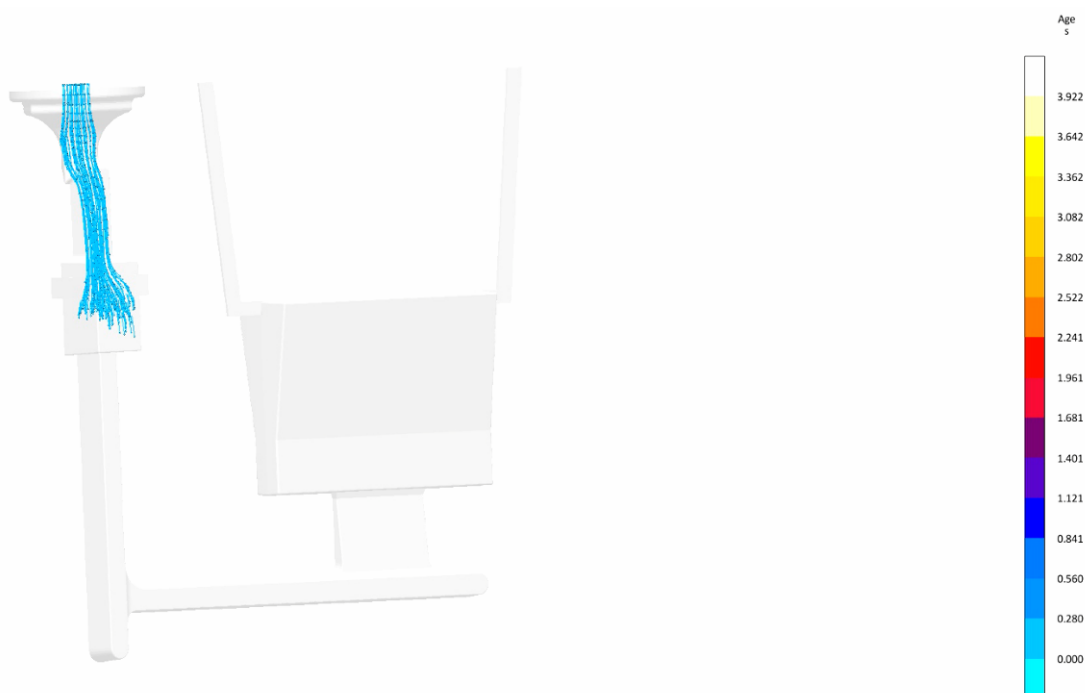
W wyniku przeprowadzonej symulacji (V1) stwierdzono, że stosowane rozwiązanie jest niekorzystne i nie zapewnia odpowiedniego przepływu metalu podczas wypełniania. Prędkość żeliwa we wlewie głównym jest zbyt duża, wynosi ok. 2 m/s, przepływ podczas wypełniania jest turbulentny a podnoszenie lustra metalu we wnętrze formy jest nierównomierne.

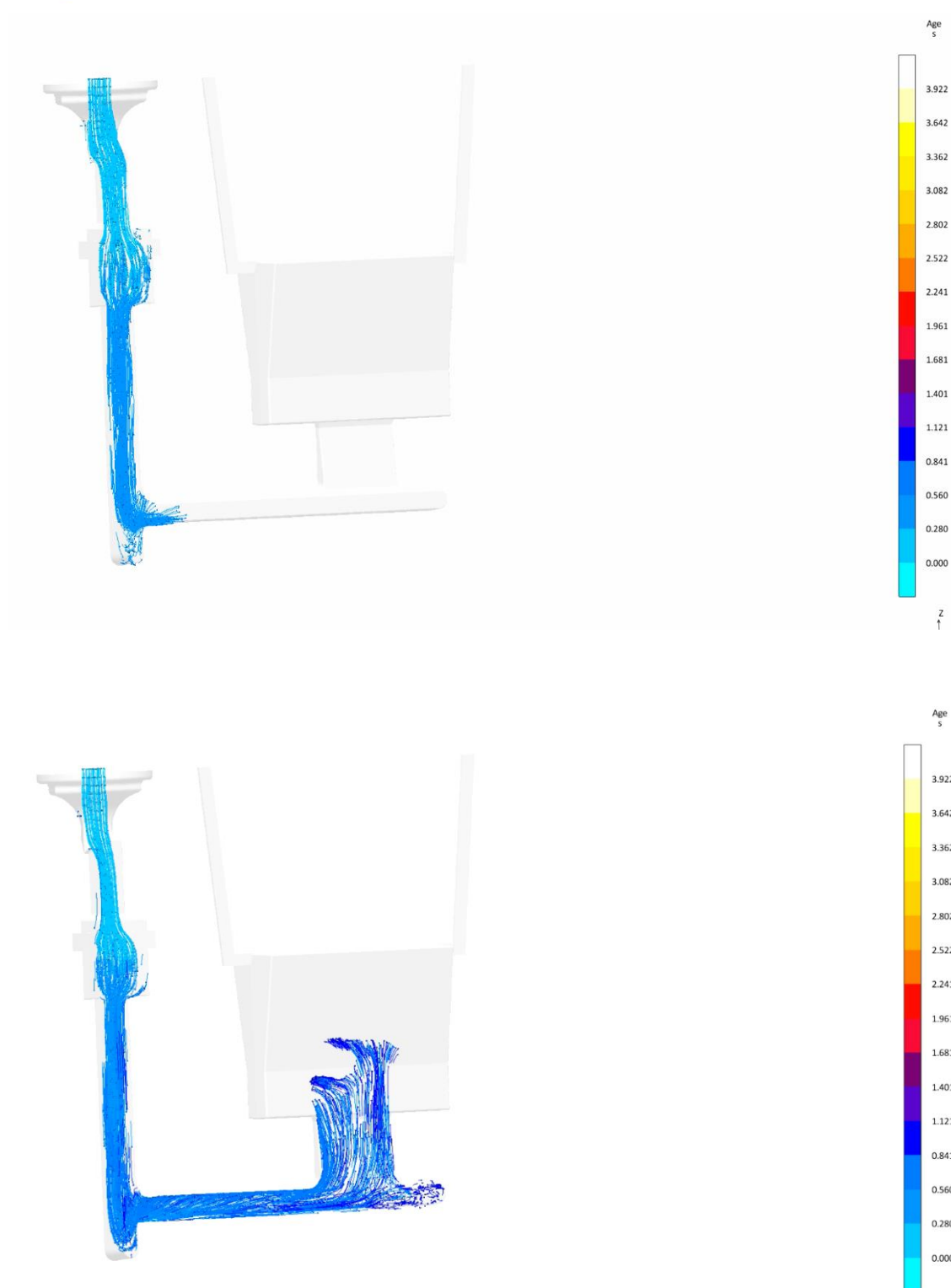
V2

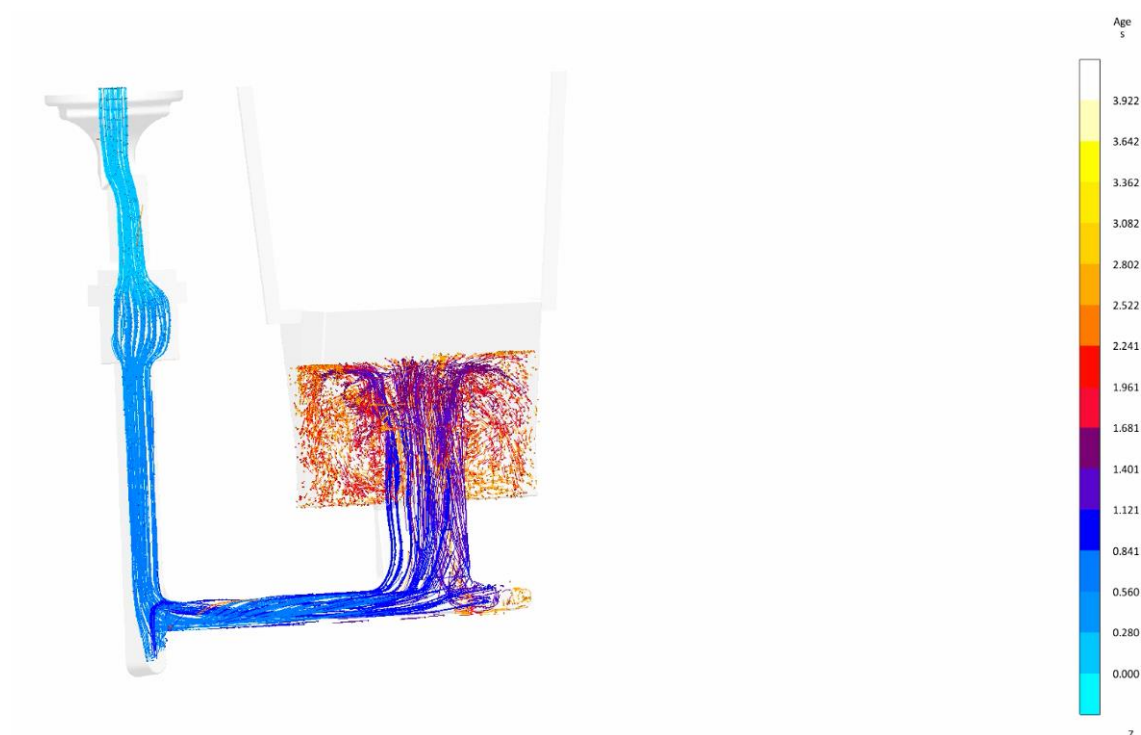
W wersji V2 wprowadzono zmianę dotyczącą położenia filtra, obniżenie o 65 mm w stosunku do pozycji wyjściowej czyli filtr umieszczono w odległości 135 mm od górnej powierzchni pakietu (formy) – rys.7.4. Wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci pól prędkości żeliwa i znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnęki formy pokazano na rysunku 7.5.



Rys 7.4. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V2





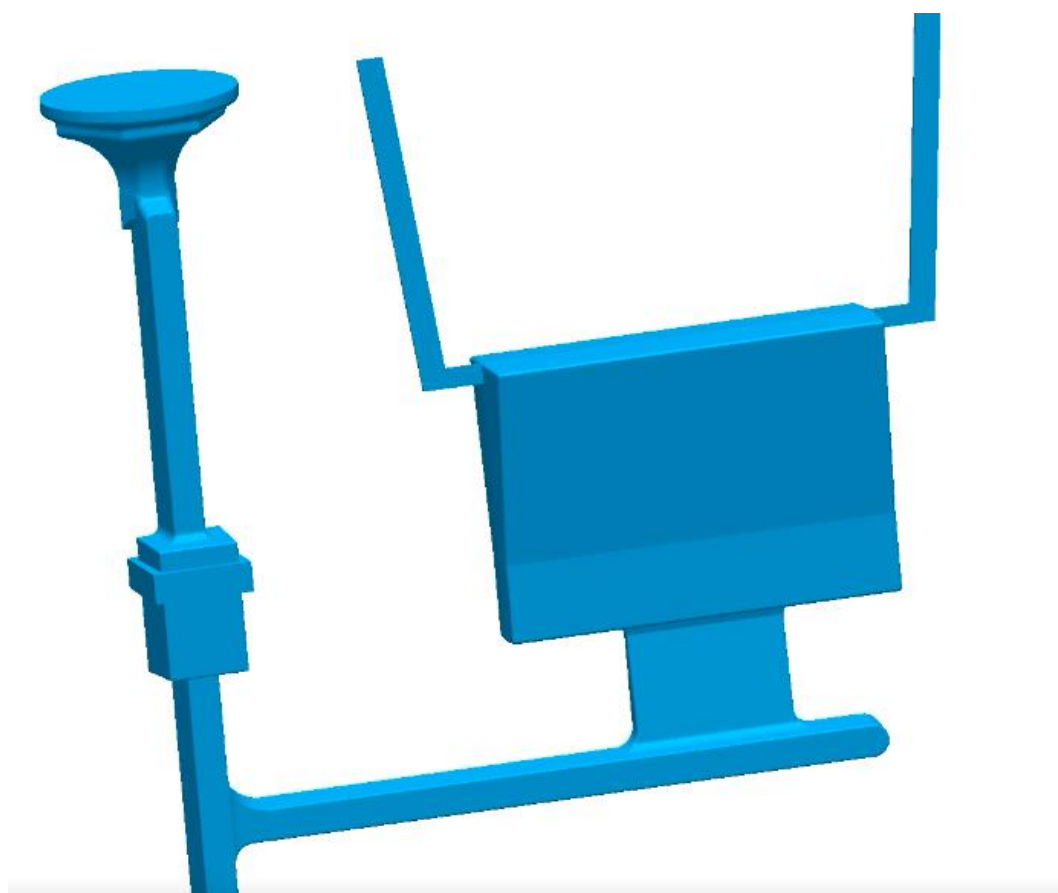


Rys 7.5. Wyniki symulacji - znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy

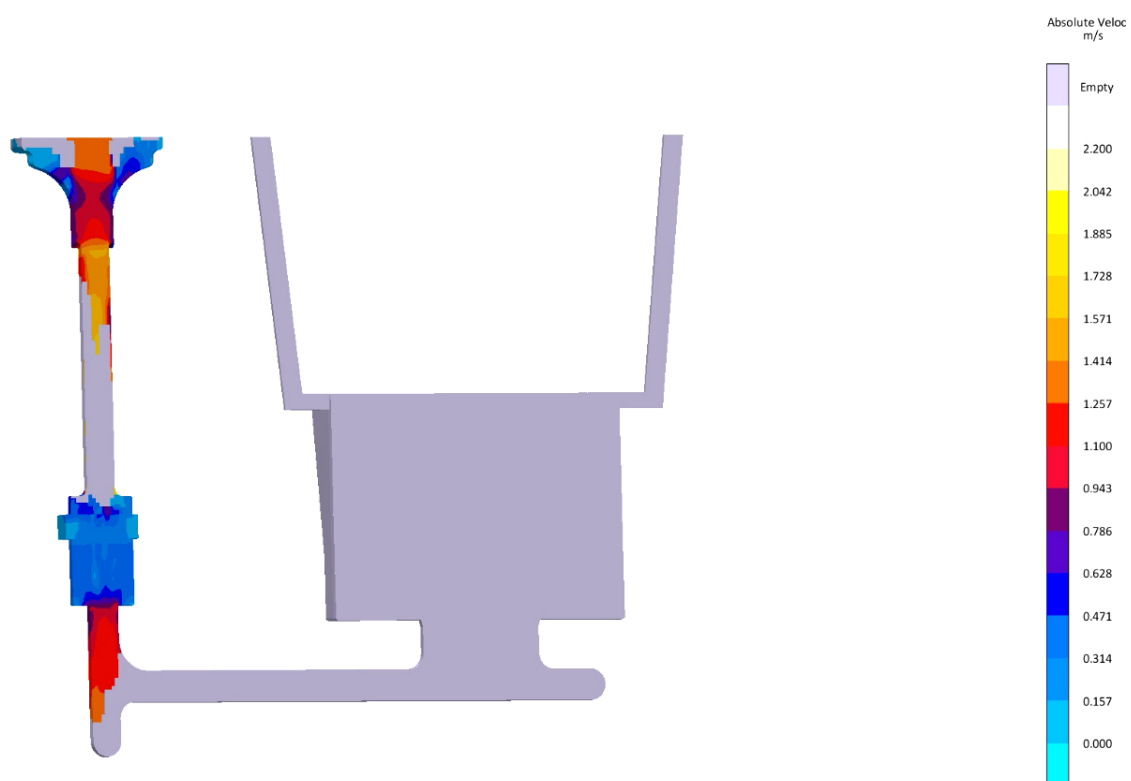
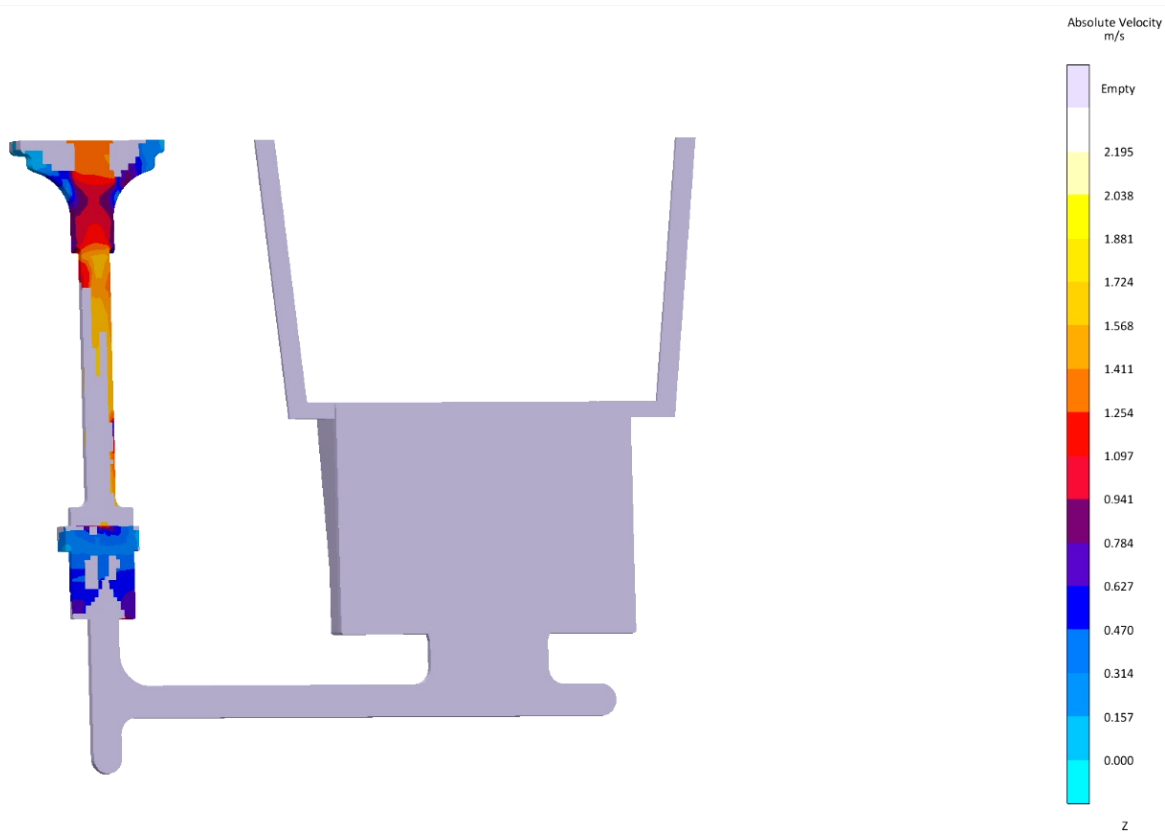
W wyniku przeprowadzonej symulacji (V2) stwierdzono, że stosowane rozwiązanie jest niekorzystne i nie zapewnia odpowiedniego przepływu metalu podczas wypełniania. Przepływ podczas wypełniania ciągle jest turbulentny a podnoszenie lustra metalu we wnętrzu formy jest nierównomierne.

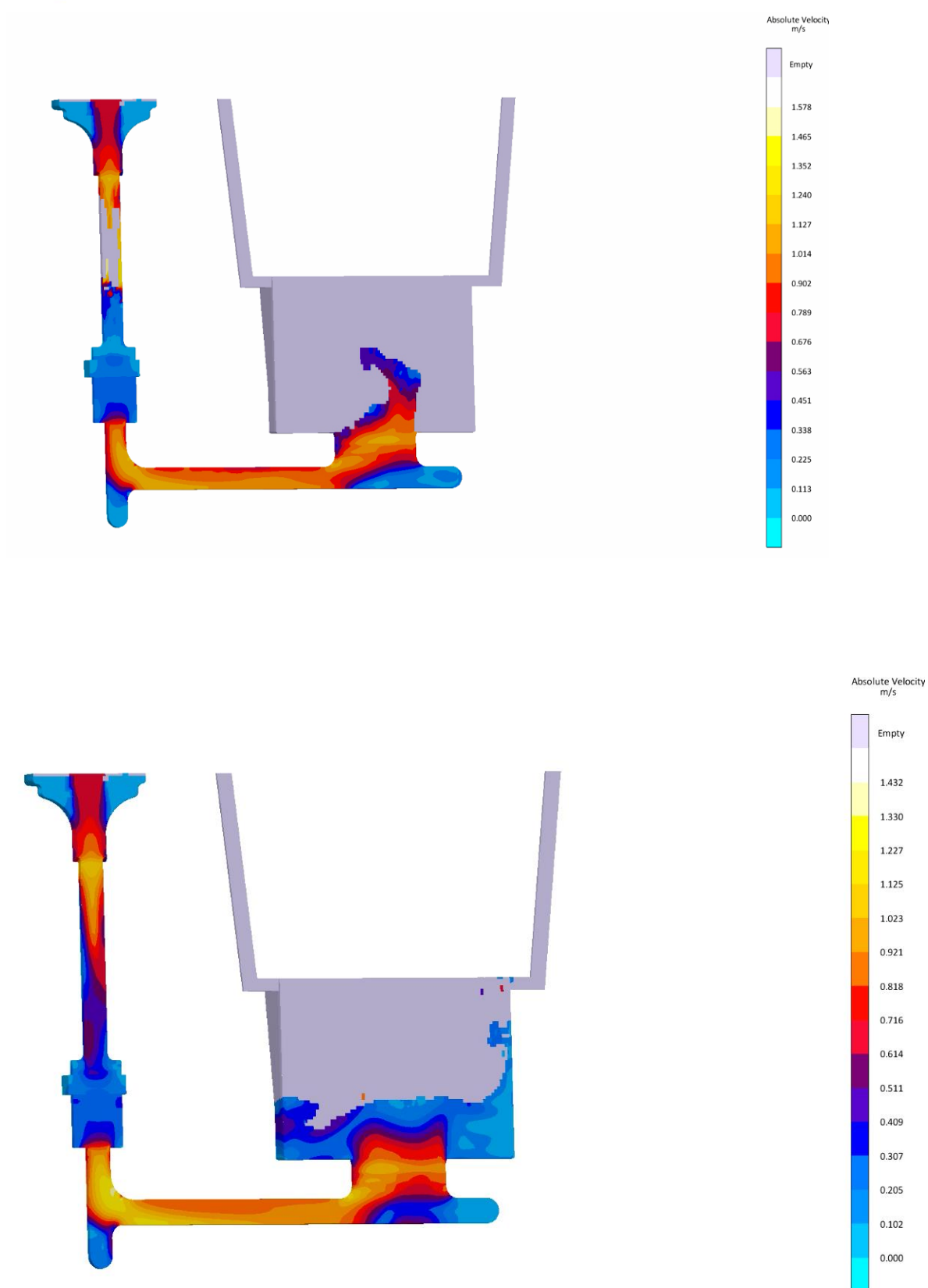
V3

W wersji V3 wprowadzono kolejną zmianę dotyczącą położenia filtra, obniżenie o 165 mm w stosunku do pozycji wyjściowej czyli filtr umieszczono w odległości 235mm od górnej powierzchni pakietu (formy) – rys 7.6. Wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci pól prędkości żeliwa i znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy pokazano na rysunkach 7.7 i 7.8.

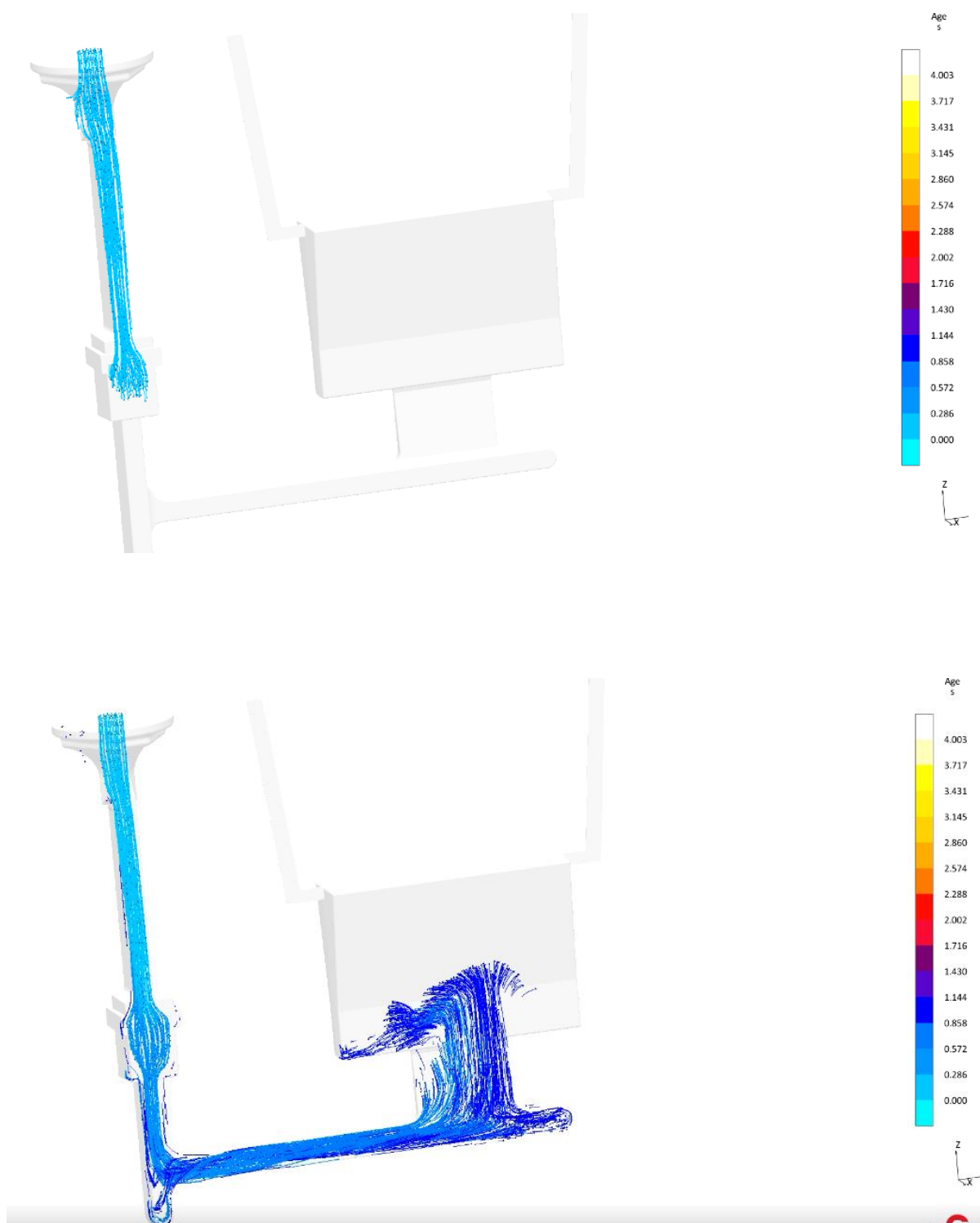


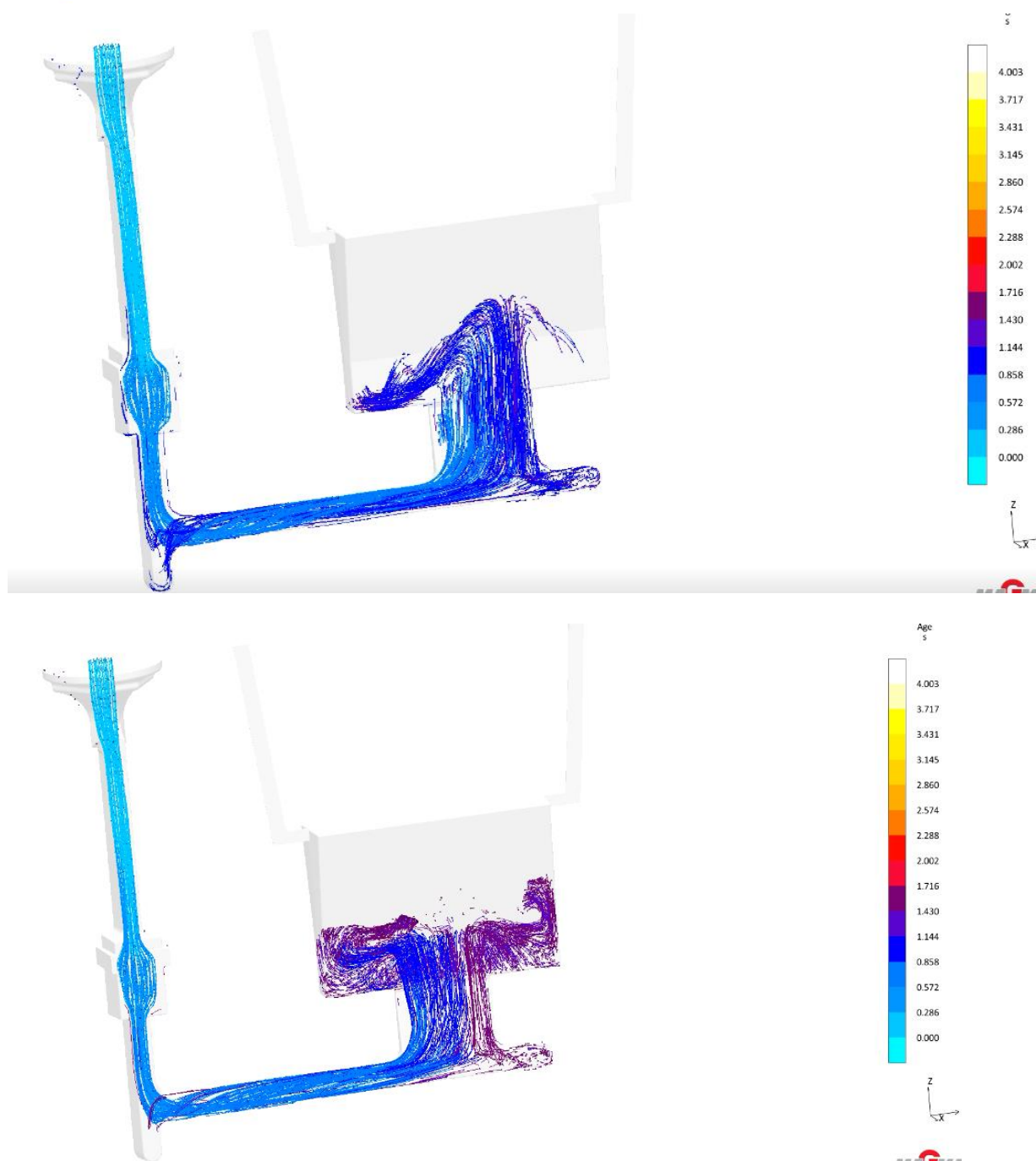
Rys 7.6. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V3





Rys 7.7. Wyniki symulacji - prędkość żeliwa podczas wypełniania.





Rys 7.8. Wyniki symulacji - znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy

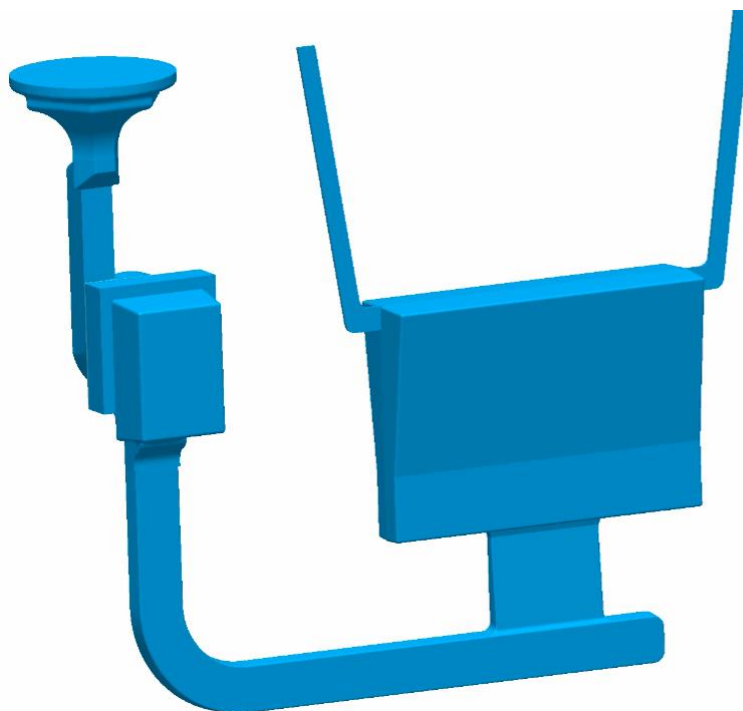
W wyniku przeprowadzonej symulacji (V3) stwierdzono, że stosowane rozwiązanie jest korzystniejsze niż w wersji V2, jednak ciągle nie zapewnia odpowiedniego przepływu metalu podczas wypełniania. Przepływ podczas wypełniania ciągle jest turbulentny a podnoszenie lustra metalu we wnętrze formy jest nierównomierne.

V4

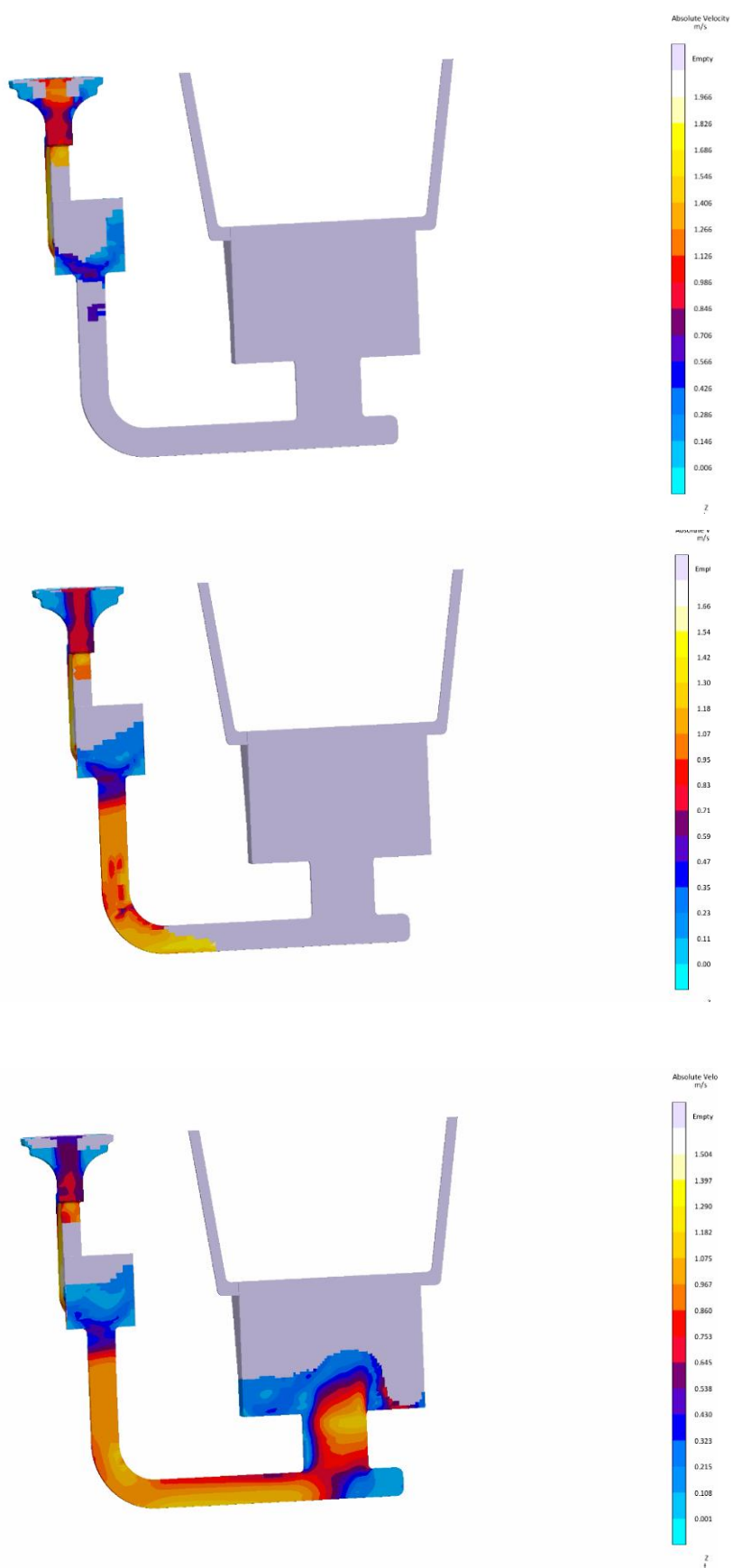
Po analizie wyników symulacji w wersjach 1-3 podjęto decyzję o przetestowaniu innego rozwiązania w zakresie budowy komory filtracyjnej, w której umieszcza się filtr ceramiczny.

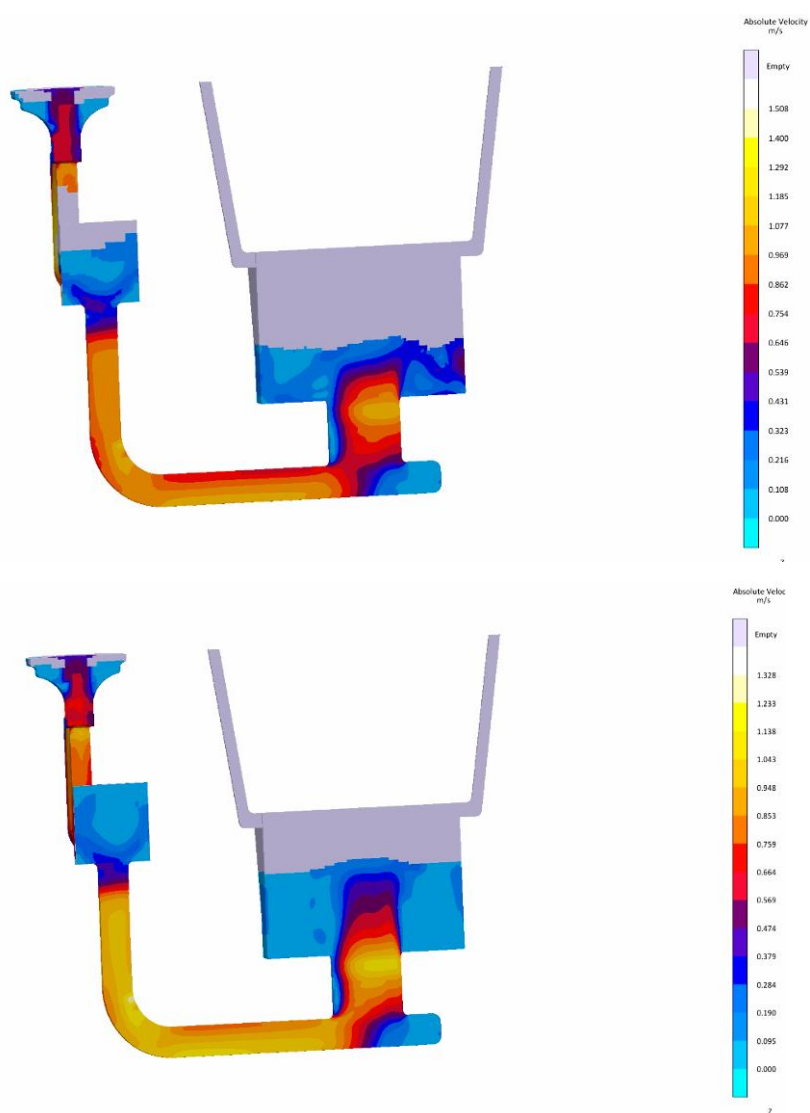
W wersji V4 wprowadzono rozwiązanie pod ogólną nazwą Turboprint z wykorzystaniem ruchu wirowego metalu w przestrzeni komory filtracji przed filtrem. Zmiana konstrukcji komory filtracji i ustawienie filtra pionowo może zwiększyć efektywność procesu filtracji.

Symulacja V4 wykonana została dla rozwiązania z pionowym położeniem filtra. W wersji V4 pionowo położony filtr (górna powierzchnia) znajduje się w odległości 125 mm od górnej powierzchni pakietu (rys 7.9). Wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci pól prędkości żeliwa i znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnęki formy pokazano na rysunkach 7.10 i 7.11.

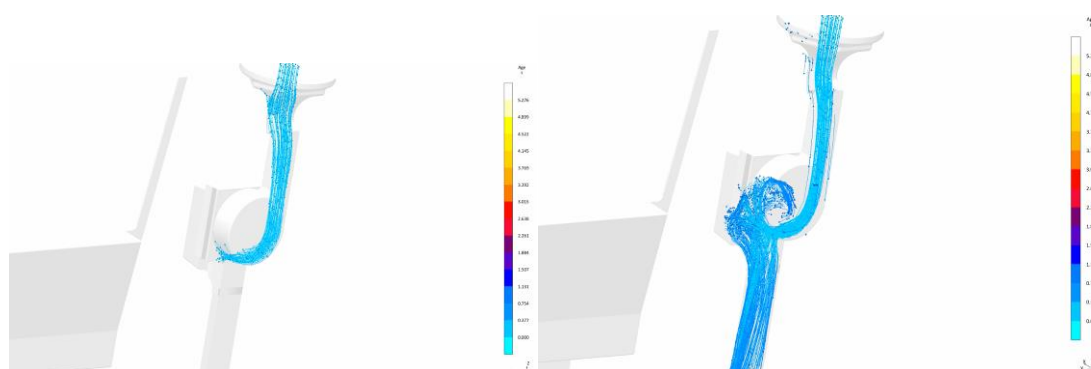


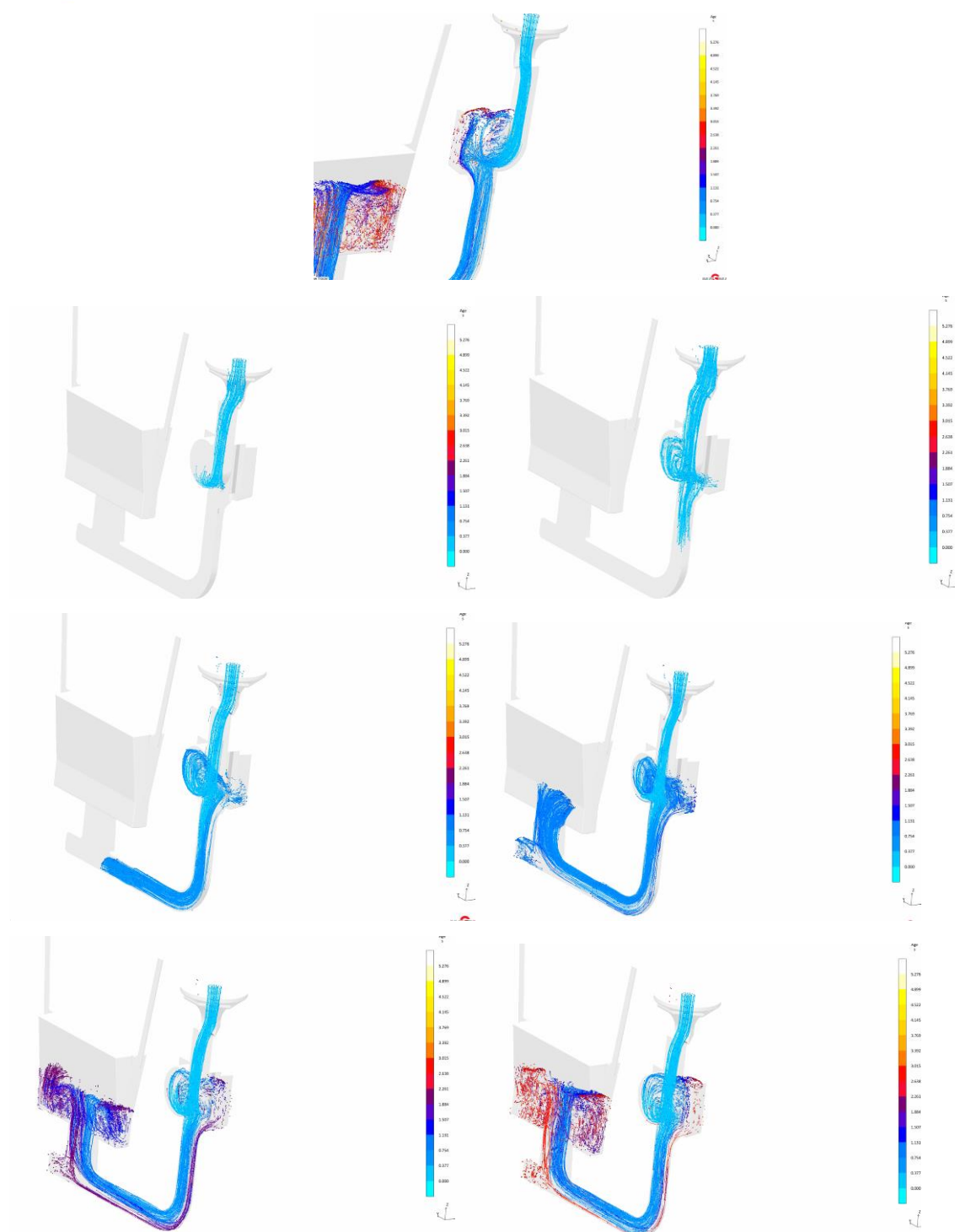
Rys 7.9. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V4





Rys 7.10. Wyniki symulacji - prędkość żeliwa podczas wypełniania.





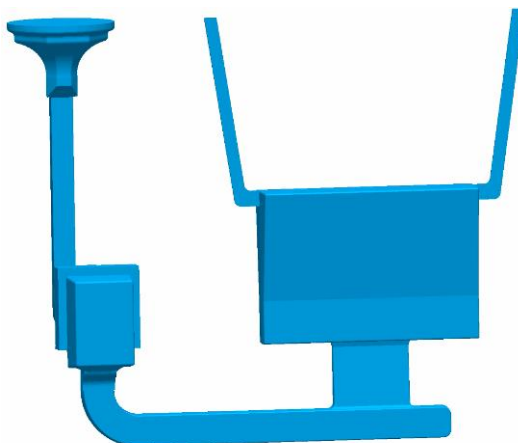
Rys 7.11. Wyniki symulacji - znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnęki formy

W wyniku przeprowadzonej symulacji (V4) stwierdzono, że stosowane rozwiązanie jest korzystniejsze niż testowane wcześniej w symulacjach V1-3 dotychczas stosowane rozwiązanie z poziomym ułożeniem filtra. Zaobserwowano znaczący spadek prędkości metalu w kanałach układu wlewowego (z ok. 2 str. 125

m/s do 1,2 m/s) podczas wypełniania. Stwierdzono, że przepływ żeliwa podczas wypełniania jest zbliżony do przepływu laminarnego a podnoszenie lustra metalu we wnęce formy jest równomierne.

V5 i V6

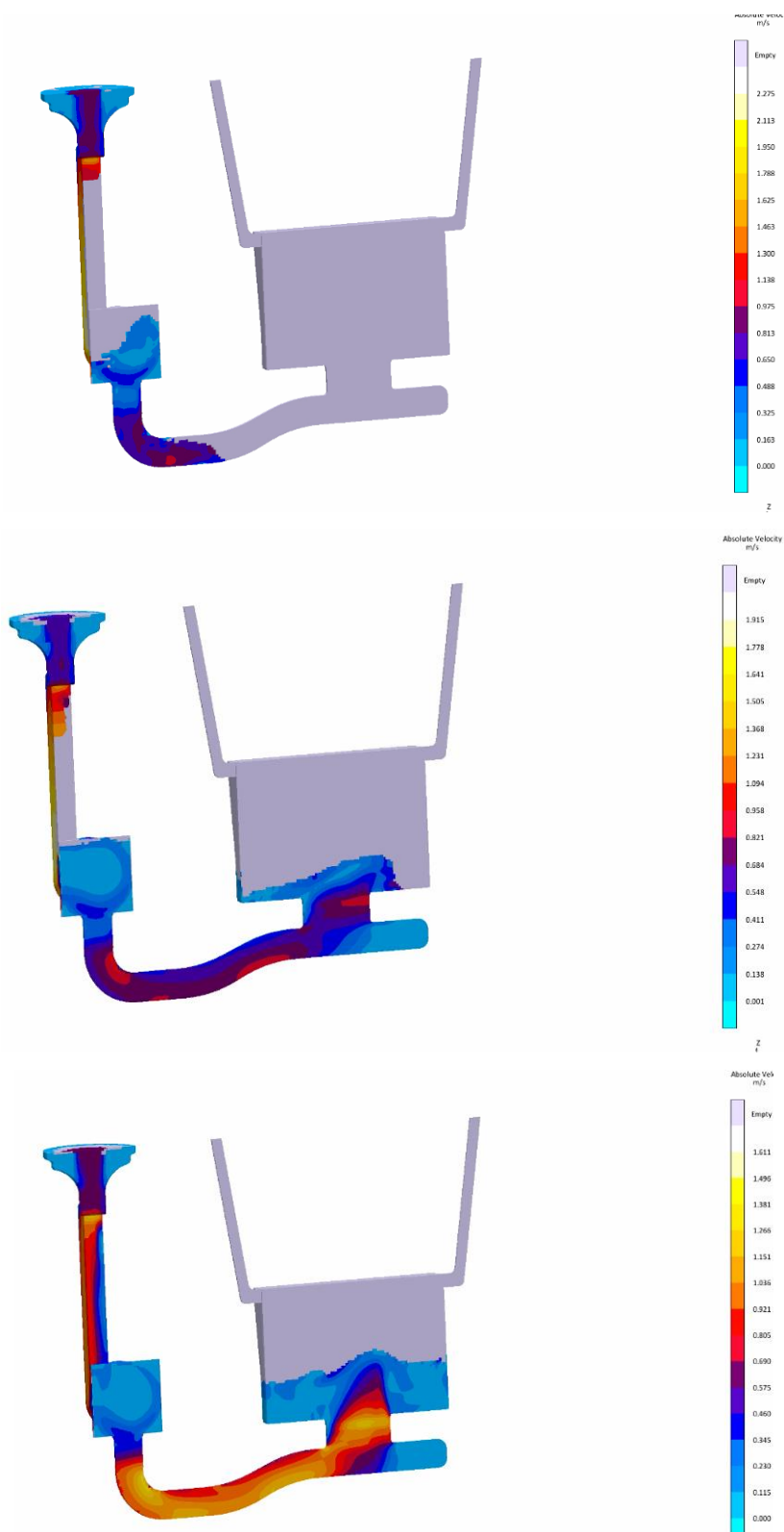
Symulacja V5 wykonana została dla rozwiązania z pionowym położeniem filtra. W wersji V5 poziomo położony filtr (górna powierzchnia) znajduje się w odległości 235 mm od górnej powierzchni pakietu (rys 7.12). W symulacjach testowano również wpływ zmiany długości wlewu doprowadzającego na przebieg procesu wypełniania, dlatego w symulacji V6 zmniejszono o połowę długość wlewu doprowadzającego (rys 7.13). Wyniki przeprowadzonych obliczeń w postaci pól prędkości żeliwa i znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy pokazano na rysunkach 7.14 i 7.15.

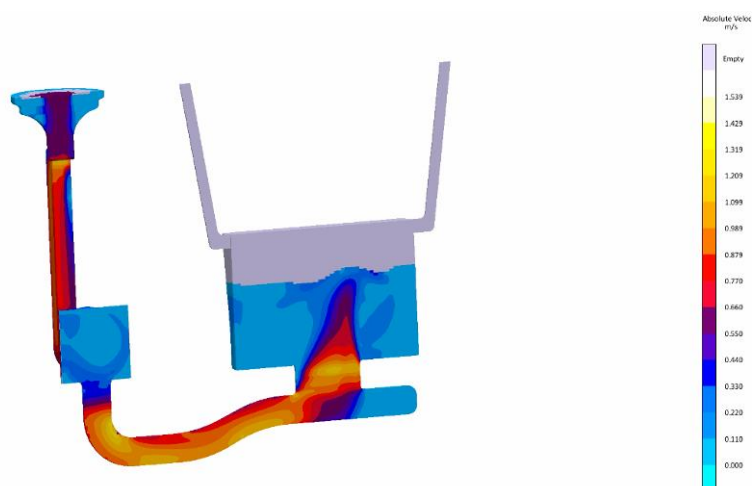


Rys 7.12. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V5

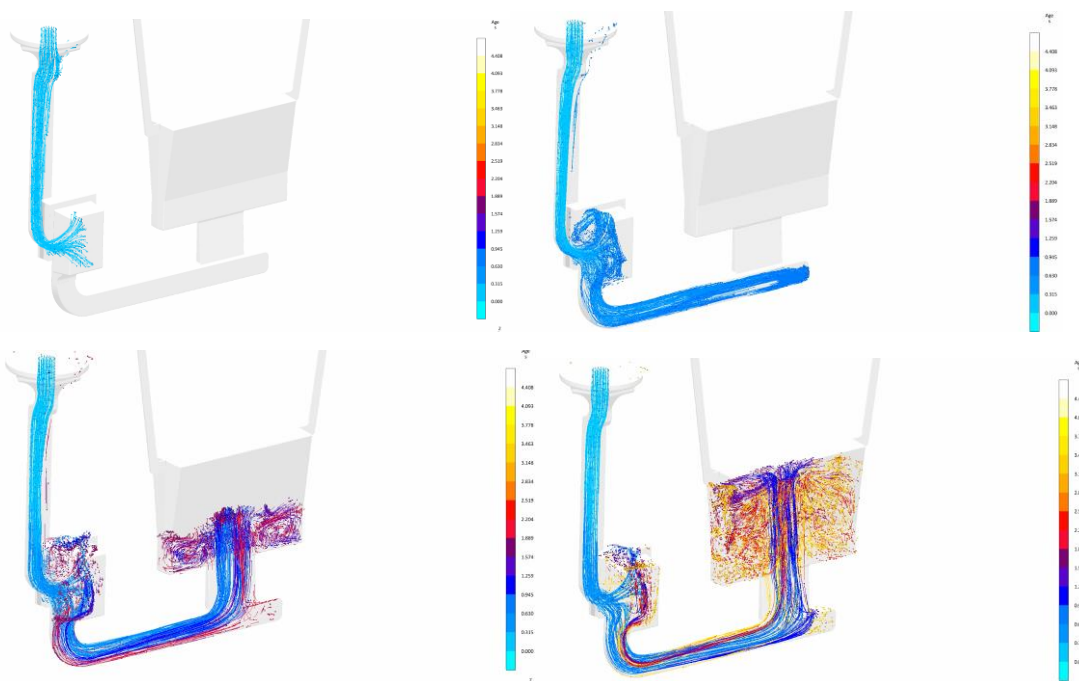


Rys 7.13. Model bryłowy odlewu z układem wlewowym wersja V6





Rys 7.14. Wyniki symulacji - prędkość żeliwa podczas wypełniania.



Rys 7.15. Wyniki symulacji - znaczników przepływu dla poszczególnych faz wypełniania wnętrza formy

W wyniku przeprowadzonych symulacji (V5 i V6) stwierdzono, że prędkości metalu w kanałach układu wlewowego są zbliżone do tych jakie uzyskano w symulacji V4. Potwierdzono, że zastosowanie rozwiązania *Turboprint* jest korzystniejsze niż dotychczas stosowane rozwiązanie z poziomym ułożeniem filtra w komorze niezależnie od wysokości na jakiej znajduje się komora filtracyjna. W wyniku symulacji stwierdzono, że przepływ żeliwa podczas wypełniania jest zbliżony do przepływu laminarnego a podnoszenie lustra metalu we wnęce formy jest równomierne.

3. Badania Walidacyjne – eksperyment odlewania

Opracowane w punkcie 2 rozwiązanie zostało zweryfikowane w warunkach produkcyjnych Odlewni Żeliwa Drawski. Dla wybranego w wyniku symulacji rozwiązania przygotowano proces wykonania odlewów testowych w celu sprawdzenia czy przyjęte rozwiązanie nie doprowadza do zanieczyszczenia metalu wtrąceniami związanymi z reoksydacją stopu lub jego nasycenia gazami z nagrzewanych mas formierskich podczas zalewania form odlewniczych.

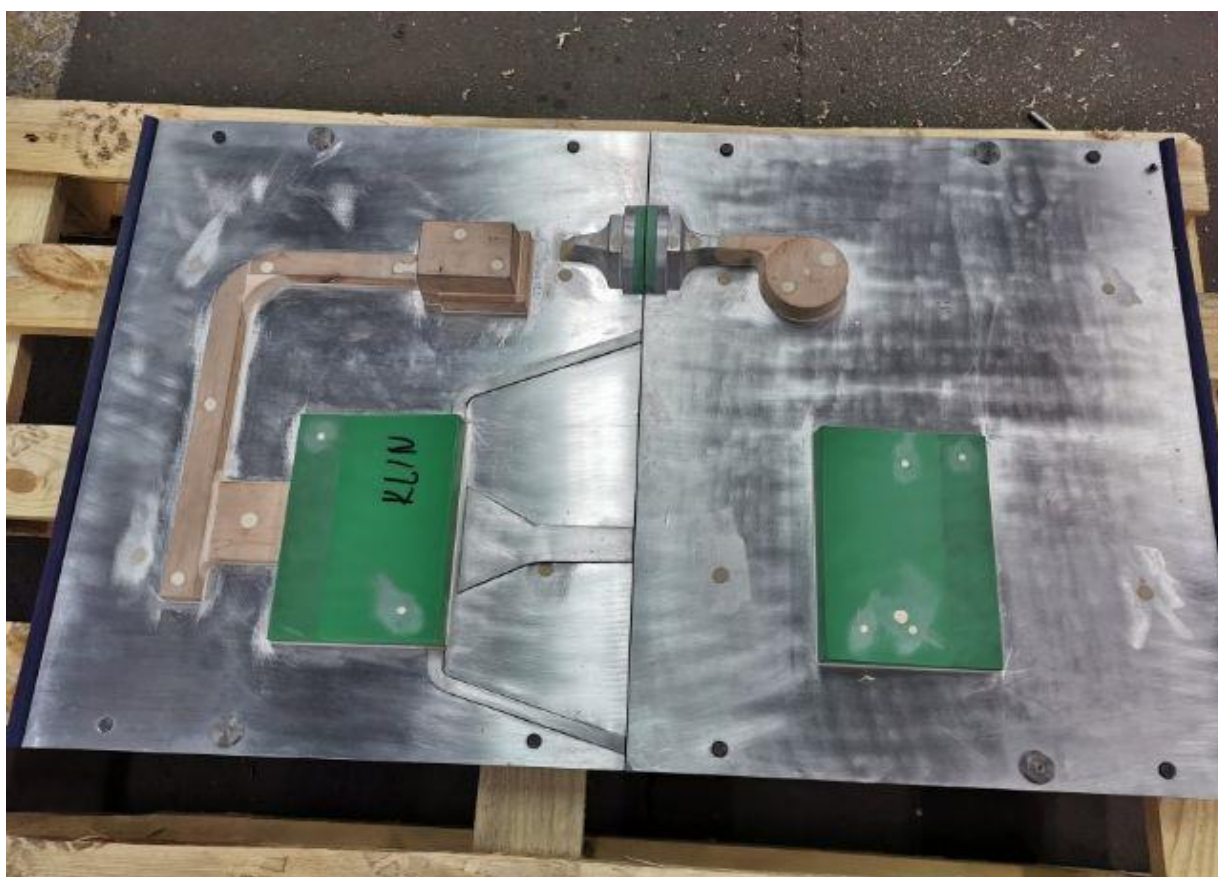
W tym celu wykonano dwa wytopy Z8.1 i Z8.2 (12 ton żeliwa) w celu wykonania odlewów próbnych w formach z pionową powierzchnią podziału, które mają potwierdzić skuteczność nowej konstrukcji układu wlewowego. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabelach 7.1 i 7.2. W ramach zadania wykonano dwie płyty modelowe (rys. 7.16).

Tabela 7.1. Wytop Z7.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 40 (ZAD 7 – Z7.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 7.2. Wytop Z7.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 41 (ZAD 7 – Z7.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126



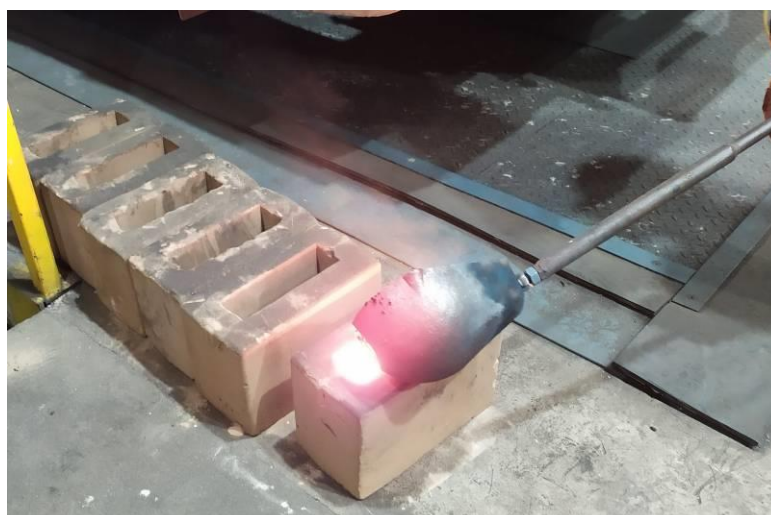
Rys. 7.16. Płyta modelowa z rozwiązaniem turboprint.

W wyniku przeprowadzonych procesów odlewania uzyskano odlewy Y2 w formie z pionową powierzchnią podziału (Rys. 7.17). W ramach badań podczas każdego wytopu wykonano także odlewy wlewków Y2 wykonywane w rdzeniach (Rys. 7.18).

W celu potwierdzenia skuteczności nowej konstrukcji układu wlewowego z odlewów Y2 wykonanych w formach z układem wlewowym i odlewów wykonanych w rdzeniach zostały pobrane próbki do badań oceny mikrostruktury metalograficznej, określenia właściwości mechanicznych.



Rys. 7.17. Eksperyment odlewania - odlew Y2 uzyskany w formie z pionową powierzchnią podziału



Rys. 7.18. Odlewy wlewków Y2 wykonywane w rdzeniach

Wyniki badań oceny mikrostruktury metalograficznej właściwości mechanicznych uzyskanych na próbkach z odlewów wlewków i z odlewów wykonanych w formach zestawiono w tabelach 7.3 – 7.5.

Tabela 7.3. Wynik badań metalograficznych – wytop Z7.1

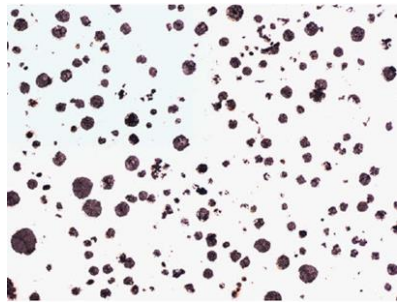
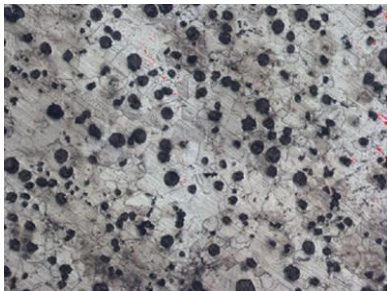
Zdjęcia struktury badanego żeliwa	Opis struktury żeliwa
 	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%] 99/1 Stopień sferoidyzacji 94 [%] 239 kulek/mm²

Tabela 7.4. Wynik badań metalograficznych – wytop Z7.2

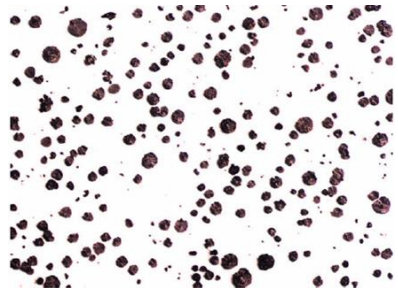
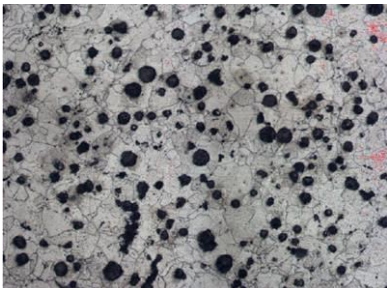
Zdjęcia struktury badanego żeliwa	Opis struktury żeliwa
 	Rodzaj osnowy (ferryt/perlit) [%] 99/1 Stopień sferoidyzacji 93 [%] 284 kulek/mm²

Tabela 7.5. Wynik badań wytrzymałościowych.

Nr wytopu	odlew	R _m [MPa]	A ₅ [%]
Z6.1	w rdzeniach	427	20,5
	w formie	423	20,3
Z6.2	w rdzeniach	412	22,7
	w formie	409	22,2

4. Podsumowanie

W zadaniu 7 w celu wyboru optymalnej budowy układu wlewowego wykonano serię symulacji z wykorzystaniem kodu Magmasoft. W kolejnych rozwiązaniach zmieniano budowę i położenie komory filtracyjnej oraz sposób ustawienia filtra (filtr ustawiony poziomo lub pionowo). Podczas symulacji analizowano proces wypełniania wnęki formy (prędkości podczas wypełniania i znaczniki przepływu dla poszczególnych faz wypełniania). **W wyniku przeprowadzonej analizy wybrano rozwiązanie pod ogólną nazwą Turboprint z wykorzystaniem ruchu wirowego metalu w przestrzeni komory filtracji przed filtrem do zastosowania w formach z pionową powierzchnią podziału. Stwierdzono, że zmiana konstrukcji komory filtracji i ustawienie filtra pionowo i wprowadzenie ruchu wirowego przed filtrem wpływa na obniżenie prędkości metalu w kanałach układu wlewowego podczas wypełniania z 2 m/s (dla obecnie stosowanego rozwiązania) do 1,2 m/s przez co przepływ żeliwa podczas wypełniania jest zbliżony do przepływu laminarnego a podnoszenie lustra metalu we wnęce formy jest równomierne. Wprowadzenie ruchu wirowego metalu w przestrzeni komory filtracji przed filtrem zwiększa też efektywność procesu filtracji.**

Opracowane rozwiązanie zostało zweryfikowane w warunkach produkcyjnych Odlewni Żeliwa Drawski. **Dla wybranego w wyniku symulacji rozwiązania przygotowano proces wykonania odlewów testowych w celu sprawdzenia czy przyjęte rozwiązanie nie doprowadzi do zanieczyszczenia metalu wtrąceniami związanymi z reoksydacją stopu lub jego nasycenia gazami z nagrzewanych mas formierskich podczas zalewania form odlewniczych.** W celu potwierdzenia skuteczności nowej konstrukcji układu wlewowego z odlewów Y2 wykonanych w formach z układem wlewowym i odlewów wykonanych w rdzeniach pobrane próbki do badań oceny mikrostruktury metalograficznej i określenia właściwości mechanicznych. **Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w wyniku procesu zalewania nie doszło do zanieczyszczenia metalu wtrąceniami związanymi z reoksydacją stopu lub jego nasycenia gazami z nagrzewanych mas formierskich.** Odelew wykonany w formie z pionową powierzchnią podziału charakteryzuje się podobnymi właściwościami mechanicznymi do tego wykonanego w rdzeniu i ma także zbliżoną liczbę kulek grafitu na mm².

Zadanie 8.

Wykonanie pierwszej partii odlewów w oparciu o nową technologię.

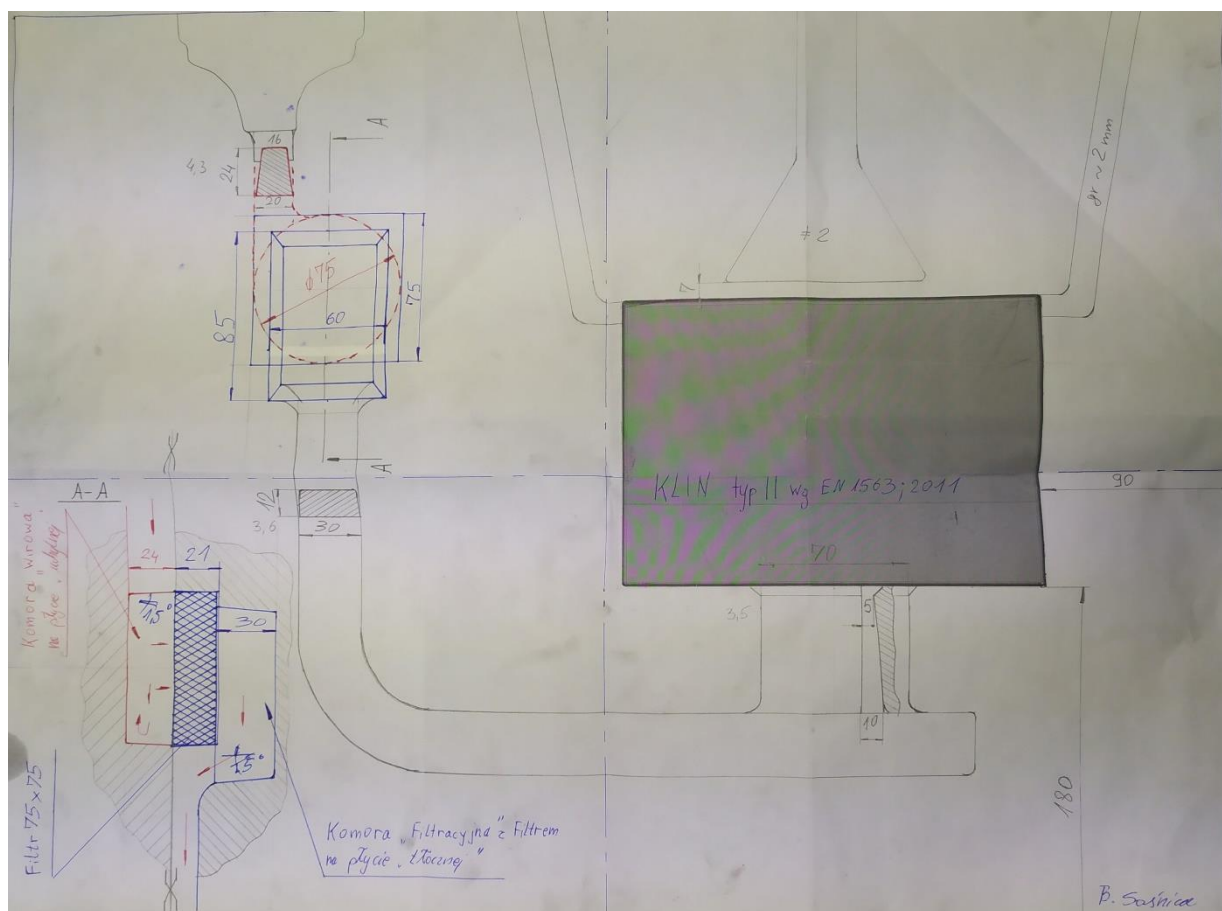
1. Wprowadzenie

Na podstawie wykonanych w badań opracowana została technologia produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości, która została osiągnięta na drodze dwustopniowej rafinacji gazowej w piecu i w kadzi oraz trzystopniowej modyfikacji. W zadaniu 6 potwierdzono uzyskanie żeliwa sferoidalnego odpowiadającego gatunkowi EN-GJS-400-18-LT (udarność w temperaturze -20°C , średnia z 3 pomiarów była powyżej 12J) i EN-GJS-350-22-LT (udarność w temperaturze -40°C , w średnia z 3 pomiarów była powyżej 12J), wskaźnik kształtu grafitu $>0,85$, $N>225$ kulek/ mm^2).

W zadaniu 8 wykonana została pierwsza partia 60 odlewów w formach z pionową powierzchnią podziału, zaprojektowanych według zasad określonych w zadaniu 7, spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18-LT lub EN-GJS-350-22-LT: $A > 18\%$.

2. Wykonanie serii odlewów.

Prace polegały na przeprowadzeniu dwóch wytopów (Z8.1 i Z8.2) po 6 ton żeliwa według nowo opracowanej technologii oraz wykonanie odlewów w formach z pionową powierzchnią podziału zaprojektowaną według zasad określonych w zadaniu 7. Forma miała układ wlewowy z komorą filtracji wykorzystującą ruch wirowy w komorze przed filtrem (rozwiązanie Turboprint), w której umieszczono filtr 10ppi. Uproszczoną dokumentację koncepcji odlewania pokazano na rysunku 8.1. Wytop Z8.1 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-400-18-LT, a wytop Z8.2 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-350-22-LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabelach 8.1 i 8.2, a uzyskane składy chemiczne zestawiono w tabeli 8.3.



Rys. 8.1 Uproszczona dokumentacja koncepcji odlewania

Tabela 8.1. Wytóp Z8.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 42 (ZAD 8 – Z8.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 8.2. Wytop Z8.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 43 (ZAD 8 – Z8.2)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 8.3. Składy chemiczne żeliwa uzyskane w wytopach Z8.1 i Z8.2

Skład chemiczny żeliwa		
	Wytop Z6.1	Wytop Z6.2
C %	3,60	3,79
Si %	2,59	2,42
Mn %	0,131	0,125
P %	0,023	0,021
S %	0,011	0,011
Mg %	0,055	0,053
Al %	0,009	0,012
Cu %	0,016	0,019
Cr %	0,020	0,021
Ni %	0,021	0,019
V %	0,0015	0,0015
Sn %	0,003	0,004

3. Wyniki Badań.

Podczas każdego wytopu wykonano odlewy, z których pobrano próbki do określenia właściwości mechanicznych R_m i A_5 . Wykonano badania właściwości wytrzymałościowych próbek pobranych z 30 odlewów próbnych wykonanych z żeliwa uzyskanego w wytopie Z8.1 (przygotowanego według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-400-18-LT) oraz 30 odlewów próbnych wykonanych z żeliwa uzyskanego w wytopie Z8.2 (przygotowanego według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-350-22-LT).

Dla każdego odlewu wykonano pomiary na próbce wyciętej z dolnej warstwy odlewu.

Wyniki pomiarów dla 60 odlewów uzyskanych w dwóch wytopach zestawiono w tabelach 8.4 i 8.5.

Tabela 8.4. Wytop Z8.1 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m i A_5

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]
Z8.1-1	425	19,5
Z8.1-2	420	20,9
Z8.1-3	428	20,2
Z8.1-4	435	19,7
Z8.1-5	418	21,5
Z8.1-6	434	20,1
Z8.1-7	414	22,1
Z8.1-8	424	20,9
Z8.1-9	431	19,6
Z8.1-10	430	19,8
Z8.1-11	419	21,9
Z8.1-12	428	21,6
Z8.1-13	423	22,0
Z8.1-14	435	20,2
Z8.1-15	425	21,1
Z8.1-16	422	21,3
Z8.1-17	421	21,0
Z8.1-18	423	20,9
Z8.1-19	431	20,6
Z8.1-20	435	19,6
Z8.1-21	426	20,3
Z8.1-22	431	20,5
Z8.1-23	418	22,4
Z8.1-24	432	20,5
Z8.1-25	431	20,1
Z8.1-26	428	19,8
Z8.1-27	434	20,6
Z8.1-28	429	21,9
Z8.1-29	431	20,2
Z8.1-30	422	21,5

Tabela 8.5. Wytap Z8.2 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m i A_5

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]
Z8.2-1	412	22,3
Z8.2-2	405	23,5
Z8.2-3	416	22,5
Z8.2-4	421	22,1
Z8.2-5	406	23,1
Z8.2-6	408	22,8
Z8.2-7	412	22,1
Z8.2-8	415	22,4
Z8.2-9	429	22,6
Z8.2-10	413	22,1
Z8.2-11	407	23,2
Z8.2-12	409	23,1
Z8.2-13	411	22,7
Z8.2-14	416	22,4
Z8.2-15	413	22,5
Z8.2-16	406	22,8
Z8.2-17	420	22,4
Z8.2-18	419	23,9
Z8.2-19	415	23,2
Z8.2-20	412	22,4
Z8.2-21	408	23,2
Z8.2-22	418	23,4
Z8.2-23	415	22,6
Z8.2-24	414	22,5
Z8.2-25	408	23,9
Z8.2-26	427	22,4
Z8.2-27	415	23,1
Z8.2-28	405	23,6
Z8.2-29	411	22,4
Z8.2-30	408	22,9

3. Podsumowanie

W ramach zadania 8 wykonano dwa wytopy próbne według nowo opracowanej technologii. Podczas każdego wytopu wykonano odlewy, z których pobrano próbki do określenia właściwości mechanicznych. W tabelach 8.4 i 8.5 zestawiono wyniki badań właściwości wytrzymałościowych z 60 odlewów próbnych odlanych z żeliwa uzyskanego w procesie z zastosowaniem rafinacji gazowej i trzystopniowej modyfikacji, jako metody podwyższania jego jakości. Analizując wyniki badań odlewów z dwóch wytopów można zauważyć, że rozrzuty wyników wytrzymałości R_m jak i wydłużenia A_5 dla odlewów z danego wytopu utrzymują się w wąskich granicach. W przypadku odlewów próbnych wykonanych z żeliwa uzyskanego w wytopie Z8.1 (przygotowane według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-400-18-LT) dla wszystkich odlewów uzyskano wydłużenie $A_5 > 18\%$. Dla odlewów próbnych wykonanych z żeliwa uzyskanego w wytopie Z8.2 (przygotowane według instrukcji wytwarzania żeliwa gatunku EN-GJS-350-22-LT) dla wszystkich odlewów uzyskano wydłużenie $A_5 > 22\%$. Należy to przypisywać procesom dwustopniowej rafinacji i trzystopniowej modyfikacji.

Wytrzymałość i właściwości plastyczne żeliwa sferoidalnego zależą od rodzaju osnowy, ilości i wielkości kulkowych wydzieleni grafitu, ich „stopnia sferoidalności” (ściślej współczynnika kształtu) oraz ilości niemetalicznych wtrąceń. W przypadku żeliwa ferrytycznego różnice w wytrzymałości wynikają ze stopnia rozdrobnienia grafitu, jego kulistości i czystości stopu. Rozdrobnienie uzyskuje się przez dobrą wielostopniową modyfikację, o kulistości decyduje proces sferoidyzacji i ilość resztkowego Mg, natomiast czystość stopu jest uzyskiwana na drodze rafinacji. Wszelkiego rodzaju wtrącenia niemetalowe, obniżony współczynnik kształtu wydzieleni grafitu silnie obniżają plastyczność, bardziej niż wytrzymałość. **Cechą charakterystyczną ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości (bez wtrąceń niemetalowych) jest uzyskiwanie wysokiego wydłużenia w próbie rozciągania (A_5) i małego rozrzutu wyników pomiarów na serii próbek z danego wytopu.**

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 8.4 można stwierdzić, że dla wszystkich badanych odlewów uzyskano wydłużenie $A_5 > 18\%$. Daje to podstawę do uznania, że osiągnięto kamień milowy KM 2.2 – Pierwsza produkcja partii żeliwa w oparciu o nową technologię, potwierdzonej wykonaniem partii 50÷60 spełniających warunki technicznego odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-350-22-LT lub EN-GJS-400-18-LT: $A_5 > 18\%$.

Zadanie 9

Wykonanie serii odlewów testowych o zamierzonej morfologii grafitu, wysokiej czystości i właściwościach odpowiadających EN-GJS-400-18-LT i EN-GJS-350-22-LT z utrzymaniem powtarzalności na poziomie 80%.

3. Wprowadzenie

Na podstawie wykonanych w badań opracowana została technologia produkcji ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o wysokiej czystości, która została osiągnięta na drodze dwustopniowej rafinacji gazowej w piecu i w kadzi oraz trzystopniowej modyfikacji. W zadaniu 8 wykonana została pierwsza partia 60 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18-LT lub EN-GJS-350-22-LT: $A > 18\%$. Kolejnym etapem badań jest potwierdzenie powtarzalności procesu (wytopów) na poziomie 80%.

2. Wykonanie serii odlewów

W ramach zadania 9 wykonano 20 wytopów próbnych (120 ton żeliwa) według nowo opracowanej technologii. Podczas badań pierwszych 10 wytopów próbnych (Z9.1-Z9.10) wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT, kolejne 10 wytopów (Z9.11-Z9.20) wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN-GJS-350-22-LT.

Podczas każdego wytopu wykonano 20 odlewów, z których pobrano próbki do badań oceny mikrostruktury metalograficznej, określenia właściwości mechanicznych i znormalizowanej udarności w obniżonej temperaturze. Wykonano badania właściwości wytrzymałościowych R_m , A_5 i udarności $U_{V(-20^\circ C)}$, $U_{V(-40^\circ C)}$ oraz oceniano mikrostrukturę (min. wskaźnik kształtu grafitu i liczbę wydzieli grafitu) dla próbek pobranych z 400 odlewów próbnych odlanych z żeliwa uzyskanego w wytopach (Z9.1-Z9.20) w procesie z zastosowaniem rafinacji gazowej i trzystopniowej modyfikacji, jako metody podwyższania jego jakości.

3. Wyniki badań

Wyniki badań odlewów uzyskanych w wytopach Z9.1 – Z9.20 zestawiono w tabelach.

Wytop Z9.1

Wytop Z9.1 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.1, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.2. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.1 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,94$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>281$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.3.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.1. Wytop Z9.1 – materiały wsadowe

WYTOP NR 44 (ZAD 9 – Z9.1)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.2. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.1

C %	3,60
Si %	2,57
Mn %	0,135
P %	0,021
S %	0,013
Mg %	0,049
Al %	0,011
Cu %	0,021
Cr %	0,025
Ni %	0,021

V %	0,0015
Sn %	0,005

Tabela 9.3. Wytop Z9.1 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ C)}$ śr [J]
Z9.1 - 1	432	20,5	12,20
Z9.1 - 2	421	21,3	12,63
Z9.1 - 3	438	19,9	12,47
Z9.1 - 4	435	19,6	12,23
Z9.1 - 5	430	20,7	12,43
Z9.1 - 6	432	20,4	13,03
Z9.1 - 7	419	21,2	12,47
Z9.1 - 8	421	21,9	12,77
Z9.1 - 9	428	21,4	12,80
Z9.1 - 10	430	20,8	12,13
Z9.1 - 11	441	19,5	12,43
Z9.1 - 12	436	19,9	12,03
Z9.1 - 13	435	19,5	12,27
Z9.1 - 14	422	20,5	12,47
Z9.1 - 15	431	20,8	12,43
Z9.1 - 16	428	21,6	12,57
Z9.1 - 17	430	21,0	12,30
Z9.1 - 18	439	20,5	12,23
Z9.1 - 19	432	20,8	12,53
Z9.1 - 20	426	21,1	12,27

Wytop Z9.2

Wytop Z9.2 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.4, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.5. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.2 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,93$ i liczbą wydzieleni grafitu $N>263$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.6.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.4. Wytop Z9.2 – materiały wsadowe

WYTOP NR 45 (ZAD 9 – Z9.2)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.5. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.2

C %	3,63
Si %	2,61
Mn %	0,125
P %	0,023
S %	0,011
Mg %	0,050
Al %	0,010
Cu %	0,019
Cr %	0,022
Ni %	0,022
V %	0,0012
Sn %	0,005

Tabela 9.6. Wytop Z9.2 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.2 - 1	436	20,3	12,10
Z9.2 - 2	431	20,2	12,43
Z9.2 - 3	438	19,8	12,17
Z9.2 - 4	445	18,8	12,07
Z9.2 - 5	440	18,7	12,13
Z9.2 - 6	430	20,4	12,40
Z9.2 - 7	428	20,2	12,47
Z9.2 - 8	420	20,9	12,43
Z9.2 - 9	422	21,4	12,67
Z9.2 - 10	426	20,6	12,33
Z9.2 - 11	442	19,5	12,20
Z9.2 - 12	438	19,2	12,13
Z9.2 - 13	425	19,5	12,17
Z9.2 - 14	428	20,4	12,37
Z9.2 - 15	435	20,7	12,47
Z9.2 - 16	429	19,6	12,43
Z9.2 - 17	439	20,0	12,30
Z9.2 - 18	435	20,5	12,23
Z9.2 - 19	430	19,8	12,10
Z9.2 - 20	436	19,1	12,17

Wytop Z9.3

Wytop Z9.3 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.7, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.8. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.3 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,93$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>231$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.9.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 17 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$). Dla 3 odlewów (Z9.3 – 4, Z9.3 – 7 i Z9.3 – 16) nie uzyskano wymaganej udarności. W związku z tym, że 17 na 20 odlewów (85% odlewów) spełniło wymagania wytop Z9.3 uznano za spełniający wymagania (powtarzalność powyżej 80%).

Tabela 9.7. Wytop Z9.3 – materiały wsadowe

WYTOP NR 46 (ZAD 9 – Z9.3)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.8. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.3

C %	3,65
Si %	2,64
Mn %	0,150
P %	0,022
S %	0,012
Mg %	0,052
Al %	0,010
Cu %	0,026
Cr %	0,024
Ni %	0,024
V %	0,0015
Sn %	0,005

Tabela 9.9. Wytop Z9.3 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.3 - 1	437	20,2	12,33
Z9.3 - 2	441	19,8	12,23
Z9.3 - 3	435	19,2	12,07
Z9.3 - 4	430	18,6	11,90
Z9.3 - 5	437	19,7	12,13
Z9.3 - 6	442	18,9	12,17
Z9.3 - 7	451	18,4	10,40
Z9.3 - 8	446	18,9	12,13
Z9.3 - 9	442	19,4	12,17
Z9.3 - 10	435	19,6	12,23
Z9.3 - 11	442	19,1	12,10
Z9.3 - 12	448	19,4	12,13
Z9.3 - 13	439	20,5	12,27
Z9.3 - 14	438	20,4	12,23
Z9.3 - 15	449	19,2	12,07
Z9.3 - 16	458	18,6	11,83
Z9.3 - 17	440	19,0	12,07
Z9.3 - 18	432	19,9	12,23
Z9.3 - 19	438	19,5	12,13
Z9.3 - 20	446	18,8	12,07

Wytop Z9.4

Wytop Z9.4 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.10, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.11. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.4 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,94$ i liczbą wydzieleni grafitu $N>271$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.12.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.10. Wytop Z9.4 – materiały wsadowe

WYTOP NR 47 (ZAD 9 – Z9.4)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.11. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.4

C %	3,58
Si %	2,60
Mn %	0,130
P %	0,022
S %	0,012
Mg %	0,048
Al %	0,010
Cu %	0,017
Cr %	0,019
Ni %	0,020
V %	0,0015
Sn %	0,004

Tabela 9.12. Wytop Z9.4 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ C)} \bar{s}$ [J]
Z9.4 - 1	425	20,5	12,13
Z9.4 - 2	418	20,0	12,40
Z9.4 - 3	425	20,2	13,07
Z9.4 - 4	429	19,6	12,13
Z9.4 - 5	434	19,7	12,10
Z9.4 - 6	430	20,9	12,33
Z9.4 - 7	421	20,1	12,30
Z9.4 - 8	428	19,9	12,13
Z9.4 - 9	422	20,4	13,17
Z9.4 - 10	426	20,6	12,23
Z9.4 - 11	432	19,1	12,10
Z9.4 - 12	430	19,4	12,13
Z9.4 - 13	428	20,5	12,27
Z9.4 - 14	435	20,4	12,37
Z9.4 - 15	431	20,2	12,47
Z9.4 - 16	428	20,6	13,23
Z9.4 - 17	430	19,0	12,10
Z9.4 - 18	425	20,9	12,23
Z9.4 - 19	436	19,5	12,10
Z9.4 - 20	428	19,8	12,13

Wytop Z9.5

Wytop Z9.5 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.13, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.14. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.5 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,94$ i liczbą wydzieleni grafitu $N>263$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.15.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.13. Wytop Z9.5 – materiały wsadowe

WYTOP NR 48 (ZAD 9 – Z9.5)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.14. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.5

C %	3,65
Si %	2,56
Mn %	0,125
P %	0,021
S %	0,011
Mg %	0,049
Al %	0,011
Cu %	0,016
Cr %	0,015
Ni %	0,018
V %	0,0012
Sn %	0,003

Tabela 9.15. Wytop Z9.5 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ\text{C})}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.5 - 1	422	21,8	12,73
Z9.5 - 2	417	22,1	12,77
Z9.5 - 3	425	21,5	12,60
Z9.5 - 4	428	21,6	13,33
Z9.5 - 5	424	20,7	12,37
Z9.5 - 6	420	21,9	12,43
Z9.5 - 7	419	21,1	12,30
Z9.5 - 8	428	20,9	12,27
Z9.5 - 9	423	21,4	13,37
Z9.5 - 10	426	21,6	12,33
Z9.5 - 11	422	22,1	12,60
Z9.5 - 12	430	20,4	12,43
Z9.5 - 13	425	20,8	12,37
Z9.5 - 14	425	20,5	12,23
Z9.5 - 15	423	21,2	12,47
Z9.5 - 16	428	20,6	12,37
Z9.5 - 17	419	21,9	12,50
Z9.5 - 18	425	20,9	13,03
Z9.5 - 19	426	21,5	12,30
Z9.5 - 20	418	21,8	12,43

Wytop Z9.6

Wytop Z9.6 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.16, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.17. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.6 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,94$ i liczbą wydzieleni grafitu $N>258$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.18.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.16. Wytop Z9.6 – materiały wsadowe

WYTOP NR 49 (ZAD 9 – Z9.6)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.17. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.6

C %	3,61
Si %	2,52
Mn %	0,128
P %	0,023
S %	0,011
Mg %	0,047
Al %	0,010
Cu %	0,019
Cr %	0,020
Ni %	0,024
V %	0,0015
Sn %	0,005

Tabela 9.18. Wytop Z9.6 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^{\circ}C)}$ śr [J]
Z9.6 - 1	430	19,8	12,23
Z9.6 - 2	428	20,1	12,37
Z9.6 - 3	425	20,5	13,07
Z9.6 - 4	429	19,6	12,13
Z9.6 - 5	434	20,2	12,27
Z9.6 - 6	438	20,1	12,23
Z9.6 - 7	429	20,7	12,30
Z9.6 - 8	438	19,9	12,13
Z9.6 - 9	433	20,4	13,17
Z9.6 - 10	436	20,6	12,33
Z9.6 - 11	432	21,0	12,40
Z9.6 - 12	430	20,2	12,33
Z9.6 - 13	435	19,8	12,17
Z9.6 - 14	431	20,1	12,27
Z9.6 - 15	433	20,4	13,23
Z9.6 - 16	438	19,8	12,10
Z9.6 - 17	429	20,6	12,23
Z9.6 - 18	435	20,9	12,30
Z9.6 - 19	437	20,5	12,27
Z9.6 - 20	438	19,9	12,13

Wytop Z9.7

Wytop Z9.7 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.19, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.20. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.7 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,95$ i liczbą wydzieleni grafitu $N > 295$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.21.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5 > 18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)} > 12$).

Tabela 9.19. Wytop Z9.7 – materiały wsadowe

WYTOP NR 50 (ZAD 9 – Z9.7)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.20. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.7

C %	3,64
Si %	2,46
Mn %	0,132
P %	0,022
S %	0,011
Mg %	0,045
Al %	0,012
Cu %	0,019
Cr %	0,018
Ni %	0,019
V %	0,0013
Sn %	0,003

Tabela 9.21. Wytop Z9.7 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ C)} \bar{s}$ [J]
Z9.7 - 1	421	20,7	13,17
Z9.7 - 2	418	21,1	12,50
Z9.7 - 3	423	21,5	12,53
Z9.7 - 4	419	22,0	13,37
Z9.7 - 5	414	22,2	12,77
Z9.7 - 6	420	21,1	13,10
Z9.7 - 7	421	20,9	12,43
Z9.7 - 8	415	21,9	12,60
Z9.7 - 9	417	22,4	13,23
Z9.7 - 10	415	21,7	12,57
Z9.7 - 11	422	22,0	12,63
Z9.7 - 12	419	22,2	13,20
Z9.7 - 13	420	21,8	12,67
Z9.7 - 14	421	21,9	12,53
Z9.7 - 15	423	21,4	12,60
Z9.7 - 16	418	20,8	13,47
Z9.7 - 17	421	21,6	12,37
Z9.7 - 18	415	21,9	12,60
Z9.7 - 19	417	22,5	12,87
Z9.7 - 20	421	20,9	12,53

Wytop Z9.8

Wytop Z9.8 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.22, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.23. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.8 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,95$ i liczbą wydzieliń grafitu $N > 295$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.24.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5 > 18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)} > 12$).

Tabela 9.22. Wytop Z9.8 – materiały wsadowe

WYTOP NR 51 (ZAD 9 – Z9.8)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.23. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.8

C %	3,65
Si %	2,44
Mn %	0,133
P %	0,021
S %	0,012
Mg %	0,051
Al %	0,015
Cu %	0,016
Cr %	0,020
Ni %	0,018
V %	0,0015
Sn %	0,004

Tabela 9.24. Wytop Z9.8 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^{\circ}C)}$ śr [J]
Z9.8 - 1	425	21,7	12,43
Z9.8 - 2	428	21,1	12,33
Z9.8 - 3	421	21,0	12,47
Z9.8 - 4	419	22,1	12,67
Z9.8 - 5	417	22,0	13,23
Z9.8 - 6	426	21,2	12,43
Z9.8 - 7	429	20,8	12,33
Z9.8 - 8	425	20,9	13,10
Z9.8 - 9	416	21,7	12,63
Z9.8 - 10	419	21,9	12,47
Z9.8 - 11	422	21,0	12,73
Z9.8 - 12	418	21,2	12,70
Z9.8 - 13	416	21,6	12,63
Z9.8 - 14	420	21,8	12,77
Z9.8 - 15	424	21,9	13,03
Z9.8 - 16	418	21,4	12,47
Z9.8 - 17	424	20,8	12,43
Z9.8 - 18	417	21,8	13,30
Z9.8 - 19	415	21,6	12,63
Z9.8 - 20	419	21,1	12,57

Wytop Z9.9

Wytop Z9.9 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.25, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.26. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.9 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,92$ i liczbą wydzieleni grafitu $N>234$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.27.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 11 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$). Dla 9 odlewów (Z9.9 – 3, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 18 i 19) nie uzyskano wymaganej udarności. W związku z tym, że 11 na 20 odlewów (55% odlewów) spełniło wymagania wytop Z9.9 uznano za niespełniający wymagań.

Tabela 9.25. Wytop Z9.9 – materiały wsadowe

WYTOP NR 52 (ZAD 9 – Z9.9)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.26. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.9

C %	3,52
Si %	2,63
Mn %	0,135
P %	0,023
S %	0,013
Mg %	0,050
Al %	0,013
Cu %	0,026
Cr %	0,021
Ni %	0,025
V %	0,0010

Sn %	0,005
------	-------

Tabela 9.27. Wytop Z9.9 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ\text{C})}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ\text{C})}$ [J]
Z9.9 - 1	445	18,7	12,13
Z9.9 - 2	439	19,1	12,23
Z9.9 - 3	441	19,0	11,83
Z9.9 - 4	449	19,4	12,03
Z9.9 - 5	434	20,2	12,27
Z9.9 - 6	436	20,3	12,13
Z9.9 - 7	444	19,6	12,23
Z9.9 - 8	441	18,9	11,70
Z9.9 - 9	437	18,7	12,07
Z9.9 - 10	430	20,6	12,17
Z9.9 - 11	442	19,0	11,73
Z9.9 - 12	448	18,7	11,47
Z9.9 - 13	435	19,6	12,13
Z9.9 - 14	450	18,8	10,77
Z9.9 - 15	444	19,9	11,87
Z9.9 - 16	449	19,4	11,93
Z9.9 - 17	434	20,1	12,03
Z9.9 - 18	447	19,0	11,97
Z9.9 - 19	440	18,8	11,73
Z9.9 - 20	448	19,1	12,07

Wytop Z9.10

Wytop Z9.10 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.28, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.29. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.10 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,94$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>269$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.30.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.28. Wytop Z9.10 – materiały wsadowe

WYTOP NR 53 (ZAD 9 – Z9.10)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3000
Złom żeliwny obiegowy	1500
Złom stalowy W-4	1500
Żelazokrzem Fe Si 75	42
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	90
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.29. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.10

C %	3,63
Si %	2,57
Mn %	0,129
P %	0,023
S %	0,010
Mg %	0,046
Al %	0,014
Cu %	0,020
Cr %	0,019
Ni %	0,022
V %	0,0015
Sn %	0,004

Tabela 9.30. Wytap Z9.10 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-20^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-20^\circ C)}$ [J]
Z9.10 - 1	423	21,5	12,53
Z9.10 - 2	416	22,0	13,10
Z9.10 - 3	426	21,3	12,57
Z9.10 - 4	427	21,6	13,03
Z9.10 - 5	423	21,1	12,33
Z9.10 - 6	419	21,9	12,43
Z9.10 - 7	418	21,6	12,37
Z9.10 - 8	428	20,9	12,33
Z9.10 - 9	424	21,2	12,37
Z9.10 - 10	427	21,4	12,53
Z9.10 - 11	421	22,0	12,77
Z9.10 - 12	429	21,4	12,63
Z9.10 - 13	425	21,8	13,27
Z9.10 - 14	432	20,4	12,40
Z9.10 - 15	424	21,3	12,47
Z9.10 - 16	428	21,6	12,63
Z9.10 - 17	422	21,5	12,50
Z9.10 - 18	425	20,9	12,43
Z9.10 - 19	429	21,0	12,40
Z9.10 - 20	419	21,7	12,57

Wytop Z9.11

Wytop Z9.11 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.31, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.32. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.11 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,96$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>308$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.33.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.31. Wytop Z9.11 – materiały wsadowe

WYTOP NR 54 (ZAD 9 – Z9.11)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.32. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.11

C %	3,78
Si %	2,36
Mn %	0,124
P %	0,022
S %	0,011
Mg %	0,048
Al %	0,012
Cu %	0,018
Cr %	0,016
Ni %	0,020
V %	0,0013
Sn %	0,003

Tabela 9.33. Wytop Z9.11 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^{\circ}C)}$ śr [J]
Z9.11 - 1	423	22,3	12,23
Z9.11 - 2	426	23,1	12,47
Z9.11 - 3	436	22,1	12,57
Z9.11 - 4	417	23,4	13,53
Z9.11 - 5	423	23,2	12,43
Z9.11 - 6	429	23,0	12,60
Z9.11 - 7	419	22,5	12,37
Z9.11 - 8	418	22,8	13,03
Z9.11 - 9	424	22,6	12,53
Z9.11 - 10	438	22,4	12,07
Z9.11 - 11	422	22,9	13,37
Z9.11 - 12	419	23,1	12,83
Z9.11 - 13	435	22,7	12,77
Z9.11 - 14	432	22,6	12,50
Z9.11 - 15	424	23,3	13,23
Z9.11 - 16	418	23,0	12,63
Z9.11 - 17	423	22,5	12,30
Z9.11 - 18	427	22,9	12,43
Z9.11 - 19	419	23,1	12,83
Z9.11 - 20	429	22,7	12,37

Wytop Z9.12

Wytop Z9.12 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.34, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.35. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.12 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,95$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>327$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.36.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.34. Wytop Z9.12 – materiały wsadowe

WYTOP NR 55 (ZAD 9 – Z9.12)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.35. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.12

C %	3,81
Si %	2,39
Mn %	0,130
P %	0,021
S %	0,012
Mg %	0,051
Al %	0,015
Cu %	0,016
Cr %	0,019
Ni %	0,022
V %	0,0010

Sn %	0,004
------	-------

Tabela 9.36. Wytop Z9.12 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ\text{C})}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ\text{C})}$ [J]
Z9.12 - 1	433	22,6	12,30
Z9.12 - 2	426	22,9	12,57
Z9.12 - 3	439	22,2	12,37
Z9.12 - 4	427	22,4	12,13
Z9.12 - 5	423	23,2	13,43
Z9.12 - 6	428	23,0	12,60
Z9.12 - 7	418	23,5	13,37
Z9.12 - 8	428	22,8	12,33
Z9.12 - 9	434	22,2	12,53
Z9.12 - 10	428	22,4	12,07
Z9.12 - 11	422	22,6	13,30
Z9.12 - 12	418	23,1	12,83
Z9.12 - 13	430	22,9	12,87
Z9.12 - 14	432	22,5	12,40
Z9.12 - 15	426	23,0	13,23
Z9.12 - 16	419	23,1	12,93
Z9.12 - 17	425	22,6	12,37
Z9.12 - 18	427	22,8	13,03
Z9.12 - 19	420	23,2	12,83
Z9.12 - 20	429	22,5	12,47

Wytop Z9.13

Wytop Z9.13 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.37, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.38. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.13 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,95$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>384$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.39.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.37. Wytop Z9.13 – materiały wsadowe

WYTOP NR 56 (ZAD 9 – Z9.13)	
<i>Materiał wsadowy</i>	<i>Udział wagowy [kg]</i>
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.38. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.13

C %	3,84
Si %	2,35
Mn %	0,122
P %	0,022
S %	0,011
Mg %	0,046
Al %	0,014
Cu %	0,018
Cr %	0,015
Ni %	0,018
V %	0,0014
Sn %	0,003

Tabela 9.39. Wytap Z9.13 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ C)}$ śr [J]
Z9.13 - 1	405	22,6	13,23
Z9.13 - 2	416	22,9	12,77
Z9.13 - 3	419	22,5	12,57
Z9.13 - 4	407	23,0	13,03
Z9.13 - 5	423	23,2	12,33
Z9.13 - 6	418	23,0	12,67
Z9.13 - 7	408	23,5	12,40
Z9.13 - 8	406	23,2	13,37
Z9.13 - 9	414	22,9	12,53
Z9.13 - 10	408	23,4	12,97
Z9.13 - 11	422	22,6	12,37
Z9.13 - 12	418	23,2	12,83
Z9.13 - 13	410	23,1	12,90
Z9.13 - 14	412	22,6	12,40
Z9.13 - 15	406	23,6	13,73
Z9.13 - 16	422	23,1	12,53
Z9.13 - 17	428	22,8	12,60
Z9.13 - 18	418	23,7	13,10
Z9.13 - 19	428	23,2	12,63
Z9.13 - 20	423	22,7	12,37

Wytop Z9.14

Wytop Z9.14 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.40, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.41. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.14 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu >0,96 i liczbą wydzieliń grafitu $N > 392$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.42.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5 > 22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)} > 12$).

Tabela 9.40. Wytop Z9.14 – materiały wsadowe

WYTOP NR 57 (ZAD 9 – Z9.14)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.41. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.14

C %	3,80
Si %	2,41
Mn %	0,125
P %	0,022
S %	0,012
Mg %	0,048
Al %	0,015
Cu %	0,019
Cr %	0,020
Ni %	0,022
V %	0,0015
Sn %	0,004

Tabela 9.42. Wytap Z9.14 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ C)}$ śr [J]
Z9.14 - 1	414	22,5	12,53
Z9.14 - 2	408	22,9	12,07
Z9.14 - 3	422	22,8	13,37
Z9.14 - 4	418	24,2	12,83
Z9.14 - 5	410	22,7	12,77
Z9.14 - 6	418	22,1	12,50
Z9.14 - 7	408	23,1	13,23
Z9.14 - 8	406	22,8	12,63
Z9.14 - 9	422	22,4	12,30
Z9.14 - 10	418	23,2	12,43
Z9.14 - 11	410	22,7	12,83
Z9.14 - 12	418	23,0	12,37
Z9.14 - 13	408	22,6	12,53
Z9.14 - 14	412	22,5	12,07
Z9.14 - 15	406	22,2	13,37
Z9.14 - 16	419	23,1	12,83
Z9.14 - 17	421	22,9	12,77
Z9.14 - 18	407	23,5	12,50
Z9.14 - 19	410	22,2	13,23
Z9.14 - 20	419	22,6	12,63

Wytop Z9.15

Wytop Z9.15 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.43, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.44. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.15 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,93$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>254$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.45.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 8 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$). Dla 12 odlewów (Z9.15 – 2, 3, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 19 i 20) nie uzyskano wymaganej udarności. W związku z tym, że 8 na 20 odlewów (40% odlewów) spełniło wymagania wytop Z9.15 uznano za niespełniający wymagań.

Tabela 9.43. Wytop Z9.15 – materiały wsadowe

WYTOP NR 58 (ZAD 9 – Z9.15)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.44. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.15

C %	3,69
Si %	2,45
Mn %	0,155
P %	0,023
S %	0,012
Mg %	0,050
Al %	0,015
Cu %	0,029
Cr %	0,023
Ni %	0,026
V %	0,0015
Sn %	0,005

Tabela 9.45. Wytop Z9.15 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.15 - 1	416	22,3	12,07
Z9.15 - 2	426	22,1	11,37
Z9.15 - 3	429	22,4	10,83
Z9.15 - 4	423	22,2	12,13
Z9.15 - 5	419	22,3	12,27
Z9.15 - 6	418	22,1	10,50
Z9.15 - 7	428	22,9	12,20
Z9.15 - 8	434	22,8	11,63
Z9.15 - 9	427	22,4	11,93
Z9.15 - 10	421	22,2	12,03
Z9.15 - 11	429	22,7	10,87
Z9.15 - 12	435	22,4	11,47
Z9.15 - 13	432	22,6	11,93
Z9.15 - 14	418	22,5	12,07
Z9.15 - 15	436	22,2	10,37
Z9.15 - 16	427	22,1	12,20
Z9.15 - 17	433	22,5	9,27
Z9.15 - 18	419	22,7	12,13
Z9.15 - 19	428	22,2	11,23
Z9.15 - 20	430	22,1	11,87

Wytop Z9.16

Wytop Z9.16 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.46, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.47. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.16 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu >0,96 i liczbą wydzieliń grafitu $N > 321$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.48.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5 > 22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)} > 12$).

Tabela 9.46. Wytop Z9.16 – materiały wsadowe

WYTOP NR 59 (ZAD 9 – Z9.16)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.47. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.16

C %	3,75
Si %	2,35
Mn %	0,120
P %	0,023
S %	0,011
Mg %	0,047
Al %	0,014
Cu %	0,019
Cr %	0,018
Ni %	0,020
V %	0,0015
Sn %	0,003

Tabela 9.48. Wytop Z9.16 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.16 - 1	423	22,4	12,77
Z9.16 - 2	426	22,8	12,50
Z9.16 - 3	436	22,1	13,23
Z9.16 - 4	417	23,1	12,63
Z9.16 - 5	423	23,2	12,30
Z9.16 - 6	429	22,6	13,43
Z9.16 - 7	419	22,5	12,37
Z9.16 - 8	418	22,8	12,43
Z9.16 - 9	424	23,0	12,83
Z9.16 - 10	438	22,2	13,47
Z9.16 - 11	422	22,9	12,43
Z9.16 - 12	419	23,2	12,83
Z9.16 - 13	435	22,5	12,77
Z9.16 - 14	432	22,6	12,50
Z9.16 - 15	424	23,1	13,03
Z9.16 - 16	418	22,6	12,40
Z9.16 - 17	423	22,2	13,33
Z9.16 - 18	427	22,9	12,43
Z9.16 - 19	419	22,8	12,83
Z9.16 - 20	429	22,4	13,17

Wytop Z9.17

Wytop Z9.17 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.49, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.50. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.17 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,96$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>344$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.51.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.49. Wytop Z9.17 – materiały wsadowe

WYTOP NR 60 (ZAD 9 – Z9.17)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.50. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.17

C %	3,75
Si %	2,32
Mn %	0,120
P %	0,023
S %	0,011
Mg %	0,047
Al %	0,014
Cu %	0,019
Cr %	0,018
Ni %	0,020
V %	0,0015
Sn %	0,003

Tabela 9.51. Wytop Z9.17 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^{\circ}C)}$ śr [J]
Z9.17 - 1	429	22,6	12,43
Z9.17 - 2	435	22,2	13,50
Z9.17 - 3	432	22,9	12,73
Z9.17 - 4	424	22,8	12,53
Z9.17 - 5	418	24,4	12,20
Z9.17 - 6	423	22,6	13,07
Z9.17 - 7	427	22,4	12,87
Z9.17 - 8	408	23,9	13,03
Z9.17 - 9	424	23,0	12,83
Z9.17 - 10	438	22,2	12,33
Z9.17 - 11	412	24,0	12,97
Z9.17 - 12	419	22,7	12,83
Z9.17 - 13	430	22,5	12,67
Z9.17 - 14	432	22,2	13,53
Z9.17 - 15	414	23,1	12,80
Z9.17 - 16	428	22,6	12,47
Z9.17 - 17	423	22,9	12,73
Z9.17 - 18	437	22,3	12,43
Z9.17 - 19	419	23,7	12,87
Z9.17 - 20	412	22,4	13,57

Wytop Z9.18

Wytop Z9.18 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.52, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.53. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.18 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,91$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>230$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.54.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 2 odlewy spełniające warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$). Dla 18 odlewów (Z9.18 – 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 i 11-20) nie uzyskano wymaganej udarności. W związku z tym, że 2 na 20 odlewów (10% odlewów) spełniło wymagania wytop Z9.18 uznano za niespełniający wymagań.

Tabela 9.52. Wytop Z9.18 – materiały wsadowe

WYTOP NR 61 (ZAD 9 – Z9.18)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.53. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.18

C %	3,66
Si %	2,43
Mn %	0,150
P %	0,023
S %	0,011
Mg %	0,047
Al %	0,012
Cu %	0,032
Cr %	0,024
Ni %	0,043
V %	0,0014
Sn %	0,004

Tabela 9.54. Wytop Z9.18 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.18 - 1	429	22,4	11,07
Z9.18 - 2	435	22,1	11,23
Z9.18 - 3	432	22,2	11,83
Z9.18 - 4	418	22,9	12,03
Z9.18 - 5	436	22,3	11,20
Z9.18 - 6	427	22,6	11,13
Z9.18 - 7	433	22,9	10,20
Z9.18 - 8	434	22,1	10,63
Z9.18 - 9	427	22,2	11,57
Z9.18 - 10	411	22,8	12,17
Z9.18 - 11	425	22,5	10,37
Z9.18 - 12	435	22,8	11,87
Z9.18 - 13	442	22,3	10,93
Z9.18 - 14	428	22,5	11,33
Z9.18 - 15	432	22,1	11,57
Z9.18 - 16	425	22,2	11,93
Z9.18 - 17	437	22,9	11,30
Z9.18 - 18	439	22,6	10,77
Z9.18 - 19	422	22,8	11,63
Z9.18 - 20	431	22,3	11,83

Wytop Z9.19

Wytop Z9.19 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.55, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.56. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.19 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,97$ i liczbą wydzieliń grafitu $N>409$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.57.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)}>12$).

Tabela 9.55. Wytop Z9.19 – materiały wsadowe

WYTOP NR 62 (ZAD 9 – Z9.19)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.56. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.19

C %	3,85
Si %	2,31
Mn %	0,125
P %	0,021
S %	0,010
Mg %	0,049
Al %	0,015
Cu %	0,018
Cr %	0,016
Ni %	0,020
V %	0,0012
Sn %	0,002

Tabela 9.57. Wytap Z9.19 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ\text{C})}$ śr [J]
Z9.19 - 1	409	23,2	13,17
Z9.19 - 2	416	22,9	12,63
Z9.19 - 3	427	22,7	13,53
Z9.19 - 4	415	23,0	12,67
Z9.19 - 5	413	23,1	12,50
Z9.19 - 6	422	22,8	12,47
Z9.19 - 7	409	22,6	12,67
Z9.19 - 8	412	22,9	13,23
Z9.19 - 9	415	23,2	12,53
Z9.19 - 10	417	24,6	12,60
Z9.19 - 11	410	22,8	12,83
Z9.19 - 12	418	22,4	13,03
Z9.19 - 13	424	22,7	12,77
Z9.19 - 14	413	22,9	13,43
Z9.19 - 15	413	23,0	12,93
Z9.19 - 16	418	22,8	12,77
Z9.19 - 17	425	22,4	12,53
Z9.19 - 18	407	24,5	12,83
Z9.19 - 19	418	22,9	13,07
Z9.19 - 20	425	22,2	12,50

Wytop Z9.20

Wytop Z9.20 wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 350 – 22 – LT. Zestawienie materiałów wsadowych przedstawiono w tabeli 9.58, a uzyskany skład chemiczny zestawiono w tabeli 9.59. Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w wytopie Z9.20 uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu >0,95 i liczbą wydzieliń grafitu $N > 396$ kulek/mm². Wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^{\circ}C)}$ zestawiono w tabeli 9.60.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 20 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-350-22-LT: $A_5 > 22\%$, $U_{V(-40^{\circ}C)} > 12$).

Tabela 9.58. Wytop Z9.20 – materiały wsadowe

WYTOP NR 63 (ZAD 9 – Z9.20)	
Materiał wsadowy	Udział wagowy [kg]
Surówka specjalna	3600
Złom żeliwny obiegowy	1200
Złom stalowy W-4	1200
Żelazokrzem Fe Si 75	36
Modyfikator Zircinoc 0,2-0,7mm	30
Modyfikator Innocast 2 - 6mm	30
Nawęglacz Desulco	96
Drut do sferoidyzacji żeliwa WHS 1525	126

Tabela 9.59. Skład chemiczny żeliwa uzyskany w wytopie Z9.20

C %	3,81
Si %	2,36
Mn %	0,130
P %	0,022
S %	0,011
Mg %	0,050
Al %	0,014
Cu %	0,017
Cr %	0,019
Ni %	0,019
V %	0,0010
Sn %	0,005

Tabela 9.60. Wytap Z9.20 - wyniki badań wytrzymałościowych R_m , A_5 i $U_{V(-40^\circ C)}$

Nr odlewu	R_m [MPa]	A_5 [%]	$U_{V(-40^\circ C)}$ śr [J]
Z9.20 - 1	415	22,8	12,47
Z9.20 - 2	416	23,9	12,67
Z9.20 - 3	422	22,6	12,83
Z9.20 - 4	410	23,0	13,53
Z9.20 - 5	412	24,1	12,60
Z9.20 - 6	419	22,7	12,87
Z9.20 - 7	429	22,6	12,93
Z9.20 - 8	422	22,7	12,80
Z9.20 - 9	425	22,4	13,03
Z9.20 - 10	417	23,6	13,40
Z9.20 - 11	411	22,9	12,97
Z9.20 - 12	428	23,5	12,43
Z9.20 - 13	421	22,7	12,67
Z9.20 - 14	433	22,4	13,23
Z9.20 - 15	412	22,8	12,93
Z9.20 - 16	428	22,7	12,80
Z9.20 - 17	425	23,4	13,17
Z9.20 - 18	417	23,6	12,53
Z9.20 - 19	428	22,5	12,40
Z9.20 - 20	421	22,9	12,93

3. Podsumowanie

W ramach zadania 9 wykonano 20 wytopów próbnych (120 ton żeliwa) według nowo opracowanej technologii. Podczas badań pierwszych 10 wytopów próbnych (Z9.1-Z9.10) wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN GJS 400 – 18 – LT, kolejne 10 wytopów (Z9.11-Z9.20) wykonano według instrukcji wytwarzania żeliwa klasy EN-GJS-350-22-LT.

Podczas każdego wytopu wykonano 20 odlewów, z których pobrano próbki do badań oceny mikrostruktury metalograficznej, określenia właściwości mechanicznych i znormalizowanej udarności w obniżonej temperaturze. Wykonano badania właściwości wytrzymałościowych R_m , A_5 i udarności $U_{V(-20^{\circ}\text{C})}$, $U_{V(-40^{\circ}\text{C})}$ oraz oceniano mikrostrukturę (min. wskaźnik kształtu grafitu i liczbę wydzieli grafitu) dla próbek pobranych z 400 odlewów próbnych odlanych z żeliwa uzyskanego w wytopach (Z9.1-Z9.20) w procesie z zastosowaniem rafinacji gazowej i trzystopniowej modyfikacji, jako metody podwyższania jego jakości.

Na podstawie wyników badań mikrostruktury metalograficznej stwierdzono, że w przypadku wszystkich odlewów uzyskano żeliwo o osnowie ferrytycznej z wskaźnikiem kształtu grafitu $>0,85$ i liczbą wydzieli grafitu $N>225$ kulek/mm². Na podstawie wyników badań wytrzymałościowych stwierdzono, że dla wszystkich badanych odlewów wykonanych w wytopach Z9.1-Z9.10 uzyskano wydłużenie $A_5 >18\%$, a dla wszystkich badanych odlewów wykonanych w wytopach Z9.11-Z9.20 uzyskano wydłużenie $A_5 >22\%$.

Podstawowym kryterium oceny klasy żeliwa w grupie do pracy w niskiej temperaturze jest udarność. Wyniki badań udarności wykonane w ramach zadania 9 pokazują, iż dużo łatwiej jest wytwarzać żeliwo klasy EN GJS 400 – 18 – LT, które powinno charakteryzować się udarnością $U_v(-20^{\circ}\text{C}) > 12\text{J}$ niż żeliwo klasy EN GJS 350 – 22-LT, którego udarność w $U_v(-40^{\circ}\text{C}) > 12\text{J}$.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że uzyskano 358 odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa (EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}\text{C})}>12\text{J}$ lub EN-GJS-350-22-LT $A_5>22\%$, $U_{V(-40^{\circ}\text{C})}>12\text{J}$) o bardzo wysokich właściwościach plastycznych i odporności na obciążenia dynamiczne w warunkach niskiej temperatury (-20°C lub -40°C).

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku wytopów Z9.1-Z9.10 uzyskano 94% odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18-LT: $A_5>18\%$, $U_{V(-20^{\circ}\text{C})}>12\text{J}$. W wytopach Z9.1, Z9.2, Z9.4 – Z9.8 i Z9.10 uzyskano 100% odlewów spełniających wymagania. Natomiast w wytopie Z9.3 wymagania spełniło 17 (dla 3 odlewów nie uzyskano wymaganej udarności) z 20 wykonanych odlewów (czyli 85%) w związku z tym wytop został uznany za spełniający wymagania (powtarzalność powyżej 80%). W wytopie Z9.9 wymagania spełniło 11 (dla 9 odlewów nie uzyskano wymaganej udarności) z 20 odlewów (czyli 55%) w związku z tym wytop Z9.9 uznano za niespełniający wymagań.

Na podstawie wyników wytopów Z9.1-Z9.10 stwierdzono, że warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN-GJS-400-18-LT uzyskano dla 9 z 10 wytopów w związku z tym uzyskano 90% powtarzalność procesu dla wytopów i 94% powtarzalność procesu dla wykonywanych odlewów.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku wytopów Z9.11-Z9.20 uzyskano 85% odlewów spełniających warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN GJS 350 – 22-LT: $A_5 > 22\%$, $U_{V(-40^{\circ}\text{C})} > 12\text{J}$. W wytopach Z9.11 – Z9.14, Z9.16, Z9.17, Z9.19 i Z9.20 uzyskano 100% odlewów spełniających wymagania. W wytopie Z9.15 wymagania spełniło 8 (dla 12 odlewów nie uzyskano wymaganej udarności) z 20 odlewów (czyli 40%) w związku z tym wytop Z9.15 uznano za niespełniający wymagań. Natomiast w wytopie Z9.18 w przypadku 18 odlewów nie uzyskano żeliwa o wymaganej udarności (pozostałe wymagania zostały spełnione), czyli wymagania spełniły 2 z 20 wykonanych odlewów (10%) w związku z tym wytop został uznany za nie spełniający wymagań. Na podstawie wyników wytopów Z9.11-Z9.20 stwierdzono, że warunki odbioru dla gatunku żeliwa EN GJS 350 – 22-LT uzyskano dla 8 z 10 wytopów w związku z tym uzyskano 80% powtarzalność procesu dla wytopów i 85% powtarzalność procesu dla wykonywanych odlewów.

Daje to podstawę do uznania, że osiągnięto kamień milowy KM 2.4 – Wytworzenie serii odlewów testowych o zamierzonej morfologii grafitu, wysokiej czystości i właściwościach w ściankach odlewu: odpowiednio: EN-GJS-400-18-LT: $A_5 > 18\%$, $U_V > 12\text{J}$ (przy $T = -20^{\circ}\text{C}$) oraz EN-GJS-350-22-LT $A_5 > 22\%$, $U_V > 12\text{J}$ (przy $T = -40^{\circ}\text{C}$) z utrzymaniem powtarzalności w warunkach zbliżonych do rzeczywistych na poziomie 80%.

Dr hab. inż. Paweł Popielarski
Kierownik Prac B+R