

**Politechnika Śląska**

**Wydział Inżynierii Materiałowej**



**Rozprawa doktorska**

mgr inż. Józef Schwietz

**Wykorzystanie dźwięku emitowanego przez pracujący piec elektryczny oraz wahań poboru mocy czynnej do wyznaczenia optymalnego momentu rozpoczęcia podawania spieniacza do pieca.**

Promotor:

dr hab. inż. Bogdan Panic prof. Politechniki Śląskiej

Katowice 2023



## Spis treści

1. Wprowadzenie.....	5
2. Konstrukcja elektrycznego pieca łukowego.....	6
2.1. Pancierz pieca.....	6
2.2. Sklepienie pieca i ceramiczny wkład.....	7
2.3. Ściany wykonane z paneli chłodzonych wodą.....	8
2.4. Zasilanie elektrycznego pieca łukowego.....	8
3. Technologia wytopu stali w elektrycznym piecu łukowym.....	11
4. Proces spieniania żużla.....	16
4.1. Metody podawania speniacza do pieca.....	19
4.2. Materiały stosowane jako speniacze.....	21
5. Wykorzystanie dźwięku jako narzędzia do sterowania procesami technologicznymi.....	24
5.1. Praktyczne zastosowanie dźwięku w metalurgii.....	27
6. Teza, cel i zakres pracy.....	36
7. Badania własne.....	37
7.1. Instalacja badawcza i materiały stosowane w czasie doświadczeń.....	37
7.2. Materiały stosowane w badaniach.....	44
8. Metodyka i wyniki badań.....	48
8.1. I etap badań – wyznaczenie częstotliwości dźwięku, który emituje pracujący łuk elektryczny.....	48
8.2. II etap badań – wyznaczenie wartości poziomu dźwięku, dla którego następuje stabilizacja poboru mocy.....	53
8.3. III etap badań – wyznaczenie momentu stabilizowania się poboru mocy czynnej.....	57
8.4. IV etap badań – przeprowadzenie wytopów przemysłowych w celu weryfikacji otrzymanych we wcześniejszych etapach wyników.....	72
9. Wyniki kontroli jakości wyrobów końcowych wykonanych z wytopów badawczych.....	81
10. Podsumowanie i wnioski.....	83
11. Załączniki.....	84
11.1 Algorytm.....	84
11.2 Program.....	87
11.3 Odbiorca I.....	103
11.4 Odbiorca II.....	115
11.5 Odbiorca III.....	116
11.6 Wskaźnik czystości K4.....	118
12. Streszczenie.....	123
12.1 Streszczenie w języku polskim.....	123
12.2 Streszczenie w języku angielskim.....	124

13.Literatura ..... 126



## 1. Wprowadzenie

Ciągły rozwój technologii wytwarzania stopów żelaza z węglem spowodował, że stal jest podstawowym materiałem konstrukcyjnym w współczesnym świecie [1], pomimo bardzo intensywnego rozwoju tworzyw sztucznych. Aby stal utrzymała swoją pozycję lidera, współcześni technolodzy wciąż poszukują nowych metod wytwarzania stali o coraz lepszej jakości, szerszym zastosowaniu, mniejszej uciążliwości dla środowiska naturalnego i niższych kosztach produkcji, takie właśnie wyzwania stoją przed współczesnymi technologami.

Pomimo ograniczenia kosztów produkcji w stalowniach technolodzy ciągle poszukują nowych metod obniżania kosztów przy zachowaniu co najmniej tej samej jakości wyrobów końcowych wytwarzanych przez elektrostalownie. Poszukiwania obniżki kosztów produkcyjnych obecnie realizuje się poprzez ciągle ulepszanie poszczególnych etapów wytopu, począwszy od załadunku złomu do koszy, roztopianie, świeżenia wraz z spienianiem żużła aż do spustu ciekłego metalu do kadzi.

Niniejsza praca koncentruje się wokół procesu spieniania żużła, a dokładniej na wyznaczeniu optymalnego momentu rozpoczęcia podawania speniacza w przestrzeń roboczą pieca. Znalezienie takiego momentu pozwala na wykorzystanie w maksymalnym zakresie wszystkich zalet tego procesu takich jak osłona wymurówki przed szkodliwym promieniowaniem cieplnym emitowanym przez pracujący łuk elektryczny i znaczne zwiększenie sprawności zamiany energii elektrycznej w energię cieplną.

Obecnie do wyznaczenia momentu rozpoczęcia podawania speniacza do pieca służą metody o różnym stopniu skuteczności:

- rozpoczęcie podawania speniacza na podstawie decyzji operatora, bazującej na jego słuchu i doświadczeniu;
- rozpoczęcie podawania speniacza po upływie określonego czasu topienia;
- rozpoczęcie podawania speniacza po zużyciu określonej ilości energii elektrycznej przypadającej na tonę wprowadzonego złomu, obecnie najczęściej stosowana;
- rozpoczęcie podawania speniacza do pieca wskazuje analiza poziomu dźwięku emitowanego przez piec, wielkości drgań pancierza i parametry elektryczne pracującego pieca.

Każda z tych metod ma swoje wady i zalety, pierwsze trzy są proste w przeprowadzeniu, ale obarczone dużym błędem, w związku z możliwością zastosowania różnych struktur złomowych, które będą potrzebowały dłuższego czasu topnienia lub energii niż założono w programie sterującym. Metoda oparta na analizie poziomu dźwięku emitowanego przez piec i drgań pancierza oraz parametrów elektrycznych jest metodą, w której konieczne jest dodatkowe termiczne zabezpieczenie czujników i nadzór nad ich stanem technicznym, w związku z warunkami jakie panują w czasie pracy pieca.

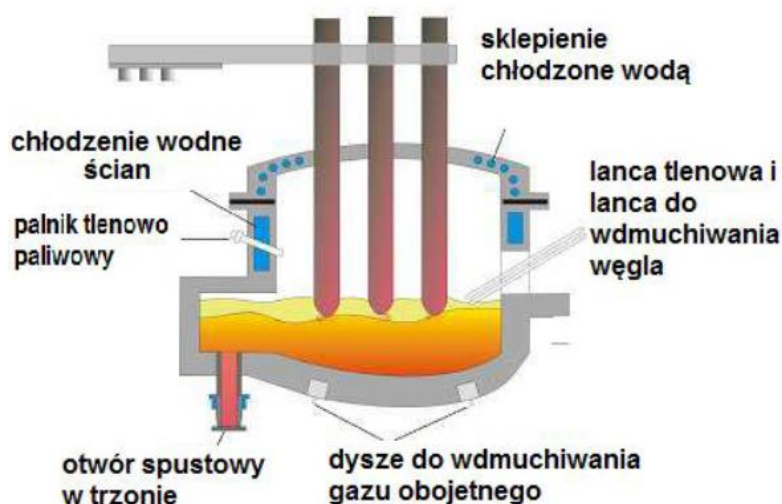
W związku z tym podjęto próbę opracowania nowej metody wyznaczenia optymalnego momentu rozpoczęcia podawania speniacza do pieca, która powinna charakteryzować się dużym stopniem skuteczności i prostotą. Metoda ta oparta jest na analizach poziomu dźwięku emitowanego przez elektryczny piec łukowy i wahań poboru mocy czynnej.

## 2. Konstrukcja elektrycznego pieca łukowego

Współczesna stalownia elektryczna budowana jest wzdłuż jednej wyznaczonej osi (co upraszcza transport ciekłego metalu i surowców wykorzystywanych w procesie) i składa się z następujących odcinków:

- hala wsadowa,
- elektryczny piec łukowy,
- obróbka poza piecowa – piecokadź,
- obróbka próżniowa (nie zawsze),
- maszyna ciągłego odlewania stali.

Aby wszystkie procesy zachodziły w elektrycznym piecu łukowym prawidłowo i ich przebieg był bezpieczny oraz mógł on wpisać się w całościową konstrukcję hali elektrostalowni musi on posiadać odpowiednią konstrukcję i budowę. Rysunek 1 przedstawia budowę elektrycznego pieca łukowego z zaznaczonymi poszczególnymi elementami.



Rys. 1. Budowa elektrycznego pieca łukowego [2]

Wytrzymałość i czas pracy niektórych elementów konstrukcji pieca jest w szczególności sposób uzależniony od jakości spieniania żużla. Do takich elementów zaliczamy:

- pancierz pieca z wymurówką ogniotrwałą,
- sklepienie chłodzone wodą i ceramiczne sklepienko (delta), w którym poruszają się elektrody,
- ściany z paneli chłodzonych wodą.

### 2.1. Pancierz pieca

Zadaniem pancierza pieca jest przenoszenie obciążeń pochodzących od masy wyłożenia ogniotrwałego, masy stali i żużla, konstrukcji pieca oraz obciążeń dynamicznych powstających podczas załadunku złomu do pieca. Pancierz wykonany jest najczęściej ze spawanych blach stalowych o grubości 20÷40 mm. W pancerzu wykonane są dwa otwory, jedno na okno żużlowe, drugie na otwór spustowy [3]. Konstrukcja pancierza pieca wzmacniana jest poziomymi i pionowymi żebrami, co przedstawia rysunek 2.

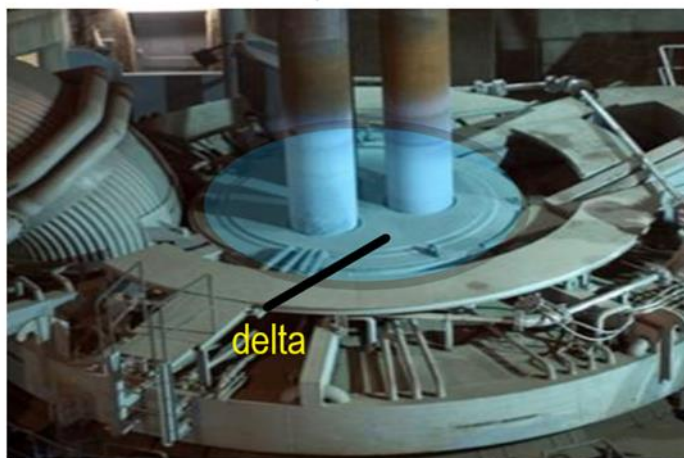


Rys. 2. Pancerz pieca w drodze do miejsca montażu [4]

Procesy chemiczne zachodzące w czasie trwania wytopu mają charakter zasadowy, w związku z tym materiały ogniotrwałe mające kontakt z płynnym metalem i żużłem są typu zasadowego. Są to głównie materiały dolomitowe, magnezytowe, magnezytowo-węglowe [5, 6].

## 2.2. Sklepienie pieca i ceramiczny wkład

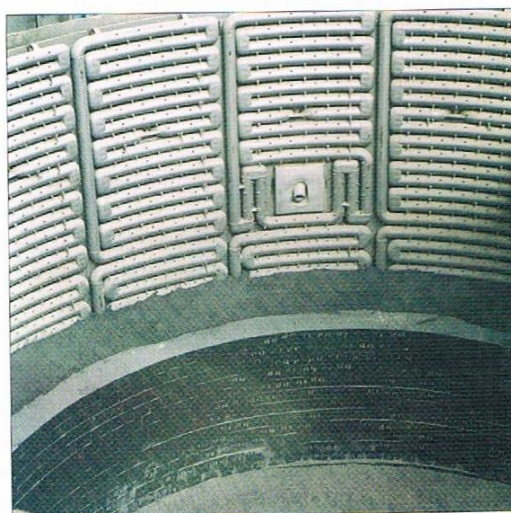
Sklepienie pieca i ceramiczny wkład (delta) umożliwia poruszanie się elektrod grafitowych w sklepieniu podczas pracy pieca co przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Wkład ceramiczny (delta) zabudowany w sklepieniu [7]

### 2.3. Ściany wykonane z paneli chłodzonych wodą

Ściany pieca to element konstrukcji bardzo narażony na szkodliwe oddziaływanie łuku elektrycznego. Obecnie najczęściej stosowanym systemem jest konstrukcja rurowo – segmentowa co przedstawiono na rysunku 4, która pozwala na taki dobór parametrów przepływu wody, aby temperatura w poszczególnych panelach była podobna. Taka konstrukcja pozwala także na szybką wymianę uszkodzonych elementów [6, 8].

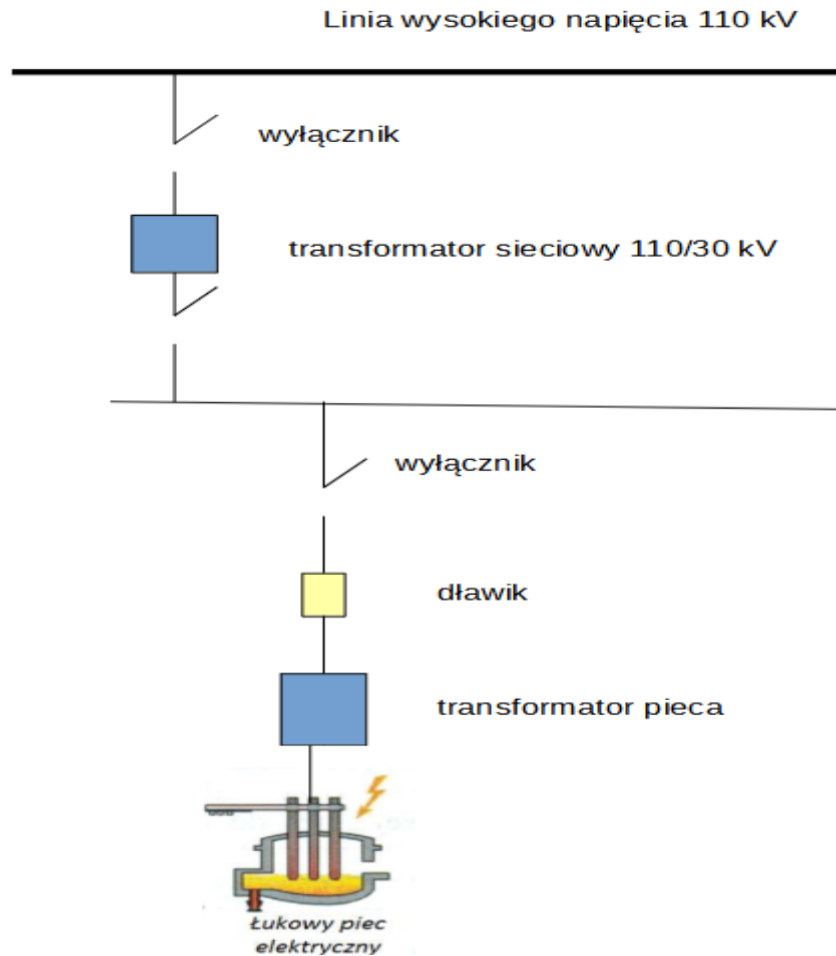


Rys. 4. Panele chłodzone wodą zabudowane w konstrukcji pieca [6]

### 2.4. Zasilanie elektrycznego pieca łukowego

Piec łukowy prądu zmiennego należy do grupy nieliniowych odbiorów elektroenergetycznych dużej mocy, charakteryzujących się dynamicznie zmiennym poborem mocy czynnej i biernej, zwłaszcza w stadium roztapiania wsadu. Ponadto EAF jako źródło harmonicznych, powodujących odkształcenie przebiegów napięć i prądów, stwarza problemy związane z jakością energii w systemie, co wpływa na działanie innych odbiorników podłączonych do sieci elektrycznej. Z tych względów piec łukowy z zasady posiada autonomiczny układ zasilania, przyłączany do krajowego systemu elektroenergetycznego w sposób zapewniający odpowiednią moc zwarcia, niezbędną do prawidłowego i szybkiego wytopu stali, a także utrzymania parametrów jakościowych energii elektrycznej. Energia elektryczna doprowadzana jest do instalacji pieca z systemu elektroenergetycznego za pośrednictwem transformatora sieciowego zasilającego rozdzielnię średniego napięcia. Transformator piecowy podłączony jest do szyn rozdzielni średniego napięcia poprzez dławik. Dzięki specjalnej konstrukcji transformator piecowy umożliwia w szerokim zakresie regulację pod obciążeniem napięć podawanych do elektrod [9].

Układ zasilający w energię elektryczną elektryczny piec łukowy został przedstawiony na rysunku 5.



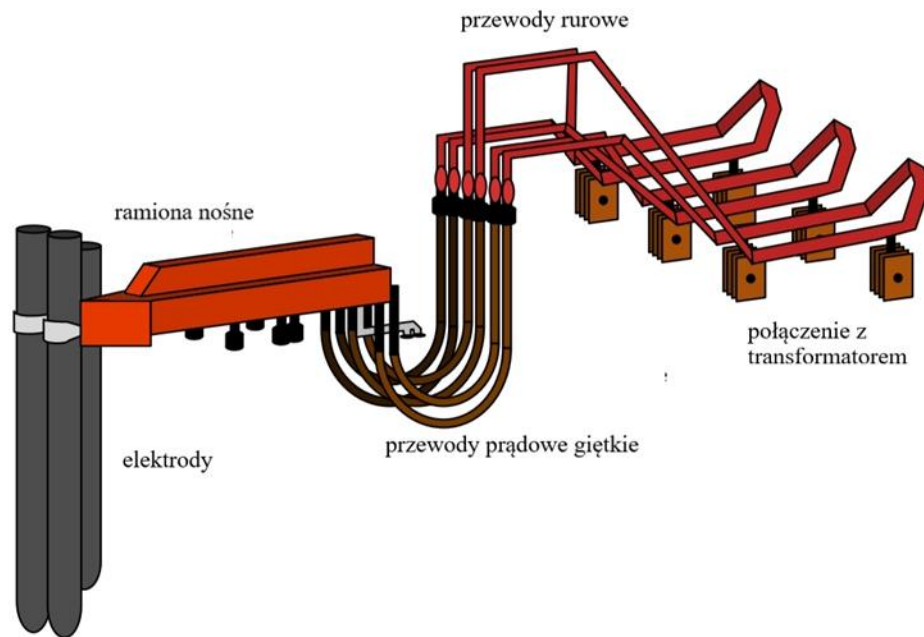
Rys. 5. Schemat zasilania elektrycznego pieca łukowego [10]

Zadaniem wyłącznika znajdującego się przed transformatorem 110/30 jest wyłączenie zasilania transformatora. Są to wyłączenia techniczne (przeglądy stacji, transformatora) i wyłączenia awaryjne jako skutek działania zabezpieczeń transformatora.

Wyłącznik 30 kV przed transformatorem piecowym działa w zakresie wyłączenia operacyjnego (wyłączenia do kilkadziesiąt razy na dobę – z reguły są to wyłączniki próżniowe), wyłączenia techniczne (przeglądy transformatora) i wyłączenia awaryjne jako skutek działania zabezpieczeń.

Zadaniem dławika jest ograniczenie przepięć podczas wyłączenia transformatora pieca, ograniczenie prądów zwarciovych przy zwarcu elektrod ze złomem.

Regulacja mocy czynnej dostarczanej do pieca realizowana jest przez układ kontroli stanów pracy pieca, który steruje przełącznikiem zaczełów oraz hydraulicznym układem napędowym elektrod, ustawiając je w odpowiednim położeniu [9]. Samo połączenie elektrycznego pieca łukowego z transformatorem przedstawiono na rysunku 6.



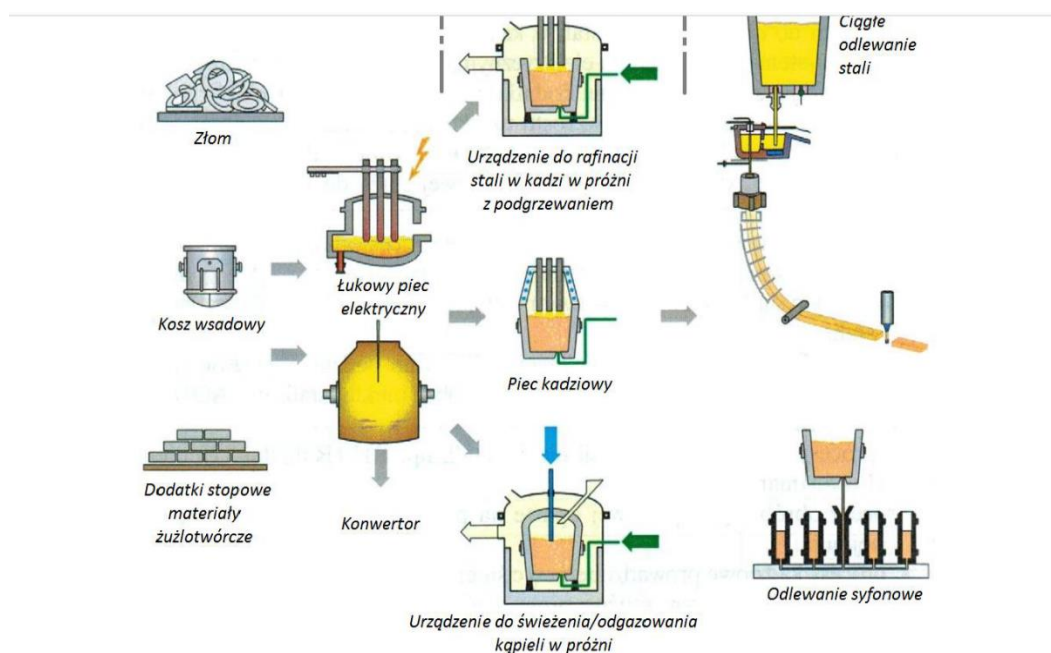
Rys. 6. Połączenie prądowe transformatora z elektrodami [11]

Dla wszystkich wyżej wymienionych elementów konstrukcji elektrycznego pieca łukowego, jakość spieniania żużła ma ogromne znaczenie. Każda nieprawidłowość w spienianiu żużła spowoduje szybsze zużycie tych elementów poprzez oddziaływanie promieniowania termicznego pochodzącego z łuku elektrycznego. W takim przypadku układ elektryczny pieca, jak i system sterowania pracą elektrod zmuszane są do pracy w bardzo niestabilnych warunkach.



### 3. Technologia wytopu stali w elektrycznym piecu łukowym

Obecnie w Polsce i na świecie dominują dwa sposoby wytwarzania stali. Pierwszy jest stosowany w hutach zintegrowanych (o pełnym cyklu produkcyjnym). Surówka żelaza w takich hutach jest wytwarzana w wielkich piecach i przerabiana na stal w konwertorach tlenowych z dodatkiem złomu stalowego. Druga metoda polega na wytwarzaniu stali ze złomu stalowego w procesie elektrycznym, w stalowniach wyposażonych w piece łukowe [12]. Rysunek 7 przedstawia schematycznie oba sposoby wytwarzania stali.



Rys. 7. Schemat ciągu technologicznego współczesnej stalowni- etap I roztopianie, etap II obróbka pozapiecowa, etap III odlewanie stali [13]

Pierwszym etapem wytopu stali w elektrycznym piecu łukowym jest przyjęcie, klasyfikacja i załadunek złomu do kosza zgodnie z opracowanymi instrukcjami.

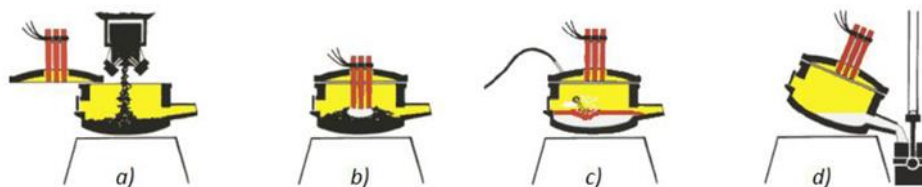
Złom w procesie elektrycznym, dzielimy na złom wsadowy, czyli złom, który może być bezpośrednio podany do pieca i złom niewsadowy, czyli złom, który należy poddać dalszemu przerobowi, aby uzyskać surowiec nadający się do załadunku do koszy wsadowych a następnie do pieca. Złom wsadowy, aby mógł zostać wykorzystany w elektrycznym piecu łukowym, musi spełniać pewne wymagania dotyczące wymiaru i masy nasypowej. Stopień zagęszczenia złomu zależy od jego postaci i metody przerobu. Przez odpowiednią kawałkowość złomu należy rozumieć to, że nie może on zawierać nadmiernej ilości kawałków dużych, ani złomu drobnego (wiórów i obcinków cienkich blach) ponad wymaganą ilość. Przykładowo, wióry stalowe skłębione (stopień zagęszczenia  $0,2 \div 0,4 \text{ t/m}^3$ ) mają mniejszą masę nasypową od wiórów poddanych procesowi kruszenia lub zagęszczonych w brykietach (po zbrykietowaniu osiągają masę do  $5 \text{ t/m}^3$ ). Przy nawet ciężkim, ale słabo przerobionym złomie gęstość nasypowa wynosi ok.  $0,2 \div 0,3 \text{ t/m}^3$ , przy tym samym złomie odpowiednio przerobionym (cięty, palony lub łamany) osiąga się  $1,0 \div 1,5 \text{ t/m}^3$ . W przypadku złomu lekkiego gęstość nasypowa wynosi ok  $0,1 \div 0,2 \text{ t/m}^3$ , po zagęszczeniu na paczkarce ten sam złom waży od  $1,6$  do  $2,1 \text{ t/m}^3$  (w zależności od siły prasowania) [14].

Przyjmowanie złomu, odpowiednie segregowanie i załadunek złomu do kosza, zgodnie z opracowanymi strukturami są bardzo ważne dla przebiegu wytopu. Obecnie, aby wyeliminować pomyłki i wesprzeć ludzi zajmujących się klasyfikowaniem złomu, wprowadza się na hale wsadowe urządzenia video, które w połączeniu z programami analizującymi obraz, są w stanie bezstronnie sklasyfikować złom dostarczany na stalownię, jak i ładowany do koszy [15, 16].

Dobre zagęszczenie złomu pozwala na ograniczenie ilości koszy, które należy użyć aby wprowadzić cały złom do pieca, co ma kluczowe znaczenie dla szybkości przeprowadzenia wytopu. Współczesne elektryczne stalownie posiadają własne zasady klasyfikowania i opracowały własne warunki przyjmowania złomu. Jest to logiczne działanie, gdyż innego złomu potrzebuje stalownia, która dysponuje elektrycznym piecem o pojemności 70 ton, a innego złomu potrzebuje stalownia dysponująca piecem o pojemności 140 ton [17, 18]. Każda stalownia elektryczna powinna przeprowadzić własne badania, aby opracować własne struktury złomowe, które zagwarantują otrzymanie jak największego uzysku stali płynnej, oraz co być może jest ważniejsze, odpowiedniej analizy chemicznej, która umożliwi wykonanie zaplanowanego gatunku stali. Badania te są pracochłonne i długotrwałe, pozwolą jednak na opracowanie struktur złomowych, które będą optymalne zarówno ekonomicznie, jak i technologicznie [19, 20].

Wytwarzanie płynnej stali w elektrycznym piecu łukowym posiada wielką zaletę: złom, który jest podstawowym surowcem w tym procesie, może być poddawany nieskończonej ilości przetopień.

Pozostałą część procesu wytwarzania stali w elektrycznym piecu łukowym dzielimy na następujące etapy. Przedstawia to rysunek 8.



Rys. 8. Etapy wytopu stali w elektrycznym piecu łukowym[21]

- a) → załadunek pieca,
- b) → topienie złomu,
- c) → świeżenie ciekłego metalu,
- d) → spust.

Przy załadunku złomu do pieca należy kierować się główną zasadą - całość złomu musi znaleźć się w piecu jak najszybciej tzn. należy ograniczyć ilość koszy niezbędnych do wprowadzenia całego złomu do pieca, wyeliminować zjawisko ubijania złomu w piecu, aby umożliwić jak najszybsze zamknięcie sklepienia i rozpoczęcie topienia złomu.

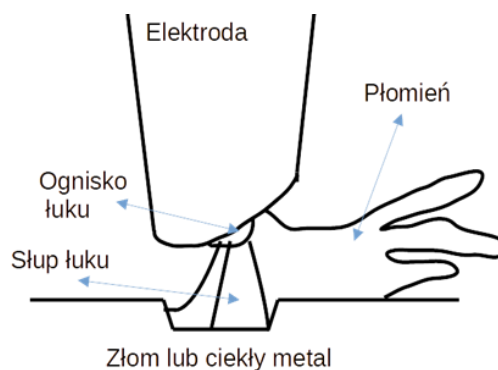
Wprowadzenie do stalowni na początku lat siedemdziesiątych obróbki pozapiecowej (piecokadzi) całkowicie zmieniło proces wytwarzania stali [22]. Dziś zadaniem elektrycznego pieca łukowego jest roztopienie złomu, usunięcie węgla i fosforu oraz uzyskanie takiej temperatury ciekłego metalu, która umożliwi bezpieczne dokonanie spustu, dodanie w czasie jego trwania dodatków stopowych i żużlotwórczych i dalszą obróbkę pozapiecową [23, 24].

Aby doprowadzić do roztopienia złomu konieczne jest wprowadzenie do pieca energii. W przypadku elektrycznego pieca łukowego jest to energia elektryczna i chemiczna, w przypadku konwertora jest to energia chemiczna. Obie te energie zostają następnie zamienione na



energii cieplną, która zostaje wykorzystana do podgrzewania wsadu. W przypadku elektrycznego pieca łukowego zamiana energii elektrycznej na cieplną dokonuje się poprzez łuk elektryczny. W elektrycznym piecu łukowym łuk jest efektem termicznej jonizacji powietrza i pojawienia się swobodnych elektronów, które pod wpływem napięcia jakie panuje pomiędzy elektrodami przyciągane są do elektrody o potencjale dodatnim. Ruch elektronów z dużą prędkością, które zderzają się z atomami znajdującymi się pomiędzy elektrodami powoduje powstanie plazmy, która umożliwia przepływ prądu pomiędzy elektrodami. W elektrycznym piecu łukowym, łuk płonie pomiędzy czołem elektrody, a kawałkami złomu lub ciekłej już stali.

Schemat łuku elektrycznego przedstawiono na rysunku 9. Składa się z ogniska łuku, które jest emitentem strumienia elektronów oraz słupa łuku gdzie następuje jonizacja. Wokół słupa łuku występuje płomień składający się z gorących gazów przemieszczających się do zimniejszych stref. W ognisku łuku temperatura osiąga wartość  $3873\div 4573$  K, a ilość energii wydzielającej się w tej strefie łuku stanowi  $7\div 10\%$  całkowitej energii łuku. Temperatura słupa łuku jest większa i charakteryzuje się znacznym gradientem rozkładu temperatury w przekroju poprzecznym.

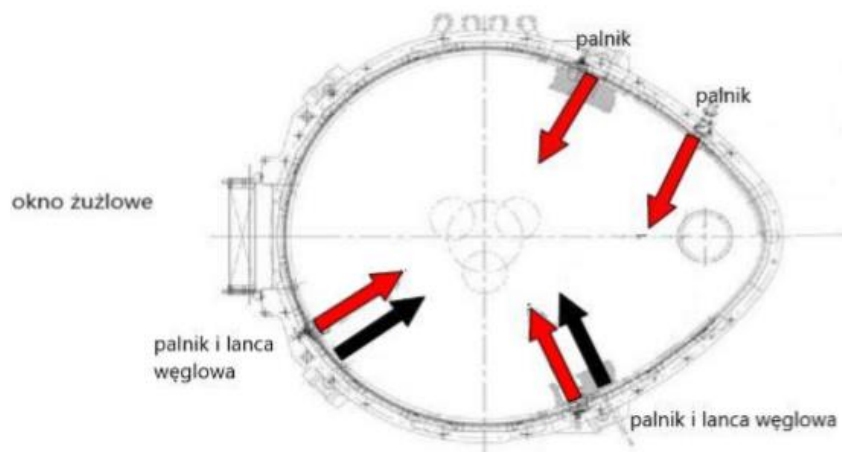


Rys. 9. Schemat łukowego wyładowania elektrycznego [26]

Za jak najlepsze wykorzystanie energii łuku elektrycznego do topienia złomu i podgrzewania ciekłego metalu odpowiedzialny jest układ sterowania pracą elektrod. Zadaniem tego układu jest utrzymanie takiej odległości pomiędzy elektrodą a złomem lub ciekłym metalem, przy której uzyskuje się optymalny pobór energii [25, 26]. Oprócz układu sterowania elektrodami, nie mniejszą rolę odgrywa program topienia. Jest to program, który dokonuje zmian zaczeń transformatora w czasie pracy pieca, gdzie wybór zaczeń nie jest przypadkowy. Na początku wytopu korzysta się z zaczeń niskich podających niską moc i napięcie, czyli łuk jest krótki. Celem tej praktyki jest osłona sklepienia. Z upływem czasu, gdy elektrody zanurzają się coraz bardziej w złom, tworząc tak zwane kratery, zmienia się zaczeń na wyższe i podaje większą moc, a łuk staje się coraz dłuższy, powodując intensywne topienie. W momencie, gdy złom zostanie już prawie całkowicie stopiony wraca się do niższych zaczeń, aby nie niszczyć wyłożenia ogniotrwałego pieca i nie powodować strat energii w postaci promieniowania cieplnego [27].

Oprócz energii elektrycznej, aby zintensyfikować proces topienia, w przestrzeń roboczą elektrycznego pieca łukowego wprowadza się także energię chemiczną. Energia ta zostaje wprowadzana poprzez palniki tlenowo-gazowe i lance tlenowe, najczęściej naddźwiękowe. Współcześnie palnik tlenowo-gazowy i lanca tlenowa stanowią jedno urządzenie. Rozmieszczenie palników w konstrukcji pieca nie jest przypadkowe, umieszczane są one w tzw. zimnych strefach pieca, co pokazano na rysunku 10. Są to miejsca najsłabszego oddziaływania energii

cieplnej, pochodzącej z łuku elektrycznego. Najczęściej w takich miejscach występują narosty nieroztopionego złomu, które w momencie oderwania się od ściany i szybkiego zanurzenia w płynnej kąpieli, powodują obniżenie temperatury ciekłego metalu. Mogą też doprowadzić do gwałtownego gotowania kąpieli i wyrzutów ciekłego metalu na zewnątrz pieca, co stanowi realne zagrożenie dla obsługi pieca.



Rys. 10. Rozmieszczenie palników w 140 Mg elektrycznym piecu łukowym [28]

Podobnie jak w przypadku energii elektrycznej wprowadzanej w postaci łuku elektrycznego, tak przypadku energii chemicznej także występuje program sterujący pracą palników. Program ten steruje natężeniem przepływu gazu i tlenu poprzez palnik w zależności od etapu topienia złomu. Nastawy przepływów tlenu i gazu oraz ich proporcje są tak dobierane aby w początkowym okresie topienia płomień palnika był krótki, ale szeroki. Taki płomień topi złom znajdujący się blisko palnika i jednocześnie zabezpiecza sam palnik przed płomieniem zwrotnym, czyli odbitym od blisko zalegającego złomu. Następnie w miarę topienia złomu i pojawiania się wolnej przestrzeni wokół palnika następuje wydłużanie płomienia. W końcowej fazie palnik pracuje w profilu lancy, tzn. podawane są duże ilości tlenu w wąskiej strudze co zostało przedstawione na rysunku 11.



Rys. 11. Palniki typu CONSO w poszczególnych profilach [29]

Proces wytapiania stali w elektrycznym piecu łukowym jest procesem złomowym, tzn. najważniejszym materiałem wsadowym jest złom. Jednak oprócz złomu do pieca wprowadza się inne materiały wsadowe, takie jak topniki i nawęglacze.

*Topniki* – czyli wapno palone oraz wapno dolomitowe – wprowadzane są w przestrzeń roboczą pieca poprzez układ załadowniczy. Kawałki wapna o większej granulacji (40÷70 mm) wprowadza się stosunkowo szybko – już w czasie topienia I kosza podawane są pierwsze porcje

tego wapna. Kawałki wapna o mniejszej granulacji (3÷12 mm) wdmuchuje się w momencie roztopienia złomu. Zadaniem tego wapna jest jak najszybsze poprawienie zasadowości żużla, co ma umożliwić jeszcze w niskiej temperaturze ciekłego metalu odfosforowanie kąpieli.

*Nawęglacze* – antracyt lub koks – najczęściej wprowadzany jest do pieca razem ze złomem I kosza. Nie jest on rozsypywany w całej objętości kosza, lecz zapakowany w bigbaku i kładziony na cienką warstwę złomu lekkiego. Zadaniem tych materiałów jest wprowadzenie do kąpieli metalowej jak największej ilości węgla. Późniejsza reakcja utleniania tego węgla ma szczególne znaczenie w procesach metalurgicznych [30].

#### 4. Proces spieniania żużła

Obecnie wszystkie duże stalownie w Europie, które do topienia złomu stosują elektryczne piece łukowe, pracują w technologii spienionego żużła. Efekty stosowania tej technologii są następujące:

- zwiększona produktywność,
- zmniejszone zużycie materiałów ogniotrwałych,
- zmniejszone zużycie energii,
- zmniejszone zużycie elektrod,
- lepsza stabilność łuku [31].

Technologia ta pozwala na wzrost sprawności zamiany energii elektrycznej w energię cieplną w łuku elektrycznym z około 55% dla żużła niespienionego do 85% dla żużła spienionego.

Spienianie żużła w procesie wytwarzania stali w elektrycznym piecu łukowym ma do spełnienia bardzo ważne zadania:

- ochrona wymurówki przed promieniowaniem cieplnym pochodzącym z pracującego łuku elektrycznego,
- zwiększenie sprawności zamiany energii elektrycznej na energię cieplną.

Do opisu spienionych żużli metalurgicznych przyjęto stosowanie dwóch następujących parametrów:

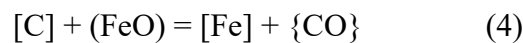
- wskaźnik spieniania,
- trwałość spieniania [32].

Pierwszy określa objętość utworzonej piany, a drugi czas jej utrzymywania się po zaniku źródła tworzenia się piany. Opierając się na tych parametrach w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie [33] zbadano i określono wpływ własności fizykochemicznych żużła na jego podatność do pienienia, w pierwszym rzędzie lepkości i napięcia powierzchniowego oraz wpływających na nie własności fizycznych, chemicznych i temperatury żużła. Stwierdzono, że:

- lepkość maleje ze wzrostem temperatury. Żużle kwaśne charakteryzują się powolną zmianą lepkości. Żużle zasadowe odznaczają się szybką zmianą lepkości. Większa lepkość wzmacnia trwałość spienionego żużła. Do składników powodujących wzrost lepkości żużli metalurgicznych zalicza się głównie tlenek magnezu, tlenki chromu oraz pięciotlenek fosforu,
- w miarę wzrostu napięcia powierzchniowego żużła, wzrasta udział fazy gazowej w objętości żużła, jak również wzrasta prędkość wydzielania się pęcherzyków CO z jego powierzchni, co powoduje zmniejszenie wysokości spienionego żużła, a więc pogarsza spienianie,
- wzrost napięcia powierzchniowego kąpeli metalowej powoduje wzrost wskaźnika spienienia i wysokości spienionego żużła,
- napięcie międzyfazowe kąpiel metalowa – żużel. Przy wzroście napięcia międzyfazowego następuje zmniejszenie wskaźnika spieniania,
- ze wzrostem zasadowości ulegają pogorszeniu oba parametry, gdyż żużle o dużej zasadowości odznaczają się większym napięciem powierzchniowym i mniejszą lepkością, pogarszającymi trwałość piany,

- ze wzrostem stężenia tych cząstek wzrasta wskaźnik spieniania, głównie wskutek zwiększenia lepkości żużla,
- do składników powierzchniowo czynnych, które obniżają napięcie powierzchniowe żużla, zalicza się fosfor i siarkę. Podobny wpływ wykazują  $\text{CaF}_2$  i  $\text{MgO}$ , aczkolwiek tylko  $\text{MgO}$  zwiększa wskaźnik spienienia, głównie jednak poprzez zwiększenie ilości cząstek stałych w żużlu.
- obniżenie temperatury żużla znacząco wpływa na poprawę wskaźnika spieniania, głównie wskutek zwiększenia lepkości i zmniejszenia napięcia powierzchniowego. Najlepszy temperaturowy zakres spieniania żużla znajduje się pomiędzy  $1450^\circ\text{C}$  a  $1550^\circ\text{C}$  [34].

Żużel ulega spienieniu pod wpływem wytwarzania w jego objętości pęcherzyków gazowych. Podstawowym czynnikiem powstawania gazowej fazy przy spienianiu żużla w procesach metalurgicznych jest tlenek węgla, powstający w objętości żużla lub emulsji metalowo-żużlowo-gazowej, ale źródłem gazu może być też para wodna z wilgoci i wody z wycieków z układu chłodzenia. W procesie wytapiania stali w piecu łukowym pęcherzyki gazowego tlenku węgla mogą powstawać w objętości żużla bądź przechodzić do żużla z objętości kąpieli metalowej. Spienianie żużla odbywa się więc głównie wskutek powstawania gazowego tlenku węgla z następujących reakcji.



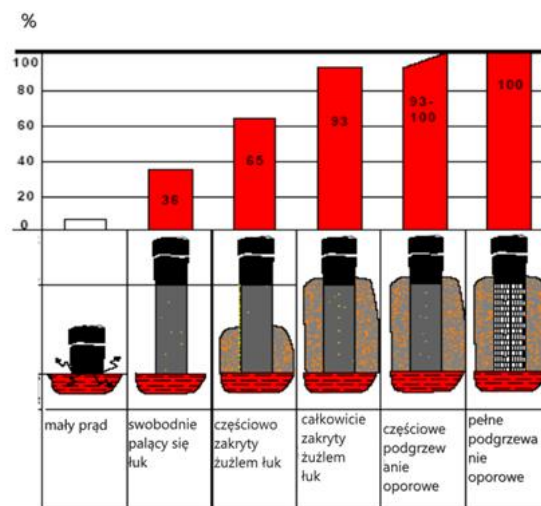
Reakcja (1) zachodzi przy równoczesnym wdmuchiwanym za pomocą lanc węgla i tlenu. Reakcje (2) i (3) stanowią reakcje cząstkowe redukcji  $\text{FeO}$  zawartego w żużlu za pomocą cząstek wdmuchiwanego węgla, przy czym reakcja (2) zachodzi na granicy podziału żużel-pęcherzyk gazowy otaczający cząstkę stałego węgla, a reakcja (3) zachodzi na granicy podziału powierzchnia cząstki stałego węgla – otaczający ją pęcherzyk gazowy.

Gazowe  $\text{CO}$  powstaje w piecu łukowym również w wyniku reakcji (4) – redukcji  $\text{FeO}$  z żużla z węglem rozpuszczonym w kąpieli metalowej.

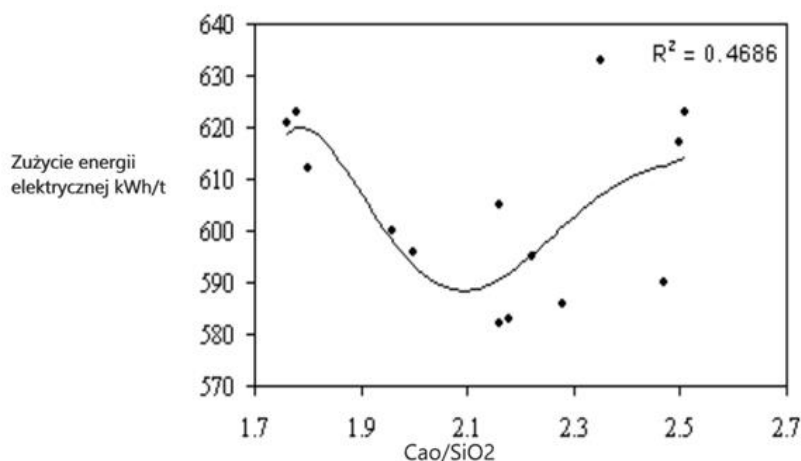
Z przeprowadzonych dotąd badań podatności różnych żużli stalowniczych do spieniania wynika, że:

- żużle kwaśne posiadają największy wskaźnik spienienia, tworząc tzw. pienienie homogeniczne,
- żużle z mniejszą zawartością  $\text{FeO}$  (mniej niż 20%) tworzą pianę bardziej stabilną niż żużle o dużym stopniu utlenienia (więcej niż 30%), które nazywamy żużłami niepieniącymi,
- obecność stałych cząstek ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) w żużlu sprzyja stabilizacji piany, powodując spienianie heterogeniczne[32].

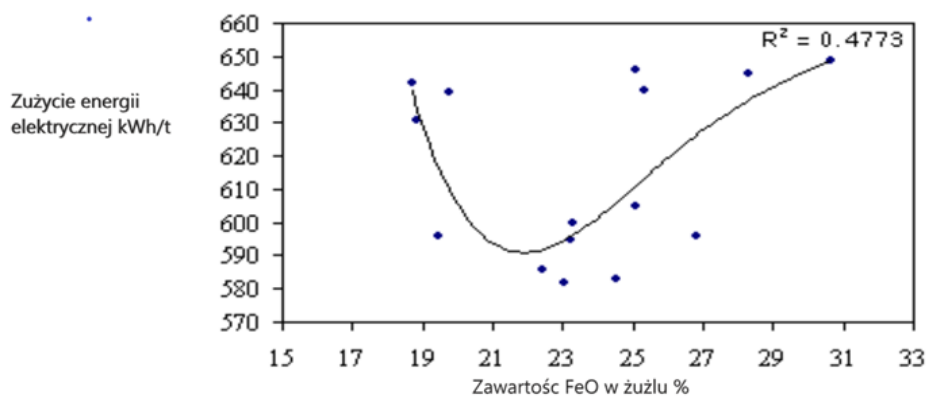
W pozycji literaturowej [35] przedstawiono wyniki mówiące o tym, że przy zawartości  $\text{FeO}$  w żużlu (20÷25%), zasadowości żużla wynoszącej od 2 do 2,2 osiąga się najniższe zużycie energii a sprawność zamiany energii elektrycznej w ciepłą w łuku elektrycznym może osiągnąć 93%, co zobrazowano na rysunkach 12, 13, 14.



Rys. 12. Sprawność zamiany energii elektrycznej na energię cieplną w łuku elektrycznym[35]



Rys. 13. Zużycie energii elektrycznej w zależności od zasadowości żużła[35]

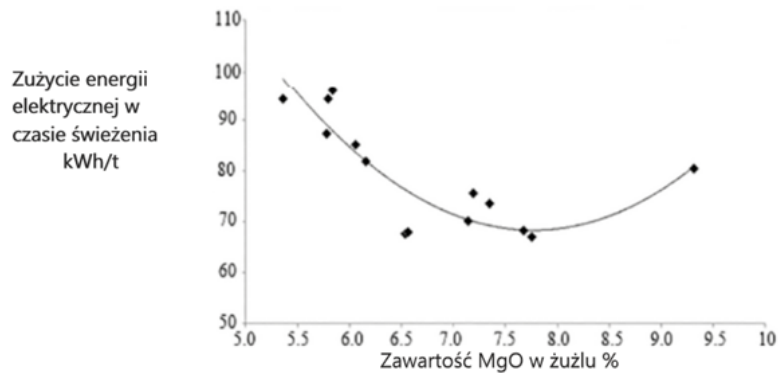


Rys. 14. Zużycie energii elektrycznej w zależności od zawartości FeO w żużlu[35]

W pozycji literaturowej[36] przedstawiono wyniki podobnych badań, uzupełniając je jednak o optymalną zawartość MgO w żużlu. Wyznaczono takie wartości zasadowości i zawartości FeO i MgO w żużlu, dla których otrzymywano najniższe zużycie energii elektrycznej:

- zawartość FeO w żużlu 27,5÷30 %
- zasadowość 3÷3,2

- zawartość MgO w żużlu wyznaczono na około 7,5 %.



Rys. 12. Zużycie energii elektrycznej w zależności od zawartości MgO w żużlu[36]

Ekonomiczna eksploatacja urządzeń łukowych jest korzystna przy zastosowaniu możliwie największych napięć po stronie wtórnej transformatora, i jak najmniejszych natężeń prądu łuku, czyli stosowania tak zwanych „długich łuków”. Stwarza to korzystniejsze warunki pracy drogich elektrod grafitowych, minimalizując ich zużycie, ale równocześnie pogarsza warunki pracy wyłożenia ogniotrwałego ścian i sklepienia wskutek zwiększenia ilości promieniującej energii cieplnej. W efekcie prowadzi to do wzrostu zużycia materiałów ogniotrwałych, zwiększenia intensywności chłodzenia wodnego elementów ścian i sklepienia chłodzonych wodą, przyczyniając się do zwiększenia związanych z tym strat cieplnych.

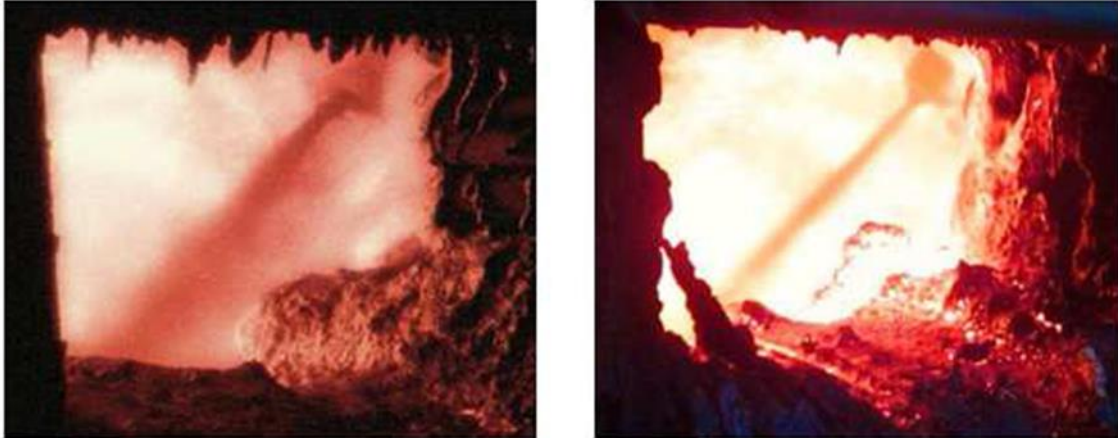
Skutecznym rozwiązaniem problemu niekorzystnego oddziaływania „długich” łuków elektrycznych na ściany i sklepienie pieca jest właśnie zastosowanie techniki spieniania żużła, dzięki czemu łuki elektryczne na całej swej długości płoną w żużlu pokrywającym kąpiel metalową[37]. Spienianie żużła powinno rozpocząć się jak najwcześniej w celu przykrycia łuku elektrycznego warstwą żużła, minimalizując w ten sposób szkodliwe oddziaływanie na wymurówkę ogniotrwałą, panele chłodzone wodą, sklepienie chłodzone wodą i sklepienko ceramiczne. Spienianie żużła wpływa na znaczne zmniejszenie wahań poboru mocy czynnej, co powoduje bardziej równomierną pracę pieca i zwiększa sprawność zamiany energii elektrycznej na energię cieplną w łuku elektrycznym.

#### 4.1. Metody podawania speniacza do pieca

Najprostszym obecnie stosowanym sposobem podawania speniacza do pieca jest wdmuchiwanie go poprzez okno żużlowe w przestrzeń pieca przy pomocy manipulatora. Najczęściej stosowanymi wariantami są: zamontowanie jednej lancy tlenowej i jednej lancy węglowej lub dwóch lanc tlenowych i jednej lancy węglowej. Ten najprostszy sposób można modyfikować. Przykładem jest opracowany przez koncern Siemens Corporate Technology system sterowania, którego zadaniem jest utrzymanie optymalnej proporcji pomiędzy wdmuchiwanym tlenem, a speniaczem [38]. Innym sposobem podawania speniacza do przestrzeni pieca jest podawanie przez lancę umieszczoną pod palnikami zainstalowanymi na ścianie pieca lub podawanie speniacza bezpośrednio przez odpowiednio skonstruowany palnik. Standardowe systemy dostarczają speniacz ze zbiornika do elektrycznego pieca łukowego w strumieniu powietrza, w którym jest wdmuchiwany przez lancę lub palnik tlenowo-gazowy. Metoda ta jest jednak ograniczona przez ciśnienie i prędkość powietrza, za pomocą którego



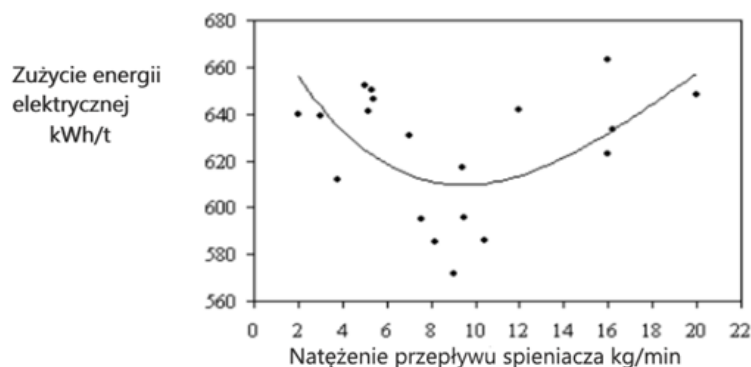
wdmuchuje się speniacz do pieca. Utratę wydajności wdmuchiwanego speniacza można zaobserwować, patrząc na kształt wdmuchiwanego strumienia speniacza. Aby pokonać te niedogodności opracowano system wdmuchiwanego speniacza z prędkością naddźwiękową. Speniacz wychodzący z komory węglowej wchodzi w naddźwiękową ścieżkę strumienia powietrza i jest przyspieszany. Następnie przemieszcza się przez centralną rurę i po wyjściu z rury jest osłonięty pierścieniowym, naddźwiękowym strumieniem utworzonym przez powietrze.



Rys. 15. Podawanie speniacza metodą standardową (lewe zdjęcie), podawanie speniacza z prędkością naddźwiękową (prawe zdjęcie) [39]

Metoda ta sprawia, że strumień speniacza podawany do pieca jest bardziej zwarty, tym samym zasięg strumienia jest większy, co przedstawia rysunek 15. Speniacz nie osiada na żużlu, lecz wbija się w niego na pewną głębokość, co ogranicza straty spowodowane odciążeniem spalin. Taki sposób podawania speniacza zmniejsza zużycia speniacza o 18÷20% [39]. Awaryjnie można speniacz wprowadzać do pieca przez sklepienie, jest to jednak sposób bardzo nieefektywny i stosunkowo niebezpieczny.

W pozycji literaturowej [40] opisano badania jakie przeprowadzono na piecu o pojemności 200 t i mocy transformatora 90 MVA, których celem było wyznaczenie optymalnego natężenia przepływu speniacza podawanego do pieca w celu uzyskania jak najmniejszego zużycia energii elektrycznej. Wniosek z badań był następujący: zużycie energii elektrycznej zmniejsza się wraz ze wzrostem natężenia przepływu speniacza do 9 kg/min (rys. 16).



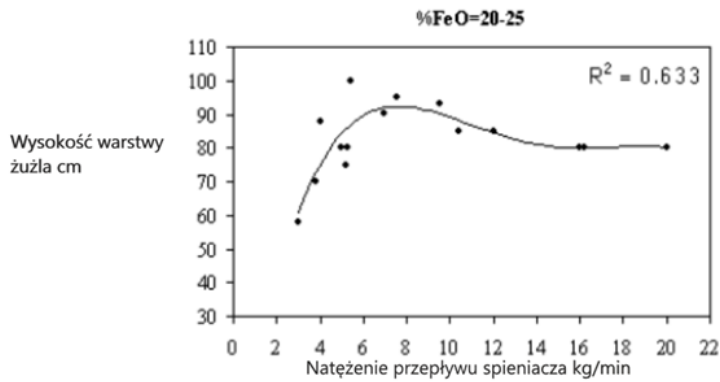
Rys. 16. Zużycie energii elektrycznej w zależności od natężenia przepływu speniacza do pieca [40]

W wyniku przeprowadzonych w tej stalowni badań otrzymano także inne relacje:

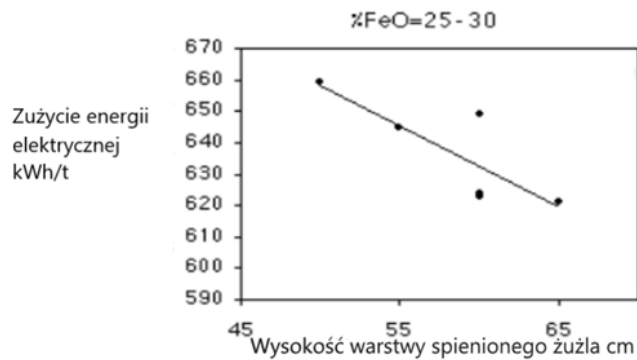
- zależność wysokości warstwy żużla od natężenia przepływu speniacza (rys. 17),



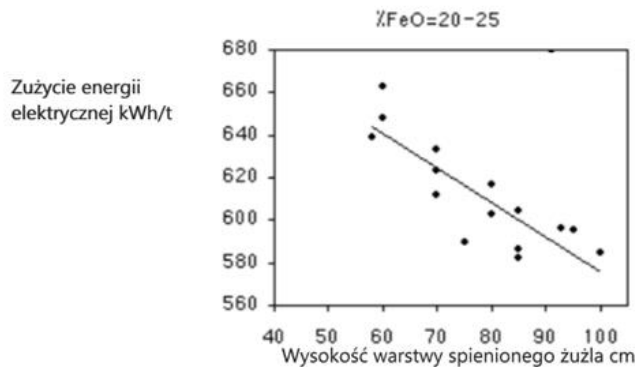
- zależność zużycia energii elektrycznej od wysokości warstwy spienionego żużla przy zawartości FeO wynoszącej od 25÷30 % (rys. 18),
- zależność zużycia energii elektrycznej od wysokości warstwy spienionego żużla przy zawartości FeO 20÷25% (rys. 19.).



Rys. 17. Wysokość warstwy spienionego żużla w zależności od natężenia przepływu speniacza [40]



Rys. 18. Zależność zużycia energii elektrycznej od wysokości warstwy spienionego żużla przy zawartości FeO wynoszącej od 25 do 30 % [40]



Rys. 19. Zależność zużycia energii elektrycznej od wysokości warstwy spienionego żużla przy zawartości FeO wynoszącej od 20 do 25% [40]

#### 4.2 Materiały stosowane jako speniacze

Obecnie do spieniania żuźla stosowane są speniacze na bazie koksu lub antracytu. Charakterystykę fizykochemiczną speniaczy na bazie koksu o handlowych nazwach RC, SP, RK przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Właściwości materiałów spieniających produkowanych na bazie koksu [41].

Własność	RC	SP	RK
Zawartość węgla	min. 85 %	min. 85 %	min. 85 %
Zawartość siarki	max. 0,7 %	max. 1,0 %	max. 0,9 %
Zawartość popiołu	max. 12 %	max. 12 %	max. 12 %
Zawartość części lotnych	max. 1,5 %	max. 1,5 %	max. 1,5 %
Zawartość wilgoci	max. 1,5 %	max. 0,8 %	max. 1,5 %
Uziarnienie	0÷3 mm	0÷3 mm	0÷3 mm

Charakterystykę własności fizykochemicznych speniaczy na bazie antracytu o handlowych nazwach AC, SA i EKO przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Właściwości materiałów spieniających produkowanych na bazie antracytu [41].

Własność	SA	AC	EKO
Zawartość węgla	min. 90 %	min. 90 %	min. 90 %
Zawartość siarki	max. 0,9 %	max. 0,9 %	max. 0,9 %
Zawartość popiołu	max. 7 %	max. 7 %	max. 7 %
Zawartość części lotnych	max. 3 %	max. 3 %	max. 3 %
Zawartość wilgoci	max. 2,5 %	max. 2,5 %	max. 2,5 %
Uziarnienie	0÷3 mm	0÷3 mm	0÷3 mm

W celu porównania wpływu poszczególnych materiałów spieniających na parametry pienia się żuźli stalowniczych, w AGH wykonano badania laboratoryjne wysokości powstałej fazy spienionej oraz czasu jej trwania [41]. Aby warunki laboratoryjne były zbliżone do przemysłowych zaprojektowano i zbudowano stanowisko badawcze umożliwiające roztopienie i spienienie żuźla za pomocą łuku elektrycznego. Wyniki badań wpływu różnych materiałów spieniających na parametry pienia się żuźla stalowniczego przedstawiono w tabeli nr 3.

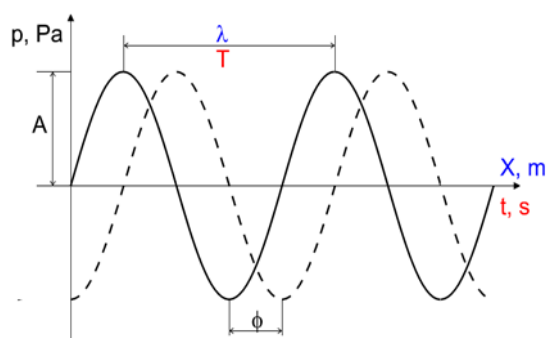
Tab. 3. Parametry spienionej fazy żużlowej w wytopach badawczych [41].

Nr wytopu	Rodzaj speniacza	Wysokość spieniania po I porcji, cm	Czas trwania spieniania po I porcji, min	Wysokość spieniania po II porcji, cm	Czas trwania spieniania po II porcji, min
1	RC	9,0	1,5	9,5	2,0
2	RC	8,0	2,0	8,5	2,0
3	SP	14,5	2,0	13,0	2,0
4	SP	13,5	2,0	12,0	2,5
5	RK	7,5	3,0	11,0	1,5
6	RK	9,5	2,5	7,5	1,5
7	SA	16,5	3,0	16,0	4,0
8	SA	16,0	2,0	16,0	4,0
9	AC	15,5	2,5	17,0	4,5
10	AC	15,0	2,0	16,0	4,0
11	ECO	16,5	3,0	17,5	5,0
12	ECO	17,0	2,5	17,0	4,0

Jak wynika z danych badawczych przedstawionych w tabeli 3, wszystkie testowane materiały powodują spienienie żużła stalowniczego. Materiały produkowane na bazie antracytu wykazują korzystniejsze własności do spieniania żużli stalownicznych. Wysokość uzyskiwanej spienionej fazy żużlowej, zarówno po dodaniu pierwszej, jak i drugiej porcji, jest większa dla materiałów spieniających na bazie antracytu. Podobnie czas trwania spienionej fazy jest korzystniejszy dla materiałów spieniających produkowanych na bazie antracytu [41]. Drobnny koks ma duże własności cienne, które powodują, że podczas transportu pneumatycznego speniacza dochodzi do częstych przetarć instalacji, co powoduje konieczność zatrzymania podawania speniacza do pieca. W przypadku stosowania speniacza na bazie antracytu zjawiska przetarcia instalacji podającej speniacz do pieca zachodzą bardzo rzadko.

## 5. Wykorzystanie dźwięku jako narzędzia do sterowania procesami technologicznymi

Dźwięk definiuje się jako zaburzenie falowe rozchodzące się w ośrodku o charakterze sprężystym (woda, metal, powietrze i in.), które skutkuje zmianami jego gęstości. Fala dźwiękowa ma charakter podłużny, co oznacza, że kierunek rozprzestrzeniania się zagęszczania i rozrzedzania ośrodka jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali. Innymi słowy, fala rozchodzi się w tym samym kierunku, w którym cząsteczki ośrodka ulegają drganiu [42]. Dźwięk może rozchodzić się jedynie w środowisku sprężystym (gazy, ciecze, ciała stałe) np. powietrze. Niemożliwe jest rozprzestrzenianie się dźwięku w próżni. Częstotliwość dźwięku zależy jedynie od częstotliwości drgań mechanicznych źródła i może się zawierać w przedziale od ułamków Hz do 1 GHz. Za pasmo słyszalne uznaje się częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz. Dźwięki o niższej częstotliwości – infradźwięki oddziałują na ludzki organizm na drodze poza słuchowej. Są powszechne w przyrodzie np. dźwięki, którymi porozumiewają się delfiny. Infradźwięki są często wykorzystywane w przemyśle np. infradźwiękowe urządzenia do usuwania osadu z elektrofiltrów. Dźwięki o wyższej częstotliwości niż słyszalne – ultradźwięki też występują w przyrodzie np. echolokacja nietoperzy. Ultradźwięki są również szeroko wykorzystywane w przemyśle np. płuczki ultradźwiękowe (częstotliwość kilkudziesięciu kHz) czy defektoskopy ultradźwiękowe (częstotliwość kilku MHz) a także w medycynie np.: urządzenia do czyszczenia kamienia nazębnego (częstotliwość kilkudziesięciu kHz), oraz aparaty USG (ultrasonografia – częstotliwość kilku MHz).



Rys. 17. Fala akustyczna [43]

Fala akustyczna przedstawiona na rysunku nr 17 jest opisana następującymi wielkościami:

- amplituda  $A$  – zakres zmian ciśnienia w ośrodku np. zakres zmian ciśnienia powietrza wywołanych zjawiskiem akustycznym na poziomie ciśnienia atmosferycznego,
- okres drgań  $T$  – jest to najmniejszy przedział czasu, po którym powtarza się ten sam stan obserwowanego zjawiska (drgania lub zaburzenia),
- częstotliwość  $f$  – liczba okresów drgań w jednostce czasu – dla 1 s wyrażana w Hz,
 
$$f = 1/T \quad (5)$$
- długość fali  $\lambda$  – odległość pomiędzy dwoma kolejnymi punktami wzdłuż kierunku propagacji zaburzenia, w których drgania mają tę samą fazę.

Długość fali akustycznej można wyznaczyć z zależności:

$$\lambda = c \cdot T \quad (6)$$

$$\lambda = c/f \quad (7)$$

gdzie:  $c$  – prędkość rozchodzenia się zaburzenia w ośrodku, [m/s],

$f$  – częstotliwość zmian ciśnienia akustycznego, [Hz],

$T$  – okres, [s] [43].

Wraz z rozwojem przemysłu pojawiło się zainteresowanie wpływem hałasu generowanego przez obiekty przemysłowe na ludzi na ten hałas narażonych. Do oceny tego wpływu wykorzystywano wyniki pomiarów poziomu dźwięku w całym pasmie słyszalnym, stosując filtry korekcyjne odzwierciedlające niejednakową reakcję ucha ludzkiego na dźwięki o różnej częstotliwości.

Poziom dźwięku jest wyrażony w decybelach i jest to 10 logarytmów dziesiętnych ze stosunku kwadratu ciśnienia akustycznego do kwadratu ciśnienia odniesienia równego  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z odpowiednią krzywą korekcyjną:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p_A^2}{p_0^2} [dB] \quad (8)$$

gdzie:  $p_0$  – ciśnienie odniesienia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (próg słyszenia dla 1000 Hz),

$p_A$  – ciśnienie akustyczne mierzonego dźwięku [Pa].

Poziom ciśnienia akustycznego powinien być określany dla zakresu częstotliwości – może to być zakres LIN (20 Hz÷20 kHz) albo oktawy lub tercje.

Poziom dźwięku ma sens fizyczny tylko wtedy, gdy jest jednocześnie określony punkt obserwacji (lokalizacja w terenie lub odległość od źródła).

W tabeli nr 4 przedstawione są przykładowe wyniki pomiarów poziomu dźwięku emitowanego przez różnego typu urządzenia i procesy przemysłowe [44].

Tab. 4 Poziom dźwięku emitowany przez różnego typu urządzenia i procesy przemysłowe[44].

Lp.	Obiekt, urządzenie, proces technologiczny	Poziom dźwięku dB (A)	UWAGI
1	Pompoturbina	122,0	Uruchamianie do pracy pompowej.
2	Formierki	≤115,0	
3	Wentylatory powietrza spalania	104,3	Piece pokroczne
4	Kolektor powietrza spalania nad wentylatorami	103,0	Piece pokroczne
5	Wentylatory z chłodni spieku i recyrkulacji spalin	102÷115	Hutnictwo- przygotowanie wsadu
6	Tłocznictwo blach	>100	
7	Węzły przesypowe-przygotowanie wsadu do wielkiego pieca	99÷109	Budynek namiarowni
8	Przecinarka	97,4	Obróbka skrawaniem
9	Ssawy	95,0	
10	Palnik do spalania butanu	≤95	
11	Obróbka mechaniczna odlewów	92÷94	
12	Nożyca hydrauliczna	92,4	Z multiplikatorem
13	Walcarka zgniatacz	91,9	
14	Proces regeneracji zużytej masy	90÷95	Odlewnie
15	Spawanie i cięcie elektryczne i gazowe	>90	
16	Młyny węglowe	>90	
17	Formowanie ręczne	90÷100	Narzędzia pneumatyczne
18	Wentylatory-wykonanie standardowe	100,0	

19	Sprężarki	95	
20	Pompy wirowe	90÷100	
21	Wentylatory	90÷110	
22	Wentylatory-bardzo niski poziom dźwięku	90,0	Względny wzrost kosztu wentylatora
23	Krata wstrząsowa	≤89	Odlewnie
24	Młoty pneumatyczne	88÷103	
25	Frezarka	87,7	Obróbka skrawaniem
26	Kruszarki	85	Remus
27	Wentylatory-wyjatkowo niski poziom dźwięku	85	Względny wzrost kosztu wentylatora
28	Chłodnie wentylatorowe i kominowe	80÷90	
29	Piec pokroczny	79,6	
30	Piece indukcyjne	76÷80	

Dźwięki emitowane przez instalacje i procesy przemysłowe, oprócz zagrożenia dla narażonych na nie ludzi, niosą ze sobą bogatą informację o stanie maszyn i przebiegu procesów. Dźwięki generowane przez drgające obiekty nie są zwykle sinusoidami o jednej częstotliwości (tony proste), ale mają charakter bardziej złożony. W celu wydobycia z nich informacji o stanie obiektu należy dokonać analizy częstotliwościowej sygnału dźwiękowego. Może to być analiza wąskopasmowa np. analiza Fouriera (FFT) mająca rozdzielczość nawet ułamków Hz albo analiza w szerszych pasmach częstotliwości np. oktawowych lub 1/3 oktawy. W wyniku analizy wąskopasmowej otrzymujemy widmo sygnału dźwiękowego zawierające nie tylko informację o częstotliwości podstawowej sygnału, ale również informację o zawartości harmonicznych – wielokrotności częstotliwości podstawowej. Te informacje są bardzo przydatne w diagnostyce stanu maszyn.

Dźwięk w znacznie większym stopniu wykorzystywany jest do diagnostyki i kontroli pewnych etapów produkcyjnych, niż do kontroli całych procesów. Związane jest to z występującymi zakłóceniami dźwięku źródłowego lub występowaniu tego dźwięku na dużej powierzchni, co uniemożliwia jego dokładne pomiary. Poniżej przedstawiono kilka przykładów:

- identyfikacja wad powierzchni tocznej szyn za pomocą sygnału wibroakustycznego [45],
- klasyfikacja i identyfikacja obiektów technicznych na podstawie ich cech akustycznych [46],
- powiązania emisji dźwięku wybranych urządzeń z ich efektywnością technologiczną [47].

Do oceny właściwości obiektu np. izolacyjności akustycznej przegród budowlanych lub parametrów akustycznych pomieszczeń, wystarcza analiza częstotliwościowa dźwięku w szerszych pasmach np. 1/3 oktawy (pasma tercjowe). Pasmo tercjowe zawiera się między dolną częstotliwością graniczną  $f_d$  a górną częstotliwością graniczną  $f_g$  [48]:

$$f_g = \sqrt[3]{2 \cdot f_d} \quad (9)$$

Częstotliwość środkową  $f_0$  pasma tercjowego określa się jako:

$$f_0 = \sqrt[6]{2 \cdot f_d} = \sqrt[6]{2 \cdot f_g} \quad (10)$$

Całe pasmo słyszalne podzielono na 31 pasm tercjowych o częstotliwościach środkowych  $f_0$  =: 20 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz,

160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 1,25 kHz, 1,6 kHz, 2 kHz, 2,50 kHz, 3,15 kHz, 4 kHz, 5,0 kHz, 6,3 kHz, 8 kHz, 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz.

Wykonując ciągły pomiar poziomu dźwięku w całym pasmie słyszalnym, można za pomocą analizy w pasmach tercjowych wykonywanej przez aparaturę pomiarową, wydobyć z sygnału mierzonego istotne informacje o stanie procesu i wykorzystać je do automatycznego sterowania procesem[43].

### 5.1. Praktyczne zastosowanie dźwięku w metalurgii

Już w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku, w jednej z polskich stalowni podjęto badania nad możliwością wykorzystania dźwięków wytwarzanych przez konwerty do kontroli i sterowania procesem konwertorowym. Dźwięki były rejestrowane na magnetofonie pomiarowym i poddane zostały wstępnej analizie amplitudowo-czasowej na analizatorze analogowym, następnie sygnał analogowy został przetworzony na postać cyfrową. Otrzymane wyniki skorelowano z parametrami pracy pieca i zjawiskami zachodzącymi w piecu, takimi jak wysokość lancy, wprowadzenie materiałów żużlotwórczych, pojawienie się żużła w otworze spustowym i na gardzieli oraz stan żużła po zakończeniu wytopu. Następnie próbowano znaleźć zależności pomiędzy zmianami sygnałów akustycznych, a parametrami pracy pieca. Wykresy poziomu sygnału akustycznego w różnych częstotliwościach pozwoliły ustalić, że najodpowiedniejszym zakresem częstotliwości do analizy procesów żużlotwórczych jest przedział 360÷420 Hz, a optymalnym zakresem częstotliwości odzwierciedlającym przebieg procesu wypalania węgla w końcowej fazie wytopu jest zakres 1÷20 Hz. Śledząc zmiany poziomu dźwięku można z wyprzedzeniem reagować na zaburzenia w procesach żużlotwórczych i wypalania węgla, na przykład przez podniesienie wysokości pracy lancy tlenowej.

Już wtedy stwierdzono dużą przydatność dźwięków wydobywających się z konwerty do diagnozowania i w konsekwencji do sterowania procesem konwertorowym. Przeprowadzone badania nad zależnością, w tym przypadku, poziomu infradźwięków wydobywających się z konwerty a procesem wypalania węgla, stwarzają przesłanki do stwierdzenia, że przy zwiększeniu częstotliwości próbkowania do co najmniej 1 sekundy i ustabilizowaniu parametrów procesu, dźwięki te mogą być pomocne przy określaniu końca wytopu [49].

W pozycji literaturowej [50] przedstawiono wyniki badań, które zostały zrealizowane w 100-tonowym piecu na prąd stały. Spieniacz i tlen były wdmuchiwane do pieca za pomocą lanc eksploatacyjnych przez okno frontowe. Miernik akustyczny został zainstalowany na ścianie sterowni pieca (rys. 20).



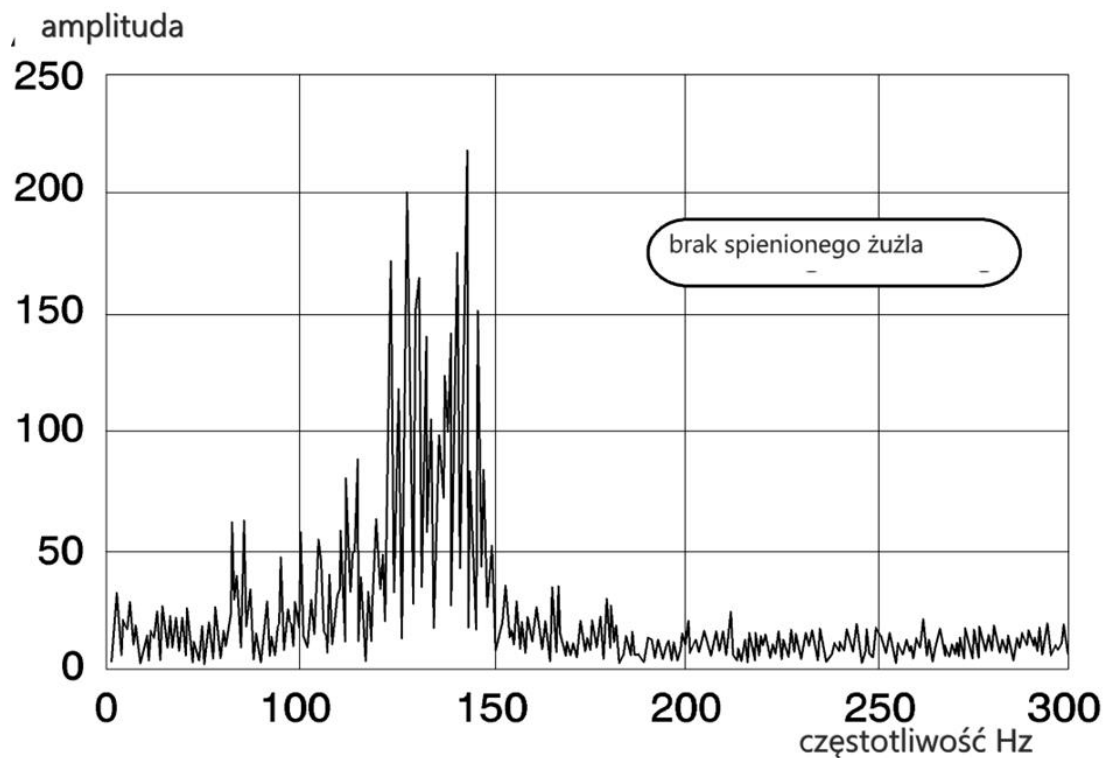
Rys. 20 . Lokalizacja mikrofonu [50]

Celem badań było ustalenie zależności między sygnałami z miernika akustycznego, a objętością i jakością spienionego żużla obecnego w piecu, co pozwalałoby na bezpośrednie prowadzenie podawania spieniacza i tlenu. Oczekiwano, że poprzez optymalizację tworzenia spienionego żużla doprowadzono by do zmniejszenia zużycie energii elektrycznej i zawartości azotu w stali.

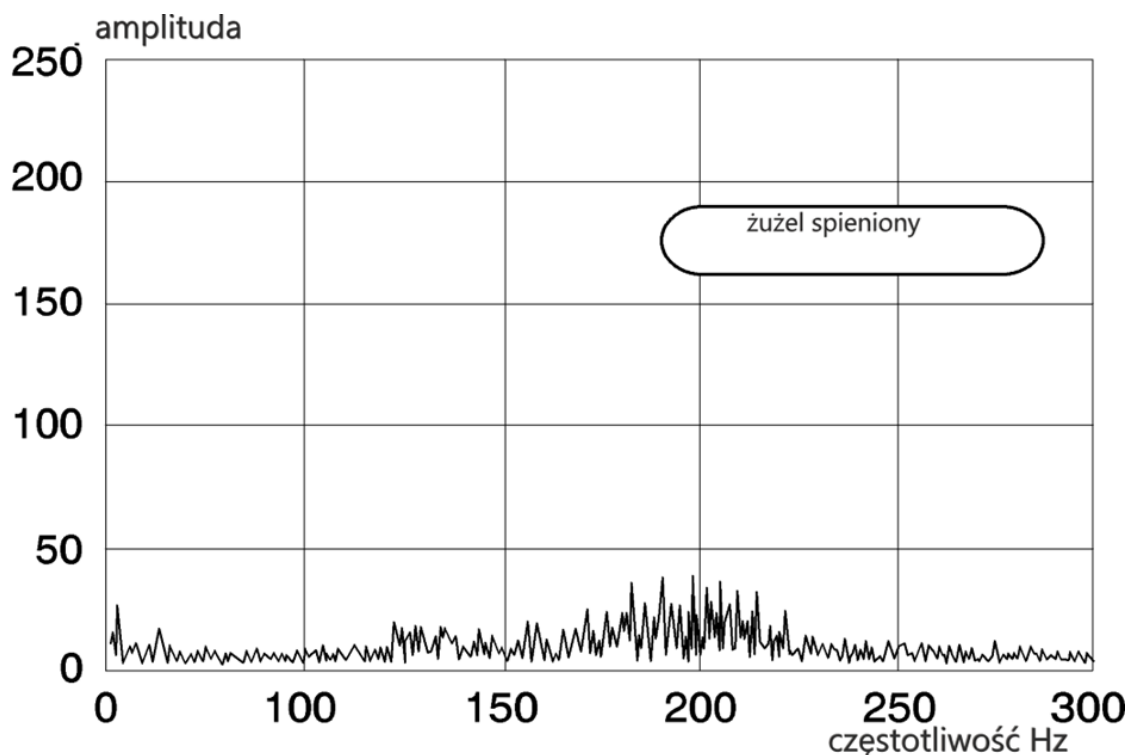
Sygnały akustyczne czujnika zostały zarejestrowane w dużym paśmie częstotliwości (od 0 do 5000 Hz), aby ustalić charakterystyczne zakresy częstotliwości związane ze spienianiem żużla. Analiza sygnałów została przeprowadzona za pomocą oprogramowania opracowanego przez firmę zewnętrzną.

Do badań wybrano zakres częstotliwości pomiędzy 0÷300 Hz. Na rysunku 21 przedstawiono wartość sygnału pochodzącego z mikrofonu pod koniec topienia pierwszego kosza, gdy brak spieniania żużla, a rysunek 22 przedstawia wartość sygnału pięć minut po rozpoczęciu spieniania żużla. Zauważalny jest tutaj gwałtowny spadek wartości sygnału, zwłaszcza w zakresie częstotliwości 100÷150 Hz.



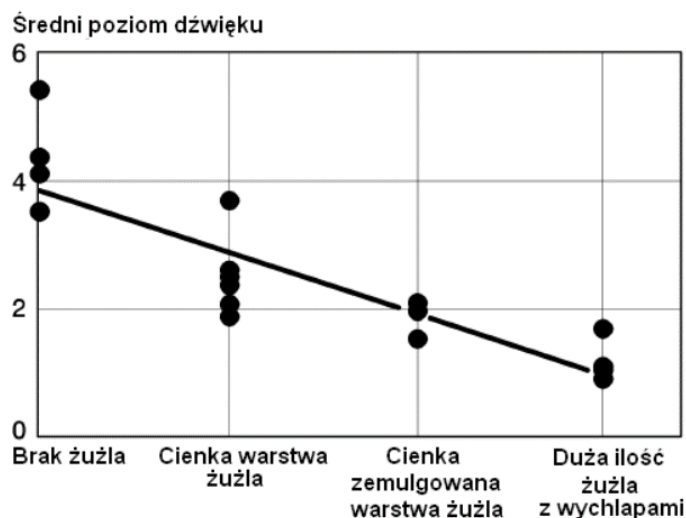


Rys. 21. Wartość sygnału akustycznego brak spieniania żuźla, topienie pierwszego kosza[49]



Rys. 22. Wartość sygnału akustycznego pięć minut po rozpoczęciu spieniania żuźla[49]

Przeprowadzone próbne wytopy pozwoliły na scharakteryzowanie wytopów i obliczenie średniego poziomu dźwięku w czasie fazy świeżenia. Zależność pomiędzy średnim poziomem dźwięku i jakością spienionego żuźla ocenianą przez operatora ilustruje rysunek 23.

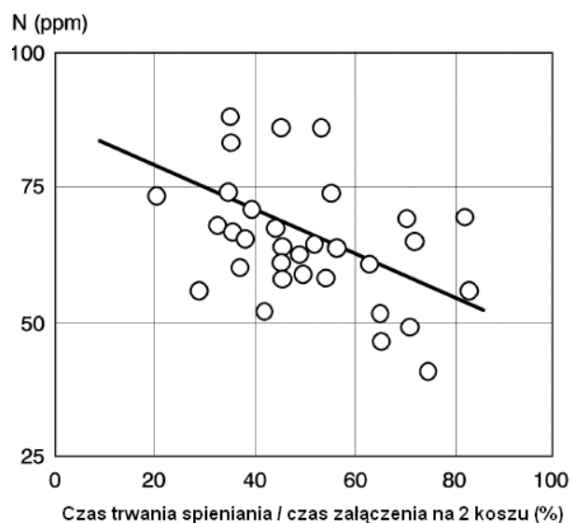


Rys. 23. Ocena jakości spieniania żużla w piecu EAF za pomocą miernika akustycznego [50]

Wytopy zostały sklasyfikowane w czterech różnych kategoriach:

- brak żużla (poziom dźwięku > 4),
- obecność cienkiej warstwy żużla (poziom dźwięku pomiędzy 2 i 3),
- obecność zemulgowanej ilości żużla, łuk prawie całkowicie zanurzony, (poziom dźwięku około 2),
- tworzenie dużej ilości spienionego żużla z możliwymi wychłapami (poziom dźwięku poniżej 2).

Potwierdzono, że obecność dobrze spienionego żużla w czasie najdłuższej części fazy świeżenia (poziom dźwięku znacznie poniżej 2), pozwala na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w zakresie od 10 do 15 kWh/t. Podobną sytuację mamy z zawartością azotu w kąpeli metalowej. Dla wytopów charakteryzujących się podobnym wsadem metalicznym zaobserwowano, że obniżenie poziomu azotu o 10 do 20 ppm można uzyskać, gdy stosowana technologia prowadzi do bardzo niskiego sygnału akustycznego i spieniania przez większą część fazy świeżenia, co przedstawia rysunek 24. Potwierdza to ważną rolę jaką odgrywa spieniony żużel przy bardziej skutecznej ochronie kąpeli przed azotem przenikającym z atmosfery.



Rys. 24. Zależność pomiędzy zawartością azotu w stali a procentowym czasem, gdy łuk jest pokryty dobrze spienionym żużlem [50]

Badania, których celem miało być znalezienie zależności pomiędzy dźwiękiem emitowanym przez piec oraz zniekształceniami harmonicznymi (współczynnikiem zawartości harmonicznych THD) przebiegu napięcia i prądu łuku w odniesieniu do jakości spieniania żużla, przedstawione zostały w pozycji literaturowej [51]. Stalownia, w której przeprowadzono badania, produkuje wyroby, dla których bardzo ważne jest, aby aktywność tlenu w stali przed spustem mieściła się w ściśle określonym zakresie. Dlatego kontrola prędkości przepływu tlenu i spieniacza podczas spieniania żużla ma znaczenie nadrzędne. Końcowym efektem badań było opracowanie wzorców podawania spieniacza i tlenu. Odpowiedni wzorec jest wybierany po pierwszym pomiarze aktywności tlenu i steruje podawaniem tlenu i spieniacza, wykorzystując do tego poziom dźwięku oraz zakłócenia harmoniczne przebiegu napięcia i prądu.

Poziom dźwięk kontrolowany był przez system ASC 2000, a zniekształcenia harmoniczne napięcia i prądu łuku poprzez przenośny analizator. Opracowane wzorce pozwoliły na skrócenie czasu power on i zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, co przedstawia tab. 5.

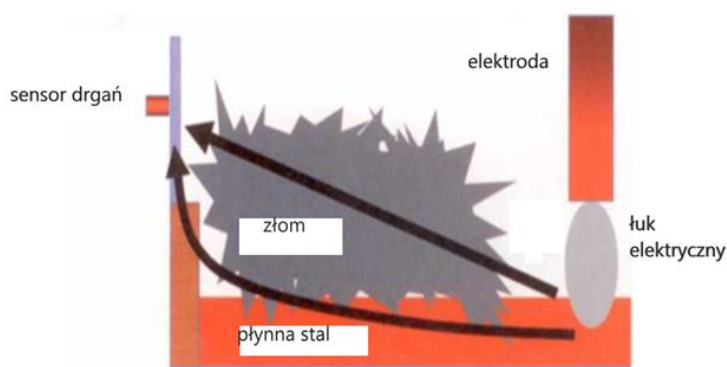
Tab. 5. Uśrednione parametry pracy EAF i wskaźnik dźwięku przy automatycznej i ręcznej regulacji przepływów tlenu i spieniacza [51]

Rodzaj sterowania	Czas power on (min)	Dodatkowy czas power off dla korekty aktywności tlenu (min/wytop)	Zużycie energii (kWh)	Index dźwięku wartość średnia	Index dźwięku standardowe odchylenie
Sterowanie wg wzorców	51,2	0,7	65121	12,3	4,2
Sterowanie ręczne	52,8	1,2	67023	14,4	6,4

Przeprowadzone badania wskazały na pełną przydatność dźwięku do opisanego ilościowego i jakościowego spieniania żużla [51].

Bardziej zaawansowane badania nad wykorzystaniem dźwięku emitowanego przez elektryczny piec łukowy przeprowadzono w Niemczech w dwóch piecach na prąd zmienny każdy o pojemności 100 t. Firmą prowadzącą badania był Siemens AG. Badania przeprowadzono w piecu nr 1 i nr 3. Oba piece są piecami na prąd zmienny. Podczas badań wykorzystano tzw. dźwięk materiałowy, który jest rozprzestrzenianiem się drgań w ciele stałym. Należy podkreślić, że badania nad wykorzystaniem dźwięków materiałowych zapoczątkowano już w roku 1974 [52].

Rysunek nr 25 przedstawia zasadę pomiaru dźwięku materiałowego.



Rys. 25. Pomiar dźwięku materiałowego [53]

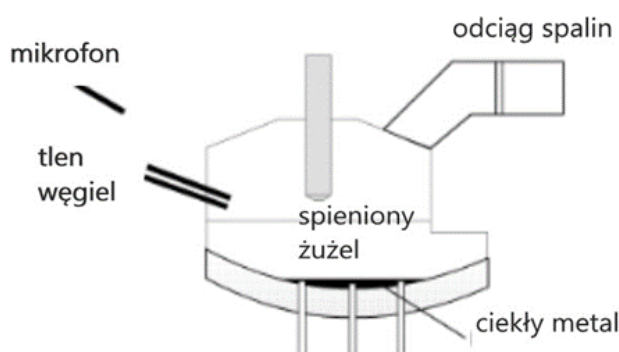
Sensor drgań (rys. 25) jest montowany na zewnętrznej ścianie pieca w strefach gorących, czyli najbliższych poszczególnym elektrodom. Sensory te mierzą poziom dźwięków materiałowych.

Na podstawie tych badań, pomiarów oraz ich analiz opracowano tzw. Manager FSM (Foaming Slag Manager) służący do identyfikacji wysokości warstwy spienionego żużla oraz do automatycznego sterowania podawaniem speniacza oraz tlenu w poszczególne strefy pieca. Takie sterowanie procesem spieniania żużla spowodowało ustabilizowanie się łuku elektrycznego i poprawiło pobór mocy czynnej. W okresie kilku tygodni uzyskano obniżenie następujących parametrów:

- skrócenie czasu power on o około 8%,
- zmniejszenie zużycia speniacza o około 12%,
- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o około 2 %.

Dalsze badania wskazały na możliwość wykorzystania dźwięku materiałowego do określania ilości nieroztopionego złomu, co ma ogromne znaczenie dla efektywności procesu [53, 54, 55].

Szwedzki Instytut KTH Industrial Engineering and Management w swoim raporcie [56] podkreśla możliwości wykorzystania dźwięku w procesie sterowania procesem spieniania żużla, wskazując jednakże na konieczność znalezienia odpowiedniej częstotliwości dźwięku, która pomagałaby w opisanu procesów zachodzących w piecu. Jako ważne uznano miejsce zainstalowania mikrofonu wskazując, że powinno być usytuowane naprzeciw okna żużlowego lub w takim miejscu, w którym sygnał dźwiękowy bez przeszkód mógłby być zarejestrowany przez mikrofon, co przedstawiono na rysunku nr 26.

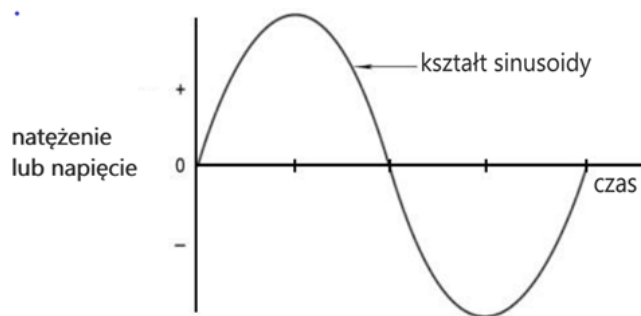


Rys. 26. Umieszczenie mikrofonu względem elektrycznego pieca łukowego [56]

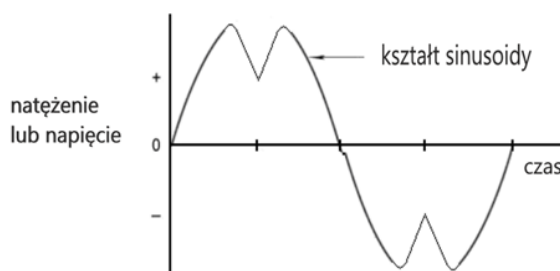
Przeanalizowano w raporcie także możliwość wykorzystania współczynnika zawartości harmonicznych (THD) do analizy przebiegu spieniania żużla w piecu. Jednostką THD jest procent.

Topienie złomu powoduje, że każde dwa cykle przebiegu napięcia i natężenia nie są identyczne. Zakłócenia te są źródłem harmonicznych, które wpływają na straty mocy.

Przebieg sinusoid prądowych lub napięciowych niezakłóconych lub zakłóconych przedstawiają rysunki nr 27 i 28.

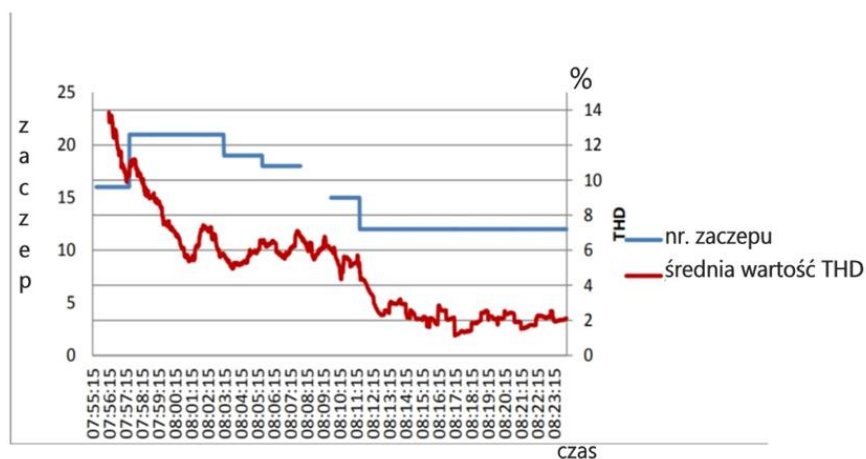


Rys. 27. Przebieg symetryczny sinusoidy [56]



Rys. 28. Przebieg sinusoidy pod wpływem zakłóceń harmoniczych [56]

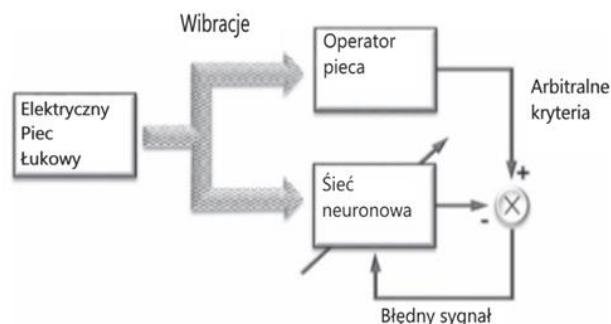
W projekcie, na który powołuje się raport, przeanalizowano 43 wytopy i stwierdzono, że przy wartości THD na poziomie 3% łuk elektryczny w całości przykryty jest żużlem. Potwierdzono to także pomiarem poziomu dźwięku, który znacznie malał po osiągnięciu 3 procentowego THD (rys. 29).



Rys. 29. Wartość THD w czasie świeżenia i zmian zaczeptów [56].

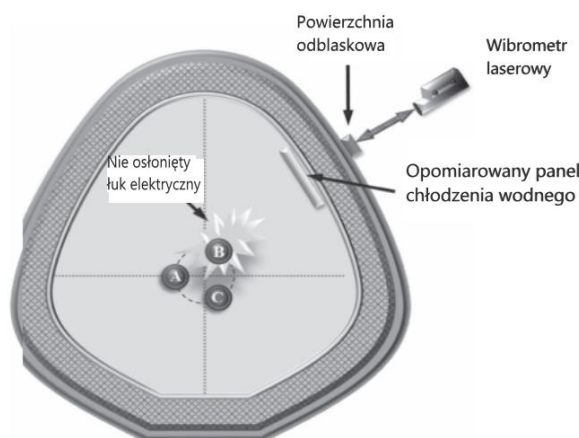
W pozycji literaturowej [57] przedstawiono badania, które miały na celu znalezienie wskaźników mówiących o stopniu pokrycia łuku spienionym żużlem. Podczas wstępnych badań stwierdzono silną zależność między drganiami płaszcza pieca, a stopniem pokrycia łuku elektrycznego. Niemniej jednak użycie zwykłych sensorów do mierzenia wielkości drgań jest bardzo problematyczne ze względu na nieprzyjazne środowisko w pobliżu pieca. W tym przypadku wykorzystanie dźwięku emitowanego przez pracujący piec elektryczny jest także nie w pełni zadawalające ze względu na drugi piec elektryczny pracujący w pobliżu i zakłócający pomiary poziomu dźwięku. Przyjmuje się jednak, że dźwięk emitowany przez łuk elektryczny i wibracje panczerza pieca w przypadku jednej pracującej jednostki prezentują

podobne zachowania. W niniejszym badaniu zastosowano technologię bezkontaktową opartą na wykorzystaniu wibrometru laserowego oraz wykorzystano sztuczną sieć neuronową (SNN) do analizy otrzymywanych wyników, która wcześniej została poddana procesowi nauczania pod nadzorem doświadczonego operatora pieca. Schemat szkolenia sieci neuronowej przedstawiono na rysunku 30.



Rys. 30. Schemat nauczania neuronowej sieci SNN [57]

Wibrometr wyposażony jest w laser helowo-neonowy małej mocy, który musi uderzać w odbijającą powierzchnię, zamontowaną na wibrującym obiekcie. Wibrometr laserowy umieszczono w bezpiecznej odległości od pieca, aby uniknąć uszkodzenia elementów wyposażenia. Zainstalowano odblaskową powierzchnię w pobliżu góry płaszcza pieca, która składała się z silnego magnesu z przyklejoną tkaniną odblaskową. Wiązka laserowa była skierowana w kierunku magnesu. Schemat zainstalowanego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 31.



Rys. 31. Schemat układu pomiarowego wykorzystującego wibrometr laserowy [57]

Do analizy pokrycia łuku żużel wykorzystano także zmiany zadanej wartości prądu elektrycznego na elektrodzie B oraz zmiany temperatury w panelu najbliższym od miejsca pomiaru wibracji.

W pracy tej wykazano, że wibracje płaszcza pieca są silnie skorelowane z pokryciem łuku elektrycznego przez żużel. Udowodniono także możliwość bezpiecznego przeprowadzenia pomiaru drgań pieca łukowego trzymając wrażliwy sprzęt elektroniczny z dala od otaczających

obszarów pieca, gdzie zawodzi większość urządzeń elektronicznych przymocowanych do ścian pieca lub w jego pobliżu.

Podsumowując, wyniki jakie uzyskano w czasie prób przemysłowych potwierdziły hipotezę, że drgania pancierza pieca, mierzone wiązką laserową i przetwarzane przez sztuczną sieć neuronową, mogą być bardzo przydatne do opracowania wskaźnika pokrycia łuku elektrycznego. Obecnie jednak elektryczny piec łukowy, dla którego przeprowadzono badania, nie jest sterowany przy wykorzystaniu wskaźnika pokrycia łuku. Do pełnego opracowania wskaźnika pokrycia łuku konieczne są dalsze prace testowe i końcowa obróbka statystyczna otrzymanych danych.

## 6. Teza, cel i zakres pracy

Z przeprowadzonej analizy literaturowej wynika, że stosowane dotychczas metody wyznaczania optymalnego momentu wprowadzania do elektrycznego pieca łukowego spieniacza żużła są mało precyzyjne i zawodne. Nie opracowano dotychczas skutecznej, uniwersalnej metody rozwiązania tego problemu. Prowadzone są w tym kierunku liczne prace jednak brak jest w literaturze informacji o przemysłowym i długotrwałym zastosowaniu takich rozwiązań. Wynika to z faktu, że warunki pracy elektrycznego pieca łukowego są ekstremalnie trudne ze względu na dynamicznie zachodzące w nim procesy, zależne od wielu czynników. Precyzyjna identyfikacja mechanizmu zachodzenia tych procesów za pomocą zainstalowanych na piecu czujników jest praktycznie niemożliwa. Dlatego w pracy doktorskiej podjęto próbę wykorzystania do określenia optymalnego momentu wprowadzania spieniacza zmian poziomu dźwięku emitowanego przez elektryczny piec łukowy oraz wahań poboru mocy czynnej. W związku z tym sformułowano następującą tezę pracy:

**Poziom dźwięku emitowany przez pracujący łuk elektryczny, zmienia się wraz z zachodzącymi w nim procesami roztapiania wsadu i jest obiektywnym sygnałem umożliwiającym identyfikację tego procesu w czasie rzeczywistym. W połączeniu z standardowo rejestrowanymi przez system sterowania biegiem pieca wahaniami poboru mocy czynnej stanowi obiektywne i uniwersalne źródło informacji umożliwiającej wyznaczenie momentu wprowadzenia spieniacza bez względu na typ pieca i parametry wykorzystywanego wsadu.**

Dla udowodnienia słuszności tezy pracy określono jako jej cel wyznaczenie wartości poziomu dźwięku emitowanego przez łuk elektryczny i wahań poboru mocy czynnej, przy których powinno rozpocząć się podawanie spieniacza do pieca.

Dla osiągnięcia powyższego celu przyjęto następujący zakres prac:

- przegląd i analizę dostępnej literatury,
- skonstruowanie aparatury badawczej,
- dokonanie rejestracji poziomu dźwięków emitowanych przez pracujący piec elektryczny,
- dokonanie rejestracji danych z systemu sterowania pieca, takich jak: pobór mocy czynnej, stan podawania spieniacza, numerów zaczepów transformatora wykorzystywanych w czasie pracy,
- wyznaczenie częstotliwości dźwięku, który emitowany jest przez pracujący łuk elektryczny,
- wyznaczenie wartości poziomu dźwięku i współczynnika zmienności poboru mocy, dla których powinno się rozpocząć podawanie spieniacza,
- analiza statystyczna wyznaczonych wartości,
- zaimplementowanie wyznaczonych wielkości do nowego programu sterownika S7-300 systemu sterowania piecem
- weryfikację otrzymanych wyników badań poprzez przeprowadzenie prób przemysłowych.



## 7. Badania własne

### 7.1. Instalacja badawcza i materiały stosowane w czasie doświadczeń.

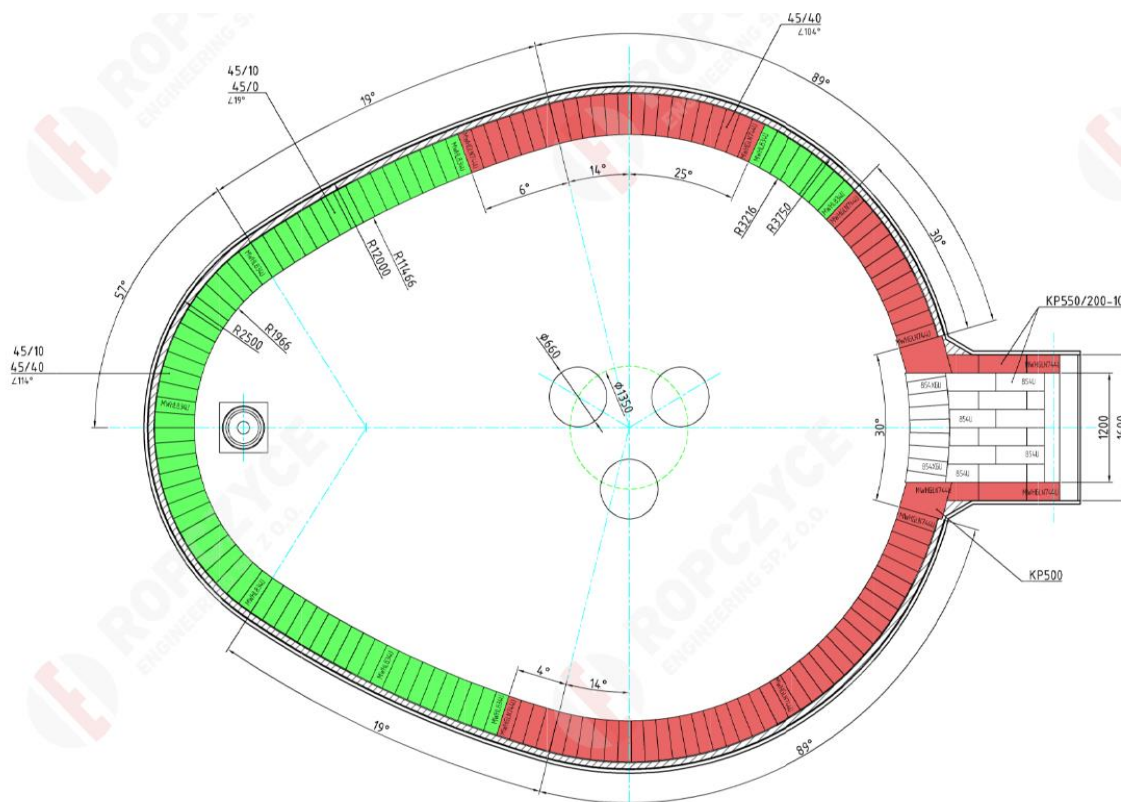
Prace badawcze przeprowadzone zostały na elektrycznym piecu łukowym typu UHP prądu zmiennego o pojemności 70 ton. Piec zasilany jest z transformatora o mocy 48 MVA. Transformator wyposażony jest w 18 zaczeów z tego w użyciu jest 8 najwyższych. Rysunek 32 przedstawia wykorzystany do doświadczeń i badań elektryczny piec łukowy.



Rys. 32 . Elektryczny piec łukowy wykorzystany do badań [58]

Oprócz energii elektrycznej do pieca podawana jest energia chemiczna poprzez trzy palniki gazowo-tlenowe każdy o mocy 3 MW, mogące pracować w trybie palnik i w trybie naddźwiękowej lancy tlenowej. Tlen pobierany jest z własnej wytwornicy tlenu. W sklepieniu zabudowany jest w czwarty otwór umożliwiający wprowadzenie wapna o granulacji 3÷8 mm poprzez wdmuch do pieca. Do podawania speniacza służą dwie lance zamontowane pod palnikiem 1 i 3. Zbiornik główny może zmagazynować 30 t speniacza.

Ściany i sklepienie zbudowane są z paneli chłodzonych wodą. Każdy panel jest oddzielnie zasilany wodą chłodzącą. Odbiór wody chłodzącej jest także osobny dla każdego z paneli. Piec wykorzystuje elektrody grafitowe typu UHP o średnicy  $\varnothing$  508 mm i długości 2400 mm. Wymurówka ogniotrwała składa się z kształtek magnezjowo-węglowych. Rozmieszczenie poszczególnych formatów kształtek przedstawia rysunek 33.



Rys. 33. Rozmieszczenie poszczególnych formatów kształtek ogniotrwałych w elektrycznym piecu łukowym [59]

Spaliny z pieca poprzez komorę wstępnego odpylania i układ chłodzący doprowadzane są do odpylni workowej. Po przejściu procesu odpylania spaliny kierowane są do komina. Spust dokonuje się poprzez otwór spustowy typu EBT.

Dla realizacji badań zaprojektowano, skonstruowano i skonfigurowano układ pomiarowy, który wyposażono w miernik poziomu dźwięku typu SVAN971, mikrofon typu 7052E z zabudowanym przedwzmacniaczem oraz kontroler miernika poziomu dźwięku z oprogramowaniem do komunikacji z systemem sterowania piecem (rys. 34, 35, 36).

SVAN971 jest cyfrowym analizatorem i miernikiem poziomu dźwięku klasy 1 posiadającym zatwierdzenie typu w Polsce. Trzy profile umożliwiają jednoczesny pomiar w charakterystyce częstotliwościowej A, C i Z. Oprogramowanie wewnętrzne pozwala na konfigurację miernika oraz zapisanie ustawień w postaci pliku. Dla każdego profilu możliwe jest zapamiętanie historii czasowej pomiaru z ustalonym krokiem zapisu od 100 milisekund. Miernik poziomu dźwięku posiada również funkcję autokalibracji, oznacza to, że po nałożeniu kalibratora na mikrofon miernik automatycznie rozpoznaje sygnał i prowadzi proces kalibracji. Rysunek 34 przedstawia miernik SVAN971.



Rys. 34 . Miernik SVAN971

Rysunek 35 przedstawia mikrofon typu 7052E wraz z zabudowanym przedwzmacniaczem typu SV18.



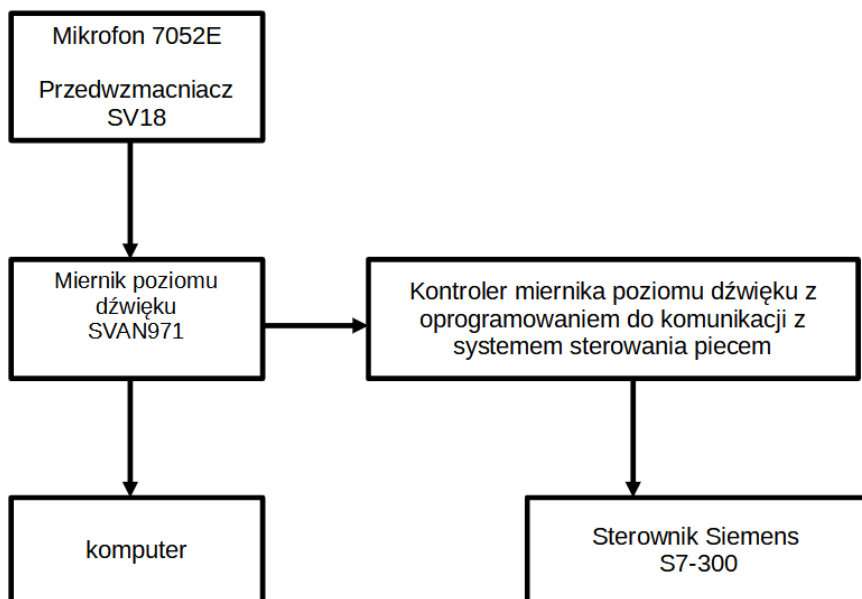
Rys. 35 . Mikrofon 7052E z zabudowanym przedwzmacniaczem SV18

Na rysunku 36 przedstawiono kontroler miernika poziomu dźwięku z oprogramowaniem do komunikacji z systemem sterowania piecem.



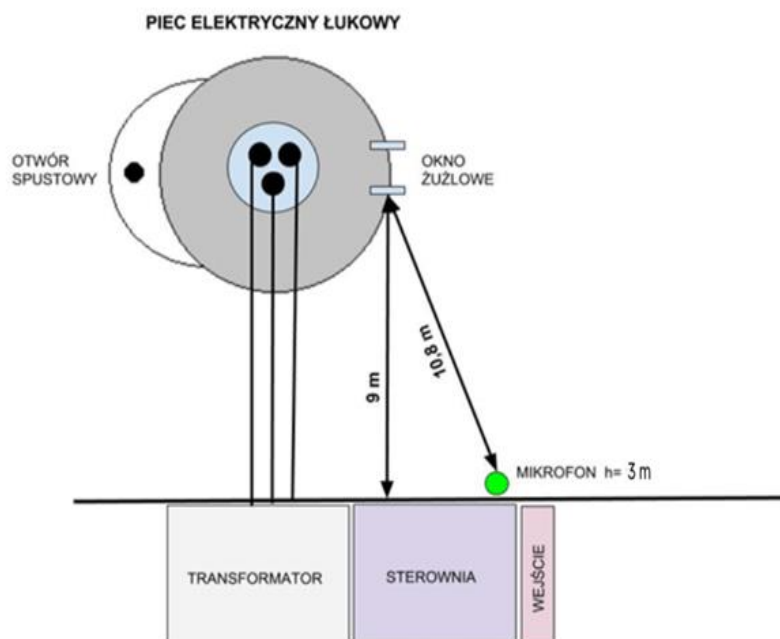
Rys.36 Kontroler wraz z miernikiem poziomu dźwięku.

Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 37.



Rys. 37. Schemat blokowy układu pomiarowego [własne].

Położenie mikrofonu względem pieca i pozostałych obiektów znajdujących się w hali pieca przedstawiają rysunki 38 i 39. Położenie to gwarantuje brak termicznego oddziaływania na mikrofon.



Rys. 38. Położenie mikrofonu względem elektrycznego pieca łukowego





Rys. 39. Położenie mikrofonu na ścianie sterowni

Mikrofon pomiarowy umieszczono w specjalnej obudowie chroniącej przed odpryskami pochodzącymi z pieca, co widać na rysunku 40.



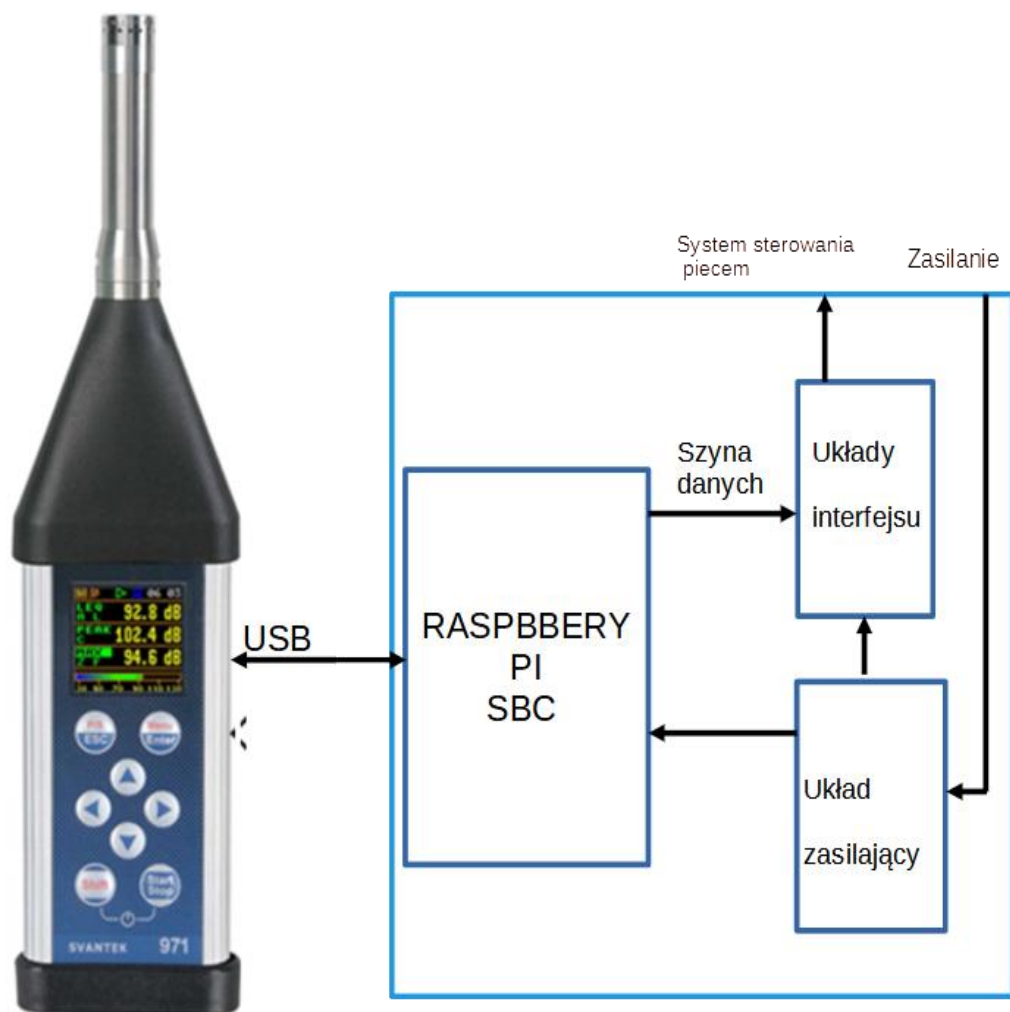
Rys. 40. Mikrofon zabudowany w osłonie

Rysunek 41 przedstawia kontroler w powiązaniu z miernikiem w sterowni elektrycznego pieca łukowego.



Rys. 41. Kontroler w sterowni elektrycznego pieca łukowego

Schemat blokowy kontrolera przedstawiony jest na rysunku 42.



Rys. 42. Schemat blokowy - miernik poziomu dźwięku z kontrolerem miernika poziomu dźwięku z oprogramowaniem do komunikacji z systemem sterowania piecem

Włączanie i wyłączanie kontrolera realizowano za pomocą przycisków znajdujących się na płycie czołowej (rys. 43). Na płycie czołowej znajdują się diody sygnalizacyjne prawidłowej pracy kontrolera (PWR), prawidłowego działania oprogramowania, prawidłowego działania miernika SVAN971 oraz spełnienia warunku spadku poziomu dźwięku poniżej zadanego progu (WAR).



Rys. 43. Płyta czołowa kontrolera

## 7.2. Materiały stosowane w badaniach

Wszystkie wytypy badawcze prowadzono w oparciu o jedną strukturę złomu. Złom do pieca podawano zawsze trzema koszami. Struktura złomu kształtowała się następująco:

- złom lekki – 30 ton (złom o grubości powyżej 3 mm) – rysunki 44 i 45,
- złom średni – 26 ton (złom o grubości powyżej 6 mm) – rysunek 46,
- złom ciężki – 16 ton (złom o grubości powyżej 10 mm) – rysunek 47,
- złom w postaci wiórów – 2 tony – rysunek 48.



Rys. 44. Złom lekki kawałkowy



Rys. 45. Złom lekki po przerobie na prasonożycy





Rys. 46. Złom średni

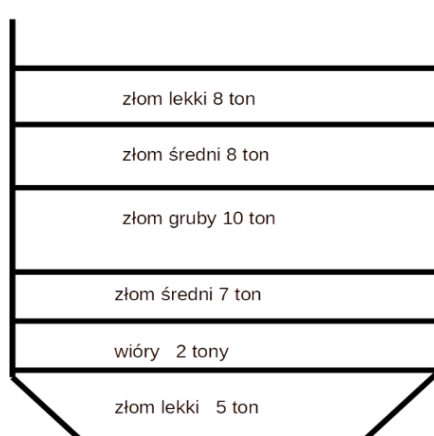


Rys. 47. Złom ciężki

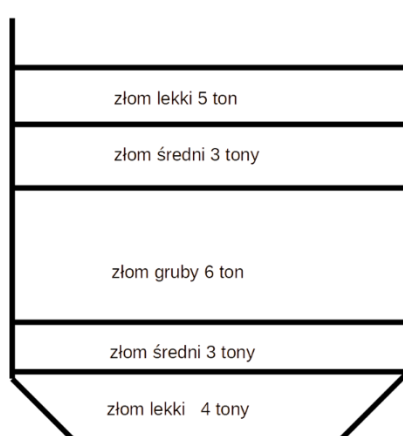


Rys. 48 . Złom w postaci wiórów

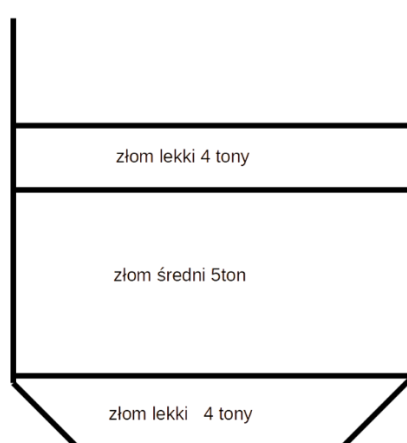
Rozkład złomu w poszczególnych koszach przedstawiają rysunki 49, 50 i 51.



Rys.49. Rozkład złomu w koszu I



Rys. 50. Rozkład złomu w koszu II



Rys. 51. Rozkład złomu w koszu III

W czasie rejestracji wytopów badawczych do pieca wprowadzano spieniacz o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 6. Analizę spieniacza wykonano w certyfikowanym laboratorium.

Tab. 6. Wyniki badań spieniacza

Badana cecha	Jednostka	Stan	I próbka	II próbka	III próbka	IV próbka	V próbka	VI próbka	VII próbka
Wilgoć	%	roboczy	4,6	2,8	3,4	4,4	4,4	3,1	4,0
Popiół	%	roboczy	14,3	11,2	7,5	4,2	18,7	9,7	12,4
Części lotne	%	roboczy	5,8	2,8	2,5	1,6	2,4	2,1	3,0
Węgiel	%	roboczy	74,95	80,53	85,69	88,77	72,11	82,55	77,73
Siarka	%	roboczy	1,03	0,85	0,77	0,79	0,98	0,81	0,96

W czasie przeprowadzania wytopów badawczych pobrano kilka prób żużla, w celu wykonania analizy chemicznej. Próby żużla pobierane były razem z próbą ciekłego metalu. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 7.

Tab. 7. Wyniki badań składu chemicznego żużla

Numer próby	FeO [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	MnO [%]	MgO [%]	CaO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]
1	27,55	12,31	6,13	9,57	19,56	8,09	0,496
2	24,27	13,22	6,54	9,49	21,48	8,87	0,521
3	29,11	14,27	5,89	10,21	19,63	9,47	0,386
4	29,52	14,27	6,09	8,36	18,63	9,28	0,396
5	28,69	16,55	7,25	8,69	20,19	8,58	0,435

## 8. Metodyka i wyniki badań

Wszystkie przeprowadzone badania podzielono na cztery grupy:

- badania w celu wyznaczenia częstotliwości dźwięku który emituje pracujący łuk elektryczny,
- badania w celu wyznaczenia wartości poziomu dźwięku, dla którego powinno się rozpocząć podawanie speniacza,
- badania w celu wyznaczenia wielkości współczynnika zmienności poboru mocy czynnej, poniżej którego powinno się rozpocząć podawanie speniacza do pieca,
- przeprowadzenie wytopów przemysłowych w celu weryfikacji otrzymanych we wcześniejszych etapach badań wyników.

### 8.1. I etap badań – wyznaczenie częstotliwości dźwięku, który emituje pracujący łuk elektryczny

W tym celu dokonano rejestracji poziomu dźwięku w pasmach tercjowych w zakresie słyszalnym oraz rejestrowano pobór mocy czynnej pieca, aby określić moment rozpoczęcia pracy łuku. Przyjęto założenie, że poziom dźwięku emitowanego przez pracujący łuk elektryczny jest największy.

Przy pomocy specjalistycznego oprogramowania przeprowadzono obróbkę plików dźwiękowych, której efektem końcowym było powstanie arkuszy kalkulacyjnych zawierających wartości poziomu dźwięku w poszczególnych pasmach tercjowych. Cały arkusz dla jednego wytopu składa się z 32 kolumn odpowiadającym pasmom tercjowymi i w zależności od czasu trwania wytopu – kilku tysięcy wierszy. Fragment przykładowego arkusza przedstawiono w tabeli 8.

Tab. 8. Wartości poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach częstotliwościowych

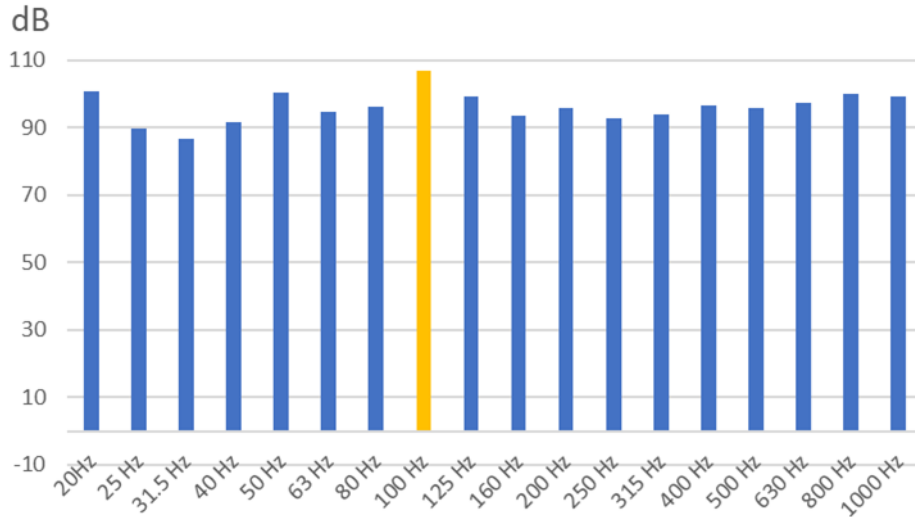
Moc czynna [MW]	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
0	78,75	75,54	80,11	81,07	80	83,4	77,91	74,78	79,75	82,66	82,4	78,47	76,31	78,43	79,24	81,96	82,34	80,64
0	78,99	72,54	76,97	76,89	79,37	80,18	75,09	73,14	78,21	80,59	77,08	73,35	72,26	71,55	68,49	69,84	74,01	72,87
0	78,83	73,38	77,18	76,44	76,21	76,73	76	72,31	71,57	71,01	70,78	69,84	68,6	68,75	65,89	65,14	66,6	63,91
0	76,86	74,83	76,01	78,03	77,93	75,91	77,56	73,28	74,05	72,34	70,12	72,64	69,93	69,71	64,4	64,99	66,81	62,88
0	83,08	75,23	74,63	75,46	74,64	73,86	75,17	72,82	75,05	73,51	73,16	70,24	70,88	69,56	64,94	68,8	67,32	64,45
0	84,16	77,04	72,41	74,39	79,6	78,73	80,14	76,64	78,82	75,47	78,5	74,98	74,37	75,05	71,78	72,5	73,06	73,22
2,673611	100,31	92,6	89,8	89,67	97,79	95,06	95,35	104,73	95,74	96,28	94,38	89,56	92,14	92,64	89,28	92,38	96,23	96,53
0,384838	99,36	89,17	86,74	84,79	90,5	90,67	92,86	99,91	92,04	89,57	89,31	87,37	89,31	88,31	85,43	89,94	94,04	94,72
12,19329	99,41	92,59	87,48	83,45	92,68	93,25	93,29	105,42	94,88	96,74	94,87	90,98	94,05	94,46	91,75	95,45	98,98	101,58
14,6441	98,63	92,99	87,43	87,19	98,18	97,82	94,85	106,61	95,08	96,04	97,52	93,07	94,95	95,03	92,21	95,04	97,97	98,74
21,89525	99,47	95,02	93,13	89,12	97,19	99,16	96,5	109,07	98,77	97,19	96,41	94,35	97,44	97,39	94,99	98,73	101,31	102,66
26,22975	99,53	92,95	91,22	91,67	94,11	97,59	96,94	108,98	97,07	96,96	97,21	95,71	99,78	99,79	96,01	97,84	101,13	102,87
13,125	103,88	96,53	91,56	88,51	92,54	94,35	95,41	104,62	94,94	95,55	95,99	92,42	94,78	96,13	92,53	94,54	99,08	99,96
12,41609	104,9	96,45	93,22	88,11	94,97	96,13	98,28	104,84	98,36	97,52	95,22	94,91	97,92	96,8	95,6	97,13	98,95	100,24
15,00868	100,9	94,15	95,05	91,77	92,96	95,74	95,9	102,38	98,04	96,13	94,92	93,6	97,54	96,51	94,79	96,2	99,41	100,58
22,48264	104,31	92,63	89,12	87,11	95,12	96,73	94,76	108,64	98,37	95,19	96,14	95,13	98,07	98,78	95,78	98,05	100,14	102,25
23,43461	101,26	89,09	89,51	89,03	94,16	96,88	96,02	108,18	96,52	96,18	94,95	94,17	97,23	96,07	95,27	97,35	99,7	101,36
17,76331	100,86	90,52	91	89,76	93,62	96,38	96,02	109,33	97,02	95,54	96,8	94,22	97,31	97,79	95,95	97,56	99,54	100,92
24,69039	100,81	93,66	89,93	91,04	95,59	98,19	95,37	109,35	96,66	95,97	94,26	93,53	96,97	96,13	94,89	97,1	99,86	102,19
22,40162	97,85	90,53	88,21	88,5	93,16	95,66	95,14	107,94	97,32	96,07	94,76	94,33	96,6	97,49	95,03	96,13	99,01	100,8
18,55324	101,92	93,57	89,92	88,14	94,12	96,72	94,04	104,48	94,57	95,31	94,55	93,77	95,26	95,83	94,05	95,57	98,19	99,2
20,59896	100,48	92,11	88,4	88,03	95,33	96,84	94,7	108,8	94,21	94,9	94,49	94,85	97,4	96,7	95,87	97,89	100,24	101,6

Pierwsza kolumna o nazwie moc czynna wyrażona w MW opisuje stan pracy elektrycznego pieca łukowego. Wartość 0 oznacza, że piec nie pracuje (nie ma poboru mocy) Wiersz, w którym pojawia się jakakolwiek wartość (w prezentowanej tabeli jest to 2,673611) wyznacza moment rozpoczęcia pracy łuku. Dla tych wierszy wykonano wykresy, które wskazują w jakiej terecji częstotliwościowej pojawił się największy poziom dźwięku co, zgodnie z przyjętym założeniem, wskazuje na częstotliwość dźwięku emitowanego przez łuk elektryczny.

W kolejnych tabelach od 9 do 12 przedstawiono wartości poziomu dźwięku w poszczególnych terecjach a na rysunkach od 52 do 55, przedstawiono wartości poziomu dźwięku zarejestrowane w momencie rozpoczęcia pracy pieca.

Tab. 9. Wartość poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu II kosza wytopu 1

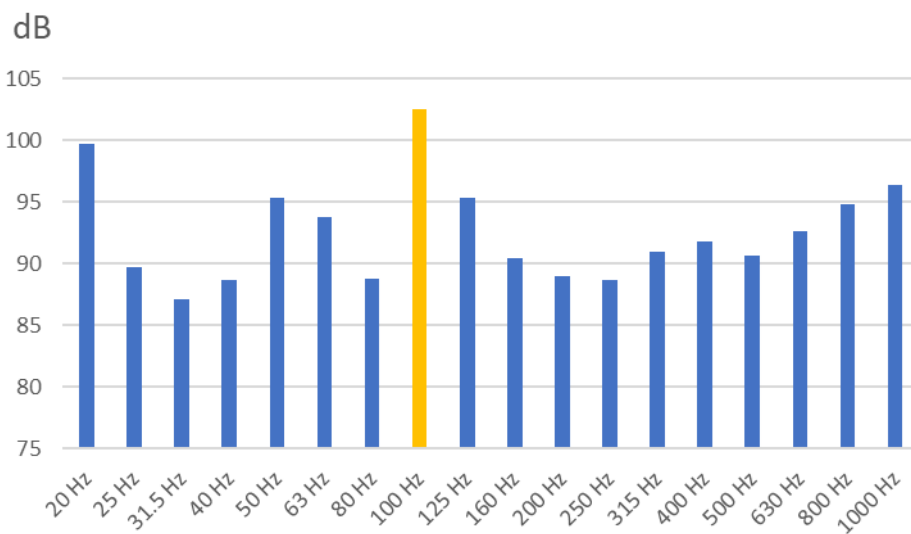
Moc czynna [MW]	20Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
0	75,79	79,89	78,69	80,97	77,65	77,53	77,68	74,62	77,91	80,96	83,38	82,9	80,96	86,08	76,27	70,32	71,22	70,3
0	77,95	77,91	75,9	81,17	80,08	77,9	76,64	72,56	78,79	79,6	82,17	82,21	81,65	85,42	74,14	70,67	70,43	69,53
0	79,98	77,15	77,57	80,28	81,72	77,76	78,98	75,08	77,02	80,12	82,94	80,7	80,7	85,88	75,06	70,08	70,52	70,03
0	78,06	79,68	76,26	77,73	79,77	79,14	79,21	74,98	77,9	81,37	82,72	81,79	81,63	85,81	76,15	70,34	70,81	70,3
0	79,84	76,41	75,32	78,35	82,61	83,25	79,02	76,54	80,05	80,84	82,17	82,52	82,51	84,91	77,33	73,4	72,02	71,65
0	81,48	74,07	73,4	77,89	80,5	78,93	77,35	73,74	79,27	79,63	81,51	81,6	81,92	84,38	75,02	70,92	71,73	70,61
4,942129395	100,76	89,69	86,9	91,52	100,37	94,67	96,38	106,95	99,37	93,58	95,74	92,68	93,85	96,79	96,02	97,26	99,9	99,3
10,65393555	102,83	95,52	87,43	92,62	105,18	99,43	97,71	108,43	101,91	95,5	97,21	98,12	95,49	98,91	97,72	98,99	102,59	101,34
2,491319336	103,04	90,15	89,69	88,63	98,22	95,64	94,84	106,95	102,42	95,41	94,42	94,74	96,31	97,77	96,54	97,04	101,01	99,64
0,202546295	100,04	94,45	89,67	89	99,65	97,4	96,37	108,15	103,38	96,21	96,22	94,62	95,73	96,42	94,82	95,53	100,46	99,04
0,040509258	95,05	88,28	84,79	90,99	100,98	97,21	98,34	107,12	99,21	97,85	95,68	94,55	99,25	99,08	96,84	97,45	98,82	98,72
22,54340234	103,69	94,88	94,45	95,79	99,83	98,7	100,26	106,96	102,1	100,68	100,13	101,11	102,65	104,48	103,28	104,25	106,71	107,23



Rys. 52. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu II kosza wytopu A1

Tab. 10. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu III kosza wytop 1

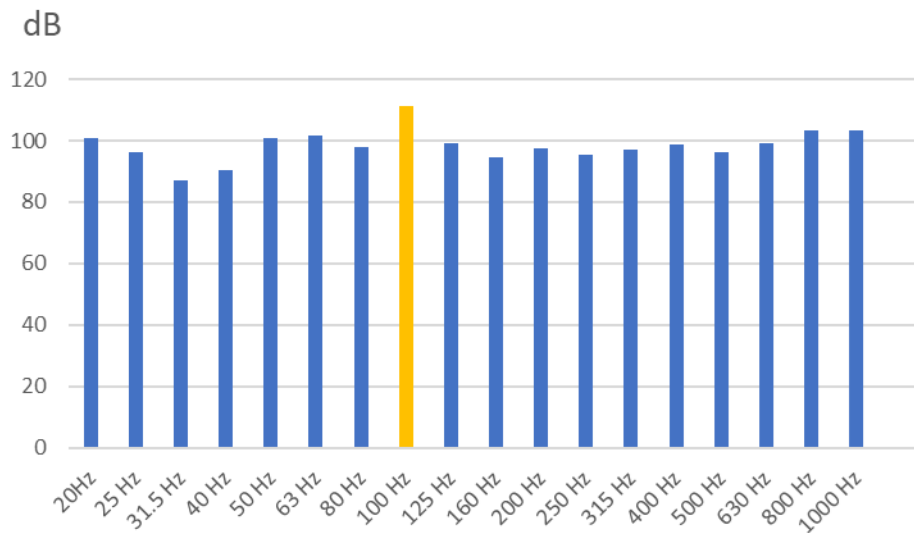
Moc czynna [MW]	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
0	77,84	76,1	77,83	76,92	78,52	77,44	77,28	74,87	78,39	81,35	83,9	82,14	82,17	85,56	78,54	72,8	71,66	69,84
0	78,06	75,76	80,45	78,8	80,05	79,06	78,63	75,48	79	80,09	84,87	84,89	84,09	87,06	82,43	73,44	72,42	70,09
0	77,03	75,68	77,3	78,73	81,64	79,27	78,81	75,62	79,71	81,09	83,22	82,31	83,73	87,1	82,4	73,46	72,36	70,43
0	76,62	77,57	76,14	77,53	81,1	78,89	80,31	75,78	79,19	81,66	81,08	84	84,08	86,48	81,64	73,17	72,66	71,44
0	74,85	73,1	77,45	77,07	81,69	80,65	78,48	73,32	78,86	81,5	83,52	83,61	84,53	87,49	83,21	73,16	72,18	71,32
0	77,47	78,91	78,88	79,54	82,33	79,97	79,31	77,44	80	81,43	81,41	84,36	84,47	86,24	82,19	73,02	72,95	70,72
0,081018517	99,74	89,65	87,12	88,71	95,35	93,78	88,75	102,54	95,3	90,44	88,94	88,67	90,92	91,8	90,6	92,61	94,81	96,41
0,121527779	96,31	83,4	84,6	89,05	98,72	93,19	89,45	103,26	93,93	91,6	93	91,28	91,31	95,16	92,81	94,07	96,69	101,65
0,101273148	96,61	87,44	88,38	90,64	96,06	96,72	92,47	103,63	95,68	92,86	94,68	93,58	95,36	95,7	94,02	97,6	99,78	99,85
11,72743066	95,91	86,42	86,04	88,48	95,96	94,13	92,77	106,83	96,32	92,82	95,56	94,28	96,66	98,47	95,49	99,51	99,91	101,66
16,2644668	95,39	93,58	88,55	90,92	99,7	94,12	93,53	107,11	98,16	96,13	95,55	94,2	98,03	98,97	97,08	99,39	101,07	103,54
23,43460742	92,82	96,65	93,21	91,66	100,65	100,07	95,56	105,87	98,85	97,38	97,39	97,91	101,19	102,44	100,91	103,05	106,58	106,9



Rys. 53. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu III kosza wytopu A1

Tab. 11. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu II kosza wytopu 2

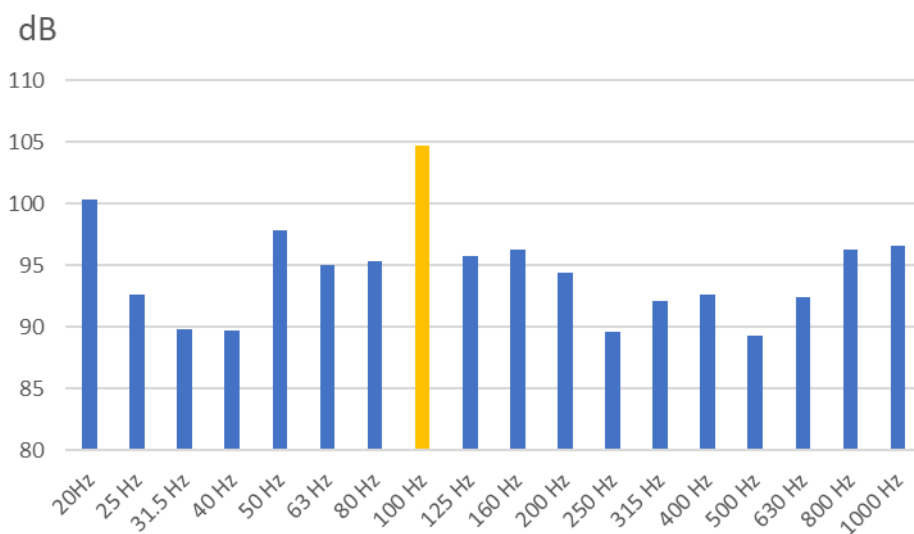
Moc czynna [MW]	20Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
0	79,47	71,04	69,98	76,47	78,92	72,99	73,39	69,18	75,21	71,73	69,84	67,04	65,34	66,33	61,04	61,08	60,43	58,72
0	76,48	75,11	77,43	76,24	79,52	76,51	74,42	70,62	73,93	71,95	70,51	70,26	66,95	66,58	62,75	61,5	61,83	60,17
0	78,96	76,24	78,01	79,08	78,65	77,07	75,24	71,77	75,27	71,9	71,75	70,85	67,3	67,75	66,13	62,08	62,93	60,03
0	75,11	71,15	78,12	80,34	78,68	75,94	74,28	72,19	77,16	74,52	73,53	71,33	68,44	68,85	67,1	63,62	63,22	61,73
0	76,02	75,11	78,16	78,36	79,57	78,87	75,66	71,64	79,58	76,74	74,07	73,99	70,29	69,33	67,7	65,95	67,61	63,75
0	78,27	75,12	79,27	80,47	78,85	76,67	73,3	72,88	77,96	76,21	74,9	73,75	71,54	70,23	68,56	65,8	69,24	67,02
20,25462891	100,85	96,25	86,94	90,52	100,76	101,73	97,98	111,44	99,34	94,51	97,51	95,41	97,24	98,74	96,42	99,34	103,19	103,22
8,223379883	99,28	93,83	91,61	88,54	102,07	96,89	97,75	104,99	98,07	95,4	94,64	94,7	97,49	98,07	94,93	99,17	101,4	102,9
18,22916602	100,99	94,43	87,95	89,22	98,8	96,03	98,06	103,11	96,22	95,47	94,96	94,33	95,46	97,6	94,56	97,92	101,19	102,51
4,212962891	97,33	92,86	89,43	89,4	95,49	97,29	95,66	102,61	94,35	94,82	97,51	95,01	97,17	97,74	97,13	98,19	101,36	101,95
21,53066992	91,96	88,37	85,2	89,68	94,95	97,23	96,59	103,98	96,26	94,31	97,02	95,28	97,48	99	100,41	99,85	102,28	104,14
13,28703711	101,58	89,79	87,38	88,39	98,84	97,27	94,52	104,32	95,18	94,52	97,72	95,07	97,34	99	98,37	97,71	99,44	102,34



Rys. 54. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu II kosza wytopu A2

Tab. 12. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu III kosza wytopu 2

Moc czynna [MW]	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
0	78,75	75,54	80,11	81,07	80	83,4	77,91	74,78	79,75	82,66	82,4	78,47	76,31	78,43	79,24	81,96	82,34	80,64
0	78,99	72,54	76,97	76,89	79,37	80,18	75,09	73,14	78,21	80,59	77,08	73,35	72,26	71,55	68,49	69,84	74,01	72,87
0	78,83	73,38	77,18	76,44	76,21	76,73	76	72,31	71,57	71,01	70,78	69,84	68,6	68,75	65,89	65,14	66,6	63,91
0	76,86	74,83	76,01	78,03	77,93	75,91	77,56	73,28	74,05	72,34	70,12	72,64	69,93	69,71	64,4	64,99	66,81	62,88
0	83,08	75,23	74,63	75,46	74,64	73,86	75,17	72,82	75,05	73,51	73,16	70,24	70,88	69,56	64,94	68,8	67,32	64,45
0	84,16	77,04	72,41	74,39	79,6	78,73	80,14	76,64	78,82	75,47	78,5	74,98	74,37	75,05	71,78	72,5	73,06	73,22
2,673611084	100,31	92,6	89,8	89,67	97,79	95,06	95,35	104,73	95,74	96,28	94,38	89,56	92,14	92,64	89,28	92,38	96,23	96,53
0,384837952	99,36	89,17	86,74	84,79	90,5	90,67	92,86	99,91	92,04	89,57	89,31	87,37	89,31	88,31	85,43	89,94	94,04	94,72
12,19328711	99,41	92,59	87,48	83,45	92,68	93,25	93,29	105,42	94,88	96,74	94,87	90,98	94,05	94,46	91,75	95,45	98,98	101,58
14,64409766	98,63	92,99	87,43	87,19	98,18	97,82	94,85	106,61	95,08	96,04	97,52	93,07	94,95	95,03	92,21	95,04	97,97	98,74
21,89525391	99,47	95,02	93,13	89,12	97,19	99,16	96,5	109,07	98,77	97,19	96,41	94,35	97,44	97,39	94,99	98,73	101,31	102,66
26,22974609	99,53	92,95	91,22	91,67	94,11	97,59	96,94	108,98	97,07	96,96	97,21	95,71	99,78	99,79	96,01	97,84	101,13	102,87



Rys. 55. Wartości poziomu dźwięku w momencie rozpoczęcia pracy po załadowaniu III kosza wytopu A2



Następnie dokonano analizy średnich wartości poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach częstotliwościowych rejestrowanych tylko podczas pracy pieca, z pominięciem przerw. W tabelach od 13 do 16 przedstawiono średnie wartości poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach jak i osiągnięte wartości największe jak i najmniejsze poziomu dźwięku w czasie trwania wytopu.

Tab. 13. Zarejestrowana wartość średnia poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach oraz zarejestrowane wartości maksymalne i minimalne w tercjach w czasie trwania wytopu tylko w czasie pracy elektrycznego pieca łukowego (wytop 3)

częstotliwość	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
wartość maksymalna [dB]	108,74	102,98	99,32	99,42	107,49	109,99	110,83	116,72	108,82	105,71	109,34	105,16	107,98	106,26	105,56	105,83	107,22	109,43
wartości średnie [dB]	93,09731	87,18872	85,9357	86,33676	90,78757	92,31074	92,69987	102,0082	94,39211	93,10205	99,27333	93,1869	96,62664	94,94653	91,15906	90,89247	91,75407	90,66583
wartość minimalna [dB]	71,88	67,62	70,32	70,31	73,22	72,94	72,88	79,31	76,57	73,96	77,39	72,7	73,14	73,77	69,29	68,47	68,22	67,33

Tab. 14. Zarejestrowana wartość średnia poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach oraz zarejestrowane wartości maksymalne i minimalne w tercjach w czasie trwania wytopu tylko w czasie pracy elektrycznego pieca łukowego (wytop 4)

częstotliwość	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
wartości maksymalne [dB]	112,73	102,87	102,42	99,68	112,69	108,44	110,84	116,07	108,49	106,81	110,1	105,99	108,55	109,45	105,69	107,92	110,16	110,04
wartości średnie [dB]	95,71468	89,22435	88,03343	87,60812	92,4997	93,52777	93,78735	102,6478	96,00222	93,73665	97,94972	93,11671	95,34948	94,75886	91,32426	91,45513	92,84928	92,17496
wartość minimalna [dB]	73,18	67,38	71,25	69,47	72,67	71,73	73,49	79,72	77,08	75,43	76,25	73,7	74,13	73,06	70,18	69,88	70,87	70,03

Tab. 15. Zarejestrowana wartość średnia poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach oraz zarejestrowane wartości maksymalne i minimalne w tercjach w czasie trwania wytopu tylko w czasie pracy elektrycznego pieca łukowego (wytop 5)

częstotliwość	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
wartość maksymalna [dB]	115,07	106,11	102,57	100,69	106,83	108,2	109,99	113,79	109,71	108	110,4	107,57	107,73	106,92	104,97	107,42	108,5	109,56
wartości średnie [dB]	97,24935	90,01881	88,63539	88,41488	91,46902	93,2739	93,79147	101,8519	96,33132	94,66287	99,2614	94,60155	96,24346	95,55439	91,96684	91,34065	92,45299	91,3388
wartość minimalna [dB]	73,33	68,24	70,19	71,08	70,89	72,12	71,49	83,83	77,74	75,12	75,85	74,18	72,96	71,38	68,53	70,5	71,43	70,03

Tab. 16. Zarejestrowana wartość średnia poziomu dźwięku w poszczególnych tercjach oraz zarejestrowane wartości maksymalne i minimalne w tercjach w czasie trwania wytopu tylko w czasie pracy elektrycznego pieca łukowego (wytop 6)



częstotliwość	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz
wartości maksymalne [dB]	113,01	105,02	101,55	100,53	108,23	106,07	107,04	115,74	109,26	106,61	106,9	106,38	108,84	109,47	106,32	105,83	108,68	109,59
wartości średnie [dB]	96,26742	89,63644	88,23093	88,00556	90,80962	91,36632	91,7348	99,47346	94,71038	92,37116	95,88792	91,2995	93,07934	93,0617	89,40539	89,02367	90,15933	89,67299
wartości minimalne [dB]	72,31	68,33	69,82	69,79	69,78	71,87	70,78	81,79	75,76	73,78	76,14	72,08	71,64	70,82	67,7	66,43	67,66	67,08

Przeprowadzone analizy potwierdziły, że największe natężenie poziomu dźwięku, w momencie rozpoczęcia wytopu jak i podczas trwania wytopu, występuje w tercji częstotliwościowej 100 Hz. Wszystkie następne wykresy i analizy zostały wykonane dla dźwięku o częstotliwości **100 Hz**.

## 8.2. II etap badań – wyznaczenie wartości poziomu dźwięku, dla którego następuje stabilizacja poboru mocy

Do wyznaczenia wartości poziomu dźwięku przy którym następuje stabilizacja poboru mocy czynnej wykorzystano dwie metody:

- analiza wykresów,
- analiza statystyczna.

Badania prowadzono przy użyciu miernika SVAN971. Załączenie miernika następowało w momencie podania napięcia na elektrody, przebieg wytopu rejestrowano łącznie z przerwami na załadunek złomu do pieca. Poziom dźwięku emitowanego przez elektryczny piec łukowy rejestrowano co sekundę w paśmie tercjomym 100 Hz.

Za pomocą systemu sterowania piecem, przy użyciu cewki Rogowskiego wraz z przekładnikami napięciowymi, sterownika typu Siemens S7-300 oraz przełącznika zaczepów, rejestrowano pobór mocy czynnej, przebieg podawania spieniacza do pieca, numer zaczepu transformatora.

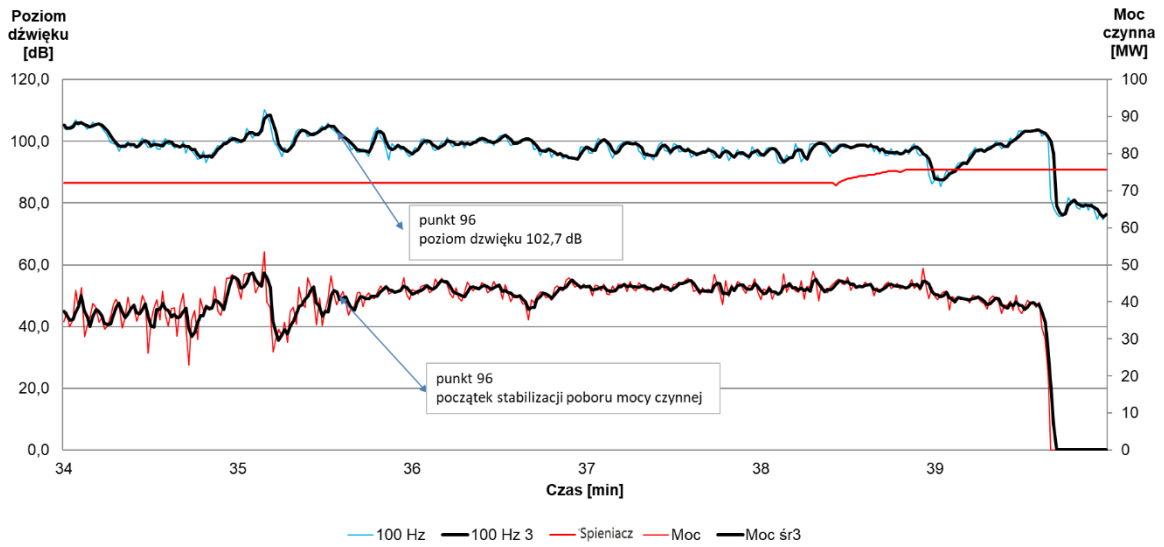
Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w paśmie tercjomym 100 Hz oraz wartości rejestrowane poprzez system sterowania piecem przetwarzano do postaci arkusza kalkulacyjnego, przy pomocy którego generowano wykresy przebiegu wytopu. Umożliwiło to wyznaczenie wartości poziomu dźwięku, przy której rozpoczynała się stabilizacja poboru mocy jeszcze bez podawania spieniacza w przestrzeń roboczą pieca. W momencie rozpoczęcia się stabilizacji poboru mocy powinno się rozpocząć podawanie spieniacza do pieca.

Wykresy te (rysunki od 56 do 60) prezentują średnie ruchome (okres równy 3 sekundy) zarejestrowanych wartości poziomu dźwięku, wartości poboru mocy czynnej oraz rzeczywisty przebieg podawania spieniacza. Aby wyeliminować wątpliwości czy stabilizacja poboru mocy rozpoczęła się w wyniku roztopienia znacznej już ilości złomu czy jest to już wynik ewentualnego rozpoczęcia podawania spieniacza do pieca, do badań wybrano tylko te wytopy, w których wprowadzanie spieniacza było opóźnione lub nie było go wcale.

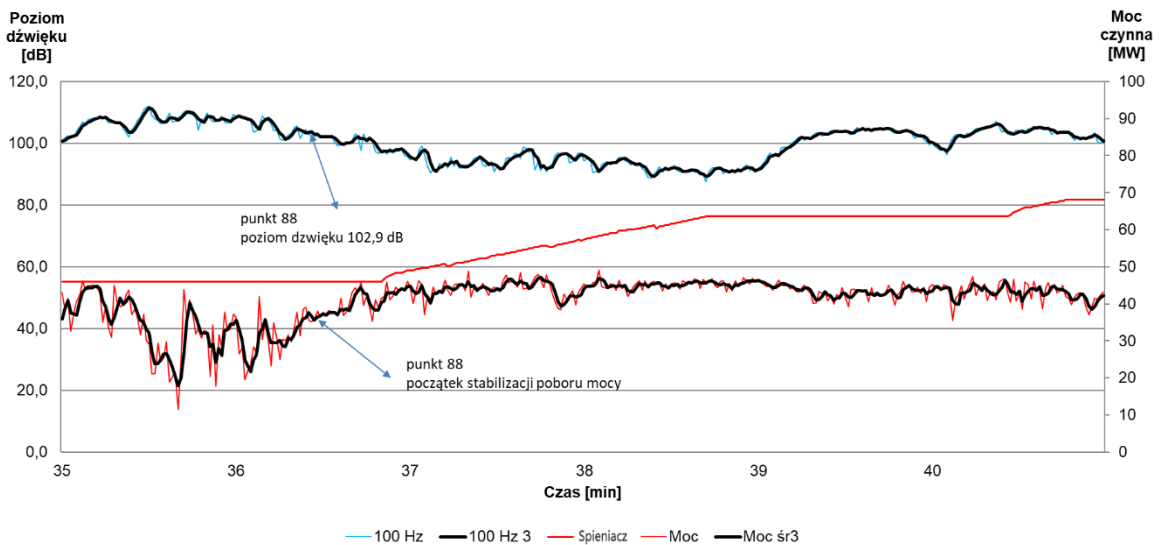
Przeprowadzono także analizę statystyczną której celem było potwierdzenie lub zaprzeczenie wyznaczonej wartości poziomu dźwięku, przy której powinno rozpocząć się podawanie spieniacza. Zastosowano estymację przedziałową dla średniej wartości poziomu dźwięku poprzedzoną weryfikacją normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka.

- analiza wykresów,

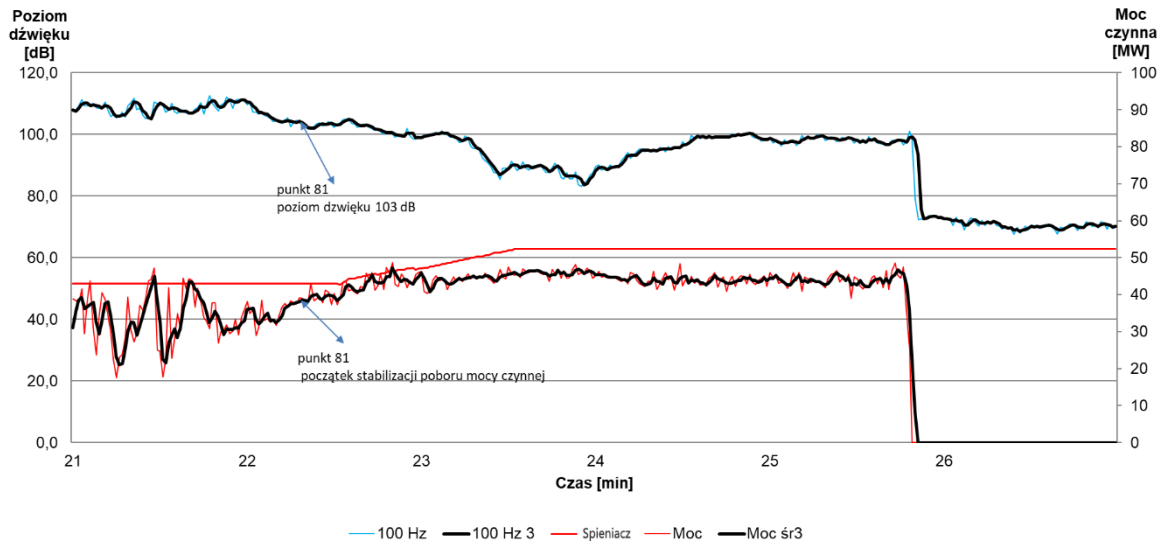
Na rysunkach od 56 do 60 wskazano miejsca, w których rozpoczynała się stabilizacja poboru mocy i odpowiadający mu poziom dźwięku. Wykresy przedstawiają 6 minutowe okresy topienia II kosza i III kosza.



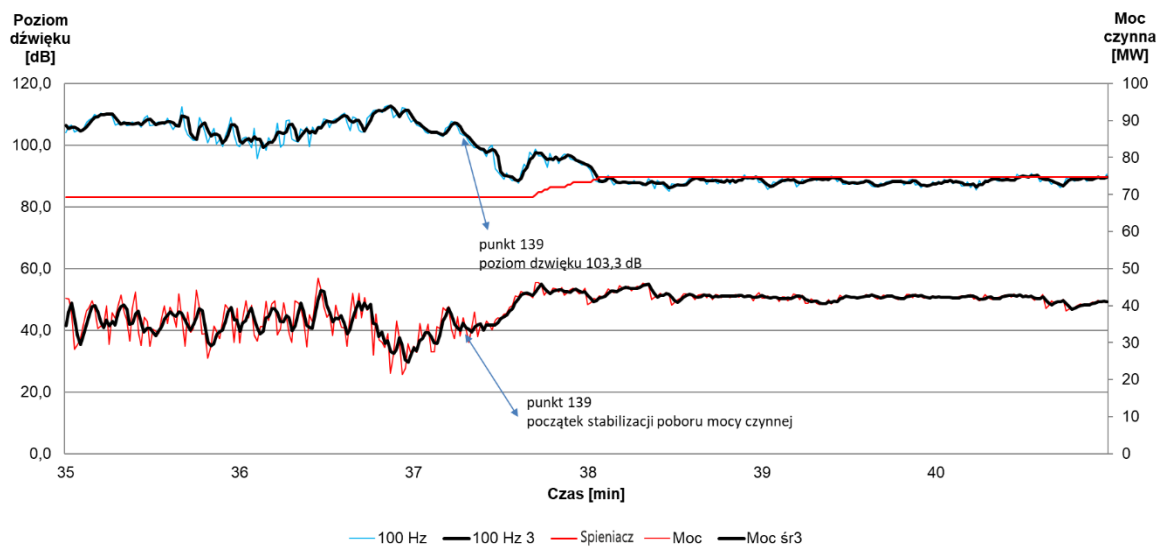
Rys. 56. Wskazanie momentu rozpoczęcia stabilizacji poboru mocy czynnej bez podania węgla do pieca i odpowiadającemu mu poziomowi dźwięku w czasie topienia III kosza



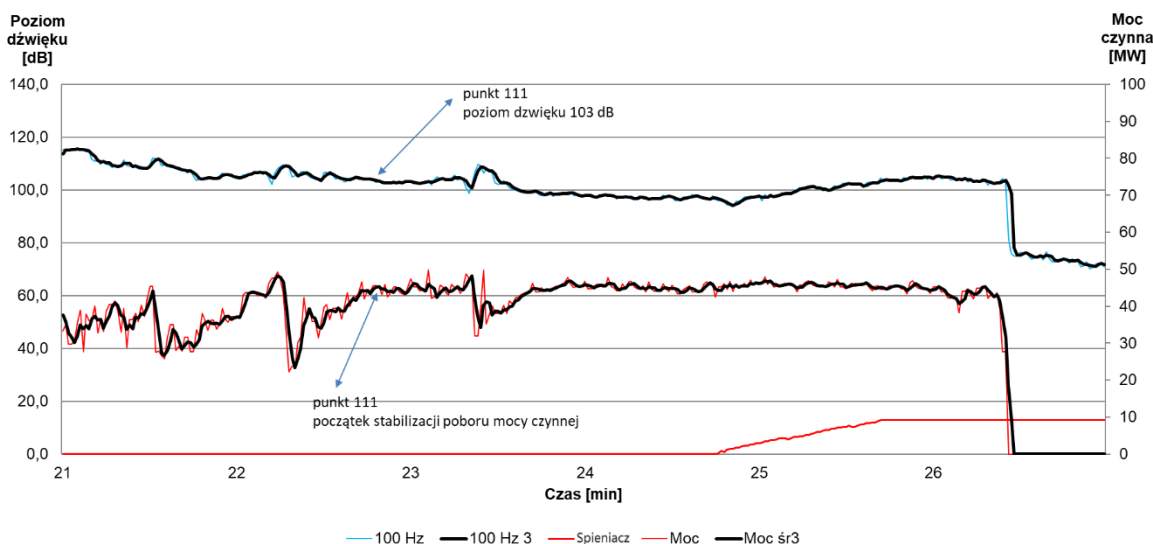
Rys. 57. Wskazanie momentu rozpoczęcia stabilizacji poboru mocy czynnej bez podania węgla do pieca i odpowiadającemu mu poziomowi dźwięku w czasie topienia III kosza



Rys. 58. Wskazanie momentu rozpoczęcia stabilizacji poboru mocy czynnej bez podania węgla do pieca i odpowiadającemu mu poziomowi dźwięku w czasie topienia II kosza



Rys. 59. Wskazanie momentu rozpoczęcia stabilizacji poboru mocy czynnej bez podania węgla do pieca i odpowiadającemu mu poziomowi dźwięku w czasie topienia III kosza



Rys. 60. Wskazanie momentu rozpoczęcia stabilizacji poboru mocy czynnej bez podania węgla do pieca i odpowiadajemu mu poziomowi dźwięku w czasie topienia II kosza

- analiza statystyczna

Na zgromadzonych podczas 50 prób danych, pochodzących z 25 wytopów (z udziałem drugiego i trzeciego kosza), dokonano obliczeń mających na celu wyznaczenia wartości granicznych 95% przedziału ufności dla wartości średniej. Wstępnie dokonano weryfikacji normalności rozkładu, bowiem tylko pozytywny wynik takiej weryfikacji upoważnia do przeprowadzenia estymacji przedziałowej. Wyniki testu Shapiro-Wilka ( $p=0,598$  – kosz II i  $p=0,289$  – kosz III) umożliwiły przeprowadzenie dalszych obliczeń. Wyniki tych obliczeń zestawiono w tabeli 17.

Tab. 17. Wartości średnie, odchylenia standardowe (SD) oraz granice 95% przedziału ufności dla średniej wartości natężenia dźwięku dla kosza II i III

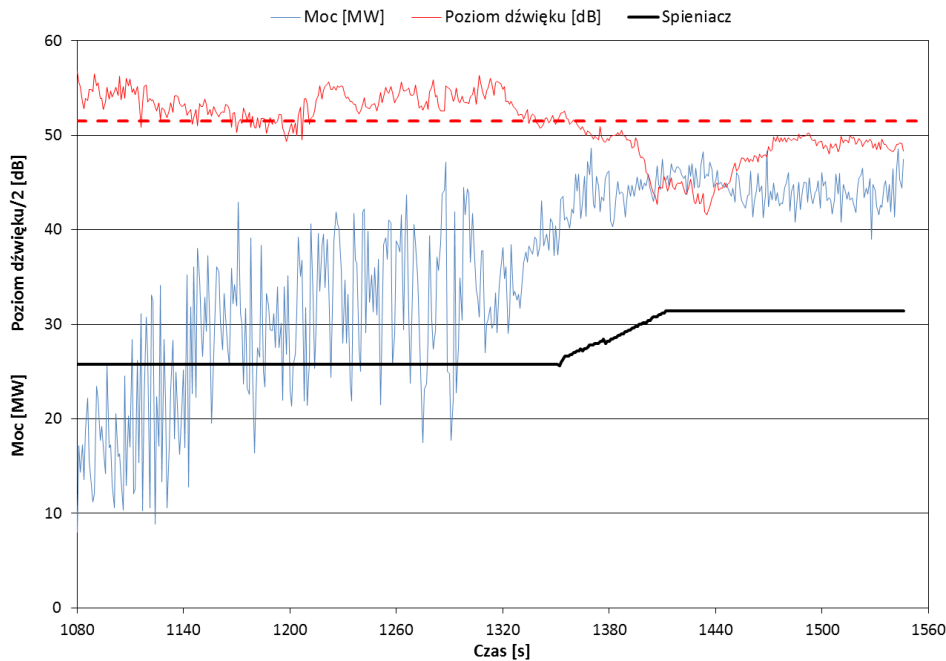
Kosz	Średnia	SD	Granica dolna	Granica górna
2	102,38	1,09	101,92	102,83
3	102,17	1,79	101,43	102,91

Interpretując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że z prawdopodobieństwem 0,95 (95%) średni poziom dźwięku w momencie stabilizacji poboru mocy czynnej jest objęty przedziałem liczbowym o granicach 101,92 dB i 102,83 dB dla kosza II oraz 101,43 dB i 102,91 dB dla kosza III. Z praktycznego punktu widzenia zasadnicze znaczenie należy przypisać górnej granicy wyznaczonych przedziałów. Dla obydwu koszy jest to praktycznie 103 dB, co oznacza, że moment zarejestrowania poziomu dźwięku o takiej wartości powinien być brany pod uwagę, jako moment rozpoczęcia podawania spieniacza do pieca.

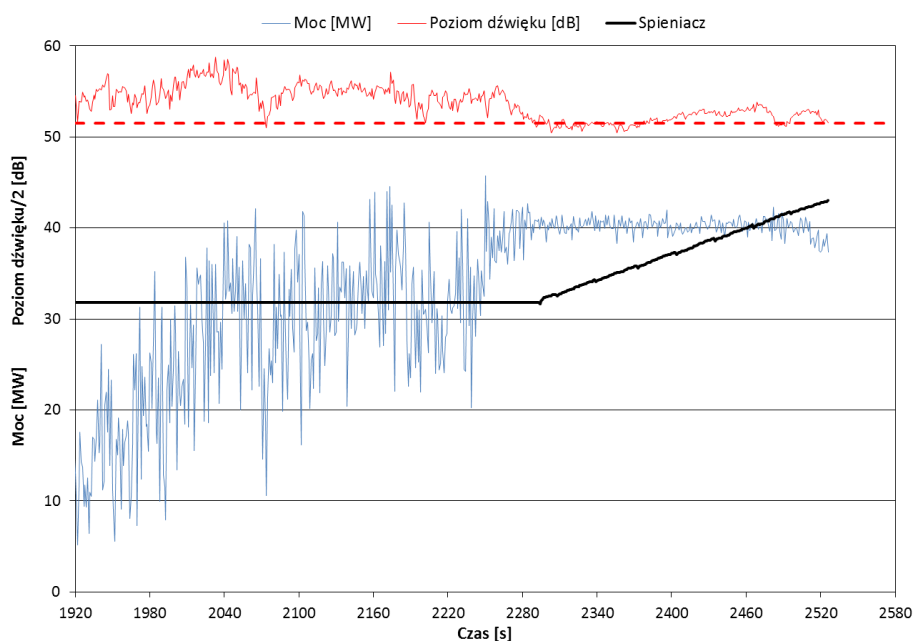
W świetle uzyskanych wyników z przedstawionych powyżej analiz i badań należy stwierdzić, że poziom natężenia dźwięku, przy którym należy rozpocząć podawanie spieniacza do przestrzeni roboczej wynosi **103 dB**.

## 8.3. III etap badań – wyznaczenie momentu stabilizowania się poboru mocy czynnej

We wcześniejszych badaniach wskazano, że właściwym momentem podania spieniacza jest chwila, w której poziom dźwięku obniży się do wartości 103 dB. Na rysunkach 60 (topienie kosza II) i 61 (topienie kosza III) przedstawiono profile poziomu dźwięku i mocy czynnej dla wybranego wytopu. Na rysunkach tych, ze względów praktycznych, poziom dźwięku został podzielony przez 2, co dało możliwość ujednolicenia położenia znaczników na osi rzędnych prezentowanych wykresów. W tej sytuacji referencyjny poziom hałasu przyjmuje oczywiście wartość 51,5 dB. Na prezentowanych wykresach naniesiono schematycznie proces podawania do przestrzeni roboczej pieca węgla (spieniacza).

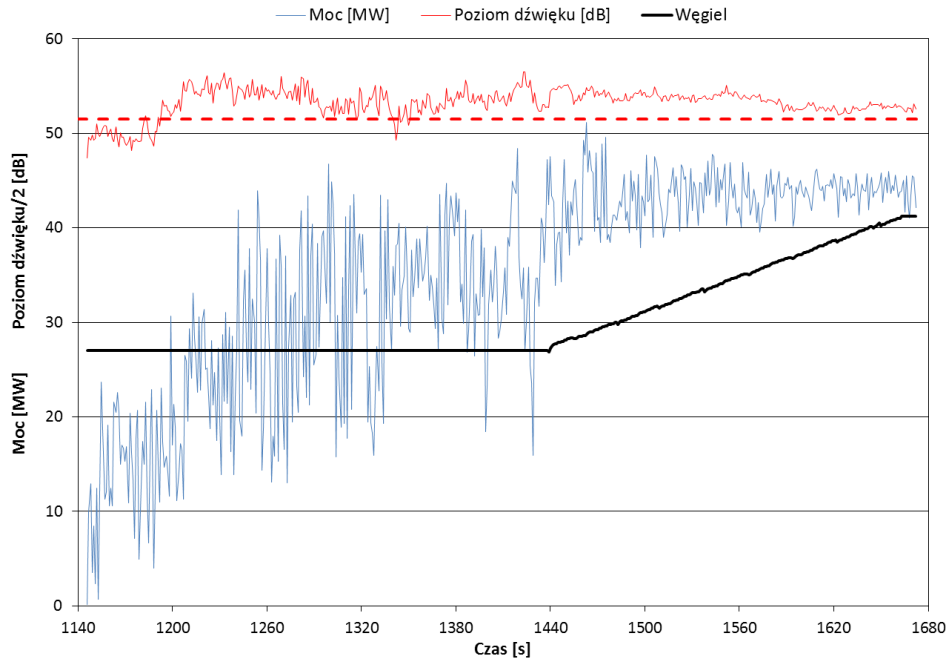


Rys. 60. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2



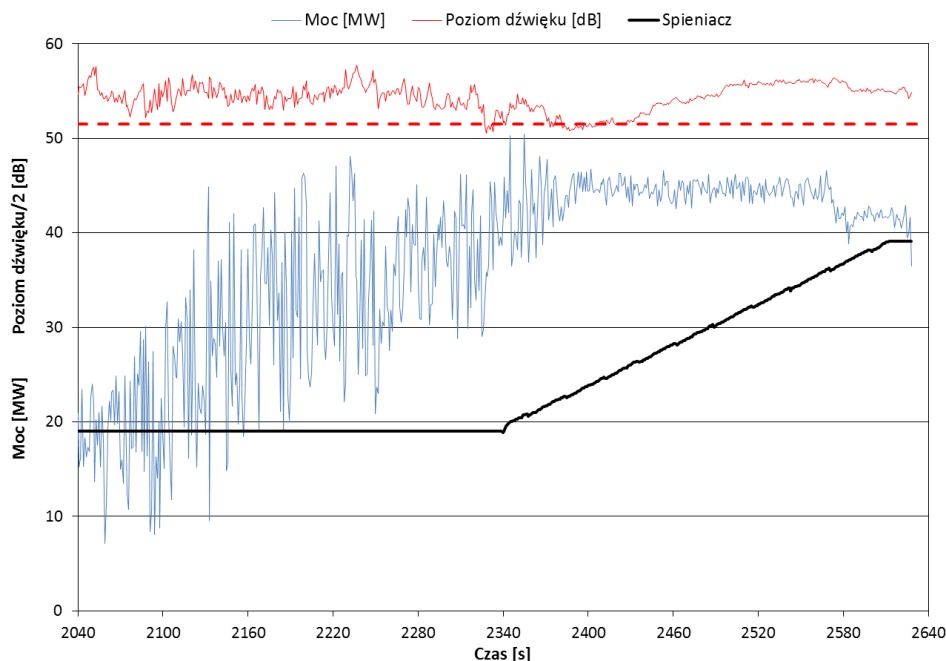
Rys. 61. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3

Na przedstawionych rysunkach daje się zauważyć wyraźna zbieżność momentu, którym poziom hałasu osiągnął wartość referencyjną (moment podania spieniacza) z momentem stabilizowania się mocy czynnej. Niestety, nie w każdym przypadku taka zbieżność wystąpiła. Na rysunkach 62 i 63 przestawiono przykładowe wykresy, które nie wykazują wspomnianej zbieżności. W przypadku kosza 2 (rys. 62) poziom dźwięku praktycznie nie obniżył się do wartości 103 dB (spieniacz jednak podano mniej więcej w momencie stabilizowania się mocy czynnej).



Rys. 62. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2

Podczas topienia kosza 3 (rys. 63) poziom dźwięku osiągnął wartość referencyjną, ale tylko na kilkanaście sekund. W tym okresie podano spieniacz chociaż, jak prezentuje to omawiany rysunek, poziom dźwięku podniósł się chwilę później o kilka dB. Od tego momentu poziom dźwięku najpierw obniżył się ponownie do ok. 103 dB, a następnie do końca procesu podnosił się wyraźnie, gdy tymczasem wahania poboru mocy ustabilizowały się jednoznacznie. Tego typu obserwacje poczyniono analizując wykresy dla innych wytopów. Obserwacje te stały się przesłanką do uwzględnienia w doborze optymalnego momentu podania spieniacza także wahań poboru mocy, a w zasadzie jego stabilizację.



Rys. 63. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3

Wizualna ocena wykresów poboru mocy czynnej (rys. 60 do 63) pozwala zauważyć, że do momentu wyraźnej stabilizacji pobór mocy rośnie i jednocześnie wykazuje znaczne wahania. Przeciętny przebieg wzrostu poboru mocy można ocenić za pomocą średniej ruchomej, natomiast wielkość wahań (rozproszenia) za pomocą odchylenia standardowego, oczywiście również traktując je jako wielkość ruchomą. Przy takim podejściu, dla możliwości porównywania wyników uzyskanych dla różnych wytopów, wskazane jest zastosowanie względnej miary rozrzutu – współczynnika zmienności:

$$WZ = 100 \cdot \bar{x} / \hat{s} [\%] \quad (11)$$

gdzie:  $\bar{x}$  średnia arytmetyczna obliczona na podstawie  $n$ -elementowej próby:

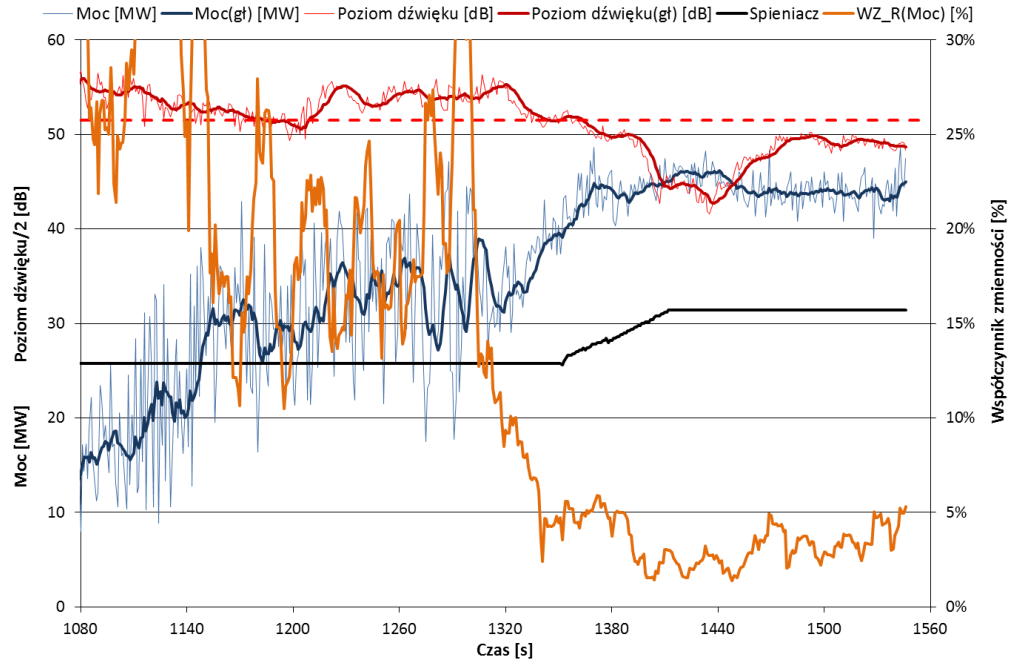
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (12)$$

$\hat{s}$  estymator odchylenia standardowego obliczony na podstawie  $n$ -elementowej próby

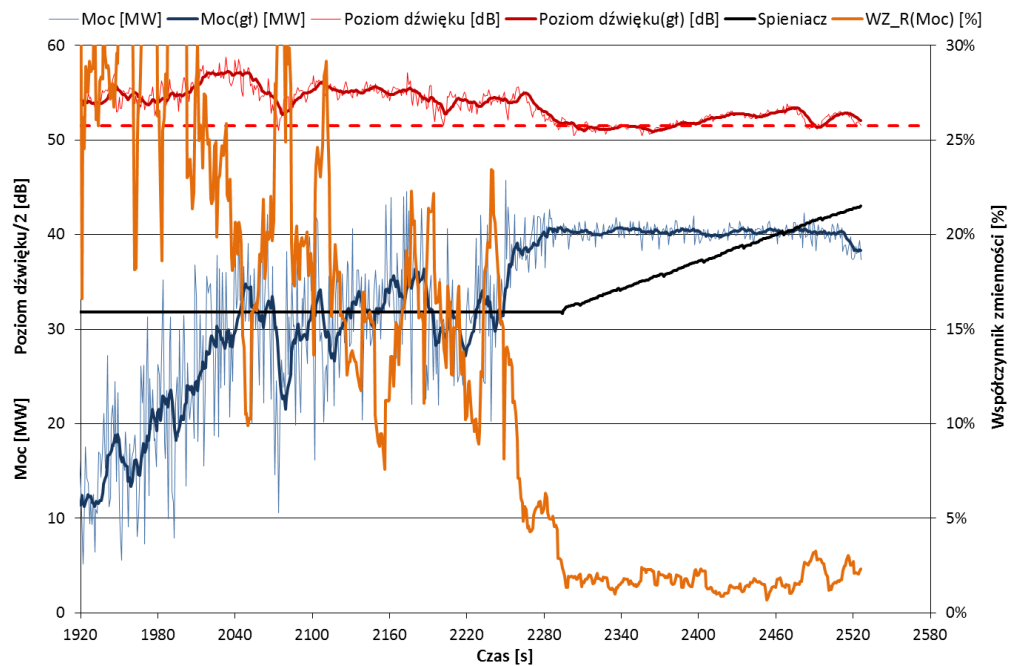
$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (13)$$

W dalszej analizie wykorzystano zatem (konsekwentnie) „ruchomy współczynnik zmienności”. „Ruchomość” współczynnika zmienności poboru mocy wynika z faktu przesuwania – w kolejnych krokach obliczeniowych – elementów próby (wartości mocy czynnej) o jedną sekundę. Biorąc pod uwagę możliwość opracowania oprogramowania do sterowania procesem podawania spieniacza on-line wartości współczynnika zmienności obliczano „wstecznie”. Oznacza to, że przypisywano je momentowi trwania wytopu odpowiadającemu ostatniej sekundzie bieżącego,  $n$ -sekundowego przedziału czasu.

Na kolejnych czterech rysunkach (64 do 67) przedstawiono wykresy znane z rysunków 60 do 63, po uzupełnieniu wykresami średniej ruchomej dla poboru mocy i poziomu dźwięku oraz, co ma zasadnicze znaczenie, wykresem wartości „ruchomego współczynnika zmienności” dla poboru mocy. Należy podkreślić, że wykresy ruchomych średnich i ruchomego współczynnika zmienności wykonano na podstawie obliczeń przeprowadzonych dla przedziałów czasowych o szerokości 10 sekund.

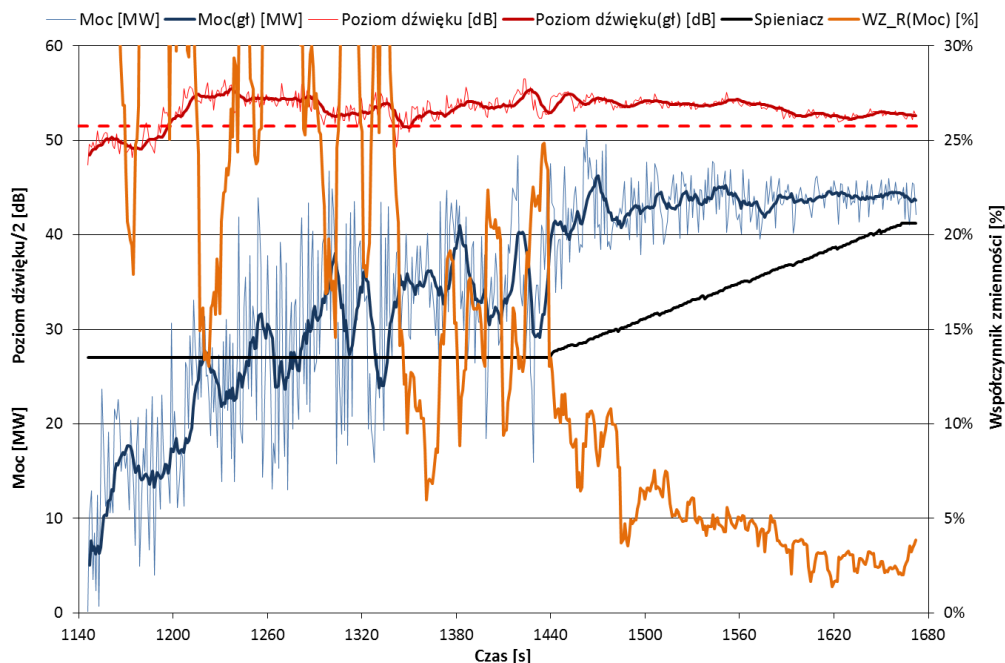


Rys. 64. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności

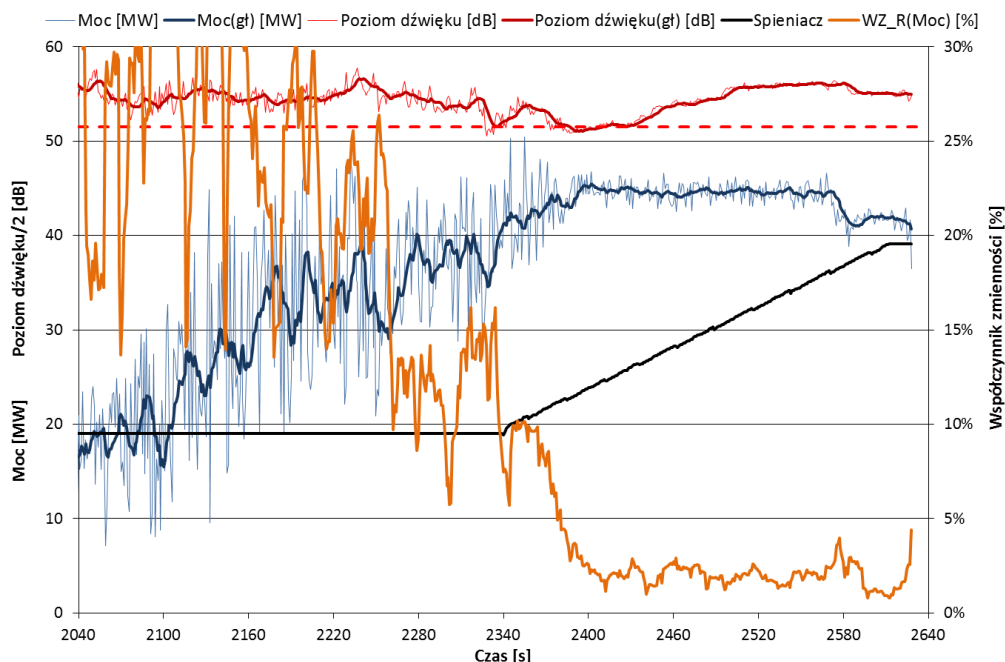


Rys. 65. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności





Rys. 66. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności



Rys. 67. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności

Analizując wykresy przedstawione na rysunkach 64 do 67 można bez wątpliwości stwierdzić, że w początkowym etapie topienia wartości ruchomego współczynnika zmienności są znaczne i podlegają wyraźnym wahaniom (część z nich nie mieści się na wykresie osiągając wartości przekraczające 30%). W miarę zbliżania się do momentu stabilizacji poboru mocy widoczne jest ewidentne obniżanie się wartości tego współczynnika, a w dalszym ciągu wyraźna stabilizacja, której początek jest dobrze „zgrany” z początkiem stabilizacji poboru

mocy. W tej sytuacji wydaje się, że zaproponowany ruchomy współczynnik zmienności jest właściwym narzędziem do osiągnięcia zamierzonego celu rozprawy – optymalnego doboru momentu podania spieniacza do przestrzeni roboczej pieca.

Jak wspomniano wcześniej, wartości ruchomego współczynnika zmienności obliczano na podstawie danych zarejestrowanych wstecznie. Takie podejście jest podyktowane chęcią uzyskania możliwości opracowania algorytmu, na podstawie którego działać miałyby on-line aparatura sterująca podawaniem spieniacza do pieca. Kluczowym zatem problemem jest uzyskanie odpowiedzi na pytania: jak szeroki powinien być przedział czasowy do obliczania wartości współczynnika zmienności poboru mocy i jaka wartość tego współczynnika będzie najkorzystniejsza? Ponadto rodzi się kolejne pytanie: czy wystarczy osiągnięcie tej najkorzystniejszej wartości nawet na 1 sekundę, czy też należy brać pod uwagę pewien przedział czasu, w którym wartość ta będzie spełniała określone warunki, np. nie ulegnie wyraźnemu zwiększeniu, co jest charakterystyczne dla nieustabilizowanego poboru mocy czynnej?

Aby uzyskać odpowiedzi na postawione tu pytania przeprowadzono szeroko zakrojoną analizę statystyczną biorąc pod uwagę następujące zmienne decyzyjne:

- wartości ruchomego współczynnika zmienności: 3%, 4%, 5%, 6%, 8% i 10%,
- szerokość przedziału czasowego do obliczania ruchomego współczynnika zmienności: 5 s, 8 s, 10 s, 12 s i 15 s,
- szerokość przedziału czasowego, w którym współczynnik zmienności nie osiągnie wartości większej od założonej: 5 s, 10 s i 15 s.

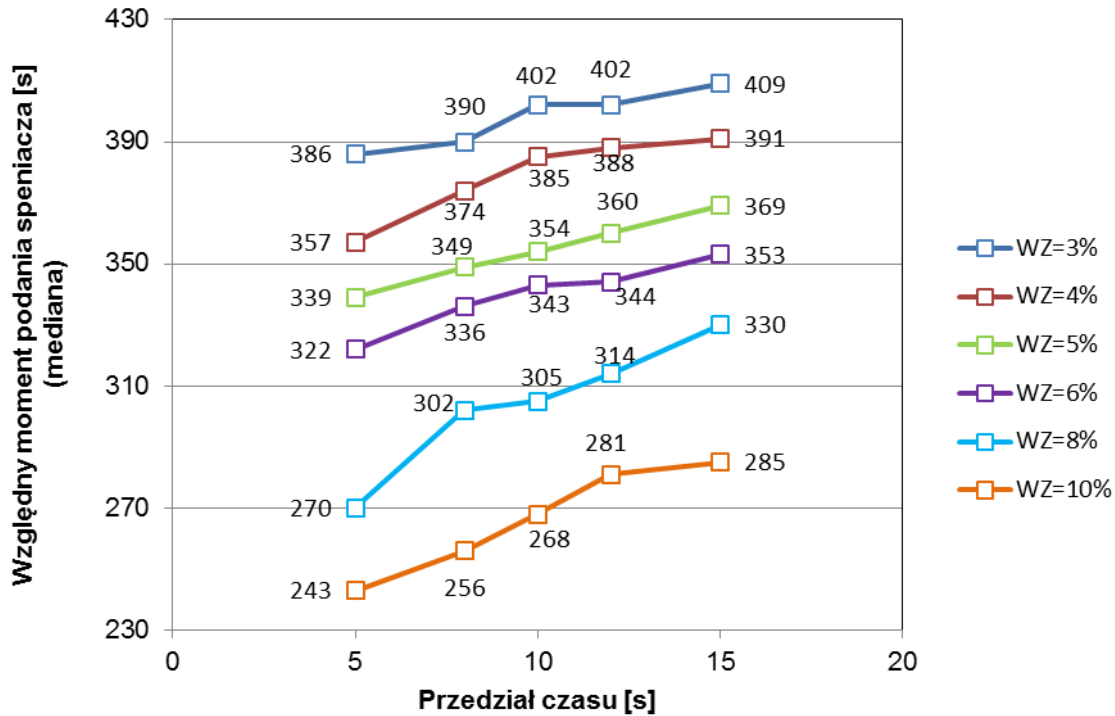
Przy takich założeniach przeprowadzono niezbędne obliczenia za pomocą opracowanej dla potrzeb osiągnięcia zamierzonego celu aplikacji, których efektem była wartość wskazująca moment podania spieniacza. Ponieważ w różnych wytopach topienie kosza 2 i 3 następowało w różnych momentach, wynikiem obliczeń był czas względny, ustalony w odniesieniu do początku topienia, tak kosza 2, jak i kosza 3.

Celem pierwszego etapu analizy statystycznej było ustalenie szerokości przedziału czasowego do obliczania ruchomego współczynnika zmienności mocy czynnej oraz szerokości przedziału czasowego jego stabilnej, założonej z góry wartości.

W ramach tej analizy zastosowano nieparametryczny test Friedmana, którego zastosowanie podyktowane było wstępną analizą normalności rozkładów, czasu po upływie którego powinno nastąpić podanie spieniacza. W zdecydowanej większości przypadków weryfikacja normalności tych rozkładów, przeprowadzona za pomocą testu Shapiro-Wilka [60] wypadła negatywnie. Test Friedmana służy do zweryfikowania hipotezy o braku różnic między seriami pomiarowymi tej samej cechy wyznaczonymi w kilku (więcej niż dwóch) warunkach. W przypadku stwierdzenia istotnych statystycznie różnic przeprowadza się tzw. test post-hoc, za pomocą którego uzyskuje szczegółowe informacje o tym, które serie różnią się istotnie, a które nie. W omawianej analizie zastosowano test post-hoc w wariancie zaproponowanym przez Dunna, przy czym uwzględniono tzw. poprawkę Bonferroniego [61].

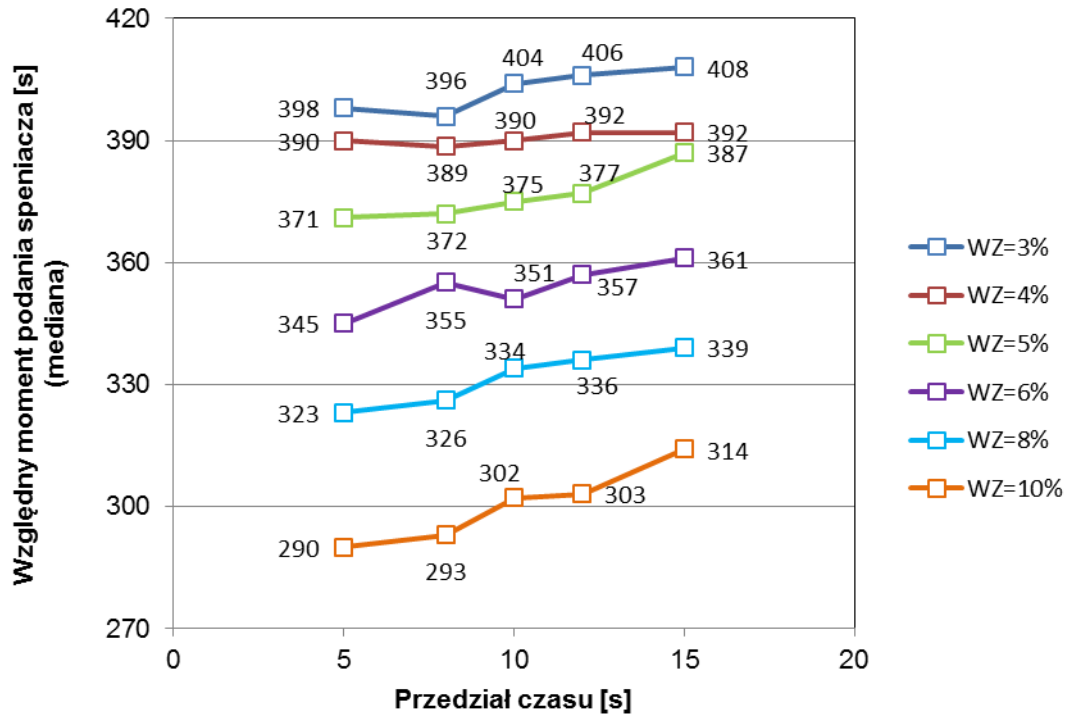
Na rysunkach 68 do 70 (kosz 2) i 71 do 73 (kosz 3) zaprezentowano wyniki zastosowania testu Friedmana i testu post-hoc dla względnego czasu podania spieniacza wyznaczonego w założonych przedziałach czasowych z uwzględnieniem szerokości czasu stabilizacji i ustalonej wartości ruchomego współczynnika zmienności mocy czynnej. Ze względu na istotne odstępstwa rozkładów od rozkładu normalnego na wymienionych rysunkach wykorzystano wartości mediany.

Wyniki testu Friedmana, dotyczące topienia kosza 2, przedstawione na rysunkach 68 do 70, są praktycznie jednoznaczne. W zdecydowanej większości przypadków, serie wyznaczonych momentów podania spieniacza różnią się istotnie ze względu na szerokość przedziału czasu do obliczania ruchomego współczynnika zmienności mocy czynnej dla każdej z przyjętych, progowych wartości tego współczynnika.



Kosz 2	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Test post-hoc Porównanie	Wyniki testu Friedmana				
	Fr=150,7 p<0,001	Fr=171,4 p<0,001	Fr=179,0 p<0,001	Fr=153,2 p<0,001	Fr=164,9 p<0,001	Fr=171,5 p<0,001
5 s – 8 s	0,009	0,286	0,007	0,001	0,007	0,038
5 s – 10 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,006	0,038	0,146	0,284	0,012	0,002
8 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	0,041	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,224	0,007	0,002	<0,001	0,264	0,147
10 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001
12 s – 15 s	0,047	0,001	0,014	0,001	0,002	0,005

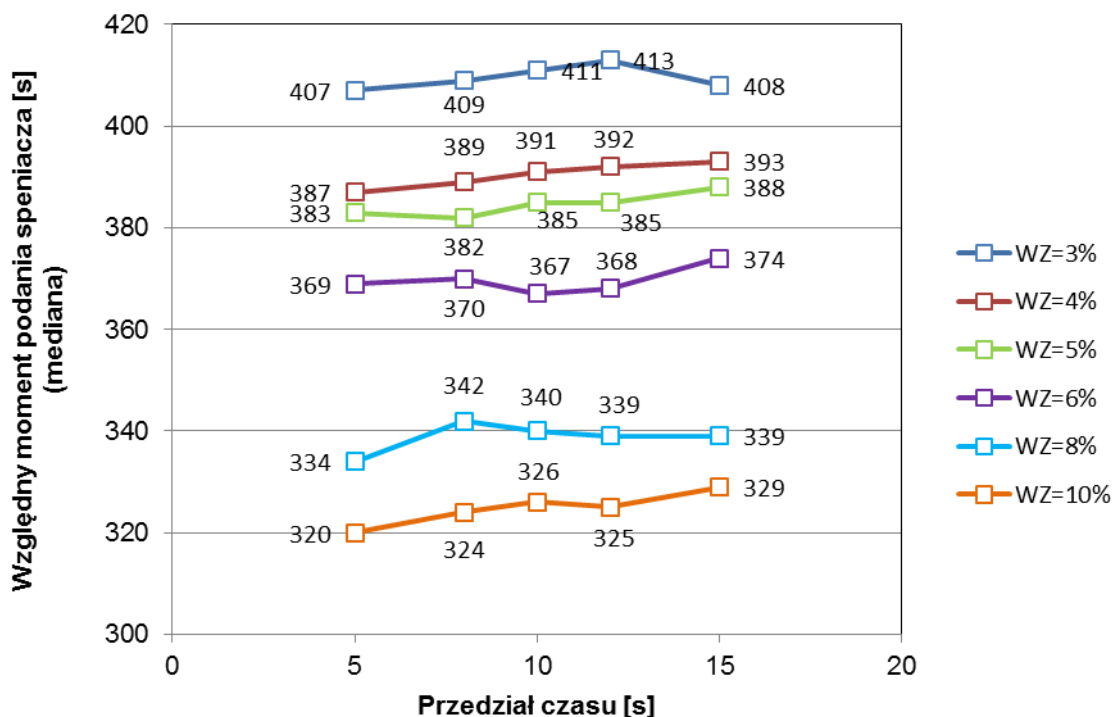
Rys. 68. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroniego w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczenia współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 5 s)



Kosz 2	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Wyniki testu Friedmana					
Test post-hoc Porównanie	Fr=92,3 p<0,001	Fr=129,9 p<0,001	Fr=107,2 p<0,001	Fr=114,2 p<0,001	Fr=92,3 p<0,001	Fr=119,7 p<0,001
5 s – 8 s	0,252	1,000	1,000	0,014	0,663	0,837
5 s – 10 s	<0,001	0,006	0,007	<0,001	0,003	<0,001
5 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,038	0,024	0,115	1,000	0,246	0,009
8 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
8 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,169	0,001	0,024	0,031	0,083	0,459
10 s – 15 s	0,002	<0,001	0,032	<0,001	<0,001	<0,001
12 s – 15 s	0,757	0,386	1,000	0,012	0,064	0,004

Rys. 69. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroniego w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczenia współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 10 s)

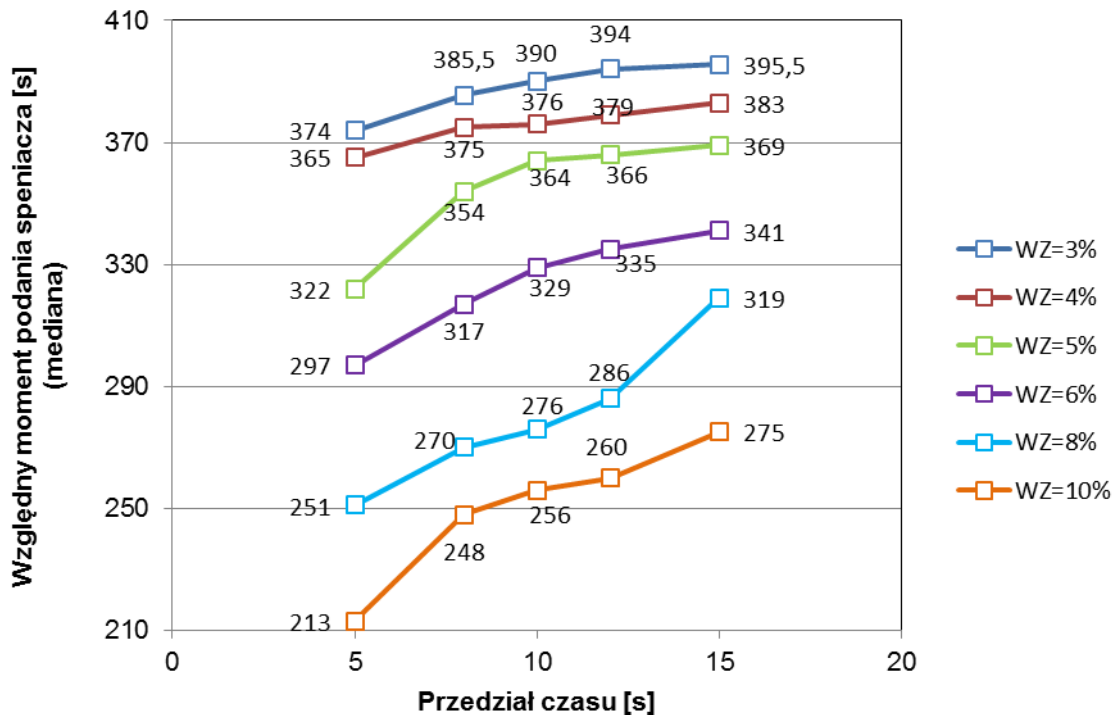
Szczegółowa analiza istotności różnic za pomocą testu post-hoc wskazuje, że nie wszystkie serie różnią się istotnie. O ile w przypadku czasu stabilizacji 5 s (rys. 68) brak różnic istotnych statystycznie jest incydentalny (pomarańczowe tło komórek tabeli pod ryciną), to już w dwóch pozostałych przypadkach (czas stabilizacji 10 s – rys. 69 i 15 s – rys. 70) różnic nie wykazujących cech istotności statystycznej jest sporo. Warto przy tym zwrócić uwagę, że stosunkowo najczęściej brak różnic dotyczy serii momentów podania spieniacza dla 8 s i 10 s oraz 10 s i 12 s.



Kosz 2	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Wyniki testu Friedmana					
Test post-hoc Porównanie	Fr=42,5 p<0,001	Fr=94,6 p<0,001	Fr=79,0 p<0,001	Fr=67,0 p<0,001	Fr=55,7 p<0,001	Fr=75,3 p<0,001
5 s – 8 s	1,000	1,000	1,000	0,455	0,327	1,000
5 s – 10 s	0,551	0,551	0,001	0,124	0,004	0,010
5 s – 12 s	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,060	0,210	0,058	1,000	0,622	0,029
8 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	0,026	0,006	<0,001
8 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,338	0,035	0,534	0,124	0,455	0,125
10 s – 15 s	0,017	<0,001	0,001	<0,001	0,006	0,001
12 s – 15 s	1,000	0,003	0,163	0,018	0,622	0,622

Rys. 70. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroniego w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczenia współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 15 s)

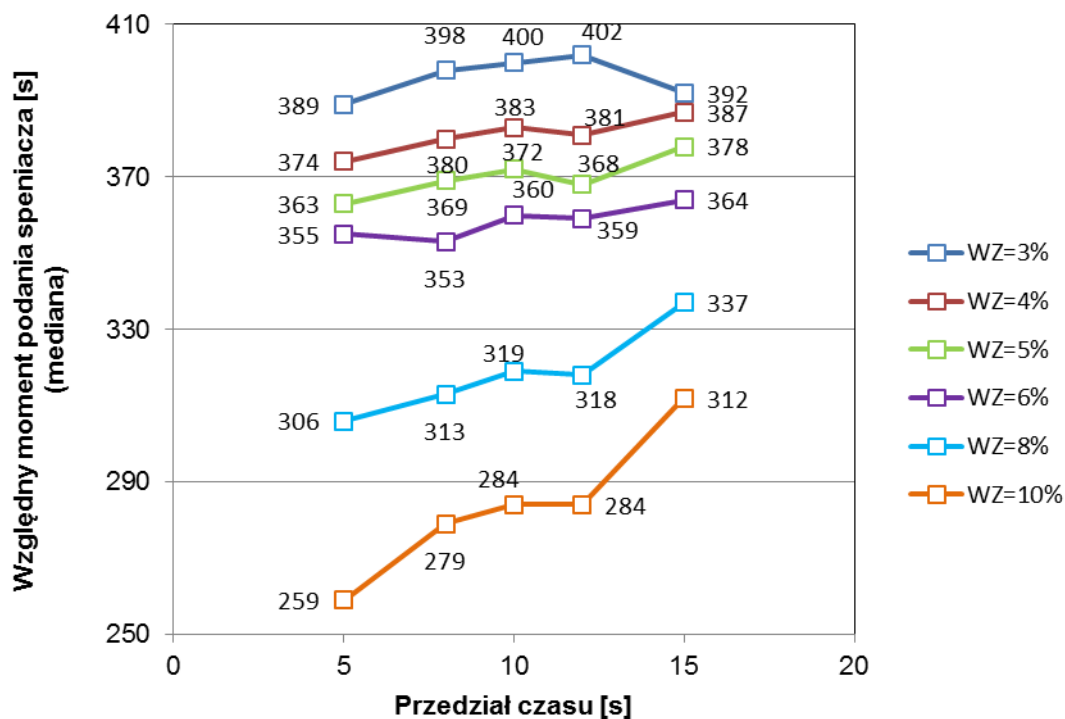
Na rysunkach 71 do 73 przedstawiono wyniki identycznej analizy statystycznej odnoszącej się do topienia kosza 3. Ogólna ich interpretacja jest niemal analogiczna jak w przypadku topienia złomu podawanego z kosza 2. Tu również stosunkowo często, z wyjątkiem czasu stabilizacji równego 5 s, serie momentów podania spieniacza dla 8 s i 10 s oraz 10 s i 12 s charakteryzują się brakiem istotności różnic.



Kosz 3	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Wyniki testu Friedmana					
Test post-hoc Porównanie	Fr=150,1 p<0,001	Fr=165,0 p<0,001	Fr=158,4 p<0,001	Fr=170,8 p<0,001	Fr=150,9 p<0,001	Fr=141,8 p<0,001
5 s – 8 s	0,024	0,213	0,135	0,146	0,146	0,070
5 s – 10 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,005	0,032	0,012	0,006	0,002	0,006
8 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,175	0,002	0,106	0,018	0,099	0,306
10 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
12 s – 15 s	0,055	0,038	0,001	0,013	0,083	0,018

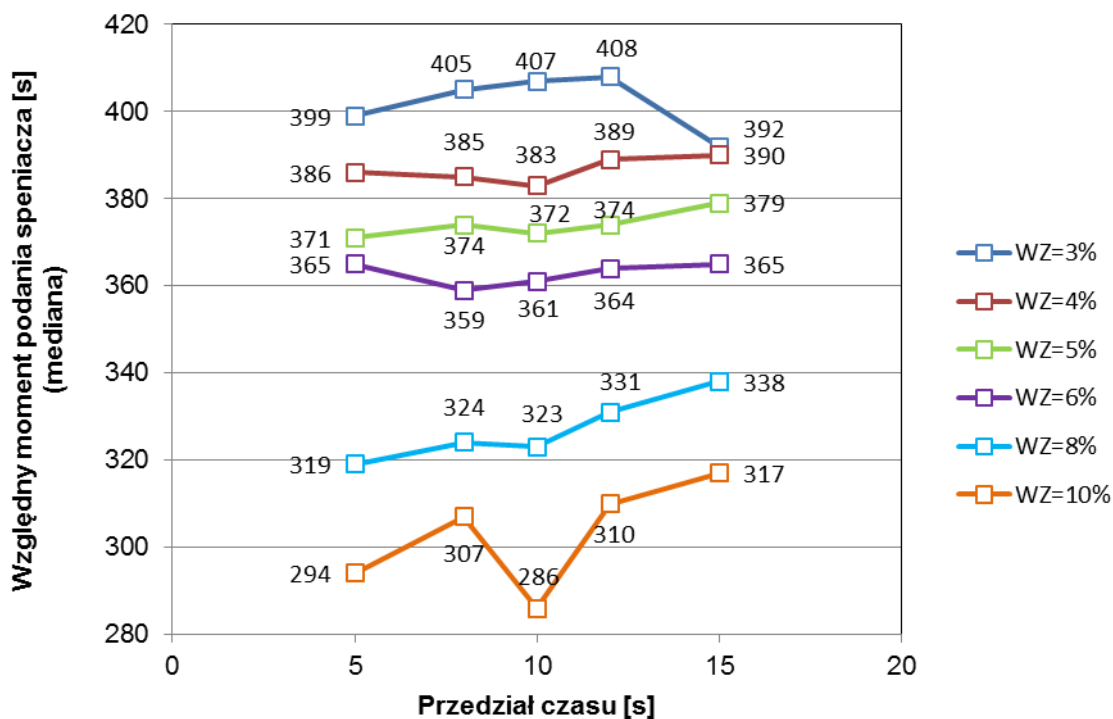
Rys. 71. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroniowego w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczania współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 5 s)

Podsumowując ten etap analizy statystycznej przyjęto, że najbardziej niejednoznaczne wyniki uzyskano przyjmując 5-sekundowy czas stabilizacji i to niezależnie od tego, czy analiza dotyczyła kosza 2, czy też kosza 3. Na tej podstawie wykluczono tę wartość w dalszych rozważaniach. Powstaje zatem pytanie, czy korzystniejszy jest 10-cio, czy 15-stosekundowy czas stabilizacji wartości ruchomego współczynnika zmienności. Należy w tym miejscu podkreślić, że moment podania spieniacza ustalany był zawsze na zakończenie okresu stabilizacji. Wydaje się, że biorąc to pod uwagę zrezygnować należy z dłuższego z rozpatrywanych okresów, bowiem powoduje on późniejsze uruchomienie dozownika sproszkowanego węgla, a to może być niekorzystne dla wymurówki pieca.



Kosz 3	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Wyniki testu Friedmana					
Test post-hoc Porównanie	Fr=62,6 p<0,001	Fr=67,6 p<0,001	Fr=88,3 p<0,001	Fr=84,1 p<0,001	Fr=87,9 p<0,001	Fr=100,8 p<0,001
5 s – 8 s	0,456	1,000	0,083	1,000	1,000	0,264
5 s – 10 s	<0,001	0,090	<0,001	0,004	0,001	0,001
5 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,087	0,041	0,459	0,076	0,038	0,351
8 s – 12 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
8 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,153	0,034	0,059	0,045	0,246	0,304
10 s – 15 s	0,179	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
12 s – 15 s	1,000	1,000	0,487	0,659	0,090	0,002

Rys. 13. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroni w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczania współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 10 s)



Kosz 3	WZ=3%	WZ=4%	WZ=5%	WZ=6%	WZ=8%	WZ=10%
	Wyniki testu Friedmana					
Test post-hoc Porównanie	Fr=28,6 p<0,001	Fr=52,6 p<0,001	Fr=57,3 p<0,001	Fr=71,8 p<0,001	Fr=63,3 p<0,001	Fr=58,0 p<0,001
5 s – 8 s	1,000	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000
5 s – 10 s	0,281	1,000	0,070	0,266	0,135	0,375
5 s – 12 s	0,001	0,026	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
5 s – 15 s	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8 s – 10 s	0,941	0,184	1,000	0,246	0,170	1,000
8 s – 12 s	0,006	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,024
8 s – 15 s	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10 s – 12 s	0,261	0,031	0,054	0,002	0,183	0,375
10 s – 15 s	0,131	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
12 s – 15 s	1,000	0,553	0,832	1,000	0,158	0,010

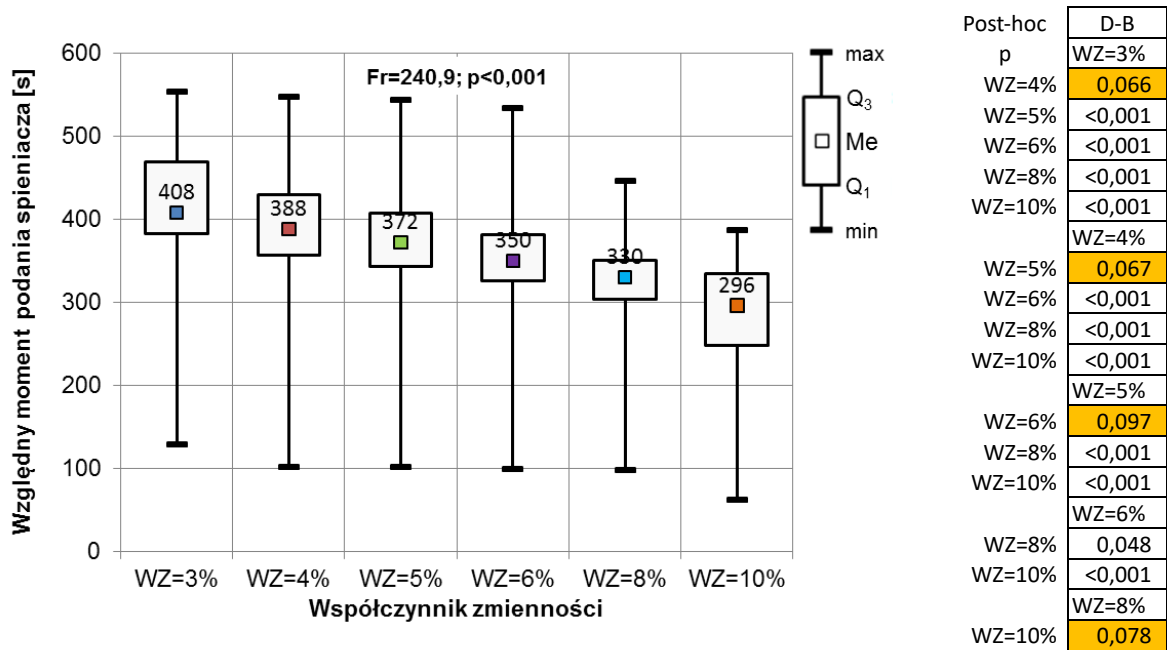
Rys. 14. Wyniki testu Friedmana i testów post-hoc Dunn-Bonferroniego w ocenie istotności różnic względnych momentów podania spieniacza w zależności od szerokości przedziału czasu do wyznaczania współczynnika zmienności mocy czynnej (WZ) i wybranych wartości tego współczynnika (czas stabilizacji współczynnika zmienności minimum 15 s)

Wspomniane wcześniej, stosunkowo częste przypadki braku różnic między seriami momentów podania spieniacza wyznaczonych przy 8 s i 10 s oraz 10 s i 12 s, mogą być podstawą do przyjęcia, że skoro seria dla 10 s nie różni się z jednej strony od serii dla 8 s, z drugiej zaś od serii dla 12 s, to właśnie ten środkowy przedział czasu należy traktować jako docelowy.

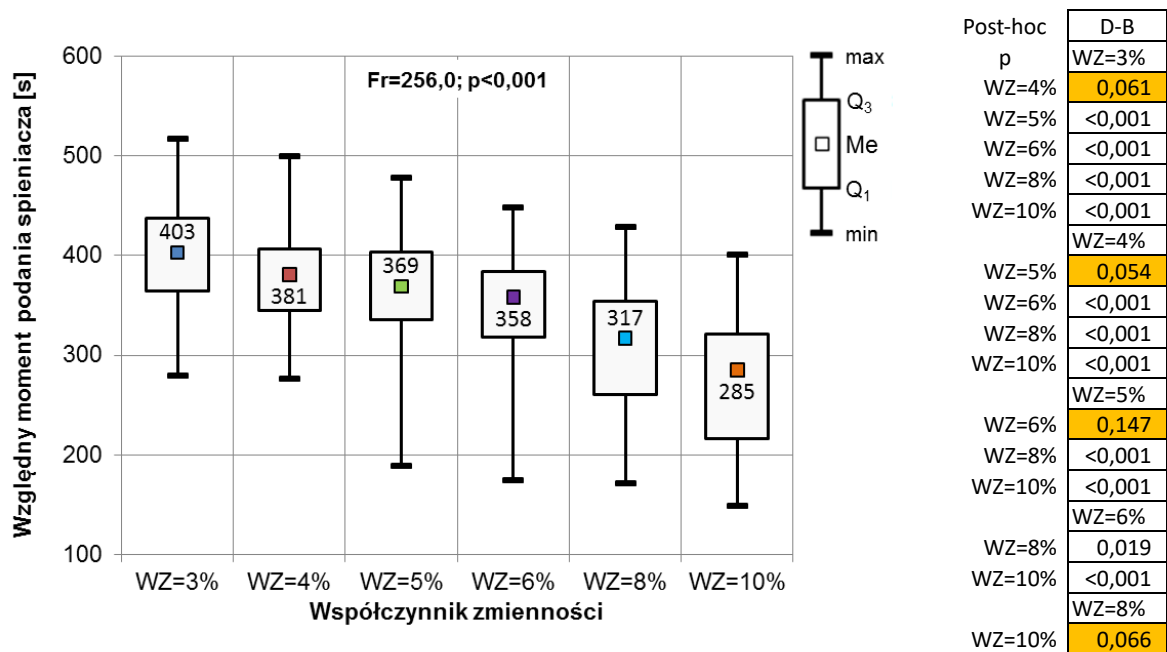
Po takim wyborze wartości dwóch zmiennych decyzyjnych (przedział do obliczania współczynnika zmienności równy 10 s i przedział czasu stabilizacji równy 10 s) przystąpiono do drugiego etapu analizy statystycznej. Zastosowano w nim ponownie test Friedmana i test post-hoc Dunn-Bonferroniego, ale tym razem analiza dotyczyła wpływu poziomu progowego współczynnika zmienności na moment podania spieniacza. Wyniki tej analizy prezentują



rysunki 74 (kosz 2) i 75 (kosz 3). Na rycinach tych wykorzystano wartości mediany (Me) oraz kwartyli 1 (Q<sub>1</sub>) i 3 (Q<sub>3</sub>).



Rys. 74. Wyniki testu Friedmana oraz testu post-hoc Dunn-Bonferroni w ocenie istotności różnic względnego momentu podania spieniacza w odniesieniu do progowych wartości współczynnika zmienności mocy czynnej (kosz 2)



Rys. 75. Wyniki testu Friedmana oraz testu post-hoc Dunn-Bonferroni w ocenie istotności różnic względnego momentu podania spieniacza w odniesieniu do progowych wartości współczynnika zmienności mocy czynnej (kosz 3)

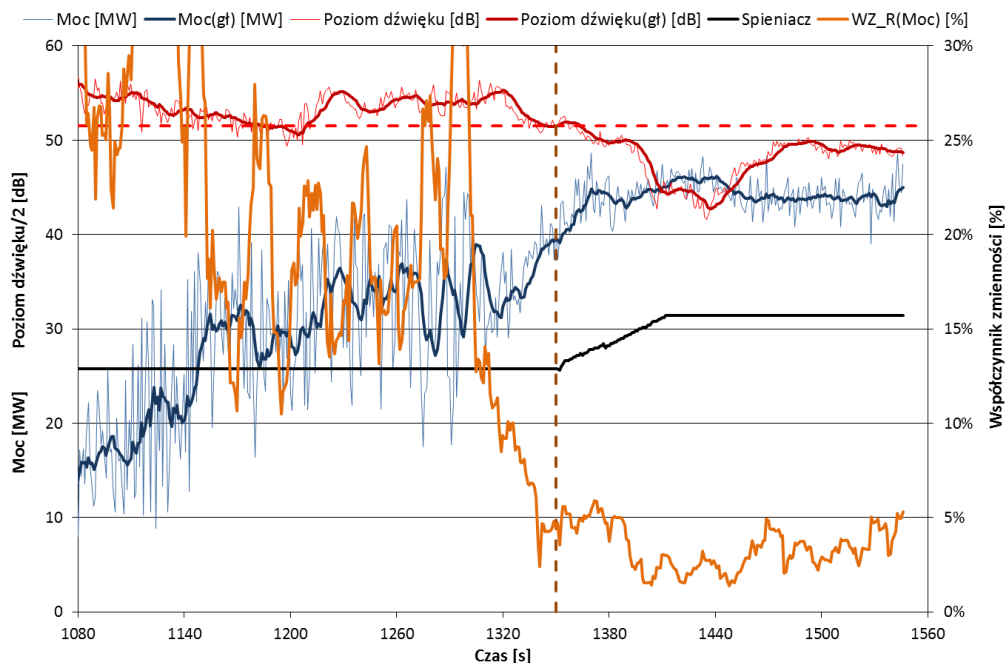
Komentując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że zarówno w przypadku topienia złomu z kosza 2, jak i kosza 3 rezultat testu Friedmana wskazuje (w ujęciu ogólnym) na statystycznie istotne różnice momentów podania spieniacza w zależności od przyjętej wartości

współczynnika zmienności. Szczegółowych wniosków dostarczają wyniki testu post-hoc. W obydwu przypadkach obserwuje się brak różnic istotnych statystycznie między momentami podania spieniacza dla sąsiadujących ze sobą wartości współczynnika zmienności. Jedynym wyjątkiem od tej reguły jest różnica między seriami dla współczynników zmienności 6% i 8%, która wykazuje cechy istotności statystycznej. Efekt ten jest najprawdopodobniej spowodowany pierwszym w kolejności dwuprocentowym skokiem wartości progowej współczynnika zmienności.

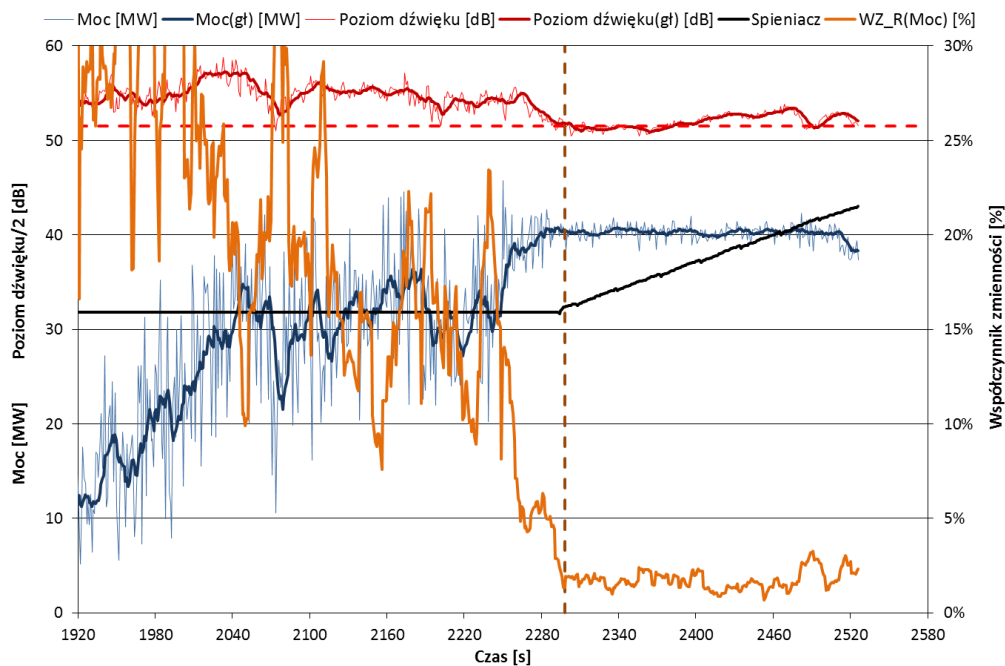
Biorąc pod uwagę omawiane rezultaty należy podjąć decyzję o „optymalnej” wartości współczynnika zmienności, która mogłaby stanowić końcowy efekt analizy statystycznej. Wartość współczynnika zmienności równa 3% jest zapewne zbyt restrykcyjna i powoduje nadmierne przesunięcie momentu podania spieniacza. Wybór sprowadza się zatem do wybrania jednej z wartości 4%, 5% i 6%. Wartość środkowa ma, jak się wydaje, najwięcej zalet, co w znacznej mierze wspierają wyniki testów post-hoc przedstawione na rysunkach 69 i 70 (kosz 2) i 72 i 73 (kosz 3). Dla pięcioprocentowego współczynnika zmienności zaobserwowano najwięcej argumentów przemawiających za wytypowaniem dziesięciosekundowego przedziału do obliczania jego wartości.

Ostatecznie zatem można sformułować następującą procedurę sterowania dozownikiem spieniacza: szerokość przedziału do obliczania ruchomego współczynnika zmienności 10 s, szerokość przedziału stabilizacji jego wartości 10 s i wartość progowa współczynnika zmienności 5%.

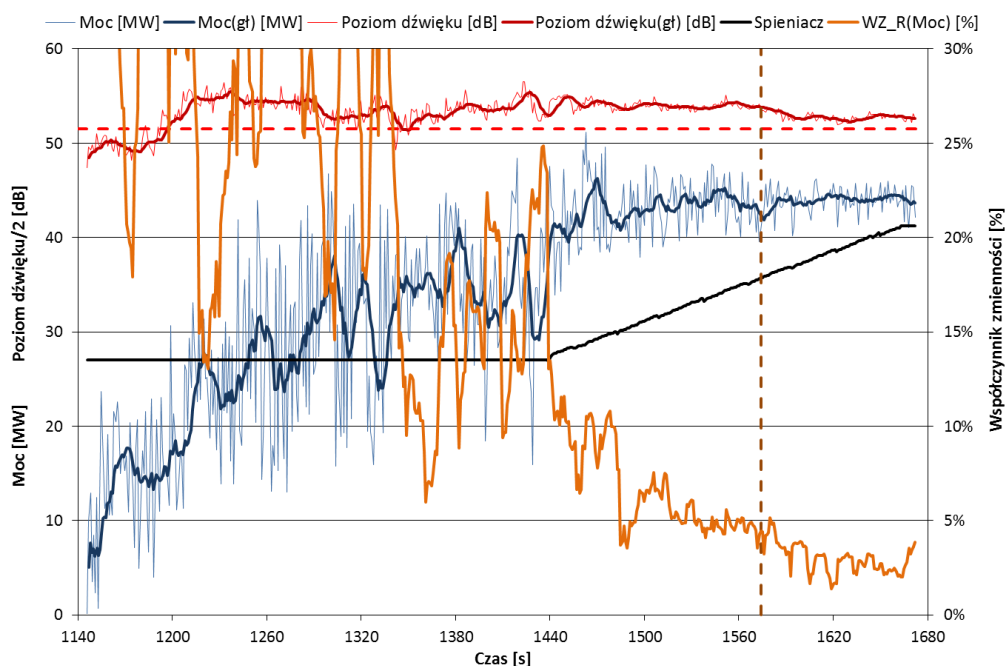
Po zastosowaniu opisanej tu procedury momenty podania spieniacza dla czterech wytopów, dla których opracowano rysunki 60 do 63 osiągnęły wartości zaprezentowane na kolejnych rysunkach (76 do 79).



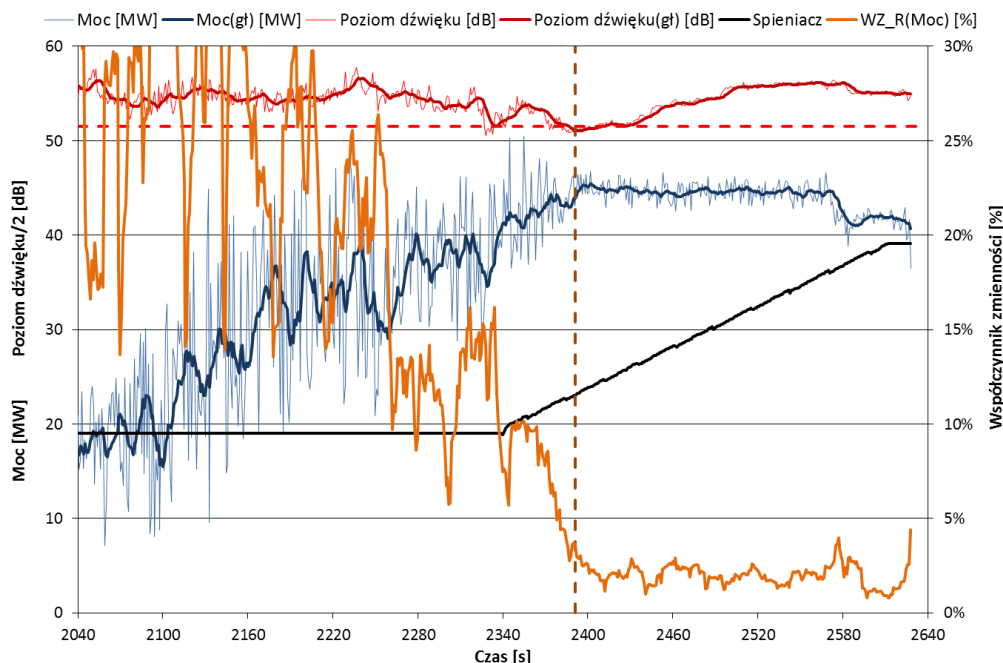
Rys. 76. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności uzupełnione o moment podania spieniacza (pionowa linia kreskowana)



Rys. 77. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności uzupełnione o moment podania spieniacza (pionowa linia kreskowana)



Rys. 78. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 2 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności uzupełnione o moment podania spieniacza (pionowa linia kreskowana)



Rys. 79. Profile poboru mocy czynnej i poziomu dźwięku zarejestrowane w trakcie topienia kosza 3 oraz wykresy średnich ruchomych i ruchomego współczynnika zmienności uzupełnione o moment podania speniacza (pionowa linia kreskowana)

Ostatecznie zatem można sformułować parametry zastosowania współczynnika zmienności do wskazania momentu rozpoczęcia podawania speniacza do pieca: **szerokość przedziału do obliczenia ruchomego współczynnika zmienności 10 s, szerokość przedziału stabilizacji jego wartości 10 s i wartość progowa współczynnika zmienności 5%.**

8.4. IV etap badań – przeprowadzenie wytopów przemysłowych w celu weryfikacji otrzymanych we wcześniejszych etapach wyników.

Dla przeprowadzenia wytopów przemysłowych wyznaczono następujące parametry które determinowały rozpoczęcie podawania speniacza:

- częstotliwość dźwięku mierzonego **100 Hz**,
- poziom dźwięku poniżej którego rozpoczynamy podawanie speniacza **103 dB**,
- szerokość przedziału do obliczenia ruchomego współczynnika zmienności **10 s**,
- szerokość przedziału stabilizacji jego wartości **10 s**,
- wartość progowa współczynnika zmienności **5%**.
- numer zaczepu transformatora powyżej trzeciego.

Podczas badań numer zaczepu transformatora był rejestrowany lecz na żadnych wykresach nie został przedstawiony. Wprowadzenie warunku rozpoczęcia wprowadzania speniacza do pieca, gdy zaczep transformatora jest wyższy niż trzeci, jest zabezpieczeniem przed zbyt szybkim rozpoczęciem podawania speniacza. W początkowym okresie topienia, gdy pobierana przez piec moc czynna jest niska, a elektrody zanurzają się już na pewną głębokość w lekkim złomie, może dojść do krótkotrwałej stabilizacji poboru mocy i obniżenia poziomu dźwięku, co mogłoby spełnić warunki rozpoczęcia podawania speniacza do pieca. Praca na zaczepie czwartym związana jest już z podawaniem większej mocy i większymi wahaniami poboru mocy oraz większym natężeniem dźwięku.

Aby przeprowadzić wytypy badawcze przy wykorzystaniu wyznaczonego poziomu dźwięku oraz współczynnika zmienności poboru mocy opracowano algorytm, który przedstawia procedurę pozyskiwania danych i wykonywania obliczeń. Algorytm został przedstawiony w załączniku nr 11.1.

Następnie opracowano program, który został zaimplementowany do sterownika Siemens S7-300. Podczas pracy pieca nowy program inicjuje rozpoczęcie podawania spieniacza. Program przedstawiono w załączniku nr 11.2.

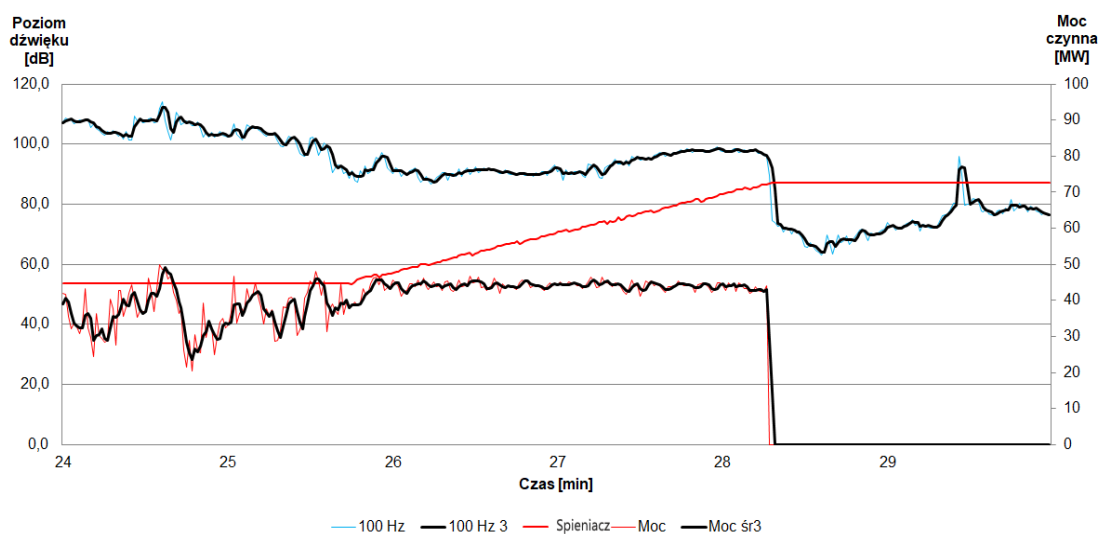
Program składa się z trzech bloków:

- OB jest to blok organizacyjny służy do zarządzania głównym programem i jest wywoływany przez system operacyjny sterownika. Głównym blokiem programu wywoływanym cyklicznie jest blok OB1.
- DB jest to blok danych, służy do przechowywania danych wykorzystywanych w bloku funkcyjnym.
- FC jest to blok funkcyjny, zasadniczym przeznaczeniem jest realizacja złożonych lub powtarzalnych funkcji.

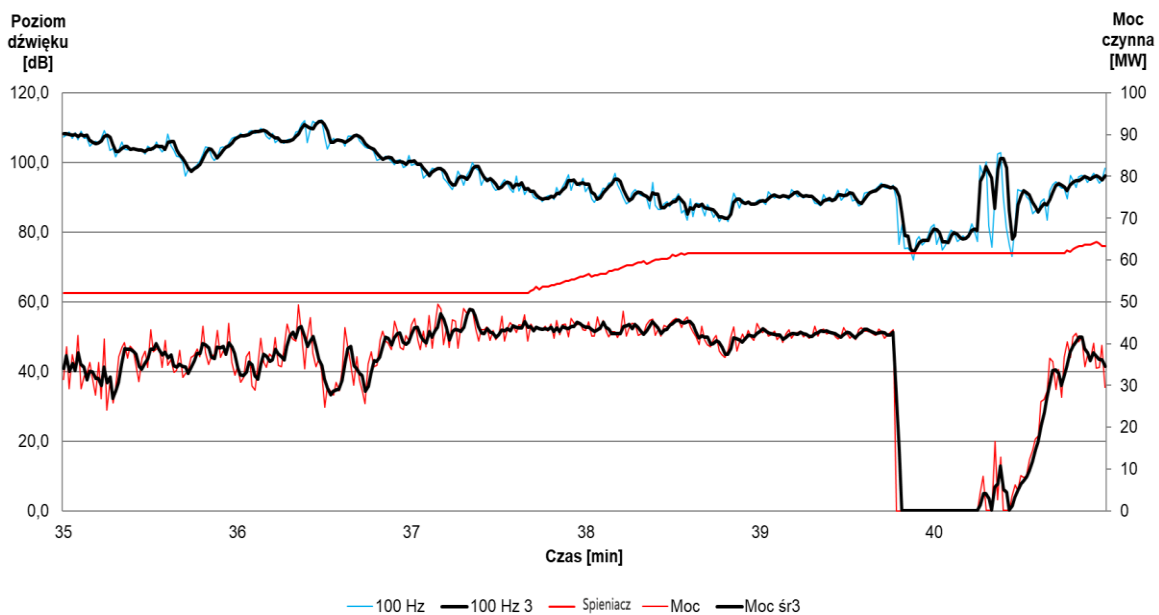
W momencie rozpoczęcia wytopu uaktywniony zostaje miernik, który rejestruje poziom dźwięku w szerokim zakresie słyszalności. Następnie dzieli to szerokie pasmo na poszczególne pasma tercjowe i przesyła je do kontrolera miernika poziomu dźwięku z oprogramowaniem do komunikacji z systemem sterowania piecem. W kontrolerze następuje wyodrębnienie pasma tercjowego 100 Hz i odczytanie wartości poziomu dźwięku dla tej częstotliwości. Jeżeli odczytana wartość jest mniejsza od zadanej do sterownika, wysyłany jest sygnał „1”, jeżeli odczytana wartość poziomu dźwięku jest większa od zadanej wartości do sterownika, przesyłany jest sygnał „0”.

Jeżeli wartości poziomu dźwięku i wielkość współczynnika zmienności w tym samym czasie osiągną wartości wskazane we wcześniejszych etapach i przez określony czas, rozpocznie się podawanie spieniacza do pieca.

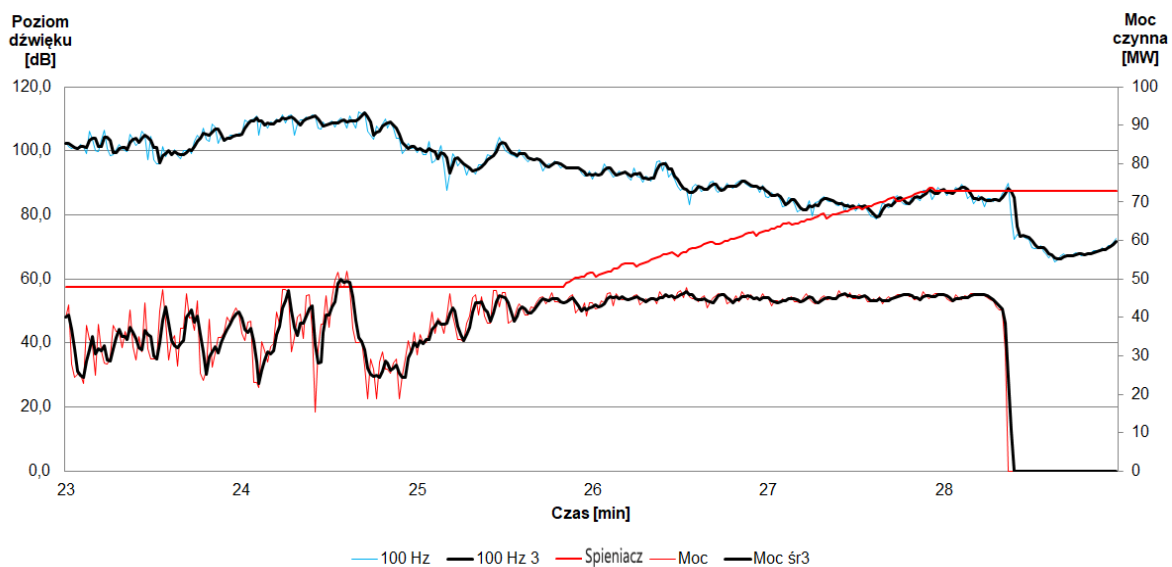
Na rysunkach od 80 do 84 przedstawiono wykresy wykonane przy użyciu opisanej powyżej metody.



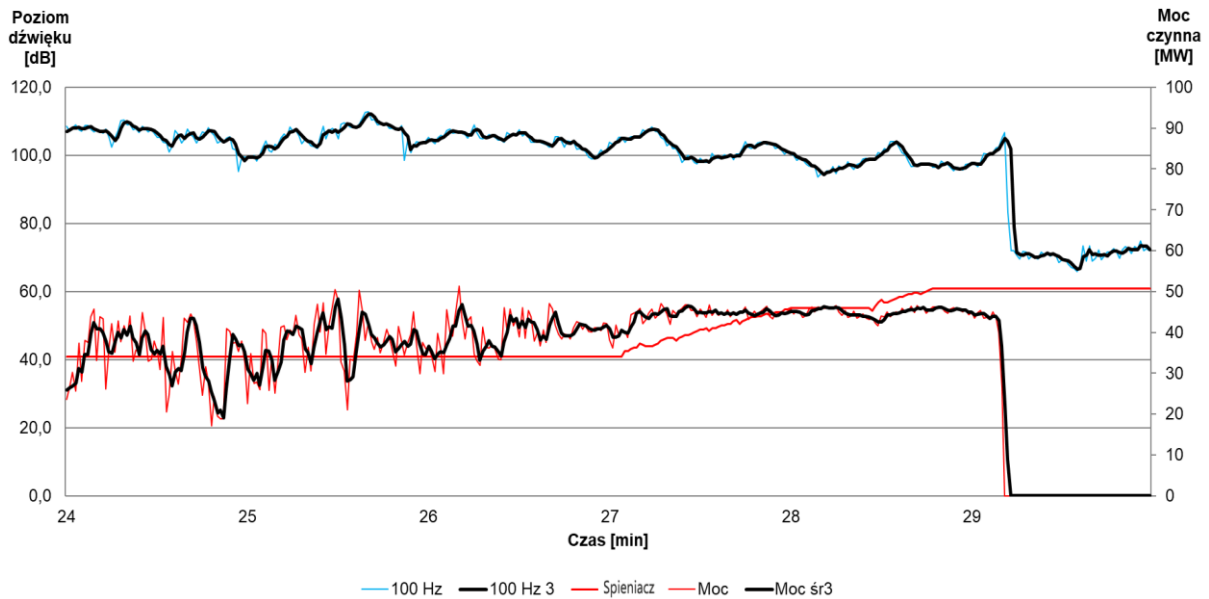
Rys. 80. Rozpoczęcie podawania spieniacza do elektrycznego pieca łukowego pod kontrolą nowego programu kosz II



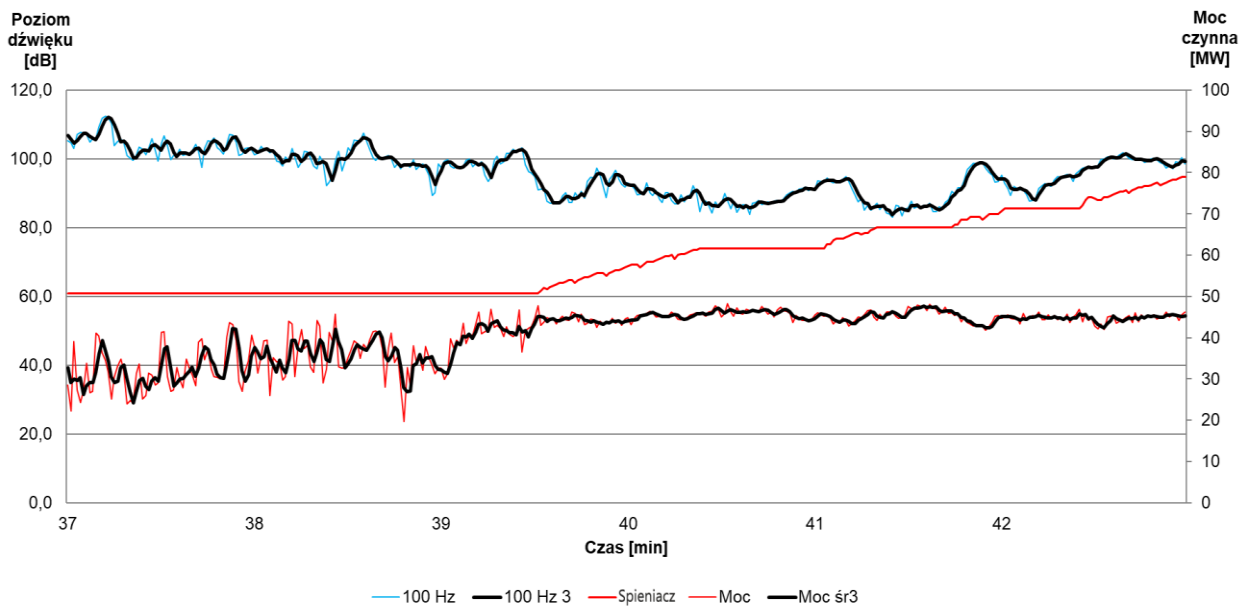
Rys. 81. Rozpoczęcie podawania spieniacza do elektrycznego pieca łukowego pod kontrolą nowego programu kosz III



Rys. 82. Rozpoczęcie podawania spieniacza do elektrycznego pieca łukowego pod kontrolą nowego programu kosz II



Rys. 83. Rozpoczęcie podawania spieniacza do elektrycznego pieca łukowego pod kontrolą nowego programu kosz II



Rys. 84. Rozpoczęcie podawania spieniacza do elektrycznego pieca łukowego pod kontrolą nowego programu kosz III

Jak widać na przedstawionych powyżej wykresach rozpoczęcie podawania spieniacza do przestrzeni roboczej elektrycznego pieca łukowego było prawidłowe. Już w kilka sekund po rozpoczęciu podawania spieniacza następowała silna stabilizacja poboru mocy a poziom dźwięku utrzymywał się na niskim poziomie.

W celu oceny skuteczności działania nowego programu, który inicjuje podawanie spieniacza do pieca dokonano porównania trzech wielkości, które opisują pracę pieca:

- czas power on [s], jest to czas pracy łuku elektrycznego,
- zużycie energii elektrycznej [kWh/t\_cieklej stali],
- zużycie spieniacza [kg/t\_cieklej stali].



W tym celu przygotowano arkusz kalkulacyjny, do którego wpisano rejestrowane wielkości. Dane zapisane w czasie prowadzenia wytopów badawczych i wytopów prowadzonych wg dotąd stosowanej metody przedstawiono w tabeli 18.

Kolorem pomarańczowym zaznaczono te wiersze, które zawierają dane z wytopów prowadzonych z zastosowaniem nowego programu sterującego rozpoczęciem podawania spieniacza. Dane znajdujące się powyżej i poniżej zaznaczonych dotyczą wytopów, dla których stosowany był stary program. Były to wytopy wykonywane bezpośrednio przed wytopami badawczymi i bezpośrednio po w ilości takiej jak wytopy badawcze. Wyniki takiej analizy przedstawiono na rysunkach od 85 do 87.

Tab. 18. Zarejestrowane dane w czasie trwania wytopów badawczych, poprzedzających i wykonanych bezpośrednio po wytopach badawczych

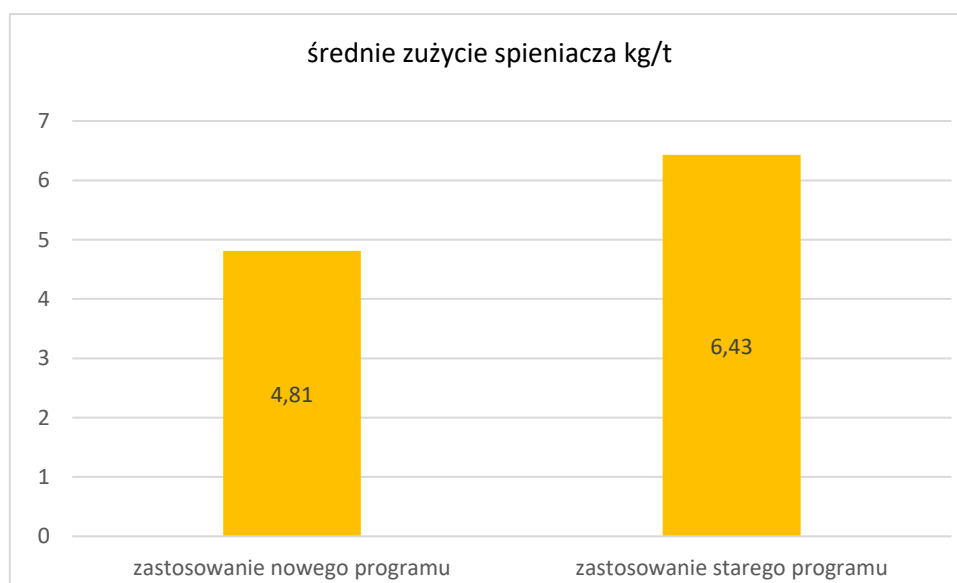
## 8. Metodyka i wyniki badań

Wytop	Spieniacz [kg]	PowerOn [s]	Energia el. [MWh]	Waga spustu [Mg]	Analiza-C [%]	Tost-temp °C	Tlen suma[Nm3]
131841	333	2373	22,30357552	66,59999847	0,086	1643	2452,926064
131842	310	2353	22,30357361	65,59999847	0,085	1633	2502,346306
131843	290	2421	22,30357742	67,20000458	0,103	1620	2561,863152
131845	324	2342	22,30357742	67,59999847	0,077	1651	2494,763569
131846	311	2576	23,30373764	67	0,041	1673	2264,664812
131847	279	2472	23,30373573	68,59999847	0,08	1622	2863,067112
131848	260	2505	22,00352859	67,20000458	0,051	1625	2708
131849	518	2693	21,60346603	66,59999847	0,064	1625	2787
131900	496	2474	22,7036438	67,20000458	0,097	1650	2836,30747
131901	494	2363	21,90351486	67,40000153	0,08	1605	2687,213295
131902	471	2308	21,70348358	67,80000305	0,055	1612	2527
131903	396	2431	22,7036438	68,40000153	0,071	1614	2648,582947
131904	344	2486	22,50361252	67,20000458	0,081	1610	2675,619246
131905	381	2388	22,5036087	67,80000305	0,114	1616	2539
131906	376	2386	22,20355988	66,80000305	0,081	1616	2592,012032
131907	380	2450	22,60362625	67,40000153	0,062	1615	2498
131908	356	2438	22,20355988	67,59999847	0,074	1623	2492
131919	545	2574	22,20356369	66,59999847	0,063	1656	2911,498428
131920	306	2421	22,80365753	67,40000153	0,086	1606	2724,448193
131921	292	2352	22,30357742	69,59999847		1601	2601,965679
131922	254	2365	22,00352859	67,80000305	0,08	1625	2524,242687
131923	324	2386	22,50361252	66,59999847	0,088	1616	2785,06184
131924	257	2398	22,20356369	68	0,074	1623	2772,418907
131925	532	2446	22,80365753	69,20000458	0,085	1609	2637
131926	529	2475	23,40375137	67,80000305	0,082	1604	2726
131927	372	2500	23,10370636	62,80000305	0,101	1621	2819,895168
132041	384	2518	22,80365753	67,80000305	0,105	1626	2639,729099
132042	412	2406	22,5036087	68	0,078	1633	2555,111069
132043	374	2406	22,10354614	68	0,06	1638	2569,091049
132044	434	2318	22,10354614	68,80000305	0,072	1608	2549,9478
132045	254	2319	22,20355988	68,59999847	0,063	1609	2559,990103
132046	278	2322	22,00352859	68	0,053	1626	2348,277462
132047	274	2324	22,10354614	66	0,07	1639	2567,005383
132048	263	2349	22,00352859	66,20000458	0,074	1618	2736,467762
132049	396	2464	23,40375519	66,59999847	0,068	1619	2701,113028
132050	456	2364	22,30357742	66,40000153	0,074	1618	2428,308895
132060	466	2352	22,20356369	66,20000458	0,07	1619	2585,004375
132061	460	2529	23,00368881	66,80000305	0,076	1620	2825,372959
132062	552	2454	22,60362625	66,80000305	0,066	1618	2485,482046
132063	366	2388	23,10370636	66,80000305	0,076	1615	2540,926319
132064	434	2394	22,40359497	67,59999847	0,069	1601	2511,299126
132065	350	2449	22,90367508	67	0,059	1601	2558
132066	268	2445	22,50360489	67,59999847	0,072	1617	2591,259586
132067	306	2354	22,5036087	66,80000305	0,081	1663	2496,965122
132068	406	2351	22,20356178	66,80000305	0,082	1615	2457,245537
132079	216	2385	22,20355988	66,40000153	0,08	1633	2493,944843
132080	362	2359	22,50361061	67	0,087	1615	2752,176014
132081	377	2357	22,40359497	66,80000305	0,067	1662	2400,964275
132082	186	2313	22,10354614	66,59999847	0,071	1614	2664,225948
132083	224	2348	22,10354614	67	0,079	1610	2688,93807
132084	238	2364	22,30357742	67	0,071	1619	2501,18362
132085	306	2287	21,80349731	67	0,08	1618	2643,518259
132086	400	2351	21,90351486	67	0,077	1621	2806,603394
132087	521	2438	22,00353241	66,59999847	0,086	1635	2762
132088	282	2344	22,30357742	67,80000305	0,079	1616	2594,530304
132214	580	2404	22,10354614	66,20000458	0,081	1609	2837,210632
132215	492	2344	21,90351677	66,80000305	0,055		2655,077469
132216	508	2416	22,50361252	68	0,077	1605	2919,342052
132217	382	2548	23,50377274	65,59999847	0,056	1615	2856,822083
132218	365	2466	23,10370636	65,80000305	0,067	1612	2737,457315
132219	467	2535	23,10370827	66	0,055	1626	2707,136726
132220	449	2518	23,00369072	65,80000305	0,057	1621	2658,0378
132221	538	2353	22,00353241	66,40000153	0,055	1622	2574,301643
132222	441	2478	23,00369263	66,20000458	0,067	1616	2744,088436
133199	470	2397	22,70364189	67,59999847	0,071	1631	2365,427034

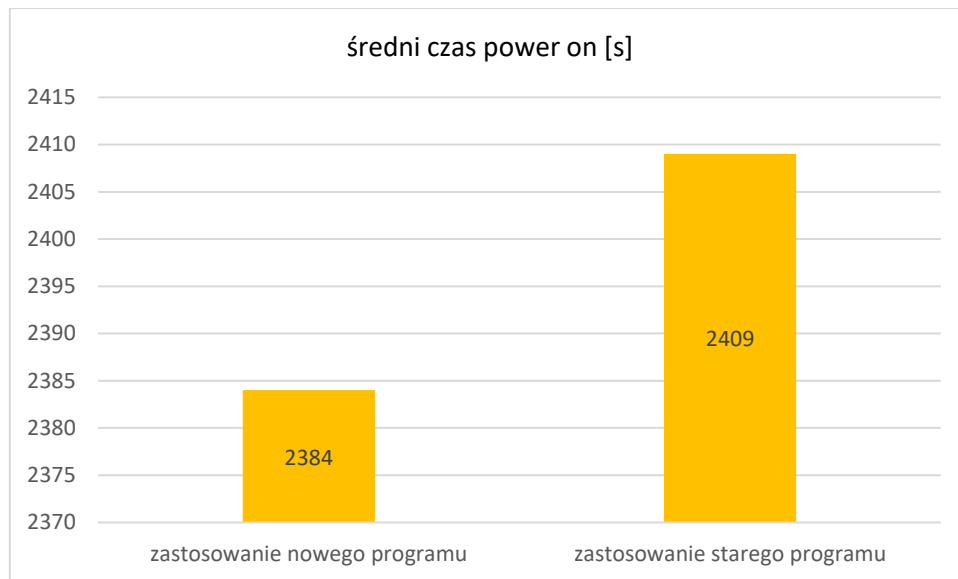
## 8. Metodyka i wyniki badań

132220	449	2518	23,00369072	65,80000305	0,057	1621	2658,0378
132221	538	2353	22,00353241	66,40000153	0,055	1622	2574,301643
132222	441	2478	23,00369263	66,20000458	0,067	1616	2744,088436
133199	470	2397	22,70364189	67,59999847	0,071	1631	2365,427034
133200	518	2413	22,90367126	67,80000305	0,099	1613	2612,143541
133201	491	2466	22,80365753	67,80000305	0,073	1635	2487,16186
133202	400	2447	23,20372009	67,80000305	0,077	1614	2543,365913
133203	402	2409	23,50377083	67,80000305	0,091	1625	2574,204767
133204	447	2454	23,50376892	67,59999847	0,086	1637	2523,179354
133205	602	2456	23,10370636	68	0,083	1626	2486,65218
133206	526	2535	23,7038002	68,20000458	0,087	1614	2724,550522
133207	566	2512	23,50376892	69	0,069	1603	2726,386547
133219	502	2560	23,80381775	67,20000458	0,073	1628	2772,089758
133220	502	2461	23,20372391	67,59999847	0,091	1642	2639,455864
133221	502	2381	23,20372391	67,80000305	0,064	1619	2454,943963
133222	793	2441	23,70380402	67,59999847	0,093	1612	2549,549068
133223	368	2419	23,00368881	67,80000305	0,067	1637	2437,321204
133224	332	2361	22,5036087	68,80000305	0,083	1612	2526,014332
133225	322	2474	22,60362625	68,80000305	0,071	1618	2595,771935
133226	584	2327	22,70363998	68,40000153	0,094	1625	2512,43742
133227	430	2464	22,60362625	68,40000153	0,092	1632	2594,965296
133228	430	2341	22,70363998	68,40000153	0,093	1624	2676,677711
133240	518	2440	22,60362625	68,20000458	0,082	1633	2600,170815
133241	516	2377	22,5036087	67,40000153	0,091	1642	2573,050274
133242	504	2280	22,30357742	67,20000458	0,087	1622	2702,829151
133243	338	2385	22,5036087	67,20000458	0,09	1627	2630,43689
133244	378	2420	22,80365753	66,40000153	0,069	1616	2573,889191
133245	435	2488	23,30373764	65,80000305	0,077	1617	2577,573498
133246	467	2527	23,60378647	65,80000305	0,079	1605	2799,86607
133247	532	2572	23,80381775	65,80000305	0,072	1630	2767,216145
135143	376	2316	22,30357	66	0,069		
135144	362	2266	22,20356	66	0,079	1610	
135145	265	2281	22,20356	66,40000153	0,078	1607	
135146	306	2294	22,20356	67,20000458	0,08	1607	
135147	289	2300	22,30357742	67,20000458	0,071	1598	4,536403656
135148	305	2313	22,20355988	68,20000458	0,055		2,501847744
135149	320	2387	23,10370636	69,40000153	0,07	1616	0,00044307
135150	398	2401	23,40375137	66,40000153	0,043	1610	4,203643799
135150	282	2402	22,60362625	66,40000153	0,057	1606	13,28672028
135151	373	2327	22,40359116	67,20000458	0,054	1615	11,60688114
135152	376	2327	22,20355988	67,20000458	0,071	1614	4,608549595
135153	390	2419	22,20356178	68,20000458	0,042	1621	14,3107357
135404	352	2406	22,70364	65,59999847	0,046	1603	
135405	440	2422	22,70364	65,40000153	0,048	1605	
135406	412	2348	22,50361	65,80000305	0,034	1637	
135407	285	2287	22,30358	65,80000305	0,051		
135408	444	2317	22,30358	66,80000305	0,067	1617	
135409	306	2283	22,5036087	66,80000305	0,069	1610	
135410	331	2314	22,30357742	67,80000305	0,062	1609	
135411	351	2369	22,40359497	67,80000305	0,057	1622	
135412	284	2352	22,40359497	68	0,086	1613	
135413	301	2366	22,80365753	69	0,055	1620	
135414	432	2436	22,40359497	66,80000305	0,067	1617	
135415	439	2529	23,10370636	65,80000305	0,103	1628	
135416	435	2386	22,40359497	66,59999847	0,09	1637	
135417	396	2357	22,30357742	67	0,08		
135418	330	2371	22,40359116	66,59999847	0,08		
135428	458	2332	22,60362	67,80000305	0,067	1627	
135429	540	2445	22,90368	68	0,046	1612	
135430	372	2366	22,60362625	66,80000305	0,051	1613	2640,256083
135431	309	2419	22,60362625	70	0,071	1634	2618,835413
135432	714	2947	25,60410309	67,20000458	0,069	1637	3295,820541
135433	478	2489	23,20372009	66,40000153	0,062	1620	2598,57423
135769	303	2384	22,50361	66,40000153	0,205	1618	
135770	502	2612	23,60378	65,80000305	0,062	1621	

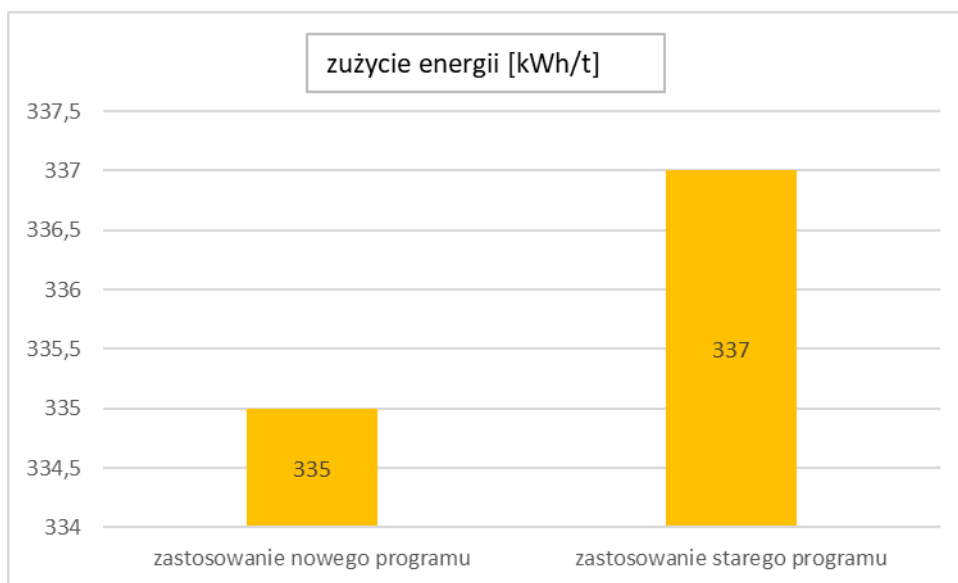
135771	497	2444	22,30357	66,80000305	0,083	1619
135772	232	2423	22,40359116	65,59999847	0,079	1655
135773	212	2430	22,00352859	67	0,092	1626
135774	258	2481	22,20355988	67,40000153	0,063	1618
135775	506	2415	22,30357552	65,40000153	0,064	1613
135776	318	2404	23,00368881	67	0,048	1621
135777	402	2414	22,90367126	67,80000305	0,078	1627
135903	334	2335	22,30358	67,40000153	0,083	1618
135904	430	2202	21,8035	67,20000458	0,079	1615
135905	598	2433	22,70364	66,80000305	0,078	1624
135906	330	2349	22,30357742	65,40000153	0,082	1632
135907	330	2184	21,90351105	65,40000153	0,086	1657
135908	320	2221	21,60346222	66,40000153	0,082	1634
135909	317	2221	22,00352859	66,20000458	0,088	1632
135910	305	2215	21,80349731	66,40000153	0,081	1609
135911	359	2263	22,00352859	66,40000153	0,063	1619
135912	434	2265	21,90351105	67,20000458	0,075	1613
135913	436	2212	22,00352859	67,40000153	0,079	1608



Rys. 85. Porównanie zużycia speniacza na wytopach z nowym programem wyznaczającym moment rozpoczęcia podawanie speniacza a wytopami pracującymi z starym programem



Rys. 86. Porównanie czasu power on na wytopach z nowym programem wyznaczającym moment rozpoczęcia podawanie spieniacza a wytopami pracującymi z starym programem



Rys. 87. Porównanie zużycia energii elektrycznej na wytopach z nowym programem wyznaczającym moment rozpoczęcia podawanie spieniacza a wytopami pracującymi z starym programem.

Jak wynika z wyżej przedstawionych wykresów zastosowanie nowej metody wyznaczenia momentu rozpoczęcia podawania spieniacza do pieca przyniosły efekt w postaci zmniejszenia zużycia spieniacza ,energii elektrycznej i skrócenia czasu power on.

- zużycie spieniacza zmniejszyło się o **25%**,
- zużycie energii elektrycznej zmniejszyło się o **0,6%**,
- czas power on skrócił się o **1%**.

## 9. Wyniki kontroli jakości wyrobów końcowych wykonanych z wytopów badawczych

Wykonano w sumie 48 wytopów badawczych, dla których rozpoczęcie podawania spieniacza do pieca inicjowane było przez nowy program.

Kęsiska pochodzące z tych wytopów, które odlano na maszynie COS zostały sprzedane trzem odbiorcom. Każdy z tych odbiorców przeprowadził badania składu chemicznego jak i badania wytrzymałościowe. Wyniki te zostały udostępnione w postaci tabel lub atestów. Tabele od 19 do 21 przedstawiają przykładowe wyniki tych badań.

Przykładowe wyniki:

- odbiorca I

TAB. 19. Wyniki badań przeprowadzone u odbiorcy nr.I.

Pręt żebrowany fi 10 B500SP														80551N		131903	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,15	0,021	0,023	0,09	0,1	0,29	0,002	0,001	0,009	0,007	0,015	0,02	0,38			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
591	691	1,17	0,084	22,6		9,4	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,612				
596	683	1,15		19,6		8,6											
590	692	1,17		22,6		9,8											
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022BN		131903	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,15	0,021	0,023	0,09	0,1	0,29	0,002	0,001	0,009	0,007	0,015	0,02	0,38			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
573	672	1,17	0,086	17,8		8,5	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,874				
569	672	1,18		18,3		8,7											
572	673	1,18		18,7		8,8											

-odbiorca II

TAB. 20. Wyniki badań przeprowadzone u odbiorcy nr.II.

Nr wytopu	Data wytopu	Opis materiału	Re	Rm	A%	Oznaczenie ud.	Śr. ud.
22/133203	02.02.2022	V-32	576,00	703,00	23,30	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	97,0
22/133204	02.02.2022	V-32	595,00	724,00	18,40	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	70,0
22/133202	02.02.2022	V-32	577,00	697,00	24,30	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	80,0

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133202	020	0.21	1.23	0.420	0.020	0.017	0.27	0.110	0.31	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.001	0.516	0.32

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133203	020	0.22	1.24	0.390	0.020	0.021	0.27	0.100	0.29	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.002	0.526	0.33

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133204	020	0.21	1.22	0.430	0.019	0.028	0.25	0.100	0.30	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.001	0.509	0.32

## 9. Wyniki kontroli jakości wyrobów końcowych wykonanych z wytopów badawczych

-odbiorca III

TAB. 21. Wyniki badań przeprowadzone u odbiorcy nr.III.

<b>ŚWIADECTWO ODBIORU - 3.1</b>			
INSPECTION CERTIFICATE			
WB-2022000664 (362258)			
PN-EN 10204 / PN-EN 10168		Data wysyłki: 07.02.2022 10:12:32	
Producent / Producer	Zamawiający / Purchaser	Adres wysyłki / Address	
Cognor S.A. 42-360 Poraj ul. Zielona 26 Oddział Ferrostal Łabędy w Zawierciu 42-400 Zawiercie ul. Okólna 10	[REDACTED]	[REDACTED]	
Nr zamówienia klienta / Purchase Order No.	Nr wysyłki / Load List No.	Nr ZZ klienta / ZZ No.	Nr dokumentu
<b>244491</b>	<b>269988</b>	<b>95128702</b>	<b>362258</b>

**Płaskownik 30x5 S235JR 6m**      NR. WYTOPU: **133243**    NR. PARTII: **779006N**    PACZEK: **9**    SUMA WAG: **23,262**

Wyrób / product	długość / length	Heat no.	Lot batch no.	bundles pcs	weight sum
[B01]	[B14]	[B07]	[B07]	[B15]	[B13]

Analiza chemiczna / Chemical analysis [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	As	N	CEV	NB	B
0,14	0,50	0,16	0,018	0,008	0,07	0,10	0,28	0,02	0,002	0,001	0,002	0,006	0,009	0,27	0,001	

Wyniki Badania Próby / Testing results

Re	Rm	A	5	Z	HB	UDARNOŚĆ / Impact Strength	ZGINANIE Bending	SPECZANIE Slit test	ODWESZCZANIE	ŚLISZCIE
336	454	36,4								
333	452	37,0								

Normy, tolerancje, aprobaty / Standards, tolerances, approvals: **PN-EN 10025-1:2007 PN-EN 10025-2:2019**  
 Gatunek / Grade: **S235JR+AR**    Norma wymiarowa: **PN-EN 10058 / PN-EN 10163-2:2007 kl. A**  
 Przewidywane zastosowanie: Konstr.metalowe lub w konstr.zespolonych metalowo-betonowych

Nr 1436-CPR-0010

Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że wykonany wyrób jest zgodny z zamówieniem.  
 On the basis of the test in has been recognized that the product conforms with the order requirements.

Deklarujemy, że powyższy materiał nie wykazuje radioaktywności przekraczającej 0,1 Bq/g ekwiwalentu 60 Co.  
 We declare, that above material does not display radiation exceeding 0,1 Bq/g 60Co equivalent.

Powierzchnie i wymiary - sprawdzono zgodność z zamówieniem.  
 Surface and dimensions - tested according to purchase order.

Zbadano przez KJ w 100% powierzchnia, wymiary, iskrowanie

Deklarujemy, że powyższy materiał jest zgodny z warunkami zamówienia

[B01] 

1	W.B.
DKJ	

*Aiejata*

GŁÓWNY SPECJALISTA  
ds. Zarządzania Jakością [B02] *[Signature]*

Sprawdził(a): Urszula Wiejata

Zatwierdził: Jacek Cupiał

Wyniki pozostałych badań i atesty, które udostępniono przedstawiono w załącznikach 11.3,11.4 i 11.5. Wykonano także badania wyznaczające wskaźnik czystości K4 (stopień zanieczyszczenia stali wtrąceniami tlenkowymi i siarczkowymi) . Wyniki tego badania przedstawiono w załączniku 11.6.

Wszystkie przedstawione wyniki badań u każdego z odbiorców wykazały spełnienie wszystkich wymogów dopuszczających do dalszego wykorzystania produktów wykonanych z stali wyprodukowanej podczas wytopów badawczych.



## 10. Podsumowanie i wnioski.

W wielu ośrodkach na świecie prowadzi się badania w celu polepszeniu technologii wytwarzania stali płynnej. Głównym celem tych badań jest obniżenie kosztów wytwarzania płynnej stali przy utrzymaniu co najmniej takiej samej jakości. Realizuje się to poprzez ciągłe polepszanie poszczególnych etapów procesu wytwarzania stali płynnej.

Obecnie duże elektrostalownie pracują w technologii spienionego żużla, co pozwala na znaczne polepszenie sprawności cieplnej agregatu metalurgicznego. Aby w pełni wykorzystać zalety tej metody, w niniejszej pracy Autor postanowił rozwiązać problem dotyczący wyznaczenia najbardziej odpowiedniego momentu rozpoczęcia podawania speniacza do pieca. W wyniku przeprowadzonych badań opracowano unikalne rozwiązanie umożliwiające na wyznaczenie takiego momentu, bez względu na typ pieca i parametry wykorzystywanego wsadu. Opracowane rozwiązanie zaimplementowano do systemu sterowania piecem elektrycznym i przeprowadzono serię wytopów badawczych które potwierdziły skuteczność działania wynalezionnej metody.

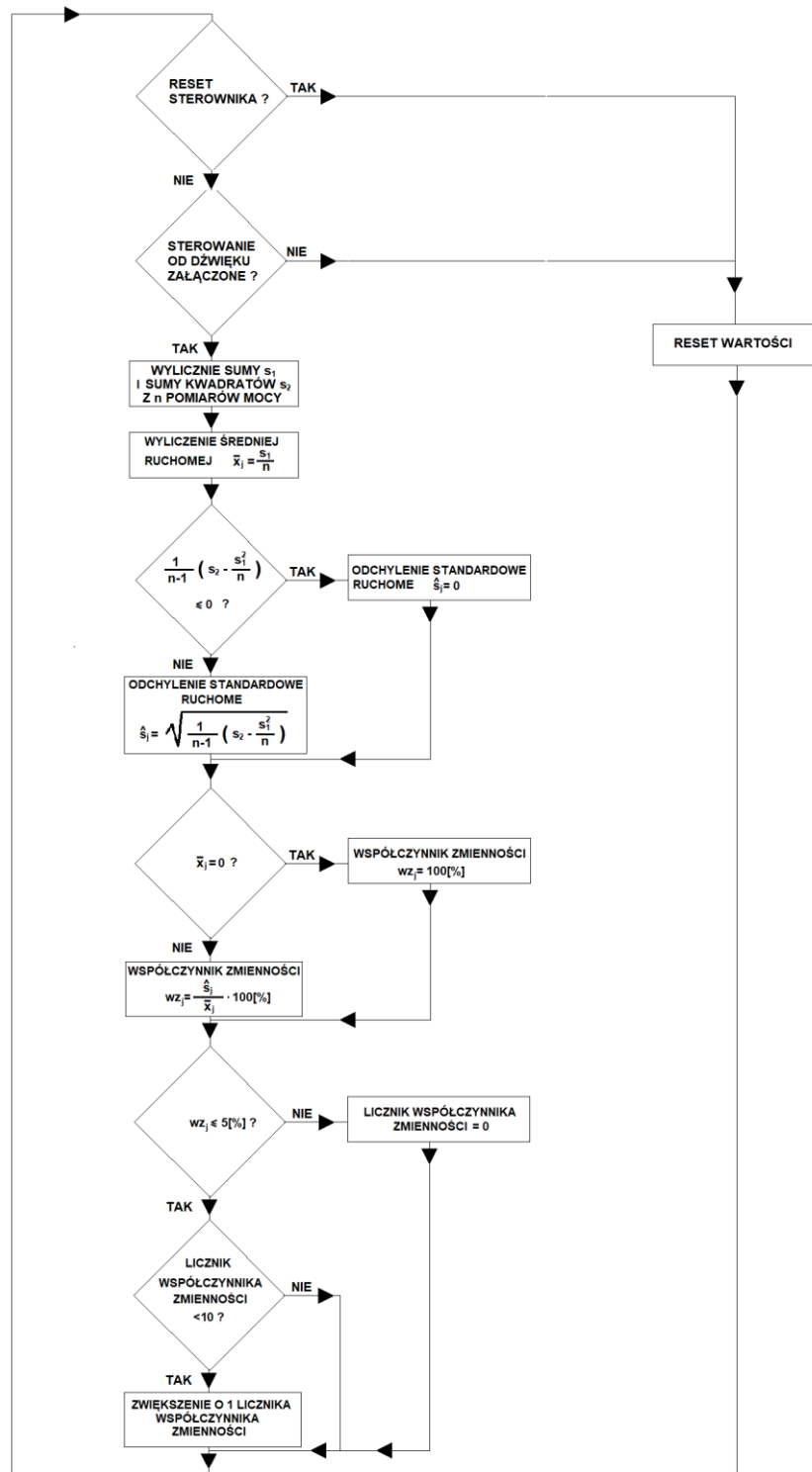
Stworzony algorytm i program dla sterownika są wyraźnymi drogowskazami jak należy wyznaczać poszukiwane wielkości i ich wartości na innych jednostkach piecowych.

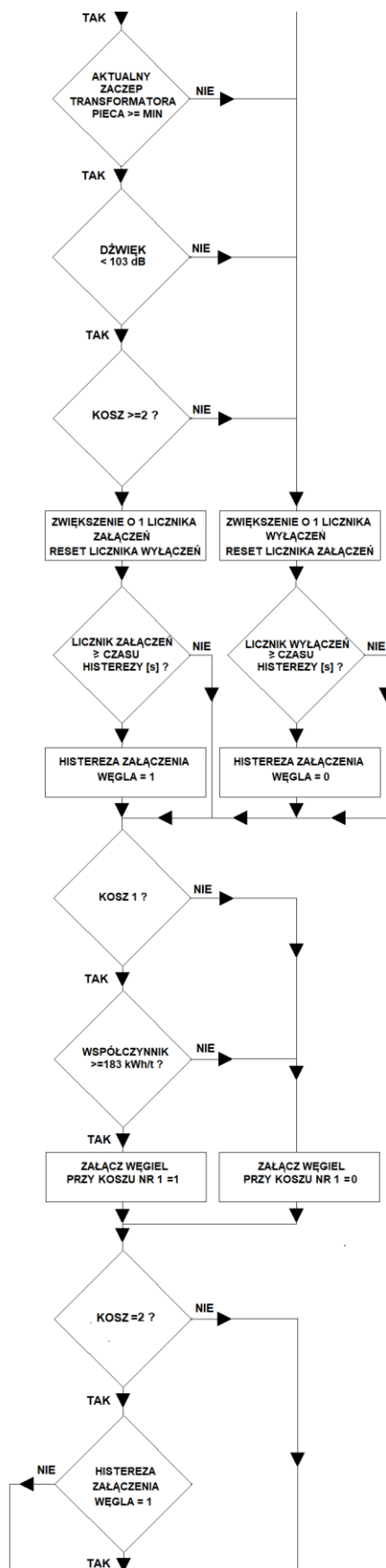
### Wnioski

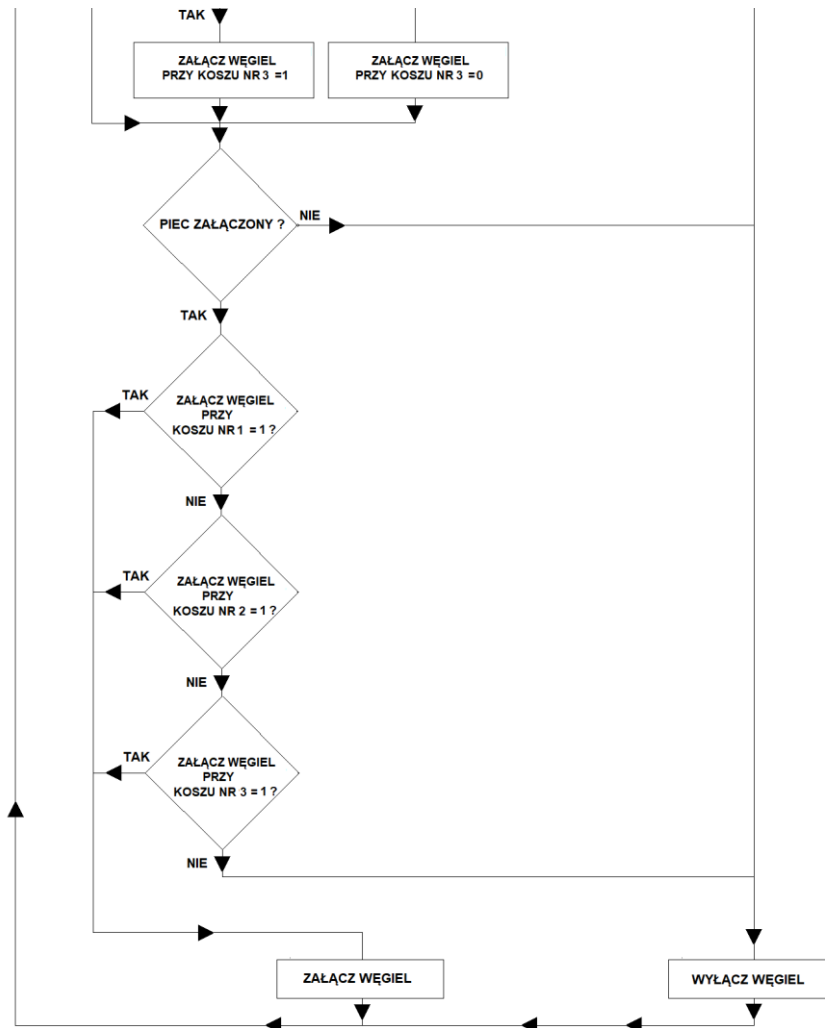
1. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że do wyznaczenia optymalnego momentu rozpoczęcia podawania speniacza żużla do elektrycznego pieca łukowego można wykorzystać wahania poboru mocy oraz dźwięk emitowany przez piec.
2. Stwierdzono, że poziom natężenia dźwięku, przy którym należy rozpocząć podawanie speniacza do przestrzeni roboczej pieca - w analizowanych warunkach badawczych - powinien wynosić 103 dB, przy częstotliwości 100Hz.
3. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej wahań poboru mocy czynnej pieca, opracowano ruchomy współczynnik zmienności poboru mocy i określono zmienne decyzyjne dla oprogramowania sterowania procesem podawania speniacza on-line. Są to:
  - szerokość przedziału do obliczania ruchomego współczynnika zmienności - 10 s,
  - szerokość przedziału stabilizacji jego wartości - 10 s,
  - wartość progowa współczynnika zmienności - 5%.
4. W rezultacie zaimplementowania opracowanych rozwiązań do systemu sterowania piecem elektrycznym i przeprowadzeniu wytopów badawczych stwierdzono oszczędności w postaci skrócenia czasu power-on, obniżenia zużycia energii elektrycznej oraz speniacza, co ma istotne znaczenie dla zmniejszenia śladu węglowego.

## 11.Załączniki.

## 11.1 Algorytm







## 11.2 Program

SIMATIC ELS\_01\_wyspaEAF\ 08/29/2023 12:14:34 PM  
 Conso\CPU 315-2 DP\...\OB1 - <offline>

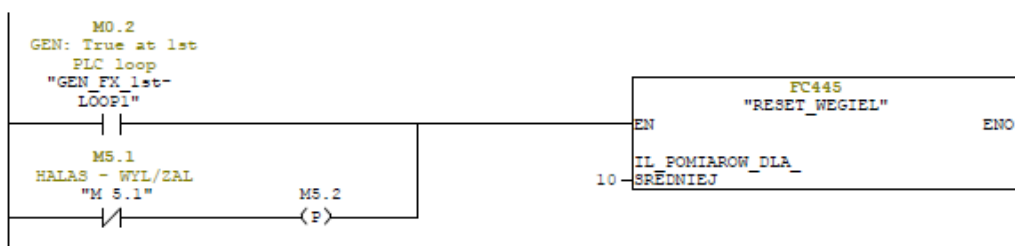
**OB1 - <offline>**

"OB1" "Main Program Sweep(Cycle)"  
**Name:** Family:  
**Author:** Concast **Version:** 0.1  
**Block version:** 2  
**Time stamp Code:** 08/29/2023 12:13:59 PM  
**Interface:** 02/15/1996 04:51:12 PM  
**Lengths (block/logic/data):** 00664 00446 00036

Name	Data Type	Address	Comment
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

Network: 2 RESET DANYCH WEGLA (OD HALASU)



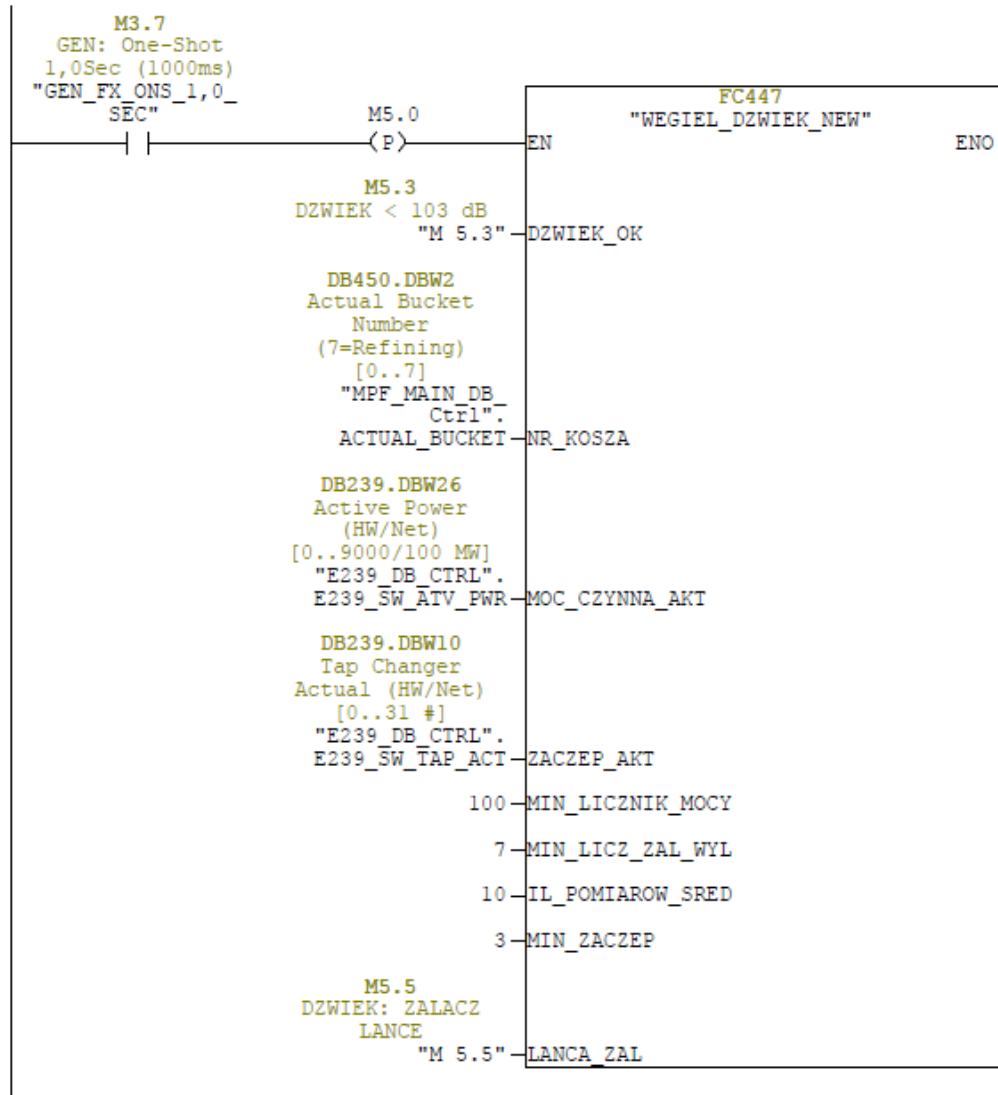
Network: 3

SIMATIC

ELS\_01\_wyspaEAF\  
Conso\CPU 315-2 DP\...\OB1 - <offline>

08/29/2023 12:14:35 PM

Network: 4      ALGORYTM DODAWANIA WEGLA (OD DZWIEKU)



SIMATIC

ELS\_01\_wyspaEAF\  
Conso\CPU 315-2 DP\...\DB600 - <offline>

08/16/2023 01:47:35 PM

**DB600 - <offline> - Declaration view**

"DZWIEK"

Global data block DB 600

Name: Family:  
 Author: Version: 0.1  
 Block version: 2  
 Time stamp Code: 08/16/2023 01:39:14 PM  
 Interface: 04/05/2022 02:30:58 PM  
 Lengths (block/logic/data): 00308 00142 00000

Block: DB600

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	MOC1	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 1
+4.0	MOC2	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 2
+8.0	MOC3	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 3
+12.0	MOC4	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 4
+16.0	MOC5	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 5
+20.0	MOC6	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 6
+24.0	MOC7	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 7
+28.0	MOC8	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 8
+32.0	MOC9	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 9
+36.0	MOC10	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 10
+40.0	MOC11	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 11
+44.0	MOC12	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 12
+48.0	MOC13	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 13
+52.0	MOC14	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 14
+56.0	MOC15	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 15
+60.0	MOC16	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 16
+64.0	MOC17	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 17
+68.0	MOC18	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 18
+72.0	MOC19	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 19
+76.0	MOC20	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 20
+80.0	MOC21	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 21
+84.0	MOC22	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 22
+88.0	MOC23	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 23
+92.0	MOC24	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 24
+96.0	MOC25	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 25
+100.0	MOC26	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 26
+104.0	MOC27	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 27
+108.0	MOC28	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 28
+112.0	MOC29	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 29
+116.0	MOC30	REAL	0.000000e+000	Pomiar mocy 30
+120.0	MOC_SUMA	REAL	0.000000e+000	Moc suma
+124.0	INDEX POMIARU	INT	0	Index pomiaru
+126.0	LICZNIK_0	INT	0	Licznik 0
+128.0	LICZNIK_1	INT	0	Licznik 1
+130.0	LICZNIK_KOSZ_2	INT	0	Licznik kosz 2
+132.0	DZWIEK	INT	0	Dzwiek < 130 dB
+134.0	MOC_SR	INT	0	MOC SREDNIA
+136.0	MOC_SUMA_KWADRATOW	REAL	0.000000e+000	Moc suma kwadratow
+140.0	LICZNIK_MOCY	INT	0	licznik wspolczynnika zmiennosci
=142.0		END_STRUCT		



SIMATIC

ELS\_01\_wyspaEAF\  
Conso\CPU 315-2 DP\...\FC445 - <offline>

08/29/2023 12:15:56 PM

**FC445 - <offline>**

"RESET\_WEGIEL"

Name: Family:  
 Author: Version: 0.1  
 Block version: 2  
 Time stamp Code: 04/08/2022 09:31:49 AM  
 Interface: 05/25/2021 01:56:53 PM  
 Lengths (block/logic/data): 00330 00172 00006

Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
IL_POMIAROW_DLA_SREDNIEJ	Int	0.0	Ilosc pomiarow do wyliczenia sredniej
OUT		0.0	
IN_OUT		0.0	
TEMP		0.0	
WSKAZNIK_POMIARU	DInt	0.0	
TEMP_INT	Int	4.0	
RETURN		0.0	
RET_VAL		0.0	

Block: FC445 RESET\_WEGIEL

Network: 1 ZEROWANIE TABELI WARTOSCI POMIAROW

```
#TEMP_SUMA suma pomiarow wartosci temperatury
#TEMP_INT kolejny nr pomiaru w bloku dancych
```

```

      OPN  "DZWIEK"                DB600
      L    0
      T    #TEMP_INT                #TEMP_INT
M001: L    #TEMP_INT                #TEMP_INT
      ITD
      L    L#32
      *D
      T    #WSKAZNIK_POMIARU        #WSKAZNIK_POMIARU
      L    0.000000e+000
      T    DBD [#WSKAZNIK_POMIARU]  #WSKAZNIK_POMIARU
      L    #TEMP_INT                #TEMP_INT
      L    1
      +I
      T    #TEMP_INT                #TEMP_INT
      L    #TEMP_INT                #TEMP_INT
      L    #IL_POMIAROW_DLA_SREDNIEJ #IL_POMIAROW_DLA_SREDNIEJ -- Ilosc pomiarow do wy
                                          liczenia sredniej
      <=I
      JC   M001

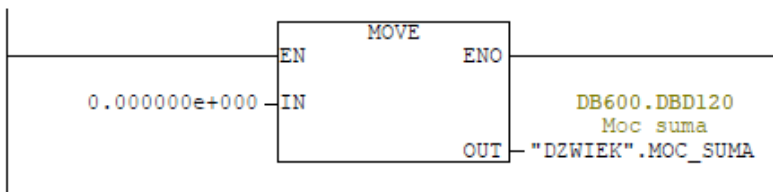
```

SIMATIC

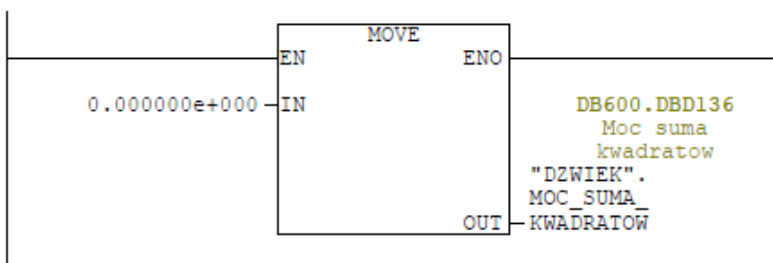
ELS\_01\_wyspaEAF\  
Conso\CPU 315-2 DP\...\FC445 - <offline>

08/29/2023 12:15:56 PM

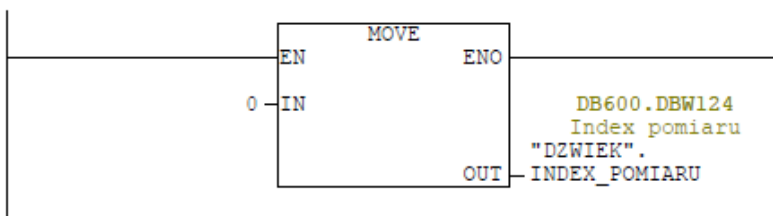
Network: 2 ZEROWANIE SUMY WARTOSCI POMIAROW



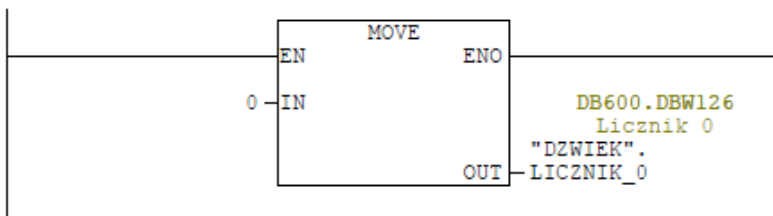
Network: 3 ZEROWANIE SUMY KWADRATOW WARTOSCI POMIAROW



Network: 4 ZEROWANIE INDEKSU POMIARU



Network: 5 ZEROWANIE LICZNIKA ZER

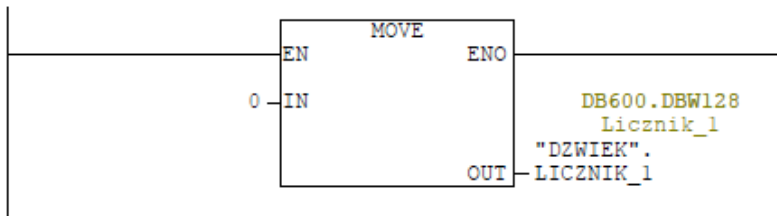


SIMATIC

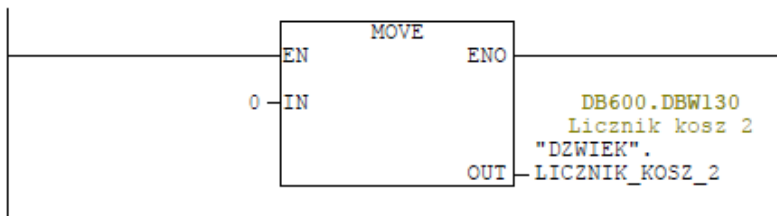
ELS\_01\_wyspaEAF\  
Conso\CPU 315-2 DP\...\FC445 - <offline>

08/29/2023 12:15:56 PM

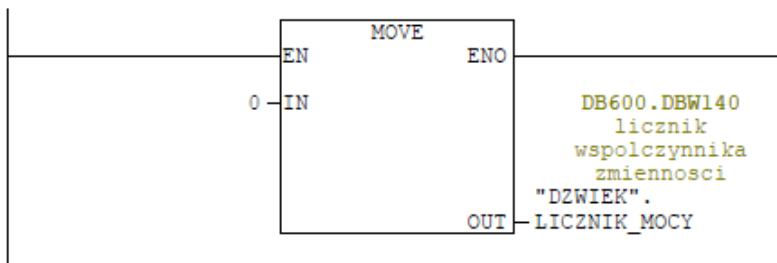
Network: 6 ZEROWANIE LICZNIKA JEDYNEK



Network: 7 ZEROWANIE LICZNIKA KOSZA 2



Network: 8 ZEROWANIE LICZNIKA WSPOLCZYNNIKA ZMIENNOSCI



SIMATIC ELS\_01\_wyspaEAF\ 08/29/2023 12:30:11 PM  
 Conso\CPU 315-2 DP\...\FC447 - <offline>

**FC447 - <offline>**

"WEGIEL\_DZWIEK\_NEW"

Name: Family:  
 Author: Version: 0.1  
 Block version: 2  
 Time stamp Code: 08/29/2023 12:23:46 PM  
 Interface: 05/27/2021 09:18:44 AM  
 Lengths (block/logic/data): 01484 01224 00062

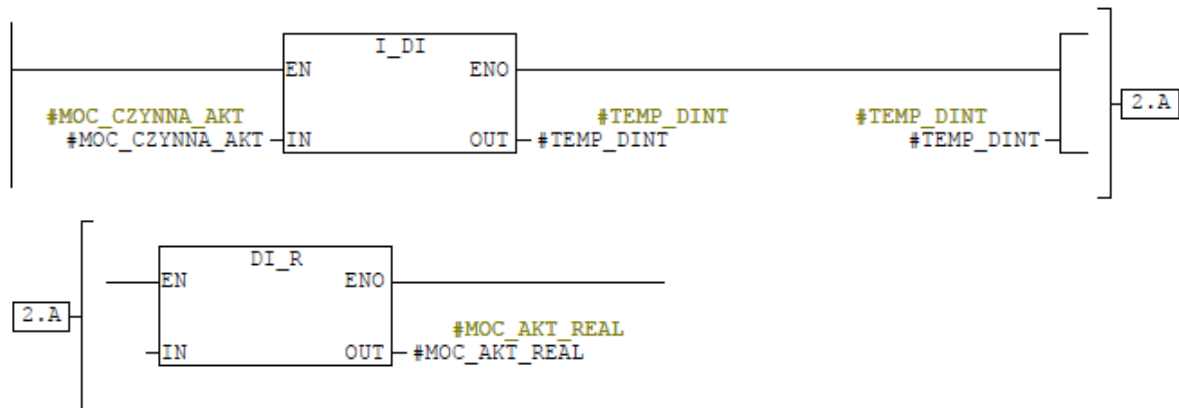
Name	Data Type	Address	Comment
IN		0.0	
DZWIEK_OK	Bool	0.0	Dzwiek <103 dB
NR_KOSZA	Int	2.0	Aktualny kosz 0..5 / 7=Wyrobnka
MOC_CZYNNA_AKT	Int	4.0	
ZACZEP_AKT	Int	6.0	
MIN_LICZNIK_MOCY	Int	8.0	Maks czas pracy lanc [s] dla Kosza 2
MIN_LICZ_ZAL_WYL	Int	10.0	Min czas [s] - histereza zal/wyl lanc
IL_POMIAROW_SRED	Int	12.0	Ilosc pomiarow do wyliczenia sredniej
MIN_ZACZEP	Int	14.0	Min zaczep dla zalaczenia lanc
OUT		0.0	
IN_OUT		0.0	
LANCA_ZAL	Bool	16.0	
TEMP		0.0	
TEMP_REAL	Real	0.0	
TEMP_DINT	DInt	4.0	
WSKAZNIK_POMIARU	DInt	8.0	
RLO	Bool	12.0	
WARUNEK_MOCY	Bool	12.1	
WEGIEL_WSTEPNIE	Bool	12.2	
WEGIEL_HISTEREZA	Bool	12.3	
SREDNI_POMIAR	Real	14.0	
LANCA_KOSZ_2	Bool	18.0	
LANCA_KOSZ_3	Bool	18.1	
KOSZ_1	Bool	18.2	
KOSZ_2	Bool	18.3	
KOSZ_3	Bool	18.4	
MOC_AKT_REAL	Real	20.0	
PROCENT_MOCY	Real	24.0	
MIN_PROCENT_MOCY	Real	28.0	
MAX_PROCENT_MOCY	Real	32.0	
SREDNIA_RUCHOMA	Real	36.0	
IL_POMIAROW_REAL	Real	40.0	
PODSTAWA_ODCHYL	Real	44.0	
ODCHYLENIE_STANDARDOWE	Real	48.0	
TEMP_REAL_1	Real	52.0	
WSPOLCZYNNIK_ZMIENNOSCI	Real	56.0	
RETURN		0.0	
Name	Data Type	Address	Comment
RET_VAL		0.0	

Block: FC447 WEGIEL\_DZWIEK

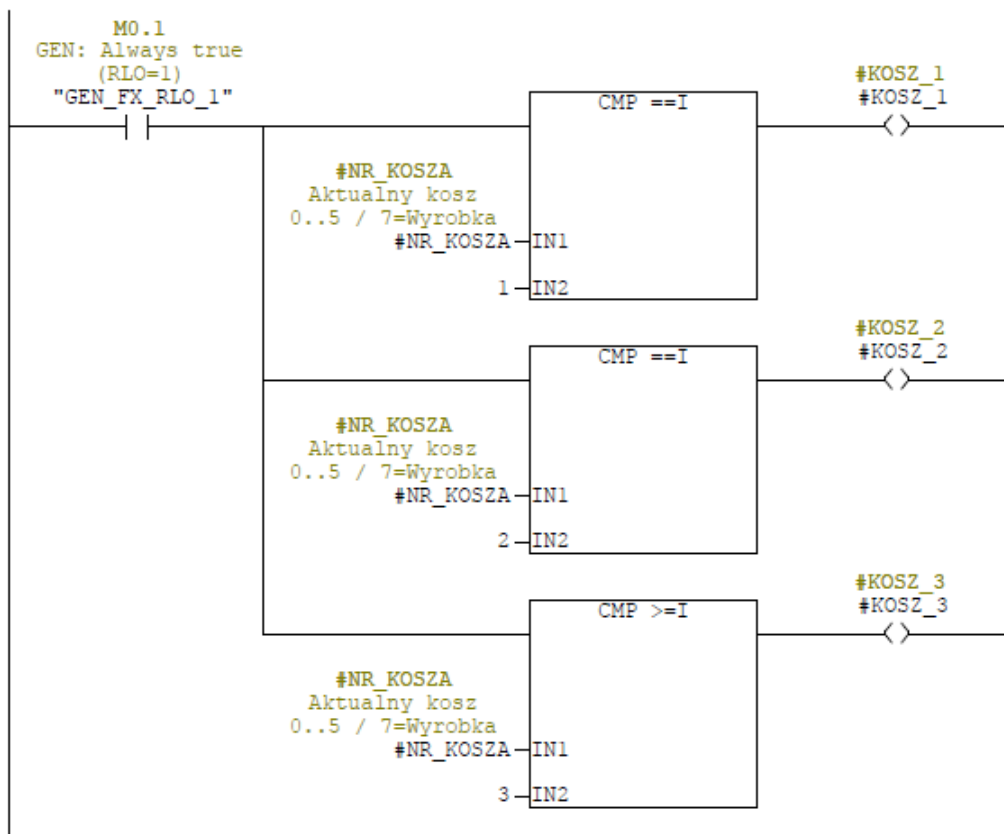
Network: 1 PRZEPISANIE DANYCH DO ZMIENNYCH TYMCZASOWYCH

DB600  
 "DZWIEK"  
 (OPN)

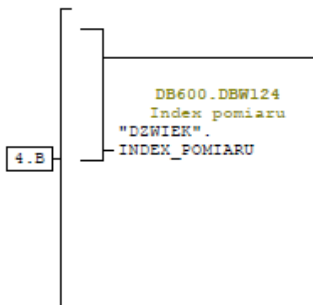
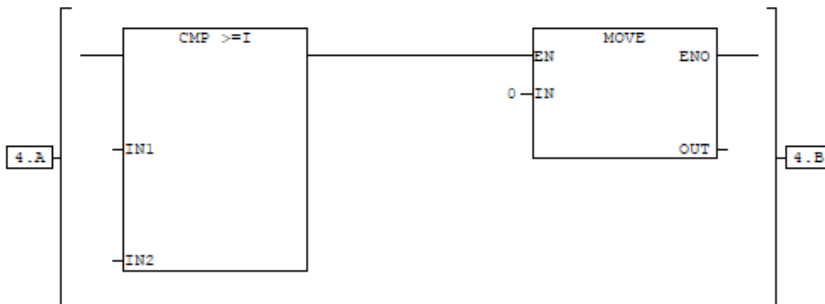
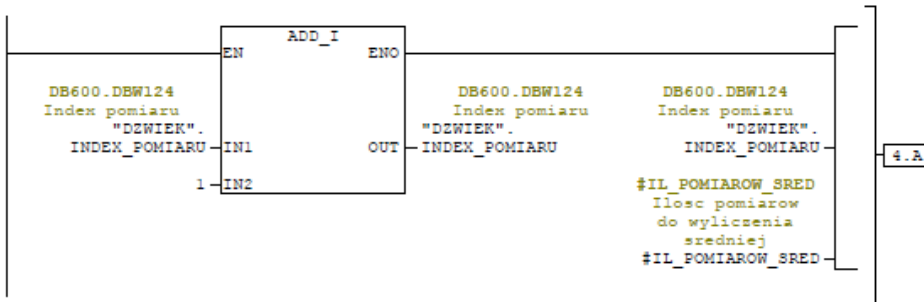
Network: 2 KONWERSJA MOCY CZYNNEJ Z INTEGER NA REAL



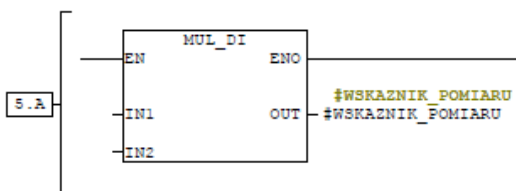
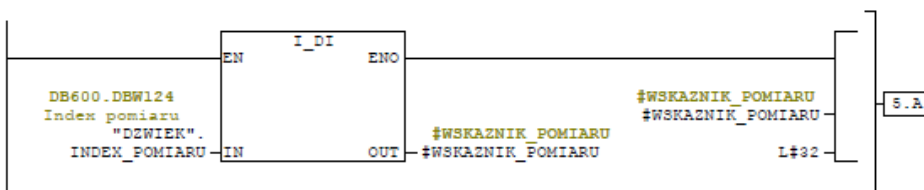
Network: 3 KOSZ 1, 2, 3



Network: 4 WSKAZNIK POMIAROW MOCY CZYNNEJ  
 Wskaznik nr pomiaru mocy czynnej do zapisu w bloku danych.  
 Index +1; jeśli Index>IL\_POMOROW\_SRED (ilosc pomiarow dla sredniej) to Index=0



Network: 5 PRZELICZENIE WSKAZNIKA POMIARU MOCY CZYNNEJ  
 Przeliczenie wskazanika z IND na DINT, a nastepnie na adres bitowy dla pomiarow w formacie REAL



Network: 6 Aktualizacja sumy i rejestru pomiarow

SUMA(n) = Aktualny pomiar - pierwszy pomiar w rejestrze + Suma(n-1)  
Nastepnie aktualny pomiar jest wpisywany w miejsce pierwszego pomiaru

```
// SUMA POMIAROW
L #MOC_AKT_REAL #MOC_AKT_REAL
L DBD [#WSKAZNIK_POMIARU] #WSKAZNIK_POMIARU
-R
L "DZWIEK".MOC_SUMA DB600.DBD120 -- Moc suma
+R
T "DZWIEK".MOC_SUMA DB600.DBD120 -- Moc suma

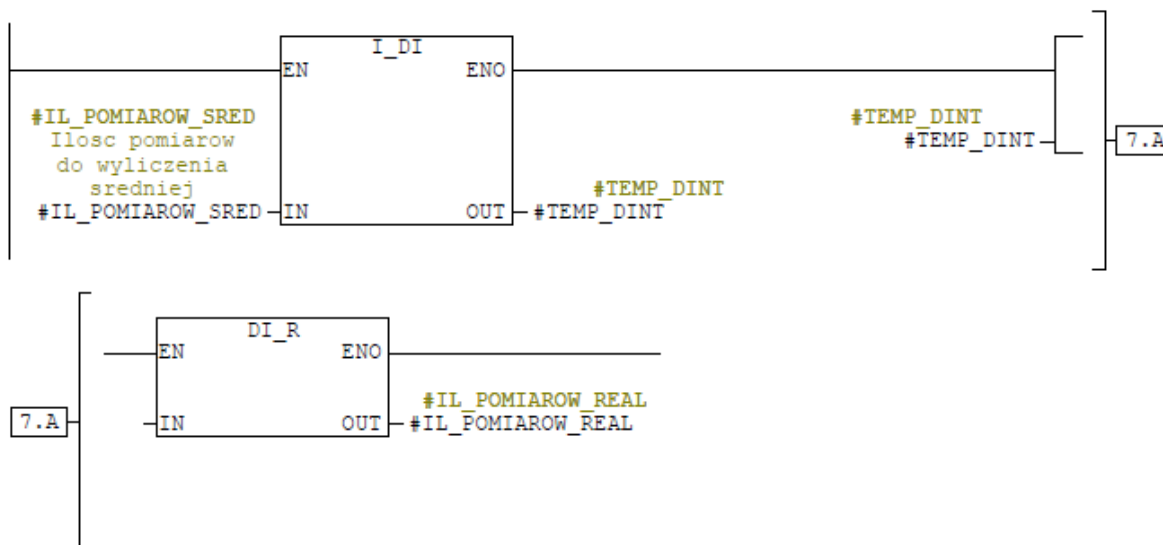
//SUMA KWADRATOW POMIAROW
L DBD [#WSKAZNIK_POMIARU] #WSKAZNIK_POMIARU
SQR
T #TEMP_REAL #TEMP_REAL

L #MOC_AKT_REAL #MOC_AKT_REAL
SQR
T #TEMP_REAL_1 #TEMP_REAL_1

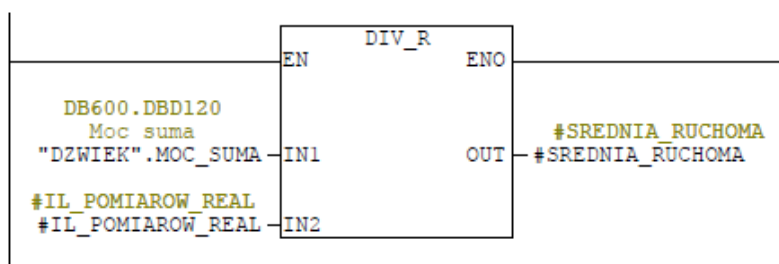
L #TEMP_REAL_1 #TEMP_REAL_1
L #TEMP_REAL #TEMP_REAL
-R
L "DZWIEK".MOC_SUMA_KWADRATOW DB600.DBD136 -- Moc suma kwadratow
+R
T "DZWIEK".MOC_SUMA_KWADRATOW DB600.DBD136 -- Moc suma kwadratow

//AKTUALNY POMIAR MOCY DO REJESTRU
L #MOC_AKT_REAL #MOC_AKT_REAL
T DBD [#WSKAZNIK_POMIARU] #WSKAZNIK_POMIARU
```

Network: 7 KONWERSJA ILOSCI POMIAROW NA REAL (POTRZEBNE DO OBLICZEN)



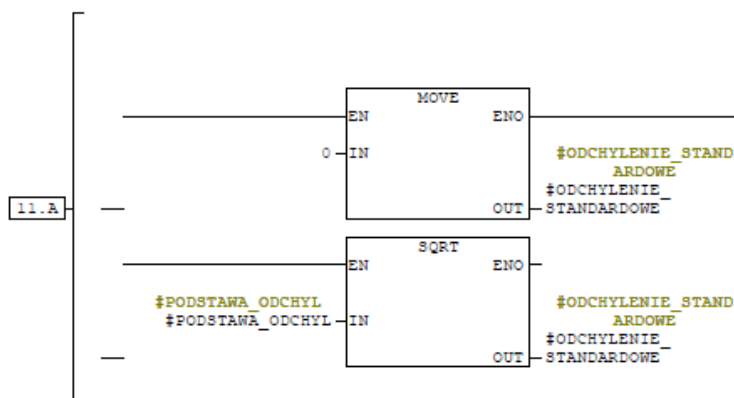
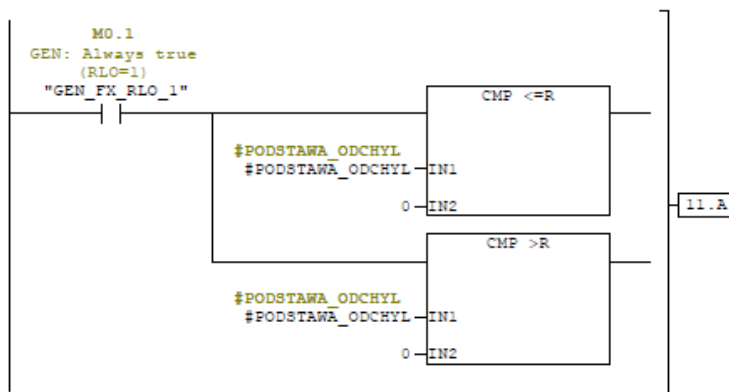
Network: 8 SREDNIA RUCHOMA



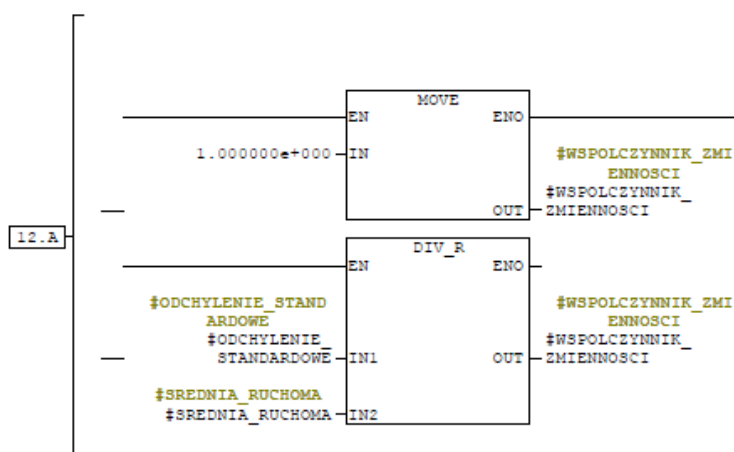
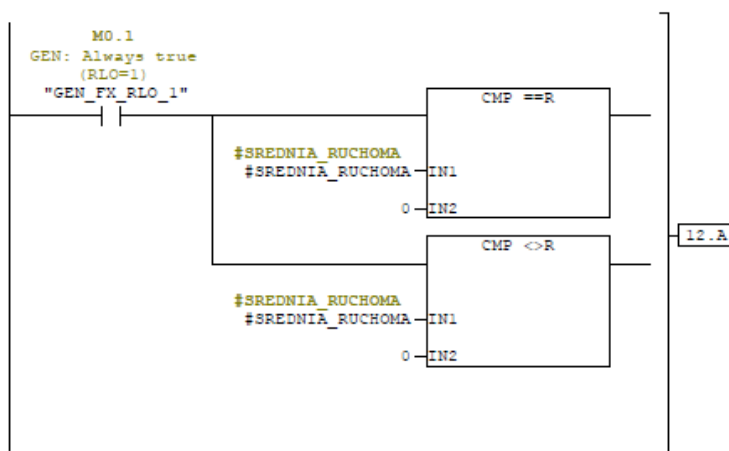




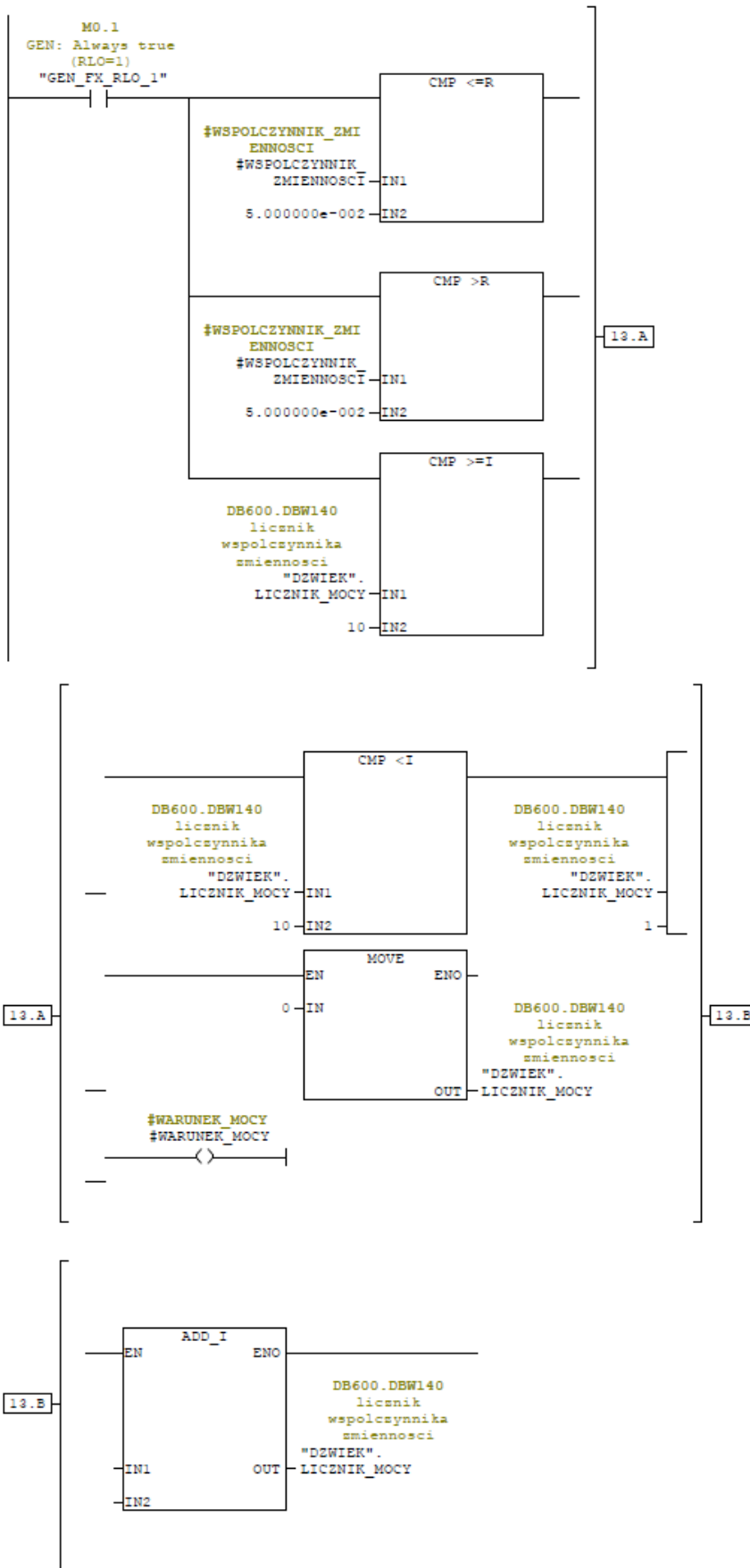
Network: 11 ODCHYLENIE STANDARDOWE

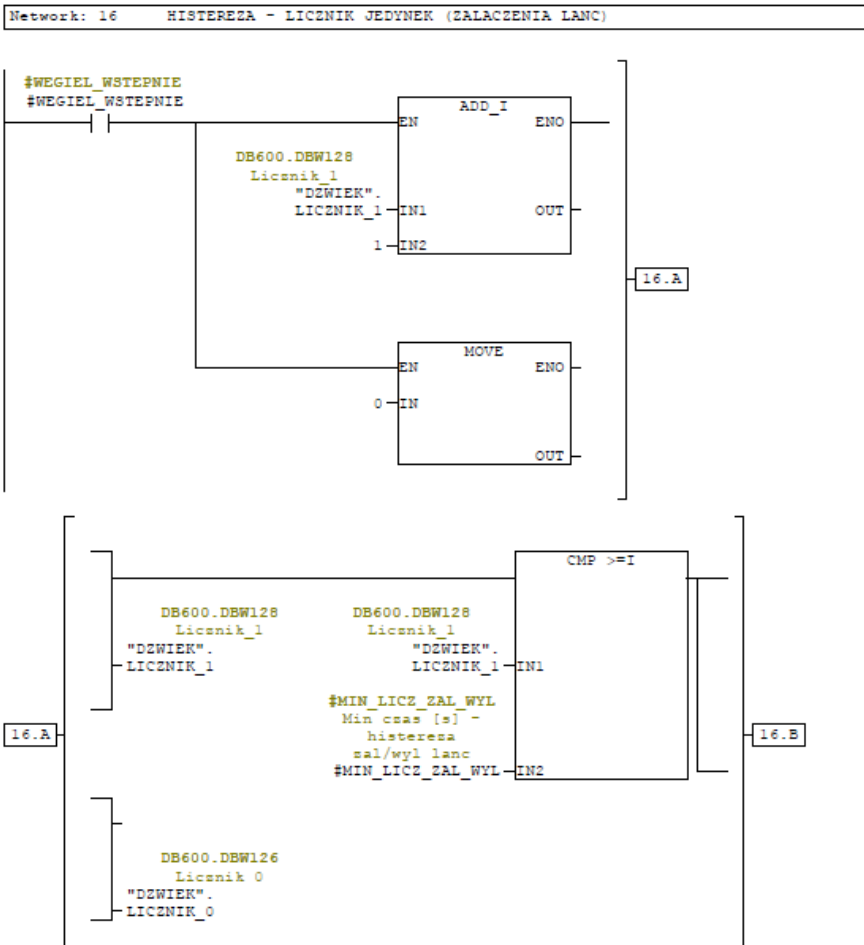
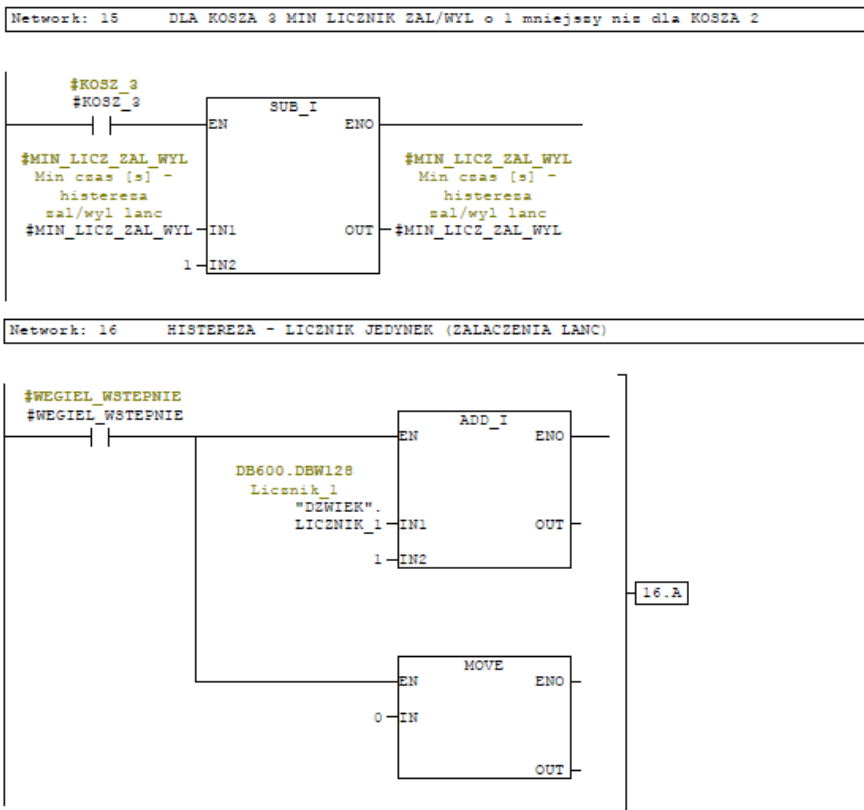
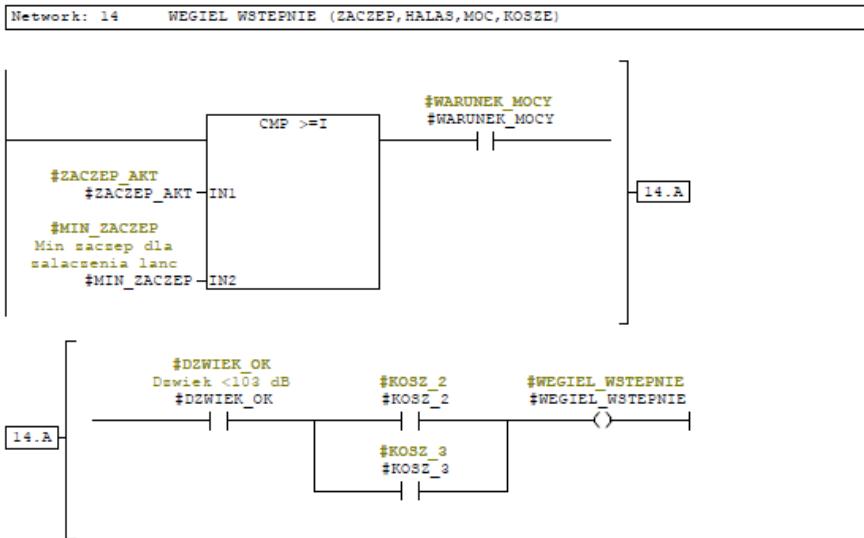


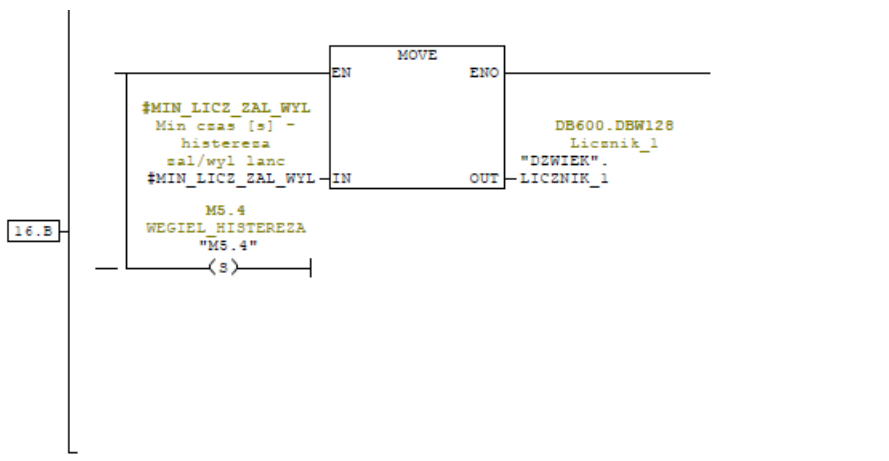
Network: 12 WSPOLCZYNNIK ZMIENNOSCI



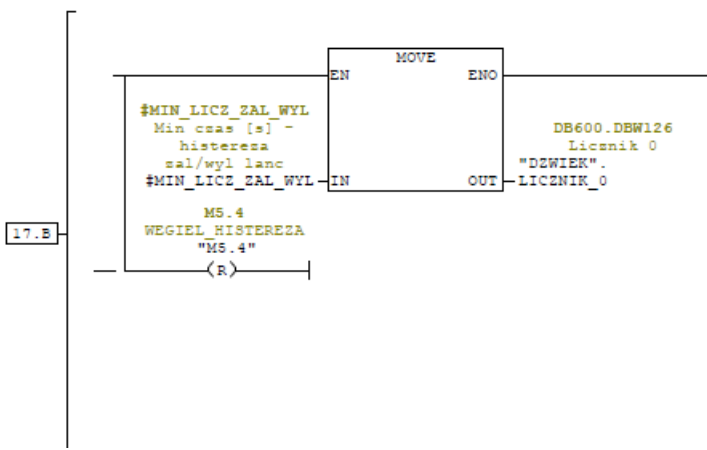
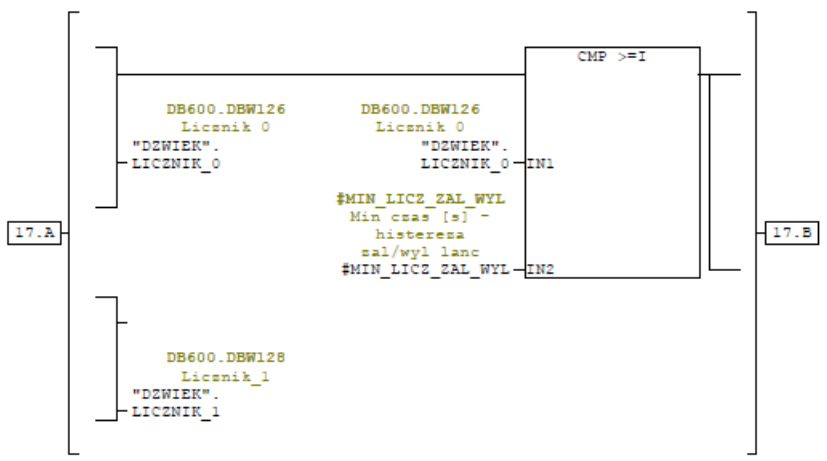
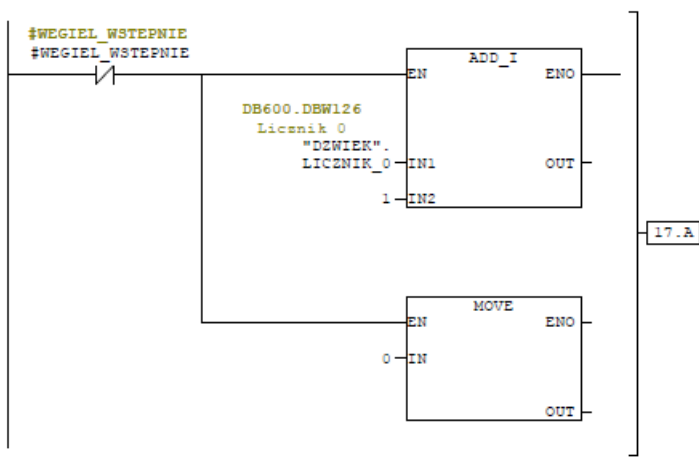
Network: 13 WEGIEL\_HISTERESA



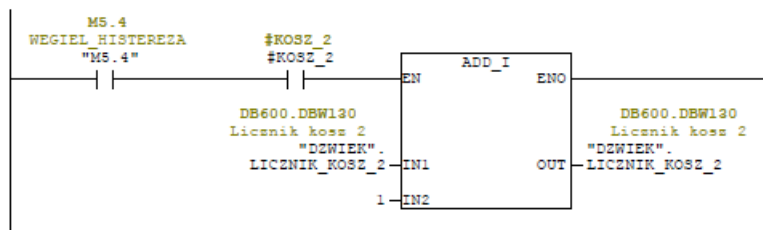




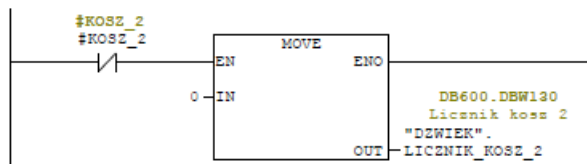
Network: 17 HISTEREZA - LICZNIK ZER (WYLACZENIA LANC)



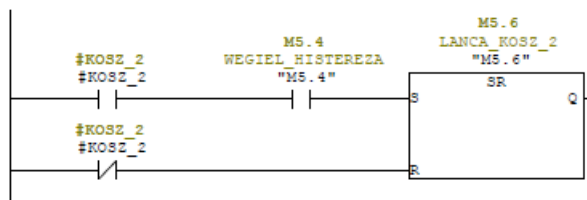
Network: 18 ZWIĘKSZANIE LICZNIKA KOSZA 2



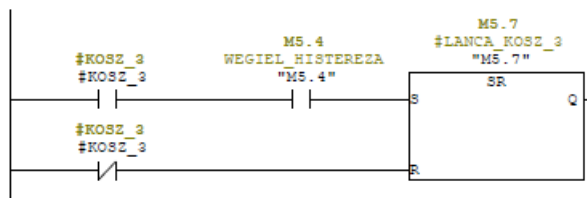
Network: 19 RESET LICZNIKA KOSZA 2



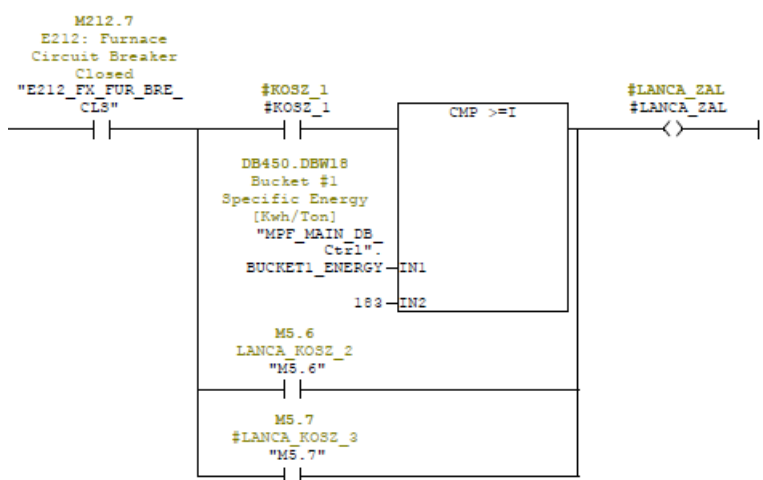
Network: 20 WARUNEK ZAŁACZENIA LANCI DLA KOSZA 3



Network: 21 WARUNEK ZAŁACZENIA LANCI DLA KOSZA 3



Network: 22 LANCE WYL/ZAL



## 11.3 Odbiorca I

Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022CN	131903
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,21	0,73	0,15	0,021	0,023	0,09	0,1	0,29	0,002	0,001	0,009	0,007	0,015	0,02	0,38	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
553	648	1,17	0,092	20,5		8,8	pozytyw	pozytyw						0,872	
551	650	1,18		22,2		9,8									
558	652	1,17		19,3		9,0									
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022DN	131904
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,72	0,16	0,018	0,032	0,09	0,1	0,28	0,002	0,001	0,009	0,007	0,014	0,02	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
569	673	1,18	0,084	21,3		8,7	pozytyw	pozytyw						0,876	
572	674	1,18		22,8		9,0									
579	678	1,17		16,3		8,1									
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022EN	131904
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,72	0,16	0,018	0,032	0,09	0,1	0,28	0,002	0,001	0,009	0,007	0,014	0,02	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
614	708	1,15	0,106	17,0		9,1	pozytyw	pozytyw						0,870	
616	714	1,16		16,0		8,1									
607	705	1,16		16,3		8,6									
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022FN	131905
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,73	0,18	0,017	0,035	0,09	0,1	0,32	0,002	0,001	0,009	0,008	0,018	0,03	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
572	673	1,18	0,084	20,3		9,8	pozytyw	pozytyw						0,876	
578	679	1,17		20,2		8,6									
571	673	1,18		16,3		8,2									
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8022GN	131905
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,73	0,18	0,017	0,035	0,09	0,1	0,32	0,002	0,001	0,009	0,008	0,018	0,03	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
610	708	1,16	0,071	20,7		8,6	pozytyw	pozytyw						0,880	
606	711	1,17		20,2		8,2									
613	716	1,17		20,3		8,1									

Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023BN	131922
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,21	0,77	0,15	0,027	0,032	0,11	0,1	0,39	0,003	0,001	0,01	0,008	0,019	0,02	0,4	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
557	644	1,16	0,079	20,7		9,8	pozytywny	pozytywny					0,880		
592	683	1,15		16,2		8,5									
579	675	1,17		19,3		9,3									
Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023CN	131922
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,21	0,77	0,15	0,027	0,032	0,11	0,1	0,39	0,003	0,001	0,01	0,008	0,019	0,02	0,4	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
587	678	1,16	0,097	19,7		9,3	pozytywny	pozytywny					0,886		
588	674	1,15		20,2		8,9									
581	665	1,15		22,3		9,4									
Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023DN	131923
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,21	0,72	0,17	0,025	0,031	0,09	0,11	0,38	0,002	0,001	0,009	0,008	0,023	0,02	0,39	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
598	698	1,17	0,090	18,0		8,7	pozytywny	pozytywny					0,888		
600	691	1,15		19,7		9,2									
568	659	1,16		19,0		8,8									
Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023EN	131923
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,21	0,72	0,17	0,025	0,031	0,09	0,11	0,38	0,002	0,001	0,009	0,008	0,023	0,02	0,39	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
570	665	1,17	0,095	21,0		9,4	pozytywny	pozytywny					0,888		
576	663	1,15		19,0		8,5									
567	673	1,19		17,0		9,6									
Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023IN	131924
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,73	0,14	0,027	0,038	0,08	0,1	0,33	0,002	0,001	0,008	0,008	0,018	0,02	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
619	714	1,15	0,095	20,2		9,3	pozytywny	pozytywny					0,886		
596	697	1,17		19,0		9,0									
620	712	1,15		20,5		8,4									
Pręt zebrowany fi 12 B500SP														8023HN	131924
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,73	0,14	0,027	0,038	0,08	0,1	0,33	0,002	0,001	0,008	0,008	0,018	0,02	0,37	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginanie 20° Rebend test	Temp [°C]	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass		
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]				Praca łamania / Energy			[kg/m]		
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
543	640	1,18	0,082	21,5		9,3	pozytywny	pozytywny					0,884		
600	695	1,16		18,7		8,7									
603	704	1,17		20,5		8,7									



Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8025PN	132045
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,7	0,16	0,021	0,03	0,06	0,1	0,3	0,002	0,001	0,01	0,008	0,018	0,02	0,36	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
568	670	1,18	0,082	19,8		8,9	pozytywny	pozytywny						1,542	
576	675	1,17		18,8		9,3									
575	676	1,18		19,6		8,7									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8025RN	132045
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,7	0,16	0,021	0,03	0,06	0,1	0,3	0,002	0,001	0,01	0,008	0,018	0,02	0,36	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
579	675	1,16	0,062	17,9		8,1	pozytywny	pozytywny						1,574	
589	681	1,16		18,8		8,2									
583	673	1,15		20,8		8,1									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8025NN	132046
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,69	0,16	0,023	0,036	0,08	0,1	0,31	0,002	0,001	0,009	0,008	0,014	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
573	673	1,18	0,082	16,9		8,5	pozytywny	pozytywny						1,578	
566	676	1,19		16,6		9,3									
576	677	1,18		16,4		8,7									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8025ON	132046
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,69	0,16	0,023	0,036	0,08	0,1	0,31	0,002	0,001	0,009	0,008	0,014	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
577	673	1,17	0,087	19,9		8,0	pozytywny	pozytywny						1,556	
581	678	1,17		18,9		8,4									
589	683	1,16		19,4		8,6									
Pręt zębrowany fi 10 B500SP														8049LN	132047
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,74	0,16	0,025	0,034	0,1	0,1	0,33	0,002	0,001	0,009	0,009	0,157	0,01	0,38	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
585	692	1,18	0,079	21,8		8,7	pozytywny	pozytywny						0,616	
581	685	1,18		24,2		9,4									
595	690	1,16		21,4		8,4									
Pręt zębrowany fi 10 B500SP														8049MN	132047
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,74	0,16	0,025	0,034	0,1	0,1	0,33	0,002	0,001	0,009	0,009	0,157	0,01	0,38	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
571	672	1,18	0,08	23,6		8,4	pozytywny	pozytywny						0,614	
542	656	1,21		21,2		10,6									
547	664	1,21		25,4		11,9									

Pręt zębrowany fi 16 B500SP														80253N	132063
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,72	0,17	0,016	0,016	0,07	0,11	0,27	0,001	0,001	0,01	0,007	0,015	0,02	0,36	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
562	676	1,20	0,077	20,8		8,0	pozytyw	pozytyw						1,572	
567	676	1,19		20,1		80,0									
563	678	1,20		20,6		9,0									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														80254N	132063
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,2	0,72	0,17	0,016	0,016	0,07	0,11	0,27	0,001	0,001	0,01	0,007	0,015	0,02	0,36	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
620	717	1,16	0,081	19,4		8,0	pozytyw	pozytyw						1,576	
614	714	1,16		18,0		8,8									
622	722	1,16		16,4		8,0									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														80255N	132064
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,72	0,16	0,017	0,018	0,07	0,1	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,014	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
562	676	1,20	0,073	20,3		9,2	pozytyw	pozytyw						1,57	
559	674	1,21		20,9		9,3									
553	676	1,20		19,8		9,3									
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														80256N	132064
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,72	0,16	0,017	0,018	0,07	0,1	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,014	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
619	718	1,16	0,072	18,4		8,4	pozytyw	pozytyw						1,576	
619	720	1,16		19,6		8,5									
620	723	1,17		18,4		8,9									
Pręt zębrowany fi 12 B500SP														80569N	132065
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,71	0,15	0,018	0,029	0,07	0,09	0,28	0,002	0,001	0,01	0,008	0,015	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
553	658	1,19	0,076	22,7		9,5	pozytyw	pozytyw						0,880	
559	659	1,18		17,5		9,1									
547	658	1,20		17,7		8,9									
Pręt zębrowany fi 12 B500SP														8056AN	132065
Skład chemiczny / Chemical composition [%]															
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV	
0,19	0,71	0,15	0,018	0,029	0,07	0,09	0,28	0,002	0,001	0,01	0,008	0,015	0,02	0,35	
Właściwości mechaniczne / Mech. properties															
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass			
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]			
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]			
593	686	1,16	0,085	18,7		9,2	pozytyw	pozytyw						0,880	
588	683	1,16		17,8		10,0									
592	686	1,16		20,0		9,9									

Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057NN		132082	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,71	0,19	0,016	0,03	0,08	0,1	0,29	0,001	0,001	0,009	0,008	0,016	0,01	0,36			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
565	671	1,19	0,084	22,0		10,1	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,888				
575	677	1,18		19,2		9,3											
573	672	1,18		19,7		9,7											
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057ON		132082	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,71	0,19	0,016	0,03	0,08	0,1	0,29	0,001	0,001	0,009	0,008	0,016	0,01	0,36			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
576	670	1,16	0,069	22,8		9,6	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,888				
575	667	1,16		22,3		10,3											
571	670	1,17		20,2		9,9											
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057RN		132083	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,19	0,72	0,16	0,018	0,032	0,1	0,09	0,3	0,002	0,001	0,01	0,007	0,014	0,02	0,36			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
565	671	1,19	0,084	22,0		10,1	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,888				
575	677	1,18		19,2		9,3											
573	675	1,18		19,7		9,7											
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057SN		132083	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,19	0,72	0,16	0,018	0,032	0,1	0,09	0,3	0,002	0,001	0,01	0,007	0,014	0,02	0,36			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
570	673	1,18	0,091	17,5		10,7	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,888				
570	677	1,19		20,0		10,2											
571	675	1,18		21,3		10,0											
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057FN		132084	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,19	0,74	0,17	0,018	0,024	0,1	0,09	0,28	0,002	0,001	0,01	0,008	0,013	0,02	0,36			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
542	642	1,19	0,1	20,7		11,0	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,080				
538	641	1,19		22,8		10,6											
542	642	1,18		24,7		10,8											

Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057VN		132085		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,19	0,018	0,029	0,08	0,1	0,36	0,002	0,001	0,01	0,009	0,024	0,02	0,37				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
584	690	1,18	0,089	19,7		9,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,870					
583	687	1,18		17,2		9,8												
583	688	1,18		17,8		9,8												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8057UN		132085		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,19	0,018	0,029	0,08	0,1	0,36	0,002	0,001	0,01	0,009	0,024	0,02	0,37				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
599	687	1,15	0,091	20,3		8,4	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	0,888					
601	688	1,15		20,2		8,4												
602	689	1,15		20,5		8,5												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														83841N		135147		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,71	0,15	0,016	0,03	0,07	0,11	0,28	0,002	0,001	0,009	0,008	0,019	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
566	655	1,16	0,078	24,6		9,0	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,570					
556	649	1,17		20,8		10,6												
557	652	1,17		22,6		9,9												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														83842N		135147		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,71	0,15	0,016	0,03	0,07	0,11	0,28	0,002	0,001	0,009	0,008	0,019	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
536	623	1,16	0,075	23,8		9,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,562					
535	623	1,17		39,2		18,0												
530	619	1,17		31,5		8,7												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														83851N		135148		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,7	0,15	0,016	0,029	0,1	0,11	0,25	0,002	0,001	0,009	0,007	0,023	0,03	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
576	663	1,15	0,075	22,1		8,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,530					
573	662	1,16		19,5		8,1												
572	665	1,16		18,0		8,3												

Pręt żebrowany fi 16 B500SP														83853N		135149		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,72	0,15	0,018	0,031	0,08	0,1	0,25	0,002	0,001	0,009	0,007	0,019	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
547	644	1,18	0,075	26,7		8,7	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]		1,542				
544	641	1,18		20,5		8,3												
547	644	1,18		18,9		8,4												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														83854N		135149		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,72	0,15	0,018	0,031	0,08	0,1	0,25	0,002	0,001	0,009	0,007	0,019	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
571	660	1,16	0,069	20,0		8,0	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]		1,580				
576	664	1,15		20,4		8,2												
575	662	1,15		19,2		8,2												
Pręt żebrowany fi 12 B500B														8372FN		135150		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,15	0,018	0,031	0,07	0,11	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,023	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
585	675	1,15	0,089		12,8	7,4	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]		0,860				
581	672	1,16			23,4	17,2												
568	673	1,18			13,1	8,5												
Pręt żebrowany fi 12 B500B														8372GN		135150		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,15	0,018	0,031	0,07	0,11	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,023	0,02	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
532	610	1,15	0,094		21,1	14,6	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]		0,884				
525	611	1,16			20,2	13,3												
528	608	1,15			24,6	17,4												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8456HN		135409		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,22	0,72	0,18	0,022	0,021	0,07	0,1	0,27	0,002	0,001	0,008	0,009	0,027	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
571	664	1,16	0,061	21,5		8,4	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]		0,880				
550	661	1,20		28,6		8,7												
562	663	1,18		25,3		9,0												

Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8456JN		135410		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,74	0,16	0,021	0,018	0,09	0,12	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,025	0,03	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]						
555	655	1,18	0,088	16,9		8,2	pozytyw	pozytyw				0,082						
553	658	1,19		17,1		8,4												
566	657	1,16		19,8		8,3												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8456KN		135410		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,74	0,16	0,021	0,018	0,09	0,12	0,27	0,002	0,001	0,009	0,008	0,025	0,03	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]						
598	691	1,16	0,061	24,8		8,6	pozytyw	pozytyw				0,880						
595	690	1,16		20,8		8,1												
597	691	1,16		20,8		8,3												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8456PN		135411		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,72	0,17	0,019	0,021	0,11	0,15	0,23	0,002	0,001	0,01	0,007	0,023	0,04	0,39				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]						
547	659	1,20	0,075	18,2		9,5	pozytyw	pozytyw				0,880						
552	650	1,18		23,2		8,6												
566	663	1,17		21,5		9,3												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														8456RN		135411		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,72	0,17	0,019	0,021	0,11	0,15	0,23	0,002	0,001	0,01	0,007	0,023	0,04	0,39				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]						
596	687	1,15	0,082	23,2		8,6	pozytyw	pozytyw				0,880						
598	692	1,16	0,082	28,1		8,3												
571	683	1,20	0,082	24,8		9,6												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														84565N		135412		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,72	0,16	0,017	0,025	0,1	0,13	0,25	0,002	0,001	0,008	0,007	0,028	0,04	0,37				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]						
551	643	1,17	0,091	31,8		8,8	pozytyw	pozytyw				0,860						
563	670	1,19		19,4		8,1												
549	669	1,22		20,6		9,1												

Pręt żebrowany fi 12 B500SP														84567N		135413		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,14	0,019	0,03	0,08	0,12	0,25	0,002	0,002	0,008	0,007	0,031	0,03	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
580	666	1,15	0,088	19,7		9,5	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]				0,888		
574	665	1,16		26,0		8,3												
577	665	1,15		19,3		8,6												
Pręt żebrowany fi 12 B500SP														84568N		135413		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,7	0,14	0,019	0,03	0,08	0,12	0,25	0,002	0,002	0,008	0,007	0,031	0,03	0,36				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
554	646	1,17	0,088	21,0		8,6	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]				0,878		
550	641	1,16		19,8		8,1												
566	651	1,15		20,1		8,6												
Pręt żebrowany fi 10 B500SP														84513N		135430		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,75	0,14	0,021	0,024	0,06	0,1	0,28	0,002	0,001	0,008	0,007	0,02	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
550	660	1,20	0,084	20,8		8,5	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]				0,616		
556	667	1,20		19,1		8,1												
569	665	1,17		18,8		8,3												
Pręt żebrowany fi 10 B500SP														84514N		135430		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,75	0,14	0,021	0,024	0,06	0,1	0,28	0,002	0,001	0,008	0,007	0,02	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
589	657	1,17	0,079	20,3		8,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]				0,614		
598	700	1,17		27,7		9,2												
587	696	1,19		22,1		8,7												
Pręt żebrowany fi 10 B500SP														85102N		135431		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,72	0,15	0,021	0,029	0,07	0,08	0,28	0,002	0,001	0,008	0,007	0,016	0,01	0,37				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]					
564	685	1,21	0,087	18,4		8,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]				0,616		
590	686	1,16		21,2		8,8												
561	663	1,18		19,2		8,4												

Pręt żebrowany fi 16 B500SP														8519KN		135772	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,73	0,18	0,02	0,031	0,13	0,11	0,3	0,002	0,001	0,009	0,007	0,024	0,03	0,38			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
541	642	1,19	0,078	16,2		8,3	pozytywny	pozytywny						1,576			
539	641	1,19		17,5		8,3											
547	647	1,18		24,6		9,0											
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														8519LN		135772	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,73	0,18	0,02	0,031	0,13	0,11	0,3	0,002	0,001	0,009	0,007	0,024	0,03	0,38			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
570	662	1,16	0,079	21,6		8,5	pozytywny	pozytywny						1,576			
566	662	1,17		25,2		8,4											
573	663	1,16		23,2		8,3											
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														8519GN		135773	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,18	0,017	0,026	0,09	0,14	0,37	0,002	0,001	0,01	0,007	0,028	0,03	0,39			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
558	647	1,16	0,072	21,4		8,9	pozytywny	pozytywny						1,564			
561	649	1,16		24,5		8,0											
560	647	1,16		18,3		8,5											
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														8519HN		135773	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,18	0,017	0,026	0,09	0,14	0,37	0,002	0,001	0,01	0,007	0,028	0,03	0,39			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
580	679	1,17	0,060	24,5		8,8	pozytywny	pozytywny						1,578			
584	677	1,16		30,1		9,3											
586	678	1,16		24,9		8,4											
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														8519MN		135774	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,74	0,15	0,015	0,018	0,08	0,11	0,26	0,002	0,001	0,009	0,007	0,022	0,02	0,37			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginięcie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]					
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
544	643	1,18	0,075	23,1		8,8	pozytywny	pozytywny						1,580			
548	649	1,18		20,4		8,7											
547	646	1,18		18,2		8,3											



Pręt żebrowany fi 16 B500SP														85205N		135906		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,73	0,15	0,022	0,027	0,06	0,09	0,34	0,003	0,003	0,009	0,005	0,021	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
528	632	1,20	0,075	18,1		8,9	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,576					
523	628	1,20		19,5		8,4												
526	631	1,20		27,2		9,4												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														85206N		135906		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,73	0,15	0,022	0,027	0,06	0,09	0,34	0,003	0,003	0,009	0,005	0,021	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
544	637	1,17	0,077	21,1		8,8	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,586					
546	638	1,17		24,1		8,3												
545	639	1,17		26,3		9,1												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														85207N		135907		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,74	0,15	0,028	0,02	0,09	0,09	0,32	0,003	0,003	0,01	0,004	0,021	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
517	616	1,19	0,083	19,6		8,3	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,562					
522	621	1,19		20,8		8,9												
531	618	1,16		19,0		8,7												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														85208N		135907		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,21	0,74	0,15	0,028	0,02	0,09	0,09	0,32	0,003	0,003	0,01	0,004	0,021	0,02	0,38				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
582	677	1,16	0,080	23,7		8,1	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,562					
582	677	1,16		22,8		8,6												
576	673	1,17		24,2		8,3												
Pręt żebrowany fi 16 B500SP														85209N		135908		
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																		
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV				
0,2	0,71	0,16	0,019	0,024	0,07	0,11	0,32	0,003	0,003	0,011	0,004	0,019	0,03	0,37				
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																		
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90°	Odginanie 20°	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass						
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]	Bend test	Rebend test	Temp [°C]	Praca łamania / Energy		[kg/m]						
524	621	1,18	0,080	23,0		8,8	pozytyw	pozytyw		KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]	1,568					
533	627	1,18		25,0		9,6												
530	626	1,18		23,9		8,9												

Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8520AN		135908	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,2	0,71	0,16	0,019	0,024	0,07	0,11	0,32	0,003	0,003	0,011	0,004	0,019	0,03	0,37			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
580	674	1,16	0,077	25,0		8,5	pozytyw	pozytyw							1,576		
582	678	1,16		22,9		8,9											
582	676	1,16		23,2		8,2											
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8520BN		135909	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,15	0,018	0,027	0,06	0,09	0,3	0,003	0,003	0,01	0,004	0,024	0,02	0,37			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
517	617	1,19	0,077	21,3		9,5	pozytyw	pozytyw							1,564		
520	619	1,19		20,1		9,4											
520	618	1,19		24,4		9,8											
Pręt zębrowany fi 16 B500SP														8520CN		135909	
Skład chemiczny / Chemical composition [%]																	
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al.	N	As	Sn	Mo	CEV			
0,21	0,73	0,15	0,018	0,027	0,06	0,09	0,3	0,003	0,003	0,01	0,004	0,024	0,02	0,37			
Właściwości mechaniczne / Mech. properties																	
Re	Rm	Rm/Re	fR	A5	A10	Agt	Zginanie 90° Bend test	Odginięcie 20° Rebend test	Udarność / Impact Strength			Masa / Mass					
[MPa]	[MPa]	[MPa]		[%]	[%]	[%]			Temp [°C]	Praca łamania / Energy			[kg/m]				
										KV[J]	KV300/5[J]	KV300/7,5[J]					
599	690	1,15	0,074	23,2		8,1	pozytyw	pozytyw							1,568		
583	678	1,16		25,8		8,2											
586	679	1,16		21,1		8,3											

## 11.4 Odbiorca II

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/131844	020	0.24	1.41	0.390	0.020	0.022	0.27	0.090	0.31	0.020	0.003	0.083	0.002	0.000	0.002	0.576	0.36

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/131845	020	0.24	1.45	0.420	0.020	0.018	0.28	0.100	0.36	0.020	0.003	0.083	0.002	0.000	0.002	0.588	0.36

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/131846	020	0.24	1.42	0.400	0.019	0.028	0.26	0.100	0.31	0.010	0.002	0.082	0.002	0.000	0.002	0.574	0.36

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/131847	020	0.24	1.41	0.390	0.018	0.021	0.27	0.120	0.31	0.020	0.002	0.081	0.002	0.000	0.002	0.577	0.36

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133202	020	0.21	1.23	0.420	0.020	0.017	0.27	0.110	0.31	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.001	0.516	0.32

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133203	020	0.22	1.24	0.390	0.020	0.021	0.27	0.100	0.29	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.002	0.526	0.33

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133204	020	0.21	1.22	0.430	0.019	0.028	0.25	0.100	0.30	0.020	0.002	0.077	0.002	0.000	0.001	0.509	0.32

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133223	020	0.22	1.27	0.420	0.023	0.015	0.28	0.110	0.30	0.020	0.002	0.078	0.002	0.000	0.002	0.534	0.33

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133224	020	0.21	1.26	0.390	0.022	0.014	0.27	0.100	0.30	0.020	0.002	0.078	0.002	0.000	0.002	0.520	0.32

Nr wytopu	Gat. stali	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V	Ti	N2	Nb	CEV	CEpcm
22/133225	020	0.21	1.26	0.370	0.021	0.026	0.26	0.100	0.34	0.020	0.002	0.078	0.002	0.000	0.002	0.520	0.32

Nr wytopu	Data wytopu	Opis materiału	Re	Rm	A%	Oznaczenie ud.	Śr. ud.
22/131844	10.03.2022	V-32	600,00	768,00	18,40	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	87,0
22/131845	09.03.2022	V-32	602,00	800,00	17,20	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	101,0
22/131846	10.03.2022	V-32	626,00	772,00	20,30	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	78,0
22/131847	10.03.2022	V-32	605,00	772,00	18,00	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	114,0

Nr wytopu	Data wytopu	Opis materiału	Re	Rm	A%	Oznaczenie ud.	Śr. ud.
22/133203	02.02.2022	V-32	576,00	703,00	23,30	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	97,0
22/133204	02.02.2022	V-32	595,00	724,00	18,40	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	70,0
22/133202	02.02.2022	V-32	577,00	697,00	24,30	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	80,0

Nr wytopu	Data wytopu	Opis materiału	Re	Rm	A%	Oznaczenie ud.	Śr. ud.
22/133223	12.01.2022	V-32	582,00	722,00	21,50	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	113,0
22/133224	12.01.2022	V-32	572,00	708,00	21,10	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	73,0
22/133225	02.02.2022	V-32	587,00	715,00	20,90	KCU2A (J/cm <sup>2</sup> )	88,0

## 11.5 Odbiorca III

**ŚWIADECTWO ODBIORU - 3.1****INSPECTION CERTIFICATE**

WB-20220000664 (362258)

PN-EN 10204 / PN-EN 10168  
Data wysyłki: 07.02.2022 10:12:32Producent / Producer  
Cognor S.A. 42-360 Poraj ul. Zielona 26  
Oddział Ferrostal Łabędy w Zawierciu  
42-400 Zawiercie ul. Okólna 10

Zamawiający / Purchaser

Adres wysyłki / Address

Nr zamówienia klienta / Purchase Order No.  
**244491**Nr wysyłki / Load List No.  
**269988**Nr ZZ klienta / ZZ No.  
**95128702**Nr samochodu.  
**WND98643**Nr dokumentu  
**362258****Płaskownik 30x5 S235JR 6m**NR. WYTOPU: **133243** NR. PARTII: **779006N**PACZEK: **9** SUMA WAG: **23,262**

B01 Wyrób / product

długość / length

B14

Heat no. B07

Lot batch no.

bundles pcs B15

weight sum B13

Analiza chemiczna / Chemical analysis [%]

C11 - C22

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	As	N	CEV	NB	B
0,14	0,50	0,16	0,018	0,008	0,07	0,10	0,28	0,02	0,002	0,001	0,002	0,006	0,009	0,27	0,001	

Wyniki Badania Prób / Testing results

C11	C12	C13	s	Z	HB	UDARNOŚĆ / Impact Strenght	ZGINANIE	SPECZANIE	ODWEŚLANIE
Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)			Hardness	(J)	Bending	Slug test	(mm)
336	454	36,1							
333	452	37,0							

Normy, tolerancje, aprobaty / Standards, tolerances, approvals: **PN-EN 10025-1:2007 PN-EN 10025-2:2019**  
Gatunek / Grade: **S235JR+AR** Norma wymiarowa: **PN-EN 10058 / PN-EN 10163-2:2007 kl. A**

Przewidywane zastosowanie : Konstr.metalowe lub w konstr.zespolonych metalowo-betonowych

Nr 1436-CPR-0010

Na podstawie przeprowadzonych badań uznano, że wykonany wyrób jest zgodny z zamówieniem.  
On the basis of the test in has been recognized that the product conforms with the order requirements.Deklarujemy, że powyższy materiał nie wykazuje radioaktywności przekraczającej 0,1 Bq/g ekwiwalentu 60 Co.  
We declare, that above material does not display radiation exceeding 0,1 Bq/g 60Co equivalent.Powierzchnie i wymiary - sprawdzono zgodność z zamówieniem.  
Surface and dimensions - testet according to purchase order.

Zbadano przez KJ w 100% powierzchnia, wymiary, iskrowanie

Deklarujemy, że powyższy materiał jest zgodny z warunkami zamówienia

B01



*Urszula Wiejata*

Sprawdził(a): Urszula Wiejata

GŁÓWNY SPECJALISTA  
ds. Zarządzania Jakością

B05

*Jacek Cupiał*

Zatwierdził: Jacek Cupiał

**Plaskownik 30x5 S235JR 6m** NR. WYTOPU: 133244 NR. PARTII: 779201P PACZEK: 1 SUMA WAG: 2,332  
 B01 wyrób / product długość / length B14 Heat no. B07 Lot batch no. bundles pcs B15 weight sum B13

## Analiza chemiczna / Chemical analysis [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	As	N	CEV	NB	B
0,14	0,51	0,15	0,017	0,008	0,08	0,11	0,27	0,02	0,002	0,001	0,002	0,006	0,009	0,27	0,001	

## Wyniki Badania Prób / Testing results

Re [MPa]	Rm [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	HB Hardness	UDARNOŚĆ / Impact Strength [J]	ZGINANIE Bending	SPECZANIE Slug test	ODWĘGLANIE [mm]
337	461	37,8						
335	464	38,5						



Normy, tolerancje, aprobaty / Standards, tolerances, approvals: PN-EN 10025-1:2007 PN-EN 10025-2:2019

Gatunek / Grade: S235JR+AR Norma wymiarowa: PN-EN 10058 / PN-EN 10163-2:2007 kl. A

Przewidywane zastosowanie: Konstr.metalowe lub w konstr.zespolonych metalowo-betonowych

Nr 1436-CPR-0010

**Plaskownik 110x8 S355J2 8,05m** NR. WYTOPU: 132217 NR. PARTII: 789702P PACZEK: 1 SUMA WAG: 2,418  
 B01 wyrób / product długość / length B14 Heat no. B07 Lot batch no. bundles pcs B15 weight sum B13

## Analiza chemiczna / Chemical analysis [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	As	N	CEV	NB	B
0,18	1,17	0,22	0,020	0,003	0,07	0,09	0,26	0,01	0,027	0,018	0,003	0,006	0,010	0,41	0,001	

## Wyniki Badania Prób / Testing results

Re [MPa]	Rm [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	HB Hardness	UDARNOŚĆ / Impact Strength [J]	ZGINANIE Bending	SPECZANIE Slug test	ODWĘGLANIE [mm]
412	552	35,6			KV300/5 -20 °	I 76,00 Srednia II 96,00 93,33		
402	543	33,9						



Normy, tolerancje, aprobaty / Standards, tolerances, approvals: PN-EN 10025-1:2007 PN-EN 10025-2:2019

Gatunek / Grade: S355J2+AR Norma wymiarowa: PN-EN 10058 / PN-EN 10163-2:2007 kl. A

Przewidywane zastosowanie: Konstr.metalowe lub w konstr.zespolonych metalowo-betonowych

Nr 1436-CPR-0010

**Plaskownik 110x8 S355J2 8,05m** NR. WYTOPU: 132218 NR. PARTII: 789701P PACZEK: 9 SUMA WAG: 20,316  
 B01 wyrób / product długość / length B14 Heat no. B07 Lot batch no. bundles pcs B15 weight sum B13

## Analiza chemiczna / Chemical analysis [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	V	As	N	CEV	NB	B
0,18	1,16	0,20	0,020	0,009	0,09	0,10	0,30	0,02	0,025	0,018	0,003	0,007	0,010	0,42	0,001	

## Wyniki Badania Prób / Testing results

Re [MPa]	Rm [MPa]	A <sub>5</sub> [%]	Z [%]	HB Hardness	UDARNOŚĆ / Impact Strength [J]	ZGINANIE Bending	SPECZANIE Slug test	ODWĘGLANIE [mm]
386	550	29,1			KV -20 °	I 92,00 Srednia II 100,00 104,67		
381	548	30,1						



Normy, tolerancje, aprobaty / Standards, tolerances, approvals: PN-EN 10025-1:2007 PN-EN 10025-2:2019

Gatunek / Grade: S355J2+AR Norma wymiarowa: PN-EN 10058 / PN-EN 10163-2:2007 kl. A

Przewidywane zastosowanie: Konstr.metalowe lub w konstr.zespolonych metalowo-betonowych

Nr 1436-CPR-0010

11.6 Wskaźnik czystości K4

## SPRAWOZDANIE

NK-L2/ 125 /22

Zamawiający: NK

Przedmiot badania: próbki stali z wytopów 135772÷135774  
w gat. B500SP

Zadania: określenie czystości K4 pręta  
żebrowanego.

Wykonano:

1. Badania makroskopowe.
2. Badania mikroskopowe.
3. Wnioski.

Uwaga: - Wyniki badań odnoszą się wyłącznie do badanych obiektów.  
- Sprawozdanie nie może być powielane fragmentarycznie, lecz tylko w całości i wyłącznie na podstawie pisemnej zgody Kierownika Laboratorium

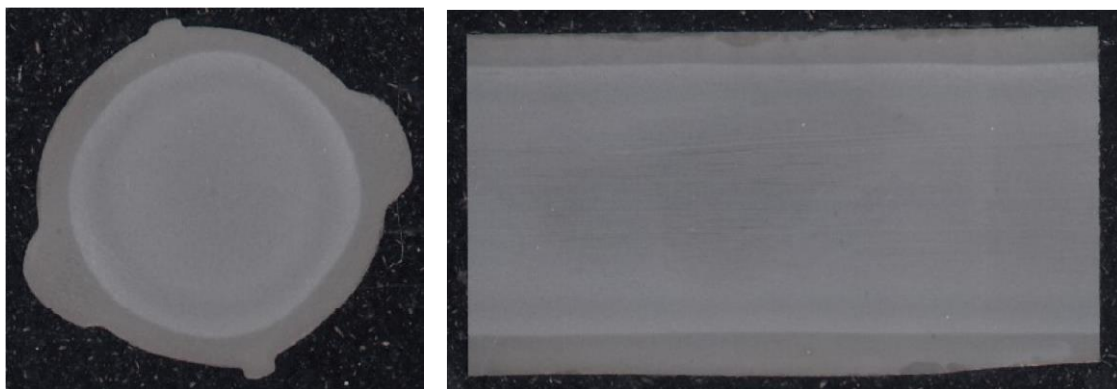
Badaniom poddano próbki pręta żebrowanego w gat. stali B500SP o przekroju poprzecznym  $\phi$  16 mm.

Dostarczono próbki z wytopów: 135772 (partie 8519KN i 8519LN), 135773 (partie 8519GN i 8519HN), 135774 (partie 8519MN i 8519NN),

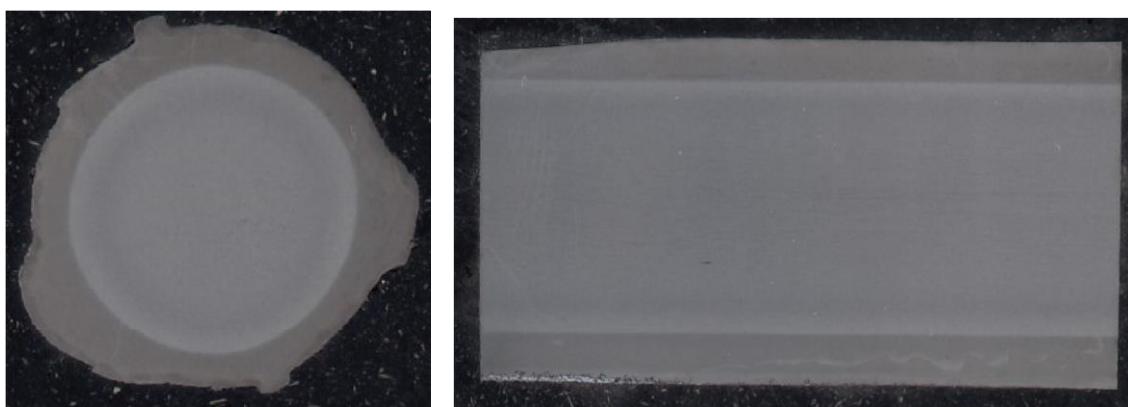
Próbki poddano badaniom makroskopowym i mikroskopowym.

## 1. Badania makroskopowe.

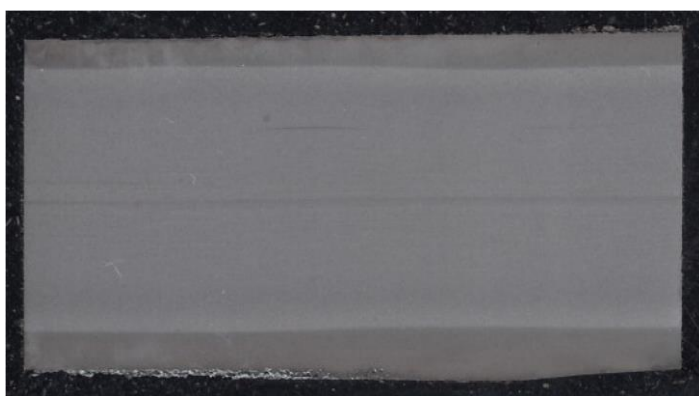
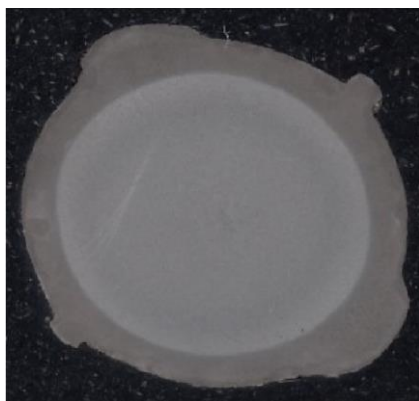
Na Fot.1 ÷ Fot.6 zgłądy do oceny makroskopowej próbek.



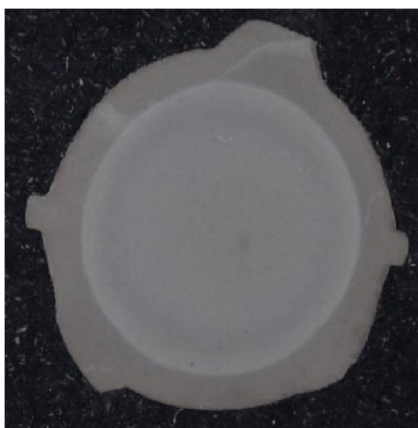
Fot.1 wyt.135772; partia 8519KN



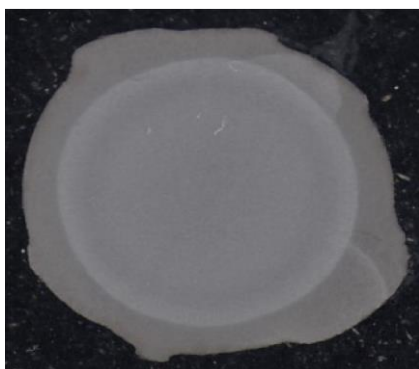
Fot.2 wyt.135772; partia 8519LN



Fot.3 wyt.135773; partia 8519GN

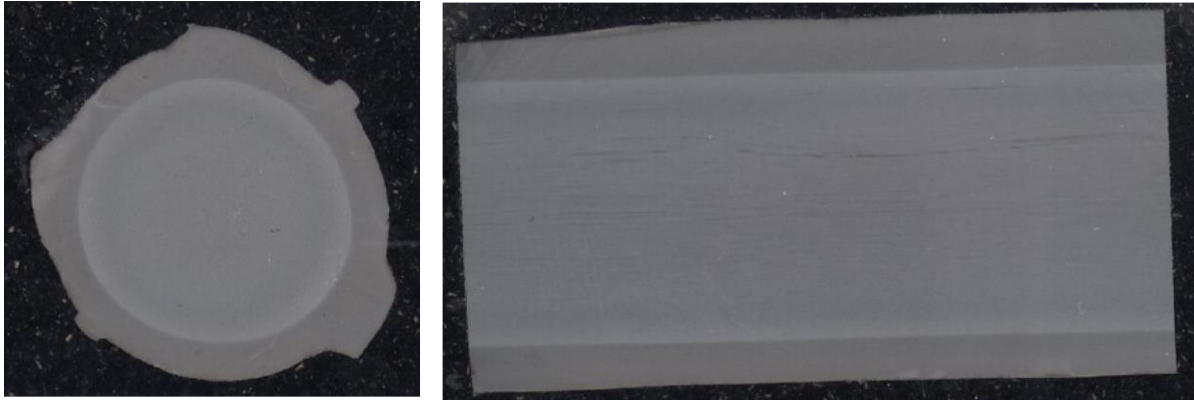


Fot.4 wyt.135773; partia 8519HN



Fot.5 wyt.135774; partia 8519MN

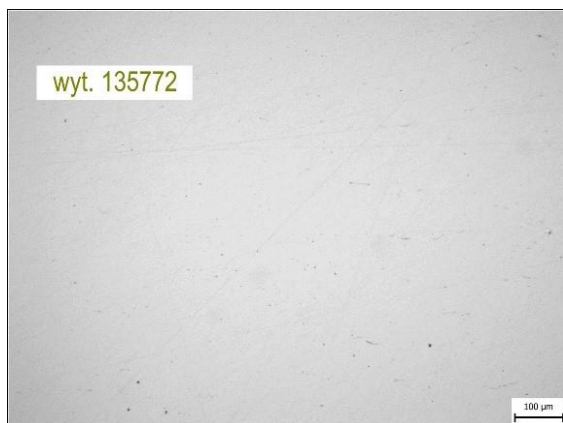




Fot.6 wyt.135774; partia 8519NN

## 1. Badania mikroskopowe.

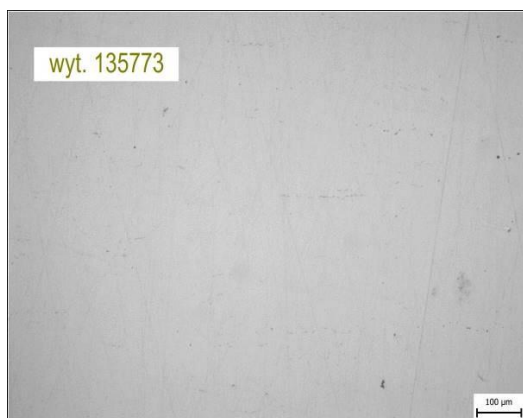
Na Fot.7 ÷ Fot.12 zgłady do oceny mikroskopowej próbek.  
Ocena czystości stali wg DIN 50602.



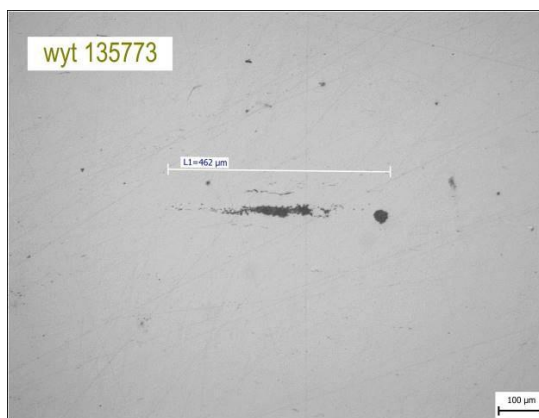
Fot.7 partia 8519KN K4 = 0,0



Fot.8 partia 8519LN K4 = 0,0



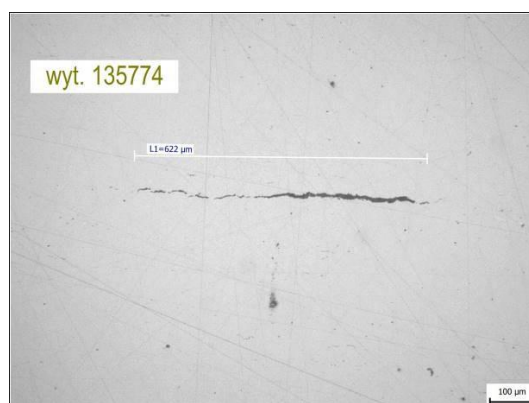
Fot.9 partia 8519GN K4 = 0,0



Fot.10 partia 8519HN K4 = 7,7



Fot.11 partia 8519MN K4 = 10,1



Fot.12 partia 8519NN K4 = 14,8

## 1. Wnioski

- 1.1 Wszystkie próby makroskopowe pokazują symetryczność występowania warstwy zahartowanej.
- 1.2 Poziom czystości K4 badanych próbek nie przekracza wartości 15 jednostek, wg DIN 50602. Dowodzi to dużej ich czystości wewnętrznej.
- 1.3 Stwierdzone wtrącenia są pochodzenia krzemianowego i ułożone są w osi pręta. Źródłem wtrąceń jest wyłożenie ceramiczne kadzi pośredniej, a szczególnie zasypka izolująco – ocieplająca lustro metalu. Jest to tzw. łuska ryżowa zawierająca w swoim składzie m.in. ponad 80% SiO<sub>2</sub>.

Podwyższona zawartość ilości wtrąceń w partiach 8519Mn i 8519NN – wytop 135774 jest związana z miejscem pobrania prób.

Ten wytop kończył odlewanie sekwencji złożonej z kilku wytopów i najprawdopodobniej próby pobrano, gdy poziom płynnej stali w kadzi pośredniej był niski.

- 1.4 Aprobaty Techniczne dopuszczające do eksploatacji gatunek stali B500SP nie wymagają przeprowadzania tego typu badań.

## 12. Streszczenie.

### 12.1 Streszczenie w języku polskim.

Ciągły nacisk odbiorców wyrobów stalowych na obniżenie cen zmusza wytwórców do poszukiwania nowych tańszych metod wytwarzania stali. Współcześni technologowie poszukują metod skrócenia czasu trwania procesu, obniżenia zużycia surowców, energii i innych mediów. Skupiają się już nie na całym procesie, ale na jego cząstkowych składowych.

W ramach tej pracy doktorskiej skoncentrowano się na procesie spieniania żużła, który jest bardzo ważnym etapem wytwarzania stali w elektrycznym piecu łukowym. Poprawne spienianie żużła przynosi bardzo wiele pozytywnych skutków:

- skrócenie czasu power on,
- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej,
- zmniejszenie zużycia materiałów ogniotrwałych,
- zmniejszenie zużycia samego speniacza.

Aby wszystkie zalety spieniania żużła mogły być wykorzystane musi ono rozpocząć się w odpowiednim momencie. Zbyt wczesne rozpoczęcie spowoduje uderzenie strugi speniacza w nieroztopiony złom, co doprowadzi do wyssania cząstek speniacza do odpylni. Zbyt późne podanie speniacza spowoduje duże straty ciepła i zwiększenie zużycia materiałów ogniotrwałych. Właśnie to wyznaczenie optymalnego momentu podawania speniacza stanowi główny cel tej pracy.

Wszystkie przeprowadzone badania, których celem było znalezienie tego momentu podzielono na cztery grupy:

- badania w celu wyznaczenia częstotliwości dźwięku, który emituje pracujący łuk elektryczny,
- badania w celu wyznaczenia wartości poziomu dźwięku, dla którego powinno się rozpocząć podawanie speniacza,
- badania w celu wyznaczenia wielkości współczynnika zmienności poboru mocy czynnej, poniżej której powinno się rozpocząć podawanie speniacza do pieca,
- przeprowadzenie wytopów przemysłowych w celu weryfikacji otrzymanych we wcześniejszych etapach wyników.

W celu przeprowadzenia badań opracowano kompleksowy układ pomiarowy, który wyposażony jest w miernik poziomu dźwięku typu SVAN971, mikrofon typu 7052E wraz z zabudowanym przedwzmacniaczem typu SV18 oraz w kontroler miernika poziomu dźwięku z oprogramowaniem do komunikacji z systemem sterowania piecem.

Na podstawie wielkości zarejestrowanych przez skonstruowany układ pomiarowy oraz danych zarejestrowanych przez system sterowania pieca stworzono wykresy przedstawiające przebieg wytopów.

Analiza tych wykresów oraz przeprowadzona analiza statystyczna pozwoliła na przypisanie poszukiwanym wielkością wartości przy których powinno rozpocząć się podawanie speniacza.

Następnie stworzono i zaimplementowano program do sterownika S7-300, który zawiera te wartości.

Rezultatem 48 przeprowadzonych wytopów badawczych było potwierdzenie tezy badawczej i skuteczność zastosowanej metody.

## 12.2 Streszczenie w języku angielskim

The continuous pressure from consumers of steel products to lower costs compels manufacturers to seek new, more cost-effective methods of steel production. Contemporary technologists are exploring ways to shorten process durations, reduce raw material consumption, lower energy usage, and minimize resource consumption. Their focus has shifted from the entire process to its individual components.

This doctoral dissertation centers on the slag foaming process, a critical stage in steel production within an electric arc furnace. Proper slag foaming yields several positive outcomes, including:

- Reduced power-on time
- Decreased electricity consumption
- Diminished use of refractory materials
- Decreased slag foaming agent consumption

To leverage these advantages, the slag foaming process must commence at the right moment. Starting too early leads to the foaming agent jet hitting unmelted scrap, causing the agent to be sucked into the dust collector. On the other hand, introducing the foaming agent too late results in significant heat losses and increased consumption of refractory materials. Identifying the optimal time to introduce the foaming agent is the primary goal of this study.

All research conducted to pinpoint this optimal time has been categorized into four groups:

- Research to determine the frequency of sound emitted by a working electric arc
- Research to ascertain the sound level at which the introduction of the foaming agent should begin
- Research to establish the magnitude of the coefficient of variability of active power consumption, below which the introduction of the foaming agent should start
- Conducting industrial smelting runs to verify the results obtained in previous stages.

To conduct this research, a comprehensive measurement system was developed, equipped with an SVAN971 sound level meter, a 7052E microphone with an integrated SV18 preamplifier, and a sound level meter controller with software for communication with the furnace control system.

Based on the measurements obtained from the constructed measurement system and data recorded by the furnace control system, graphs were created illustrating the course of smelting runs. The analysis of these charts and the conducted statistical analysis allowed for assigning the desired values at which the foaming agent should be introduced.

These values were implemented in the control program of the Siemens S7-300 system. The outcome of 48 conducted research smelting runs confirmed the research hypothesis and the effectiveness of the applied methodology.

### 13.Literatura

- [1] Encyklopedia PWN (<https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/hutnictwo>).
- [2] Szuta A.:Praca dyplomowa magisterska, Wpływ metod wstępnego przetwarzania danych, na jakość predykcji aktywności tlenu w piecu EAF z wykorzystaniem metod inteligencji obliczeniowej, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katowice, listopad 2012.
- [3] Taylor C.R.: Electric Furnance Steelmaking, AIME Iron and Steel Society, Warrendale,1985.
- [4] Materiały marketingowe firmy COMECA
- [5] Verdeja L., Sancho J., Ballester A.,Gonzalez R.:Refractory and ceramic materials,Editorial Sintesis,Madrid,2016.
- [6] Materiały własne ZM Ropczyce
- [7] Materiały marketingowe firmy INTECO & FUCHS
- [8] Karbowniczek M.: Stalowniczy piec łukowy,Wydawnictwo AGH,Kraków 2015.
- [9] Gała M.,Rak J., Jagieła K.: Praca pieca łukowego AC w systemie elektroenergetycznym,Przeгляд elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 95 NR 12/2019.
- [10] Materiały własne Stalownia Ferrostal Łabędy.
- [11] Schnack H.: Schnelle Stromregelung von DrehstromLichtbogenöfen mit Halbleiter-Stufenschaltern, Der Fakultät für Maschinenbau der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte, Hamburg 2016.
- [12] Burchart-Korol D.: Środowiskowa ocena technologii hutnictwa żelaza i stali na podstawie LCA, Prace naukowe GIG Górnictwo i środowisko, Kwartalnik 3/2010.
- [13] Holtzer M.: Procesy metalurgiczne i odlewnicze stopów żelaza, Podstawy fizykochemiczne, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [14] Piertasik M.: Przerób i recykling złomu na potrzeby hutnictwa stali, Piece Przemysłowe & Kotły, 2016, Nr 2, str.14—33.
- [15] Wieczorek T., Pilarczyk M.: Classification of steel scrap in the EAF process using image analysis method, European Electric Steelmaking Conference ; 19-21.05.2008; Krakow, Poland.

- [16] Baumert C., Piccolo M., Weiler C., Wauters M., Albart P., Nyssen P.:  
Automated Assessment of Scrap Quality Before Loading into an EAF,  
Archives of Metalurge and Materials, Volume 53,2008,Issue 2.
- [17] CMC Poland Sp. z o.o. , Wykaz klas złomu stalowego wsadowego  
przyjmowanego przez Zakłady Złomowe CMC Poland Sp. z o.o., kwiecień 2021.
- [18] Ferrostal Łabędy , Szczegółowe zasady przyjmowania złomu wsadowego, listopad  
2020.
- [19] Janiszewski K.: Wpływ klasy złomu stalowego na uzysk ciekłej stali wytapianej w  
elektrycznym piecu łukowym , Hutnik-Wiadomości Hutnicze , nr.10, 2012, str. 736-  
740.
- [20] Lis T.,Jama-Labusek B.:Optymalizacja procesu wytapiania stali elektrycznej pod  
kątem konkurencyjności rynkowej produktu, Hutnik- Wiadomości Hutnicze, nr.7,  
2006,str. 332-336.
- [21] The chemistry of steelmaking. Electric Arc Furnace, dostępny w Internecie:  
<http://resources.schoolscience.co.uk/Corus/14-16/steel/msch6pg2.html>
- [22] Borowski A.: Stahl u. Eisen 118, 1998, nr. 2, str. 51-60.
- [23] Olette M., Gatellier C.: 2-nd Conf. On Clean Steel, Metal. Soc., 1985, str.165-185.
- [24] Zhang L., Cai K.: Report Baosteel , 1997.
- [25] Karbowniczek M.: Stalowniczy Piec Łukowy , Wydawnictwo AGH, Kraków 2015.
- [26] Krouchinin A., Sawicki A.: A theory of electrical arc heating, Wydawnictwo  
Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa , 2003.
- [27] Instrukcja technologiczna stalowni Ferrostal Łabędy.
- [28] Gillgrass S., Strelbisky M., Bruch R.: Results at Gerdau Monroe Using Tallman  
Supersonic Carbon Injection System, AISTech 2017 Proceedings.
- [29] Zalltron M., Mellinhoff B., Milocco M.:Improved EAF proces the new SIS and  
Conso burner/injectors from the SMS Group serving a whole range of furnaces,  
11th European Electric Steelmaking Conference and Expo 25-27.05.2016, Venice,  
Italy.
- [30] Lis T.: Współczesne metody otrzymywania stali, Wydawnictwo Politechniki  
Śląskiej,2000, Gliwice.

- [31] Sedivy Ch., Krump R.: Tools for foaming slag operation at Eaf steelmaking, Archives of metallurgy and materials, Volume 53, Issue 2, 2008.
- [32] Bulkowski L., Zdonek B.: Parametry jakościowe i dobór środków do spieniania żużli w metalurgii stali z zastosowaniem łuku elektrycznego, Hutnik- Wiadomości Hutnicze 2001 nr 7-8, s.259-263.
- [33] Karbowniczek M., Pienienie żużla w procesach stalowniczych, Rozprawy monografie 73, Wyd. AGH, Kraków 1998.
- [34] Peter M., Koch K.: Stahl und Eisen, t. 119, 1999, nr.10, s. 71-78.
- [35] Kipepe T.M., Pan X.: Importance and effect of foaming slag on energy efficiency, 71st World Foundry Congress, Bilbao, 19-21 May 2014.
- [36] Viera D., Almeida R., Bielefeldt W., Viela A: Slag Evaluation to Reduce Energy Consumption and EAF Electrical Instability, Materials Research, October 2016.
- [37] Karbownczek M, Michaliszyn A.: Wpływ niektórych parametrów procesu na wskaźnik produkcyjne elektrycznego pieca łukowego., Hutnik- Wiadomości Hutnicze 2005 nr.4 s.208-212.
- [38] Lis T, Nowacki K.: Innowacyjne rozwiązania w procesie spieniania żużla w elektrycznym piecu łukowym, Hutnik-Wiadomości Hutnicze 2014 nr.12 s. 825-827.
- [39] Gillgrass S., Strelbisky M., Bruch R.: Results at Gerdau Monroe Using Tallman Supersonic Carbon Injection System, AISTech 2017 Proceedings.
- [40] Aminorroyal S., Edris H.: The effect of foamy slag in electric arc furnaces on electric energy consumption Research Online, University of Wollongong, 2002.
- [41] Karbowniczek M., Wolańska E., Mróz J.: Wpływ rodzaju materiału spieniającego na parametry pienienia żużla w piecu łukowym, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, nr.9, str.464-468, 2004.
- [42] <https://www.ekologia.pl/>.
- [43] Kirpluk M.: Podstawy akustyki, listopad 2014, Warszawa.
- [44] Rozpondek M.: Emisja akustyczna z hutniczych urządzeń cieplnych-wpływ parametrów eksploatacyjnych, Hutnik-Wiadomości Hutnicze, t 86, 2019, nr 9, s 291-297.
- [45] Licow R., Tomaszewski F.: Identyfikacja wad powierzchni tocznej szyn za pomocą sygnału wibroakustycznego – Problemy kolejnictwa zeszyt nr 185, Grudzień 2019.



- [46] Sosnowski T., Madura H., Powiada E., Chmielewski K.: Metoda klasyfikacji i identyfikacji obiektów technicznych na podstawie ich cech akustycznych, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Zakład Techniki Podczerwieni i Termowizji- PAK 9/2006.
- [47] Sarmak A.,Naziemiec Z.,Sarmak D.:Analiza poziomu hałasu wybranych urządzeń rozdrabniających, Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 23(1),str. 145–154, 2016.
- [48] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Tercja\\_\(akustyka\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Tercja_(akustyka))
- [49] Borecki M.:Badania nad wykorzystaniem pomiarów dźwięku do kontroli i modelowania procesu wytapiania stali w konwertorze z górnym dmuchem, Prace IMŻ 3-4 (1993).
- [50] Marique Ch.,Nyssen P.,Salmone P: On-line control of the foamy slag in eaf,
- [51] Landa S.,Rodriguez T.,Munoz J., Laraudogoitia J.:Dynamic control of slag foaming at Sidenor Basauri meltshop,Archives of Metallurge and materials,Volume 53,2008,Issue 2.
- [52] Higgs R. W.: Sonic signature analysis for arc furnace diagnostics and control, Proc. IEEE Ultrasonics Symp., 11.-14. Nov. 1974, Milwaukee,USA, S. 653/63.
- [53]Dittmer B., Kruger K., Rieger D.,Leadbetter S.,Matschullat T.,Dobbler A.:Identifikation des Prozesszustandes von Drehstromlichtbogenofen mitteltes Korperschall,Stahl und Eisen ,129, 2009,Nr.12.
- [54] Matschulat T., Rieger D., Kruger K., Dobbeler A.: Foaming Slag and scrab melting behavior in electric arc furnance-a new and very precise detection method with automatic carbon control, Archives of metallurgy and materials,Volume 53, 2008, Issue
- [55] Boh M.,Hofmeister H.,Konig S.,Dobbeler A.,Matschullat T.,Rieger D.,Tieseler D.: Ergebnisse der Schaumslagregelung im Einsatz bei dem Lech-Stahlwerken,Stahl und Eisen,130,2010,Nr.4.
- [56] Ljungqvist P.: Evaluation of sound, current and vibration measurements in the Electric Arc Furnace ,Raport nr.1, Dept. of Material Science and Engineering Royal Institute of Technology,Stockholm, Sweden, 2013.
- [57] Erives-Sanchez O., Micheloud-Vernact O.: Electric Arc Coverage Indicator for AC Furnaces Using a Laser Vibrometer and Neural Networks, ISIJ International, Vol. (2018), No. 7, pp. 1300–1306.
- [58] Strona internetowa stalowni Ferrostal Łabędy. .
- [59] Materiały własne ZM Ropczyce.
- [60] Shapiro S.S., Wilk M.B., An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, Vol. 52, No 3/4, (Dec 1965), pp. 591-611.

- [61] Siegel S., Castellan N.J.Jr.: Nonparametric statistic for the behavioral sciences. Sec. Ed., McGraw-Hill, Inc., 1988

