

STEROWANIE PROCESEM TOPIENIA ŻŁOMU W PIECU ŁUKOWYM PRZEZ PREDYKCJĘ WYBRANYCH PARAMETRÓW PROCESU



prof. dr hab.

Tadeusz Wierzchorek

mgr inż.

Krzysztof Mączka

*Katedra Zarządzania i Informatyki
Politechnika Śląska*

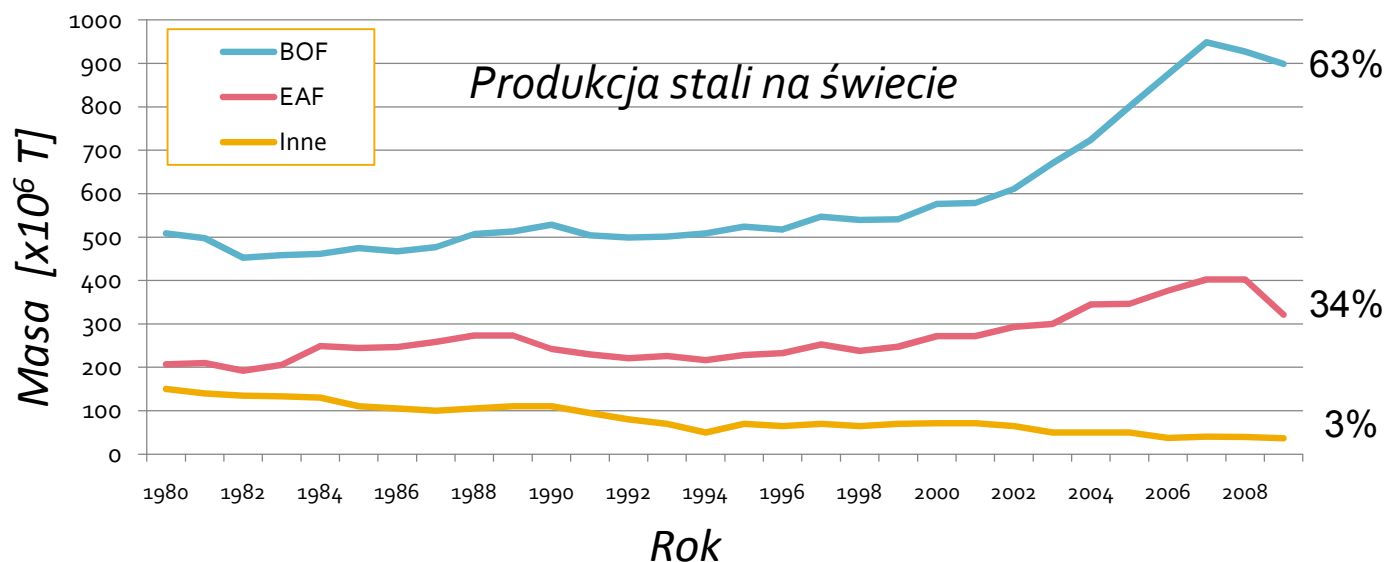


Plan prezentacji

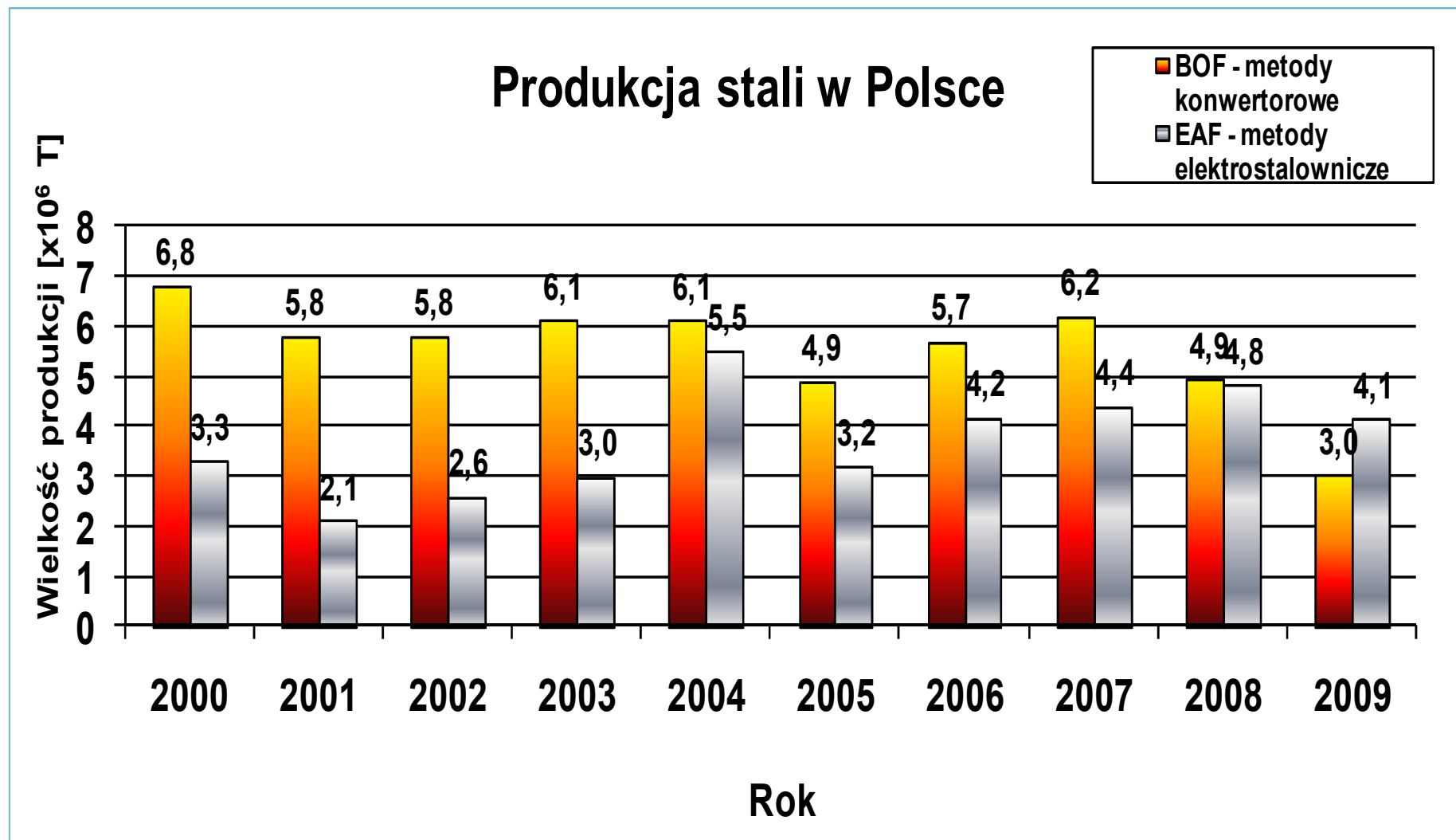
- Charakterystyka procesu topienia złomu w piecu łukowym
- Problemy do rozwiązania
- Prezentacja wyników
- Wnioski

Topienie złomu w elektrycznym piecu łukowym (EAF)

- Prowadzony jest całkowicie w oparciu o złom, przez co pełni ważną rolę w odzyskiwaniu surowców wtórnych
- Mniej energochłonny w porównaniu z procesem wytwarzania stali w hutach zintegrowanych
- Umożliwia wytwarzanie różnych gatunków stali, od węglowych do wysokostopowych
- Duża wydajność procesu



Topienie złomu w elektrycznym piecu łukowym (EAF)

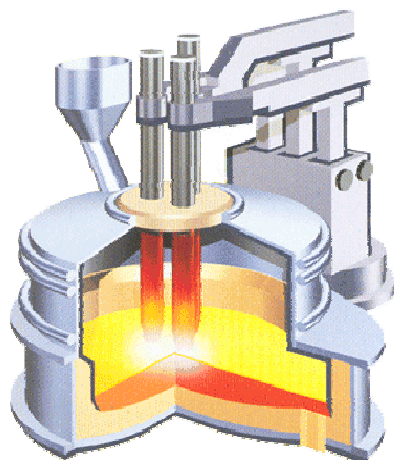


Proces wytwarzania stali

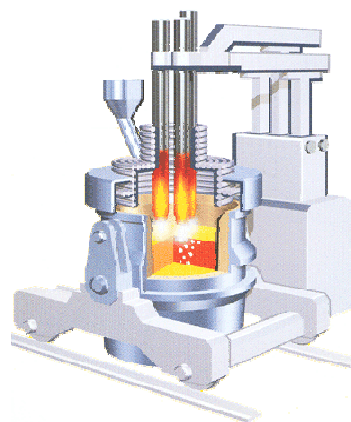
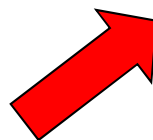
Linia produkcyjna



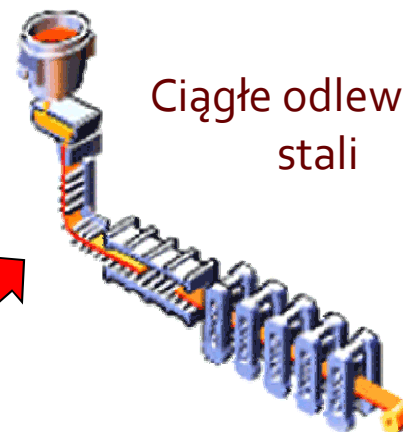
Hala wsadowa
Wsad złomowy



Elektryczny piec łukowy

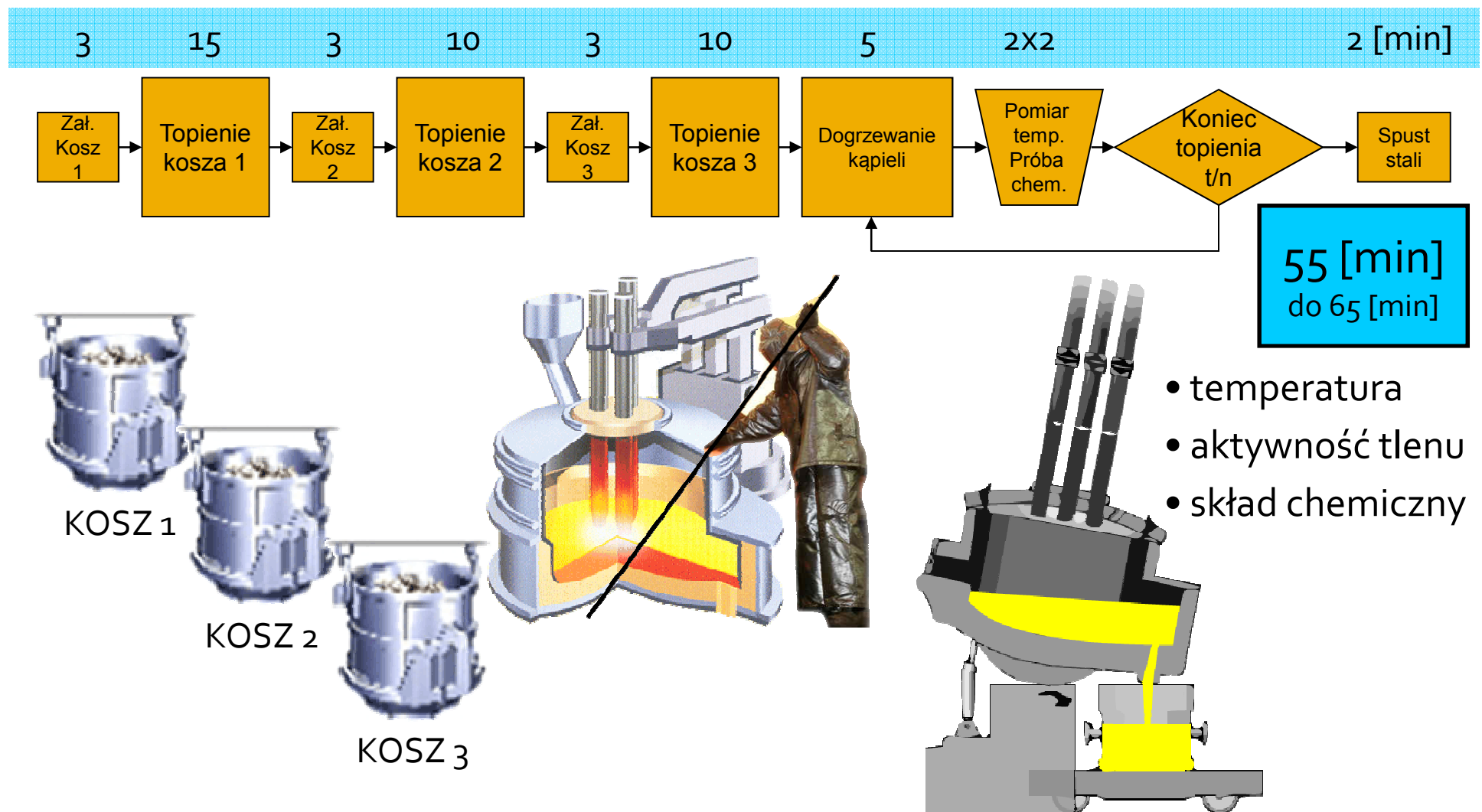


Piec kadziowy



Ciągłe odlewanie
stali

Schemat procesu EAF



Oszczędność czasu

- Produkcja ~ 6000 wytopów rocznie
- 25 % wytopów (1500) – 3 próby
- 2 % wytopów (120) – 4 próby
- 1 % wytopów (60) – 5 prób

$$1500 \times 2 + 120 \times 4 + 60 \times 6 = 3840 \text{ [min]}$$

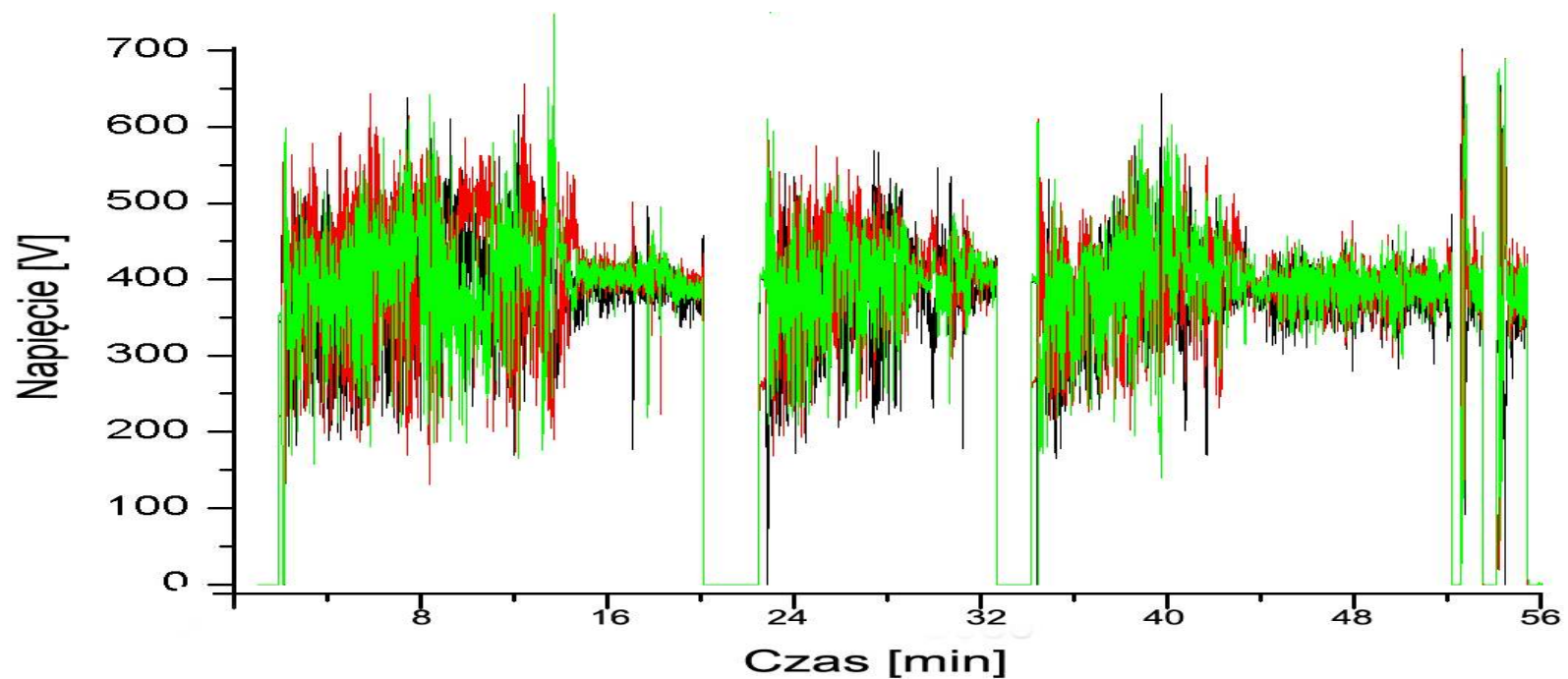
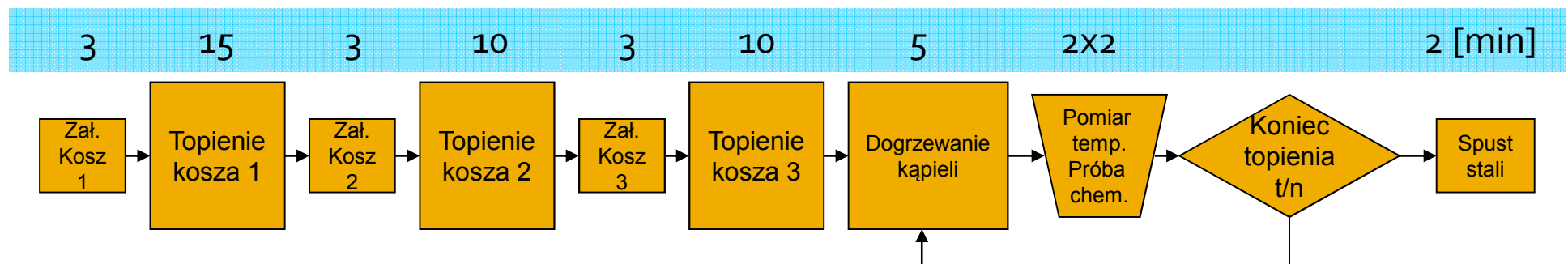
$$3840 / 55 = 70 \text{ [wytopów]}$$

$$70 \times 65 = 4550 \text{ [ton / rok]}^*$$

$$4550 \times 0,9 = \mathbf{4095 \text{ [ton / rok]}}$$

* 10% - COS – odlewanie małego przekroju (80,100)

Schemat procesu EAF



Cele pracy

- Skrócenie czasu topienia poszczególnych koszy poprzez wykrywanie okresu w którym łuk elektryczny pali się w uspokojony sposób
- Zmniejszenie liczby pomiarów (temperatury i aktywności tlenu) podczas etapu dogrzewania kąpieli poprzez zastosowanie sieci neuronowych do predykcji wartości temperatury i aktywności tlenu w rzeczywistym czasie trwania procesu

Metodyka badań

Zbieranie i przygotowanie danych



Budowa i testowanie modeli



Implementacja programowa na stanowisku EAF



Weryfikacja wyników podczas trwania rzeczywistego procesu produkcyjnego

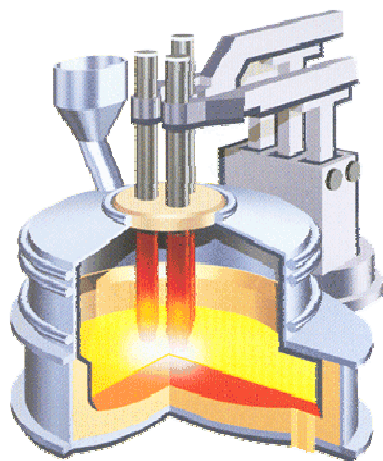
Stanowisko badawcze

□ Serwer 1:

- Zbieranie danych ze sterowników
- Rejestrowanie zmiennych w bazie danych

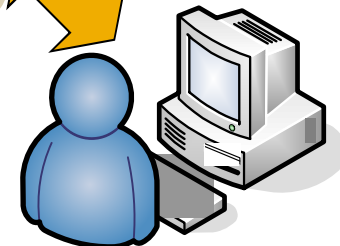
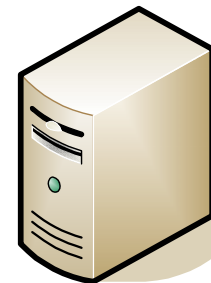
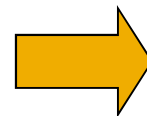
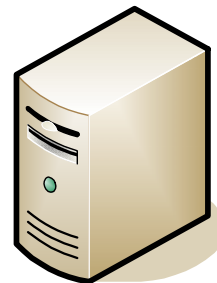
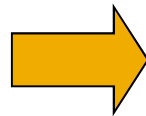
□ Serwer 2:

- Zbieranie danych wejściowych do sieci neuronowej
- Odpytywanie nauczonej sieci neuronowej aktualnymi danymi
- Rejestrowanie w bazie danych wyników predykcji
- Podpowiedzi dla operatora

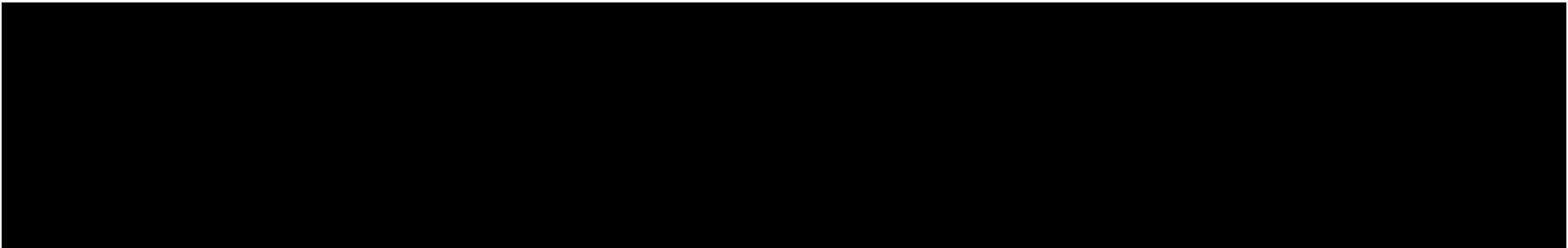


Piec EAF

Sterowniki
PLC

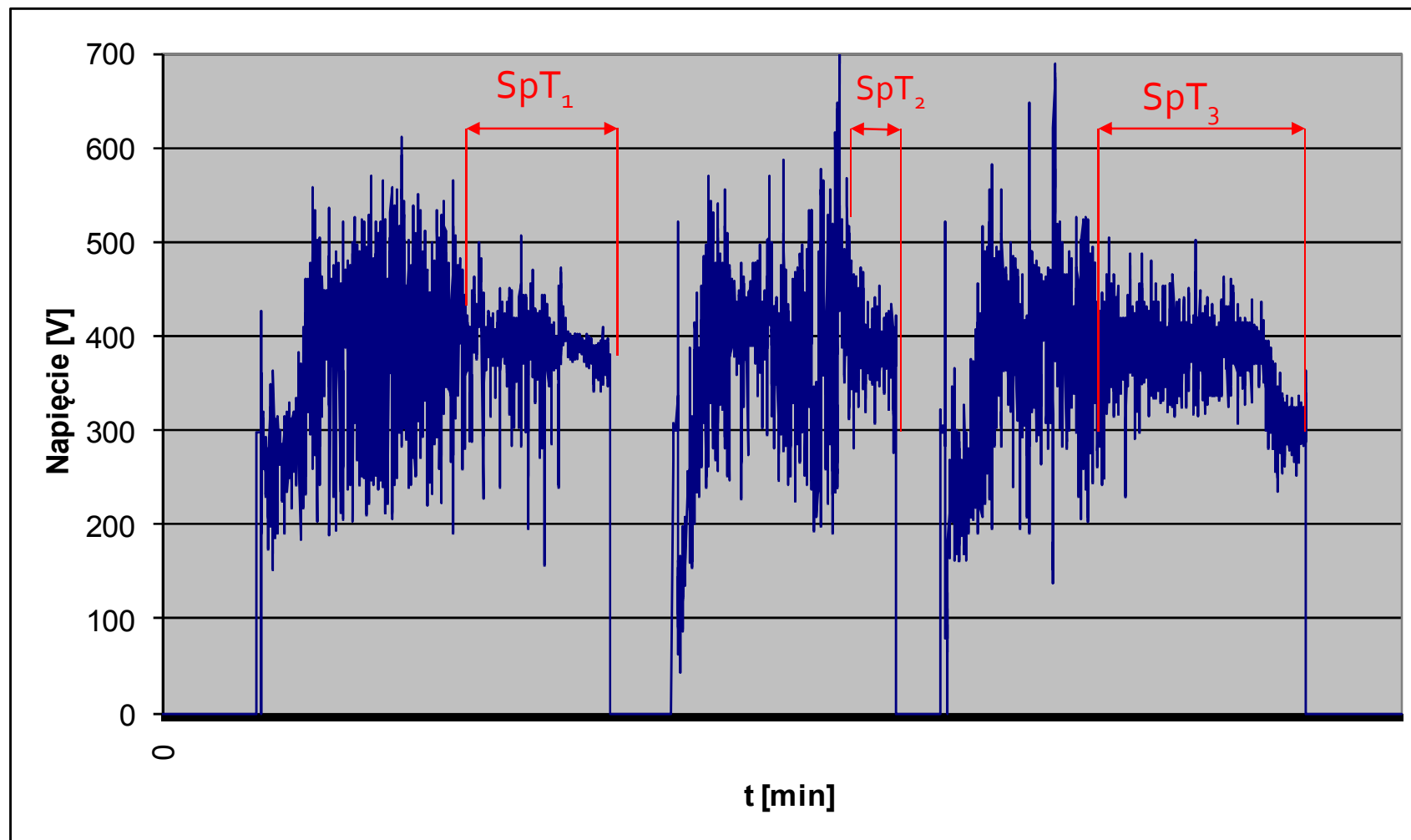


Operator EAF



Problem identyfikacji okresu spokojnego topienia

Identyfikacja okresu spokojnego topienia



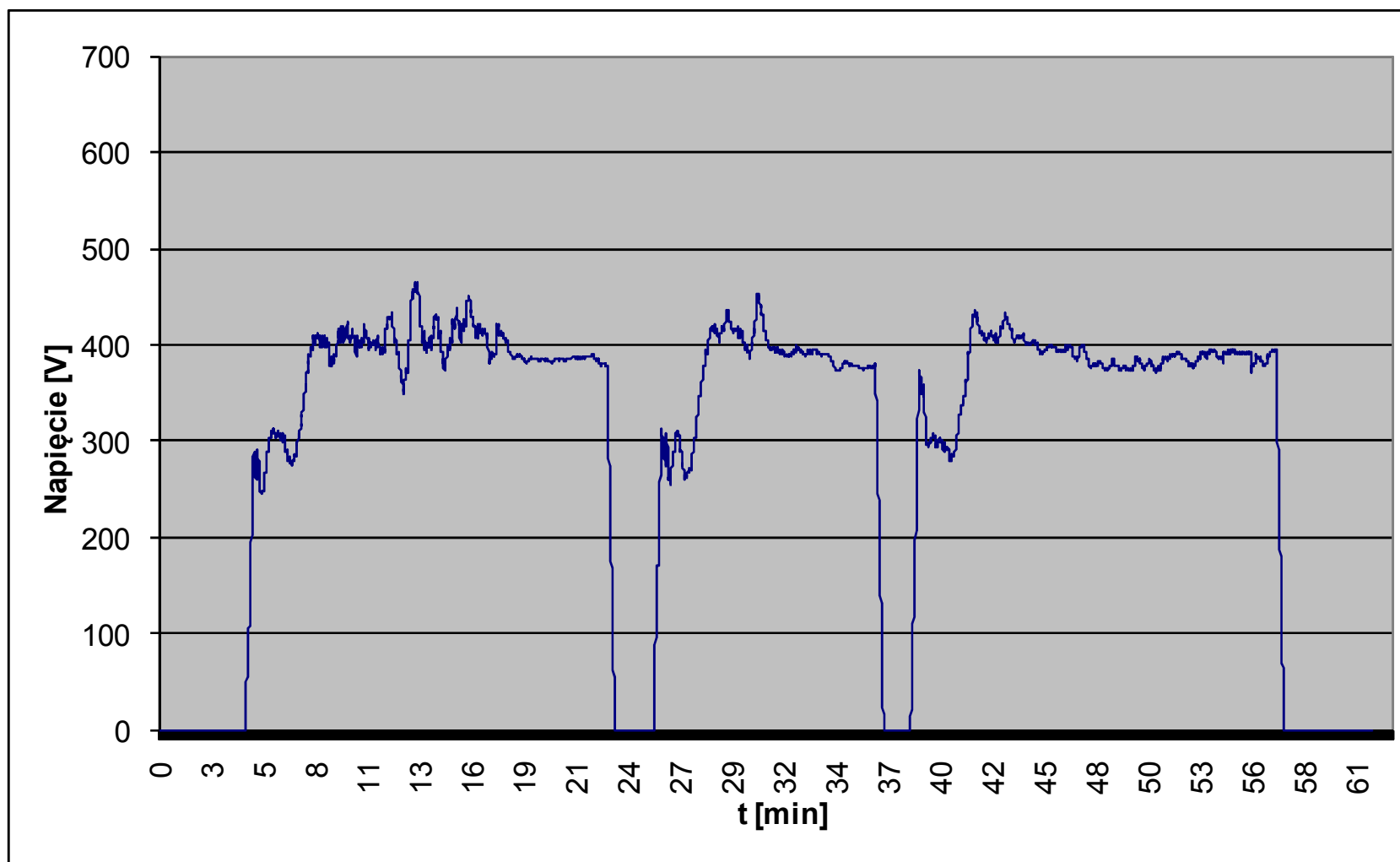
Identyfikacja okresu spokojnego topienia

Prosta średnia krocząca (SMA)

$$SMA = \frac{x_i + x_{i+1} + x_{i+2} \dots + x_{i+n}}{n}$$

- x_i – kolejne wartości pomiarowe,
- n – okres
- Przyjęty okres uśredniania: $n=50$

Identyfikacja okresu spokojnego topienia



Identyfikacja okresu spokojnego topienia

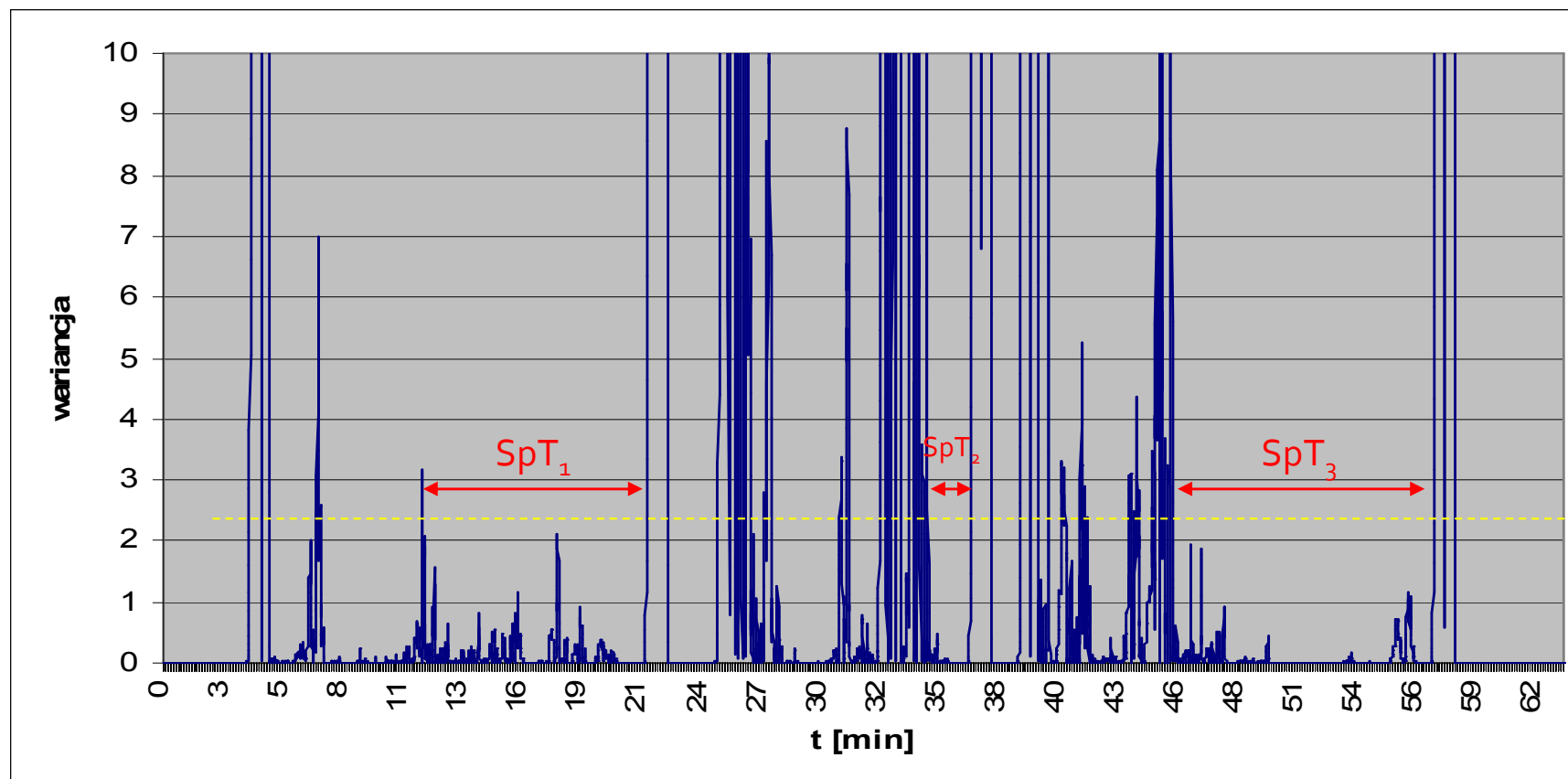
Wariancja krocząca (RV)

$$RV = \frac{(x_i - \bar{x}_n)^2 + (x_{i+1} - \bar{x}_n)^2 + \dots + (x_{i+n} - \bar{x}_n)^2}{n}$$

- x_i – kolejne wartości pomiarowe,
- $\bar{x}_n$ – wartość średnia z n kolejnych wartości
- n – okres

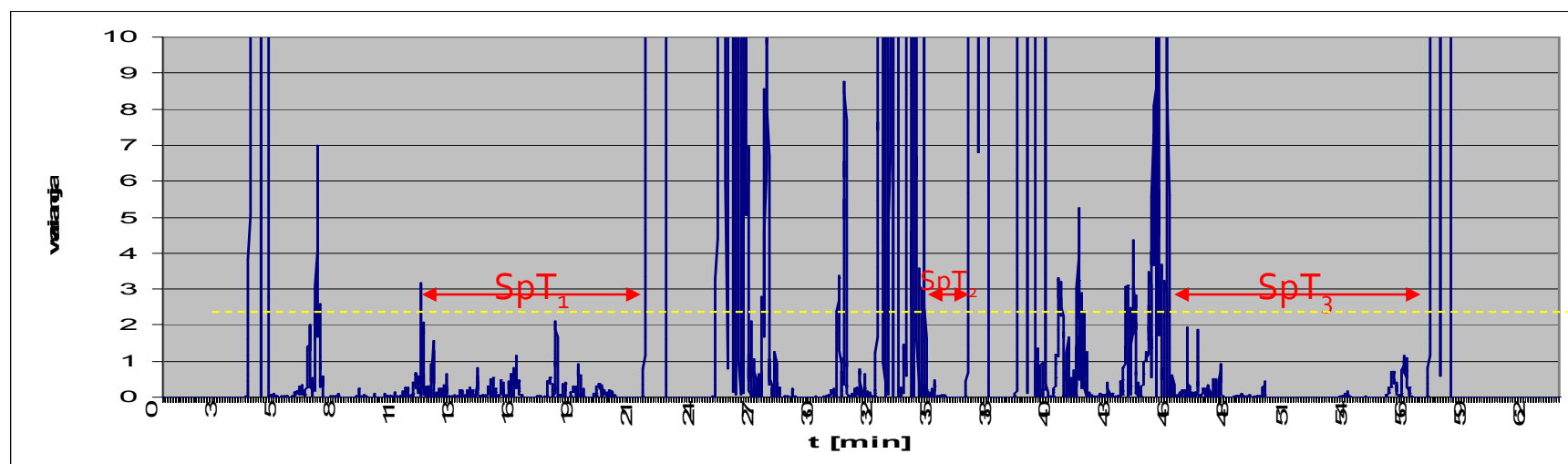
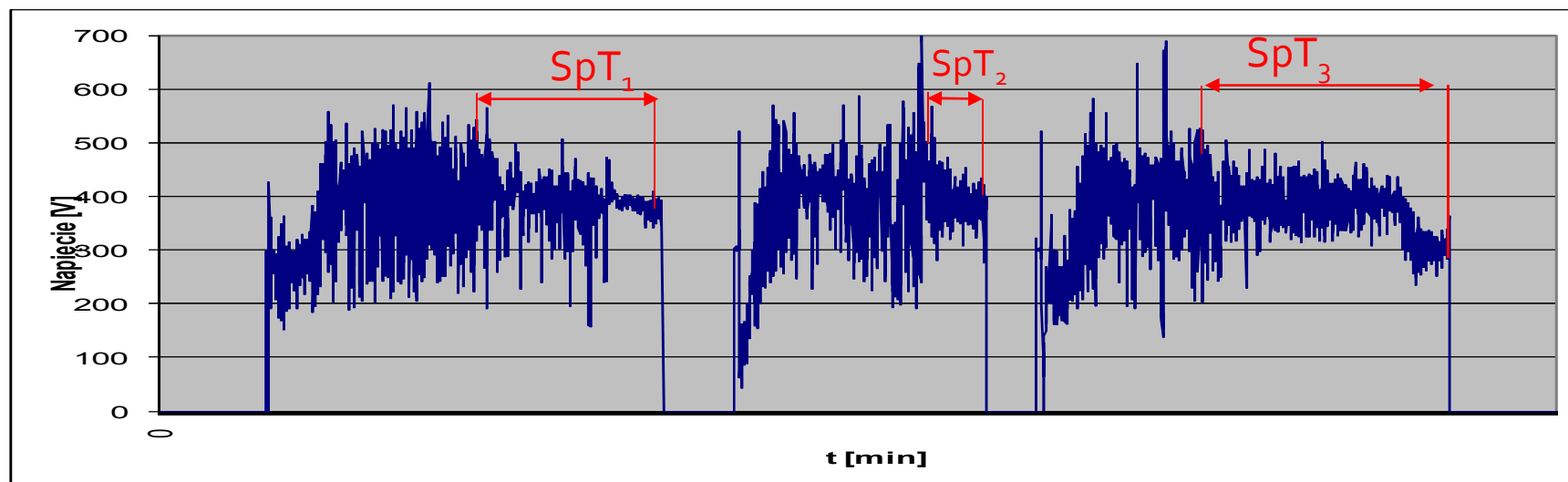
- Przyjęty okres: $n=50$

Identyfikacja okresu spokojnego topienia



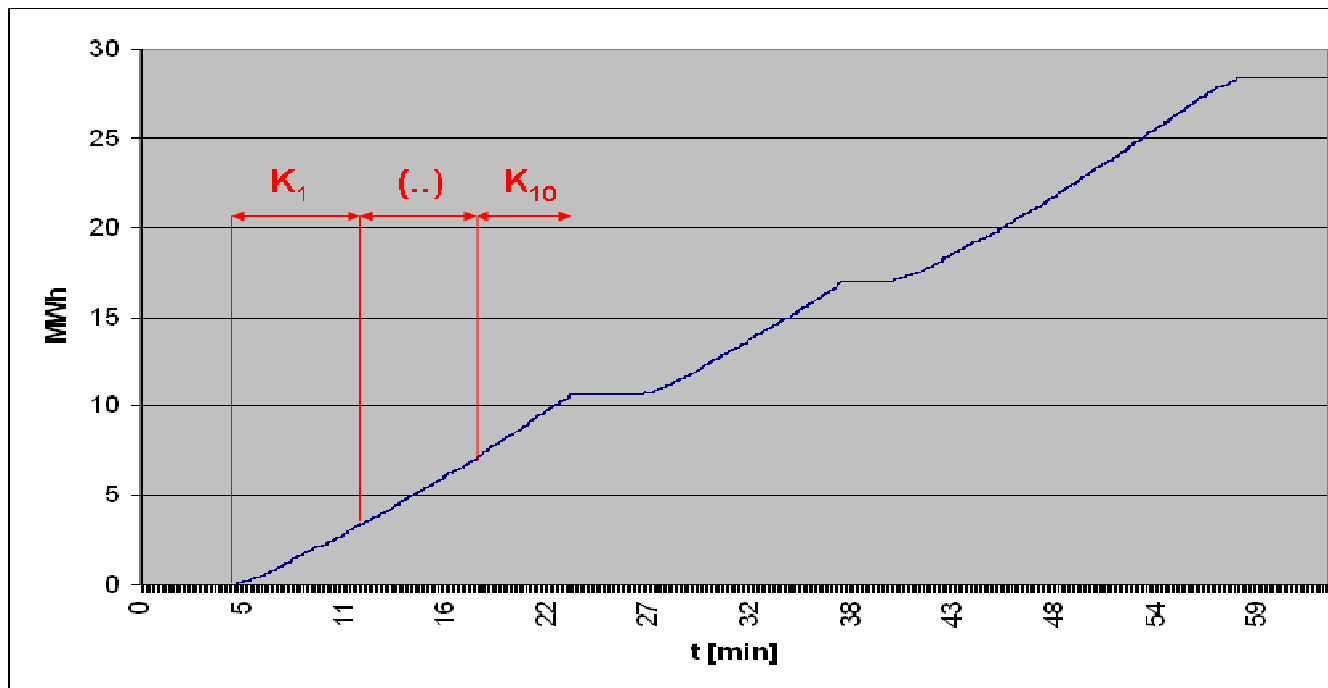
Przyjęty próg: $\delta^2 = 2,5$

Identyfikacja okresu spokojnego topienia



Koniec topienia kosza - decyzja

- Identyfikacja spokojnego topienia - analiza charakterystyk prądowych
- Algorytm zużycia energii elektrycznej

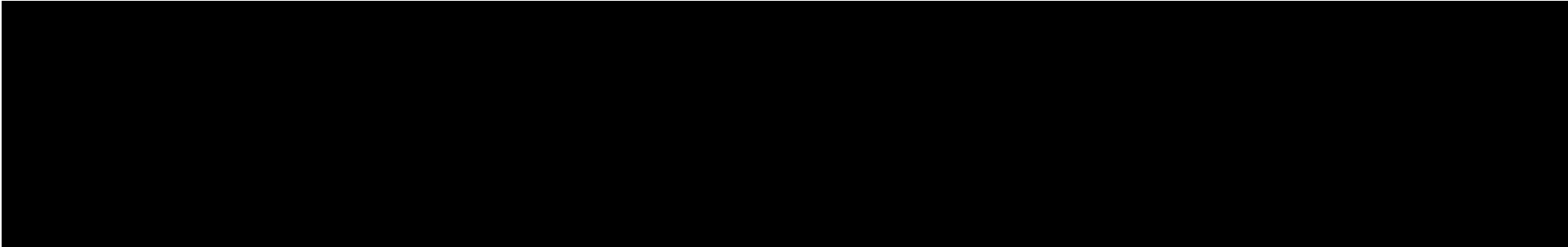


Koniec topienia kosza - decyzja

- Identyfikacja spokojnego topienia - analiza charakterystyk prądowych
- Algorytm zużycie energii elektrycznej

W opracowaniu:

- Klasyfikator oceniający możliwość zakończenia topienia danego kosza na podstawie w/w informacji oraz dodatkowych danych o aktualnym i poprzednim wytopie (wymurówka, stopa, wsad)



Problem predykcji temperatury oraz aktywności tlenu

Zbiory danych

- Temperatura
 - Trening - dane z 1200 wytopów (2890 pomiarów)
 - *Test – dane z 200 wytopów (430 pomiarów)*
- Aktywność tlenu
 - Trening - dane z 1000 wytopów (2100 pomiarów)
 - *Test – dane z ok. 140 wytopów (307 pomiarów)*

Cechy użyte do uczenia sieci

■ Aktywność tlenu (19 x 2890)

- Energia zuż. K1-K3
- Energia zuż. Dogrzew. (do pomiaru)
- Ilość wdmuchanego węgla (do pomiaru)
- Temperatury dna pieca B1-B6
- Tlen lanc (do pomiaru).
- Tlen palnika (do pomiaru).
- Gaz palnika (do pomiaru)
- Wagi koszy K1 – K3
- Kod gatunku
- ***CeloxProba (wyjście)***

■ Temperatura (16 x 2100)

- Energia zuż. K1-K3
- Energia zuż. Dogrzew. (do pomiaru)
- Ilość wdmuchanego węgla (do pomiaru)
- Ilość wdmuchanego tlenu (do pomiaru)
- Temperatury dna pieca B1-B6
- Wagi koszy K1 – K3
- Kod gatunku
- ***Temperatura próba (wyjście)***

Weryfikacja wyników

■ Aktywność tlenu

Model	Funkcja aktywacji warstwa ukryta	Funkcja aktywacji wyjściowa	Średni błąd testowania [ppm]	Std [ppm]
MLP-19-4-1	Tanh	Wykładnicza	131,15	87,12

> 400 [ppm]

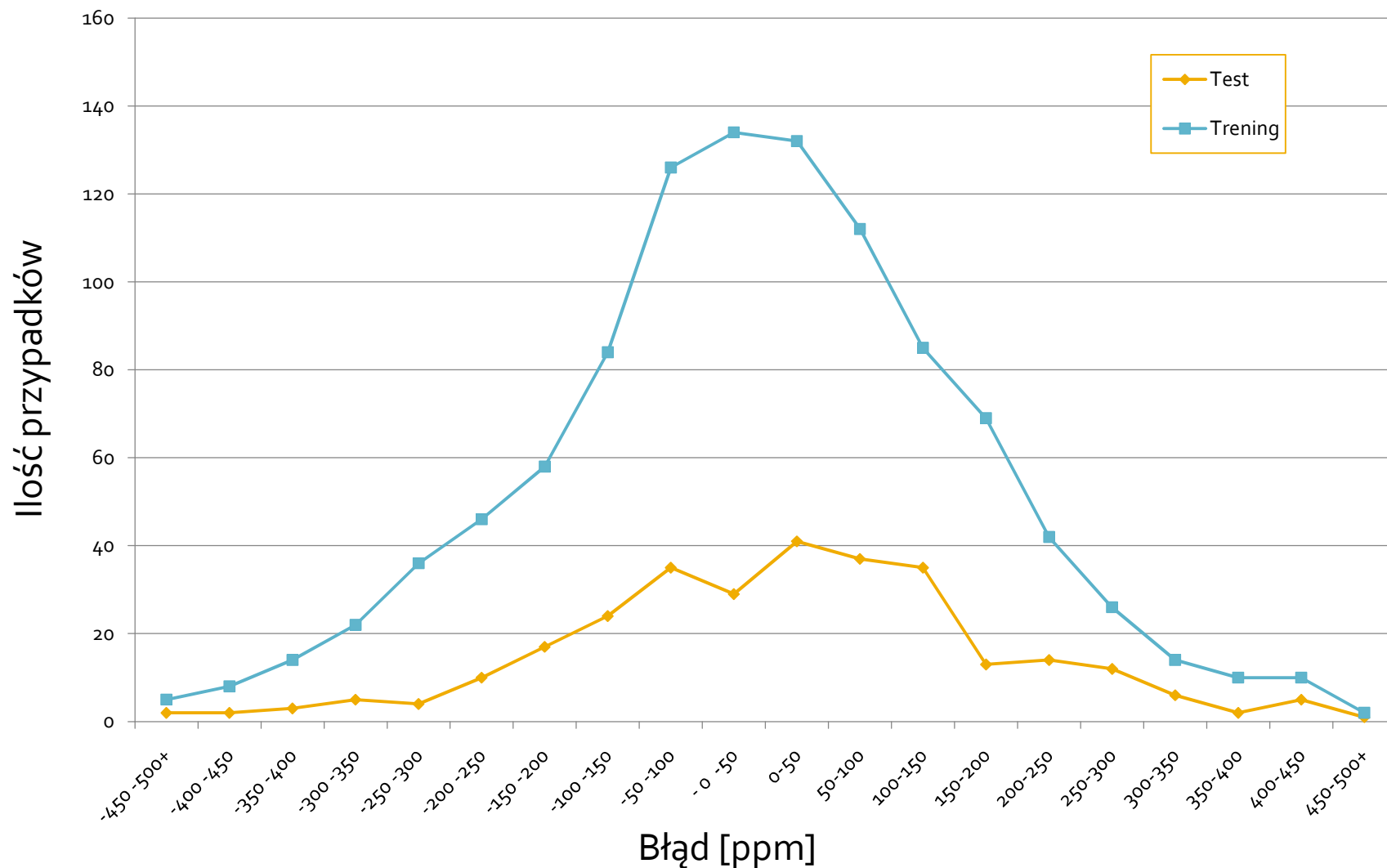
□ Temperatura

Model	Funkcja aktywacji warstwa ukryta	Funkcja aktywacji wyjściowa	Średni błąd testowania [ppm]	Std [ppm]
MLP-16-11-1	Tanh	Liniowa	16,27	10,51

1620 - 1640 [°C]

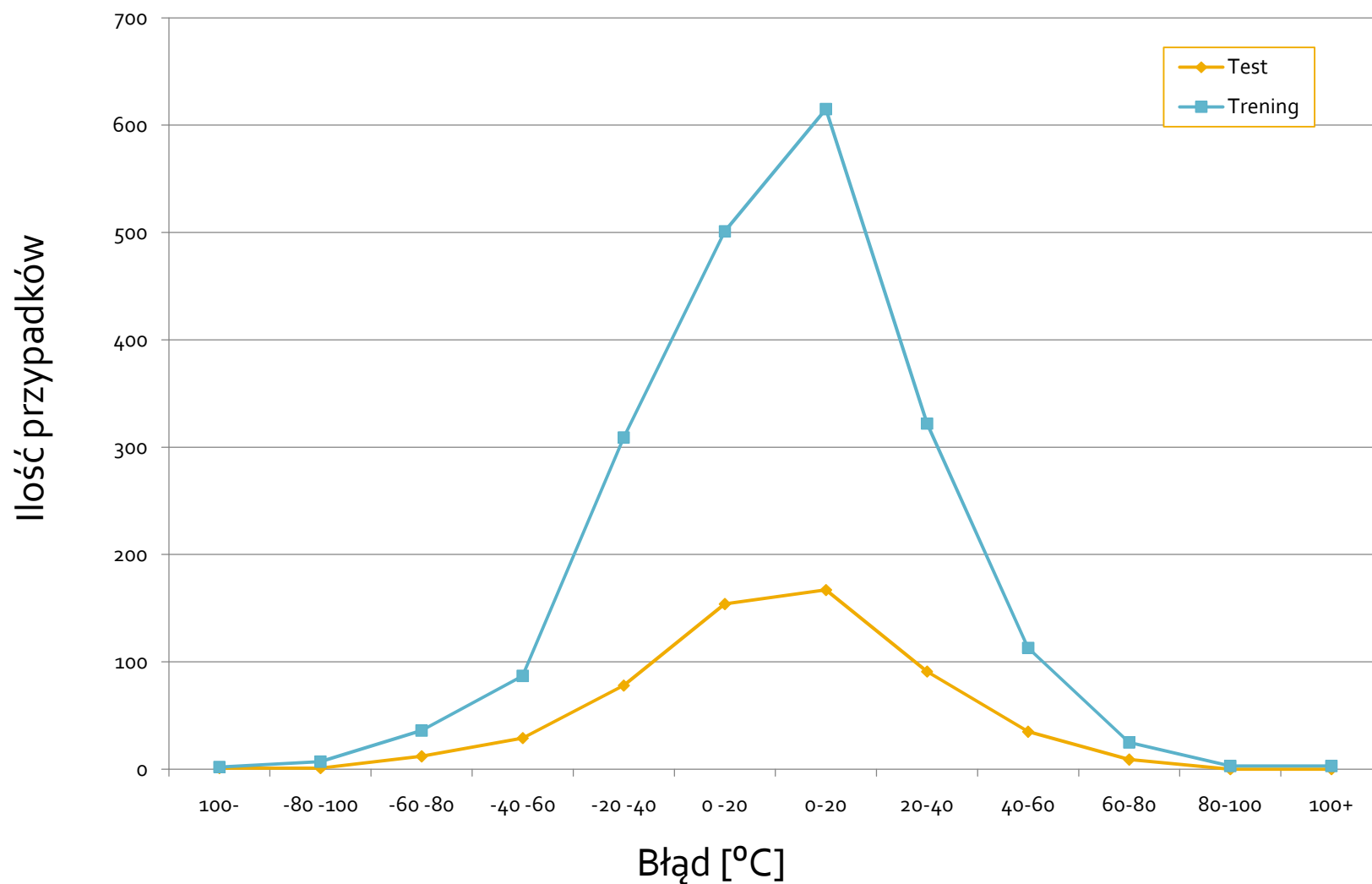
Przewidywanie aktywności tlenu.

Rozkład błędu



Przewidywanie temperatury.

Rozkład błęd



System ISE

Planowanie Złom EAF LSH COS Instrukcje Raporty Pomoc	
 Inteligentny System Ekspertowy 	
2018.04.11 09:56 Złom:3 Regula:1	
PLANOWANIE PRODUKCJI	
 Wielkość produkcji wykonanej do dzisiaj: 0000 [Mg] Zaplanowany koszt produkcji w niniejszym tygodniu: 00000 [zł]	Bieżący zaplanowanych przebiegów w niniejszym tygodniu: 6 Bieżący zaplanowanych wytopów w niniejszym tygodniu: 520
HISTORIA WYKONANIA	
 Koszt zużycia dzisiaj złomu: [Mg] Średni dzisiaj wytop: - Akumulacja ładunku wytopu: 465538 Ciężar kostki: 5235 [kg] Maksymalna zużycia: dzisiaj: 0,52	Stan obrotów kostki: Koszt 1. Kosztu: 40,00 [Mg] Koszt 2. Ładowania: 18,00 [Mg] Koszt 3. W. przygotowania: 0,00 [Mg] Dzisiaj najwięcej użytych złom:
PEŁNOCYFROWY (LAF)	
 Koszt dzisiaj wykonanych wytopów: 0 Średnie dzisiaj zużycie złomu na wytop: [Mg] Koszt dzisiaj zainicjowania wytopu: [min] Koszt dzisiaj czasu od spustu do spustu: [min]	Akumulacja: Trwa wytop: 465538 Dzisiaj w przygotowaniu: Akumulacja zużycia kostki: 0,3 [Mg] Główny stół: 5235 [kg] Maksymalna zużycia: dzisiaj: 0,55
PEŁNOCYFROWY (LHF)	
 Koszt dzisiaj zużycia materiału startu: [Mg] Średni dzisiaj zużycie materiału startu: [kg] Dzisiaj zużycie dodatków stopowych: [Mg]	Akumulacja: Trwa wytop: 465538 Akumulacja zużycia kostki: 0 [Mg] Waga kostki: 0 [kg] Temperatura: bieżący: [°C]
CIĄGŁE ODLEWANIE STALI (COS)	
 Koszt wyprodukowanej dzisiaj stali: [Mg] Koszt wykonanych przebiegów: 0	Akumulacja: Odlewany wytop: - Odlewany ładunek: Waga kostki głównej: 0 [Mg] Waga kostki prowadzącej: 0 [Mg]

Wojciech ISE
Planowanie
Złom
EAF
LHF
COS
Instrukcje
Raporty
Pomoc



Inteligentny System Ekspertowy

Elektryczny piec łukowy (EAF)



2018-04-13 09:48 Zmiana:3 Tryb:0:1

Wzrosty	Wielkość	Plan	Kierunek zmiany	Wzrosty wstecz
---------	----------	------	-----------------	----------------

Dane załadowane: 2018-04-13 09:48:33

Numer wypustu: A65538

Eng: W przygotowanie

Zużycie energii:

Kosz I: 0,1 (MW) 1,4 (kWh/Mg)

Kosz II: 0,0 (MW) 0,0 (kWh/Mg)

Kosz III: 0,0 (MW) 0,000 (kWh/Mg)

Dogrzewanie: 0,0 (MW) 0,000 (kWh/Mg)

W ampie: 0,1 (MW)

Analiza stabilności łuku:

PRZYGOTOWANIE do obliczeń

Temperatura ciekłości kąpieli:

CZERPA NA POMIAR

Czas od ostatniego sprężu: 1894 [ms]

Czas pracy pod prądem: 0 [ms]



Wyniki próby z poprzedniego wypustu

nrWypustu	data	nrAnalizy	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Su	Ca
A65537	2010-04-12 06:22:20	1	0,057538	0,006429	0,060128	0,006627	0,04243	0,108844	0,059174	0,030572	0,170278	0,009998	0,000572
A65537	2010-04-12 06:26:28	2	0,058501	0,003773	0,070867	0,007448	0,043443	0,1089	0,070194	0,029963	0,171573	0,009847	0,000569

Wyniki próby z poprzedniego wytopu

nrWytopu	data	nrAnalzy	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn	Ca
A65537	2010-04-12 06:22:20	1	0,057538	0,006429	0,060128	0,006627	0,04243	0,108844	0,059174	0,030572	0,170278	0,009998	0,000572
A65537	2010-04-12 06:26:28	2	0,058501	0,003773	0,070867	0,007448	0,043443	0,1089	0,070194	0,029963	0,171573	0,009847	0,000569

Wojciech ISE Planowanie Złom EAF LHF COS Instrukcje Raporty Pom

Inteligentny System Ekspertowy

Elektryczny piec łukowy (EAF)

2018-04-13 00:55 Zakład: Brygada-4

Metody pracy: Właściwości Pile: Kątowa ekspozycja: Instalacje wentylacji

Analiza stabilności łuku: PRZYGOTOWANIE do obliczeń

Wykres: Napięcie po stronie pierwotnej [kV] z stabilizacją: 50 ms

Województwo Łódzkie
Planowanie
Złom
KAP
LHF
COS
Instrukcje
Raporty
Pomoc

Inteligentny System Ekspertowy

Elektryczny piec łukowy (EAF)

2020.04.19 09:55
Zawieszony
Bogdan

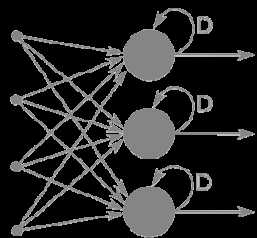
Zmiany parametrów
Wskazówki
Plan
Wskazówki techniczne
Historia występow

Historia występow

Numer występowania	Karty występowania	Status	Typ komputera EAF	Start EAF	Start kruszy I	Koniec kruszy I	Start kruszy II	Koniec kruszy II	Start kruszy III
A455500021	EAF			2020-04-12 08:52:20					
A455537	COS, kruszy			2020-04-12 04:58:48	2020-04-12 05:26:20	2020-04-12 05:42:53	2020-04-12 09:49:31	2020-04-12 09:54:37	2020-04-12 10:00:00
A455538	COS, kruszy			2020-04-12 03:40:01	2020-04-12 03:58:30	2020-04-12 04:04:57	2020-04-12 04:14:12	2020-04-12 04:28:30	2020-04-12 04:30:00
A455539	COS, kruszy			2020-04-12 03:57:09	2020-04-12 02:18:47	2020-04-12 02:30:47	2020-04-12 02:38:30	2020-04-12 02:46:22	2020-04-12 02:50:00
A455534	COS, kruszy			2020-04-12 08:41:37	2020-04-12 08:48:32	2020-04-12 01:34:18	2020-04-12 01:16:35	2020-04-12 01:21:17	2020-04-12 01:23:00
A455513	COS, kruszy			2020-04-11 22:30:34	2020-04-11 23:17:08	2020-04-11 23:58:15	2020-04-11 23:58:50	2020-04-12 00:08:28	2020-04-12 00:10:00
A455512	COS, kruszy			2020-04-11 22:29:19	2020-04-11 22:27:22	2020-04-11 22:40:06	2020-04-11 22:47:34	2020-04-11 22:48:38	2020-04-11 22:50:00
A455531	COS, kruszy			2020-04-11 20:13:32	2020-04-11 21:18:40	2020-04-11 21:34:15	2020-04-11 21:36:56	2020-04-11 21:45:40	2020-04-11 21:50:00
A455530	COS, kruszy			2020-04-11 18:37:57	2020-04-11 18:43:47	2020-04-11 18:59:44	2020-04-11 18:04:52	2020-04-11 20:00:30	2020-04-11 20:10:00
A455529	COS, kruszy			2020-04-11 18:51:35	2020-04-11 18:57:44	2020-04-11 17:35:25	2020-04-11 17:21:03	2020-04-11 17:32:38	2020-04-11 17:35:00
A455528	COS, kruszy			2020-04-11 19:01:43	2020-04-11 15:42:20	2020-04-11 16:02:18	2020-04-11 16:05:04	2020-04-11 16:18:39	2020-04-11 16:20:00
A455527	COS, kruszy			2020-04-11 17:52:29	2020-04-11 13:58:52	2020-04-11 14:57:50	2020-04-11 14:22:38	2020-04-11 14:32:47	2020-04-11 14:35:00
A455526	COS, kruszy			2020-04-11 12:46:12	2020-04-11 12:58:59	2020-04-11 13:09:14	2020-04-11 13:11:39	2020-04-11 13:22:17	2020-04-11 13:25:00
A455525	COS, kruszy			2020-04-11 12:26:25	2020-04-11 11:54:46	2020-04-11 11:51:43	2020-04-11 11:59:57	2020-04-11 12:08:48	2020-04-11 12:10:00
A455524	COS, kruszy			2020-04-11 18:01:31	2020-04-11 10:48:25	2020-04-11 10:52:24	2020-04-11 10:40:07	2020-04-11 10:48:45	2020-04-11 10:50:00

Podsumowanie

- Kluczowym aspektem jest poprawność danych uzyskanych z rzeczywistego procesu przemysłowego
- System neuronowy przewidujący parametry procesu może znacząco przyczynić się do zredukowania ilości wykonywanych pomiarów temperatury i aktywności tlenu, a co za tym idzie do skrócenia czasu całego procesu.
- Ważną cechą systemu jest możliwość jego działania w rzeczywistym czasie trwania procesu co pozwala na zastosowanie opracowanych modeli do sterowania w warunkach przemysłowych m.in. wskazywania możliwości zakończenia topienia poszczególnych koszy
- Poprawne dobranie funkcji celu może zwiększyć dokładność predykcji sieci neuronowej?



Dziękuję za uwagę

 **NEUROMET 2010**

krystian.maczka@polsl.pl

