

STEROWANIE PROCESEM PRODUKCJI PRZY UŻYCIU SIECI NEURONOWYCH

Izabela ROJEK, Przemysław STASZYŃSKI

Streszczenie: W pracy przedstawiono aplikację wspomagającą sterowanie procesem produkcji sody kalcyonowanej (węglanu sodu - Na_2CO_3). Do sterowania użyto jednokierunkowych wielowarstwowych sieci neuronowych ze wsteczną propagacją błędów. Współcześnie cały proces karbonizacji (główny proces produkcji węglanu sodu) obsługiwany jest przez człowieka. Sieć neuronowa ma tę przewagę nad obecnie używanym sposobem sterowania, że potrafi obsługiwać urządzenie jako całość w czasie rzeczywistym. Program oparty na sztucznej sieci neuronowej w prosty sposób wspomaga operatora i zwiększa możliwości kolumny karbonizacyjnej.

Słowa kluczowe: sterowanie, proces produkcji, sieć neuronowa, kolumna karbonizacyjna

1. Wprowadzenie

Proces produkcji jest głównym procesem wykonywanym w przedsiębiorstwie. W jego wyniku powstają produkty zaspokajające potrzeby ludzi. Sterowanie produkcją można określić jako zespół działań zmierzających do uzyskania przez system produkcyjny oczekiwanych – założonych uprzednio – efektów [1].

W zakładach chemicznych od dawna próbowano udoskonalić proces sterowania procesem produkcji sody kalcyonowanej (węglanu sodu - Na_2CO_3). Współcześnie cały proces karbonizacji (główny proces produkcji węglanu sodu) obsługiwany jest przez człowieka, który steruje tym procesem. Operator jest wspomagany komputerem w sposób niewystarczający. System komputerowy utrzymuje zadany parametr w sposób stały bez względu na zmieniającą się sytuację. Steruje też jednym wybranym w danej chwili węzłem (węzeł jest to czujnik mierzący dany parametr i zawór sterujący tym parametrem lub sam czujnik) i nie potrafi rozpatrzyć kolumny karbonizacyjnej jako całości. W wybranym zakładzie chemicznym jest dziesięć identycznych urządzeń. Ilość danych wpływających do osoby sterującej jest tak duża, że w niektórych przypadkach nie jest on w stanie zauważyć zmian parametrów i odpowiednio szybko zareagować, co może obniżyć jakość produktu i zmniejszyć wydajność procesu oraz zwiększyć zużycie surowców.

Opracowana aplikacja jest pierwszym etapem zautomatyzowania produkcji, gdzie człowiek byłby tylko osobą nadzorującą i reagującą w sytuacjach awaryjnych. Do sterowania procesem została wybrana jednokierunkowa wielowarstwowa sieć neuronowa ze wsteczną propagacją błędów ponieważ sterowanie takim procesem w tradycyjny sposób jest bardzo trudne z powodu dużej ilości danych oraz wielu skomplikowanych obliczeń.

Sieć neuronowa ma tę przewagę nad obecnie używanym sposobem sterowania, że potrafi obsługiwać urządzenie jako całość w czasie rzeczywistym, a nie poszczególne węzły. Program oparty na sztucznej sieci neuronowej w prosty sposób wspomaga operatora i zwiększa możliwości kolumny karbonizacyjnej.

Praca zawiera kilka rozdziałów. Pierwszy jest wprowadzeniem do tematu. Drugi zawiera opis procesu produkcji sody kalcyonowanej oraz kolumny karbonizacyjnej. Trzeci

dotyczy opisu sieci neuronowych, które zostały użyte do opracowania modeli sterowania procesem produkcji. Czwarty rozdział omawia eksperymenty i opracowane modele sieci neuronowych oraz aplikację sterującą procesem produkcji. Aplikacja została utworzona w środowisku programistycznym MS Visual Studio 2013 [2,3]. Ostatni rozdział to podsumowanie i literatura.

2. Proces produkcji wodorowęglanu sodu

2.1. Opis procesu chemicznego

Karbonizacja jest to główny proces produkcji sody „*metodą Solvaya*”. W procesie zostaje wytworzony tzw. surowy białokarbonat. Proces karbonizacji w warunkach przemysłowych polega na nasyceniu dwutlenkiem węgla solanki amoniakalnej, aż do poziomu całkowitego osiągalnego nasycenia. Solanka amoniakalna wchodząca do karbonizacji jest już częściowo nasycona dwutlenkiem węgla w poprzedzającym procesie absorpcji. Dalsze nasycenie odbywa się w dwóch fazach. Pierwsza faza, jako wstępna karbonizacja, jest to dosycenie do tego stopnia stężenia, przy którym jeszcze nie zaczął wytrącać się NaHCO_3 . Druga faza to dalsze dosycenie dwutlenkiem węgla do poziomu wytrącenia maksymalnej ilości kwaśnego wodorowęglanu sodu.

Krystalizacja powinna być tak prowadzona, aby uzyskać kryształy o odpowiednich wymiarach, łatwe do odsączenia i przemycia. Proces krystalizacji związany jest z powstawaniem zarodków krystalizacji i ich narastaniem. Wielkość i kształt otrzymywanych kryształów zależy od szybkości przebiegu reakcji, na którą z kolei wpływ wywiera stopień przesylenia roztworu, temperatura, intensywność mieszania i stopień karbonizacji solanki amoniakalnej. Powstanie zbyt dużej ilości zarodków krystalizacji prowadzi do uzyskania drobnych kryształów. W celu uniemożliwienia rozdrobnienia kryształków, należy utrzymywać takie warunki, aby ilość tworzących się zarodków nie była zbyt duża.

2.2. Kolumna karbonizacyjna

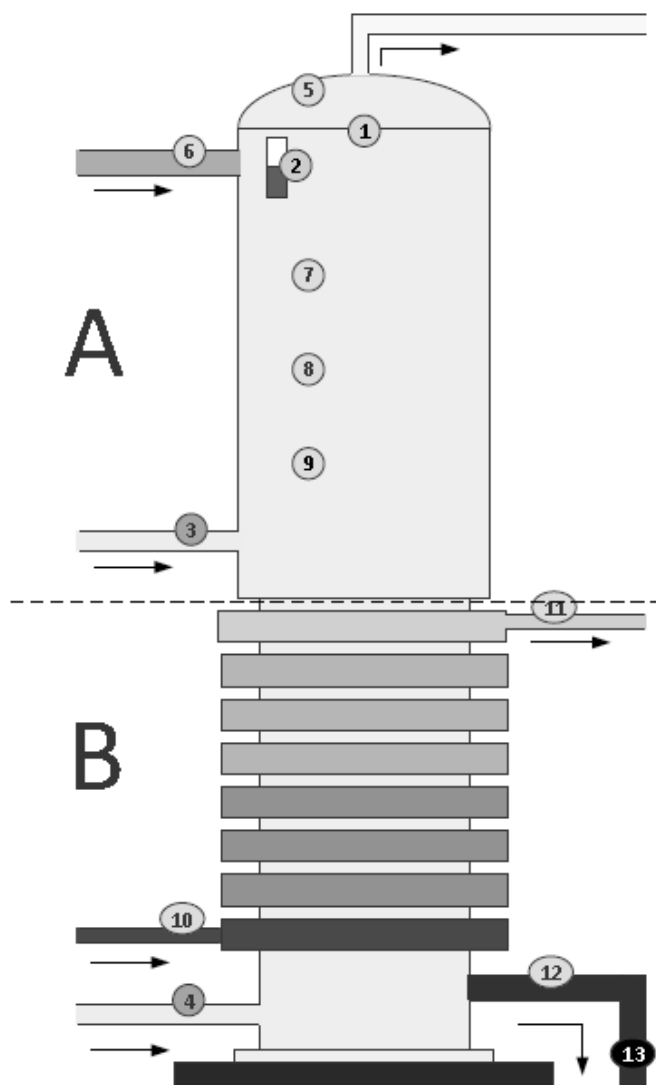
Kolumna karbonizacyjna jest to urządzenie przemysłowe (aparat kolumnowy) o wysokości około 29 m i szerokości 3 m w kształcie walca. Przeznaczeniem kolumny jest wytwarzanie węglanu sodowego w postaci krystalicznej zawiesiny w wyniku nasycenia, a następnie przesylenia solanki amoniakalnej dwutlenkiem węgla.

Na rysunku 1 pokazano schemat budowy kolumny karbonizacyjnej, która składa się z dwóch części: A - część reakcyjna i B - część chłodnicza. Liczby od 1 do 12 na schemacie pokazują umiejscowienie dwunastu węzłów, które kontrolują następujące parametry: 1- ciśnienie kolumny, 2- poziom płynu, 3- przepływ gazu górnego, 4- przepływ gazy dolnego, 5- temperatura wyjścia, 6- temperatura wejścia płynu, 7- temperatura góry kolumny, 8- temperatura środka kolumny, 9- temperatura dołu kolumny, 10- temperatura wejściowa płynu chłodzącego, 11- temperatura wyjściowa płynu chłodzącego, 12- temperatura wyjścia zawiesiny. Węzeł 13 steruje zaworem i jest wyjściem zawiesiny z kolumny.

Część reakcyjna (rysunek 1 - A) składa się z 14 beczek przedzielonych sitami z przelewami. Część chłodnicza (rysunek 1 - B) składa się z 8 skrzyni chłodniczych wyposażonych w rurki ze stali nierdzewnej, przez które przepływa woda chłodnicza. Przebieg procesu w kolumnie karbonizacyjnej odbywa się przeciwnie do kierunku przepływu. Solanka wstępnie skarbonizowana jest podawana do kolumny od góry i poprzez odpowiednie półki służy w dół. W przeciwnym kierunku od dołu do góry wpompowywany jest gaz CO_2 .

Dzięki reakcjom chemicznym następuje tworzenie się kryształków bikarbonatu. Gotowy produkt w postaci zawiesiny wypływa z kolumny karbonizacyjnej i jest kierowany do procesu filtracji.

Na podstawie danych pochodzących z węzłów od 1 do 12 opracowana aplikacja steruje zaworem na wyjściu płynu z kolumny (rysunek 1 - węzeł 13).



Rys. 1. Kolumna karbonizacyjna: A - część reakcyjna, B - część chłodnicza

Kolumna karbonizacyjna przyjmuje cztery rodzaje danych: ciśnienie kolumny [Pa], poziom płynu w urządzeniu (inaczej poziom napełnienia kolumny) [%], przepływ gazu wyrażone w [Nm³/h] oraz temperaturę w stopniach [°C]. Tabela 1 zawiera graniczne wartości (minimalne i maksymalne wartości kolumny karbonizacyjnej). Niektóre dane

wejściowe celowo zostały zwiększone z powodu wystąpienia chwilowego skoku - dane w nawiasach.

Tab. 1. Dane wejściowe kolumny karbonizacyjnej

1	ciśnienie kolumny:	minimalne ciśnienie: 0 Pa , maksymalne ciśnienie: 0,5 Pa (0,6 Pa)
2	poziom płynu:	minimalny poziom: 0 %, maksymalny poziom: 100 %
3	przepływ gazu górnego:	minimalny przepływ: 1000 Nm ³ /h (500 Nm ³ /h), maksymalny przepływ: 6000 Nm ³ /h (6500 Nm ³ /h)
4	przepływ gazu dolnego:	minimalny przepływ: 1000 Nm ³ /h (500 Nm ³ /h), maksymalny przepływ: 5000 Nm ³ /h (5500 Nm ³ /h)
5	temperatura wyjścia:	minimalna temperatura: 30 °C (20 °C), maksymalna temperatura: 60 °C (70 °C)
6	temperatura wejścia płynu:	minimalna temperatura: 20 °C (10 °C), maksymalna temperatura: 60 °C (70 °C)
7	temperatura góry kolumny:	minimalna temperatura: 40 °C (30 °C), maksymalna temperatura: 80 °C (90 °C)
8	temp. środka kolumny:	minimalna temperatura: 40 °C (30 °C), maksymalna temperatura: 80 °C (90 °C)
9	temp. dołu kolumny:	minimalna temperatura: 40 °C (30 °C), maksymalna temperatura: 70 °C (80 °C)
10	temp. we. płynu chłodzącego:	minimalna temperatura: 10 °C (0 °C), maksymalna temperatura: 35 °C (45 °C)
11	temp. wy. płynu chłodzącego:	minimalna temperatura: 30 °C (20 °C), maksymalna temperatura: 60 °C (70 °C)
12	temp. wyjścia zawiesiny:	minimalna temperatura: 20 °C (10 °C), maksymalna temperatura: 60 °C (70 °C)

U dołu kolumny karbonizacyjnej znajduje się zawór, który reguluje wyjście zawiesiny z kolumny. Zadaniem operatora jest sterowanie tym zaworem, który pozwala na opróżnienie kolumny. Otwarcie zaworu może być stopniowane od 0 do 100%.

3. Sieć neuronowa

W aplikacji wykorzystano jednokierunkową wielowarstwową sieć neuronową ze wsteczną propagacją błędu.

Budowa sieci neuronowej polega na połączeniu sztucznych neuronów w kilka pogrupowanych warstw, które się ze sobą łączą. Jest to bardzo duże uproszczenie, co do modelu mózgu żywego organizmu ponieważ w rzeczywistości mózg nie ma idealnej budowy warstwowej i nie występują połączenia wszystkich neuronów ze wszystkimi neuronami między kolejnymi warstwami. Twórcy sieci stosują bardzo mocne uproszczenie. Każda sztuczna sieć jest budowana symetrycznie w celu łatwiejszej implementacji i wszystkie neurony z jednej warstwy są połączone ze wszystkimi neuronami w kolejnej warstwie. Problem nadmiarowości połączeń jest eliminowany w procesie uczenia sieci neuronowej [4]. Pojedynczy neuron ma swoje ograniczenia. Nie potrafi rozwiązywać problemów zwanych *”wzorcami nieseparowalnymi liniowo”*. W przeciwieństwie do

pojedynczego neuronu grupa neuronów zwana sztuczną siecią neuronową (SNN) bardzo dobrze radzi sobie z takimi problemami. Sieć SSN charakteryzuje się trzema cechami. Neurony podzielone są na warstwy, z których każda może mieć inną liczbę neuronów. Połączenia występują tylko i wyłącznie między warstwami w taki sposób, że każdy neuron z warstwy następnej jest połączony ze wszystkimi neuronami warstwy poprzedniej. Trzecia cecha jest taka, że przepływ danych występuje tylko w jednym kierunku od wejścia do wyjścia. W sztucznej sieci neuronowej jednokierunkowej wielowarstwowej można wyróżnić trzy grupy warstw:

- warstwa wejściowa,
- warstwa ukryta lub n - warstw ukrytych,
- warstwa wyjściowa.

Warstwa wejściowa jest odpowiedzialna za wprowadzenie danych do sieci, za ich normalizację i rozesłanie danych dalej do warstwy ukrytej. Normalizacja jest to proces przeskalowania danych wejściowych różnej wielkości tak, aby miały tę samą wartość np. między 0 a 1. Tak przygotowane dane warstwy wejściowej, można przekazać do każdego neuronu warstwy ukrytej.

Warstwa ukryta to najważniejsza część w sztucznej sieci neuronowej. W sieci SSN może występować n - warstw ukrytych. Pierwsza warstwa ukryta odpowiedzialna jest za pobranie danych z warstwy wejściowej. Pobrane dane są przekształcane przez każdy neuron w warstwie ukrytej. Dane z pierwszej warstwy ukrytej są przekazywane dalej do kolejnych warstw ukrytych. Ostatnia warstwa ukryta odpowiedzialna jest za przekazanie danych do warstwy wyjściowej.

Warstwa wyjściowa zbudowana jest z tylu neuronów, ile jest potrzebnych do udzielenia odpowiedzi na dany problem [4,5].

W sieci neuronowej jednokierunkowej wielowarstwowej ze wsteczną propagacją błędów dobór liczby neuronów w warstwie wejściowej jest uwarunkowany wymiarem wektora danych x . Model neuronu składa się z elementu sumacyjnego, do którego dochodzą sygnały wejściowe x_1, x_2, \dots, x_N , tworzące wektor wejściowy $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ pomnożone przez przyporządkowane im wagi $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iN}$ tworzące wektor wag i -tego neuronu $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iN}]^T$ oraz wartość w_{i0} zwaną progamiem. Sygnał wyjściowy sumatora u_i , przy czym sygnał jest podawany na blok realizujący nieliniową funkcję aktywacji $f(u_i)$. Wybór funkcji aktywacji zależy przede wszystkim od reguł uczenia. Niektóre z nich, jak na przykład metoda propagacji wstecznej błędów, wymagają ciągłej funkcji aktywacji. Najczęściej funkcja ta przyjmuje postać sigmoidalną (zachowuje wtedy ciągłość i proces uczenia sieci jest łatwiejszy) lub tangensa hiperbolicznego. Postać funkcji stanowi ciągłe przybliżenie funkcji skokowej, przy której sygnał wyjściowy neuronu y_i przyjmuje dowolne wartości z przedziału $[0,1]$ dla funkcji unipolarnej.

Dodatkowo, aby ułatwić uczenie sieci, które polega na przyrostowej zmianie wag, wprowadzany jest bias (próg), z wagą $w_{i,0}$. Przyjmuje się, że na tym połączeniu zawsze przepływa sygnał $x_{i,0} = 1$.

Metodą uczenia sieci jednokierunkowych sigmoidalnych jest optymalizacja funkcji celu zdefiniowanej dla sieci, minimalizująca błąd między wartościami żądanymi x_i i aktualnie otrzymanymi na wyjściu sieci dla wszystkich danych uczących. Za funkcję celu przyjmuje się błąd średniokwadratowy.

Dla sieci zawierających co najmniej jedną warstwę ukrytą, metoda propagacji błędów wstecz jest jedną z najbardziej popularnych technik uczenia sieci [5, 6].

4. CASE Study

4.1. Projekt sieci neuronowej

Pierwszym etapem tworzenia sieci neuronowej było zebranie danych, które stanowią plik uczący i testowy. Zbiór uczący liczył 150 przypadków, a zbiór testowy 30 przypadków danych kolumny karbonizacyjnej. Dane wejściowe kolumny karbonizacyjnej (od 1 do 12) stanowią wejścia sieci neuronowej. Natomiast wyjściem sieci neuronowej jest wartość procentowa otwarcia zaworu (węzeł 13 z rys. 1). Przykładowe dane zostały pokazane w tabeli 2.

Tab. 2. Przykładowe dane uczące

lp.	Wartości węzłów												wyjście
	wejścia												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,475	75	4500	2850	55	51	68	70	62	18	45	55	78
2	0,472	75	4450	2850	55	50	69	71	62	10	40	53	78
3	0,476	72	4400	2900	53	49	66	72	61	20	47	56	79
4	0,48	72	4450	2900	53	50	66	71	61	12	41	52	78
5	0,421	69	4300	2700	55	53	65	69	59	17	47	53	74
6	0,447	70	4450	2750	56	52	63	65	56	19	43	51	74
7	0,407	65	3800	2200	50	46	60	61	56	18	40	50	65
8	0,4	63	3800	2150	51	48	62	63	58	17	44	51	64
9	0,406	64	3750	2150	50	47	61	59	53	5	39	49	63
10	0,406	64	3750	2300	50	47	61	59	53	5	39	52	67
11	0,441	73	4350	2600	51	47	63	69	57	19	46	55	73
12	0,43	71	4250	2650	52	48	67	70	66	15	39	57	70

W eksperymentach zostało zbudowanych wiele modeli sieci neuronowych. Niezmienna w modelach była warstwa wejściowa, której wielkość wynikała z liczby danych wejściowych wchodzących do sieci neuronowej (12 węzłów wejściowych w kolumnie karbonizacyjnej, czyli 12 wejść) oraz warstwa wyjściowa, której wielkość wynikała z liczby wyjść kolumny karbonizacyjnej (1 wyjście).

Modele sieci neuronowych były parametryzowane różnymi parametrami. Zbudowano sieci neuronowe z różną liczbą warstw ukrytych, z różną ilością neuronów w warstwach ukrytych oraz zmieniano liczbę epok uczenia.

Modele sieci neuronowych – różna liczba warstw ukrytych

Zbudowane zostały modele sieci neuronowej (SNN) różniące się liczbą warstw ukrytych (SNN z 1 warstwą ukrytą, SNN z 2 warstwami ukrytymi, SNN z 3 warstwami ukrytymi).

Wszystkie te modele miały tę samą ilość neuronów warstwy wejściowej (12), ukrytej (15) i wyjściowej (1).

Uczenie sieci neuronowych wykonano z różną liczbą epok uczenia, która zmieniała się od 10 000 do 160 000 iteracji.

Miarą oceny sieci neuronowej była procentowa wartość dobrych odpowiedzi sieci podczas uczenia (ZU) i testowania (ZT).

Najlepsze wyniki uzyskano po 160 000 iteracjach. Sieć neuronowa z 1 warstwą ukrytą

uzyskała ZU= 94%, ZT= 60%, sieć z 2 warstwami ukrytymi: ZU = 100%, ZT= 90%, sieć z 3 warstwami ukrytymi: ZU = 54%, ZT= 55%. Najlepszą okazała się sieć z 2 warstwami ukrytymi.

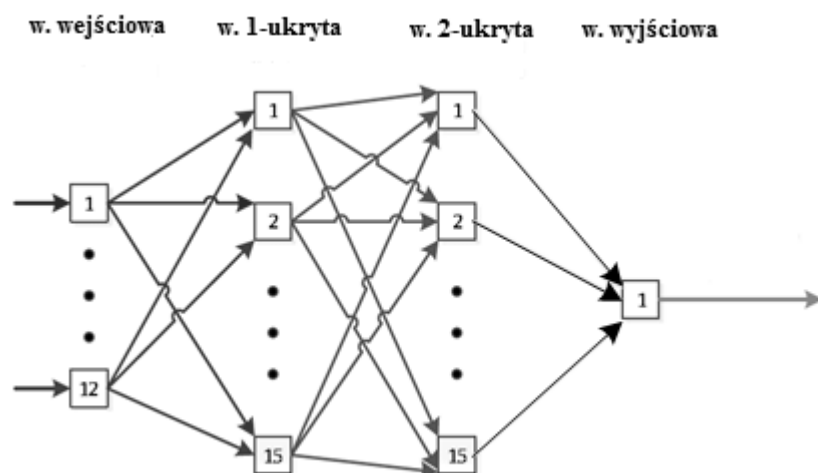
Modele sieci neuronowych – różna liczba neuronów w warstwie ukrytej

Badano sieci neuronowe z 10 neuronami w warstwie ukrytej, 15 neuronami w warstwie ukrytej oraz 20 neuronami w warstwie ukrytej. Te eksperymenty wykonano dla sieci z 2 warstwami ukrytymi.

Uzyskano następujące wyniki:

- sieć z 10 neuronami: ZU = 100%, ZT= 80%,
- sieć z 15 neuronami: ZU = 100%, ZT= 90%,
- sieć z 20 neuronami: ZU = 100%, ZT= 80%.

Sieć neuronowa z piętnastoma neuronami w warstwie ukrytej dała najlepsze wyniki. Po analizie modeli sieci neuronowych najlepszą okazała się sieć neuronowa z dwoma warstwami ukrytymi i z piętnastoma neuronami w tych warstwach. Dlatego, ten model sieci neuronowej został wybrany do aplikacji sterującej. Na rys. 2 przedstawiono sieć neuronową wykorzystaną w aplikacji.



Rys. 2. Schemat sieci neuronowej wykorzystanej w aplikacji

4.2. Opis działania aplikacji sterującej procesem produkcji

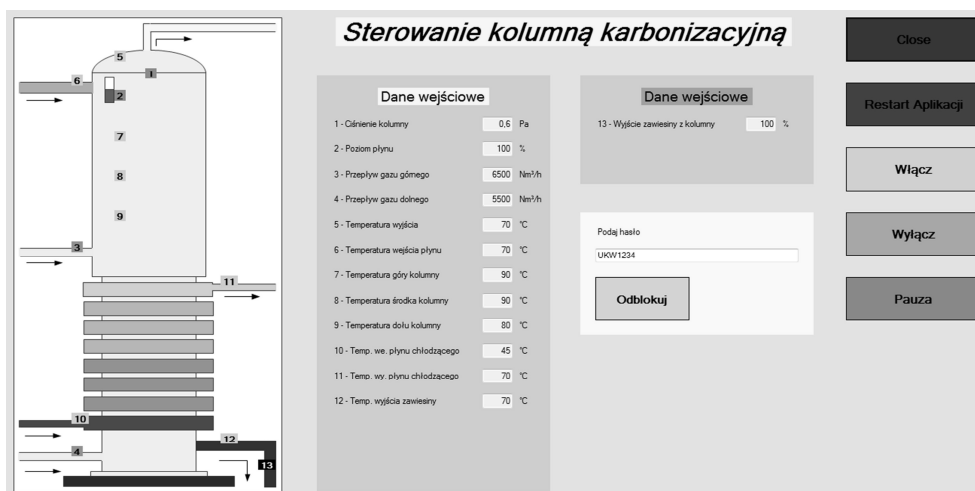
Opracowana aplikacja umożliwia sterowanie produkcją sody kalcynowanej (węglanu sodu - Na_2CO_3) oraz poprawę działania sieci neuronowej.

Interfejs aplikacji sterującej

Rysunek 3 przedstawia interfejs użytkownika aplikacji sterującej.

Interfejs użytkownika aplikacji sterującej kolumną karbonizacyjną zawiera:

- schemat kolumny karbonizacyjnej z zaznaczonymi miejscami czujników,
- panel wyświetlający dane z czujników (12 węzłów z rys. 1) w danym momencie (dane wejściowe do sieci neuronowej),



Rys. 3. Interfejs użytkownika programu sterującego

- panel wyświetlający odpowiedź sieci neuronowej (13-ty węzeł z rys. 1), w jaki sposób powinien być otwarty zawór (wyjście sieci neuronowej),
- panel umożliwiający wpisanie hasła w celu odblokowania przycisku serwisu do poprawy działania sieci neuronowej,
- odblokowanie serwisu (sprawdzenie wprowadzonego hasła z prawidłowym, przechowywanym w programie) – przycisk Odblokuj,
- przycisk Close - zamknięcia programu,
- przycisk Restart Aplikacji - restartu programu,
- przycisk Włącz - włączający sterowanie kolumną karbonizacyjną,
- przycisk Wyłącz - wyłączający sterowanie,
- przycisk Pauza - wstrzymanie działania programu.

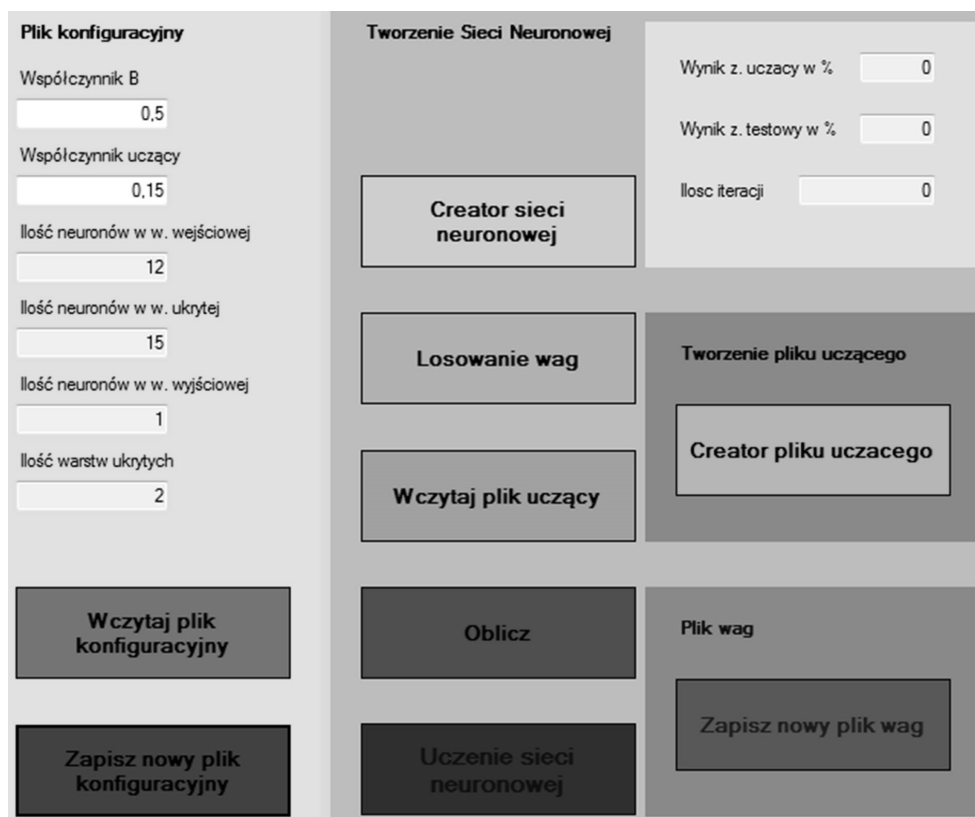
Sieć neuronowa w sposób ciągły wskazuje wartość procentową otwarcia zaworu dla napływających nowych danych wejściowych.

Interfejs serwisu poprawiającego działanie sieci neuronowej

Zadaniem serwisu jest poprawa działania sieci neuronowej, co prowadzi do lepszego sterowania kolumną karbonizacyjną. Poprawę działania sieci neuronowej można osiągnąć poprzez zmianę pliku konfiguracyjnego sieci lub (i) pliku wag. Rysunek 4 przedstawia interfejs użytkownika programu serwisowego. Jest on dostępny po wpisaniu hasła w programie sterującym i odblokowaniu przycisku serwisu.

Interfejs użytkownika programu serwis zawiera:

- panel wyświetlający ustawienia pliku konfiguracyjnego. W tym panelu jest możliwość zmiany parametrów sieci takich jak: współczynnik β i współczynnik uczenia,
- przycisk wczytujący obecnie używany plik konfiguracyjny,
- przycisk zapisujący nowy plik konfiguracyjny,
- przycisk tworzący sieć neuronową,
- przycisk losujący wagi neuronów i wagi progów,
- przycisk wczytujący nowy plik uczący w celu przeprowadzenia nauki,



Rys. 4. Interfejs użytkownika programu serwisowego

- przycisk Oblicz - wysyłający dane do sieci neuronowej w celu wyliczenia odpowiedzi. Wyniki procentowe i ilość iteracji zostają wyświetlone w panelu z wynikami. Dane otrzymane z sieci neuronowej są wyświetlone w dodatkowym panelu,
- przycisk nauki sieci neuronowej. Proces uczenia przy jednym naciśnięciu wynosi 1000 iteracji danych uczących,
- panel służy do wyświetlania wyników: procentowych wartości dobrych odpowiedzi danych uczących i testowych i ilość iteracji nauki sieci neuronowej,
- przycisk Creator pliku uczącego - otwierający program serwisowy do tworzenia pliku uczącego,
- przycisk tworzący plik z wagami połączeń i progami neuronu wykorzystywany w programie sterującym.

Etapy tworzenia pliku konfiguracyjnego i pliku wag są następujące:

- ustawienie parametrów: współczynnika β i współczynnika uczącego lub wczytanie pliku konfiguracyjnego,
- zapis pliku konfiguracyjnego,
- utworzenie sztucznej sieci neuronowej na podstawie pliku konfiguracyjnego,
- losowanie wag połączeń neuronowych i wag progów neuronu,

- wczytanie pliku uczącego, jeżeli plik nie istnieje, musi zostać utworzony w serwisie do tworzenia pliku uczącego,
- obliczanie procentowej wartości dobrych odpowiedzi sieci neuronowej. Jeżeli wartość nie jest zadowalająca, trzeba przeprowadzić uczenie sieci neuronowej. Naukę sieci neuronowej przeprowadza się tak długo, aż wartość procentowa danych uczących będzie większa niż 98%, a danych testowych będzie większa niż 85%,
- zapis pliku wag.

Interfejs programu serwis do tworzenia pliku uczącego

Zadaniem tego serwisu jest tworzenie pliku z danymi uczącymi i testowymi. Minimalna łączna ilość danych wynosi siedemdziesiąt. Rysunek 5 przedstawia interfejs użytkownika programu serwisowego do tworzenia pliku uczącego.

Interfejs użytkownika programu serwis do tworzenia pliku uczącego zawiera:

- panel do wpisywania nowych danych uczących i testowych (wartość danej wprowadzanej powinna być z przedziału między min a max),
- panel min i max wartości kolumny karbonizacyjnej,
- przycisk Odblokuj - odblokowujący zmianę min i max,
- przycisk Zablokuj - blokujący zmianę min i max (bez zablokowania panelu min i max nie można utworzyć pliku uczącego),
- przycisk Dodaj - umożliwiający dodanie nowych danych i jednocześnie sprawdzenie ich poprawności, każda dodana dana zostaje wyświetlona w panelu i jednocześnie zostaje zwiększony licznik,
- przycisk Usuń ostatnią daną - pozwala na usunięcie ostatniej danej (dane w programie przed zapisem przechowywane są w postaci stosu),
- Przycisk pozwalający na zapisanie danych w pliku, zapisanie pliku powoduje zamknięcie programu,
- Panel wyświetlający kolejno dodane dane,
- Licznik ilości danych na stosie (ilość elementów).

Etapy tworzenia pliku uczącego są następujące:

- sprawdzenie wartości minimalnych i maksymalnych oraz ewentualna ich zmiana,
- wpisanie danych w panelu do wpisywania nowych danych i dodanie do listy (przycisk dodaj). Dodana dana jest wyświetlana w panelu wyświetlającym dane. Błędnie dodane dane można usunąć (Przycisk usuń ostatnią daną),
- zapis pliku uczącego.

5 Podsumowanie

Wynikiem działania aplikacji jest sterowanie otwarciem zaworu sterującego opróżnieniem kolumny karbonizacyjnej z zawiesiny. Program wyświetla dane wejściowe w danej chwili i odpowiedź sieci neuronowej, w jaki sposób należy otworzyć zawór. Na dzień dzisiejszy program symuluje sterowanie kolumną karbonizacyjną. Jednak po przeprowadzeniu dodatkowych testów można go wprowadzić w warunki rzeczywiste. Aplikacja jest pierwszym etapem automatyzacji produkcji wodorowęglanu sodu.

Dodatkowo po wdrożeniu sterowania na kolumnach karbonizacyjnych, można by było rozszerzyć działanie aplikacji o nowe funkcje i utworzyć sieci neuronowe sterujące innymi instalacjami np.:

- halą maszyn zajmującą się dostarczaniem gazu (CO₂) do kolumn karbonizacyjnych,

Plik uczący	Dana	Min	Max	Zmiana Min i Max
1 - Ciśnienie kolumny	<input type="text" value="0"/> Pa	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="button" value="Odblokuj"/>
2 - Poziom plynu	<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="button" value="Zablokuj"/>
3 - Przepływ gazu górnego	<input type="text" value="0"/> Nm ³ /h	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="6500"/>	<input type="button" value="Dodaj"/>
4 - Przepływ gazu dolnego	<input type="text" value="0"/> Nm ³ /h	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="5500"/>	
5 - Temperatura wyjścia	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="70"/>	<input type="button" value="Usuń ostatnia daną"/>
6 - Temperatura wejścia plynu	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="70"/>	
7 - Temperatura góry kolumny	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="90"/>	<input type="button" value="Zapisz plik uczący"/>
8 - Temperatura środka kolumny	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="90"/>	
9 - Temperatura dołu kolumny	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="80"/>	
10 - Temp. we. plynu chłodzącego	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="45"/>	
11 - Temp. wy. plynu chłodzącego	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="70"/>	
12 - Temp. wyjścia zawiesiny	<input type="text" value="0"/> °C	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="70"/>	
13 - Wyjście zawiesiny z kolumny	<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>	
Ilość elementów	<input type="text" value="0"/>			

Rys. 5. Interfejs użytkownika serwisu do tworzenia pliku uczącego

- filtracją odbierającą zawiesinę z kolumn,
- kalcynacją zajmującą się kalcynowaniem (prażeniem) bikarbonatu.

Działanie aplikacji wykazało możliwość sterowania procesem produkcji sody kalcynowanej przy użyciu sieci neuronowych.

Literatura

1. Pająk E.: Zarządzanie produkcją, PWN, Warszawa, 2013.
2. Griffiths I., Adams M., Liberty J.: Programowanie C#, Helion, Gliwice, 2012.
3. Matulewski J.: VisualStudio 2013 Podręcznik programowania w C# z zadaniami, Helion, Gliwice, 2014.
4. Tadeusiewicz R.: Odkrywanie właściwości sieci neuronowych przy użyciu programów w języku C#, Polska Akademia Umiejętności, Kraków, 2007.
5. Larose D. T.: Odkrywanie wiedzy z danych. Wprowadzenie do eksploracji danych. PWN, Warszawa, 2006.
6. Russell S. J., Norvig P.: Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall, New Jersey, 2009.

Dr inż. Izabela ROJEK
Przemysław Staszyński, student IV roku informatyki
Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
85-064 Bydgoszcz, ul. Chodkiewicza 30
tel./fax: (0-52) 325 76 30/ (0-52) 325 76 44
e-mail: izarojek@ukw.edu.pl