

## PRÓBA PREDYKCJI ZMIANY STĘŻENIA $SO_2$ W ATMOSFERZE PRZY WYKORZYSTANIU KLASYFIKATORA PNN – BADANIA WSTĘPNE

### Streszczenie

Zanieczyszczenia środowiska naturalnego wpływa na komfort życia, szczególnie na terenach zurbanizowanych. Na całym świecie prowadzi się działania, których celem jest poprawa istniejącego stanu. Ochrona środowiska ma również szczególne znaczenie w polityce Unii Europejskiej. Prowadzi się liczne działania mające na celu zachęcać do tworzenia ekologicznej gospodarki, a także dbać o zdrowie i dobro-byt ludzi. Wprowadzanie zaostrzonych norm oraz finansowe wspieranie ekologicznych projektów ma istotny wpływ na wiele gałęzi gospodarki, szczególnie w zakresie przemysłu, transportu, czy produkcji energii. W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań związanych z predykcją zmian wartości stężenia  $SO_2$  w powietrzu atmosferycznym. W badaniach posłużono się danymi pomiarowymi ze stacji monitoringu powietrza w Gliwicach. W eksperymentach sprawdzano możliwość wykorzystania sztucznych sieci neuronowych typu PNN.

### WSTĘP

Atmosfera ziemską to powłoka gazowa otaczająca ziemię, składająca się z mieszaniny gazów zwanych powietrzem. Powietrze atmosferyczne jest bezbarwną i bezwoną mieszaniną gazów, tworzącą zewnętrzną strefę Ziemi. Procentowy skład powietrza w przeliczeniu na powietrze suche, pozbawione pary wodnej, do wysokości około 100 km, w % objętości, jest następujący:

- azot  $N_2$ : 78,06,
- tlen  $O_2$ : 20,95,
- argon Ar: 0,93,
- neon Ne:  $18,18 \times 10^{-4}$ ,
- hel He:  $5,24 \times 10^{-4}$ ,
- krypton Kr:  $1,14 \times 10^{-4}$ ,
- ksenon Xe:  $0,09 \times 10^{-4}$ ,
- wodór  $H_2$ :  $0,5 \times 10^{-4}$ ,
- metan  $CH_4$ :  $1,5 \times 10^{-4}$ ,
- tlenki azotu: 10-6.

Jest to średni skład tzw. czystego powietrza, stanowiącego wzorzec do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, z którym człowiek ma kontakt codziennie. Azot i tlen są podstawowymi składnikami powietrza. Ich udział, razem z argonem, stanowi 99,97%. Oprócz wymienionych już składników powietrza czystego, w skład rzeczywistego powietrza atmosferycznego wchodzi para wodna, której udział zależy, między innymi od temperatury oraz ozon.

Procentowa zawartość głównych składników nie ulega w zasadzie zmianie do wysokości 80 km. Wyjątek stanowią para wodna i aerozole atmosferyczne, występujące głównie w warstwach powietrza znajdujących się bliżej powierzchni Ziemi (połowa zawartej w atmosferze pary wodnej występuje poniżej wysokości 1,5 km) oraz ozon, który koncentruje się na wysokości 20-30 km. Powyżej wysokości 80 km powietrze staje się bardzo rozrzedzone, a jego skład ulega zmianie w wyniku procesów zachodzących pod wpływem krótkofalowego promieniowania słonecznego i promieniowania kosmicznego.

Odstępstwa od składu czystego powietrza świadczą o jego zanieczyszczeniu. Substancje, które w wyniku naturalnych zdarzeń przyrodniczych lub działalności ludzkiej dostają się do powietrza zmieniając ilościowo lub jakościowo jego skład naturalny uważane

są za zanieczyszczenia. Im bardziej skład powietrza będzie różny od składu powietrza czystego, tym bardziej będzie ono zanieczyszczone, a tym samym bardziej uciążliwe dla środowiska biologicznego.

Powietrze jest komponentem środowiska ważnym nie tylko ze względu na zawarty w nim tlen, bez którego życie organiczne byłoby niemożliwe, ale także dlatego, że ma decydujący wpływ na zdrowie człowieka. Obliczono, że człowiek wdycha dziennie ok. 16 kg powietrza, tj. kilkakrotnie więcej niż w tym czasie wypija wody i spożywa żywności.

Z tego powodu aktywne chemicznie zanieczyszczenia powietrza, nawet w niewielkich stężeniach, mogą wywoływać negatywne skutki w organizmie ludzkim. Jest to tym bardziej istotne, że w procesie oddychania wiele zanieczyszczeń jest wchłanianych przez płuca bezpośrednio do krwioobiegu.

W powietrzu atmosferycznym występują liczne zanieczyszczenia, więc ciągła ocena ich stężeń jest ze względów technicznych i organizacyjnych niemożliwa. W praktyce ocenę ogranicza się do minimum, oznaczając stężenia tylko tych zanieczyszczeń, których stężenie jest łatwe do zmierzenia z dostateczną dokładnością. Te wybrane do systematycznego oznaczania zostały nazwane charakterystycznymi lub pod-stawowymi zanieczyszczeniami powietrza atmosferycznego. Zalicza się do nich:

- dwutlenek siarki,
- pyły nietoksyczne,
- tlenek i dwutlenek węgla,
- tlenki azotu,
- benzopiren.

Ze wszystkich zanieczyszczeń powietrza najgroźniejsze są związki siarki, w szczególności zaś jej dwu-tlenek.

Substancje zanieczyszczające powietrze atmosferyczne występują we wszystkich trzech stanach skupienia. Istnieje więc możliwość tworzenia przez nie, z udziałem powietrza, układów wieloskładnikowych i wielofazowych.

Szczegółowe podstawowe informacje dotyczące zagadnień związanych z zanieczyszczeniem powietrza można znaleźć przykładowo w [1-3, 11, 15].

Ochrona środowiska naturalnego jest regulowana szeregiem dokumentów, m.in. w [4, 5, 10, 21-25].

Należy zauważyć, że oprócz działań bezpośrednio wpływających na zmniejszenie emitowanych do atmosfery szkodliwych substancji, podejmuje się również inne działania – przykładowo w sferze projektowania, konstruowania i wytwarzania środków transportu, których efektem jest również pozytywny wpływ na ograniczenie emisyjności [7-9, 13, 17, 20, 26].

## 1. OPIS I WYNIKI BADAŃ

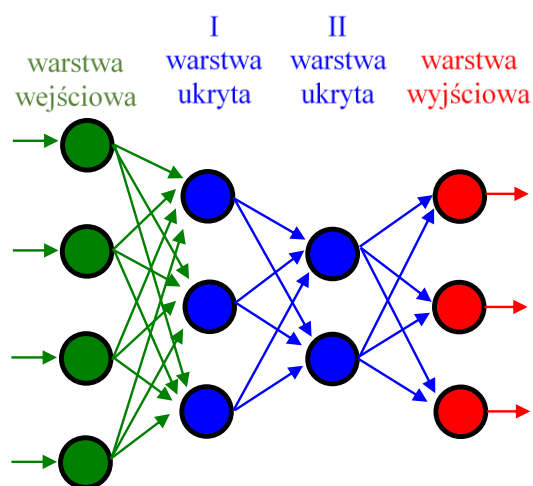
Niniejszy artykuł stanowi próbę predykcji zmiany poziomu zanieczyszczenia  $SO_2$ , wykorzystując do tego celu odpowiednio zbudowany klasyfikator neuronowy oparty na sztucznych sieciach neuronowych typu PNN.

Sztuczne sieci neuronowe wykorzystują w swoim działaniu biologiczną inspirację, którą jest mózg. Podstawowym elementem sztucznych sieci neuronowych są sztuczne neurony, które nie stanowią wierniej kopii neuronu biologicznego, ale spełniają podobne funkcje.

Sygnal podawany na wejścia neuronu jest mnożony przez odpowiednio dobrane współczynniki wag. Wagi odpowiadają sile połączeń synaptycznych w biologicznym neuronie. Dalej sygnały są sumowane i wyznaczany jest poziom aktywacji neuronu. W biologicznym neuronie blok sumowania odpowiada ciału komórki, a generowany przez nią sygnał odpowiada potencjałowi membranowemu komórki. Ponieważ rzeczywiste biologiczne neurony są nieliniowe, w sztucznych neuronach wprowadzono funkcję nieliniową – zwaną funkcją aktywacji. Określa ona nieliniowy związek między wypadkowym sygnałem pobudzenia neuronu, a sygnałem wyjściowym będącym odpowiedzią neuronu na sygnały wejściowe.

Zestaw wielu połączonych ze sobą i równolegle działających neuronów tworzy sieć neuronową. Dokładny opis sztucznych sieci neuronowych można znaleźć w literaturze [6, 12, 14, 19].

Przykładową sieć wielowarstwową jednokierunkową pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Sztuczna sieć neuronowa

Do jednego z rodzajów sztucznych sieci neuronowych, wykorzystywanych w procesach klasyfikacji, należą probabilistyczne sieci neuronowe PNN (z ang. Probabilistic Neural Networks).

Dzielą one zbiór danych na ustaloną liczbę kategorii wyjściowych. Mają budowę trójwarstwową i tworzą je warstwa wejściowa, ukryta oraz wyjściowa. Liczba neuronów w warstwie ukrytej równa jest liczbie próbek uczących, zaś liczba neuronów wyjściowych równa jest liczbie kategorii klasyfikacji [6, 12].

Każdy neuron radialny modeluje funkcję Gaussa wycelowaną nad jednym wzorcem uczącym. Neurony wejściowe sumują wartości z wyjść neuronów ukrytych należących do klasy odpowiadającej danemu neuronowi wyjściowemu. Wartości wyjść sieci są proporcjonalne do estymatorów jądrowych funkcji gęstości prawdopodobieństwa dla różnych klas. Po zastosowaniu normalizacji zapewniającej sumowanie do jedności stanowią oszacowanie prawdopodobieństwa przynależności do poszczególnych klas [6, 12].

Wykorzystując ten typ sieci należy odpowiednio dobrać współczynnik wygładzający  $\gamma$  [6, 12]. Współczynnik ten reprezentuje odchylenie radialne funkcji gaussowskich. Jest on miarą zasięgu neuronów w warstwie ukrytej. Zbyt mała jego wartość powoduje utratę własności generalizowania wiedzy przez sieć. Zbyt duża wartość, uniemożliwia prawidłowy opis szczegółów. Wartość współczynnika wygładzającego  $\gamma$  dobiera się na drodze eksperymentalnej.

Do największych zalet sieci tego typu należy uznać dużą szybkość uczenia. Największą ich wadą jest natomiast ich złożoność.

Jako dane wejściowe dla sztucznych sieci neuronowych posłużyły dane zarejestrowane na terenie Gliwic. Stacja monitoringu jakości powietrza na terenie Gliwic znajduje się przy ulicy Mewy. Stacja znajduje się na obszarze o charakterystyce miejskim. Pomiar dokonywane są na wysokości 3,7 m. Stacja monitoringu powietrza dokonuje pomiarów w cyklu 1 godzinnym, natomiast w przeprowadzonych doświadczeniach wykorzystano średnie wartości w kolejnych dniach z pięciu lat.

Do danych wejściowych należały:

- data pomiaru w cyklu jednogodzinnym,
- prędkość wiatru,
- kierunek wiatru,
- temperatura powietrza,
- wilgotność,
- nasłonecznienie,
- stężenie  $SO_2$ .

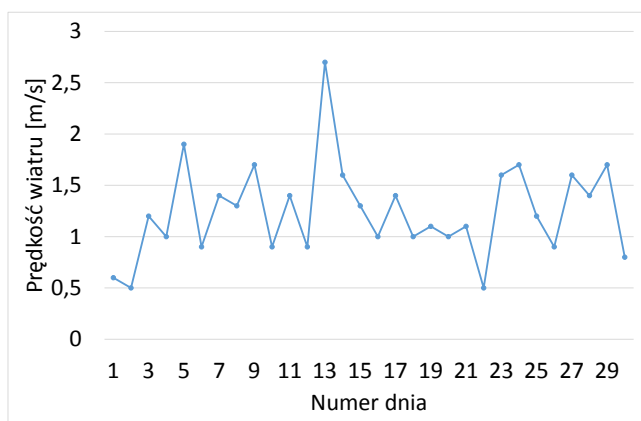
Daną związaną z datą zamodelowano za pomocą trzech neuronów, określających osobno dzień, miesiąc i rok.

W badaniach jako daną wyjściową dla sztucznych sieci neuronowych przyjęto zmianę zarejestrowanego poziomu stężenia  $SO_2$ . Określono tutaj trzy możliwe stany, zamodelowane za pomocą trzech neuronów w warstwie wyjściowej sieci:

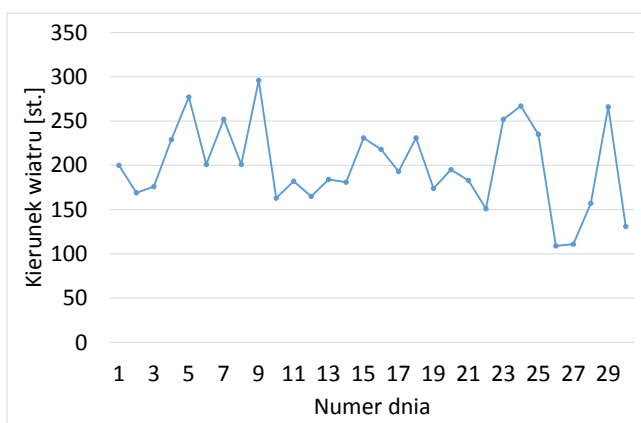
- wzrost stężenia – wartości dla neuronów wyjściowych: [1, 0, 0],
- stężenie bez zmian – wartości dla neuronów wyjściowych: [0, 1, 0],
- spadek stężenia – wartości dla neuronów wyjściowych: [0, 0, 1].

Wartość stężenia  $SO_2$  występowała zarówno jako dana wejściowa, jak i wyjściowa sieci neuronowych. Dana wyjściowa stanowiła następstwo kilku wcześniejszych zarejestrowanych wartości stężenia, które stanowiły dane wejściowe.

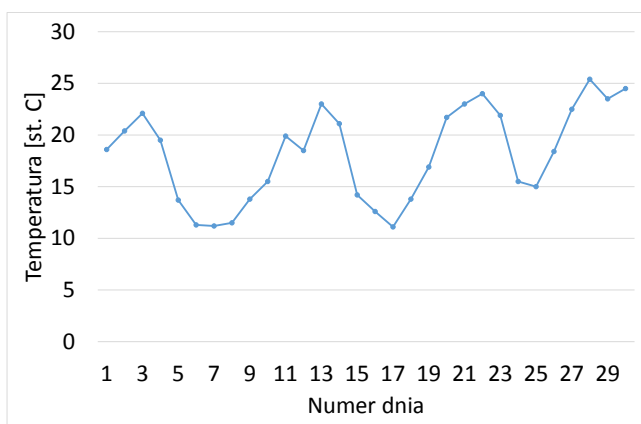
Przykładowe wykresy obrazujące zmiany danych wejściowych w kolejnych dniach pokazano na rysunkach 2-6.



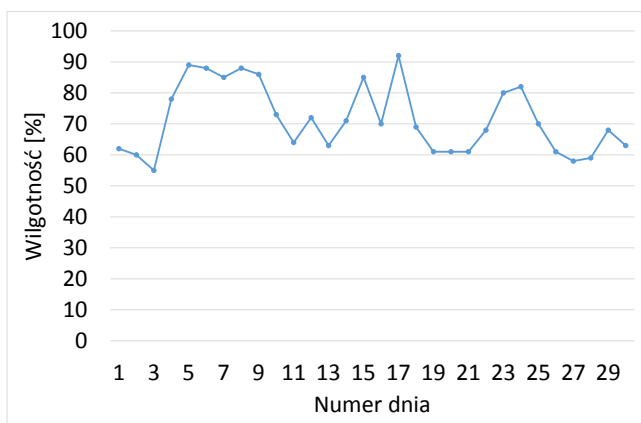
Rys. 2. Przykładowy rozkład zmian prędkości wiatru



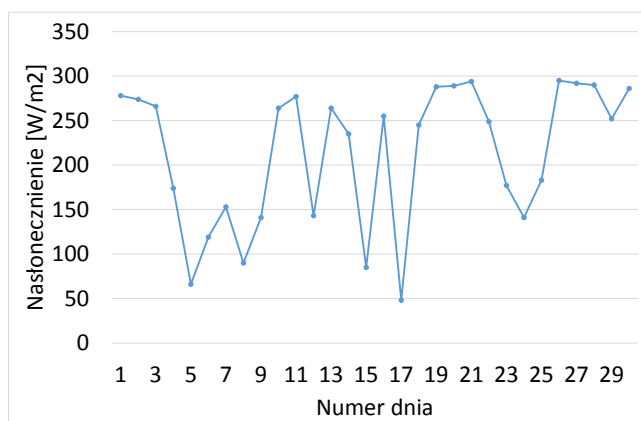
Rys. 3. Przykładowy rozkład zmian kierunku wiatru



Rys. 4. Przykładowy rozkład zmian temperatury powietrza

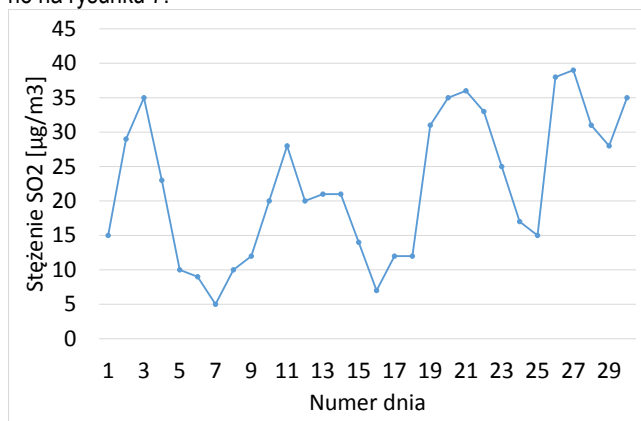


Rys. 5. Przykładowy rozkład zmian wilgotności



Rys. 6. Przykładowy rozkład zmian nasłonecznienia

Przykładowe wartości zarejestrowanego stężenia  $\text{SO}_2$  pokazano na rysunku 7.

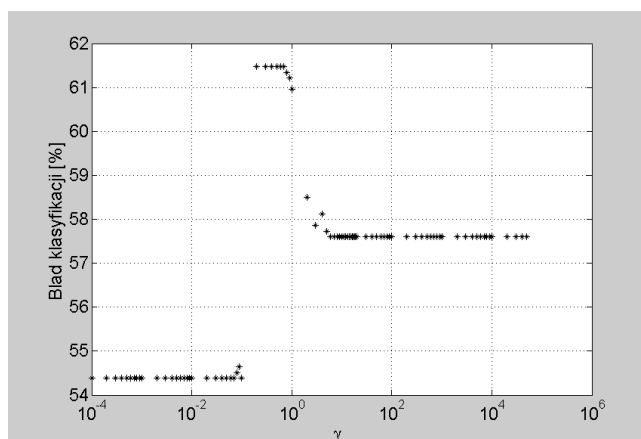


Rys. 7. Przykładowy rozkład zmian stężenia  $\text{SO}_2$

W trakcie eksperymentów sprawdzano wpływ liczby zarejestrowanych wartości stężenia  $\text{SO}_2$ , które stanowiły dane wejściowe, na poprawność wyników klasyfikacji zmiany stężenia. Badania przeprowadzono dla wariantów sieci uczonych przy wykorzystaniu w jednym rekordzie danych z 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 dni.

W przeprowadzonych doświadczeniach sprawdzano wpływ wartości współczynnika wygładzającego na poziom błędów klasyfikacji sztucznych sieci neuronowych typu PNN. Sprawdzono działanie sieci dla 86 różnych wartości współczynnika  $\gamma$ .

Przykładowy wpływ współczynnika wygładzającego na poprawność klasyfikacji pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Przykładowy wpływ współczynnika  $\gamma$  na błąd klasyfikacji

Najlepsze wyniki uzyskane w trakcie przeprowadzonych eksperymentów zestawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Zestawienie najlepszych wyników w procesie predykcji stężenia SO<sub>2</sub>

Liczba dni przyjętych jako rekord wejściowy dla klasyfikatorów neuronowych [-]	Liczba wejść sieci PNN	Minimalny błąd klasyfikacji [%]
1	11	50,51
2	19	49,37
3	27	53,99
4	35	53,48
5	54	53,55
10	83	53,82
15	123	55,43
20	163	53,91
25	203	56,30
30	243	54,38
35	283	56,92
40	323	54,47
45	363	55,47
50	403	54,31
55	443	55,96
60	483	54,53

## PODSUMOWANIE

Postęp, realizowany rzekomo w imię dobra człowieka, zaczął bezpośrednio zagrażać jego zdrowiu i życiu, czego najlepszym wyrazem są doniesienia o grożących katastrofach, takich jak zniszczenie warstwy ozonowej i globalne ocieplenie klimatu Ziemi.

Wpływ zanieczyszczeń na zdrowie człowieka jest zależny nie tylko od poziomu stężenia czasu ekspozycji zanieczyszczeń ale i wielu czynników osobniczych, w tym wieku, indywidualnej odporności organizmu, współistniejących chorób, stylu życia itp. [15, 17].

Raport przedstawiony przez Europejską Agencję Ochrony Środowiska kwalifikuje w pierwszej dziesiątce najbardziej zanieczyszczonych miast Unii Europejskiej aż sześć polskich miast. Dodatkowo należy zauważyć, że aż cztery z nich znajdują się na śląsku. Jednym z tych miast są Gliwice, które zostały wybrane do niniejszych badań.

W artykule przedstawiono wstępne badania mające na celu predykcję zmian wartości stężenia SO<sub>2</sub> w powietrzu. Do tego celu posłużono się sztucznymi sieciami neuronowymi typu PNN.

Wstępne wyniki badań pokazały, że niemożliwa jest predykcja na zadowalającym poziomie przy wykorzystaniu do tego celu klasyfikatora PNN uczony za pomocą danych opracowanych w sposób zaproponowany w przeprowadzonych doświadczeniach. Niezależnie od przyjętych w doświadczeniach wielkości wzorców, nie udało się uzyskać poprawnie działającego klasyfikatora.

W dalszych badaniach należy sprawdzić:

- czy wykorzystywane dane nie są zbyt niekompletne (w zebranych danych występowały okresy, w których stacja monitoringu nie rejestrowała danego parametru),
- inne sposoby budowy wzorców (przykładowo z wykorzystaniem jednej z metod przetwarzania sygnału),
- inny typ klasyfikatora neuronowego (przykładowo MLP lub RBF).

## BIBLIOGRAFIA

1. Budnikowski A., *Ochrona środowiska jako problem globalny*. Polskie Wydawnictwa Ekonomiczne. Warszawa 1998.
2. Chłopek Z., *Pojazdy samochodowe. Ochrona Środowiska Naturalnego*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002.
3. Dubel K., *Ochrona i kształtowanie środowiska*. Krosno 2001.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze- go powietrza dla Europy (Dz.U. L152 11.6.2008).
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (Dz.U. L334 17.12.2010).
6. Gately E., *Sieci neuronowe. Prognozowanie finansowe i projektowanie systemów transakcyjnych*. Wydawnictwo WIG-Press. Warszawa 1999.
7. Grega R., Homišin J., Kašay P., Krajňák J., *The analyse of vibrations after changing shaft coupling in drive belt conveyer*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2011. Vol. 72.
8. Harachová D., Medvecká-Beňová S., *Applying the modularity principle in design of drive systems in mechanotherapeutic devices*. Grant Journal. 2013. Vol. 2, no. 2.
9. Homišin J., *Dostrajanie układów mechanicznych drgających skrzętnie przy pomocy sprzęgieł pneumatycznych: kompendium wyników pracy naukowo-badawczych*. Wydawnictwo ATH. Bielsko-Biała 2008.
10. Konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości, sporządzona w Genewie dnia 13 listopada 1979 r. (Dz.U.85.60.311 z dnia 28 grudnia 1985r.).
11. Kozłowski S., *Gospodarka a środowisko przyrodnicze*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1991.
12. Lula P., Tadeusiewicz R., *Wprowadzenie do sieci neuronowych*. Wydawnictwo StatSoft. Kraków 2001.
13. Medvecká-Beňová S., Vojtková J., *Analysis of asymmetric tooth stiffness in eccentric elliptical gearing*. Technológ. 2013. Roč. 5, č. 4.
14. Osowski S., *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2006.
15. Paczuski R., *Prawo ochrony środowiska*. Oficyna Wydawnicza BRANTA. Bydgoszcz 2000.
16. Piotrowski J., *Podstawy toksykologii*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2008.
17. Puškár M., Bigoš P., Puškárová P., *Accurate measurements of output characteristics and detonations of motorbike high-speed racing engine and their optimization at actual atmospheric conditions and combusted mixture composition*. Measurement. 2012. Vol. 45.
18. Seńczuk W., *Toksykologia współczesna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2005.
19. Tadeusiewicz R., Chaki R., Chaki N., *Exploring Neural Networks with C#*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, 2014.
20. Urbanský M., Homišin J., Krajňák J., *Analysis of the causes of gaseous medium pressure changes in compression space of pneumatic coupling*. Transactions of the Universities of Košice. 2011. Vol. 2.
21. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627).
22. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. 2008 Nr 199 poz. 1227).
23. Ustawa z dnia 20 kwietnia 2004 r. o substancjach zubożających warstwę ozonową (Dz. U. z 2004 r. Nr 121, poz. 1263).
24. Ustawa z dnia 28 kwietnia 2011 r. o systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (Dz. U. z 2011 r. Nr 122, poz.695).

25. Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2009 r. Nr 130, poz. 1070).
26. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., *Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods*. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability. 2014. No 16(1).

### **PREDICTION OF CHANGES IN THE CONCENTRATION OF SO<sub>2</sub> IN THE ATMOSPHERE BY USING PNN CLASSIFIER – PRELIMINARY TEST**

#### ***Abstract***

*Environmental pollution has a particular impact on the comfort of life, especially in urban areas. Around the world, efforts are aimed at improving this situation. Particular importance in the policy of the European Union is protecting the environment. Its activities are designed to encourage companies for creating a green economy, as well as care for the health and prosperity of people. The introduction of more stringent standards, and financial support for environmental projects have a significant impact on many sectors of the economy, especially in the field of industry, transport, and energy production. The article presents results of preliminary studies related to the prediction of changes in the concentration of SO<sub>2</sub> in atmospheric air. Researches was based on the data on concentrations of pollutants and meteorological conditions recorded by an automatic station monitoring the air quality in Gliwice. The possibility of using PNN artificial neural networks were tested in the experiments.*

Autorzy:

mgr inż. **Renata Czech** – Politechnika Śląska

dr hab. inż. **Piotr Czech** prof. nadzw. PŚ – Politechnika Śląska