

MODEL ANALIZATORA INTENSYWNOŚCI ZAPACHU

JOANNA KOŚMIDER

Politechnika Szczecińska, Instytut Inżynierii Chemicznej
i Procesów Ochrony Środowiska, Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin

Keywords: olfaction, odour intensity, odour interaction, psychophysical models

MODEL OF ODOUR-INTENSITY ANALYZER

The model of odour intensity analyzer in form of two layers of neurons: reception layer (I) and perception layer (II), was proposed. The first layer consist of specific receptors of odorants, which are random distributed. The odorant dependence on odour intensity of mixture is connected with the number of suitable receptors and with the number of their combinations with second layer neurons (the value of differentiation). The second layer neuron is stimulated with the same power after receiving the signal from any one receptor or any several receptors. It was assumed that the odour intensity is directly proportional to the number of stimulated neurons in second layer.

The simulations of model of odour intensity analyzer in form of two layers which consist of 1000 and 1456 neurons, was made. 300 of A receptors with the value of differentiation 1:9 and 100 of B receptors with the value of differentiation 1:25, were in the first layer. The similarity of analyzer model working with the human smell working, was finded.

Streszczenie

Zaproponowano model analizatora intensywności zapachu w postaci dwóch warstw neuronów: warstwy recepcyjnej (I) i percepcyjnej (II). Warstwa I zawiera chaotycznie rozmieszczone selektywne receptory poszczególnych odorantów. Wpływ odoranta na intensywność zapachu mieszaniny zależy od liczby odpowiednich receptorów oraz liczby jego połączeń z neuronami warstwy II (stopień dywergencji). Neuron warstwy II zostaje pobudzony jednakowo po odebraniu sygnału z dowolnego receptora lub z kilku receptorów. Założono, że intensywność zapachu jest wprost proporcjonalna do liczby pobudzonych neuronów warstwy II.

Przeprowadzono symulację działania modelu złożonego z warstwy I o wymiarach 10×1000 i warstwy II o wymiarach 14×104 . W warstwie I rozmieszczano losowo 300 receptorów A o stopniu dywergencji 1:9 i 100 receptorów B o stopniu dywergencji 1:25. Stwierdzono podobieństwo reakcji modelu analizatora na działanie mieszanin AB do reakcji ludzkiego węchu.

WPROWADZENIE

Podczas kilkuletnich sensorycznych badań zapachu powietrza zanieczyszczonego mieszaninami odorantów zgromadzono zbiory doświadczalnych zależności intensywności zapachu od stężenia zanieczyszczeń [4, 5, 10]. Potwierdzono liniową zależność intensywności od logarytmu z sumy stężeń (prawo Webera-Fechnera):

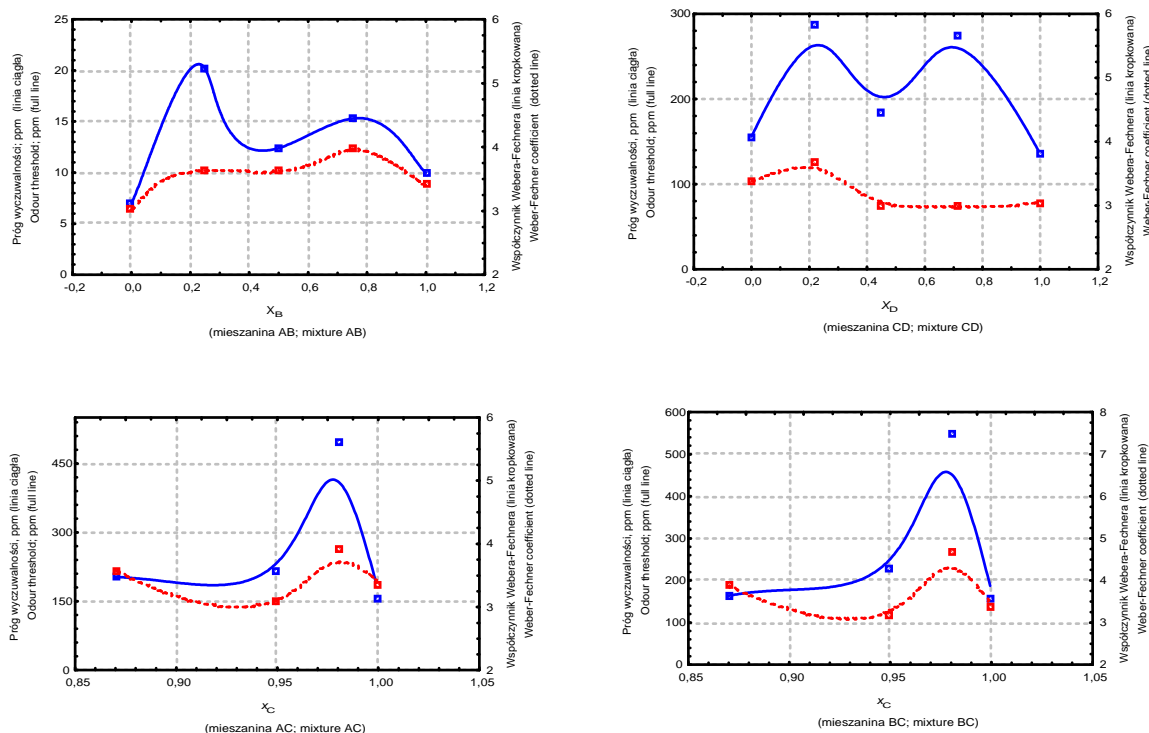
$$I = m + k \log S \quad (1)$$

$$(S = S_{PWW} \rightarrow I = 0)$$

$$I = k \log (S/S_{PWW}) \quad (2)$$

gdzie: I – intensywność zapachu, S – stężenie odorantów [ppm], S_{PWW} – próg węchowej wyczuwalności [ppm], k – współczynnik Webera-Fechnera, $m = k \log S_{PWW}$.

Wybrane wyniki oznaczeń intensywności zapachu powietrza zawierającego dwa odoranty przedstawiono na rysunku 1. Ilustrują odchylenia wyznaczonych wartości progu wyczuwalności zapachu i współczynnika Webera-Fechnera od przewidywanych przy założeniu addytywności.



Rys. 1

Typowe zależności progu wyczuwalności zapachu i współczynnika Webera-Fechnera od proporcji odorantów w mieszaninach dwuskładnikowych: A – cykloheksanol, B – cykloheksanon, C – cykloheksan, D – heksan

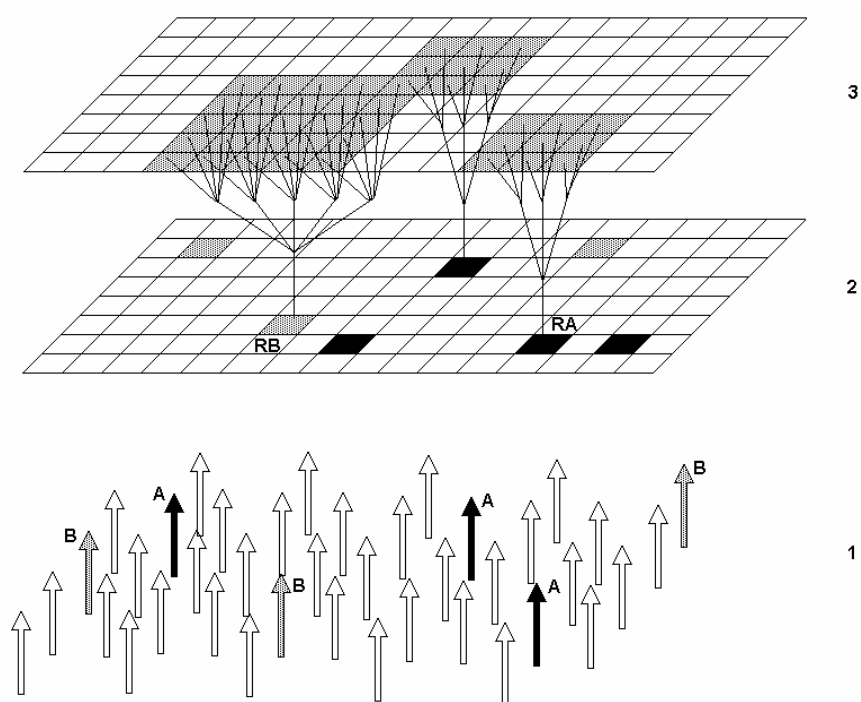
Zagadkowego charakteru zależności nie wyjaśniają dotychczas publikowane równania psychofizyczne i modele węchowych interakcji [1-3, 8, 9], takie jak model wektorowy, ERM (*Equiratio Mixture Model*) i inne. Stwierdzono celowość zastosowania modeli specyficznych.

Należą do nich modele tworzone z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Są przygotowywane do ocen intensywności zapachu w czasie treningu – wielokrotnego prezentowania zbiorów wielu wcześniej wykonanych sensorycznych ocen intensywności zapachu mieszanin o różnym składzie [3, 5, 6]. Modele nie wymagające wprowadzania informacji o opiniach ludzi są wciąż poszukiwane. Praktycznym efektem rozwiązania tego problemu powinna być konstrukcja instrumentalnych analizatorów intensywności zapachu.

W ramach pracy zaproponowano prosty model analizatora intensywności, zbudowany na zasadach przypominających działanie sieci neuronowej.

CEL I ZAKRES PRACY

Postanowiono sprawdzić, w jakim stopniu doświadczalnie stwierdzone efekty (rys. 1) można wyjaśnić opierając się na założeniach schematycznie przedstawionych na rysunku 2. Założenia dotyczą percepcji intensywności zapachu powietrza zanieczyszczonego odorantami A i B.



Rys. 2

Schemat proponowanego modelu analizatora intensywności zapachu: 1 – falanga cząsteczek gazu, 2 – recepcyjna warstwa neuronów (warstwa I), 3 – percepcyjna warstwa neuronów (warstwa II), A, B – symbole cząsteczek odorantów, występujących wśród licznych cząsteczek bezwonne; RA, RB – specyficzne receptory cząsteczek A i B, połączone z neuronami warstwy 2 w różnym stopniu rozgałęzionymi „aksonami” (dywergencja sygnałów A i B, odpowiednio: 9 i 25)

Sprowadzają się do następujących stwierdzeń:

1. modelem węchowego analizatora intensywności zapachu są dwie warstwy neuronów: recepcyjna (warstwa I) i percepcyjna (warstwa II),
2. odczuwana intensywność zapachu (I) jest proporcjonalna do liczby pobudzonych neuronów warstwy II, a pobudzeniu tysiąca neuronów warstwy II można umownie przypisać wartość $I = 10$,
3. neurony warstwy I są specyficznymi, receptorami różnych odorantów, rozmieszczonymi chaotycznie,
4. różne rodzaje receptorów występują w różnych ilościach,
5. receptory jednego typu charakteryzują się specyficzną dla nich liczbą połączeń z neuronami warstwy II (charakterystyczny stopień dywergencji),
6. w wypadku powietrza zanieczyszczonego dwoma odorantami (A i B) pobudzenie receptorów wywołuje falanga cząsteczek zanieczyszczonego powietrza, w której losowo rozmieszczone są cząsteczki A i B. Udziały obu rodzajów cząsteczek w falandze są proporcjonalne do ich udziałów w fazie gazowej.

W niniejszej pracy zbadano reakcje tak skonstruowanego analizatora zakładając że:

- ◇ warstwa I zawiera 1000 neuronów w regularnej sieci o wymiarach 10×100 węzłów, a warstwa II - 1456 neuronów w sieci o wymiarach 14×104 ,
- ◇ w każdym z dziesięciu szeregów warstwy I znajduje się 30 receptorów A i 10 receptorów B (odpowiednio 30 i 10%),
- ◇ pobudzenie receptora A wywołuje pobudzenie dziewięciu neuronów warstwy II, położonych bezpośrednio nad nim (stopień dywergencji A: 1:9),
- ◇ pobudzenie receptora B wywołuje pobudzenie dwudziestu pięciu neuronów warstwy II, położonych bezpośrednio nad nim (stopień dywergencji B: 1:25).

Udziały cząsteczek A w mieszaninach AB ustalono na poziomach: $x_A = 0; 0,2; 0,5; 0,8$ i $1,0$, a ich łączna liczba w falandze tysiąca cząsteczek atakujących warstwę I wynosiła co najmniej 50 (po co najmniej 5 w każdym z dziesięciu szeregów).

METODYKA BADAŃ

Badania wykonano korzystając z programu *Excel*. W pierwszym arkuszu kalkulacyjnym (tabela 1) zestawiano kolejne kolumny odpowiadające szeregowi pierwszej warstwy neuronów i szeregowi falangi cząsteczek (kolumny B i D). Każda z kolumn zawierała po sto wartości liczbowych, w tym odpowiednie ilości liczb przypisanych receptorom i cząsteczkom odorantów. Receptorom i cząsteczkom A przypisano wartość liczbową 1, receptorom i cząsteczkom B – wartość ujemną: -2, pozostałym receptorom i cząsteczkom falangi – wartość zero. Zmiany rozmieszczenia liczb 1 i -2 w obu kolumnach uzyskiwano metodą sortowania według odpowiednich kolumn wartości losowych (kolumny A i C). Efekt kontaktu szeregu receptorów i szeregu cząsteczek obserwowano w kolumnie E zawierającej ilorazy odpowiednich wartości z kolumn B i D. Wartości 0 i -2 oznaczały brak pobudzenia receptora, wartość 1 – pobudzenie receptora A, wartość 4 – pobudzenie receptora B.

Tabela 1

Fragment arkusza kalkulacyjnego wykorzystywanego do kompletowania danych o stanie pobudzenia modelu analizatora węchowego (strona lewa – dane przed randomizacją, strona prawa – po randomizacji):
 kolumny A i C – wartości losowe wykorzystywane do randomizacji danych, odpowiednio w kolumnach B i D,
 kolumna B - rozmieszczenie 100 receptorów węchowych (1, -2) w jednym szeregu warstwy recepcyjnej, kolumna D - rozmieszczenie 100 cząsteczek odorantów (1, -2) w odpowiednim szeregu falangi cząsteczek gazu, kolumna E - rozmieszczenie receptorów pobudzonych (iloczyn 1, 4)

| A | B | C | D |
|------|----|------|----|
| 0,72 | -2 | 0,11 | -2 |
| 0,34 | -2 | 0,42 | -2 |
| 0,99 | -2 | 0,18 | -2 |
| 0,34 | -2 | 0,76 | -2 |
| 0,73 | -2 | 0,34 | -2 |
| 0,10 | -2 | 0,87 | -2 |
| 0,14 | -2 | 0,74 | -2 |
| 0,39 | -2 | 0,56 | -2 |
| 0,57 | -2 | 0,05 | -2 |
| 0,68 | -2 | 0,62 | -2 |
| 0,47 | 0 | 0,07 | -2 |
| 0,79 | 0 | 0,65 | -2 |
| 0,98 | 0 | 0,64 | -2 |
| 0,67 | 0 | 0,88 | 0 |
| 0,06 | 0 | 0,52 | 0 |

| A | B | C | D | E |
|------|----|------|----|----|
| 0,53 | 0 | 0,59 | 0 | 0 |
| 0,01 | 0 | 0,53 | 0 | 0 |
| 0,23 | 1 | 0,48 | -2 | -2 |
| 0,99 | 0 | 0,22 | 1 | 0 |
| 0,29 | 1 | 0,39 | 1 | 1 |
| 0,93 | -2 | 0,24 | 0 | 0 |
| 0,12 | 0 | 0,88 | -2 | 0 |
| 0,93 | 1 | 0,92 | 0 | 0 |
| 0,31 | 0 | 0,61 | 0 | 0 |
| 0,49 | 0 | 0,67 | 1 | 0 |
| 0,41 | 1 | 0,71 | -2 | -2 |
| 0,82 | 0 | 0,80 | 0 | 0 |
| 0,58 | 0 | 0,53 | 1 | 0 |
| 0,93 | 1 | 0,68 | 0 | 0 |
| 0,70 | 1 | 0,25 | -2 | -2 |

| | | | |
|------|---|------|---|
| 0,87 | 0 | 0,09 | 0 |
| 0,33 | 0 | 0,96 | 1 |
| 0,37 | 1 | 0,43 | 1 |
| 0,39 | 1 | 0,07 | 1 |
| 0,92 | 1 | 0,33 | 1 |

| | | | | |
|------|----|------|----|---|
| 0,55 | 0 | 0,13 | 0 | 0 |
| 0,89 | 0 | 0,61 | -2 | 0 |
| 0,38 | 0 | 0,65 | 0 | 0 |
| 0,72 | -2 | 0,95 | -2 | 4 |
| 0,83 | 1 | 0,97 | 0 | 0 |

Tabela 3

Fragment arkusza kalkulacyjnego wykorzystywanego podczas określania liczby pobudzonych neuronów warstwy II (S2) o wymiarach 100*10; 1 – neuron pobudzony

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | |
| | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|---|
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 40 | 55 | 69 | 75 | 72 | 80 | 73 | 68 | 52 | 53 | 41 | 20 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | SUMA: S2 = 716 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

WYNIKI BADAŃ

Wykonano pięć serii prób, w których udziały cząsteczek A w mieszaninach AB wynosiły:

$x_A = 0; 0,2; 0,5; 0,8$ i $1,0$). Ich wyniki zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

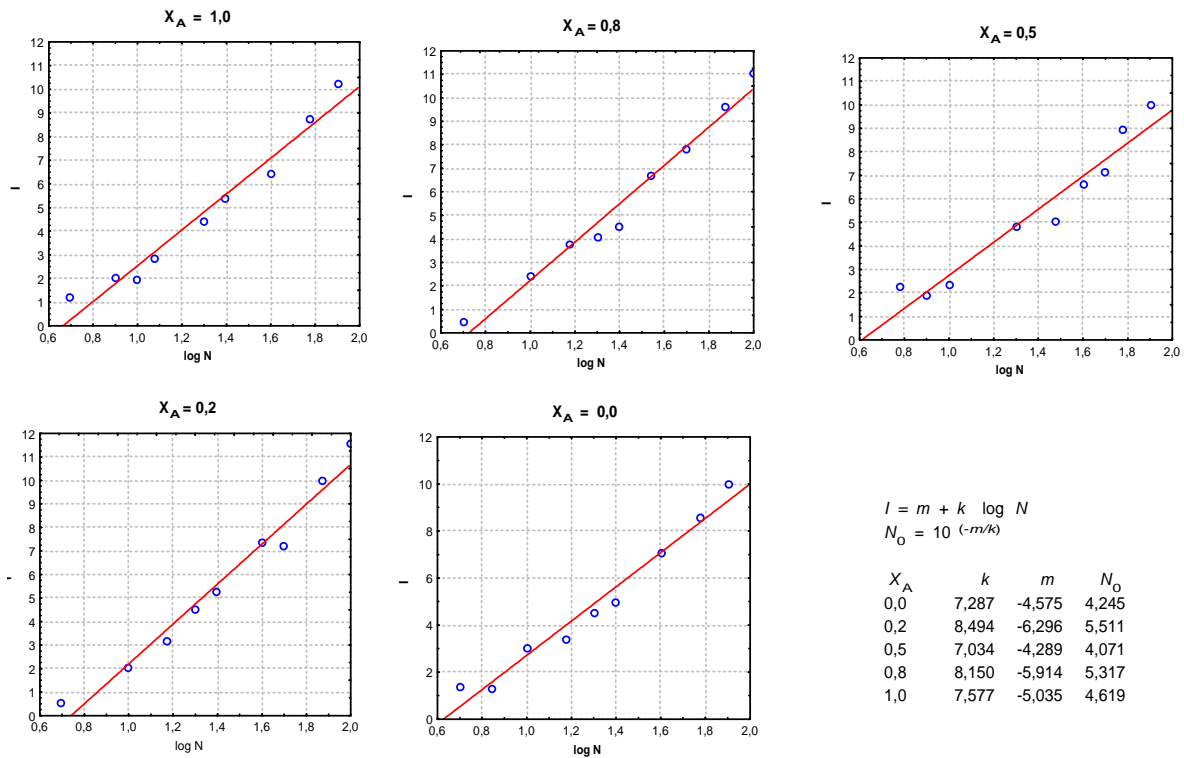
Wyniki badań reakcji modelu analizatora intensywności zapachu: N_A , N_B – liczba cząsteczek A i B wśród 100 cząsteczek jednego szeregu falangi, N – suma N_A i N_B , SI – liczba pobudzonych receptorów warstwy I, $S2$ – liczba pobudzonych receptorów warstwy II, I – intensywność zapachu: $I = S2/100$

| $x_A = 1,0$ | N_A | N_B | N | $\log N$ | SI | $S2$ | I |
|-------------|-------|-------|-----|----------|------|------|-------|
| 1 | 5 | 0 | 5 | 0,699 | 13 | 117 | 1,17 |
| 2 | 8 | 0 | 8 | 0,903 | 25 | 199 | 1,99 |
| 3 | 10 | 0 | 10 | 1,000 | 25 | 196 | 1,96 |
| 4 | 12 | 0 | 12 | 1,079 | 36 | 286 | 2,86 |
| 5 | 20 | 0 | 20 | 1,301 | 59 | 440 | 4,40 |
| 6 | 25 | 0 | 25 | 1,398 | 74 | 538 | 5,38 |
| 7 | 40 | 0 | 40 | 1,602 | 100 | 641 | 6,41 |
| 8 | 60 | 0 | 60 | 1,778 | 183 | 871 | 8,71 |
| 9 | 80 | 0 | 80 | 1,903 | 239 | 1018 | 10,18 |

| $x_A = 0,8$ | N_A | N_B | N | $\log N$ | SI | $S2$ | I |
|-------------|-------|-------|-----|----------|------|------|-------|
| 1 | 4 | 1 | 5 | 0,699 | 5 | 45 | 0,45 |
| 2 | 8 | 2 | 10 | 1,000 | 26 | 238 | 2,38 |
| 3 | 12 | 3 | 15 | 1,176 | 43 | 373 | 3,73 |
| 4 | 16 | 4 | 20 | 1,301 | 49 | 404 | 4,04 |
| 5 | 20 | 5 | 25 | 1,398 | 55 | 447 | 4,47 |
| 6 | 28 | 7 | 35 | 1,544 | 89 | 670 | 6,70 |
| 7 | 40 | 10 | 50 | 1,699 | 120 | 778 | 7,78 |
| 8 | 60 | 15 | 75 | 1,875 | 185 | 961 | 9,61 |
| 9 | 80 | 20 | 100 | 2,000 | 255 | 1105 | 11,05 |
| $x_A = 0,5$ | N_A | N_B | N | $\log N$ | SI | $S2$ | I |
| 1 | 3 | 3 | 6 | 0,778 | 17 | 223 | 2,230 |
| 2 | 4 | 4 | 8 | 0,903 | 19 | 190 | 1,900 |
| 3 | 5 | 5 | 10 | 1,000 | 19 | 230 | 2,300 |
| 4 | 10 | 10 | 20 | 1,301 | 43 | 480 | 4,800 |
| 5 | 15 | 15 | 30 | 1,477 | 56 | 505 | 5,050 |
| 6 | 20 | 20 | 40 | 1,602 | 71 | 663 | 6,630 |
| 7 | 25 | 25 | 50 | 1,699 | 84 | 716 | 7,160 |
| 8 | 30 | 30 | 60 | 1,778 | 116 | 890 | 8,900 |
| 9 | 40 | 40 | 80 | 1,903 | 150 | 995 | 9,950 |
| $x_A = 0,2$ | N_A | N_B | N | $\log N$ | SI | $S2$ | I |
| 1 | 1 | 4 | 5 | 0,699 | 2 | 50 | 0,50 |
| 2 | 2 | 8 | 10 | 1,000 | 10 | 205 | 2,05 |
| 3 | 3 | 12 | 15 | 1,176 | 19 | 317 | 3,17 |
| 4 | 4 | 16 | 20 | 1,301 | 34 | 453 | 4,53 |
| 5 | 5 | 20 | 25 | 1,398 | 39 | 529 | 5,29 |
| 6 | 8 | 32 | 40 | 1,602 | 58 | 738 | 7,38 |
| 7 | 10 | 40 | 50 | 1,699 | 58 | 721 | 7,21 |
| 8 | 15 | 60 | 75 | 1,875 | 100 | 996 | 9,96 |
| 9 | 20 | 80 | 100 | 2,000 | 143 | 1154 | 11,54 |
| $x_A = 0,0$ | N_A | N_B | N | $\log N$ | SI | $S2$ | I |
| 1 | 0 | 5 | 5 | 0,699 | 6 | 137 | 1,37 |
| 2 | 0 | 7 | 7 | 0,845 | 6 | 130 | 1,30 |
| 3 | 0 | 10 | 10 | 1,000 | 14 | 303 | 3,03 |
| 4 | 0 | 15 | 15 | 1,176 | 13 | 341 | 3,41 |
| 5 | 0 | 20 | 20 | 1,301 | 22 | 447 | 4,47 |
| 6 | 0 | 25 | 25 | 1,398 | 22 | 494 | 4,94 |
| 7 | 0 | 40 | 40 | 1,602 | 42 | 707 | 7,07 |
| 8 | 0 | 60 | 60 | 1,778 | 65 | 856 | 8,56 |
| 9 | 0 | 80 | 80 | 1,903 | 79 | 995 | 9,95 |

Na rysunku 3 przedstawiono zależności intensywności zapachu od całkowitego „stężenia” odorantów (N_A , N_B – liczba cząsteczek A i B na 100; N – suma). Pozwalają stwierdzić, że w zakresie objętym badaniami reakcje modelu analizatora węchowego są stosunkowo zgodne z logarytmicznym prawem Webera-Fechnera ($dI/d\ln N = \text{const}$). Odchylenia od tego prawa

polegają na nieznacznym wzroście pierwszej pochodnej I względem $\log N$ wraz ze wzrostem wartości N . Przypomina to efekty często obserwowane podczas sensorycznych pomiarów intensywności zapachu, skłaniające do zastępowania prawa Webera-Fechnera innymi prawami psychofizycznymi (takimi jak potęgowe prawo Stevensa).



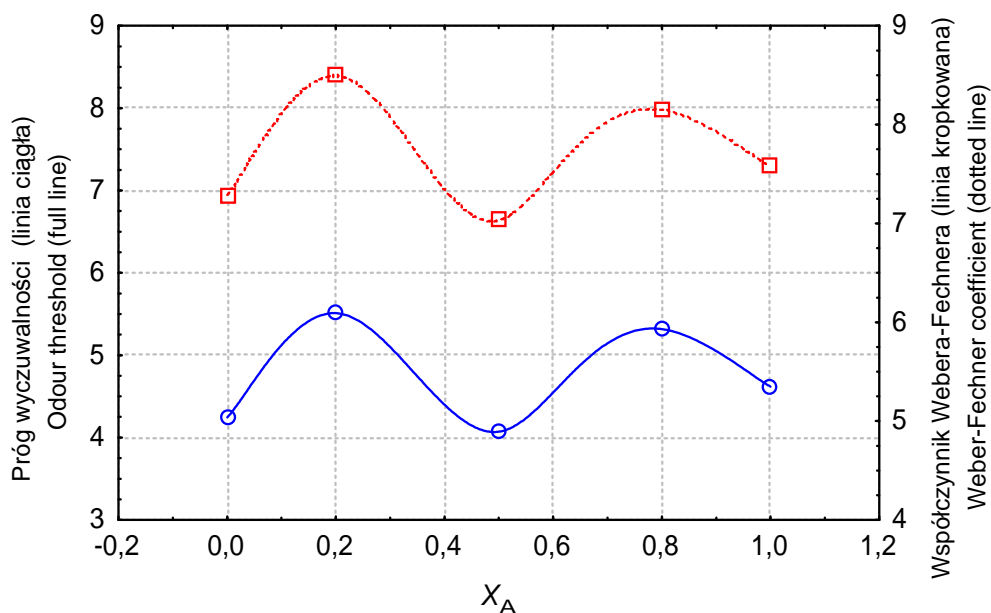
Rys. 3

Intensywność zapachu (I) jako funkcja stężenia dwóch odorantów (N): I – liczba z zakresu 0÷10, proporcjonalna do liczby pobudzonych neuronów warstwy II: $I = S^2/100$, N – liczba cząsteczek odorantów A i B wśród 100 cząsteczek jednego szeregu falangi

Zakres niniejszej pracy ograniczono do opisu reakcji modelu z użyciem równania logarytmicznego. Wyznaczone parametry m i k równania 1, w którym symbol stężenia S zastąpiono symbolem N , wykorzystano do obliczenia progów wyczuwalności składników A i B oraz ich hipotetycznych mieszanin, zdefiniowanych jako:

$$N_0 = 10^{-m/k}. \quad (4)$$

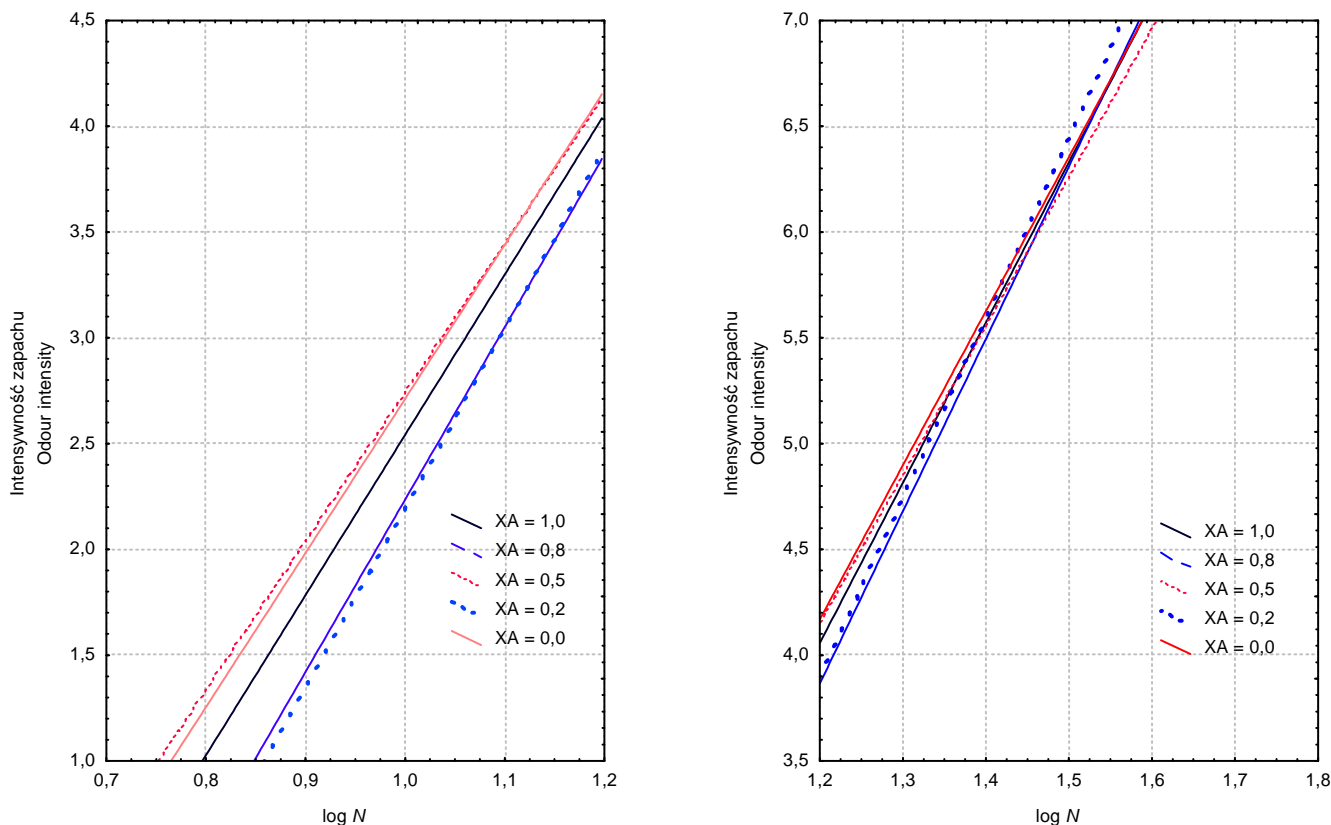
Podsumowanie wyników badań przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Rysunek 4 ilustruje zmiany progu wyczuwalności zapachu (N_0) i współczynnika Webera-Fechnera (k) spowodowane wzrostem udziału A w modelowej mieszaninie AB. Stwierdzono, że zależność wyraźnie przypomina wyniki wcześniejszych sensorycznych badań intensywności zapachu rzeczywistych próbek powietrza zanieczyszczonego dwoma odorantami (rys. 1).



Rys. 4

Parametry równania Webera-Fechnera (charakteryzującego model analizatora) jako funkcja udziału A w mieszaninie odorantów AB: k – współczynnik Webera-Fechnera, N_0 - próg wyczuwalności zapachu (liczba cząsteczek A i B na 100)

Konsekwencje zmian k i N_0 obrazuje rysunek 5. Pozwala między innymi stwierdzić, że w zakresie wyższych stężeń ($N > 25$; $\log N > 1,4$) najsilniejszy jest zapach mieszanin o $x_A = 0,2$. Jeżeli stężenia odorantów są małe ($N < 13$; $\log N < 1,1$) mieszaniny AB o $x_A = 0,2$ i $0,8$ mają zapach słabszy niż pojedyncze składniki A i B występujące w tych samych ilościach. Analogiczne efekty były obserwowane podczas sensorycznych pomiarów intensywności zapachu rzeczywistych próbek powietrza zanieczyszczonego dwoma odorantami.



Rys. 5. Porównanie intensywności zapachu mieszanin AB o różnych stężeniach i proporcjach składników

WNIOSKI

1. Prosty model dwuwarstwowego analizatora intensywności zapachu wykazuje reakcje w przybliżeniu zgodne z ogólnym psychofizycznym prawem Webera-Fechnera. Liczba pobudzonych neuronów warstwy percepcyjnej (odpowiednik intensywności zapachu) jest logarytmiczną funkcją udziału odoranta w falandze cząsteczek atakujących warstwę recepcyjną (odpowiednik stężenia w powietrzu).
2. Reakcje zaproponowanego modelu na działanie mieszanin dwóch odorantów są jakościowo podobne do złożonych reakcji węchu (maskowanie, synergizm).
3. Celem dalszych badań powinno być określenie sposobów przewidywania rodzaju węchowych interakcji w mieszaninach odorantów na podstawie psychofizycznych równań odnoszących się do składników.
4. Kontynuacja badań może doprowadzić do opracowania projektu nowego typu elektronicznego nosa – aparatu równocześnie określającego rodzaj zapachu i jego intensywność.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Baird J.C, B. Berglund, M.J. Olsson: *Magnitude estimation of perceived odor intensity: Empirical and theoretical properties*, Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance, **22** (1), 244-255 (1996).
- [2] Berglund B., M.J. Olsson: *A Theoretical and empirical evaluation of perceptual and psychophysical models for odor-intensity interaction*. Reports from the Department of Psychology, Stockholm University, No 764 (1993).
- [3] Boccorh R,K., A. Paterson: *An artificial neural network model for predicting flavour intensity in blackcurrant concentrates*, Food Quality and Preference, **13**, 117-128 (2002).
- [4] Kośmider J., B. Wyszyński: *Relationship between odour intensity and odorant concentration: logarithmic or power equation*, Archiwum Ochrony Środowiska, **1**, 29-41 (2002).
- [5] Kośmider J., M. Zamelczyk-Pajewska, B. Wyszyński: *Odour of mixtures of cyclohexane and cyclohexanone*, Archiwum Ochrony Środowiska, **2**, 29-43 (2002).
- [6] Kośmider J., M. Zamelczyk-Pajewska: *Trening sieci neuronowej określającej intensywność zapachu*, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, **22**, 645-660 (2001).
- [7] Kośmider J., M. Zamelczyk-Pajewska: *Sieć neuronowa oceniająca zapach mieszanin cykloheksanu i heksanu*, Inżynieria Chemiczna i Procesowa, **23**, 207-218 (2002).
- [8] Laing D.G., M.E. Willcox: *Perception of components in binary odour mixtures*, Chemical Senses, **7** (3/4), 249-264 (1983).
- [9] Olsson M.J.: *An interaction model for odor quality and intensity*. Reports from the Department of Psychology, Stockholm University, No 763 (1993).
- [10] Wyszyński B.: *Metody oceny skuteczności dezodoryzacji* (praca doktorska). Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2001.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.
Numer projektu: 7 T0 9C 050 21.