

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland.

www.ifj.edu.pl/pop/reports/2003.html
Kraków, maj 2003

Raport Nr 2/POP

Zmysł węchu, kryminalistyka, metody analityczne

J. Lasa, A. Browarska – Walczowska

Streszczenie

W pracy przedstawiono rolę zmysłu węchu w życiu ludzi i zwierząt. Przedstawiono wpływ struktury związków zapachowych na wrażenia węchowe. Opisano budowę zmysłu węchu u człowieka, oraz przedstawiono teorie opisujące sposób jego działania. Przedstawiono kontrowersje dotyczące wiarygodności badań osmologicznych w postępowaniu dowodowym w kryminalistyce. Oszacowano graniczną wyczuwalność zapachów przez człowieka i psy oraz możliwości współczesnych metod analitycznych.

Abstract

This report presents the role of the sense of smell in human and animal life and the influence of scented compound structure on smell sensations. Is alsodescribed the structure of the human sense of smell and the theories concerning the way it works. The report discusses the controversy of the use of dogs in the case-evidence procedure in criminology. The perceptibility limit of human and animal sense of smell as well as the scope of modern analysis methods is estimated.

SPIS TREŚCI

Wstęp.....	3
1. Zmysł węchu i zapach w życiu człowieka i zwierząt.....	3
2. Reakcje owadów na substancje zapachowe.....	3
3. Feromony.....	4
4. Wpływ struktury feromonu na skuteczność jego działania.....	4
5. Granica wyczuwalności zapachu przez człowieka i zwierzęta.....	7
6. Budowa chemiczna związków zapachowych.....	9
7. Wpływ struktury przestrzennej cząsteczki na jej własności zapachowe.....	12
8. Budowa zmysłu węchu.....	12
9. Sygnały elektryczne w aksonach.....	14
10. Teorie działania zmysłu węchu.....	17
10.1. Teoria chemiczna.....	18
10.2. Teoria stereochemiczna.....	19
10.3. Teoria wibracyjna.....	20
11. Cechy zmysłu węchu.....	21
12. Porównanie poziomu wyczuwalności zapachu przez człowieka i współczesnych metod analitycznych.....	22
13. Możliwość analizy związków wchodzących w skład potu ludzkiego na poziomie wyczuwalności psa.....	24
14. Węch w kryminalistyce, pojęcie osmologii.....	25
14.1. Czy zapach człowieka jest charakterystyczny (niepowtarzalny).....	25
14.2. Stosowana praktyka kryminalistyczna.....	25
Wnioski.....	28
Bibliografia.....	29

Wstęp

Zmysł węchu (powonienia) umożliwia odbieranie informacji o niektórych substancjach lotnych znajdujących się w powietrzu lub wodzie. Zmysł ten stracił podstawowe znaczenie w życiu człowieka, jakie posiada w życiu zwierząt. Graniczna wyczuwalność zapachów przez zwierzęta w porównaniu z graniczną wyczuwalnością człowieka jest o rzędy wielkości niższa. Z tego powodu człowiek jest zafascynowany zdolnością wyczuwania zapachów przez psy, reakcją samczyków owadów na skrajnie niskie stężenia wabików seksualnych wydzielanych przez samiczki, czy mechanizmem węchowym węgorzy trafiających do swych miejsc lęgowych. Mimo gwałtownego rozwoju nauki w ostatnich latach, nadal nie jest dokładnie poznany mechanizm działania tego zmysłu.

Ostatnio wiele uwagi poświęca się poznaniu mechanizmu działania zmysłu węchu celem wykorzystania go do opracowania czujników pozwalających na ciągłe monitorowanie substancji zapachowych w procesach związanych z produkcją żywności. Możliwość użycia broni biologicznej w celach terrorystycznych, wymusza konieczność budowania urządzeń monitorujących obecność bakterii w powietrzu na podstawie ich zapachu.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono w zarysie obecne teorie opisujące działanie zmysłu węchu. Opisano wykorzystanie niskich poziomów wyczuwalności zapachów przez psy w badaniach kryminalistycznych. Oszacowano możliwości analityczne metody chromatograficznej, która mogłaby uzupełnić lub uwiarygodnić wyniki badań osmicznych.

1. Zmysł węchu i zapach w życiu człowieka i zwierząt

Zapachy różnych substancji, znajdujących się w otoczeniu człowieka, spełniają rolę:

- ostrzegawczą, np. przed związkami toksycznymi,
- estetyczną, zapach żywności pobudzający apetyt, zapach kwiatów, perfum,
- gospodarczą, środki ochrony roślin.

Natomiast w życiu zwierząt na pewno spełniają rolę:

- ostrzegawczą przed niebezpieczeństwem,
- umożliwiają kontakt ze środowiskiem,

Dają informację o:

- niebezpieczeństwie,
- lokalizacji pożywienia,
- lokalizacji partnera,
- miejscu rozmnażania.

2. Reakcje owadów na substancje zapachowe

Owady poruszając się w kierunku źródła wydzielającego zapach w zasadzie nie korzystają z innych punktów orientacyjnych. Emisja cząsteczek zapachowych w ilości 1 μ l/s przy wietrze wiejącym z prędkością 1,6 km/h wywołuje stężenie wynoszące 60 cząsteczek/mm³ w odległości 2,4 km od źródła emisji. Samczyk lecący z prędkością 3,2 km/h, posiadając czułki o powierzchni 2 mm², w ciągu sekundy napotyka prawie 12 000 cząsteczek. Ponieważ zapach rozprzestrzenia się strugami, owad porusza się w poprzek strugi, tak aby jego system naprowadzający uzyskiwał zmienny sygnał [1].

3. Feromony

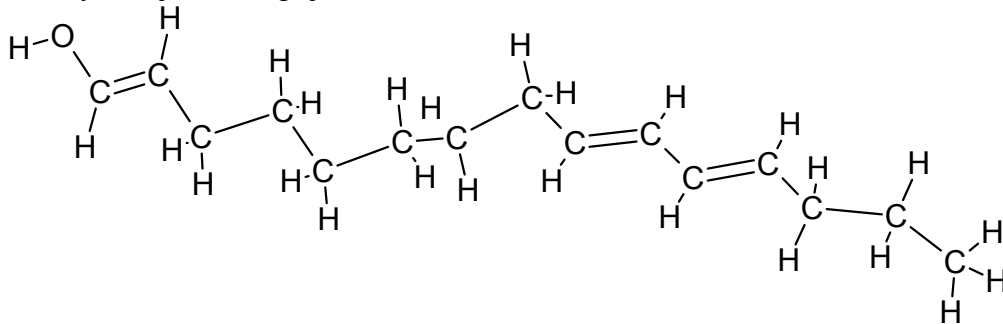
Feromony, to jest grecka nazwa związków chemicznych, oznaczająca w dosłownym tłumaczeniu „nośniki pożądania” (grec. *pherein* –nieść, *hormon* – podniecać). Wydzielane są zarówno przez zwierzęta jak i przez ludzi. Feromony są związkami wydzielanymi na zewnątrz organizmu i spełniają rolę informacyjną dla innego odbiorcy. Mogą one spełniać rolę alarmową, wzywającą społeczność owadów do zespołowej obrony, jak również służyć do znakowania ścieżek prowadzących do źródła pokarmu. Poza tym, mogą powodować przyciągnięcie ofiary. Główną jednak rolą feromonów, zwanych niegdyś wabikami seksualnymi, jest prowokowanie innych osobników do zalotów lub owulacji. Feromony będące zwykle lotnymi związkami chemicznymi, służą do przekazywania informacji na stosunkowo duże odległości [2].

Przez lata wiadomo było, że samce różnych gatunków zwierząt rozpoznają płodność samicy. Sądzono jednak, że w przypadku ludzi jest inaczej, że natura „ukryła” przed mężczyznami czas owulacji partnerek. Austriaccy naukowcy dowiedli jednak, że mężczyźni rozpoznają po zapachu dni płodne i niepłodne u kobiety, reagując na to zwiększonym popędem płciowym, a dokładniej, znacznym podwyższeniem poziomu testosteronu (męskiego hormonu płciowego) we krwi [3, 4].

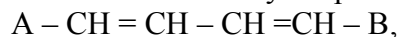
Inne badania dowodzą, że kobiety wybierają partnerów posiadających odmienne niż one geny zgodności tkankowej MHC (*Major Histocompatibility Complex* - białka uczestniczące w reakcjach układu odpornościowego). Doniósł o tym brytyjski tygodnik "New Scientist" (nr 1976). Powoduje to duże zróżnicowanie tych genów u potomstwa. Geny te sterują m.in. reakcją układu odpornościowego na obecność w organizmie chorobotwórczych mikroorganizmów. Czyli potomstwo posiadające zróżnicowane geny MHC jest mniej podatne na różne choroby, ponieważ ich układ odpornościowy jest silniejszy. Poza tym geny te determinują zapach danego osobnika. Na początku badania te przeprowadzono na myszach, które reagowały właśnie w wyżej opisany sposób. Jednak w niedługim czasie po tych eksperymentach, Claus Wedekind, kierujący tymi badaniami opracował test, w którym kobiety wachały podkoszulki różnych mężczyzn. Wyniki były podobne: kobiety wybierały mężczyzn o odmiennych genach MHC [5].

4. Wpływ struktury feromonu na skuteczność jego działania

Wabiki wydzielane są przez samice. Jest to produkt przemiany materii, charakterystyczny dla każdego gatunku. Z 300 000 samiczek jedwabnika (*Bombyx Mori*) wydzielono 4 mg substancji, bombykolu, o masie cząsteczkowej 200 g. Jedna samiczka może wydzielić $1,3 \times 10^{-8}$ g. substancji, to jest 4×10^{14} cząsteczek. Samczyk reaguje na 10^{-18} g substancji, to jest na 3 cząsteczki w 1 cm^3 powietrza. Budowa bombykolu jest następująca:



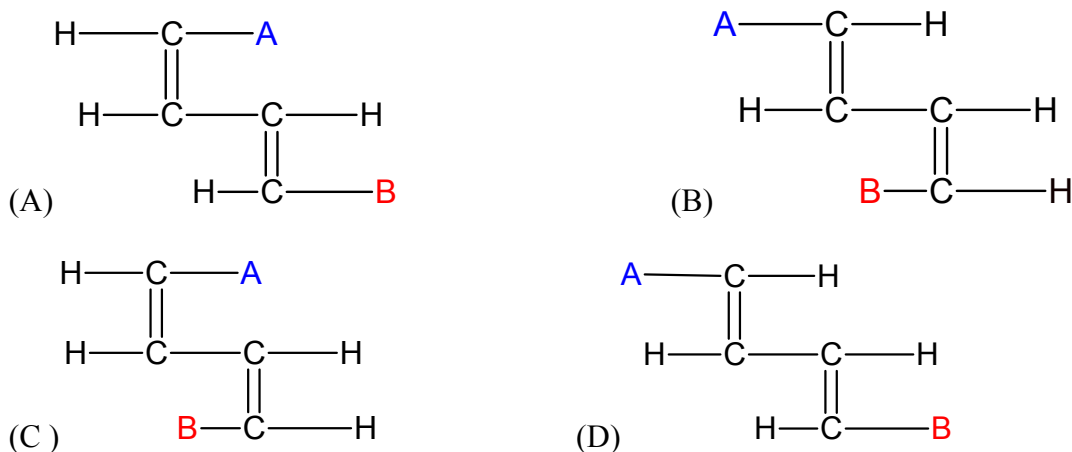
Związek ten może występować w czterech formach strukturalnych. Forma wyrażona powyższym schematem może być napisana w uproszczeniu w postaci:



gdzie: $A = CH_3 - CH_2 - CH_2$,

$B = (CH_2)_7 - CH_2 - OH$

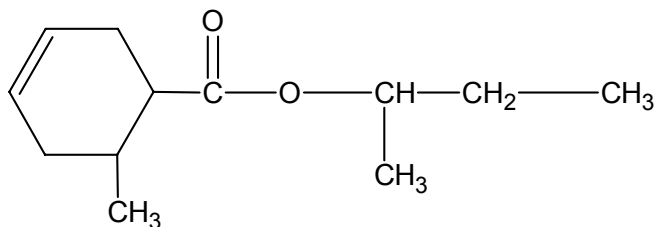
Te cztery możliwe struktury przedstawiono schematycznie na rysunku 1:



Rys. 1. Schematy możliwych struktur bombykolu.

Po zsyntetyzowaniu związków o strukturze przedstawionej na rysunku 1, stwierdzono, że tylko bombykol o budowie (A) posiadał cechy naturalnego bombykolu. Stąd wniosek, że niewielkie zmiany w strukturze związku decydują o jego cechach zapachowych.

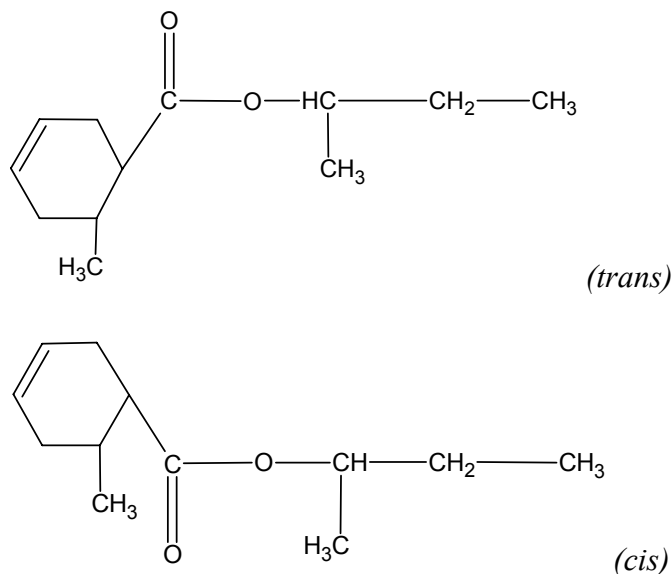
Na inny związek chemiczny reagują samce śródziemnomorskiej muszki owocowej (*Ceratitis capitata*). Muszki te są szkodnikami upraw cytrusowych. Stwierdzono, że olejek nasion arcydzięgla ma silne właściwości przyciągające samczyki śródziemnomorskiej muszki owocowej. Ponieważ olejek nasion arcydzięgla jest drogi, postanowiono syntetycznie wyprodukować substancje o podobnych właściwościach. Substancja taka powinna wabić samczyki, powinna być mało lotna, tania w produkcji. Związek zwany „Siglure” wykazywał podobne właściwości jak olejek nasion arcydzięgla. Jego budowa ma postać przedstawioną na rysunku 2.



Rys. 2. Budowa związku „Siglure”.

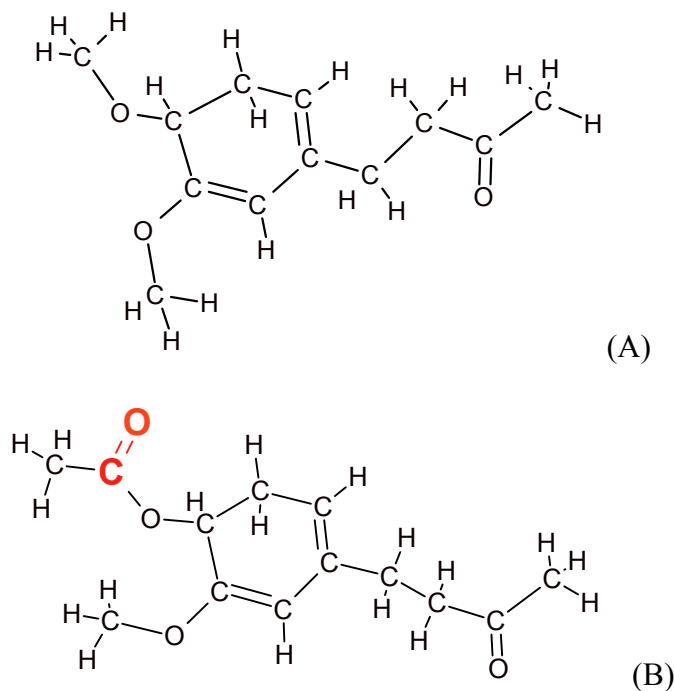
Synteza ponad trzydziestu związków o takiej samej budowie pierścienia i różnej strukturze łańcucha bocznego, pozwoliła na otrzymanie związków o właściwościach wabiących, różnej lotności i trwałości zapachu. Ponadto stwierdzono, że konfiguracja

trans jest aktywna wabiąco. Natomiast odmiana *cis* nie działa wabiąco. Obie konfiguracje przedstawiono na rysunku 3.



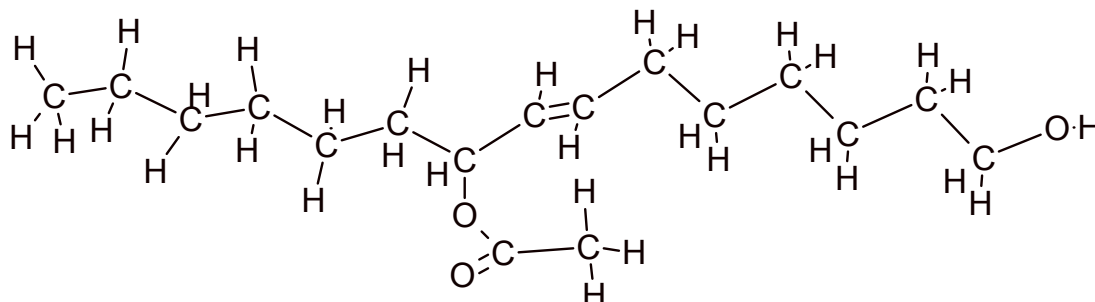
Rys. 3. Odmiana *cis* i *trans* związku „Siglure”.

Poszukiwania wabika seksualnego dla muszki melonowej (*Dacus cucurbitae*), żyjącej na Hawajach doprowadziły do zaskakujących wyników. Stwierdzono, że związek o budowie podobnej do aniziloacetonu, przedstawiony na rysunku 4a, zupełnie nie działa na muszki melonowe. Natomiast niewiele zmodyfikowany (dodatkowa cząsteczka CO), posiada silne własności wabiące.



Rys. 4. Struktura nie aktywnego (A) i aktywnego (B) związku działającego na muszkę melonową. Związek aktywny różni się od nieaktywnego grupą CO.

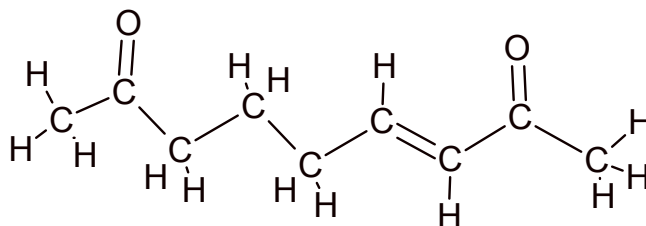
Muszka brudnicy nieparki (*Porthetria dispar*) wydziela związek wabiący o budowie przedstawionej na rysunku 5.



Rys. 5. Budowa związku wabiącego wydzielanego przez brudnicę nieparkę.

Samczyki brudnicy nieparki odnajdują samiczkę z odległości 3 km. Syntetyczny związek otrzymany z oleju rycynowego spełnia rolę związku naturalnego. Ilość takiego związku, wynosząca 10 pg. (10^{-11} g), silnie działa na samczyki. Stwierdzono, że nawet 10^{-18} g. jest jeszcze rozróżnialne przez samczyki.

Matka pszczoła (*Apis mellifera*) w locie godowym wabi trutnia wydzielając wabik, którego jednym ze składników jest związek o budowie przedstawionej na rysunku 6.



Rys. 6. Wzór strukturalny wabika wydzielanego przez pszczołę – matkę.

5. Granica wyczuwalności zapachu przez człowieka i zwierzęta

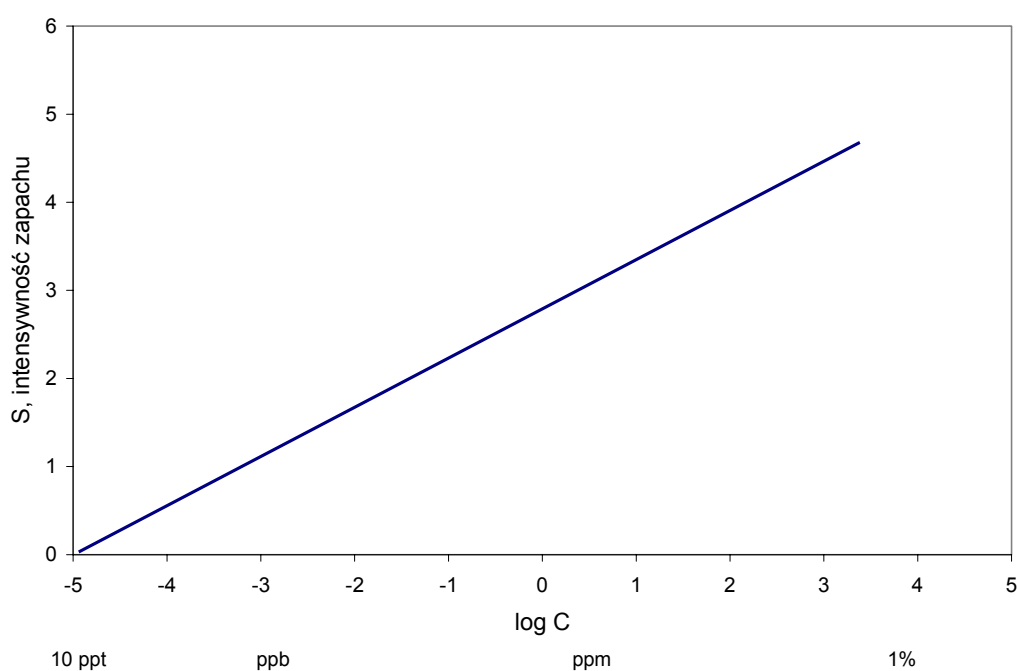
Człowiek rozróżnia zmysłem powonienia inną grupę związków niż owady. Związki „pachnące” dla owadów nie generują sygnału u człowieka. Generalnie granica wyczuwalności związków zapachowych przez człowieka jest wyższa od obserwowanych u zwierząt. Powodem jest różnica w budowie narządu węchu u człowieka i zwierząt. U człowieka narząd węchu znajduje się w górnej części komory nosowej, w tak zwanej szczelinie węchowej. Przy oddychaniu, większość wdychanego powietrza omija tę szczelinę. Najniższe stężenie wonnej substancji, wywołujące uczucie zapachu, nazywa się *stężeniem progowym* lub *progiem wyczuwalności*. Stężenie progowe wyraża się w gramach wonnej substancji na litr powietrza lub ilością cząsteczek w objętości [cm³]. Poziom progowy określa się zwykle metodą naturalnego wachania. Można również wprowadzać substancję wonną wprost do szczeliny węchowej. W tabeli 1 podano średnie wartości progu wyczuwalności określone dla człowieka i psa metodą naturalnego wachania.

Tabela 1. Porównanie granicy wyczuwalności substancji wonnych przez człowieka i psa [6].

Substancja	Próg wyczuwalności [cząsteczek/cm ³]	
	Człowiek	Pies
Kwas octowy*	$5,0 \times 10^{13}$	$5,0 \times 10^5$
Kwas propionowy*	$4,2 \times 10^{11}$	$2,5 \times 10^5$
Kwas masłowy*	$7,0 \times 10^9$	$9,0 \times 10^3$
Kwas walerianowy*	$6,0 \times 10^{10}$	$3,5 \times 10^4$
Kwas kapronowy*	$2,0 \times 10^{11}$	$4,0 \times 10^4$
Kwas kaprylowy*	$2,0 \times 10^{11}$	$4,5 \times 10^4$
Merkaptan etylowy	$2,0 \times 10^{11}$	$2,0 \times 10^5$
Merkaptan (składnik czosnku)	$5,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$

* wchodzi w skład potu ludzkiego.

Człowiek posiada 5×10^6 komórek węchowych na powierzchni 5 cm^2 , królik posiada $1,1 \times 10^8$ komórek węchowych na powierzchni 60 cm^2 , natomiast pies posiada $2,25 \times 10^8$ komórek węchowych na powierzchni 85 cm^2 .



Rys. 7. Wykres intensywności zapachu Webera – Fechnera dla merkaptanu etylowego [1].

Na rysunku 7 przedstawiono wykres, znany jako wykres Webera – Fechnera. Podana skala dotyczy wyczuwalności merkaptanu etylowego i służy do porównania wyczuwalności innych substancji zapachowych. Skala przedstawiona na rysunku 7 (od 0 do 5) określona jest następująco:

0 – bez zapachu, 1 – próg wyczuwalny, 2 – wyczuwalność słaba, 3 – wyczuwalność o średniej sile, 4 – zapach mocny, 5 – zapach bardzo mocny.

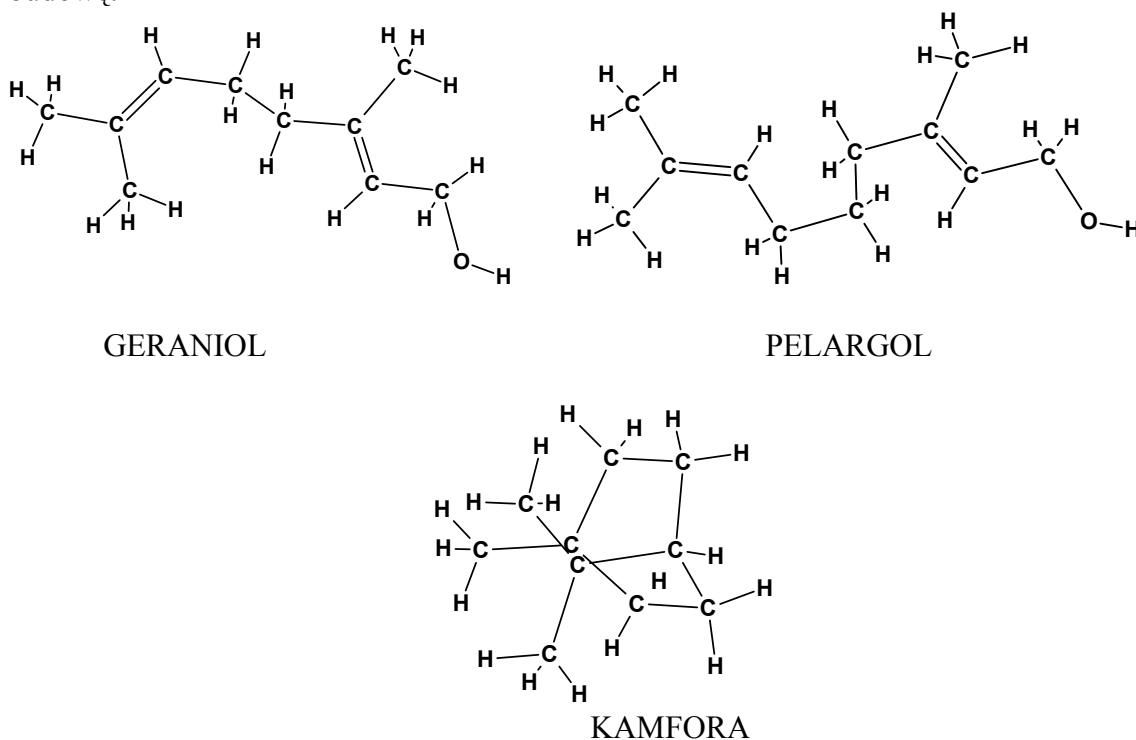
Z wykresu przedstawionego na rysunku 7 wynika, że stężenie merkaptanu etylowego musi zwiększyć lub zmniejszyć się o trzy rzędy wielkości, aby człowiek zauważył zmianę w intensywności zapachu. Człowiek łatwo zauważa zmianę rodzaju substancji zapachowej, gorzej reaguje na zmiany intensywności zapachu. Ta właściwość zmysłu węchu utrudnia ocenę zanieczyszczenia powietrza przez przemysł.

Podobnie jak barwa składa się z trzech podstawowych kolorów, tak zapach różnych związków próbowano rozłożyć na zapachy podstawowe. W tym celu wyróżniono się 9 kategorii związków zapachowych:

1. Eteryczne (eter, воск pszczeli),
2. Aromatyczne (pieprz, migdał),
3. Balsamiczne (kwiaty, balsam, wanilia),
4. Ambro-mozususowe (ambra, żółć),
5. Allylkakodylowe (siarkowodór, chlor),
6. Spaleniznowe (dym tytoniowy, naftalina),
7. Kaprylowe (pot, zjełczały tłuszcz),
8. Przykre (pluskwiaki),
9. Wstrętne (padlina).

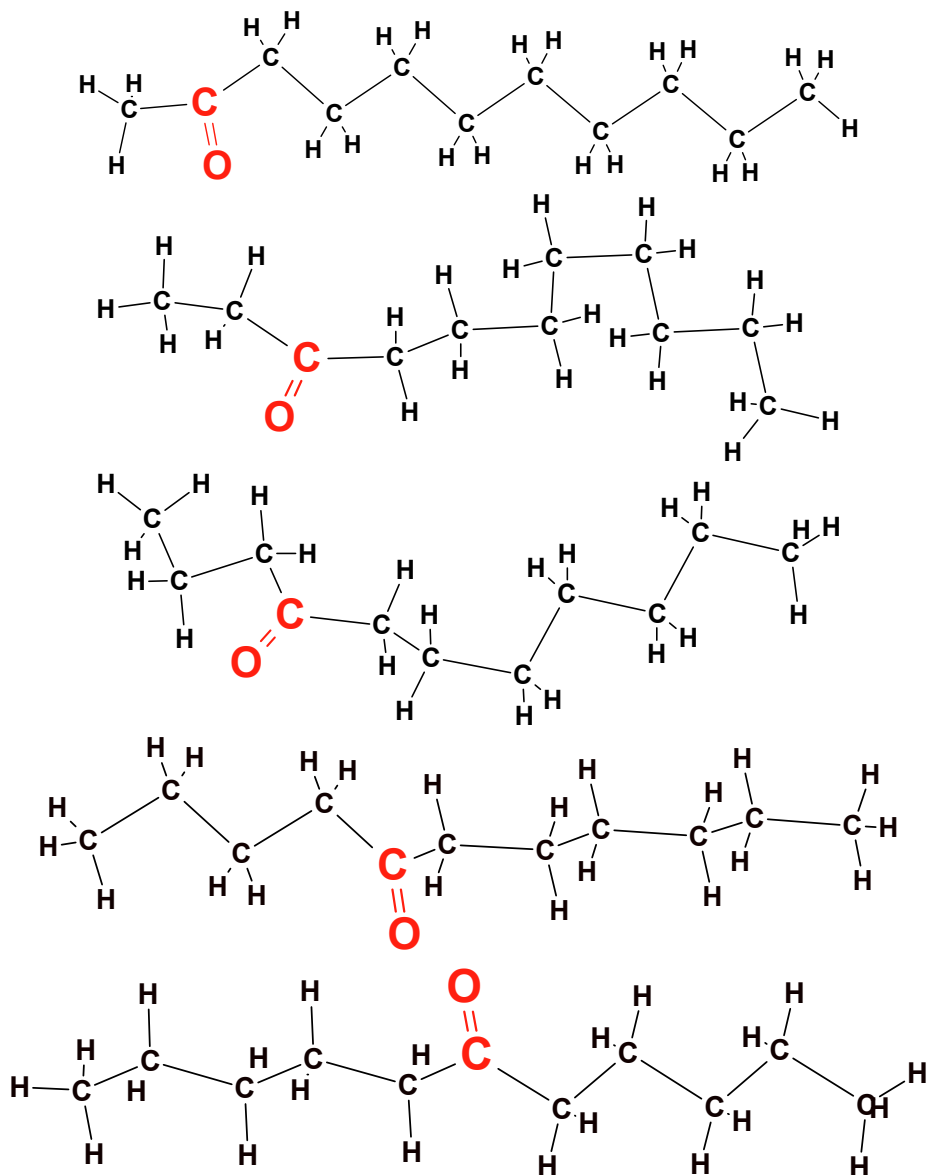
6. Budowa chemiczna związków zapachowych

Znanym jest faktem, że związki chemiczne o różnej strukturze posiadają różne własności fizyczne, optyczne i chemiczne. Nie występuje żadna reguła wiążąca strukturę związku z zapachem. Na rysunku 8 przedstawiono wzory strukturalne geraniolu i pelargolu, które pachną podobnie jak kamfora, choć posiadają odmienną budowę.



Rys. 8. Struktura geraniolu, pelargolu i kamfory.

Na rysunku 9 przedstawiono wzory strukturalne związków o zapachu ruty. Większą czcionką zaznaczona została grupa CO, która znajduje się w kolejnych miejscach łańcucha:

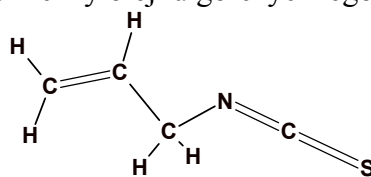


Rys. 9. Seria związków o zapachu ruty [1].

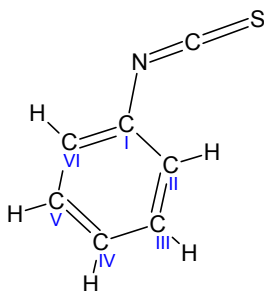
Związki przedstawione na rysunku 9 mają zapach zbliżony do zapachu ruty. Zapach ruty stopniowo zanika, przechodząc w zapach owocowy w miarę jak grupa CO przesuwa się do środka łańcucha węglowego.

Innym przykładem wpływu budowy cząsteczki na własności zapachowe jest substancja zwana olejkiem gorczyczym, czyli alliloizotiocyjanianem. Może ona być wyizolowana z nasion gorczycy i ma charakterystyczny zapach i ostrość gorczycy.

Strukturalny wzór chemiczny olejku gorkycznego jest następujący:

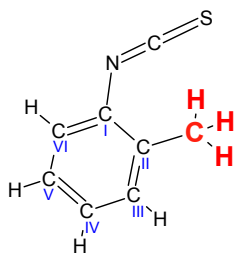


Olejek fenylogorkyczny jest substancją syntetyczną charakteryzującą się zbliżonym zapachem do olejku gorkicy, lecz o innej strukturze, przedstawionej na rysunku 10.

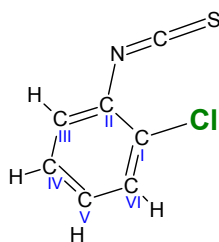


Rys. 10. Struktura olejku fenylogorkycznego.

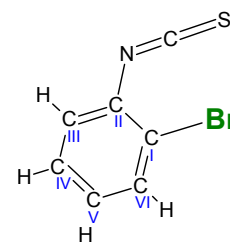
Na rysunku 11 przedstawiono wpływ dodatkowej grupy przyłączonej do pozycji orto- (pierwszy rząd) i para- (drugi rząd) na własności zapachowe cząsteczki olejku fenylogorkycznego.



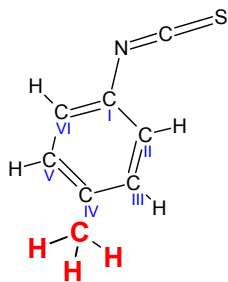
podobny do olejku fenylogorkycznego



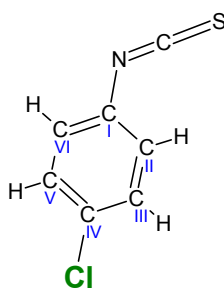
bardzo podobny do olejku fenylogorkycznego



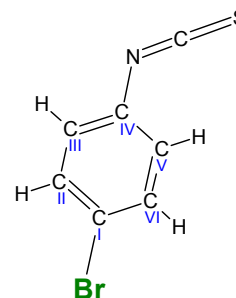
mniej ostry, podobny do anyżku



nieostry zapach anyżku



zapach anyżku



zapach anyżku

Rys. 11. Struktura olejku fenylogorkycznego z dodatkowymi grupami przyłączonymi do pierścienia aromatycznego w dwóch pozycjach orto- i para-.

Badając strukturę olejku fenylogorczyzycznego (fenyloizotiocyaninianu) stwierdzono, że podstawnik w położeniu orto– powoduje zmianę zapachu, przy czym rodzaj podstawnika nie ma wielkiego znaczenia. W wyniku wielu badań wpływu struktury substancji na jej własności zapachowe, stwierdzono, że żadne dane chemiczne, ani z punktu widzenia reaktywności ani struktury, nie dają klucza do racjonalnej ilościowej interpretacji zjawiska emisji zapachu [1].

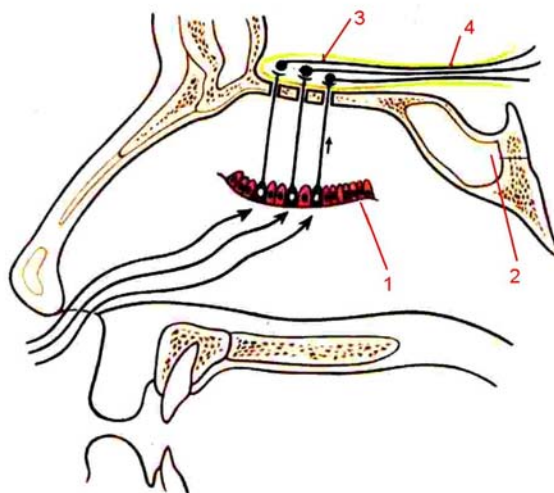
7. Wpływ struktury przestrzennej cząsteczki na jej własności zapachowe

Istnieją substancje, które różnią się własnościami chemicznymi, a których cząsteczki posiadają taką samą liczbę takich samych atomów. Mają ten sam wzór chemiczny, ale nie są tą samą substancją. Są to izomery. Wyróżniamy izomerię pozycyjną, oraz izomerię *cis* – *trans* gdzie substancje różnią się budową przestrzenną. Istnieje również izomeria optyczna, w której struktura cząsteczek substancji różni się lustrzanym odbiciem. Izomery optyczne mają te same lub prawie te same zapachy.

Reakcje zachodzące w żywych organizmach są prowadzone i kontrolowane przez enzymy, które są substancjami organicznymi o własnościach katalizatorów. Enzymy są asymetryczne i reagują ze związkami o analogicznej asymetrii. Jeżeli enzym może wpływać na kreację prawoskrętnych form substancji, to nie będzie zupełnie oddziaływał na formy lewoskrętne. Fakt, że związki stanowiące parę izomerów optycznych pachną jednakowo, dowodzi, że proces pobudzania receptorów węchowych nie jest reakcją chemiczną. W procesie generowania wrażenia węchowego pachnące substancje nie utleniają się, nie redukują się ani nie wchodzi w reakcje chemiczne z błoną komórki węchowej. Nie ulegają przekształceniom chemicznym. Gdyby takie reakcje miały miejsce, musiałyby pośredniczyć enzymy, a te reagowałyby tylko z jednym izomerem substancji wonnej.

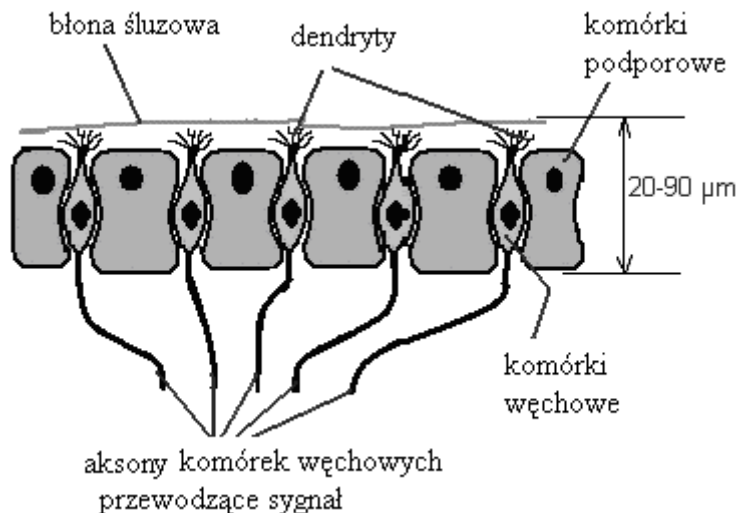
8. Budowa zmysłu węchu

Umieszczenie receptorów węchowych u człowieka przedstawiono na rysunku 12. Mieszczą się w nabłonku węchowym, wyściełającym część jamy nosowej.



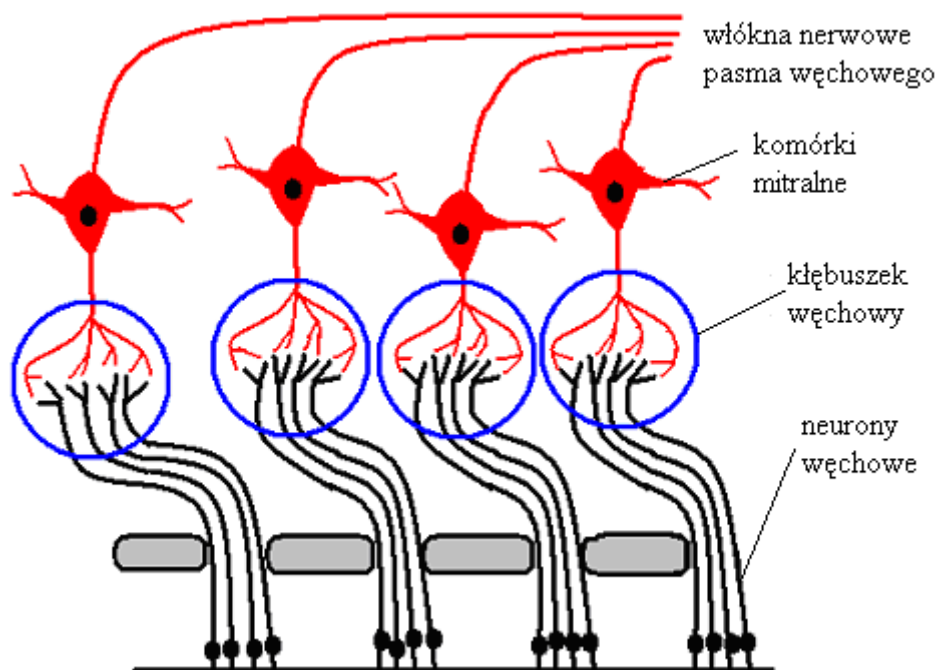
Rys. 12. Umiejscowienie zmysłu węchu. Oznaczenia na rysunku:
1 - komórki węchowe w błonie śluzowej przewodu nosowego górnego,
2 - zatoka klinowa, 3 - opuszka węchowa, 4 - pasmo węchowe [7].

Komórki węchowe są to dwubiegunowe komórki nerwowe, których część obwodowa - urzęsione pęczeryki węchowe - wystają ponad powierzchnię nabłonka, pokrytego surowiczą wydzieliną gruczołów Bowmana. Schematycznie nabłonek węchowy przedstawiono na rysunku 13.



Rys. 13. Budowa nabłonka węchowego [2].

Liczba receptorów węchowych u ssaków o bardzo czułym węchu dochodzi do 10^8 . Pobudzone receptory węchowe, dwubiegunowe komórki nerwowe, wytwarzają impulsy nerwowe, które rozchodzą się wzdłuż aksonów (włókien nerwowych) do opuszek węchowych, gdzie aksony silnie się rozgałęziają i łączą się z tak zwanymi komórkami mitralnymi. Schemat takich połączeń przedstawia rys. 14.



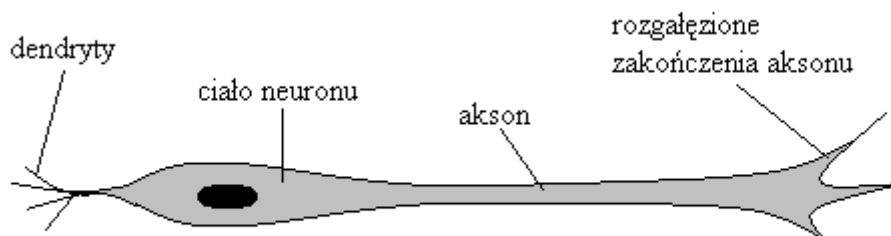
Rys. 14. Schemat opuszki węchowej z głównymi jej warstwami [8].

Powierzchnia dolna opuszki węchowej spoczywa na oponach mózgowia, oddzielających ją od kości sitowej. Natomiast przez otwory w blaszce sitowej wnikają nerwy węchowe.

Bogata i skomplikowana struktura połączeń nerwowych w obrębie opuszek jest prawdopodobnie jednym z czynników warunkujących różnicowanie bodźców węchowych. Informacje z opuszek o bodźcach węchowych przekazywane są dalej przez aksony komórek mitralnych (tworzące tak zwany szlak węchowy) do kory węchowej. Uszkodzenie tych struktur wywołuje zaburzenia węchu [8].

9. Sygnały elektryczne w aksonach

Komórki nerwowe odbierają bodźce i przekazują informacje w postaci sygnałów elektrycznych przebiegających wzdłuż aksonów. Komórka wyposażona jest w silnie rozgałęzione włókna, rzęski (zwanymi dendrytami) (rysunek 15), wyspecjalizowane w odbieraniu bodźców i przekazywaniu ich do ciała komórki.



Rys. 15. Schemat węchowej komórki nerwowej.

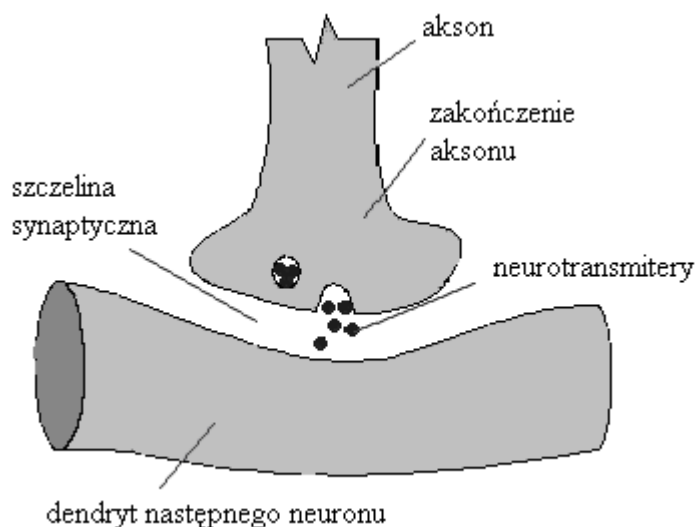
Impulsy elektryczne przewodzone są z ciała komórki wzdłuż aksonu do innych komórek nerwowych (neuronów). W cienkich włóknach bezrdzennych, nie mających osłonek mielinowych (np. nerwy węchowe), przewodzenie impulsów ma charakter ciągły. Pobudzenie przesuwa się stopniowo na coraz dalsze odcinki włókna, obejmując za każdym razem niewielki jego obszar.

Pomiędzy dwoma neuronami, stanowiącymi ciąg, jest przerwa. Sygnał z jednego aksonu do drugiego przekazywany jest na drodze elektrycznej lub chemicznej. Substancje chemiczne umożliwiające dalsze przekazanie bodźca to tzw. neuroprzekaźniki, nazywane również neurotransmiterami.

Impuls nerwowy w postaci prądu elektrycznego płynie wzdłuż aksonu do kolbki synaptycznej, którą jest on zakończony.

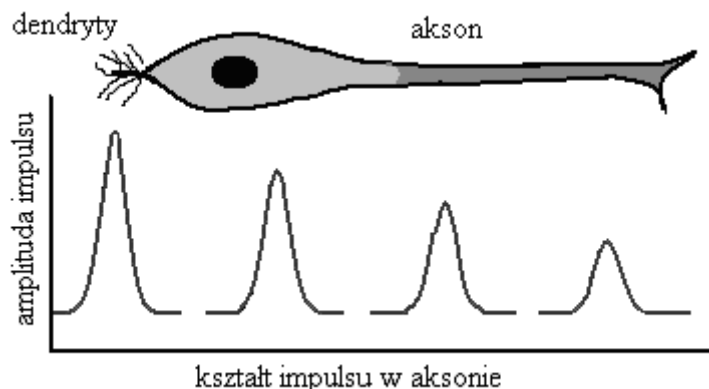
Aksony poszczególnych komórek węchowych połączone są z aksonami następnych komórek za pomocą złączy synaptycznych. Gdy przerwa między aksonami wynosi około 2 nm., wówczas sygnał z jednego aksonu do drugiego przenoszony jest na drodze elektrycznej. Gdy ta przerwa wynosi około 20 nm., sygnał przenoszony jest na drodze chemicznej. Aksony poszczególnych komórek węchowych łączą się z sobą tworząc tak zwany szlak węchowy do opuszki węchowej w mózgu (patrz rysunek 14).

Na rysunku 16 przedstawiony jest schemat synapsy, znajdującej się na końcu aksonu.



Rys. 16. Schemat synapsy, połączenie zakończeń jednego neuronu z dendrytami kolejnego [9].

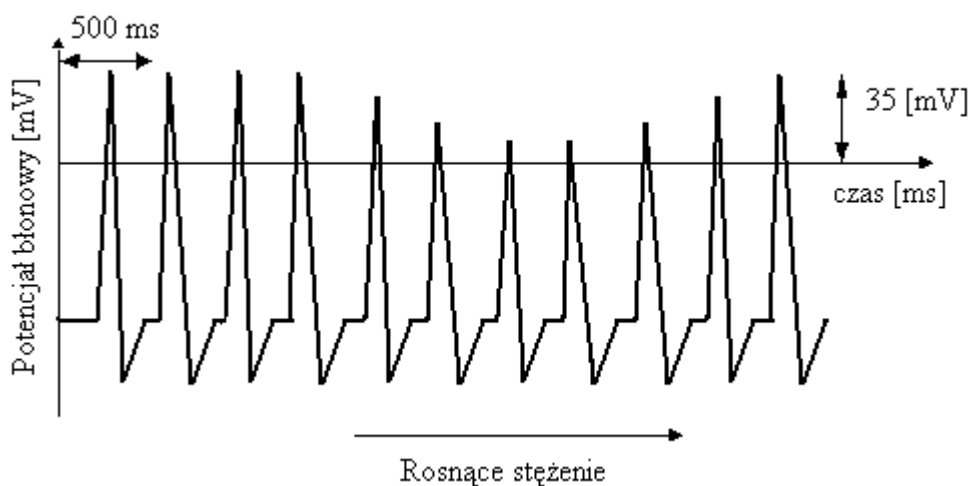
Aby impuls elektryczny mógł być zainicjowany, w błonie komórkowej musi być utrzymywany potencjał spoczynkowy. Powstaje on w wyniku nadmiaru jonów dodatnich (kationów) na zewnętrznej powierzchni błony komórkowej w stosunku do nieznacznego nadmiaru jonów ujemnych (anionów) na jej powierzchni wewnętrznej. Stan nierównowagi jonowej jest wynikiem pracy tzw. pompy sodowo-potasowej, która transportuje kationy sodu (Na^+) na zewnątrz komórki, a kationy potasu (K^+) do jej wnętrza. Przy pewnej różnicy stężeń jonów, potencjał między obiema powierzchniami błony ustala się wówczas na poziomie -70 mV uniemożliwiając dalsze wydostawanie się jonów potasu z wnętrza komórki. Błona komórkowa może ulec depolaryzacji w wyniku impulsu zewnętrznego powodującego powstanie tzw. potencjału czynnościowego o wartości około $+35 \text{ mV}$, który przemieszcza się wzdłuż aksonu [3]. Amplituda impulsu maleje wzdłuż aksonu jak to przedstawiono na rysunku 17.



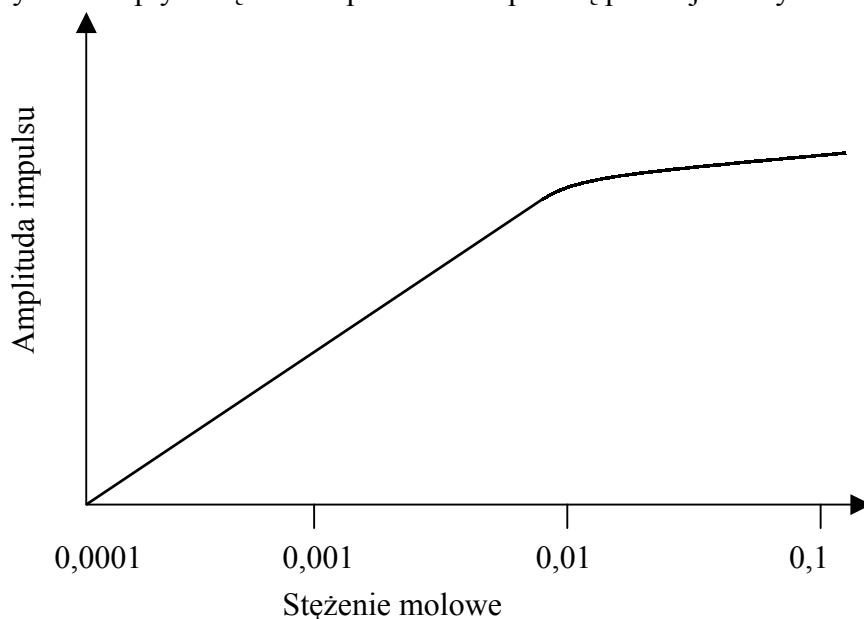
Rys. 17. Przebieg impulsu czynnościowego wzdłuż aksonu.

Amplituda impulsów napięciowych w aksonach zmysłu węchu nie zależy od stężenia substancji zapachowej. Pobudzona komórka węchowa wytwarza potencjał czynnościowy o tej samej amplitudzie, niezależnie od stężenia bodźca.

Kolejny impuls może być wywołany po pewnym czasie od wytworzenia potencjału czynnościowego, kiedy w komórce ponownie ustali się potencjał spoczynkowy. Dopiero wtedy błona komórkowa może być ponownie zdepolaryzowana. A zatem, substancja zapachowa o dużym stężeniu może wyzwać kolejne impulsy czynnościowe, jak to przedstawiono na rysunku 18. Stwierdzono, że długo działający czynnik o dużym stężeniu, wywołujący doznanie zapachowe, powoduje obniżenie amplitudy potencjału czynnościowego (patrz rysunek 18). Stwierdzono również, że przy pewnym natężeniu czynnika pobudzającego komórkę węchową, amplituda impulsu czynnościowego ulega nasyceniu jak przedstawiono na rysunku 19.



Rys. 18. Wpływ stężenia zapachu na amplitudę potencjału czynnościowego.



Rys. 19. Wpływ stężenia molowego czynnika zapachowego na amplitudę impulsu czynnościowego.

10. Teorie działania zmysłu węchu

Mechanizm pobudzania receptorów węchowych przez cząsteczki substancji wonnych nie jest dokładnie poznany. Aby wyjaśnić mechanizm działania zmysłu węchu należy rozważyć, jakie czynniki decydują o progu wyczuwalności zapachu i jego intensywności. Czy pobudzenie rzęsek komórki węchowej ma charakter chemiczny czy fizyczny i jak zależy od kształtu i struktury cząsteczki związku zapachowego?

Jak wynika z rysunku 7, zależność intensywności zapachu od stężenia związku zapachowego określona jest funkcją wykładniczą. Z rysunku 19 wynika, że amplituda impulsu wyzwalanego w komórce węchowej związana jest ze stężeniem substancji zapachowej również funkcją wykładniczą. Z opisu generowania impulsu elektrycznego w aksonie wynika, że pobudzona komórka wysyła jeden impuls, natomiast wysłanie następnego jest możliwe dopiero po ustaleniu się w niej potencjału spoczynkowego. Wobec tego wrażenie zmysłowe dostarczane jest do mózgu w postaci szeregu impulsów. Jeżeli częstotliwość impulsów n generowanych przez komórki węchowe odpowiada sile wrażenia węchowego (natężeniu zapachu) I i jeżeli między n i I występuje zależność logarytmiczna [1] to:

$$n = a \log I, \quad (1)$$

gdzie a jest stałą.

Minimalne stężenie progowe substancji wywołującej odczucie zapachu wygeneruje n_0 impulsów

$$n_0 = a \log I_0 \quad (2)$$

Różnica w ilości wygenerowanych impulsów ($n - n_0$) związana jest z intensywnością zapachu i jest cechą związku.

$$n - n_0 = a \log \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

Cząsteczki substancji wywołają wrażenie zapachowe, gdy z powietrza dostaną się do błony komórkowej, która składa się z lipidów (tłuszczów) i białek. Stężenie cząsteczek w warstwie lipidowej (C_L – ilość cząsteczek/cm³) określone jest stałą podziału K :

$$K = \frac{C_L}{C_p} \quad (4)$$

gdzie C_p jest stężeniem cząsteczek w pobliżu błony komórkowej [ilość cząsteczek/cm³ powietrza]. Stała podziału K przyjmuje różne wartości dla różnych związków. Dla błony komórkowej o grubości d (zwykle 1 μm), ilość cząsteczek na powierzchni 1 cm² wyniesie $C_L \times 10^{-6}$.

Cząsteczki zapachowe rozmieszczone są na błonie komórkowej w sposób nierównomierny. Przypuszczalnie, gdy miejscowe zagęszczenie cząsteczek zapachowych przekroczy wartość progową, wówczas dochodzi do depolaryzacji błony komórkowej i generacji impulsu w aksonach. Aby wzbudzić impuls, przynajmniej jedno miejsce na błonie komórkowej musi posiadać krytyczną ilość cząsteczek związku. Gdyby obecność tylko jednej cząsteczki powodowała depolaryzację potencjału komórki, wówczas związek ten charakteryzowałby się największą intensywnością zapachu. Stąd wniosek, że większa ilość cząsteczek związku o słabej intensywności

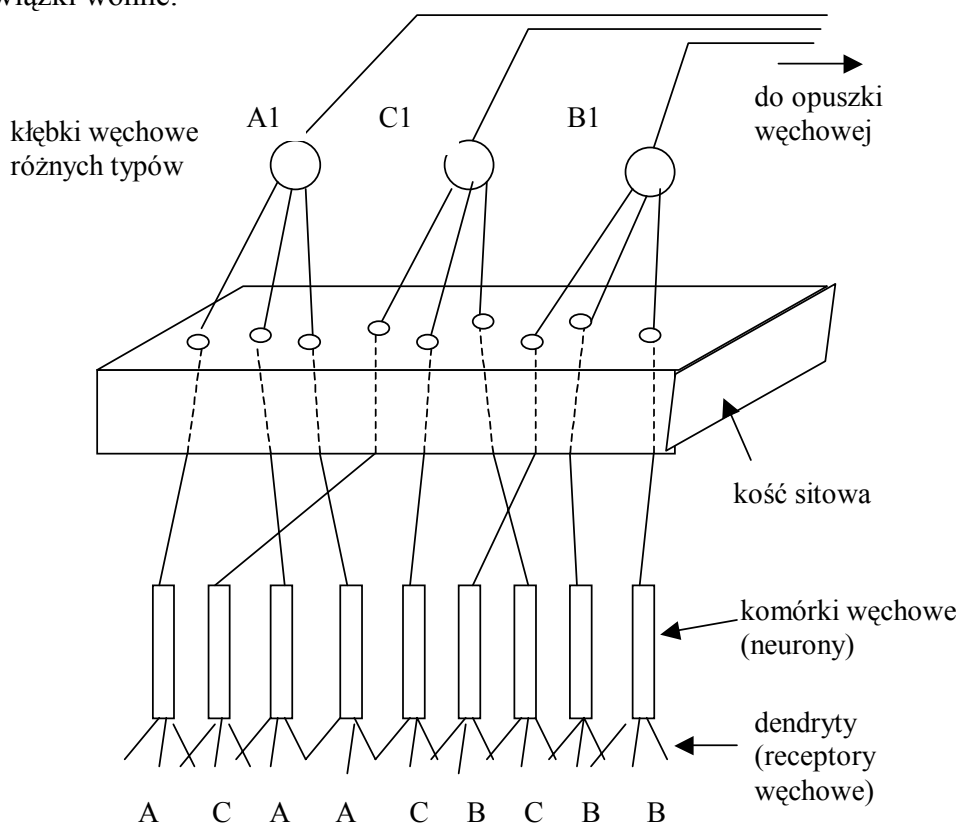
zapachu musi być zaabsorbowana w błonie komórkowej, aby wywołać odczucie zapachu.

Nie jest dokładnie poznany mechanizm odpowiedzialny za depolaryzację komórki węchowej. Nie wiadomo, w jaki sposób cząsteczki substancji, obecne w lipidowej warstwie błony komórkowej, depolaryzują komórki węchowe wywołując różne wrażenia węchowe.

Do tej pory znane są następujące teorie opisujące ten mechanizm: teoria chemiczna, stereochemiczna, wibracyjna i genetyczna. Nie wyjaśniają one zadawalająco zjawiska pobudzania receptorów węchowych przez cząsteczki związków zapachowych.

10.1. Teoria chemiczna

Zakłada ona, że pobudzenie receptorów węchowych jest wynikiem adsorpcji wonnych cząsteczek, następującej po rozpuszczeniu się ich w wydzielinie gruczołów Bowmana na błonie rzęsek tych receptorów. Cząsteczki te, w zależności od budowy chemicznej i układu przestrzennego, łączyłyby się bądź z różnymi receptorami węchowymi, bądź z różnymi substancjami (białkami) tego samego receptora. Zakłada się istnienie klas receptorów lub receptorowych substancji pobudzanych przez różne grupy wonnych substancji. Dodatkowe różnicowanie substancji wonnych odbywałoby się dzięki połączeniu receptorów węchowych położonych w różnych częściach nabłonka i pobudzanych przez odmienne substancje wonne, z różnymi częściami ośrodków węchowych w mózgu. Na rysunku 20 przedstawiono schemat nabłonka węchowego, w którym komórki węchowe wyposażone są w receptory reagujące na różne związki wonne.



Rys. 20. Model zbieżności aksonów do opuszki węchowej [10].

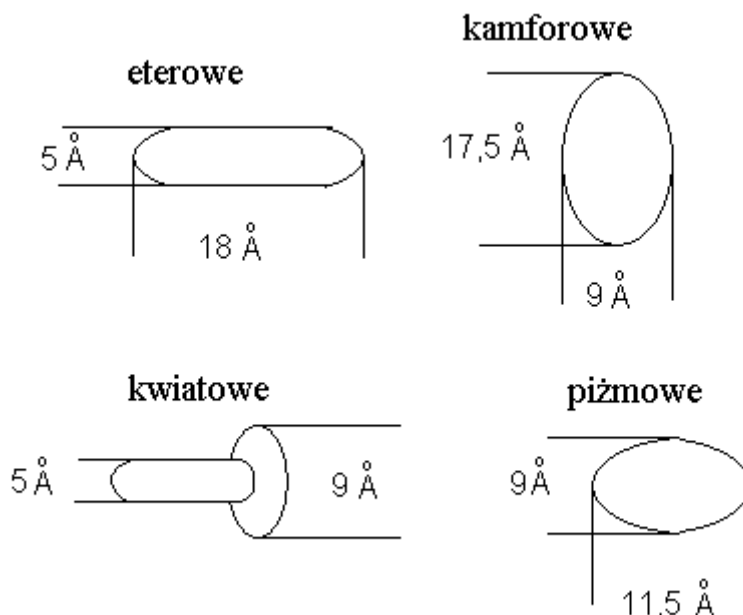
Aksony poszczególnych komórek przekazują sygnał danego zapachu (A, B lub C) do określonych kłębków węchowych (A1, B1, C1). Wyselekcjonowany sygnał przekazywany jest do opuszki węchowej w mózgu. W tym modelu działania zmysłu węchu, wrażliwość rozróżniania zapachów związana jest z aktywacją różnych receptorów. Silne zapachy aktywują pojedyncze kłębki węchowe. Słabe zapachy muszą aktywować kilka kłębków węchowych. Ze schematu przedstawionego na rysunku 20 wynika, że w nabłonku węchowym powinny występować obszary wyposażone w receptory czułe na różne zapachy.

Zgodnie z teorią chemiczną powinny istnieć podstawowe zapachy charakterystyczne dla danej grupy substancji wonnych, a substancje o podobnej budowie chemicznej powinny mieć podobny zapach. Okazuje się jednak, że substancje o podobnej budowie mają odmienny zapach, a substancje o różnej budowie mają podobny zapach, np. cyjanowodor i nitrobenzen [10].

10.2. Teoria stereochemiczna

Teoria stereochemiczna sugeruje, że cząsteczki o podobnym kształcie stereochemicznym mają podobny zapach. Działa to wg zasady klucza i zamka. Hipoteza ta zakłada istnienie receptorów węchowych o pewnych kształtach, do których pasują konkretne cząsteczki zapachowe. Te zasadnicze bodźce zapachowe są podstawą, na której mogą powstawać bodźce pochodne. Substancji podstawowych powinno być mało, ponieważ na błonie węchowej może występować określona ilość typów gniazdek. Kształty siedmiu podstawowych gniazdek zostały opracowane na podstawie modeli cząsteczek wywołujących te zapachy.

Za podstawowe zapachy J.E. Amoore przyjął: kamforowy, ostry, eterowy, kwiatowy, miętowy, piżmowy i zgniły [11]. Na rysunku 21 przedstawiono hipotetyczne kształty gniazdek zapachowych.



Rys. 21. Hipotetyczne kształty i wymiary gniazdek zapachowych.

W teorii stereochemicznej dopasowanie cząsteczki do gniazdka związane jest z jej kształtem i powinowactwem chemicznym, odpowiedzialnym za przyciągnięcie pewnych grup funkcyjnych cząsteczki do gniazdka.

W związkach zapachowych występują: grupa alkoholowa (OH), aldehydowa (C=O-H), izotiocyanowa (N=C=S). Jeżeli cząsteczka posiada dwie grupy funkcyjne, to może usytuować się w gniazdku na dwa sposoby wywołując zapach złożony.

Siedem podstawowych zapachów postulowanych w teorii stereochemicznej nie daje wystarczającej liczby kombinacji pozwalających na wyjaśnienie ilości obserwowanych zapachów. Na skutek połączenia receptorów błonowych z cząsteczkami zapachowymi następuje zmiana przepuszczalności błony dla jonów (Na⁺), a co za tym idzie, miejscowa zmiana potencjału receptorowego. Potencjały te, gdy osiągną odpowiednio wysoką amplitudę zostają przekazane dalej do mózgu.

10.3. Teoria wibracyjna

W teorii wibracyjnej, po raz pierwszy zaproponowanej przez G.M. Dysona [12], przyjęto, że drgania atomów w cząsteczkach działają na błonę węchową wywołując wrażenie zapachu. Cząsteczka stanowiąca składnik substancji zapachowej posiada energię zmagazynowaną w postaci energii translacji (ruchu postępowego), rotacji (ruchu obrotowego) i oscylacji (drgań atomów względem ich położenia równowagi). Energie rotacji i oscylacji są kwantowane. Atomy wchodzące w skład cząsteczki wykonują ruchy wokół swego położenia równowagi z pewną częstotliwością. Amplituda tych drgań zależy od energii doprowadzonej do cząsteczki, natomiast ich częstotliwość jest cechą charakterystyczną zależną od jej budowy przestrzennej. Liczba niezależnych drgań atomów cząsteczki zależy od ilości atomów wchodzących w jej skład. Dla cząsteczek o budowie liniowej liczba ta wynosi $3n - 5$, gdzie n liczba atomów. Dla cząsteczek o budowie przestrzennej liczba drgań wynosi $3n - 6$. Są to tak zwane drgania podstawowe.

Odstępy energetyczne między sąsiednimi dyskretnymi poziomami rotacji są małe. W warunkach normalnych wynoszą od 0,03 do 0,3 kcal/mol (od $1,3 \times 10^{-3}$ do $1,3 \times 10^{-2}$ eV/cząsteczkę), co odpowiada liczbom falowym od 10 do 100 cm^{-1} (długości fal od 1000 do 100 μm) [13]. W powietrzu o temperaturze 300 K znajduje się około 95% cząsteczek o energii rotacji wynoszącej 0,0013 eV, a o energii 0,013 eV około 5%. Energie rotacji cząsteczki są zbyt małe, aby można je brać pod uwagę w rozpatrywaniu oddziaływania cząsteczki z błoną węchową.

Energie oscylacji na kolejnych dyskretnych poziomach określa zależność:

$$\varepsilon_{\text{osc}} = \left(v + \frac{1}{2} \right) h\nu_0 \quad (5)$$

gdzie v - liczba kwantowa oscylacji,

h - stała Plancka,

ν_0 - częstotliwość własna najniższego poziomu wzbudzenia cząsteczki.

Wzbudzenie cząsteczki od poziomu najniższego ($v = 0$) do poziomu najbliższego ($v = 1$) wymaga energii od 0,3 do 12 kcal/mol (od 0,013 do 0,53 eV/cząsteczkę). Tym energiom odpowiadają liczby falowe od 100 do 4000 cm^{-1} (100 do 2,5 μm). W temperaturze 300 K 50% cząsteczek będzie posiadać energię oscylacyjną wynoszącą 0,013 eV. Natomiast cząsteczek o energii oscylacji wynoszącej 0,53 eV będzie tylko

$1,25 \times 10^{-7} \%$. Przyjmując, że powietrze składa się głównie z dwuatomowych liniowych cząsteczek tlenu i azotu, drgania oscylacyjne wystąpią tylko dla $v = 1$. Ponieważ w temperaturze 300 K liczba cząsteczek 1cm^3 powietrza wynosi $2,44 \times 10^{19}$, to liczba cząsteczek oscylujących na pierwszym poziomie wzbudzenia wyniesie 3×10^{10} cząsteczek/ cm^3 .

Energia drgań oscylacyjnych cząsteczek powietrza może być przekazywana cząsteczkom związku zapachowego, które oddziałują z błoną komórkową wywołując wrażenie zapachu. Błony węchowe nosa są zabarwione zwykle na żółto lub brązowo. Ponieważ w nosie jest ciemno, to ten kolor nie może być związany ze światłem, może natomiast w sposób selektywny absorbować określone energie drgań cząsteczek związku zapachowego. Przypuszcza się w teorii wibracyjnej, że drgania cząsteczek pigmentu błony węchowej mogą posiadać częstotliwości własnych drgań związanych z określonym zapachem. Gdy cząsteczka związku zapachowego posiada taką samą częstotliwość drgań jak cząsteczka pigmentu i zbliży się lub zostanie zaabsorbowana na powierzchni błony, wówczas mogą być w cząsteczce pigmentu wywołane drgania rezonansowe o dostatecznej energii do jej elektrycznego wzbudzenia. Taka cząsteczka może posiadać dostateczną energię do depolaryzacji komórki węchowej i wywołania impulsu elektrycznego w jej aksonach.

Przypuszcza się, że błona komórkowa zawiera pigmenty, których cząsteczki posiadają różne częstotliwości drgań, charakterystyczne dla różnych zapachów. Częstotliwości te nazywa się częstotliwościami osmicznymi. Cząsteczka związku zapachowego o takich samych częstotliwościach drgań oscylacyjnych wywoła wrażenie zapachu.

11. Cechy zmysłu węchu

Na podstawie przedstawionego opisu zmysłu węchu, można wypunktować kilka jego cech:

- ◆ Stężenie cząsteczek związku zapachowego wyczuwalne przez ludzi jest zdecydowanie większe od stężenia wyczuwalnego przez psy (z wyjątkiem czosnku).
- ◆ Owady reagują prawdopodobnie na pojedyncze cząsteczki związku.
- ◆ Wrażenie zapachu zależy od budowy przestrzennej cząsteczki zapachowej, nie zależy od typu skrętności (cis czy trans).
- ◆ W czasie wywoływania wrażenia zapachowego, cząsteczki nie ulegają zmianom strukturalnym ani nie zmieniają się ich własności chemiczne.
- ◆ Do opuszki węchowej w mózgu doprowadzonych jest kilka nerwów, do których w złożony sposób podłączonych jest (poprzez aksony) kilkadziesiąt tysięcy komórek węchowych.
- ◆ Wrażenie węchowe z komórki przekazywane jest do opuszki węchowej w postaci impulsów elektrycznych.
- ◆ Amplituda impulsu elektrycznego w pojedynczym aksonie nie zależy od stężenia cząsteczek w pobliżu błony węchowej.
- ◆ Natężenie wrażenia węchowego w sposób logarytmiczny zależy od stężenia cząsteczek związku zapachowego.
- ◆ Obecne teorie zmysłu węchu nie wyjaśniają fizycznego lub chemicznego mechanizmu depolaryzacji komórki węchowej.
- ◆ Do tej pory nie stwierdzono jednoznacznie, czy istnieją zapachy podstawowe (tak jak kolory) i czy obserwowane bogactwo zapachów jest wynikiem ich kombinacji,

czy wynika ono z reakcji chemicznych generowanych na błonie komórkowej przez różne związki zapachowe.

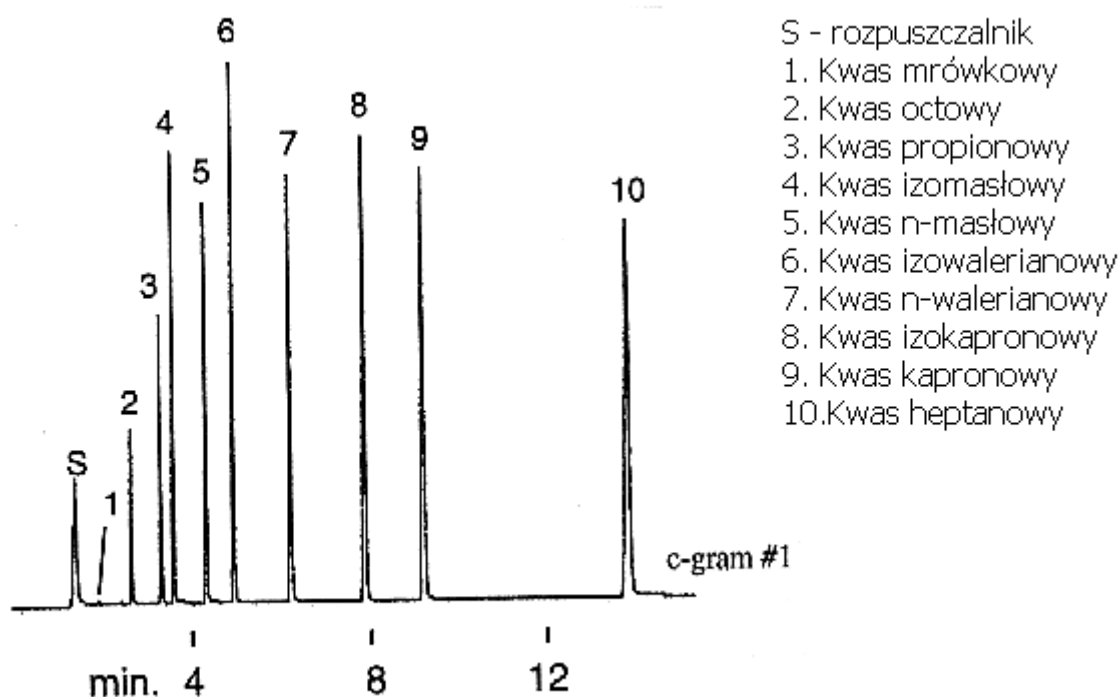
12. Porównanie poziomu wyczuwalności zapachu przez człowieka i współczesnych metod analitycznych

W tabeli 1 przedstawiono porównanie poziomu wyczuwalności wolnych kwasów tłuszczowych, składników potu ludzkiego przez człowieka i psa. Można przyjąć, że średni poziom wyczuwalności związków wymienionych w tabeli 1 przez człowieka wynosi 10^{11} cząsteczek/cm³. Współczesne metody analityczne, a zwłaszcza chromatografia gazowa, pozwala na analizę tych związków na poziomie niższym od poziomu wyczuwalności człowieka [14].

W katalogach firm produkujących sprzęt chromatograficzny można znaleźć przykłady analizy wolnych kwasów tłuszczowych i warunków analizy.

Firma Restek w katalogu z roku 1999 na stronie 250 przedstawia możliwość analizy wolnych kwasów tłuszczowych:

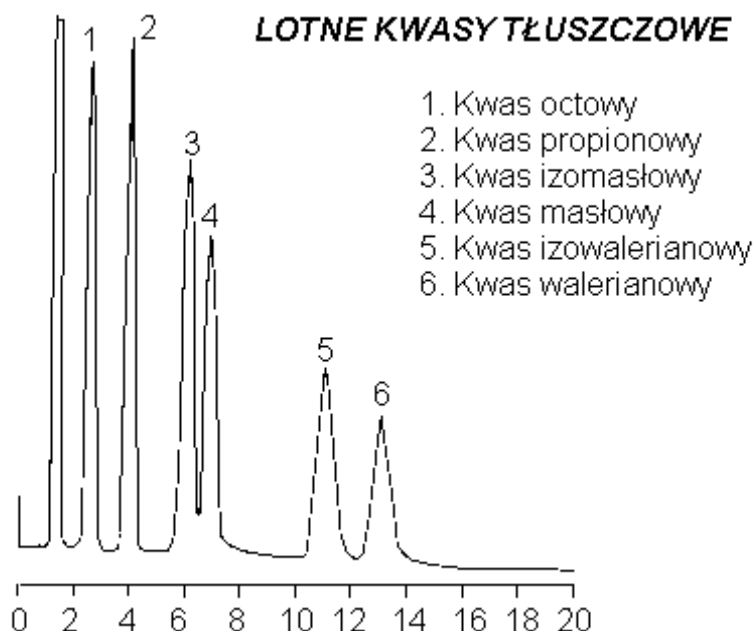
- Wymieniony katalog zawiera przykład analizy standardu zawierającego 10-20 ng/ μ l analizowanych kwasów na kolumnie kapilarnej o długości 30 m, średnicy 0,25 mm, pokrytej warstwą Stabilwax-DA. Próbkę o objętości 1 μ l dozowano w dozowniku o temperaturze 250°C z dzielnikiem 1:50. Temperatura kolumny wynosi 145°C. Gaz nośny - wodór, o prędkości liniowej 40 cm/s. Detektor płomieniowo-jonizacyjny z zakresem pomiarowym elektrometru, wynoszącym 2×10^{-11} A. Przykład opisanej analizy przedstawiono na rysunku 22.



Rys. 22. Przykład analizy na kolumnie typu Stabiliwax-DA.

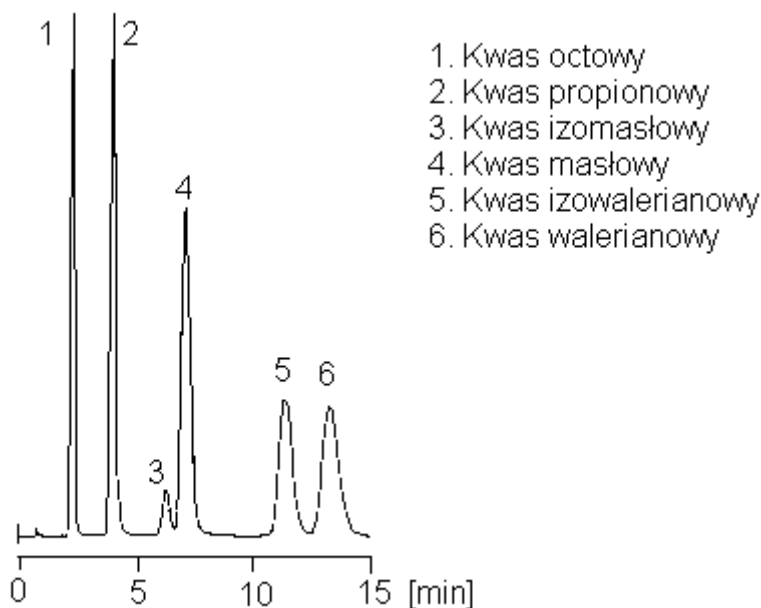
Firma Alltech w Katalogu 5 (2000/2001) podaje przykłady analizy wolnych kwasów tłuszczowych na kolumnach pakowanych:

- Na kolumnie pakowanej o długości 1,83 m (6 ft), średnicy 2 mm, szklanej, wypełnionej Gas Chrom 220 o średnicy 80/100 mesh. Temperatura kolumny 175°C, gaz nośny azot o wydatku 20 cm³/min. Detektor płomieniowo-jonizacyjny. Przykład analizy przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Przykład analizy na kolumnie pakowanej szklanej, wypełnionej Gas Chrom.

- Na kolumnie szklanej o długości 1,83 m (6 ft), średnicy 2 mm, wypełnionej HayeSep R o granulacji 80/100 mesh. Temperatura kolumny 220°C. Gaz nośny hel o wydatku 40 cm³/min. Detektor płomieniowo-jonizacyjny. Przykład analizy wolnych kwasów tłuszczowych na opisanej kolumnie przedstawiono na rysunku 24.



Rys. 24. Przykład analizy Na kolumnie szklanej, wypełnionej HayeSep R.

13. Możliwość analizy związków wchodzących w skład potu ludzkiego na poziomie wyczuwalności psa

Z przedstawionych przykładów analizy wolnych kwasów tłuszczowych można oszacować graniczną wykrywalność metody chromatograficznej. Z analizy przedstawionej na rysunku 22 można przyjąć, że pik dla 10 ng kwasu masłowego wynosi połowę zakresu elektrometru, czyli 10^{-11} A. Gdyby próbkę dozowano bez dzielenia strumienia, wówczas piki analizowanych związków mogłyby być 50 razy wyższe. Gdyby dozowano nie 1 μ l a 1 cm^3 powietrza, wówczas poziom wykrywalności mógłby być 1000 razy niższy. W efekcie oszacowany poziom wykrywalności kwasu masłowego wynosiłby około 10^{-13} g/ cm^3 powietrza. Pracując z elektrometrem na zakresie 10^{-12} A poziom wykrywalności mógłby wynosić nawet 10^{-14} g/ cm^3 powietrza. Dla kwasu masłowego (o własnościach podanych w tabeli 2), stężeniu 10^{-14} g/ cm^3 odpowiada stężenie 2,5 ppt lub około 10^8 cząsteczek/ cm^3 . Tak więc metoda chromatograficzna pozwala na analizę wolnych kwasów tłuszczowych wchodzących w skład potu ludzkiego na poziomie niższym o co najmniej trzy rzędy wielkości od poziomu wyczuwalności człowieka.

Tabela 2. Własności chemiczne i fizyczne kwasów organicznych, wchodzących w skład potu [15].

Nazwa kwasu	Wzór chemiczny	Temperatura topnienia [°C]	Masa cząsteczkowa [g]	Temperatura wrzenia [°C]	Gęstość [g/ cm^3]
Octowy	CH_3COOH	16,7	60	118	1,049
Propionowy	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	-36,0	74	141	0,992
Masłowy	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-5,5	88	164	1,960
Walerianowy	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	-34,5	102	186,4	0,939
Kapronowy	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-1,5	116	105	0,927
Kaprylowy	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-16,7	144	237	0,910

Człowiek wydziela 800 cm^3 potu na 24 godziny (około $10 \mu\text{l}$ potu /s). Człowiek posiada około 2 milionów gruczołów potowych na spodzie każdej stopy. Wydzielają one 2% całej ilości potu, czyli $16 \text{ cm}^3/24$ godziny lub $0,2 \mu\text{l/s}$. Z tego 0,16% to kwasy, a z nich $\frac{1}{4}$ to kwasy alifatyczne. Czyli przez stopy wydzielane są kwasy alifatyczne w ilości $0,008 \mu\text{l/s}$. Jeżeli na przykład, kwas masłowy stanowi $\frac{1}{6}$ wydzielanych kwasów, to wydzielany jest w ilości $1,3 \times 10^{-3} \mu\text{l/s}$. Dla kwasu masłowego odpowiada to wydzieleniu $2,9 \times 10^{-8}$ mola/s lub $1,7 \times 10^{16}$ cząsteczek/s. Jeżeli z tego $\frac{1}{1000}$ część przedostanie się przez obuwie do gruntu, to człowiek wydziela rzędu 10^{13} cząsteczek na każdym odbiciu stopy. Cząsteczki te będą znajdować się w warstwie powierzchniowej gruntu i mogą być na niej zaadsorbowane. Pies zasysając powietrze może łatwo uzyskać stężenie rzędu 10^5 cząsteczek/ cm^3 , znacznie wyższe od jego poziomu wyczuwalności. Aby metodą analityczną uzyskać podobny poziom wykrywalności, należałoby pobrać co najmniej litr powietrza z miejsca odcisku stopy, a następnie próbkę zageścić na pułapce adsorpcyjnej i dozować do chromatografu gazowego. Problemem jest wydajność pobierania próbki powietrza. Stosowane w kryminalistyce metody zabezpieczania śladów zapachowych przez nasączenie materiału bawełnianego pod folią powietrzem znad śladu i umieszczeniem go w szklanych pojemnikach powinny

spełniać wymagania analityczne. Przepłukiwany pojemnik szklany czystym gazem powinien pozwolić na transport składników znajdujących się w odcisku stopy do pułapki chromatografu.

14. Węch w kryminalistyce, pojęcie osmologii

Osmologia jest jedną z młodszych dziedzin kryminalistyki. Wykorzystuje się w niej specjalnie tresowane psy do rozpoznawania osób na podstawie śladów zapachowych [16].

14.1. Czy zapach człowieka jest charakterystyczny (niepowtarzalny)

W roku 1990 Taslitz opublikował artykuł, w którym głosił że niepowtarzalność i niezmienność zapachu danego człowieka nie są udowodnione naukowo [17]. Badania nad tą kwestią są ciągle w fazie „początkowej” i dopóki nie zostanie to wyjaśnione, wartości dowodowe badań osmologicznych będą niskie.

Jedne źródła podają, że zapach człowieka wykrywany przez psy i wykorzystywany w kryminalistyce jest charakterystycznym zapachem, niezależnym od zewnętrznych czynników typu dieta, otoczenie, wykonywany zawód: *„...warunkowany jest genetycznie, jest cechą indywidualną, nie zależy od diety, ubrania, otoczenia domowego itp. ...”* [2]. Przyjmuje się, że największe znaczenie dla odbioru wrażeń zmysłowych (zapachu człowieka) mają lotne kwasy tłuszczowe (alifatyczne). Zapach człowieka, a więc i substancje determinujące zapach człowieka, znajdujące się np. we krwi, w gruczołach potowych i łojowych, w złuszczającym się naskórku, włosach, wydzielinach jamy nosowo-gardłowej, wydzielinach zewnętrznych narządów płciowych itp. są warunkowane genetycznie. Zapach tworzą cząsteczki, które odparowały bądź wysublimowały z powierzchni lub wnętrza substancji [16].

Inni autorzy, np. Diane Ackerman ma odmienne zdanie na ten temat. Sądzi ona, że na charakterystyczny zapach danego człowieka składają się, oprócz czynników wyżej wymienionych, również rasa, strefa klimatyczna, dieta. Poza tym, na zapach człowieka mają wpływ: wykonywany zawód, wiek, stan zdrowia, przebyta kuracja, itp. Za tym poglądem przemawia fakt, że materiał uzupełniający ciągu selekcyjnego w badaniu osmologicznym pochodził od osób grupowo zbliżonych do podejrzanego oraz do siebie, czyli ta sama płeć, ten sam przedział wiekowy, podobny wykonywany zawód [3].

14.2. Stosowana praktyka kryminalistyczna

Mimo braku naukowych dowodów o niepowtarzalności zapachu każdego człowieka, badania osmologiczne są stosowane w praktyce kryminalistycznej. Składają się one z trzech etapów, które powinny być przeprowadzone zgodnie z „Metodyką” opracowaną przez Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Komendy Głównej Policji [16]:

- a) Zabezpieczenie śladów i pobranie próbek,
- b) Badanie osmologiczne,
- c) Ocena wartości dowodowej eksperymentu osmologicznego.

Ad. a. Zabezpieczenie śladów zapachowych na miejscu zdarzenia oraz sposób zabezpieczenia ma potem duże znaczenie w procesie. Na początku, podczas oględzin miejsca zdarzenia należy ustalić z jakimi miejscami lub przedmiotami mógł mieć kontakt sprawca przestępstwa. Najczęściej są to przedmioty osobistego użytku,

niedopałki papierosów, rękojeści broni, ślady na podłożu. Ślad zapachowy można również zabezpieczyć z krwi i włosów.

Pobranie śladu zapachowego polega na przeniesieniu ulatniających się cząsteczek zapachowych z przedmiotu (podłoża) na pochłaniacz. Kontakt pochłaniacza z podłożem powinien trwać nie krócej niż około 30 minut, po upływie tego czasu pochłaniacz zamykany jest w neutralnym zapachowo, szklanym pojemniku. Takie zabezpieczenie śladu zapachowego pozwala na przechowywanie go przez długi czas. Od podejrzanego otrzymuje się ponadto materiał porównawczy. Jest to zwykle pobrana krew lub inna wydzielina organizmu.

Ad. b. Badanie osmologiczne należy przeprowadzić w czasie nie krótszym niż 24 godziny od zabezpieczenia śladów zapachowych. Polega ono na rozpoznaniu przez psa śladu zapachowego podejrzanego spośród kilku próbek zapachowych.

Pierwszym etapem takiego badania jest sprawdzenie czy materiały dowodowy i porównawczy zostały zabezpieczone zgodnie z obowiązującymi procedurami. W następnym etapie należy przygotować materiał uzupełniający ciągu selekcyjnego. Przygotowuje się go w różny sposób w zależności od przyjętego wariantu badania:

- Wariant podstawowy (materiał dowodowy → materiał porównawczy) – tu materiał uzupełniający zbliżony jest jakościowo do materiału porównawczego,
- wariant specjalny (materiał porównawczy → materiał dowodowy) – tu materiał uzupełniający zbliżony jest jakościowo do materiału dowodowego.

Następnie sprawdzana jest sprawność psów, czyli zakwalifikowanie ich do badań. Taktykę wykorzystania psów policyjnych oraz technikę prowadzenia badania ustala biegły – ekspert. „Metodyka” dopuszcza prowadzenie badań wykorzystując następujące warianty zestawienia ciągu selekcyjnego:

- szereg – minimum pięć stanowisk,
- okrąg – minimum dziesięć stanowisk.

Inne warianty można stosować po uzyskaniu zgody Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji.

Samo badanie wygląda w ten sposób, że pies policyjny powinien sprawdzić pojemniki ustawione w ciągu selekcyjnym. Następnie powinien wskazać pojemnik ze zidentyfikowanym zapachem. W razie nie stwierdzenia zgodności zapachowej pies powinien wrócić do przewodnika. Badanie powtarza się minimum trzy razy, za każdym razem zmieniając położenie pojemnika z zabezpieczonym badanym materiałem [16].

Ad. c. Wartość dowodowa badań osmologicznych jest przedmiotem sporu, nawet na łamach pism kryminalistycznych. Toczy się on pomiędzy ekspertami z zakresu badań śladów zapachowych a naukowcami. Fakt rozpoznania człowieka przez psa na podstawie zapachu nie został udowodniony naukowo.

Zdolności rozpoznawania zapachów przez psy są znane i używane w pracy policji od dawna. Natomiast w sądownictwie jest to wciąż nowa, dopiero poznawana metoda. Nawet nie do końca wiadomo czy ślad zapachowy spełnia kryteria dowodowe w sprawie, tzn. czy zapach danego człowieka jest niepowtarzalny i niezmienny. Nie zostały przeprowadzone badania populacyjne w tym kierunku. Okazało się również, że psy miały trudności z identyfikowaniem zapachów pochodzących z różnych części ciała człowieka. Zastanawiano się również nad poziomem błędów badań osmologicznych, jest

on wysoki, a co za tym idzie wiarygodność tej metody jest niska. Co prawda wartość diagnostyczna innych metod (np. analizy farb, szkła, włókien) jest jeszcze niższa, ale wiadomo, że metody te nie prowadzą do identyfikacji człowieka.

Wg profesora J. Wójcikiewicza powinny być stosowane m.in. następujące kryteria przy ocenie wiarygodności identyfikacji człowieka przez psa [17]:

- obecność śladów zapachowych sprawcy czynu na miejscu zdarzenia,
- ogólna liczba prezentowanych śladów,
- podobieństwo prezentowanych śladów, a szczególnie atrakcyjność śladu porównawczego (pochodzącego od osoby podejrzanej),
- atest psa,
- liczba i niezależność prób,
- konkretny układ identyfikacyjny, np. ślad dowodowy → ślad porównawczy i ślady uzupełniające.

Ponadto powinny być jasne kryteria doboru śladów uzupełniających, czyli pozostałych próbek obok śladu porównawczego wziętego od oskarżonego. Powinny one być podobne do śladu zapachowego oskarżonego, jak również podobne do siebie nawzajem.

Innym parametrem, który powinno się brać pod uwagę w ocenie wiarygodności wyników badań osmologicznych jest świeżość śladów zapachowych, a dokładniej, zapachy porównawcze wzięte z banku zapachów powinny być „tej samej świeżości” co zapach od oskarżonego, nie starsze.

Również wykluczyć należy obecność przewodnika psa przy ustawianiu próbek w ciągu selekcyjnym, ponieważ może on podświadomie wpływać na decyzję psa. Jest to tzw. efekt „Mądrego Hansa” lub pochodząca nazwa od nazwiska odkrywcy; „efekt Rosenthala”. Często efekty pracy psa tropiącego są dowodami poszlakowymi, o niskiej wartości dowodowej, zatem nie mogą być decydujące w sprawie [18].

Podsumowując należy powiedzieć, że metoda wykrywania sprawców przestępstw na podstawie śladów zapachowych nie ma wystarczających podstaw naukowych.

Jak czytamy w artykule prof. J. Wójcikiewicza: „Proces karny nie jest poligonem doświadczalnym naukowców, ale poszczególne sprawy dają impuls do rozwoju nauk sądowych. „...Przecież nikt nie powinien być skazywany jedynie na podstawie machania psiego ogona” [17].

Wnioski

Węch ma duże znaczenie dla człowieka, mimo tego, że nie jest on w pełni wykorzystany. Zauważamy, że gdy człowiek straci wzrok, wtedy jego zdolności wyczuwania zapachów stają się dużo większe. W porównaniu ze zwierzętami, ludzie zatracili już zdolności wyczuwania niebezpieczeństwa na podstawie zapachu. Z kolei do tej pory sugerujemy się wonią pożywienia w ocenie jej świeżości i przydatności do spożycia. Działanie niektórych substancji zapachowych (feromonów) na człowieka, znalazło zastosowanie w dobieraniu składników perfum. W dalszym ciągu zapach wydzielany przez ludzi ma znaczenie w doborze partnerów, choć zwykle dzieje się to podświadomie.

Mówiąc pogłędowo, człowiek ma 10^6 razy gorszy węch od psów, stąd wykorzystanie tych zwierząt np. w kryminalistyce pozwala na identyfikację człowieka na podstawie śladu zapachowego. Jak pokazano w rozdziale 12, obecnie istnieją metody analityczne, których możliwości detekcyjne przewyższają poziom wyczuwalności związków zapachowych przez człowieka o trzy rzędy wielkości. Chromatograf gazowy wraz ze spektrometrem masowym i odpowiednią metodą wzbogacania próbki, prawdopodobnie umożliwiłyby analizę i identyfikację związków zapachowych człowieka na poziomie tylko nieco gorszym od psa. Być może są prowadzone w Polsce tego typu badania, lecz autorzy opracowania mimo usilnych starań nie trafili na ich ślady. Gdyby jednak takie badania były prowadzone i ich efekty były widoczne, wartość dowodowa badań osmologicznych na pewno by wzrosła. Wyniki takich badań ciągle nie są uznawane przez sędziów jako dowód naukowy, ponieważ procedura rozpoznawania człowieka przez psa na podstawie zapachu obarczona jest dużym błędem, a samo szkolenie tych psów może być niedoskonałe. Metody analityczne zastosowane w badaniach osmologicznych mogłyby uwiarygodnić sygnały dawane przez psy.

W Cambridge opracowano tzw. System „Bloodound” („Ogar”) podobno na tyle czuły, że można go stosować w kryminalistyce do identyfikacji osób na podstawie charakterystycznego zapachu ich ciała [17].

Być może kiedy dokładnie poznamy w jaki sposób natura stworzyła tak zagadkowy i skomplikowany zmysł węchu, będziemy w stanie zbudować urządzenie prawie idealnie odwzorowujące jego działanie.

Bibliografia

1. R. H. Wright – „Nauka o zapachu”, PWN, Warszawa 1972;
2. K. Bonenberg – „Aromaty”, Wydawnictwo Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno 1994;
3. D. Ackerman – „Historia naturalna zmysłów”, Wydawnictwo Książka i Wiedza, Warszawa 1994;
4. <http://www1.gazeta.pl/nauka/1,34134,03661.html>;
5. <http://www1.gazeta.pl/nauka/1,34134,93708.html>;
6. W. Neuchaus – Z. Naturforsch. **9b** (1954) 560 – 567;
7. W. Sylwanowicz – „Mały atlas anatomiczny”, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1991;
8. J. Markowski, przerobione i uzupełnione: O. Narkiewicz – „Układ nerwowy ośrodkowy” t.4, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1997, wyd. 3;
9. <http://vv.carleton.ca/~neil/neural/neuron-a.html>;
10. T. Jezierski – „Podstawy fizjologii węchu, uczenia się i etologii zwierząt”, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji, Warszawa 1999;
11. J. E. Amoore – „Nature” **198** (1963) 271;
12. G. M. Dyson – „Oil Record” **28** (1937) 13;
13. L. Sobczyk, A. Kiszka – „Chemia fizyczna dla przyrodników”, PWN, Warszawa 1977;
14. Z. Witkiewicz, J. Hepter – „Chromatografia gazowa”, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2001;
15. B. Bobrański – „Chemia Organiczna”, PWN, Warszawa 1973;
16. <http://www.kgp.gov.pl/clknn/osmologia/index.html>;
17. J. Wójcikiewicz – „Z zagadnień Nauk Sądowych” **XLI** (2000) 96 – 101, „Identyfikacja człowieka przez psa na podstawie zapachu jako dowód naukowy”;
18. J. Wójcikiewicz – „Z zagadnień Nauk Sądowych” **XXXVII** (1998) 158 – 164, „Metaekspertyza osmologiczna”.